

Research Paper



The Effect of Augmented Feedback on Lower Limb Kinematics and Jumping Performance of Male Athletes With Dynamic Knee Valgus During a Double-leg Drop Vertical Jump Task

*Ramin Balouchy¹

1. Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Physical education and Sport Science, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.



Citation Balouchy R. The Effect of Augmented Feedback on Lower Limb Kinematics and Jumping Performance of Male Athletes With Dynamic Knee Valgus During a Double-leg Drop Vertical Jump Task. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 13(6):1064-1077. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3269>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3269>

ABSTRACT

Background and Aims The immediate impact of augmented feedback on biomechanical risk factors has been well established, but its effect on the jumping performance of athletes is still unknown. Therefore, this study aims to evaluate the effect of augmented feedback on lower limb kinematics and jumping performance of male athletes with dynamic knee valgus (DKV) during a double-leg drop vertical jump (DLDVJ) task.

Methods In this quasi-experimental study, 21 male recreational athletes with DKV aged 1-25 years participated. Three-dimensional kinematic and kinetic data were collected simultaneously before and after augmented feedback during the DLDVJ task at the eccentric and concentric phases. The jumping performance was calculated by using the reactive strength index-modified (RSImod).

Results The results showed a significant decrease in the hip adduction angle in the eccentric ($P=0.001$) and concentric ($P=0.001$) phases in the maximum knee flexion position ($P=0.001$) after the intervention compared to the pre-intervention stage. Also, there was a decrease in external tibiofemoral rotation in the eccentric ($P=0.031$) and concentric ($P=0.019$) phases in the maximum knee flexion position ($P=0.037$). In addition, a significant increase in knee flexion in the eccentric phase ($P=0.007$) and maximum knee flexion position ($P=0.017$) was reported after the intervention compared to the pre-intervention stage. Regarding jumping performance, the intervention was associated with an increase in the take-off time ($P=0.039$) and a subsequent decrease in the RSImod value ($P=0.011$).

Conclusion The augmented feedback can immediately improve the DKV without reducing the jump height during a DLDVJ task in male athletes, but it reduces the take-off time and, subsequently, the jumping performance (The RSImod value). As an evidence-based sports injury prevention program, the effects of improving DKV on athletes' jumping performance in the long term should be investigated in future studies.

Keywords Jumping performance, Dynamic knee valgus, Augmented feedback, Plyometrics

Received: 07 May 2024

Accepted: 12 May 2024

Available Online: 20 Jan 2025

* **Corresponding Author:**

Ramin Balouchy, Associated Professor.

Address: Department of Sport Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Physical education and Sport Science, Allameh Tabataba'i University, Tehran, Iran.

Tel: +98 (21) 22440394

E-Mail: r.balouchy@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

Vertical jump ability, defined as maximum jump height, plays a crucial role in successful performance in various sports such as basketball, football, handball, and volleyball. Numerous exercises have been developed to enhance athletes' jumping performance, often by improving the stretch-shortening cycle (SSC) and increasing muscle strength. In this regard, the effectiveness of these exercises is usually assessed using various types of jump-landing tasks, such as the double-leg drop vertical jump (DLDVJ) task. These tasks, as an observational/motor screening test, have become useful for identifying individuals with inefficient movement patterns. By using these tests, the sports specialists can identify movement patterns that are often associated with non-collision injuries, such as anterior cruciate ligament (ACL) injuries. Most studies based on inefficient movement patterns have focused on investigating the effectiveness of interventions in reducing biomechanical risk factors during jump-landing tasks and have paid less attention to athletes' jumping performance. The studies in this field have examined different jump-landing techniques, stretching techniques, and augmented feedback on the jumping performance of healthy individuals without any movement impairment. In these studies, jumping performance have been defined as jumping height, which do not consider the take-off time. To our knowledge, no study has investigated the immediate effect of motor impairment correction based on augmented feedback on lower limb kinematics and jumping performance based on the reactive strength index-modified (RSImod). in athletes with dynamic knee valgus (DKV) Therefore, given the importance of using appropriate evidence-based interventions by sports professionals and coaches, the present study aimed to investigate the immediate effect of augmented feedback on lower limb kinematics and the RSImod of individuals with DKV while performing the DLDVJ task.

Materials and Methods

This is a quasi-experimental study with a pre-test/post-test design. Participants were 21 male athletes with DKV from Tehran, Iran (Age: 22.61 ± 2.27 years; weight: 71.25 ± 4.19 kg; height: 175.34 ± 4.64 cm). Participants were selected based on the criteria established for this study. They were referred to the motion analysis laboratory for a single test session, which lasted one hour. They were instructed to wear comfortable exercise clothes with no shoes to assess the impact of footwear differences.

Each participant performed the DLDVJ task on a 60×50 cm force plate (Model 69260AA, Kistler, Switzerland) before and after receiving augmented feedback. Kinematic (120 Hz) and kinetic (1200 Hz) data were recorded simultaneously at each attempt. Each participant performed the DLDVJ task at three attempts, with a 30-second rest interval between each attempt. The average of these three attempts was used for statistical analysis. Before the test, each participant engaged in a 5-minute warm-up session by cycling at a self-selected speed and low resistance. To statistically analyze the raw data obtained from the research, both descriptive and inferential statistics were employed. Given the normality of the data distribution, determined by the Shapiro-Wilk test, a paired t-test was utilized to assess the impact of the augmented feedback on the study parameters.

Results

The results showed a significant decrease in the hip adduction angle in the eccentric ($P=0.001$) and concentric ($P=0.001$) phases in the maximum knee flexion position ($P=0.001$) after the intervention compared to the pre-intervention stage. Also, there was a decrease in external tibiofemoral rotation in the eccentric ($P=0.031$) and concentric ($P=0.019$) phases in the maximum knee flexion position ($P=0.037$). In addition, a significant increase in knee flexion in the eccentric phase ($P=0.007$) and maximum knee flexion position ($P=0.017$) was reported after the intervention compared to the pre-intervention stage. Regarding jumping performance, the intervention was associated with an increase in the take-off time ($P=0.039$) and a subsequent decrease in the RSImod value ($P=0.011$).

Conclusion

In conclusion, the augmented feedback can immediately improve DKV without negatively affecting the jumping height during the DLDVJ task in athletes. However, it is associated with a decrease in the take-off time, which can subsequently lead to a reduction in jumping performance (The RSImod value). As an evidence-based injury prevention program, the long-term effectiveness of improving DKV on athletes' jumping performance needs to be investigated in further studies.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of *Allameh Tabataba'i University*, Tehran, Iran (Code: IR.ATU.REC.1401.050). All ethical principles were

considered in this study. The participants were informed about the study objectives and methods. They were also assured of the confidentiality of their information and were free to leave the study at any time, and if desired, the research results would be available to them.

Funding

This research did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or non-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to all participants and the staff of the Motion Analysis Laboratory for their collaboration in this study.



مقاله پژوهشی

تأثیر بازخورد بیرونی بر کینماتیک اندام تحتانی و قدرت واکنشی افراد با ولگوس
دینامیک زانو حین انجام تکلیف حرکتی پرش فرود

رامین بلوچی^۱

۱. گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران.

Use your device to scan and read the article online



Citation Balouchy R. The Effect of Augmented Feedback on Lower Limb Kinematics and Jumping Performance of Male Athletes With Dynamic Knee Valgus During a Double-leg Drop Vertical Jump Task. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 13(6):1064-1077. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3269>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.13.6.3269>

چکیده

مقدمه و اهداف: اثربخشی بازخورد بیرونی آنی بر کاهش عوامل خطرزای بیومکانیکی به‌خوبی ثابت شده است، اما به‌طور همزمان ارتباط آن با عملکرد پرشی ورزشکاران ناشناخته باقی مانده است. بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر بازخورد بیرونی بر کینماتیک اندام تحتانی و قدرت واکنشی افراد با ولگوس دینامیک زانو (DVK) حین انجام تکلیف حرکتی پرش فرود دو پا (DLVDJ) بود.

مواد و روش‌ها: در مطالعه نیمه‌تجربی حاضر، ۲۱ ورزشکار تفریحی مرد با نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو و دامنه سنی ۱۸ تا ۲۵ سال شرکت کردند. اطلاعات مرتبط با زوایای مفاصل اندام تحتانی در هر سه صفحه حرکتی قبل و بعد از ارائه آنی بازخورد بیرونی حین انجام تکلیف حرکتی پرش فرود دو پا در ۲ فاز اکسنتریک و کانسنتریک ثبت شد. عملکرد پرشی براساس شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده (RSImod) محاسبه و بیان شد.

یافته‌ها: نتایج مطالعه حاضر حاکی از کاهش معنادار زاویه اداکشن هیپ در فاز اکسنتریک ($P=0/001$)، در فاز کانسنتریک ($P=0/001$)، و در موقعیت حداکثر فلکشن زانو ($P=0/001$) و همچنین کاهش چرخش خارجی تییبیوفاemorال در فاز اکسنتریک ($P=0/031$)، کانسنتریک ($P=0/019$) و در موقعیت حداکثر فلکشن زانو ($P=0/037$) بعد از ارائه مداخله نسبت به قبل از مداخله بود. علاوه‌براین به‌طور معناداری افزایش فلکشن زانو در فاز اکسنتریک ($P=0/007$) و موقعیت حداکثر خم شدن زانو ($P=0/017$) بعد از ارائه مداخله نسبت به قبل از مداخله مشاهده شد. در رابطه با عملکرد پرشی، ارائه مداخله با افزایش زمان تیک‌آف ($P=0/039$) و متعاقباً کاهش عملکرد پرشی براساس شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده ($P=0/011$) همراه بود.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد مداخله بازخورد بیرونی به‌صورت آنی نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو را بدون ایجاد اختلال در ارتفاع پرش ورزشکاران در حین انجام تکلیف حرکتی پرش فرود دو پا بهبود می‌بخشد، اما این با کاهش زمان تیک‌آف و متعاقباً با کاهش عملکرد پرشی بر مبنای شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده بود. با وجود این به‌عنوان یک برنامه پیشگیری از آسیب‌های ورزشی مبتنی بر شواهد اثربخشی بهبود نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو بر عملکرد پرش ورزشکاران باید در درازمدت به‌عنوان یک الگوی حرکتی جدید مورد بررسی قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: عملکرد پرشی، نقص حرکتی، صفحه نیرو، پلايومتریک

تاریخ دریافت: ۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۳ اردیبهشت ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۱ بهمن ۱۴۰۳

* نویسنده مسئول:

دکتر رامین بلوچی

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

تلفن: ۰۲۲۴۴۰۳۹۴ (۲۱) ۹۸+

رایانامه: r.balouchy@gmail.com



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

خود را در طول مسابقه به حداکثر برسانند [۲۰-۲۲]، که این استراتژی با برنامه‌های پیشگیری از آسیب توصیه‌شده در تضاد است.

به‌طور خلاصه، اکثر مطالعات مبتنی بر الگوی حرکتی ناکارآمد به بررسی اثربخشی مداخلات در کاهش عوامل خطرزای بیومکانیکی حین انجام تکالیف حرکتی پرش فرود تمرکز کرده‌اند و توجه کمتری به عملکرد پرشی ورزشکاران به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های مهم مرتبط با موفقیت در مسابقات ورزشی شده است. احتمالاً به همین دلیل است که مریدان ورزشی با وجود تأکید بر انجام برنامه‌های پیشگیری از آسیب، انگیزه لازم را برای اجرای چنین برنامه‌هایی ندارند، بدون اینکه شواهدی دال بر تأثیر کوتاه و طولانی‌مدت تمرینات بر عملکرد پلايومتریک ورزشکاران وجود داشته باشد [۲۳، ۲۴]. اگرچه، مطالعاتی انجام شده است که تکنیک‌های مختلف پرش فرود [۷، ۲۵]، تکنیک‌های کششی مختلف [۲۶-۲۸] و بازخورد بیرونی [۲۹-۳۱] را بر عملکرد پرشی افراد سالم بدون هیچ‌گونه اختلالی بررسی کرده‌اند. در این مطالعات عملکرد پرشی به‌عنوان ارتفاع پرش تعریف شده بود که در واقع زمان تیک‌آف را در نظر نگرفته بودند. باین حال براساس دانش ما، هیچ مطالعه‌ای به بررسی اثر آنی اصلاح نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو مبتنی بر ارائه بازخورد بیرونی به‌طور هم‌زمان، بر کینماتیک اندام تحتانی و عملکرد پرشی ورزشکاران براساس شاخص قدرت واکنشی^۵ نپرداخته است. بنابراین با توجه به اهمیت استفاده از مداخلات مناسب مبتنی بر شواهد علمی توسط متخصصان ورزشی و مریدان، هدف از انجام مطالعه حاضر بررسی تأثیر آنی بازخورد بیرونی بر کینماتیک اندام تحتانی و عملکرد پرشی براساس شاخص قدرت واکنشی در افراد با نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو حین انجام تکالیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا بود. براساس ادبیات موجود، فرضیه تحقیق بر این استدلالت است که مداخلات بازخورد بیرونی بلافاصله کینماتیک اندام تحتانی را بهبود می‌بخشد.

مواد و روش‌ها

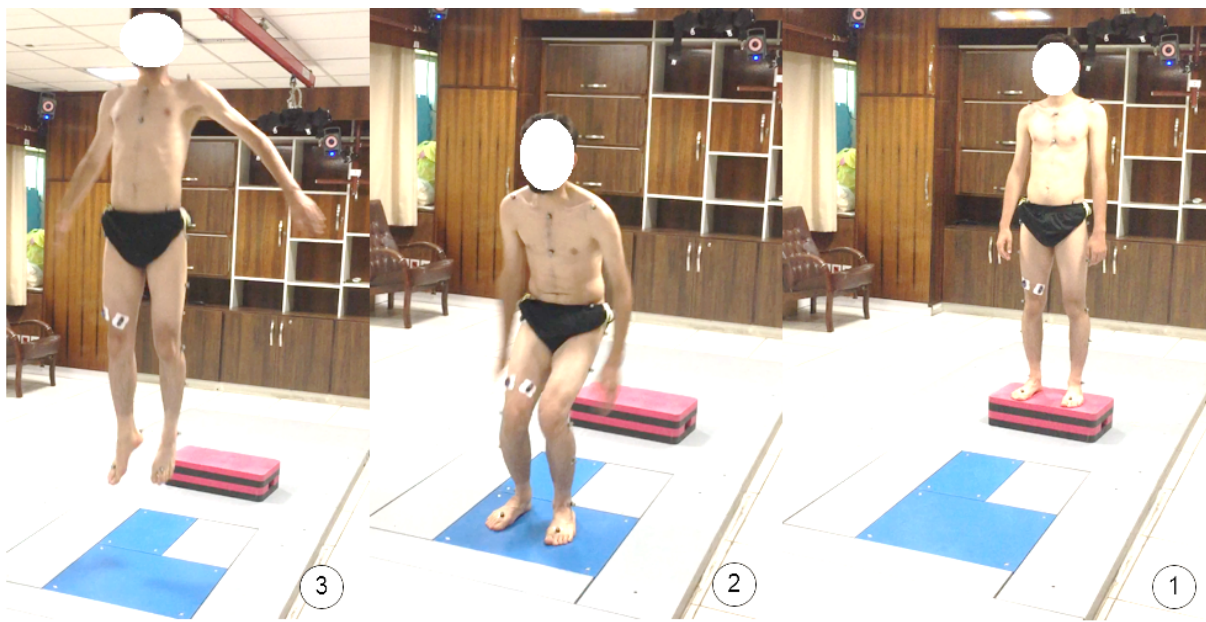
مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی و به‌صورت طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون است. با توجه به نرم‌افزار G*Power (G*Power, Franz, Faul University of Kiel, Germany) و براساس آزمون آماری تی زوجی، با فرض $\alpha=0/05$ و $\beta=0/1/85$ و $\text{Effect Size}=0/6$ ، ۲۲ نفر از ورزشکاران پسر استان تهران با نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو برای این مطالعه مورد نیاز بودند (سن، $22/61 \pm 2/27$ سال، وزن، $71/25 \pm 4/19$ کیلوگرم، قد، $175/34 \pm 4/64$ سانتی‌متر) که براساس معیارهای مطالعه حاضر انتخاب شدند. افراد از طریق برد دانشگاه‌ها و باشگاه‌های ورزشی به مطالعه حاضر فراخوانی شدند. همچنین نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو

توانایی پرش عمودی (حداکثر ارتفاع پرش) نقش مهمی در عملکرد موفقیت‌آمیز در بسیاری از ورزش‌ها دارد [۱]. در همین رابطه عملکرد پرش عمودی، به‌عنوان یک پیش‌بینی‌کننده قابل اعتماد برای موفقیت در تعدادی از ورزش‌ها از جمله بسکتبال، فوتبال، هندبال و والیبال معرفی شده است. با توجه به اهمیت این موضوع تمرینات مختلفی با هدف افزایش عملکرد پرشی ورزشکاران اغلب با افزایش مکانیسم سیکل کششی کوتاهی^۱ و همچنین قدرت عضلانی طراحی شده است [۲]. در همین راستا اثربخشی این تمرینات معمولاً با استفاده از انواع مختلفی از تکالیف حرکتی پرش فرود، مانند تکالیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا^۲ ارزیابی می‌شود [۳-۵]. از سوی دیگر، این تکالیف حرکتی پرش فرود، به‌عنوان یک آزمون غربالگری حرکتی مشاهده‌ای، به ابزاری در حال افزایش برای شناسایی افراد با الگوهای حرکتی ناکارآمد تبدیل شده‌اند. در واقع متخصصان ورزشی با استفاده از این آزمون‌ها الگوهای حرکتی را که اغلب با آسیب‌های غیربرخوردی، از جمله آسیب لیگامنت صلیبی قدامی^۳ همراه است شناسایی می‌کند [۶-۸].

بین محققین این اتفاق نظر وجود دارد که الگوهای حرکتی ناکارآمد که به‌عنوان نقص‌های کنترل عصبی-عضلانی [۹] نیز شناخته می‌شوند، در حین انجام تکالیف حرکتی مرتبط با پرش فرود به‌عنوان عوامل خطرزای بیومکانیکی می‌توانند افراد را در معرض آسیب‌های غیربرخوردی قرار دهند [۱۰، ۱۱]. به‌طور ویژه، کاهش زاویه فلکشن زانو و افزایش زاویه ولگوس دینامیک زانو^۴ حین فرود منجر به افزایش بارهای تحمیل‌شده بر لیگامنت صلیبی قدامی می‌شود که متعاقباً خطر آسیب‌دیدگی را افزایش می‌دهد [۱۲، ۱۳]. اگرچه نشان داده شده است که بدراستی‌های اندام تحتانی و جنسیت ممکن است به‌طور مستقیم بر عملکرد بیومکانیکی افراد تأثیر بگذارد [۱۴، ۱۵]. خوشبختانه، به‌خوبی ثابت شده است که بسیاری از الگوهای حرکتی ناکارآمد را می‌توان با ارائه دستورالعمل‌های اصلاحی بهبود بخشید [۹، ۱۶]. توصیه‌های متعددی جهت استفاده از اشکال مختلف بازخورد در زمان واقعی یا بلافاصله پس از تمرین، با هدف کنترل و اصلاح نقص‌های بیومکانیکی از طریق تغییرات عصبی عضلانی شده است [۹، ۱۶، ۱۷]. باین حال فرود با فلکشن بیشتر زانو، که در حال حاضر به‌عنوان یک پارامتر بیومکانیکی جهت کاهش بار روی لیگامنت صلیبی قدامی توصیه شده است [۱۸، ۱۹]، با کاهش ارتفاع پرش عمودی همراه است [۷، ۲۰]. به همین دلیل است که ورزشکاران تمایل دارند تکالیف حرکتی پرش فرود را با حداقل زاویه فلکشن زانو در فاز اکستنتریک انجام دهند تا عملکرد پرشی

1. Stretching shortening cycle (SSC)
2. Dabble leg- Drop vertical jump (DLDVJ)
3. Anterior cruciate ligament (ACL)
4. Dynamic Knee valgus (DKV)

5. Reactive strength index (RSI)



طب توانبخشی

تصویر ۱. آزمودنی در حال انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا است: ۱. وضعیت شروع، ۲. لحظه فرود روی صفحه نیرو، ۳. حداکثر پرش عمودی بعد از فرود

شوند. به‌طور کلی، هریک از شرکت‌کنندگان قبل و بعد از دریافت مداخله بازخورد بیرونی به‌صورت آنی، تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا را روی صفحه نیرو (۶۰ سانتی‌متر در ۵۰ سانتی‌متر، کیستلر، 69260AA، سوئیس) انجام دادند. ثبت همزمان داده‌های کینماتیکی (۱۲۰ هرتز) و کینتیکی (۱۲۰۰ هرتز) در هر تکرار از آزمون انجام شد. هر آزمودنی تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا را برای ۳ تکرار با فاصله استراحت ۳۰ ثانیه انجام داد و میانگین ۳ تکرار برای تجزیه و تحلیل آماری در نظر گرفته شد. قبل از آزمون، هر شرکت‌کننده ۵ دقیقه رکاب زدن را با سرعتی که خود انتخاب می‌کرد و مقاومت کم به‌عنوان گرم کردن انجام داد.

جهت انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا مطابق با پروتکل ارائه شده توسط پادو و همکاران انجام شد [۳۴]. ابتدا افراد در وضعیت ایستاده با پاها به اندازه عرض شانه روی یک سکو با ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری قرار گرفتند. سپس از ورزشکاران خواسته شد حرکت پرش را تا جلوی محل علامت‌گذاری شده (در فاصله تقریباً برابر با نصف قد فرد) انجام داده و بلافاصله پس از فرود با دو پا یک پرش عمودی حداکثری را انجام دهند (تصویر شماره ۱). هر فرد ابتدا تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا را بدون ارائه بازخورد با حداکثر توان ممکن انجام داد (پیش‌آزمون). سپس در مرحله بعد شرکت‌کنندگان در رابطه با نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانوی خود، بازخورد خارجی (ویدیویی و کلامی) دریافت کرده و از آن‌ها خواسته شد با تمرکز بر اصلاح الگوی حرکتی با حداکثر توان ممکن پرش حداکثری را مجدد انجام دهند (پس‌آزمون).

به‌عنوان وضعیتی تعریف شد که فرد در وضعیت استاتیک دارای راستای اندام تحتانی نرمال با کشکک رو به جلو است، درحالی‌که در وضعیت دینامیک (تست پرش تاک)، ولگوس بیش‌ازحد زانو را نشان می‌دهند که به‌صورت مشاهده‌ای توسط متخصص حرکات اصلاحی مجرب ارزیابی شد [۳۲]. در این پژوهش ورزشکار تفریحی به‌عنوان فردی تعریف شد که حداقل ۳ بار در هفته به مدت حداقل ۳۰ دقیقه در فعالیت‌های ورزشی شرکت کند. معیارهای ورود به تحقیق: داشتن شاخص توده بدنی نرمال بین ۱۸ تا ۲۴، دامنه حرکتی نرمال دورسی فلکشن میچ پا حداقل ۲۰ درجه براساس تست حرکت لانچ با تحمل وزن [۳۳] و اداکشن و چرخش داخلی هیپ (ولگوس بیش‌ازحد زانو) در مرحله فرود که توسط متخصص ورزش اصلاحی مشاهده شد. معیارهای خروج از تحقیق: هرگونه آسیب اسکلتی‌عضلانی در ۲ ماه گذشته یا آسیب اندام تحتانی در ۶ ماه گذشته، جراحی اندام تحتانی یا شکستگی در ۱ سال گذشته و داشتن هرگونه شرایط عصبی و پاتولوژیک. قبل از انجام آزمون، تأییدیه اخلاقی توسط کمیته اخلاق دانشگاه علامه طباطبائی (IR.ATU.REC.1401.050) اخذ شد و کلیه شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه کتبی ارائه کردند.

روش اجرا

در مطالعه حاضر، شرکت‌کنندگان در ۱ نوبت به آزمایشگاه تحلیل حرکت ارجاع داده شدند و در ۱ جلسه تست ۱ ساعته را انجام دادند. از آن‌ها خواسته شد با لباس‌های ورزشی راحت و بدون کفش جهت پیشگیری از تأثیر تفاوت‌های کفش حاضر

6. Weight bearing lung test

میانی خارجی ساق پا، کندیل خارجی زانو، تروکانتر بزرگ، قسمت میانی خارجی فمور، خار خاصره قدامی فوقانی^۷، خار خاصره خلفی فوقانی^۸ در هر فرد نصب شد. علاوه بر این، برای به دست آوردن ارتفاع پرش براساس جابه‌جایی مرکز جرم آزمودنی، ۶ نشانگر آناتومیکی به پروگزیمال و دیستال جناغ سینه، هر دو آکرومیون، مهره هفتم گردنی و مهره دهم سینه‌ای متصل شد. پس از آن، از شرکت‌کنندگان خواسته شد تا در یک موقعیت مرجع استاتیک با پاهای موازی و به اندازه عرض شانه از هم بایستند تا یک آزمایش کالیبراسیون ایستا برای تعیین سیستم مختصات بخش آناتومیکی انجام دهند.

برای ثبت داده‌های کینماتیکی، از یک سیستم آنالیز حرکت سه‌بعدی ۱۰ دوربین (Vicon MX System؛ Oxford Metrics، UK) با نرخ نمونه‌برداری ۱۲۰ هر تریز جهت اندازه‌گیری میانگین زوایای مفصل هیپ، زانو، و مچ پا در هر سه صفحه حرکتی ساجیتال، فرونتال و ترنسورس حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا قبل و بعد از ارائه مداخله بازخورد بیرونی استفاده شد. میانگین زوایای هر سه مفصل در ۲ فاز حرکتی اکسنتریک (از لحظه تماس پا با صفحه نیرو تا حداکثر فلکشن زانو)، کانسنتریک (از حداکثر فلکشن زانو تا جدا شدن پا از صفحه نیرو) و در موقعیت حداکثر فلکشن زانو جهت تجزیه و تحلیل استفاده شد [۲۸-۴۰]. تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل مسیرهای مارکرها، پردازش سیگنال و به دست آوردن کینماتیک سه بعدی و ارتفاع پرش با استفاده از نرم‌افزار نکسوس نسخه ۲/۵ و متلب انجام شد.

آنالیز آماری

به منظور بررسی، تجزیه و تحلیل آماری داده‌های خام به دست آمده از تحقیق، از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. با توجه به نرمال بودن توزیع داده‌ها براساس آزمون آماری شاپیرو ویلک، از آزمون تی زوجی جهت بررسی اثر مداخله بازخورد بیرونی بر پارامترهای مورد ارزیابی استفاده شد. همچنین داده‌های خام حاصل از تحقیق در برنامه اکسل جمع‌بندی و با برنامه SPSS نسخه ۲۱ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سطح معناداری در تحقیق حاضر در سطح ۹۵ درصد با میزان آلفای کوچک‌تر و یا مساوی با ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج مطالعه حاضر حاکی از کاهش معنادار زاویه اداکشن هیپ در فاز اکسنتریک ($P=0/01$)، در فاز کانسنتریک ($P=0/01$) و در موقعیت حداکثر فلکشن زانو ($P=0/01$) و همچنین کاهش چرخش خارجی تیسیوفمورال در فاز اکسنتریک ($P=0/031$).

7. Anterior Superior Iliac Spine (ASIS)
8. Posterior Superior Iliac Spine (PSIS)

جهت ارائه مداخله بازخورد بیرونی، ابتدا شرکت‌کنندگان با استفاده از فیلم‌ها و تصاویر آموزشی از نقص حرکتی خود آگاه شدند. در مرحله بعد ابتدا محتوای ویدئویی آموزشی مرتبط با چگونگی اجرای استاندارد تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا توسط یک بازیکن نخبه به فرد نمایش داده شد. سپس نقص حرکتی خود ورزشکار حین انجام تکلیف حرکتی به واسطه فیلم ضبط‌شده از عملکرد خود او نمایش داده شد. پس از ۵ دقیقه آموزش اصلاحی و مانیتورینگ حرکت ورزشکار از او خواسته شد تا با تمرکز بر آموزش و دستورالعمل‌های داده‌شده، تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا را به درستی انجام دهند. ارائه راهبردهای اصلاحی مبتنی بر بازخورد بیرونی توسط متخصص ورزش انجام شد. دستورالعمل‌های اصلاحی جهت اصلاح نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو شامل این موارد بود: هنگام پرش و فرود زانوها خود را از هم باز نگه دارید و در تمام مراحل کشکک رو به جلو باشد و از نزدیک شدن آن‌ها به خط میانی بدن در هر دو مرحله فرود (فاز اکسنتریک) و پرش (فاز کانسنتریک) جلوگیری کنید، در حالی که تمام تلاش خود را در انجام حداکثر پرش عمودی انجام می‌دهید. به طور کلی مداخله بازخورد بیرونی، شامل ۲ بخش تماشای فیلم آموزشی و آموزش اصلاحی بود. فاصله زمانی بین آموزش به همراه دستورالعمل‌های اصلاحی و آزمون کمتر از ۱ دقیقه بود. در طول آزمون هیچ بازخورد دیگری به شرکت‌کنندگان داده نشد.

اندازه‌گیری شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده

شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده به عنوان ابزاری جهت اندازه‌گیری قدرت انفجاری اندام تحتانی برای ارزیابی عملکرد پرشی ورزشکاران استفاده می‌شود. در مطالعه حاضر شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده با تقسیم ارتفاع پرش عمودی بر زمان تیک‌آف از زمین محاسبه شد که نشان‌دهنده توانایی پرشی ورزشکار نسبت به مدت زمان نیروی اعمال‌شده یا زمان تیک‌آف است [۲۵]. ارتفاع پرش عمودی براساس جابه‌جایی مرکز جرم تعیین شد، که به عنوان یک نقطه فرضی که در آن تمام جرم بدن متمرکز است تعریف می‌شود. زمان تیک‌آف به عنوان مدت زمان نیرو - زمان بین شروع پرش و برخاستن (آستانه نیرو به عنوان ۵ درصد وزن بدن فرد با استفاده از نکسوس و نرم‌افزار متلب تعریف شد [۳۷-۳۵]. نشان داده شده است که شاخص قدرت واکنشی تعدیل‌شده یک معیار قابل اعتماد و معتبر [۳۵] و روشی عملی برای ارزیابی عملکرد انفجاری اندام تحتانی [۳] است.

اندازه‌گیری کینماتیک اندام تحتانی

قبل از انجام آزمون، جهت ارزیابی کینماتیک اندام تحتانی حین تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا، ۱۸ مارکر بازتابنده آناتومیکی با قطر ۱۵ میلی‌متر در هر دو پا به روش پلاگین گیت بر روی سر متاتارسال دوم، قوزک خارجی، پشت پاشنه پا، قسمت

حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا تأثیر می‌گذارد یا خیر. همان‌طور که انتظار می‌رفت، از منظر بیومکانیکی، نتایج مطالعه حاضر با بسیاری از مطالعات مشابه مبنی بر اثر آنی بازخوردهای بیرونی بر بهبود پارامترهای کینماتیکی اندام تحتانی حین تکالیف حرکتی مختلف مطابقت داشت [۱۶، ۳۸، ۴۱، ۴۲] و در واقع فرضیه تحقیق حاضر مبنی بر اثر آنی مداخلات بازخورد بیرونی بر بهبود کینماتیک اندام تحتانی تأیید می‌شود. با این حال باتوجه به توصیه کنترل ولگوس دینامیک زانو و افزایش فلکشن زانو در حین انجام تکالیف حرکتی پرش فرود به‌عنوان یک برنامه پیشگیری از آسیب [۱۲، ۱۳، ۱۸، ۱۹]. مطالعه حاضر به‌طور مستقل بیان می‌کند ارائه بازخورد بیرونی با بهبود الگوی حرکتی افراد حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا همراه است و از منظر بیومکانیکی به کاهش خطر آسیب‌های غیربرخوردی کمک می‌کند. علاوه بر کاهش اداکشن و چرخش داخلی هیپ، ما شاهد کاهش چرخش خارجی تیبیوفمورال در تمام مراحل تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا بعد از ارائه مداخله

کانستریک ($P=0/019$) و در موقعیت حداکثر فلکشن زانو ($P=0/037$) بعد از ارائه مداخله نسبت به قبل از مداخله بود. علاوه بر این، به‌طور معناداری افزایش فلکشن زانو در فاز اکستریک ($P=0/007$) و در موقعیت حداکثر فلکشن زانو ($P=0/017$) بعد از ارائه مداخله نسبت به قبل از مداخله مشاهده شد (جدول شماره ۱). در رابطه با عملکرد پرشی ورزشکاران، تفاوتی در میزان ارتفاع پرش عمودی بین قبل و بعد از ارائه مداخله فیدبک بیرونی وجود نداشت ($P=0/547$)، اما ارائه مداخله با افزایش زمان تیک‌آف ($P=0/039$) و متعاقباً کاهش عملکرد پرشی براساس شاخص قدرت واکنشی تعدیل شده ($P=0/011$) همراه بود (جدول شماره ۲).

بحث

هدف از مطالعه حاضر تعیین این بود که آیا اصلاح آنی نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو مبتنی بر ارائه بازخورد بیرونی به‌طور همزمان بر عملکرد پرشی ورزشکاران حین انجام تکلیف

جدول ۱. کینماتیک اندام تحتانی حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا قبل و بعد از ارائه مداخله بازخورد بیرونی

| P | میانگین \pm انحراف معیار | | متغیرها | |
|-------|----------------------------|-------------------|---------|-------------------|
| | بعد از مداخله | قبل از مداخله | | |
| 0/034 | 66/05 \pm 8/49 | 61/55 \pm 11/87 | ساجیتال | |
| 0/001 | -9/11 \pm 4/28 | -3/31 \pm 4/56 | فرونال | اکستریک |
| 0/130 | 6/82 \pm 17/38 | 8/37 \pm 15/62 | ترنسورس | |
| 0/001 | 55/86 \pm 13/94 | 49/24 \pm 13/19 | ساجیتال | |
| 0/001 | -7/70 \pm 4/60 | -2/83 \pm 4/99 | فرونال | کانستریک (۳) |
| 0/888 | 5/46 \pm 15/79 | 5/61 \pm 14/28 | ترنسورس | |
| 0/005 | 78/92 \pm 15/16 | 71/92 \pm 14/08 | ساجیتال | |
| 0/001 | -7/75 \pm 6/20 | -1/38 \pm 5/49 | فرونال | حداکثر فلکشن زانو |
| 0/693 | 7/95 \pm 18/09 | 7/29 \pm 16/15 | ترنسورس | |
| 0/222 | 64/69 \pm 10/95 | 62/09 \pm 8/96 | ساجیتال | |
| 0/333 | 11/19 \pm 14/83 | 12/35 \pm 13/13 | فرونال | اکستریک |
| 0/031 | 11/46 \pm 11/50 | 7/56 \pm 6/75 | ترنسورس | |
| 0/007 | 64/52 \pm 9/95 | 59/89 \pm 9/88 | ساجیتال | |
| 0/687 | 8/93 \pm 13/52 | 9/33 \pm 12/90 | فرونال | کانستریک (۴) |
| 0/019 | 12/82 \pm 12/31 | 8/33 \pm 9/28 | ترنسورس | |
| 0/017 | 92/42 \pm 11/66 | 86/81 \pm 10/07 | ساجیتال | |
| 0/955 | 10/52 \pm 17/35 | 10/42 \pm 16/63 | فرونال | حداکثر فلکشن زانو |
| 0/037 | 19/51 \pm 15/06 | 15/52 \pm 11/42 | ترنسورس | |

* سطح معناداری: $P \leq 0/05$

جدول ۲. پارامترهای مرتبط با عملکرد پرشی حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا قبل و بعد از ارائه مداخله بازخورد بیرونی

| P | میانگین \pm انحراف معیار | | متغیرها |
|--------|----------------------------|-----------------|----------------------------------|
| | بعد از مداخله | قبل از مداخله | |
| ۰/۰۳۹* | ۱/۱۷۲ \pm ۰/۲۷ | ۱/۲۳ \pm ۰/۵۳ | شاخص قدرت واکنشی تعدیل شده (m/s) |
| ۰/۵۳۷ | ۰/۲۷ \pm ۰/۰۶ | ۰/۴۸ \pm ۰/۰۵ | ارتفاع پرش (m) |
| ۰/۰۱۱* | ۰/۷ \pm ۰/۱۰ | ۰/۴۲ \pm ۰/۰۶ | زمان تیک آف (s) |

* سطح معناداری: $P \leq 0.05$

طب توانبخشی

مدنظر قرار دهند. علاوه بر این، ما فرض می‌کنیم این سازگاری‌های عصبی-عضلانی می‌تواند با بهبود عملکرد پرشی ورزشکاران [۴۶] مرتبط باشد و انتظار داریم نتایج متفاوتی نسبت به یافته‌های فعلی به دست آید. به‌طور قابل توجه سازگاری‌های عصبی-عضلانی به بهبود فراخوانی واحدهای حرکتی، فرکانس پالس‌های عصبی، هماهنگ‌سازی و هماهنگی بین‌عضلانی از طریق تمرینات پلائیومتریک پیوسته اشاره دارد [۴۷]. این فرضیه را می‌توان با دو مطالعه اخیر که به نقش سیستم عصبی-عضلانی در عملکرد پرشی ورزشکاران اشاره کرده‌اند تأیید کرد. در این مطالعات نشان داده شده است که شاخص قدرت واکنشی تعدیل شده در هنگام پرش متقابل و پرش عمودی با فرود خودانتخابی در مقایسه با فرود سخت (فرود با زانوهای صاف تا حد امکان) و نرم (فرود با زانو در ۶۰ تا ۹۰ درجه سانتی‌گراد) بیشتر بود [۷، ۲۵].

نتیجه‌گیری

به‌طور خلاصه، ما به بررسی تأثیر آنی بازخورد بیرونی بر کینماتیک اندام تحتانی و عملکرد پرشی براساس شاخص قدرت واکنشی در افراد با نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا پرداختیم. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد مداخله بازخورد بیرونی به‌صورت آنی نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو را بدون ایجاد اختلال در ارتفاع پرش ورزشکاران در حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا بهبود می‌بخشد، اما این با کاهش زمان تیک آف و متعاقباً با کاهش عملکرد پرشی بر مبنای شاخص قدرت واکنشی تعدیل شده بود. با وجود این به‌عنوان یک برنامه پیشگیری از آسیب‌های ورزشی مبتنی بر شواهد، اثربخشی بهبود نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو بر عملکرد پرش ورزشکاران باید در درازمدت به‌عنوان یک الگوی حرکتی جدید مورد بررسی قرار گیرد.

مطالعه حاضر دارای محدودیت‌هایی است که باید در نظر گرفته شوند: ابتدا این یک مطالعه مقطعی بود و آنالیز کینماتیکی انجام نشد. بنابراین اثرات تمرینی بلندمدت آن بررسی نشد و مشخص نیست چند جلسه برای ایجاد تغییرات دائمی در استراتژی‌های پرش فرود نیاز است و آیا انطباق عصبی-عضلانی به‌عنوان الگوهای حرکتی جدید روی این یافته‌ها تأثیر می‌گذارد یا خیر. از طرفی،

بودیم. ما تأثیر اصلاح آنی نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو را بر کینماتیک مفاصل اندام تحتانی ارزیابی نکردیم. بنابراین مطالعات آینده باید مکانیک داخلی مفاصل اندام تحتانی را جهت بهبود دقت و جامعیت بررسی تحقیق از طریق شبیه‌سازی محاسباتی بررسی کنند [۴۲، ۴۴].

در رابطه با عملکرد پرشی، نتایج مطالعه حاضر حاکی از افزایش زمان تیک آف در نتیجه کاهش شاخص قدرت واکنشی تعدیل شده بعد از ارائه مداخله بازخورد بیرونی بود، در حالی که هیچ تفاوتی در ارتفاع پرش بین قبل و بعد از ارائه مداخله مشاهده نشد. این افزایش زمان تیک آف پس از مداخله را می‌توان با داده‌های کینماتیکی توجیه کرد. نتایج مطالعه حاضر حاکی از افزایش حداکثر فلکشن زانو پس از ارائه مداخله بازخورد بیرونی بود که مطالعات مشابه نشان داده‌اند با زمان تیک آف همبستگی منفی دارد [۷، ۲۰]. اگرچه بعد از مداخله شاهد افزایش حداکثر فلکشن زانو بودیم، اما آزمودنی‌ها هیچ بازخوردی را در این زمینه دریافت نکرده بودند. بنابراین مشابه مطالعات قبلی، مداخله بازخورد بیرونی را می‌توان به‌عنوان یک برنامه پیشگیری از آسیب برای کنترل نقص حرکتی ولگوس دینامیک زانو حین انجام تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا در نظر گرفت، اما این کینماتیک بهبود یافته به‌طور همزمان با کاهش عملکرد پرشی ورزشکاران همراه بود. به نظر می‌رسد بهبود ولگوس دینامیک زانو با افزایش فلکشن زانو همراه است که زمان تیک آف را افزایش داده و متعاقباً عملکرد پرشی ورزشکاران را براساس شاخص قدرت واکنشی تعدیل شده کاهش می‌دهد. اگرچه به نظر ما افزایش زمان تیک آف نیز ممکن است به تمرکز افراد بر اصلاح الگوی حرکتی نسبت داده شود. از سوی دیگر، اگر واقع‌بینانه به مشکل نگاه کنیم، ورزشکاران به تکنیک جدید پرش حرکتی خود در محیط‌های واقعی مسابقه که تمرکز بر عملکرد پرشی است توجهی نمی‌کنند، بنابراین تکالیف حرکتی خود را با همان تکنیک قبلی انجام خواهند داد. مگر اینکه تکنیک حرکتی جدید به یک الگوی حرکتی تبدیل شود که برای آن نیاز به آموزش کافی دارند. تقریباً به ۴ تا ۸ هفته تمرین با توجه به فراوانی، تداوم و مدت مداخله ارائه شده جهت ایجاد سازگاری عصبی-عضلانی نیاز است [۴۵]. بنابراین منطقی به نظر می‌رسد که مربیان و متخصصان ورزشی برای بهبود و ایجاد الگوهای حرکتی جدید در ورزشکاران زمان تمرین را به‌ویژه در فصل مسابقات

تشکر و قدردانی

نویسندگان مایلند از همه شرکت کنندگان و کارکنان آزمایشگاه آنالیز حرکت برای همکاری در این مطالعه قدردانی کنند.

در مطالعه حاضر فقط از تکلیف حرکتی پرش و فرود عمودی دو پا استفاده شد و با توجه به تقاضا عملکردی متفاوت بین تکالیف حرکتی مختلف، ممکن است بررسی بیومکانیک اندام تحتانی و عملکرد پرشی در تکالیف حرکتی مختلف با نتایج متفاوتی همراه باشد، بنابراین بهتر است در بررسی‌های آینده در نظر گرفته شود. همچنین شرکت کنندگان در این مطالعه ورزشکاران مرد بودند، بنابراین این نتایج ممکن است برای همه قابل تعمیم نباشد. علاوه بر این، به خوبی ثابت شده است که زنان ورزشکار احتمال بیشتری برای آسیب‌های لیگامنت صلیبی قدامی دارند، بنابراین تفاوت‌های جنسیتی ممکن است نقش مهمی در الگوهای حرکتی مرتبط با پرش فرود داشته باشد. در نهایت پیشنهاد می‌شود مطالعه‌ای مشابه با مطالعه حاضر به بررسی اثر بلند مدت تمرینات باز خورد بیرونی بر اصلاح نقص‌های حرکتی عملکردی از جمله ولگوس دینامیک زانو و عملکرد پرشی افراد، به عنوان یک الگوی حرکتی جدید پردازد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق **دانشگاه علامه طباطبایی** در نظر گرفته شده است و کد اخلاق به شماره IR.ATU.REC.1401.050 دریافت شده است. شرکت کنندگان در مورد اهداف و روش‌های مطالعه مطلع شدند. آنها از محرمانه بودن اطلاعات خود اطمینان داشتند، آزادانه می‌توانستند مطالعه را ترک کنند و در صورت تمایل، نتایج تحقیق در اختیار آنها قرار می‌گرفت.

حامی مالی

این مقاله هیچ‌گونه کمک مالی از سازمان تأمین‌کننده مالی در بخش‌های عمومی و دولتی، تجاری، غیرانتفاعی دانشگاه یا مرکز تحقیقات دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند. هر نویسنده نسخه نهایی نسخه خطی را برای ارسال تایید کرد.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

References

- [1] Skazalski C, Whiteley R, Bahr R. High jump demands in professional volleyball-large variability exists between players and player positions. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2018; 28(11):2293-8. [DOI:10.1111/sms.13255] [PMID]
- [2] Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*. 2016; 46(10):1419-49. [DOI:10.1007/s40279-016-0486-0] [PMID]
- [3] Ebben WP, Petushek EJ. Using the reactive strength index modified to evaluate plyometric performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2010; 24(8):1983-7. [DOI:10.1519/JSC.0b013e3181e72466] [PMID]
- [4] Ruffieux J, Wälchli M, Kim KM, Taube W. Countermovement jump training is more effective than drop jump training in enhancing jump height in non-professional female volleyball players. *Frontiers in physiology*. 2020; 11:231. [DOI:10.3389/fphys.2020.00231] [PMID]
- [5] Berton R, Lixandrão ME, Pinto E Silva CM, Tricoli V. Effects of weightlifting exercise, traditional resistance and plyometric training on countermovement jump performance: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*. 2018; 36(18):2038-44. [DOI:10.1080/02640414.2018.1434746] [PMID]
- [6] Beyer EB, Hale RF, Hellem AR, Mumbleau AM, Schilaty ND, Hewett TE. Inter and intra-rater reliability of the drop vertical jump (DVJ) assessment. *International Journal of Sports Physical Therapy*. 2020; 15(5):770-5. [DOI:10.26603/ijsp20200770] [PMID]
- [7] Guy-Cherry D, Alanazi A, Miller L, Staloch D, Ortiz-Rodriguez A. Landing styles influences reactive strength index without increasing risk for injury. *Sports Medicine International Open*. 2018; 2(2):E35-40. [DOI:10.1055/a-0608-4280] [PMID]
- [8] Peel SA, Schroeder LE, Weinhandl JT. Lower extremity muscle contributions to ACL loading during a stop-jump task. *Journal of Biomechanics*. 2021; 121:110426. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2021.110426] [PMID]
- [9] Stroube BW, Myer GD, Brent JL, Ford KR, Heidt RS Jr, Hewett TE. Effects of task-specific augmented feedback on deficit modification during performance of the tuck-jump exercise. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2013; 22(1):7-18. [DOI:10.1123/jsr.22.1.7] [PMID]
- [10] Collings TJ, Diamond LE, Barrett RS, Timmins RG, Hickey JT, DU Moulin WS, et al. Strength and biomechanical risk factors for noncontact ACL injury in elite female footballers: A prospective study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2022; 54(8):1242-51. [DOI:10.1249/MSS.0000000000002908] [PMID]
- [11] Larwa J, Stoy C, Chafetz RS, Boniello M, Franklin C. Stiff landings, core stability, and dynamic knee valgus: A systematic review on documented anterior cruciate ligament ruptures in male and female athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(7):3826. [DOI:10.3390/ijerph18073826] [PMID]
- [12] Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Heidt RS Jr, 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. *The American Journal of Sports Medicine*. 2005; 33(4):492-501. [DOI:10.1177/0363546504269591] [PMID]
- [13] Fagenbaum R, Darling WG. Jump landing strategies in male and female college athletes and the implications of such strategies for anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*. 2003; 31(2):233-40. [DOI:10.1177/03635465030310021301] [PMID]
- [14] Fain AC, Seymore KD, Lobb NJ, Brown TN. Lower-limb biomechanics differ between sexes during maximal loaded countermovement jumps. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2021; 35(2):325-31. [DOI:10.1519/JSC.0000000000003889] [PMID]
- [15] Xiang L, Mei Q, Xu D, Fernandez J, Gu Y. Multi-segmental motion in foot during counter-movement jump with toe manipulation. *Applied Sciences*. 2020; 10(5):1893. [DOI:10.3390/app10051893]
- [16] Marshall AN, Hertel J, Hart JM, Russell S, Saliba SA. Visual biofeedback and changes in lower extremity kinematics in individuals with medial knee displacement. *Journal of Athletic Training*. 2020;55(3):255-64. [DOI:10.4085/1062-6050-383-18] [PMID]
- [17] Onate JA, Guskiewicz KM, Sullivan RJ. Augmented feedback reduces jump landing forces. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 2001; 31(9):511-7. [DOI:10.2519/jospt.2001.31.9.511] [PMID]
- [18] Dai B, Garrett WE, Gross MT, Padua DA, Queen RM, Yu B. The effects of 2 landing techniques on knee kinematics, kinetics, and performance during stop-jump and side-cutting tasks. *The American Journal of Sports Medicine*. 2015; 43(2):466-74. [DOI:10.1177/0363546514555322] [PMID]
- [19] Brown DW, Taylor KA, Utturkar GM, Spritzer CE, Queen RM, Garrett WE, et al. Modification of in vivo ACL strain patterns during jump landing through verbal instruction. Paper presented at: Orthopaedic Research Society 2012 Annual Meeting. 2012. [Link]
- [20] Moran KA, Wallace ES. Eccentric loading and range of knee joint motion effects on performance enhancement in vertical jumping. *Human Movement Science*. 2007; 26(6):824-40. [DOI:10.1016/j.humov.2007.05.001] [PMID]
- [21] McKay CD, Merrett CK, Emery CA. Predictors of FIFA 11+ implementation intention in female adolescent soccer: an application of the health action process approach (HAPA) model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016; 13(7):657. [DOI:10.3390/ijerph13070657] [PMID]
- [22] McKay CD, Steffen K, Romiti M, Finch CF, Emery CA. The effect of coach and player injury knowledge, attitudes and beliefs on adherence to the FIFA 11+ programme in female youth soccer. *British Journal of Sports Medicine*. 2014; 48(17):1281-6. [DOI:10.1136/bjsports-2014-093543] [PMID]

- [23] Steffen K, Bakka HM, Myklebust G, Bahr R. Performance aspects of an injury prevention program: A ten-week intervention in adolescent female football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2008; 18(5):596-604. [DOI:10.1111/j.1600-0838.2007.00708.x] [PMID]
- [24] Vescovi JD, VanHeest JL. Effects of an anterior cruciate ligament injury prevention program on performance in adolescent female soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2010; 20(3):394-402. [DOI:10.1111/j.1600-0838.2009.00963.x] [PMID]
- [25] Pérez-Castilla A, Weakley J, García-Pinillos F, Rojas FJ, García-Ramos A. Influence of countermovement depth on the countermovement jump-derived reactive strength index modified. *European Journal of Sport Science*. 2021; 21(12):1606-16. [DOI:10.1080/17461391.2020.1845815] [PMID]
- [26] Gao ZX, Song Y, Yu PM, Zhang Y, Li SD. Acute effects of different stretching techniques on lower limb kinematics, kinetics and muscle activities during vertical jump. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*. 2019; 40:1-5. [DOI:10.4028/www.scientific.net/JBBBE.40.1]
- [27] Song Y, Zhao XX, Finnie KP, Shao SR. Biomechanical analysis of vertical jump performance in well-trained young group before and after passive static stretching of knee flexors muscles. *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*. 2018; 36:24-33. [DOI:10.4028/www.scientific.net/JBBBE.36.24]
- [28] Power K, Behm D, Cahill F, Carroll M, Young W. An acute bout of static stretching: Effects on force and jumping performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004; 36(8):1389-96. [DOI:10.1249/01.MSS.0000135775.51937.53] [PMID]
- [29] Leukel C, Gollhofer A. Applying augmented feedback in basketball training facilitates improvements in jumping performance. *European Journal of Sport Science*. 2023; 23(3):338-44. [DOI:10.1080/17461391.2022.2041732] [PMID]
- [30] Leukel C, Karoß S, Gräßlin F, Nicolaus J, Gollhofer A. Do primary school children benefit from drop-jump training with different schedules of augmented feedback about the jump height? *Sports*. 2022; 10(9):133. [DOI:10.3390/sports10090133] [PMID]
- [31] Keller M, Lauber B, Gottschalk M, Taube W. Enhanced jump performance when providing augmented feedback compared to an external or internal focus of attention. *Journal of Sports Sciences*. 2015; 33(10):1067-75. [DOI:10.1080/02640414.2014.984241] [PMID]
- [32] Heydarian M, Babakhani F, Hatefi M, Balouchi R, Mohammadian M. Effects of a band loop on muscle activity and dynamic Knee valgus during pedaling. *Gait & Posture*. 2020; 82:301-5. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2020.09.021] [PMID]
- [33] Lima YL, Ferreira VMLM, de Paula Lima PO, Bezerra MA, de Oliveira RR, Almeida GPL. The association of ankle dorsiflexion and dynamic knee valgus: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*. 2018; 29:61-9. [DOI:10.1016/j.ptsp.2017.07.003] [PMID]
- [34] McNair PJ, Prapavessis H, Callender K. Decreasing landing forces: Effect of instruction. *British Journal of Sports Medicine*. 2000; 34(4):293-6. [DOI:10.1136/bjism.34.4.293] [PMID]
- [35] Suchomel TJ, Bailey CA, Sole CJ, Grazer JL, Beckham GK. Using reactive strength index-modified as an explosive performance measurement tool in Division I athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2015; 29(4):899-904. [DOI:10.1519/JSC.0000000000000743] [PMID]
- [36] Kipp K, Kiely MT, Giordanelli MD, Malloy PJ, Geiser CF. Biomechanical determinants of the reactive strength index during drop jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018; 13(1):44-9. [DOI:10.1123/ijsp.2017-0021] [PMID]
- [37] Beckham GK, Suchomel TJ, Sole CJ, Bailey CA, Grazer JL, Kim SB, et al. Influence of sex and maximum strength on reactive strength index-modified. *Journal of Sports Science & Medicine*. 2019; 18(1):65-72. [PMID]
- [38] Ford KR, DiCesare CA, Myer GD, Hewett TE. Real-time biofeedback to target risk of anterior cruciate ligament injury: A technical report for injury prevention and rehabilitation. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2015; 24(2):2013-0138. [DOI:10.1123/jsr.2013-0138] [PMID]
- [39] Loewen AM, Erdman A, Tulchin-Francis K, Ulman S, Group PrMARI. Differences in lower extremity kinematics based on drop vertical jump task variations. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2022; 10(5_suppl2):2325967121500492. [DOI:10.1177/2325967121500492]
- [40] Yu B, McClure SB, Onate JA, Guskiewicz KM, Kirkendall DT, Garrett WE. Age and gender effects on lower extremity kinematics of youth soccer players in a stop-jump task. *The American Journal of Sports Medicine*. 2005; 33(9):1356-64. [DOI:10.1177/0363546504273049] [PMID]
- [41] Myer GD, Stroube BW, DiCesare CA, Brent JL, Ford KR, Heidt RS Jr, et al. Augmented feedback supports skill transfer and reduces high-risk injury landing mechanics: A double-blind, randomized controlled laboratory study. *The American Journal of Sports Medicine*. 2013; 41(3):669-77. [DOI:10.1177/0363546512472977] [PMID]
- [42] Neilson V, Ward S, Hume P, Lewis G, McDaid A. Effects of augmented feedback on training jump landing tasks for ACL injury prevention: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*. 2019; 39:126-35. [DOI:10.1016/j.ptsp.2019.07.004] [PMID]
- [43] Halonen KS, Mononen ME, Jurvelin JS, Töyräs J, Salo J, Korhonen RK. Deformation of articular cartilage during static loading of a knee joint-experimental and finite element analysis. *Journal of Biomechanics*. 2014; 47(10):2467-74. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2014.04.013] [PMID]
- [44] Song Y, Cen X, Chen H, Sun D, Munivra G, Bálint K, et al. The influence of running shoe with different carbon-fiber plate designs on internal foot mechanics: A pilot computational analysis. *Journal of Biomechanics*. 2023; 153:111597. [DOI:10.1016/j.jbiomech.2023.111597] [PMID]

- [45] Bougie TL. Movement system impairment syndromes of the extremities, cervical and thoracic spines| Movement system impairment syndromes of the extremities, cervical and thoracic spines, Shirley Sahrmann. Mosby: Elsevier; 2011. [\[Link\]](#)
- [46] Taube W, Leukel C, Lauber B, Gollhofer A. The drop height determines neuromuscular adaptations and changes in jump performance in stretch-shortening cycle training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2012; 22(5):671-83. [\[DOI:10.1111/j.1600-0838.2011.01293.x\]](#) [\[PMID\]](#)
- [47] Hammami M, Gaamouri N, Shephard RJ, Chelly MS. Effects of contrast strength vs. plyometric training on lower-limb explosive performance, ability to change direction and neuromuscular adaptation in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2019; 33(8):2094-103. [\[DOI:10.1519/JSC.0000000000002425\]](#) [\[PMID\]](#)

This Page Intentionally Left Blank