



Analysis of Spatio-Temporal Parameters of Gait in Parkinson's Disease: The Effect of Obstacle Crossing and Virtual Reality Environment

Rezvan Bakhtiyarian¹, Mahdi Majlesi^{2*}, Elaheh Azadian³

1- MSc Student of Sport Biomechanics, Department of Physical Education and Sport Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

2- Associate Professor of Sport Biomechanics, Department of Physical Education and Sport Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

3-Associate Professor of Motor Behavior, Department of Physical Education and Sport Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Corresponding Author: Mahdi Majlesi, Department of Physical Education and Sport Sciences, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

Email: majlesi11@gmail.com

Received: 2023/2/7

Accepted: 2023/11/27

Abstract

Introduction: Disruptions in the gait patterns of individuals with Parkinson's disease lead to an increased risk of falls in these patients. The aim of the present study is to investigate spatiotemporal gait variables during obstacle crossing in both real and virtual reality environments in individuals with Parkinson's disease and compare them with healthy counterparts.

Methods: In this study, 15 Parkinson's disease and 17 healthy individuals with similar heights, weights, and ages participated through convenience sampling. In this study, four walking tasks were evaluated: normal walking, obstacle crossing, walking in a virtual reality environment, and obstacle crossing in a virtual reality environment. The spatiotemporal gait variables were recorded in terms of both invariant parameters and relative timing using the Vicon motion analysis system. The data were analyzed using independent t-tests, and repeated measures ANOVA, in the SPSS-25 software ($p < 0.05$).

Results: The results showed that variables such as step and stride time, single support time, stance and sway time were significantly higher in the Parkinson's group compared to the control group, while cadence and gait speed were lower in the Parkinson's group ($p < 0.05$). Walking in the virtual reality environment, with or without obstacles, led to decreased speed and increased step and stride time, single support time, and sway. However, relative timing in gait parameters did not change significantly ($p < 0.05$).

Conclusions: According to the results, the virtual reality environment did not have a significant impact on the relative timing of gait parameters. However, when it came to obstacle crossing, there was a noticeable reduction in relative timing variables. These findings suggest that there are distinct movement patterns involved in obstacle crossing, while the gait patterns in the virtual reality environment closely resemble those of normal walking. To validate these results, further studies are required.

Keywords: Parkinson's disease, Gait, Spatiotemporal variables, Obstacle crossing.



تحلیل ویژگیهای گام برداری بیماران مبتلا به پارکینسون: تأثیر عبور از مانع و محیط واقعیت مجازی

رضوان بختیاربان^۱، مهدی مجلسی^۲، الهه آزادیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد بیومکانیک ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

۲- دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

۳- دانشیار رفتار حرکتی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران.

نویسنده مسئول: مهدی مجلسی، دانشیار بیومکانیک ورزشی، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران.

ایمیل: majlesi11@gmail.com

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۷/۶

دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸

چکیده

مقدمه: اختلال در الگوی راه رفتن بیماران پارکینسون منجر به افزایش خطر سقوط در این بیماران می شود. هدف پژوهش حاضر بررسی متغیرهای فضایی-زمانی گام برداری در شرایط عبور از مانع و محیط واقعیت مجازی در افراد مبتلا به پارکینسون و مقایسه آن با همتایان سالم بود.

روش کار: تعداد ۱۵ بیمار مبتلا به پارکینسون و ۱۷ فرد سالم با قد، وزن و سن مشابه، به روش در دسترس در این مطالعه شرکت کردند. در این پژوهش چهار تکلیف راه رفتن عادی، عبور از مانع، محیط واقعیت مجازی و عبور از مانع در محیط واقعیت مجازی ارزیابی گردید. متغیرهای فضایی-زمانی گام برداری در دو بخش پارامترهای ثابت و زمان بندی نسبی با استفاده از سیستم تحلیل حرکتی Vicon ثبت شد. برای تحلیل داده‌ها از آزمون تی تست مستقل و تحلیل واریانس ویژه داده های تکراری در محیط نرم افزار SPSS-25 و ($p < 0.05$) استفاده شد.

یافته ها: نتایج نشان داد متغیرهای زمان گام و قدم، زمان اتکای یک پا، زمان اتکا و نوسان در گروه پارکینسون نسبت به گروه کنترل به طور معنی داری بیشتر است؛ اما کادنس و سرعت گام برداری در گروه پارکینسون کمتر بود ($p < 0.05$). راه رفتن در محیط واقعیت مجازی با و بدون وجود مانع موجب کاهش سرعت و افزایش متغیرهای زمان گام و قدم، زمان اتکا و نوسان گردیده بود؛ اما زمان بندی نسبی در پارامترهای گام برداری تغییری نکرده بود ($p < 0.05$).

نتیجه گیری: طبق نتایج محیط واقعیت مجازی بر زمان بندی نسبی گام برداری تأثیر معنی داری نداشت، درحالی که عبور از مانع - موجب کاهش معنی دار متغیرهای زمان بندی نسبی گردیده بود. این نتایج نشان دهنده متفاوت بودن الگوی حرکتی در عبور از مانع و مشابه بودن الگوی گام برداری در محیط واقعیت مجازی نسبت به راه رفتن معمولی می باشد. برای تأیید این نتایج مطالعات بیشتری مورد نیاز است.

کلیدواژه‌ها: پارکینسون، گام برداری، متغیرهای فضایی زمانی، عبور از مانع.

مقدمه

بیماری پارکینسون (PD)، یک بیماری مزمن و پیش‌رونده، در دستگاه عصبی مرکزی است که به‌طور عمده سیستم حرکتی بدن را مختل می‌کند (۱،۲). شیوع بیماری پارکینسون تقریباً حدود ۱ تا ۲ درصد در سالمندان بالای ۶۵ سال و ۳ تا ۵ درصد در افراد بالای ۸۵ سال است؛ همچنین سالانه حدود دو سوم از این مبتلایان، سقوط را تجربه می‌کنند (۳، ۴). یکی از مهم‌ترین عوارض بیماری پارکینسون اختلال در گام‌برداری است (۵-۷)، کاهش سرعت راه‌رفتن، کاهش طول قدم، کشیدن پا روی زمین به‌طوری‌که پا در مرحله نوسان به‌طور کامل از زمین بلند نشود و نیز تغییرپذیری بیشتر در حین راه‌رفتن در این بیماران گزارش شده است (۸، ۹).

مطالعات نشان داده‌اند عبور از مانع حتی در افراد جوان، با کاهش طول گام و سرعت راه‌رفتن همراه است (۱۰، ۱۱)، سالمندان نیز به دلیل اختلالات حرکتی و حسی مربوط به افزایش سن، در مواجهه با مانع به‌طور معنی‌داری سرعت راه‌رفتن را در مقایسه با افراد جوان کاهش می‌دهند (۱۲، ۱۳). راه‌رفتن و عبور از مانع به دلیل افزایش نیاز به حفظ تعادل و تقاضاهای پردازش اطلاعات بیشتر، موجب افزایش خطر سقوط در سالمندان می‌گردد (۱۴، ۱۵). مطالعات در افراد مبتلا به PD نشان دادند این افراد حین عبور از مانع، دارای عرض گام بیشتر و همچنین زمان بیشتر در متغیر حمایت دو پا بودند (۱۶، ۱۷). این تغییرات احتمالاً یک استراتژی برای به دست آوردن سطح اتکای بیشتر و در نتیجه افزایش ثبات و جلوگیری از سقوط حین گام برداری می‌باشد (۱۸).

اخیراً با پیشرفت در فناوری واقعیت مجازی (VR)، کاربرد این روش برای آموزش و توان‌بخشی در افراد مبتلا به مشکلات گام برداری افزایش یافته است (۱۹-۲۳). تأثیر مثبت این روش در سالمندان و بیماران سکته مغزی برای بهبود کنترل قامت، افزایش تحرک و کاهش خطر سقوط نشان داده شده است (۲۴-۲۶). طبق مطالعات، کاربرد VR در توان‌بخشی موجب ایجاد مسیرهای عصبی-عضلانی می‌گردد که مسئول کنترل یک حرکت خاص هستند، در نتیجه به برقراری مجدد عملکرد حرکتی از دست رفته در افراد بیمار یا مجروح در سطوح جسمانی و ذهنی کمک می‌کند (۲۷، ۲۸). مطابق با یافته‌های گذشته، تمرین راه‌رفتن در محیط واقعیت مجازی می‌تواند منجر به بهبود قابل

توجهی در سرعت، طول گام و ثبات راه‌رفتن گردد (۲۹، ۳۰). علاوه بر این، ماهیت همه‌جانبه و تعاملی VR تجربه جذابی را برای بیماران فراهم می‌کند که ممکن است منجر به افزایش انگیزه آن‌ها برای شرکت در جلسات درمانی شود (۳۱).

با اینکه روش VR در یک محیط کنترل شده و ایمن اجرا می‌گردد؛ اما می‌تواند با قرار دادن افراد در محیط‌های مختلف مجازی، موجب دستکاری سیستم‌های حسی - حرکتی در آن‌ها گردد و همچنین فرصتی برای مطالعه ویژگی‌های گام برداری در افراد مختلف ارائه دهد (۲۸، ۳۲). طبق نظریه برنامه حرکتی تعمیم‌یافته، هر تکلیف حرکتی توسط دو پارامتر متغیر و ثابت کنترل می‌گردد؛ با تغییر پارامترهای ثابت، مانند زمان‌بندی نسبی، برنامه حرکتی تغییر می‌کند، اما هنگامی که یک برنامه در شرایط مختلف استفاده می‌شود، تغییرات فقط در پارامترهای متغیر ایجاد می‌شود (۳۳، ۳۴). پارامترهای ثابت در این مطالعه شامل زمان‌بندی نسبی مثل درصدی از زمان چرخه گام برداری که پای موافق یا مخالف از زمین جدا می‌شوند و پارامترهای متغیر مثل سرعت، کادنس، طول گام و ... بود. با توجه به این موضوع، یکی از اهداف این مطالعه مقایسه پارامترهای ثابت و متغیر گام برداری در شرایط راه رفتن در محیط VR و واقعی و نیز مقایسه بین راه رفتن حین عبور از مانع با راه رفتن معمولی بود. با توجه به پیشینه تحقیقات، مبتنی بر تأثیر مثبت تمرینات VR بر گام برداری گروه‌های مختلف دارای اختلال گام برداری (۳۲، ۳۵)، فرض اول این تحقیق بر این است که استفاده از VR تغییر معنی‌داری در زمان‌بندی نسبی ایجاد نمی‌کند. با توجه به پیشینه تحقیقات، فرض دوم این تحقیق این است که متغیرهای فضایی-زمانی گام‌برداری در افراد مبتلا به پارکینسون در تمام شرایط نسبت به افراد عادی دارای اختلاف هستند.

روش کار

این تحقیق از نوع توصیفی و در گروه مطالعات مقطعی بود. جامعه آماری این پژوهش شامل سالمندان ساکن شهرستان همدان بودند که با استفاده از نرم‌افزار G*Power با $\alpha/0.05$ و توان آماری ۸۰ درصد (۳۶، ۳۷) حداقل ۲۴ آزمودنی برای این مطالعه لازم بود، که با استفاده از نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شدند. از بین مراجعه‌کنندگان به کلینیک تخصصی مغز و اعصاب بیمارستان بعثت همدان، تعداد ۱۵

رضوان بختیاریان و همکاران

متاتار سال دوم و پشت استخوان پاشنه بودند (۳۹). یک مسیر پیاده‌روی ۱۲ متری، در طول آزمایشگاه در نظر گرفته شد که دو تخته نیروی کیستلر در میانه مسیر قرار داشت. یک فضای کالیبراسیون با ابعاد $2 \times 3 \times 1/5$ m در نظر گرفته شد. به خاطر طول فضای کالیبره (۳ متر) آزمودنی می‌توانست دو استراید کامل چپ و راست در داخل فضای کالیبره داشته باشد. تصاویر مارکرها در حافظه کامپیوتر ذخیره و سپس با استفاده از این مختصات و اطلاعات تخته نیرو لحظات مختلف از مراحل گام برداری شناسایی شدند؛ این لحظات شامل تماس پاشنه، جدا شدن پنجه پا از زمین تا تماس مجدد پاشنه با زمین برای هر یک از پاهای چپ و راست می‌باشد. اطلاعات به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای Vicon Nexus نسخه ۱.۸.۲ و Polygan نسخه ۳.۵.۲ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. داده‌های کینماتیکی توسط فیلتر Butterworth مرتبه چهارم و با برش فرکانسی ۶ هرتز فیلتر شدند (۴۰). در همه متغیرها میانگین ۳ تکرار صحیح گام برداری برای محاسبات استفاده شد. اجرای گام برداری زمانی صحیح تلقی گردید که همه مارکرهای اندام تحتانی، طی چرخه گام برداری قابل رؤیت باشند. متغیرهای گام برداری به دو دسته تقسیم شدند: (۱) پارامترهای متغیر فضایی-زمانی شامل طول گام و قدم، زمان گام و قدم، زمان اتکا و نوسان، زمان اتکای تک پا و اتکای دو پایی، متغیرهای کادنس و سرعت راه رفتن، (۲) پارامترهای ثابت فضایی-زمانی شامل زمان بندی نسبی در تماس پای مخالف با زمین، جدا شدن پای مخالف از زمین و جدا شدن پا از زمین که به‌صورت درصدی از زمان چرخه راه‌رفتن استخراج می‌شوند. برای بدست آوردن زمان اتکا از فرمول ۱ استفاده گردید (۴۱). همچنین زمان نوسان در هر پا، بر اساس پیشینه، مساوی با مرحله اتکای یک پا در پای مخالف می‌باشد؛ سایر متغیرها نیز به‌طور مستقیم از نرم افزار Polygon استخراج شد.

1) Stance time $x = \text{double support time} \times \text{single support time} \times$

فرمول محاسبه زمان اتکا در هر پا. X: برای پای راست یا چپ به صورت جداگانه استفاده گردد.

در این مطالعه چهار تکلیف به شرکت کنندگان ارائه گردید: الف) راه‌رفتن معمولی، ب) راه‌رفتن معمولی و عبور از مانع، ج) راه‌رفتن در محیط واقعیت مجازی طراحی شده در هدست VR، د) راه‌رفتن و عبور از مانع در محیط واقعیت

بیمار مبتلا به پارکینسون به عنوان گروه تجربی انتخاب شدند. همچنین از بین سالمندان سالم که داوطلب شرکت در این پژوهش بودند، ۱۷ نفر به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد. از کلیه افراد شرکت‌کننده در پژوهش آزمون کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE) به عمل آمد، علاوه بر آن در افراد PD آزمون ارزیابی شناختی مونترال (MoCA) و پرسش‌نامه کیفیت زندگی افراد مبتلا به پارکینسون (PDQL) نیز به عمل آمد.

شرایط ورود برای هر دو گروه، دامنه سنی ۵۰ تا ۷۰ سال، توانایی راه‌رفتن مستقل بدون وسیله کمکی بود؛ در افراد مبتلا به پارکینسون، تشخیص PD اولیه و قرار گرفتن در سطح II و یا III بیماری بر اساس مقیاس هوهن و یاهر، استفاده از داروها (قرار داشتن در مرحله ON)، بدون ایمپلنت‌های کار گذاشته شده یا تحریک عمیق مغز (۳۸) نیز از معیارهای ورود بودند. ملاک خروج برای هر دو گروه، داشتن سابقه جراحی ارتوپدی در اندام تحتانی طی یک سال گذشته، اختلال در سیستم شنوایی و بینایی که اصلاح نشده باشد، اختلال شناختی شدید، استفاده از مواد یا داروهای روان‌گردان، به‌علاوه در گروه PD، داشتن اختلال پارکینسون غیرمعمول یا ثانویه و بیماری‌ها و داروهای مؤثر بر راه‌رفتن، همچنین کسب امتیاز کم‌تر از ۱۷ در آزمون شناختی MMSE و MoCA و کسب امتیاز زیر صد در پرسش‌نامه کیفیت زندگی (۳۸) نیز از معیارهای خروج بودند. شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه جهت شرکت در آزمون را تکمیل کرده و سپس مراحل انجام آزمون‌ها و چگونگی اندازه‌گیری متغیرها به‌طور کامل برای آن‌ها تشریح گردید. پروتکل این مطالعه در کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان با شناسه اخلاق IR.IAU.H.REC.1401.001 مورخ ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ مورد تأیید قرار گرفت.

دستگاه تحلیل حرکتی سه بعدی، Vicon (Vicon Peak, Oxford, UK) با چهار دوربین سری T20 و با فرکانس ۱۰۰ هرتز، برای تصویربرداری از الگوی راه‌رفتن استفاده شد. مارکرها، کروی شکل و به قطر ۱۴ میلی‌متر بودند که با استفاده از چسب دو طرفه نواری و بر اساس مدل مارکرگذاری (Plug-In Gait Marker Set, Vicon Peak, Oxford, UK)، به نقاط خاص آناتومیکی هر دو پای شرکت‌کنندگان متصل شدند. این نقاط شامل خار خاصره قدامی فوقانی و خلفی فوقانی، اپی‌کندیل خارجی زانو، یک‌سوم پایینی ران، یک‌سوم پایینی ساق، قوزک خارجی، سر

در این مطالعه برای مقایسه بین گروهی از آزمون تی تست مستقل و برای بررسی تأثیر عبور از مانع (OBS) و VR بر متغیرهای گام برداری از آزمون آنالیز واریانس ویژه داده‌های تکراری در هر گروه استفاده گردید. کلیه مراحل تحلیل آماری در محیط نرم‌افزار SPSS ورژن ۲۵ و با سطح معنی داری $\alpha < 0/05$ استفاده شد.

یافته‌ها

مشخصات دموگرافیک آزمودنی‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، این افراد در آزمون MMSE دارای اختلاف معنی داری بودند.

مجازی طراحی شده در هدست VR. جنس مانع استفاده شده در این پژوهش از فوم پلاستیکی قابل انعطاف به ابعاد $15 \times 6 \times 6$ cm بود که در وسط فضای کالیبره قرار داده شد (۸). برنامه واقعیت مجازی طراحی شده در هدست VR منطبق بر محیط آزمایشگاه بود؛ به نحوی که آزمودنی در حین راه رفتن در مسیر طراحی شده دقیقاً از روی صفحه نیروها عبور می‌کرد. مانع طراحی شده در واقعیت مجازی با همان ابعادی بود که در شرایط واقعی استفاده گردیده بود. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها و امکان استفاده از آزمون‌های پارامتریک از آزمون شاپیرو ویلک استفاده شد.

جدول ۱. ویژگی‌های دموگرافیک آزمودنی‌ها در گروه‌های مورد مطالعه (میانگین \pm انحراف استاندارد)

متغیرها	گروه		Sig.
	کنترل	PD	
سن (سال)	$60/52 \pm 6/17$	$61/60 \pm 6/23$	0/62
قد (متر)	$1/64 \pm 0/09$	$1/64 \pm 0/10$	0/86
جرم (کیلوگرم)	$68/88 \pm 11/60$	$67/60 \pm 10/56$	0/75
BMI	$25/71 \pm 3/45$	$25/13 \pm 3/39$	0/64
MMSE	$27/07 \pm 2/40$	$23/00 \pm 3/74$	0/002
MoCA	-	$22/80 \pm 3/14$	
PDQL	-	$112/40 \pm 12/63$	

نکته: BMI = شاخص جرم بدن (وزن / مجذور قد)، PD: گروه پارکینسون، MMSE: آزمون خلاصه معاینه روانی، MoCA: آزمون شناختی مونترال PDQL: پرسشنامه کیفیت زندگی پارکینسون

پارامترهای متغیر گام برداری

نشان دادند ($p < 0/001$). به طور کلی راه رفتن در محیط VR همراه با مانع، بیشترین تأثیر بر متغیرهای گام برداری را نشان داد.

نتایج آزمون بین گروهی در جدول ۳ نشان داده شده است. در تمام شرایط گام برداری میانگین گروه PD در متغیرهای زمان گام و قدم، زمان اتکای دوپا و یک پا، و زمان اتکا و نوسان نسبت به گروه کنترل به‌طور معنی‌داری بیشتر بود ($p < 0/05$)؛ اما سرعت و کادانس در همه تکالیف در گروه PD کمتر از گروه کنترل بوده است ($p < 0/05$). مقایسه بین گروهی در متغیرهای طول گام و قدم نشان داد، این دو متغیر در گروه کنترل بیشتر از گروه PD بود؛ اما در وضعیت VR و همراه با عبور از مانع، اختلاف بین آن‌ها معنی دار بود ($p < 0/05$).

زمان بندی نسبی

جدول ۲ نتایج تحلیل عاملی را نشان می‌دهد؛ طبق این

نتایج مقایسه درون گروهی در جدول ۲ نشان داده شده است. مطابق با نتایج تأثیر عامل OBS و VR در متغیرهای زمان گام و قدم، زمان اتکای یک پا، و زمان اتکا و نوسان در هر دو گروه معنی دار می‌باشد ($p < 0/05$). راه رفتن و عبور از مانع و یا راه رفتن در محیط VR، موجب افزایش معنی داری در این متغیرها گردید ($p < 0/05$). همچنین سرعت راه رفتن در گروه PD تحت تأثیر عبور از مانع کاهش معنی داری نشان داد، درحالی که در گروه کنترل در تمام شرایط تغییر معنی داری نداشت ($p < 0/05$). همچنین عامل OBS و VR در متغیر کادانس در هر دو گروه تأثیر معنی داری داشتند ($p < 0/05$). نتایج مقایسه درون گروهی نشان داد، عامل OBS در گروه PD موجب افزایش طول قدم گردید ($p = 0/04$)؛ اما در گروه کنترل، هر دو متغیر طول گام و قدم در شرایط OBS و VR افزایش معنی داری

رضوان بختیاریان و همکاران

گروه در متغیر بلند شدن پای مخالف از زمین در شرایط راهرفتن معمولی معنی داری بود ($p < 0.05$). با توجه به میانگین ها گروه PD به طور نسبی درصد زمان بیشتری را در مرحله قبل از بلند کردن پنجه طی کرده بودند و در بقیه شرایط اختلاف بین دو گروه معنی دار نبود.

یافته ها عامل OBS در هر دو گروه باعث تغییر معنی دار در متغیرهای فضایی-زمانی مربوط به زمان بندی نسبی گردیده است. مقایسه میانگین ها نشان می دهد راهرفتن در شرایط عبور از مانع باعث کاهش این درصدها نسبت به راه رفتن در سایر شرایط در هر دو گروه گردیده است ($p < 0.001$). مقایسه بین گروهی نیز نشان داد اختلاف دو

جدول ۲. بررسی تأثیر عامل واقعیت مجازی و مانع بر متغیرهای فضایی-زمانی هر گروه به صورت مجزا

	گروه کنترل			گروه PD		
	VR.OBS	OBS	VR	VR.OBS	OBS	VR
	F (Sig)	F (Sig)	F (Sig)	F (Sig)	F (Sig)	F (Sig)
زمان گام	۱۶/۶۹ (۰/۰۰۱)*	۳۴/۱۸ (۰/۰۰۰)*	۳۱/۴۲ (۰/۰۰۰)*	۱/۰۵ (۰/۳۲۲)	۱۳/۴۵ (۰/۰۰۳)*	۷/۸۵ (۰/۰۱۴)*
زمان قدم	۹/۹۶ (۰/۰۰۶)*	۴۷/۶۶ (۰/۰۰۰)*	۲۱/۹۰ (۰/۰۰۰)*	۰/۱۵۲ (۰/۷۰۳)	۱۶/۷۰ (۰/۰۰۱)*	۴/۸۲ (۰/۰۴۹)*
زمان اتکای دوپایی	۱/۴۷ (۰/۲۴۳)	۰/۳۷۴ (۰/۵۴۹)	۲/۳۸ (۰/۱۴۳)	۰/۵۴۶ (۰/۴۷۲)	۱/۰۹ (۰/۳۱۳)	۰/۵۷۵ (۰/۴۶۸)
زمان اتکای یک پای	۹/۲۲ (۰/۰۰۸)*	۱۱/۷۴ (۰/۰۰۳)*	۱۶/۷۹ (۰/۰۰۱)*	۰/۴۳۴ (۰/۵۲۵)	۱۳/۰۸ (۰/۰۰۳)*	۱۱/۳۱ (۰/۰۰۵)*
زمان اتکا	۱۸/۸۷ (۰/۰۰۱)*	۷/۷۱ (۰/۰۱۳)*	۳۰/۵۹ (۰/۰۰۰)*	۰/۹۰۳ (۰/۳۵۸)	۱/۵۲ (۰/۲۳۷)	۶/۸۵ (۰/۰۲۰)*
زمان نوسان	۸/۹۸ (۰/۰۰۹)*	۹/۲۰ (۰/۰۰۸)*	۱۵/۵۱ (۰/۰۰۱)*	۰/۵۹۸ (۰/۴۵۲)	۱۴/۶۵ (۰/۰۰۲)*	۸/۹۳ (۰/۰۱۰)*
کادنس	۱۲/۸۵ (۰/۰۰۳)*	۳۱/۴۴ (۰/۰۰۰)*	۳۸/۶۹ (۰/۰۰۰)*	۲/۰۴ (۰/۱۷۵)	۱۶/۹۷ (۰/۰۰۱)*	۶/۲۸ (۰/۰۲۵)*
سرعت	۲/۱۹ (۰/۱۵۸)	۲/۴۲ (۰/۱۳۸)	۱/۰۱ (۰/۹۲۳)	۵/۵۹ (۰/۰۳۳)*	۱۰/۵۰ (۰/۰۰۶)*	۰/۰۸ (۰/۷۸۰)
طول گام	۳/۸۲ (۰/۰۶۸)	۹۱/۳۵ (۰/۰۰۰)*	۳۱/۰۱ (۰/۰۰۰)*	۰/۸۱۴ (۰/۳۸۲)	۲/۸۵ (۰/۱۱۴)	۱/۸۲ (۰/۱۹۸)
طول قدم	۱/۶۹ (۰/۲۱۱)	۶۴/۹۳ (۰/۰۰۰)*	۲۳/۰۹ (۰/۰۰۰)*	۰/۶۳۰ (۰/۴۴۱)	۴/۸۹ (۰/۰۴۴)*	۱/۹۷ (۰/۱۸۳)
O.F.O	۰/۰۰۱ (۰/۹۸۰)	۱۲/۴۵ (۰/۰۰۲)*	۰/۱۹۷ (۰/۰۶۳)	۱/۶۵ (۰/۲۱۹)	۲۳/۷۷ (۰/۰۰۰)*	۱/۱۵ (۰/۰۳۰۲)
O.F.C	۰/۰۶۲۹ (۰/۴۳۹)	۶۰/۴۲ (۰/۰۰۰)*	۰/۲۵۶ (۰/۰۶۲۰)	۲/۱۶ (۰/۱۶۴)	۲۲/۵۸ (۰/۰۰۰)*	۱/۱۳ (۰/۰۳۰۵)
F.O	۰/۸۳۴ (۰/۳۷۵)	۸۱/۴۳ (۰/۰۰۰)*	۲/۶۴ (۰/۱۳۶)	۰/۳۷۸ (۰/۵۴۸)	۸۲/۸۰ (۰/۰۰۰)*	۰/۰۷ (۰/۷۹۰)

نکته: * نشاندهنده تأثیر معنی دار عامل های این پژوهش بر متغیرهای مورد بررسی، اختصارات: VR: عامل واقعیت مجازی، OBS: عامل عبور از مانع، VR.OBS: تعامل بین عامل واقعیت مجازی و مانع، O.F.O: درصدی از زمان که پای مخالف از زمین جدا می شود؛ O.F.C: درصدی از زمان که پای مخالف با زمین تماس می یابد؛ F.O: درصدی از زمان که پای موافق از زمین جدا می شود.

جدول ۳. اطلاعات توصیفی هر یک از متغیرها (میانگین \pm انحراف استاندارد)، نتایج مقایسه بین گروهی

	راهرفتن عادی		راهرفتن واقعیت مجازی		راهرفتن با مانع		مانع و واقعیت مجازی	
	PD	کنترل	PD	کنترل	PD	کنترل	PD	کنترل
زمان گام	۰/۴۰ \pm ۱/۳۷	۰/۸۵ \pm ۱/۸۵	۰/۴۲ \pm ۱/۴۶	۰/۹۱ \pm ۱/۴۴	۰/۳۲ \pm ۱/۵۰	۰/۷۱ \pm ۱/۷۹	۰/۳۷ \pm ۱/۶۴	۰/۷۰ \pm ۱/۴۰
زمان قدم	۰/۸۵ \pm ۰/۶۸	۰/۷۷ \pm ۰/۵۷	۰/۸۲ \pm ۰/۶۷	۰/۸۰ \pm ۰/۶۳	۰/۸۵ \pm ۰/۷۹	۰/۸۰ \pm ۰/۶۳	۰/۸۵ \pm ۰/۷۹	۰/۸۲ \pm ۰/۷۴
زمان اتکای دوپایی	۰/۸۵ \pm ۰/۳۶	۰/۰۵ \pm ۰/۳۷	۰/۸۴ \pm ۰/۳۹	۰/۰۷ \pm ۰/۲۸	۰/۸۴ \pm ۰/۳۶	۰/۰۷ \pm ۰/۳۷	۰/۳۱ \pm ۰/۳۸	۰/۰۷ \pm ۰/۳۹

F.O	O.F.C	O.F.O	طول قدم	طول گام	سرعت	کادنس	زمان نوسان	زمان اتکا	زمان اتکای یک پای
۵۷/۳۳ ± ۲/۸۹	۴۷/۴۰ ± ۲/۲۶	۱۰/۳۷ ± ۲/۰۱	۰/۷۰ ± ۰/۰۴	۱/۳۶ ± ۰/۰۹	۰/۹۹ ± ۰/۱۷	۸۷/۴۰ ± ۱۲/۹۲	۰/۵۳ ± ۰/۱۱	۰/۸۱ ± ۰/۱۴	۰/۵۲ ± ۰/۰۸
۵۸/۸۴ ± ۵/۴۱	۴۷/۴۹ ± ۳/۰۷	۱۱/۳۲ ± ۵/۲۴	۰/۵۵ ± ۰/۱۵	۱/۱۱ ± ۰/۳۲	۰/۸۷ ± ۰/۲۳	۷۶/۲۱ ± ۱۱/۵۴	۰/۵۸ ± ۰/۰۹	۰/۹۶ ± ۰/۲۴	۰/۵۷ ± ۰/۰۹
۰/۶۷	۰/۳۳	۰/۵۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۰۱°	۰/۰۰۰°	۰/۰۱۷°	۰/۰۱°	۰/۰۰۶
۵۹/۲۰ ± ۳/۵۶	۴۷/۹۳ ± ۲/۱۵	۱۱/۳۳ ± ۳/۰۰	۰/۶۰ ± ۰/۰۷	۱/۱۹ ± ۰/۱۴	۱/۰۱ ± ۰/۱۷	۱۰۳/۰۱ ± ۱۴/۸۵	۰/۴۵ ± ۰/۰۷	۰/۶۹ ± ۰/۱۳	۰/۴۳ ± ۰/۰۷
۵۸/۴۹ ± ۴/۲۸	۴۷/۰۷ ± ۳/۰۸	۱۱/۹۹ ± ۳/۲۸	۰/۵۳ ± ۰/۱۲	۱/۰۷ ± ۰/۲۰	۰/۸۵ ± ۰/۲۳	۸۴/۰۶ ± ۱۶/۰۹	۰/۵۲ ± ۰/۱۰	۰/۸۸ ± ۰/۲۴	۰/۵۲ ± ۰/۱۲
۰/۳۱	۰/۵۲	۰/۳۹	۰/۰۴۷°	۰/۰۷	۰/۰۰۳°	۰/۰۴۱°	۰/۰۰۳°	۰/۰۴۸°	۰/۰۴۷°
۶۰/۵۶ ± ۲/۰۰	۴۸/۸۱ ± ۱/۸۹	۱۰/۹۰ ± ۲/۲۵	۰/۶۴ ± ۰/۰۶	۱/۲۵ ± ۰/۱۳	۱/۰۳ ± ۰/۲۱	۹۹/۳۶ ± ۱۴/۶۰	۰/۴۸ ± ۰/۰۷	۰/۸۵ ± ۰/۱۱	۰/۴۷ ± ۰/۰۷
۶۱/۷۰ ± ۴/۱۶	۴۸/۲۸ ± ۲/۳۶	۱۱/۶۹ ± ۳/۱۳	۰/۵۵ ± ۰/۱۵	۱/۰۸ ± ۰/۳۹	۰/۸۱ ± ۰/۳۰	۸۷/۶۹ ± ۱۹/۸۶	۰/۵۲ ± ۰/۰۹	۰/۹۱ ± ۰/۳۲	۰/۵۲ ± ۰/۰۹
۰/۲۶	۰/۸۷	۰/۰۴°	۰/۰۵°	۰/۱	۰/۰۰۵°	۰/۰۰۹°	۰/۲۱	۰/۰۱°	۰/۰۳۸°
۶۱/۴۹ ± ۲/۱۵	۵۰/۰۲ ± ۲/۰۴	۱۱/۵۳ ± ۲/۵۵	۰/۵۷ ± ۰/۵۹	۱/۱۳ ± ۰/۱۱	۱/۰۰ ± ۰/۱۶	۱۰۶/۰۴ ± ۱۳/۸۸	۰/۴۵ ± ۰/۰۷	۰/۸۱ ± ۰/۱۰	۰/۴۴ ± ۰/۰۶
۶۲/۴۰ ± ۳/۲۹	۵۰/۴۴ ± ۳/۳۰	۱۳/۸۳ ± ۳/۳۳	۰/۵۱ ± ۰/۱۰	۱/۰۳ ± ۰/۴۸	۰/۸۹ ± ۰/۲۵	۹۱/۳۱ ± ۱۷/۸۳	۰/۴۸ ± ۰/۰۸	۰/۸۶ ± ۰/۲۱	۰/۴۹ ± ۰/۰۸

نکته: * نشانه اختلاف معنی دار بین دو گروه در متغیرهای مورد بررسی، اختصارات: O.F.O: درصدی از زمان که پای مخالف از زمین جدا می شود؛ O.F.C: درصدی از زمان که پای مخالف با زمین تماس می یابد؛ F.O: درصدی از زمان که پای موافق از زمین جدا می شود.

بحث

در سال های اخیر استفاده از محیط واقعیت مجازی به عنوان یک شیوه تمرینی در افراد مبتلا به پارکینسون در حال افزایش است. نتایج این مطالعه هم راستا با این تحقیقات به منظور درک این موضوع بود که راه رفتن در شرایط معمولی و عبور از مانع تا چه حدی با شرایط گام برداری در محیط بازسازی شده VR مشابه می باشد. لذا هدف از این مطالعه بررسی تأثیر محیط VR بر ویژگی های فضای- زمانی راه رفتن افراد مبتلا به پارکینسون در دو وضعیت گام برداری معمولی و گام برداری حین عبور از مانع بود. مقایسه بین متغیرهای گام برداری بین افراد PD و گروه کنترل نشان داد، متغیرهای زمان قدم و گام، زمان اتکا و نوسان، زمان اتکای تک پا و همچنین متغیرهای سرعت و کادنس تحت تأثیر بیماری پارکینسون قرار می گیرند. سرعت و کادنس به طور معنی داری در این بیماران کاهش یافته اند و بقیه متغیرهای نام برده، افزایش معنی داری را نسبت به گروه کنترل نشان داده اند. این امر شاید نشان دهنده تأثیر اختلال در مراکز کنترل حرکتی واقع در قشر لوب قدامی مغز بر کنترل گام برداری باشد. همچنین نتایج مطالعات زیادی نشان داده اند که کاهش سرعت گام برداری نشانه ضعف تعادلی در سالمندان می باشد (۳۷، ۴۱، ۴۲). از سوی دیگر سرعت راه رفتن به عنوان یک علامت حیاتی در عملکرد جسمانی سالمندان محسوب می گردد، به طوری که کاهش ۱۰ سانتی متر بر ثانیه در سرعت راه رفتن با افزایش خطر سقوط در افراد مسن مرتبط است (۴۳). از طرفی نمره آزمون MMSE در گروه PD زیر نقطه برش قرار داشت، که نشان دهنده ضعف شناختی در این گروه می باشد (۳۷، ۴۴). بنابراین ضعف تعادلی و شناختی این افراد ممکن است مهم ترین دلیل در ایجاد اختلاف بین متغیرهای گام برداری در گروه PD و گروه کنترل باشد. از طرفی اختلاف بین دو گروه در متغیرهای طول گام و قدم نزدیک به معنی داری و در برخی شرایط مثل راه رفتن معمولی معنی دار بود. متغیرهای طول گام و قدم بیشتر تحت تأثیر ساختار مفاصل، عضلات و اسکلت فرد می باشد که تغییرات آن ها با سالمندی و افزایش سن مرتبط می باشد (۴۵، ۴۶). از طرفی سرعت راه رفتن محصول کادنس و طول طول گام است. کاهش سرعت راه رفتن و کنترل قامت در بیماران پارکینسونی به عارضه برادی کینزی و افزایش سفتی عضلانی و پردازش حسی ضعیف مرتبط است (۴۷). پس می توان دلایل

رضوان بختیاریان و همکاران

کاهش سرعت و طول گام را در بیماران پارکینسونی پوسچر خمیده، لرزش و دردهای عضلانی مداوم عنوان کرد که در نتیجه زمان بیشتری برای حفظ تعادل در حین راه رفتن صرف می شود (۴۸، ۴۹). نتایج نشان دادند، شرایط مختلف راه رفتن یعنی راه رفتن حین عبور از مانع و راه رفتن در محیط VR تأثیر معنی داری بر تمام متغیرهای گام برداری، داشته اند. با توجه به جداول، عامل عبور از مانع نسبت به عامل VR تأثیر بیشتری بر ویژگی های گام برداری داشته است. مطابق با مطالعات گذشته دو دلیل برای کاهش سرعت راه رفتن و کادنس همراه با افزایش زمان گام و قدم در شرایط راه رفتن در محیط VR و یا حین عبور از مانع بیان شده است. یکی از دلایل ایجاد چالش شناختی در افراد در پاسخ به تغییرات محیطی می باشد. طبق گزارش ولف و همکاران (۱۹۸۱)، پیچیدگی و همکاران (۲۰۱۱) و همچنین هوسدروف و همکاران (۲۰۰۶)، راه رفتن در شرایط عادی به شکل ناهوشیار کنترل می شود، در حالی که با افزایش سن، بیماری، شرایط جدید و محیط متغیر، به سمت کنترل هوشیارانه انتقال می یابد (۵۰-۵۲). همسو با نتایج مطالعات ذکر شده گام برداری در شرایط جدید مثل محیط VR و یا در حضور مانع، ممکن است موجب کنترل هوشیارانه گام برداری و در نتیجه کاهش سرعت راه رفتن می گردد. همچنین دلیل دوم که برای این تغییرات می توان ذکر کرد اجرای راه رفتن محتاطانه در هر دو گروه به ویژه گروه PD می باشد. استفاده از الگوی راه رفتن محتاطانه موجب کاهش ریسک سقوط در حین عبور از مانع یا محیط ناآشنای VR می گردد (۱۶). در این پژوهش فرض بر این بود که متغیرهای زمان بندی نسبی در محیط VR با راه رفتن عادی اختلاف معنی داری نداشته باشند. با توجه به نتایج این پژوهش اکثر ویژگی های گام برداری در راه رفتن VR نسبت به راه رفتن معمولی تغییر کرده است، اما ویژگی های درصدی که نشان دهنده زمان بندی نسبی رخدادهای گام برداری هستند، بدون تغییر باقی مانده اند. نتایج این پژوهش نیز مطابق با تئوری طرحواره حرکتی اشمیت (۳۳)، نشان دادند، متغیرهای درصدی در شرایط VR و گام برداری واقعی مشابه هستند، بنابراین می توان نتیجه گرفت راه رفتن در شرایط VR توسط برنامه حرکتی مشابه با راه رفتن عادی کنترل می شود. در نتیجه پیشنهاد می گردد، در توان بخشی بیماران PD از تمرینات VR استفاده گردد.

VR به دلیل امنیت بیشتر فرد به ویژه در حضور مانع می تواند تأثیر مثبتی بر توان بخشی این افراد داشته باشد.

نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد ضعف شناختی و تعادلی در افراد مبتلا به پارکینسون ممکن است بر متغیرهای گام برداری تأثیر داشته باشد. متغیرهای زمان بندی نسبی راه رفتن حین عبور از مانع نسبت به راه رفتن معمولی تغییر معنی داری داشت که نشان دهنده متفاوت بودن الگوی حرکتی در عبور از مانع می باشد. محیط واقعیت مجازی موجب ایجاد چالش و در نتیجه کاهش سرعت گام برداری و افزایش زمان اتکای دوگانه در مبتلایان به PD گردید، اما به دلیل شباهت بین الگوی گام برداری در محیط VR و عادی، پیشنهاد می شود در مطالعات بعدی تأثیر تمرینات واقعیت مجازی را بر بهبود ظرفیت شناختی و تعادلی مبتلایان به پارکینسون مورد بررسی قرار گیرد.

سیاسگزار

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رضوان بختیاران دانشگاه آزاد همدان می باشد. بدین وسیله از تمام آزمون‌ها که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند تشکر و قدردانی می گردد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می دارند که هیچ گونه تعارض منافی در این پژوهش وجود ندارد.

طبق نتایج این پژوهش متغیرهای درصدی (زمان بندی نسبی) حین عبور از مانع نسبت به شرایط راه رفتن عادی کاهش معنی داری یافته بودند. بدین معنی که درصدی از زمان که پای موافق برای عبور از مانع از زمین جدا می شود و درصدی از زمان که پای مخالف با زمین تماس می یابد و یا از زمین جدا می شود نیز نسبت به راه رفتن عادی کاهش یافته بود. این امر ممکن است به منظور حفظ فاصله با مانع و عدم برخورد با آن ایجاد شود. پژوهش هالمن و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند عبور از مانع موجب تغییر در ویژگی های گام برداری می شود (۴۳). زمان بندی نسبی بین رخدادهای گام برداری در حین عبور از مانع نسبت به راه رفتن عادی اختلاف معنی داری داشتند؛ بنابراین طبق این نتایج می بایست برنامه حرکتی مجزایی برای کنترل عبور از مانع در حین گام برداری در سیستم عصبی وجود داشته باشد. نکته مهم دیگر که نتایج این مطالعه به آن اشاره می کنند عدم اختلاف زمان بندی نسبی بین رخدادهای گام برداری در شرایط عبور از مانع در محیط واقعیت مجازی نسبت به محیط واقعی بود، بدین معنی که زمان بندی نسبی مشابهی در عبور از مانع در محیط VR و واقعی وجود دارد و در نتیجه برنامه حرکتی مورد استفاده در محیط VR و محیط واقعی در عبور از مانع نیز یکسان می باشد. بنابراین پیشنهاد می شود در مطالعات بعدی تأثیر تمرین طولانی مدت راه رفتن در محیط VR بر الگوی گام برداری با و بدون عبور از مانع مورد بررسی قرار گیرد، تا بتوان از این نتایج در جهت برنامه ریزی مداخلات درمانی در این افراد بهره برد. از طرفی راه رفتن در شرایط

References

- Hinkle JL, Cheever KH. Brunner and Suddarth's textbook of medical-surgical nursing: Wolters kluwer india Pvt Ltd; 2018.
- Palmisano C, Brandt G, Vissani M, Pozzi NG, Canessa A, Brumberg J, et al. Gait initiation in Parkinson's disease: impact of dopamine depletion and initial stance condition. *Frontiers in bioengineering and biotechnology*. 2020;8:137. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00137>
- Alcock L, Galna B, Hausdorff JM, Lord S, Rochester L. Gait & Posture Special Issue: Gait adaptations in response to obstacle type in fallers with Parkinson's disease. *Gait & posture*. 2018;61:368-74. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.01.030>
- Singh JA, Cleveland JD. Gout and the risk of Parkinson's disease in older adults: a study of US Medicare data. *BMC neurology*. 2019;19(1):1-8. <https://doi.org/10.1186/s12883-018-1234-x>
- García DS, de Deus Fonticoba T, Castro ES, Borrué C, Mata M, Vila BS, et al. Non-motor symptoms burden, mood, and gait problems are the most significant factors contributing to a poor quality of life in non-demented Parkinson's disease patients: Results from the COPPADIS Study Cohort. *Parkinsonism & Related Disorders*. 2019;66:151-7. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2019.07.031>
- da Silva DCL, Lemos T, de Sá Ferreira A,

- Horszczaruk CHR, Pedron CA, de Carvalho Rodrigues E, et al. Effects of acute transcranial direct current stimulation on gait kinematics of individuals with Parkinson disease. *Topics in Geriatric Rehabilitation*. 2018;34(4):262-8. <https://doi.org/10.1097/TGR.000000000000203>
7. Cury RG, Pavese N, Aziz TZ, Krauss JK, Moro E. Gaps and roadmap of novel neuromodulation targets for treatment of gait in Parkinson's disease. *npj Parkinson's Disease*. 2022;8(1):1-10. <https://doi.org/10.1038/s41531-021-00276-6>
 8. Ambike S, Penedo T, Kulkarni A, Santinelli FB, Barbieri FA. Step length synergy while crossing obstacles is weaker in patients with Parkinson's disease. *Gait & Posture*. 2021;84:340-5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.01.002>
 9. Caetano MJD, Lord SR, Allen NE, Song J, Paul SS, Canning CG, et al. Executive functioning, muscle power and reactive balance are major contributors to gait adaptability in people with Parkinson's disease. *Frontiers in aging neuroscience*. 2019;11:154. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00154>
 10. Patla AE, Adkin A, Martin C, Holden R, Prentice S. Characteristics of voluntary visual sampling of the environment for safe locomotion over different terrains. *Experimental brain research*. 1996;112:513-22. <https://doi.org/10.1007/BF00227957>
 11. Simieli L, Vitória R, Rodrigues ST, Zago PFP, Pereira VAI, Baptista AM, et al. Gaze and motor behavior of people with PD during obstacle circumvention. *Gait & Posture*. 2017;58:504-9. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.09.016>
 12. Orcioli-Silva D, Barbieri FA, Dos Santos PCR, Beretta VS, Simieli L, Vitorio R, et al. Double obstacles increase gait asymmetry during obstacle crossing in people with Parkinson's disease and healthy older adults: A pilot study. *Scientific Reports*. 2020;10(1):2272. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59266-y>
 13. Sakurai R, Kodama K, Ozawa Y, Pieruccini-Faria F, Kobayashi-Cuya KE, Ogawa S. Association of age-related cognitive and obstacle avoidance performances. *Scientific Reports*. 2021;11(1):12552. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91841-9>
 14. Wang Y, Wang S, Bolton R, Kaur T, Bhatt T. Effects of task-specific obstacle-induced trip-perturbation training: proactive and reactive adaptation to reduce fall-risk in community-dwelling older adults. *Aging clinical and experimental research*. 2020;32:893-905. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01268-6>
 15. Pieruccini-Faria F, Sarquis-Adamson Y, Montero-Odasso M. Mild cognitive impairment affects obstacle negotiation in older adults: results from "gait and brain study". *Gerontology*. 2019;65(2):164-73. <https://doi.org/10.1159/000492931>
 16. Stegemöller EL, Buckley TA, Pitsikoulis C, Barthelemy E, Roemmich R, Hass CJ. Postural instability and gait impairment during obstacle crossing in Parkinson's disease. *Archives of physical medicine and rehabilitation*. 2012;93(4):703-9. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.11.004>
 17. Galna B, Murphy AT, Morris ME. Obstacle crossing in Parkinson's disease: mediolateral sway of the centre of mass during level-ground walking and obstacle crossing. *Gait & posture*. 2013;38(4):790-4. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.03.024>
 18. Assad M, Galperin I, Giladi N, Mirelman A, Hausdorff J, Maidan I. Disease severity and prefrontal cortex activation during obstacle negotiation among patients with Parkinson's disease: Is it all as expected? *Parkinsonism & Related Disorders*. 2022;101:20-6. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2022.06.006>
 19. Winter C, Kern F, Gall D, Latoschik ME, Pauli P, Käthner I. Immersive virtual reality during gait rehabilitation increases walking speed and motivation: a usability evaluation with healthy participants and patients with multiple sclerosis and stroke. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2021;18(1):1-14. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00848-w>
 20. Hadamus A, Błażkiewicz M, Wydra KT, Kowalska AJ, Łukowicz M, Białoszewski D, et al. Effectiveness of Early Rehabilitation with Exergaming in Virtual Reality on Gait in Patients after Total Knee Replacement. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(17):4950. <https://doi.org/10.3390/jcm11174950>
 21. Nagashima Y, Ito D, Ogura R, Tominaga T, Ono Y, editors. Development of virtual reality-based gait training system simulating personal home environment. 2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine

- & Biology Society (EMBC); 2021: IEEE. <https://doi.org/10.1109/EMBC46164.2021.9631077>
22. D'Antonio E, Tieri G, Patané F, Morone G, Iosa M. Stable or able? Effect of virtual reality stimulation on static balance of post-stroke patients and healthy subjects. *Human movement science*. 2020;70:102569. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102569>
 23. De Keersmaecker E, Lefeber N, Geys M, Jaspers E, Kerckhofs E, Swinnen E. Virtual reality during gait training: does it improve gait function in persons with central nervous system movement disorders? A systematic review and meta-analysis. *NeuroRehabilitation*. 2019;44(1):43-66. <https://doi.org/10.3233/NRE-182551>
 24. Duque G, Boersma D, Loza-Diaz G, Hassan S, Suarez H, Geisinger D, et al. Effects of balance training using a virtual-reality system in older fallers. *Clinical interventions in aging*. 2013;8:257. <https://doi.org/10.2147/CIA.S41453>
 25. Kim JH, Jang SH, Kim CS, Jung JH, You JH. Use of virtual reality to enhance balance and ambulation in chronic stroke: a double-blind, randomized controlled study. *American Journal of physical medicine & rehabilitation*. 2009;88(9):693-701. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e3181b33350>
 26. Liao Y-Y, Yang Y-R, Cheng S-J, Wu Y-R, Fuh J-L, Wang R-Y. Virtual reality-based training to improve obstacle-crossing performance and dynamic balance in patients with Parkinson's disease. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2015;29(7):658-67. <https://doi.org/10.1177/1545968314562111>
 27. Kim N, Lee B, Kim Y, Min W. Effects of virtual reality treadmill training on community balance confidence and gait in people post-stroke: a randomized controlled trial. *J Exp Stroke Transl Med*. 2016;9:1-7. <https://doi.org/10.4172/1939-067X.1000145>
 28. Liao Y-Y, Yang Y-R, Wu Y-R, Wang R-Y. Virtual reality-based Wii fit training in improving muscle strength, sensory integration ability, and walking abilities in patients with Parkinson's disease: a randomized control trial. *International Journal of Gerontology*. 2015;9(4):190-5. <https://doi.org/10.1016/j.ijge.2014.06.007>
 29. Morizio C, Billot M, Daviet J-C, Baudry S, Barbanchon C, Compagnat M, et al. Postural Control Disturbances Induced by Virtual Reality in Stroke Patients. *Applied Sciences*. 2021;11(4):1510. <https://doi.org/10.3390/app11041510>
 30. Yen H-Y, Chiu H-L. Virtual reality exergames for improving older adults' cognition and depression: A systematic review and meta-analysis of randomized control trials. *Journal of the American Medical Directors Association*. 2021;22(5):995-1002. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2021.03.009>
 31. Bond S, Laddu DR, Ozemek C, Lavie CJ, Arena R. Exergaming and virtual reality for health: implications for cardiac rehabilitation. *Current Problems in Cardiology*. 2021;46(3):100472. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2019.100472>
 32. Lei C, Sunzi K, Dai F, Liu X, Wang Y, Zhang B, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: a systematic review. *PloS one*. 2019;14(11):e0224819. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224819>
 33. Schmidt RA, Lee TD, Winstein C, Wulf G, Zelaznik HN. *Motor control and learning: A behavioral emphasis*: Human kinetics; 2018.
 34. Shapiro DC, Zernicke RF, Gregor RJ, Diestel JD. Evidence for generalized motor programs using gait pattern analysis. *Journal of motor behavior*. 1981;13(1):33-47. <https://doi.org/10.1080/00222895.1981.10735235>
 35. Sevchenko K, Lindgren I. The effects of virtual reality training in stroke and Parkinson's disease rehabilitation: a systematic review and a perspective on usability. *European Review of Aging and Physical Activity*. 2022;19(1):4. <https://doi.org/10.1186/s11556-022-00283-3>
 36. 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>
 37. Azadian E, Taheri HR, Saberi Kakhki A, Farahpour N. Effects of dual-tasks on spatial-temporal parameters of gait in older adults with impaired balance. *Iranian Journal of Ageing*. 2016;11(1):100-9. <https://doi.org/10.21859/sija-1101100>
 38. Wang Y, Gao L, Yan H, Jin Z, Fang J, Qi L, et al. Efficacy of C-Mill gait training for improving walking adaptability in

- early and middle stages of Parkinson's disease. *Gait & Posture*. 2022;91:79-85. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.10.010>
39. Majlesi M, Farahpour N, Azadian E, Amini M. The effect of interventional proprioceptive training on static balance and gait in deaf children. *Research in developmental disabilities*. 2014;35(12):3562-7. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.09.001>
 40. Fukaya T, Mutsuzaki H, Wadano Y. Kinematic analysis of knee varus and rotation movements at the initial stance phase with severe osteoarthritis of the knee. *The Knee*. 2015;22(3):213-6. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2015.02.012>
 41. Azadian E, Torbati HRT, Kakhki ARS, Farahpour N. The effect of dual task and executive training on pattern of gait in older adults with balance impairment: A Randomized controlled trial. *Archives of gerontology and geriatrics*. 2016;62:83-9. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.10.001>
 42. Smith-Ray RL, Hughes SL, Prohaska TR, Little DM, Jurivich DA, Hedeker D. Impact of cognitive training on balance and gait in older adults. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*. 2015;70(3):357-66. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbt097>
 43. Hollman JH, McDade EM, Petersen RC. Normative spatiotemporal gait parameters in older adults. *Gait & posture*. 2011;34(1):111-8. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.03.024>
 44. Silsupadol P, Lugade V, Shumway-Cook A, van Donkelaar P, Chou L-S, Mayr U, et al. Training-related changes in dual-task walking performance of elderly persons with balance impairment: A double-blind, randomized controlled trial. *Gait & Posture*. 2009;29(4):634-9. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.01.006>
 45. Morio Y, Izawa KP, Omori Y, Katata H, Ishiyama D, Koyama S, et al. The relationship between walking speed and step length in older aged patients. *Diseases*. 2019;7(1):17. <https://doi.org/10.3390/diseases7010017>
 46. Buddhadev HH, Smiley AL, Martin PE. Effects of age, speed, and step length on lower extremity net joint moments and powers during walking. *Human Movement Science*. 2020;71:102611. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2020.102611>
 47. Rennie L, Opheim A, Dietrichs E, Löfgren N, Franzén E. Highly challenging balance and gait training for individuals with Parkinson's disease improves pace, rhythm and variability domains of gait-A secondary analysis from a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*. 2021;35(2):200-12. <https://doi.org/10.1177/0269215520956503>
 48. Morris M, Ianssek R, Matyas T, Summers J. Abnormalities in the stride length-cadence relation in parkinsonian gait. *Movement disorders: official journal of the Movement Disorder Society*. 1998;13(1):61-9. <https://doi.org/10.1002/mds.870130115>
 49. O'Shea S, Morris ME, Ianssek R. Dual task interference during gait in people with Parkinson disease: effects of motor versus cognitive secondary tasks. *Physical therapy*. 2002;82(9):888-97. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.9.888>
 50. Wolff PH. Theoretical issues in the development of motor skills. *Developmental disabilities: Theory, assessment, and intervention*: Springer; 1982. p. 117-34. https://doi.org/10.1007/978-94-011-6314-9_9
 51. Pichierri G, Wolf P, Murer K, de Bruin ED. Cognitive and cognitive-motor interventions affecting physical functioning: a systematic review. *BMC geriatrics*. 2011;11(1):1-19. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-11-29>
 52. Hausdorff JM, Doniger GM, Springer S, Yogev G, Simon ES, Giladi N. A common cognitive profile in elderly fallers and in patients with Parkinson's disease: the prominence of impaired executive function and attention. *Experimental aging research*. 2006;32(4):411-29. <https://doi.org/10.1080/03610730600875817>