10.22037/jrm.2019.111507.2043 Research Article

Comparison of the Effects of Four and Six Weeks of Neuromuscular Training on Knee Alignment in Male Students during Landing

Vahid Siamaki Gharyehsafa[1], Mohammadreza Mohammadi*[2], Mohsen Damavandi [3]

1. Master's student in Physical Education, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University. Sabzevar, Iran
2. PhD, Assistant Professor of Sport Injury and Corrective Exercises, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University. Sabzevar, Iran
3. PhD, Associate Professor of Sport Biomechanics, Faculty of Sport Sciences, Hakim Sabzevari University. Sabzevar, Iran

Received: 2019.May.10 Revised: 2019.June.29 Accepted: 2019.October.14 Published Online: 2019.November.02

ABSTRACT

Background and Aims: The purpose of the present study was to compare the effects of four and six weeks of neuromuscular exercises on male knee alignment during landing.
Materials and Methods: A total of 36 male students of Applied-Science University of Mashhad were selected and divided into three groups (four weeks of neuromuscular training, six weeks of neuromuscular, and control). The kinematics of volunteers' knees were measured using the SKILL SPECTOR software in running the jump-landing motion.
Results: The results revealed that neuromuscular training in both groups of four weeks and six weeks showed a significant increase in knee flexion angle in the sagittal plane in three landing situations with both legs, upper legs, and non-superior feet ($P<0.05$). There was also a significant difference between the two groups of four weeks and six weeks of neuromuscular training in the moment of peak knee flexion and it was quite favorable for the group of four weeks ($P<0.05$). Also, at the moment of landing, there was a significant difference between the two groups of four and six weeks of practice in landing conditions with non-premium foot ($P<0.05$). However, at the moment of landing between the two groups, no significant difference was observed in the landing status of both sides and landing with the upper leg ($P>0.05$).
Conclusion: According to the findings, the current study showed that four weeks of neuromuscular training (24 sessions) improved the alignment of lower limb at sagittal level and increased knee bending angles in hop-landing with high effect size at the level of six weeks of training. Therefore, this program can be used as a training model for preventing injuries due to inappropriate knee orientation, especially ligamental injuries.

Keywords: Neuromuscular training; Knee alignment; Sagittal plane

How to cite this article: Vahid Siamaki Gharyehsafa, Mohammadreza Mohammadi, Mohsen Damavandi. Comparison of the effects of four and six weeks of neuromuscular training on knee alignment in male students during landing. J Rehab Med. 2020; 9(2):266-276.

*Corresponding Author: Dr.Mohammadreza Mohammadi. PhD, Assistant Professor of Sport Injury and Corrective Exercises, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran
Email: m.mohamadi@hsu.ac.ir

مقاله پژوهشی
10.22037/jrm.2019.111507.2043

مقایسه اثر چهار و شش هفته تمرینات عصبی-عضلانی بر بهبود راستای زانوی دانشجویان پسر در هنگام فرود

وحید سیامکی قریه صفا[۱]، محمدرضا محمدی*[۲]، محسن دماوندی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد تربیت بدنی، گروه تربیت بدنی عمومی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۲. استادیار آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه تربیت بدنی عمومی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
۳. دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه تربیت بدنی عمومی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

دریافت مقاله ۱۳۹۸/۰۲/۲۰ **بازنگری مقاله** ۱۳۹۸/۰۴/۰۸ **پذیرش مقاله** ۱۳۹۸/۰۷/۲۲

چکیده

مقدمه و اهداف: هدف از تحقیق حاضر مقایسه اثر چهار و شش هفته تمرینات عصبی-عضلانی بر راستای زانوی دانشجویان پسر در هنگام فرود می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در تحقیق حاضر ۳۶ نفر از دانشجویان پسر دوره کارشناسی دانشگاه علمی کاربردی مشهد انتخاب شدند و به طور تصادفی در سه گروه چهار هفته‌ای (شش جلسه در هفته)، شش هفته‌ای (چهار جلسه در هفته) تمرینات عصبی -عضلانی و کنترل قرار گرفتند. زاویه فلکشن زانو در لحظه اولین تماس پا با زمین و اوج فلکشن زانو در وضعیت‌های فرود با هر دو پا، پای برتر و غیربرتر در اجرای حرکت پرش-فرود با دو دوربین تصویربرداری و سپس محاسبه شد.

یافته‌ها: یافته‌ها نشان داد تمرینات عصبی-عضلانی در هر دو گروه چهار و شش هفته نسبت به گروه کنترل با اندازه اثر بسیار قوی در لحظه اولین تماس پا با زمین و در اوج فلکشن زانو در همه وضعیت‌های فرود افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین در مقایسه بین دو گروه، زاویه فلکشن زانو در گروه چهار هفته‌ای نسبت به گروه شش هفته‌ای تمرینات عصبی-عضلانی در لحظه اوج فلکشن زانو در همه وضعیت‌های فرود و در لحظه اولین تماس پا با زمین در وضعیت فرود با پای غیربرتر نیز افزایش معنی‌داری داشته است. اگرچه در لحظه اولین تماس پا با زمین در وضعیت فرود با هر دوپا و فرود با پای برتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد تمرینات عصبی-عضلانی در هر دو گروه چهار و شش هفته تمرینات عصبی-عضلانی نسبت به گروه کنترل با اندازه اثر بسیار قوی در لحظه اولین تماس پا با زمین و در اوج فلکشن زانو در همه وضعیت‌های فرود افزایش معنی‌داری داشته است. همچنین در مقایسه بین دو گروه، زاویه فلکشن زانو در گروه چهار هفته‌ای نسبت به گروه شش هفته‌ای تمرینات عصبی-عضلانی در لحظه اوج فلکشن زانو در همه وضعیت‌های فرود و در لحظه اولین تماس پا با زمین در وضعیت فرود با پای غیربرتر نیز افزایش معنی‌داری داشته است. اگرچه در لحظه اولین تماس پا با زمین در وضعیت فرود با هر دوپا و فرود با پای برتر تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: تمرینات عصبی-عضلانی؛ راستای زانو؛ حرکت فرود؛ دانشجویان پسر آموزش‌پذیر

نویسنده مسئول: دکتر محمدرضا محمدی، استادیار آسیب‌شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران
آدرس ایمیل: m.mohamadi@hsu.ac.ir

مقدمه و اهداف

آسیب لیگامنت صلیبی قدامی [1] (ACL) به دلیل وجود پیامدهای جدی برای ورزشکاران و دور کردن آنان از عرصه رقابت نگرانی‌های قابل توجهی را ایجاد کرده است.[۱-۳] با بررسی مکانیسم‌های آسیب ACL در ۱۱۵ آسیب مرد و زن، به‌ترتیب ۹۵٪ و ۸۹٪ از این آسیب‌ها را بدون برخورد بازیکنان با یکدیگر گزارش کردند.[۴-۵]

آسیب غیربرخوردی ACL معمولا بعد از برخورد اولیه پا با زمین طی فرود اتفاق می‌افتد.[۶-۷] در لحظه تماس پا با زمین، زانو تحت گشتاور نیروی‌های عمودی و خلفی عکس‌العمل زمین قرار می‌گیرد. گزارش شده است که این نیروها ۱۰ برابر وزن بدن هستند. نشان داده شده است که نیروهای عمودی و خلفی عکس‌العمل زمین پیش‌بینی کننده‌های نیروی برشی قدامی تیبیا هستند.[۸] بعد از تماس اولیه با زمین، عضلات چهارسر به صورت اکسنتریک برای مقابله با فلکشن زانوی ایجادشده توسط نیروهای عکس‌العمل زمین، منقبض می‌شوند و گشتاور خارجی فلکشن زانو به عنوان نیروهای عملکردی فرود، افزایش می‌یابد؛ از این‌رو، افزایش نیروی عکس‌العمل زمین در راستای خلفی در فرود از پرش می‌تواند فشار زیادی را بر ACL در سطح ساجیتال تحمیل کند[۹] و موجب افزایش نیروی برشی قدامی تیبیا [2] (ATSF) یا عامل مشارکت‌کننده در بار وارده بر ACL گردد. نیروی عکس-العمل زمین در راستای خلفی از لحظه تماس اولیه پا با زمین تا اوج فلکشن زانو می‌تواند معیاری از تثبیت و پایداری مفصل زانو در صفحه ساجیتال به کار گرفته شود[۱۰-۱۱] و می‌توان آن‌ها را معادل ATSF و اعمال فشار روی ACL در نظر گرفت.[۱۲]

در صفحه ساجیتال، زانو دارای دامنه حرکتی بیشتری نسبت به صفحات فرونتال و هوریزنتال است. وضعیت صاف زانو طی فرود می‌تواند عاملی بر افزایش خطر آسیب باشد.[۱۳] برخی از مطالعات ارتباط بین فلکشن زانو و احتمال آسیب ACL را تأیید نموده‌اند.[۱۴] گزارشات حاکی از آن است که این آسیب در زاویه بین ۰ تا ۳۰ درجه فلکشن اتفاق می‌افتاد. در زوایای کم فلکشن زانو، عضلات چهارسر نیروی قدامی زیادی بر زانو اعمال می‌کنند و قدرت این عضلات همراه با عضله دوقلو در اعمال نیروی برشی قدامی و بار وارد بر ACL افزایش می‌یابد، درحالی‌که توانایی عضلات همسترینگ در کاهش میزان این نیرو، کم می‌شود و در لحظه تماس با زمین، عضلات چهارسر به طور اکسنتریک برای تلاش در کاهش نیروهای ضربه‌ای و مقابله با شتاب حرکت رو به پایین بدن، منقبض می‌شود.[۱۵]

همچنین از دیگر علل آسیب ACL، کاهش هماهنگی عصب و عضله در اندام تحتانی حین فرود ذکر شده است.[۱۶] یافته‌های علمی اذعان دارند یک فرود مناسب، نیازمند عملکرد خوب سیستم‌های عصبی-عضلانی[۱۷] و حس عمقی[۱۸] در مفصل زانو می‌باشد، به‌طوری‌که افزایش توانایی‌های حس عمقی و عصبی-عضلانی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر حفظ تعادل در هنگام فرود، در مفاصل اندام تحتانی مانند زانو و کاهش آسیب در این اندام می‌باشد.[۱۹] با این حال، ۵۰ تا ۶۵ درصد آسیب‌های غیربرخوردی ACL در ورزش‌های تیمی می‌تواند از طریق برنامه ورزشی متمرکز بر کنترل عصبی-عضلانی، تعادل، قدرت و تکنیک پیشگیری شود.[۲۰-۲۲] مطالعات نشان داده‌اند که برنامه‌های تمرینی خاص، اثرات مثبتی را در ارتقای توانایی‌های حس عمقی، عصبی-عضلانی و حسی-حرکتی و به طور کلی بر عملکرد خوب زانو داشته باشند.[۲۳] اغلب این نوع برنامه‌ها به عنوان برنامه‌های تمرینی عصبی-عضلانی پیشنهاد شده و به طور موفقیت‌آمیزی در کاهش خطر آسیب‌های لیگامنتی زانو تأثیرگذار بوده‌اند. این نوع برنامه‌ها، از تمرینات مختلفی مانند تمرینات پلایومتریک، مهارتی، حس عمقی/تعادل و مقاومتی تشکیل شده‌اند.[۱۷،۲۴]

با توجه به تحقیقات صورت‌گرفته هنوز به طور کامل مشخص نیست که این تمرینات پس از چه مدتی و چند جلسه تمرینی به تأثیرگذاری مورد نظر می‌رسد. نکته مهم دیگر اینکه آیا این تمرینات می‌توانند به طور فشرده همان تأثیری را داشته باشند که در طولانی‌مدت دارند یا خیر. برخی محققین تأثیر این تمرینات را در ۸ هفته سه جلسه‌ای[۲۵]، برخی ۶ هفته سه جلسه-ای[۹،۲۶-۳۰] و برخی دیگر نیز این تمرینات را به صورت ۴ هفته چهار یا پنج جلسه‌ای[۳۱-۳۴] اجرا کردند که البته هر یک به نتایج متفاوتی از میزان تأثیرگذاری این تمرینات در وضعیت‌های مختلف فرود مانند فرود با هر دو پا، فرود با پای برتر و یا غیربرتر دست یافته‌اند. مشاهده می‌شود که در اکثر تحقیقات فوق تعداد جلسات تمرینی نابرابر بوده و نتایج به‌دست‌آمده حاکی از تفاوت میزان تأثیر این تمرینات می‌باشد؛ بنابراین هنوز مشخص نیست که تأثیر این تمرینات در چه مدتی و چگونه است. از طرفی دیگر، مربیان و بازیکنان خواهان بازگشت سریع به شرایط مسابقه هستند، اما هنوز مشخص نیست که آیا فشردگی تمرینات در هفته‌های کوتاه‌تر بهبودی را تسریع می‌بخشد یا خیر. با توجه به بررسی‌های انجام‌شده در تحقیقات و عدم ارائه یک پروتکل مناسب جهت بهبود راستای زانو، تناقض در تعداد جلسات تمرینی و همچنین مشخص نبودن نتایج در جلسات برابر و هفته‌های نابرابر، انجام این تحقیق ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر از نظر هدف کاربردی و به صورت علّی-مقایسه‌ای و از نظر کنترل و اعمال متغیرهای مداخله‌ای نیمه‌تجربی با طرحی بین گروهی برای مقایسه تغییرات راستای زانو در حرکت فرود از یک پرش (سطح ساجیتال) در بین گروه‌های عصبی-عضلانی چهار هفته‌ای، عصبی-عضلانی شش هفته‌ای، کنترل و از نوع پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر سه گروه می‌باشد. داشتن رضایت‌نامه کتبی آزمودنی‌ها برای شرکت داوطلبانه، عدم ناهنجاری در اندام تحتانی (به‌طوری‌که افراد می‌بایست حداقل یک و حداکثر سه انگشت بین کندیل‌های داخلی ران در حالت ایستاده در حالتی که قوزک‌های داخلی به هم چسبیده‌اند، فاصله داشته باشند.) از شرایط ورود داوطلبین به این تحقیق بوده است. همچنین افرادی که در شش ماه گذشته دچار شکستگی در اندام

1 Anterior Ligament Cruciate (ACL)

2 Anterior Tibial Shear Force (ATSF)

تحتانی، پارگی لیگامنت، مینیسک و هر نوع عمل جراحی در مفصل زانو داشتند، از نمونه‌های آماری این تحقیق خارج شدند و اگر در طی زمان اجرای پروتکل تمرینی عدم رضایت از ادامه تمرین، همکاری نامنظم و غیبت بیش از دو جلسه متوالی و یا به طور مجموع سه جلسه داشتند، حذف شدند. جامعه آماری تحقیق حاضر، کلیه دانشجویان پسر دوره کارشناسی دانشگاه علمی-کاربردی مشهد بودند. جهت گزینش نمونه آماری ابتدا کلیه دانشجویان بر اساس معیارهای ورود و خروج غربالگری شدند که ۱۲۰ نفر حائز شرایط بودند و تنها ۳۶ نفر آنان به طور داوطلبانه حاضر به همکاری شدند. این داوطلبین را به صورت تصادفی و مساوی (۱۲ نفر در هر گروه) در سه گروه چهار هفته تمرین عصبی-عضلانی (شش جلسه در هفته)، شش هفته تمرین عصبی-عضلانی (چهار جلسه در هفته) و گروه کنترل (بدون تمرین) قرار گرفتند. سپس از گروه‌های مذکور در آزمایشگاه تربیت‌بدنی دانشگاه علمی کاربردی مشهد دعوت به عمل آمد. قبل از انجام پیش‌آزمون، فرآیند اجرای تحقیق به طور کامل برای افراد تشریح شد و اطمینان داده شد که اطلاعات شخصی و داده-های استخراج‌شده از فرآیند تحقیق، کاملا محرمانه خواهد ماند و به طور کلی گزارش خواهد شد. سپس فرم مربوط به مشخصات فردی در اختیار افراد قرار گرفت و پس از آنکه مشخص شد چه افرادی شرایط ورود به تحقیق را دارند، از آنان خواسته شد در صورت تمایل به همکاری، فرم رضایت‌نامه را مطالعه و امضاء نمایند. قبل از اجرای آزمون ابتدا قد و وزن داوطلبین اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول نسبت وزن بر مجذور قد، شاخص توده بدن[1] محاسبه گردید.

در مرحله بعدی بر روی اندام تحتانی هر کدام از افراد به استفاده از مدل پلاگین گیت[2] مارکرگذاری به عمل آمد[۳۶-۳۵] و در مرحله آخر از آنان با روش تجزیه‌وتحلیل حرکت در وضعیت استاتیک (آناتومیکی) و حرکت فرود از پرش، جهت ارزیابی سینماتیکی دوبعدی حرکات مفصل زانو در صفحه ساجیتال از لحظه اولین تماس پا با زمین تا لحظه اوج فلکشن زانو، در سه وضعیت فرود با هر دو پا، فرود با پای برتر و فرود با پای غیربرتر به طور جداگانه تصویربرداری انجام گرفت. ضمناً با توجه به اینکه ممکن است شرایط یادگیری بر نتیجه آزمون اثر داشته باشد، قبل از اجرای آزمون برای تسلط پیدا کردن به نحوه اجرای آن، افراد ۳ الی ۵ مرتبه در هر وضعیت فرود به طور آزمایشی تمرین کردند. سرانجام پس از اجرای فرودها، محاسبات در دو وضعیت آناتومیکی و حرکت فرود از پرش و بررسی اختلاف آن، زاویه فلکشن زانو در دو لحظه فرود مشخص گردید.[۳۷]

در این پژوهش برای ارزیابی راستای دوبعدی زانو، ابتدا از مارکرهای یک اینچی برای نصب بر روی اندام تحتانی به روش مارکرگذاری پلاگین گیت مدل[3] استفاده شد. به همین منظور مارکرها با این روش بر روی اندام تحتانی مانند خار خاصره‌ای قدامی[4]، تروکانتر بزرگ ران هر دو پا، وسط ران، کندیل داخلی و خارجی زانو، ساق، قوزک‌های داخلی و خارجی، برجستگی پاشنه، مفصل دومین استخوان کف پا با انگشت دوم در حالت استاتیک نصب شدند (شکل ۱). در ادامه پس از تسلط پیدا کردن از داوطلبین خواسته شد که بر روی سکویی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر رفته و با پرشی به سمت بالا بر روی زمین در وضعیت‌های مختلف با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر فرود آیند. با استفاده از دو دوربین کنون[5] و با سرعت تصویربرداری ۶۰ فریم در ثانیه در دو وضعیت استاتیک (آناتومیکی) و اجرای فرود از پرش در وضعیت‌های فرود که در یک فضای دوبعدی کالیبراسیون شده، در لحظه اولین تصویر تماس پا با زمین تا تصویر لحظه اوج فلکشن زانو به عنوان یک متغیر اصلی و با استفاده از فیلتر زیرگذر و فرکانس برشی ۷ هرتز ردیابی[6] شد. همچنین از نرم‌افزار اسکیل اسپکتور[7] جهت تجزیه‌وتحلیل تصاویر حرکت و به دست آوردن زاویه فلکشن زانو در دو لحظه فرود استفاده گردید.[۳۸]

هر دو گروه چهار هفته‌ای و شش هفته‌ای تمرینات عصبی‌عضلانی، به مدت ۴۵-۲۵ دقیقه در هر جلسه، به ترتیب ۶ و ۴ جلسه در هفته (در مجموع ۲۴ جلسه) به تمرینات عصبی-عضلانی مطابق جدول ۱ پرداختند[۴۰-۳۹]. گروه کنترل در طی زمان پیش‌آزمون و پس‌آزمون هیچ‌گونه فعالیت بدنی منسجمی انجام نداده است. پس از پایان بیست و چهار جلسه تمرین از داوطلبین هر سه گروه، با روش و شرایط قبلی (پیش‌آزمون) مجدداً آزمون‌های مذکور انجام پذیرفت و نتایج به‌دست‌آمده از پیش‌آزمون و پس‌آزمون با توجه به روش‌های آماری مورد نیاز مقایسه شد.

اطلاعات به‌دست‌آمده از تحقیق در دو بخش آمار توصیفی و استنباطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS[8] نسخه ۲۰ مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. در این خصوص معیارهای مهم تمایل مرکزی از قبیل میانگین و پراکندگی از قبیل انحراف استاندارد محاسبه شد. در بخش آمار استنباطی، جهت ارزیابی پایایی آزمونگر در نصب مارکرها ابتدا از ضریب همبستگی درون‌گروهی[9] حاصل از ۵ بار اندازه‌گیری و خطای مطلق مارکرگذاری انجام گردید که نشان‌دهنده تکرارپذیری قابل قبول (۰/۹۹-۰/۷۹) در نصب مارکرها بر روی اندام تحتانی داوطلبین بوده است. در مرحله پیش‌آزمون با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف[10] طبیعی بودن توزیع نمونه‌ها تأیید شد. همچنین از طریق آزمون لِوِن[11] تعیین همگنی واریانس گروه‌ها در مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون مورد بررسی قرار گرفت. سپس جهت اطمینان از نرمال بودن داده‌های هر سه گروه و برای بررسی همسان بودن دو گروه در پیش‌آزمون و مقایسه تفاضل میانگین‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون (مقایسه بین

1 Body Mass Index (BMI)
2 Plug-in Gait Model
3 Plug-in Gait Model
4 Anterior Iliac Spines
5 Canon EOS 80D
6 Tracking
7 SkillSpector® Software
8 SPSS
9 Intraclass Correlation Coefficient (ICC)
10 Kolmogorov-Smirnov (K-S) Test
11 Levene's Test

گروهی) هر دو گروه از آزمون آنوای یک‌سویه[1] و آزمون تعقیبی توکی[2] و جهت مقایسه میانگین‌ها در پیش‌آزمون و پس‌آزمون (مقایسه درون‌گروهی) در هر گروه از آزمون تی زوجی[3] استفاده گردید و اندازه اثر آماری[4] متغیرهای مستقل با توجه به فرمول دی-کوهن[5] مورد محاسبه قرار گرفت. همچنین سطح معنی‌داری در تمامی مراحل تحقیق در سطح ۹۵٪ با آلفای ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

شکل ۱. محل قرارگیری مارکرها بر اساس مدل پلاگین گیت

جدول ۱. برنامه تمرینات عصبی-عضلانی

ردیف	برنامه تمرینی	جلسه / نام تمرین	۱-۴	۵-۸	۹-۱۲	۱۳-۱۶	۱۷-۲۰	۲۱-۲۴
۱	تمرین گرم کردن	نرم دویدن به جلو	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰
		دویدن به جلو با حرکت زانوبلند	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰
		حرکت پای پهلو کوتاه (زیگزاگ)	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰	۳۰s- ۱*۲۰
		دو بار لی با چپ، دو بار لی با راست و بعد پاها کنار هم جفت می‌شود و آنگاه پرش به فضا، مکث و فرود به همان نقطه	*(۶-۴) (۳۰s-۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s-۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)
		پرش عمودی و فرود آمدن با زانوی خم	*(۶-۴) (۳۰s-۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s-۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)	(۳۰s- ۲۰) *(۶-۴)	*(۶-۴) (۳۰s- ۲۰)
۲		ایستادن با یک پا روی BOUS	۲*۳۰s	۲*۳۰s	۲*۳۰s	۲*۳۰s	۲*۳۰s	۲*۳۰s

11 Effect Size
12 Cohen's d

12 One-Way ANOVA
13 Tukey
10 Paired t-test

	تمرین بر روی BOSU	پرش با یک پا (با هر پا جدا) روی BOSU و فرود در سمت مقابل	۱*۱۰	۱*۱۰	۲*۱۰	۲*۱۰	۲*۱۵	ت۱۵*۲
		کرانچ روی BOSU با جمع کردن پاها	۱*۱۵	۱*۱۵	۲*۱۵	۲*۱۵	۲*۲۰	ت۲۰*۲
۳	تمرین بر روی تخته تعادل	ایستادن با پاهای موازی روی تخته و و سپس تخته را به جلو و عقب حرکت دادن	۲*۲۵s	۲*۲۵s	۳*۳۰s	۳*۳۰s	۳*۳۰s	۳*۳۰s
		ایستادن با پاهای موازی روی تخته و و سپس تخته را به طرفین حرکت دادن	۲*۲۵s	۲*۲۵s	۳*۳۰s	۳*۳۰s	۳*۳۰s	۳*۳۰s
		ایستادن با یک پا (با هر پا جدا) روی تخته با زانوی خم و حفظ کردن تعادل تخته	۱*۲۰s	۱*۲۰s	۱*۳۰s	۱*۳۰s	۲*۳۰s	۲*۳۰s
		ایستادن با زانوی خم و پاها کمی باز از هم (عرض شانه) و حرکت دورانی دادن به تخته	-------	-------	۲*۲۰s	۲*۲۰s	۲*۳۰s	۲*۳۰s
۴	تمرینات مقاومتی	اسکات با وزنه حداکثر ۱۰٪ 1RM	۲*۱۵	۲*۱۵	۲*۲۰	۲*۲۰	۳*۲۰	۳*۲۰
		تمرین همسترینگ اروپای شمالی	۱*۱۰	۱*۱۰	۱*۱۵	۱*۱۵	۲*۱۵	۲*۱۵
۵	تمرینات پلایومتریک	پرش به پهلو با دو پا و یک پا	۱*۱۵	۱*۱۵	۱*۲۰	۱*۲۰	۲*۲۰	۲*۲۰
		اسکات جامپ	۱*۱۰	۱*۱۰	۱*۱۵	۱*۱۵	۲*۱۵	۲*۱۰

یافته‌ها

پس از تأیید طبیعی بودن توزیع نرمال داوطلبین، با استفاده از آزمون لون جهت همگن بودن مشخصات تن‌سنجی بین گروه‌های تحقیق، نتایج نشان داد بین قد، وزن، سن و شاخص توده بدن گروه‌های تحقیق اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۲).

جدول ۲. ویژگی‌های تن‌سنجی در سه گروه عصبی-عضلانی چهار هفته‌ای، شش هفته‌ای و کنترل

ویژگی‌های تن‌سنجی	گروه عصبی-عضلانی چهار هفته‌ای	گروه عصبی-عضلانی شش هفته‌ای	گروه کنترل	F	P-value
قد (سانتی‌متر)	۱۷۶/۵±۸/۱	۱۷۳/۵±۵/۴	۱۷۵/۸±۷/۴	۰/۵۸۳	۰/۵۶۴
وزن (کیلوگرم)	۷۵/۵±۶/۷	۷۴/۲±۱۰/۲	۷۴±۹/۶	۰/۱۰۷	۰/۸۹۹
سن (سال)	۲۰/۲±۲/۲	۲۰/۵±۱/۹	۲۰/۴±۱/۹	۰/۰۷۹	۰/۳۳۳
BMI (کیلوگرم بر متر مربع)	۲۴/۲±۱/۳	۲۴/۵±۲/۵	۲۳/۸±۲/۴	۰/۲۹۸	۰/۷۴۵

تغییرات زاویه زانو (سطح ساجیتال) در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین و اوج فلکشن زانو در سه وضعیت فرود با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر در پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر سه گروه در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج آزمون تی زوجی نشان داد اختلاف معنی‌داری بین پیش‌آزمون و پس-آزمون در لحظه فرود در اولین تماس پا با زمین و نیز در اوج فلکشن زانو در سه وضعیت فرود با هر دو پا ($p<۰/۰۰۱$)، پای برتر ($p<۰/۰۰۱$) و پای غیربرتر ($p<۰/۰۰۱$) در گروه‌های تمرینی عصبی-عضلانی چهار هفته‌ای و شش هفته‌ای وجود دارد. همچنین تفاوت نسبی میانگین‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر دو لحظه فرود بیانگر اثر مطلوب تمرینات در هر دو گروه تمرینی عصبی-عضلانی نسبت به گروه کنترل می‌باشد، به‌طوری‌که در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین در هر دو گروه عصبی-عضلانی چهار و شش هفته‌ای به‌ترتیب در وضعیت‌های فرود هر دو پا ۶۴/۳۵ و ۶۵/۱۸ درصد، فرود با پای برتر ۵۴/۲۱ و ۵۷/۹۰ درصد و فرود با پای غیربرتر ۶۱/۴۳ و ۵۵/۵۲ درصد افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در لحظه فرود اوج فلکشن زانو در هر دو گروه عصبی-عضلانی چهار و شش هفته‌ای به‌ترتیب در وضعیت‌های فرود هر دو پا ۳۲/۵۲ و ۲۰/۴۴ درصد، فرود با پای برتر ۳۴/۰۳ و ۱۸/۳۰ درصد و فرود با پای غیربرتر ۳۱/۰۱ و ۲۰/۰۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد. البته این افزایش زاویه زانو، در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین نسبت به لحظه فرود در اوج فلکشن زانو بیشتر بوده است.

جدول ۳. نتایج آزمون‌های آماری تی زوجی تغییرات زاویه زانو (سطح ساجیتال) در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین و اوج فلکشن زانو در سه وضعیت فرود با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر در پیش‌آزمون و پس‌آزمون در هر سه گروه

لحظه فرود	وضعیت فرود	گروه	زاویه فلکشن زانو (درجه)		تفاوت میانگین‌ها	P-value (درون‌گروهی)	تفاوت نسبی میانگین‌ها (٪)
			پیش‌آزمون (Mean±SD)	پس‌آزمون (Mean±SD)			
اولین تماس پا با زمین	هر دو پا	چهار هفته‌ای	۱۲/۶۲±۲/۴۲	۳۵/۴۰±۳/۰۹	-۲۲/۷۸	<۰/۰۰۱	۶۴/۳۵
		شش هفته‌ای	۱۰/۴۵±۲/۱۱	۳۰/۰۲±۴/۹۷	-۱۹/۵۶	<۰/۰۰۱	۶۵/۱۸
		کنترل	۱۵/۵۲±۸/۵۸	۱۴/۹۰±۳/۶۵	۰/۶۲	۰/۷۶۲	-۴/۱۶
	پای برتر	چهار هفته‌ای	۱۲/۷۰±۲/۲۲	۲۷/۷۴±۲/۴۶	-۱۵/۰۴	<۰/۰۰۱	۵۴/۲۱
		شش هفته‌ای	۱۱/۴۶±۲/۰۴	۲۷/۲۲±۱/۴۳	-۱۵/۷۷	<۰/۰۰۱	۵۷/۹۰
		کنترل	۱۲/۹۳±۳/۸۰	۱۴/۰۴±۲/۴۸	-۱/۱۱	۰/۲۲۸	۰/۰۸
	پای غیربرتر	چهار هفته‌ای	۱۲/۵۷±۲/۹۵	۳۲/۵۹±۳/۸۵	-۲۰/۰۲	<۰/۰۰۱	۶۱/۴۳
		شش هفته‌ای	۱۲/۵۰±۱/۹۴	۲۸/۱۰±۴/۰۴	-۵/۶۰	<۰/۰۰۱	۵۵/۵۲
		کنترل	۱۲/۶۸±۴/۱۸	۱۴/۰۱±۳/۷۸	-۱/۳۳	۰/۰۶۰	۹/۴۹
اوج فلکشن زانو	هر دو پا	چهار هفته‌ای	۵۸/۳۶±۷/۲۰	۸۶/۴۹±۷/۶۹	-۲۸/۱۴	<۰/۰۰۱	۳۲/۵۲
		شش هفته‌ای	۵۸/۰۶±۶/۰۸	۷۲/۹۸±۵/۴۰	-۱۴/۹۲	<۰/۰۰۱	۲۰/۴۴
		کنترل	۶۹/۶۱±۳/۴۱	۷۲/۳۵±۹/۲۰	-۲/۷۵	۰/۲۷۰	۳/۷۹
	پای برتر	چهار هفته‌ای	۵۶/۷۹±۷/۱۹	۸۶/۰۸±۷/۷۱	۲۹/۲۹	<۰/۰۰۱	۳۴/۰۳
		شش هفته‌ای	۶۰/۸۱±۱۰/۲۳	۷۴/۴۳±۱۰/۲۳	-۱۳/۶۲	<۰/۰۰۱	۱۸/۳۰
		کنترل	۶۷/۷۹±۸/۰۰	۶۹/۲۰±۷/۴۲	-۱/۴۱	۰/۰۷۵	۲/۰۴
	پای غیربرتر	چهار هفته‌ای	۵۷/۷۷±۶/۹۹	۸۳/۷۴±۱۲/۹۵	-۲۵/۹۸	<۰/۰۰۱	۳۱/۰۱
		شش هفته‌ای	۶۱/۳۲±۹/۹۷	۷۶/۷۱±۸/۵۹	-۱۵/۳۹	<۰/۰۰۱	۲۰/۰۶
		کنترل	۶۴/۷۳±۵/۳۲	۶۶/۵۷±۵/۴۶	-۱/۸۴	۰/۰۶۶	۲/۷۶

از سوی دیگر، نتایج آماری آزمون آنووا یک‌سویه و آزمون تعقیبی توکی و اندازه اثر مربوط به تغییرات زاویه زانو (سطح ساجیتال) در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین و اوج فلکشن زانو در سه وضعیت فرود با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر نسبت به هم در سه گروه در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج تحلیل آماری بر طبق جدول ۴ نشان داد که اولاً در تمام وضعیت‌های فرود چه در اولین تماس پا با زمین و چه در اوج فلکشن زانو هر دو گره چهار و شش هفته تمرینات عصبی-عضلانی با گروه کنترل تفاوت معنی‌داری با اندازه اثر بسیار قوی داشتند. ثانیاً زاویه فلکشن زانو بین دو گروه چهار و شش هفته تمرینات عصبی-عضلانی در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین، در وضعیت‌های فرود با هر دو پا و فرود با پای برتر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت، اما در فرود با پای غیربرتر تفاوت معنی‌دار بود. از طرفی دیگر، مشاهده گردید در لحظه فرود اوج فلکشن زانو در هر دو گره چهار و شش هفته تمرینات عصبی-عضلانی و در هر سه وضعیت فرود با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر تفاوت معنی‌داری در زاویه فلکشن زانو وجود دارد.

جدول ۴. مقایسه نتایج آماری آزمون آنووا یک‌سویه، آزمون تعقیبی توکی و اندازه اثر مربوط به زاویه فلکشن زانو در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین و اوج فلکشن زانو در سه وضعیت فرود با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر در سه گروه

لحظه فرود	وضعیت فرود	گروه	F	P-value (بین گروهی)	اندازه اثر	لحظه فرود	وضعیت فرود	گروه	F	P-value (بین گروهی)	اندازه اثر
اولین تماس پا با زمین	هر دو پا	چهار هفته‌ای	۷۵/۷۷	<۰/۰۰۱	۰/۹۸	اوج فلکشن زانو	هر دو پا	چهار هفته‌ای	۱۷۸/۲۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۸
		کنترل						کنترل			
		شش هفته‌ای	۷۵/۷۷	<۰/۰۰۱	۰/۹۷			شش هفته‌ای	۱۷۸/۲۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۹
		کنترل						کنترل			
		چهار هفته‌ای	۷۵/۷۷	۰/۲۷۷	۰/۹۸			چهار هفته‌ای	۱۷۸/۲۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۸

پای برتر	شش هفته‌ای				۰/۹۷		
	چهار هفته‌ای	کنترل	۱۰۶/۵	<۰/۰۰۱	۰/۹۷		
	شش هفته‌ای	کنترل	۱۰۶/۵	<۰/۰۰۱	۰/۹۷		
	چهار هفته‌ای	شش هفته‌ای	۱۰۶/۵	۰/۷۹۵	۰/۹۷		
					۰/۹۷		
پای غیربرتر	چهار هفته‌ای	کنترل	۵۸/۰۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۵		
	شش هفته‌ای	کنترل	۵۸/۰۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۱		
	چهار هفته‌ای	شش هفته‌ای	۵۸/۰۴	۰/۰۴۵	۰/۹۵		
					۰/۹۱		
پای برتر	شش هفته‌ای						۰/۹۹
	چهار هفته‌ای	کنترل	۱۸۱/۶	<۰/۰۰۱	۰/۹۹		
	شش هفته‌ای	کنترل	۱۸۱/۶	<۰/۰۰۱	۰/۹۵		
	چهار هفته‌ای	شش هفته‌ای	۱۸۱/۶	<۰/۰۰۱	۰/۹۹		
					۰/۹۵		
پای غیربرتر	چهار هفته‌ای	کنترل	۵۹/۳۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۳		
	شش هفته‌ای	کنترل	۵۹/۳۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۷		
	چهار هفته‌ای	شش هفته‌ای	۵۹/۳۴	<۰/۰۰۱	۰/۹۳		
					۰/۹۷		

بحث

نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق حاضر نشان می‌دهد تمرین عصبی-عضلانی چهار و شش هفته‌ای هر دو بر راستای زانو در سطح ساجیتال هنگام فرود با هر دو پا، پای برتر و پای غیربرتر در هر دو لحظه فرود در اولین تماس پا با زمین و اوج فلکشن زانو تأثیر بسیار زیادی داشته است. همچنین از مقایسه نتایج دو گروه تمرینی، می‌توان نتیجه گرفت تمرینات عصبی-عضلانی گروه چهار هفته‌ای در وضعیت فرود با هر دو پا در لحظه فرود اولین تماس پا با زمین و در لحظه اوج فلکشن زانو در تمامی وضعیت‌های فرود نسبت به تمرینات عصبی-عضلانی گروه شش هفته‌ای مؤثرتر واقع شده است (جدول ۳ و ۴).

Frank و همکاران (۲۰۰۵) پس از اجرای شش هفته و سه جلسه در هفته تمرینات عصبی-عضلانی بر روی ۳۲۵ زن و ۱۳۰ مرد در رشته‌های والیبال، بسکتبال، فوتبال و ژیمناستیک به این نتیجه رسیدند که زوایه فلکشن زانو این ورزشکاران در لحظه تماس پا با زمین با هر دو پا، بهبود یافت.[۴۱] در مطالعه‌ای محمدی و همکاران (۱۳۹۲) به مقایسه اثر تمرینات عصبی-عضلانی اندام تحتانی و تمرینات رایج هندبال بر عملکرد و راستای سه‌بعدی زانوی بازیکنان مرد هندبال در فرود یک پا پرداختند؛ آزمودنی‌های این تحقیق به مدت هشت هفته و هفته‌ای سه جلسه تمرین پرداختند و با توجه به بررسی نتایج پیش‌آزمون و پس‌آزمون به این نتیجه رسیدند میانگین زاویه فلکشن زانو در لحظه تماس پا با زمین به طور معنی‌داری ارتقا یافته است.[۳۹] Jacob و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی سازگاری‌های عصبی-عضلانی در چهار هفته تمرینات شدید پرش-فرود در ورزشکاران حرفه‌ای و سه جلسه تمرین در هفته دریافتند که پس از تمرینات به طور معنی‌داری زاویه فرود در لحظه تماس پا بهبود یافته است.[۴۲] Wang و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی تأثیر تمرینات عصبی-عضلانی بر سفتی مفصل زانو و بیومکانیک فرود به مدت ۶ هفته و هفته‌ای ۳ جلسه تمرینات پلایومتریک پرداختند. آنان دریافتند که پس از تمرینات افزایش معنی‌داری در حداکثر فلکشن زانو رخ داده است.[۴۳] همچنین در تحقیقات Chappellو Limpisvasti (۲۰۰۵) و Myer و همکاران (۲۰۱۳) نیز مشاهده شده است که شرکت‌کنندگان بر اثر تمرینات عصبی-عضلانی افزایش معنی‌داری در ماکزیمم زاویه فلکشن زانو در فرود به دست آورده‌اند. چاپل و لیمپیزی‌واستی با استفاده از تمرینات پلایومتریک و تقویت عضلات مرکزی در مدت ۶ هفته و ۳ جلسه با ارزیابی سینماتیکی سه‌بعدی بر روی ۳۰ بازیکنان فوتبال و بسکتبال، میانگین اوج زاویه فلکشن زانو را به طور معنی‌داری ارتقا دادند.[۱۴، ۴۴] Myer و همکاران (۲۰۱۳) نیز با استفاده از ۷ هفته و ۳ جلسه در هفته تمرینات پلایومتریک و تعادلی بر روی ۱۸ ورزشکار دبیرستانی، ماکزیمم زاویه فلکشن زانو را در فرود تک‌پا با یک روش اندازه‌گیری سه‌بعدی به طور معنی‌داری افزایش دادند.[۱۴]

از سوی دیگر، Bell و همکاران (۲۰۱۳) با تمرینات عصبی-عضلانی برای مدت چهار هفته و ۲ جلسه در هفته بر روی ۳۲ شرکت‌کننده مرد در دو گروه تجربی و کنترل، یک روش سینماتیکی سه‌بعدی و دوبعدی مشاهده کردند که زاویه فلکشن زانو در لحظه فرود بین گروه‌ها تفاوت معنی‌داری در

یک روش نمره‌دهی استانداردشده، نداشته است[۴۵] و همچنین Olson و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای بر روی ۶۹ زن با میانگین سنی ۲۰ سال که دارای درد زیر کشکک بودند، با ۴ هفته و دو جلسه تمرین در هفته، طی بررسی سینماتیکی سه‌بعدی و اجرای فرود با یک پا مشاهده کردند که هیچ تفاوت معنی‌داری در زاویه فلکشن آنان رخ نداده است.[۴۶] همچنین Christiane و همکاران (۲۰۰۶) با بررسی اثر تمرینات پیشگیری از آسیب درون‌فصلی بر سینماتیک اندام تحتانی طی فرود در برای مدت طول یک فصل، هفته‌ای دو جلسه تمرین بر روی ۸۰ فوتبالیست‌های جوان با روش سینماتیکی سه‌بعدی مشاهده کردند که زاویه اوج فلکشن زانو از ۵۹/۲ درجه به ۵۶/۱ درجه کاهش پیدا کرده است و بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در زاویه فلکشن زانو اختلاف معنی‌داری وجود نداشت.[۲۶] در مطالعه‌ای Zebis و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اثرات تمرین عصبی-عضلانی روی کنترل حرکتی مفصل زانو طی فرود در بازیکنان فوتبال و هندبال پرداختند؛ آزمودنی‌های این تحقیق ۱۸ هفته و هر هفته ۲ جلسه تمرین کردند که در نهایت زاویه اوج فلکشن زانو از ۲۷ درجه به ۳۱ درجه رسیده است که این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبوده است.[۴۷]

از طرفی دیگر، برای اینکه مفصل زانو در یک فرآیند فرود، عملکرد خوبی داشته باشد، توانایی‌های حسی-حرکتی بالایی را می‌طلبد[۲۳] و ارتقای سیستم حسی-حرکتی نیازمند گرفتن بازخورد بیشتر از محیط می‌باشد و هر چقدر فواصل بین جلسات تمرینات کمتر باشد، سیستم حسی-حرکتی سریع‌تر ارتقا می‌یابد؛ لذا ممکن است یکی از علل تفاوت اثر تمرینات چهار و شش هفته‌ای به این مکانیزم مربوط باشد. اگرچه اختلاف‌نظرهای فراوانی در خصوص نوع تمرینات، شدت، مدت، تعداد هفته‌ها و جلسات و دیگر مولفه‌های این برنامه‌های تمرینی وجود دارد. به‌طورکلی، تحقیقات گذشته نشان می‌دهند اثربخشی تمرینات عصبی-عضلانی تقریباً در تمامی وضعیت‌های فرود و در هر دو لحظه فرود اولین تماس پا با زمین و لحظه اوج فلکشن زانو، به تعداد جلسات تمرین در هفته نسبت به تعداد هفته‌های تمرین بیشتر وابسته‌اند. از این-رو، نتایج تحقیق حاضر نیز تا حدود زیادی این نظریه را تأیید می‌کند؛ لذا برای اطمینان بیشتر از ترکیب درستی از این مولفه‌های تمرینی نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در مجموع با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از جداول ۲ و ۳ می‌توان گفت اثر هر دو تمرینات عصبی-عضلانی چهار و شش هفته‌ای در وضعیت‌ها و لحظات مختلف فرود، اثربخشی بالایی داشته‌اند، اگرچه تمرینات عصبی-عضلانی چهار هفته‌ای نسبت به شش هفته‌ای اثر مطلوب‌تری به‌خصوص بر زاویه اوج فلکشن زانو در لحظه فرود خواهد داشت؛ لذا به مربیان و تراپیست‌ها جهت پیشگیری از آسیب‌های زانو هم‌چون پارگی ACL، توصیه می‌شود از تمرینات عصبی-عضلانی چهار هفته‌ای منتخب با شش جلسه تمرین در هفته استفاده نمایند تا ضمن اینکه پیشگیری از آسیب را تسریع می‌بخشد، اثربخشی بهتری را هم تجربه خواهند کرد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر بر اساس پایان‌نامه کارشناسی ارشد تربیت‌بدنی عمومی آقای وحید سیامکی قریه صفا، به راهنمایی آقای دکتر محمدرضا محمدی و مشاوره آقای دکتر محسن دماوندی می‌باشد. بدین‌وسیله از تمام پرسنل و دانشجویان دانشگاه علمی-کاربردی مشهد که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Lohmander L, Englund P, Dahl L, Roos E. The long-term consequence of anterior cruciate ligament and meniscus injuries osteoarthritis. Am J Sports Med 2007; 35(10): 1756-69.
2. Myklebust G, Bahr R. Return to play guidelines after anterior cruciate ligament surgery. Br J Sports Med 2005; 39(3): 127-31.
3. Oiestad B, Holm I, Engebretsen L, Risberg M. The association between radiographic knee osteoarthritis and knee symptoms, function and quality of life 10-15 years after anterior cruciate ligament reconstruction. Br J Sports Med 2011; 45(7): 583-8.
4. Myklebust G, Maehlum S, Engebretsen L, Strand T, et al. Registration of cruciate ligament injuries in Norwegian top level team handball. A prospective study covering two seasons. Scand J Med Sci Sports 1997; 7(5): 289-92.
5. Myklebust G, Maehlum S, Holm I, Bahr R. A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball. Scand J Med Sports 1998; 8(3): 149-53.
6. Gagnier J, Morgenstern H, Chess L. Interventions designed to prevent anterior cruciate ligament injuries in adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. Am J Sports Med 2013; 41(8): 1952-62.
7. Moul JL. Differences in selected predictors of anterior cruciate ligament tears between male and female NCAA Division I collegiate basketball players. J Athl Train 1998; 33: 118-121.
8. Myer GD, Sugimoto D, Thomas S, Hewett TE. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. Am J Sports Med 2013; 41(1): 203-15.

9. Garrett C, Brian C. A 4-week neuromuscular training program and gait patterns at the ankle joint. Athl Train 2007; 42(1): 51-59.
10. Sell T, Ferris C, Abt J, Tsai Y, et al. The effect of direction and reaction on the neuromuscular and biomechanical characteristics of the knee during tasks that simulate the noncontact anterior cruciate ligament injury mechanism. Am J Sports Med 2006; 34(1): 43-54.
11. Walsh M, Boling M, McGrath M, Blackburn J, et al. Lower Extremity Muscle Activation and Knee Flexion during a Jump-Landing Task. Athl Train 2012; 47(4): 406-13.
12. Boden B, Dean G, Feagin J, Garrett J. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. Orthopedics 2000; 23(6): 573-8.
13. Sakane M, Livesay GA, Fox RJ, Rudy TW, et al. Relative contribution of the ACL, MCL, and bony contact to the anterior stability of the knee. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 1999; 7: 93-97.
14. Myer G, Ford K, Brent J, Hewett T. Differential neuromuscular training effects on ACL injury risk factors in high-risk versus low-risk athletes. BMC Musculoskelet Disord 2007; 8: 39-45.
15. Krosshaug T, Nakamae A, Boden BP, Engebretsen L, et al. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: Video analysis of 39 cases. Am J Sports Med 2007; 35(3): 359–367.
16. Hewett T, Myer G, Ford K. Anterior cruciate ligament injuries in female athletes: part 1, mechanisms and risk factors. Am J Sports Med 2006; 34(2): 299-311.
17. Myklebust G, Engebretsen L, Braekken I, Skjolberg A, et al. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female teamhandball players: A prospective intervention study over three seasons. Clin J Sport Med 2003; 13: 71–78.
18. Holm I, Fosdahl M, Friis A, Risberg M, et al. Effect of neuromuscular training on proprioception, balance, muscle strength, and lower limb function in female team handball players. Clin J Sport Med 2004; 14: 88–94.
19. Hrysomallis C. Relationship between balance ability, training and Sports injury risk. Sports Med 2007; 37(6): 547–556.
20. Gagnier JJ, Morgenstern H, Chess L. Interventions designed to prevent anterior cruciate ligament injuries in adolescents and adults: a systematic review and meta-analysis. Am J Sports Med 2013; 41(8): 1952-62.
21. Myer G, Sugimoto D, Thomas S, Hewett T. The influence of age on the effectiveness of neuromuscular training to reduce anterior cruciate ligament injury in female athletes: a meta-analysis. Am J Sports Med 2013; 41(1): 203-15.
22. Taylor J, Waxman J, Richter S, Shultz S. Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med 2015; 49(2): 79-87.
23. Pánics G, Tállay A, Pavlik A, Berkes I. Effect of proprioception training on knee joint position sense in female team handball players. Br J Sports Med 2008; 42(6): 472–476.
24. Mandelbaum B, Silvers H, Watanabe D, Knarr J, et al. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes. 2-year follow-up. Am J Sports Med 2005; 33(7): 1003–1010.
25. Brown CN, Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE. Effects of increased body mass index on lower extremity motion patterns in a stop-jump task. J Athl Train 2005; 42: S26.
26. Christine D, Pollard P, Susan MP, Susumu OP, et al. The Influence of In-Season Injury Prevention Training on Lower-Extremity Kinematics during Landing in Female Soccer Players. Clin J Sport Med 2006; 16(3): 223-7.
27. Cote K, Brunet E. Effect of pronated and supinated foot postures on static and dynamic postural stability. J Athl Train 2005; 40(1): 41-46.
28. Grandstrand S, Pfeiffer R, Sabick M. The effects of a commercially available warm up Program on landing mechanics in female youth soccer Players. J Strength Cond Res 2006; 20(2): 331–335.
29. Herman DC, Onate JA, Weinhold PS. The effects of feedback with and without strength training on lower extremity biomechanics. Am J SPorts Med 2009; 37(7): 264-272.
30. Markolf K, Gorek J, Kabo J, Shapiro M. Direct measurement of resultant forcesin the anterior cruciate ligament. J Bone Joint Surg Am 1990; 72: 557-567.
31. Timothy E, Amanda L, Thomas A, Nance A, et al. Plyometric Training in Female Athletes Decreased Impact Forces and Increased Hamstring Torques. Am J Sports Med 1996; 47(1): 83-90.
32. Tsang K, Dipasquale A. Improving the strength ratio in women using Plyomietric exercises. J Strength Cond Res 2011; 25(10): 2740–2745.
33. Weiser S, Nordin M, Andersson G, Pope M. Musculoskeletal disorders in the workplace: principles and practice. Principles and Practice 2007: 273-274.
34. Wilderman D, Ross S, Padua D. Thigh muscle activity, knee motion, and imPact force during sidesteP Pivoting in agility-trained female basketball Players. J Athl Train 2009; 44(1): 14–25.
35. Nakao S, Komatsu K, Sakai W, Kashihara M, et al. Gait and posture assessments of a patient treated with deep brain stimulation in dystonia using three-dimensional motion analysis systems. The Journal of Medical Investigation 2011; 58: 264-272.
36. Lee SY, Hertel J. Arch height and maximum rearfoot eversion during jogging in 2 static neutral positions. J Athl Train 2012; 47(1): 83-90.

37. DiCesare CA, Bates NA, Myer GD, Hewett TE. The validity of 2-dimensional measurement of trunk angle during dynamic tasks. Int J Sports Phys Ther 2014; 9(4): 420-427.
38. Geremia JM, Baroni BM, Bobbert MF, Bini RR, et al. Effects of high loading by eccentric triceps surae training on Achilles tendon properties in humans. Eur J Appl Physiol 2018; 118(8): 1725–1736.
39. Mohammadi MR, 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. Studies in Sport Medicine 2013; 16: 13-32. [In Persian]
40. Barendrecht M, Lezeman HCA, Duysens J, Smits-Engelsman BCM. Neuromuscular training improves knee kinematics, in particular in valgus aligned adolescent team handball players of both sexes. J Strength Cond Res 2011; 25(3): 575-584.
41. Frank R, Noyes D, Westin B, West J. The Drop-Jump Screening Test: Difference in Lower Limb Control by Gender and Effect of Neuromuscular Training in Female Athletes. Am J Sports Med 2005; 33(2): 583-594.
42. Jacob ME, Ni P, Leritz E, Driver J, et al. Multi-morbidity and environmental factors affecting gate and function: Multi-morbidity patterns and disablement severity among mobility limited older adults. Innovation in Aging 2017; 1(suppl_1): 82-82.
43. Wang D, Vito GD, Ditroilo M, Delahunt E. Neuromuscular training effects on the stiffness properties of the knee joint and landing biomechanics of young female recreational athletes. Br J Sports Med 2017; 51(4): 405.
44. Chappell JD, Limpisvasti O. Effect of a neuromuscular training program on the kinetics and kinematics of jumping tasks. Am J Sports Med 2008; 36(6): 1081-1086.
45. Bell D, Oates D, Clark M, Padua D. Two- and 3-dimensional knee valgus are reduced after an exercise intervention in young adults with demonstrable valgus during squatting. J Athl Train 2013; 48(4): 442-9.
46. Olson T, Chebny C, Willson J, Kernozek T, et al. Comparison of 2D and 3D kinematic changes during a single leg step down following neuromuscular training. Phys Ther Sport 2011; 12(2): 93-9.
47. Zebis M, Bencke J, Andersen L. The effects of neuromuscular training on knee joint motor control during side cutting in female elite soccer and handball Players. Clin J Sport Med 2008; 18(4): 329–337.