

مقدمه

امروزه آسیب‌های زانو و مچ پا در ورزشکاران بسیار رایج است و بیشترین میزان شیوع آن در ورزش‌های دارای حرکات پرشی و برشی از جمله والیبال، فوتبال امریکایی، فوتبال و بسکتبال مشاهده می‌شود (۱-۴). فرود از یک پرش سازوکار رایج آسیب اندام تحتانی درمیان ورزشکاران مطرح شده است (۵). اکثر آسیب‌های رباط متقاطع قدامی در نتیجه برخورد فیزیکی مستقیم بین ورزشکاران ایجاد نمی‌شود (۶،۷)، بلکه در نیمرخ والیبالست‌ها و فوتبالست‌های آسیب‌دیده، از حرکات چرخشی^۱ و فرود از پرش^۲ منزله سازوکار آسیب غیربرخوردی رباط متقاطع قدامی یاد می‌شود (۴، ۸، ۶). در والیبال و بسکتبال به علت وجود حرکات پرشی و فرود همراه با میزان زیاد نیروی عکس‌العمل زمین،^۳ اسپرین جانبی مچ به ترتیب ۷۹٪ و ۸۷٪ گزارش شده است (۹). همچنین گزارش شده است که طی مسابقه والیبال، حرکت فرود با ۶۳ درصد از کل آسیب‌های ثبت شده و ۶۱٪ از آسیب‌های زانو مرتبط است (۲). حرکات پرشی مانند زدن اسپک یا دفاع در والیبال صرفاً شامل پرش نمی‌شوند، بلکه متعاقب آن حرکت فرود نیز صورت می‌گیرد که این مرحله مستلزم توزیع نیروی حرکتی تولیدشده در پرش و استفاده از الگوهای حرکتی گوناگون به منظور جذب انرژی بدن در هنگام فرود است. این فرودها به تولید نیروی عکس‌العمل زمین منجر می‌شوند که گاه پنج برابر وزن بدن فرد است (۱۰). تحقیقات بسیاری فرود توأم با نیروهای ضربه‌ای زیاد را عاملی خطرزا برای آسیب زانو به خصوص پارگی رباط متقاطع قدامی^۴ (۱۵-۱۱) و دیگر آسیب‌های آنی^۵ و بلندمدت^۶ (۱۶) معرفی کرده‌اند. مطالعات متعددی مبین این نکته‌اند که الگوهای مختلف فرود چگونگی جذب این انرژی و نیروها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (۱۷، ۱۸، ۱۹). یافته‌ها نشان می‌دهد که افزایش زاویه فلکشن زانو در لحظه برخورد نخست پا با زمین می‌تواند نیروهای ضربه‌ای^۷ و بار وارد بر زانو را طی حرکات فرود کاهش دهد (۲۰)؛ یا وجود والگوس یا وضعیت نزدیک‌شده زانو در هنگام فرود با آسیب‌های گوناگون زانو مانند آسیب رباط متقاطع قدامی (۲۱) و مفصل کشکی-رانی (۲۲) مرتبط است. از آنجاکه پرش و فرود از اجزای اصلی بسیاری از ورزش‌ها هستند و طی مسابقه یا تمرین در زمان‌های گوناگون و به طور مکرر انجام می‌شوند، اثر خستگی ناشی از ورزش بر این تکنیک‌ها قابل بررسی خواهد بود.

خستگی از چندین سازوکار فیزیولوژیک نشئت می‌گیرد که در دو سطح مرکزی و موضعی رخ می‌دهند. خستگی کاهش در ظرفیت تولید حداکثر نیرو، بدون توجه به نیروی لازم در وضعیت موجود تعریف می‌شود (۲۳). طی شرکت در فعالیت‌های ورزشی، ورزشکاران بارها خستگی را تجربه می‌کنند که این امر می‌تواند موجب کاهش پایداری مفصل و افزایش خطر بروز آسیب شود. یافته‌ها نشان می‌دهد بسیاری از آسیب‌ها در انتهای مسابقه یا تمرین، زمانی که خستگی حادث شده است، رخ می‌دهند (۲۴). در تحقیقات به منظور ایجاد خستگی در آزمودنی‌ها و بررسی آثار آن، روش‌های گوناگونی مانند استفاده از انقباضات ایزوکیتیک (۲۵، ۲۶)، حرکات تکراری (۲۷، ۲۸) و فعالیت‌های عملکردی (۲۹، ۲۶، ۹) استفاده شده‌اند. نتایج این مطالعات متفاوت بوده است. فاگنباوم و همکاران (۲۰۰۳) در بررسی راهبردهای فرود در مردان

1.....

2.....

3.....

4....

5.....

6.....

7.....

و زنان بسکتبالیست از یک پروتکل ایزوکینتیک استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که خستگی اثر یکسانی بر الگوهای فعال‌سازی عضلات زانوی مردان و زنان دارد (۳۰). ویکستروم (۲۰۰۴) در مطالعه دیگری و به منظور بررسی اثر خستگی طی فرود از پرش، زمان رسیدن به پایداری، نیروی عکس‌العمل زمین و کینماتیک مفصل را پس از انجام پروتکل خستگی ایزوکینتیک و عملکردی با هم مقایسه کرد و تفاوت معنی‌داری بین این عوامل در دو پروتکل مشاهده نکرد (۲۶). به طور کلی، می‌توان گفت که این پروتکل‌ها عموماً شامل در زنجیره باز هستند و حرکات مفصلی و گروه‌های عضلانی را به صورت مجزا و در موقعیت اعمال نیروی حداکثر به کار می‌گیرند (۲۶، ۲۹). از دیگر پروتکل‌های خستگی، حرکات تکراری هستند که مک‌لین و همکاران (۲۰۰۷) از این روش جهت مقایسه آثار خستگی بر مکانیک فرود مردان و زنان ورزشکار استفاده کردند؛ بدین صورت که از یک پروتکل ۴ دقیقه‌ای شامل بالا و پایین رفتن از سکو با حداکثر سرعت ممکن، جهش‌های پلایومتریک مکرر در طول ۶ متر به طور رفت و برگشت و سپس تکرار حرکت بالا و پایین رفتن از سکو استفاده کردند و دریافتند که خستگی بر مکانیک فرود زنان تأثیر بیشتری نسبت به مردان داشته است (۲۷). هبو (۲۰۰۴) به منظور بررسی اثر خستگی بر الگوهای فرود از دویدن تا حد و اماندگی روی تردمیل به مثابه پروتکل خستگی استفاده کرد و تغییرات معنی‌داری در زاویه خم‌شدن، پیش و پس از خستگی مشاهده نکرد (۳۱). استفاده از این پروتکل‌ها ممکن است به علت عدم دسترسی به دینامومتر ایزوکینتیک باشد (۲۸)، اما این پروتکل‌های خستگی ورزشکار را در معرض نیازهای مشابه با زمان تمرین یا مسابقه قرار نمی‌دهد و تعمیم نتایج این مطالعات به خستگی ناشی از تمرین‌ها و مسابقات ورزشی بحث‌برانگیز است (۳۲، ۳۳). بنابراین به نظر می‌رسد پروتکل‌های عملکردی تری (۲۹، ۳۲) که اطلاعات بیشتری در باب تغییرات ناشی از تمرین‌ها و مسابقات ورزشی فراهم می‌کنند لازم باشد (۳۲). از این رو، برتری پروتکل‌های خستگی که از الگوهای حرکتی مشابه با آنچه که اندام تحتانی تجربه می‌کنند (زنجیره حرکتی بسته) و در وضعیت اعمال نیروی زیربیشینه صورت می‌گیرد آشکار می‌شود (۲۹). پروتکل‌های خستگی عملکردی نیز عموماً شامل حرکات تکراری هستند. برای نمونه، تعدادی از تحقیقات از ۱۰۰ پرش متوالی از روی موانع کوتاه (۶-۵ سانتی‌متر) و ۵۰ پرش عمودی حداکثری برای ایجاد خستگی استفاده کردند. با استفاده از این پروتکل، پاپاس و همکاران (۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که خستگی، آثار معنی‌دار اما کمی بر متغیرهای بیومکانیک فرود دارد (۳۴). چپل و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که این پروتکل خستگی راهبردهای کنترل حرکتی را دچار تغییر می‌کند و موجب افزایش نیروی برشی قدامی درشت‌نی، فشار بر رباط متقاطع قدامی و خطر آسیب در هر دو جنس می‌شود (۳۵). مادیگان و همکاران (۲۰۰۳) اثر خستگی بر نیروی ضربه زمین و کینماتیک و کینتیک فرود را با استفاده متوالی از دو فرود بر روی یک پا و سه اسکات روی یک پا به طور متناوب بررسی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از کاهش نیروی ضربه زمین و افزایش حداکثر فلکشن مفصل در هنگام فرود پس از اعمال خستگی بود (۳۶). پادا و همکاران (۲۰۰۶) اثر خستگی بر خشکی عمودی پا و راهبردهای کنترل خشکی را با استفاده از اسکات‌های مکرر همراه با وزنه‌های برابر با یک سوم وزن فرد پروتکل خستگی عملکردی سنجیدند. نتایج نشان داد که افراد پس از خستگی بیشتر به راهبردهای مچ‌محور روی می‌آورند و به عضلات مچ پا بیشتر از عضلات زانو متکی می‌شوند و به نظر می‌رسد این امر پایداری زانو را کاهش و احتمال آسیب رباط متقاطع قدامی را افزایش می‌دهد (۲۹). پروتکل خستگی عملکردی ۳

ایستگاهی در بررسی اثر خستگی بر زمان رسیدن به پایداری^۱ در والیبال‌های دانشگاهی به کار رفته است. این پروتکل شامل تمرین چابکی میسوری، لانچ ثابت و پرش‌های سریع بود(۹). افزایش زمان رسیدن به پایداری قدامی-خلفی پس از خستگی در آزمودنی‌ها مشاهده شد، اما زمان رسیدن به پایداری داخلی-خارجی در پیش‌آزمون و پس‌آزمون یکسان بود. کتونی (۲۰۱۰) نیز در مطالعه‌ای با عنوان بررسی اثر بریس مچ پا و خستگی بر زمان رسیدن به پایداری در افراد دارای ناپایداری مزمن مچ از این پروتکل استفاده کرد که نتایج تحقیق او حاکی از اثر منفی خستگی بر پایداری پویا بود، به طوری که پس از خستگی افزایش در زمان رسیدن افراد به پایداری در جهت قدامی-خلفی مشاهده شد، اگرچه مقدار آن از نظر آماری معنی‌دار نبود(۳۷).

نتایج پژوهش‌های پیشین درباره تأثیر خستگی بر مکانیک فرود متناقض بوده و در بیشتر مطالعات پروتکل‌های غیرمرتبط با الگوهای حرکتی ورزشی مورد استفاده قرار گرفته‌اند(۲۹،۲۶،۹). همچنین بیشتر مطالعات با استفاده از آزمون فرود روی یک پا و استفاده از صفحه نیروسنج یا سیستم تحلیل حرکت به بررسی تکنیک فرود پرداخته‌اند(۳۸،۲۶،۹). تاکنون مطالعه‌ای که از سیستم امتیازدهی خطای فرود^۲ به منظور بررسی اثر پروتکل خستگی عملکردی بر مکانیک فرود بهره برده باشد یافت نشده است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی تأثیر احتمالی خستگی بر مکانیک فرود از پرش جفت‌پا با استفاده از پروتکل خستگی عملکردی مشابه با فعالیت ورزشی و آزمون سیستم امتیازدهی خطای فرود جهت ارزیابی تغییرات مکانیک فرود در نظر گرفته شد.

روش‌شناسی

روش تحقیق حاضر نیمه‌تجربی بود و جامعه آماری تحقیق حاضر را ۱۴ نفر از دانشجویان پسر (میانگین سنی 22 ± 2 سال، وزن 68.3 ± 7.2 و قد 174 ± 4) تشکیل می‌دادند که ۲ تا ۴ جلسه در هفته (آمادگی در حد متوسط)(۳۲) ورزش می‌کردند. آزمودنی‌ها داوطلبانه و در دسترس، در تحقیق مشارکت کردند. آنها به طور تصادفی به دو گروه تجربی و کنترل (هر گروه شامل ۷ آزمودنی) تقسیم شدند. اثر متغیر مستقل خستگی ناشی از فعالیت مشابه با وضعیت تمرین یا مسابقه بر متغیر وابسته مکانیک فرود از طریق پیش‌آزمون-پس‌آزمون بررسی شده است. پس از اندازه‌گیری قد و وزن افراد، فرم صلاحیت پزشکی برای آنها تکمیل شد. افرادی که سابقه آسیب‌دیدگی اندام تحتانی و سر در یک سال گذشته داشتند و همچنین افراد دارای هرگونه اختلالی که کنترل عصبی عضلانی را تحت تأثیر قرار می‌داد از جامعه آماری خارج شدند. فرم رضایت برای شرکت در تحقیق را نیز تمامی افراد امضا کردند.

به منظور ارزیابی تفاوت‌های الگوی حرکت، معمولاً از اندازه‌گیری‌ها یا تجهیزات بیومکانیکی آزمایشگاهی استفاده می‌شود (۱۲). بدون تردید، سیستم‌های تحلیل حرکت آزمایشگاهی، دقیق‌ترین روش برای بررسی عوامل بیومکانیکی خطرزا^۳ هستند، با وجود این به علت محدودیت‌های زمانی و مالی و زمان‌بر بودن تحلیل داده‌های به دست آمده از این سیستم‌ها، استفاده از آنها برای شناسایی افراد با الگوهای حرکتی خطرزا در گروه‌های بزرگ عملی نیست. آزمون سیستم امتیازدهی خطای فرود، ابزار میدانی بسیار ارزان‌قیمتی است که خطاهای تکنیک فرود را در دامنه‌ای از آیتم‌های مشهود در حرکت

1.....

2.....

3.....

انسان محاسبه می‌کند (۳۳). این امتیازدهی با بررسی تصاویر ویدیویی ضبط شده از دو نمای فرونتال و ساجیتال از پرش و فرود شخص صورت می‌گیرد. این سیستم قابلیت اجرایی زیادی دارد و می‌تواند مکانیک‌های خطرناک فرود را به لحاظ بالینی ارزیابی کند که پایایی بین‌آزمونگر و درون‌آزمونگر آن به ترتیب خوب تا عالی گزارش شده است (۳۳). همچنین روایی هم‌زمان درون‌آزمونگر بین ارزیابی‌کننده‌ی ماهر و مبتدی برای این آزمون عالی گزارش شده است (۳۹). در مطالعه‌ای که پادا و همکاران انجام دادند، سیستم امتیازدهی خطای فرود ابزاری معتبر و پایا در نظر گرفته شده که الگوهای حرکتی چند صفحه‌ای را برای ارزیابی کلی مکانیک‌های فرود به کار می‌گیرد (۴۰). محققان، روایی هم‌زمان سیستم امتیازدهی خطای فرود را در مقایسه با سیستم تحلیل حرکت سه بعدی تأیید کردند (۴۰) و همچنین قابلیت پیش‌گویانه در شناسایی افراد با خطر بالای آسیب‌دیدگی را برای آن ذکر کردند (۴۱). علاوه بر این، سیستم امتیازدهی خطای فرود به خوبی می‌تواند تغییرات تکنیک فرود ناشی از یک برنامه مداخله‌ای را نشان دهد (۴۲). بنابراین، استفاده از این آزمون در بررسی اثر خستگی بر مکانیک فرود مناسب‌تر به نظر می‌رسد. از این رو، از آزمون سیستم امتیازدهی خطای فرود جهت ارزیابی مکانیک فرود استفاده شد (۳۳). روند اجرای آزمون بدین ترتیب بود که در جلسه پیش‌آزمون، افراد از روی سکوی ۳۰ سانتی‌متری حرکت پرش را انجام دادند و در جلوی سکو و در فاصله‌ای تقریباً برابر با ۵۰ درصد قد خود فرود آمدند. سپس بلافاصله یک پرش عمودی حداکثری را انجام دادند. در هنگام آموزش آزمون تأکید شد که فرد به محض فرود از سکو، حتی‌الامکان به سمت بالا بپرد. در هنگام انجام آزمون هیچ بازخورد یا آموزشی به فرد داده نمی‌شد، مگر اینکه آزمون را اشتباه انجام می‌داد. پس از آموزش آزمون، افراد اجازه داشتند ۲ پرش تمرینی داشته باشند تا آن را فرابگیرند. سپس افراد ۳ پرش درست را انجام دادند. در صورتی که فرد به فاصله افقی تعیین شده نمی‌رسید یا پس از فرود پرش عمودی حداکثری را انجام نمی‌داد، آن نوبت حذف و مانور پرش-فرود یک‌بار دیگر تکرار می‌شد. دو دوربین فیلمبرداری پایه‌دار (..... ساخت ژاپن) جهت ضبط تصاویر پرش افراد از نمای فرونتال و ساجیتال به ترتیب در فاصله ۴/۸ و ۴ متری قرار داشتند. سپس جهت اعمال خستگی در گروه تجربی از پروتکل خستگی عملکردی شش ایستگاهی که قبلاً ویکستروم و همکاران (۲۰۰۴) معرفی کرده بودند استفاده شد. این پروتکل شش ایستگاهی به منظور شبیه‌سازی حرکات رایج در زمین بازی طراحی شده است و صرفاً یک صفحه حرکتی و اندام تحتانی محدود نمی‌شود. خستگی عملکردی در این پروتکل زمانی رخ می‌دهد که زمان انجام یک دور در مقایسه با زمان انجام نخستین تلاش حداکثری برای هر فرد، ۵۰ درصد افزایش یابد. افزایش زمان انجام هر نوبت، شامل ترکیبی از خستگی عضلات میچ پا، زانو و ران و همچنین تنه و اندام فوقانی است (۲۶). این نوع پروتکل‌های خستگی نسبت به دیگر پروتکل‌ها شباهت بیشتری به فعالیت‌های ورزشی و مسابقه دارند، بنابراین قابلیت تعمیم‌پذیری آنها به خستگی ناشی از تمرینات ورزشی و مسابقه بیشتر است (۲۸).

این ۶ ایستگاه شامل موارد زیر است:

۱. تمرین چابکی میسوری^۱: این تمرین شامل مجموعه‌ای از حرکات دو سرعت روبه‌جلو، دویدن قطری به سمت عقب و حرکت کردن به صورت عرضی (پا بوکسی) است که با ۳ تکرار در زمینی به ابعاد $۳/۵ \times ۳/۵$ متر انجام می‌شود.

1.....

۲. پرش‌های پلایومتریک از روی جعبه^۱ شامل مجموعه‌ای انقباضات سریع و قدرتمند در عضلات اندام تحتانی است که جهت پرش، فرود، پایداری و پرش مجدد روی جعبه‌های ۳۱، ۴۶ و ۶۱ سانتی‌متری که در فاصله ۶۱ سانتی‌متری از هم قرار گرفته‌اند انجام می‌شوند.

۳. جهش‌های جانبی^۲ شامل ۳۰ پرش جانبی است که به‌طور متناوب به طرف راست و چپ انجام می‌شود و فاصله‌ای به‌اندازه ۶۰ سانتی‌متر را پوشش می‌دهد.

۴. پرش مینی‌ترامپ^۳: مجموعه‌ای از ۳۰ پرش کوتاه روی ترامپلین و سپس روی زمین است که شامل حرکات عمودی و افقی می‌شود.

۵. قوس هم‌انقباضی^۴: مجموعه‌ای از ۱۰ حرکت روی قوس ۱۸۰ درجه است که با اعمال مقاومت ازسوی طناب الاستیک انجام می‌شود. جهت ثابت نگه‌داشتن شعاع قوس از افراد خواسته می‌شد تا کشیدگی طناب را حفظ کنند.

۶. لی‌لی متوالی با دو پا^۵: در این ایستگاه از علامت‌هایی استفاده می‌شود که به‌صورت تصادفی و در فضایی به‌طول ۳۰۴/۸ سانتی‌متر روی زمین قرار داده شده‌اند. افراد از یک علامت روی علامت دیگر جهش می‌کنند. علامت‌ها طوری قرار داده شده‌اند که جهش‌ها به صورت ۳ تکرار چندجهته انجام گیرد.

قبل از اجرای پروتکل خستگی عملکردی، توضیح و تمرین درباره هر بخش به آنان داده شد. برای تعیین زمان مبنای هر فرد پس از گرم‌کردن با حداکثر تلاش یک نوبت اجرا انجام داد و زمان انجام یک دور برای هر فرد ثبت گردید. پس از ۱ دقیقه استراحت از فرد خواسته می‌شد تا فعالیت‌های ۶ ایستگاه (۱ دور) را به‌ترتیب و با حداکثر سرعت انجام دهد و زمان هر دور برای او ثبت می‌شد. فرد تا زمان رسیدن به خستگی این دورها را بارها انجام می‌داد. معیار تعیین خستگی برای هر فرد هنگامی بود که زمان اتمام هر دور نسبت به زمان مبنای (اجرا با حداکثر تلاش) ۵۰ درصد افزایش پیدا می‌کرد. روند اجرای پس‌آزمون همانند پیش‌آزمون و یک دقیقه پس از اتمام پروتکل خستگی انجام شد، با این تفاوت که در این نوبت آزمودنی‌ها اجازه انجام پرش‌های تمرینی را نداشتند. گروه کنترل غیر از پروتکل خستگی، تمام آزمون‌های گروه تجربی را به اجرا درآوردند. سپس فیلم تمام پرش-فرودها به‌طور آهسته بازبینی شد و با استفاده از آزمون امتیازدهی خطای فرود و براساس وجود یا فقدان ویژگی‌های خاص فرود که در ضمیمه ۱ ذکر شده است، امتیاز تمام پرش‌ها محاسبه شد.

آزمون امتیازدهی خطای فرود ۱۷ آیتم دارد. یک مجموعه از این سؤالات درباره وضعیت اندام تحتانی و تنه در لحظه اولین برخورد با زمین است (آیتم‌های ۶-۱). مجموعه دیگر، به ارزیابی خطاهای موجود در وضعیت پا پرداخته (آیتم‌های ۱۱-۷) و در لحظه اولین برخورد با زمین (آیتم ۱۱)، لحظه‌ای که تمام کف پا در تماس با زمین است (آیتم‌های ۷ و ۸) و در بین زمان اولین برخورد و حداکثر زاویه فلکشن زانو (آیتم‌های ۹ و ۱۰) به بررسی این خطاها می‌پردازد. مجموعه سوم، حرکات اندام تحتانی و تنه را در بین زمان‌های اولین برخورد با زمین و حداکثر زاویه فلکشن زانو (آیتم‌های ۱۴-۱۲) یا زمان حداکثر والگوس زانو (آیتم ۱۵) ارزیابی کند. امتیاز نهایی برای هر فرود، از مجموع امتیازات تمام آیتم‌ها (۰-۱۵) محاسبه می‌شد، به‌طوری‌که امتیازات بیشتر (خطاهای بیشتر) نشان‌دهنده تکنیک‌های فرود خطرناک بود. البته ۲ آیتم ۱۶ و ۱۷

1.....
2.....

3.....
4.....

5.....

به علت هم‌راستا نبودن با دیگر آیتم‌ها و به دلیل کلی بودن، در زمان تجزیه و تحلیل آماری حذف شدند (۳۳). در انتها میانگین امتیازات ۳ پرش به منزله امتیاز نهایی برای هر فرد ثبت شد.



شکل ۱. آزمون استاندارد پرش-فروود: نمای قدامی.



شکل ۲. آزمون استاندارد پرش-فروود: نمای جانبی.

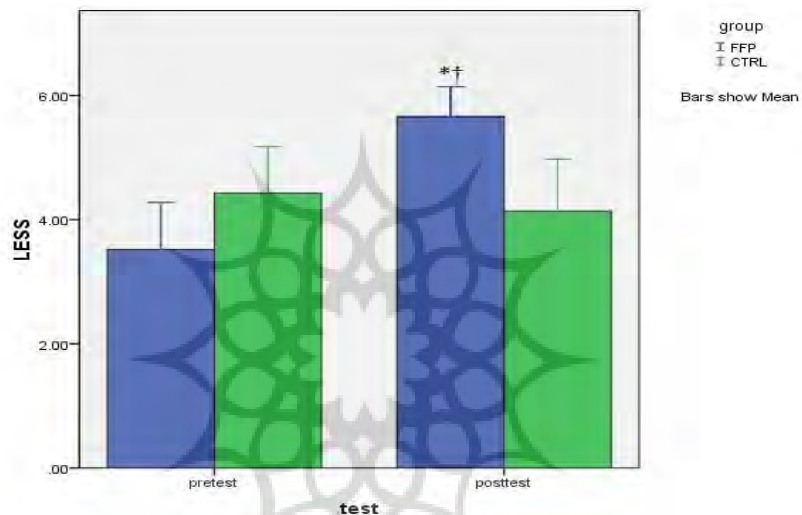
جهت تجزیه و تحلیل یافته‌ها از روش‌های آمار توصیفی (میانگین، انحراف معیار) استفاده شد. به منظور تعیین اثرات خستگی بر مکانیک فرود در گروه تجربی و اختلاف آن با گروه کنترل در آزمون امتیازدهی خطای فرود از آزمون تی مستقل و در سطح معنی داری $0.05 <$ استفاده گردید. همچنین به منظور مشاهده‌ی اینکه پروتکل خستگی بر کدام یک از آیتم‌های سیستم امتیازدهی خطای فرود تأثیر معنی داری داشته است، از روش تحلیل عاملی^۱ که یک روش آماری برای شناسایی نوع ارتباط میان متغیرهاست، استفاده شد. پس از اجرای این روش درباره آزمون امتیازدهی خطای فرود، ۵ گروه از خطاهای مرتبط شناسایی شد (۱۲): عامل (۱) کاهش فلکشن تنه، ران و زانو در صفحه ساجیتال و در لحظه اولین برخورد با زمین (آیتم‌های ۱، ۲ و ۳)؛ عامل (۲) والگوس زانو و عریض بودن سطح تکیه در لحظه اولین برخورد با زمین (آیتم‌های ۴، ۵ و ۷)؛ عامل (۳) چرخش پا به خارج و خم شدن زانوها در لحظه اولین برخورد با زمین (آیتم‌های ۱۰ و ۱)؛ عامل (۴) فرود با پاشنه پا و برخورد نامتقارن پا با زمین (آیتم‌های ۴ و ۱۱) و عامل (۵) کم بودن فلکشن تنه، ران و زانو در صفحه ساجیتال روی سطح تکیه (آیتم‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴). امتیازدهی به تک تک آیتم‌ها به این صورت بود که به حرکت صحیح

1.....

عدد صفر و به حرکت غلط عدد ۱ تعلق می‌گرفت و در پایان، میانگین نمره‌های هر ۳ تلاش برای هر حرکت ثبت می‌شد. پس از بررسی این عوامل در باب همه آزمودنی‌ها و به منظور تجزیه و تحلیل کمی یافته‌ها، از آزمون غیرپارامتریک -مان ویتنی و در سطح معنی‌داری $0.05 <$. به کار گرفته شد.

یافته‌ها

نمودار ۱، نمره‌های میانگین و انحراف استاندارد آزمون امتیازدهی خطای فرود را به ترتیب در پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه‌های تجربی و کنترل نشان می‌دهد.

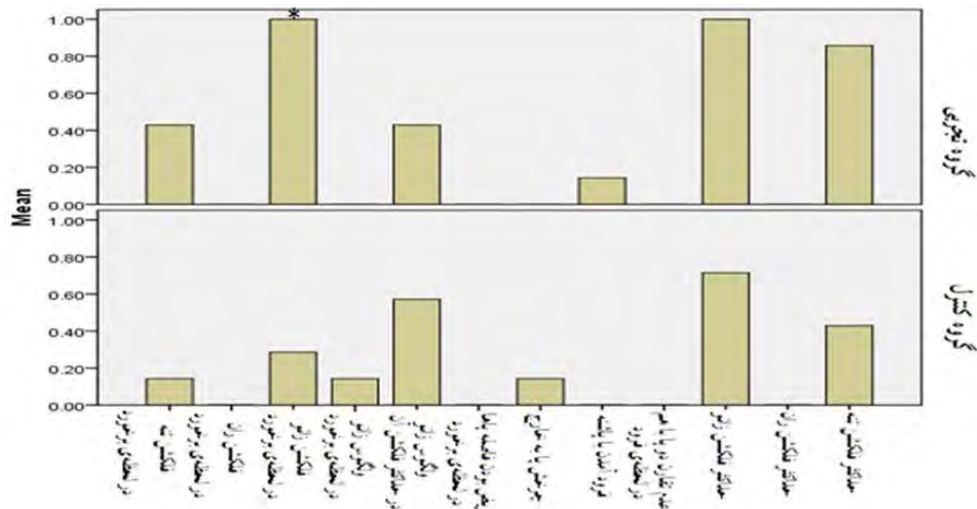


نمودار ۱. امتیاز پیش‌آزمون و پس‌آزمون در دو گروه تجربی (. . .) و کنترل (. . .) .

* نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار میان نمرات پیش‌آزمون و پس‌آزمون گروه تجربی.

† نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار میان نمره‌های گروه تجربی و گروه کنترل.

نتایج به دست آمده مبین این موضوع بود که گروه تجربی پس از اجرای پروتکل خستگی عملکردی، امتیازات بیشتری از آزمون امتیازدهی خطای فرود را به خود اختصاص دادند (عملکرد بدتری در زمان فرود داشتند) که نسبت به گروه کنترل معنی‌دار بود (.). میانگین نمره مجموع آزمون امتیازدهی خطای فرود در گروه تجربی 5.66 ± 0.76 و در گروه کنترل 4.13 ± 1.34 بود (نمودار ۱). همچنین نتایج به دست آمده از بررسی این موضوع که پروتکل خستگی عملکردی، بر کدامیک از آیتم‌های آزمون امتیازدهی خطای فرود تأثیر معنی‌داری داشته است، نشان داد که این اثر میزان فلکشن زانو در لحظه اولین برخورد با زمین معنادار بوده است (.). یافته‌های حاصل از بررسی این موضوع، در نمودار ۲ ارائه شده است.



نمودار ۲. نتایج بررسی تأثیر پروتکل خستگی عملکردی بر آیتم‌های
* نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار میان گروه تجربی و کنترل.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اعمال خستگی عملکردی در افراد موجب تضعیف تکنیک فرود و در نتیجه افزایش خطر بروز آسیب خواهد شد.

بحث

هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر خستگی عملکردی ناشی از ورزش بر مکانیک فرود و با استفاده از سیستم امتیازدهی خطای فرود بود. مطالعات اندکی به بررسی اثر خستگی بر مکانیک فرود پس از پرش پرداخته‌اند و از میان آنها فقط دو مطالعه تأثیر پروتکل خستگی عملکردی راه که به شبیه‌سازی فعالیت‌های انجام‌شده در خلال ورزش می‌پردازد، تحت بررسی قرار داده‌اند (۳۴،۳۶). تحقیق حاضر اولین تحقیقی است که از سیستم امتیازدهی خطای فرود جهت بررسی مکانیک فرود به دنبال اجرای پروتکل خستگی عملکردی پرداخته است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر مبین وجود ارتباط میان بروز خستگی و تضعیف مکانیک فرود و در نتیجه افزایش خطر بروز آسیب است. همچنین مشخص شد که اثر خستگی بر کاهش میزان فلکشن زانو در لحظه اولین برخورد با زمین معنی‌دار بوده است که این موضوع بدین معناست که پروتکل خستگی عملکردی، که در تحقیق حاضر از آن استفاده شده است، باعث بروز خستگی و انعطاف‌ناپذیری بیشتری در عضلات زانو نسبت به دیگر مفاصل می‌شود.

نتایج تحقیق حاضر با برخی مطالعات پیشین هم‌خوانی دارد. پاپاس و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر خستگی عملکردی و جنسیت را بر بیومکانیک فرود پس از پرش در دختران و پسران ورزشکار بررسی کردند و دریافتند که خستگی آثار معنی‌دار اما کمی بر متغیرهای بیومکانیکی فرود دارد که با یافته‌های تحقیق حاضر همخوان است (۳۴). فاگنباوم و همکاران (۲۰۰۳) پس از بررسی اثر خستگی بر بیومکانیک فرود به نتایج مشابهی دست یافتند، اما آنان از پروتکل خستگی ایزوکیتیک استفاده کرده بودند که شباهتی به خستگی در حین بازی ندارد (۳۰). چپل و همکاران (۲۰۰۵) بیان کردند که پروتکل خستگی ناشی از حرکات تکراری، موجب تغییر راهبردهای کنترل حرکتی در اندام تحتانی و در نهایت منجر به فشار روی رباط

مقاطع قدامی و خطر آسیب در هر دو جنس می‌شود (۳۵). پادا و همکاران (۲۰۰۶) اثر خستگی را روی خشکی عمودی پا و راهبردهای کنترل خشکی با استفاده از اسکات‌های مکرر همراه با وزنه‌های برابر با یک سوم وزن فرد به عنوان پروتکل خستگی عملکردی سنجیدند و دریافتند که افراد پس از خستگی بیشتر به راهبردهای مچ محور روی می‌آورند و به عضلات مچ پا بیشتر از عضلات زانو متکی می‌شوند که این موجب بروز ناپایداری در زانو و افزایش خطر آسیب دیدگی رباط متقاطع قدامی خواهد شد (۲۹). در مقابل، مادیگان و همکاران (۲۰۰۳) به نتایج متفاوتی دست یافتند. آنها اثر خستگی را بر نیروی ضربه زمین و کینماتیک و کینتیک فرود با استفاده متوالی از دو فرود روی یک پا و سه اسکات روی یک پا به طور متناوب بررسی کردند. نتایج این تحقیق حاکی از کاهش نیروی ضربه زمین و افزایش حداکثر فلکشن مفصل در هنگام فرود پس از اعمال خستگی بود. محققان علت این موضوع را در نوع پروتکل خستگی به کار رفته دانستند و آنان بیان کردند از آنجایی که مطالعات دیگر از انواع پروتکل‌های خستگی استفاده کردند که شامل فعالیت‌های مختلف (دویدن، توقف سریع، مانورهای برشی) و الگوهای خستگی مختلف بود، پس مقایسه نتایج آنان با نتایج این تحقیق، درست به نظر نمی‌رسد (۳۶).

درحقیقت، الگوهای حرکتی در شمار عوامل مهم و اصلاح‌پذیری هستند که می‌توانند خطر آسیب رباط متقاطع قدامی و دیگر آسیب‌های اندام تحتانی را از طریق دگرگون‌ساختن بارها و نیروهای مختلف وارد بر آنها، تحت تأثیر قرار دهند. الگوهای حرکتی خاصی که به طور معمول در خلال آسیب دیدگی رباط متقاطع قدامی و اندام تحتانی اتفاق می‌افتند، شامل کاهش میزان فلکشن زانو، ران و تنه در صفحه ساجیتال، با افزایش والگوس زانو و چرخش پا همراه هستند. اما در این میان، کاهش زاویه فلکشن زانو به میزان چشمگیری موجب افزایش ورود بار بر رباط متقاطع قدامی می‌شود، چراکه انقباض عضلات چهارسر در زوایای کمتر فلکشن زانو (۰-۳۰°) می‌تواند نیروهای برشی^۱ بسیار زیادی در قسمت قدامی درشت‌نی ایجاد کند که این نیروها قادرند تا سطوح بالایی از بار را روی رباط متقاطع قدامی وارد کنند. وجود والگوس در زانو و چرخش در پا نیز می‌تواند سبب ورود بار بر رباط متقاطع قدامی شود، اما این میزان در مقابل نیروی برشی ایجاد شده در قسمت قدامی درشت‌نی کمتر است (۳۳). همان‌گونه که پیش از این گفتیم، یافته‌ها نشان می‌دهد افزایش زاویه فلکشن زانو در لحظه برخورد نخست پا با زمین می‌تواند نیروهای ضربه‌ای و بار وارد بر زانو را طی حرکات فرود کاهش دهد (۲۰). بدین ترتیب، خلاف این موضوع، یعنی کاهش زاویه فلکشن زانو در لحظه برخورد نخست پا با زمین، در ارتباط مستقیم با افزایش فشار بر رباط متقاطع قدامی و در نتیجه افزایش احتمال وقوع آسیب دیدگی در این رباط است.

در تحقیق حاضر، فرض بر این بود که خستگی می‌تواند الگوهای فرود را دگرگون کند و در نتیجه خطر بروز آسیب به اندام تحتانی را افزایش دهد. در واقع خستگی از ترکیبی از سازوکارهای فیزیولوژیکی ناشی می‌شود که در دو سطح مرکزی و موضعی رخ می‌دهند و به منزله کاهش در ظرفیت تولید حداکثر نیرو، بدون توجه به نیروی لازم در وضعیت موجود شناخته می‌شود (۲۳). بخش موضعی خستگی به کاهش فعالیت دوک‌های عضلانی در پاسخ به مواد متابولیکی و التهابی مانند برادیکینین، اسید آراشیدونیک، پروستاگلاندین‌ها و اسیدلاکتیک مربوط است (۴۳) و جزء مرکزی آن، نوع عمومی تری

1.....

ضمیمه ۱. آیتم‌های امتیاز دهی

LESS Item Scoring

LESS Item	Operational Definition	Camera View	Error Condition	LESS Score
1	Knee flexion angle at initial contact At the time point of initial contact, if the knee of the test leg is flexed more than 30 degrees, score YES. If the knee is not flexed more than 30 degrees, score NO.	Side	No	Y=0 N=1
2	Hip flexion angle at initial contact At the time point of initial contact, if the thigh of the test leg is in line with the trunk then the hips are not flexed and score NO. If the thigh of the test leg is flexed on the trunk, score YES.	Side	No	Y=0 N=1
3	Trunk flexion angle at initial contact At the time point of initial contact, if the trunk is vertical or extended on the hips, score NO. If the trunk is flexed on the hips, score YES.	Side	No	Y=0 N=1
4	Ankle plantar-flexion angle at initial contact If the foot of the test leg lands toe to heel, score YES. If the foot of the test leg lands heel to toe or with a flat foot, score NO.	Side	No	Y=0 N=1
5	Knee valgus angle at initial contact At the time point of initial contact, draw a line straight down from the center of the patella. If the line goes through the midfoot, score NO. If the line is medial to the midfoot, score YES.	Front	Yes	Y=1 N=0
6	Lateral trunk flexion angle at initial contact At the time point of initial contact, if the midline of the trunk is flexed to the left or the right side of the body, score YES. If the trunk is not flexed to the left or right side of the body, score NO.	Front	Yes	Y=1 N=0
7	Stance width – Wide Once the entire foot is in contact with the ground, draw a line down from the tip of the shoulders. If the line on the side of the test leg is inside the foot of the test leg then score greater than shoulder width (wide), and score YES. If the test foot is internally or externally rotated, grade the stance width based on heel placement.	Front	Yes	Y=1 N=0
8	Stance width – Narrow Once the entire foot is in contact with the ground, draw a line down from the tip of the shoulders. If the line on the side of the test leg is outside of the foot then score less than shoulder width (narrow), score YES. If the test foot is internally or externally rotated, grade the stance width based on heel placement.	Front	Yes	Y=1 N=0
9	Foot position – Toe In If the foot of the test leg is internally rotated more than 30 degrees between the time period of initial contact and max knee flexion, then score YES. If the foot is not internally rotated more than 30 degrees between the time period of initial contact to max knee flexion, score NO.	Front	Yes	Y=1 N=0
10	Foot position – Toe Out If the foot of the test leg is externally rotated more than 30 degrees between the time period of initial contact and max knee flexion, then score YES. If the foot is not externally rotated more than 30 degrees between the time period of initial contact to max knee flexion, score NO.	Front	Yes	Y=1 N=0

LESS Item	Operational Definition	Camera View	Error Condition	LESS Score
11	Symmetric initial foot contact If one foot lands before the other or if one foot lands heel to toe and the other lands toe to heel, score NO. If the feet land symmetrically, score YES.	Front	No	Y=0 N=1
12	Knee flexion displacement If the knee of the test leg flexes 45 degrees more than the angle at the position of initial contact to max knee flexion, score YES. If the knee of the test leg does not flex more than 45 degrees, score NO.	Side	No	Y=0 N=1
13	Hip flexion at max knee flexion If the thigh of the test leg flexes more on the trunk from initial contact to max knee flexion angle, score YES. If the thigh does not flex more on the trunk, score NO.	Side	No	Y=0 N=1
14	Trunk flexion at max knee flexion If the trunk flexes more from the point of initial contact to max knee flexion, score YES. If the trunk does not flex more, score NO.	Side	No	Y=0 N=1
15	Knee valgus displacement At the point of max knee valgus on the test leg, draw a line straight down from the center of the patella. If the line runs through the great toe or is medial to the great toe, score YES. If the line is lateral to the great toe, score NO.	Front	Yes	Y=1 N=0
16	Joint displacement Watch the sagittal plan motion at the hips and knees from initial contact to max knee flexion angle. If the subject goes through large displacement of the trunk, hips, and knees then score SOFT. If the subject goes through some trunk, hip, and knee displacement, but not a large amount, score AVERAGE. If the subject goes through very little, if any trunk, hip, and knee displacement, score STIFF.	Side	Average or Stiff (double penalty for Stiff)	Soft=0 Avg=1 Stiff=2
17	Overall impression Score EXCELLENT if the subject displays a soft landing and no frontal plane motion at the knee. Score POOR if the subject displays a stiff landing and large frontal plane motion at the knee. All other landings, score AVERAGE.	Side, Front	Average or Poor (double penalty for Poor)	Ex=0 Avg=1 Poor=2