Iranian Journal of Rehabilitation Research in Nursing Original Article

Spring 2025, Volume 11, Issue 3 10.22034/IJRN.11.3.74

Comparison of the Frequency Spectrum of the Vertical Force of Ground Reaction in ten Areas of the Foot in Overweight People Compared to Healthy People During Running

Amirali Jafarnezhadgero[1*], Sara Imani Brouj [2], Hamed Sheikhalizade[3], Ebrahim Piri[3]

1- Associate Professor, Department of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- MSc in Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3- PhD candidate in sports Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

Corresponding Author: Amirali Jafarnezhadgero, Associate Professor, Department of Sport Biomechanics, Faculty of Educational Sciences and Psychology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
Email: amiralijafarnezhad@gmail.com

Received: 2024/06/02 Accepted: 2025/01/17

Abstract

Introduction: An increase in the peak vertical ground reaction force during running has been reported in overweight people, which can further disrupt mobility and quality of life. This research aimed to compare the frequency spectrum of the vertical ground reaction force in ten areas of the foot in overweight people compared to healthy people during running.

Methods: The current research was semi-experimental and applied research. Using G-Power software, the minimum sample size of 15 people was estimated for each group. The statistical sample of this research was made up of 30 teenagers in Ardabil province with an age range of 10 to 13 years. A foot scan device (RSScan) with a sampling rate of 300 Hz was used to record plantar pressure variables.

Results: The values of the essential harmony number of the big toe component, toes 2 to 5 component, first metatarsal bone component, and second metatarsal bone component in the overweight group were 31.37%, 40.03%, 32.12%, and 33/49%, higher compared to the healthy group. The median frequency in the component of the big toe in the healthy group was 20.94% higher than in the overweight dry group. The frequency values with a power of 99.5% of the third metatarsal bone component in the overweight group were 15.57% higher than the healthy group.

Conclusions: According to the results obtained in this research, it can be concluded that overweight children have more fluctuation during running compared to their healthy peers, which can increase the possibility of injury in these children.

keywords: Overweight, Plantar Pressure, Teenager, Frequency Spectrum of Ground Reaction Force.

[Downloaded from ijrn.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

نشریه پژوهش توانبخشی در پرستاری
مقاله پژوهشی

بهار ۱۴۰۴، دوره ۱۱، شماره ۳

10.22034/IJRN.11.3.74

مقایسه طیف فرکانس نیروی عمودی عکس العمل زمین در مناطق ده گانه پا در افراد دارای اضافه وزن و سالم طی دویدن

امیرعلی جعفرنژادگرو[1*]، سارا ایمانی بروج [2]، حامد شیخعلی زاده [3]، ابراهیم پیری[3]

۱- دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲- کارشناس ارشد، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳- دانشجوی دکتری بیومکانیک، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

نویسنده مسئول: امیرعلی جعفرنژادگرو، دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
ایمیل: amiralijafarnezhad@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

چکیده

مقدمه: افزایش اوج نیروی عمودی عکس العمل زمین طی دویدن در افراد دارای اضافه وزن گزارش شده است که می تواند تحرک و کیفیت زندگی آن ها را بیشتر مختل کند. هدف از تحقیق حاضر مقایسه طیف فرکانس نیروی عمودی عکس العمل زمین در مناطق ده گانه پا در افراد دارای اضافه وزن و سالم طی دویدن بود.

روش کار: پژوهش حاضر نیمه تجربی و از نوع پژوهش کاربردی بود. با استفاده از نرم افزار جی پاور حجم نمونه حداقلی ۱۵ نفر برای هرگروه برآورد شد. نمونه آماری این پژوهش را نوجوانان استان اردبیل ۳۰ نفر با محدوده سنی ۱۰ تا ۱۳ سال تشکیل دادند. برای ثبت متغیرهای فشار کف پایی از دستگاه فوت اسکن (RSScan) با نرخ نمونه برداری ۳۰۰ هرتز استفاده شده است.

یافته ها: مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه انگشت شست پا، مولفه انگشتان ۲ تا ۵ پا، مولفه استخوان کف پایی اول و استخوان کف پایی دوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم به ترتیب ۳۱/۳۷، ۴۰/۰۳، ۳۲/۱۲ و ۳۳/۴۹ درصد بیشتر بود. میانه فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان ۲۰/۹۴ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود. مقادیر فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد مولفه استخوان کف پایی سوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۱۵/۵۷ درصد بیشتر بود.

نتیجه گیری: با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق می توان نتیجه گرفت کودکان دارای اضافه وزن نسبت به همسالان سالم خود دارای نوسان بیشتری طی دویدن هستند، که این خود می تواند احتمال آسیب را در این کودکان افزایش دهد.

کلیدواژه ها: اضافه وزن، فشار کف پایی، نوجوان، طیف فرکانس نیروی عکس العمل زمین.

[Downloaded from ijrn.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

مقدمه

چاقی و اضافه وزن یکی از معضلات اساسی جهان امروزی محسوب می شود که روزبه‌روز در حال گسترش است. به‌خوبی مشخص شده است چاقی و اضافه وزن در ارتباط نزدیکی با ظهور سایر بیماری ها می باشد (۱). بر اساس آخرین آمار وزارت بهداشت، بیش از ۵۶ درصد جمعیت بالای ۱۸ سال کشور ایران دارای شاخص توده بدنی بالای ۳۰ هستند، همچنین آمار و ارقام حاکی از رشد ۵/۵ برابری شمار افراد چاق در کشورمان طی ۴ دهه گذشته می باشد (۲). شیوع کلی چاقی و اضافه‌وزن در جوامع درحال‌توسعه و سنین مختلف، بسیار متفاوت است (۳, ۴). چاقی جز بیماری های پیچیده مزمن است که با بیش از حد بودن چربی بدن مشخص می گردد که دامنه طبیعی چربی بدن در مردان ۱۸ تا ۲۴ درصد و در زنان، ۲۵ تا ۳۱ درصد گزارش شده است (۵،۶). به لحاظ بیومکانیکی بر اساس آخرین مطالعات انجام گرفته شده در زمینه مکانیک دویدن در کودکان چاق یا دارای اضافه وزن نشان داده شده است که ظهور چاقی می تواند در ارتباط مستقیمی با افزایش نرخ آسیب، استئوآرتریت مفاصل اندام تحتانی، افزایش اوج نیروهای عکس العمل زمین، افزایش فشار بر روی رباط های صلیبی قدامی و متعاقب آن درد کشککی-رانی و در نهایت منجر به ناتوانی فرد گردد (۷, ۸). در همین راستا مطالعات متعددی برای پیشگیری از ابتلا به چاقی اظهار کرده اند که انجام فعالیت بدنی منظم می تواند زمینه ای برای پیشگیری این بیماری باشد (۹, ۱۰). مطالعات متعددی اثرات اضافه وزن و چاقی بر مقادیر فشارهای کف پایی به عنوان روشی نسبتا جدید در اندازه گیری میزان و نحوه توزیع نیروهای وارد بر کف پا حین راه رفتن و دویدن را بررسی کرده اند. برای مثال، سانگ و همکاران (۱۱) اثرات چاقی بر توزیع فشار کف پایی در کودکان پیش دبستانی حین راه رفتن را بررسی کردند. آنان مشاهده کردند که مدت زمان مرحله میانی راه رفتن برای افراد چاق به طور معناداری در مقایسه با افراد با وزن طبیعی طولانی تر و برعکس مدت زمان مرحله پیشروی راه رفتن در افراد چاق کوتاه تر است. چانگ و همکاران (۱۲) گزارش کرده اند تحمل بار و فشار ناشی از وزن زیاد بدن توسط پاها هنگام راه رفتن و دویدن نسبت به افراد با وزن طبیعی چند برابر می شود. به علاوه یکی از مولفه های نیروی عکس العمل زمین که نقش به سزایی را در ایجاد یا پیشگیری از آسیب ها دارد، طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین است.

برای تجزیه و تحلیل دامنه فرکانس معمولا از یک تبدیل فوریه برای توصیف یک حرکت دوره ای استفاده می شود که به تشریح ویژگی های اجزای آناتومیکی مختلفی که حاکم بر الگوی دوره ای است، می پردازد (۱۳). یک ابزار برای ارزیابی تغییرات مکانیکی در حرکات انتقالی، تجزیه و تحلیل دامنه فرکانس است که توانایی بررسی کل چرخه حرکات انتقالی همچون راه رفتن و دویدن را دارد و نه فقط نقاط گسسته خاص مانند حداکثر یا حداقل مقدار زاویه مشترک در طی چرخه حرکات انتقالی همچون راه رفتن و دویدن را فراهم می کند. تجزیه و تحلیل دامنه فرکانس جزئیات مربوط به مجموعه ای از فرکانس ها را تشکیل می دهد (۱۴). در تجزیه و تحلیل حرکات انتقالی همچون راه رفتن و دویدن، یک سیگنال مجموع نوسانات متعدد را که منجر به حرکت می شود را نشان می دهد. با تجزیه و تحلیل سیگنال های یک الگوی حرکت انتقالی همچون دویدن می توان الگوهای حرکت زاویه ای مفصل مچ پا، زانو و ران و یا نیروهای عکس العمل زمین که در طول مرحله اتکا را به دست آورد. تجزیه و تحلیل دامنه فرکانس نیروهای عکس العمل زمین که به عنوان نیروهای اعمال شده به زمین در طول مرحله اتکا می باشد، قبلا برای ارزیابی حرکات انتقالی همچون راه رفتن و دویدن افراد سالم و آسیب دیده استفاده شده است (۱۴-۱۶). استرجیو (۲۰۰۲)، دامنه فرکانس را در سالمندان بررسی کرده است و مشاهده شد دامنه فرکانس در جهت قدامی-خلفی در افراد جوان سالم به میزان قابل ملاحظه ای کاهش داشت، زیرا سالمندان سرعت کمتری در حرکت داشتند (۱۶). بنابراین ممکن است که تجزیه و تحلیل فرکانس نیروهای عکس العمل زمین در کودکان دارای اضافه وزن و مقایسه آن با همسالان سالم مفید باشد؛ زیرا ممکن است تفاوت های مهمی در مکانیک دویدن این کودکان وجود داشته باشد که تاکنون در مطالعات قبلی به آن اشاره نشده است. بنابراین هدف از این تحقیق مقایسه طیف فرکانس نیروی عمودی عکس العمل زمین در مناطق ده گانه پا در افراد دارای اضافه وزن در مقایسه با افراد سالم طی دویدن بود.

روش کار

پژوهش حاضر نیمه تجربی و از نوع پژوهش کاربردی بود. با استفاده از نرم افزار جی پاور حجم نمونه حداقلی ۱۵ نفر

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

برای هرگروه برآورد شد تا توان آماری ۰/۹۵، اندازه اثر ۰/۹۵ در سطح معناداری ۰/۰۵ حاصل شود (۱۷). نمونه آماری این پژوهش را نوجوانان استان اردبیل تشکیل دادند که ۳۰ نفر با محدوده سنی ۱۰ تا ۱۳ سال (۱۵ نفر دارای اضافه وزن و ۱۵ نفر با وزن نرمال) بودند. در این پژوهش چاقی به صورت (شاخص توده بدنی بیشتر از صدک ۹۵) برای سن و جنس بر اساس حدود مرزی صدک های استاندارد شاخص توده ی بدنی پیشنهادی برای کودکان و نوجوانان ایرانی و منحنی های رشد مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری های آمریکا CDC (Centers for Desease control and Prevention) تعریف شد (۱۸, ۱۹). ابتدا نوجوانان مبتلا به چاقی شناسایی شدند. سپس از دانش آموزان داوطلب با توجه به معیارهای ورود (نداشتن سابقه جراحی و ضربه به ستون فقرات، نداشتن سابقه بیماری قلبی سیستمیک، عدم اختلال ساختاری در ستون فقرات و اندام تحتانی) و معیارهای خروج (عدم تمایل به ادامه همکاری، و بروز هر گونه آسیب طی جمع آوری داده) افراد موردنظر انتخاب شدند. پس از انتخاب این افراد، توضیحات کامل (کتبی و شفاهی) در مورد موضوع پژوهش و مراحل و نحوه انجام آن، نتایج حاصل از پژوهش، هدف از پژوهش و شرایط شرکت در آزمون ارائه شد.

برای ثبت متغیرهای فشار کف پایی از دستگاه فوت اسکن (RSScan international, Belgium, 0.5 ×۰.5×0.02m, 4363 sensors) ساخت کشور بلژیک با نرخ نمونه برداری ۳۰۰ هرتز استفاده شده است. کوشش دویدن صحیح، شامل برخورد کامل پا بر روی بخش میانی دستگاه فوت اسکن بود. تمامی آزمودنی ها برای دویدن مسیر ۱۸ متری را طی کرده و در میانه ی مسیر ۱۸ متری برای ثبت فشار کف پایی دستگاه فوت اسکن قرار گرفته بود. آزمودنی به طور آزمایشی سه مرتبه کوشش دویدن را انجام می داد تا با نحوه آزمایش آشنا شود. اگر فوت اسکن توسط آزمودنی جهت تنظیم گام مورد هدف قرار می گرفت یا تعادل آزمودنی دچار اختلال می شد، کوشش راه رفتن تکرار می شد (۲۰). تعداد کوشش های صحیح دویدن برابر ۳ کوشش در هر شرایط بود (۲۰). مدت زمان استراحت بین هر کوشش دویدن برابر یک دقیقه بود (۲۰). جهت هموار کردن داده ها از فیلتر باتروورث مرتبه چهارم با برش فرکانسی ۲۰ هرتز استفاده شد (۲۱). برای نرمال کردن مقادیر نیروی عکس العمل زمین، این مقادیر بر وزن بدن تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شدند (۲۱). در نهایت، نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک تایید شد. آزمون آماری t مستقل جهت تحلیل آماری داده ها استفاده شد. تمام تحلیل ها در سطح معنی داری ۰/۰۵ و با استفاده از نرم افزار متلب و spss نسخه ۲۶ انجام شد.

طیف گسسته، دامنه فرکانس به صورت مضربی از فرکانس پایه تعیین می شود، مجموع n هارمونیک برابر است با:

رابطه (۱)

$$F(t) = \sum A_n \sin(n\omega_0 t + \theta_n)$$

An= دامنه ω۰= فرکانس پایه n= ضریب هارمونیک Θn= زاویه فازی برای ارزیابی محتوای فرکانس نیروی، شاخص های زیر محاسبه می شوند (۲۲, ۲۳).

رابطه (۲)

$$\int_0^{f^{99.5}} p(f)df = 0.995 \times \int_0^{f_{max}} p(f)df$$

p= توان محاسبه شده، fmax= حداکثر فرکانس سیگنال، میانه فرکانس نیرو، میانه فرکانس در نقطه ای اتفاق می افتد که نیمی از توان سیگنال در بالا و نیمی دیگر در پایین آن قرار دارد.

رابطه (۳)

$$\int_0^{f_{med}} p(f)df = \int_{f_{med}}^{f_{max}} p(f)\,df$$

fmax= حداکثر فرکانس سیگنال

fmed= میانه فرکانس سیگنال

پهنا باند فرکانس نیرو برابر با تفاوت بین فرکانس حداکثر و حداقل است. توان سیگنال برابر با توان هارمونی های بیشتر از نصف حداکثر توان سیگنال باشد.

رابطه (۴)

$$f_{band} = f_{max} - f_{min}(when\ p > 1/2 \times p_{max})$$

fmax= حداکثر فرکانس سیگنال

fmin= حداقل فرکانس سیگنال

fband = پهنای باند سیگنال

pmax= حداکثر توان سیگنال

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

شاخص چهارم تعیین تعداد هارمونی های ضروری در هر راستا بود. که بر طبق روش اشنایدر، تعداد هارمونیک ضرور ne برای بازسازی سطح ۹۵٪ از داده ها به عنوان تعدادی از هارمونیک ها که مجموع دامنه های نسبی هر هارمونیک در کل دامنه کمتر یا برابر با ۰/۹۵ در نظر گرفته شد (۲۴). رابطه (۵).

$$\sum_{n=1}^{n_e} \frac{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}}{\sum_{n=1}^{m} \sqrt{A_n^2 + B_n^2}} \leq 0.95$$

یافته ها

آزمودنی های گروه چاق دارای سن ۰/۴۵ ± ۱۲/۲۶ سال، قد ۶/۹۳ ± ۱۵۶/۱۳ سانتی متر و جرم ۱۴/۵۵ ± ۷۲/۶۰ کیلوگرم و آزمودنی های گروه نرمال دارای سن ۱/۱۶۲ ± ۱۲/۰۶ سال، قد ۶/۴۴ ± ۱۵۴/۱۳ سانتی متر و جرم ۵/۵۶ ± ۴۲/۷۲ کیلوگرم بودند. نتایج آزمون تی مستقل نشان داد که هیچ یک از مولفه های طیف فرکانس نیروی عمودی عکس العمل زمین (شامل فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد، تعداد هارمونی های ضروری، میانه فرکانس، پهنای باند فرکانس) بین دو گروه اضافه وزن و سالم از نظر آماری دارای اختلاف معناداری نبود (P>۰/۰۵) (جدول ۱).

جدول ۱. میانگین و انحراف استاندارد مولفه های طیف فرکانس نیروی عکس العمل زمین

راستا	متغیر	گروه اضافه وزن	گروه سالم	سطح معناداری	اندازه اثر
مولفه عمودی نیروی عکس العمل زمین	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۴/۵۵ ± ۰/۹۴	۲۴/۷۷ ± ۰/۸۸	۰/۵۱۳	۰/۲۴
	تعداد هارمونیهای ضروری	۱۹/۲۴ ± ۳/۶۷	۱۹/۷۵ ± ۴/۰۱	۰/۷۱۹	۰/۱۳
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۰۴ ± ۰/۱۱	۰/۱۵۳	۱/۸۶
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰

* سطح معناداری P<۰/۰۵

نتایج حاصل از تحلیل آماری تی مستقل نشان داد که مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه انگشت شست پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۱/۳۷ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۲۶). میانه فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان ۲۰/۹۴ درصد از گروه درای اضافه وزن بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱). مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه انگشتان ۲ تا ۵ پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۴۰/۰۳ درصد بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱). میانه فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان ۳۱/۷۴ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱) (جدول ۲).

جدول ۲. میانگین و انحراف استاندارد مولفه های طیف فرکانس نیروی عکس العمل زمین در نواحی انگشتان پا

راستا	متغیر	گروه اضافه وزن	گروه سالم	سطح معناداری	اندازه اثر
انگشت شست پا	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۹/۹۷ ± ۵/۹۵	۲۵/۰۶ ± ۷/۲۶	۰/۰۵۲	۰/۷۴
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۴/۸۶ ± ۴/۱۲	۱۸/۸۸ ± ۸/۹۲	* ۰/۰۲۶	۰/۹۲
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۵۳ ± ۰/۵۱	* P< ۰/۰۰۱	۱/۱۸
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
انگشتان ۲ تا ۵ پا	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۸/۱۷ ± ۴/۵۳	۲۶/۱۳ ± ۵/۴۴	۰/۲۷۳	۰/۴۱
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۶/۱۳ ± ۳/۳۴	۱۸/۶۶ ± ۴/۱۷	* P< ۰/۰۰۱	۱/۹۹
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۹۳ ± ۰/۸۹	* P< ۰/۰۰۱	۲/۰۹
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	

* سطح معناداری P<۰/۰۵

مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پایی اول در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۲/۱۲ درصد بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱). میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پایی اول در گروه سالم به میزان ۳۱/۲۷ درصد از

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱). مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پایی دوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۳/۴۹ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۰۳). میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پایی دوم در گروه سالم به میزان ۲۳/۰۷ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱). مقادیر فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد مولفه استخوان کف پایی سوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۱۵/۵۷ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۳۵). مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پایی سوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۶/۰۹ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۰۱). میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پایی سوم در گروه سالم به میزان ۲۳/۰۷ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P<۰/۰۰۱). میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پایی چهارم در گروه سالم به میزان ۳۰/۵۵ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P<۰/۰۰۱). مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پایی پنجم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۱۸/۳۵ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۲۸). میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پایی پنجم در گروه سالم به میزان ۲۷/۲۷ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P<۰/۰۰۱) (جدول ۳).

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد مولفه های طیف فرکانس نیروی عکس العمل زمین در نواحی استخوان های کف پایی

راستا	متغیر	گروه اضافه وزن	گروه سالم	سطح معناداری	اندازه اثر
استخوان کف پایی اول	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۴/۱۱ ± ۴/۹۸	۲۶/۹۷ ± ۴/۹۵	۰/۱۲۶	۰/۵۷
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۴/۸۰ ± ۴/۶۲	۱۸/۷۷ ± ۲/۴۳	* P< ۰/۰۰۱	۱/۷۱
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۹۱ ± ۰/۲۶	* P< ۰/۰۰۱	۷/۰۰
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
استخوان کف پایی دوم	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۸/۰۴ ± ۵/۴۴	۲۶/۱۳ ± ۵/۵۸	۰/۳۵۱	۰/۳۴
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۴/۱۱ ± ۳/۶۳	۱۸/۰۶ ± ۶/۲۴	* ۰/۰۰۳	۱/۲۲
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۶۰ ± ۰/۴۲	* P< ۰/۰۰۱	۲/۸۵
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
استخوان کف پایی سوم	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۹/۹۱ ± ۴/۵۲	۲۵/۸۸ ± ۵/۳۹	* ۰/۰۳۵	۰/۸۱
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۴/۷۷ ± ۳/۵۸	۱۸/۲۰ ± ۵/۸۹	* ۰/۰۰۱	۱/۳۸
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۶۰ ± ۰/۴۲	* P< ۰/۰۰۱	۲/۸۵
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
استخوان کف پایی چهارم	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۴/۵۷ ± ۵/۹۴	۲۶/۹۳ ± ۴/۸۳	۰/۲۴۴	۰/۴۳
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۳/۹۳ ± ۳/۴۷	۱۸/۸۴ ± ۳/۹۶	* ۰/۰۰۱	۱/۳۷
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۸۸ ± ۰/۳۲	* P< ۰/۰۰۱	۵/۵۰
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
استخوان کف پایی پنجم	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۶/۳۱ ± ۵/۱۰	۲۶/۱۶ ± ۴/۲۱	۰/۹۲۸	۰/۰۳
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۴/۲۴ ± ۴/۳۵	۲۰/۴۸ ± ۴/۵۲	* ۰ /۰۲۸	۰/۸۴
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۷۵ ± ۰/۳۲	* P< ۰/۰۰۱	۴/۶۸
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰

* سطح معناداری P<۰/۰۵

مقادیر فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد قسمت میانی پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۱۹/۵۰ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۱۶). مقادیر تعداد هارمونی ضروری قسمت میانی پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۳/۰۱ درصد بیشتر بود (P=۰/۰۰۶). میانه فرکانس در قسمت میانی پا در گروه سالم به میزان ۲۶/۷۳ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P< ۰/۰۱۶). مقادیر تعداد هارمونی ضروری قسمت داخلی پاشنه پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۳/۳۵ درصد بیشتر بود (P<۰/۰۰۱). میانه فرکانس در قسمت داخلی پاشنه پا در گروه سالم به میزان

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

۲۹/۰۷ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P<۰/۰۰۱). تعداد هارمونی ضروری قسمت خارجی پاشنه پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۲۷/۶۱ درصد بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱). میانه فرکانس در قسمت داخلی پاشنه پا در گروه سالم به میزان ۳۱/۲۷ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود (P< ۰/۰۰۱) (جدول ۴).

جدول ٤. میانگین و انحراف استاندارد مولفه های طیف فرکانس نیروی عکس العمل زمین در نواحی میانی پا و پاشنه

راستا	متغیر	گروه اضافه وزن	گروه سالم	سطح معناداری	اندازه اثر
قسمت میانی پا	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۳۰/۰۸ ± ۵/۹۴	۲۵/۱۷ ± ۴/۴۷	* ۰/۰۱۶	۰/۹۴
	تعداد هارمونی های ضروری	۲۵/۰۶ ± ۴/۴۰	۱۸/۸۴ ± ۶/۸۴	* ۰/۰۰۶	۱/۱۰
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۷۳ ± ۰/۵۹	* ۰/۰۱۶	۲/۴۷
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
پاشنه قسمت داخلی	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۷/۶۶ ± ۶/۵۵	۲۵/۸۴ ± ۳/۸۰	۰/۳۶۰	۰/۳۵
	تعداد هارمونی های ضروری	۲۵/۵۱ ± ۳/۸۵	۱۹/۱۳ ± ۳/۴۹	* P< ۰/۰۰۱	۱/۷۳
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۸۲ ± ۰/۳۷	* P< ۰/۰۰۱	۴/۴۳
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰
پاشنه قسمت خارجی	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۶/۴۲ ± ۷/۰۵	۲۶/۰۲ ± ۴/۰۲	۰/۸۵۰	۰/۰۷
	تعداد هارمونی های ضروری	۲۴/۸۶ ± ۳/۵۳	۱۹/۴۸ ± ۳/۵۷	* P< ۰/۰۰۱	۱/۵۱
	میانه فرکانس	۲/۰۰ ± ۰/۰۰	۲/۹۱ ± ۰/۲۶	* P< ۰/۰۰۱	۷/۰۰
	پهنای باند فرکانس	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰

* سطح معناداری P<۰/۰۵

بحث

هدف پژوهش حاضر مقایسه طیف فرکانس نیروی عمودی عکس العمل زمین در مناطق ده گانه پا در افراد دارای اضافه وزن و سالم طی دویدن بود. یافته های پژوهش حاضر نشان داد که مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه انگشت شست پا و انگشتان ۲ تا ۵ در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم به ترتیب ۳۱/۳۷ درصد و ۴۰/۰۳ درصد بیشتر بود. میانه فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان ۲۰/۹۴ درصد از گروه درای اضافه وزن بیشتر بود. دامنه فرکانسی محتوای فرکانسی، به همه اجزای سهیم در سیستم حرکتی از جمله استخوان ها، عضلات، اعصاب و هر بافت دیگری وابسته است که اثر تعاملی آن باعث تولید حرکت می شود (۲۶). مطالعه های گذشته نشان داده است که افراد دارای اضافه وزن به دلیل اعمال افزایش بار طی حرکات انتقالی همچون دویدن باعث افزایش زمان انتقال پیام الکتریکی در فضای سیناپسی می گردد؛ بنابراین علت افزایش تعداد هارمونی های ضروری نیروهای عکس العمل زمین در افراد دارای اضافه وزن می تواند نشان‌دهنده اختلال در الگوی حرکت پا باشد. هارمونی‌های ضروری نشان‌دهنده الگوهای حرکتی هستند که برای عملکرد بهینه پا ضروری هستند. اختلال در این الگوها می‌تواند منجر به درد، آسیب و ناتوانی شود (۱۰).

مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پایی اول تا پنجم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم بیشتر بود. میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پایی اول تا پنجم در گروه سالم از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود. مقادیر فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد مولفه استخوان کف پایی سوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۱۵/۵۷ درصد بیشتر بود.

یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که افراد دارای اضافه وزن در مقایسه با افراد سالم، الگوی حرکت متفاوتی در پاهایشان دارند که این تفاوت در الگو با افزایش تعداد هارمونی‌های ضروری و کاهش فرکانس حرکت نشان داده می‌شود. افزایش تعداد هارمونی‌های ضروری نشان‌دهنده پیچیدگی بیشتر در الگوی حرکت پا است. این امر می‌تواند ناشی از تلاش پا برای جبران تغییرات ساختاری یا بیومکانیکی مرتبط با اضافه وزن باشد. جعفرنژادگرو و همکاران (۲۰۲۰)، اظهار داشتند که کاهش فرکانس حرکت نشان‌دهنده کند شدن حرکت پا است (۱۰). این امر می‌تواند ناشی از افزایش بار روی پاها و یا ضعف عضلات

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

پـا در افـراد دارای اضافـه وزن باشـد.

تفـاوت در فرکانـس بـا تـوان ۹۹/۵ در مولفـه اسـتخوان کـف پایـی سـوم نشـان‌دهنده اختـلال مشـخص در حرکـت ایـن استخوان در افـراد دارای اضافـه وزن اسـت (۲۵). چاقـی یـا اضافه وزن یکـی از بیمـاری هـای رایجـی اسـت، به‌نحوی‌کـه مـی توانـد مکانیـک دویـدن را تحـت تأثیـر قـرار مـی دهـد. بـه لحـاظ بیومکانیکـی افزایـش فشـارهای کـف پایـی مـی توانـد زمینـه ای بـرای افزایـش فشـارهای وارده بـر مفاصـل انـدام تحتانـی و بـروز زانـودرد و کمـردرد باشـد. در همیـن راسـتا ویـوج و همـکاران (۲۰۱۷)، طـی یـک مطالعه سیسـتماتیک اظهـار کردند کـه دویدن در افـراد دارای شـاخص تـوده بدنـی بـالا مـی توانـد منجـر بـه افزایـش فشـارهای کـف پایـی و زانـو درد شـود (۲۵). روبینشـتاین و همـکاران (۲۰۱۷)، نیـز بـه ارتبـاط مسـتقیم افزایـش فشـارهای کـف پایـی و افزایـش احتمـال بـروز درد در انـدام تحتانـی اشـاره کـرده انـد (۲۶). بـه نظـر مـی رسـد عـدم جـذب فشـارهای کـف پـا در افـراد چـاق یـا دارای اضافـه‌وزن یکـی از دلایـل اصلـی بـروز زانـو درد باشـد. طیـف فرکانـس نیـروی عکـس العمـل زمیـن، بـه تمـام مؤلفـه هـای سـهیم در سیسـتم حرکتـی از جمله اسـتخوان هـا، عضـلات، اعصـاب و بافـت هـای دیگـر وابسـته مـی باشـد کـه اثـر تعاملـی آن هـا باعـث ایجـاد حرکـت مـی شـود (۲۲). تفـاوت در تعامـلات سیسـتم هـای عصبـی و عضلانی بـرای دویـدن افـراد را مـی تـوان بـا اسـتفاده از تجزیـه و تحلیـل فرکانـس موجـود یافـت (۲۲). تجزیـه و تحلیـل فرکانـس نیـروی عکـس العمـل زمیـن در مطالعـات گذشـته نشـان داده اسـت کـه بـا تغییـرات مرتبـط بـا پیـری متفـاوت بـوده اسـت کـه بـه احتمـال زیـاد بـه علـت تغییـرات در سیسـتم عصبی–عضلانـی بـوده اسـت (۱۶). طـی حـرکات انتقالـی زمانـی کـه بـدن بـه زمیـن نیـرو وارد مـی کنـد، فرکانـس سـیگنال نیـروی عکـس العمـل زمیـن امـکان دارد تـا حـدودی عملکـرد مؤلفـه ی نوسـانی سیسـتم عصبی–حرکتـی را نشـان دهـد (۲۲, ۲۳). گـزارش شـده اسـت کـه افزایـش جـذب شـوک منجر بـه کاهـش نیـروی ضربه مـی شـود و بـا توجـه بـه اینکـه تـوان فرکانـس نیـروی عکـس العمـل زمیـن از دامنـه ی مؤلفـه هـای فرکانـس متفاوت سـیگنال نیرو–زمـان تشـکیل مـی شـود و هرچـه مؤلفـه تـوان ایـن سـیگنال (نیرو–زمـان) بیشـتر شـود، فرکانـس نیـز بالاتـر خواهـد بـود (۲۷). بنابرایـن بالاتـر بـودن فرکانـس بـا تـوان ۹۹/۵ درصـد در گـروه دارای اضافـه وزن مـی توانـد نشـان از احتمـال آسـیب بیشـتر در ایـن گـروه باشـد.

فرکانـس بـا تـوان ۹۹/۵ درصـد قسـمت میانـی پـا در گـروه اضافـه وزن در مقایسـه بـا گـروه سـالم ۱۹/۵۰ درصـد بیشـتر بـود. مقادیـر تعـداد هارمونـی ضـروری قسـمت هـای میانـی پـا، داخلی و خارجـی پاشـنه در گـروه اضافـه وزن در مقایسـه بـا گـروه سـالم بیشـتر بـود. میانـه فرکانـس در قسـمت هـای میانـی پـا، داخلی و خارجـی پاشـنه در گـروه سـالم در مقایسـه بـا افـراد دارای اضافـه وزن بیشـتر بـود.

پژوهـش هـای انجـام شـده بیـان کرده‌انـد فرکانـس مربـوط بـه تـوان ۹۹٪ یـا ۹۹/۵٪ طیـف فرکانـس نیروهـای عکـس العمـل زمیـن در جمعییـت بالینـی مـورد ارزیابـی پاییـن تـر از گـروه کنتـرل گـزارش شـده اسـت (۲۲, ۲۳). فرکانـس بـا تـوان ۹۹/۵٪ از سـیگنال نیروهـای عکـس العمـل زمیـن بـه عنـوان یـک مقیـاس از لـرزش و بـی ثباتـی الگـوی حرکـت در بیمـاران، محتـوای داده هـای فرکانـس بالاتـر، افزایـش لـرزش و بـی ثباتی را مـی سـنجد (۲۸). بـر ایـن اسـاس نتایـج بـه دسـت آمـده در ایـن تحقیـق هـم نشـان مـی دهـد کـه کـودکان دارای اضافـه وزن در کنتـرل ارزش و ثبـات خـود دچـار مشـکل هسـتند کـه این نیـز بـه نوبـه خـود مـی توانـد ریسـک آسـیب را در ایـن کـودکان افزایـش دهـد. میانـه فرکانـس نیـروی عکـس العمـل زمیـن بـا مولفـه هـای سیسـتم عصبـی حرکتـی هنگامـی کـه بـدن نیرویی را بـه زمیـن اعمـال می–نمایـد مرتبـط اسـت (۲۲). بـه عنـوان مثـال سـینتیک انقباضـی آهسـته دارای نوسـان کمتـر در عضلـه اسـت بنابرایـن فرکانـس میانـه کمتـری دارد (۲۲). بـا تجزیـه و تحلیـل فرکانـس حـرکات، دامنـه فرکانـس هـای مرتبـط بـا تمـام اجـزای سیسـتم عصبـی، اسـتخوان هـا، عضـلات، بافنـد همبنـد اسـت کـه بـا یکدیگـر بـرای تولیـد حرکـت همـکاری دارنـد (۲۲). بـه عنـوان مثـال کاهـش پهنـای بانـد فرکانـس های حرکتـی، نشـان دهنـده محدودیـت پدیـده هـای نوسـان در یـک بـا چنـد مـورد از ایـن سـاختارها هماننـد حرکـت قدامی–خلفـی در بیمـاران اسـت (۲۲). بـا توجـه بـه نتایـج بدسـت آمـده میانـه فرکانـس در گـروه سـالم بیشـتر از گـروه اضافـه وزن بـود کـه ایـن مـورد بـا تحقیقـات دیگـر همراسـتا نمـی باشـد کـه احتمـال دارد بدلیـل داده گیـری متفـاوت یـا آزمودنـی هـا باشـد کـه بایـد در ایـن زمینـه تحقیقـات بیشـتری انجـام شـود. پژوهـش حاضـر دارای محدودیـت هایـی بـود کـه از آن جملـه مـی تـوان عـدم وجـود جنسـیت مؤنـث در نمونـه آمـاری اشـاره نمـود. از سـوی دیگـر عـدم ثبـت فعالیـت الکترومایوگرافـی عضـلات از دیگـر محدودیـت هـای ایـن پژوهـش بـود.

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق می توان نتیجه گرفت کودکان دارای اضافه وزن نسبت به همسالان سالم خود دارای نوسان بیشتری در طی دویدن هستند، که این خود می تواند احتمال آسیب را در این کودکان افزایش دهد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان این مقاله طبق پروتکل های اخلاقی مطالعات هلسینکی عمل نموده و اطلاعات آزمودنی ها شرکت کننده در این مطالعه به طور کاملا ناشناس باقی می ماند و بعد از مطالعه نیز تمامی این اطلاعات محفوظ باقی خواهد ماند. همچنین تمامی شرکت کنندگان در این مطالعه فرم رضایت نامه شرکت در این مطالعه را پر کرده و تمامی مقاصد مطالعه برای شرکت کنندگان به طور کامل شرح داده شده است. پژوهش حاضر در کمیته اخلاق دانشگاه محقق اردبیلی با کد IR.UMA.REC.1402.011 مورد تایید قرار گرفت.

سپاسگزاری

از همه کسانی که ما را در انجام هر چه بهتر این پژوهش یاری نمودند، سپاسگزاریم.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافعی در این پژوهش وجود ندارد.

Refrences

1. Piri E, Jafarnezhadgero AA. A Review of Running Mechanics in Obese or Overweight Individuals. Journal of Sport Biomechanics. 2023;9(1):16-31. https://doi.org/10.61186/JSportBiomech.9.1.16
2. Nutter, S., Eggerichs, L. A., Nagpal, T. S., Ramos Salas, X., Chin Chea, C., Saiful, S., & Yusop, S. Changing the global obesity narrative to recognize and reduce weight stigma: a position statement from the World Obesity Federation. Obesity Reviews, 2024;25(1), e13642. https://doi.org/10.1111/obr.13642
3. Lindström M, Isacsson S-O, Merlo J. Increasing prevalence of overweight, obesity and physical inactivity: two population-based studies 1986 and 1994. The European Journal of Public Health. 2003;13(4):306-12. https://doi.org/10.1093/eurpub/13.4.306
4. Mohamad Nor NS, Ambak R, Mohd Zaki N, Abdul Aziz NS, Cheong SM, Abd Razak MA, et al. An update on obesity research pattern among adults in Malaysia: a scoping review. BMC women's health. 2018;18:5-15. https://doi.org/10.1186/s12905-018-0590-4
5. Kopelman PG. Obesity as a medical problem. Nature. 2000;404(6778):635-43. https://doi.org/10.1038/35007508
6. Morrell JS, Lofgren IE, Burke JD, Reilly RA. Metabolic syndrome, obesity, and related risk factors among college men and women. Journal of American College Health. 2012;60(1):82-9. https://doi.org/10.1080/07448481.2011.582208
7. Spech C, Paponetti M, Mansfield C, Schmitt L, Briggs M. Biomechanical variations in children who are overweight and obese during high-impact activities: A systematic review and meta-analysis. Obesity Reviews. 2022;23(6):e13431. https://doi.org/10.1111/obr.13431
8. Bowser BJ, Roles K. Effects of Overweight and Obesity on Running Mechanics in Children. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2021;53(10):2101-10. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002686
9. Pourvaghar MJ, Bahram ME. The effect of a period of resistance training on serum myonectin level (CTRP15) and anthropometric indices related to weight loss in obese adolescents. Journal of Sport Biosciences. 2022;14(1):85-100.
10. Jafarnezhadgero A, Alizade HS, Dehghani M. The frequency domain of ground reaction forces during running in patients with low back pain: comparing with healthy control group. Medical Journal of Tabriz University of Medical Sciences. 2020;42(2):143-51. https://doi.org/10.34172/mj.2020.030
11. Yan S-h, Zhang K, Tan G-q, Yang J, Liu Z-c. Effects of obesity on dynamic plantar pressure distribution in Chinese prepubescent children during walking. Gait & posture. 2013;37(1):37-42. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.05.018
12. Chang J-H, Wang S-H, Kuo C-L, Shen HC, Hong Y-W, Lin L-C. Prevalence of flexible flatfoot in Taiwanese school-aged children in relation to obesity, gender, and age. European journal of pediatrics. 2010;169:447-52. https://

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]

doi.org/10.1007/s00431-009-1050-9
13. Jacobs N, Skorecki J, Charnley J. Analysis of the vertical component of force in normal and pathological gait. Journal of Biomechanics. 1972;5(1):11-34. https://doi.org/10.1016/0021-9290(72)90016-4
14. Tsepis E, Giakas G, Vagenas G, Georgoulis A. Frequency content asymmetry of the isokinetic curve between ACL deficient and healthy knee. Journal of biomechanics. 2004;37(6):857-64. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2003.11.009
15. Giakas G, Baltzopoulos V, Dangerfield PH, Dorgan JC, Dalmira S. Comparison of gait patterns between healthy and scoliotic patients using time and frequency domain analysis of ground reaction forces. Spine. 1996;21(19):2235-42. https://doi.org/10.1097/00007632-199610010-00011
16. Stergiou N, Giakas G, Byrne JE, Pomeroy V. Frequency domain characteristics of ground reaction forces during walking of young and elderly females. Clinical biomechanics. 2002;17(8):615-7. https://doi.org/10.1016/S0268-0033(02)00072-4
17. Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behavior research methods. 2007;39(2):175-91. https://doi.org/10.3758/BF03193146
18. Wei R, Ogden CL, Parsons VL, Freedman DS, Hales CM. A method for calculating BMI z-scores and percentiles above the 95th percentile of the CDC growth charts. Annals of Human Biology. 2020;47(6):514-21. https://doi.org/10.1080/03014460.2020.1808065
19. Mehrkash M, Kelishadi R, Mohammadian S, Mousavinasab F, Qorbani M, Hashemi MEF, et al. Obesity and metabolic syndrome among a representative sample of Iranian adolescents. Southeast Asian Journal of Tropical Medicineand Public Health. 2012;43(3):756.
20. Jafarnezhadgero AA, Oliveira AS, Mousavi SH, Madadi-Shad M. Combining valgus knee brace and lateral foot wedges reduces external forces and moments in osteoarthritis patients. Gait & posture. 2018;59:104-10. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.09.040
21. Farahpour N, Jafarnezhad A, Damavandi M, Bakhtiari A, Allard P. Gait ground reaction force characteristics of low back pain patients with pronated foot and able-bodied individuals with and without foot pronation. Journal of biomechanics. 2016;49(9):1705-10. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.03.056
22. McGrath D, Judkins TN, Pipinos II, Johanning JM, Myers SA. Peripheral arterial disease affects the frequency response of ground reaction forces during walking. Clinical Biomechanics. 2012;27(10):1058-63. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2012.08.004
23. Wurdeman SR, Huisinga JM, Filipi M, Stergiou N. Multiple sclerosis affects the frequency content in the vertical ground reaction forces during walking. Clinical Biomechanics. 2011;26(2):207-12. https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2010.09.021
24. Schneider E, Chao E. Fourier analysis of ground reaction forces in normals and patients with knee joint disease. Journal of biomechanics. 1983;16(8):591-601. https://doi.org/10.1016/0021-9290(83)90109-4
25. Wewege M, Van Den Berg R, Ward R, Keech A. The effects of high-intensity interval training vs. moderate-intensity continuous training on body composition in overweight and obese adults: a systematic review and meta-analysis. Obesity reviews. 2017;18(6):635-46. https://doi.org/10.1111/obr.12532
26. Rubinstein M, Eliakim A, Steinberg N, Nemet D, Ayalon M, Zeev A, et al. Biomechanical characteristics of overweight and obese children during five different walking and running velocities. Footwear Science. 2017;9(3):149-59. https://doi.org/10.1080/19424280.2017.1363821
27. Judkins TN, Oleynikov D, Narazaki K, Stergiou N. Robotic surgery and training: electromyographic correlates of robotic laparoscopic training. Surgical Endoscopy And Other Interventional Techniques. 2006;20:824-9. https://doi.org/10.1007/s00464-005-0334-z
28. Alavi-Mehr SM, Jafarnezhadgero A, Salari-Esker F, Zago M. Acute effect of foot orthoses on frequency domain of ground reaction forces in male children with flexible flatfeet during walking. The Foot. 2018;37:77-84. https://doi.org/10.1016/j.foot.2018.05.003

[Downloaded from ijm.ir on 2026-10-13]

[DOI: 10.22034/IJRN.11.3.74]