



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 Brouj², Hamed Sheikhalizade³, Ebrahim Piri³

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.



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

امیرعلی جعفرنژادگرو^{۱*}، سارا ایمانی بروج^۲، حامد شیخعلی زاده^۳، ابراهیم پیری^۳

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

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳

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.

مقدمه

چاقی و اضافه وزن یکی از معضلات اساسی جهان امروزی محسوب می شود که روزبه روز در حال گسترش است. به خوبی 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 اضافه وزن در جوامع در حال توسعه 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 کشکی-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 پای 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 پای 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

تقسیم و در عدد ۱۰۰ ضرب شدند (۲۱). در نهایت، نرمال بودن توزیع داده ها با استفاده از آزمون شاپیروویلیک 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)

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

A_n = دامنه ω_0 = فرکانس پایه n = ضریب هارمونیک θ_n = 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، f_{max} = حداکثر فرکانس سیگنال،
میانۀ فرکانس نیرو، میانۀ فرکانس در نقطه ای اتفاق می افتد که نیمی از توان سیگنال در بالا و نیمی دیگر در پایین آن قرار دارد.
رابطه (۳)

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

f_{max} = حداکثر فرکانس سیگنال
 f_{med} = میانۀ فرکانس سیگنال
پهنای 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)

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

f_{max} = حداکثر فرکانس سیگنال
 f_{min} = حداقل فرکانس سیگنال
 f_{band} = پهنای باند سیگنال
 p_{max} = حداکثر توان سیگنال

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 Disease 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 پای از دستگاه فوت اسکن (RSScan international, Belgium, 0.5 × 0.5 × 0.02m, 4363) ساخت کشور بلژیک با نرخ نمونه برداری ۳۰۰ هرتز استفاده شده است. کوشش دوییدن صحیح، شامل برخورد کامل پا بر روی بخش میانی دستگاه فوت اسکن بود. تمامی آزمودنی ها برای دوییدن مسیر ۱۸ متری را طی کرده و در میانۀ ی مسیر ۱۸ متری برای ثبت فشار کف پای دستگاه فوت اسکن قرار گرفته بود. آزمودنی به طور آزمایشی سه مرتبه کوشش دوییدن 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 دوییدن برابر ۳ کوشش در هر شرایط بود (۲۰). مدت زمان استراحت بین هر کوشش دوییدن برابر یک دقیقه بود (۲۰). جهت هموار کردن داده ها از فیلتر باترورث مرتبه چهارم با برش فرکانسی ۲۰ هرتز استفاده شد (۲۱). برای نرمال کردن مقادیر نیروی عکس العمل زمین، این مقادیر بر وزن بدن

یافته ها

آزمودنی های گروه چاق دارای سن $12/26 \pm 0/45$ سال، قد $169/3 \pm 6/93$ سانتی متر و جرم $72/60 \pm 14/55$ کیلوگرم و آزمودنی های گروه نرمال دارای سن $11/62 \pm 12/06$ سال، قد $154/13 \pm 6/44$ سانتی متر و جرم $42/72 \pm 5/56$ 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 ($P > 0/05$) (جدول ۱).

شاخص چهارم تعیین تعداد هارمونی های ضروری در هر راستا بود. که بر طبق روش اشنایدر، تعداد هارمونیک ضرور ne برای بازسازی سطح $0/95$ از داده ها به عنوان تعدادی از هارمونیک ها که مجموع دامنه های نسبی هر هارمونیک در کل دامنه کمتر یا برابر با $0/95$ در نظر گرفته شد (۲۴). رابطه (۵).

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

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	$24/55 \pm 0/94$	$24/77 \pm 0/88$	$0/513$	$0/24$
	تعداد هارمونیهای ضروری	$19/24 \pm 3/67$	$19/75 \pm 4/01$	$0/719$	$0/13$
	میانه فرکانس	$2/00 \pm 0/00$	$2/04 \pm 0/11$	$0/153$	$1/86$
	پهنای باند فرکانس	$1/00 \pm 0/00$	$1/00 \pm 0/00$	$1/000$	$0/00$

* سطح معناداری $P < 0/05$

ضروری مولفه انگشتان ۲ تا ۵ پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم $40/03$ درصد بیشتر بود ($P < 0/001$). میانه فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان $31/74$ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود ($P < 0/001$) (جدول ۲).

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 $31/37$ درصد بیشتر بود ($P = 0/026$). میانه فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان $20/94$ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود ($P < 0/001$). مقادیر تعداد هارمونی

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	$29/97 \pm 5/95$	$25/06 \pm 7/26$	$0/052$	$0/74$
	تعداد هارمونیهای ضروری	$24/86 \pm 4/12$	$18/88 \pm 8/92$	$0/026$	$0/92$
	میانه فرکانس	$2/00 \pm 0/00$	$2/53 \pm 0/51$	$P < 0/001$	$1/18$
	پهنای باند فرکانس	$1/00 \pm 0/00$	$1/00 \pm 0/00$	$1/000$	$0/00$
انگشتان ۲ تا ۵ پا	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	$28/17 \pm 4/53$	$26/13 \pm 5/44$	$0/273$	$0/41$
	تعداد هارمونیهای ضروری	$26/13 \pm 3/34$	$18/66 \pm 4/17$	$P < 0/001$	$1/99$
	میانه فرکانس	$2/00 \pm 0/00$	$2/93 \pm 0/89$	$P < 0/001$	$2/09$
	پهنای باند فرکانس	$1/00 \pm 0/00$	$1/00 \pm 0/00$	$1/000$	

* سطح معناداری $P < 0/05$

بیشتر بود ($P < 0/001$). میانه فرکانس در مولفه ی استخوان کف پاییی اول در گروه سالم به میزان $31/37$ درصد از

مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پاییی اول در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم $33/12$ درصد

ی استخوان کف پای 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 پای 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 پای 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 پای پنجم در گروه سالم به میزان ۲۷/۲۷ درصد از گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود ($P < ۰/۰۰۱$) (جدول ۳).

گروه دارای اضافه وزن بیشتر بود ($P < ۰/۰۰۱$). مقادیر تعداد هارمونی ضروری مولفه استخوان کف پای 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 پای 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 پای 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 پای سوم در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۳۶/۰۹ درصد بیشتر بود ($P = ۰/۰۰۱$). میانه فرکانس در مولفه

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

راستا	متغیر	گروه اضافه وزن	گروه سالم	سطح معناداری	اندازه اثر
استخوان کف پای 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 پای 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	* $P = ۰/۰۰۳$	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 پای سوم	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	۲۹/۹۱ ± ۴/۵۲	۲۵/۸۸ ± ۵/۳۹	* $P = ۰/۰۳۵$	۰/۸۱
	تعداد هارمونیهای ضروری	۲۴/۷۷ ± ۳/۵۸	۱۸/۲۰ ± ۵/۸۹	* $P = ۰/۰۰۱$	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 پای 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	* $P = ۰/۰۰۱$	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 پای 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	* $P = ۰/۰۲۸$	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 $P < ۰/۰۵$

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

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

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

جدول ۴. 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	$۳۰/۰۸ \pm ۵/۹۴$	$۲۵/۱۷ \pm ۴/۴۷$	* $۰/۰۱۶$	$۰/۹۴$
	تعداد هارمونی های ضروری	$۲۵/۰۶ \pm ۴/۴۰$	$۱۸/۸۴ \pm ۶/۸۴$	* $۰/۰۰۶$	$۱/۱۰$
	میانۀ فرکانس	$۲/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۲/۷۳ \pm ۰/۵۹$	* $۰/۰۱۶$	$۲/۴۷$
	پهنای باند فرکانس	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۱/۰۰۰$	$۰/۰۰$
پاشنه قسمت داخلی	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	$۲۷/۶۶ \pm ۶/۵۵$	$۲۵/۸۴ \pm ۳/۸۰$	$۰/۳۶۰$	$۰/۳۵$
	تعداد هارمونی های ضروری	$۲۵/۵۱ \pm ۳/۸۵$	$۱۹/۱۳ \pm ۳/۴۹$	* $P < ۰/۰۰۱$	$۱/۷۳$
	میانۀ فرکانس	$۲/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۲/۸۲ \pm ۰/۳۷$	* $P < ۰/۰۰۱$	$۴/۴۳$
	پهنای باند فرکانس	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۱/۰۰۰$	$۰/۰۰$
پاشنه قسمت خارجی	فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد	$۲۶/۴۲ \pm ۷/۰۵$	$۲۶/۰۲ \pm ۴/۰۲$	$۰/۸۵۰$	$۰/۰۷$
	تعداد هارمونی های ضروری	$۲۴/۸۶ \pm ۳/۵۳$	$۱۹/۴۸ \pm ۳/۵۷$	* $P < ۰/۰۰۱$	$۱/۵۱$
	میانۀ فرکانس	$۲/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۲/۹۱ \pm ۰/۲۶$	* $P < ۰/۰۰۱$	$۷/۰۰$
	پهنای باند فرکانس	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۱/۰۰ \pm ۰/۰۰$	$۱/۰۰۰$	$۰/۰۰$

* 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 دوییدن 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. میانۀ فرکانس در مولفه ی انگشت شست پا در گروه سالم به میزان ۲۰/۹۴ درصد از گروه دارای 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 دوییدن 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 نشان دهنده اختلال در الگوی حرکت پا باشد. هارمونی های ضروری نشان دهنده الگوهای حرکتی هستند که برای عملکرد

بهینه پا ضروری هستند. اختلال در این الگوها می تواند منجر به درد، آسیب و ناتوانی شود (۱۰).

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

یافته های این مطالعه نشان می دهد که افراد دارای اضافه وزن در مقایسه با افراد سالم، الگوی حرکت متفاوتی در پاهایشان دارند که این تفاوت در الگو با افزایش تعداد هارمونی های ضروری و کاهش فرکانس حرکت نشان داده می شود. افزایش تعداد هارمونی های ضروری نشان دهنده پیچیدگی بیشتر در الگوی حرکت پا است. این امر می تواند ناشی از تلاش پا برای جبران تغییرات ساختاری یا بیومکانیکی مرتبط با اضافه وزن باشد. جعفرزادگرو و همکاران (۲۰۲۰)، اظهار داشتند که کاهش فرکانس حرکت نشان دهنده کند شدن حرکت پا است (۱۰). این امر می تواند ناشی از افزایش بار روی پاها و یا ضعف عضلات

فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد قسمت میانی پا در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم ۱۹/۵۰ درصد بیشتر بود. مقادیر تعداد هارمونی ضروری قسمت های میانی پا، داخلی و خارجی پاشنه در گروه اضافه وزن در مقایسه با گروه سالم بیشتر بود. میانه فرکانس در قسمت های میانی پا، داخلی و خارجی پاشنه در گروه سالم در مقایسه با افراد دارای اضافه وزن بیشتر بود.

پژوهش های انجام شده بیان کرده اند فرکانس مربوط به توان ۹۹٪ یا ۹۹/۵٪ طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین در جمعیت بالینی مورد ارزیابی پایین تر از گروه کنترل گزارش شده است (۲۳، ۲۲). فرکانس با توان ۹۹/۵٪ از سیگنال نیروهای عکس العمل زمین به عنوان یک مقیاس از لرزش و بی ثباتی الگوی حرکت در بیماران، محتوای داده های فرکانس بالاتر، افزایش لرزش و بی ثباتی را می سنجد (۲۸). بر این اساس نتایج به دست آمده در این تحقیق هم نشان می دهد که کودکان دارای اضافه وزن در کنترل ارزش و ثبات خود دچار مشکل هستند که این نیز به نوبه خود می تواند ریسک آسیب را در این کودکان افزایش دهد. میانه فرکانس نیروی عکس العمل زمین با مولفه های سیستم عصبی حرکتی هنگامی که بدن نیرویی را به زمین اعمال می نماید مرتبط است (۲۲). به عنوان مثال سینتیک انقباضی آهسته دارای نوسان کمتر در عضله است بنابراین فرکانس میانه کمتری دارد (۲۲). با تجزیه و تحلیل فرکانس حرکات، دامنه فرکانس های مرتبط با تمام اجزای سیستم عصبی، استخوان ها، عضلات، بافت همبند است که با یکدیگر برای تولید حرکت همکاری دارند (۲۲). به عنوان مثال کاهش پهنای باند فرکانس های حرکتی، نشان دهنده محدودیت پدیده های نوسان در یک با چند مورد از این ساختارها همانند حرکت قدامی-خلفی در بیماران است (۲۲). با توجه به نتایج بدست آمده میانه فرکانس در گروه سالم بیشتر از گروه اضافه وزن بود که این مورد با تحقیقات دیگر همراستا نمی باشد که احتمال دارد بدلیل داده گیری متفاوت یا آزمودنی ها باشد که باید در این زمینه تحقیقات بیشتری انجام شود. پژوهش حاضر دارای محدودیت هایی بود که از آن جمله می توان عدم وجود جنسیت مؤنث در نمونه آماری اشاره نمود. از سوی دیگر عدم ثبت فعالیت الکترومایوگرافی عضلات از دیگر محدودیت های این پژوهش بود.

پا در افراد دارای اضافه وزن باشد. تفاوت در فرکانس با توان ۹۹/۵ در مولفه استخوان کف پایي سوم نشان دهنده اختلال مشخص در حرکت این استخوان در افراد دارای اضافه وزن است (۲۵). چاقی یا اضافه وزن یکی از بیماری های رایجی است، به نحوی که می تواند مکانیک دویدن را تحت تأثیر قرار می دهد. به لحاظ بیومکانیکی افزایش فشارهای کف پایي می تواند زمینه ای برای افزایش فشارهای وارده بر مفاصل اندام تحتانی و بروز زانورد و کمردرد باشد. در همین راستا ویوج و همکاران (۲۰۱۷)، طی یک مطالعه سیستماتیک اظهار کردند که دویدن در افراد دارای شاخص توده بدنی بالا می تواند منجر به افزایش فشارهای کف پایي و زانو درد شود (۲۵). روبینشتاین و همکاران (۲۰۱۷)، نیز به ارتباط مستقیم افزایش فشارهای کف پایي و افزایش احتمال بروز درد در اندام تحتانی اشاره کرده اند (۲۶). به نظر می رسد عدم جذب فشارهای کف پا در افراد چاق یا دارای اضافه وزن یکی از دلایل اصلی بروز زانو درد باشد. طیف فرکانس نیروی عکس العمل زمین، به تمام مؤلفه های سهیم در سیستم حرکتی از جمله استخوان ها، عضلات، اعصاب و بافت های دیگر وابسته می باشد که اثر تعاملی آن ها باعث ایجاد حرکت می شود (۲۲). تفاوت در تعاملات سیستم های عصبی و عضلانی برای دویدن افراد را می توان با استفاده از تجزیه و تحلیل فرکانس موجود یافت (۲۲). تجزیه و تحلیل فرکانس نیروی عکس العمل زمین در مطالعات گذشته نشان داده است که با تغییرات مرتبط با پیری متفاوت بوده است که به احتمال زیاد به علت تغییرات در سیستم عصبی-عضلانی بوده است (۱۶). طی حرکات انتقالی زمانی که بدن به زمین نیرو وارد می کند، فرکانس سیگنال نیروی عکس العمل زمین امکان دارد تا حدودی عملکرد مؤلفه ی نوسانی سیستم عصبی-حرکتی را نشان دهد (۲۳، ۲۲). گزارش شده است که افزایش جذب شوک منجر به کاهش نیروی ضربه می شود و با توجه به اینکه توان فرکانس نیروی عکس العمل زمین از دامنه ی مؤلفه های فرکانس متفاوت سیگنال نیرو-زمان تشکیل می شود و هرچه مؤلفه توان این سیگنال (نیرو-زمان) بیشتر شود، فرکانس نیز بالاتر خواهد بود (۲۷). بنابراین بالاتر بودن فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد در گروه دارای اضافه وزن می تواند نشان از احتمال آسیب بیشتر در این گروه باشد.

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 کاملاً 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 منافی در این پژوهش وجود ندارد.

References

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, Isacson 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. Pourvaghari 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://doi.org/10.1007/s00431-009-1111-1>

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](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](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 Medicine and Public Health*. 2012;43(3):756.
20. Jafarnejadgero 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, Jafarnejad 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](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, Jafarnejadgero 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>