



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

Rezvan Bakhtiyarian<sup>1</sup>, Mahdi Majlesi<sup>2\*</sup>, Elaheh Azadian<sup>3</sup>

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 بختیاریان<sup>۱</sup>، مهدی مجلسی<sup>۲\*</sup>، الهه آزادیان<sup>۳</sup>

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 قدر، 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 داده‌های تکراری در محیط نرم‌افزار SPSS-25 و (p<0.05) استفاده شد.

**یافته ها:** نتایج نشان داد متغیرهای زمان گام و قدم، 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 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، در حالی 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.

**کلیدواژه ها:** پارکینسون، گام برداری، متغیرهای فضایی زمانی، عبور از مانع.

## مقدمه

توجهی در سرعت، طول گام و ثبات را در فتن گردد (۲۹، ۳۰). علاوه بر این، ماهیت همه جانبی و تعاملی VR تجربه جذبی را برای بیماران فراهم می کند 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 می گردد؛ اما می تواند با قرار دادن افراد در محیط های مختلف مجازی، موجب اختلالات حرکتی سیستم های حسی - حرکتی در آنها گردد و همچنین فرصتی برای مطالعه ویژگیهای گام برداری در افراد مختلف ارائه دهد (۲۸، ۳۲). طبق نظریه برنامه حرکتی تعیین یافته، هر تکلیف حرکتی توسط دو پارامتر متغیر و ثابت کنترل می گردد؛ با تغییر پارامترهای ثابت، مانند زمان بندی نسبی، برنامه حرکتی تغییر می کند، اما هنگامی که یک برنامه در شرایط مختلف استفاده می شود، تغییرات فقط در پارامترهای متغیر ایجاد می شود (۳۳، ۳۴). پارامترهای ثابت در این مطالعه شامل زمان بندی نسبی مثل درصدی از زمان چرخه گام برداری که پای موافق یا مخالف از زمین جدا می شوند و پارامترهای متغیر مثل سرعت، کادنس، طول گام و ... بود. با توجه به این موضوع، یکی از اهداف این مطالعه مقایسه پارامترهای VR ثابت و متغیر گام برداری در شرایط راه رفتمن در محیط راه رفتمن معمولی بود. با توجه به پیشینه تحقیقات، مبتنی بر تأثیر مثبت تمرینات VR بر گام برداری گروه های مختلف دارای اختلال گام برداری (۳۲، ۳۵)، فرض اول این تحقیق بر این است که استفاده از VR تغییر معنی داری در زمان بندی نسبی ایجاد نمی کند. با توجه به پیشینه تحقیقات، فرض دوم این تحقیق این است که متغیرهای فضایی - زمانی گام برداری 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 نرم افزار G\*Power با  $\alpha = 0.05$  و  $\beta = 0.80$  درصد (۳۶، ۳۷) حداقل ۲۴ آزمودنی برای این مطالعه لازم بود، که با استفاده از نمونه گیری در دسترس انتخاب شدند. از بین مراجعه کنندگان به کلینیک تخصصی مغز و اعصاب بیمارستان بعثت همدان، تعداد ۱۵

بیماری پارکینسون (PD)، یک بیماری مزمن و پیش رونده، در دستگاه عصبی مرکزی است که به طور عمده سیستم حرکتی بدن را مختل می کند (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 می کنند (۳، ۴). یکی از مهم ترین عوارض بیماری پارکینسون، اختلال در گام برداری است (۵-۷)، کاهش سرعت راه رفتمن، کاهش طول قدم، کشیدن پا روی زمین به طوری که پا در مرحله نوسان به طور کامل از زمین بلند نشود و نیز تغییر بدیری بیشتر در حین راه رفتمن در این بیماران گزارش شده است (۸، ۹).

مطالعات نشان داده اند عبور از مانع حتی در افراد جوان، با کاهش طول گام و سرعت راه رفتمن همراه است (۱۰، ۱۱)، سالمندان نیز به دلیل اختلالات حرکتی و حسی مربوط به افزایش سن، در مواجهه با مانع به طور معنی داری سرعت راه رفتمن را در مقایسه با افراد جوان کاهش می دهند (۱۲، ۱۳). راه رفتمن و عبور از مانع به دلیل افزایش نیاز به حفظ تعادل و تقاضاهای پردازش اطلاعات بیشتر، موجب افزایش خطر سقوط در سالمندان می گردد (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 می باشد (۱۸).

اخيراً، 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 می گردد که مسئول کنترل یک حرکت خاص هستند، درنتیجه به برقراری مجدد عملکرد حرکتی از دست رفته در افراد بیمار یا مجروح در سطوح جسمانی و ذهنی کمک می کند (۲۷، ۲۸). مطابق با یافته های گذشته، تمرین راه رفتمن در محیط واقعیت مجازی می تواند منجر به بهبود قابل

متاتارسال دوم و پشت استخوان پاشنه بودند (۳۹). یک مسیر پیاده روی 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 به 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 پاشنه با زمین برای شناسایی شدن؛ 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 به دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای Vicon Nexus نسخه ۱۸،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 روئیت باشند. متغیرهای گام برداری به دو دسته تقسیم شدن؛ 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 به صورت درصدی از زمان چرخه راه رفتن 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 به طور مستقیم از نرم افزار Polygon استخراج شد.

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

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) راه رفتن معمولی، (ب) راه رفتن معمولی و عبور از مانع، (ج) راه رفتن در محیط واقعیت مجازی طراحی شده در هدست VR، (د) راه رفتن و عبور از مانع در محیط واقعیت

بیمار مبتلا به پارکینسون به عنوان گروه تجربی انتخاب شدند. همچنین از بین سالماندان سالم که داوطلب شرکت در این پژوهش بودند، ۱۷ نفر به عنوان گروه کنترل در نظر گرفته شد. از کلیه افراد شرکت کننده 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 راه رفتن 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 شناختی شدید، استفاده از مواد اصلاح شده باشد، اختلال شناختی شدید، استفاده از مواد یا داروهای روان‌گردان، علاوه در گروه PD، داشتن اختلال پارکینسون غیرمعمول یا ثانویه و بیماری‌ها و داروهای مؤثر بر راه رفتن، همچنین کسب امتیاز کم تر از ۱۷ در آزمون شناختی MoCA و MMSE و کسب امتیاز زیر صد در پرسش‌نامه کیفیت زندگی (۳۸) نیز از معیارهای خروج بودند. شرکت کنندگان رضایت‌نامه جهت شرکت در آزمون را تکمیل کرده و سپس مراحل انجام آزمون‌ها و چگونگی اندازه‌گیری متغیرها به طور 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 موافق ۱۴۰۰/۱۱/۱۶ مورد تأیید قرار گرفت.

دستگاه تحلیل حرکتی سه بعدی، Vicon (Vicon Peak) با چهار دوربین سری T20 و با فرکانس ۱۰۰ هرتز، برای تصویربرداری از الگوی راه رفتن استفاده شد. مارکرهای کروی شکل و به قطر ۱۴ میلی متر بودند که با استفاده از پسیب دو طرفه نواری و بر اساس مدل Plug-In Gait Marker Set، Vicon Peak (Oxford, UK)، به نقاط خاص آناتومیکی هر دو پای شرکت کنندگان متصل شدند. این نقاط شامل خار خاصره قدامی فوقانی و خلفی فوقانی، اپی کنڈیل خارجی زانو، یک سوم پایینی ران، یک سوم 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  $<0.05$  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.

محازی طراحی شده در هدست VR. جنس مانع استفاده شده در این پژوهش از فوم پلاستیکی قابل انعطاف به ابعاد  $60 \times 60 \times 15 \text{ cm}$  بود که در وسط فضای کالیبره قرار داده شد (۸). برنامه واقعیت مجازی طراحی شده در هدست VR منطبق بر محیط آزمایشگاه بود؛ بهنحوی که آزمودنی در حین راه‌رفتن 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)	$60/52 \pm 6/17$	$61/60 \pm 6/23$	.۰/۶۲
قد (متر)	$1/64 \pm 0/09$	$1/64 \pm 0/10$	.۰/۸۶
جرم (کیلوگرم)	$68/88 \pm 11/60$	$67/60 \pm 10/56$	.۰/۷۵
BMI	$25/21 \pm 3/45$	$25/13 \pm 3/39$	.۰/۶۴
MMSE	$27/07 \pm 2/40$	$23/00 \pm 3/74$	.۰/۰۰۲
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

نشان دادند ( $<0.0001$ ). به طور کلی راه رفتمن 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 انکا و نوسان نسبت به گروه کنترل به طور معنی داری بیشتر بود ( $<0.05$ ): اما سرعت و کادنس در همه تکالیف در گروه PD کمتر از گروه کنترل بوده است ( $<0.05$ ). 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 ( $<0.05$ ).

زمان بندی نسبی

جدول ۲ نتایج تحلیل عاملی را نشان می‌دهد؛ طبق این

### پارامترهای متغیر گام برداری

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 انکا و نوسان در هر دو گروه معنی دار می‌باشد ( $<0.05$ ). راه رفتمن و عبور از مانع و یا راه‌رفتن در محیط VR، موجب افزایش معنی داری در این متغیرها گردید ( $<0.05$ ). همچنین سرعت راه‌رفتن 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 ( $<0.05$ ). همچنین عامل OBS و VR در متغیر کادنس در هر دو گروه تأثیر معنی داری داشتند ( $<0.05$ ). نتایج مقایسه درون گروهی نشان داد، عامل OBS در گروه PD موجب افزایش طول قدم گردید ( $=0.04$ )؛ 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 راه رفتن 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 راه رفتن در شرایط عبور از مانع باعث کاهش این درصد ها 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)					
۱۶/۶۹ (۰/۰۰۱)*	۳۴/۱۸ (۰/۰۰۰)*	۳۱/۴۲ (۰/۰۰۰)*	۱/۰۵ (۰/۰۳۲۲)	۱۳/۴۵ (۰/۰۰۳)*	۷/۸۵ (۰/۰۱۴)*
۹/۹۶ (۰/۰۰۶)*	۴۷/۶۶ (۰/۰۰۰)*	۲۱/۹۰ (۰/۰۰۰)*	۰/۱۵۲ (۰/۰۷۰۳)	۱۶/۷۰ (۰/۰۰۱)*	۴/۸۲ (۰/۰۴۹)*
۱/۴۷ (۰/۰۲۳)*	۰/۳۷۴ (۰/۰۴۹)	۲/۳۸ (۰/۰۴۳)	۰/۵۴۶ (۰/۰۴۷۲)	۱/۰۹ (۰/۰۳۱۳)	۰/۵۷۵ (۰/۰۴۶۸)
۹/۲۲ (۰/۰۰۸)*	۱۱/۷۴ (۰/۰۰۳)*	۱۶/۷۹ (۰/۰۰۱)*	۰/۴۲۴ (۰/۰۵۲۵)	۱۳/۰۸ (۰/۰۰۳)*	۱۱/۳۱ (۰/۰۰۵)*
۱۸/۸۷ (۰/۰۰۱)*	۷/۷۱ (۰/۰۱۳)*	۳۰/۵۹ (۰/۰۰۰)*	۰/۹۰۳ (۰/۰۳۵۸)	۱/۵۲ (۰/۰۲۳۷)	۶/۸۵ (۰/۰۲۰)*
۸/۹۸ (۰/۰۰۹)*	۹/۲۰ (۰/۰۰۸)*	۱۵/۵۱ (۰/۰۰۱)*	۰/۵۹۸ (۰/۰۴۵۲)	۱۴/۶۵ (۰/۰۰۲)*	۸/۹۳ (۰/۰۱۰)*
۱۲/۸۵ (۰/۰۰۳)*	۳۱/۴۴ (۰/۰۰۰)*	۳۸/۶۹ (۰/۰۰۰)*	۲/۰۴ (۰/۰۱۷۵)	۱۶/۹۷ (۰/۰۰۱)*	۶/۲۸ (۰/۰۲۵)*
۲/۱۹ (۰/۱۵۸)	۲/۴۲ (۰/۰۱۳۸)	۱/۰۱ (۰/۰۹۲۳)	۵/۵۹ (۰/۰۳۳)*	۱۰/۰۵ (۰/۰۰۶)*	۰/۰۸ (۰/۰۷۸۰)
۳/۸۲ (۰/۰۶۸)	۹۱/۳۵ (۰/۰۰۰)*	۳۱/۰۱ (۰/۰۰۰)*	۰/۸۱۴ (۰/۰۳۸۲)	۲/۸۵ (۰/۱۱۴)	۱/۸۲ (۰/۰۱۸)
۱/۶۹ (۰/۰۲۱۱)	۶۴/۹۳ (۰/۰۰۰)*	۲۳/۰۹ (۰/۰۰۰)*	۰/۶۳۰ (۰/۰۴۴۱)	۴/۸۹ (۰/۰۴۴)*	۱/۹۷ (۰/۰۱۸۳)
۰/۰۰۱ (۰/۰۹۸۰)	۱۲/۴۵ (۰/۰۰۲)*	۰/۱۹۷ (۰/۰۶۶۲)	۱/۶۵ (۰/۰۲۱۹)	۲۳/۷۷ (۰/۰۰۰)*	۱/۱۵ (۰/۰۳۰۲)
۰/۶۲۹ (۰/۰۴۳۹)	۶۰/۴۲ (۰/۰۰۰)*	۰/۲۵۶ (۰/۰۶۲۰)	۲/۱۶ (۰/۰۱۶۴)	۲۲/۵۸ (۰/۰۰۰)*	۱/۱۳ (۰/۰۳۰۵)
۰/۸۳۴ (۰/۰۳۷۵)	۸۱/۴۳ (۰/۰۰۰)*	۲/۶۴ (۰/۰۱۳۶)	۰/۳۷۸ (۰/۰۵۴۸)	۸۷/۸۰ (۰/۰۰۰)*	۰/۰۷ (۰/۰۷۹۰)

نکته: \*: نشانه تأثیر معنی دار عامل های این پژوهش بر متغیرهای مورد بررسی، اختصارات: VR: عامل واقعیت مجازی، OBS: عامل عبور از مانع، VR.OBS: عامل 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 ± انحراف استاندارد)، نتایج مقایسه بین گروهی

مانع و واقعیت مجازی			راه رفتن با مانع			راه رفتن واقعیت مجازی			راه رفتن عادی		
.Sig	Kontrol	PD	.Sig	Kontrol	PD	.Sig	Kontrol	PD	.Sig	Kontrol	PD
۰/۰۷*	۰/۰۴۰	۰/۰۶۴	*	۰/۰۱۰	۰/۰۱۳	۰/۰۴۵*	۰/۰۲۴	۰/۰۴۲*	۰/۰۱۵	۰/۰۳۷	۰/۰۳۰
۰/۱۳*	۰/۰۱۲	۰/۰۱۵	*	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۴۰*	۰/۰۰۰	۰/۰۳۰*	۰/۰۰۷	۰/۰۵۸	۰/۰۵۰
۰/۰۷	۰/۰۳۹	۰/۰۳۸	*	۰/۰۲۰	۰/۰۲۷	۰/۰۳۶*	۰/۰۲۰	۰/۰۳۶*	۰/۰۰۵	۰/۰۳۶	۰/۰۳۰

زمان انتکای یک پایی	زمان انتکا	زمان نوسان	کادنس	سرعت	طول گام	O.F.O	O.F.C	F.O
•/۲۱ ۴۷/۴۰ ± ۲/۸۹ ۴۷/۴۹ ± ۵/۲۱ ۴۷/۴۹ ± ۳/۱۰۷ ۴۷/۹۳ ± ۳/۱۱۵ ۴۷/۹۳ ± ۲/۱۰۱ ۴۷/۹۳ ± ۵/۲۶ ۴۷/۹۳ ± ۲/۲۶ ۴۷/۹۳ ± ۲/۸۹	•/۲۱ ۰/۹۹ ± ۰/۰۴ ۰/۷۱ ± ۰/۰۵ ۰/۷۱ ± ۰/۰۶ ۰/۷۱ ± ۰/۰۷ ۰/۷۱ ± ۰/۰۸ ۰/۷۱ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۰ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱	•/۰۰۰° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷	•/۰۰۰° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷	•/۰۰۱° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷	•/۰۰۱° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷	•/۰۰۱° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷	•/۰۰۱° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷	•/۰۰۱° ۰/۹۹ ± ۰/۰۹ ۰/۷۱ ± ۰/۱۱ ۰/۷۱ ± ۰/۱۲ ۰/۷۱ ± ۰/۱۳ ۰/۷۱ ± ۰/۱۴ ۰/۷۱ ± ۰/۱۵ ۰/۷۱ ± ۰/۱۶ ۰/۷۱ ± ۰/۱۷

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

کاهش سرعت و طول گام را در بیماران پارکینسونی پوسجر 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 تعییرات محیطی می باشد. طبق گزارش لوف و همکاران (۱۹۸۱)، پیچیری و همکاران (۲۰۱۱) و همچنین هوسردوف 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 تعییرات 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 رسک 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 تعییر باقی مانده اند. نتایج این پژوهش نیز مطابق با تئوری طرح واره 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.

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 فضایی - 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 نامبرده، 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 لوپ قدامی مغز بر کنترل گام برداری باشد. همچنین نتایج مطالعات زیادی نشان داده اند که کاهش سرعت گام برداری نشانه ضعف تعادلی در سالماندان می باشد (۳۷، ۴۱، ۴۲). از سوی دیگر سرعت راه رفتن به عنوان یک علامت حیاتی در عملکرد جسمانی سالماندان محسوب می گردد، به طوری که کاهش ۱۰ سانتی متر بر ثانیه در سرعت راه رفتن با افزایش خطر سقوط در افراد مسن مرتب است (۴۳). از طرفی نمره آزمون MMSE در گروه PD زیر نقطه برش قرار داشت، که نشان‌دهنده 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 تعییرات آن ها با سالماندانی و افزایش سن مرتب می باشد (۴۵، ۴۶). از طرفی سرعت راه رفتن محصول کادنس و طول گام است. کاهش سرعت راه رفتن راه رفتن و کنترل قامت در بیماران پارکینسونی به عارضه برادری کینزی و افزایش سفتی عضلانی و پردازش حسی ضعیف مرتب است (۴۷). پس می توان دلایل

VR به دلیل امنیت بیشتر فرد به ویژه در حضور مانع می‌تواند تأثیر مثبتی بر توانبخشی 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 عumoی تغییر معنی داری داشت که نشان دهنده متفاوت بودن الگوی حرکتی در عبور از مانع می‌باشد. 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 می‌شود در مطالعات بعدی تأثیر تمرينات واقعیت مجازی را بر بهبود ظرفیت شناختی و تعادلی مبتلایان به پارکینسون مورد بررسی قرار گیرد.

### سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد رضوان بختیاریان دانشگاه آزاد همدان می‌باشد. بدین وسیله از تمام آزمونی‌ها که در انجام این پژوهش مارایاری نمودند تشکر و قدردانی می‌گردد.

### تعارض منافع

نویسنگان اعلام می‌دارند که هیچ گونه تعارض منافعی در این پژوهش وجود ندارد.

### 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.

طبق تاییج 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 می‌شود و درصدی از زمان که پای مخالف با زمین تماس می‌یابد و یا از زمین جدا می‌شود 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 هالمون و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند عبور از مانع موجب تغییر در ویژگی‌های گام برداری می‌شود (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 می‌باشد برنامه حرکتی مجازی 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 می‌کند 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 واقعی وجود دارد و در نتیجه برنامه حرکتی مورد استفاده در محیط VR و محیط واقعی در عبور از مانع نیز یکسان می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی تأثیر تمرين 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

<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.0000000000000203>
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, Vitório 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, Jespers 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 imaging.* 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, Weinstein 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. Sevcenko 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, Iansek 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, Iansek 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](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>