

Immediate Effect of Cryotherapy on the Kinetic Factors Associated with Injury during the Side-Cutting Maneuver in Healthy Male Athletes: Pilot Study

Hamidreza Naserpour*¹, Mehdi Khaleqi Tazji², Amir Letafatkar²

1. PhD Student of Sport Biomechanics, Department of Biomechanics and Sports Injuries, Kharazmi University, Tehran, Iran

2. PhD Assistant Professor, Department of Biomechanics and Sports Injuries, Kharazmi University, Tehran, Iran

Received: 06.June.2020 Revised: 11. June.2020 Accepted: 15.June.2020 Published Online: 24.June.2020

ABSTRACT

Background and Aims: Cryotherapy is commonly used in the treatment of acute and chronic athletic injuries. The present study aimed to investigate the immediate effect of cryotherapy on the kinetic factors associated with injury during the side-cutting maneuver in healthy male athletes.

Materials and Methods: A total of 14 professional athletes (age: 24.3 ± 3.5 years and weight: 74.1 ± 19.2 kg) took part in the study. The kinetic factors, including ground reaction force, and their rate of loading, the center of mass to center of pressure changes, and free momentum, were assessed by force plate during the side-cutting maneuver. Simultaneously, using spray cooling, cold was applied to participants' inside and outside parts of the ankle with a distance of 30 cm from lateral and medial malleolus for 5 seconds; the test was repeated three times. Paired t-tests were used for statistical analysis, with a significance level of $P \leq 0.05$.

Results: The results of the Paired t-test showed that both peak ground reaction force ($P = 0.042$) and the rate of loading in the Medio-lateral direction significantly increased ($P = 0.046$) after applying the cold protocol compared to the pre-test (before intervention). The center of mass to center of pressure displacement in both Medio-Lateral and Anterior-Posterior directions also showed a significant increase ($P = 0.01$ and $P = 0.004$), respectively.

Conclusion: According to the results of the current study, it seems that cold enhances the risk of injuries due to increased force and its rate of loading and reduces the dynamic stability of athletes during the side-cutting maneuver and can put the athletes at risk of potential injuries. It is recommended that further studies be conducted using larger sample size to investigate the use of cooling sprays during the treatment of ankle injuries in shear activities.

Keywords: Cryotherapy; Kinetic; Side-cutting; Ankle; Ground Reaction Force

How to cite this article: Hamidreza Naserpour, Mehdi Khaleqi Tazji, Amir Letafatkar. Immediate effect of cryotherapy on the kinetic Factors associated with injury during the side-cutting maneuver in healthy male athletes: Pilot study. J Rehab Med. 2020; 9(2): 1-8.

مقدمه و اهداف

در لحظه تماس پاشنه با زمین با آسیب‌های مختلفی از جمله آسیب‌های بافت نرم^[۱۴]، شکستگی فشاری درشت‌نی^[۱۵]، سندرم کشکی رانی^[۱۶] و سندرم نیام کف پای مرتبط^[۱۷] است.

برش جانبی معمولاً با باز شدن کامل زانو و چرخش داخلی یا خارجی درشت‌نی همراه است و پارگی رباط‌های مچ پا اغلب حین این حرکت اتفاق می‌افتد.^[۱۸] در بین آسیب‌های این ناحیه آسیب‌های رباطی شیوع بیشتری دارد و علت ۸۵ درصد از آسیب‌های لیگامنتی مچ پا، پیچ‌خوردگی آن به سمت خارج می‌باشد که در اثر گشتاور سوپینشنی^[۱۹] بزرگ و استفاده بیش‌از‌حد از بافت‌های نرم اطراف مفصل اتفاق می‌افتد. در بین لیگامنت‌های مچ پا، لیگامنت قسمت خارجی بیشترین سهم را ثبات مفصل دارند که مفصل را از حرکات غیرطبیعی به‌ویژه پیچش‌های بیش‌از‌حد، چرخش و پیچ خوردن پا باز می‌دارد.^[۱۹] در طول تمرین یا مسابقه و در پی برخورد یا انجام حرکات متنوع، فشارهای کنترل‌نشده‌ای به مچ پا اعمال می‌شود که در بسیاری از موارد نیاز به مداخله درمانی فوری وجود دارد. در چنین مواقعی یکی از تکنیک‌های درمانی رایج استفاده از سردکننده‌ها است^[۲۰]، در غالب موارد، ورزشکار باید بلافاصله پس از اعمال سرما، به تمرین یا رقابت بازگردد.^[۲۱] در چنین شرایطی، سرما می‌تواند باعث کاهش دمای عضله و مفصل شده، سرعت هدایت پیام‌های عصبی را کاهش دهد و این ایده مطرح است که استفاده از سردکننده‌ها تأثیر منفی بر عملکرد حس وضعیت و سایر گیرنده‌های مفصلی اندام می‌گذارد و فرد را مستعد آسیب می‌کند.^[۲۲، ۲۳] با بررسی پیشینه تحقیق، مطالعات متعددی با موضوع تأثیر این مداخله بر روی حس عمقی مفصل^[۲۴، ۲۵]، قدرت عضلانی^[۲۶، ۲۷]، تعادل و کنترل پاسچر^[۲۸، ۲۵] و فاکتورهای کینتیکی حین راه رفتن^[۲۹] صورت گرفته است، اما تاکنون مطالعه‌ای با محوریت بررسی تأثیر سرمادرمانی آنی بر ریسک فاکتورهای کینتیکی مرتبط با آسیب حین برش جانبی ورزشکاران یافت نشده؛ لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر آنی سرمادرمانی بر مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین، میزان نرخ بارگذاری نیروها، جابه‌جایی مرکز فشار و اوج گشتاور آزاد حین برش جانبی در ورزشکاران مرد سالم بود.

مواد و روش‌ها

در تحقیق نیمه‌تجربی^{۱۴} حاضر، با طرح تحقیق پیش و پس‌آزمون، مدل تحقیق تأثیرسنجی و نوع کاربردی و با

اندام تحتانی نقش عمده‌ای در تحمل وزن، جذب و تعدیل فشار و ضربات واردشده حین فعالیت‌های پویا مانند راه رفتن، دویدن، پریدن و حفظ وضعیت بدن در حالت ایستاده و در حال حرکت بر عهده دارد.^[۱] مچ پا در میان مفاصل بدن به دلیل تحمل وزن بدن و تنوع حرکات از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.^[۲] مفصل مچ پا نسبت به سایر مفاصل بدن در معرض بیشترین آسیب‌دیدگی می‌باشد، به‌گونه‌ای که در ۲۵ درصد از کل آسیب‌ها به این قسمت از اندام تحتانی مرتبط می‌شود.^[۳، ۴]

کنترل پاسچر^۱ یکی از فاکتورهای اساسی در انجام فعالیت‌های روزانه، اجرای بهینه فعالیت‌های ورزشی و پیشگیری از آسیب‌دیدگی می‌باشد. کنترل پاسچر به منظور توانایی حفظ مرکز ثقل بدن^۲ در محدوده سطح اتکا، ارتباط صحیح و مؤثر اجزای مختلف بدن نسبت به یکدیگر و تعامل آن با محیط برای انجام تکلیف حرکتی در مطالعه حرکات انسان جایگاه ویژه‌ای دارد.^[۵] آسیب‌های ورزشی اغلب در حین پیشروی به سمت جلو، پرش و یا حرکات برشی^۳ اتفاق می‌افتد.^[۶] حرکات برشی یکی از اجزای اساسی اجرای موفقیت-آمیز در فعالیت‌های ورزشی می‌باشد. در حرکت برش جانبی، ورزشکار به منظور تغییر جهت سریع به پهلو قدم برمی‌دارد که تحت عنوان برش اطلاق می‌شود.^[۷] حرکت برش جانبی عموماً برای ارزیابی کینماتیک^۴ و کینتیک^۵ مفصل زانو و مچ پا در زمینه خطر آسیب رباطی به کار می‌رود که اغلب طی این حرکت خصوصاً در طول مرحله برخورد تک‌پا^۶ رخ می‌دهد.^[۸] در ۲۵ درصد ابتدایی مرحله برخورد پا با زمین یک جزء کاهش شتاب وجود دارد که با والگوس^۷ و قفل شدن زانو در وضعیت باز شدن کامل همراه است.^[۹] کاهش سرعت و تغییر مسیر برش انجام تعديلات مناسب در کل بدن ضروری می‌باشد که به وسیله تغییر در سرعت و وضعیت بدن و به طور خاص در موقعیت مرکز جرم نسبت به مرکز فشار، نیروی عکس‌العمل زمین و ضربه نیروی عکس‌العمل زمین انجام می‌گیرد.^[۱۰] این تعديلات الگوی توزیع مؤلفه‌های نیروی عکس‌العمل زمین در انتهای‌ترین بخش زنجیره بین پا و زمین را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان توسعه نیروی عکس‌العمل زمین در طی تماس پاشنه با زمین، نرخ بارگذاری^۸ نامیده می‌شود.^[۱۱] علاوه بر نیروهای عمودی و برشی، گشتاور این نیروها نیز در توسعه شکستگی استرسی^۹ درشت‌نی مؤثر است.^[۱۲] گشتاور آزاد^{۱۰} نیز حول محور عمودی به دلیل وجود اصطکاک بین پا و زمین در طول فاز اتکا به وجود می‌آید که با آسیب‌های استرسی در ارتباط هستند.^[۱۳] افزایش نرخ بارگذاری عمودی

- 8 Rate of Loading
- 9 Stress Fracture
- 10 Free Momentum
- 11 Patello-Femoral Syndrome
- 12 Plantar Fasciitis
- 13 Supination
- 14 Quasi-Experimental Study

- 1 Posture
- 2 Center of Mass
- 3 Shear Movement
- 4 Kinematic
- 5 Kinetic
- 6 Single Foot Strike
- 7 Valgus

گشتاور مفاصل در جهت قدامی-خلفی

$$k2 = \left(\frac{\rho \times m r^2}{wh} + \frac{0.0572 \times M h^2}{wh} \right)$$

گشتاور مفاصل در جهت داخلی-خارجی

در فرمول فوق ضریب ثابت ρ (۰/۰۵۷۲) برای جهت قدامی-خلفی و (۰/۰۵۳۳) در جهت داخلی-خارجی)،
 k گشتاور مفصل، M جرم بدن، h قد فرد، W وزن بدن، X شتاب مرکز جرم بدن، m جرم بالاتنه و r فاصله مرکز جرم بدن تا سر می‌باشد. شتاب مرکز جرم بدن در هر جهت از تقسیم نیروی عکس‌العمل زمین بر جرم بدن به دست می‌آید. برای محاسبه جرم بالاتنه و فاصله مرکز جرم بدن تا سر از ضرایب دمپستر^۸ استفاده شد.^[۳۳] میزان بارگذاری نیروهای عکس‌العمل زمین از محاسبه شیب متوسط نیروی عکس‌العمل زمین در هر سه راستای داخلی-خارجی، قدامی-خلفی و عمودی در نظر گرفته شد. مقادیر گشتاور آزاد نیز از رابطه زیر محاسبه گردید.^[۳۴]

$$FM = M_Z - F_Y (COP_X) + F_X (COP_Y)$$

از نرم‌افزار متلب^۹ و اوریجین پرو^{۱۰} نسخه ۲۰۱۹ جهت پردازش و نمایش داده‌ها استفاده شد. از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ و آزمون شاپیرو-ویلک برای بررسی نرمال بودن و از آزمون t زوجی برای آزمون تفاوت بین نتایج قبل و بعد از اعمال سرما در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده شد. مقادیر اندازه اثر برای هر مقایسه جفتی با استفاده از آمار کوهن^{۱۱} اندازه اثر (D) برابر ۰/۰۵-، ۰/۰۰-، ۰/۰۵-، ۰/۰۵-، ۰/۱- و ۰/۱- به ترتیب کوچک، متوسط و بزرگ در نظر گرفته شد.^[۳۵]

یافته‌ها

میانگین و انحراف معیار اوج نسبی نیروها و نرخ بارگذاری نیروهای عکس‌العمل زمین در جدول شماره ۱ ارائه شده است. نتایج آزمون t زوجی افزایش معنادار ۵ درصدی در متغیر اوج نسبی نیروی داخلی-خارجی را بعد از اعمال مداخله سرمدرمانی در مقایسه با قبل از آن نشان داد ($P=0/042$ ؛ اندازه اثر = ۰/۲۳). بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر پروتکل سرمدرمانی به کار گرفته شده موجب افزایش معنادار ۱۲ درصدی نرخ بارگذاری نیروهای عکس‌العمل زمین در راستای داخلی-خارجی گردیده است ($P=0/046$ ؛ اندازه اثر = ۰/۳). در اوج نسبی و نرخ بارگذاری نیروهای قدامی-خلفی و عمودی نیز اختلاف معناداری قبل و بعد از اعمال سرما یافت نشد.

استفاده از نرم‌افزار جی-پاور^۱ در سطح معناداری ۰/۰۵ و اندازه اثر متوسط ۰/۷۱ و توان آماری ۰/۸، ۱۴ ورزشکار (کشتی‌گیر) حرفه‌ای مرد سالم با میانگین سن ۲۴/۳±۳/۵ سال و وزن ۷۴/۱±۱۹/۲ کیلوگرم به صورت در دسترس انتخاب شدند. تمامی مراحل تست برای همه آزمودنی‌ها تشریح و قبل از شروع تست‌ها، رضایت‌نامه کتبی شرکت در تحقیق توسط آزمودنی‌ها امضا شد. معیار ورود به تحقیق شامل داشتن حداقل پنج سال سابقه فعالیت در رشته ورزشی کشتی و دارا بودن حداقل یک حکم قهرمانی استان تهران و عدم وجود آسیب‌دیدگی و جراحی در اندام تحتانی در ۳ ماه گذشته بود. معیارهای خروج از تحقیق عبارت از اختلاف طول حقیقی پا بیش از یک سانتی‌متر، داشتن وضعیت غیرطبیعی در ساختارهای بدن و زخم باز در اندام تحتانی بود.^[۳۰، ۳۱]

به منظور همسانی شرایط آزمون و پیشگیری از تغییر احتمالی الگوی برش آزمودنی در اثر تمرکز روی سرعت انجام مانور از آزمودنی‌ها خواسته شد تا با سرعت انتخابی خود مسیر را طی کنند و در زمان عبور به صفحه نیرو نگاه نکنند. آزمودنی چند بار مسیر را به طور آزمایشی طی و سپس مانور برش جانبی را سه بار با پای غالب تکرار کرد. اگر فرد طی آزمون به صفحه نیرو نگاه می‌کرد و یا پای خود را به طور کامل بر روی صفحه نیرو قرار نمی‌داد، آزمون مجدداً تکرار می‌شد.^[۳۰] پس از انجام آزمون فوق، مچ پای آزمودنی‌ها از دو جانب داخلی و خارجی مچ با فاصله ۳۰ سانتی‌متر به مدت ۵ ثانیه تحت اعمال سرما با استفاده از اسپری سردکننده (محصول کمپانی هگر^۲- ساخت کشور آلمان) قرار گرفت و آزمون دوباره تکرار شد. برای جمع‌آوری داده‌های کینتیکی از دستگاه صفحه نیرو^۳ سه محوره مارک برتک^۴، ۷×۶×۴۰ سانتی‌متر، ساخت کشور آمریکا) با نرخ نمونه‌برداری ۵۰۰ هرتز استفاده شد. داده‌های نیروهای عکس‌العمل زمین با استفاده از فیلتر باترورث^۵ پایین‌گذر درجه چهارم و با فرکانس قطع بهینه حاصل از روش آنالیز باقی‌مانده فیلتر شد.^[۳۱] میانگین سه تکرار انجام گرفته شده به عنوان رکورد فرد در نظر گرفته شد و داده‌های حاصل برحسب وزن آزمودنی‌ها نرمال‌سازی شد. جابه‌جایی مرکز فشار نسبت به مرکز جرم بدن در دو راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی با استفاده از فرمول پاندول معکوس^۶ وینتر^۷ به شکل زیر محاسبه گردید.^[۳۲]

$$COP-COM = -KX$$

$$k1 = \frac{\rho \times M h^2}{wh}$$

7 David A Winter
 8 Dempster
 9 Matlab
 10 Origin-Pro
 11 Cohen

1 G-Power
 2 Hager
 3 Force Plate
 4 Bertec
 5 Butterworth
 6 Inverted Pendulum

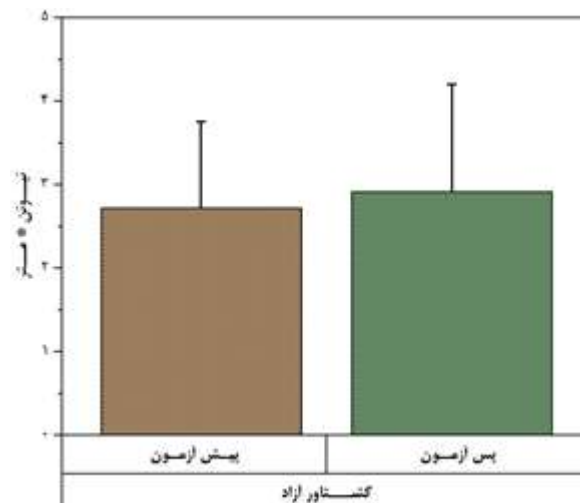
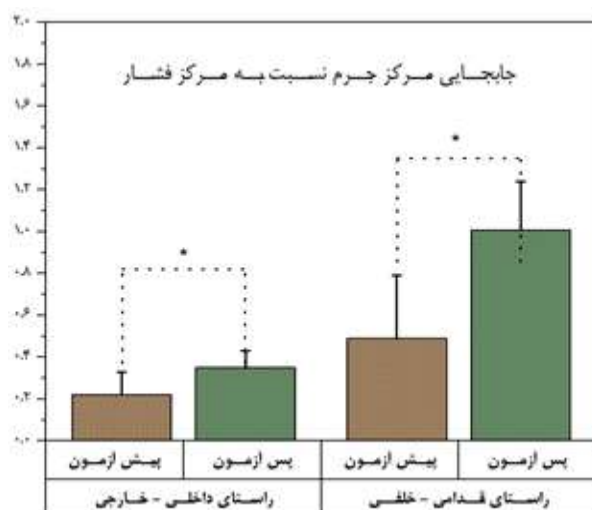
جدول ۱: میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های نیرو و نرخ بارگذاری نیروهای عکس‌العمل زمین حین برش جانبی قبل و بعد از اعمال سرمادرمانی

متغیر	جهت	پیش‌آزمون (بدون مداخله سرمادرمانی)	پس‌آزمون (بعد از مداخله سرمادرمانی)	P-value	اندازه اثر
نیروی عکس‌العمل زمین	داخلی-خارجی	۰/۶±۰/۱۲	۰/۶۳±۰/۱	۰/۰۴۲*	۰/۲۳
	قدامی-خلفی	۰/۲۴۷±۰/۰۸۹	۰/۲۴۵±۰/۰۸	۰/۸۸۷	۰/۰۰
	عمودی	۱/۲۹±۰/۱۶۷	۱/۳۰±۰/۱۶۴	۰/۵۸۰	۰/۰۶
نرخ بارگذاری نیروهای عکس‌العمل زمین	داخلی-خارجی	۲/۳۱±۰/۸۹	۲/۵۸±۰/۹	۰/۰۴۶*	۰/۳
	قدامی-خلفی	۱/۳۳±۰/۰۶۸	۱/۴۷±۰/۰۷۸	۰/۲۵۸	۰/۱۹
	عمودی	۱/۳۴±۰/۰۷	۱/۵±۰/۸۱	۰/۲۳۵	۰/۲۱

*معناداری در سطح ۰/۰۵

نسبت به قبل از اعمال سرما از خود نشان دادند (P=۰/۰۱)؛ اندازه اثر=۰/۵۴، افزایش ۵۹٪ و P=۰/۰۰۴؛ اندازه اثر=۰/۵۴، افزایش ۱۰۴٪). تغییرات متغیر گشتاور آزاد نیز با وجود افزایش ۷ درصدی معنادار نبود.

نمودار شماره ۱ نیز میانگین و انحراف معیار متغیر گشتاور آزاد حول محور عمودی و عبوری از مرکز فشار و جابه‌جایی مرکز جرم به مرکز فشار در دو راستای داخلی-خارجی و قدامی-خلفی را نشان می‌دهد که به-ترتیب هر دو مؤلفه جابه‌جایی مرکز جرم نسبت به مرکز فشار اختلاف معناداری را بعد از اعمال پروتکل سرما



*معناداری در سطح ۰/۰۵

نمودار ۱. میانگین و انحراف معیار مؤلفه‌های گشتاور آزاد و جابه‌جایی مرکز جرم نسبت به مرکز فشار حین برش جانبی قبل و بعد از اعمال سرمادرمانی

نتایج پژوهش حاضر بیانگر افزایش ۵ درصدی و معنادار در مؤلفه داخلی-خارجی نیروی عکس‌العمل زمین بعد از اعمال سرما بود. در حرکت برش جانبی بارگذاری بیشتر به سمت داخل و جلوی پا می‌باشد. هنگامی که یک استرس کششی به طور سریع بر روی لیگامان‌ها اعمال شود، موجب آسیب و پارگی این بافت‌ها می‌گردد.^[۳۶] در حرکت به سمت داخل و در اولین تماس کف پا با زمین، یک اهرم بزرگ نسبت به محور مفصل ساب تالار ایجاد می‌کند که یک گشتاور سوپینیشن بزرگ ایجاد می‌کند و باعث حرکت بیش از اندازه پا به سمت

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر آنی سرمادرمانی بر فاکتورهای کینتیکی مرتبط با آسیب حین برش جانبی ورزشکاران بود. آسیب‌دیدگی بخش جدایی‌ناپذیری ورزش حرفه‌ای بوده و سرمادرمانی به عنوان یک روش درمانی متداول جهت کاهش درد و التهاب ناشی از آسیب استفاده می‌گردد؛ با وجود مزایای به‌کارگیری این روش درمانی، سرما می‌تواند فرد را در معرض آسیب‌های بالقوه ناشی از اضافه بار^۱ قرار دهد.

1 Overload

مرتبط است.^[۱۵] مطالعه‌ای که تأثیر سرمادرمانی بر گشتاور آزاد را مد نظر قرار داده باشد، یافت نشد تا با تحقیق حاضر مقایسه شود؛ لذا فقط به برداشت محقق اکتفا می‌شود. با توجه به افزایش هم‌زمان تغییرات مرکز جرم نسبت به مرکز فشار در دو راستای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی، این دو اثر فزاینده و کاهنده یکدیگر را خنثی کرده که با وجود افزایش ۷ درصدی آن، میزان گشتاور عمودی به لحاظ آماری دست‌نخورده باقی ماند.

از محدودیت‌های تحقیق حاضر می‌توان به انجام پژوهش حاضر تنها با یک پروتکل اعمال سرما یاد کرد. از آنجا که در ادبیات تحقیق پروتکل‌های سرمادرمانی بسیار متفاوتی صورت گرفته است و با توجه به اینکه تغییرات حاصل از روش اعمال-شده معنادار اما اندازه اثر آن در حد ضعیف است، لذا بر اساس این اندازه اثر نمی‌توان به‌طور قطع یقین آن را به سایر روش‌های سرمادرمانی عمومیت داد؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد برای نتایج دقیق‌تر و با اندازه اثر قوی‌تر تحقیقات بیشتری در این حوزه صورت گیرد.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های پژوهش پایلوت حاضر پروتکل سرما اعمال‌شده در مطالعه حاضر موجب تغییرات نیروهای عکس‌العمل و بارگذاری نیرو در جهت داخلی-خارجی و ثبات دینامیکی فرد شد. این افزایش میزان در فاکتورهای کینتیکی می‌تواند فرد را در معرض خطر آسیب‌های بالقوه‌ای قرار دهد؛ لذا توصیه می‌شود محققان با در نظر گرفتن حجم نمونه بالاتر و تکرار پروتکل اعمالی تحقیق حاضر، احتیاط-های لازم را جهت استفاده از سرمادرمانی حین مداوای آسیب‌های مچ پای ورزشکاران ارائه دهند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله حاضر از تمامی شرکت‌کنندگان حاضر در این پژوهش که صمیمانه ما را در انجام تحقیق حاضر یاری نمودند، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

داخل و در نتیجه بارگذاری بیش‌ازحد و صدمه به لیگامنت‌های خارجی مچ پا می‌شود.^[۳۷]

یافته‌های تحقیق حاضر نشان داد که نرخ بارگذاری نیروی عکس‌العمل زمین در راستای داخلی-خارجی نیز ۱۲ درصد و به طور معناداری بعد از اعمال سرما افزایش یافت. با توجه به اینکه بافت‌های بدن از نوع ویسکوالاستیک^۱ هستند، لذا پاسخ بارگذاری آن‌ها به زمان وابسته است و در بارگذاری پایین‌تر کمتر مستعد آسیب هستند^[۳۸]؛ به عبارت دیگر، در میزان بارگذاری پایین‌تر نیروی معینی طی مدت‌زمان طولانی‌تری روی بافت می‌شود و احتمال آسیب بافت کاهش می‌یابد.^[۳۹] به نظر می‌رسد با توجه به افزایش میزان بارگذاری در جهت داخلی-خارجی بعد از اعمال سرما موجب افزایش ریسک آسیب‌های ناشی از گشتاور سوپینیشنی و در نتیجه لیگامنت‌های خارجی مچ پا می‌گردد.^[۲۰] با توجه به اندازه اثر پایین این عامل می‌بایست تفسیر این مداخله همراه با همپوشانی با سایر عوامل مؤثر بر ریسک آسیب مانند عوامل فیزیولوژیکی چون خستگی نیز در نظر گرفته شود.

بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر، افزون بر ۵۰ درصد به میزان جابه‌جایی مرکز فشار به مرکز جرم در راستای داخلی-خارجی و ۱۰۴ درصد در جهت قدامی-خلفی پس از اعمال سرما نسبت به قبل افزایش یافت. بر اساس نظریه پاندول معکوس وینتر تغییرات مرکز فشار به عنوان نوسان‌گر فعال بدن نسبت به مرکز جرم به عنوان یک فاکتور غیرفعال معرفی می‌گردد. بر این اساس نوسانات مرکز نوسانات مرکز فشار نشان‌دهنده یک سطح عملکرد کنترل پاسچر مربوط به ثبات جهت‌گیری‌های قسمت‌های مختلف بدن می‌باشد؛ لذا افزایش این میزان تغییرات با کاهش میزان کنترل پاسچر مرتبط است.^[۴۱، ۴۰، ۵] با توجه به نتایج می‌توان استنتاج کرد که این افزایش جابه‌جایی مرکز جرم نسبت به مرکز فشار موجب برهم خوردن تعادل و کاهش میزان ثبات دینامیکی فرد و افزایش میزان ریسک آسیب می‌شود. نتایج تحقیق حاضر با مطالعه فولام^۲ و همکاران (۲۰۱۹) و چانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۷) که کاهش میزان ثبات دینامیکی و تعادل را بعد از اعمال سرما گزارش کردند، همسو بود.^[۴۲، ۲۵]

نتایج آزمون آماری متغیر گشتاور آزاد معنادار نبود. مقادیر گشتاور آزاد با بارهای وارد بر بدن در طی حرکات انتقالی

منابع

1. Shirvani Pour S, Sadeghi H, Mimar R. Comparison between changes in the center of pressure among the elite male karatekas with or without genu varum during forward and backward walking tasks. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2016;5:41-9. [In Persian].
2. Naserpour H, Sadeghi H. The Effect of Short-Term Use of Cold Spray on Strength and Ankle Joint Position Sense in Professional Wrestlers. *Journal of Sport Biomechanics*. 2017;3:43-50. [In Persian].
3. Lee HM, Cheng CK, Liao JJ. Correlation between proprioception, muscle strength, knee laxity, and dynamic standing balance in patients with chronic anterior cruciate ligament deficiency. *Knee*. 2009;16:387-91.
4. Beynon BD, Renström PA, Alosa DM, Baumhauer JF, Vacek PM. Ankle ligament injury risk factors: A prospective study of

- college athletes. *Journal of Orthopaedic Research*. 2001;19:213–20.
5. Winter DA, Patla AE, Ishac M, Gage WH. Motor mechanisms of balance during quiet standing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2003;13:49–56.
 6. Lynch SA, Renström PAFH. Treatment of acute lateral ankle ligament rupture in the athlete: Conservative versus surgical treatment. *Sports Medicine*. 1999;27:61–71.
 7. Pollard CD, Heiderscheit BC, Van Emmerik REA, Hamill J. Gender differences in lower extremity coupling variability during an unanticipated cutting maneuver. *Journal of Applied Biomechanics*. 2005;21:143–52.
 8. Queen RM, Haynes BB, Hardaker WM, Garrett WE. Forefoot loading during 3 athletic tasks. *American Journal of Sports Medicine*. 2007;35:630–6.
 9. Besier TF, Lloyd DG, Cochrane JL, Ackland TR. External loading of the knee joint during running and cutting maneuvers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001;33:1168–75.
 10. Chappell JD, Yu B, Kirkendall DT, Garrett WE. A comparison of knee kinetics between male and female recreational athletes in stop-jump tasks. *American Journal of Sports Medicine*. 2002;30:261–7.
 11. Jafarnezhadgero A, Sorkheh E. Effects of femoral external rotational and abductor taping on frequency content of ground reaction forces during running. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2018;0:47–57. [In Persian].
 12. Spector FC, Karlin JM, DeValentine S, Scurran BL, Silvani SL. Spiral fracture of the distal tibia: An unusual stress fracture. *Journal of Foot Surgery*. 1983;22:358–61.
 13. Holden JP, Cavanagh PR. The free moment of ground reaction in distance running and its changes with pronation. *Journal of Biomechanics*. 1991;24.
 14. Lisee C, Birchmeier T, Yan A, Geers B, O'Hagan K, Davis C, et al. The Relationship Between Vertical Ground Reaction Force, Loading Rate, and Sound Characteristics During a Single-Leg Landing. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2019;:1–6.
 15. Milner CE, Ferber R, Pollard CD, Hamill J, Davis IS. Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2006;38:323–8.
 16. Davis IS, Bowser BJ, Hamill J. Vertical Impact Loading in Runners with a History of Patellofemoral Pain Syndrome. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2010;42:682.
 17. Pohl MB, Hamill J, Davis IS. Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2009;19:372–6.
 18. Boden BP, Dean CS, Feagin JA, Garrett WE. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics*. 2000;23:573–8.
 19. Hrysomallis C, Goodman C. A Review of Resistance Exercise and Posture Realignment. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2001;15:385–90.
 20. Leanderson J, Eriksson E, Nilsson C, Wykman A. Proprioception in classical ballet dancers: A prospective study of the influence of an ankle sprain on proprioception in the ankle joint. *American Journal of Sports Medicine*. 1996;24:370–4.
 21. Hopper D, Whittington D, Davies J. Does ice immersion influence ankle joint position sense? *Physiotherapy research international: the journal for researchers and clinicians in physical therapy*. 1997;2:223–36.
 22. Algafly AA, George KP. The effect of cryotherapy on nerve conduction velocity, pain threshold and pain tolerance. *British Journal of Sports Medicine*. 2007;41:365–9.
 23. Herrera E, Sandoval MC, Camargo DM, Salvini TF. Motor and Sensory Nerve Conduction Are Affected Differently by Ice Pack, Ice Massage, and Cold Water Immersion. *Physical Therapy*. 2010;90:581–91.
 24. Beyranvand R, Ebrahimipour E, Mirnasouri R. The effect of cold spray cryotherapy method on the shoulder joint position sense of healthy athletes. *International Journal of Biomedicine and Public Health*. 2020;3:1–4.
 25. Chang YW, Wu HW. Effect of cryotherapy on ankle proprioception and balance in subjects with chronic ankle instability. *Isokinetics and Exercise Science*. 2017;25:143–8.
 26. Kalli K, Fousekis K. The effects of cryotherapy on athletes' muscle strength, flexibility, and neuromuscular control: A systematic review of the literature. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2019.
 27. Dibenedetto LM, Wiegand K, Freedman Silvernail J. The Effect of Cold-Water Immersion on Running Mechanics. *International Journal of Exercise Science*. 2019;12:547–55.
 28. Fullam K, Caulfield B, Coughlan G, Delahunt E. The Effect of Cryotherapy Application To the Ankle Joint on Dynamic Postural Stability in an Elite Athletic Population. *British Journal of Sports Medicine*. 2014;48:596.1-596.
 29. Alipour Sarinasirlo M, Siahkoughian M, Jafarnezhadgero A, Rahmanpour AH. Effect of Novel Cryotherapy Method on Frequency Spectrum of Lower Limb Muscles during Running and Walking. *Journal of Advanced Sport Technology*. 2020;4:1–8. [In Persian].
 30. Shirvanipour S, Sadeghi H. The Comparison of Center of Pressure to Center of Mass during Sideward Cutting Manoeuvre among the Male Elites of Karatekas with and without Genu Varum. *Journal of Paramedical Sciences & Rehabilitation*. 2016;5:43–9. [In Persian].
 31. Wells RP, Winter DA. Assessment of Signal and Noise in the Kinematics of Normal Pathological and Sporting Gaits. *Human Locomotion*. 1980;:92–4.
 32. Lafond D, Duarte M, Prince F. Comparison of three methods to estimate the center of

- mass during balance assessment. *Journal of Biomechanics*. 2004;37:1421-6.
33. Dempster WT. the Anthropometry of Body Action. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1955;63:559-85.
34. Almosnino S, Kajaks T, Costigan PA. The free moment in walking and its change with foot rotation angle. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2009;1:19.
35. Cohen J. *Statistical power calculations for the behavioural sciences*. 2Nd Edition. 1988; Laurence E.
36. Hamill J, Knutzen KM, Derrick TR. *Biomechanical basis of human movement: Fourth edition*. Lippincott Williams & Wilkins; 2014.
37. Wright IC, Neptune RR, Van Den Bogert AJ, Nigg BM. The influence of foot positioning on ankle sprains. *Journal of Biomechanics*. 2000;33:513-9.
38. Kulin RM, Jiang F, Vecchio KS. Effects of age and loading rate on equine cortical bone failure. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*. 2011;4:57-75.
39. Brughelli M, Cronin J. Influence of running velocity on vertical, leg and joint stiffness: Modelling and recommendations for future research. *Sports Medicine*. 2008;38:647-57.
40. Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human postural control. *Frontiers in Neuroscience*. 2018;12 MAR:171. 41. Willems TM, Witvrouw E, De Cock A, De Clercq D. Gait-related risk factors for exercise-related lower-leg pain during shod running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007;39:330-9.
41. Fullam K, Caulfield B, Coughlan GF, McNulty W, Campbell D, Delahunt E. The Effect of Cryotherapy Application to the Knee Joint on Dynamic Postural Stability. *Journal of sport rehabilitation*. 2019;1 aop:1-9.