

مقایسه سفتی اندام تحتانی و حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین طی حرکت روی سطوح الاستیک پهن با سفتی‌های مختلف با تأکید بر آگاهی از میزان سفتی

عباس فرجاد پزشک^۱، حیدر صادقی^۲، محمد شریعت‌زاده^۳، زهرا صفایی‌پور^۴

۱. دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران

۲. استاد بیومکانیک ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران

۳. استادیار فیزیولوژی ورزشی، پژوهشگاه تربیت بدنی و علوم ورزشی*

۴. استادیار دانشکده ارتوپدی فنی دانشگاه علوم بهزیستی و توانبخشی تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۷/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۲۵

چکیده

هدف از این پژوهش، مقایسه سفتی اندام تحتانی و حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین طی حرکت روی سطوح الاستیک پهن با تأکید بر آگاهی از میزان سفتی بود. بدین منظور، سفتی اندام تحتانی و نیروی عکس‌العمل زمین ۳۰ مرد جوان در تکالیف هاپینگ و فرود از سکوی پنج سطح با سفتی ۲۰۰ تا ۵۰۰ کیلو نیوتن بر متر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج آزمون آنالیز واریانس نشان می‌دهد که بین سفتی اندام در سطوح مختلف و نیز قبل و بعد از آشنایی با سطح، تفاوت معناداری وجود دارد. با توجه به یافته‌های این پژوهش مشخص می‌شود که انسان برخلاف اجسام، هنگام برخورد با سطحی جدید، خود را با آن منطبق می‌کند تا از این طریق و بسته به تکلیف مورد نظر، دینامیک طبیعی مرکز جرم و بازده حرکت حفظ شده و نیروها تعدیل گردند.

واژگان کلیدی: سفتی اندام، سطح الاستیک پهن، نیروی عکس‌العمل زمین، هاپینگ، فرود از پرش

مقدمه

کفپوش‌های ورزشی باید بتوانند تقاضاهای زیادی از جمله قابلیت کاهش آسیب‌های مرتبط با سطح، بهبود بازده حرکت و ارتقای عملکرد را تأمین کنند. در برخی از مطالعات بر اهمیت سطح ورزشی به‌عنوان یک پتانسیل بالقوه در فرکانس و شدت آسیب‌های ورزشی تأکید شده است (۵-۱)؛ به‌نحوی که در اغلب این مطالعات، بر تأثیر سطوح الاستیک نقطه‌ای (سطوحی که هنگام نیروی اعمالی به‌صورت موضعی تغییر شکل پیدا می‌کنند) که اغلب در ساخت پیست‌های دو و میدانی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۰-۶)، تمرکز شده است و تعداد محدودی از پژوهش‌ها در خصوص اثر سطوح الاستیک پهن (سطوحی که هنگام اعمال نیرو در سطح وسیعی دستخوش تغییر شکل می‌شوند) که برای ساخت کفپوش سالن‌های ورزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد به انجام رسیده است (۱۲، ۱۱).

با توجه به این که یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مرتبط با سطح ورزشی که می‌تواند بر آسیب‌های مرتبط تأثیر بگذارد، اثر سطح در نیروی عکس‌العمل عمودی زمین و ضربه ناشی از این نیرو می‌باشد (۱۵-۱۳)، هرگونه اقدام در جهت کاهش و پیشگیری از آسیب‌های ناشی از این اعمال نیرو می‌تواند با ارزش تلقی شود. طبق اصول مکانیکی، سقوط جسم روی سطح نرم‌تر به دلیل افزایش زمان تماس، موجب کاهش اوج نیروی اعمالی بر اندام شده و نیرو طی زمان بیشتری بر اندام وارد می‌شود؛ از این رو، در صورت فرود فرد روی سطوح نرم، نیروی کمتری می‌بایست بر وی اعمال گردد (۱۶). با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که استفاده از کفش یا کفی نرم، هیچ‌گونه تأثیری در کاهش نیروهای اعمالی نداشته و در برخی موارد، افزایش نیرو نیز مشاهده شده است (۱۹-۱۷). در پژوهش استافیلیدیس و آرامپاتزیس^۱ (۲۰)، بین حداکثر نیروی اعمالی بر اندام دوندگان در هنگام دوی سرعتی روی سطح نرم و سخت، هیچ‌گونه تفاوتی مشاهده نشد. از سوی دیگر، در پژوهش بالتیچ^۲ و همکاران (۲۱) چنین نشان داده شد که استفاده از کفش با سفتی کمتر موجب افزایش نیروی عکس‌العمل عمودی زمین می‌شود.

از آنجایی که یکی از تفاوت‌های اصلی میان بدن انسان و اجسام صلب در قابلیت سازگاری و تنظیم عملکرد در شرایط مختلف می‌باشد، مشاهده رفتار متفاوت انسان هنگام حرکت روی سطوح با سفتی مختلف، امری طبیعی است. بر همین اساس، برخی از مطالعات به این نکته اشاره کرده‌اند که در صورتی که انسان روی سطحی با سفتی زیاد حرکت کند، سفتی اندام خود را کاهش داده و برعکس، هنگامی که روی سطحی با سفتی کم حرکت می‌کند، سفتی اندام خود را افزایش می‌دهد (۲۴-۲۲). این تغییر در رفتار فرد به‌منظور جبران تغییرات سطح با هدف حفظ الگوی طبیعی حرکت مرکز جرم و در پی آن کاهش انرژی مصرفی انجام می‌شود. پژوهشگران ریشه این تغییر را در تغییر واکنش فرد

1. Stafilidis and Arampatzis

2. Baltich

به دنبال فرود روی سطوح مختلف دانسته‌اند؛ بدین صورت که فرد در هنگام حرکت روی سطح نرم، سفتی مفاصل و سفتی اندام خود را تغییر می‌دهد که این افزایش در سفتی اندام به تبادل بهتر نیرو بین اندام و سطح و برعکس کمک کرده و موجب افزایش نیروی برگشتی از سوی زمین به فرد می‌شود. در این شرایط، چنین فرض می‌شود که فرد به صورت آگاهانه هنگام فرود روی سطح با سفتی کمتر، سفتی اندام خود را افزایش می‌دهد و به همین نسبت نیروهای اعمالی بر اندام نیز ممکن است افزایش یابد؛ عاملی که به نظر نمی‌رسد هنگام فرود روی سطحی با سفتی نامعلوم به چشم بخورد. در همین راستا، بالتیچ و همکاران (۲۱) مدعی شدند که هنگام حرکت با استفاده از کفش با کفی نرم‌تر، به دلیل افزایش سفتی مفصل و در پی آن افزایش سفتی اندام، نیروی عکس‌العمل عمودی بیشتری به اندام فرد اعمال می‌شود. با این حال، در خصوص تأیید این فرض در هنگام حرکت روی سطوح با سفتی مختلف نزدیک به سفتی سطوح کفی‌های سالن‌های ورزشی از نوع الاستیک پهن، مطالعات چندانی موجود نمی‌باشد؛ لذا، هدف از پژوهش حاضر، مقایسه سفتی اندام تحتانی و حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین طی حرکت روی سطوح الاستیک پهن با تأکید بر آگاهی از میزان سفتی بود.

روش پژوهش

پژوهش حاضر از نوع مطالعات نیمه‌تجربی با طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون و مدل تأثیرسنجی می‌باشد و جهت انجام آن ۳۰ مرد بالغ سالم (در دامنه سنی ۱۸-۳۵ سال با میانگین (انحراف استاندارد) قد و وزن (به ترتیب) ۱۷۵ (۱۴) و ۷۲ (۱۶) فاقد هرگونه آسیب و ناهنجاری تأثیرگذار بر الگوی حرکتی، به صورت نمونه در دسترس انتخاب شده و در پژوهش شرکت نمودند. برای آماده‌سازی سطوح مختلف از روشی مشابه با فریس و فیروی^۱ (۲۲)، فیروی و همکاران (۲۳) و مارکز^۲ و همکاران (۲۵) استفاده شد. بدین منظور، فنرهایی با ضریب سفتی معلوم، زیر تخته‌ای از جنس نئوپان (در ابعاد ۴۰*۴۰) قرار گرفت. برای سطحی‌ترین لایه روی سطح نئوپان از روکشی از جنس پارکت استفاده شد. فنرها نیز از طریق اتصال پیچ و مهره به پیرامون تخته متصل شدند تا شرایط سطوح ورزشی الاستیک پهن را شبیه‌سازی نمایند. شایان‌ذکر است که تعداد و سفتی فنرها، میزان سفتی سطح را تعیین می‌کند (۲۲-۲۵). نحوه آرایش فنرها در زیر سطح در تصویر شماره یک به نمایش درآمده است.

-
1. Ferris and Farley
 2. Marquez

☆ ۱۰۰	☆ ۵۰	☆ ۱۰۰	☆ ۱۰۰	☆ ۱۰۰	☆ ۵۰	☆ ۱۰۰	☆ ۵۰	☆ ۵۰
☆ ۱۰۰		☆ ۱۰۰		☆ ۱۰۰		☆ ۱۰۰		☆ ۱۰۰
☆ ۱۰۰	☆ ۵۰	☆ ۱۰۰	☆ ۱۰۰	☆ ۱۰۰	☆ ۱۰۰	☆ ۵۰		☆ ۱۰۰

تصویر ۱- نحوه آرایش فنرها زیر سطح
عدد نشان‌دهنده میزان سفتی فنر موردنظر است.

فرایند اندازه‌گیری در این پژوهش در آزمایشگاه بیومکانیک ورزشی پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی انجام شد. برای اندازه‌گیری نیروی عکس‌العمل عمودی زمین از صفحه نیروا ساخت کشور آمریکا در فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز استفاده شد. مراحل انجام کار بدین‌صورت بود که سطوح روی صفحه نیرو قرار داده می‌شدند و سپس، برای اندازه‌گیری سفتی اندام و نیروی عکس‌العمل عمودی زمین، فرد دو تکلیف هاپینگ و فرود از پرش را روی هر کدام از چهار سطح فوق و نیز روی صفحه نیرو انجام می‌داد. ابتدا، آزمودنی سه تکرار از هر حرکت را روی سطح انجام می‌داد و پس از ثبت اطلاعات کینتیکی، دقایقی حرکات را به‌صورت تمرینی روی سطح موردنظر اجرا می‌کرد تا با سطح آشنایی پیدا کند و مجدداً حرکات موردنظر مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. اجرای هاپینگ در هر تکرار بدین‌شکل بود که ابتدا، مترونومی با فرکانس ۲/۲ هرتز شروع به نواختن می‌کرد و سپس، آزمودنی‌ها در فرکانس فوق در هر تکرار ۱۵ هاپ را اجرا می‌نمودند. مراحل فوق در سه تکرار روی هر کدام از سطوح اجرا گردید. برای اجرای حرکت فرود، فرد بالای سکویی به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر می‌رفت و پس از جلوگیری یک پا، پای دیگر را از روی سکو رها می‌کرد و سپس، به‌صورت دوپا روی هر کدام از پنج سطح فرود می‌آمد. قبل و بعد از آشنایی با سطح، سه تکرار از هر آزمودنی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. علاوه‌براین، به‌منظور مقایسه رفتار انسان با جسم غیرزنده، روی هر کدام از سطوح، تویی طبی با جرم سه کیلوگرم از ارتفاع یک متری روی هر کدام از سطوح پرتاب می‌شد. پس از اندازه‌گیری اطلاعات، داده‌ها به‌صورت بصری مورد بررسی قرار گرفتند تا اطلاعات صحیح بوده و به اشتباه وارد نشده باشند. ذکر این نکته ضرورت دارد که متغیرهای وابسته این پژوهش، حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین و سفتی اندام تحتانی بود و حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین، همان پیک نمودار نیروی عکس‌العمل عمودی زمین می‌باشد.

با فرض در نظر گرفتن ماهیت فنر خطی بودن کل اندام با ضریب سفتی معین، حداکثر نیروی عکس‌العمل زمان باید متناظر با حداکثر تغییر شکل اندام باشد (۲۲)؛ از این رو، برای محاسبه سفتی عمودی اندام، حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی در هنگام تماس پا با سطح پا، تقسیم بر حداکثر تغییر طول عمودی اندام گردید (۲۲). تغییر طول عمودی اندام نیز با استفاده از جابه‌جایی عمودی مرکز جرم تخمین زده شد؛ بدین صورت که از اطلاعات نیروی عکس‌العمل زمین، دوبار انتگرال‌گیری به عمل آمد.

$$a_{\text{comz}} = F_z / m$$

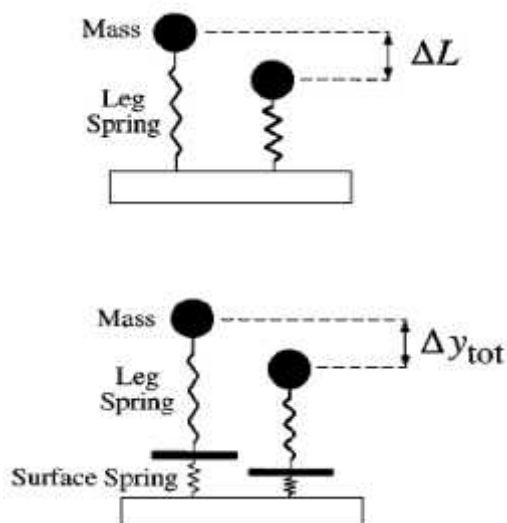
$$V_{\text{comz}} = \Delta t \left(\frac{a_1 + a_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} a_i \right)$$

$$d_{\text{comz}} = \Delta t \left(\frac{V_1 + V_n}{2} + \sum_{i=2}^{n-1} V_i \right)$$

$$K_{\text{leg}} = \frac{F_{\text{peak}}}{\Delta L}$$

در این بخش، a_{comz} شتاب خطی مرکز جرم در راستای محور z و یا عمود، F_z نیروی عکس‌العمل عمودی زمین، m جرم آزمودنی، V_{comz} سرعت خطی مرکز جرم، t بازه زمانی بین دو دیتا پوینت (در این جا ۰/۱۰۰ ثانیه)، d_{comz} جابه‌جایی مرکز جرم در راستای محور عمودی و یا z و K_{Leg} سفتی کل سیستم اندام تحتانی می‌باشد. همچنین، F_{peak} حداکثر نیروی اعمالی و L حداکثر تغییر طول مرکز جرم در زمانی مشابه با زمان اعمال حداکثر نیرو است. قابل ذکر است که از معادله فوق تنها در سطوح سخت می‌توان استفاده نمود. با این حال، در سطوح فنری که تغییر طول مرکز جرم، حاصل تغییر طول اندام و سطح می‌باشد، برای محاسبه سفتی عمودی می‌بایست از روش زیر استفاده نمود (تصویر شماره دو).

$$K_{\text{total}} = \frac{F_{\text{peak}}}{\Delta y_{\text{tot}}}$$



تصویر ۲- روی سطح کاملاً سفت، حرکت عمودی مرکز جرم تنها ناشی از تغییر طول اندام تحتانی است. با این حال روی سطح فنری، حرکت عمودی مرکز جرم ناشی از حرکت مرکز جرم به همراه حرکت سطح به سمت پایین می‌باشد.

در این قسمت، تغییر طول کل سیستم (اندام - سطح)^۱ با استفاده از انتگرال‌گیری از نمودار نیروی عکس‌العمل عمودی زمین محاسبه می‌شود (۱۰، ۱۱، ۱۳). با توجه به معلوم بودن سفتی سطح، تغییر طول سطح از طریق رابطه زیر مورد محاسبه قرار گرفت:

$$\Delta y_{surf} - \Delta y_{tot} = \Delta L$$

حاصل این معادله، تغییر طول سطح^۲ می‌باشد. تغییر طول سطح را می‌توان از طریق تقسیم حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین بر سفتی سطح تعیین نمود. سپس، با استفاده از تفریق تغییر طول کلی از تغییر طول سطح، به تغییر طول اندام دست پیدا می‌کنیم و از طریق تقسیم حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین بر تغییر طول اندام می‌توانیم به ضریب سفتی عمودی اندام دست یابیم.

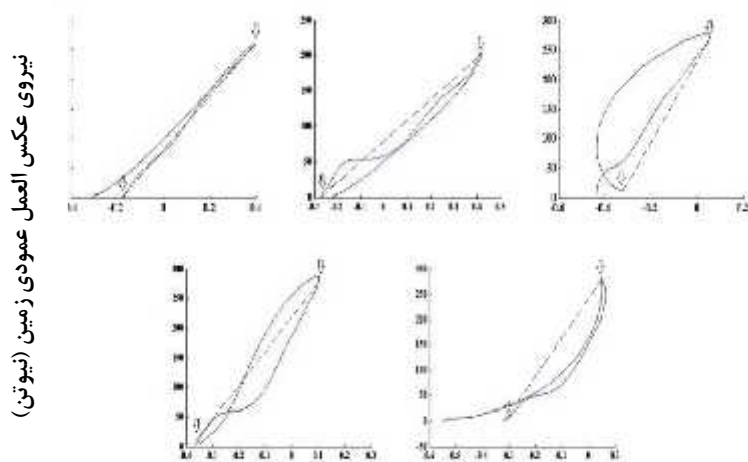
علاوه بر این از آمار توصیفی، میانگین و انحراف استاندارد برای توصیف اطلاعات استفاده شد و آزمون کولموگروف اسمیرنوف جهت اطلاع از چگونگی توزیع اطلاعات به کار رفت. آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر نیز برای محاسبه تفاوت بین اثر سطوح مختلف مورد استفاده قرار گرفت. همچنین،

1. y_{Total}
2. y_{surf}

از آزمون تی زوجی برای مقایسه سفتی و نیروی عکس‌العمل زمین بین سطوح مختلف، قبل و بعد از آشنایی با سطح استفاده شد ($P < 0/05$).

نتایج

در تصویر شماره یک، نمودار تغییرات نیروی عکس‌العمل زمین در برابر تغییرات ارتفاع عمودی مرکز جرم طی اجرای هاپینگ در پنج تکرار به نمایش درآمده است. میانگین، انحراف استاندارد و نتایج آزمون آنالیز واریانس در خصوص مقایسه حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین و سفتی اندام تحتانی در پنج سطح مختلف به ترتیب در جدول شماره یک ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که به دنبال افزایش سفتی سطح، نیروی عکس‌العمل عمودی زمین و سفتی اندام کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج آزمون آنالیز واریانس حاکی از این مطلب است که در آزمون هاپینگ، در پی آشنایی با سطح، سفتی اندام افزایش ($P < 0/05$) یافته و در آزمون فرود از سکو به دنبال آشنایی با سطح، سفتی اندام کاهش می‌یابد ($P < 0/05$).



تغییر ارتفاع عمودی مرکز جرم (متر)

شکل ۳- نمودار تغییرات نیروی عکس‌العمل عمودی زمین در برابر تغییر ارتفاع عمودی مرکز جرم طی

اجرای پنج هاپ

خط‌چین نشان‌دهنده شیب نمودار بوده و برابر با سفتی اندام تحتانی است (خطوط فرضی بوده و ارتباطی با سفتی محاسبه شده ندارند)

جدول ۱- میانگین، انحراف استاندارد و سطح معناداری آزمون آنالیز واریانس حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین و سفتی اندام تحتانی در پنج سطح مختلف

تکلیف	نیرو (نیوتن)		سفتی (کیلو نیوتن بر متر)		
	فرود	هاپینگ	فرود	هاپینگ	
۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر	قبل آشنایی	۲۲۶۱/۷۰ (۲۱)	۲۴۲۴/۷۷ (۳۵)	۲۳/۶۳ (۲/۳)	۷۵/۲۵ (۱۵/۶)
	بعد آشنایی	۲۵۷۴/۹۹ (۳۱)	۲۴۳۵/۸۴ (۲۴)	۲۸/۴۸ (۳/۱)	۸۲/۵۷ (۱۶)
آلفا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰
۳۰۰ کیلو نیوتن بر متر	قبل آشنایی	۱۸۳۳/۰۷ (۱۹)	۳۰۶۰/۲۹ (۴۸)	۱۴/۸۰ (۳/۱)	۱۰۸/۹ (۲۱/۲)
	بعد آشنایی	۲۵۵۸/۹۶ (۳۶)	۲۴۱۱/۰۳ (۲۷)	۲۷/۶۹ (۴/۶)	۸۸/۳۱ (۱۸/۵)
آلفا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۴۰۰ کیلو نیوتن بر متر	قبل آشنایی	۱۹۱۶/۹۷ (۲۰)	۲۸۳۶/۲۶ (۳۲)	۱۵/۰۹ (۳/۲)	۱۰۷/۴۳ (۱۹)
	بعد آشنایی	۲۳۵۷/۳۵ (۲۶)	۱۹۸۴/۳۷ (۱۶)	۲۵/۳۴ (۴/۲)	۹۹/۲۱ (۱۷/۸)
آلفا	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۵۰۰ کیلو نیوتن بر متر	قبل آشنایی	۲۱۳۰/۴۳ (۲۰)	۲۶۰۶/۴ (۲۸)	۱۸/۶۷ (۵/۲)	۷۴/۴۶ (۱۹/۳)
	بعد آشنایی	۲۱۴۶/۵۲ (۲۵)	۲۸۱۳/۰۴ (۲۶)	۱۹/۲۴ (۳/۶)	۹۴/۳۹ (۲۲/۳)
آلفا	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۳۵۰۰ کیلو نیوتن بر متر	۲۳۰۹/۴۳ (۲۲)	۲۳۵۲ (۲۲)	۲۳/۳۲ (۴/۲)	۷۴/۴۵ (۲۵/۱)	

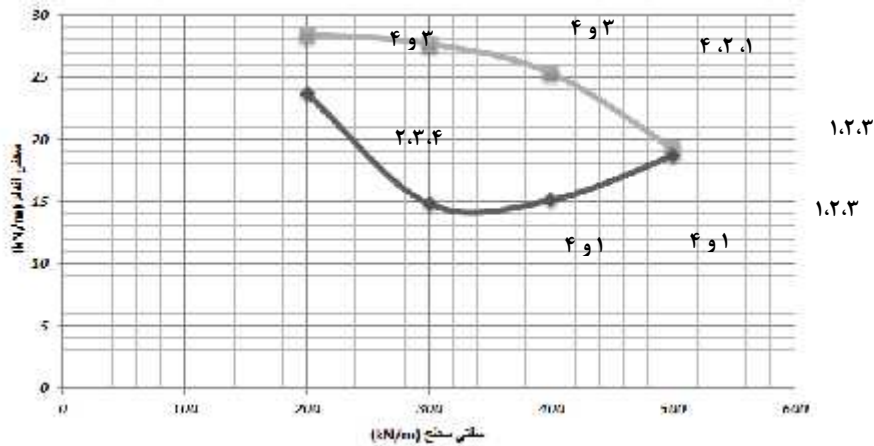
نتایج مربوط به آزمون سقوط توپ روی سطوح مختلف بعد از رهایی از ارتفاع یک متری در جدول شماره دو به نمایش درآمده است. نتایج آزمون سقوط توپ طبی نشان می‌دهد که در جسم غیرزنده، با افزایش سفتی سطح، نیروی عکس‌العمل زمین افزایش می‌یابد.

جدول ۲- حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین اعمالی بر وزنه‌ای سه کیلوگرمی

سطح	۲۰۰ کیلو نیوتن بر متر	۳۰۰ کیلو نیوتن بر متر	۴۰۰ کیلو نیوتن بر متر	۵۰۰ کیلو نیوتن بر متر
حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین	۲۰۴۳/۰۲	۲۱۵۴/۶	۲۳۹۶	۲۴۵۶/۵

در شکل شماره دو، یافته‌های مربوط به آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر در خصوص مقایسه بین سفتی اندام تحتانی در سطوح مختلف، قبل و بعد از آشنایی با سطح، طی اجرای حرکت هاپینگ

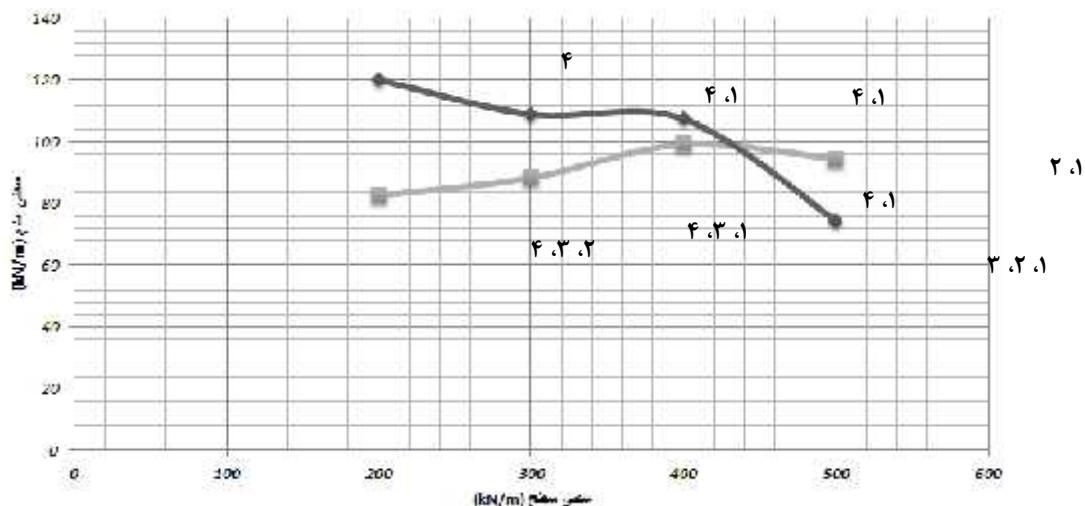
به نمایش درآمده است. در نمودار به خوبی روشن است که بین سفتی اندام تحتانی در اغلب سطوح تفاوت معناداری به چشم می‌خورد ($P < 0.05$)، اما این تفاوت بعد از آشنایی دارای الگوی خطی معینی می‌باشد.



شکل ۴- نمودار تغییر در سفتی اندام تحتانی به دنبال تغییر در سفتی سطح، قبل (تیره) و بعد (روشن) از آشنایی با سطح طی اجرای حرکت هایپینگ

اعداد نشان‌دهنده معناداری آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر بین سفتی در سطح موردنظر با سایر سطوح هستند ($P < 0.05$) (۱: ۲۰۰، ۲: ۳۰۰، ۳: ۴۰۰، ۴: ۵۰۰ کیلو نیوتن بر متر).

نتایج مربوط به آزمون آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر در خصوص مقایسه بین سفتی اندام تحتانی در سطوح مختلف، قبل و بعد از آشنایی با سطح طی اجرای حرکت فرود در تصویر شماره سه به نمایش درآمده است. با توجه به نمودار مشخص می‌شود که بین سفتی اندام تحتانی در اغلب سطوح تفاوت معناداری به چشم می‌خورد ($P < 0.05$)، اما این تفاوت بعد از آشنایی، بیشتر و خطی تر می‌باشد.



شکل ۵- نمودار تغییر در سفتی اندام تحتانی به دنبال تغییر در سفتی سطح، قبل (تیره) و بعد (روشن) از آشنایی با سطح طی اجرای حرکت فرود

اعداد نشان دهنده معناداری آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری مکرر بین سفتی در سطح مورد نظر با سایر سطوح هستند ($P < 0.05$) (۱: ۲۰۰، ۲: ۳۰۰، ۳: ۴۰۰، ۴: ۵۰۰ کیلونیوتن بر متر).

همچنین، نتایج مربوط به آزمون ضریب همبستگی پیرسون بین سفتی سطح و حداکثر نیروی عکس العمل عمودی زمین طی اجرای حرکت هاپینگ در جدول شماره سه ارائه شده است. این نتایج حاکی از آن است که در حرکت هاپینگ، ارتباط بین سفتی و حداکثر نیروی عکس العمل زمین بعد از آشنایی با سطح افزایش می یابد و در فرود از پرش بعد از آشنایی با سطح، این رابطه مثبت، منفی می شود.

جدول ۳- ضریب همبستگی پیرسون بین سفتی سطح و حداکثر نیروی عکس العمل عمودی زمین طی اجرای حرکت هاپینگ و فرود از سکو

حرکت	هاپینگ		فرود از سکو	
	قبل از آشنایی	بعد از آشنایی	قبل از آشنایی	بعد از آشنایی
ضریب همبستگی	-۰/۴۵۶	-۰/۹۲۸	+۰/۸۰	-۰/۹۰
سطح معناداری	۰/۰۶۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱

بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، مقایسه سفتی اندام تحتانی و حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین طی حرکت روی سطوح الاستیک پهن با تأکید بر آگاهی از میزان سفتی بود. نتایج این پژوهش، یافته‌های مطالعات قبلی مبنی بر افزایش سفتی اندام به‌دنبال کاهش سفتی سطح را تأیید می‌کند (۲۲-۲۴)؛ هرچند این مطلب در مورد آزمون‌های هاپینگ و فرود از پرش بعد از آشنایی با سفتی سطح آشکارتر بود. در این مطالعات تعامل سفتی سطح و اندام در سطوحی با سفتی بسیار کم بررسی شده است؛ سطوحی که از نظر سفتی (خیلی) نمی‌توانند کف‌پوش سالن‌های ورزشی را شبیه‌سازی نمایند. هرچند، مطالعات چندانی در زمینه بررسی اثر سفتی سطوح الاستیک پهن ورزشی روی سفتی اندام به‌چشم نمی‌خورد، اما در پژوهش استافیلیدیس و آرامپاتریس (۲۰) چنین نشان داده شد که سفتی در دامنه ۲۰۰-۴۰۰ کیلونیوتن بر متر نمی‌تواند تأثیر زیادی بر سفتی اندام تحتانی و نیروهای عکس‌العمل زمین داشته باشد؛ از این‌رو، نتایج این پژوهش در تناقض با یافته‌های پژوهش استافیلیدیس و آرامپاتریس (۲۰) می‌باشد. هرچند که این تناقض ممکن است ناشی از اختلاف در تکلیف اجرا شده باشد؛ به‌گونه‌ای که در پژوهش مذکور، تکلیف دویدن ارائه شد و در پژوهش حاضر، از هاپینگ و فرود به‌عنوان تکلیف استفاده گردید؛ با این حال، از آن جایی که هاپینگ به‌عنوان یک آزمون کامل جهت بررسی سفتی اندام تحتانی بهتر می‌تواند ویژگی‌های مکانیکی ساختارهای اندام تحتانی افراد را به تصویر بکشد (۲۵)، در این پژوهش از تکلیف هاپینگ استفاده شد و برای بررسی نیروهای اعمالی هنگام فرود، آزمون فرود از سکو مورد استفاده قرار گرفت.

در این راستا، نِیگ^۱ و همکاران (۲۷) عنوان کردند که آشنایی با سطح می‌تواند عاملی تأثیرگذار بر رفتار اندام هنگام مواجهه با سطح باشد. با این حال، مطالعه‌ای در مورد کنترل این عامل به‌چشم نمی‌خورد و در پژوهش‌های گذشته در حوزه تعامل سفتی اندام و سفتی سطح، در خصوص این متغیر صحبتی نشده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد آشنایی با سطح، تعیین‌کننده الگوی تعامل رفتار اندام تحتانی فرد با سطوح مختلف است؛ به طوری که با توجه به نمودار تغییر سفتی اندام در برابر تغییر سفتی سطح در تصویر شماره سه و چهار، در حالی که قبل از آشنایی با سطح، رابطه معینی بین سفتی سطح و سفتی اندام به‌چشم نمی‌خورد، بعد از آشنایی با سطح، رابطه خطی معکوس و قوی‌تری بین سفتی سطح و سفتی اندام به‌وجود می‌آید. این تغییر رفتار اندام در آزمون هاپینگ بعد از آشنایی به دلیل حفظ دینامیک طبیعی مرکز جرم و الگوی بهینه حرکت انجام می‌شود تا حداقل انرژی مکانیکی

برای اجرای حرکت صرف شود. به عبارت دیگر، افزایش سفتی اندام تحتانی هنگام حرکت روی سطح با سفتی کم بدین جهت انجام می‌شود که کاهش تغییر طول اندام تحتانی جبرانی برای تغییر طول سطح باشد و در حرکت عمودی مرکز جرم تغییری به وجود نیاید. از سوی دیگر هنگام فرود، کاهش سفتی اندام تحتانی به دنبال افزایش سفتی سطح می‌تواند واکنش اندام به دلیل افزایش زمان تماس، جذب نیرو و کاهش بروز آسیب باشد.

در خصوص بررسی نیروی عکس‌العمل عمودی زمین هنگام حرکت روی سطوح مختلف، نتایج این پژوهش در تأیید نتایج مطالعات پیشین (۱۷-۱۹) نشان داد که حرکت روی سطحی با سفتی پایین‌تر به دلیل افزایش سفتی اندام تحتانی، موجب افزایش نیروی عکس‌العمل زمین می‌شود. از آنجایی که در آزمون‌های هاپینگ و فرود، ضریب هم‌بستگی بین سفتی سطح و حداکثر نیروی عکس‌العمل زمین بعد از آشنایی با سطح افزایش دارد (برای هاپینگ $0.4-$ در برابر $0.9-$ و برای فرود $0.8/0.9$ در برابر $0.9/0.9$)، به نظر می‌رسد سیستم کنترل حرکتی فرد، رفته‌رفته شیوه مناسب برای تعامل با سطح را انتخاب می‌کند (عاملی که باید در مطالعات بعدی مدنظر قرار گیرد)؛ از این رو، به دلیل تعاملی که اندام پس از آشنایی با سطح با آن برقرار می‌کند، لزوماً نباید به اندام انسان به چشم جسمی مکانیکی نگریست و چنین استنباط نمود که سطح نرم‌تر لزوماً نیروهای کمتری را به دنبال دارد. همان‌طور که نتایج مربوط به آزمایش فرود توپ طبی روی سطوح مختلف در جدول شماره دو نشان داد، فرود توپ روی سطح با سفتی بیشتر، نیروی عکس‌العمل اعمالی بیشتری به توپ را به دنبال دارد؛ عاملی که در انسان (به ویژه بعد از آشنایی با سطح) به صورت معکوس به چشم می‌خورد.

یافته مهم دیگر این پژوهش، واکنش متفاوت اندام پس از آشنایی با آزمون‌های هاپینگ و فرود از پرش بود. نتایج مربوط به مقایسه سفتی اندام تحتانی قبل و بعد از آشنایی با سطوح مختلف، حاکی از افزایش سفتی اندام تحتانی پس از آشنایی بود. این یافته برخلاف نتایج پژوهش‌های انجام شده در خصوص تکلیف هاپینگ که عنوان کرده‌اند خستگی موجب کاهش سفتی اندام تحتانی می‌شود، می‌باشد (۲۶)؛ از این رو، به نظر می‌رسد تغییر مذکور علتی غیر از تأثیر خستگی داشته باشد و تغییر در استراتژی کنترل حرکتی پس از آشنایی موجب این تغییر شده باشد. باین حال، پژوهش‌های بیشتری به منظور بررسی منشا و علت این تغییر رفتار موردنیاز می‌باشد. از سوی دیگر، مقایسه آزمون فرود از پرش، قبل و بعد از آشنایی با سطح، برخلاف نتایج آزمون هاپینگ حاکی از این مطلب بود که پس از آشنایی با سطح، فرود با سفتی اندام کمتری صورت می‌گیرد. علت این تغییر در استراتژی فرود فرد می‌تواند به این دلیل باشد که فرد پس از آشنایی با سطح و نیروهای اعمالی، به منظور تعدیل نیروها، سفتی اندام خود را کاهش می‌دهد تا از طریق زمان تماس، افزایش یافته و نیروهای کمتری اعمال شود.

در حال حاضر مطالعات به واکنش ناخود آگاه انسان به تغییر در سفتی سطح اشاره داشتند، به طوری که فرد به منظور تطبیق خود به دنبال تغییر در سفتی سطح، سفتی اندام خود را تغییر می‌دهد، که این واکنش در روند معکوسی رخ می‌دهد. در نتیجه فرد مکانیک حرکت مرکز جرم را به طور طبیعی حفظ می‌کند.

با این حال، نتایج این پژوهش نشان داد واکنش فرد به دنبال تغییر در سفتی سطح توسط مواردی نظیر آگاهی و آشنایی با سطح نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرند. به گونه‌ای که در تکالیف چرخه‌ای تمرین و آشنایی با سطح موجب اجرای بهینه تر حرکت و در تکالیف لحظه‌ای آشنایی موجب بهبود تکنیک فرود و کاهش ریسک بروز آسیب می‌شود. از این رو به منظور تعیین تأثیر قطعی سفتی سطح بر رفتار فرد باید این موارد نیز مد نظر قرار بگیرند.

قدردانی

پژوهش حاضر در قالب فرصت مطالعاتی با حمایت پژوهشگاه تربیت‌بدنی و علوم ورزشی در آزمایشگاه بیومکانیک این مرکز به انجام رسید؛ لذا، لازم می‌دانیم مراتب قدردانی خود را در جهت حمایت‌های انجام‌شده به‌عمل آوریم.

منابع

1. Arampatzis A, Bru¨ggemann G P, Klapsing G. Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2001; 33(6): 923–31.
2. Arampatzis A, Bru¨ggemann G P, Klapsing G M. A three-dimensional shank–foot model to determine the foot motion during landings. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002; 34(1): 130–8.
3. Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Bru¨ggemann G P. The effect of falling height on muscle activity and foot motion during landings. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2003; 13(6): 533–44.
4. Arampatzis A, Schade F, Bru¨ggemann G P. Effect of the pole–human body interaction on pole vaulting performance. *Journal of Biomechanics*. 2004a; 37(9): 1353–60.
5. Arampatzis A, Stafilidis S, Morey-Klapsing G, Bru¨ggemann G P. Interaction of the human body and surfaces of different stiffness during drop jumps. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004a; 36(3): 451–9.
6. Biewener A A. Scaling body support in mammals: Limb posture and muscle mechanics. *Science*. 1989; 245(4913): 45–48.
7. Biewener A A. Biomechanics of mammalian terrestrial locomotion. *Science*. 1990; 250(4984): 1097–1103.

8. Bohm H, Cole G K, Brüggemann G P, Ruder H. Contribution of muscle series elasticity to maximum performance in drop jumping. *Journal of Applied Biomechanics*. 2006; 22(1): 3–13.
9. Bosco C, Saggini R, Viru A. The influence of different floor stiffness on mechanical efficiency of leg extensor muscle. *Ergonomics*. 1997; 40(6): 670–9.
10. Ferris D P, Liang K, Farley C T. Runners adjust leg stiffness for their first step on a new running surface. *Journal of Biomechanics*. 1999; 32(8): 787–94.
11. Ferris D P, Louie M, Farley C T. Running in the real world: Adjusting leg stiffness for different surfaces. *Proceedings of the Royal Society of London: Biological Sciences*. 1998; 265(1400): 989–94.
12. McMahon T A, Greene P R. The influence of track compliance on running. *Journal of Biomechanics*. 1979; 12(12): 893–904.
13. Moritz C T, Farley C T. Human hopping on very soft elastic surfaces: Implications for muscle pre-stretch and elastic energy storage in locomotion. *Journal of Experimental Biology*. 2005; 208(5): 939–49.
14. Hardin E C, van den Bogert A J, Hamill J. Kinematic adaptations during running: Effects of footwear, surface, and duration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004; 36(5): 838–44.
15. Hof A L, van Zandwijk J P, Bobbert M F. Mechanics of human triceps surae muscle in walking, running and jumping. *Acta Physiologica Scandinavica*. 2002; 174(1): 17–30.
16. Hunter J P, Marshall R N, McNair P J. Segmentinteraction analysis of the stance limb in sprint running. *Journal of Biomechanics*. 2004; 37(9): 1439–46.
17. Hunter J P, Marshall R N, McNair P J. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*. 2005; 21(1): 31–43.
18. Kerdok A E, Biewener A A, McMahon T A, Weyand P G, Herr H M. Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*. 2002; 92(2): 469–78.
19. Klepp H, Lehmann T. Technische mechanik, band II: Kinematik und kinetik, schwingungen, stossvorgaenge. Heidelberg: Huething Verlag; 1987. P. 355–61.
20. Stafilidis S, Arampatzis A, Morey-Klapsing G, Brüggemann G P. Interaction of the human body and surfaces of different stiffness during drop jumps. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2004b; 36(3): 451–9.
21. Baltich J, Maurer K, Nigg B M. Increased vertical impact forces and altered running mechanics with softer midsole shoes. *Journal of Plos One*. 2015; 10(4): 1-11.
22. Ferris D P, Farley C T. Interaction of leg stiffness and surfaces stiffness during human hopping. *Journal of Applied Physiology*. 1997; 82(1): 15–22.
23. Farley C T, Houdijk H H, Van Strien C, Louie M. Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*. 1998; 85(3): 1044–55.
24. Lichtwark G A, Wilson A M. In vivo mechanical properties of the human achilles tendon during one-legged hopping. *Journal of Experimental Biology*. 2005; 208(204): 4715–25.
25. Marquez G J, Rome L C. Built for jumping: The design of the frog muscular system. *Science*. 1994; 263: 370–72.

26. MacLellan M J, Patla A E. Adaptations of walking pattern on a compliant surface to regulate dynamic stability. *Experimental Brain Research*. 2006; 173(3): 521–30.
27. Nigg B M, Yeadon M R, Herzog W. The influence of construction strategies of sprung surfaces on deformation during vertical jumps. *Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1988; 20(4): 396-405.

استناد به مقاله

فرجادپزشک عباس، صادقی حیدر، شریعت‌زاده محمد، صفای‌پور زهرا. مقایسه سفتی اندام تحتانی و حداکثر نیروی عکس‌العمل عمودی زمین طی حرکت روی سطوح الاستیک پهن با سفتی‌های مختلف با تأکید بر آگاهی از میزان سفتی. مطالعات طب ورزشی. پاییز و زمستان ۱۳۹۵؛ ۸(۲۰)، ۳۷-۵۲.

Farjad Pezeshk. A, Sadeghi. H, Shariat Zadeh. M, Safaie Pour. Z. Comparison of Leg Stiffness and Maximum Ground Reaction Force on Area-Elastic Surfaces with Different Stiffness with Focus on Surface Familiarity. *Sport Medicine Studies*. Fall 2016 & Winter 2017; 8 (20): 37-52. (Persian)

Comparison of Leg Stiffness and Maximum Ground Reaction Force on Area-Elastic Surfaces with Different Stiffness with Focus on Surface Familiarity

A. Farjad Pezeshk¹, H. Sadeghi², M. Shariat Zadeh³, Z. SafaePour⁴

1. Ph.D. in Sports Biomechanics, Kharazmi University
2. Professor of Sports Biomechanics, Kharazmi University
3. Assistant Professor of Sport Physiology, Sports Sciences Research Institute of Iran*
4. Assistant Professor, Orthotics and Prosthetics Department, University of Social Welfare and Rehabilitation Sciences

Received: 2016/04/13

Accepted: 2016/10/01

Abstract

The purpose of this study was to compare vertical stiffness and maximum ground reaction force on elastic surfaces with different stiffness with focus on surface familiarity. Vertical stiffness and maximum ground reaction force during hopping and landing from height on five surfaces with 200–500 kN stiffness were measured for 30 young men. The results of the analysis of variance showed that there were significant differences in leg stiffness on different surfaces, and also before and after familiarity with surfaces. According to the results of this study, unlike other objects, human adapts himself when encountering new surface and in this way, depending on the task, can keep normal center of mass pattern and reduce the forces.

Keywords: Leg Stiffness, Area-Elastic Surface, Ground Reaction Force, Hopping, Landing

* Corresponding Author

Email: shariatzade221@yahoo.com