پژوهش‌نامهٔ فیزیولوژی ورزشی کاربردی سال چهاردهم/ شماره بیست و هشتم/ پاییز و زمستان ۹۷

دریافت: ۹۷/۶/۱۶ پذیرش: ۹۷/۷/۱ ص ص: ۲۷۲-۲۶۵

بررسی انرژی مکانیکی دویدن پابرهنه و مینیمال

سید اسماعیل حسینی‌نژاد[۱]، منصور اسلامی[۲]

چکیده:

سابقه و هدف: اثر دویدن پابرهنه و دویدن با کفش‌های مینیمال همچنان به عنوان موضوعی چالش‌برانگیز مطرح است. هدف این مطالعه بررسی توان و انتقال انرژی مفاصل اندام تحتانی حین دویدن پابرهنه و با دو کفش مینیمال با سفتی متفاوت است.

مواد و روش‌ها: پانزده آزمودنی مرد سالم در سه شرایط دویدن پابرهنه و دو کفش مینیمال مسیر ۱۵ متری آزمایشگاه را دویدند. داده‌های کینماتیکی و کینتیکی بوسیله پنج دوربین ویدیویی و یک تخته نیروسنج به صورت هم‌زمان جمع‌آوری شدند. بوسیله روش دینامیک معکوس توان مفصلی و ضریب جبران انرژی مکانیکی به عنوان شاخص انتقال انرژی محاسبه گردید.

یافته‌ها: هر دو کفش توان مفصل مچ پا را در مقایسه با دویدن پابرهنه در سطح ساجیتال افزایش دادند و در سطح فرونتال کفش PVC توان مثبت را نسبت به کفش نانو و پابرهنه کاهش داد. در مفصل زانو کفش PVC مقادیر توان بالاتری را در سطح فرونتال و ساجیتال نسبت به دویدن پابرهنه نشان داد. کفش نانو فقط توان مثبت بالاتری در سطح ساجیتال نسبت دویدن پابرهنه داشت. در مچ پا، دویدن پابرهنه انتقال انرژی کانسنتریک بالاتری در سطح ساجیتال نسبت دویدن با کفش داشت. همچنین انتقال انرژی دویدن پابرهنه در سطح هوریزنتال در هر دو حالت اکسنتریک و کانسنتریک بیشتر از کفش PVC بود. انتقال انرژی اکسنتریک کفش نانو در این سطح کمتر از دویدن پابرهنه بود.

نتیجه‌گیری: دویدن پابرهنه هم به لحاظ عملکردی و هم از نظر آسیب‌شناختی عملکرد بهتری نسبت به دو کفش مینیمال داشت. هرچند نتایج کفش مینیمال با زیره سفت‌تر (کفش نانو) شباهت بیشتری به دویدن پابرهنه داشت. توصیه می‌شود دوندگان به منظور کاهش آسیب و بهبود عملکرد، دویدن پابرهنه را در برنامه تمرینی خود لحاظ نمایند و بهتر است کفش‌های مینیمالی را انتخاب کنند که بیشتر دویدن پابرهنه را تقلید می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: دویدن پابرهنه،کفش مینیمال، توان مفصلی، انتقال انرژی

۱. استادیار بیومکانیک ورزشی، دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشگاه مازندران. esmaeilhoseninejad@gmail.com

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

مقدمه

گزارش شده است که دویدن پابرهنه می‌تواند فعالیت عضلانی [۱ و ۲]، حس عمقی پا [۳] و کارایی [۴ و ۵] را افزایش دهد اما برخی آسیب‌های مرتبط با دویدن [۲ و ۶] و هزینه انرژی مصرفی را کاهش [۷ و ۸] و سبک دویدن را تغییر می‌دهد [۹]. با توجه به مزایای دویدن پابرهنه کارخانجات سازنده کفش اخیرا مفهوم کفش‌های مینیمال[1] را توسعه داده‌اند [۱۰]. کفش‌های مینیمال با تخت نازک و وزن بسیار کم نسبت به کفش‌های رایج، به منظور تقلید شرایط گام‌برداری پابرهنه طراحی شده‌اند [۱۰]. فرض بر این است که هنگام تماس با زمین، کفش‌های مینیمال اطلاعات حسی بیشتری را برای پا فراهم می‌کنند و از پا در مقابل خطرات و اجسام سطح زمین محافظت می‌نمایند. افزایش حجم عضلات پا و ساق در دوندگانی که از دویدن با کفش به دویدن مینیمال منتقل شدند مشاهده شد. به علاوه این افزایش حجم با میزان استفاده از کفش مینیمال همبستگی معنادار داشته است [۱۱].

در حال حاضر کفش‌های مینیمال بسیاری با ویژگی‌های ساختاری و سفتی تخت متفاوت تولید می‌شوند. در یک مطالعه تفاوت‌های چشم‌گیری بین کینماتیک دویدن پابرهنه و با کفش مینیمال نایک فری ۳[2] در چرخش درشت‌نی در سطح هوریزنتال، مچ پا در سطح ساجیتال و عقب پا در سطح فرونتال مشاهده شد [۱۲]، در حالی که اسکادرونه و گالوزی (۲۰۰۹) تفاوتی در کینماتیک مچ پا در سطح ساجیتال نیافتند [۷]. دلیل احتمالی نتایج متناقض ممکن است به تفاوت‌های ساختاری و ویژگی‌های مواد کفش‌های مینیمالی مانند نایک فری ۳ و ویبرام پنج انگشتی[3] مربوط باشد. دلیل دیگر ممکن است از متغیر بیومکانیکی منتخب جهت مقایسه ناشی شود. در واقع غالب مطالعات گذشته بر مقایسه کینماتیک مفاصل و اندام‌های تحتانی بین دو شرایط دویدن متمرکز بوده‌اند [۱۲، ۱۳ و ۱۴].

بیشاپ و همکاران[4] (۲۰۰۶) گزارش نمودند که پا به منظور بالابردن کارایی انرژی در پاسخ به نرمی کفش‌های مختلف به شکل خودکار سفتی خود را تنظیم می‌کند [۱۵]. به علاوه پیشنهاد شده است که کفش‌های ورزشی ممکن است شرایط غیر طبیعی را در حرکات پا و ساق ایجاد نمایند که این امر منجر به تغییرات سریالی در روند گام‌برداری می‌شود که می‌تواند در طولانی مدت پیامدهای منفی به همراه داشته باشد [۱۶]. پرل و لیبرمن[5] (۲۰۱۲) پیشنهاد دادند که در دویدن پا برهنه پا روی سر استخوان‌های کف پایی چهار و پنج فرود می‌آید و در ادامه پاشنه به منظور تبدیل انرژی خطی به انرژی جنبشی چرخشی به سمت پائین حرکت می‌کند [۴]. در مقابل کفش‌های ورزشی بیشتر دوندگان را به سمت فرود با پاشنه سوق می‌دهند که در این حالت بیشتر انرژی جنبشی حین ضربه هدر می‌رود [۴]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برای تحلیل ویژگی‌های دویدن پابرهنه و مینیمال و آشکارسازی سازوکارهای بنیادی مرتبط با تفاوت‌ها و شباهت‌های این دو وضعیت، بکارگیری متغیرهای مرتبط با انرژی مکانیکی حائز اهمیت است [۱۸ و ۱۹].

با بررسی‌های صورت گرفته پژوهشی در زمینه اثر کفش‌های مینیمال بر انتقال انرژی مفاصل و اندام‌های تحتانی حین دویدن یافت نشد. توان و انتقال انرژی مفصلی روش‌های بسیار کارآمد در تعیین کارایی و استراتژی‌های گامبرداری هستند [۱۸ و ۲۰]. همچنین به منظور کاهش اثر تفاوت کفش‌های مینیمال مختلف بر دینامیک دویدن، دو کفش مینیمال در این مطالعه طراحی و ساخته شد. تمام ویژگی‌های این دو کفش به غیر از جنس زیره کاملا

1. Minimal shoes
2. Nike free 3.0
3. Vibram fivefingers
4. Bishop, et al.,
5. Perl & Lieberman

مشابه بود. بنابراین هدف مطالعه حاضر بررسی توان مفصلی و انتقال انرژی مکانیکی در کفش‌های مینیمال در مقایسه با دویدن پابرهنه بود.

روش‌شناسی

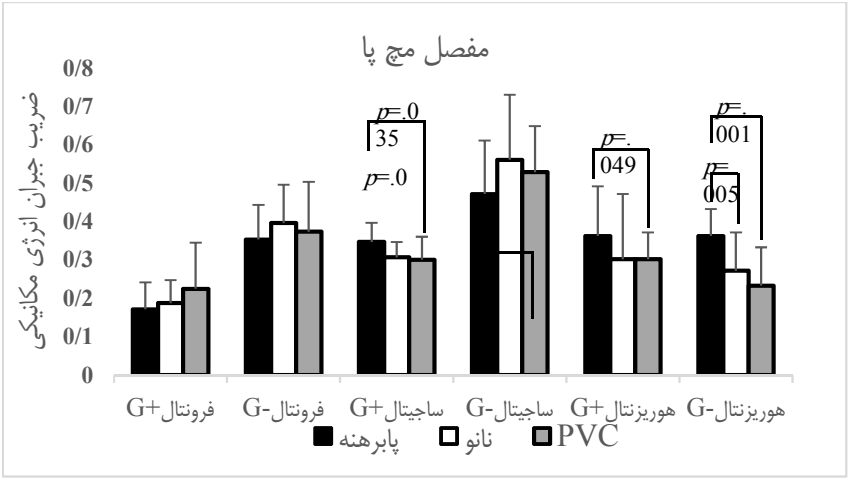
پانزده آزمودنی مرد سالم با میانگین سن ۳/۵±۲۴ سال، جرم ۸/۳±۶۸/۸ کیلوگرم و قد ۰/۵±۱۷۶/۷ سانتیمتر به صورت در دسترس انتخاب شدند. آزمودنی‌ها هیچ‌گونه ناهنجاری و آسیب شدید در اندام تحتانی نداشتند. هیچ‌یک از آزمودنی‌ها تجربه دویدن پابرهنه یا با کفش مینیمال را نداشتند. پنج دوربین ویدیوئی (باسلر[1]، ۲۰۰ هرتز) در یک قوس ۱۶۰ درجه در یک سمت تخته نیروسنجی (کیسلر[2]، ۱۰۰۰ هرتز) که در میانه یک مسیر دویدن ۱۵ متری قرار داشت، چیده شدند. اطلاعات کینتیک و کینماتیکی بوسیله نرم افزار سیمی موشن[3] جمع‌آوری شد. نشانگرهای[4] ۲۵ میلیمتری (۱۹ عدد) روی اندام تحتانی سمت راست آزمودنی‌ها نصب شد. هر آزمودنی در ۳ حالت پوشش پا تلاش‌های دویدن را اجرا نمود. سه حالت پوشش پا شامل دویدن پابرهنه و دویدن با ۲ کفش مینیمال ساخته شده در این پژوهش بود. هر دو کفش در تمام ویژگی‌ها (وزن، اندازه، شکل، جنس مواد رویه و طراحی) به غیر از جنس مواد زیره مشابه بودند. جنس زیره یکی از کفش‌ها از نانو ذرات سیلیکا (با سختی Shore A70) و زیره کفش دوم از پلی ونیل کلراید (PVC؛ با سختی Shore A65) بود. الگوی دویدن تمامی آزمودنی‌ها پاشنه–پنجه و سرعت دویدن ۰,۲±۳,۵ متر بر ثانیه بود. داده‌های کینماتیکی و کینتیکی با روش تحلیل باقیمانده و فرکانس برشی ۱۰ و ۴۰ پالایش شدند و زوایای سه‌بعدی اندام‌های پا، ساق و ران با روش توالی کاردان و گشتاور مفاصل با روش دینامیک معکوس محاسبه شد [۲۱]. پارامترهای آنتروپومتریکی از مطالعه دلووا[5] (۱۹۹۶) اخذ شد [۲۲]. توان مفصلی از حاصل ضرب گشتاور مفصل در سرعت زاویه‌ای اندام‌ها در محل مفصل محاسبه شد. به منظور تعیین مقدار انتقال انرژی، ضریب جبران انرژی مکانیکی[6] (MEC) با استفاده از روش مک‌گیبون و همکاران[7] (۲۰۰۱a) محاسبه شد [۱۸]. MEC به شکل مجزا برای انتقال انرژی کانسنتریک (G_+) و انتقال انرژی اکسنتریک (G_-) محاسبه شد. تمامی محاسبات در نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۱۰ انجام شد. به منظور مقایسه آماری اوج توان و MEC مفاصل مچ پا و زانو در سه حالت مختلف پوشش پا، از تست آنالیز واریانس با استفاده از اندازه‌گیری تکراری و تست تعقیبی LSD استفاده شد. محاسبات آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و در سطح معناداری $\alpha<۰,۰۵$ انجام شد.

نتایج

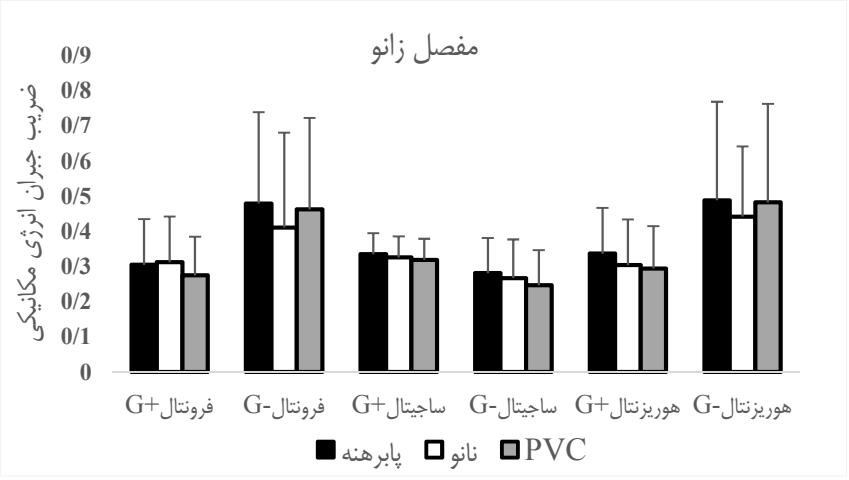
تصاویر ۱ و ۲ G_+ و G_- را برای مفصل مچ پا و زانو در سه شرایط دویدن طی فاز استقرار نشان می‌دهد. در مفصل مچ پا، تفاوت معناداری در هیچ‌یک از نتایج G_+ و G_- در سطح فرونتال برای سه حالت دویدن مشاهده نشد. در سطح ساجیتال G_+ در مفصل مچ پا، در دویدن پابرهنه به شکل معناداری از دو حالت نانو و PVC بیشتر بود. در سطح هوریزنتال مقادیر G_+ و G_- دویدن پابرهنه از کفش PVC بیشتر بود. به علاوه G_- در مفصل مچ پا برای حالت پا برهنه به شکل معناداری بیشتر از کفش نانو بود. هیچ یک از نتایج اختلاف معناداری را بین دو حالت کفش نشان

1. Basler
2. Kistler
3. SIMI motion
4. Markers
5. De Liva
6. Mechanical energy compensation coefficient
7. McGibbon, et al.

ندادند (تصویر ۱). به طور کل در هیچ‌یک از شرایط دویدن نتیجه معناداری برای G_+ و G_- در مفصل زانو در سه سطح حرکتی مشاهده نشد (تصویر ۲).



تصویر شماره ۱. ضریب جبران انرژی مکانیکی (G) مفصل مچ پا در سه شرایط دویدن پابرهنه، کفش نانو و PVC در سه سطح حرکتی حین فاز استقرار دویدن.



تصویر شماره ۲. ضریب جبران انرژی مکانیکی (G) مفصل زانو در سه شرایط دویدن پابرهنه، کفش نانو و PVC در سه سطح حرکتی حین فاز استقرار دویدن.

جدول ۱ مقادیر اوج توان مفصلی مچ پا و زانو را در سه سطح حرکتی نشان می‌دهد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده تولید و مقادیر منفی نشان دهنده جذب توان در مفصل هستند. در سطح فرونتال اوج توان مثبت مچ پا در دویدن پابرهنه به شکل معناداری بیشتر از کفش PVC بود. همچنین کفش نانو نیز اوج توان مثبت مچ پا را در مقایسه با

کفش PVC افزایش داده بود. در مفصل زانو اوج توان مثبت کفش PVC در سطح فرونتال بیشتر از پابرهنه بود در حالی که اختلاف معناداری بین حالت پابرهنه/ نانو و نانو/PVC مشاهده نشد.

حین دویدن با کفش نانو و PVC اوج توان مثبت مچ پا در سطح ساجیتال به شکل معناداری نسبت به حالت پابرهنه افزایش داشت. مقادیر اوج توان مثبت در زانو نیز برای هر دو کفش در مقایسه با دویدن پابرهنه افزایش داشت. همچنین کفش PVC اوج توان منفی بیشتری نسبت به دویدن پابرهنه در سطح ساجیتال داشت (جدول ۱).

جدول شماره ۱. مقادیر اوج توان مفاصل مچ پا و زانو ((انحراف استاندارد) میانگین) در سه شرایط مختلف دویدن.

مفصل	سطح حرکتی	پابرهنه	نانو	PVC	P پابرهنه و نانو	P پابرهنه و PVC	P نانو و PVC
مچ پا	فرونتال +	۲/۱۹ (۱/۱۲)	۱/۸۶ (۰/۶۲)	۱/۵۴ (۰/۶۰)	۰/۲۷	۰/۰۲	۰/۰۲
	ساجیتال +	۷/۰۰ (۲/۰۲)	۷/۹۵ (۲/۲۹)	۷/۸۷ (۱/۷۵)	۰/۰۰۹	۰/۰۲	۰/۷۹
	هوریزنتال-	۰/۱۹ (۰/۱۶)	۰/۲۱ (۰/۱۶)	۰/۱۸ (۰/۱۴)	۰/۵۳	۰/۶۷	۰/۴۳
زانو	فرونتال +	۰/۹۳ (۰/۶۶)	۱/۳۰ (۱/۳۱)	۱/۳۲ (۰/۷۰)	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۹۳
	ساجیتال +	۱۲/۵۰ (۴/۴۴)	۱۴/۴۹ (۳/۷۸)	۱۴/۴۶ (۴/۲۴)	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۹۶
	ساجیتال -	۷/۶۱ (۲/۱۷)	۹/۰۷ (۳/۳۱)	۱۰/۳۱ (۴/۱۴)	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۱۷
	هوریزنتال -	۰/۴۳ (۰/۲۲)	۰/۳۶ (۰/۱۹)	۰/۴۰ (۰/۲۱)	۰/۰۷	۰/۳۳	۰/۱۹

نسبت توان مچ پا به زانو در سطح فرونتال محاسبه شد که این نسبت برای دویدن پابرهنه، نانو و PVC به ترتیب ۳/۷۹، ۳/۳۳ و ۱/۷۴ بود. مقادیر نسبت توان مچ پا به زانو برای شرایط پابرهنه و نانو به شکل معناداری بیشتر از PVC بود (p=۰/۰۱، p=۰/۰۴). بین دویدن پابرهنه و نانو در این نسبت اختلاف معناداری مشاهده نشد (p=۰/۵۱).

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که اوج توان سطح فرونتال در مفصل زانو در کفش PVC نسبت به دویدن پابرهنه افزایش یافته بود در حالی که بین کفش نانو و پابرهنه تفاوتی مشاهده نشد. به علاوه در سطح ساجیتال اوج توان منفی زانو در کفش PVC بیشتر از پابرهنه بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که هنگام دویدن با کفش PVC مفصل زانو باید توان بیشتری را جذب کند. در مفصل مچ پا کفش PVC مقادیر توان کمتری را در سطح ساجیتال نسبت به حالت پابرهنه داشت و اختلاف معناداری بین کفش نانو و پابرهنه نبود. هرچند تفاوت معناداری در مقادیر G_+ و G_- بین سه وضعیت دویدن در سطح فرونتال مشاهده نشد، یافته جذاب این مطالعه این است که نسبت توان مچ پا به زانو در شرایط پابرهنه و نانو بیشتر از PVC بود. به نظر می‌رسد که در دویدن پابرهنه و نانو کار بیشتری در مفصل مچ پا صورت گرفته در حالی که در کفش PVC بار بیشتر به مفصل زانو منتقل شده است.

نتایج پژوهش کاتزنر و همکاران[1] (۲۰۱۳) نیز نشان داد که کفش باعث افزایش بار روی مفصل زانو می‌شود [۲۳]. هریونیاک و همکاران[2] (۲۰۱۴) بیان نمودند که به دنبال شروع یک دوره برنامه دویدن پابرهنه بهبود مطلوبی در آسیب‌های زانو مشاهده شده است [۲۴]. هرچند نتایج یک پژوهش نشان داد که بیشترین محل کاهش درد و آسیب در اثر دویدن مینیمال، زانو و بیشترین محل افزایش درد و آسیب، پا بوده است [۱۰]، ولی به نظر می‌رسد دویدن پابرهنه حتی در مقایسه با دویدن مینیمال اثرات بهتری روی زانو دارد. نتایج پژوهش فرانکلین و همکاران[3] (۲۰۱۷) نیز نشان داد از نظر کینماتیکی و فعالیت عضلانی راه رفتن مینیمال بین راه رفتن پابرهنه و راه رفتن با کفش رایج قرار دارد که این یافته می‌تواند دلیلی بر این ادعا باشد [۲۵]. به نظر می‌رسد وضعیت پابرهنه و کفش نانو استراتژی دویدن را در مقایسه با کفش PVC در سطح فرونتال تغییر داده‌اند. در این دو وضعیت دویدن، مفصل مچ پا نقش مهمی در حرکت ایفا کرده است در حالی که در کفش PVC توان مفصل زانو به شکل چشمگیری افزایش داشته است. این نتایج نشان می‌دهند که تخت کفش با درجه سفتی بیشتر برای کفش‌های مینیمال می‌تواند به شکل مناسب‌تری دویدن پابرهنه را تقلید نماید.

در سطح ساجیتال G_{+} در مفصل مچ پا برای دویدن پابرهنه از هر دو کفش بیشتر بود. با وجود این، هر دو کفش اوج توان مثبت را در مفاصل مچ پا و زانو نسبت به شرایط پابرهنه افزایش دادند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که عضلات مچ پا بوسیله انتقال انرژی اندام حمایت شده‌اند، بنابراین مقدار کار انجام شده در این وضعیت کاهش یافته است. از آنجایی که سرعت دویدن در تمامی شرایط دویدن کنترل شده بود، می‌توان نتیجه گرفت که عضلات مقدار انرژی کمتری را در دویدن پابرهنه صرف کرده‌اند. رائو و همکاران[4] نیز در سال ۲۰۱۵ کارایی دویدن پابرهنه و مینیمال را مقایسه کرده بودند [۵]. این نویسندگان نشان دادند که دویدن پابرهنه کارایی بیشتری نسبت به دویدن مینیمال دارد. مدل عضلانی–وتری مورد استفاده در پژوهش رائو و همکاران نشان داد که در دویدن پابرهنه عضله دوقلو (به عنوان یک عضله دو مفصله) برای بالابردن ظرفیت نیروی خروجی به شکل ایزومتریک منقبض می‌شود. به علاوه با توجه رابطه طول–تنش در این وضعیت عضلات در طول بهینه خود فعالیت می‌کنند که بیشترین کارایی را به دنبال خواهد داشت. بر اساس این نتایج رائو و همکاران نتیجه گرفتند که ساختارهای عضلانی–وتری در دویدن پابرهنه بسیار کاراتر از دویدن مینیمال عمل می‌کنند [۵]. دویدن پابرهنه حتی بعد از لحاظ کردن وزن کفش نیز کارایی بیشتری نسبت به دویدن مینیمال داشته است [۴] و پوشیدن کفش با زیره بسیار نازک نیز می‌تواند مکانیسم عمل واحد عضلانی–وتری را متاثر سازد [۵]. بنابراین کاهش توان مفصلی به همراه افزایش انتقال انرژی حین دویدن پابرهنه نشان دهنده کارایی بیشتر دویدن پابرهنه نسبت به دویدن با کفش مینیمال است. مطالعات قبلی با گروه‌های متفاوت آزمودنی (جوان، پیر و ناتوان) نیز نشان دادند که حین گام‌برداری، انتقال انرژی در گروه‌های آزمودنی ناکارآمدتر کمتر (سالمندان و افراد ناتوان) است [۱۸ و ۲۰].

نتایج نشان داد که در سطح هوریزنتال در مفصل مچ پا G_{-} در دویدن پابرهنه بالاتر از دو کفش بود و G_{+} در کفش PVC کمتر از دویدن پابرهنه بود. این نتایج نشان می‌دهد که در دویدن پابرهنه توان بیشتری بین پا و ساق در سطح هوریزنتال منتقل شده است و عضلات بوسیله انرژی اندام‌ها حمایت بیشتری داشته‌اند. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دویدن پابرهنه کارآمدتر و ایمن‌تر از دویدن با کفش مینیمال است. هرچند این نکته باید در نظر گرفته شود که کفش نانو با تخت سفت‌تر شباهت بیشتری به دویدن پابرهنه داشت. به نظر می‌رسد که

1. Kutzner, et al.
2. Hryvniak, et al.
3. Franklin, et al.
4. Rao et, al.

دویدن پابرهنه با اتکا بیشتر به مفصل مچ پا و انتقال بیشتر انرژی در مفاصل، مزایایی را نسبت به دویدن با کفش دارد. بنابراین دوندگان باید به منظور کاهش آسیب و بهبود عملکرد، دویدن پابرهنه را در برنامه تمرینی خود لحاظ نمایند و بهتر است کفش‌های مینیمال را انتخاب کنند که بیشتر دویدن پابرهنه را تقلید می‌کنند. نتایج بهتر برای کفش نانو در قیاس با کفش PVC در سطح فرونتال نشان می‌دهد که زیره کفش سفت‌تر می‌تواند خطر بروز آسیب‌های مرتبط با دویدن را کاهش دهد و دویدن پابرهنه را بهتر تقلید کند. نتایج یک پژوهش نیز نشان داد که بعد از ۶ ماه تمرین با کفش‌هایی که اختلاف ارتفاع بین پاشنه و پنجه ۰، ۶ و۱۰ میلی‌متر بود، تنها تغییر مشاهده شده کاهش زاویه اداکشن زانو برای کفش ۰ میلی‌متر بود [۲۶]. این نتایج نشان می‌دهد که به منظور تقلید هرچه بهتر شرایط پابرهنه بوسیله کفش‌های مینیمال، بهتر است جنس و هندسه زیره کفش به شکل هم زمان مورد توجه قرار گیرند. محدودیت پژوهش حاظر این بود که آزمودنی‌ها فقط چند ساعت با کفش‌های مورد مطالعه در این پژوهش دویدند.

References:

1. Altman, A.R. and Davis, I.S., 2012. Barefoot running: biomechanics and implications for running injuries. Current sports medicine reports, 11(5), pp.244-250.
2. Davis, I.S., Rice, H.M. and Wearing, S.C., 2017. Why forefoot striking in minimal shoes might positively change the course of running injuries. Journal of sport and health science, 6(2), pp.154-161.
3. Rothschild, C., 2012. Running barefoot or in minimalist shoes: evidence or conjecture?. Strength & Conditioning Journal, 34(2), pp.8-17.
4. Perl, D.P., Daoud, A.I. and Lieberman, D.E., 2012. Effects of footwear and strike type on running economy. Med Sci Sports Exerc, 44(7), pp.1335-43.
5. Rao, G., Chambon, N., Guéguen, N., Berton, E. and Delattre, N., 2015. Does wearing shoes affect your biomechanical efficiency?. Journal of biomechanics, 48(3), pp.413-417.
6. Lee, S.P., Bailey, J.P., Smith, J.A., Barton, S., Brown, D. and Joyce, T., 2016. Adaptations of lumbar biomechanics after four weeks of running training with minimalist footwear and technique guidance: Implications for running-related lower back pain. Physical Therapy in Sport.
7. Squadrone, R. and Gallozzi, C., 2009. Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. J Sports Med Phys Fitness, 49(1), pp.6-13.
8. Cheung, R.T. and Ngai, S.P., 2016. Effects of footwear on running economy in distance runners: A meta-analytical review. Journal of science and medicine in sport, 19(3), pp.260-266.
9. Lieberman, D.E., Venkadesan, M., Werbel, W.A., Daoud, A.I., D'andrea, S., Davis, I.S., Mang'Eni, R.O. and Pitsiladis, Y., 2010. Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature, 463(7280), p.531.
10. Cohler, M.H. and Casey, E., 2015. A Survey of Runners' Attitudes Toward and Experiences With Minimally Shod Running. PM&R, 7(8), pp.831-835.
11. Chen, T.L.W., Sze, L.K., Davis, I.S. and Cheung, R.T., 2016. Effects of training in minimalist shoes on the intrinsic and extrinsic foot muscle volume. Clinical Biomechanics, 36, pp.8-13.
12. Hein, T. and 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), pp.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), pp.137-142.
14. Miller, E.E., Whitcome, K.K., Lieberman, D.E., Norton, H.L. and Dyer, R.E., 2014. The effect of minimal shoes on arch structure and intrinsic foot muscle strength. Journal of Sport and Health Science, 3(2), pp.74-85.
15. Bishop, M., Fiolkowski, P., Conrad, B., Brunt, D. and Horodyski, M., 2006. Athletic footwear, leg stiffness, and running kinematics. Journal of athletic training, 41(4), p.387.
16. Lohman III, E.B., Sackiriyas, K.S.B. and Swen, R.W., 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), pp.151-163.
17. Lieberman, D.E., 2012. What we can learn about running from barefoot running: an evolutionary medical perspective. Exercise and sport sciences reviews, 40(2), pp.63-72.
18. McGibbon, C.A., Krebs, D.E. and Puniello, M.S., 2001. Mechanical energy analysis identifies compensatory strategies in disabled elders' gait. Journal of biomechanics, 34(4), pp.481-490.
19. Samson, W., Desroches, G., Cheze, L. and Dumas, R., 2009. 3D joint dynamics analysis of healthy children's gait. Journal of biomechanics, 42(15), pp.2447-2453.
20. McGibbon, C.A., Puniello, M.S. and Krebs, D.E., 2001. Mechanical energy transfer during gait in relation to strength impairment and pathology in elderly women. Clinical Biomechanics, 16(4), pp.324-333.
21. Winter, D.A., 2009. Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley & Sons.
22. De Leva, P., 1996. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. Journal of biomechanics, 29(9), pp.1223-1230.
23. Kutzner, I., Stephan, D., Dymke, J., Bender, A., Graichen, F. and Bergmann, G., 2013. The influence of footwear on knee joint loading during walking—in vivo load measurements with instrumented knee implants. Journal of biomechanics, 46(4), pp.796-800.
24. Hryvniak, D., Dicharry, J. and Wilder, R., 2014. Barefoot running survey: Evidence from the field. Journal of Sport and Health Science, 3(2), pp.131-136.
25. Franklin, S., Li, F.X. and Grey, M.J., 2018. Modifications in lower leg muscle activation when walking barefoot or in minimalist shoes across different age-groups. Gait & posture, 60, pp.1-5.
26. Malisoux, L., Gette, P., Chambon, N., Urhausen, A. and Theisen, D., 2017. Adaptation of running pattern to the drop of standard cushioned shoes: A randomised controlled trial with a 6-month follow-up. Journal of science and medicine in sport, 20(8), pp.734-739.