

Effects of Attentional Focus Strategies on the Margin of Gait Stability in Older Women Following a Balance Perturbation

Latifi, Saeedeh¹ / Haj Lotfalian, Mostafa^{2*}

¹ - Master Student, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

² - Assistant Professor, Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

ARTICLE INFO

DOI: 10.22041/ijbme.2026.2082508.2017

Received: 30-12-2025

Revised: 7-5-2026

Accepted: 12-5-2026

KEYWORDS

Attentional focus strategies
gait
Dynamic stability
Obstacle crossing
Aging populations
Margin of Stability

ABSTRACT

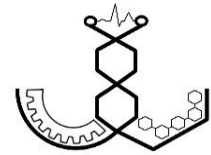
Aging is accompanied by postural instability and gait impairments, increasing the risk of falls in older adults. Research in motor control and learning consistently demonstrates that attentional focus strategies significantly influence motor performance, including postural control and balance during walking. This study aimed to investigate the effects of attentional focus strategies on dynamic gait stability. Nineteen healthy older women (Age:60.7±6.4 years) participated after providing written informed consent. Participants walked along a 5-meter pathway under three conditions: normal walking, internal focus, and external focus. A 30-cm obstacle was positioned 2 meters from the starting point, and gait kinematics were recorded after obstacle crossing using the smartphone-based motion capture system OpenCap. Dynamic postural control during walking was assessed using the Margin of Stability (MoS), a validated measure of dynamic gait stability. MoS was calculated as: $MoS = BoS - (X_{CoM} + V_{CoM}/\sqrt{g/l})$, where center of mass position (X_{CoM}) and base of support (BoS) were derived from a scaled musculoskeletal model in OpenSim software, and CoM velocity (V_{CoM}) was computed via time differentiation. Gravity acceleration (g) and CoM height (l) were incorporated, with calculations performed in MATLAB. MoS was evaluated in anterior-posterior and medio-lateral directions. Statistical analysis employed Repeated-measures ANOVA with Bonferroni post-hoc tests. The results demonstrated significantly greater dynamic stability in the anterior-posterior direction during the external focus condition compared with the internal focus condition ($p=0.01$). In addition, the comparison between normal walking and internal focus approached statistical significance ($p=0.07$). No significant differences were observed in medio-lateral stability across conditions. These findings suggest that external focus can enhance gait stability in older adults following a balance challenge (obstacle crossing), whereas internal focus may compromise stability. Therefore, rehabilitation and fall-prevention programs are encouraged to incorporate external focus strategies while avoiding explicit instructions directing attention toward body movements in order to optimize gait stability in aging populations.

*Corresponding Author

Address: Department of Physical Education and Sport Sciences, Faculty of Psychology and Educational Sciences, Yazd University, Yazd, Iran

E-Mail: m.hajlotfalian@yazd.ac.ir





اثر استراتژی‌های توجه تمرکز بر حاشیه پایداری راه رفتن زنان سالمند بعد از اعمال اغتشاش تعادلی

لطیفی، سعیده^۱ / حاج لطفعلیان، مصطفی^{۲*}

^۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۲ - استادیار، گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مشخصات مقاله

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22041/ijbme.2026.2082508.2017

پذیرش: ۱۴۰۵/۲/۲۲

بازنگری: ۱۴۰۵/۲/۱۷

ثبت در سامانه: ۱۴۰۴/۱۰/۹

واژه‌های کلیدی	چکیده
استراتژی توجه تمرکز گیت پایداری دینامیکی عبور از مانع سالمندان حاشیه پایداری	افزایش سن با کاهش ثبات پاسچر و اختلالات راه رفتن همراه است و خطر زمین خوردن را در سالمندان افزایش می‌دهد. مطالعات کنترل و یادگیری حرکتی نشان می‌دهند که راهبردهای تمرکز توجه می‌توانند عملکرد حرکتی و تعادل را تحت تأثیر قرار دهند. هدف این پژوهش بررسی اثر سه رویکرد توجهی شامل تمرکز درونی، تمرکز بیرونی و راه رفتن عادی بر پایداری دینامیکی راه رفتن زنان سالمند پس از عبور از مانع بود. نوزده زن سالمند سالم (میانگین سن: 60.7 ± 6.4 سال) در مطالعه شرکت کردند. شرکت کنندگان مسیر پنج متری را در سه شرایط یادشده طی کردند. مانعی به ارتفاع ۳۰ سانتی متر در فاصله دو متری از شروع مسیر قرار گرفت و داده‌های سینماتیکی پس از عبور از مانع با استفاده از سامانه اوپن کپ ثبت شد. برای ارزیابی تعادل دینامیکی، از شاخص حاشیه پایداری به عنوان معیار معتبر پایداری راه رفتن استفاده شد. پارامترهای مربوط به مرکز جرم و پایه اتکا با استفاده از مدل اسکلتی عضلانی مقیاس بندی شده در نرم افزار اوپن سیم استخراج و محاسبات نهایی در نرم افزار متلب انجام شد. در نهایت، دو مؤلفه قدامی-خلفی و داخلی-خارجی حاشیه پایداری محاسبه گردید. تحلیل آماری با استفاده از تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر و آزمون تعقیبی بونفرونی انجام شد. نتایج نشان داد تمرکز توجه بیرونی به طور معناداری موجب افزایش پایداری دینامیکی در جهت قدامی-خلفی نسبت به تمرکز درونی می‌شود ($P = 0.01$) همچنین، مقایسه بین راه رفتن عادی و تمرکز درونی نزدیک به سطح معناداری بود ($P = 0.07$)، اما در جهت داخلی-خارجی تفاوت معناداری مشاهده نشد. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد تمرکز بیرونی می‌تواند پس از یک چالش تعادلی، پایداری راه رفتن زنان سالمند را بهبود دهد، در حالی که تمرکز درونی ممکن است این پایداری را مختل کند. بنابراین، توصیه می‌شود در برنامه‌های توان بخشی و پیشگیری از سقوط، از راهبردهای مبتنی بر تمرکز بیرونی استفاده شده و از دستورالعمل‌های توجه درونی پرهیز شود.

*نویسنده‌ی مسئول

نشانی: گروه تربیت بدنی و علوم ورزشی، دانشکده روانشناسی و علوم تربیتی، دانشگاه یزد، یزد

پست الکترونیک: m.hajlotfalian@yazd.ac.ir



۱- مقدمه

جمعیت سالمندان در جهان و چالش‌های ناشی از آن، حفظ سلامت حرکتی آنان به یکی از دغدغه‌های مهم پژوهشگران تبدیل شده است. بنا بر گزارش سازمان بهداشت جهانی، پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ تعداد افراد بالای ۶۰ سال به ۲ میلیارد نفر برسد [۱]. با افزایش سن، عملکرد سامانه‌های حسی- حرکتی به تدریج کاهش یافته [۲] و به دنبال آن عملکرد حرکتی سالمندان، مانند تعادل، ثبات راه رفتن و سرعت حرکت، نیز کاهش می‌یابد و در نتیجه خطر سقوط را افزایش می‌دهد. تخمین زده می‌شود ۳۰-۴۰٪ از سالمندان هر سال یک بار سقوط می‌کنند و ۲۰-۳۰٪ از آنها دچار جراحات جدی می‌شوند [۳]. بعد از سقوط اولیه، خطر سقوط مجدد در شش ماه بعد به شدت افزایش می‌یابد [۴]. به طور کلی سقوط‌ها یکی از علل اصلی مرگ و میر و بیماری در سالمندان هستند و آسیب‌های ناشی از آن مانند شکستگی‌های لگن و آسیب‌های سر، شایع‌ترین مشکلات پزشکی و تهدید جدی برای سلامت و اقتصاد هستند. اختلالات در راه رفتن مانند لغزش‌ها، تلو تلو خوردن‌ها [۵] و عبور از موانع [۶]، نوسانات بیش‌تر گیت و کاهش سرعت گام نشان‌دهنده کاهش کنترل و افزایش خطر سقوط است [۷]. ثبات گیت [۹] و حفظ الگوهای راه رفتن پایدار و عملکردی برای سلامت و استقلال سالمندان بسیار مهم است [۷]. بخش بزرگی از افتادن‌های سالمندان حین راه رفتن هنگام انجام تکالیف چالش‌برانگیز مثل عبور از موانع رخ می‌دهد [۸]. در عبور از موانع، به دلیل بالاتر بودن موقعیت مرکز جرم، صرف زمان بیشتر به صورت یک‌پایی و خم شدن بیشتر مفصل هیپ، ثبات حرکت کاهش می‌یابد. یک نفر از هر پنج نفر از افراد مسن در هنگام عبور از پیاده‌روهای ناهموار یا وقتی که در حال عجله هستند سقوط می‌کنند [۶] سالمندان برای حفظ تعادل، سرعت عبور از موانع را کاهش می‌دهند و این باعث ایجاد تغییرات کمتری در مرکز جرم^۱ و مرکز فشار^۲ می‌شود. این تغییرات می‌تواند باعث افزایش خطر سقوط به ویژه در جهت جانبی شود [۷]. در شرایط ایستا، موقعیت مرکز جرم باید در داخل محدوده تکیه‌گاه^۳ باقی بماند تا ثبات حفظ شود. واضح است که این روند برای شرایط دینامیکی مناسب نیست [۹]. یکی از شاخص‌های کلیدی برای توصیف پایداری دینامیک در گیت، حاشیه‌ی پایداری^۴ است که بر پایه‌ی مدل پاندول معکوس و مفهوم «مرکز جرم برون‌یابی‌شده»^۵ بنا شده است. در این چارچوب، مرکز جرم برون‌یابی‌شده ترکیب مکان مرکز جرم

و سرعت آن (تقسیم‌شده بر فرکانس ویژه‌ی پاندول) است و حاشیه‌ی پایداری به‌صورت حداقل فاصله‌ی علامت‌دار بین مرکز جرم برون‌یابی‌شده و مرز پایه‌ی اتکا تعریف می‌شود [۱۰]. حاشیه پایداری برای کمی‌سازی رابطه بین مرکز جرم برون‌یابی‌شده و تکیه‌گاه ایجاد شد، که نشان‌دهنده ثبات یا بی‌ثباتی است. وقتی حاشیه‌ی پایداری مثبت باشد، ثبات برقرار است و وقتی منفی باشد، بی‌ثباتی رخ می‌دهد [۹]. از سال ۲۰۰۸، حاشیه‌ی پایداری در تحقیقات بسیاری برای ارزیابی ثبات گیت در افراد سالم و پاتولوژیک مورد استفاده قرار گرفته است [۹]. هارو و همکاران (۲۰۲۴) با استفاده از آنالیز سه‌بعدی حرکت و شاخص حاشیه پایداری نشان دادند که افراد مبتلا به پارکینسون هنگام عبور از مانع، راهبردهای حرکتی محافظه‌کارانه‌تری نسبت به افراد سالم اتخاذ می‌کنند که این موضوع با تغییر در شاخص‌های پایداری دینامیکی همراه است [۱۱]. معمولاً در جهت‌های قدامی و جانبی محاسبه می‌شود و برای افراد سالم و دارای اختلالات گیت کاربرد دارد [۱۲]. مطالعات جدیدتر نشان داده‌اند که سالمندان برای حفظ پایداری در صفحه‌ی میانی-جانبی از راهبردهای محافظه کارانه‌ای مانند افزایش عرض گام و اتخاذ مقادیر بزرگ‌تر حاشیه‌ی پایداری جانبی در مقایسه با جوان‌ترها استفاده می‌کنند [۱۳]. مطالعات نشان داده‌اند که هنگام عبور از موانع، تغییرات حاشیه‌ی پایداری در هر دو پای چپ و راست، به‌ویژه در گام‌های قبل و بعد از مانع، با خطر برخورد و بی‌ثباتی مرتبط است [۶]. با توجه به اینکه حاشیه پایداری یکی از شاخص‌های کلیدی در ارزیابی ثبات دینامیکی راه رفتن محسوب می‌شود و توانایی فرد در حفظ تعادل طی حرکت را نشان می‌دهد، بررسی عواملی که می‌توانند این شاخص را تحت تأثیر قرار دهند اهمیت زیادی دارد. در این میان، راهبردهای تمرکز توجه به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر کنترل حرکتی مطرح شده‌اند. مطالعات پیشین نشان داده‌اند که تمرکز توجه بیرونی می‌تواند با بهبود هماهنگی بین سیستم‌های حسی- حرکتی و کاهش کنترل آگاهانه حرکات، عملکرد حرکتی و تعادل را بهبود بخشد. بنابراین، بررسی تأثیر این راهبردهای توجهی بر حاشیه پایداری در سالمندان می‌تواند به درک بهتر مکانیسم‌های کنترل تعادل حین راه رفتن کمک کند [۱۴، ۱۵]. بر اساس فرضیه عمل محدود شده^۶، تمرکز توجه بیرونی به جنبه‌های بیرونی یا نتیجه‌ی حرکت معطوف است، در حالی که تمرکز درونی بر بخش‌های بدن و چگونگی اجرای حرکت تأکید دارد [۱۴]. در

⁴ Margin of Stability⁵ XCoM⁶ Constrained Action Hypothesis¹ Center of Mass² Center of Pressure³ Base of Support



اسکلتی عضلانی در حین راه رفتن، یا هر وضعیت دیگری بود که می‌توانست در عملکرد گیت تداخل ایجاد کند. پروتکل این پژوهش توسط کمیته اخلاق دانشگاه یزد تأیید شد (کد مصوبه: IR.YAZD.REC.1403.079) و تمامی شرکت‌کنندگان پیش از ورود به مطالعه رضایت‌نامه کتبی آگاهانه را تکمیل کردند.

۲-۲- ست‌آپ و روش اجرا

در این پژوهش، شرکت‌کنندگان مسیر پنج‌متری را تحت سه شرایط آزمایشی شامل راه رفتن عادی، راه رفتن با تمرکز توجه درونی و راه رفتن با تمرکز توجه بیرونی طی کردند. در شرایط راه رفتن عادی، هیچ دستورالعمل توجهی خاصی به شرکت‌کنندگان ارائه نشد. در شرایط تمرکز توجه درونی، از شرکت‌کنندگان خواسته شد توجه خود را به حرکات اندام‌های تحتانی و نحوه حرکت بدن معطوف کنند. در شرایط تمرکز توجه بیرونی، از شرکت‌کنندگان خواسته شد توجه خود را به اثر حرکت بر محیط و عبور پا از مانع معطوف کنند. در تمامی شرایط، مانعی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر در فاصله دو متری از نقطه شروع قرار داده شد و شرکت‌کنندگان موظف بودند پس از عبور از مانع به راه رفتن ادامه دهند. در هیچ‌یک از شرایط، عامل فیزیکی خارجی مانند خط‌کشی مسیر یا محرک دیداری اضافی استفاده نشد و تفاوت شرایط صرفاً بر اساس نوع دستورالعمل توجهی ارائه شده بود. هر فرد تمام شرایط را با سرعت انتخابی خود اجرا کرد. برای کاهش اثر ترتیب اجرا، توالی شرایط برای شرکت‌کنندگان به صورت موازنه شده^۲ تنظیم شد. همچنین هر آزمون سه بار تکرار شد تا قابلیت اعتماد داده‌ها افزایش یابد.

جمع‌آوری داده‌های سینماتیکی در طول مسیر پنج‌متری با استفاده از سامانه اوپنکپ^۳ انجام شد؛ این سامانه یک ابزار مبتنی بر گوشی هوشمند است که امکان استخراج سینماتیک سه‌بعدی گیت را بدون نیاز به تجهیزات سنتی آزمایشگاهی و با روشی مقرون‌به‌صرفه فراهم می‌کند [۱۷]. در این مطالعه، دو دستگاه گوشی آیفون ۱۳ پرومکس برای ثبت داده‌ها و پردازش اطلاعات حرکتی شرکت‌کنندگان با استفاده از این سیستم مورد استفاده قرار گرفت. استفاده از دو دوربین به این دلیل است که سامانه اوپنکپ مبتنی بر الگوریتم‌های هوش مصنوعی، برای بازسازی سینماتیک سه‌بعدی بدن نیازمند حداقل دو نمای تصویری هم‌زمان است؛ این سیستم با همگام‌سازی دوربین‌ها، یک مدل سه‌بعدی از سوژه ایجاد می‌کند.

برخی مطالعات، استفاده از دستورالعمل‌های توجهی بیرونی یا درونی برای گروه‌های مختلف سنی از جمله سالمندان مورد بررسی قرار گرفته است تا مشخص شود هر یک چگونه می‌تواند بر هماهنگی و کنترل حرکتی اثر بگذارد [۱۶].

بر این اساس، در اغلب پژوهش‌های پیشین اگرچه از شاخص‌های پایداری دینامیک مانند حاشیه پایداری برای توصیف خطر سقوط استفاده شده است، اما اثر استراتژی‌های مختلف توجه بر مقدار حاشیه پایداری گیت سالمندان به هنگام عبور از مانع، به‌ویژه تحت شرایط اغتشاش تعادلی، به‌طور مستقیم بررسی نشده است. به همین دلیل، در این مطالعه از حاشیه پایداری برای محاسبه‌ی تعادل پویا پس عبور از مانع استفاده شد. بر این اساس هدف اصلی این پژوهش بررسی اثر استراتژی‌های مختلف تمرکز توجه (درونی و بیرونی) بر حاشیه پایداری گیت زنان سالمند پس از اعمال اغتشاش تعادلی در هنگام عبور از مانع است. به‌طور خاص، این مطالعه قصد دارد تا ارتباط بین تمرکز توجه و پایداری دینامیک در شرایط پیچیده‌تر و چالش‌برانگیز مانند عبور از موانع، که اغتشاشات تعادلی ناگهانی را ایجاد می‌کند، را بررسی کند. همچنین، این پژوهش قصد دارد مدل‌سازی و تحلیل دقیق‌تری از تغییرات حاشیه پایداری در سالمندان در پاسخ به استراتژی‌های مختلف تمرکز توجه ارائه دهد.

۲- روش شناسی

۲-۱- شرکت‌کنندگان

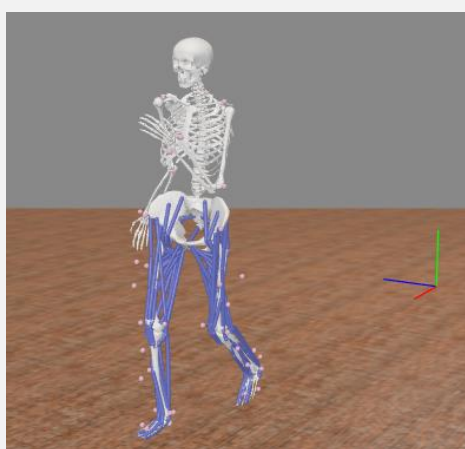
نوزده زن سالمند سالم (میانگین سن: 60.7 ± 6.4 سال، قد: 157.6 ± 7 سانتی‌متر، جرم: 72.5 ± 12 کیلوگرم) در این مطالعه شرکت کردند. برآورد حجم نمونه با استفاده از نرم‌افزار جی پاور نسخه ۳/۱ و با فرض اندازه اثر ۰.۳، سطح معناداری ۰/۰۵ و توان آزمون ۰/۸۵ انجام شد. از جمله معیارهای ورود به مطالعه داشتن سن ۵۵ سال یا بیشتر بود؛ زیرا شواهد نشان می‌دهد برخی تغییرات مرتبط با کنترل تعادل، ثبات پاسچر و عملکرد راه رفتن می‌تواند از اواخر میانسالی آغاز شود. توانایی راه رفتن مستقل بدون وسایل کمکی، داشتن بینایی طبیعی یا اصلاح شده با عینک یا لنز (حداقل ۲۰/۴۰ بر اساس چارت E چرخان)، و کسب امتیاز ۲۴ یا بالاتر در آزمون وضعیت روانی کوتاه^۱ از دیگر معیارهای ورود به مطالعه بود. معیارهای خروج شامل وجود هرگونه اختلال عصبی یا قلبی-عروقی، سابقه جراحی اندام تحتانی یا ستون فقرات در یک سال گذشته، درد مزمن

³ OpenCap

¹ MMSE

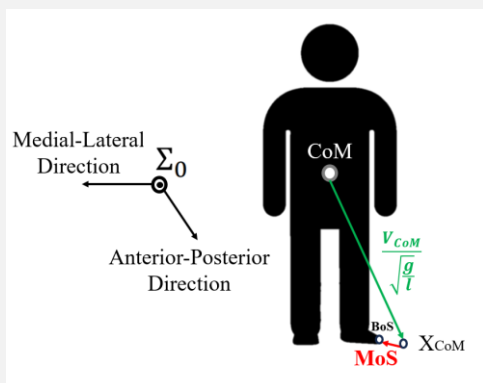
² Counterbalancing

باترورث مرتبه دوم با فرکانس قطع ۶ هرتز هموارسازی گردید و وارد نرم افزار اوپنسیم شد. پس از آن، یک چرخه کامل گیت از تماس پاشنه یک پا با زمین تا تماس پاشنه همان پا در گام بعد شناسایی شد. برای تعیین این چرخه، از مارکرهای مجازی متصل به مدل اسکلتی-عضلانی اختصاصی هر فرد در اوپنسیم و روش الگوریتم سرعت پا^۳ استفاده شد [۱۸]. در این روش، رویدادهای تماس پا با زمین و جدا شدن پا بر اساس تغییرات سرعت پا شناسایی می‌شوند و از این اطلاعات برای تعیین محدوده‌ی سطح تکیه‌گاه حین راه رفتن استفاده می‌شود. چرخه گیت مورد نظر اولین چرخه بعد از عبور کامل آزمودنی از روی مانع بود که مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفت.



شکل (۲)- مدل اسکلتی عضلانی ساخته شده در نرم‌افزار اوپنسیم

تعالیل دینامیکی حین راه رفتن با استفاده از شاخص حاشیه‌ی پایداری ارزیابی گردید؛ معیاری معتبر که فاصله لحظه‌ای بین موقعیت پیش‌بینی‌شده مرکز جرم و مرز تکیه‌گاه را نشان می‌دهد و میزان حاشیه تعادل فرد در برابر سقوط را بیان می‌کند.



شکل (۳)- شاخص حاشیه پایداری

دوربین‌ها در مقابل آزمودنی‌ها و مطابق زاویه دید مشاهده شده در شکل (۱)، با زاویه تقریبی ۶۰ درجه نسبت به مانع قرار داده شدند، به‌گونه‌ای که میدان دید مناسبی از کل بدن و مسیر حرکت فراهم شود. لازم به ذکر است که تعیین موقعیت بهینه دوربین‌ها از طریق روش سعی و خطا و انتخاب مناسب‌ترین چینش برای ثبت دقیق داده‌های حرکتی انجام گرفت.



شکل (۱)- زاویه دید دوربین‌های سیستم اوپن کپ نسبت به مسیر حرکتی آزمودنی، موقعیت مانع و فریم کالیبراسیون

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، از صفحه شطرنجی برای کالیبراسیون دوربین‌ها استفاده شد. در این پژوهش، راستای حرکت آزمودنی‌ها به‌گونه‌ای تنظیم شد که عمود بر صفحه کالیبراسیون باشد تا امکان تحلیل دقیق حرکات در راستاهای قدامی-خلفی و میانی-جانبی فراهم شود.

۲-۳- تحلیل داده‌ها

برای پردازش داده‌های سینماتیکی گیت به‌دست آمده، از مدل لای-اولریخ^۱ استفاده شد که شامل ۶۳ مارکر مجازی است. این مدل به‌گونه‌ای توسعه یافته که با مدل‌های استاندارد نرم‌افزار اوپنسیم^۲ سازگاری دارد و امکان انتقال مستقیم داده‌ها بین این دو محیط را فراهم می‌کند. بر این اساس، ابتدا خلأهای موجود در داده‌های موقعیت مارکرهای مجازی با استفاده از روش درون‌یابی اسپلاین مکعبی پر شد و سپس داده‌ها با فیلتر

³ Foot Velocity Algorithm

¹ Lai-Uhlrich

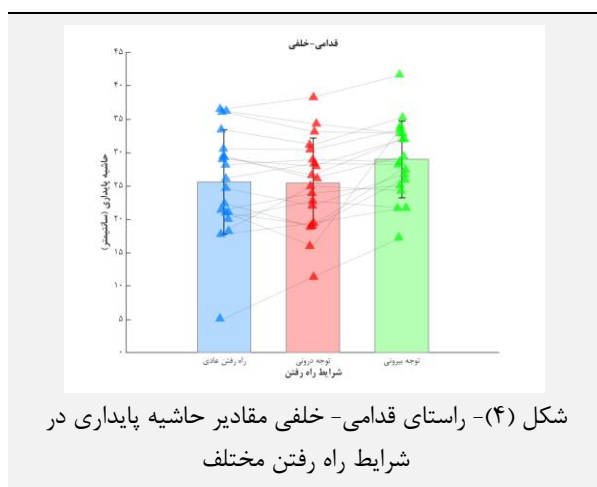
² OpenSim



۴- نتایج

نتایج آزمون شاپیرو-ویلک نشان داد که داده‌های حاشیه‌ی پایداری در تمام شرایط راه رفتن عادی، تمرکز درونی و تمرکز بیرونی، هم در راستای قدامی-خلفی و هم در راستای داخلی-خارجی، نرمال بودند (تمام مقادیر $p > 0.05$). بنابراین، استفاده از آزمون‌های پارامتریک مانند آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر برای تحلیل داده‌ها مناسب است.

نتایج آزمون ماچلی در راستای قدامی - خلفی نشان داد که فرض کرویت نقض نشده است. ($W = 0.878, p = 0.330$) آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر اثر معناداری برای شرایط تمرکز توجه بر حاشیه پایداری گیت در راستای قدامی-خلفی نشان داد ($F(2,36) = 9.277, p = 0.001, \eta^2 = 0.34$). آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد که توجه بیرونی پایداری گیت را نسبت به راه رفتن عادی ($p = 0.007$) و توجه درونی ($p = 0.010$) به‌طور معناداری افزایش می‌دهد، در حالی که تفاوت بین راه رفتن عادی و تمرکز درونی معنادار نبود ($p = 1.000$). میانگین و پراکندگی مقادیر حاشیه پایداری در راستای قدامی خلفی در شکل ۴ قابل مشاهده است.



در راستای داخلی-خارجی نتایج آزمون ماچلی نشان داد که فرض کرویت نقض شده است ($W = 0.578, p = 0.009$)، بنابراین برای تحلیل اثر شرایط از اصلاح گرین‌هاوس-گایزر استفاده شد. آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد که اثر شرایط تمرکز توجه بر حاشیه پایداری گیت در راستای داخلی-خارجی معنادار نیست ($F = 0.163, p = 0.774, \eta^2 = 0.009$). آزمون تعقیبی بونفرونی نیز تفاوت معناداری بین هیچ یک از شرایط مشاهده نکرد (تمام مقادیر $p = 1.000$)، که بیانگر آن است که نوع راهبرد توجه تأثیری بر پایداری دینامیکی گیت در

رابطه کلی محاسبه حاشیه‌ی پایداری به‌صورت زیر بود:

$$MoS = BoS - (X_{COM} + \frac{V_{COM}}{\sqrt{g/l}}) \quad (1)$$

در این معادله، BoS بردار موقعیت مرکز پایه اتکا، V_{COM} سرعت مرکز جرم، X_{COM} موقعیت پیش‌بینی‌شده مرکز جرم، l ارتفاع مرکز جرم از سطح زمین، و g شتاب گرانش است. افزایش مقادیر حاشیه‌ی پایداری در راستاهای داخلی-خارجی و قدامی-خلفی نشانگر پایداری بیشتر گیت است. مقادیر حاشیه‌ی پایداری در این دو راستا بر اساس رابطه زیر تعریف شدند:

$$MoS^{(x,y)} = |BoS^{(x,y)} - X_{COM}^{(x,y)}| \quad (2)$$

برای محاسبه حاشیه پایداری در هر چرخه گام، موقعیت مرکز جرم از مدل اسکلتی عضلانی اختصاصی هر فرد در اوپنسیم استخراج شد و دامنه تکیه‌گاه با استفاده از روش FVA تعیین گردید. در ادامه، مقادیر حاشیه‌ی پایداری با استفاده از معادله زیر انتگرال‌گیری شدند تا شاخص پایداری دینامیکی (DSI) در راستاهای داخلی-خارجی و قدامی-خلفی به دست آید:

$$DSI_{(ML,AP)} = \int f(MoS_{(ML,AP)}) d(MoS_{(ML,AP)}) \quad (3)$$

سایر محاسبات و پردازش‌ها با استفاده از اسکریپت‌های اختصاصی در متلب ۲۰۲۴ بی انجام شد. در نهایت، حاشیه‌ی پایداری در راستاهای قدامی-خلفی و داخلی-خارجی محاسبه شد و انتگرال آن به‌عنوان شاخص پایداری دینامیکی مورد استفاده قرار گرفت؛ به‌طوری‌که مقادیر بالاتر حاشیه‌ی پایداری نشان‌دهنده پایداری بیشتر طی راه رفتن بود.

۴-۲- روش‌های آماری

برای تحلیل داده‌ها، در مرحله نخست نرمال بودن توزیع متغیرها با استفاده از آزمون شاپیرو-ویلک مورد ارزیابی قرار گرفت. در صورت تأیید نرمال بودن داده‌ها، پیش‌فرض کرویت با بهره‌گیری از آزمون ماچلی^۱ سنجیده شد. در مواردی که فرض کرویت نقض می‌شد، اصلاحات لازم با استفاده از تصحیح گرین‌هاوس-گایزر اعمال گردید تا برآوردهای آماری معتبر باقی بماند. برای مقایسه اثر شرایط مختلف تمرکز توجه، از آنالیز واریانس با اندازه‌گیری مکرر^۲ استفاده شد؛ روشی که به‌طور ویژه برای تحلیل داده‌های وابسته در شرایط چندگانه آزمایشی مناسب است. در صورت مشاهده اثر اصلی معنادار، جهت تعیین تفاوت بین شرایط، آزمون تعقیبی بونفرونی به‌عنوان روش اصلاح‌شده برای مقایسه‌ها زوجی به‌کار گرفته شد. سطح معناداری آماری در تمامی تحلیل‌ها $\alpha = 0.05$ در نظر گرفته شد. همچنین تمامی تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار متلب نسخه ۲۰۲۴ بی صورت گرفت.

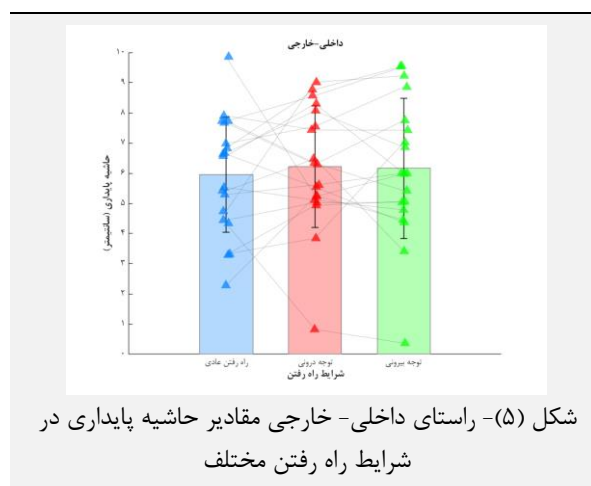
² Repeated-Measures ANOVA

¹ Mauchly's Test

مانع، سالمندان نیازمند هماهنگی دقیق بین اطلاعات ادراکی (مانند ارتفاع و فاصله مانع) و پاسخ‌های حرکتی جبرانی برای حفظ پایداری هستند تمرکز توجه بیرونی با معطوف کردن ذهن به هدف حرکت و ویژگی‌های محیطی، به سیستم عصبی اجازه می‌دهد تا اطلاعات بصری-فضایی را بدون واسطه به پاسخ‌های حرکتی بهینه تبدیل کرده و جفت‌شدن ادراک و عمل را تقویت کند این تسهیل در پردازش اطلاعات محیطی به سالمندان کمک می‌کند تا با دقت بیشتری حاشیه پایداری خود را در راستای قدمی-خلفی مدیریت کنند [۲۰]. در مقابل، تمرکز درونی با واداشتن فرد به پردازش آگاهانه ویژگی‌های بدن، در این حلقه خودکار وقفه ایجاد کرده و منجر به واکنش‌های اصلاحی دیر هنگام و کاهش حاشیه پایداری می‌شود بنابراین، راهبرد تمرکز بیرونی نه تنها از درگیری بیش از حد حافظه کاری جلوگیری می‌کند بلکه با بهینه‌سازی پیوند میان محرک‌های محیطی و کنترل پاسچر، منجر به تقویت عملکرد خودکار و پایداری گیت در شرایط چالش‌برانگیز می‌گردد [۲۱].

بر اساس مرور chen و همکاران (۲۰۲۳) دستورالعمل‌های تمرکز بیرونی در اکثر مطالعات حرکات پایداری را در جمعیت‌های بالینی و سالمندان ایجاد می‌کنند [۳]. نتایج این مطالعه در راستای برخی پژوهش‌های پیشین است که نشان داده‌اند در سالمندان، ارائه دستورالعمل‌های تمرکز بیرونی طی راه‌رفتن بر زمین مسطح [۲۲]. یا در تکالیف راه‌رفتن چالش‌برانگیز [۲۳]، می‌تواند به کاهش تغییرپذیری^۱ مکانی-زمانی گام‌ها و بهبود شاخص‌های ثبات گیت منجر شود. مک و همکاران گزارش کرده‌اند که سالمندان هنگام راه‌رفتن روی سطح صاف، در شرایط تمرکز درونی دچار افزایش نوسان بدن و افزایش تغییرپذیری زمان فازهای گام می‌شوند، در حالی که تمرکز بیرونی الگوی پایدارتر و کارآمدتری از گیت را نسبت به تمرکز درونی ایجاد می‌کند. همچنین شواهد نشان می‌دهد در تکالیف راه‌رفتن چالش‌برانگیز، که تمرکز بیرونی با کاهش تغییرپذیری طول گام و عرض گام، به نوعی ثبات بیشتر در تطابق بین سیستم بینایی-حرکتی و کنترل پاسچر منجر می‌شود و می‌تواند به عنوان یک رویکرد مداخله‌ای مؤثر در برنامه‌های پیشگیری از سقوط سالمندان مطرح شود. یافته‌های حاضر که افزایش حاشیه پایداری در جهت قدمی-خلفی را تحت تمرکز بیرونی نشان دادند، این دیدگاه را تقویت می‌کند که دستورالعمل‌های تمرکز بیرونی پس از تجربه یک اغتشاش تعادلی (عبور از مانع) نیز به سود پایداری دینامیکی گیت عمل می‌کند [۲۴]. با این حال، همسو نبودن کامل نتایج مطالعات

راستای داخلی-خارجی ندارد. میانگین و پراکندگی مقادیر حاشیه پایداری در راستای داخلی خارجی در شکل ۵ قابل مشاهده است.



۵- بحث و نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر بررسی اثر استراتژی‌های توجه تمرکز بر حاشیه پایداری گیت زنان سالمند بعد از اعمال اغتشاش تعادلی بود. یافته‌های پژوهش حاضر نشان داد که راهبرد تمرکز توجه بیرونی به طور معناداری پایداری دینامیکی گیت را در راستای قدمی-خلفی زنان سالمند پس از عبور از مانع، نسبت به تمرکز توجه درونی (۰/۰۱) و راه‌رفتن عادی (۰/۰۰۷) افزایش داد. در صورتیکه توجه درونی نسبت به راه رفتن عادی تفاوت معناداری نداشت و همچنین در راستای داخلی-خارجی تفاوت معناداری بین هیچ کدام از شرایط مشاهده نشد. این نتایج به طور کلی با چارچوب نظری «فرضیه اثر عمل» هم‌خوانی دارد که بر اساس آن، هدایت توجه به اثرات حرکت در محیط (تمرکز بیرونی) از درگیر شدن بیش از حد فرایندهای آگاهانه و وابسته به حافظه کاری جلوگیری کرده و امکان استفاده کارآمدتر از سازوکارهای خودکار کنترل حرکتی را فراهم می‌سازد. در مقابل، تمرکز درونی با معطوف کردن توجه به بخش‌های بدن و جزئیات اجرای حرکت، کنترل آگاهانه را تقویت کرده و سیستم حرکتی را محدود و با فرایندهای خودکار تداخل ایجاد می‌کند [۱۹]. علاوه بر فرضیه «اثر عمل»، یافته‌های این مطالعه را می‌توان از منظر نظریه «ادراک-عمل» نیز تبیین کرد. طبق این دیدگاه، کنترل حرکت و ادراک محیطی فرآیندهایی جدایی‌ناپذیر هستند که در یک حلقه بسته به تعامل می‌پردازند؛ به طوری که اطلاعات استخراج شده از محیط، مستقیماً ویژگی‌های حرکت را سازماندهی می‌کند در تکالیف چالش‌برانگیز عبور از

¹ Variability



مختلف نشان می‌دهد که اثر راهبردهای تمرکز توجه به شدت به ماهیت تکلیف و میزان چالش تعادلی وابسته است. دملکر وورمز و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی که روی راه رفتن سالمندان روی تردمیل دو نواری همراه با اغتشاشات ناگهانی انجام دادند، تفاوت معناداری بین تمرکز درونی و بیرونی از نظر شاخص‌های پایداری راه رفتن گزارش نکردند و نتیجه گرفتند که تغییر صرف دستورالعمل توجه برای بهبود ثبات گیت در همه شرایط کافی نیست. بر این اساس می‌توان استنباط کرد که در تکالیفی مانند راه رفتن روی تردمیل با اغتشاش‌های تکراری، عوامل دیگری از جمله ماهیت محیط، شدت تهدید سقوط، تجربه قبلی و راهبردهای عضلانی جبرانی در تعیین پاسخ تعادلی نقش پررنگی دارند و ممکن است اثر تمرکز بیرونی را تعدیل کنند. در مطالعه حاضر، استفاده از تکلیف عبور از مانع روی سطح هموار و تحلیل نخستین چرخه گیت پس از عبور، احتمالاً حساسیت بیشتری برای آشکار کردن تغییرات حاشیه پایداری در راستای قدامی-خلفی در پاسخ به دستورالعمل‌های توجهی فراهم کرده است [۲۵]. در تبیین مکانیسم‌های احتمالی، تمرکز بیرونی با کاهش «پردازش آگاهانه حرکت» و جلوگیری از سفت شدن بیش از حد مفاصل، به ویژه در مفصل مچ پا، به حفظ انعطاف‌پذیری پاسچرال کمک می‌کند [۲۶]. پژوهش‌های ایستادن ایستا در سالمندان نشان داده‌اند که بهبود تعادل در شرایط تمرکز بیرونی یا تکالیف شناختی لزوماً با افزایش سفتی مچ پا همراه نمی‌شود، بلکه بیشتر به واسطه کاهش مداخله آگاهانه در کنترل مرکز جرم و استفاده کارآمدتر از راهبردهای خودکار حاصل می‌گردد [۲۶]. در تکالیف راه رفتن، این منطق می‌تواند به این صورت بروز یابد که سالمندان تحت تمرکز بیرونی، به جای تمرکز بر حرکت اندام‌ها، توجه خود را به هدف حرکت یا موانع محیطی معطوف کرده و بدین وسیله از نوسانات ناگهانی و اصلاحات دیر هنگام در محل قرارگیری پا و تنظیم قدم‌ها می‌کاهند؛ در نتیجه، حاشیه پایداری در راستای قدامی-خلفی در چرخه گام پس از عبور از مانع کاهش می‌یابد [۲۲، ۲۳]. یکی از یافته‌های جالب این پژوهش عدم مشاهده تفاوت معنادار در حاشیه پایداری در راستای داخلی-خارجی بین شرایط مختلف تمرکز و توجه بود. این نتیجه مک و همکاران (۲۰۲۰) همخوان است که نشان داد تمرکز درونی نوسانات جانبی تنه/لگن را در سالمندان افزایش می‌دهد، اما تمرکز بیرونی نسبت به راه رفتن عادی بهبود چشمگیری در این بعد ایجاد نمی‌کند؛ احتمالاً به دلیل اثر سقف^۱ در پایداری جانبی است [۲۲]. از سوی دیگر، برای برخی افراد،

تمرکز درونی در بخشی از مؤلفه‌های نوسان پاسچر نظم بیشتری ایجاد می‌کند در حالی که برای برخی دیگر، تمرکز بیرونی عملکرد بهتری به همراه دارد. هرچند در پژوهش حاضر چنین شاخصی ارزیابی نشد، اما عدم تفاوت در راستای داخلی-خارجی ممکن است تا حدی بازتاب همین تفاوت‌های فردی در ترجیح و تسلط توجهی باشد [۱۵]. از منظر کاربردی، نتایج این مطالعه دلالت مهمی برای طراحی مداخلات توان بخشی و برنامه‌های پیشگیری از سقوط در سالمندان دارد. بر اساس یافته‌ها، توصیه می‌شود درمانگران و مربیان در آموزش راه رفتن و تمرینات عبور از موانع در سالمندان، از دستورالعمل‌های مبتنی بر تمرکز بیرونی مانند توجه به موقعیت مانع و مسیر حرکت استفاده کنند و تا حد امکان از تأکید مستقیم بر حرکت اندام‌ها یا «اصلاح آگاهانه» الگوی قدم برداشتن پرهیز نمایند. همچنین، ترکیب تمرینات گیت با محیط‌های چالش برانگیز اما ایمن (مانند مسیرهای مانع‌دار کنترل‌شده، یا محیط‌های واقعیت مجازی) می‌تواند فرصت مناسبی برای تمرین راهبردهای تمرکز بیرونی و تقویت پایداری دینامیکی، به ویژه در راستای قدامی-خلفی، فراهم آورد. در کنار این موضوع، یافته‌های مطالعاتی که به تأثیر تمرکز بیرونی بر کاهش تغییرپذیری گام‌ها در تکالیف راه رفتن تطبیقی پرداخته‌اند، نشان می‌دهد که این رویکرد می‌تواند به کاهش خطر سقوط از طریق ایجاد الگوهای پایدارتر در طول زمان کمک کند [۲۳، ۲۴]. با وجود نقاط قوتی مانند استفاده از شاخص معتبر حاشیه پایداری، بهره‌گیری از سامانه اوپن کپ مبتنی بر تلفن هوشمند برای ثبت سینماتیک سه بعدی گیت و تحلیل اختصاصی چرخه گام پس از عبور از مانع، این پژوهش دارای محدودیت‌هایی نیز هست. نخست، حجم نمونه نسبتاً محدود و محدود شدن شرکت‌کنندگان به زنان سالمند سالم، تعمیم‌پذیری نتایج به مردان سالمند یا سالمندان با سابقه سقوط و مبتلایان به اختلالات نوروموتور را محدود می‌کند. دوم، اثرات تمرکز توجه صرفاً در بازه زمانی کوتاه مدت و در یک جلسه آزمایشی بررسی شد و اطلاعاتی در مورد پایداری اثرات در دوره‌های یادگیری طولانی مدت یا دوره‌های پیگیری در دسترس نیست. سوم، متغیرهای عصبی-عضلانی مانند الگوی فعالیت عضلات اندام تحتانی یا شاخص‌های الکتروفیزیولوژیک که می‌توانستند در روشن شدن مکانیسم‌های زیربنایی نقش داشته باشند، اندازه‌گیری نشدند. مطالعات آینده می‌توانند با افزایش حجم نمونه، گسترش دامنه نمونه به سالمندان با سطوح مختلف خطر سقوط، بررسی اثرات مزمن تمرین با تمرکز بیرونی، و ادغام

¹ ceiling effect

obstacle-crossing in self-selected gait in individuals with mild-to-moderate Parkinson's disease. *Applied Sciences*. 2024;14(3):1271.

[12] Liu Z, Okamoto S, Kuroda T, Akiyama Y. Estimating the margin of gait stability in healthy elderly using the triaxial kinematic motion of a single body feature. *Applied Sciences*. 2024;14(7):1-16.

[13] Kazanski ME, Cusumano JP, Dingwell JB. How older adults maintain lateral balance while walking on narrowing paths. *Gait & Posture*. 2024;113:1-18.

[14] Sadowski J, Szyszka P, Makaruk H, Starzak M, Niżnikowski T. The effects of holistic, external, and internal attentional focus instructions on power and kinematics of the hang power snatch in highly skilled weightlifters. *Journal of Human Kinetics*. 2024;91(Spec Issue):77-86.

[15] Sawai S, Murata S, Sakano Y, Fujikawa S, Yamamoto R, Shizuka Y, Nakano H. Dominance of attentional focus: a comparative study on its impact on standing postural control in healthy younger and older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2024;18:1384305.

[16] Andrade V, Mazoni A, Vasconcelos C, Mattos D, Mitra S, Ocarino J, Vaz D. Effects of age and attentional focus on the performance and coordination of the sit-to-stand task. *Journal of Motor Behavior*. 2023;55(1):78-91.

[17] Uhlrich SD, Falisse A, Kidzinski L, Muccini J, Ko M, Chaudhari AS, Delp SL. OpenCap: human movement dynamics from smartphone videos. *PLoS Computational Biology*. 2023;19(10):e1011462.

[18] O'Connor CM, Thorpe SK, O'Malley MJ, Vaughan CL. Automatic detection of gait events using kinematic data. *Gait & Posture*. 2007;25:469-474.

[19] Wulf G, McNeven N, Shea CH. The automaticity of complex motor skill learning as a function of attentional focus. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*. 2001;54(4):1143-1154.

[20] Patla AE. Understanding the control of human locomotion: a prologue. *Advances in Psychology*. 1991;78:3-17.

[21] Wulf G. Attentional focus and motor learning: a review of 15 years. *International Review of Sport and Exercise Psychology*. 2013;6(1):77-104.

[22] Mak TC, Young WR, Chan DC, Wong TW. Gait stability in older adults during level-ground walking: the attentional focus approach. *The Journals of Gerontology Series B*. 2020;75(2):274-281.

[23] Mak TC, Ng SS, Chan DC, Wong TW. The influence of attentional focus on gait stability and conscious movement processing during challenging walking conditions in older adults. *The Journals of Gerontology Series B*. 2025;80(6):gbaf059.

[24] Mak TC, Wong TW, Leung MC, Wong DW, Chan DC, Ng SS. External focus strategy improves visuomotor control of gait in older adults. *Psychological Research*. 2025;89(3):1-11.

[25] de Melker Worms JL, Stins JF, van Wegen EE, Verschueren SM, Beek PJ, Loram ID. Effects of attentional focus on walking stability in elderly. *Gait & Posture*. 2017;55:94-99.

[26] Richer N, Ly K, Fortier N, Lajoie Y. Absence of ankle stiffening while standing in focus and cognitive task conditions in older adults. *Journal of Motor Behavior*. 2020;52(1):59-68.

نشانگرهای عصبی-عضلانی، تصویر جامع‌تری از نقش راهبردهای تمرکز توجه در کنترل گیت سالمندان ارائه دهند. در پایان، نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در تکلیف عبور از مانع، تمرکز توجه بیرونی می‌تواند حاشیه پایداری گیت زنان سالمند را در راستای قدامی-خلفی پس از مواجهه با یک اغتشاش تعادلی افزایش دهد، در حالی که تمرکز درونی چنین مزیتی را ایجاد نکرده و حتی ممکن است پایداری را تضعیف کند. گرچه این اثر در راستای داخلی-خارجی مشاهده نشد، اما از منظر عملی، یافته‌ها از گنجاندن سیستماتیک دستورالعمل‌های تمرکز بیرونی در برنامه‌های آموزش راه‌رفتن و توان‌بخشی سالمندان حمایت می‌کند و بیانگر آن است که جهت‌گیری مناسب توجه می‌تواند به‌عنوان یک مؤلفه کم‌هزینه، غیرتهاجمی و قابل اجرا در محیط‌های بالینی و میدانی برای ارتقای پایداری گیت و کاهش خطر سقوط مورد استفاده قرار گیرد.

۶- مراجع

- [1] Kalache A, Keller I. The WHO perspective on active ageing. *Promotion & Education*. 1999;6(4):20-23.
- [2] Kikidis D, Nairn B, Nikitas C, Pavlou M, Utoomprurkporn N, Bamiou DE. Multifactorial balance assessment, falls prevention and rehabilitation. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2025;17:1680310.
- [3] Chen TT, Mak TC, Ng SS, Wong TW. Attentional focus strategies to improve motor performance in older adults: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023;20(5):4047.
- [4] Siragy T, Russo Y, Horsak B. Mediolateral Margin of Stability highlights motor strategies for maintaining dynamic balance in older adults. *PLoS ONE*. 2024;19(10).
- [5] Varas-Diaz G, Jayakumar U, Taras B, Wang S, Bhatt T. Assessing balance loss and stability control in older adults exposed to gait perturbations under different environmental conditions: a feasibility study. *Biomechanics*. 2022;2(3):374-394.
- [6] Raffeegeau TE, Brinkerhoff SA, Kellaher GK, Baudendistel S, Terza MJ, Roper JA, Hass CJ. Changes to margins of stability from walking to obstacle crossing in older adults while walking fast and with a dual-task. *Experimental Gerontology*. 2022;161:111710.
- [7] Gwerder M, Camenzind U, Wild S, Kim YK, Taylor WR, Singh NB. Probing gait adaptations: the impact of aging on dynamic stability and reflex control mechanisms under varied weight-bearing conditions. *European Journal of Applied Physiology*. 2025;1-15.
- [8] Shokouhi S, Sritharan P, Lee PVS. Recovering whole-body angular momentum and margin of stability after treadmill-induced perturbations during sloped walking in healthy young adults. *Scientific Reports*. 2024;14(1):4421.
- [9] Fino PC, Thornton M, Heracleous C, Loureiro R, Leong JJ. Use of the margin of stability to quantify stability in pathologic gait - a qualitative systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2021;22(1):597.
- [10] Curtze C, Buurke TJ, McCrum C. Notes on the margin of stability. *Journal of Biomechanics*. 2024;166:112045.
- [11] Harro C, Alderink G, Hickox L, Zeitler DW, Avery M, Daman C, Laker D. Dynamic measures of balance during