دریافت:۹۴/۱۲/۲ پذیرش:۹۵/۵/۳۱ ص ص:۹۶-۸۷

آیا کفش‌های مینیمال دویدن پابرهنه را تقلید می‌نمایند؟ بررسی انرژی مکانیکی اندام‌های تحتانی با روش تحلیل مولفه‌های اصلی

منصور اسلامی[۱]، سید اسماعیل حسینی‌نژاد[۲]، افشین فیاض موقر[۳]، حیدر صادقی[۴]

چکیده:

سابقه و هدف پژوهش: تعیین میزان شباهت دویدن با کفش مینیمال و پابرهنه در دو دهه‌ی اخیر بسیار مورد توجه بوده است. هدف پژوهش حاضر تعیین میزان شباهت دویدن پابرهنه و با کفش مینیمال بوسیله‌ی گروه‌بندی آزمودنی‌ها با استفاده از انرژی مکانیکی و روش آماری PCA بود.

مواد و روش‌ها: ۹۹ نفر از دانشجویان تربیت بدنی (۴۷ مرد و ۵۲ زن) در سه حالت دویدن پابرهنه، کفش پنج‌انگشتی (کفش مینیمال) و دویدن با کفش ورزشی رایج و با دو سرعت ۳ و ۵ متر بر ثانیه دویدند. انرژی مکانیکی لگن، ران، ساق و پای راست آزمودنی‌ها در مرحله‌ی استقرار دویدن محاسبه شد. مولفه‌های اصلی حاصل از PCA که ۹۵٪ پراکندگی داده‌ها را تشکیل می‌دادند، به عنوان درون‌داد روش تشخیصی برای گروه‌بندی استفاده شدند. صحت گروه‌بندی با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که صحت مدل تشخیصی در تمایز بین دویدن پابرهنه و کفش نایک ۸۱/۸٪ بود. صحت آزمون تشخیصی برای دو شرایط "پابرهنه-کفش پنج‌انگشتی" و "کفش نایک-کفش پنج‌انگشتی" به ترتیب ۴۶٪ و ۷۰/۷ ٪ بود.

بحث و نتیجه‌گیری: استفاده از روش‌آماری PCA و تکنیک‌های گروه‌بندی می‌تواند به خوبی برای تعیین شباهت‌ها و تفاوت‌های حالت‌های مختلف گام‌برداری مورد استفاده قرار گیرد. همچنین دویدن با کفش مینیمال می‌تواند دویدن پابرهنه را تقلید نماید.

واژه‌های کلیدی: دویدن پابرهنه، دویدن با کفش مینیمال، PCA، آزمون تشخیصی، انرژی مکانیکی

۱. دانشیار بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران. Email: mseslami@gmail.com

۲. دکتری بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران

۳. استادیار آمار زیستی، دانشکده ریاضی و آمار، دانشگاه مازندران.

۴. استاد بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه خوارزمی تهران.

مقدمه

به رغم استفاده گسترده از کفش‌های ورزشی مخصوص دویدن و به کارگیری پژوهش‌ها و فناوری‌های پیچیده در این زمینه، شمار آسیب‌های مرتبط با دویدن طی چند دهه‌ی گذشته کاهشی نداشته است (۱). آمارها نشان می‌دهد که وقوع آسیب‌های مرتبط با دویدن همچنان بالا است و نزدیک به ۷۵ درصد دوندگان تفریحی این آسیب‌ها را تجربه می‌نمایند (۱). این نتایج باعث شده است تمایل به دویدن پابرهنه و پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه در دو دهه‌ی اخیر افزایش زیادی داشته باشد (۲). دویدن پابرهنه و دویدن با کفش هر یک دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. دویدن پابرهنه باعث کاهش اکسیژن مصرفی (۳)، تغییر الگوی دویدن (۴)، کاهش نیروهای برخوردی (۳)، افزایش درون‌دادهای حس عمقی (۵) و به کارگیری بیشتر عضلات پا و ساق (۶) می‌شود. دویدن پابرهنه از طریق تغییر الگوی دویدن باعث تبدیل انرژی مکانیکی انتقالی به چرخشی در مفصل مچ پا می‌شود و هدر رفت انرژی در مقایسه با دویدن با کفش کاهش می‌یابد (۶). مزایای دویدن با کفش شامل محافظت از پا در برابر صدمات (۵ و ۷)، کاهش نرخ بارگذاری (۸)، کنترل حرکات ناخواسته‌ی پا (مثل پرونیشن بیش‌ازحد) (۵)، جذب شوک و ایجاد اثر بالشتکی (۹) و ذخیره و بازگشت انرژی حین دویدن (۱۰) است. موارد فوق پژوهش‌گران و شرکت‌های سازنده‌ی کفش را به سمت طراحی کفش‌هایی سوق داده است که علاوه بر داشتن مزایای دویدن با کفش، دویدن پابرهنه را نیز تقلید کنند . بر همین اساس طراحی کفش‌های مینیمال و کفش‌های پابرهنه در سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است و شرکت‌های معتبر لوازم ورزشی اقدام به طراحی و ساخت طیف گسترده‌ی از این محصولات را نموده‌اند (۷). به لحاظ نظری کفش‌های مینیمال به دسته‌ای از پاپوش‌ها گفته می‌شود که با زیره منعطف و نازک (ارتفاع زیره کمتر از ۸ میلی‌متر) و همچنین وزن بسیار کم اجازه حرکت آزادانه پا و درنتیجه تقلید دویدن پابرهنه را می‌دهند (۱۱). علی رغم تولید مدل‌های مختلف کفش‌های مینمیال، هنوز به درستی مشخص نیست که این نوع کفش‌ها تا چه حد دویدن پابرهنه را تقلید می‌نمایند (۱۲ و ۱۳).

محدودیت‌های موجود در ادبیات پژوهشی باعث حصول نتایج متناقض در زمینه‌ی شباهت دویدن با کفش‌های مینیمال و دویدن پابرهنه شده است. در بررسی کفش‌های مینیمال نه تنها از مدل‌های مختلف کفش مینیمال استفاده شده (۱۲ و ۱۳)، بلکه داده‌های پیوسته چرخه‌ی گام بوسیله‌ی شاخص‌های گسسته مانند مقادیر اوج و میانگین و با روش‌های آماری ساده مقایسه شده‌اند (۱۴). بنابراین برای بررسی شباهت دویدن پابرهنه و دویدن با کفش مینیمال اتخاذ شاخص و روش آماری مناسب ضروری به نظر می‌رسد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی[۱] (PCA) روش آماری است که با لحاظ کردن تمامی داده‌های حاصل از چرخه گام و کاهش بعد این داده‌ها می‌تواند به شکل مؤثری مشکل فوق را مرتفع نماید (۱۴). PCA تعداد کمتری از عوامل را به نام مؤلفه‌های اصلی از میان عوامل اولیه گزینش می‌کند، به طوری که تعدادی از اطلاعات کم‌اهمیت حذف می‌شوند. PCA برای مواقعی استفاده می‌شود که داده‌ها ابعاد زیادی دارند و سوال اصلی در آن این است که آیا می‌توان ارائه‌ی مختصرتری از داده‌ها با استفاده از حداقل بعد را داشت؟ مزیت اصلی PCA بر روش‌های سنتی که فقط بر شاخص‌هایی نظیر نقاط اوج تمرکز می‌کنند، استخراج اطلاعات از کل سری زمانی گام است (۱۵ و ۱۶). همچنین PCA بعد از کاهش بعد داده‌های اصلی می‌تواند برای تعیین تفاوت بین گروه‌ها و تعیین شباهت‌های الگوی گام‌برداری به کار رود (۱۶ و ۱۷). از سوی دیگر متغیرهای کینماتیکی و کینتیکی بسیاری در ادبیات پژوهشی

۱. Principal component analysis

تحلیل گام دویدن مورد استفاده هستند و تعیین این که کدام‌یک از این متغیرها برآورد بهتری از دویدن پابرهنه یا مینیمال ارائه می‌کنند دشوار است. محققین پیشنهاد می‌کنند که به کارگیری متغیرهای بیومکانیکی بیشتر یا استفاده از یک متغیر جامع در تحلیل گام (۱۸) و همچنین استفاده از روش‌هایی که کل داده‌های چرخه‌ی گام دویدن را در محاسبات لحاظ نمایند می‌تواند به درک بهتری از اثر مداخلات بر گام دویدن منجر شود (۱۹).

انرژی مکانیکی متغیری است که پارامترهای بیومکانیکی بسیاری مانند ویژگی‌های آنتروپومتریکی، گشتاور نیرو، زوایا و سرعت حرکت اندام‌ها در محاسبه آن مشارکت دارند (۲۰). انرژی مکانیکی عامل اصلی ایجاد حرکات است و هیچ حرکتی بدون تغییر در سطح انرژی مکانیکی اندام‌ها انجام نمی‌پذیرد (۲۱). این شاخص بدلیل اینکه بیشترین اطلاعات را از حرکت فراهم می‌کند، در بسیاری از پژوهش‌های بیومکانیکی برای تعیین استراتژی‌های راه رفتن و دویدن و تشخیص اختلالات حرکتی به کار می‌رود (۲۲). گروه‌بندی آزمودنی‌ها بوسیله‌ی روش آماری و متغیر بیومکانیکی مناسب می‌تواند شباهت یا عدم شباهت دویدن پابرهنه و مینیمال را بهتر تعیین نماید. فرضیه پژوهش حاضر این بود که اگر دویدن با کفش مینیمال مزایای دویدن پابرهنه را داشته باشد، در یک گروه‌بندی بر اساس مقادیر انرژی اندام‌های پایین‌تنه تفاوت معنی‌داری را در مقایسه با دویدن پابرهنه نشان نخواهد داد. بنابراین هدف پژوهش حاضر تعیین میزان شباهت دویدن پابرهنه و دویدن با کفش مینیمال بوسیله‌ی گروه‌بندی آزمودنی‌ها با استفاده از روش آماری PCA و انرژی اندام‌های تحتانی است.

روش‌شناسی

۹۹ آزمودنی (۴۷ مرد و ۵۲ زن) سالم با سرعت‌های ۰/۲±۳ و ۰/۲±۵ متر بر ثانیه در سه شرایط دویدن پابرهنه، با کفش ورزشی رایج (نایک) و کفش مینیمال (پنج‌انگشتی) دویدند. با توجه به اینکه بسیاری پژوهش‌ها سرعت دویدن ۳ متر بر ثانیه را به عنوان سرعت دویدن تفریحی عنوان نموده‌اند و همچنین بازه بین این دو سرعت در ادبیات پژوهشی استفاده شده است، از این دو سرعت در این پژوهش استفاده شد (۲۳ و ۲۴). یک دستگاه تخته نیروسنج ساخت شرکت Kistler سوئیس با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰۰ هرتز که در میانه مسیر دویدن ۱۵ متری جاسازی شد؛ به نحوی که آزمودنی‌ها قادر به تشخیص محل آن نبودند. برای کنترل سرعت آزمودنی‌ها، دو متخصص زمان عبور آزمودنی از خط ۵ متری نسبت به نقطه شروع تا تماس با صفحه نیرو را با کرونومتر ثبت می‌نمودند. در صورتی که زمان به دست آمده از هر دو متخصص در دامنه قابل قبول بود آن تلاش ثبت می‌شد. داده‌های کینماتیکی با استفاده از شش دستگاه دوربین فیلم‌برداری ساخت شرکت Simi Motion آلمان و با سرعت تصویربرداری ۲۰۰ هرتز جمع‌آوری شدند. برای هر حالت سه تلاش موفق ثبت شد و روند اعمال متغیرهای پژوهش به شکل تصادفی انجام بود.

مرحله‌ی استقرار دویدن با استفاده از نیروی عمودی عکس‌العمل زمین حاصل از تخته‌ی نیروسنج تعیین شد. سطح انرژی مکانیکی لگن، ران، ساق و پای راست با استفاده از روش کینماتیکی و براساس فرمول شماره یک محاسبه شد (۲۳) و داده‌ها به ۱۰۰٪ مرحله‌ی استقرار همسان‌سازی شدند.

فرمول ۱

$$\tfrac{1}{2} m_i v_i^2 + \tfrac{1}{2} I_i \omega_i^2 + m_i g h_i = {}_iE$$

در این معادله E_i انرژی مکانیکی اندام مورد نظر، m_i جرم اندام، v_i سرعت خطی اندام، I_i گشتاور اینرسی اندام، ω_i سرعت زاویه‌ای مطلق اندام، g شتاب جاذبه و h_i ارتفاع مرکز جرم اندام مورد نظر است.

حالت‌های پوشش پا به شکل دو به دو در هر ماتریس چینش شدند و سه ماتریس ۸۰۰×۱۹۸ حاصل شد. هر ماتریس متشکل از داده‌های دو حالت پوشش پا و سرعت بود و آزمودنی‌ها به شکل ستونی و داده‌های انرژی مکانیکی به شکل سطری قرار گرفتند (تصویر ۱). برای کاهش بعد داده‌ها از روش PCA استفاده شد و ۲۵ مؤلفه‌ی اصلی (PC) از هر ماتریس استخراج و به عنوان درون‌داد تحلیل تشخیصی گام‌به‌گام[1] استفاده گردید. مؤلفه‌های انتخابی حداقل ۹۵٪ پراکندگی داده‌ها را پوشش می‌دادند (۱۵). تحلیل تشخیصی گام‌به‌گام علاوه بر گروه‌بندی آزمودنی‌ها تعیین کرد که کدام‌یک از مؤلفه‌های اصلی برای دسته‌بندی مناسب‌تر می‌باشند (جدول ۱). خطای گروه‌بندی بوسیله‌ی روش اعتبارسنجی متقابل[2] تعیین شد (۱۵). محاسبه‌ی انرژی مکانیکی اندام‌ها با استفاده از نرم‌افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۳ صورت گرفت و کاهش بعد و گروه‌بندی آزمودنی‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ انجام شد.

		سرعت ۳ متر بر ثانیه				سرعت ۵ متر بر ثانیه			
پوشش پا	آزمودنی	انرژی لگن ۱، ۲...۱۰۰	انرژی ران ۱، ۲...۱۰۰	انرژی ساق ۱، ۲...۱۰۰	انرژی پا ۱، ۲...۱۰۰	انرژی لگن ۱، ۲...۱۰۰	انرژی ران ۱، ۲...۱۰۰	انرژی ساق ۱، ۲...۱۰۰	انرژی پا ۱، ۲...۱۰۰
پوشش ۱	۱ ۲ . . . ۹۹	ماتریس انرژی مکانیکی = [۸۰۰×۱۹۸]							
پوشش ۲	۱ ۲ . . . ۹۹								

تصویر شماره ۱. نحوه چینش ماتریس داده‌های انرژی مکانیکی به عنوان درون‌داد PCA.

1. Stepwise discriminant analysis
2. Cross validation techniques

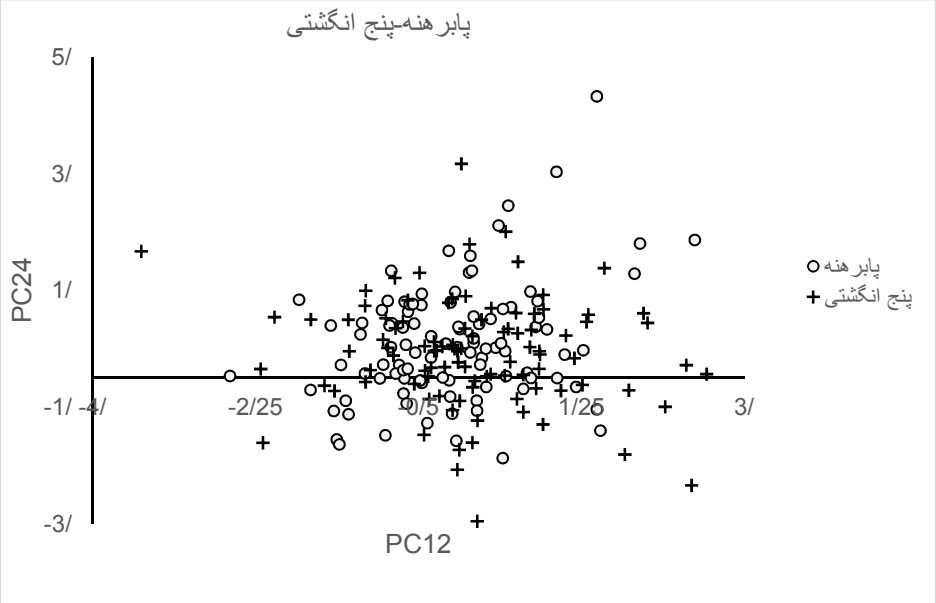
نتایج

روش اعتبارسنجی متقابل نشان داد که آزمون تشخیصی توانست با صحت ۸۱/۸٪ شرایط دویدن پابرهنه را از کفش نایک متمایز نماید. صحت آزمون تشخیصی برای دو شرایط "پابرهنه-کفش پنج‌انگشتی" و "کفش نایک-کفش پنج‌انگشتی" به ترتیب ۴۶٪ و ۷۰/۷ ٪ بود. جدول شماره ۱ سه PC اول را با توجه به درجه اهمیت در آزمون تشخیصی نشان می‌دهد. با توجه به اینکه PCA روی داده‌های انرژی انجام شده است بنابراین مولفه‌های به دست آمده ویژگی‌های انرژیایی دویدن را نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود مهمترین PC برای تمایز بین دو حالت الزاماً PC با بیشترین پراکندگی نیست (۱۵).

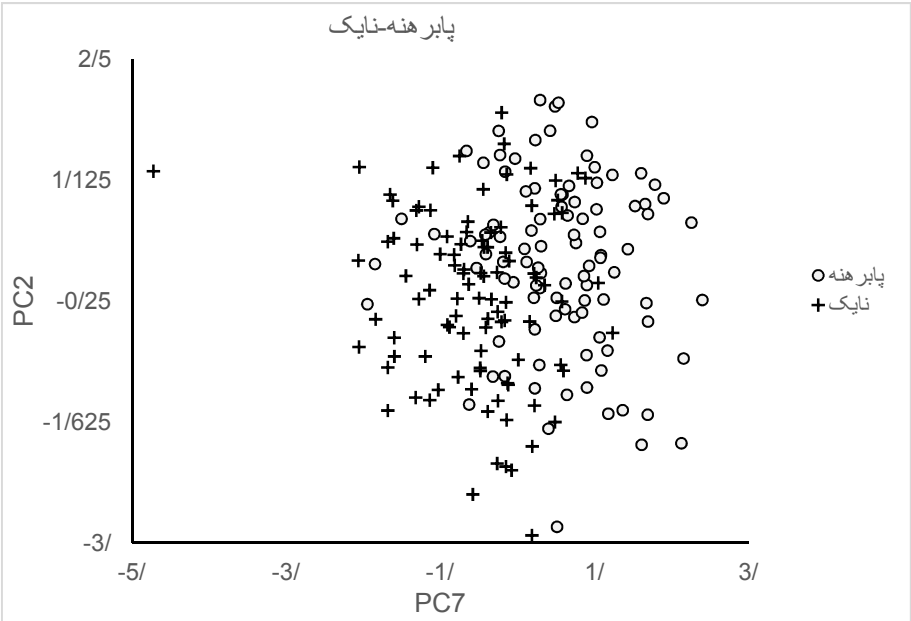
جدول شماره ۱. مؤلفه‌های اصلی حاصل از تحلیل PCA به ترتیب درجه اهمیت و ضرائب این مؤلفه‌ها در آزمون تشخیصی.

	پابرهنه-پنج‌انگشتی		پابرهنه-نایک		مینیمال-نایک	
درجه اهمیت در گروه‌بندی	شماره PC	ضریب تابع تشخیصی	شماره PC	ضریب تابع تشخیصی	شماره PC	ضریب تابع تشخیصی
۱	PC۲۴	-۰/۳۸	PC۲	۰/۷۷	PC۳	۰/۷۱
۲	PC۱۲	۰/۳۲	PC۷	۰/۲۲	PC۵	۰/۳۱
۳	PC۳	۰/۲۹	PC۵	۰/۲۱	PC۶	-۰/۲۵

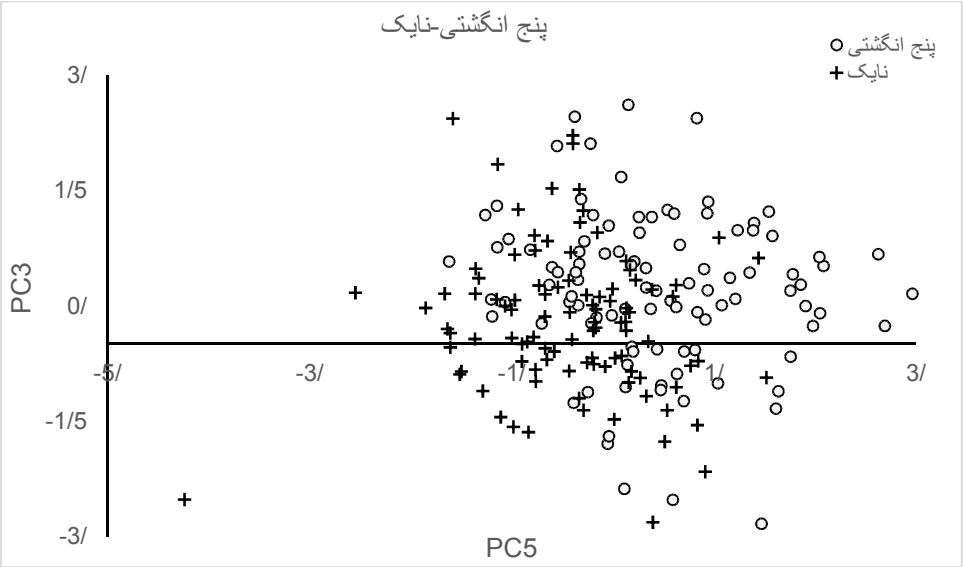
وضعیت آزمودنی‌ها نسبت به دو PC با بیشترین درجه اهمیت برای تمایز دو حالت پوشش پا در تصاویر ۲ تا ۴ نشان داده شده است. باید توجه شود که تصاویر ۲ تا ۴ فقط دو مؤلفه از ۲۵ مؤلفه‌ی اصلی به کار رفته در مدل تشخیصی را نشان می‌دهد و بنابراین به طور کامل بیانگر نتایج مدل تشخیصی مورد استفاده نیست. تصویر شماره ۲ نشان می‌دهد که مدل در تشخیص تمایز دو حالت دویدن پابرهنه و دویدن با کفش پنج انگشتی موفق نبوده است و این دو حالت شبیه به یکدیگر هستند. تمایز بین حالت پابرهنه و کفش نایک کاملاً در تصویر ۳ قابل مشاهده است و آزمودنی‌ها به ویژه نسبت به ۷PC در هر دو حالت قابل تشخیص هستند (تصویر ۳). تصویر شماره ۴ تمایز بین کفش پنج‌انگشتی و کفش نایک را با توجه به ۳PC و ۵PC نشان می‌دهد. تفاوت آزمودنی‌ها در دو حالت کفش پنج‌انگشتی و نایک نسبت به ۵PC مشخص است و مدل تفاوت بین این دو حالت را نشان می‌دهد (تصویر ۴).



تصویر ۲. نمودار تمایز دو حالت پابرهنه و پنج انگشتی بر اساس ۱۲PC و ۲۴PC. نمودار نشان می‌دهد که بین دو حالت دویدن تمایزی قابل تشخیص نیست.



تصویر ۳. نمودار تمایز دو حالت پابرهنه و نایک بر اساس ۲PC و ۷PC. نمودار نشان می‌دهد که دو شرایط به ویژه نسبت به ۷PC متمایز شده‌اند.



تصویر ۴. نمودار تمایز دو حالت پنج‌انگشتی و نایک بر اساس ۳PC و ۵PC. نمودار نشان می‌دهد که دو شرایط به ویژه نسبت به ۵PC متمایز شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

از ابتدای استفاده از کفش‌های مینیمال همواره این پرسش مطرح بوده است که آیا این کفش‌ها واقعاً دویدن پابرهنه را تقلید می‌نماید و میزان شباهت این دو حالت چقدر است. پژوهش‌های بسیاری به ویژه در یک دهه‌ی اخیر تفاوت‌ها و شباهت‌های دویدن پابرهنه، مینیمال و با کفش‌های ورزشی رایج را بررسی نموده‌اند. مقایسه‌های انجام شده بر تفاوت‌هایی نظیر الگوی دویدن (۱۳)، مقدار مصرف انرژی و کارایی دویدن (۲) و کاهش آسیب‌های مرتبط با دویدن (۱) متمرکز شده‌اند. نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهند که دویدن با کفش ورزشی رایج تفاوت‌های زیادی با دویدن پابرهنه دارد. هرچند نتایج مربوط به دویدن با کفش مینیمال شباهت بیشتری را با دویدن پابرهنه نشان می‌دهد ولی تفاوت‌های زیادی نیز در این زمینه مشاهده می‌شود. دویدن بدون کفش در مقایسه با دویدن با کفش تا ۵٪ انرژی مصرفی را در سرعت مشابه کاهش می‌دهد (۷) که این افزایش مصرف انرژی در دویدن با کفش مینیمال نیز مشاهده شده است و حتی بعد از لحاظ نمودن وزن کفش، در دویدن پابرهنه انرژی کمتری مصرف شده است (۲). کاهش انرژی در دویدن پابرهنه می‌تواند در اثر کارایی بیشتر دویدن پابرهنه و عملکرد بهینه‌تر عضلات دومفصله باشد (۲). اسکادرونه و گالوزی[1] (۲۰۰۹) بیان کردند که کفش پنج انگشتی ویژگی‌های مشابهی با دویدن پابرهنه دارد (۳). هرچند لارسون[2] (۲۰۱۴) معتقد است که مقدار شباهت به میزان زیادی به تجربه افراد در دویدن با کفش مینیمال بستگی دارد و کفش‌های مینیمال ممکن است نتوانند به خوبی الگوی برخورد پابرهنه را تقلید کنند (۱۳).

1. Squadrone and Gallozzi (2009)
2. Larson (2014)

از آنجایی که عوامل متعددی بر پاسخ مکانیکی فرد به پاپوش اثرگذار هستند. هاین و گراو[1] (۲۰۱۴) پیشنهاد می‌نمایند که برای مطالعه در زمینه کفش‌های مینیمال نکات زیر باید لحاظ شود: تجربه‌ی آزمودنی‌ها در راه رفتن و دویدن پابرهنه (تجربه داشته‌اند یا نه)، الگوی برخورد پای ترجیحی با زمین (عقب، میانه یا جلوی پا)، سرعت دویدن (سرعت دویدن معمول، بسته به سطح و جنسیت آزمودنی)، سختی سطح (سختی سطح دویدن پابرهنه با سختی زیره‌ی کفش مینیمال قابل قیاس است)، ضخامت مواد میانه زیره کفش (یک تکه) و سطح ورزشی آزمودنی (تفریحی یا نخبه) (۱۲). در پژوهش حاضر سعی شد با انتخاب دانشجویان رشته علوم ورزشی از هر دو جنس که هیچ یک تجربه دویدن با کفش مینیمال یا پابرهنه را نداشتند و همچنین کنترل سرعت و مسیر دویدن آزمودنی‌ها نکات فوق لحاظ شود و از این طریق تاثیر سایر متغیرها بر دویدن آزمودنی‌ها به حداقل برسد. همچنین در این پژوهش از طریق گروه‌بندی آزمودنی‌ها با به کارگیری روش آماری PCA، شباهت دویدن پابرهنه با کفش مینیمال و دویدن با کفش ورزشی معمولی ارزیابی شد. مزیت روش به کار گرفته شده در پژوهش حاضر این است که برای تعیین شباهت بین حالت‌های دویدن از تمامی داده‌های مرحله‌ی استقرار دویدن استفاده شده است. همچنین آزمودنی‌ها هر حالت را با دو سرعت متفاوت دویدند و داده‌های لگن، ران، ساق و پا به عنوان درون‌داد مدل گروه‌بندی استفاده شد. در حالی که به طور معمول در ادبیات پژوهشی مقادیر اوج یا میانگین یک پارامتر در یک مفصل یا اندام برای مقایسه انتخاب می‌شود (۱۹). بسیاری از پژوهش‌ها برای رفع این کاستی پارامترهای بیشتری را در اندام‌ها و مفاصل مختلف استخراج و مقایسه نموده‌اند، با وجود این باز هم مقایسه‌ها مجزا بوده و تعیین تفاوت و شباهت دویدن با کفش مینیمال و پابرهنه و نتیجه‌گیری کلی در این زمینه را دشوار می‌سازد. بنابراین روش به کار رفته در این پژوهش محققین را قادر می‌سازد تا برآورد جامع‌تری از دویدن در حالت‌های مختلف داشته باشند.

جدول شماره ۱ نتایج آزمون تشخیصی را روی مؤلفه‌های اصلی نشان می‌دهد. آزمون تشخیصی علاوه بر تمایز حالت‌های متفاوت دویدن از یکدیگر، مؤلفه‌های اصلی را نیز به ترتیب اهمیت نشان می‌دهد. در جدول شماره ۱ سه مؤلفه اول حائز اهمیت برای گروه‌بندی آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود الزاماً PC با بیشترین مقدار، دارای بیشترین اهمیت برای گروه‌بندی نیست و از دو PC با بیشترین ضریب برای نمایش نمودار داده‌ها (تصاویر ۲، ۳ و۴) استفاده شده است. تصویر شماره ۲ نشان می‌دهد که تمایز دو حالت دویدن پابرهنه و دویدن با کفش مینیمال دشوار است؛ همچنین صحت مدل در تمایز بین این دو حالت ۴۶٪ بوده است. این نتیجه در حالی به دست آمده است که صحت آزمون تشخیصی در تعیین دویدن با کفش معمولی و دویدن پابرهنه ۸۱/۸٪ و بین دویدن با کفش مینیمال و کفش معمولی ۷۰/۷٪ بود (تصاویر ۳ و ۴). این نتایج نشان می‌دهد که دویدن با کفش مینیمال بسیار مشابه دویدن پابرهنه است در حالی که کفش ورزشی به شکل چشمگیری از دویدن پابرهنه و دویدن با کفش مینیمال متمایز است.

با توجه به این که آزمودنی‌های این پژوهش هیچ گونه تجربه‌ای در زمینه‌ی دویدن با کفش مینیمال یا پابرهنه نداشتند، شباهت این دو حالت نشان می‌دهد که دویدن با کفش مینیمال می‌تواند دویدن پابرهنه را تقلید نماید و مزایای کاهش آسیب مرتبط با دویدن پابرهنه می‌تواند از طریق دویدن با کفش مینیمال حاصل شود. نتایج یک مطالعه‌ی پرسشنامه‌ای نیز نشان داد که درصد بالایی از دوندگانی که از دویدن با کفش به دویدن

1. Hein and Grau (2014)

پابرهنه یا با کفش مینیمال روی آورده‌اند از نقطه‌نظر آسیب‌شناسی مزایایی را تجربه نموده‌اند یا مشکل جدی نداشته‌اند (۱). به عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان بیان نمود که به کارگیری روش آماری PCA به همراه تکنیک‌های دسته‌بندی می‌تواند برای مقایسه حالت‌های مختلف دویدن استفاده شود. همچنین کفش پنج‌انگشتی به عنوان یک کفش مینیمال می‌تواند دویدن پابرهنه را تقلید نماید.

References:

1. Hryvniak D, Dicharry J, Wilder R. 2014. Barefoot running survey: Evidence from the field. Journal of Sport and Health Science. 3(2):131-136.
2. Rao G, Chambon N, Guéguen N, Berton E, Delattre N. 2015. Does wearing shoes affect your biomechanical efficiency?. Journal of biomechanics. 48(3):413-417.
3. Squadrone R, Gallozzi C. 2009. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 49(1):6-13.
4. Lieberman DE, Venkadesan M, Werbel WA, Daoud AI, D'Andrea S, Davis IS, Mang'Eni RO, Pitsiladis Y. 2010. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature. 463(7280):531-535.
5. Rothschild C. 2012. Running barefoot or in minimalist shoes: evidence or conjecture?. Strength & Conditioning Journal. 34(2):8-17.
6. Lieberman DE. 2012. What we can learn about running from barefoot running: an evolutionary medical perspective. Exercise and sport sciences reviews. 40(2):63-72.
7. Lohman EB, Sackiriyas KSB, Swen, RW. 2011. A comparison of the spatiotemporal parameters, kinematics, and biomechanics between shod, unshod, and minimally supported running as compared to walking. Physical Therapy in Sport. 12(4):151-163.
8. Yan AF, Sinclair PJ, Hiller C, Wegener C, Smith RM. 2013. Impact attenuation during weight bearing activities in barefoot vs. shod conditions: a systematic review. Gait & posture. 38(2):175-186.
9. Butler RJ, Hamill J, Davis I. 2007. Effect of footwear on high and low arched runners' mechanics during a prolonged run. Gait & posture. 26(2):219-225.
10. Nigg BM. 2010. Biomechanics of sport shoes. University of Calgary.
11. Miller EE, Whitcome KK, Lieberman DE, Norton HL, Dyer RE. 2014. The effect of minimal shoes on arch structure and intrinsic foot muscle strength. Journal of Sport and Health Science. 3(2):74-85.
12. Hein T, Grau S. 2014. Can minimal running shoes imitate barefoot heel-toe running patterns? A comparison of lower leg kinematics. Journal of Sport and Health Science. 3(2):67-73.
13. Larson P. 2014. Comparison of foot strike patterns of barefoot and minimally shod runners in a recreational road race. Journal of Sport and Health Science. 3(2):137-142.
14. Chau T. 2001. A review of analytical techniques for gait data. Part 1: fuzzy, statistical and fractal methods. Gait & Posture. 13(1):49-66.
15. Deluzio KJ, Astephen JL. 2007. Biomechanical features of gait waveform data associated with knee osteoarthritis: an application of principal component analysis. Gait & posture. 25(1):86-93.
16. Muniz AMS, Nadal J. 2009. Application of principal component analysis in vertical ground reaction force to discriminate normal and abnormal gait. Gait & posture. 29(1):31-35.
17. Federolf P, Tecante K, Nigg BM. 2012. A holistic approach to study the temporal variability in gait. Journal of biomechanics. 45(7):1127-1132.

18. Pohl MB, Mullineaux DR, Milner CE, Hamill J, Davis IS. 2008. Biomechanical predictors of retrospective tibial stress fractures in runners. Journal of biomechanics. 41(6):1160-1165.
19. Sadeghi H, Prince F, Zabjek KF, Sadeghi S, Labelle H. 2002. Knee flexors/extensors in gait of elderly and young able-bodied men (II). The knee. 9(1):55-63.
20. Miller CA, Verstraete MC. 1999. A mechanical energy analysis of gait initiation. Gait & posture. 9(3):158-166.
21. Winter DA. 2009. Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley & Sons.
22. Guo LY, Su FC, Wu HW, An KN. 2003. Mechanical energy and power flow of the upper extremity in manual wheelchair propulsion. Clinical Biomechanics. 18(2):106-114.
23. Chapman AE, Caldwell GE. 1983. Factors determining changes in lower limb energy during swing in treadmill running. Journal of biomechanics. 16(1):69-77.
24. Thompson MA, Gutmann A, Seegmiller J, McGowan CP. 2014. The effect of stride length on the dynamics of barefoot and shod running. Journal of biomechanics. 47(11):2745-2750.