Iranian Journal of Rehabilitation Research in Nursing Original Article

Spring 2024, Volume 10, Issue 3 10.22034/IJRN.10.3.20

Effect of 8 Weeks of Walking Training on the Frequency Spectrum of Ground Reaction Forces During Walking in Type 2 Diabetic Patients Without Neuropathy

Milad Alipour Sarinasirloo[1], Aydin Valizadeh Orang[2], Amir Ali Jafarnezhadgero[3*], Marefat Siahkouhian[4], Maryam Alsadat Emami[5]

1- Phd Student of Sports Physiology, Department of Sports Physiology, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
2- Associate Professor of Sports Physiology, Department of Sports Biomechanics and Management, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
3- Associate Professor of Sports Biomechanics, Department of Sports Biomechanics and Management, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
4- Professor of Sports Physiology, Department of Sports Biomechanics and Management, Faculty of Educational Sciences and Psychology, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
5- Phd Student of Sports Physiology, Faculty of Sports Sciences, Razi University, Kermanshah, Iran.

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

Received: 2022/12/12 Accepted: 2023/8/29

Abstract

Introduction: The prevalence of diabetes is increasing worldwide. This disease affects body mechanics during walking. The purpose of this study was to investigate the effect of 8 weeks of walking exercises on the frequency spectrum of ground reaction forces during walking in diabetic patients without neuropathy.

Methods: This study was semi-experimental. The sample included 24 diabetic individuals (mean diabetic age: 3.1±0.9 years, mean glucose level: 151.4±10.4 mg/dL) who were selected through convenience sampling. The subjects were randomly divided into two experimental groups (12 individuals) and a control group (12 individuals). Before and after the 8-week walking training protocol, the subjects walked at a desired speed on the force plate. The ground reaction force data in three directions (vertical, posterior-anterior, and internal-external) were converted from time function to frequency function using Fourier transform (harmonic analysis) and MATLAB software version 2016.

Results: Within the group, the results showed a significant increase in the frequency with a power of 99.5% in the vertical component (P=0.016), internal-external component (P=0.002), and anterior-posterior component (P=0.026) of the ground reaction forces. The post-test values of the ground reaction force were significantly reduced compared to the pre-test values. The number of necessary harmonics in the internal-external component of the ground reaction force in the post-test significantly increased compared to the pre-test (P=0.017). Additionally, the number of essential harmonics (P=0.039) and the median frequency (P=0.026) in the anterior-posterior component of the ground reaction force had a significant decrease in the post-test compared to the pre-test.

Conclusions: The results of this study demonstrated that walking exercises have a positive effect on the frequency content of the ground reaction force in diabetic patients without neuropathy and improves the frequency with a power of 99.5% and the number of essential harmonics in different components. It can have beneficial effects on reducing the forces on the lower limbs during walking.

Keywords: Diabetes, Frequency spectrum, Ground reaction force, Walking exercises.

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

نشریه پژوهش توانبخشی در پرستاری
مقاله پژوهشی
بهار ۱۴۰۳، دوره ۱۰، شماره ۳
10.22034/IJRN.10.3.20

تاثیر ۸ هفته تمرین مبتنی بر راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی نوع دوم بدون نروپاتی

میلاد علیپورساری نصیرلو[۱]، آیدین ولی زاده اورنج[۲]، امیرعلی جعفرنژادگرو[۳*]، معرفت سیاهکوهیان[۴]، مریم السادات امامی[۵]

۱–دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۲– دانشیار فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۳–دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه مدیریت و بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۴– استاد فیزیولوژی ورزشی، گروه فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم تربیتی و روانشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
۵–دانشجوی دکتری فیزیولوژی ورزشی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.

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

دریافت مقاله: ۲۱ /۹/ ۱۴۰۱ پذیرش مقاله: ۷/ ۶/ ۱۴۰۲

چکیده

مقدمه: شیوع بیماری دیابت در جهان در حال افزایش می باشد. این بیماری بر مکانیک بدن طی راه رفتن اثرگذار است. هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر ۸ هفته تمرینات راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی بدون نروپاتی بود.

روش کار: پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی بود. نمونه پژوهش حاضر ۲۴ فرد دیابتی بود (میانگین سن ابتلا به دیابت: ۳/۱±۰/۹ سال، سطح گلوکز ناشتا: ۱۵۱/۴±۱۰/۴ mg/dL) که به صورت در دسترس انتخاب شدند. آزمودنی های به طور تصادفی در دو گروه تجربی (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۲) قرار گرفتند. آزمودنی ها قبل و بعد از ۸ هفته پروتکل تمرینی راه رفتن، کوشش راه رفتن را با سرعت دلخواه بر رو صفحه نیرو انجام دادند. داده های نیروی عکس العمل زمین در سه راستای عمودی، خلفی–قدامی و داخلی–خارجی در تابع زمان، از طریق تبدیل فوریر (تحلیل هارمونیک) و با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۶ از تابع زمان به تابع فرکانس تبدیل شد.

یافته ها: نتایج نشان داد فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد در مولفه عمودی (P=۰/۰۱۶)، مولفه داخلی–خارجی (P=۰/۰۰۲) و مولفه قدامی– خلفی (P=۰/۰۲۶) نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت. تعداد هارمونی های ضروری در مولفه داخلی–خارجی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون افزایش معنی داری داشت (P=۰/۰۱۷). همچنین تعداد هارمونی های ضروری (P=۰/۰۳۹) و میانه فرکانس (P=۰/۰۲۶) در مولفه قدامی– خلفی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت.

نتیجه گیری: نتایج حاضر نشان داد تمرینات راه رفتن بر محتوای فرکانس نیروی عکس العمل زمین در بیماران دیابتی بدون نروپاتی موثر است و باعث بهبود فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد و تعداد هارمونی های ضروری در مولفه های مختلف می شود که می تواند اثرات مفیدی بر کاهش نیروی های وارده بر اندام تحتانی طی راه رفتن داشته باشد.

کلیدواژه ها: دیابت، طیف فرکانس، نیروی عکس العمل زمین، تمرینات راه رفتن.

[Downloaded from mail.ijrn.ir on 2026-10-13]
[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

مقدمه

پیش بینی می شود که شیوع دیابت در سراسر جهان از ۲/۸ به ۴/۴ درصد بین سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۳۰ افزایش یابد (۱). بروز دیابت در سراسر جهان در حال افزایش است که عمدتاً به دلیل کاهش سطح فعالیت بدنی و افزایش چاقی است که می‌توان آن را پیامدهای توسعه اقتصادی و شهرنشینی کنونی دانست (۲). این افزایش در شیوع دیابت به ابعاد اپیدمی در سراسر جهان رسیده است که نشان دهنده بار قابل توجهی بر خدمات بهداشتی است (۳). تحقیقات نشان داده است که افراد دیابتی همواره در طول راه رفتن با اختلالاتی مواجه هستند که می تواند بر عملکرد این افراد تاثیر بگذارد. نشان داده شده است که عملکرد راه رفتن منعکس کننده وضعیت سلامت و عملکرد در افراد سالمند دارای دیابت است و در مطالعات ذکر شده است که سرعت راه رفتن یک پیش بینی کننده قوی برای بقا (۴) و خطر طولانی مدت ناتوانی در بیماران دیابتی (۵) است.

دیابت نوع ۲ به طور مداوم گزارش شده است که یکی از قوی‌ترین علل وجود عملکرد ضعیف راه رفتن یا مشکلات حرکتی است (۶). بیماران مسن‌تر مبتلا به دیابت در معرض خطر بالای ناتوانی حرکتی و از دست دادن استقلال حرکتی در آینده هستند (۷, ۸). با این حال، مکانیسم های اختلال در راه رفتن در دیابت به خوبی شناسایی نشده است (۹). عوارض طولانی مدت سنتی و بیماری های مرتبط با دیابت از جمله نروپاتی تنها تا حدی خطر بیش از حد ناتوانی مرتبط با دیابت را توضیح می دهد. به عنوان مثال، در مطالعه سلامت زنان و پیری، شرایط مزمن از جمله بیماری‌های قلبی عروقی، بیماری شریان‌های محیطی، نروپاتی محیطی، اضافه وزن، افسردگی و اختلال بینایی کمتر از ۶۰ درصد از خطر محدودیت شدید راه رفتن را توضیح می‌دهند (۱۰).

پارامترهای جنبشی مانند نیروهای واکنش زمین (GRFs)، قدرت مفصل و گشتاورها در جنبه بیومکانیکی راه رفتن به دلیل وابستگی آن ها به فعالیت های حرکتی و عضلانی ضروری هستند (۱۱). بنابراین، تجزیه و تحلیل پارامترهای جنبشی، به ویژه GRFs، در تحقیقات در مورد عملکرد راه رفتن اجباری است. در حال حاضر به خوبی شناخته شده است که بیماران دیابتی با تغییرات GRFs در طول عملکرد راه رفتن مواجه هستند (۱۲, ۱۳). اعتقاد بر این است که این تغییرات GRF در نتیجه از دست دادن تدریجی حساسیت حسی تنی، حس عمقی و عملکرد عضلانی دیستال در در افراد دیابتی ایجاد می شود (۱۳, ۱۴) که ممکن است بی ثباتی عملکرد راه رفتن را افزایش دهد (۱۴,۱۵). به نظر می رسد برای کاهش این عوارض در افراد دیابتی نوع ۲ استفاده پروتکل های درمانی و تغییر سبک زندگی ضروری می باشد تا از احتمال ابتلا این افراد به مواردی همچون نروپاتی محیطی جلوگیری گردد. یکی از مهمترین شیوه های تحلیل GRF استخراج طیف فرکانس می باشد. این انتخاب به منظور شناسایی ویژگی های ظریف الگوهای نیروی عکس العمل زمین مانند بار تماس پاشنه در نیروی عمودی که معمولا توسط هارمونی های فرکانس بالا توصیف می شود، استخراج می گردد.

راه رفتن رایج ترین شکل فعالیت بدنی است که به راحتی در زندگی روزمره قابل استفاده است. ممکن است در بسیاری از بیماران اولین قدم ساده به سمت تغییر سبک زندگی باشد. جالب توجه است، یک مطالعه اخیر در زنان یائسه در معرض خطر ابتلا به دیابت نوع ۲ ثابت کرد که هم ایستادن و هم راه رفتن به شدت گلوکز، انسولین و پاسخ اسیدهای چرب غیر استریف شده پس از غذا را در مقایسه با نشستن طولانی کاهش می دهد (۱۶) که نشان می دهد ایستادن و راه رفتن ممکن است برای بهبود وضعیت متابولیک در افراد کم تحرک کافی باشد. با این حال، ۶۵ درصد از بیماران مبتلا به دیابت نوع ۲ گزارش کرده اند که در هیچ برنامه راه رفتن هفتگی شرکت نکرده اند (۱۶). علاوه بر این، مقدار، مدت، شدت و سایر ویژگی‌های پیاده‌روی عموماً در دستورالعمل‌های ورزشی به تفصیل مشخص نشده است. با توجه به بررسی های صورت گرفته توسط محقق، تا به حال تحقیقی به بررسی تاثیر تمرینات راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی نوع ۲ بدون نروپاتی نپرداخته است. لذا هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر تمرینات راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی نوع ۲ بدون نروپاتی می باشد. به نوعی محقق به دنبال پاسخ به این سوال است که آیا تمرینات راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی نوع ۲ بدون نوروپاتی موثر است یا خیر؟

روش کار

روش پژوهش حاضر از نوع نیمه تجربی با طرح پیش آزمون و پس آزمون با گروه کنترل بود. پژوهش حاضر دارای کد اخلاق با شماره IR.UMA.REC.1400.08 از دانشگاه محقق اردبیلی بود. جامعه آماری پژوهش حاضر کلیه بیماران دیابتی بدون نوروپاتی در شهرستان اردبیل بود.

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

نمونه پژوهش حاضر با نرم افزار G*power برای دستیابی به توان اماری ۰/۸ و اندازه اثر ۰/۷ در دو گروه تجربی و کنترل ۲۴ نفر در نظر گرفته شد. نمونه پژوهش حاضر به صورت در دسترس انتخاب شد. آزمودنی های به طور تصادفی در دو گروه تجربی (۱۲ نفر) و گروه کنترل (۱۲) قرار گرفتند. جهت قرار دادن تصادفی آزمودنی در دو گروه کنترل و تجربی اسامی هر آزمودنی بر روی یک کاغذ نوشته شده و سپس کاغذها تا شده در یک ظرف قرار گرفتند. بعد از تکان دادن ظرف، اسامی آزمودنی ها از داخل ظرف استخراج شده و شماره فرد در گروه کنترل و شماره زوج در گروه تجربی به صورت یک در میان قرار گرفتند. معیارهای ورود به آزمون شامل: جنسیت مرد، دامنه سنی بین ۵۰-۷۵ سال، غیرفعال به لحاظ تمرینات فیزیکی، تایید ابتلا به دیابت (سطح گلوکز ناشتا بیشتر از ۱۳۰ mg/dL)، عدم استفاده از داروهای سرکوب کننده سیستم ایمنی مثل کورتون، سکونت در شهر اردبیل، داشتن سواد خواندن و نوشتن و یا یکی از اعضای نزدیک آن، داشتن توان و تمایل شرکت در مطالعه بود. شرایط خروج از تحقیق شامل سابقه عمل جراحی در ناحیه پایین تنه، ناهنجاری های ستون فقرات، پوکی استخوان، شکستی یا اختلال در ناحیه پایین تنه بود. که این اطلاعات از طریق پرسش نامه عمومی و به صورت شفاهی از آزمودنی ها دریافت شد. در پژوهش حاضر گروه تجربی ۸ هفته (دوماه) تمرینات راه رفتن را انجام دادند و شایان ذکر است که گروه کنترل طی این دوماه در هیچگونه فعالیت ورزشی شرکت نداشته اند و تنها فعالیت آن ها انجام کارهای روزمره بود.

آزمودنی ها کوشش راه رفتن را با سرعت ثابت (حدود ۱ متر بر ثانیه) بر روی صفحه نیرو (شرکت برتک، کلمبوس، آمریکا) انجام دادند. کوشش راه رفتن صحیح شامل برخورد کامل پا بر روی بخش میانی دستگاه صفحه نیرو بود (۱۷). سرعت راه رفتن توسط کورنومتر کنترل می گردید. اگر صفحه نیرو توسط آزمودنی جهت تنظیم گام مورد هدف قرار می گرفت یا تعادل آزمودنی دچار اختلال می شد، کوشش راه رفتن تکرار می شد. برای تنظیم قرارگیری پای آزمودنی ها بر روی صفحه نیرو طی راه رفتن، ۵ مرتبه عمل راه رفتن به طور آزمایشی توسط هر آزمودنی انجام گرفت. پس از آن ۵ کوشش قابل قبول با سرعت مشخص انجام شد و الگوی راه رفتن پاشنه به پنجه (کینتیکی) هر آزمودنی ثبت گردید. برای انجام این مطالعه یک راهرو با یک صفحه نیرو (شرکت برتک، کلمبوس، آمریکا) که در آن تعبیه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت. آزمودنی کوشش راه رفتن را با کنترل محقق تکرار می کرد. نرخ نمونه برداری در دستگاه صفحه نیرو برابر با ۱۰۰۰ هرتز بود. پس از فیلتر کردن (از فیلتر باترورث با مرتبه ۴ و با برش فرکانسی ۲۰ هرتز استفاده شد) داده های نیروی عکس العمل زمین در سه راستای عمودی، خلفی-قدامی و داخلی-خارجی از طریق تبدیل فوریر (تحلیل هارمونیک) و با استفاده از نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۶ از تابع زمان به تابع فرکانس تبدیل شد.

مولفه های طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین در سه راستای عمودی (Fz)، داخلی-خارجی (Fx) و قدامی-خلفی (Fy) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مولفه فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد از Power Spectral Density (PSD) به عنوان معیاری برای نشان دادن محتوای فرکانس انتخاب شد. این انتخاب به منظور شناسایی ویژگی های ظریف الگوهای نیروی عکس العمل زمین مانند بار تماس پاشنه در نیروی عمودی که معمولا توسط هارمونی های فرکانس بالا توصیف می شود، ساخته شده است. برنامه تبدیل سریع فوریر (FFT) برای استخراج محتوای فرکانس داده های نیروهای عکس العمل زمین در نرم افزار MATLAB اجرا شد (۱۸). جزئیات دقیق سری فوریر نیروهای عکس العمل زمین را می توان در پژوهش های دیگر یافت (۱۸, ۱۹). بر اساس مطالعات قبلی برای تجزیه و تحلیل بیشتر نیروهای عکس العمل زمین در راستای عمودی، قدامی خلفی و داخلی خارجی در هر کوشش، چهار شاخص فرکانس استخراج و استفاده شد (۲۰). شاخص اول، فرکانس با توان ۹۹/۵($F_{\%99/5}$) درصد بود که نشان دهنده ی فرکانسی است که ۹۹/۵ درصد از قدرت سیگنال را دارا می باشد؛ به عبارت دیگر ۹۹/۵ درصد از توان سیگنال پایین تر از این فرکانس می باشد (۲۱). شاخص دوم، میانه فرکانس F_{med} بود. در مطالعات مختلف فرض بر این است که میانه فرکانس نیروهای عکس العمل زمین می تواند عملکرد اجزای نوسانی سیستم عصبی را در لحظه تماس پاشنه نشان دهد (۲۱, ۲۲). شاخص سوم پهنای باند فرکانس (Fband) است که دامنه فرکانسی است که PSD بالاتر از نیمی از حداکثر آن قرار دارد. شاخص چهارم تعداد هارمونی های ضروری (ne) بود که برای بازسازی داده های ۹۹/۵ درصد مورد نیاز بود. این متغیر به عنوان تعدادی از هارمونی های مطابق با شرایطی است که مجموع دامنه های نسبی هر هارمونی در دامنه کل، کمتر از ۱۰۰ برابر یا معادل ۰/۹۹۵ می باشد (۲۳). طیف گسسته دامنه فرکانس به صورت مضربی از فرکانس پایه تعیین می شود، مجموع n هارمونیک برابر است با:

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

رابطه (۱)

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

An= دامنه ω0= فرکانس پایه n= ضریب هارمونیک
nΘ= زاویه فازی

برای ارزیابی محتوای فرکانس نیرو شاخص های زیر محاسبه می شوند (۲۰, ۲۱).

$$\int_0^{f99.5} p(f)df = 0.995 \times \int_0^{fmax} p(f)df$$

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)

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

fmax= حداکثر فرکانس سیگنال

fmed= میانه 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)

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

fmax= حداکثر فرکانس سیگنال

fmin= حداقل فرکانس سیگنال

fband = پهنای باند سیگنال

pmax= حداکثر توان سیگنال

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 (۲۳).

رابطه (۵)

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

پروتکل تمرینی

پروتکل تمرینی که یک برنامه پیاده روی ۸ هفته ای بود با استفاده از مقاله کائو (۲۰۰۷) (۲۴) و همچنین پیشنهادات متخصصین در رابطه با طراحی و اجرای برنامه تمرینی در افراد سالمند و دیابتی که سه روز تمرین در هفته و با شدت ۴۵ تا ۶۵ درصد ضربان قلب بیشینه پیشنهاد کرده بودند، طراحی شد (۲۴) (جدول ۱). همچنین میزان قند خون افراد قبل از تمرین توسط سوزن لنست و دستگاه قند خون دیابان همواره کنترل می شد. اگر مقادیر قند خون بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ mg/dL می بود به فرد اجازه تمرین داده می شد. به علاوه در گروه تجربی در رابطه با کنترل شدت تمرین، این کار با تعیین ضربان قلب آزمودنی ها قبل از شروع تمرینات، حین اجرا و پس از انجام فعالیت در هر جلسه توسط محقق با استفاده از ضربان سنج پلار (ساخت شرکت پلار) انجام شد. بعلاوه تمرینات راه رفتن به عقب و پهلو و ... نیز در برنامه تمرینی اجرا شد.

جدول ۱. پروتکل تمرینی راه رفتن

هفته	حداکثر ضربان قلب	زمان (دقیقه)	میانگین مسافت پیموده شده (متر)
هفته اول و دوم	۵۰-۴۵	۲۰	۱۴۰۰-۷۰۰
هفته سوم و چهارم	۵۰-۴۵	۳۰	۱۸۰۰-۱۴۰۰
هفته پنجم و ششم	۵۵-۵۰	۴۵	۲۱۰۰-۱۹۰۰
هفته هفتم و هشتم	۶۵-۵۵	۵۵	۲۴۰۰-۲۱۰۰

تجزیه و تحلیل آماری

در پژوهش حاضر نرمال بودن داده ها با استفاد از آزمون شاپیرووبلک تایید شد. سپس داده های مربوط به دو گروه با استفاده از آزمون آنالیز واریانس دوسویه تویط نرم افزار SPSS ورژن ۲۴ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. سطح معناداری برابر ۰/۰۵ بود.

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

جدول۲. مشخصات دموگرافیک آزمودنی ها

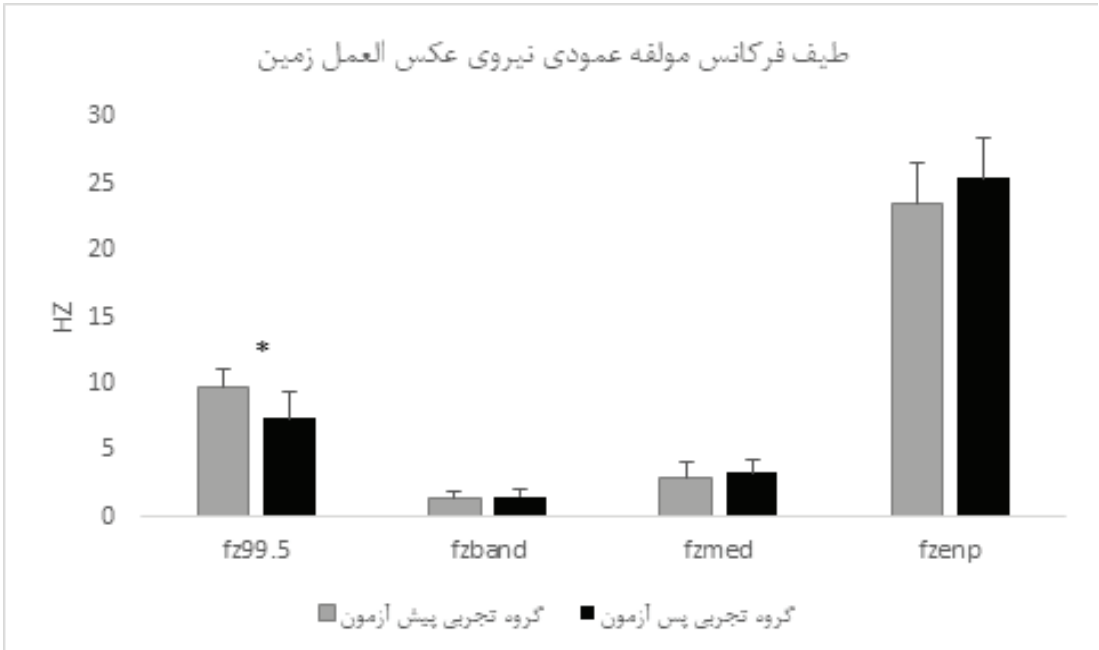
متغیر	گروه تجربی	گروه کنترل	سطح معنی داری
	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار	
سن	۶۷/۲۵±۱۴/۶۵	۶۹/۷۸±۲۰/۳۶	۰/۶۵۳
قد	۱۷۲/۳۶±۴۲/۰۵	۱۷۴/۳۴±۴۲/۶۵	۰/۵۷۶
وزن	۷۵/۴۲±۱۲/۰۸	۷۲/۷۸±۱۶/۹۶	۰/۴۲۶
شاخص توده بدنی	۲۷/۱۴±۱۰/۰۱	۲۶/۸۷±۱۱/۴۵	۰/۷۵۱

نتایج آزمون نشان داد فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد (F=۵/۴۲ ؛p=۰/۰۳۰) و تعداد هارمونی های ضروری (F=۱۲/۹۴ ؛p=۰/۰۰۲) در دو گروه تجربی و کنترل اختلاف معنی داری را دارا می باشند (جدول ۳).

جدول ۳. طیف فرکانس مولفه عمودی نیروی عکس العمل زمین در دو گروه تجربی و کنترل

متغیرها	مجموع میانگین	DF	مجذور میانگین	F	سطح معنی داری	توان آماری
فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد (هرتز)	۲۲/۳۷۱	۱	۲۲/۳۷۱	۵/۴۲	۰/۰۳۰	۰/۶۰۱
پهنای باند (هرتز)	۰/۲۴۸	۱	۰/۲۴۸	۱/۰۰	۰/۳۲۸	۰/۱۵۹
میانه فرکانس (هرتز)	۱/۴۳	۱	۱/۴۳	۱/۳۳	۰/۲۶۲	۰/۱۹۶
تعداد هارمونی های ضروری	۹۸/۴۱	۱	۹۸/۴۱	۱۲/۹۴	۰/۰۰۲	۰/۹۲۸

نتایج درون گروهی نشان داد طیف فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد در مولفه عمودی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون در گروه تجربی کاهش معنی داری داشت (P=۰/۰۱۶) (نمودار۱). سایر متغیرها اختلاف معنی داری را در گروه تجربی نشان نداد (نمودار ۱). هیچ یک از مولفه ها در گروه کنترل پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون اختلاف معنی داری نداشتند (P>۰/۰۵).



نمودار ۱. مقایسه طیف فرکانس مولفه عمودی نیروی عکس العمل زمین طی پیش آزمون و پس آزمون در گروه تجربی

نتایج نشان داد فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد (F=۱۲/۱۶ ؛p=۰/۰۰۲) و تعداد هارمونی های ضروری (F=۲۳/۶۵ ؛p<۰/۰۰۱) در دو گروه تجربی و کنترل اختلاف معنی داری داشت (جدول ۴).

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

جدول ٤. طیف فرکانس مولفه داخلی-خارجی نیروی عکس العمل زمین در دو گروه تجربی و کنترل

متغیرها	مجموع میانگین	DF	مجذور میانگین	F	سطح معنی داری	توان آماری
فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد (هرتز)	۴۸/۵۳	۱	۴۸/۵۳	۱۲/۱۶	۰/۰۰۲	۰/۹۱۲
پهنای باند (هرتز)	۰/۶۳	۱	۰/۰۶۳	۰/۳۲	۰/۵۷۳	۰/۰۸۵
میانه فرکانس (هرتز)	۰/۶۷	۱	۰/۶۷	۰/۶۲	۰/۴۳۹	۰/۱۱۷
تعداد هارمونی های ضروری	۸۹/۵۳	۱	۸۹/۵۳	۲۳/۶۵	p<۰/۰۰۱	۰/۹۹۶

نتایج درون گروهی نشان داد فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد در مولفه داخلی-خارجی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون در گروه تجربی کاهش معنی داری داشت (P=۰/۰۰۲) (نمودار ۲). تعداد هارمونی های ضروری در مولفه داخلی-خارجی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون افزایش معنی داری داشت (P=۰/۰۱۷) (نمودار ۲). پهنای باند فرکانس و میانه فرکانس اختلاف معنی داری را در گروه تجربی نشان نداد (نمودار۲). هیچ یک از مولفه ها در گروه کنترل طی پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون اختلاف معنی داری نداشت (P>۰/۰۵).

نمودار ۲. مقایسه طیف فرکانس مولفه داخلی-خارجی نیروی عکس العمل زمین طی پیش آزمون و پس آزمون در گروه تجربی

نتایج نشان داد تعداد هارمونی های ضروری در دو گروه تجربی و کنترل اختلاف معنی داری دارا هستند (p=۰/۰۰۴؛ F=۱۰/۵۱) (جدول ۵).

جدول ۵. طیف فرکانس مولفه قدامی خلفی نیروی عکس العمل زمین در دو گروه تجربی و کنترل

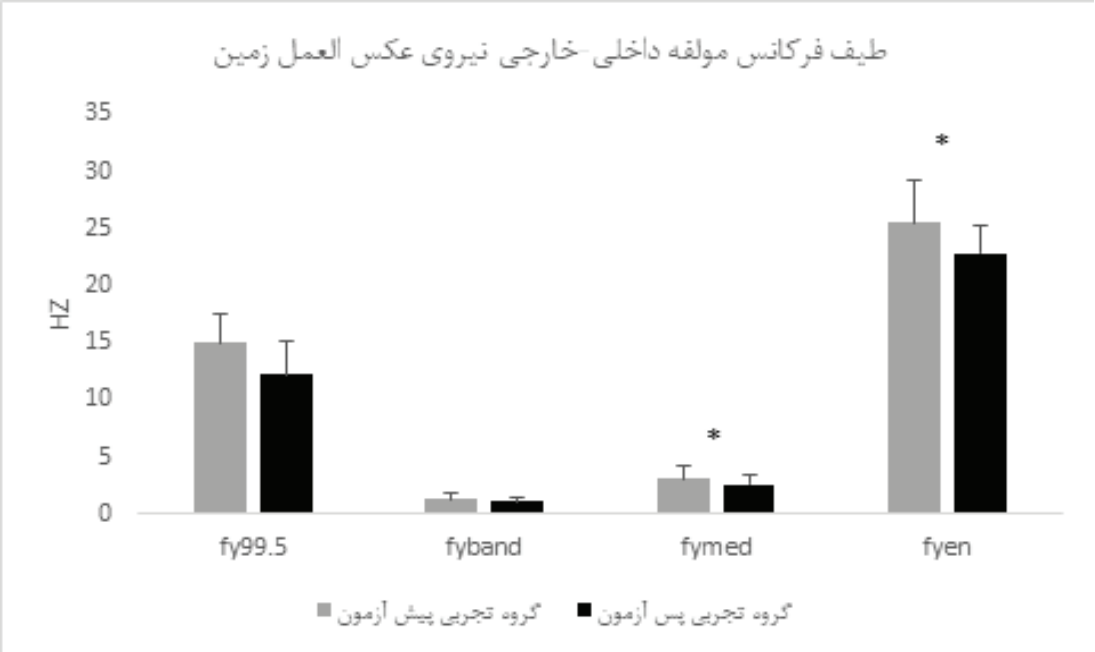
متغیرها	مجموع میانگین	DF	مجذور میانگین	F	سطح معنی داری	توان آماری
فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد (هرتز)	۱۷/۸۷	۱	۱۷/۸۷	۲/۸۵	۰/۱۰۷	۰/۳۶۲
پهنای باند (هرتز)	۰/۲۰	۱	۰/۲۰	۱/۳۵	۰/۲۵۹	۰/۱۹۸
میانه فرکانس (هرتز)	۰/۱۰۵	۱	۰/۱۰۵	۰/۱۸	۰/۶۶۸	۰/۰۷۰
تعداد هارمونیهای ضروری	۱۱۱/۱۶	۱	۱۱۱/۱۶	۱۰/۵۱	۰/۰۰۴	۰/۸۶۹

نتایج نشان داد فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد (P=۰/۰۲۶)، تعداد هارمونی های ضروری (P=۰/۰۳۹) و میانه فرکانس (P=۰/۰۲۶) در مولفه قدامی-خلفی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت (نمودار ۳). پهنای باند فرکانس اختلاف معنی داری را در گروه تجربی نشان نداد (نمودار ۳). هیچ یک از مولفه ها

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

در گروه کنترل طی پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون اختلاف معنی داری نداشت (P>۰/۰۵).



نمودار ۳. مقایسه طیف فرکانس مولفه قدامی-خلفی نیروی عکس العمل زمین طی پیش آزمون و پس آزمون در گروه تجربی

بحث

هدف از پژوهش حاضر بررسی تاثیر تمرینات راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی بدون نروپاتی بود. نتایج نشان داد طیف فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد در مولفه عمودی، داخلی-خارجی و قدامی-خلفی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت. قابل ذکر است که تحقیقی که به بررسی تاثیر تمرینات راه رفتن بر طیف فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن در بیماران دیابتی پرداخته باشد، یافت نشد.

در تبیین این یافته می توان بیان کرد که افزایش در محتوای فرکانس نیروی عکس العمل زمین می تواند ناشی از تفاوت در تواتر گام برداری یا طول گام باشد (۲۵). همچنین گزارش شده است که بیشتر این تغییرات در راستای مولفه قدامی-خلفی و داخلی-خارجی است. قابل ذکر است که سرعت راه رفتن در تحقیق حاضر ثابت بود (۲۵). به نظر می رسد تمرینات الگوی راه رفتن با تحریک کردن عضلات موثر طی راه رفتن منجر به بهبود عملکرد این عضلات و کاهش جذب شوک طی راه رفتن در بیماران دیابتی نوع ۲ شده است. تحقیقات زیادی نشان دادند که بیماران دیابتی نوع ۲ طی راه رفتن دارای ضعف عملکرد هستند و از الگوی راه رفتن متفاوتی نسبت به افراد سالم استفاده می کنند (۲۶, ۲۷) که به نظر می رسد ضعف عضلات یکی از اصلی ترین عامل کاهش عملکرد در بیماران دیابتی نوع ۲ طی راه رفتن است و افزایش مولفه های محتوای فرکانس نیروهای عکس العمل زمین طی راه رفتن باشد. همواره ضعف عملکرد به دنبال خود تغیر در مولفه های نیروی عکس العمل زمین را به دنبال دارد. به نظر می رسد تمرینات الگوی راه رفتن توانسته با درگیر کردن عضلات و قرار دادن فرد در حالت مشابه راه رفتن فرد را مجاب کرده است پاسخ های عضلانی مناسبی را به نمایش بگذارد (۲۸) تا بتواند اثر بهتری بر محتوای فرکانسی نیروی عکس العمل زمین طی راه رفتن داشته باشد.

تعداد هارمونی های ضروری در مولفه داخلی-خارجی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون افزایش معنی داری داشت. به علاوه تعداد هارمونی های ضروری و میانه فرکانس در مولفه قدامی-خلفی نیروی عکس العمل زمین در پس آزمون در مقایسه با پیش آزمون کاهش معنی داری داشت. در تبیین دیگر می توان این طور بیان کرد که محتوای فرکانسی قدامی خلفی به عنوان یکی از عوامل بالقوه در آسیب های مربوط به فعالیت های مختلف فرض شده است (۲۹). برای یک فرد توانمند، افزایش سرعت یا فرکانس گام در طول راه رفتن می تواند نیروی عکس العمل زمین را در مفاصل اندام تحتانی افزایش دهد

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

(۳۰, ۳۱). و به دنبال آن افزایش فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد در مولفه های نیروی عکس العمل زمین را در پی داشته باشد. افزایش فرکانس گام‌ها همچنین می‌تواند ضربان قلب دونده‌ها و همچنین هزینه‌های اکسیژن را در زمانی که سرعت ثابت می‌ماند تغییر دهد (۳۲)، که می‌تواند برای افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ مفید باشد زیرا آن ها انرژی بیشتری را در مقایسه با افرادی که توانایی بدنی دارند در طول راه رفتن مصرف می‌کنند. دستکاری فرکانس گام یکی از استراتژی های حرکتی اساسی است و باید یک فرکانس گام بهینه برای به حداقل رساندن محتوای فرکانسی نیروی عکس العمل زمین در بیماران دیابتی وجود داشته باشد. به نظر می رسد استفاده از تمرینات راه رفتن با شدت های مختلف در طی ۸ هفته توانسته فرکانس گام و یا طول گام راه رفتن را علارغم سرعت ثابت در بیماران دیابتی تغییر دهد (۳۳) و منجر به بهبود محتوای فرکانس نیروی عکس العمل زمین در بیماران دیابتی طی راه رفتن شود.

تحقیق حاضر دارای محدودیت هایی بود که از جمله آن می توان به جنسیت اشاره کرد که فقط از مردان استفاده شد، همچنین عدم استفاده از شاخص کینماتیکی و الکترومایوگرافی از دیگر محدودیت های تحقیق حاضر بود.

نتیجه گیری

نتایج حاضر نشان داد تمرینات راه رفتن بر محتوای فرکانس نیروی عکس العمل زمین در بیماران دیابتی بدون نوروپاتی موثر است و باعث بهبود فرکانس با توان ۹۹/۵ درصد و تعداد هارمونی های ضروری در مولفه های مختلف می شود که می تواند اثرات مفیدی بر کاهش نیروی های وارده بر اندام تحتانی طی راه رفتن داشته باشد.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از رساله دکتری فیزیولوژی ورزشی در دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۱ است، پژوهشگران بدین وسیله مراتب قدردانی خود را از مسئولین محترم پژوهش دانشگاه محقق اردبیلی و آزمودنی های پژوهش که نهایت همکاری را با تیم پژوهش داشتند، اعلام می دارند.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله با شخص یا ارگانی تضاد منافع ندارند. این پژوهش حامی مالی نداشت و با هزینه شخصی انجام شد.

Refrences

1. Association AD. Global prevalence of diabetes. Diabetes care. 2004;27(2):1047-53. https://doi.org/10.2337/diacare.27.5.1047
2. Whiting DR, Guariguata L, Weil C, Shaw J. IDF diabetes atlas: global estimates of the prevalence of diabetes for 2011 and 2030. Diabetes research and clinical practice. 2011;94(3):311-21. https://doi.org/10.1016/j.diabres.2011.10.029
3. Jayawardena R, Ranasinghe P, Byrne NM, Soares MJ, Katulanda P, Hills AP. Prevalence and trends of the diabetes epidemic in South Asia: a systematic review and meta-analysis. BMC public health. 2012;12(1):1-11. https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-380
4. Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, et al. Gait speed and survival in older adults. Jama. 2011;305(1):50-8. https://doi.org/10.1001/jama.2010.1923
5. Guralnik JM, Ferrucci L, Simonsick EM, Salive ME, Wallace RB. Lower-extremity function in persons over the age of 70 years as a predictor of subsequent disability. New England Journal of Medicine. 1995;332(9):556-62. https://doi.org/10.1056/NEJM199503023320902
6. Volpato S, Maraldi C, Fellin R. Type 2 diabetes and risk for functional decline and disability in older persons. Current diabetes reviews. 2010;6(3):134-43. https://doi.org/10.2174/157339910791162961
7. Volpato S, Ferrucci L, Blaum C, Ostir G, Cappola A, Fried LP, et al. Progression of lower-extremity disability in older women with diabetes: the Women's Health and Aging Study. Diabetes care. 2003;26(1):70-5. https://doi.org/10.2337/diacare.26.1.70
8. Gregg EW, Mangione CM, Cauley JA, Thompson TJ, Schwartz AV, Ensrud KE, et al. Diabetes and incidence of functional disability in older women. Diabetes care. 2002;25(1):61-7. https://doi.org/10.2337/diacare.25.1.61
9. Gregg EW, Beckles G, Williamson DF, Leveille SG, Langlois JA, Engelgau MM, et al. Diabetes and physical disability among older US adults. Diabetes care. 2000;23(9):1272-7. https://doi.org/10.2337/diacare.23.9.1272

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

10. Volpato S, Blaum C, Resnick H, Ferrucci L, Fried LP, Guralnik JM. Comorbidities and impairments explaining the association between diabetes and lower extremity disability: The Women's Health and Aging Study. Diabetes care. 2002;25(4):678-83. https://doi.org/10.2337/diacare.25.4.678
11. Raja B, Neptune RR, Kautz SA. Quantifiable patterns of limb loading and unloading during hemiparetic gait: relation to kinetic and kinematic parameters. Journal of rehabilitation research and development. 2012;49(9):1293. https://doi.org/10.1682/JRRD.2011.02.0018
12. Savelberg HH, Schaper NC, Willems PJ, De Lange TL, Meijer K. Redistribution of joint moments is associated with changed plantar pressure in diabetic polyneuropathy. BMC Musculoskeletal Disorders. 2009;10(1):1-10. https://doi.org/10.1186/1471-2474-10-16
13. Raspovic A. Gait characteristics of people with diabetes-related peripheral neuropathy, with and without a history of ulceration. Gait & posture. 2013;38(4):723-8. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.03.009
14. Saura V, Santos ALGd, Ortiz RT, Parisi MC, Fernandes TD, Nery M. Predictive factors of gait in neuropathic and non-neurophatic diabetic patients. Acta Ortopedica Brasileira. 2010;18:148-51. https://doi.org/10.1590/S1413-78522010000300006
15. Sawacha Z, Spolaor F, Guarneri G, Contessa P, Carraro E, Venturin A, et al. Abnormal muscle activation during gait in diabetes patients with and without neuropathy. Gait & posture. 2012;35(1):101-5. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.08.016
16. Henson J, Davies MJ, Bodicoat DH, Edwardson CL, Gill JM, Stensel DJ, et al. Breaking up prolonged sitting with standing or walking attenuates the postprandial metabolic response in postmenopausal women: a randomized acute study. Diabetes care. 2016;39(1):130-8. https://doi.org/10.2337/dc15-1240
17. Jafarnezhadgero A, Mamashli E, Granacher U. An endurance-dominated exercise program improves maximum oxygen consumption, ground reaction forces, and muscle activities in patients with moderate diabetic neuropathy. Frontiers in physiology. 2021;12:654755. https://doi.org/10.3389/fphys.2021.654755
18. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement: John Wiley & Sons; 2009. https://doi.org/10.1002/9780470549148
19. Giakas G, Baltzopoulos V. Time and frequency domain analysis of ground reaction forces during walking: an investigation of variability and symmetry. Gait & Posture. 1997;5(3):189-97. https://doi.org/10.1016/S0966-6362(96)01083-1
20. 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
21. 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
22. Crowe A, Schiereck P, de Boer R, Keessen W. Characterization of gait of young adult females by means of body centre of mass oscillations derived from ground reaction forces. Gait & Posture. 1993;1(1):61-8. https://doi.org/10.1016/0966-6362(93)90043-Z
23. 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
24. Cao Z-B, Maeda A, Shima N, Kurata H, Nishizono H. The effect of a 12-week combined exercise intervention program on physical performance and gait kinematics in community-dwelling elderly women. Journal of physiological anthropology. 2007;26(3):325-32. https://doi.org/10.2114/jpa2.26.325
25. 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
26. Kanade R, Van Deursen RWM, Harding K, Price P. Walking performance in people with diabetic neuropathy: benefits and threats. Diabetologia. 2006;49(8):1747-54. https://doi.org/10.1007/s00125-006-0309-1
27. Moghetti P, Balducci S, Guidetti L, Mazzuca P, Rossi E, Schena F. Walking for subjects

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]

with type 2 diabetes: a systematic review and joint AMD/SID/SISMES evidence-based practical guideline. Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases. 2020;30(11):1882-98. https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.08.021

28. Chmielewski TL, Hurd WJ, Rudolph KS, Axe MJ, Snyder-Mackler L. Perturbation training improves knee kinematics and reduces muscle co-contraction after complete unilateral anterior cruciate ligament rupture. Physical therapy. 2005;85(8):740-9. https://doi.org/10.1093/ptj/85.8.740
29. Chan M-S, Huang S-L, Shih Y, Chen C-H, Shiang T-Y. Shear cushions reduce the impact loading rate during walking and running. Sports Biomechanics. 2013;12(4):334-42. https://doi.org/10.1080/14763141.2013.841983
30. Bonacci J, Hall M, Fox A, Saunders N, Shipsides T, Vicenzino B. The influence of cadence and shoes on patellofemoral joint kinetics in runners with patellofemoral pain. Journal of science and medicine in sport. 2018;21(6):574-8. https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.593
31. Willy RW, Willson JD, Clowers K, Baggaley M, Murray N. The effects of body-borne loads and cadence manipulation on patellofemoral and tibiofemoral joint kinetics during running. Journal of Biomechanics. 2016;49(16):4028-33. https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2016.10.043
32. Van Oeveren BT, De Ruiter CJ, Beek PJ, Van Dieën JH. Optimal stride frequencies in running at differentspeeds.PloSone.2017;12(10):e0184273. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184273
33. Sung K, Bae S. Effects of a regular walking exercise program on behavioral and biochemical aspects in elderly people with type II diabetes. Nursing & health sciences. 2012;14(4):438-45. https://doi.org/10.1111/j.1442-2018.2012.00690.x

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

[DOI: 10.22034/IJRN.10.3.20]