10.22037/jrm.2020.112931.2289 Research Article

Effect of Eight Weeks of Jump-Training Programs on Selected Factors of Kinematic in Fatigue Conditions in Men's Handball Player Premier League at the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury

Farid Alimoradi Ghaleh[1*], Maliheh Hadadnejad[2], Amir Letafatkar[2], Seyed Sadradin Shojaedin[3]

1. PhD student of Corrective Exercises and Sport Injury, Kharazmi University, Teheran, Iran
2. Assistant Professor, Department of Biomechanic and Sport Injury, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Biomechanic and Sport Injury, School of Physical Education and Sport Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 2019.December.24 **Revised:** 2020.April.10 **Accepted:** 2020.May.15 **Published Online:** 2020.May.19

ABSTRACT

Background and Aims: Fatigue can lead to harmful changes in landing kinematics and put the knee joint in a position that increases chances of injury to the anterior cruciate ligament. The purpose of the present study was to investigate the effect of eight weeks of jump training on selected kinematic factors conditions in Men's Handball Player Premier League who are at the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury.

Materials and Methods: In the current study, 30 handball players in the Iranian Premier League were selected purposefully and randomly divided into two control and experimental groups. Prior to and eight weeks after the exercises (3 sessions per week) at the same time and place, after determining the participants' dominant leg and applying the fatigue protocol, they performed a single-leg landing jump. Kinematic factors of the lower limb and trunk were recorded during the single-leg landing using Motion Analysis device to investigate movements in the sagittal and frontal motion plate. During the research period, the control group did not perform any intervention training program. ANCOVA was run to analyze the study hypotheses in SPSS, version 20.

Results: The results showed that after eight weeks of training in fatigue conditions, knee, hip, and trunk flexions increased in the exercise group (respectively p=0.001, p=0.002, p=0.001,) while no significant decrease was observed in lateral trunk tilt, knee valgus, and tibial torsion.

Conclusion: According to the results, plyometric exercises may be effective in preventing anterior cruciate ligament injury. These exercises prevent mechanisms that cause damage to the anterior cruciate ligament by affecting the kinematic angles of the joints and by increasing the muscular feedforward activity and the development of the entire musculoskeletal system.

Keywords: Knee injury; Anterior Cruciate Ligament; Fatigue; Biomechanics.

How to cite this article: Farid Alimoradi, Maliheh Hadadnejad, Amir Letafatkar, Seyed Sadradin Shojaedin. Effect of Eight Weeks of Jump-Training Programs on Selected Factors of Kinematic in Fatigue Conditions in Men's Handball Player Premier League at the Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury. J Rehab Med. 2021; 10 (1):90-101.

[*]**Corresponding Author**: Farid Alimoradi Ghaleh, PhD student of Corrective Exercises and Sport Injury, Kharazmi University, Teheran, Iran
Email: farid.alimoradi@yahoo.com

مقاله پژوهشی
10.22037/jrm.2020.112931.2289

تأثیر ۸ هفته تمرینات پرشی بر فاکتورهای منتخب کینماتیکی در شرایط خستگی در مردان هندبالیست لیگ برتر در معرض خطر آسیب لیگامنت صلیبی قدامی

فرید علیمرادی قلعه[1*]، ملیحه حدادنژاد[2]، امیر لطافت‌کار[2]، سید صدرالدین شجاع‌الدین[3]

۱. دانشجوی دکتری دانشجوی حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۲. استادیار آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی گروه بیومکانیک و آسیب‌شناسی ورزشی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳. دانشیار، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

دریافت مقاله ۱۳۹۸/۱۰/۰۳ **بازنگری مقاله ۱۳۹۹/۰۱/۲۲** **پذیرش مقاله ۱۳۹۹/۰۲/۲۶**

چکیده

مقدمه و اهداف: خستگی می‌تواند منجر به تغییرات زیانبار در کینماتیک فرود شده و مفصل زانو را در وضعیتی قرار دهد که احتمال آسیب لیگامنت صلیبی قدامی را افزایش دهد. با توجه به تأثیر تمرینات پرشی بر روی کاهش آسیب‌های ورزشی و بهبود عملکرد اندام تحتانی، هدف تحقیق حاضر تأثیر ۸ هفته تمرینات پرشی بر فاکتورهای منتخب کینماتیکی در شرایط خستگی در مردان هندبالیست لیگ برتر مستعد آسیب لیگامنت صلیبی قدامی بود.

مواد و روش‌ها: روش تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی بود. ۳۰ بازیکن هندبال شاغل در لیگ برتر ایران به‌صورت هدفمند انتخاب و به‌صورت تصادفی به دو گروه کنترل و تجربی تقسیم شدند. قبل و بعد از یک دوره تمرین ۸هفته‌ای (۳ جلسه در هفته) در شرایط مشابه زمانی و مکانی، پس از تعیین پای غالب آزمودنی و اعمال پروتکل خستگی، آزمودنی‌ها پرش فرود تک‌پا را انجام دادند. فاکتورهای کینماتیکی اندام تحتانی و تنه در حین فرود تک‌پا توسط دستگاه موشن آنالیز جهت بررسی حرکات در صفحه حرکتی ساجیتال و فرونتال ثبت گردید. در مدت‌زمان تحقیق، گروه کنترل هیچ برنامه تمرینی مداخله‌ای انجام ندادند. جهت تجزیه‌وتحلیل فرضیه‌های پژوهش از آمار استنباطی آنکوا در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پس از هشت هفته تمرینات پرشی در شرایط خستگی میزان فلکشن زانو، فلکشن ران و فلکشن تنه در گروه تمرینی افزایش یافت (به‌ترتیب p=۰/۰۰۱، p=۰/۰۰۲، p=۰/۰۰۱)، در حالی که کاهش معناداری در والگوس زانو، چرخش تیبیا و تیلت جانبی تنه مشاهده نگردید.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که تمرینات پلایومتریک احتمالاً می‌تواند در پیشگیری از آسیب‌های لیگامنت صلیبی قدامی مؤثر باشد. این تمرینات با تأثیر بر روی زوایای کینماتیکی مفاصل و افزایش فعالیت فیدفورواردی عضلات و توسعه کل سیستم عصبی-عضلانی از مکانیزم‌هایی که باعث آسیب لیگامنت صلیبی قدامی حین فرود می‌شود، پیشگیری می‌کند.

واژه‌های کلیدی: آسیب زانو؛ لیگامنت صلیبی قدامی؛ خستگی؛ بیومکانیک

نویسنده مسئول: فرید علیمرادی قلعه، دانشجوی دکتری دانشجوی حرکات اصلاحی و آسیب‌شناسی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
آدرس ایمیل: farid.alimoradi@yahoo.com

مقدمه و اهداف

آسیب رباط صلیبی قدامی زانو (ACL) یکی از شایعترین آسیب‌های اندام تحتانی در ورزشکاران به حساب می‌آید؛ به‌طوری که طبق آمار سالیانه بین ۸۰ هزار تا ۲۵۰ هزار آسیب ACL به‌تنهایی در ایالات متحده آمریکا اتفاق می‌افتد.[۱] این آسیب اغلب در افراد جوان و فعال جامعه رخ می‌دهد و به هر دو شکل برخوردی و غیربرخوردی اتفاق می‌افتد که در این بین آسیب‌های غیربرخوردی حدود ۷۰ درصد آسیب‌ها را شامل می‌شود.[۲] این آسیب علاوه بر هزینه درمان سالیانه زیاد، موجب از دست دادن مشارکت ورزشی و حتی از دست دادن فصل ورزشی و نیز ایجاد آسیب‌های ثانویه مانند استئوآرتریت (افزایش بیش از ده برابر) پارگی مینیسک و نیز مشکلات و مسائل روحی و روانی در فرد می‌گردد.[۳] آنالیز کینماتیکی افراد در معرض خطر آسیب غیربرخوردی لیگامنت صلیبی قدامی نشان داده‌اند که الگوهای حرکتی معین و موقعیت قرارگیری ویژه‌ای در مفاصل افراد در معرض خطر آسیب وجود دارد که این الگوهای حرکتی بر بار و استرین اعمالی لیگامان‌ها اثر می‌گذارند. در واقع الگوی حرکتی رایج حین آسیب لیگامنت صلیبی قدامی شامل کاهش زوایای فلکشن زانو، ران و تنه به همراه افزایش والگوس زانو و چرخش درشت‌نی است.[۳] نتایج تحقیق بر روی هندبالیست‌ها نشان داد که تفاوت معناداری بین دو تکنیک فرود در صفحه ساژیتال وجود دارد، به‌طوری که پرش-فرود تک‌پا استرس خیلی بیشتری بر مفاصل اندام تحتانی وارد می‌کند. بازیکنان هندبال در اجرای مهارت-های خود به دفعات از تکنیک پرش و فرود روی یک پا استفاده می‌کنند و این تکنیک یکی از سازوکارهای آسیب‌های زانوی بازیکنان است. همچنین تحقیقات نشان داده‌اند که خطر آسیب غیربرخوردی لیگامنت صلیبی قدامی در فرود تک‌پا نسبت به فرود دوپا بیشتر است. از طرفی دیگر، شیوع آسیب ACL در بازیکنان هندبال رایج و بسیار نگران‌کننده است.[۴، ۵] یافته‌های پژوهشی نشان می‌دهد در هندبال شایعترین مکانیسم این نوع آسیب، عدم تعادل مناسب هنگام فرود روی یک پا است که مفصل زانو در والگوس شدید و چرخش خارجی درشت‌نی نسبت به ران قرار گرفته باشد.[۴] از آنجا که پرش-فرود از اجزای اصلی بسیاری از ورزش‌ها است و طی مسابقه یا تمرین در زمان‌های گوناگون و به‌طور مکرر انجام می‌شود، اثر خستگی ناشی از ورزش بر این تکنیک‌ها قابل‌بررسی خواهد بود.[۶]

بعضی از محققان معتقد هستند که خستگی ممکن است منجر به تغییرات زیانبار در بیومکانیک اندام تحتانی در حین فعالیت‌های پرش، چرخش، کاهش شتاب یا فرود پس از پریدن شود که می‌تواند احتمال آسیب غیربرخوردی لیگامنت صلیبی قدامی را افزایش دهد.[۷] خستگی می‌تواند کینماتیک فرود را از طریق کاهش فلکشن زانو و افزایش حرکت زانو در صفحه فرونتال و عرضی به مکانیسم آسیب لیگامنت صلیبی قدامی نزدیک کند.[۷] در حالت خستگی عواملی از قبیل ضعف عضلانی و کاهش هماهنگی عصب و عضله نیروهای برشی و گشتاوری نامناسبی را حول مفاصل ایجاد می‌کند (به‌خصوص در طی فعالیت‌های نامتعادل-کننده که پایداری مفصل را به چالش می‌کشد) و باعث آسیب به ساختارهای مفصلی (لیگامنت‌ها و کپسول مفصلی) می‌گردد.[۸] خستگی ممکن است پیامد نارسایی کار دستگاه عصبی مرکزی و یا محیطی باشد. در خستگی مرکزی اختلال در سیستم عصبی مرکزی قرار دارد و در خستگی محیطی اختلال در اعصاب محیطی، اتصال عصبی-عضلانی و یا در بافت انقباضی عضله می‌باشد.[۹] مطالعات اپیدمیولوژیک بروز آسیب در اندام تحتانی را در پایان مسابقات و با افزایش زمان بازی گزارش کرده اند. به‌طوری که دیرکس و همکاران افزایش شیوع آسیب بازیکنان هندبال در نیمه دوم بازی همراه با افزایش خستگی بازیکنان و شدت بازی گزارش گردند.[۱۰]

پیشگیری از آسیب از اهمیت خاصی برخوردار است و علاوه بر آن، توجه به ریسک‌فاکتورهای قابل‌تعدیل احتمال اثرگذاری تمرینات ویژه بر کنترل آسیب لیگامنت صلیبی قدامی را پررنگ‌تر می‌سازد. برنامه‌های پیشگیری از آسیب غیربرخوردی لیگامنت صلیبی قدامی با هدف اصلاح و یا حذف ریسک‌فاکتورها و در نهایت کاهش آسیب است. ریسک‌فاکتورهای قابل-تعدیل، همان ریسک‌فاکتورهای عصبی-عضلانی و بیومکانیکی هستند که با تمرینات ویژه ورزشی همچون تمرینات گیرنده‌های عمقی، تمرینات عصبی-عضلانی، کششی، پلایومتریک و تمرینات کنترل تنه و عضلات مرکزی و نسبت قدرت همسترینگ به چهارسر قابل-اصلاح هستند.[۱۱] تأثیر تمرینات پلایومتریک بر روی قدرت عضلات و سازگاری‌های عصبی به‌وجودآمده طی این تمرینات به‌طور کامل مشخص شده است و همچنین اثرات این تمرینات بر روی کاهش آسیب‌های ورزشی نیز مشخص گردیده است. تمرین پلایومتریک توانایی استفاده از مزایای کشسانی و عصبی چرخه کشش-کوتاه

شدن را افزایش می‌دهد. در واقع حرکات پلیومتریک به‌منظور بهبود برونداد توان و افزایش حالت انفجاری به وسیله تمرین دادن عضلات برای انجام کار بیشتر در زمان کوتاه‌تر به کار می‌رود و باعث بهبود عملکرد می‌گردد.[۱۲] با توجه به مطالعاتی که اخیرا بر روی تمرینات پلایومتریک جهت کاهش آسیب‌های ورزشی و بهبود عملکرد و راستای اندام تحتانی انجام گرفته، تحقیق حاضر سعی کرده تأثیر هشت هفته تمرینات پرشی بر ریسک‌فاکتورهای کینماتیکی اندام تحتانی و تنه در شرایط خستگی در مردان هندبالیست لیگ برتر در معرض خطر رباط صلیبی قدامی را بررسی کند.

مواد و روش‌ها

روش تحقیق حاضر از نوع نیمه‌تجربی با طرح دو گروهی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه‌های کنترل و تجربی بود. جامعه آماری این تحقیق بازیکنان تیم هندبال مس کرمان بودند که حداقل سابقه سه سال حضور در لیگ برتر ایران را داشتند. تعداد ۳۰ آزمودنی به‌صورت هدفمند انتخاب و به‌صورت تصادفی به دو گروه تجربی و کنترل (۱۵ نفر گروه تجربی و ۱۵ نفر گروه کنترل) تقسیم شدند. معیارهای خروج از تحقیق حاضر شامل هرگونه سابقه آسیب‌دیدگی لیگامانی زانو، آسیب‌دیدگی اندام تحتانی فعلی، آسیب‌دیدگی ناحیه کمری در شش ماه گذشته یا اختلال عملکرد دهلیزی[۱۳]، وجود اختلالات وضعیتی اندام تحتانی (مانند زانو پرانتزی، زانو ضربدری، پای عقب‌رفته، کف پای صاف و کف پای گود) بود.[۱۴]

آزمودنی‌ها فرم رضایت‌نامه فردی برای شرکت در پژوهش حاضر و فرم جمع‌آوری داده‌ها را که شامل اطلاعاتی در ارتباط با ویژگی‌های شخصی (سن، قد، وزن، میزان ساعت تمرین و سابقه بازی) بود، تکمیل کردند.

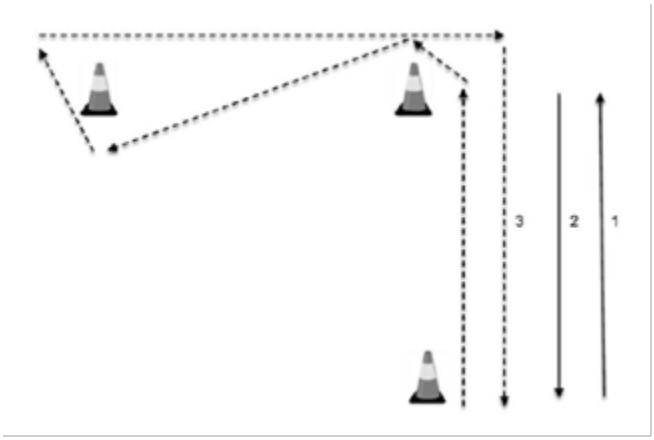
در ادامه، آزمودنی‌ها با فرآیند آزمون آشنا شدند. پس از گرم کردن، پای غالب آزمودنی‌ها تعیین گردید (پای غالب در بازیکنان هندبال به پایی گفته می‌شود که مخالف دست برتر در شوت کردن است و غالباً با آن پا فرود می‌آیند).[۴] در ادامه، پیش‌آزمون بدین‌صورت از آزمودنی‌ها گرفته شد که جهت اعمال خستگی از پروتکل خستگی چابکی عملکردی کوتاه‌مدت[۱] (FAST-FP) که بر اساس ترکیبی از حرکات چابکی و پرشی مختلف است، استفاده شد. سپس آزمودنی‌ها مانور پرش فرود تک‌پا را از روی مانع ۳۰ سانتی‌متری انجام دادند. زمان قابل‌قبول بین پروتکل خستگی و انجام کوشش‌ها کمتر از سه دقیقه بود.[۱۵] سیستم تصویربرداری جهت ثبت حرکات، دستگاه آنالیز سه‌بعدی حرکات (3D Motion Analysis System) ساخت کشور آمریکا مدل Raptor-H، Digital Real Time Systemدر صفحه حرکتی ساجیتال و فرونتال بود. کلیه آزمون‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون در آزمایشگاه دانشکده تربیت بدنی دانشگاه شهید باهنر کرمان انجام گرفت. شش دوربین آزمون پرش فرود تک‌پا و زوایای مفاصل تنه، زانو و ران را در صفحات ساجیتال و فرونتال جهت بررسی فاکتورهای کینماتیکی اندام تحتانی و تنه در حین فرود تک‌پا ثبت کردند. سپس آزمودنی‌ها به‌مدت هشت هفته و هر هفته سه جلسه و هر جلسه به‌مدت ۳۰ دقیقه زیر نظر محقق پروتکل تمرین پرشی هرینگتون و همکاران[۱۶] که جهت پیشگیری از آسیب لیگامنت صلیبی قدامی طراحی گردیده، علاوه بر تمرینات معمول تیم انجام دادند. این تمرینات به‌صورت تدریجی و پیشرونده بود که در گرم کردن گنجانده شد. بعد از اتمام پروتکل تمرین پرشی از آزمودنی‌ها پس‌آزمون در شرایط مشابه پیش‌آزمون گرفته شد. نتایج مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. محقق در تمامی مراحل انجام تمرینات حضور داشت. همچنین برای افراد شرح داده شد که در هر زمان از مراحل انجام تحقیق در صورت عدم تمایل به ادامه همکاری می‌توانند انصراف دهند.

تکلیف پرش فرود تک‌پا: تکلیف پرش فرود تک‌پا جهت بررسی فاکتورهای منتخب کینماتیکی از طریق آزمون ویلیامز و همکاران ارزیابی شد.[۱۷] فعالیت پرش فرود تک‌پا در این تحقیق بر اساس مسافت پرش نسبت به ارتفاع بدن قد آزمودنی‌ها نرمال شد. آزمودنی‌ها به فاصله ۴۰ درصد قدشان دورتر از لبه صفحه‌ای که قرار است بر روی آن فرود آیند، قرار گرفتند و یک مانع ۳۰ سانتی‌متری در وسط بین وضعیت شروع و صفحه فرود قرار گرفت. از آزمودنی‌ها خواسته شد که از روی مانع در جهت قدامی با دو پا بپرند و با پای آزمون بر روی صفحه فرود آیند. آزمودنی‌ها برای اینکه با تکلیف پرش فرود تک‌پا آشنا شوند، قبل از اجرای آزمون حداقل ۳ تمرین آزمایشی انجام دادند. آزمودنی‌هایی که نتوانستند از روی مانع بپرند یا با مانع برخورد کردند، یا بر روی پای آزمون بعد از فرود آمدن لی‌لی کردند، یا در محل تعیین‌شده بر روی صفحه فرود نیامدند، آزمون آنها حذف و دوباره تکرار شد. افراد سه بار فرود تک‌پا را انجام داده و میانگین داده‌های این سه مرحله به‌عنوان داده فرود مربوط به هر فرد مورد استفاده قرار گرفت (تصویر ۱).

تصویر ۱. آزمون پرش فرود تک‌پا

پروتکل خستگی

در تحقیق حاضر، از پروتکل خستگی چابکی عملکردی کوتاه‌مدت (FAST-FP) لوکسی و همکاران[۱۵] استفاده شد. پروتکل خستگی چابکی عملکردی کوتاه-مدت (FAST-FP) بر اساس ترکیبی از حرکات چابکی و پرشی مختلف به‌منظور تقلید از تغییر مسیرهای چندجهته و الگوی دوهای سرعت که یک ورزشکار در حین یک مسابقه رقابتی انجام می‌دهد، بنا شده است. این پروتکل با اندازه‌گیری حداکثر پرش عمودی شرکت‌کنندگان با استفاده از نوارهای مدرجی که بر روی دیوار مشخص شده بود، آغاز گردید. سپس آزمودنی‌ها روبه‌روی دیوار ایستاده و حرکات بالا و پایین پریدن را روی یک جعبه ۳۰ سانتی‌متری به-صورت تک‌پا و پشت سرهم به‌مدت ۲۰ ثانیه با سرعت ۲۲۰ ضربه در دقیقه انجام دادند. سپس بلافاصله شرکت‌کنندگان یک تکرار تمرین L بدین‌صورت انجام دادند که سه مخروط به فاصله ۵ یارد در سه نقطه به شکل L قرار داده شد و شرکت‌کنندگان پشت مخروط اول ایستاده و با سرعت به سمت مخروط دوم دویدند، بعد از رسیدن به مخروط دوم سریع تغییر مسیر داده با سرعت به سمت مخروط اول برگشته و دوباره با سرعت به سمت مخروط دوم دویده و در سمت راست مخروط دوم قرار گرفتند، سپس به سمت چپ تغییر مسیر داده و از جلو با سرعت به سمت مخروط سوم دویدند، بلافاصله بعد از رسیدن به مخروط سوم تغییر مسیر داده و به سرعت به سمت مخروط دوم برگشته و به جهت راست تغییر مسیر داده و به سمت مخروط اول برگشتند (تصویر ۲). بلافاصله بعد از تمرین L، شرکت‌کنندگان ۵ پرش عمودی متوالی به اندازه حدود ۸۰ درصد حداکثر پرش عمودی‌شان که قبل از شروع پروتکل مشخص شده بود، انجام دادند. بلافاصله پس از جهش عمودی، به سمت نردبان چابکی دویده و پشت نردبان چابکی قرار گرفتند. هنگام تکمیل پروتکل برای اولین و سومین بار، شرکت‌کنندگان به سمت جلو دویده، مطمئن شدند که هر دو پا فضای داخل نردبان را لمس کرده است. هنگام تکمیل پروتکل برای دومین و چهارمین بار، از بغل حرکت کرده و مطمئن شدند که هر دو پا فضای داخل نردبان را لمس کرده است. شرکت‌کنندگان همچنین نردبان چابکی را با استفاده از مترونوم با ریتم ۲۲۰ ضربه در دقیقه انجام دادند، به‌طوری که باید یک سرعت ثابت را در سرتاسر پروتکل حفظ کنند. مهارت L، مهارت نردبان و پرشی به تقلید از نیازهای عملکردی رشته-های ورزشی مثل هندبال است. کل چهار فعالیت (بالا و پایین پریدن بر روی جعبه، مهارت L، پرش عمودی و نردبان چابکی) به‌عنوان یک ست پروتکل محاسبه شد. شرکت‌کنندگان ۴ ست پروتکل را بدون استراحت بین آنها انجام دادند. این پروتکل تقریبا ۵ دقیقه برای هر شرکت‌کننده طول کشید. پس از انجام پروتکل خستگی، برای اطمینان از اینکه آیا آزمودنی‌های گروه تجربی به میزان کافی از سطح خستگی رسیده‌اند یا خیر، از مقیاس بورگ[۱۸] (RPE) استفاده شد. برای اندازه‌گیری RPE از آزمودنی‌ها خواسته شد تا احساس واقعی خود را در مورد شدت فعالیتی که انجام داده‌اند، بیان کنند. افرادی که کمتر از امتیاز ۱۵ را کسب کرده بودند، یک یا چند ست بیشتر پروتکل را انجام دادند تا به مرز خستگی ۱۵ برسند.



تصویر ۲. تمرین چابکی عملکردی L در پروتکل خستگی کوتاه‌مدت

پروتکل تمرینات پرشی

در تحقیق حاضر از پروتکل تمرین پرشی هرینگتون و همکاران[۱۶] استفاده گردید. در واقع این پروتکل تمرینی با مشارکت بیشتر فعالیت‌های پرشی چالشی همراه با بازخورد کلامی با هدف کنترل راستای اندام تحتانی و تنه و بهبود عملکرد در حین فرود آمدن در شرایط انتقال به بازی به‌صورت پیشرونده و تدریجی جهت پیشگیری از آسیب ACL ارائه گردیده است. قبل از شروع مراحل تمرینی استراتژی فرود مناسب به همه افراد آموزش داده شد و در کل مراحل تمرینی تکنیک فرود آمدن صحیح باید رعایت گردد که توسط آزمونگر بازخورد مناسب ارائه گردید. استراتژی مناسب فرود شامل تنه در راستای مستقیم بدون خم شدن یا نوسان جانبی و دستان باز برای حفظ پایداری در هنگام فرود، لگن در سطح فرونتال بدون تیلت جانبی و در سطح ساژیتال بدون تیلت قدامی بیش‌ازحد بود. هیپ باید بیشتر از ۴۵ درجه خم شود بدون اینکه به اداکشن یا اینترنال روتیشن سقوط کند. زانو باید بیشتر از ۶۰ درجه خم شود و به وضعیت اداکت‌شده سقوط نکند (زانو در راستای انگشت اول یا دوم). فرود باید به‌مدت ۳ ثانیه با حداقل حرکت بدن نگه داشته می‌شد. بازخوردها در خصوص استراتژی فرود به‌ویژه در مراحل اولیه پروتکل تمرینی که مهارت‌ها به‌صورت مجزا از هم در فاز تمرینی مهارت بسته بود، ارائه گردید.

مراحل تمرینات پرشی

پروتکل تمرینات پرشی شامل ۳ بخش بود:

مرحله اول: فاز تمرینی بلوک مهارت بسته

این مرحله شامل تکرار تمرین حرکات مجزا از هم با تاکید بر راستای صحیح اندام است. اینها تمریناتی هستند با بلوک‌های مختصر و فعالیت‌های حرکتی یکسان در محیط قابل‌پیش‌بینی که اغلب در یک سرعت ثابت مشخص اجرا می‌گردند. اجرای تمرینات این مرحله بر پایه برنامه‌های پرش-فرود کوتاه هرینگتون است. مدت‌زمان این مرحله ۳۰ دقیقه و سه جلسه در هفته بود که طی چهار هفته انجام شد. تمرین پرش-فرود به‌تدریج سخت‌تر شد، در طول دوره کنترل جهت و پیشرفت از فرود دوپا به تک‌پا انجام گرفت.

مرحله دوم: فاز ترکیبی

فاز ترکیبی یک مرحله میانی است که بعضی عناصر تصادفی در تمرین پرش-فرود گنجانده می‌شود، اما اینها هنوز به‌وضوح با توالی و فعالیت‌های مشخص (تعریف‌شده) هستند. در مرحله ترکیبی، آزمودنی‌ها فعالیت مهارت بسته را انجام دادند، اما با عناصر مبتنی بر عکس‌العمل، به‌عنوان مثال استفاده از نشانه‌های کلامی. گنجاندن عناصر تصادفی بیشتری موقع انجام پرش یا فرود دوطرفه یا یک‌طرفه شامل توصیه‌های کلامی مربی در پاسخ به ورزش ارائه گردید. مدت‌زمان این مرحله ۳۰ دقیقه و سه جلسه در هفته بود که طی دو هفته انجام شد.

مرحله سوم: فاز تمرین تصادفی مهارت باز

در این مرحله، محیط انجام فعالیت ورزشکار در دوره‌های انجام تکلیف، تعداد تکرارها و ترتیب غیرقابل‌پیش‌بینی است. در واقع تلاش در جهت توسعه و اجرای مناسب مهارت‌های فرود در یک محیط بی‌نظم که بیشتر انعکاس یک محیط ورزشی است، می‌باشد. بسیاری از فعالیت‌های ذکرشده در بالا با اجرای تصادفی مانند توپ گرفتن، سر زدن با توپ و طناب زدن ترکیب شد. در طی این فعالیت‌ها، بازخورد ویژه در خصوص راستای اندام تحتانی در طی فعالیت‌ها از طریق قدرت و موقعیت و کادر پزشکی به آزمودنی‌ها داده شد. مدت‌زمان این مرحله ۳۰ دقیقه و سه جلسه در هفته بود که طی دو هفته انجام شد.

جمع‌آوری داده‌های کینماتیکی در حین تکلیف پرش-فرود تک‌پا

ابتدا به تمام آزمودنی‌ها طریقه انجام تست‌گیری و پروتکل فرود از روی جعبه آموزش داده شد. جهت ارزیابی دامنه حرکتی مفاصل زانو، ران و تنه در سطح ساژیتال و فرونتال در حین فرود تک‌پا از سیستم تصویربرداری دستگاه آنالیز سه‌بعدی حرکات (3D Motion Analysis System) ساخت کشور آمریکا مدل Raptor-H، Digital Real Time System با 6 دوربین

اپتوالکتریک مادون قرمز با فرکانس نمونه‌برداری ۱۲۰ هرتز برای ثبت حرکات استفاده گردید.[۱۹] دو وضعیت استاتیک و اجرای آزمون فرود پای برتر آزمودنی‌ها در یک فضای سه‌بعدی کالیبراسیون‌شده، ترکینگ شد. مارکرگذاری به شیوه سه‌بعدی انجام شد. در مارکرگزاری این نمونه‌برداری سعی بر این شد که هر سگمنت حداقل با سه نشانگر تعریف و شناسایی شود؛ به این صورت که بر روی ساق ۳ عدد مارکر، بر روی ران ۳ مارکر، ۲ مارکر بر روی خار خاصره قدامی-فوقانی[۱]، ۲ ماکر بر روی خار خاصره خلفی-فوقانی[۲]، ۱ مارکر بر روی شست و ۱ مارکر روی L_5 جهت شناسایی مرکز ثقل (جمعا ۱۲ عدد)[۲۰] با قطر 19 میلی‌متر به‌صورت غیرهمراستا نصب شد (تصویر ۳). فاکتورهای کینماتیکی اندام تحتانی و تنه در حین فرود تک‌پا شامل زوایای فلکشن زانو، ران و تنه در سطح ساجیتال و ابداکشن و اداکشن زانو و فلکشن جانبی تنه در سطح فرونتال اندازه‌گیری شد. دامنه حرکتی مفصل در سطح ساژیتال و فرونتال به‌عنوان تفاوت بین تماس اولیه پا با زمین و زاویه حداکثر (پیک) در طی چرخه فرود به دست می‌آید. تغییرات این زوایا نسبت به حالت ایستا هر آزمودنی محاسبه شد.[۲۱] تجزیه داده‌ها پس از خروج از سیستم آنالیز حرکت توسط نرم‌افزار MATLAB نسخه R2012aجهت به دست آوردن زوایای مورد نظر انجام گرفت. جهت انجام فرود تک‌پا، از شخص خواسته شد به مدت ۳ ثانیه بدون حرکت بایستد تا مختصات مارکرها در حالت استاتیک به دست آید، سپس افراد سه بار فرود تک‌پا را در فضای تحت پوشش دوربین‌ها انجام داده و میانگین داده‌های این سه مرحله به‌عنوان داده فرود مربوط به هر فرد مورد استفاده قرار گرفت.[۱۷] جهت کاهش دادن نویزهای ناشی از حرکات مارکرها، فیلتر پایین¬گذر باتروث (Zero-Lag) با مرتبه ۴ و فرکانس برش ۶ هرتز مورد استفاده قرار گرفت.

از آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی توزیع نرمال بودن داده‌ها و جهت تجزیه‌وتحلیل فرضیه‌های پژوهش از آمار آنکوا در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ استفاده شد. سطح معناداری آلفای کوچکتر یا مساوی ۰/۰۵ در نظر گرفته شد (α≤۰/۰۵).

تصویر ۳. روش مارکرگذاری جهت آنالیز سه‌بعدی حرکت تکلیف پرش-فرود تک‌پا

یافته‌ها

در جدول شماره ۱، ویژگی‌های آزمودنی‌های تحقیق شامل سن، قد، وزن و سابقه فعالیت ورزشی ارائه گردید. نتایج تفاوت معناداری را بین پارامترهای اندازه‌گیری نشان نداد.

جدول ۱. اطلاعات فردی آزمودنی‌ها)

متغیر	گروه	mean±SD	معناداری
سن (سال)	تجربی	۲۶/۶±۴/۴۰	۰/۳۵۷
	کنترل	۲۵/۰۷±۴/۵۶	
قد (سانتی‌متر)	تجربی	۱۸۴/۲±۵/۰۴	۰/۱۸۷
	کنترل	۱۸۶/۶±۴/۶۶	
وزن (کیلوگرم)	تجربی	۸۸/۰۷±۷/۷۲	۰/۴۰۱
	کنترل	۹۰/۷۳±۹/۳۲	
سابقه ورزشی (سال)	تجربی	۸/۴۰±۳/۳۳	۰/۶۶۱
	کنترل	۹/۰۷±۴/۷۷	

به‌منظور استفاده از آزمون‌های پارامتریک پیش‌فرض تساوی واریانس گروه‌ها در مرحله پیش‌آزمون در تمام متغیرها مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲. نتایج آزمون لون به منظور بررسی تساوی واریانس گروه‌ها در متغیرهای پژوهش

متغیر	درجه آزادی ۱	درجه آزادی ۲	سطح معناداری	F
زاویه فکشن زانو در صفحه ساجیتال	۱	۲۸	۰/۰۵۴	۰/۵۷۹
زاویه والگوس زانو	۱	۲۸	۰/۳۴۱	۴/۰۴۴
زاویه چرخش تیبیا	۱	۲۸	۰/۹۵۰	۰/۹۳۶
زاویه فلکشن ران	۱	۲۸	۰/۵۱۳	۰/۰۰۴
زاویه فلکشن تنه	۱	۲۸	۰/۱۳۶	۰/۴۴۰
زاویه تیلت جانبی تنه	۱	۲۸	۰/۱۲۸	۲/۳۶۲

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون لِوِن در جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که پیش‌فرض همگنی واریانس نمرات آزمودنی‌ها در تمامی متغیرهای پژوهش در مرحله پیش‌آزمون برقرار است (P>۰/۰۵).

جدول شماره ۳، تغییرات میانگین و انحراف استاندارد و نتایج تحلیل کواریانس پیرامون زوایای اندازه‌گیری‌شده گروه‌های تجربی و کنترل در پیش‌آزمون و پس‌آزمون را نشان می‌دهد. نتایج آزمون تحلیل کواریانس نشان داد (جدول ۳) که بین متغیرهای کینماتیکی زوایای فلکشن زانو (p=۰/۰۰۱)، فلکشن ران (p=۰/۰۰۲) و فلکشن تنه (p=۰/۰۰۱) در پس‌آزمون بین دو گروه تجربی و کنترل اختلاف معناداری وجود دارد (P≤۰/۰۵)؛ به این صورت که متغیرهای کینماتیکی مذکور در گروه تجربی تغییرات معناداری نسبت به گروه کنترل داشته است. با توجه به مجذور اتای سهمی متغیرهای فلکشن زانو و تنه، به‌ترتیب اندازه اثر ۰/۷۳۷ برای زاویه فلکشن زانو و ۰/۵۱۰ برای زاویه فلکشن تنه در صفحه ساجیتال را نشان می‌دهد که بیان‌کننده این است که ۰/۷۳از تغییرات به‌وجودآمده در فلکشن زانو و ۰/۵۱ از تغییرات به‌وجودآمده در فلکشن تنه آزمودنی‌ها ناشی از تمرینات پرشی بوده که نشان‌دهنده اندازه اثر قوی تمرینات پرشی بر روی این دو متغیر در گروه تجربی بوده است. مجذور اتای سهمی متغیرهای فلکشن ران و تیلت جانبی تنه، به‌ترتیب اندازه اثر ۰/۲۹۴ برای زاویه فلکشن ران و ۰/۱۰۵ برای زاویه تیلت جانبی تنه را نشان می‌دهد که بیان‌کننده این است که ۰/۲۹ از تغییرات به‌وجودآمده در فلکشن ران و ۰/۱۰ از تغییرات به‌وجودآمده در تیلت جانبی تنه آزمودنی‌ها ناشی از تمرینات پرشی بوده که نشان‌دهنده اندازه اثر متوسط تمرینات پرشی بر روی این دو متغیر در گروه تجربی بوده است. همچنین مجذور اتای سهمی متغیرهای زاویه والگوس زانو و زاویه چرخش تیبیا به‌ترتیب اندازه اثر ۰/۰۷۳ و ۰/۰۲۴ را نشان می‌دهد که نشان‌دهنده تاثیر ضعیف تمرینات پرشی بر روی این دو متغیر در گروه تجربی است.

جدول ۳. تغییرات میانگین و انحراف استاندارد گروه‌های تجربی و کنترل در پیش‌آزمون و پس‌آزمون و نتایج تحلیل کواریانس پیرامون زوایای اندازه‌گیری‌شده

فاکتورها	گروه	mean±SD پیش‌آزمون	mean±SD پس‌آزمون	مجذور میانگین	F	df	P	Eta Squared (اندازه اثر)
زاویه فکشن زانو در صفحه ساجیتال	تجربی	۲۹/۶۰±۸/۰۱	۳۶/۱۸±۶/۴۴	۱۸۷/۲۵۰	۷۵/۶۸۰	۱	۰/۰۰۱**	۰/۷۳۷
	کنترل	۲۹/۵۳±۶/۳۳	۳۱/۱۳±۵/۹۱					
زاویه والگوس زانو	تجربی	۳/۹۷±۰/۶۳	۳/۴۲±۰/۵۹	۰/۳۱۱	۲/۱۱۹	۱	۰/۱۵۷	۰/۰۷۳
	کنترل	۴/۲۸±۰/۴۵	۳/۸۷±۰/۵۴					
زاویه چرخش تیبیا	تجربی	۶/۰۵±۰/۹۶	۵/۹۵±۰/۸۳	۰/۱۴۰	۰/۶۵۱	۱	۰/۴۲۷	۰/۰۲۴
	کنترل	۶/۰۱±۱/۰۸	۶/۰۶±۰/۹۵					
زاویه فلکشن ران	تجربی	۲۹/۵۲±۶/۲۵	۳۵/۶۷±۵/۳۴	۴۸/۱۰۳	۱۱/۲۳۰	۱	۰/۰۰۲*	۰/۲۹۴
	کنترل	۳۱/۱۷±۸/۶۰	۳۴/۶۰±۸/۳۶					
زاویه فلکشن تنه	تجربی	۲۵/۷۲±۵/۶۴	۳۱/۴۷±۴/۱۰	۱۷۳/۴۷۹	۲۸/۰۶۱	۱	۰/۰۰۱**	۰/۵۱۰
	کنترل	۲۳/۸۲±۵/۶۰	۲۵/۳۴±۴/۷۰					
زاویه تیلت جانبی تنه	تجربی	۸/۲۰±۰/۸۶	۸/۶۷±۰/۹۴	۲/۰۷۰	۳/۱۷۲	۱	۰/۰۸۶	۰/۱۰۵
	کنترل	۸/۵۱±۰/۹۹	۸/۳۳±۱/۰۳					

***معناداری در سطح ۰/۰۵**

****معناداری در سطح ۰/۰۰۱**

بحث

هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر ۸ هفته تمرینات پرشی بر فاکتورهای منتخب کینماتیکی در شرایط خستگی در مردان هندبالیست لیگ برتر مستعد آسیب لیگامنت صلیبی قدامی بود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پس از هشت هفته تمرینات پرشی در شرایط خستگی میزان فلکشن زانو، فلکشن ران، فلکشن تنه و تیلت جانبی تنه در گروه تمرینی افزایش می‌یابد، در حالی که کاهش معناداری در والگوس زانو و چرخش تیبیا مشاهده نگردید.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پس از هشت هفته تمرینات پرشی میزان فلکشن زانو، فلکشن ران و فلکشن تنه در گروه تمرینی پس از تمرینات پرشی افزایش یافت که همسو با تحقیقات چاپل و همکاران[۲۲] میر و همکاران[۲۳] می‌باشد. چاپل و همکاران[۲۲] گزارش کردند برنامه تمرینی عصبی-عضلانی، باعث افزایش در زاویه بیشینه فلکشن زانو در حین تکلیف حرکتی فرود-پرش ورزشکاران می‌شود. همچنین میر و همکاران[۲۳] در بررسی اثر تمرینات جامع عصبی-عضلانی به این نتیجه رسیدند که ترکیب تمرینات چندجانبه با برنامه جامع، مقادیر بیومکانیکی اجرا از جمله زاویه فلکشن زانو را بهبود می‌بخشد. این نتایج بیان می‌کند که تمرین عصبی-عضلانی در برنامه گرم کردن پیشگیری آسیب می‌تواند به‌طور مثبت استراتژی‌های حرکتی ورزشکاران را اصلاح کند.[۲۴] از طرفی دیگر، اثر ۸ هفته برنامه پیشگیری از آسیب درون فصل بر کینماتیک ران و زانو طی عمل فرود در تحقیق پولارد و همکاران[۲۵] بررسی شد. این برنامه شامل تمرینات کششی، قدرتی، پلایومتریک و چابکی بود. کینماتیک سه‌بعدی ران و زانو طی عمل فرود ارزیابی شده و مقادیر حداکثر زوایای مفاصل ران و زانو طی مرحله کاهش شتاب، قبل و بعد تمرینات مقایسه شدند. نتایج نشان داد متعاقب تمرینات، چرخش داخلی ران کاهش و ابداکشن ران افزایش پیدا کرد، اما تغییری در زوایای ولگوس و فلکشن زانو در پس‌آزمون مشاهده نشد. این گزارشات با تحقیق حاضر همسو می‌باشد.

کاهش فعالیت عضلات اندام تحتانی به‌دلیل خستگی می‌تواند منجر به تغییر در وضعیت لگن و تنه شود. تاثیر خستگی بر وضعیت تنه جنبه مهمی دارد زیرا این امر می‌تواند بارهای وارده روی مفصل زانو و استرس بر روی لیگامنت صلیبی قدامی را تغییر دهد.[۲۶] در صفحه ساجیتال، اکستنشن تنه یک استراتژی متداول برای کاهش تقاضا بر روی عضلات اکستنسور لگن خسته و ضعیف است[۲۷]، اما یک فلکشن تنه کوچکتر در هنگام فرود، فعال شدن عضلات چهارسر را افزایش می‌دهد[۲۸] و به تبع آن، نیروی برشی تیبیوفمورال قدامی و استرس بر روی لیگامنت صلیبی قدامی را افزایش می‌دهد (مخصوصاً با زانوی نزدیک به اکستنشن کامل).[۲۶] چاپل و همکاران[۲۲] گزارش دادند که کاهش زاویه فلکشن زانو در هنگام فرود با افزایش نیروی برشی قدامی تیبیوفمورال همراه است؛ بنابراین، این امکان وجود دارد که فلکشن بیشتر تنه و به دنبال آن افزایش فعال‌سازی عضلات همسترینگ بتواند افزایش در نیروی قدامی تیبیوفمورال ناشی از فلکشن کمتر زانو را به حداقل برساند. در این روش، از فلکشن تنه می‌توان به‌عنوان یک راهکار برای کاهش استرس بر روی لیگامنت صلیبی قدامی در صورت وجود خستگی استفاده کرد. با توجه به تحقیق کولاس و همکاران[۲۶] افزایش فلکشن تنه تغییر شکل لیگامنت صلیبی قدامی را در حین چمباتمه زدن (اسکات) حتی در زوایای کمتر فلکشن زانو به حداقل می‌رساند.

در صفحه فرونتال، کاهش فعال شدن عضلات ابداکتور هیپ به‌دلیل خستگی می‌تواند منجر به افت لگن طرف مقابل شود. یک جبران طبیعی برای این کاهش، خم شدن یک‌طرفه تنه (به سمت اندام حمایت‌کننده) است. با این حال، خم شدن یک‌طرفه تنه می‌تواند باعث شود تا بردار نیروی عکس‌العمل زمین از خارج مرکز مفصل زانو عبور کند که باعث ایجاد یک حرکت ابداکشن در زانو می‌شود[۲۹] و گزارش شده است که حرکت ابداکشن زانو پیش‌بینی‌کننده آسیب‌پذیری لیگامنت صلیبی قدامی در ورزشکاران می‌باشد.[۳۰] در تحقیق جیووانا و همکاران[۲۴] مشخص گردید که خستگی افت لگن مقابل را در تماس اولیه با زمین و هنگام فرود افزایش می‌دهد؛ از این رو، این امکان وجود دارد که خستگی توانایی عضله را در تولید قدرت کاهش دهد. گیسر و همکاران[۶] نیز بیان کردند که با توجه به اینکه عضلات ابداکتور ران اولین ثبات‌دهنده‌های حرکت اندام تحتانی در صفحه فرونتال هستند، خستگی این عضلات منجر به کنترل نامناسب حرکت در صفحه فرونتال می‌شود؛ در نتیجه، حرکات اندام تحتانی به‌خصوص والگوس زانو افزایش خواهد داشت و خطر آسیب لیگامنت صلیبی قدامی افزایش خواهد یافت. مکلین و همکاران[۳۱] اثر خستگی بر استراتژی فرود را مورد بررسی قرار دادند و افزایش ابداکشن زانو را در اوج و لحظه تماس اولیه آن گزارش کردند. اورتیز و همکاران[۳۲] اثرات خستگی بر روی ثبات مفصل زانو را بررسی کردند؛ نتایج تحقیق آنها نیز نشان داد که عوامل آسیب‌زننده به مفصل زانو (والگوس افزایش‌یافته) در جلسات خستگی، بیشتر است. نیروی گشتاور والگوس بر روی زانو باعث افزایش جابه‌جایی قدامی می‌شود. تحقیق حاضر با تحقیقات جیووانا و همکاران[۲۴]، گیسر و همکاران[۶] و مکلین و همکاران[۳۱] همسو نمی‌باشد. شاید بتوان علت را در این نکات توجیه کرد که به دلیل کم بودن بار تمرینی پروتکل پلایومتریک و عدم تمرکز در سطح فرونتال بوده؛ بنابراین در پس‌آزمون اختلاف معناداری در زوایای کینماتیک فوق در شرایط خستگی حاصل نگردید.

تمرینات تحقیق حاضر تمرین‌هایی هستند که بر پایه فعالیت‌های مهارت بسته با ترتیب ثابت و بلوکه‌شده می‌باشند، معمولا این تمرینات شامل تمرینات تکراری مهارت بسته هستند، به‌طوری که تکالیف حرکتی مشابه در محیط قابل-پیش‌بینی و ثابت و با آهنگ سرعتی که توسط خود فرد مشخص شده است، انجام می‌گیرد. در این تمرینات جهت نشان دادن مناسب نیازهای مهارت حرکتی ورزش، مخصوصا ورزش‌های تیمی، تمرین‌ها به‌صورت پیشرونده پیچیدگی مهارت با تمرینات مهارت باز افزایش داده شد که در آن عناصر تمرینی به‌صورت تصادفی ارائه می‌شود. در روش مهارت بسته یا بلوکه‌شده شرایط تمرینی و آهنگ تمرین توسط خود فرد کنترل شده که این حالت به فرد اجازه می‌دهد که ویژگی الگوهای حرکتی مناسب را در محیط‌هایی که قابل‌پیش‌بینی و استاتیک هستند، درک کرده و بیاموزند. پس از آن تمرین نیاز به پیشرفت برای ترکیب تصادفی‌تر عناصر تمرینی دارد، جایی که محیط غیرقابل‌پیش‌بینی و در حال تغییر است و فرد نیاز به سازگاری با این شرایط تمرینی دارد. همچنین در این مراحل تمرینی به‌ویژه در مرحله اول تمرینی که حالت روش مهارت بسته دارد، آزمودنی‌ها بازخوردهای Real-time را در ارتباط با استراتژی‌های فرود دریافت می‌کردند. تمرینات پلایومتریک در اصل برای توسعه توان انفجاری در اجرای مهارت‌های ورزشی به کار می‌رود، اما اخیراً در بازتوانی ورزشکاران آسیب-دیده برای کمک به آمادگی برای شروع شرکت در ورزش استفاده شده است. تمرینات پلایومتریک حساسیت گیرنده-های گلژی تاندون را کاهش داده و در نتیجه سطح مهار شدن را بالا می‌برد. در واقع چنانچه سطح مهار شدن افزایش یابد، بار بیشتری بر سیستم عضلانی-اسکلتی اعمال می‌شود و در نتیجه توانایی تولید نیرو افزایش پیدا می‌کند. تمرینات پلایومتریک با ایجاد هماهنگی عصبی-عضلانی و با کشش اولیه انفجاری کارایی عضلات را بهبود می‌بخشد.[۳۳] تمرینات پلیومتریک یا پرشی می‌تواند منجر به کاهش نیروی عکس-العمل زمین، کاهش ابداکشن زانو و گشتاور اداکشن ران در حین فرود، افزایش توان عضلانی اندام تحتانی و کاهش وقوع آسیب‌های جدی زانو شود.[۳۴]

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که پس از هشت هفته تمرینات پرشی در شرایط خستگی کاهش معناداری در والگوس زانو، تیلت جانبی تنه و چرخش تیبیا مشاهده نگردید. نتایج تحقیق اخیر با تحقیقات محمدی و همکاران[۴]، بارندرچت و همکارانش[۳۵] و میر و همکاران[۳۶] همسو نبود. محمدی و همکاران[۴] اثر یک برنامهٔ تمرینی عصبی-عضلانی بر کینماتیک اندام تحتانی و عملکرد زانوی بازیکنان مرد هندبال را در فرود با یک پا مورد بررسی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که تمرینات عصبی-عضلانی می‌تواند موجب بهبود عملکرد اندام تحتانی و کاهش زوایای چرخش داخلی و والگوس زانو در فرود با یک پا شود و نیز می‌تواند به بازیکنان نخبهٔ مرد هندبال در پیشگیری از آسیب‌های لیگامنتی زانو، به‌ویژه پارگی رباط‌های صلیبی قدامی در طول فصل مسابقات کمک کند. یکی از مطالعاتی که در سال‌های اخیر در زمینهٔ تمرینات عصبی-عضلانی روی بازیکنان هندبال انجام شده است، پژوهش بارندرچت و همکارانش[۳۵] است که دریافتند بین اثر ترکیبی تمرینات عصبی-عضلانی و خاص هندبال در مقایسه با تمرینات صرفاً خاص هندبال، در بهبود والگوس زانو در افرادی که بالای سطح میانگین قرار گرفته‌اند، اختلاف معناداری وجود دارد و در افرادی که والگوس زانوی آنان مساوی یا زیر میانگین بوده، اثر این تمرینات معنادار نبوده است. در همین راستا، میر و همکاران[۳۶] با ارائه یک برنامه تمرینی پیشگیرانه در دو گروه که شامل گروه تمرینات پلایومتریک و گروه تمرینات تعادلی بودند، مشاهده کردند که زاویه والگوس زانو هر دو گروه در فرود از یک پله آنان کاهش معناداری یافته است. این نتایج بیان می‌کند که خطاهای فرود و فاکتورهای خطری که می‌تواند باعث افزایش خطر آسیب لیگامنت صلیبی قدامی شود، می‌تواند از طریق برنامه‌های پیشگیری از آسیب مورد هدف قرار گرفته و اصلاح شود. علت عدم همسویی تحقیق اخیر با تحقیقات فوق را شاید بتوان در این نکات توجیه کرد، از آنجایی که بازیکنان حرفه‌ای هندبال حاضر در لیگ برتر که در این تحقیق شرکت کردند، احتمالا دارای راستای مناسب در زاویه والگوس زانو، تیلت جانبی تنه و چرخش تیبیا در پیش‌آزمون بودند و همچنین پروتکل تمرینی پرشی بر عضلاتی تمرکز داشت که حرکات را بیشتر در صفحه ساجیتال کنترل می‌کردند نه در صفحه فرونتال؛ بنابراین در پس‌آزمون اختلاف معناداری در زوایای کینماتیک فوق حاصل نگردید.

همچنین تحقیقاتی همراستا با تحقیق اخیر ارائه گردیده است، از آن جمله می‌توان به تحقیق چاپل و همکاران[۲۲] اشاره کرد که گزارش کردند انجام شش هفته تمرین عصبی-عضلانی باعث کاهش گشتاور والگوس زانو می‌شود، در حالی که تغییری در کینماتیک ران و زانو در صفحه فرونتال و صفحه عرضی مشاهده نکرده‌اند.

با وجود نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاضر و بررسی نتایج تحقیقات پیشین، به نظر می‌رسد تمرینات پلایومتریک احتمالاً می‌تواند در پیشگیری از آسیب‌های لیگامنت صلیبی قدامی مؤثر باشد، اما آنچه تحقیق اخیر را از سایر تحقیقات متمایز می‌سازد، اجرای پروتکل تمرینی در شرایط خستگی و شبیه به شرایط واقعی رویدادهای ورزشی است. با این حال، در این تحقیق هنوز محدودیت‌هایی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به این موارد

اشاره کرد که تغییرات کینماتیک در هنگام فرود می‌تواند ناشی از تمرین و آموزش مداخله و یادگیری باشد. علاوه بر این، نمی‌توان سطح خستگی ارائه‌شده توسط شرکت‌کنندگان را دقیقا تعیین کرد؛ بنابراین با توجه به اینکه تاثیر تمرینات پلایومتریک بر کینماتیک فرود هنوز در حد تئوری است، پیشنهاد می‌گردد تاثیرات طولانی‌مدت پروتکل‌های تمرینی پرشی مختلف در نمونه‌های بزرگ در هر دو جنس جهت برنامه پیشگیری از آسیب بررسی گردد.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد تمرینات پلایومتریک مورد استفاده در این تحقیق با تأثیر بر روی زوایای کینماتیکی مفاصل حین فرود و در شرایط خستگی باعث افزایش میزان فلکشن زانو، ران و تنه شده و با افزایش فعالیت فیدفورواردی عضلات و توسعه کل سیستم عصبی-عضلانی از مکانیزم‌هایی که باعث آسیب لیگامنت صلیبی قدامی حین فرود می‌شود، پیشگیری می‌کند و راهکار مناسبی برای پیشگیری از آسیب لیگامنت صلیبی قدامی می‌باشد؛ بنابراین توصیه می‌شود مربیان تیم-های ورزشی، متخصصان علوم توانبخشی و فیزیوتراپیست‌ها از این تمرینات جهت پیشگیری از آسیب لیگامنت صلیبی قدامی در افراد استفاده کنند.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از رساله دانشجویی دوره دکتری رشته حرکات اصلاحی و آسیب شناسی دانشگاه خوارزمی تهران آقای فرید علیمرادی قلعه به راهنمایی دکتر ملیحه حدادنژاد و دکتر سید صدرالدین شجاع الدین و مشاوره دکتر امیر لطافتکار می باشد. همچنین از کلیه شرکت کنندگان در این تحقیق و کسانی که به هر نحوی در انجام تحقیق حاضر یاری رساندند، تشکر و قدردانی می ¬شود.

منابع

1. Boden BP, Griffin LY, Garrett Jr WE. Etiology and prevention of noncontact ACL injury. Phys Sportsmed. 2000;28(4):53–60.
2. Arendt EA, Agel J, Dick R. Anterior cruciate ligament injury patterns among collegiate men and women. J Athl Train. 1999;34(2):86.
3. Imwalle LE, Myer GD, Ford KR, Hewett TE. Relationship between hip and knee kinematics in athletic women during cutting maneuvers: a possible link to noncontact anterior cruciate ligament injury and prevention. J strength Cond Res Strength Cond Assoc. NIH Public Access; 2009;23(8):2223.
4. Mohammadi M, Alizadeh MH, Ebrahimi E, Shirzad E. The Influence of a Neuromuscular Exercise Program on Lower Limb Function and Knee 3D Alignment of Handball Male Players in single leg Landing. 2014;6(4): 13-32[In Persian]
5. Ameer M. Kinematic comparison between single and double-leg jump landings in sagittal plane for male handball players. Turkish Journal of Sport and Exercise. 2016; 8: 108-115
6. Geiser C, O'Connor KM, Earl JE. Effects of isolated hip abductor fatigue on frontal plane knee mechanics. 2010; Med Sci Sports Exerc.
7. Chavez A, Knudson D, Harter R, Mccurdy K. Activity-Specific Effects of Fatigue Protocols May Influence Landing Kinematics: A Pilot Study. International Journal of Exercise Science. 2013; 6(3) : 242-249.
8. Yeung MS, Chan KM, So CH, Yuan WY. An epidemiological survey on ankle sprain. Br J Sports Med. 1994 Jun; 28(2):112-6.
9. Sahlin, K. Metabolic factors in fatigue. Sports Medicine. 1992; 13 (2), 99-107.
10. Jacobs, Cale A;Uhl, Timothy L;Mattacola, Carl G;Shapiro, Robert;Rayens, William S. Hip Abductor Function and Lower Extremity Landing Kinematics: Sex Differences. Journal of Athletic Training; Jan-Mar 2007; 8: 76-83
11. Gheidi N, Sadeghi H, Talebian Moghadam S, Tabatabaei F, Kernozek TW. Kinematics and Kinetics Predictor of Proximal Tibia Anterior Shear Force during Single Leg Drop Landing. Physical trea ments. 2014; 7:102-108[In Persian]
12. V Vali Pour, R Ghara khanlou, F Rahbarizade, J Mola. Neuromuscular and Functional Adaptations to Selected Plyometric Training vs. Combined Resistance and Plyometric Training; 2010 ; 7:113-91 [In Persian]
13. Letafatkar A, Rajabi R, Tekamejani EE, Minoonejad H. Effects of perturbation training on knee flexion angle and quadriceps to hamstring cocontraction of female athletes with quadriceps dominance deficit: Pre-post intervention study. 2015;22(3):230-6
14. Irmischer BS, Harris C, Pfeiffer RP, DeBeliso MA, Adams KJ, Shea KG. Effects of a knee ligament injury prevention exercise program on impact forces in

woman. J Strength Cond Res. 2004; 18(4):703-7
15. Lucci S, Cortes N, Lunen B Ringleb S, Onate J. Knee and hip sagittal and transverse plane changes after two fatigue protocols. Journal of Science and Medicine in Sport .2011;14: 453–459
16. Herrington L, Comfort P. Training for Prevention of ACL Injury: Incorporation of Progressive Landing Skill Challenges Into a Program. Strength and conditioning journal. 2013;6:59-65
17. Williams VJ, Nagai T, Sell TC, Abt JP, Rowe RS, McGrail MA, Lephart SM. Prediction of Dynamic Postural Stability During Single-Leg Jump Landings by Ankle and Knee Flexibility and Strength. Journal of Sport Rehabilitation 2016; 25: 266 -272
18. Darni Hamedani P. [Effect of the core functional muscles fatigue on postural sway of collegiate female athletes] (persian). Thesis for master of physical education. Tehran: Faculty of Physical Education and Sports Science University of Tehran:2014
19. McPherson AL, Dowling B, Tubbs T, Paci JM. Sagittal plane kinematic differences between dominant and non-dominant legs in unilateral and bilateral jump landings. Physical Therapy in Sport. 2016. (Accepted Manuscript).
20. Winter D A(2009). Biomechanics and Motor Control of Human Movement. John Wiley & Sons.
21. Naderi S, Mohammadipour F, Amirseyfaddini MR. The Effects of Different Walking Inclinations on Knee Angle in the Frontal Plane of Patients with Varus Malalignment. Physical Treatment. 2014;4(3):139-44.
22. Chappell JD, Limpisvasti O. Effect of neuromuscular training program on the kinetics and kinematics of jumping tasks. 2008; Am J Sports Med. 36(6):1081-1086.
23. Myer GD, Ford KR, Palumbo JP, Hewett TE. Neuromuscular training improves performance and lower extremity biomechanics in female athletes. 2005; J Stren & Cond Research.19:51–60.
24. Giovanna, C.L, Ana, F.S, Luis, F.B, Gabriela, C.O, Fabio V.S. Effects of fatigue on lower limb, pelvis and trunk kinematics and muscleactivation: Gender differences. 2016; Journal of Electromyography and Kinesiology 32 (2017) 9–14
25. Pollard CD, Sigward SM, Ota S, Langford K, Powers CM. The influence of inseason injury prevention training on lowerextremity kinematics during landing in female soccer players. 2006; Clin J Sport Med. 16:223–227.
26. Kulas, A.S., Hortobágyi, T., DeVita, P. Trunk position modulates anterior cruciate ligament forces and strains during a single-leg squat. 2012; Clin. Biomech. 27(1), 16–21
27. Powers, C.M. The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective. 2010; J. Orthop. Sports Phys. Ther. 40 (2), 42–51.
28. Blackburn JT, Padua DA. Sagittal-plane trunk position, landing forces, and quadriceps electromyographic activity. Journal of Athletic Training. 2009; 44(2):174-9.
29. Decker, M.J., Torry, M.R., Wyland, D.J., Sterett, W.I., Steadman, J.R. Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics, and energy absorption during landing. Clin. Biomech. 2003;18: 662–669.
30. Price RJ, Hawkins RD, Hulse MA, Hodson A. The Football Association medical research programme: an audit of injuries in academy youth football. British journal of sports medicine. 2004; 38(4):466-471.
31. McLean SG, Felin RE, Suedekum N, Calabrese G, Passerallo A, Joy S. Impact of fatigue on gender-based high-risk landing strategies. 2007; Medicine and science in sports and exercise. 39(3):502-514.
32. Ortiz, Alexis, et al. Fatigue effects on knee joint stability during two jump tasks in women. 2010; Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association. 24.4 1019.
33. Blatner, S. E. and Noble, L. Relative effects of isokinetic and plyometric traning on vertical jump performance. 1979; Res Q, 50: 538- 588.
34. Hewett TE, Myer GD, Ford KR, Paterno MV, Quatman CE. The sequence of prevention: a systematic approach to prevent anterior cruciate ligament injury. Clinical Orthopedic Related Research 2012; 470:2930–2940.
35. Barendrecht, M. Lezeman, H. C. A. Duysens, J. Smits-Engelsman, B, C, M. Neuromuscular training improves knee kinematics, in particular in valgus aligned adolescent team handball players of both sexes. 2011; J Strength Cond Res. 25(3):575-584.
36. Myer GD, Ford KR, McLean SG, Hewett TE. The effects of plyometric versus dynamic stabilization and balance training on lower extremity biomechanics. 2006; Am J Sports Med. 34:445– 455.