



تأثیر دو شیوه کشش فانکشنال و اکسترافانکشنال مجموعه عضلانی گاستروسولئوس بر متغیرهای منتخب کینماتیکی و کینتیکی مفصل مچ پا حین راه رفتن

فرهاد رضازاده^{۱*}، سید صدرالدین شجاع الدین^۲، اسماعیل ابراهیمی^۳، امیرحسین براتی^۴، فرزاد فرهمند^۵

۱. دانشجوی دکتری حرکات اصلاحی دانشگاه خوارزمی تهران
۲. دانشیار گروه حرکات اصلاحی دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه خوارزمی تهران
۳. استاد گروه فیزیوتراپی دانشکده توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی ایران
۴. دانشیار گروه طب ورزشی دانشکده تربیت بدنی، دانشگاه شهید رجایی تهران
۵. استاد گروه بیومکانیک دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف

دریافت ۱۴ بهمن ۱۳۹۶؛ پذیرش ۲۹ مهر ۱۳۹۷

واژگان کلیدی

کشش عضله گاستروکنمیوس

زاویه دورسی فلکشن مچ پا

آنالیز راه رفتن

چکیده

زمینه و هدف: تمرینات کششی در راستای کاهش اثرات پاتولوژیکی محدودیت دورسی فلکشن مچ پا بر سیستم حرکتی تجویز می‌گردند. مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر برنامه کششی فانکشنال و اکسترافانکشنال بر پارامترهای منتخب کینماتیکی و کینتیکی مچ پا در افراد با محدودیت دورسی فلکشن حین راه رفتن انجام شد.

روش بررسی: ده آزمودنی به روش هدفمند و بر اساس معیارهای ورود و خروج انتخاب و به صورت تصادفی در یکی از گروه‌های تمرینی فانکشنال، اکسترافانکشنال جای گرفتند. پارامترهای مورد نظر به وسیله آنالیز حرکت و صفحه نیرو اندازه‌گیری شد. پس از طبیعی بودن توزیع داده‌ها، از آزمون آماری تی وابسته جهت بررسی تفاوت‌های درون گروهی و از تحلیل کوواریانس به‌منظور بررسی تفاوت‌های بین گروهی در سطح معناداری ۰/۰۵ استفاده گردید.

یافته‌ها: مقایسه درون گروهی نشان داد در گروه فانکشنال میانگین دورسی فلکشن طی مرحله تحمل وزن، زمان فاز استقرار و زمان تماس پاشنه با زمین تا جداسازی پاشنه از زمین افزایش معناداری داشت (p<۰/۰۵) و زمان پرونیشن مچ پا با کاهش همراه بود (p<۰/۰۵). نیروی ضربه‌ای عمودی عکس‌العمل زمین و زمان اوج این نیرو در گروه اکسترافانکشنال با افزایش معناداری همراه بود (p<۰/۰۵). در مقایسه تفاوت‌های بین گروهی زمان فاز استقرار، مرحله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جداسازی پاشنه از زمین، مرحله زمانی پرونیشن و دامنه دورسی فلکشن در گروه فانکشنال در مقایسه با گروه اکسترافانکشنال تفاوت معناداری مشاهده گردید (p<۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: به نظر می‌رسد الگوی گام‌برداری با افزایش هیل استرایک میزان دورسی فلکشن مچ پا و فاصله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جداسازی پاشنه از زمین را بهبود می‌بخشد. بنابراین، در افراد با هدف افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن و فاصله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جداسازی از روی زمین، این الگوی گام‌برداری پیشنهاد می‌شود.

* اطلاعات نویسنده مسئول. تلفن: ۰۲۱ ۸۸۳۲۹۲۲۴

✉ پست الکترونیکی: Rezazade.farhad@gmail.com

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22084/RSR.2019.11438.1254

مقدمه

در پاسخ به تغییر یا افزایش مطالبات عضلانی نظیر اعمال فشار بیش از حد بر عضله حین مراحل آماده‌سازی پیش فصل (آراوجو و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۶۶-۱۷۳)، ضربات مکرر بر سیستم فاشیا (فراتر از حد تحمل فاشیا) در ورزش‌های برخوردی (هونگین، ۲۰۰۴: ۲-۱۲) و اتخاذ پاسچر بد؛ تغییر در سفتی و انعطاف پذیری مجموعه عضلانی گاستروسولئوس بوجود می‌پیوندد که از عوامل بروز محدودیت دامنه حرکتی مفصل مچ پا حین فعالیت‌های روزمره است (یو و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۴۴-۷۵۰). محدودیت دامنه حرکتی دورسی فلکشن اغلب به‌عنوان فاکتوری پیش بین در بروز آسیب‌های اندام تحتانی نظیر استرین عضلانی، التهاب نیام کف پای، آسیب تاندون، شکستگی ناشی از فشار، سندرم خاصره‌ای-درشت نی و سندرم درد کشکی رانی محسوب می‌گردد (لون و همکاران، ۲۰۰۴: ۵۷۶-۵۸۰).

اعتقاد بر این است که محدودیت دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا مفصل تحت قاپی را با اختلال حرکتی روبرو نموده و از رسیدن مفصل مچ پا به کلوزیک پوزیشن^۱ که حین راه رفتن و دویدن لازم است، جلوگیری کرده و باعث تغییر بیومکانیک اندام تحتانی می‌شود و ثبات در ناحیه مچ پا را با مخاطره روبه‌رو می‌نماید (پیچ و همکاران، ۲۰۱۰؛ تبریزی و همکاران، ۲۰۰۰: ۱۱۰۳-۱۱۰۶). از سویی دیگر، با مدنظر قرار دادن تئوری تنوعات هماهنگی که بیانگر وجود درجات آزادی بیومکانیکال چندگانه‌ای بمنظور ایجاد برونداد حرکتی واحد می‌باشد، در افراد با کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس شاید فقدان دورسی فلکشن مچ پا باعث بهره‌گیری سیستم حرکتی از یکی از مجموعه الگوهای حرکتی جایگزین گردد که آن الگوی حرکتی ممکن است با آسیب‌های مختلفی در ارتباط باشد. در حقیقت، تغییرات کنترل حرکتی و ناکارآمدی عملکرد عضلانی (کوتاهی گاستروسولئوس) زمینه‌ساز بسیاری از تعاملات بیومکانیکی است که در توسعه سندرم‌های اختلال حرکتی مؤثر است (سهرمن، ۲۰۱۱؛ یون و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۲۰-۳۲۵).

در تأیید مباحث ارائه‌شده از نقطه نظر بیومکانیکی، ماری و همکاران (۲۰۰۶) معتقدند که محدودیت دورسی فلکشن مچ پا منجر به کاهش میزان دورسی فلکشن در لحظه قبل از بلندشدن پاشنه از روی زمین در طول راه‌رفتن

می‌گردد، که این مسأله باعث کاهش مرحله زمانی بلند شدن پاشنه از روی زمین شده که خود به‌عنوان ریسک فاکتور بروز آسیب در اندام تحتانی مطرح است (به نقل از جانسون و همکاران، ۲۰۰۶: ۹۳-۱۰۰). در حقیقت، کاهش مرحله زمانی بلند شدن پاشنه از زمین منجر به افزایش مرحله زمانی تحمل وزن بر روی پنجه پا شده که حداقل از نظر تئوریکال باعث اعمال استرس بیش از تحمل بافت نرم و بدنبال آن بروز آسیب‌های مزمن قابل پیش‌بینی خواهد بود (کاراس و هوی، ۲۰۰۲: ۸۲-۹۳). همچنین، یون و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی بیان می‌دارند که افراد با محدودیت دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا دچار کاهش گشتاور دورسی فلکشن قبل از بلند شدن پاشنه از روی زمین شده که این امر باعث بروز الگوهای جبرانی به هنگام راه رفتن نظیر افزایش اورژن مچ پا، افزایش اکستنشن زانو، وارد شدن فشار بیش از حد روی مفاصل و بلند شدن زود هنگام پاشنه از روی زمین می‌گردد (یون و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۲۰-۳۲۵).

از سوی دیگر، به‌خوبی مستند است که ورزشکاران دوندۀ بدلیل ماهیت برنامه‌های تمرینی مستعد گام‌برداری بر روی پنجه پا هستند، که این مسأله نه تنها به‌عنوان یکی از عوامل کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس مطرح بوده، بلکه تغییر در نیروهای عمودی عکس‌العمل زمین ناشی از این کوتاهی از علل ازدیاد بار مکانیکال بر روی بافت نرم و وقوع مجموعه‌ای از الگوهای مکانیکال جبرانی در بخش‌های مختلف سیستم حرکتی ذکر شده‌اند (مرسر و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۹-۳۴؛ وو و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۵۶-۵۶۳). بنابراین، با روشن شدن اثرات منفی کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس و در راستای کاهش اثرات پاتولوژیکی بر روی سیستم حرکتی تمرینات کششی در اولویت اول پژوهش‌های اخیر بوده و به‌صورت رایجی توسط درمانگران تجویز می‌گردند (مکلین و همکاران، ۲۰۱۲: ۷-۱۰).

در ارتباط با مداخلات تمرینی، چندین پژوهش اثرات مثبت برنامه کششی مجموعه گاستروسولئوس بر دامنه حرکتی مفصل مچ پا را گزارش نموده‌اند. در این ارتباط، کورنوال و همکاران (۱۹۹۹: ۲۷۲-۲۷۷) و مکلین و همکاران (۲۰۱۲: ۷-۱۰) بیان داشتند که برنامه‌های تمرینی کششی فعال منجر به افزایش دامنه حرکتی دورسی

با الگوهای اکسترافانکشنال در پروتکل‌های کششی اثربخشی بیشتری را ایفا می‌نمایند.

در جمع‌بندی، فرض اولیه ما بر این است که اعمال هر دو برنامه کششی منجر به تغییرات دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا طی فاز استقرار راه رفتن، مرحله زمانی تماس پاشنه پا با زمین تا جداشدن پاشنه از روی زمین، مرحله زمانی پرونیشن مچ پا و مقادیر ماکزیمم پرونیشن مچ پا طی فاز استقرار و همچنین تغییرات نیروهای عمودی عکس‌العمل زمین در ورزشکاران با کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس خواهد گردید. همچنین، فرض دوم پژوهش حاضر بر این است که اثربخشی برنامه تمرینی کشش فانکشنال در مقایسه با کشش اکسترافانکشنال بر روی متغیرهای منتخب کینماتیکی (میزان دورسی فلکشن مچ پا طی مرحله تحمل وزن فاز استقرار، کل زمان فاز استقرار، مدت زمان برخورد پاشنه پا با زمین تا جدا شدن پاشنه پا از روی زمین، مقادیر ماکزیمم پرونیشن مچ پا، زمان پرونیشن مچ پا) و کینتیکی (گشتاور پلانتر فلکسوری مچ پا در فاز استقرار، مقادیر نیروی ضربه‌ای و زمان به اوج رسیدن این نیروی ضربه‌ای) مفصل مچ پا در ورزشکاران با محدودیت دورسی فلکشن مچ پا بیشتر می‌باشد.

روش بررسی

این مطالعه نیمه تجربی و دو گروه با طرح پیش و پس آزمون بر روی ۲۰ ورزشکار مرد حرفه‌ای ۲۰-۳۵ ساله دارای کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس (گروه تمرینی فانکشنال ۱۰ ورزشکار و گروه تمرینی اکسترافانکشنال ۱۰ ورزشکار) در آزمایشگاه جواد محققیان دانشگاه صنعتی شریف، از اول دی ماه تا آخر اسفند سال ۱۳۹۴ انجام گرفت.

افراد مورد مطالعه از جامعه در دسترس، به روش غیرتصادفی با استفاده از یافته‌های حاصل از یک مطالعه مقدماتی برای تعیین حجم نمونه بر اساس واریانس پارامتر مورد مطالعه روی ۵ نفر و به صورت هدفمند گزینش شدند. گروه برنامه تمرینی فانکشنال در برگرفته ده ورزشکار مرد دارای کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس (با دامنه دورسی فلکشن فعال مچ پا در وضعیت اکستنشن زانو با میانگین $7/7 \pm 9/4$ درجه‌ای و دامنه حرکتی دورسی فلکشن فعال مچ پا در وضعیت فلکشن زانو با میانگین $8/4 \pm 6/9$

فلکشن مچ پا و افزایش زمان جداشدگی پا از روی زمین می‌گردد. در مقابل جانسون و همکاران (۲۰۰۹: ۵۲۱). تفاوت معناداری را بین فاصله زمانی تماس پاشنه پا با زمین تا جداشدگی پا از روی زمین در گروه تمرینات کششی پاسیو مشاهده نکردند. در نهایت، با نگاهی موشکافانه‌تر می‌توان دریافت که در اکثر تحقیقات صورت گرفته بجز استفاده از برنامه‌های تمرینی کششی سنتی (اکسترافانکشنال)، تنها به اندازه‌گیری دامنه حرکتی مفصل مچ پا یا دیگر مفاصل با ابزارهایی نظیر گونیامتر بسنده شده و عملکرد مفصل مچ پا حین الگوی حرکتی عملکردی (راه رفتن) نادیده گرفته شده است (گریو و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۵۳-۴۶۱). اما نکته حائز اهمیت تضاد در معناداری اثرات برنامه‌های کششی در تحقیقات پیشین است (گاجوسیک و همکاران، ۲۰۰۷: ۴۴۹-۴۵۴؛ گويسارد و همکاران، ۲۰۰۴: ۲۴۸-۲۵۵؛ یوداس و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۰۸-۴۱۷) که دلیل این امر در نوع تکنیک برنامه کششی و ابزار ارزیابی نهفته است. بدلیل اینکه ارزیابی دینامیک^۱ اهمیت بسزایی در تشخیص و پیشگیری و درمان سندرم‌های سیستم حرکتی ایفا نموده و همچنین راه رفتن^۲ از مهارت‌های عملکردی در تحرک انسان^۳ است که نیازمند تعاملات پیچیده و هماهنگ اکثر مفاصل بدن می‌باشد (نپتون و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۳۸۷-۱۳۹۸)؛ لذا، ارزیابی اختلالات ناشی از کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس به هنگام چرخه راه رفتن اهمیت بسزایی خواهد داشت. به عبارت دقیق‌تر، شاید استفاده از چرخه راه رفتن به منظور ارزیابی اکچر (پاسچر در حال حرکت) و همچنین اثربخشی برنامه کششی ابزار مناسب‌تری باشد (نپتون و همکاران، ۲۰۰۱: ۱۳۸۷-۱۳۹۸؛ لنهاوت و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۹۶۹-۲۹۷۴).

نوع تکنیک کششی از عوامل مؤثر در تعیین اثربخشی برنامه‌های کششی است (لدرمن، ۲۰۱۳). به نظر می‌رسد علی‌رغم استفاده از تکنیک‌های کششی متنوع در افزایش کشش‌پذیری گاستروسولئوس، چالش‌های فانکشنال بدلیل ماهیت خود که می‌توانند در هر زمان و مکانی بدون نیاز به ابزار خاص و اختصاص زمان معین اجرا گردند، در مقایسه

۱. توضیح محقق: منظور ارزیابی پاسچر در حال حرکت می‌باشد.

2. Ambulation
3. Human Locomotion

درجه‌ای) با میانگین سن $25/2 \pm 1/2$ ، قد $179/9 \pm 4/1$ سانتی‌متر و وزن $76/6 \pm 4/7$ کیلوگرم و حداقل سابقه پنج سال ورزش حرفه‌ای بودند. همچنین بمنظور تشکیل گروه برنامه‌تمرینی اکسترانکشنال ده ورزشکار مرد دارای کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس (با دامنه دورسی فلکشن فعال مچ پا در وضعیت اکستنشن زانو با میانگین $7/5 \pm 1/8$ درجه ای و دامنه حرکتی دورسی فلکشن فعال مچ پا در وضعیت فلکشن زانو با میانگین $8/2 \pm 9/9$ درجه‌ای) با میانگین سن $25/9 \pm 1/4$ ، قد $180/1 \pm 2/5$ سانتی‌متر و وزن $75/7 \pm 4/3$ کیلوگرم انتخاب شدند؛ که بر اساس هم‌تاسازی و تطابق، مطابق معیارهای قد، وزن، سن، رشته ورزشی، میزان فعالیت حرفه‌ای ورزش و غالب بودن اندام تحتانی راست یا چپ انتخاب شدند.

معیارهای ورود به مطالعه برای ورزشکاران دارای محدودیت دورسی فلکشن مچ پا عبارت از وجود کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس (دامنه دورسی فلکشن کمتر از ۱۰ درجه) (یو و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۴۴-۷۵۰؛ یون و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۲۰-۳۲۵)، سابقه فعالیت بیش از پنج سال در ورزش‌های با الگوهای حرکتی پلايومتریک (دو و میدانی و والیبال) و بدون وجود هرگونه آسیب عضلانی بود. معیارهای حذف از مطالعه شامل سابقه تروما یا جراحی مچ پا، پاتولوژی استخوانی، اختلالات نورولوژیکی، وجود هرگونه بیماری سیستمیک فعال نظیر دیابت، سرطان، روماتوئید آرتریت، بیماری‌های التهابی، وجود هرگونه ناهنجاری‌های وضعیتی مؤثر بر روند تحقیق و دریافت مداخلات فیزیوتراپی مرتبط با نقاط ماشه‌ای مجموعه عضلانی گاستروسولئوس در سه ماه اخیر قبل از شروع مطالعه بود (یو و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۴۴-۷۵۰).

پس از اخذ موافقت آگاهانه از ورزشکاران شرکت کننده، معاینه تکمیلی توسط همکار پزشک انجام گرفته و ورزشکاران در جلسه‌ای به منظور آشنایی با روش انجام کار شرکت نمودند. سپس فرم کتبی اطلاعات تحقیق در اختیار آنها قرار گرفت و پرسشنامه‌ای حاوی اطلاعات دموگرافیک افراد شامل قد، وزن، سن توسط آزمونگر تکمیل گردید.

به منظور انتخاب نمونه‌های پژوهش حاضر و با مدنظر قرار دادن ملاک‌های ورود و خروج، در اولین جلسه حضور ورزشکاران از مقیاس عینی و به‌وسیله گونیامتر جهت ارزیابی دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا استفاده شد.

به‌منظور تعیین دامنه حرکتی دورسی فلکشن، ورزشکار بر روی تخت به‌صورت دمر با زانوی فلکشنی (اندازه‌گیری کوتاهی عضله سولئوس) و با زانوی اکستنشن یافته (اندازه‌گیری کوتاهی عضله گاستروکنمیوس) قرار می‌گرفت (گریو و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۵۳-۴۶۱؛ گریو و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۱۹-۵۲۵). پایه گونیامتر دقیقاً بر روی مرکز قوزک خارجی قرار داده شده و یکی از بازوان به‌موازات نازک نئی و بازوی دیگر به‌موازات استخوان متاتارس پنجم قرار می‌گرفت (گریو و همکاران، ۲۰۱۳: ۴۵۳-۴۶۱؛ جانسون و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۲). پروسه اندازه‌گیری برای هر ورزشکار سه بار انجام گرفته و نهایتاً میانگین اندازه‌گیری‌ها به‌عنوان معیار سنجش در نظر گرفته شد. در واقع دلیل اینکه در طول راه رفتن و در فاز استقرار راه رفتن، استخوان درشت نئی به دورسی فلکشن ده درجه‌ای نیاز داشته تا ساق پا به سمت جلو حرکت نموده و اجازه پیشروی بدن به جلو فراهم گردد، دامنه حرکتی دورسی فلکشن ده درجه‌ای به‌عنوان معیار به منظور انتخاب گروه ورزشکاران سالم و بیمار لحاظ گردید (یو و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۴۴-۷۵۰؛ یون و همکاران، ۲۰۱۴: ۳۲۰-۳۲۵).

پس از انتخاب نمونه‌ها، گروه‌های مطالعه (گروه تمرینی فانکشنال و اکسترانکشنال) به منظور ارزیابی‌های پیش‌آزمون، به آزمایشگاه دعوت شدند. جهت ارزیابی متغیرهای کینماتیکی طی راه رفتن در هر سه صفحه حرکتی از دستگاه آنالیز حرکتی مجهز به شش دوربین با مدل وایکون ام ایکس فورتی اس^۱ و با فرکانس ۱۲۰ هرتز بهره گرفته شد. جهت تعیین متغیرهای نیروی عمودی عکس‌العمل زمین و تغییرات مرکز فشار کف پا طی راه رفتن از صفحه نیروی مدل کیستلر ساخت کشور سوئیس با ابعاد 30×50 و با فرکانس نمونه‌برداری ۱۲۰۰ هرتز استفاده گردید. نیروی عکس‌العمل زمین و موقعیت مارکرها با استفاده از مدل دینامیک وایکون پلاگ این گیت ورک استیشن نسخه ۲۴٫۶ پردازش و متغیرهای کینماتیکی و کینماتیکی مفصل مچ پا شامل زاویه (درجه) و گشتاور (نیوتن متر) محاسبه گردید. گشتاور مفصل نسبت به جرم بدن نرمال و بر اساس نیوتن متر بر کیلوگرم بیان شده است. پس از جمع‌آوری اطلاعات، ابتدا کلیه داده‌های

1. Vicon MX40S
2. Plug-in-Gait-Workstation 4.6

استفاده از نمودار مؤلفه نیروی عمودی عکس‌العمل زمین تعیین شد. لازم به ذکر است که قبل از ثبت چرخه راه رفتن، به منظور عادت نمودن آزمودنی به محیط تست‌گیری، ورزشکار چندین دقیقه گام‌برداری بر روی مسیر شش متری که صفحه نیرو در آن تعبیه شده بود را تمرین می‌نمود تا بر الگوی گام‌برداری مناسب مسلط گردد. پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی منتخب در پژوهش حاضر متشکل از زاویه دورسی فلکشن مچ پا در وضعیت عدم تحمل وزن با استفاده از گونیامتر، میزان دورسی فلکشن مچ پا طی مرحله تحمل وزن فاز استقرار، کل زمان فاز استقرار، مدت زمان برخورد پاشنه پا با زمین تا جدا شدن پاشنه پا از روی زمین، مقادیر ماکزیمم پرونیشن مچ پا، زمان مرحله پرونیشن مچ پا، گشتاور پلانتر فلکسوری مچ پا در مرحله انتهایی فاز استقرار، مقادیر نیروی ضربه‌ای و زمان به اوج رسیدن این نیروی ضربه‌ای نسبت به درصدی از فاز استقرار می‌باشند.

به منظور محاسبه گشتاور که به‌عنوان حاصلضرب نیرو در بازوی گشتاور حول نقطه چرخش یا نقطه اتکا است، از معادله‌های ریاضیاتی تحت عنوان مدل اتصال اندام تحتانی^۱ با کمک قوانین نیوتن و روش دینامیک معکوس استفاده گردید. در مدل ارتباط سگمان، بخش‌های اندام تحتانی به صورت بخش‌های جدا از یکدیگر بررسی شده و هر بخش به‌طور جداگانه‌ای مانند یک جسم سخت^۲ در نظر گرفته می‌شود. یک FBD^۳ برای هر یک از این بخش‌ها ترسیم شده و این ترسیم از پا شروع شد. در نهایت با استفاده از معادلات ریاضی گشتاور مفصل محاسبه گردید. به منظور محاسبه گشتاور پلانتر فلکسوری مچ پا، ابتدا گشتاور مفصل مچ پا در صفحه ساجیتال محاسبه گردید و سپس بر طبق قاعده ISB^۴ (گشتاور پلانتر فلکشنی منفی) و بر اساس سری زمانی گشتاور- زمان میانگین گشتاور دورسی فلکشن محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری میانگین دورسی فلکشن مچ پا، ابتدا زاویه مچ پا در صفحه ساجیتال حین راه رفتن محاسبه گردید و سپس سری زمانی زاویه- زمان به صد درصد نرمالیزه گردید و در ادامه شصت درصد اولیه این سری زمانی نرمالیزه شده، به‌عنوان فاز ایستایی در نظر

کینماتیکی و کینتیکی مفاصل زانو در افراد تحت بررسی اولیه قرار گرفتند تا اطلاعاتی به غلط وارد نشده باشد. در پژوهش حاضر از فیلتر باترورث برای کاهش نویزهای موجود در داده‌های کینتیک و کینماتیک استفاده شد. ویژگی‌های مورد نیاز برای طراحی فیلتر باترورث عبارتند از مرتبه و فرکانس برش. برای به‌دست آوردن فرکانس برش فیلتر مورد نظر در هر یک از داده‌های کینتیک و کینماتیک از روش تحلیل باقی مانده استفاده شد که فرکانس برش داده‌های کینتیک پانزده و داده‌های کینماتیکی هفت به‌دست آمد.

تعداد هفت عدد مارکر با قطر ۹ میلیمتری به منظور شناسایی مرکز مفاصل و محور هر سگمنت استفاده شده و نحوه جاگذاری این مارکرها بر روی استخوان‌ها بر اساس روش پیشنهادی مدل وایکون در ناحیه پا یک مارکر بر روی سر استخوان متاتارس انگشت بزرگ، یک مارکر بر روی قسمت خارجی پا بر روی پایه انگشت کوچک، یک مارکر بر روی قسمت خلفی پا بر روی پاشنه و یک مارکر بر روی برجستگی استخوانی بر روی قوزک خارجی مچ پا قرار داده شد. در ناحیه زانو یکی از مارکرها بر روی بخش خارجی ساق پا، یکی از مارکرها بر روی بخش خارجی مفصل زانو (بر روی اپی کندیل خارجی ران) و نهایتاً مارکری دیگر بر بخش خارجی ران دقیقاً زیر نقطه‌ای که دست از روی آن تاب می‌خورد نصب گردید (یو و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۴۴-۷۵۰؛ ماکروم و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۴۴).

کالیبراسیون دوربین‌ها و صفحه نیرو قبل از شروع اندازه‌گیری پارامترهای کینتیکی و کینماتیکی برای هر ورزشکار به‌صورت جداگانه توسط متخصص دستگاه آنالیز حرکت انجام می‌گرفت. همچنین به منظور ثبت متغیرهای کینتیکی و کینماتیکی، آزمودنی‌ها مسیر شش متری را با پای برهنه و سرعت راه رفتن خود انتخابی به شکلی طی می‌کردند که پای غالب آزمودنی بر روی صفحه نیرو که در فاصله سه متری مسیر راه رفتن تعبیه شده بود قرار می‌گرفت. لازم به ذکر است که از هر آزمودنی در هر یک از وضعیت‌ها سه کوشش موفق به ازای هر یک از متغیرها ثبت می‌شد و میانگین این کوشش‌ها به‌عنوان داده مدنظر پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فاز استقرار پای مبتلا از لحظه برخورد پاشنه پا به صفحه نیرو تا جدا شدن پنجه همان پا از صفحه نیرو با

1. link-Segment Model
2. Rigid Body
3. Free-Body-Diagram
4. International Society of Biomechanics

نشسته و ایستاده) دو وضعیت داشته، زانو همراه اکستنشن (کشش گاستروکمیوس) و زانو همراه فلکشن (کشش سولئوس). لازم به ذکر است که هر یک از حرکات دارای دو تکرار بوده و انتخاب تمرین‌ها در هر جلسه به صورت تصادفی و حرکات به صورت کشش آرام^۱ و برای هر دو اندام انجام گرفتند. در مجموع طول هر جلسه تمرینی ۱۲ دقیقه به طول می‌انجامد.

برنامه تمرینی گروه مداخله‌ای کشش فانکشنال (الگوهای حرکتی که شبیه به فعالیت‌های عادی روزانه فرد بوده که به عبارت دقیق‌تر چالش‌های فانکشنال نامیده می‌شوند و در قالب راهنمایی ساده جهت استفاده در فعالیت‌های روزانه توسط درمانگران استفاده می‌گردد) در برگزیده یک الگوی حرکتی بود. در حقیقت، بر اساس ماهیت برنامه‌های کششی عملکردی، الگوی تمرینی در قالب راهنمایی جهت کشش مجموعه عضلانی گاستروسولئوس صورت گرفت. بدین نحو که ورزشکار راهنمایی می‌شد حین راه رفتن در طول فعالیت‌های روزانه، طول گام خود را به نحوی افزایش دهد تا ضربه پاشنه به زمین در فاز ابتدایی ایستادن به بهترین وجه ممکن و همراه با اکستنشن زانو رخ دهد (نورکین و همکاران، ۲۰۰۹؛ لوپس و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۸۱-۱۸۵). لازم به ذکر می‌باشد که افراد حاضر در گروه کنترل نیز بدون اجرای برنامه کششی فعالیت‌های روزمره خود را ادامه می‌دادند.

در نهایت، پس از اتمام دوره زمانی برنامه مداخله‌ای، آزمودنی‌های شرکت کننده در مطالعه برای دومین بار حین چرخه راه رفتن، تحت بررسی دستگاه آنالیز حرکتی و صفحه نیرو قرار گرفتند تا اثرات سازگاری ناشی از برنامه‌های مداخله‌ای بر روی پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی مفاصل مچ پا و زانو حین راه رفتن مورد بررسی قرار گیرند.

برای توصیف متغیرها از آمار توصیفی و برای تجزیه و تحلیل یافته‌ها از آمار استنباطی استفاده شد. داده‌ها بوسیله نرم‌افزار اس.پی.اس.اس نسخه ۱۸ تجزیه و تحلیل شدند. طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد و یکسانی واریانس‌های خطای بین گروه‌ها با آزمون لون مورد بررسی قرار گرفت. سپس به منظور تعیین اثربخشی شیوه‌های تمرینی فانکشنال و اکسترافانکشنال از تحلیل

گرفته شد. نهایتاً بر طبق قاعده ISB زوایای مثبت در فاز مذکور زوایای دورسی فلکشن در نظر گرفته شد که با میانگین گیری از این زوایا «میانگین دورسی فلکشن مچ پا طی فاز ایستایی» به دست آمد. همچنین، به منظور محاسبه ماکزیمم مقدار پرونیشن مچ پا، ابتدا زاویه مچ پا در صفحه فرونتال حین راه رفتن محاسبه گردید و سپس بر طبق قاعده ISB زوایای منفی که نشان دهنده‌ی زوایای پرونیشن هستند، محاسبه شده و در نهایت ماکزیمم مقدار قدر مطلق این زوایا به عنوان «ماکزیمم مقدار پرونیشن مچ پا» ارائه گردید.

پس از ارزیابی‌های پیش‌آزمون، گروه‌های مداخله‌ای به مدت هشت هفته، به ازای هر هفته سه جلسه و به صورت یک روز در میان و ۴۵ ثانیه به ازای هر الگوی حرکتی برای هر دو اندام و در مجموع ۱۲ دقیقه به ازای هر جلسه تمرینی تحت برنامه‌های کششی فانکشنال و اکسترافانکشنال قرار گرفتند.

برنامه کششی گروه مداخله‌ای اکسترافانکشنال (که الگوهای حرکتی خارج از گستره فعالیت‌ها یا تجربه فرد، کشش غیرعملکردی یا به عبارت دیگر چالش‌های غیرعملکردی نامیده می‌شوند) در برگزیده هر دو الگوی زنجیره باز و بسته بود. هر دو الگوی کششی در وضعیت نشسته (زنجیره باز) و ایستاده (زنجیره بسته) توسط خود فرد صورت می‌گیرد. در اولین الگوی حرکتی، فرد در وضعیت نشسته قرار گرفته به نحوی که زانو در وضعیت اکستنشن (وضعیت اول) و در وضعیت فلکشن (وضعیت دوم) قرار می‌گیرد. جهت کشش پلانتر فلکسورهای مچ پا در وضعیت اکستنشن زانو، فرد با اعمال کشش بر روی باندهای که دور کف پا حلقه می‌گردد، پا را به سوی دورسی فلکشن می‌برد و به مدت ۴۵ ثانیه وضعیت را حفظ می‌نماید. در دومین الگوی حرکتی که خود دارای دو بخش است، روبروی دیوار و با دستان قرار گرفته بر روی دیوار به نحوی وضعیت ایستاده را اتخاذ می‌نماید که پای جلویی از مفصل زانو خم بوده و زانوی پای عقبی دارای اکستنشن (وضعیت اول) و فلکشن (وضعیت دوم) بوده و کف پا کاملاً بر روی زمین قرار گرفته و نوک پا به سمت جلو به موازات پای جلویی قرار می‌گیرد. حال تنه و بازوان را به سمت دیوار خم می‌نماید تا عضلات پلانتر فلکسور پای عقبی تحت کشش قرار گیرند. در حقیقت هر یک از دو الگوی کششی (وضعیت

یافته‌ها

میانگین و انحراف معیار مقادیر پارامترهای منتخب کینتیکی و کینماتیکی ورزشکاران گروه فانکشنال (گام‌برداری با افزایش هیل استرایک^۱) و اکسترافانکشنال (کشش استاتیک) طی فاز استقرار راه رفتن در جدول یک آمده است.

کوواریانس استفاده شد. همچنین برای مقایسه تفاوت‌های پیش و پس‌آزمون از آزمون تی زوجی استفاده گردید (تفاوت‌های درون گروهی). برای مقایسه‌های آماری سطح معناداری کمتر از ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار مقادیر پارامترهای منتخب کینتیکی و کینماتیکی گروه تمرینی فانکشنال و اکسترافانکشنال طی فاز استقرار چرخه راه رفتن

متغیرها (واحد اندازه‌گیری)	مرحله گروه‌ها	پیش‌آزمون (انحراف معیار)	پس‌آزمون (انحراف معیار)	ارزش معناداری درون گروهی	ارزش معناداری بین گروهی
کل زمان فاز استقرار (ثانیه)	فانکشنال	۰/۸۱(۰/۰۳)	۰/۸۶(۰/۰۵)	*۰/۰۴	*۰/۰۰۶
	اکسترافانکشنال	۰/۷۹(۰/۰۷۰)	۰/۶۹(۰/۱۷)	۰/۴۶	
زمان مرحله تماس پاشنه پا با زمین تا جدا شدن پاشنه از زمین (ثانیه)	فانکشنال	۰/۳۱(۰/۰۲)	۰/۳۷(۰/۰۶)	*۰/۰۱	*۰/۰۳
	اکسترافانکشنال	۰/۳۸(۰/۰۳۵)	۰/۷۹(۰/۱۱)	۰/۰۹	
میانگین دورسی فلکشن مچ پا در مرحله تحمل وزن فاز استقرار (درجه)	فانکشنال	-۴/۷۱(۳/۰۷)	۲/۰۲(۴/۷)	*۰/۰۲	*۰/۰۴
	اکسترافانکشنال	-۴/۴(۵/۰۱)	-۲/۳۸(۴/۵)	۰/۴۹	
مرحله زمانی پرونیشن مچ پا طی فاز استقرار (ثانیه)	فانکشنال	۰/۱۰(۰/۰۶)	۰/۰۸(۰/۰۵)	*۰/۰۴	*۰/۰۲
	اکسترافانکشنال	۰/۰۳(۰/۰۲)	۰/۰۳(۰/۰۳)	۰/۷۶	
ماکزیمم پرونیشن مچ پا طی فاز استقرار (درجه)	فانکشنال	-۰/۳(۱/۱)	۰/۲۹(۲/۲)	۰/۶۴	۰/۴
	اکسترافانکشنال	-۲/۰۱(۱/۲)	-۰/۸۳(۳/۰۷)	۰/۲۳	
نیروی ضربه‌ای عکس‌العمل زمین (نیوتن به ازای هر کیلوگرم وزن بدن)	فانکشنال	۰/۷۵(۰/۳۷)	۰/۶۲(۰/۱۱)	۰/۲۹	۰/۲۷
	اکسترافانکشنال	۰/۰۸(۰/۲۱)	۰/۶۹(۰/۱۷)	*۰/۰۰۰	
زمان به اوج رسیدن نیروی ضربه‌ای (درصدی از فاز استقرار (ثانیه))	فانکشنال	۸/۹(۰/۱۳)	۴/۴(۰/۰۹)	*۰/۰۰۲	۰/۱۴
	اکسترافانکشنال	۱/۲۸(۰/۷۶)	۴/۷۳(۰/۲۵)	*۰/۰۰۰	
گشتاور پلانتر فلکسور در مرحله انتهایی فاز استقرار (نیوتن متر بر کیلوگرم)	فانکشنال	۳/۶(۷/۱)	۳/۹(۷/۹)	۰/۹۳	۰/۲۷
	اکسترافانکشنال	۳/۲۷(۷/۹)	-۰/۰۵(۱/۱۲)	۰/۲۲	

* معنی‌داری آزمون در سطح ۰/۰۵

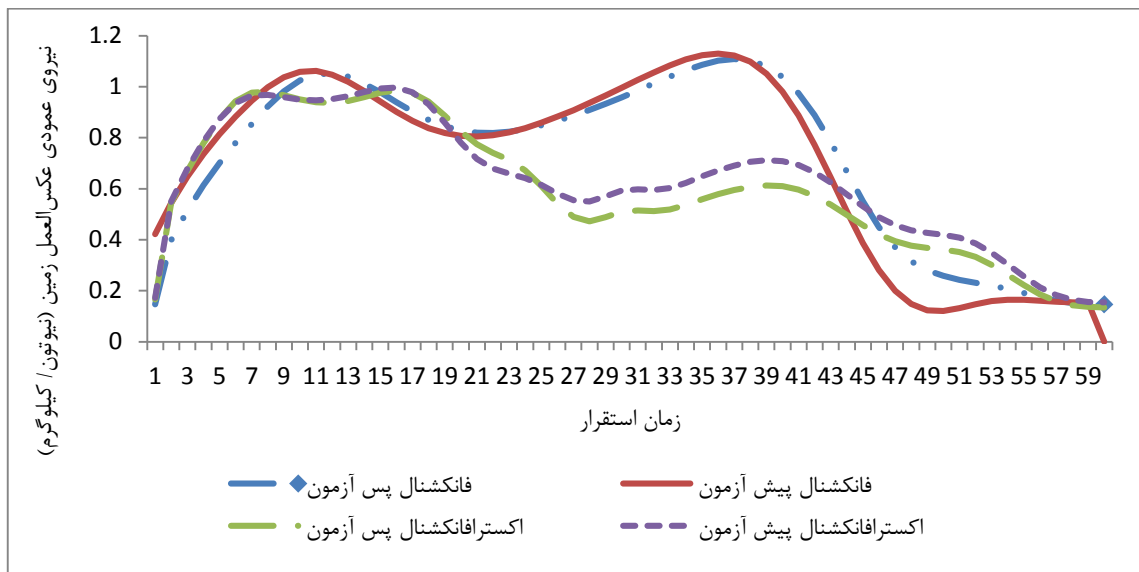
اکسترافانکشنال (کشش استاتیک) شش هفته‌ای (سه بار در هفته و سه بار به ازای هر روز تمرین) منجر به افزایش معنادار میانگین دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در گروه فانکشنال (افزایش سه درجه‌ای) در مقایسه پیش و پس‌آزمون ($p=0/02$) و اکسترافانکشنال (افزایش دو درجه‌ای) در مقایسه پیش و پس‌آزمون ($p=0/04$) در وضعیت عدم تحمل وزن با اندازه‌گیری گونیامتر شد. با این وجود، یافته‌های حاصل از مقایسه درون گروهی سیستم آنالیز حرکت در پژوهش حاضر نشان داد که میانگین دورسی فلکشن مچ پا طی مرحله تحمل وزن فاز استقرار

نرمال بودن توزیع متغیرها توسط آزمون شاپیروویلیک مورد تأیید قرار گرفت و همچنین برابری واریانس‌ها نیز با استفاده از لون تأیید گردید. بنابراین، در دو گروه ورزشکاران دارای کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس برنامه کشش فانکشنال و اکسترافانکشنال به‌منظور مقایسه‌های آماری درون گروهی از آزمون آماری تی وابسته و جهت بررسی تفاوت‌های بین گروهی در پس‌آزمون از تحلیل کوواریانس استفاده گردید.

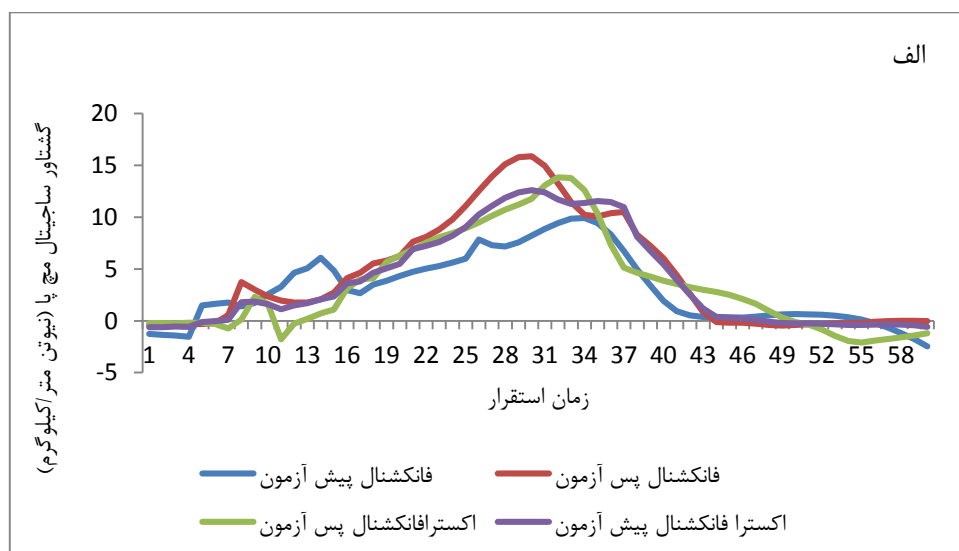
نتایج تحلیل آماری در خصوص مقایسه تفاوت‌های پیش و پس‌آزمون پژوهش حاضر نشان داد که هر دو برنامه کششی فانکشنال (گام‌برداری با افزایش هیل استرایک) و

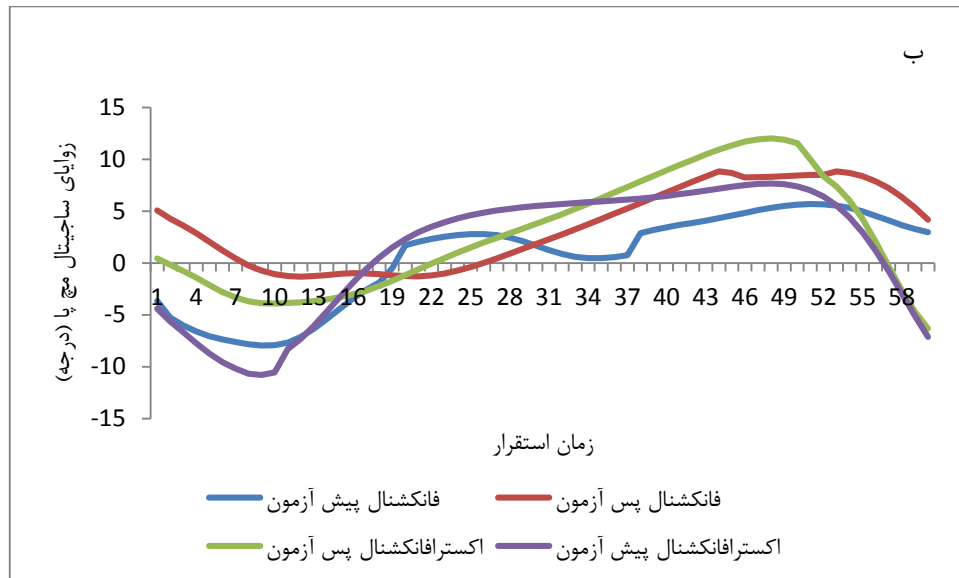
نشان داد که بین زمان فاز استقرار ($p=0/006$)، مرحله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جدا شدن پاشنه از روی زمین ($p=0/03$)، مرحله زمانی پرونیشن مچ پا ($p=0/02$) و میانگین دامنه دورسی فلکشن مچ پا ($p=0/04$) گروه فانکشنال در مقایسه با گروه اکسترافانکشنال تفاوت معناداری دارد (جدول ۱). بدین معنا که برنامه تمرین کشتشی فانکشنال دارای اثربخشی بیشتری در مقایسه با گروه تمرینی اکسترافانکشنال در بهبود شرایط ورزشکاران مبتلا به کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس می‌باشد.

تنها در گروه فانکشنال با افزایش معنادار همراه بوده است ($p=0/002$). همچنین، فقط در گروه فانکشنال زمان سپری شده در فاز استقرار ($p=0/04$)، کل دوره زمانی تماس پاشنه پا با زمین تا جدا شدن پاشنه از روی زمین ($p=0/01$) با افزایش معنادار و زمان پرونیشن مچ پا ($p=0/04$) با کاهش معناداری همراه بود. نیروی ضربه‌ای عمودی عکس‌العمل زمین ($p=0/000$) و زمان رسیدن به اوج نیروی ضربه‌ای در گروه اکسترافانکشنال با افزایش معناداری همراه بود. مقایسه تفاوت‌های بین گروهی در پس‌آزمون



شکل ۱: نیروهای عمودی عکس‌العمل زمین گروه تمرین کشتشی فانکشنال و اکسترافانکشنال ورزشکاران دارای کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس در پیش و پس‌آزمون طی فاز استقرار راه رفتن





شکل ۲: تصویر (الف) الگوی گشتاوری دورسی-پلاتنارفلکسوری و تصویر

(ب) الگوی زاویه ای دورسی-پلاتنارفلکسوری مفصل مچ پا را

در صفحه ساجیتال گروه تمرین کششی فانکشنال و اکسترفانکشنال در پیش و پس آزمون را طی فاز استقرار نشان می دهد.

بحث

۷-۱۰؛ کورنوال و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۷۲-۲۷۷). آنچه که برای ما پر اهمیت می نمود شواهد مرتبط با مکانیسم های درگیر جهت کاهش آسیب های اندام تحتانی با افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا و افزایش فاصله زمانی تماس پاشنه پا با زمین تا جدا شدن پاشنه از روی زمین در گروه برنامه کششی فانکشنال بود. از نقطه نظر کلینیکی، کسب دانش در خصوص چگونگی تحت تأثیر قرارگیری پارامترهای کینماتیکی و کینتیکی گام برداری از کشش پذیری مجموعه عضلانی گاستروسولئوس شاید منجر به کمک در شناسایی این موضوع گردد که چه بیمارانی و با چه نوع تمرینات کششی بیشتر تحت تأثیر افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا قرار می گیرند. اعتقاد بر این است که افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا به همراه افزایش دوره زمانی تماس پاشنه با زمین تا جدا شدن پاشنه از روی زمین طی فاز استقرار چرخه راه رفتن، مرحله زمانی تحمل وزن بر روی پنجه پا را با کاهش همراه ساخته که این امر منجر به رفع استرس از روی بافت نرم در اندام تحتانی و بدنال آن کاهش آسیب های مزمن می گردد (جانسون و همکاران، ۲۰۰۸: ۱۷۲). همچنین افزایش کشش پذیری مجموعه عضلانی گاستروسولئوس شاید دورسی فلکشن مفصل میدتارسال که الگوی جبرانی ناشی از پرونیشن بیش از حد مفصل ساب تالار و میدتارسال بوده را کاهش دهد. در حقیقت، پرونیشن مفصل

یافته های پژوهش حاضر مبنی بر افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در فاز استقرار چرخه راه رفتن در گروه تمرینات کششی فانکشنال نه تنها نشان دهنده این می باشد که دامنه حرکتی دورسی فلکشن در اثر تمرینات کششی افزایش می یابد، بلکه برتری تمرینات کششی فانکشنال در مقایسه با تمرینات کششی اکسترفانکشنال را نیز آشکار نمود. در اصل، مقایسه های درون گروهی نشان داد که دامنه دورسی فلکشن مچ پا و فاصله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جدا شدن پا از روی زمین تنها در گروه تمریناتی فانکشنال با افزایش معناداری همراه بوده است، که این یافته پژوهش حاضر در خصوص افزایش میزان دورسی فلکشن مچ پا همسو با یافته های جانسون و همکاران (۲۰۰۶: ۵۲۱) می باشد (جانسون و همکاران، ۲۰۰۹: ۵۲۱). در مقابل، همین محقق تفاوت معناداری را بین فاصله زمانی تماس پاشنه پا با زمین تا جدا شدن پا از روی زمین در گروه تمرینات کششی پاسیو را مشاهده نکرد. از سوی دیگر، کورنوال و همکاران (۱۹۹۹: ۲۷۲-۲۷۷) و مک لین و همکاران (۲۰۱۲: ۷-۱۰) بیان داشتند که برنامه های تمرینی کششی منجر به افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا (شکل دو)، افزایش زمان جدا شدن پا از روی زمین می گردد که بیانگر همراستایی نتایج پژوهش حاضر با یافته های این محققان می باشد (مک لین و همکاران، ۲۰۱۲:

نماید (هورتا، ۲۰۱۴: ۷۰۱-۷۱۸). در حقیقت، ما معتقدیم افزایش جزئی اما غیرمعنادار گشتاور پلانترفلکسوری در فاز انتهایی استقرار در گروه تمرینی فانکشنال پژوهش حاضر شاید بدلیل بهبود مکانیک پای ناشی از افزایش دورسی فلکشن فاز استقرار و بدنبال آن اصلاح وضعیت قفل‌شدگی مفصل میدتارسال (افزایش انرژی الاستیکی عضلانی) باشد (شکل ۲).

یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که مقادیر نیروی ضربه‌ای حاصل از نیروهای عمودی عکس‌العمل زمین و زمان به اوج رسیدن این نیرو نسبت به درصدی از زمان فاز استقرار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در گروه تمرینی فانکشنال با کاهش معناداری همراه بوده است و جالب اینکه این کاهش با افزایش دورسی فلکشن مچ پا طی مرحله تحمل وزنی فاز استقرار در گروه تمرینی فانکشنال همراه می‌باشد. در مقابل، نیروی ضربه‌ای عکس‌العمل زمین و زمان به اوج رسیدن این نیرو نسبت به درصدی از زمان فاز استقرار در گروه تمرینی اکسترافانکشنال با افزایش معنادار همراه بوده که با هیچ‌گونه تغییرات معناداری در میزان دورسی فلکشن مچ پا طی فاز استقرار در گروه اکسترافانکشنال همراه نبوده است (شکل یک). بررسی ادبیات پیشینه نشان دهنده این تئوری است که وقتی عملکرد پا در مرحله انتهایی فاز استقرار به نحوی باشد که وضعیت سفتی افزایش یافته را اتخاذ نماید، افزایش در نیروهای عکس‌العمل زمین قابل پیش‌بینی خواهد بود (مکلین و همکاران، ۲۰۱۲: ۷-۱۰). این تئوری توجیه کننده افزایش نیروهای عکس‌العمل زمین در گروه تمرینی اکسترافانکشنال می‌باشد. مهم است مدنظر قرار گیرد که افزایش نیروی ضربه‌ای در افراد با کوتاهی گاستروسولئوس از ریسک فاکتورهای آسیب‌های مزمن اندام تحتانی ذکر شده است (مرسر و همکاران، ۲۰۱۵: ۲۹-۳۴)، لذا شاید این برداشت صورت گیرد که اعمال تمرینات کششی اکسترافانکشنال دارای اثر سوئی بوده است، اما بایستی توجه نمود که در پژوهش حاضر افزایش نیروهای عکس‌العمل زمین همراه با افزایش زمان به اوج رسیدن این نیروها نسبت به درصدی از فاز استقرار بوده است؛ بدین معنا که سرعت به اوج رسیدن نیروهای عکس‌العمل زمین و بدنبال آن آسیب‌پذیری با کاهش روبرو بوده است. از سوی دیگر، بررسی نیروهای عکس‌العمل زمین در گروه فانکشنال نشان

ساب تالار در افراد با کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس باعث عدم قفل‌شدگی مفاصل میدتارسال به هنگام فاز استقرار شده که منجر به پدید آمدن دورسی فلکشن در سطح مفاصل میدتارسال و پلانتر فلکشن تالوس می‌گردد. سلسله رخدادهای ذکر شده (دورسی فلکشن مفصل میدتارسال و پلانترفلکشن تالوس) منجر به جابجایی تیبیا بر روی مچ پا به هنگام چرخه راه رفتن خواهد شد، اما این رخداد باعث تحمیل نیروها و حرکات جبرانی بر سیستم حرکتی نظیر فشار بیش از حد روی فاشیای پلانتر و بروز دفورمیتی در استخوان‌های انگشتان پا خواهد گشت. حال با مدنظر قرارگیری یافته‌های پژوهش حاضر مبنی بر کاهش زمان سپری شده در فاز پرونیشن مچ پا و همچنین کاهش مقادیر ماکزیمم پرونیشن مچ پا (علی‌رغم عدم معناداری) در گروه تمرینی کشش فانکشنال و نه اکسترافانکشنال پژوهش حاضر، چنین می‌توان بیان نمود که برنامه کششی فانکشنال گام‌برداری با افزایش هیل استرایک بدلیل ماهیت وجودی خود که در زنجیره بسته عمل نموده و عمده مفاصل اندام تحتانی را درگیر می‌نماید، نه تنها قابلیت کشش‌پذیری مجموعه عضلانی گاستروسولئوس را در خود نهفته داشته (تأیید فرضیات پژوهش)، بلکه توانایی اصلاح الگوهای حرکتی جبرانی مخرب ناشی از کوتاهی مجموعه عضلانی گاستروسولئوس در جزء جزء مفصل مچ پا نظیر اصلاح پرونیشن، فاصله زمانی تماس پاشنه پا با زمین تا جداشدگی پاشنه پا از روی زمین را دارا می‌باشد.

مهم است مورد توجه قرار گیرد که به دلیل افزایش دورسی فلکشن حاصل از برنامه تمرینی کششی فانکشنال (شکل دو)، دیگر نیازی به حفظ وضعیت عدم قفل‌شدگی و بروز مفصل میدتارسال‌های پرموبیل نبوده که این امر باعث ایجاد وضعیت طبیعی مکانیکال در مفصل و بهبود انرژی الاستیکی حاصل می‌گردد. به‌طور طبیعی، در وضعیت مکانیکال نرمال، پا در مرحله بلندشدن پنجه از روی زمین دارای سوپینیشن بوده و وضعیت سفتی را بخود می‌گیرد که در این موقعیت مکانیسم ویندلس افکت نیز تأثیر خود را در افزایش انرژی الاستیکی ایفا می‌نماید. این بهبود در اثر مکانیسم ویندلس و افزایش انرژی الاستیکی شاید منجر به افزایش قدرت انقباضی و افزایش اثربخشی عضلات اینترنسیک پا شود که در ایجاد تغییرات گشتاور پلانتر فلکسوری مچ پا طی فاز انتهایی استقرار نقش بسزایی ایفا

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش ما به‌وضوح نشان داد هر دو برنامه کششی فانکشنال و اکسترافانکشنال در افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در وضعیت عدم تحمل وزن اثرگذار بوده است. اما، افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا در وضعیت عدم تحمل وزن مرتبط با افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا، افزایش زمان فاز استقرار و مرحله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جاداشدگی پاشنه از زمین حین فاز استقرار چرخه گام‌برداری نمی‌باشد. مهمتر آنکه، پژوهش حاضر نشان داد الگوی گام‌برداری هیل استرایک با افزایش کشش‌پذیری مجموعه عضلانی گاستروسولئوس، افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا و فاصله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جاداشدن پاشنه از روی زمین را حین فاز استقرار چرخه راه رفتن فراهم می‌نماید. بنابراین، به‌عنوان یک پیشنهاد کاربردی می‌تواند مطرح گردد که وقتی هدف از برنامه‌های تمرینی افزایش دامنه حرکتی دورسی فلکشن و فاصله زمانی تماس پاشنه با زمین تا جاداشدن پاشنه از روی زمین باشد، پیشنهاد می‌شود ورزشکاران از الگوی فانکشنال کششی گام‌برداری با افزایش هیل استرایک بهره‌گیرند.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از بخشی از رساله دکتری گرایش حرکات اصلاحی بوده است. لذا، بدینوسیله از تمامی شرکت‌کنندگان و یاری‌کنندگان پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را داریم.

می‌دهد نیروی ضربه‌ای و زمان رسیدن به اوج این نیرو نسبت به درصدی از فاز استقرار با کاهش همراه بوده است. توجه وجود تفاوت در این نیروها بین گروه‌های تمرینات فانکشنال و اکسترافانکشنال طرح حاضر شاید ناشی از اثرگذاری تمرینات بر دامنه حرکتی دورسی فلکشن مچ پا طی مرحله تحمل وزن فاز استقرار نهفته باشد. همچنین بایستی اذعان نمود که وجود تعاملات گسترده بین متغیرهای بیومکانیکال در سیستم حرکتی انسان تفسیر هر نتیجه‌ای را در هر پژوهشی با مشکل مواجه می‌نماید. در حقیقت، به‌دلیل وجود درجات آزادی بیومکانیکال چندگانه به‌منظور اجرای الگوی حرکتی واحد نظیر اجرای الگوی گام‌برداری در گروه‌های فانکشنال و اکسترافانکشنال پژوهش حاضر شاید نشان دهنده علت وجود تفاوت‌ها باشد (مکلین، ۲۰۱۲: ۷-۱۰).

در نهایت بیان می‌نمائیم که یکی از محدودیت‌های پژوهش حاضر این بود که افراد شرکت‌کننده در این طرح الگوی گام‌برداری را با سرعت خود انتخابی اجرا می‌نمودند که این مسأله احتمالاً یافته‌های ما را تحت تأثیر قرار داده باشد. همچنین، انتخاب الگوهای حرکتی نیازمند دامنه حرکتی بیشتر دورسی فلکشن مچ پا نظیر دویدن، پرش و فرود و بالارفتن از پله شاید در نشان دادن اثربخشی برنامه‌های تمرینی کششی و بروز تفاوت‌های اثرگذاری این برنامه‌ها بر روی ویژگی‌های کینماتیکی و کینتیکی مناسب‌تر باشد. بنابراین، انجام تحقیقات آتی با کنترل سرعت گام‌برداری، انتخاب الگوهای حرکتی نیازمند دورسی فلکشن بیشتر می‌تواند تفسیر نتایج را با دقت بیشتری همراه سازد.

References

- Araújo VL, Carvalhais VO, Souza TR, Ocarino JM, Gonçalves GG, Fonseca ST. (2011). Validity and reliability of clinical tests for assessing passive ankle stiffness. *Braz J Phys Ther*; 15(2):166-173.
- Cornwall MW, McPOIL TG. (1999). Effect of ankle dorsiflexion range of motion on rearfoot motion during walking. *J Am Podiatr Med Assoc*; 89(6): 272-277.
- Fong C-M, Blackburn JT, Norcross MF, McGrath M, Padua DA. (2011). Ankle-dorsiflexion range of motion and landing biomechanics. *J Athl Train*; 46(1): 5-10.
- Gajdosik RL, Allred JD, Gabbert HL, Sonsteng BA. (2007). A stretching program increases the dynamic passive length and passive resistive properties of the calf muscle-tendon unit of unconditioned younger women. *Eur J Appl Physiol*; 99(4):449-454.
- Grieve R, Barnett S, Coghil N, Cramp F. (2013). Myofascial trigger point therapy for triceps surae dysfunction: A case series. *Man Ther*; 18(6):519-525.
- Grieve R, Cranston A, Henderson A, John R, Malone G, Mayall C. (2013). The immediate effect of triceps surae myofascial trigger point therapy on

- restricted active ankle joint dorsiflexion in recreational runners: A crossover randomised controlled trial. *J Bodyw Mov Ther*; 17(4):453-461.
- Guissard N, Duchateau J. (2004). Effect of static stretch training on neural and mechanical properties of the human plantar-flexor muscles. *Muscle Nerve*; 29(2):248-255.
- Huerta JP. (2014). The Effect of the Gastrocnemius on the Plantar Fascia. *Foot Ankle Clin*; 19(4):701-718.
- Huguenin LK. (2004). Myofascial trigger points: the current evidence. *Phys Ther Sport*; 5(1):2-12.
- Johanson M, Baer J, Hovermale H, Phouthavong P. (2008). Subtalar joint position during gastrocnemius stretching and ankle dorsiflexion range of motion. *J Athl Train*; 43(2):172.
- Johanson MA, Cuda BJ, Koontz JE, Stell JC, Abelew TA. (2009). Effect of stretching on ankle and knee angles and gastrocnemius activity during the stance phase of gait. *J Sport Rehabil*. 2009; 18(4):521.
- Johanson MA, Wooden M, Catlin PA, Hemard L, Lott K, Romalino R, et al. (2006). Effects of gastrocnemius stretching on ankle dorsiflexion and time-to heel-off during the stance phase of gait. *Phys Ther Sport*; 7(2):93-100.
- Karas MA, Hoy DJ. (2002). Compensatory midfoot dorsiflexion in the individual with heelcord tightness: implications for orthotic device designs. *J Prosthet Orthot*; 14(2); 82-93.
- Lederman E. (2013). *Therapeutic Stretching in Physical Therapy: Towards a Functional Approach*; Elsevier Health Sciences; 23-145.
- Lenhart RL, Francis CA, Lenz AL, Thelen DG. (2014). Empirical evaluation of gastrocnemius and soleus function during walking. *J biomech*; 47(12):2969-2974.
- Lewis CL, Garibay EJ. (2015). Effect of increased pushoff during gait on hip joint forces. *J biomech*; 48(1):181-185.
- Lun V, Meeuwisse W, Stergiou P, Stefanyshyn D. (2004). Relation between running injury and static lower limb alignment in recreational runners. *Br J Sports Med*; 38(5):576-580.
- Macklin K, Healy A, Chockalingam N. (2012). The effect of calf muscle stretching exercises on ankle joint dorsiflexion and dynamic foot pressures, force and related temporal parameters. *Foot*; 22(1):7-10.
- Macrum E, Robert Bell D, Boling M, Lewek M, Padua D. (2012). Effect of limiting ankle-dorsiflexion range of motion on lower extremity kinematics and muscle-activation patterns during a squat. *J Sport Rehabil*; 21(2):144.
- Mercer JA, Horsch S. (2015). Heel-toe running: A new look at the influence of foot strike pattern on impact force. *J Exerc Sci Fit*; 13(1):29-34.
- Neptune RR, Kautz S, Zajac F. (2001). Contributions of the individual ankle plantar flexors to support, forward progression and swing initiation during walking. *J Biomech*; 34(11):1387-1398.
- Norkin CC, White DJ. (2009). Measurement of joint motion: a guide to goniometry: FA Davi; 237-311.
- Page P, Frank C, Lardner R. (2010). Assessment and treatment of muscle imbalance: the Janda approach: *Human Kinetics*; 227-241.
- Sahrmann S. (2010). *Movement system impairment syndromes of the extremities, cervical and thoracic spines*: Elsevier Health Sciences; 1-34.
- Tabrizi P, McIntyre W, Quesnel M, Howard A. (2000). Limited dorsiflexion predisposes to injuries of the ankle in children. *J Bone Joint Surg Br*; 82(8):1103-1106.
- Wu S-K, Lou S-Z, Lee H-M, Chen H-Y, You J-Y. (2014). Gastrocnemius inflexibility on foot progression angle and ankle kinetics during walking. *Clin Biomech*; 29(5):556-563.
- Yeh C-Y, Tsai K-H, Chen J-J. (2005). Effects of prolonged muscle stretching with constant torque or constant angle on hypertonic calf muscles. *Arch Phys Med Rehabil*; 86(2): 235-241.
- Yoon J-y, Hwang Y-i, An D-h, Oh J-s. (2014). Changes in Kinetic, Kinematic, and Temporal Parameters of Walking in People With Limited Ankle Dorsiflexion: Pre-Post Application of Modified Mobilization With Movement Using Talus Glide Taping. *J Manip Physiol Ther*; 37(5):320-325.
- You J-Y, Lee H-M, Luo H-J, Leu C-C, Cheng P-G, Wu S-K. (2009). Gastrocnemius tightness on joint angle and work of lower extremity during gait. *Clin Biomech*; 24(9):744-750.
- Youdas JW, Krause DA, Egan KS, Therneau TM, Laskowski ER. (2003). The effect of static stretching of the calf muscle-tendon unit on active ankle dorsiflexion range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther*; 33(7):408-417.