

Acute Effect of Neuromuscular Fatigue Following Joint Cooling on Postural Control and Knee Kinematics During Drop-Landing Movement (with Injury Prevention Approach)

Kooroshfard N¹, Eftekhari F²

Abstract

Purpose: Lower limb injuries are more common in sports with plyometric movements that cause more neuromuscular fatigue. Among the treatments, cold therapy has many applications as an immediate treatment after injury during sport events. Because cooling the joint in a fatigue state may increase the risk of re-injury when returning to competition. Therefore, the purpose of this study was to investigate an acute effect of neuromuscular fatigue following local joint cooling on postural control and knee kinematics during drop-landing movement.

Methods: The present study was done using semi-experimental design. The study population of the present study were 40 female students of physical education field. All had at least two years of their education and had been active in volleyball and basketball and had at least 3 sessions per week of sport activities and they had no injury in the lower extremities in the past six months. They were randomly divided into three experimental groups and one control group (10 people in each group). Measurements were performed at three times (pre-test, post-test 1 and post-test 2). The force plate (Bertec 40*60 USA) was used to measure center of pressure and the electrogoniometer (biometrics) to measure the range of knee motion during the drop landing, simultaneously. Cooling was performed for 20 minutes (for cooling and cooling after fatigue group) and fatigue protocol (fatigue and cooling after fatigue group) included repeated jumping in various directions from 20 cm platform. In the cooling after fatigue, the subjects first performed the fatigue protocol, then the knee joint cooling was applied immediately. All variables were measured before the interventions, immediately after them (first post-test) and 20 minutes after them (second post-test) in all groups. Analysis of variance with repeated measures and SPSS software in significant level $\alpha=0.05$ was used for data analysis.

Results: It has been shown that the mean of COPx changes increased during eccentric phase in all groups following 2nd post-test compared to 1st post-test ($P=0/01$). However, there was no significant difference between groups in the mean of COPx and COPy changes ($p>0.05$). Also, landing knee angle decreased in all groups in 1st post-test compared to pretest ($p=0.04$). There was no significant difference between groups in landing, takeoff and maximum knee angle ($P>0.05$).

Conclusion: Based on the results of the study, it seems that superficial cooling (using an ice pack) after neuromuscular fatigue similar to the conditions in sport events and competitions, has no significant effect on the biomechanical function of the lower extremities and balance of athletes. Therefore, local cooling of joint, as an immediate treatment method that has many benefits and positive physiological effects, to reduce the acute complications of injury, even despite the reduction of local joint temperature and in conditions where the athlete is tired, does not cause a serious risk for athletes during return to activity and there is no possibility of re-injury in them after cooling in a tired condition.

Keywords: Postural control, Range of motion, Plyometric, Neuromuscular fatigue, Knee joint

Received: 2021.03.17 Accepted: 2021.10.17

اثر حاد خستگی نروماسکولار بدنبال سردکردن مفصل بر کنترل پاسچرال و کینماتیک زانو حین حرکت فرود-پرش (با رویکرد پیشگیری از آسیب)

نگار کوروش فرد^۱، فرشته افتخاری^۲

هدف: آسیب های اندام تحتانی در رشته های ورزشی دارای حرکات پلايومتریک که خستگی نروماسکولار (Neuromuscular) بیشتری را ایجاد می کند، بیشتر رخ می دهد که در میان روش های درمانی، سرمادرمانی به عنوان یک روش فوری درمان بعد از آسیب حین رویدادهای ورزشی، کاربرد بسیاری دارد. از آنجایی که سردکردن مفصل در حالت خستگی، ممکن است ریسک ابتلا به آسیب مجدد را در فرد حین برگشت به رقابت افزایش دهد، بنابراین، هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی تأثیر حاد خستگی نروماسکولار بدنبال سردکردن مفصل بر کنترل پاسچرال (Postural) و کینماتیک زانو حین حرکت فرود-پرش می باشد.

روش بررسی: پژوهش حاضر، از نوع کاربردی بوده که به روش نیمه تجربی انجام گرفت. جامعه آماری پژوهش حاضر، دانشجویان دختر تمرین کرده رشته تربیت بدنی بودند که از بین آن ها تعداد ۴۰ نفر سالم که حداقل دو سال از مدت تحصیلشان گذشته باشد و در رشته های والیبال و بسکتبال فعال بودند و حداقل ۳ جلسه در هفته فعالیت ورزشی داشتند و در شش ماه گذشته آسیب در اندام تحتانی نداشتند، به صورت هدفمند و داوطلبانه انتخاب شدند که به شکل تصادفی در سه گروه تجربی و یک گروه کنترل (هر گروه ۱۰ نفر) قرار گرفتند. اندازه گیری ها در سه زمان (پیش آزمون، پس آزمون اول و پس آزمون دوم) انجام شد. از صفحه نیرو (Bertec 40*60 USA) برای ثبت داده های مرکز فشار و از الکتروگونیا متر (Biometrics) برای ثبت دامنه حرکتی حین حرکت فرود-پرش تک پا به طور همزمان استفاده شد. سرمادهی به مدت ۲۰ دقیقه (برای گروه سرمادهی و سرمادهی پس از خستگی) و پروتکل خستگی (برای گروه خستگی و سرمادهی پس از خستگی) شامل انجام پرش های مکرر در جهات مختلف از سکوی ۲۰ سانتی متری بود. در گروه سرمادهی پس از خستگی، آزمودنی ها ابتدا پروتکل خستگی را انجام داده، سپس بلافاصله سرمادهی مفصل زانو اعمال شد. تمامی متغیرها قبل از اعمال مداخله ها، بلافاصله پس از آن ها (پس آزمون اول) و ۲۰ دقیقه بعد از آن ها (پس آزمون دوم) در تمام گروه ها اندازه گیری شدند. از آزمون تحلیل واریانس با داده های تکراری، در سطح معناداری $p < 0.05$ جهت تجزیه و تحلیل داده ها با نرم افزار SPSS استفاده شد.

یافته ها: مشخص شد که در مرحله اکسنتریک (Eccentric) میانگین تغییرات COP_x در همه گروه ها از پس آزمون اول به پس آزمون دوم افزایش معنادار داشته ($p = 0.01$)، اما میانگین تغییرات COP_x و COP_y بین گروه ها تفاوت معناداری را نشان ندادند ($p > 0.05$). همچنین، زاویه زانو در زمان تماس (Knee Angle of Landing; KAL) در افراد تمرین کرده از پیش آزمون به پس آزمون اول در تمام گروه ها کاهش معنادار داشته است ($p = 0.04$)، اما تغییرات زاویه زانو زمان تماس و پرش و ماکزیمم زاویه زانو بین گروه ها معنادار نبود ($p > 0.05$).

نتیجه گیری: بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش، به نظر می رسد، سرمادهی به صورت سطحی (با استفاده از کیسه یخ) بعد از خستگی نروماسکولار، مشابه با شرایطی که در رویدادها و مسابقات ورزشی وجود دارد، بر عملکرد بیومکانیکی اندام تحتانی و تعادل افراد ورزشکار، تأثیر معناداری ندارد. لذا، سرمادهی موضعی مفصل، به عنوان یک روش درمانی فوری که دارای فواید و آثار مثبت فیزیولوژیکی زیادی، برای کاهش عوارض حاد ناشی از آسیب می باشد، حتی با وجود کاهش دمای موضعی مفصل و در شرایطی که ورزشکار خسته است، خطر جدی برای ورزشکاران حین برگشت به فعالیت ایجاد نمی کند و احتمال آسیب دیدگی مجدد نیز در آن ها بعد از سرمادهی در شرایط خستگی، وجود ندارد.

کلمات کلیدی: کنترل پاسچرال، دامنه حرکتی، پلايومتریک، خستگی نروماسکولار، مفصل زانو

نویسنده مسئول: فرشته افتخاری، eftekhary8fereshteh@gmail.com، ORCID: 0000-0002-5231-2538

آدرس: شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، گروه علوم ورزشی

- ۱- استادیار آسیب شناسی ورزشی و حرکات اصلاحی، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران
- ۲- استادیار گرایش بیومکانیک ورزشی، گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

مقدمه

سرمادرمانی، به ویژه استفاده از کیسه یخ خرد شده، کاربرد وسیعی در ورزش دارد و معمول ترین روش برای درمان فوری درد پس از آسیب، طی رویدادهای ورزشی می باشد. پژوهش-های متعددی در رابطه با اثر سرمادهی بر عوامل مختلف صورت گرفته است. برخی مطالعات اثرات مثبت آن مانند کاهش ادم (Edema) (۱)، کاهش جریان خون (۲) را ذکر کرده اند. گروهی از محققان نیز، توصیه کرده اند قبل از فعالیت و توانبخشی از سرمادهی مفصل استفاده شود. به عنوان مثال، Hopkins و همکاران (۳)، عملکرد عضله سولئوس (Soleus) را با استفاده از رفلکس هافمن (Hoffman Reflex) و میزان حداکثرگشتاور پلانتر فلکسور (Plantar Flexor) پا، مورد مطالعه قرار داده و اظهار کردند که عملکرد نرون حرکتی عضله سولئوس بدنبال ۳۰ دقیقه سرمادهی با استفاده از یخ خردشده در مفصل مچ پا، تسهیل می شود. در همین راستا، Rubley و همکاران (۴) نیز معتقدند کاربرد سرمادرمانی و کاهش حس فشار، اثر کمی بر کنترل حرکتی داشته و استفاده از سرمادرمانی به عنوان تسکین دهنده درد قبل از فعالیت های توانبخشی زیربیشینه که بر کنترل نرماسکولار بافت های آسیب دیده تمرکز دارد، انجام فعالیت را مختل نمی کند. همچنین، گزارش شده است که سرمادهی نه تنها خطر ابتلا به آسیب مجدد را افزایش نمی دهد بلکه اثر مثبتی بر ورزشکار جهت بازگشت به مسابقه می گذارد (۴-۶). از آنجائی که، هیچ یک از دو مطالعه اخیر، حین یک فعالیت عملکردی صورت نگرفته است، لذا نتایج حاصل از این پژوهش ها ممکن است برای ورزشکاران که حرکات انفجاری و شدید، جزئی از برنامه های ورزشی آن ها می باشد، کاربرد نداشته باشد.

از طرفی، در برخی پژوهش ها به اثر منفی سرمادهی کل بدن بر فعالیت الکترومیوگرافی (Electromyography; EMG) عضلات پا (۷) و در برخی دیگر اثر منفی سرمادهی عضله بر اجرای ورزشی بیشینه (۸) که به تبع آن، افزایش احتمال آسیب مجدد در ورزشکاران را ایجاد کرده، گزارش

شده است. محققان اظهار داشته اند که اگرچه ورزشکاران احساس می کنند که پس از سرمادهی برای برگشت به مسابقه آماده اند، اما ممکن است اجرای حرکتی آن ها افت کند و فرد در شرایط آسیب پذیری قرارگیرد. زیرا، پژوهش ها نشان داده اند که سرمادهی تأثیر زیادی بر کاهش فعالیت پروپریوسپشن ها (Proprioception) دارد (۹). در مطالعه دیگری، Schmid و همکاران (۱۰)، با ارزیابی فعالیت الکترومیوگرافی عضلات اندام تحتانی، بعد از سرمادهی مفصل زانو، کاهش میانگین فعالیت الکترومیوگرافی عضلات اندام - تحتانی را، مشاهده نمودند. همچنین، به نظر می رسد محدودیت در فعالیت پروپریوسپشن ها به دلیل سرمادهی، می تواند منجر به تغییر برنامه سیستم عصبی مرکزی و کاهش فعالیت عضلانی در مرحله قبل از فرود و فاز اکسنتریک، حین یک حرکت پلیومتريك شده، که ممکن است باعث کاهش انرژی الاستیکی در تاندون در فاز اکسنتریک شود و متعاقب آن اجرای عملکردی نیز در مرحله پیشروی به جلو (-Push off) کاهش یابد. به طور کلی، نتایج حاصل از پژوهش، مشخص ساخت که استفاده از سرمادهی حین رویدادهای ورزشی، احتمال ایجاد آسیب مجدد را افزایش می دهد (۱۰). از آنجایی که، موضوع اصلی پژوهش حاضر، بررسی تأثیر هر دو عامل خستگی و سرمادهی به طور همزمان بر عملکرد بیومکانیکی اندام تحتانی نظیر کنترل پاسچر (Posture) و تغییرات دامنه حرکتی بوده است که بارویکرد پیشگیری از آسیب انجام شده است، مطالعه ای که تأثیر هر دو عامل را با هم بررسی کرده باشد در حد جستجوی محقق یافت نشد. لذا از مطالعاتی که به صورت مجزا تأثیر هر کدام از عوامل را بررسی کرده اند، استفاده گردید در رابطه با خستگی و تأثیر آن بر عملکرد عضلانی، کنترل پاسچر و متغیرهای بیومکانیکی مفصل نظیر تغییرات دامنه حرکتی، پژوهش های متعددی انجام شده است. Webster و همکاران (۱۱)، تأثیر خستگی بر بیومکانیک اندام تحتانی را حین فرود عمودی از ارتفاع ۳۰ سانتی متری، در بیمارانی که تحت عمل جراحی آسیب لیگامنت متقاطع قدامی (Anterior Cruciate

مردان، ۴ تا ۸ برابر بیشتر به صدمات ACL دچار می شوند و ۷۰٪ این صدمات در حین فرود آمدن از پرش اتفاق می افتد (۱۸).

همچنین، مطالعات نشان داده اند که ۶۳ درصد آسیب های اندام تحتانی در رشته های ورزشی دارای حرکات پرشی و برشی از جمله والیبال، فوتبال و بسکتبال رخ می دهد؛ در بسیاری از این رشته های ورزشی حرکات پلایومتریک به طور معمول انجام می شود. این در حالی است که حرکات پرشی در رشته های ورزشی مختلف همچون اسپک یا دفاع در والیبال صرفا شامل پرش نمی شود، بلکه حرکت فرود متعاقب آن مستلزم توزیع نیروی حرکتی تولید شده در پرش و استفاده از الگوهای حرکتی مختلف به منظور جذب انرژی بدن در هنگام فرود می باشد. بنابراین محققان به این نتیجه رسیدند که فرود موفق پس از پرش به قدرت، پایداری و تعادل جهت محافظت اساسی در برابر آسیب مفصل نیاز دارد و توانایی رسیدن سریع به پایداری پس از فرود یکی از عوامل مهم در جلوگیری از آسیب های مختلف است (۲۰، ۱۹). از آنجائی که، مفصل زانو در مقایسه با هر مفصل دیگری در حد قابل توجهی از جنبه های کلینیکی و تحقیقاتی، مورد توجه می باشد، از جمله مفاصلی است که در حرکت فرود-پرش بیش از سایر مفاصل در معرض آسیب قرار دارد و نقش عضلات، در ثبات و تحرک این مفصل، بسیار با اهمیت است. در عین حال، پژوهش ها نشان داده، مفصل زانو و عضلات درگیر در آن، نقش مهمی را در تعادل بازی می کنند (۹). با این حال، تفاوت های جنسیتی در مکانیسم فرود ممکن است به نوع فرود (دوپا، تک پا) (۲۱) و تکلیف فرود (پرش عمقی، پرش عمودی و ...) (۱۶) نیز وابسته باشد.

اکثر مطالعات انجام شده روی حرکات شدید و بازتابی، کاهش اجرای حرکتی را مطرح کردند (۱۰، ۸) و با وجود پژوهش های مختلف صورت گرفته در زمینه خستگی بر عوامل مختلف اثرگذار بر عملکرد بیومکانیکی و عوامل موثر در ایجاد آسیب، به نظر می رسد، در رابطه با اثر حاد خستگی نوروماسکولار ناشی از تمرینات پلایومتریک بدنبال سرمادهی موضعی مفصل بر متغیرهای بیومکانیکی در حرکات پرشی، شواهد کافی و روشنی وجود ندارد. از طرفی، پژوهش ها در زمینه تأثیر هر دو عامل خستگی و سرمادهی بر چگونگی

(Ligament; ACL) قرار گرفته بودند، مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، خستگی ناشی از انجام حرکات اسکات تکراری، باعث کاهش فلکشن (Flexion) در اندام تحتانی، افزایش ابداکشن (Abduction) ران، افزایش چرخش زانو و کاهش گشتاور مفصل زانو گردید و نتایج مشابهی در ارتباط با خستگی، در هر دو گروه آزمایشی (جراحی ACL) و کنترل، مشاهده شد. ضمن اینکه تنها متغیر کینماتیکی که بین گروه ها و بین دو اندام تفاوت داشت، فلکشن ران در لحظه تماس با زمین بود که در اندام جراحی شده بیشتر از اندام دیگر بود. گشتاور فلکشن و ابداکشن نیز در زانوی جراحی شده کمتر از طرف مقابل بود، ولی تفاوتی با گروه کنترل نداشت (۱۱). مهم ترین عامل کنترل حرکت زانو در فرود، به عهده عضلات چهارسرانی و همسترینگ می باشد و به دلیل اهمیت مکانیسم خم کننده ای، کارکرد عضله چهارسرانی در فرایند کنترل حرکت با انقباضات درون گرا و برون گرا از اهمیت زیادی برخوردار است. در تأیید این موضوع عضله راست رانی مسئول اصلی حفظ مفصل زانو در برابر بارهای اضافی شناخته شده است (۱۲). چندین پژوهش نیز نشان داده اند که زوایای فلکشن زانو و ران حین فرود، تعیین کننده های مهم نیروهای وارده بر زانو هستند. به عبارتی، زوایای کوچک فلکشن، نیروهای ضربه ای شدیدی تولید می کنند (۱۴، ۱۳). به هر حال زنان در مقایسه با مردان، فلکشن کمتر زانو و اکستنشن (Extension) بیشتر ران حین فرود نشان می دهند و به همین دلیل زنان اغلب در هنگام فرود، وضعیتی در اندام های پایین تنه دارند که آن ها را در معرض خطر آسیب زانو قرار می دهد (۱۵). در همین زمینه، Russell و همکاران (۱۶) بیان می کنند که زنان تمایل دارند تا در وضعیت عمودی تر با فلکشن کمتر زانو و ران، چرخش درشتنی و چرخش خارجی غیرطبیعی (Valgus) زانو فرود آیند. همچنین، زنان ورزشکار افزایش فعالیت عضله چهارسران را نسبت به گروه عضلانی مخالف آن (همسترینگ) در فرودها نشان دادند. این فراخوانی نامتقارن عضله وستوس (Vastus)، نیروی برشی قدامی را در زوایای فلکشن کم زانو افزایش داده که در حین فرود و حرکات چرخشی، فرد را با خطر زیاد آسیب دیدگی مواجه می کند (۱۷). در نتیجه، در فعالیت ورزشی مشابه، زنان نسبت به

(جدول ۱)، ابتدا مرحله پیش آزمون برای هر دو گروه انجام شد. متغیرهای بیومکانیکی شامل اطلاعات مرکز فشار با استفاده از صفحه نیرو (Bertec 40*60 USA) که از نظر روایی گلدن استاندارد می باشد حین حرکت فرود-پرش تک-پا از سکوی ۳۰ سانتی متری (۳ تکرار)، با نرخ نمونه برداری ۵۰۰ هرتز و در مدت ۵ ثانیه اندازه گیری شد. دستگاه فورس پلیت (Force plate) به کار رفته در این مقاله خود گلدن استاندارد جهت اندازه گیری مرکز فشار می باشد و در بسیاری مقالات معتبر برای روایی سنجی ابزار های دیگر، مورد استفاده قرار گرفته است (۲۲، ۲۳) و میزان نویز دستگاه جهت سنجش مرکز فشار مقدار کمتر از ۱ میلی متر گزارش شده است که مقدار قابل قبولی بوده (۲۴) و نشان دهنده روایی قابل قبول می باشد. دامنه حرکتی زانو نیز با استفاده از الکترو گونیامتر دو محوره (SG150 Biometrics) اندازه گیری شد. الکترو گونیامتر بایومتریکیس دارای روایی ($ICC=0/991$) و پایایی ($ICC=0/999$) بسیار بالا برای اندازه گیری زاویه مفصل زانو می باشد (۲۵). همچنین از فوت سواپچ و آمپلی فایر ME6000 ساخت کشور فنلاند برای مشخص شدن زمان تماس با زمین و زمان جدا شدن از زمین و سینک کردن فورس پلیت با الکترو گونیامتر استفاده شد که روایی ۹۵-۱۰۰ درصد (۲۶) و پایایی ($ICC=0/96 - 0/93$) بالا برای آن گزارش شده است (۲۷). سپس، یک گروه پروتکل خستگی را که شامل انواع حرکت های پرشی در جهت های مختلف روی سکوی ۲۰ سانتی متری بود، انجام دادند و برای یک گروه سرمادهی اعمال شد و یک گروه نیز بلافاصله بعد از خستگی سرمادهی مفصل زانو برای آن ها اعمال گردید. بعد از انجام پروتکل ها بلافاصله پس آزمون اول و ۲۰ دقیقه بعد نیز پس-آزمون دوم برای هر یک از گروه ها انجام شد. اطلاعات مربوط به هر فاز با استفاده از نرم افزار متلب آنالیز شدند.

حرکت فرود-پرش تک پا

برای انجام پیش آزمون و پس آزمون ها در تمام گروه ها، از مهارت فرود-پرش تک پا از روی پله ۳۰ سانتی متری (۲۸) استفاده شد. به این ترتیب که فرد بر روی پله ایستاده، با شنیدن صدای محرک صوتی، بدون هیچ گونه انقباض در عضلات پا، خود را از روی سکو به پایین رها کرده و به محض

تغییرات عوامل بیومکانیکی مرتبط با آسیب، اندک است و شواهد کافی برای ارائه یک نتیجه گیری قطعی در این رابطه وجود ندارد. بنابراین، با توجه به اینکه سرمادهی موضعی مفصل پس از آسیب حین رویدادهای ورزشی کاربرد زیادی دارد و گاهی در شرایطی که ورزشکار دچار خستگی ناشی از مسابقه و یا تمرین می باشد، صورت می گیرد، همچنین، با توجه به اهمیت متغیرهای بیومکانیکی در پیشگیری از آسیب مجدد به ویژه در حرکات انفجاری، این پژوهش به بررسی کنترل پاسچر و دامنه حرکتی زانو حین حرکت پلايومتریك بعد از سرمادهی در حالت خستگی در زنان جوان تمرین کرده پرداخته است.

روش بررسی

پژوهش حاضر، از نوع کاربردی بوده که به روش نیمه تجربی انجام گرفت. جامعه آماری پژوهش حاضر، دانشجویان دختر تمرین کرده رشته تربیت بدنی بودند که از بین آن ها تعداد ۴۰ نفر سالم که حداقل دو سال از مدت تحصیلشان گذشته باشد به صورت هدفمند و داوطلبانه انتخاب شدند و به شکل تصادفی در سه گروه تجربی و یک گروه کنترل (هر گروه ۱۰ نفر) قرار گرفتند. گروه های تجربی شامل گروه های سرمادهی، خستگی و سرمادهی پس از خستگی بودند. در گروه سرمادهی، فقط سرمادهی موضعی بر روی مفصل زانو برای آنها اعمال شد. گروه خستگی، فقط پروتکل خستگی را انجام دادند و گروه سرمادهی بعد از خستگی، هر دو مداخله یعنی هم اجرای پروتکل خستگی را انجام دادند و هم سرمادهی موضعی مفصل زانو برای آن ها انجام شد. حجم نمونه با استفاده از نرم افزار $G*Power$ ، $\alpha=0/05$ و توان آماری $0/80$ ، تعیین گردید. برای ورود به تحقیق، آزمودنی ها باید در رشته های والیبال و بسکتبال فعال بوده و حداقل ۳ جلسه در هفته فعالیت ورزشی انجام می دادند. همچنین، آزمودنی ها در شش ماه گذشته آسیب در اندام تحتانی نداشتند. از آزمودنی ها در سه زمان (پیش آزمون، پس آزمون اول و پس آزمون دوم) آزمون به عمل آمد.

روش اندازه گیری

بعد از اندازه گیری ویژگی های آنروپومتری آزمودنی ها

دوست ۱۰ تایی با استفاده از پله ۲۰ سانتی متری و حرکت لی لی با هر دوپا دوبار در مسیر ۱۰ متری بود. ابتدا پیش-آزمون و پس از انجام پروتکل خستگی، بلافاصله، دمای پوست اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری دما در گروه خستگی، تنها برای بررسی محقق از نحوه تغییرات و اختلاف دما در گروه‌های دیگر و به غیر از گروه سرمادهی بوده است که به عنوان یک عامل کنترلی محقق آن راثبت کرده است تا از ثبات دمای محیط و همچنین اثربخشی سرمادهی برای گروه‌های سرمادهی در مقایسه با گروه‌های دیگر اطمینان حاصل کند که نتایج آماری نیز این را تایید کرده است. بعد از آن، پس از آزمون اول انجام شد و بعد از ۲۰ دقیقه پس از آزمون دوم انجام شد. در گروه سرمادهی پس از خستگی، بعد از انجام پیش آزمون و اندازه‌گیری دمای پوست، آزمودنی‌ها پروتکل خستگی را انجام داده و بعد از خستگی دمای پوست اندازه‌گیری شده و بلافاصله سرمادهی به مدت ۲۰ دقیقه اعمال شد و سپس دمای پوست اندازه‌گیری شده و پس از آزمون اول انجام شد و بعد از ۲۰ دقیقه استراحت به صورت خوابیده به پشت و ثبت تغییرات دمایی هر ۵ دقیقه در این مدت، پس از آزمون دوم انجام شد. آزمودنی‌های گروه کنترل نیز تمام آزمون‌های اولیه و اصلی را انجام دادند، با این تفاوت که نه سرمادهی به آن‌ها اعمال شد و نه خستگی و آن‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در حالت خوابیده به پشت استراحت داشتند. وجود گروه کنترل و مقایسه آن با گروه‌های مداخله، تأیید می‌کند که هر تغییری در گروه‌های مداخله، در متغیرهای وابسته و عدم تغییر آن در گروه کنترل، نشان دهنده‌ی این است که قطعاً مداخله اثر گذار بوده است. وجود گروه کنترل در تحقیق، باعث می‌شود تا با اطمینان بیشتری بتوان گفت که مداخله اثرگذار بوده است، در غیر این صورت ممکن است تغییرات مربوط به متغیرهای دیگری مثل اثر زمان یا یادگیری و ... باشد و نمی‌توان با اطمینان گفت که تغییرات ناشی از مداخله است.

پردازش اطلاعات

پردازش داده‌ها در نرم افزار متلب صورت گرفت. داده‌های مربوط به فوت‌سوییچ و الکتروگوئیومتر نیز فیلتر شده (Notch filter 50HZ) و اطلاعات مربوط به لحظه تماس

تماس پای برتر با زمین، فوراً" به سمت بالا جهش کرده و سپس روی زمین فرود آمد. از طرفی، برای اینکه مهارت فرود-پرش به طور یکسان توسط همه آزمودنی‌ها اجرا شود از آن‌ها خواسته شد حین حرکت از دست‌ها استفاده ننمایند و دست‌ها را روی کمر قرار دهند (۲۹).

روش سرمادهی

برای اعمال سرمادهی، از آزمودنی خواسته شد تا در حالت خوابیده به پشت قرار گیرد. سپس کیسه یخ بدون اعمال فشار با دست یا بانداژ، به مدت ۲۰ دقیقه در بخش قدامی و داخلی مفصل زانو (ناحیه $12\text{cm} \times 20$) قرار داده شد (۱۰). مدت زمان سرمادهی بر اساس مدت بکاربرده شده در اکثر مطالعات، مورد استفاده قرار گرفت (۳۰، ۱۰). در پژوهش‌های انجام شده، میانگین زمان کاربرد سرمادرمانی بسته به روش سرمادرمانی، $3/5 \pm 20/3$ دقیقه بود (۳۱). قبل و بلافاصله بعد از سرمادهی، دمای پوست با استفاده از ترمومتر الکترونیکی مادون قرمز مدل FT3010، مارک Manoli ساخت کشور انگلستان اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که سرمادهی موثر بوده و دمای پوست را به میزان زیادی کاهش داده است (جدول ۲). سپس، پس از آزمون اول (۳ تکرار) انجام شد. در مرحله بعد ۲۰ دقیقه در حالت خوابیده به پشت به آزمودنی استراحت داده شد و سپس پس از آزمون دوم (۳ تکرار) به عمل آمد و در این فاصله تغییرات دمایی هر ۵ دقیقه به ثبت رسید تا روند تغییرات دما از پس از آزمون اول تا دوم به عنوان یک عامل کنترلی بررسی و نظارت شود. محقق برای بررسی آنی و شهودی این که برگشت دما و رسیدن به دمای اولیه چگونه صورت می‌گیرد، تغییرات دمایی راثبت نموده و ثبت دما در زمانهای مختلف صرفاً برای بررسی چگونگی تغییرات دما پس از اعمال سرما و ماندگاری آن بوده است.

پروتکل خستگی

در گروه خستگی نیز، به همان ترتیب گروه سرمادهی، آزمون‌ها انجام شد، با این تفاوت که به جای اعمال سرمادهی، آزمودنی‌ها بعد از گرم کردن (۵ دقیقه دویدن آهسته، ۱۵ دقیقه حرکات کششی پویا) پروتکل خستگی را انجام دادند که شامل پرش‌های دوپا و تک‌پا در جهت‌های مختلف در

به گروه های دیگر ایجاد کرده است. ضمن اینکه، دمای پوست در تمام گروه ها در زمان پیش آزمون تقریباً مشابه بوده و در گروه کنترل تغییرات معناداری مشاهده نشد که می تواند نشان دهنده ثبات دمای محیط باشد. نتایج تحلیل واریانس برای متغیر مرکز فشار در مرحله اکسنتریک حرکت فرود-پرش مشخص کرد که، تغییرات درون گروهی میانگین COPx در تمام گروه ها معنادار بوده ($p=0/01$)، اما بین گروه ها در هیچکدام از زمان ها معنادار نبوده است ($p=0/55$). از طرفی، تغییرات درون گروهی میانگین COPY در هیچ یک از گروه ها معنادار نبوده است ($p=0/35$) و بین گروه ها نیز تغییرات معناداری مشاهده نشد ($p=0/44$) (جدول ۳).

نتایج تحلیل واریانس برای متغیر مرکز فشار در مرحله کانسنتریک حرکت فرود-پرش مشخص کرد که، تغییرات درون گروهی میانگین COPx و COPY در هیچ یک از گروه ها معنادار نبوده است ($p>0/05$) و بین گروه ها نیز تغییرات معناداری مشاهده نشد ($p\geq 0/05$) (جدول ۴). بر اساس نتایج تحلیل واریانس برای متغیر دامنه حرکتی زانو در حرکت فرود-پرش، مشخص شد که تغییرات درون گروهی زاویه زانو زمان تماس، در تمام گروه ها معنادار بوده ($p=0/04$)، ولی بین گروه ها تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p=0/55$). اما برای زاویه زانو زمان پرش و ماکسیمم زاویه زانو، تغییرات درون گروهی و بین گروهی در هیچیک از زمان ها، معنادار نبود ($p>0/05$) (جدول ۵).

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده در ارتباط با متغیر COP (جدول ۳، ۴) مشخص شد که مقادیر COPx (جهت داخلی-خارجی) در مرحله اکسنتریک در آزمودنی ها از پس آزمون اول به پس آزمون دوم در تمام گروه ها افزایش معنادار داشته، اما تفاوت معناداری بین گروه های مختلف مشاهده نشد. با توجه به فاصله زمانی بین پس آزمون اول و دوم (۲۰ دقیقه) و کاهش اثر متغیرهای مستقل (سرمادهی، خستگی و سرمادهی پس از خستگی) در پس آزمون دوم نسبت پس-آزمون اول، به نظر می رسد افزایش ایجاد شده در مقدار COPx ناشی از اثر زمان باشد که افزایش معنادار آن در گروه کنترل نیز، گواه بر این ادعاست. علیرغم وجود تفاوت معنادار،

و پرش با استفاده از فوت سوایچ و تغییرات دامنه حرکتی (زاویه زانو در لحظه فرود، ماکزیمم زاویه، زاویه زانو در لحظه پرش) با استفاده از الکتروگونیا متر به دست آمد. با توجه به اینکه در هر زمان (پیش آزمون، پس آزمون اول و پس آزمون دوم) سه بار حرکت فرود-پرش توسط آزمودنی انجام گرفت، پس از استخراج داده های نهایی، میانگین سه کوشش برای هر زمان و در هر فاز در نظر گرفته شد. برای پردازش اطلاعات حاصل از صفحه نیرو، ابتدا داده ها فیلتر شده (Low pass filter 30HZ, Notch filter 50HZ) و سپس لحظه تماس ($Fz>10N$) و لحظه پرش ($Fz<10N$) به دست آمده و با داده های مربوط به الکتروگونیا متر هم زمان شدند و فاز اکسنتریک و کانسنتریک (Concentric) نیز با توجه به داده های الکتروگونیا متر مشخص گردید. سپس اطلاعات مربوط به هر فاز (COPx, COPY) به دست آمد و در نهایت میانگین تغییرات در هر فاز محاسبه گردید.

محاسبات آماری با استفاده از نرم افزار SPSS23 انجام گرفت. برای تحلیل داده ها از آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. از آمار توصیفی برای محاسبه ی میانگین و انحراف معیار و از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov Smirnov; K-S)، برای بررسی نرمال بودن توزیع داده ها، استفاده شد. برای تعیین اثر متغیرهای مستقل بر وابسته و اثر زمان در هر یک از مراحل فرود-پرش و مقایسه بین گروه ها (تجربی و کنترل) از آزمون تحلیل واریانس با داده های تکراری (Repeated Measure ANOVA) و در صورت نیاز آزمون تحلیل واریانس یک-طرفه (One-way ANOVA) و آزمون تعقیبی بونفرونی (Bonferroni) در سطح معناداری $p<0/05$ بهره گرفته شد.

یافته ها

با توجه به نتایج جدول ۱، عدم وجود تفاوت معنادار در ویژگی های دموگرافیک آزمودنی ها شامل سن، وزن، قد، شاخص توده بدنی، نشان دهنده ی همسان بودن آن هاست. با توجه به نتایج تحلیل واریانس جدول ۲ مشخص شد که سرمادهی، دمای پوست را در پس آزمون اول و دوم به طور معناداری کاهش می دهد و تغییرات دمایی معناداری را نسبت

جدول ۱: ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها

گروه	سن (سال)	وزن (کیلوگرم)	قد (سانتی متر)	شاخص توده بدنی (کیلوگرم بر مترمربع)
	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار
کنترل	۲۲/۹۵ \pm ۲/۲۸	۵۶/۲ \pm ۹/۰۲	۱۶۴/۸ \pm ۷/۷۷	۲۰/۷۲ \pm ۲/۹۳
سرمادهی	۲۳ \pm ۲/۲۶	۵۲/۵ \pm ۵/۱۲	۱۶۴/۴ \pm ۷/۰۲	۱۹/۴۶ \pm ۱/۹۳
خستگی	۲۳/۲۸ \pm ۲/۶۲	۵۵/۲۸ \pm ۹/۷۹	۱۶۷ \pm ۷/۸۹	۱۹/۷۹ \pm ۲/۷۷
سرمادهی پس از خستگی	۲۱/۷۵ \pm ۰/۸۸	۵۳/۷۵ \pm ۶/۶۹	۱۶۳/۸۸ \pm ۶/۳۵	۲۰/۰۳ \pm ۲/۰۴
میانگین کل	۲۲/۷۴ \pm ۲/۱۰	۵۴/۴۰ \pm ۷/۵۴	۱۶۴/۹۱ \pm ۷/۰۴	۲۰/۲۲ \pm ۰۲/۳۹
F	۰/۸	۰/۴۳	۰/۲۶	۰/۴۶
p-مقدار	۰/۵	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۷۱

سطح معناداری $p < 0.05$

جدول ۲: متغیر دمای سطحی پوست (درجه سانتی‌گراد) و نتایج تحلیل واریانس در آزمودنی

گروه	زمان			P-مقدار درون گروهی
	پس از آزمون			
	پیش از آزمون	اول	دوم	
	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار	
کنترل	۲۸/۴۰ \pm ۱/۲۶	۲۸/۱۲ \pm ۱/۱۲	۲۸/۸۶ \pm ۱/۱۵	۰/۱۳
سرمادهی	۲۸/۹۹ \pm ۰/۷۹	۷/۴۴ \pm ۱/۹۶	۲۳/۰۵ \pm ۱/۳۳	۰/۰۰۱*
خستگی	۲۸/۲۱ \pm ۱/۲۲	۲۷/۱۲ \pm ۱/۵۶	۳۰/۴۰ \pm ۲/۱۴	۰/۰۰۱*
سرمادهی پس از خستگی	۲۸/۶۳ \pm ۰/۳۷	۸/۳۵ \pm ۱/۴۶	۲۴/۱۵ \pm ۱/۴۲	۰/۰۰۱*
p-مقدار بین گروهی	۰/۴	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۱*	۰/۰۰۱**

* معناداری تغییرات دما و ** اثر متقابل زمان در گروه- سطح معناداری $p < 0.05$

جدول ۳: نتایج تحلیل واریانس تغییرات مرکز فشار در مرحله اکسنتریک حرکت فرود-پرش

متغیر	زمان			گروه	P-مقدار درون گروهی
	پس از آزمون				
	پیش از آزمون	اول	دوم		
	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار	میانگین \pm انحراف معیار		
COP_x	کنترل	۲/۰ \pm ۲۶/۸۸	۲/۰ \pm ۲۲/۸۹	۲/۱ \pm ۵۸/۲۰	۰/۰۱*
	سرمادهی	۲/۰ \pm ۰۶/۹۵	۱/۰ \pm ۸۹/۸۴	۲/۱ \pm ۱۵/۰۷	۰/۰۱*
	خستگی	۲/۰ \pm ۲۷/۸۹	۲/۰ \pm ۱۶/۵۲	۲/۱ \pm ۹۷/۳۱	۰/۰۱*
	سرمادهی پس از خستگی	۱/۰ \pm ۷۸/۹۹	۲/۰ \pm ۰۳/۴۲	۲/۰ \pm ۱۳/۸۱	۰/۰۱*
	p-مقدار بین گروهی	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۹
COP_y	کنترل	۲/۴۸ \pm ۰/۸۶	۲/۷۵ \pm ۰/۹۱	۲/۷۳ \pm ۱/۲۶	۰/۳۵
	سرمادهی	۲/۶۳ \pm ۱/۳۱	۲/۸۹ \pm ۱/۵۴	۲/۱ \pm ۶۲/۵۲	۰/۳۵
	خستگی	۱/۰ \pm ۶۴/۴۰	۲/۱ \pm ۱۴/۰۳	۲/۰ \pm ۴۲/۶۹	۰/۳۵
	سرمادهی پس از خستگی	۲/۱ \pm ۸۲/۳۵	۲/۰ \pm ۸۳/۹۸	۲/۱ \pm ۷۴/۱۵	۰/۳۵
	p-مقدار بین گروهی	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۸۳

* معناداری بین پس از آزمون اول و دوم- سطح معناداری $p < 0.05$

جدول ۴: نتایج تحلیل واریانس تغییرات مرکز فشاردر مرحله کانسنتریک حرکت فرود-پرش

متغیر	گروه	زمان پس آزمون		
		پیش آزمون میانگین \pm انحراف معیار	اول میانگین \pm انحراف معیار	دوم میانگین \pm انحراف معیار
COP _x	کنترل	۲/۲۶ \pm ۱/۰۶	۲/۱۶ \pm ۰/۷۱	۲/۶۶ \pm ۱/۵۸
	سرمادهی	۱/۸۰ \pm ۱/۱۶	۱/۷۳ \pm ۰/۶۵	۱/۵۷ \pm ۰/۷۱
	خستگی	۱/۰ \pm ۹۳/۹۱	۱/۰ \pm ۷۹/۷۱	۲/۰ \pm ۰۷/۹۱
	سرمادهی پس از خستگی	۱/۰ \pm ۴۵/۹۰	۱/۰ \pm ۶۶/۵۶	۱/۰ \pm ۵۶/۶۹
	p-مقدار بین گروهی	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۸
COP _y	کنترل	۳/۴۱ \pm ۱/۲۹	۳/۴۷ \pm ۰/۸۸	۳/۷۰ \pm ۱/۷۳
	سرمادهی	۳/۳۴ \pm ۱/۴۲	۳/۲۷ \pm ۱/۳۲	۲/۸۰ \pm ۱/۴۲
	خستگی	۲/۰ \pm ۳۶/۷۰	۲/۱ \pm ۸۰/۰۵	۳/۰ \pm ۲۳/۴۹
	سرمادهی پس از خستگی	۲/۱ \pm ۷۹/۵۶	۳/۱ \pm ۰۹/۰۱	۳/۱ \pm ۰۱/۲۶
	p-مقدار بین گروهی	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۵۷

سطح معناداری $p < 0/05$

جدول ۵: نتایج تحلیل واریانس متغیرهای دامنه حرکتی زانو (درجه) در حرکت فرود-پرش

متغیر	گروه	زمان پس آزمون		
		پیش آزمون میانگین \pm انحراف معیار	اول میانگین \pm انحراف معیار	دوم میانگین \pm انحراف معیار
KAL	کنترل	۲۲/۸۰ \pm ۶/۴۳	۲۲/۷۷ \pm ۵/۹۷	۲۶/۴۷ \pm ۶/۹۵
	سرمادهی	۲۴/۵۲ \pm ۹/۲۶	۲۳/۱۰ \pm ۲۲/۸۵	۲۱/۳۳ \pm ۱۱/۱۹
	خستگی	۲۶/۹ \pm ۴۳/۷۴	۲۱/۵ \pm ۰۱/۷۳	۱۰ \pm ۰۲/۲۵/۴۹
	سرمادهی پس از خستگی	۱۹/۱۰ \pm ۸۷/۱۹	۱۶/۷ \pm ۸۷/۲۲	۲۰/۸ \pm ۶۵/۵۷
	p-مقدار بین گروهی	۰/۵۵	۰/۵۵	۰/۵۵
KAT	کنترل	۱۱/۱۶ \pm ۹/۲۲	۱۱/۷۱ \pm ۱۰/۳۵	۹/۴۹ \pm ۶/۵۲
	سرمادهی	۸/۹۵ \pm ۵/۷۵	۱۱/۱۲ \pm ۶/۴۳	۱۰/۲۲ \pm ۶/۹۴
	خستگی	۱۰/۶ \pm ۹۳/۶۷	۱۰/۱۰ \pm ۳۰/۱۵	۱۰/۵ \pm ۹۰/۰۶
	سرمادهی پس از خستگی	۱۱/۱۲ \pm ۸۳/۰۹	۹/۶ \pm ۵۷/۸۳	۱۱/۱۰ \pm ۴۵/۲۷
	p-مقدار بین گروهی	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹
KAmax	کنترل	۴۳/۰۰ \pm ۷/۵۸	۴۳/۴۰ \pm ۷/۴۹	۴۴/۸ \pm ۸۷/۴۰
	سرمادهی	۴۵/۲۹ \pm ۷/۲۲	۴۴/۸۵ \pm ۷/۴۱	۴۶/۰۵ \pm ۹/۰۱
	خستگی	۴۴/۶ \pm ۴۹/۷۴	۴۳/۲ \pm ۲۹/۶۹	۴۴/۴ \pm ۸۶/۳۹
	سرمادهی پس از خستگی	۴۲/۹ \pm ۶۳/۷۵	۴۳/۹ \pm ۸۱/۹۰	۴۵/۱۰ \pm ۱۷/۶۸
	p-مقدار بین گروهی	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶

* معناداری بین پیش آزمون و پس آزمون اول و بین پس آزمون اول و دوم، KAL: زاویه زانو تماس با زمین، KAT: زاویه زانو زمان پرش، KAmax: ماکزیمم زاویه زانو- سطح معناداری $p < 0/05$

گردد (۳۴). در همین راستا، Miniello و همکاران (۳۵)، تفاوت معناداری در تعادل پویای زنان بعد از سرمادرمانی حین حرکت پرش-فرود مشاهده نکردند. در این پژوهش از روش غوطه‌وری اندام‌تحتانی (پا) در آب و یخ برای سرمادرمانی استفاده شد که در مقایسه با روش مورد استفاده در پژوهش حاضر، قسمت‌های بیش‌تری تحت تاثیر سرمادهی قرار می‌گیرند و ممکن است دمای عمقی بافت نیز تغییر کند، با این-حال تفاوت معناداری در مقادیر شاخص تعادل پویا مشاهده نشد. تفاوت نتایج این مطالعه با پژوهش حاضر شاید به دلیل تفاوت در روش سرمادرمانی و شاخص‌های اندازه‌گیری شده برای تعادل باشد.

در ارتباط با اثر سرمادهی پس از خستگی بر متغیر دامنه حرکتی زانو مشخص شد که تغییرات زاویه زانو در زمان تماس (Knee Angle of Take-off; KAT) در تمام گروه‌های تمرین کرده معنادار بوده، در متغیرهای دیگر از نظر آماری تغییرات معناداری مشاهده نشد، با توجه به نتایج جدول ۵ مشخص است که زاویه زانو زمان فرود (زمان تماس با زمین) در آزمودنی‌ها در تمام گروه‌ها، در پس‌آزمون اول کاهش معنادار داشته است که مقدار کاهش در گروه خستگی (۲۰٪) و سرمادهی پس از خستگی (۱۵٪) نسبت به دو گروه کنترل و سرمادهی بیش‌تر بود. به عبارتی میزان فلکشن زانو در زمان تماس کاهش یافته و فرود با اکستنشن بیش‌تر در زانو انجام گرفته است و اکستنشن بیش‌تر در زانو در زمان تماس با زمین، تأییدی بر اجرای فرود سخت است. برخی تحقیقات نیز افزایش نیروی عمودی عکس‌العمل زمین را حین فرودهای سخت گزارش کرده‌اند، که با افزایش اکستنشن مفصل همراه است (۳۶). در حالت خستگی اکستنسورهای زانو توانایی کنترل یک فرود مؤثر را در زمان تماس ندارند، در نتیجه نقش پلانترفلکسورهای مچ پا برای جذب شوک افزایش می‌یابد که این مکانیسم جبرانی به طور بالقوه باعث محدودیت اجرا می‌گردد. بنابراین، افزایش اکستنشن زانو در زمان خستگی با افزایش پلانترفلکشن مچ پا برای کمک به جذب نیرو حین تماس جبران می‌شود و نیروی عکس‌العمل عمودی مشابهی را ایجاد می‌نماید (۳۷). اکستنشن افزایش‌یافته در مفصل زانو و پلانترفلکشن ایجاد شده در زمان تماس ممکن است با احتمال ایجاد آسیب ارتباط داشته باشد، بنابراین افزایش

جابه‌جایی در جهت داخلی-خارجی، از پیش‌آزمون به پس-آزمون اول در مرحله اکسنتریک و کانسنتریک فقط در گروه سرمادهی پس از خستگی افزایش (۰/۶) داشت و در گروه‌های دیگر کاهش داشت. در همین راستا، Fukuchi و همکاران (۳۲) افزایش سرعت تغییرات COP را در جهت داخلی-خارجی (Medio Lateral; ML) بعد از سرمادرمانی در حالت ایستا گزارش کردند که نشان‌دهنده کاهش ثبات پاسچرال بود. افزایش سرعت تغییرات COP را می‌توان به تغییر داده‌های سوماتوسنسوری (Somatosensory) از مفاصل، عضلات و تحرکات زیرپوستی نسبت داد (۳۳). Fullam و همکاران (۳۳) نیز، کاهش تعادل دینامیک بعد از سرمادرمانی مچ پا را گزارش کردند. البته با توجه به تفاوت در پروتکل سرمادهی (غوطه‌وری) و آزمون مورد استفاده برای اندازه‌گیری تعادل، در این پژوهش‌ها با مطالعه حاضر، امکان مقایسه مستقیم مشکل است. از طرفی، با توجه به عدم تغییرات معنادار در اثر سرمادهی و خستگی، به نظر می‌رسد با توجه به این‌که خستگی ایجاد شده بیش‌تر در عضلات صفحه ساجیتال (Sagittal) رخ داده است، شاید شاخص COP_x برای نشان‌دادن تغییرات به اندازه کافی حساس و مناسب نباشد.

نتایج پژوهش در ارتباط با مقادیر COP_y (قدامی-خلفی) مشخص کرد که تغییرات جابه‌جایی در جهت قدامی-خلفی در هیچ‌یک از گروه‌ها معنادار نبود. اما آنچه که مشخص است خستگی در افراد تمرین‌کرده، باعث افزایش مقادیر COP_y در هر دو مرحله اکسنتریک و کانسنتریک یا به عبارتی خستگی باعث کاهش توانایی کنترل بدن در جهت قدامی-خلفی شده است. با این وجود از آنجا که عضلات پلانترفلکسور و دورسی-فلکسور (Dorsi flexor) مچ پا عضلات اصلی در ایجاد و کنترل حرکات صفحه ساجیتال مفصل مچ پا می‌باشند، بنابراین شاید بتوان افزایش شاخص ثباتی در جهت قدامی-خلفی نسبت به داخلی-خارجی به دنبال خستگی عضلات پلانترفلکسور و دورسی‌فلکسور مچ پا را به کنترل بیش‌تر حرکات صفحه ساجیتال توسط این عضلات نسبت داد. به هر حال، کنترل نروماسکولار نقش مهمی در حفظ ثبات پویای مفصل و حمایت از بدن در مقابل آسیب دارد و خستگی نروماسکولار می‌تواند سبب اختلال در این کنترل و ثبات

ترند، اثر بگذارد (۴۱). در پس‌آزمون دوم با توجه به این‌که دمای مفصل افزایش می‌یابد و حس از دست رفته مفصل باز می‌گردد، در نتیجه زاویه زانو نیز نسبت به پس‌آزمون اول کاهش می‌یابد و توانایی عضلات برای اکستنشن بیش‌تر در زانو افزایش می‌یابد. از طرفی، خستگی تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در زاویه زانو در زمان پرش ایجاد نکرده است. سرمادهی پس از خستگی نیز باعث کاهش (۰/۱۷٪) زاویه زانو زمان پرش، در پس‌آزمون اول نسبت به پیش‌آزمون و افزایش (۰/۱۹٪) در پس‌آزمون دوم نسبت به پس‌آزمون اول شده است. بنابراین، اعمال سرمادهی پس از خستگی باعث افزایش اکستنشن زانو در زمان پرش شده است.

در مورد ماکزیمم زاویه زانو نیز، با وجود این‌که تغییرات ایجاد شده در گروه‌های مختلف از نظر آماری معنادار نبوده، با توجه به نتایج (جدول ۵) مشخص است که سرمادهی و خستگی در آزمودنی‌های تمرین‌کرده ماکزیمم زاویه زانو را کاهش داده است، اگرچه مقدار این کاهش چندان چشمگیر نیست، اما تایید مثبتی بر داشتن یک فرود سخت بعد از اعمال سرمادهی و خستگی می‌باشد. تغییرات گروه کنترل را نیز می‌توان به اثر زمان و اثر ناشی از یادگیری نسبت داد. مستند است که زوایای فلکشن زانو و ران حین فرود، تعیین‌کننده-های مهم نیروهای وارد بر زانو هستند. بنابراین، زوایای کوچک فلکشن، نیروهای ضربه‌ای شدیدی تولید می‌کنند (۴۲، ۱۴).

بنابراین، کاهش ماکزیمم زاویه زانو، باعث وارد آمدن نیروی بیش‌تر به مفصل شده و احتمال آسیب دیدگی را افزایش می‌دهد. که با توجه به این‌که مقدار کاهش از نظر آماری معنادار نبوده، نمی‌توان به طور قطعی در این رابطه نظر داد.

بر اساس نتایج بدست آمده از پژوهش، به نظر می‌رسد، سرمادهی به صورت سطحی (با استفاده از کیسه یخ) بعد از خستگی نروماسکولار، مشابه با شرایطی که در رویدادها و مسابقات ورزشی وجود دارد، بر عملکرد بیومکانیکی اندام-تحتانی و تعادل افراد ورزشکار، تأثیر معناداری ندارد. لذا، سرمادهی موضعی مفصل، به عنوان یک روش درمانی فوری که دارای فواید و آثار مثبت فیزیولوژیکی زیادی، برای کاهش عوارض حاد ناشی از آسیب می‌باشد، حتی با وجود کاهش دمای موضعی مفصل و در شرایطی که ورزشکار خسته است، خطر جدی برای ورزشکاران حین برگشت به فعالیت ایجاد

پلانتارفلکشن می‌تواند یک مکانیسم جبرانی برای ظرفیت کاهش یافته اکستنسورهای زانو (Knee extensors) در کاهش شتاب بدن و جذب نیرو حین فرود، باشد. به هر حال، گزارش شده است که فرود با زانوی نزدیک به اکستنشن کامل یکی از عواملی است که زانو را در معرض آسیب قرار می‌دهد (۳۸). Shelburn و Pandy (۳۹) اظهار داشتند که نیروی بیش‌تری به ACL در زوایای نزدیک به اکستنشن کامل زانو وارد می‌شود، زیرا همسترینگ توانایی کمی برای کنترل جابه‌جایی قدامی ایجاد شده در تیبیا (Tibia) به واسطه چهارسرران را، دارد. به علاوه، Bjorklund و همکاران (۴۰) اظهار داشتند، نیروهای وارد بر ACL به واسطه انقباض چهارسرران، در ۴۰ درجه آخر اکستنشن زانو افزایش می‌یابد و مقادیر حداکثر نیروها در زوایای نزدیک به اکستنشن کامل بر ACL وارد می‌شوند (۴۰). به هر حال، زمانی که فرد خسته می‌شود جذب انرژی در زانو کاهش یافته و متعاقباً جذب انرژی تقریباً به طور مساوی، در مچ پا افزایش می‌یابد. این نتایج حاکی از آن است که آزمودنی‌ها در حالت خستگی استراتژی فرود را بیش‌تر به سمت استفاده از مچ پا برای جذب انرژی کینتیکی ناشی از ضربه منتقل کرده‌اند. نتایج مطالعات قبلی (۳۶) نقش بیش‌تر پلانتارفلکسورهای پا را زمانی که زاویه اکستنشن زانو در لحظه تماس با زمین افزایش می‌یابد، تایید کرده‌اند.

در مورد زاویه زانو در زمان پرش، اگرچه تغییرات از نظر آماری معنادار نبوده، به این صورت که سرمادهی باعث افزایش زاویه زانو (افزایش فلکشن زانو) در پس‌آزمون اول و کاهش زاویه زانو (کاهش فلکشن زانو) در زمان پرش در پس‌آزمون دوم نسبت به پس‌آزمون اول شده است. افزایش زاویه زانو زمان پرش بلافاصله بعد از سرمادهی احتمالاً به دلیل نداشتن حس کافی در مفصل زانو و از دست دادن اطلاعات مکانورسپتورهای (Mechanoreceptors) سطحی مفصل و اطلاعات آوران‌های زیرپوستی که موقعیت زاویه‌ای و وضعیت مفصل را مخابره می‌کنند، می‌باشد. همچنین، سرمادرمانی ممکن است سرعت هدایت فیبرهای آوران عضلات اطراف زانو را تحت تأثیر قرار دهد و همچنین، بر هدایت حسی گیرنده‌های مفصل (اجسام پاجینی) که سرعت سازگاری بالایی دارند و برای گزارش موقعیت و سرعت دینامیک مفصل مناسب

منابع

1. Enwemeka CS, Allen C, Avila P, Bina J, et al. Soft tissue thermodynamics before, during, and after cold pack therapy. *Med Sci Sports Exerc* 2002; 34(1): 45-50.
2. Gregson W, Black MA, Jones H, Milson J, et al. Influence of cold water immersion on limb and cutaneous blood flow at rest. *Am J Sports Med* 2011; 39(6): 1316-1323.
3. Hopkins JT, Hunter I, McLoda T. Effects of ankle joint cooling on peroneal short latency response. *J Sports Sci Med* 2006; 5(2): 333-339.
4. Rubley MD, Denegar CR, Buckley WE, Newell KM. Cryotherapy, sensation, and isometric-force variability. *J Athl Train* 2003; 38(2): 113-119.
5. Melnyk M, Faist M, Claes L, Friemert B. Therapeutic cooling: no effect on hamstring reflexes and knee stability. *Med Sci Sports Exerc* 2006; 38(7): 1329-1334.
6. Atnip BL, McCrory JL. The effect of cryotherapy on three dimensional ankle kinematics during a sidestep cutting maneuver. *J Sports Sci Med* 2004; 3(2): 83-90.
7. Oksa J, Rintamäki H, Rissanen S. Muscle performance and electromyogram activity of the lower leg muscles with different levels of cold exposure. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1997; 75(6): 484-490.
8. Fischer J, Van Lunen BL, Branch JD, Pirone JL. Functional performance following an ice bag application to the hamstrings. *J Strength Cond Res* 2009; 23(1): 44-50.
9. Uchio Y, Ochi M, Fujihara A, Adachi N, et al. Cryotherapy influences joint laxity and position sense of the healthy knee joint. *Arch Phys Med Rehabil* 2003; 84(1): 131-135.
10. Schmid S, Moffat M, Gutierrez GM. Effect of knee joint cooling on the electromyographic activity of lower extremity muscles during a plyometric exercise. *J Electromyogr Kinesiol* 2010; 20(6): 1075-1081.

نمی کند و احتمال آسیب دیدگی مجدد نیز در آن‌ها بعد از سرمادهی در شرایط خستگی، وجود ندارد.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر، دارای تاییدیه کمیته اخلاق با شناسه اخلاق IR.HUMS.REC.1399.431 می باشد. بر خود لازم می دانم از تمامی دانشجویان و دوستانی که در انجام این کار پژوهشی ما را یاری کردند، تشکر و قدردانی کنم.

11. Webster KE, Santamaria LJ, McClelland JA, Feller JA. Effect of fatigue on landing biomechanics after anterior cruciate ligament reconstruction surgery. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 44(5): 910-916.
12. Eranki A, Cortes N, Ferencek ZG, Kim JJ, Sikdar S, editors. Real-time measurement of rectus femoris muscle kinematics during drop jump using ultrasound imaging: A Preliminary study. 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2012: IEEE.
13. Kernozek TW, Greany JF, Anderson DR, Van Heel D, et al. The effect of immersion cryotherapy on medial-lateral postural sway variability in individuals with a lateral ankle sprain. *Physiother Res Int* 2008; 13(2): 107-118.
14. Decker MJ, Torry MR, Wyland DJ, Sterett WI, Steadman JR. Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clin Biomech* 2003; 18(7): 662-669.
15. Carcia CR, Martin RL. The influence of gender on gluteus medius activity during a drop jump. *Phys Ther Sport* 2007; 8(4): 169-176.
16. Russell PJ, Croce RV, Swartz EE, Decoster LC. Knee-muscle activation during landings: developmental and gender comparisons. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39(1): 159-170.
17. Hewett T, Zazulak B, Myer G, Ford K. A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med* 2005; 39(6): 347-350.
18. Griffin LY, Agel J, Albohm MJ, Arendt EA, Dick RW, et al. Noncontact anterior cruciate ligament injuries: risk factors and prevention strategies. *J Am Acad Orthop Surg* 2000; 8(3): 141-150.
19. Daoukas S, Malliaropoulos N, Maffulli N. ACL biomechanical risk factors on single-leg drop-jump: a cohort study comparing football players with and without history of lower limb injury. *Muscles Ligaments Tendons Journal* 2019; 9(1):70-75.
20. Zamporri J, Aguinaldo A. The Effects of a Compression Garment on Lower Body Kinematics and Kinetics During a Drop Vertical Jump in Female Collegiate Athletes. *Orthop J Sport Med* 2018; 6(8):1-6.
21. Hanaki S, McCaw ST. A Comparison Of The Lower Extremity Kinematics Between One-And Two-leg Landings. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37(5): S66.
22. Suna R, Moona Y, McGinnisb RS, Seagersc K, et al. Assessment of Postural Sway in Individuals with Multiple Sclerosis Using a Novel Wearable Inertial Sensor. *Digit Biomark* 2018; 2(1): 1–10.
23. Walsh MS, Ford KR, Bangen KJ, Myer GD, Hewett TE. The validation of a portable force plate for measuring force-time data during jumping and landing tasks. *J strength Cond Res* 2006; 20(4): 730-734.
24. Jacinta Browne & Neil O'Hare. A quality control procedure for force platforms. *Physiol Meas* 2000; 21(4): 515-524.
25. Bronner S, Agraharasamakulam S, Ojofeitimi S. Reliability and validity of electrogoniometry measurement of lower extremity movement. *J Med Eng Technol* 2010; 34(3): 232-242.
26. Mansfield A, Lyons GM. The use of accelerometry to detect heel contact events for use as a sensor in FES assisted walking. *Med Eng Phys* 2003; 25(10): 879-885.
27. Framen M, Crosbie J, Edmonds J. Reliability of Gait Measurements in People With Osteoarthritis of the Knee. *Phys Ther* 1997; 77(9): 944-953.
28. Schmid S, Moffat M, Gutierrez GM. Effects of Cooling on Ground Reaction Forces, Knee Kinematics, and Jump Height in Drop Jumps. *Athl Train Sports Health Care* 2012; 1(12): 1-9.
29. Sankey SP, Jones PA, Bampouras T. Effects of two plyometric training programmes of different intensity on vertical jump performance in high school athletes. *Serb J Sports sci* 2008; 2(4): 123-130.

30. Ozmun JC, Thieme HA, Ingersoll CD, Knight KL. Cooling does not affect knee proprioception. *J Athl Train* 1996; 31(1): 8-11.
31. Furmanek MP, Słomka K, Juras G. The effects of cryotherapy on proprioception system. *BioMed Res Int* 2014; 2014:1-14.
32. Fukuchi CA, Duarte M, Stefanyshyn DJ. Postural sway following cryotherapy in healthy adults. *Gait posture* 2014; 40(1): 262-265.
33. Fullam K, Caulfield B, Coughlan G, Delahunty E. The effect of cryotherapy application to the ankle joint on dynamic postural stability in an elite athletic population. *Br J Sports Med* 2014 ;48(7): 560-574.
34. Wikstrom EA, Powers ME, Tillman MD. Dynamic stabilization time after isokinetic and functional fatigue. *J Athl Train* 2004; 39(3): 247-253.
35. Miniello S, Dover G, Powers M, Tillman M, Wikstrom E. Lower leg cold immersion does not impair dynamic stability in healthy women. *J Sport Rehabil* 2005; 14(3): 235-247.
36. Zhang S-N, Bates BT, Dufek JS. Contributions of lower extremity joints to energy dissipation during landings. *Med Sci Sports Exerc* 2000; 32(4): 812-819.
37. Weinhandl JT, Smith JD, Dugan EL. The effects of repetitive drop jumps on impact phase joint kinematics and kinetics. *J Appl Biomech* 2011; 27(2): 108-115.
38. Distefano V. Anatomy and biomechanics of the ankle and foot. *Athl Train* 1981; 16: 43-47.
39. Pandy MG, Shelburne KB. Dependence of cruciate-ligament loading on muscle forces and external load. *J Biomech* 1997; 30(10): 1015-1024.
40. Bjorklund M. Effects of repetitive work on proprioception and of stretching on sensory mechanisms. Implications for workrelated neuromuscular disorders. Thesis 2004.
41. Johnson DJ, Leider FE. Influence of cold bath on maximum handgrip strength. *Percept Mot Skills* 1977; 44(1): 323-326.
42. Kinzey SJ, Cordova ML, Gallen KJ, Smith JC, Moore JB. The effects of cryotherapy on ground-reaction forces produced during a functional task. *J Sport Rehabil* 2000; 9(1): 3-14.