

Research Paper

Comparing the Knee Joint Kinematic Parameters of Female Athletes During Sidestep Cutting Task Before and After Fatigue in Predictable and Unpredictable Settings

*Elham Hosseini¹ , Abdolhamid Daneshjoo¹ , Mansour Sahebozamani¹

1. Department of Sports Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sports Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.



Citation: Hosseini E, Daneshjoo A, Sahebozamani M. [Comparing the Knee Joint Kinematic Parameters of Female Athletes During Sidestep Cutting Task Before and After Fatigue in Predictable and Unpredictable Settings (Persian)]. Journal of Sport Biomechanics. 2019; 5(3):178-187. <https://doi.org/10.32598/biomechanics.5.3.5>

<https://doi.org/10.32598/biomechanics.5.3.5>



Article Info:

Received: 01 Feb 2019

Accepted: 18 Sep 2019

Available Online: 01 Dec 2019

Key words:

Kinematics, Knee injuries, Knee flexion, Knee valgus.

ABSTRACT

Objective Anterior cruciate ligament injury is often non-traumatic and occurs in landing and cutting following an incorrect knee joint alignment. The present study aimed to compare the knee joint kinematic parameters of adolescent female athletes during sidestep cutting maneuver before and after fatigue in predictable and unpredictable settings.

Methods This is a quasi-experimental study conducted in the summer 2019. The study population consists of all adolescent female athletes in Kerman, Iran. Of these, 49 athletes were selected using purposive and convenience sampling methods. Each subject first ran a distance (10 m) and then made a vertical jump towards the ball at the specified location. Afterwards, she ran to the cutting location (a 3-m distance) and performed sidestep cutting at the specified angle, predictably or unpredictably, before and after fatigue. Kinematic data were recorded at a sampling rate of 200 HZ, and then analyzed in MATLAB and SPSS software using mixed repeated measures ANOVA at the significant level of $P < 0.05$.

Results Statistical analysis results showed that sidestep cutting maneuver after fatigue, despite a significant decrease in knee flexion ($P = 0.001$), significantly increased the knee valgus ($P = 0.001$) and tibia rotation ($P = 0.001$) angles.

Conclusion There is an increased risk of injury due to changes in kinematic parameters caused by fatigue and unpredictable cutting maneuvers.

Extended Abstract

1. Introduction

Given the increasing number of athletes in the world in a variety of sports, as well as the increasing prevalence of sports injuries, it is more important to carefully examine the conditions that athletes face during training and competitions, and can increase the risk of injury in them.

Despite advances in prevention, injuries such as Anterior Cruciate Ligament (ACL) injury and its negative consequences are still on the rise among athletes. Such injuries are non-traumatic and, therefore, kinematic parameters during exercise maneuvers, especially in unpredictable conditions and fatigue, can be considered as important risk factors and can expose athletes to ACL injury.

Women are more vulnerable than men and adolescents more than adults, and the dangerous conditions mentioned

* Corresponding Author:

Elham Hosseini

Address: Department of Sports Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sports Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.

Tel: +98 (913) 9382891

E-mail: hosseinelham7400@sport.uk.ac.ir

above have different effects on these sex and age groups for different reasons. Numerous studies have also shown that after ACL injury, there are countless consequences for the person and often lead to the end of the injured person's athletic career. These factors indicate the importance of further research to develop appropriate injury prevention programs at critical ages such as adolescence.

However, little research has focused on girls in this age group. Moreover, despite the fact that athletes face all these factors during training and competition, no research was found that has examined the effect of conditions such as fatigue along with the unpredictability of sports skills in these gender and age groups. Therefore, the aim of this study was to compare the kinematic parameters of the knee joint before and after functional fatigue during lateral movements (sidestep cutting) in predictable and unpredictable settings in adolescent female athletes.

2. Methods

The is a quasi-experimental study conducted in Laboratory of Physical Education of Sports Sciences Faculty at Shahid Bahonar University in Kerman, Iran in summer 2019. The study population consisted of all adolescent female athletes in Kerman. The sample size was determined 49 using the GPower program and considering the statistical power of 0.9 and a significance level of 0.05. In this regard, 49 samples (mean age: 14.691±0.146 years, mean BMI=49.058±1.226 kg/m², mean height=1.618±0.008) were selected using purposive and convenience sampling methods. All subjects ranged in age from 13 to 16 years, and had at least 3 years of regular exercise (3 sessions per week) and a normal BMI.

Those who had a history of lower limb injury or surgery in the past 6 months, or had participated in an ACL injury prevention program or had heavy physical activities 24 hours

before the testing were excluded from the study. After holding a briefing session and completing the individual forms, the assessments were performed in two different days. On the first day, clinical measurements (height and weight) were performed, and functional tests (speed, jump and agility) and knee joint kinematics measurement during sidestep cutting maneuver were carried out on the second day. In order to record the three-dimensional kinematics of subjects, markers were used on the lower limbs in three dimensions. Participants were then asked to perform a sidestep cutting movement in predictable setting (towards the dominant leg) and unpredictable setting (recognizing the direction of movement using the flashing light).

For the sidestep cutting maneuver, first the subject was asked to run the specified distance of 10 meters with her maximum speed and then make a vertical jump towards the ball that was adjusted according to her vertical jump height. After landing, she ran a distance of 3 meters again and performed sidestep cutting at the specified angle (40 degrees). Eventually, subjects reached exhaustion using the Bruce protocol, and reported their fatigue according to the Borg scale. The kinematic parameters during sidestep cutting maneuver were recorded by a 6-camera optical motion analysis system at a sampling frequency of 200 Hz. Collected data were analyzed in MATLAB and SPSS. The Mixed Repeated Measure test was used to determine the differences in kinematic parameters between and within groups. One-way ANOVA test was used to eliminate the effect of interfering factors such as agility and speed. With non-significant difference in these factors, the homogeneity of study groups was confirmed.

3. Results

According to the mixed repeated measure ANOVA results, the change in kinematic factors such as knee flexion (P=0.001), knee valgus (P=0.001) and tibia rotation

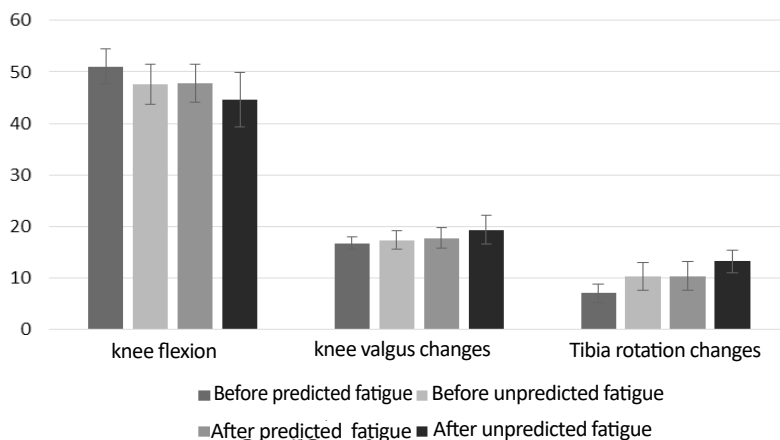


Figure 1. Changes in kinematic parameters under different fatigue conditions

($P=0.001$) before and after fatigue and also during predictable and unpredictable cutting maneuvers were significantly different (Figure 1).

4. Discussion

Despite little research in the field of three-dimensional kinematics, there were some studies whose were in agreement or disagreement with the present study, indicating that the kinematic parameters of the knee joint are related to each other. Most studies have shown a decrease in knee flexion, and an increase in knee valgus and tibia rotation. All studies have shown that these changes can increase the pressure on the knee joint, especially the ACL, and ultimately increase the amount of injury. Overall, it was concluded that performing unpredictable cutting maneuvers, especially in time of fatigue, is associated with a high risk of injury in adolescent female athletes. This highlights the importance of creating the right training methods, training programs and proper injury prevention.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

All ethical principles were considered in this article. The participants were informed about the purpose of the research and its implementation stages; they were also assured about the confidentiality of their information; Moreover, They were allowed to leave the study whenever they wish, and if desired, the results of the research would be available to them. This study was approved by the Ethics Committee of Shahid Bahonar University of Kerman (Code: IR.UK.VET-MED.REC.1398.022).

Funding

The present paper was extracted from the MSc. thesis of the first author, Department of Sports Injuries and Corrective Exercises, Faculty of Sports Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman.

Authors' contributions

Conceptualization, Methodology, Supervision: All authors; Investigation, Writing original draft, Funding acquisition, Resources: Elham Hosseini; Writing-review and editing: Abdolhamid Daneshjoo, Mansour Sahebozaman.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors would like to thank Saeed Mollahosseini and Milad Fallahzadeh for their cooperation in the research process.

مقایسه پارامترهای کینماتیکی مفصل زانو قبل و بعد از خستگی حین برش جانبی با و بدون پیش بینی در ورزشکاران دختر

*الهام حسینی^۱، عبدالحمید دانشجو^۱، منصور صاحب‌الزمانی^۱

۱. گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه شهید باهنر، کرمان، ایران.

حکیده

هدف: آسیب رباط متقاطع قدامی اغلب از نوع غیربرخوردی است و حرکات فرود و برش به دنبال تغییر موقعیت ناصحیح مفصل زانو رخ می‌دهد؛ لذا تحقیق حاضر به مقایسه کینماتیکی مانور برش قبل و بعد از خستگی در برش پیش‌بینی‌شده و غیرقابل پیش‌بینی پرداخته است.

روش‌ها: مطالعه حاضر از نوع نیمه‌تجربی است. تمامی ورزشکاران دختر نوجوان شهرستان کرمان جامعه آماری تحقیق حاضر را تشکیل دادند. بدین منظور، ۴۹ ورزشکار به صورت هدفمند و در دسترس انتخاب شدند. هر آزمودنی مسافت (۱۰ متر) را می‌دوید و در محل مشخص شده یک پرش عمودی به سمت توپ انجام می‌داد، سپس به سمت محل برش می‌رفت و در زاویه مشخص شده با ترتیب تصادفی، به صورت پیش‌بینی شده یا غیرقابل پیش‌بینی مانور برش جانبی را قبل و بعد از خستگی اجرا می‌کرد. داده‌های کینماتیکی با نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ هرتز ثبت شده و در نهایت با استفاده از نرم‌افزار Matlab و SPSS توسط آزمون آماری سنجش مکرر ترکیبی با سطح معنی‌داری ($P < 0.05$) پردازش شدند.

یافته‌ها: آزمون سنجش مکرر ترکیبی نشان داد که در شرایط خستگی علی‌رغم کاهش معنادار در میزان فلکشن زانو ($P = 0.001$)، افزایش معناداری در میزان والگوس زانو ($P = 0.001$) و چرخش ساق پا ($P = 0.001$) مشاهده می‌شود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از افزایش احتمال آسیب به دنبال تغییرات پارامترهای کینماتیکی است که در اثر خستگی و مانورهای غیرقابل پیش‌بینی ایجاد شده است.

اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۲ بهمن ۱۳۹۷

تاریخ پذیرش: ۲۷ شهریور ۱۳۹۸

تاریخ انتشار: ۱۰ آذر ۱۳۹۸

کلیدواژه‌ها:

کینماتیک، آسیب زانو، فلکشن زانو، والگوس زانو

مقدمه

و عملکرد حس عمقی و در نهایت اختلال در پایداری مفصل تحت تأثیر خستگی هستند. به دنبال این اثرات، خستگی از فاکتورهای اصلی افزایش نرخ آسیب در اندام تحتانی به‌ویژه در مفصل زانو به شمار می‌آید [۳].

پارگی رباط متقاطع قدامی، یکی از عمومی‌ترین آسیب‌های مفصل زانو مرتبط با فعالیت‌های ورزشی است. یافته‌ها حاکی از آن است که حدود ۷۵ درصد آسیب‌های رباط متقاطع قدامی از نوع غیربرخوردی است؛ بنابراین ریسک فاکتورهای بیومکانیکی نقش مهمی در بروز این آسیب ایفا می‌کند. برای مثال، مانور برش جانبی به عنوان یک عمل کلیدی مهم در ارتباط با آسیب غیربرخوردی رباط متقاطع قدامی در ورزشکاران زن شناسایی شده است و زنان ۲ تا ۱۰ برابر بیشتر از مردان در معرض آسیب‌دیدگی قرار دارند [۴]. از مشخصه‌های این مانور، اهمیت بالای سرعت در اجرای تکنیک و تغییر مسیر ناگهانی است که وقوع ناگهانی دو عامل ذکر شده این مانور را برای بروز آسیب رباط صلیبی قدامی خطرآفرین می‌سازد [۵]؛ همچنین

از آنجا که ورزشکاران در شرایط پیچیده و متغیر بازی به طور مداوم مجبور به اتخاذ تصمیمات دقیق و سریع هستند، توانایی پیش‌بینی و عکس‌العمل از نیازهای اساس آنان برای موفقیت به شمار می‌رود؛ همچنین مطالعات نشان داده‌اند که شرکت در تمرین‌ها و مسابقات ورزشی و رقابتی می‌تواند باعث بهتر شدن مهارت پیش‌بینی و تصمیم‌گیری ورزشکاران شود [۱]. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که در طول یک برش جانبی برنامه‌ریزی نشده، بارهای وارده بر مفصل زانو نسبت به آن‌هایی که در طول مانور برنامه‌ریزی شده اعمال می‌شوند، بزرگ‌ترند و ممکن است منجر به آسیب در این ناحیه شوند [۲].

عامل دیگری که می‌تواند عملکرد ورزشکار را تحت تأثیر قرار دهد، خستگی است. در این زمینه محققان نشان داده‌اند که متغیرهای بیومکانیکی، کینماتیکی و کینتیکی اندام تحتانی، عوامل عصبی - عضلانی مانند هم‌انقباضی و فعالیت رفلکسی

* نویسنده مسئول:

الهام حسینی

نشانی: کرمان، دانشگاه شهید باهنر، دانشکده تربیت‌بدنی و علوم ورزشی، گروه آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی.

تلفن: ۹۳۸۲۸۹۱ (۹۱۳) ۰۹۸

پست الکترونیکی: hosseinelham7400@sport.uk.ac.ir

و یا ۲۴ ساعت قبل از انجام تست فعالیت شدید بدنی داشتند، به دلیل داشتن معیارهای خروج از تحقیق خارج شدند.

قبل از انجام تحقیق، اهمیت، روش کار و اجرای آزمون به شکل صحیح در یک جلسه توجیهی برای آزمودنی‌ها شرح داده شد. سپس فرم تکمیل شده رضایت‌نامه برای شرکت در طرح و پرسش‌نامه پزشکی آزمودنی‌ها جمع‌آوری شد. آزمودنی‌ها در دو روز متفاوت که حداقل ۲۴ ساعت از فعالیت بدنی‌شان گذشته بود، طبق زمان‌بندی محقق در محل آزمایشگاه حضور یافتند که روز اول به معاینات بالینی (اندازه‌گیری وزن و قد) و روز دوم به انجام نشانه‌گذاری، پروتکل گرم کردن (۱۰ دقیقه دوی نرم، حرکات کششی و قدرتی اختصاصی اندام تحتانی) و انجام پروتکل مانور برش جانبی و نمونه‌برداری کینماتیکی اختصاص داده شد.

در حین انجام مراحل تست‌گیری سعی شد که شرایط قابل کنترل از جمله روشنایی، دما، سروصدا و مراحل تست‌گیری برای تمامی آزمودنی‌ها یکسان باشد تا فقط تأثیر متغیرهای مستقل اندازه‌گیری شود. پای غیربرتر (تکیه‌گاه) آزمودنی‌ها از طریق شوت به دورترین نقطه و ثابت شدن پای غیربرتر مشخص شد. قابل ذکر است که این آزمون طبق بررسی‌های اشنایدر و همکاران از روایی و پایایی قابل قبولی برخوردار است (۰/۷۷، ICC=۰/۸۳) [۱۰]. تحقیقات پیشین ثابت کرده‌اند که در مرحله پیش رفتن در حرکت تغییر جهت، بدن در جهت مخالف حرکت شتاب می‌گیرد و پای غیربرتر با کاهش میزان خم شدن [۱۱] و همچنین افزایش الگوس و چرخش داخلی درشت‌نی بیشتر نسبت به پای برتر مواجه می‌شود [۱۲]؛ بنابراین احتمال آسیب در پای غیربرتر بیشتر است و به همین علت در تحقیق حاضر پس از تعیین پای غیربرتر (پای تکیه‌گاه) داده‌های کینماتیکی پای غیربرتر بررسی شد.

در ادامه برای ارزیابی شاخص‌های کینماتیکی فلکشن، والگوس و چرخش ساق پا از آزمودنی‌ها خواسته شد که برای جلوگیری از حرکت نشانگرها با حداقل لباس تست را انجام دهند. نشانه‌گذاری به صورت دستی و روی هر دو اندام به شیوه سه‌بعدی انجام شد، بدین صورت که روی هر یک از اندام‌های ساق و ران سه عدد مارکر (شش عدد برای هر پا) و دو مارکر در دو طرف خط مفصلی هر زانو (مجموعاً ۱۶ مارکر) به صورت هم‌راستا در سطح خارجی پا نصب شد؛ همچنین مارکرها به وسیله چسب دو طرفه و کش روی بدن آزمودنی‌ها ثابت شدند تا از جابه‌جایی مارکرها پیشگیری شود [۱۴، ۱۳]. سپس آزمودنی‌ها در مسیر تعیین شده با حداکثر سرعت خود، مانور برش صحیح را به صورت قابل پیش‌بینی (سمت پای برتر) و غیرقابل پیش‌بینی (سمت حرکت با چراغ) هر کدام سه مرتبه و با ترتیب تصادفی (به گونه‌ای که تعدادی از آزمودنی‌ها ابتدا مانور پیش‌بینی شده و تعداد دیگر ابتدا مانور غیرقابل پیش‌بینی) اجرا کردند و حرکات آنان ضبط و آنالیز شد. نحوه انجام مانور برش بدین صورت بود که فرد مسافت

در تحقیقات ذکر شده است که حرکت برش جانبی اجرا شده در سایر رشته‌های ورزشی با حرکت برش جانبی اجرا شده در شرایط آزمایشگاهی کاملاً متفاوت است و اجرای برش در شرایط ورزشی با حضور عوامل غیرقابل پیش‌بینی مانند جهت توپ یا پاس و حتی حضور مدافع می‌تواند تغییرات کینماتیکی بیشتری را به دنبال داشته باشد [۶].

در این زمینه یام و همکاران نشان دادند که مانور برش همراه با جهت غیرقابل پیش‌بینی منجر به الگوهای خطرزا در ورزشکاران می‌شود [۷]. وایر و همکاران نیز ثابت کردند که زنان بیشتر از مردان در معرض الگوهای خطرزای آسیب رباط متقاطع قدامی در طی حرکت تغییر جهت قرار می‌گیرند [۸]. همچنین بورمان و همکاران نشان دادند که خستگی می‌تواند اثرات مخربی بر تغییرات کینماتیکی مفصل زانو در طی مانور برش غیرقابل پیش‌بینی داشته باشد [۹]. همان‌طور که گفته شد پیشگیری از آسیب‌های اندام تحتانی به خصوص آسیب رباط متقاطع قدامی در رشته‌های ورزشی مختلف، به شناخت عوامل خطرزای احتمالی و مشخص شدن روش‌های پیشگیری از آن‌ها وابسته است؛ بنابراین مکانیسم‌های خطرزا و ریسک فاکتورهایی مانند خستگی و همچنین باز بودن و غیرقابل پیش‌بینی بودن مهارت‌های ورزشی احتمالاً می‌تواند در تغییر پارامترهای کینماتیکی اندام تحتانی و بروز آسیب رباط متقاطع قدامی نقش مهمی را ایفا کند. درنهایت با توجه به اینکه مطالعه‌ای با هدف بررسی کینماتیک سه‌بعدی زانو حین انجام مانور برش در شرایط نزدیک به رشته‌های ورزشی همراه با ایجاد فاکتورهای ایجادشده در حین ورزش یافت نشد، هدف از انجام مطالعه حاضر، مقایسه کینماتیک سه‌بعدی مانور برش در شرایط پیش‌بینی شده و غیرقابل پیش‌بینی در زمان قبل و بعد از خستگی، برای شناخت هرچه بهتر شاخص‌های کینماتیکی در وضعیت‌های خطرزا بود.

روش‌شناسی

این پژوهش نیمه‌تجربی در آزمایشگاه دانشکده علوم ورزشی دانشگاه شهید باهنر کرمان در تیر سال ۱۳۹۸ انجام شد. تمامی ورزشکاران نوجوان دختر شهرستان کرمان جامعه آماری پژوهش را تشکیل دادند. حجم نمونه در تحقیق حاضر، با استفاده از نرم‌افزار جی پاور و بر اساس روش آماری، با توان آماری ۰/۹ و سطح معنی‌داری ۰/۰۵ تعیین شد. بدین منظور ۴۹ نفر از ورزشکاران دختر نوجوان (شامل ۱۲ بازیکن هندبال، ۱۲ بازیکن بسکتبال، ۱۲ بازیکن بدمینتون و ۱۳ بازیکن تنیس روی میز) انتخاب شدند. داشتن حداقل ۳ سال سابقه تمرینات منظم ورزشی (سه جلسه تمرین در هفته)، دامنه سنی ۱۳ الی ۱۶ سال، BMI نرمال و عدم هرگونه سابقه آسیب و جراحی اندام تحتانی در ۶ ماه گذشته از جمله معیارهای ورود به تحقیق در نظر گرفته شد. همچنین افرادی که طی ۶ ماه گذشته سابقه آسیب و جراحی اندام تحتانی داشتند یا در برنامه‌های پیشگیری از آسیب ACL شرکت داشتند

شدن رنگ آبی، مانور برش به سمت راست را اجرا می‌کرد، [۹] [تصویر شماره ۲]. قابل ذکر است که طبق بررسی‌های ماک و همکاران تست برش جانبی در تعیین پارامترهای کینماتیکی اندام تحتانی و به‌خصوص زانو از روایی و پایایی بالایی برخوردار است [۶].

در مرحله بعد، آزمودنی با اجرای آزمون زیربیشینه بروس با استفاده از ترمیمیل h/p/cosmos-mercury (مدل cos ۱۰۱۹۸، ساخت آمریکا) و با اعلام درجه حداکثر شدت فعالیت طبق مقیاس بورگ به حداکثر میزان خستگی رسید و در نهایت پس از اتمام پروتکل بروس، مجدداً مانور برش قابل پیش‌بینی و غیرقابل پیش‌بینی را اجرا کرد. پروتکل زیربیشینه بروس برای ارزیابی میزان خستگی (لاکتات خون) از روایی و پایایی بسیار بالایی برخوردار است و در اکثر تحقیقات به عنوان استاندارد از آن استفاده می‌شود [۱۷]؛ همچنین بررسی‌های چن و همکاران نشان داد که مقیاس بورگ نیز در تعیین میزان فشار زنان از اعتبار و پایایی قابل قبولی برخوردار است ($r=0/68$, $ICC=0/70$) [۱۸].

برای ثبت سببعدی اجرای مانور برش آزمودنی‌ها از شش دوربین تصویربرداری مادون قرمز Rapture-H و سیستم اپتوالکترونیک سببعدی Motion Analysis (شرکت Motion Analysis، ساخت آمریکا) استفاده شد. با توجه به نوع مهارت، فرکانس ۲۰۰ هرتز در نظر گرفته شد. همچنین چیدمان دوربین‌ها به گونه‌ای بود که در هر صفحه، دو دوربین با زاویه ۴۵-۶۰ درجه نسبت به هم قرار می‌گرفت، طوری که دو دوربین اطلاعات هر نشانگر در هر لحظه از حرکت را ثبت می‌کرد. داده‌های کینماتیکی ثبت شده در نرم‌افزار Matlab پردازش شد.

آنالیز آماری داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد. برای مقایسه میزان تغییرات پارامترهای



مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۱. لحظه تغییر جهت آزمودنی‌ها در مانور برش جانبی پیش‌بینی شده به سمت پای برتر

۱۰ متر را با نهایت سرعت می‌دوید و پس از انجام پرش جفت به سمت توپ تنظیم شده (با میزان پرش عمودی هر فرد) و فرود جفت پا به سمت محل تعیین شده برای انجام برش می‌رفت و در زاویه مشخص شده روی زمین (۳۵ تا ۵۵ درجه از مسیر اصلی) مانور برش را اجرا می‌کرد [۱۵].

در برش قابل پیش‌بینی فرد به سمت پای برتر (تصویر شماره ۱) می‌رفت و در برش غیرقابل پیش‌بینی فرد با لمس محدوده ۸۰ تا ۱۰۰ درصد طول یک گام قبل از محدوده انجام برش، سمت حرکت را از طریق رنگ چراغ تشخیص می‌داد، طوری که با روشن شدن رنگ سفید، مانور برش به سمت چپ و با روشن



مجله بیومکانیک ورزشی

تصویر ۲. لحظه اجرای مانور برش جانبی غیرقابل پیش‌بینی و تشخیص سمت حرکت همراه با روشن شدن چراغ

($P > 0/05$) و همگنی کوواریانس ($P > 0/001$) برای تمامی داده‌ها مورد تأیید است؛ بنابراین برای تعیین میزان تغییرات پارامترهای کینماتیکی همچون فلکشن زانو، والگوس زانو و چرخش ساق پا در حالات قبل و بعد از خستگی و مانورهای پیش‌بین شده و غیرقابل پیش‌بینی از آزمون سنجش مکرر ترکیبی Mixed re-peated measure استفاده شد. نتایج تست ANOVA One way نیز پس از تأیید پیش‌فرض‌های نرمالیتی، تصادفی بودن داده‌ها و همگنی واریانس توسط تست‌های مذکور ($P > 0/05$)، نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سرعت ($P = 0/07$) و چابکی ($P = 0/06$) آزمودنی‌ها وجود ندارد.

در جدول شماره ۱ نتایج آزمون Wilks lambda، میزان معنی‌داری و اندازه اثر خستگی و در جدول شماره ۲ میزان معنی‌داری و اندازه اثر پیش‌بینی بر متغیرهای فلکشن زانو، والگوس زانو و چرخش ساق پا نشان داده شده است. تصویر شماره ۳ نیز تغییرات میانگین پارامترهای مذکور را در شرایط مختلف تحقیق نشان می‌دهد.

بحث

پیش‌ازین، تحقیقات فراوانی به تأثیر جداگانه ریسک

کینماتیکی طی مانور برش قابل پیش‌بینی و غیرقابل پیش‌بینی، قبل و بعد از خستگی از آزمون سنجش مکرر ترکیبی Mixed repeated measure استفاده شد. برای تأیید پیش‌فرض‌های آزمون همچون نرمال بودن داده‌ها از آزمون Shapiro-wilk، تصادفی بودن داده‌ها از آزمون Runs test و برای تأیید همگنی واریانس و کوواریانس به ترتیب از تست‌های Levene و Box's test استفاده شد. برای حذف اثر مزاحم احتمالی متغیرهای سرعت و چابکی نیز از تست One way ANOVA با رعایت پیش‌فرض‌های نرمال و تصادفی بودن داده‌ها و همگنی واریانس توسط تست‌های مذکور بهره گرفته شد ($P < 0/05$).

نتایج

در مطالعه حاضر ۴۹ ورزشکار نوجوان دختر با میانگین جرم $1/22 \pm 49/05$ کیلوگرم، میانگین قد $1/61 \pm 0/08$ متر و میانگین سن $14/69 \pm 0/14$ سال با میانگین سابقه ورزشی $15/45 \pm 0/15$ سال شرکت کردند. نتایج تست‌های Shapiro-wilk و Runs test نشان داد که پارامترهای فلکشن، والگوس و چرخش ساق در گروه‌های ذکرشده دارای توزیع نرمال و تصادفی است ($P > 0/05$)؛ همچنین نتایج تست Levenes و Box test نشان داد که پیش‌فرض‌های همگنی واریانس

جدول ۱. نتایج اثرات خستگی بر فاکتورهای کینماتیکی

فاکتورها	زمان	میانگین \pm انحراف معیار	P	μ
فلکشن	قبل از خستگی	$49/26 \pm 0/47$	$0/001^*$	$0/73$
	بعد از خستگی	$46/19 \pm 0/48$		
والگوس	قبل از خستگی	$17/05 \pm 0/13$	$0/001^*$	$0/71$
	بعد از خستگی	$18/55 \pm 0/17$		
چرخش ساق پا	قبل از خستگی	$8/68 \pm 0/18$	$0/001^*$	$0/83$
	بعد از خستگی	$11/77 \pm 0/21$		

مجله بیومکانیک ورزشی

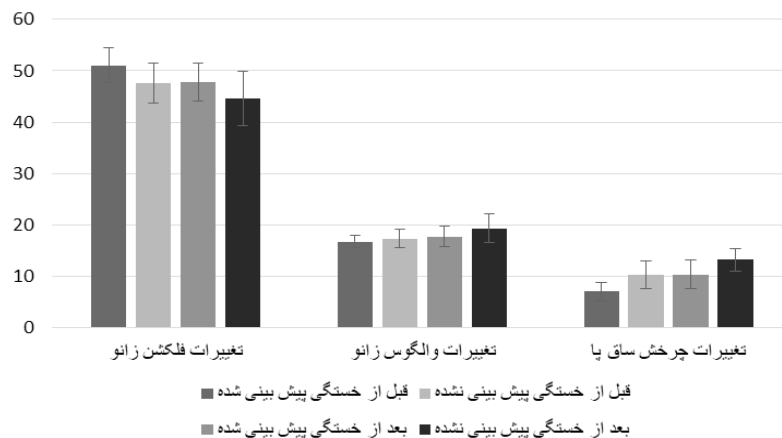
* سطح معنی‌داری ($P < 0/05$).

جدول ۲. نتایج اثرات مهارت پیش‌بینی بر فاکتورهای کینماتیکی

فاکتورها	زمان	میانگین \pm انحراف معیار	P	μ
فلکشن	پیش‌بینی شده	$49/39 \pm 0/46$	$0/001^*$	$0/84$
	پیش‌بینی نشده	$46/06 \pm 0/47$		
والگوس	پیش‌بینی شده	$17/23 \pm 0/12$	$0/001^*$	$0/49$
	پیش‌بینی نشده	$18/37 \pm 0/16$		
چرخش ساق پا	پیش‌بینی شده	$8/66 \pm 0/19$	$0/001^*$	$0/87$
	پیش‌بینی نشده	$11/80 \pm 0/20$		

مجله بیومکانیک ورزشی

* سطح معنی‌داری ($P < 0/05$).



مجله بیومکانیک ورزشی

را کنترل کند، با قرار دادن مفصل در موقعیت کاهش فلکشن زانو، افزایش والگوس زانو و چرخش درشتنی، احتمال آسیب دیدگی رباط صلیبی قدامی را بالا می‌برد. اگرچه این مکانیسم‌ها معمولاً به تنهایی مطالعه می‌شوند، لیکن صدمه رباط صلیبی قدامی می‌تواند به صورت ترکیبی از این عوامل هم حادث شود [۱۹].

کو و همکاران گزارش کردند که بعد از خستگی در مانور برش اجرا شده، افزایش معنی‌داری در میزان اکستنشن و والگوس مفصل زانو و همچنین چرخش درشتنی مشاهده شده است [۱۶]. این نتایج با تحقیق حاضر همسواست، اما میزان و تغییرات این پارامتر متفاوت بود که ممکن است به دلیل شرایط متفاوت تست‌گیری و آزمودنی‌های شرکت‌کننده رخ داده باشد. اما کیم و همکاران در پژوهش خود به بررسی مانور تغییر جهت غیرقابل پیش‌بینی در ورزشکاران پرداختند و نشان دادند که میزان فلکشن و چرخش داخلی زانو در مانور تغییر جهت غیرقابل پیش‌بینی نسبت به صورت معنی‌داری افزایش یافته است [۲۰]. نتایج ذکر شده با تحقیق حاضر همخوانی ندارد که این می‌تواند از اثرات متفاوت پروتکل خستگی، سن و جنس آزمودنی‌ها نشئت گرفته باشد.

زاویه والگوس زانو هنگام فعالیت‌های ورزشی یکی از قوی‌ترین پیش‌بینی‌کننده‌های آسیب لیگامنت صلیبی قدامی به شمار می‌رود و میزان آن ارتباط مستقیمی با میزان گشتاور ابدکتوری وارد بر این مفصل دارد [۲۱]. همچنین بسیر و همکاران با بررسی مانور برش در شرایط پیش‌بینی شده و غیرقابل پیش‌بینی، بیان کردند که گشتاورهای والگوس و واروس زانو در میان فعالیت‌های غیرقابل پیش‌بینی ۲ برابر بزرگ‌تر از گشتاورهای اندازه‌گیری شده در فعالیت‌های قابل پیش‌بینی است [۲۲]. نتایج ذکر شده با تحقیق حاضر همخوانی دارد که احتمالاً از شرایط تست‌گیری مشابه نشئت گرفته است.

برخی دیگر از مطالعات، نیروی برشی تیپیا^۱ را به عنوان

1. Anterior Shear Force

تصویر ۳. میزان تغییرات میانگین پارامترهای کینماتیکی در شرایط مختلف

فاکتورهایی مانند خستگی و فعالیت‌های غیرقابل پیش‌بینی و تفاوت‌های جنسیتی بر پارامترهای کینماتیکی به صورت دو بُعدی پرداخته‌اند، اما در حوزه بررسی تأثیر ریسک فاکتورهایی مانند خستگی به همراه شرایط غیرقابل پیش‌بینی مطالعات اندکی یافت شد؛ همچنین محقق مطالعه‌ای را که اثر حرکت برش جانبی غیرقابل پیش‌بینی بر پارامترهای کینماتیکی مفصل زانو به صورت سه‌بعدی و همچنین شرایط نزدیک به واقعیت به‌خصوص در دختران و گروه سنی نوجوان را بررسی کرده باشد، یافت نکرد. به همین علت در تحقیق حاضر سعی شد تست‌گیری هر چه بیشتر به شرایط ورزشی نزدیک باشد؛ بدین صورت که آزمودنی قبل از اجرای حرکت، برش جانبی یک پرش - فرود را انجام می‌داد.

بیشتر رشته‌های ورزشی در محیطی باز و غیرقابل پیش‌بینی اجرا می‌شوند و بازیکنان ممکن است پس از فرود بلافاصله نیاز به انجام یک برش داشته باشند؛ همچنین بنا بر مطالعات پیشین، شیوع آسیب‌های زانو و به‌خصوص آسیب رباط متقاطع قدامی در زنان بیشتر از مردان است و نیز از آنجاکه با بررسی تغییرات پارامترهای کینماتیکی حین حرکات ورزشی، می‌توان گامی مؤثر در آموزش و تعیین روش‌های تمرینی مناسب برای پیشگیری از آسیب رباط متقاطع قدامی به‌خصوص در رده سنی نوجوان برداشت، در این راستا هدف از انجام تحقیق حاضر، مقایسه پارامترهای کینماتیکی منتخب اندام تحتانی قبل و بعد از خستگی در طی مانور برش پیش‌بینی شده و غیرقابل پیش‌بینی در دختران نوجوان شهر کرمان بود. برای جلوگیری از آسیب‌های ورزشی و تبعات روانی و جسمانی ناشی از آن و همچنین ارتقای سطح مسابقات، می‌توان از آموزش صحیح تکنیک‌ها و روش تمرینی مناسب برای کاهش اثرات خستگی و مهارت پیش‌بینی بهره گرفت.

سازوکار آسیب رباط متقاطع قدامی پیرو ایجاد فشار روی زانو است. زمانی که فرد به دلایلی نظیر اختلال در سیستم عصبی - عضلانی در پی ایجاد خستگی و شرایط غیرقابل پیش‌بینی در ورزش نمی‌تواند ساختار اسکلتی-عضلانی و موقعیت صحیح مفصل

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در این مقاله کلیه اصول اخلاقی در نظر گرفته شد. آزمودنی‌ها در مورد نحوه انجام تحقیق اطلاع پیدا کردند. آن‌ها همچنین در مورد محرمانه بودن اطلاعات خود اطمینان داشتند. علاوه بر این به آن‌ها اجازه داده شد، هر زمان که تمایل نداشتند مطالعه را ترک کنند و در صورت تمایل نتایج تحقیق در دسترس آن‌ها خواهد بود. همچنین تحقیق حاضر در کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه شهید باهنر کرمان (IR. UK.VETMED.REC.1398.022) تصویب شد.

حامی مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از سازمان‌های عمومی یا خصوصی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان

مفهوم‌سازی، روش‌شناسی و نظارت: تمامی نویسندگان؛ بررسی و نوشتن پیش‌نویس اصلی و منابع: الهام حسینی؛ مرور و بررسی و ویرایش: عبدالحمید دانشجو و منصور صاحب‌الزمانی.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بر اساس پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه شهید باهنر کرمان به راهنمایی دکتر عبدالحمید دانشجو و مشاوره دکتر منصور صاحب‌الزمانی است. از تمام آزمودنی‌های تحقیق برای همکاری با محقق و همچنین آقای سعید ملاحسینی و میلاد فلاح‌زاده برای همکاری در روند تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

اصلی‌ترین عامل تعیین‌کننده در میزان بار وارده بر لیگامنت صلیبی قدامی گزارش کردند، زیرا همان‌طور که پیش‌ازاین نیز ذکر شد، افزایش میزان این پارامتر با کاهش فلکشن زانو همبستگی معنی‌داری را نشان داده است [۱۴]. در این زمینه هانتس و همکاران گزارش کردند که میزان چرخش درشت‌نی افزایش معنی‌داری را پس از انجام پروتکل خستگی نشان داده است [۲۳] که با تحقیقات حاضر همخوانی دارد. این نتایج ممکن است نشان از اثرات مشابه پروتکل‌های خستگی بر کاهش توان عضلانی همچون همسترینگ و عضلات کاف ساق باشد که وظیفه کنترل چرخش درشت‌نی را برعهده دارند.

از آنجاکه مفصل زانو دارای سه درجه آزادی حرکت است که با حرکات هم‌زمان در جهت حرکت قرار می‌گیرد و نمی‌توان خم شدن، والگوس، چرخش‌های رخ‌داده در این مفصل را جداگانه بررسی کرد و همچنین به دلیل اهمیت بالای میزان سه پارامتر ذکرشده در افزایش بار و آسیب‌دیدگی رباط متقاطع قدامی، بر آن شدیم که میزان تغییرات این پارامترها را در موقعیت‌های خطرناک مانند خستگی و مانورهای پیش‌بینی‌نشده بررسی کنیم. همان‌طور که پیش از این نیز ذکر شد، در زمان خستگی و فعالیت‌های غیرقابل‌پیش‌بینی میزان پارامترهای کینماتیکی خطرناک به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند که این می‌تواند احتمالاً به دلیل اثرات خستگی بر توان عضلانی باشد که کنترل کینماتیک را قبل از خستگی به‌درستی انجام می‌دادند.

از جمله محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به شرایط روانی افراد و استرس ناشی از شرایط محیط آزمایشگاه (وجود دوربین‌ها و سیستم)، تأثیر نصب نشان‌گرها بر عملکرد آزمودنی‌ها در فرآیند نمونه‌برداری و همچنین شرایط تغذیه‌ای افراد اشاره کرد. با توجه به بالا بودن احتمال آسیب در ورزشکاران رشته‌های سرعتی که از مانور تغییر جهت به صورت مکرر در تمام زمان‌های بازی استفاده می‌کنند، باید به بخش طراحی تمرینات و آموزش صحیح تکنیک‌های پرخطر توجه ویژه‌ای مبذول داشت تا با افزایش آگاهی بازیکنان از شرایط ایجاد آسیب جلوگیری شود.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در زمان خستگی و مانورهای غیرقابل‌پیش‌بینی احتمال آسیب ACL به صورت معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند؛ زیرا نتایج به‌دست‌آمده حاکی از کاهش معنی‌دار فلکشن زانو و افزایش معنی‌دار والگوس زانو و چرخش درشت‌نی است. با توجه به در معرض خطر بودن ورزشکاران نوجوان دختر و اثرات مخرب احتمالی که به دنبال آسیب‌دیدگی بر زندگی افراد تأثیر می‌گذارد، پیشنهاد می‌شود که در طراحی تمرینات، به مبحث آموزش صحیح تکنیک‌ها و حرکات پرخطر توجه شود تا با افزایش آگاهی ورزشکاران، آسیب‌های کمتری اتفاق بیفتد.

References

- [1] Nuri L, Shadmehr A, Attarbashi Moghaddam B, Ghotbi N. Comparison of reaction time and anticipatory skill between female athletes and non-athletes. *Mod Rehabil*. 2012; 6(3):37-43.
- [2] Arpante AK, Nguyen A-D, Baellow AL, Wright KE, Taylor JB, Ford KR. Effects of cutting direction on in-cleat toe dorsiflexion during unanticipated backpedal cutting in football players: 915 Board# 311 May 27, 200 PM-330 PM. *Med Sci Sports Exerc*. 2015; 47(5S):253. [DOI:10.1249/01.mss.0000477116.36134.d3]
- [3] Razi M, Sadeghi H, Takamejani EET, Shariatzade M. [Effect of lower limb muscle fatigue on knee joint control strategies during landing in young men (Persian)]. *Sci J Rehabil Med*. 2018; 7(2):1-10. [DOI:10.22037/JRM.2018.110690.1459]
- [4] Seyedi M, Rajabi R, Shirzad E, Zareei M. [Comparison of high-risk movement patterns of ACL injury in male and female adolescent soccer players during cutting maneuver (Persian)]. *J Sport Med Rev*. 2016; 8(19):77-94. <http://www.magiran.com/p1657953>
- [5] Emami Hashemi SA, Rezvankhah Golsefid N, Shirzad E, Mirkarimpour SH. [Kinematic comparison of anterior cruciate ligament injury risk between men and women during cutting maneuver (Persian)]. *Razi J Med Sci*. 2015; 22(138):12-22. <http://rjms.iuums.ac.ir/article-1-4081-en.html>
- [6] Mok K-M, Bahr R, Krosshaug T. Reliability of lower limb biomechanics in two sport-specific sidestep cutting tasks. *Sports Biomech*. 2018; 17(2):157-67. [DOI:10.1080/14763141.2016.1260766] [PMID]
- [7] Yom JP, Owens T, Arnett S, Beebe J, Son V. The effects of an unanticipated side-cut on lower extremity kinematics and ground reaction forces during a drop landing. *Sports Biomech*. 2019; 18(4):414-25. [DOI:10.1080/14763141.2017.1409795] [PMID]
- [8] Weir G, Stillman M, van Emmerik R, Wyatt H, Jewell C, Hamill J. Differences in kinetics, kinematics and muscle activation strategies in male and female team sport athletes during unanticipated sidestepping. *J Sci Sport and Exerc*. 2019; 1(2):159-67. [DOI:10.1007/s42978-019-0019-2]
- [9] Buermann S, Gloppen E, Kriechbaum R, Potter D, Sheehan N. Influence of fatigue and anticipation on knee kinematics and kinetics during a jump-cut maneuver. [Doctor of Physical Therapy Research Papers.]. Sophia: St. Catherine University; 2017.
- [10] Schneiders AG, Sullivan SJ, O'Malley KJ, Clarke SV, Knappstein SA, Taylor LJ. A valid and reliable clinical determination of footedness. *PM & R*. 2010; 2(9):835-41. [DOI:10.1016/j.pmrj.2010.06.004] [PMID]
- [11] Brown SR. The relationship between leg dominance and knee mechanics during the cutting maneuver. Indiana: Baal State University Muncie; 2012. <https://www.semanticscholar.org/paper/ii-THE-RELATIONSHIP-BETWEEN-LEG-DOMINANCE-AND-KNEE-Wang/a26c3946d7d-fa7947701ddce4c458d47ca015390>
- [12] Olsen O-E, Myklebust G, Engebretsen L, Bahr R. Injury mechanisms for anterior cruciate ligament injuries in team handball: A systematic video analysis. *Am J Sports Med*. 2004; 32(4):1002-12. [DOI:10.1177/0363546503261724] [PMID]
- [13] Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement*. New Jersey: John Wiley & Sons; 2009. [DOI:10.1002/9780470549148]
- [14] Dahaji AA, Amirseyfaddini M, Nikoie R. Comparison of selected knee kinematic factors during single leg landing after six weeks of multi-angled isometric exercises on knee joint flexor and extensor muscle groups. *Sci J Rehabil Med*. 2019; 8(2):182-90. [DOI:10.22037/jrm.2019.111456.2006]
- [15] Sigward S, Powers CM. The influence of experience on knee mechanics during side-step cutting in females. *Clin Biomech*. 2006; 21(7):740-7. [DOI:10.1016/j.clinbiomech.2006.03.003] [PMID]
- [16] Qu X, Chen X, editors. Combined effects of lower limb muscle fatigue and decision making to the knee joint during cutting maneuvers based on two different position-sense-acuity groups. *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. New York City: Springer; 2017. [DOI:10.1007/978-3-319-60822-8_13]
- [17] Fredriksen P, Ingjer F, Nystad W, Thaulow E. Aerobic endurance testing of children and adolescents—a comparison of two treadmill-protocols. *Scand J Med Sci Sports*. 1998; 8(4):203-7. [DOI:10.1111/j.1600-0838.1998.tb00193.x] [PMID]
- [18] Chen MJ, Fan X, Moe ST. Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: a meta-analysis. *J Sports Sci*. 2002; 20(11):873-99. [DOI:10.1080/026404102320761787] [PMID]
- [19] Cortes N, Onate J, Morrison S. Differential effects of fatigue on movement variability. *Gait Posture*. 2014; 39(3):888-93. [DOI:10.1016/j.gaitpost.2013.11.020] [PMID] [PMCID]
- [20] Kim JH, Lee K-K, Ahn KO, Kong SJ, Park SC, Lee YS. Evaluation of the interaction between contact force and decision making on lower extremity biomechanics during a side-cutting maneuver. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016; 136(6):821-8. [DOI:10.1007/s00402-016-2457-1] [PMID]
- [21] McLean S, Walker K, van den Bogert AJ. Effect of gender on lower extremity kinematics during rapid direction changes: An integrated analysis of three sports movements. *J Sci Med Sport*. 2005; 8(4):411-22. [DOI:10.1016/S1440-2440(05)80056-8]
- [22] Besier TF, Lloyd DG, Cochrane JL, Ackland TR. External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 33(7):1168-75. [DOI:10.1097/00005768-200107000-00014] [PMID]
- [23] Hantes ME, Tsarouhas A, Giakas G, Spiropoulos G, Sideris V, Christel P, et al. Effect of fatigue on tibial rotation after single-and double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: A 3-dimensional kinematic and kinetic matched-group analysis. *Am J Sports Med*. 2012; 40(9):2045-51. [DOI:10.1177/0363546512454413] [PMID]