



The Effects of Multisensory Balance Training on Balance Performance and Fall Risk Reduction in Elderly: A Semi-Experimental Study

Sahar Mohammadzadeh 

Department of Sport Science, School of Humanities, Damghan University, Damghan, Iran. E-mail: S.mohammadzadeh@du.ac.ir

Received: 05 April 2025; Received: 31 May 2025; Accepted: 08 June 2025

ABSTRACT

Introduction: Falls are one of the most significant healthcare problems among elderly individuals. The purpose of this study was to investigate the effects of multisensory balance training on static and dynamic balance performance and fall risk reduction in elderly women.

Methods: This quasi-experimental study with pre-test and post-test design with control group was conducted on 20 elderly women (mean age: 67.2 ± 4.8 years). Participants were randomly divided into training ($n=10$) and control ($n=10$) groups. The training group performed multisensory balance exercises for six weeks, three sessions per week. Research variables included fall risk (Biodex), static balance (Berg Balance Scale), and dynamic balance (TUG) which were measured before and after the intervention.

Results: After six weeks of multi-sensory balance training, the fall risk index in the training group significantly decreased. Berg Balance Test scores significantly increased, and TUG test times significantly decreased. No significant differences were observed in the control group ($p>0.05$).

Conclusion: Multisensory balance training is an effective method for improving static and dynamic balance performance and reducing fall risk in elderly women. These exercises can be used as a safe and efficient intervention in fall prevention programs for elderly individuals.

Keywords: *Multisensory Balance Training, Elderly, Fall Risk, Static Balance, Dynamic Balance*

Cite this article: Mohammadzadeh, S. (2025). The Effects of Multisensory Balance Training on Balance Performance and Fall Risk Reduction in Elderly: A Semi-Experimental Study. *Journal of Healthy Ageing and Exercise*, 1 (1), 16-28. DOI: [10.22059/jhae.2025.103140](https://doi.org/10.22059/jhae.2025.103140)

Copyright © 2025: Journal of Healthy Ageing and Exercise. This open-access article is available under the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) International License, which allows for the copying and redistribution of the material only for noncommercial purposes, provided that the original work is properly cited.

Publisher: University of Tehran Press.

Extended Abstract

Introduction

Falls constitute a major global health concern among older adults, significantly impacting morbidity, mortality, and healthcare systems. Age-related declines in visual, vestibular, and proprioceptive systems - all critical for postural stability - coupled with reduced muscle strength and neuromuscular function, markedly elevate fall risk. Epidemiological data show that 30% of adults aged 65+ and 50% of those over 80 experiences at least one fall annually.

Current evidence suggests that conventional balance training, often targeting isolated systems, yields limited benefits. In contrast, multisensory training offers a more effective approach by simultaneously engaging multiple sensory modalities (visual, vestibular, and somatosensory), thereby enhancing sensory integration and adaptive balance control. This method leverages the neurophysiological principle of sensory reweighting - the CNS's ability to prioritize different sensory inputs based on environmental demands - promoting neuroplasticity through varied challenges.

This study examined the effects of a 6-week multisensory training program in community-dwelling elderly women, with four primary objectives:

1. Assess fall risk reduction using the Biodex Balance System
2. Measure static balance improvements via the Berg Balance Scale
3. Evaluate dynamic balance function through the Timed Up and Go test
4. Compare intervention outcomes with a control group

Methods

This quasi-experimental study employed a pre-test post-test design with a control group to examine the effects of multisensory balance training on balance performance and fall risk in elderly women.

Participants: Twenty elderly women (mean age: 67.2 ± 4.8 years) were recruited and randomly allocated to either the training group ($n=10$) or control group ($n=10$). Inclusion criteria included: age between 60-75 years, ability to walk independently without assistive devices, absence of severe cognitive impairment (Mini-Mental State Examination score ≥ 24), no history of falls in the previous six months, and absence of neurological or musculoskeletal disorders that could affect balance performance. Exclusion criteria included participation

in structured exercise programs within the previous three months, use of medications affecting balance or cognitive function, and presence of severe visual or hearing impairments.

Intervention Protocol: The training group participated in a comprehensive six-week multisensory balance training program, consisting of three sessions per week, with each session lasting 60 minutes. The training protocol was designed to progressively challenge multiple sensory systems through various balance exercises performed on different surfaces and under varying sensory conditions. The program included: (1) static balance exercises on stable and unstable surfaces with eyes open and closed; (2) dynamic balance activities involving weight shifting and reaching tasks; (3) perturbation-based training using balance pads and wobble boards; (4) dual-task exercises combining cognitive tasks with balance challenges; and (5) functional movement patterns relevant to activities of daily living.

Outcome Measures: Three primary outcome measures were assessed at baseline and following the six-week intervention period:

Fall Risk Assessment: The Biodex Balance System was used to evaluate overall fall risk through a composite stability index. This computerized platform provides objective measurements of postural sway and stability under various testing conditions.

Static Balance Performance: The Berg Balance Scale (BBS) was employed to assess functional balance performance through 14 standardized tasks of varying difficulty. Scores range from 0-56, with higher scores indicating better balance performance.

Dynamic Balance Function: The Timed Up and Go (TUG) test was used to evaluate functional mobility and dynamic balance. Participants were instructed to rise from a chair, walk three meters, turn around, return to the chair, and sit down, with the total time recorded.

Results

The intervention group demonstrated significant improvements compared to the control group across all measured parameters. Fall risk index (Biodex) showed substantial improvement with the training group decreasing from 3.98 ± 2.50 to 2.31 ± 1.70 , while the control group remained relatively unchanged (4.46 ± 2.48 to 5.39 ± 2.42). Statistical analysis revealed significant main effect of time ($F_{(1,18)}=14.62$, $P<0.001$),

group effect ($F_{(1,18)} = 6.78, P = 0.013$), and time $\times$ group interaction ($F_{(1,18)} = 12.95, P < 0.001$). Berg Balance Scale scores increased significantly in the training group from 44.6 ± 5.30 to 49.2 ± 5.58 , while the control group showed minimal change (45.2 ± 5.85 to 45 ± 6.25). Analysis revealed significant time effect ($F_{(1,18)} = 35.27, P < 0.001$), group effect ($F_{(1,18)} = 8.41, P = 0.006$), and time $\times$ group interaction ($F_{(1,18)} = 27.13, P < 0.001$). Timed Up and Go test performance improved markedly in the training group, with execution time decreasing from 13.8 ± 3.20 to 11.2 ± 0.70 seconds, while the control group remained stable (13.1 ± 3.05 to 13 ± 2.85 seconds). Statistical analysis showed significant time effect ($F_{(1,18)} = 28.56, P < 0.001$), group effect ($F_{(1,18)} = 5.92, P = 0.02$), and time $\times$ group interaction ($F_{(1,18)} = 22.41, P < 0.001$). In contrast, the control group showed no significant changes in any of the measured outcomes over the same time period, with fall risk index, Berg Balance Scale scores, and TUG times remaining essentially unchanged from baseline values.

Conclusion

The findings of this study provide compelling evidence for the effectiveness of multisensory balance training in improving balance performance and reducing fall risk among elderly women. The significant improvements observed in static balance, dynamic balance, and fall risk measures demonstrate the potential of this intervention approach to address the multifactorial nature of balance impairment in aging populations.

The multisensory training approach used in this study appears to be particularly effective due to its comprehensive nature, addressing multiple aspects of balance control simultaneously. By challenging various sensory systems and promoting sensory integration, this training method may enhance the capacity for adaptive postural responses and improve overall balance confidence. The large effect sizes observed across all outcome measures suggest that these improvements are not only statistically significant but also clinically meaningful.

These findings have important implications for fall prevention programs in elderly populations. Multisensory balance training can be implemented as a safe and effective intervention strategy in community-based settings, potentially reducing the substantial healthcare burden associated with fall-related injuries in older adults. The relatively short duration of the training program (six weeks) makes it a practical and feasible intervention that could be easily integrated into existing

healthcare and wellness programs for elderly individuals.

Future research should focus on investigating the long-term retention of training benefits, optimal training parameters, and the effectiveness of multisensory balance training in diverse elderly populations with varying levels of functional capacity and fall risk.

Footnotes

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

Ethical approval: This study was approved by the Motor Behavior Ethics Committee of Shahid Beheshti University, and the exercise protocol was officially endorsed by this committee. Additionally, the trial is registered with the Iranian Registry of Clinical Trials under code [IRCT2013061513672N1](https://www.irct.ir/IRCT2013061513672N1).

Funding: The author received no financial support for conducting this article, authorship, and/or publication.

Acknowledgments: We thank the participants who took part in the present study.



تأثیر تمرینات تعادلی چندحسی بر عملکرد تعادل و کاهش خطر افتادن در سالمندان: یک مطالعه کنترل شده تصادفی

سحر محمدزاده 

گروه علوم ورزشی، دانشکده علوم انسانی دانشگاه دامغان، دامغان، ایران: S.mohammadzadeh@du.ac.ir

دریافت: ۱۶ فروردین ۱۴۰۴؛ بازنگری: ۱۰ خرداد ۱۴۰۴؛ پذیرش: ۱۸ خرداد ۱۴۰۴

چکیده

مقدمه: افتادن یکی از مشکلات عمده در حوزه سلامت سالمندان به شمار می‌رود. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر تمرینات تعادلی چندحسی بر عملکرد تعادل ایستا و پویا و کاهش خطر افتادن در زنان سالمند بود.

روش پژوهش: این مطالعه از نوع کارآزمایی کنترل شده تصادفی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون همراه با گروه کنترل بر روی ۲۰ زن سالمند (میانگین سنی: $4/8 \pm 67/2$ سال) انجام شد. شرکت کنندگان به صورت تصادفی به دو گروه تمرین ($n=10$) و کنترل ($n=10$) تقسیم شدند. گروه تمرین به مدت شش هفته، سه جلسه در هفته تمرینات تعادلی چندحسی انجام دادند. متغیرهای تحقیق شامل خطر افتادن (بایودکس)، تعادل ایستا (آزمون برگ) و تعادل پویا (TUG) بودند که قبل و بعد از مداخله اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: پس از شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی، شاخص خطر افتادن در گروه تمرین، شاخص خطر افتادن به طور معناداری کاهش یافت. نمرات آزمون تعادل برگ در گروه تمرین به طور معنی‌داری افزایش یافت و زمان اجرای آزمون TUG در گروه تمرین به طور معناداری کاهش یافت، در حالی که در گروه کنترل تفاوت معناداری مشاهده نشد.

نتیجه‌گیری: تمرینات تعادلی چندحسی روشی مؤثر برای بهبود عملکرد تعادل ایستا و پویا و کاهش خطر افتادن در زنان سالمند است. این تمرینات می‌تواند به عنوان مداخله‌ای ایمن و کارآمد در برنامه‌های پیشگیری از افتادن در سالمندان مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: تمرینات تعادلی چندحسی، سالمند، تعادل ایستا، تعادل پویا

استناد: محمدزاده، سحر (۱۴۰۴). تأثیر تمرینات تعادلی چندحسی بر عملکرد تعادل و کاهش خطر افتادن در سالمندان: یک مطالعه کنترل شده تصادفی. نشریه سالمندی سالم و ورزش، ۱ (۱)، ۲۸-۱۶. DOI: 10.22059/jhae.2025.103140

ورزش، ۱ (۱)، ۲۸-۱۶. DOI: 10.22059/jhae.2025.103140

حق چاپ © ۱۴۰۴، نشریه سالمندی سالم و ورزش. این مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC 4.0) منتشر شده

است. این مجوز اجازه کپی و بازتوزیع مطالب را تنها برای مقاصد غیرتجاری می‌دهد، به شرطی که به اثر اصلی به درستی استناد شود.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

فرآیند پیری طبیعی باعث تغییرات ساختاری و عملکردی در سیستم‌های حسی-حرکتی، عضلانی-اسکلتی و عصبی می‌شود که منجر به کاهش کنترل قامت و افزایش خطر افتادن در سالمندان می‌گردد (۱). با افزایش امید به زندگی و رشد جمعیت سالمند در سراسر جهان، پیش‌بینی‌ها حاکی از آن است که تا سال ۲۰۵۰، نزدیک به ۱۶ درصد جمعیت جهان را افراد بالای ۶۵ سال تشکیل خواهند داد (۲). در ایران نیز جمعیت سالمند با سرعت قابل توجهی در حال افزایش است، به‌طوری‌که تخمین زده می‌شود تا سال ۲۰۵۰، حدود ۲۵ درصد جمعیت کشور را سالمندان تشکیل دهند (۳).

یکی از مهم‌ترین عوارض سالمندی، اختلال در سیستم کنترل تعادل و افزایش خطر افتادن است که پیامدهای جدی برای سلامت و کیفیت زندگی سالمندان به همراه دارد (۴). تمرین‌های ورزشی نرخ افتادن و تعداد افرادی که دچار افتادن می‌شوند را در سالمندان ساکن جامعه کاهش می‌دهد. آمارها نشان می‌دهد که سالانه حدود ۳۰-۴۰ درصد از سالمندان بالای ۶۵ سال حداقل یک بار زمین خوردن را تجربه می‌کنند (۵). این میزان با افزایش سن به ۵۰ درصد در افراد بالای ۸۰ سال می‌رسد (۶).

کنترل تعادل فرآیند پیچیده‌ای است که نیازمند یکپارچگی اطلاعات حسی از سیستم‌های بینایی، دهلیزی و حس عمقی، پردازش مرکزی این اطلاعات در سیستم عصبی مرکزی، و تولید پاسخ‌های حرکتی مناسب توسط سیستم عضلانی-اسکلتی است (۷). ارزیابی دقیق یکپارچگی چندحسی می‌تواند به سالمندان در شناسایی اختلال عملکرد تعادل و کاهش خطر افتادن کمک کند. با افزایش سن، عملکرد هر یک از این سیستم‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد که منجر به کاهش کیفیت کنترل تعادل و افزایش ناپایداری قامت می‌شود (۸). تعادل ایستا و پویا دو جنبه مهم کنترل قامت هستند که با فرآیند پیری دستخوش تغییرات قابل توجهی می‌شوند. تعادل ایستا به توانایی حفظ مرکز جرم بدن در محدوده اتکا هنگام ایستادن بدون حرکت اشاره دارد، در حالی که تعادل پویا شامل حفظ ثبات در طول انجام حرکات عمدی یا واکنش به اختلالات خارجی است (۹، ۱۰). کاهش عملکرد هر دو نوع تعادل با افزایش خطر افتادن در سالمندان مرتبط است (۱۱).

اگرچه پیشگیری کامل از افتادن امکان‌پذیر نیست، تمرین‌هایی که بر تعادل و تقویت عضلات متمرکز هستند می‌توانند خطر افتادن را کاهش دهند. در میان انواع مداخلات تمرینی، تمرینات تعادلی چندحسی به‌عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها برای بهبود کنترل قامت و کاهش خطر افتادن شناخته شده‌اند (۱۲). ترکیب تمرینات دهلیزی، حس عمقی و پیشگیری از افتادن، کنترل قامت، توانایی عملکردی، اعتماد در فعالیت‌های روزانه زندگی را بهبود می‌بخشد و حتی ممکن است خطر افتادن را در سالمندان کاهش دهد.

شواهد علمی قوی وجود دارد مبنی بر اینکه تمرینات ورزشی، به ویژه تمرینات تعادلی، می‌تواند خطر افتادن در سالمندان را به طور معنی‌داری کاهش دهد. شرینگتون^۱ و همکاران (۲۰۱۹) در جدیدترین متاآنالیز کاکرین خود که شامل ۱۰۸ مطالعه با ۳۳,۴۰۷ شرکت‌کننده بود، نشان دادند که تمرینات ورزشی خطر افتادن را ۲۳ درصد و خطر افتادن منجر به آسیب را ۱۵ درصد کاهش می‌دهد (۶). در زمینه تمرینات چندحسی، مطالعات متعددی تأثیر مثبت این روش را نشان داده‌اند. کادور^۲ و همکاران (۲۰۱۳) در مرور نظام‌مند خود بر روی ۱۷ مطالعه نشان دادند که تمرینات چندحسی که شامل تحریک همزمان سیستم‌های بینایی، دهلیزی و حسی عمقی می‌باشد، نسبت به تمرینات تک‌بعدی تأثیر بیشتری بر بهبود تعادل و کاهش خطر افتادن دارند (۱۳). هاوو^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۱ در یک کارآزمایی تصادفی کنترل‌شده روی ۱۲۰ سالمند (میانگین سنی ۷۱/۷۵ سال) تأثیر ۱۲ هفته تمرینات چندحسی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که گروه مداخله بهبود معنی‌داری در شاخص کلی ثبات بایودکس، زمان TUG و نمره مقیاس برگ داشتند (۱۴). تیکسیرا^۴ و همکاران در مطالعه‌ای دیگر در سال ۲۰۱۸ در مطالعه‌ای روی ۶۸ سالمند برزیلی تأثیر تمرینات پله مربعی^۵ را که نوعی تمرین چندحسی محسوب می‌شود، بررسی کردند. نتایج نشان داد که ۱۶ هفته این تمرینات منجر به بهبود معنی‌دار در مقیاس برگ، کاهش زمان TUG و بهبود عملکردهای شناختی شد (۱۵).

1. Sherrington
2. Cadore
3. Howe
4. Teixeira
5. Square-Stepping Exercise

اجماع در منابع علمی وجود دارد که تمرین‌های چندحسی در بهبود توانایی‌های فیزیکی مانند قدرت و تعادل مؤثر هستند. این نوع تمرینات با چالش دادن سیستم‌های حسی مختلف در شرایط متنوع، قابلیت باز وزن‌دهی حسی^۱ را بهبود می‌بخشند و عملکرد سیستم کنترل تعادل را ارتقا می‌دهند (۱۶). برنامه تمرینی تعادل با چالش حسی، مکانیسم‌های یکپارچگی چندحسی، تعادل و قدرت اندام تحتانی را بهبود می‌بخشد.

مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تمرینات تعادلی چندحسی نه تنها بر بهبود پارامترهای تعادل ایستا و پویا تأثیر مثبت دارند، بلکه بر کنترل قامتی و کاهش نوسانات بدن نیز تأثیرگذار هستند (۱۶). این نوع تمرینات از طریق بهبود عملکرد سیستم‌های حسی و تقویت پاسخ‌های عصبی-عضلانی، قابلیت تطبیق با شرایط مختلف محیطی را افزایش می‌دهند. یافته‌های کلیدی نشان می‌دهد که تمرین تعادل موجب بهبود کنترل قامتی در حالت‌های مختلف حسی، کاهش سرعت و دامنه نوسانات مرکز فشار، و افزایش اعتماد به نفس در انجام فعالیت‌های روزانه می‌شود.

علی‌رغم شواهد قوی موجود در زمینه تأثیر تمرینات تعادلی بر کاهش خطر افتادن، هنوز شکاف‌هایی در این حوزه وجود دارد. بیشتر مطالعات قبلی بر روی یک یا دو جنبه از سیستم‌های حسی متمرکز بوده‌اند و کمتر مطالعه‌ای رویکرد جامع چندحسی را با تحریک همزمان هر سه سیستم حسی بررسی کرده است. بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع و نیاز به درک بهتر مکانیسم‌های تأثیر تمرینات تعادلی چندحسی بر عملکرد حرکتی سالمندان، و نظر به کمبود مطالعات جامع در این زمینه در جامعه ایرانی، هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی بر عملکرد تعادل ایستا و پویا زنان سالمند بود.

روش‌شناسی پژوهش

این مطالعه از نوع کارآزمایی کنترل‌شده تصادفی (RCT) با طرح پیش‌آزمون-پس‌آزمون انجام شد.

شرکت‌کنندگان

جامعه آماری شامل زنان سالمند ۶۰-۷۵ سال ساکن شهر تهران بود که از طریق نمونه‌گیری در دسترس از مراکز سالمندان محله انتخاب شدند. حجم نمونه بر اساس مطالعات مشابه و با در نظر گیری اندازه اثر پیش فرض ۰/۲۵، توان آزمون ۸۰ درصد و سطح معناداری ۰/۰۵، تعداد ۲۵ نفر برآورد شد. معیارهای ورود به مطالعه شامل نداشتن بینایی اصلاح نشده، شکستگی استخوان، سابقه ابتلا به بیماری‌هایی مانند پارکینسون و ام‌اس، بیماری‌های قلبی-عروقی، داشتن حس شنوایی سالم، نداشتن مصرف داروی خاصی و عدم نیاز به وسایل کمکی نظیر عصا و واکر بودند. علاوه بر اظهارات شرکت‌کننده‌ها، محقق نیز به طور تجربی (منظور از مشاهده تجربی محقق بررسی این موضوع بود که آیا سالمندان قادرند مسافت ۹ متری را به شکل مستقل و بدون کمک دیگران اجرا کنند) از وجود آنها اطمینان حاصل کرد. در ضمن هیچ یک از آزمودنی‌های تحقیق توسط پزشک از انجام فعالیت ورزشی منع نشده بودند. در صورت عدم شرکت منظم شرکت‌کنندگان در تمرین و یا بیماری و اتفاق خاصی که مانع از انجام تمرین می‌شد معیار خروج از تحقیق محسوب می‌شد، این شاخص‌ها با پرسشنامه ثبت اطلاعات فردی (محقق ساخته) گردآوری شدند.

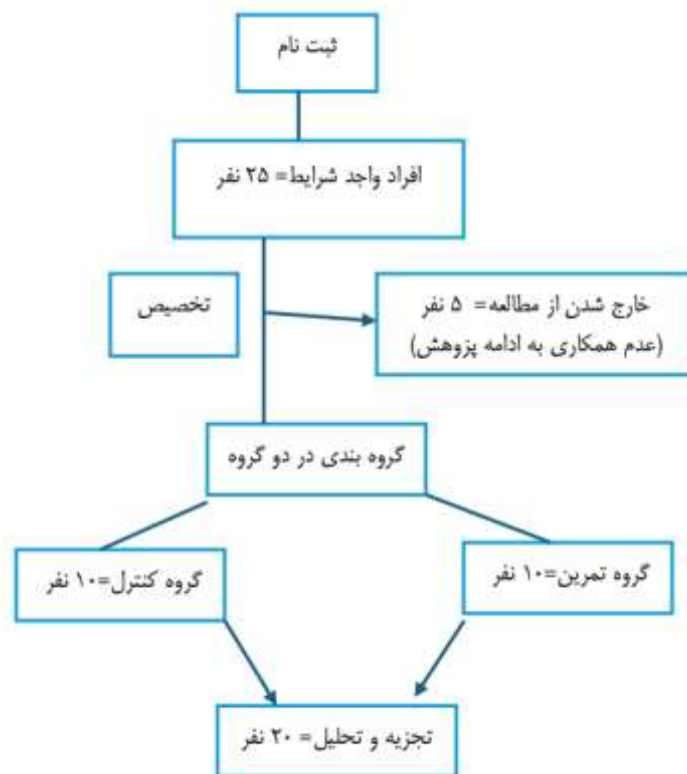
روند اجرای پژوهش

آزمودنی‌ها طی یک جلسه در آزمایشگاه حضور یافتند و بعد از آشنایی با محیط آزمایشگاه و ابزارهای مورد استفاده در تحقیق، فرم‌های رضایت نامه شرکت در تحقیق، فرم پرسشنامه سلامت و سطح فعالیت بدنی (با استفاده از پرسشنامه محقق ساخته) و پرسشنامه کوتاه وضعیت ذهنی (MMSE)^(۲) (۱۷)، با پایایی ۰/۸۱ تکمیل گردید (۱۸). تعداد ۲۵ نفر به صورت نمونه‌گیری در دسترس با داشتن تمام شرایط لازم (به دلیل گروه خاص بودن، افت آزمودنی به خاطر عدم شرکت آزمودنی‌ها به دلیل مشکلات شخصی و موارد پیش‌بینی نشده در تمرین به مدت شش هفته و تمایل کمتر آنها به شرکت در تحقیق به مدت شش هفته، انتخاب شدند. ۱۳ نفر در گروه کنترل و ۱۲ نفر در گروه تمرین تعادلی، بصورت تصادفی قرار گرفتند که در طول پروتکل تحقیق از گروه کنترل سه نفر و از گروه تمرین تعادلی دو نفر از ادامه و شرکت

1. Sensory reweighting

2. Mini-mental state examination

در آزمون انصراف دادند. بنابراین پروتکل تحقیق با ۱۰ نفر در هر گروه کنترل و آزمایشی به پایان رسید. بطوریکه بعد از جلسه اول آشنایی با محیط آزمایشگاه و تکمیل پرسشنامه‌ها، از شرکت‌کننده‌های هر دو گروه یک تست مشابه پیاده‌روی، در جلسات دوم (پیش‌آزمون) و سوم (پس‌آزمون) به فاصله شش هفته از هم گرفته شد.



شکل ۱. فلوچارت شرکت کنندگان

حداقل ۱۰ روز قبل از شروع تحقیق، با تمامی شرکت‌کنندگان هماهنگی‌های لازم برای مراحل اجرای پروتکل تمرینی انجام شد. پس از اعلام رضایت آن‌ها برای مشارکت در پژوهش، جلسه‌ای توجیهی برگزار گردید و جزئیات روش‌شناسی تحقیق، اهداف و مراحل کار به‌طور کامل تشریح شد. در ادامه، فرم‌های رضایت‌نامه آگاهانه، پرسشنامه سلامت عمومی و همچنین پرسشنامه سطح فعالیت بدنی توسط شرکت‌کنندگان تکمیل شد. سپس آزمودنی‌ها طی یک جلسه در آزمایشگاه حضور یافتند و بعد از آشنایی با محیط آزمایشگاه و ابزارهای مورد استفاده در تحقیق شاخص‌های آنتروپومتریکی قد، وزن، شاخص توده بدنی با استفاده با دستگاه تحلیل ترکیب بدن (مدل X-Scan Plus 950 ساخت کمپانی Jawon Medical کره جنوبی) اندازه‌گیری شدند. به منظور ارزیابی دقیق مولفه‌های ترکیب بدنی با این دستگاه، به آزمودنی‌ها توصیه شده بود که از مصرف زیاد مایعات و غذای سنگین، سه ساعت قبل از آزمون خودداری کنند. سپس از شرکت‌کننده‌ها آزمون MMSE جهت بررسی وضعیت شناختی آزمودنی‌ها و اطمینان از عدم ابتلا آنها به دمانس (زوال ذهنی) سالمندی گرفته شد. معیار ورود افراد به تحقیق کسب حداقل نمره ۲۴ از ۳۰ در بود (۱۷).

در پیش‌آزمون، از مقیاس آزمون بالینی برگ برای اندازه‌گیری تعادل ایستا و آزمون TUG برای تعادل پویا گرفته شد. مقیاس تعادل برگ شامل ۱۴ آزمون تعادلی عملکردی است که جنبه‌های مختلفی از فعالیت‌های روزانه‌ی فرد را که مستلزم حفظ تعادل هستند مورد ارزیابی قرار می‌دهد. هر آزمون از ۰ تا ۴ نمره دهی می‌شود و کل مقیاس در مجموع ۵۶ نمره دارد. نمره کمتر نشان دهنده توانایی کمتر فرد در حفظ تعادل عملکردی است (۱۹). آزمون TUG، زمان برای کامل کردن ۳ متر راه رفتن را اندازه‌گیری می‌کند. شرکت‌کنندگان باید از صندلی دسته‌دار بلند شوند، ۳ متر راه بروند، بچرخند، به عقب راه بروند و به سمت صندلی برگشته و بنشینند (۲۰). برای اندازه‌گیری

تعادل قامتی از دستگاه تعادل سنج بایودکس مدل BALANCE SYSTEM SD ساخت کمپانی Biodex آمریکا در حالت خطر افتادن استفاده شد.

پروتکل تمرینی

گروه تمرین برنامه تمرینات تعادلی چندحسی را به مدت ۶ هفته، ۳ جلسه در هفته، هر جلسه ۴۵-۶۰ دقیقه انجام دادند. برنامه تمرینی شامل: مرحله گرم کردن (۱۰ دقیقه): حرکات کششی ملایم و راه رفتن آرام و تحرک مفاصل. تمرینات اصلی (۳۵-۴۵ دقیقه): تمرینات تعادل ایستا: ایستادن تک پا با چشمان باز و بسته (۲ تکرار، ۳۰ ثانیه)؛ ایستادن بر روی سطوح مختلف (زمین سخت، تشک فوم، کوسن هوا) (۳ تکرار، ۴۵ ثانیه)؛ ایستادن در وضعیت تندم (پاشنه پای جلو چسبیده به انگشتان پای عقب) (۲ تکرار، ۳۰ ثانیه). تمرینات تعادل پویا: راه رفتن بر روی خط مستقیم با چشمان باز و بسته، تغییر جهت سریع (چرخش ۱۸۰ درجه) در حین راه رفتن، راه رفتن کناری و عقب با کنترل سرعت، حرکت از نشسته به ایستاده و برعکس با سرعت‌های مختلف، راه رفتن بر روی سطوح ناهموار و تشک‌های فوم. تمرینات چندحسی: ترکیب حرکات سر در حین حفظ تعادل (چرخش، خمیدن)، انجام تکالیف شناختی همزمان با حفظ تعادل (شمارش معکوس، نامیدن کلمات)، تمرینات با محدودیت‌های حسی متعدد (بستن چشم + سطح ناپایدار)، تمرینات دست‌زنی و پرتاب توپ در حین حفظ تعادل و شبیه‌سازی فعالیت‌های روزانه (برداشتن اجسام از زمین، رسیدن به اشیاء در ارتفاع)، تمرینات تعادل در موقعیت‌های مختلف (نشسته روی توپ، ایستاده روی یک پا). سرد کردن (۵-۱۰ دقیقه): حرکات کششی و تنفس عمیق و گروه کنترل فعالیت‌های معمول روزانه خود را بدون هیچ برنامه تمرینی خاص ادامه دادند (۲۱).

روش آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ تحلیل شدند. پس از بررسی طبیعی بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو-ویلک، از آزمون‌های پارامتریک استفاده شد. برای مقایسه ویژگی‌های پایه دو گروه از آزمون تی مستقل و برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لوین استفاده شد. تأثیر مداخله با استفاده از تحلیل واریانس مرکب (2×2 ANOVA) بررسی شد. سطح معنی‌داری برای تمام تحلیل‌ها $P \leq 0.05$ در نظر گرفته شد.

یافته‌های پژوهش

ویژگی‌های آنتروپومتریکی شرکت‌کننده‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. ویژگی‌های عمومی و آنتروپومتریکی آزمودنی‌ها ($M \pm Sd$)				
گروه‌ها	BMI	قد (cm)	وزن (kg)	سن (سال)
کنترل	28.48 ± 4.84	154 ± 10.39	66.76 ± 5.357	68.18 ± 6.06
تمرین	27.86 ± 4.16	157 ± 10.56	67.79 ± 7.92	66.64 ± 3.42

یادداشت: تعداد شرکت‌کنندگان در هر گروه برابر با $n=10$ است. BMI = شاخص توده بدنی

شاخص خطر افتادن

میانگین نمرات شاخص خطر افتادن در گروه تمرین از 3.98 ± 2.50 در مرحله پیش‌آزمون به 2.31 ± 1.70 در پس‌آزمون کاهش یافت، در حالی که در گروه کنترل تغییر قابل توجهی مشاهده نشد (پیش‌آزمون: 4.48 ± 2.48 ، پس‌آزمون: 4.46 ± 2.42 ، 5.39 ± 2.42). تحلیل واریانس با اندازه‌گیری مکرر نشان داد اثر اصلی زمان ($F(1, 18) = 14.62$ ، $P < 0.001$) و اثر گروه ($F(1, 18) = 6.78$ ، $P = 0.013$) و همچنین اثر تعاملی زمان $\times$ گروه معنادار ($F(1, 18) = 12.95$ ، $P < 0.001$) شد. تحلیل‌های درون‌گروهی نشان داد کاهش نمره خطر افتادن در گروه تمرین از نظر آماری معنادار بود ($P < 0.001$)، در حالی که تغییر در گروه کنترل معنادار نبود ($P > 0.05$).

آزمون تعادل برگ

در آزمون برگ، نمرات گروه تمرین از $45/30 \pm 44/6$ در پیش آزمون به $58/51 \pm 49/2$ در پس آزمون افزایش یافت. در مقابل، گروه کنترل تغییری اندک و غیرمعنی دار داشت (پیش آزمون: $45/85 \pm 45/2$ ، پس آزمون: $46/25 \pm 45$). نتایج تحلیل واریانس با اندازه گیری مکرر نشان داد اثر اصلی زمان ($F_{(1,18)} = 35/27, P < 0/001$)، اثر گروه ($F_{(1,18)} = 86/41, P = 0/006$) و اثر تعاملی زمان $\times$ گروه ($P < 0/001$)، نیز معنادار بود؛ در مقایسه های زوجی، تنها در گروه تمرین، افزایش نمرات آزمون برگ از نظر آماری معنادار بود ($F_{(1,18)} = 27/13, P < 0/001$).

آزمون برخاستن و رفتن

در آزمون TUG، میانگین زمان اجرای آزمون در گروه تمرین از $20/13 \pm 13/8$ ثانیه در پیش آزمون به $10/70 \pm 11/2$ در پس آزمون کاهش یافت، در حالی که گروه کنترل تغییر قابل توجهی نداشت (از $13/05 \pm 13/1$ به $12/85 \pm 13$). نتایج تحلیل واریانس نشان داد اثر زمان ($F_{(1,18)} = 28/56, P < 0/001$)، اثر اصلی گروه ($F_{(1,18)} = 5/92, P = 0/02$) و اثر تعاملی زمان $\times$ گروه نیز معنادار بود ($P < 0/001$)، معنی دار بود. کاهش زمان اجرای آزمون TUG تنها در گروه تمرین معنادار بود ($P < 0/001$) و در گروه کنترل تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P > 0/05$).

بحث و نتیجه گیری

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی در زنان سالمند به طور معنی داری باعث بهبود عملکرد تعادل ایستا و پویا و کاهش خطر افتادن شد. به طوری که میانگین نمره خطر افتادن در گروه تمرین از 4.7 به 3.9 کاهش یافت و این تغییر در مقایسه با گروه کنترل معنی دار بود. همچنین مقایسه درون گروهی داده ها نشان داد که در گروه تمرین کاهش معنی داری در شاخص خطر افتادن نسبت به قبل وجود دارد. نتایج این مطالعه با یافته های هاو و همکاران (۲۰۱۱) که بهبود 23% در شاخص کلی تعادل بایودکس گزارش کردند (۱۴)، مطابقت دارد. همچنین، میزان بهبود در مقیاس برگ با مطالعه تکسریا و همکاران (۱۵) قابل مقایسه است. کاهش زمان TUG نیز با نتایج فراتحلیل شرینگتون و همکاران (۶) همخوانی دارد که نشان داد تمرینات تعادلی می تواند زمان TUG را بهبود دهد. تمرینات تعادلی چندحسی مزایای بسیاری از جمله بهبود قدرت، انعطاف پذیری، زمان عکس العمل، تعادل و کنترل قامت دارد. به دنبال آن، برنامه های تمرینی که باعث تحریک سیستم های حسی مختلف (بینایی، دهلیزی و عمقی) می شود، کنترل تعادل و ثبات قامتی را افزایش می دهد. علاوه بر بهبود عوامل جسمانی، افزایش انعطاف پذیری و قدرت عضلات درگیر در حفظ تعادل با شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی احتمالاً، به دنبال این سازگاری های جسمانی میزان ترس از افتادن را در سالمندان کاهش داده و از طریق افزایش اعتماد به نفس، سالمندان می توانند کنترل بهتری بر قامت خود داشته باشند که این عوامل روی هم رفته می توانند باعث بهبود تعادل ایستا و پویا و کاهش خطر افتادن باشند (۱۶).

بهبود مشاهده شده در شاخص های بایودکس، به ویژه کاهش در شاخص خطر افتادن، نشان دهنده بهبود کنترل پاستچرال و کاهش نوسانات مرکز فشار است. این یافته با نظریه های عصب شناختی موجود همخوانی دارد که بر نقش یکپارچگی حسی در کنترل تعادل تأکید می کنند (۷). بهبود نمره مقیاس برگ نیز نشان دهنده بهبود عملکرد تعادل در فعالیت های روزمره است. این یافته از اهمیت بالینی بسیاری برخوردار است زیرا مقیاس برگ عملکرد تعادل را در شرایط مشابه فعالیت های واقعی زندگی ارزیابی می کند. افزایش نمره این مقیاس می تواند مستقیماً به بهبود کیفیت زندگی و افزایش اعتماد به نفس سالمندان در انجام فعالیت های روزمره منجر شود (۲۲). کاهش زمان TUG نیز یافته مهمی است که نشان دهنده بهبود در ترکیبی از تعادل، قدرت، سرعت و چابکی می باشد. این تست به دلیل شباهت بالا با فعالیت های روزمره، پیش بینی کننده مناسبی از خطر افتادن محسوب می شود (۲۳).

مطالعه فراتحلیل پاپالیا^۱ و همکاران (۲۰۲۰) که شامل مطالعات متعددی بر روی تأثیر تمرینات ورزشی بر تعادل و پیشگیری از افتادن در سالمندان بود، نشان داد که تمرینات ورزشی باعث بهبود معنی دار تعادل ایستا و پویا شده است (۲۴). همچنین پژوهش جدید ژونگ

وای جی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) نشان داد که تمرینات تعادل و قدرت، کنترل قامتی، ثبات راه رفتن و هماهنگی عصبی-عضلانی را بهبود می‌بخشد (۲۵). نی وای^۲ و همکاران در سال ۲۰۲۴ در مطالعه‌ای کنترل شده تصادفی، تأثیر تمرینات تعادل ایستای مبتنی بر حس را بر قابلیت تعادل سالمندان ساکن جامعه بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که تمرینات حسی-محور می‌تواند به طور معنی‌داری تعادل ایستای سالمندان را بهبود بخشد (۲۶). نتایج تحقیق حاضر همچنین نشان داد که شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی بر بهبود عملکرد تعادل عملکردی (آزمون برگ) تأثیر معنی‌داری داشته است. به طوری که میانگین نمره آزمون برگ در گروه تمرین از ۴۴۶ به ۴۹۲ افزایش یافت و این تغییر در مقایسه با گروه کنترل معنی‌دار بود. این یافته می‌تواند نشان‌دهنده این باشد که تمرینات چندحسی قابلیت بالایی در بهبود تعادل عملکردی سالمندان دارد و مدت زمان پروتکل تمرینی تحقیق حاضر کافی بوده که تعادل ایستای سالمندان را تحت تأثیر قرار دهد.

مطالعه سیستماتیک ساداقا^۳ و همکاران در سال ۲۰۲۳ که بر مؤثر بودن مداخلات ورزشی در پیشگیری از افتادن در سالمندان ساکن جامعه متمرکز بود، نشان داد که مداخلات ترکیبی شامل تمرینات مقاومتی و تعادل در کنار یک یا چند نوع تمرین دیگر (هوازی، راه رفتن، وزنه‌برداری) تا ۵۰٪ در کاهش افتادن سالمندان مؤثر است (۲۷). براون و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود نشان دادند که تمرینات تعادل چالش‌برانگیز حسی که به طور خاص سازوکارهای یکپارچگی چندحسی را هدف قرار می‌دهد، باعث بهبود ادراک وضعیت بدن و کاهش خطر افتادن در سالمندان می‌شود. این مطالعه نشان داد که تمرینات مبتنی بر چالش حسی می‌تواند سازوکار وزن‌دهی مجدد چندحسی را در سالمندان مستعد افتادن بهبود بخشد (۲۸).

همچنین مطالعه منظم شربرو و همکاران (۲۰۲۳) که بر کاربرد تمرینات برای پیشگیری از افتادن در سالمندان متمرکز بود، نشان داد که شواهد قطعی وجود دارد که فعالیت ورزشی باعث کاهش افتادن می‌شود و تمرینات تعادل و عملکردی به همراه تمرینات مقاومتی و احتمالاً تای چی، در پیشگیری از افتادن موفق هستند (۲۹). مطالعه دوساهایام و همکاران (۲۰۲۳) در زمینه تمرینات تعادل واکنشی نشان داد که این نوع تمرین به عنوان یک رویکرد نوظهور برای کاهش خطر افتادن در افراد دارای اختلالات تعادل بسیار مؤثر است (۳۰). همچنین نتایج پژوهش حاضر نشان داد که شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی به طور معنی‌داری باعث بهبود تعادل پویا در گروه تمرین در مقایسه با گروه کنترل شد. به طوری که میانگین زمان انجام آزمون TUG از ۱۳۸ ثانیه به ۱۱۲ ثانیه کاهش معنی‌داری یافت. این در حالی است که در گروه کنترل زمان TUG نسبت به قبل تغییر نکرده بود.

مطالعه اخیر یو^۴ و همکاران (۲۰۲۴) که بر بررسی همبسته‌های قشری در تعادل ایستا و پویا در سالمندان متمرکز بود، نشان داد که بررسی سازوکارهای نوروفیزیولوژیکی زیربنای کنترل تعادل ایستا و پویا در سالمندان یک حوزه تحقیقاتی نوظهور است که می‌تواند درک ما از مکانیسم‌های عصبی دخیل در کنترل تعادل را بهبود بخشد (۳۱). همچنین پژوهش سیمندو^۵ و همکاران (۲۰۲۲) نشان داد که پوشش بینایی متقطع، اثربخشی تمرینات تعادل را افزایش می‌دهد، زیرا تعادل پویا مستلزم یکپارچگی عصبی اطلاعات چندحسی برای ارزیابی مداوم وضعیت مکانیک بدن است (۳۲).

بنابراین، این تحقیق با تکیه بر نتایج خود و شواهد پیشین نشان می‌دهد که برنامه‌های تمرینی منظم و هدفمند برای سالمندان می‌تواند از طریق تقویت قدرت و استقامت عضلات، افزایش تراکم استخوان، بهبود انعطاف‌پذیری مفاصل و فعال‌سازی سیستم‌های حسی، به طور چشمگیری عملکرد تعادل را بهبود بخشد. در مطالعه حاضر، اجرای شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی در زنان سالمند موجب کاهش شاخص خطر افتادن، افزایش امتیاز آزمون برگ و کاهش زمان آزمون TUG شد که بیانگر بهبود تعادل ایستا و پویا است. این یافته‌ها تأیید می‌کند که با وجود اجتناب‌ناپذیر بودن برخی تغییرات فیزیولوژیک ناشی از سالمندی، فعالیت جسمانی می‌تواند بخشی از اثرات منفی سن را کاهش داده و عملکرد حرکتی سالمندان را ارتقا دهد.

1. Zhong Y-J
2. Ni Y
3. Sadaqa
4. Ue
5. Symeonidou

نتیجه گیری

به طور کلی براساس یافته‌های تحقیق حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد اگرچه تأثیرات فیزیولوژیک سالمندی به طور گسترده‌ای اجتناب‌ناپذیر قلمداد می‌شود، فعالیت بدنی و ورزش می‌تواند تا حدودی تغییرات سالمندی و حتی تأثیرات نامناسب سن را تقلیل دهد. به نظر می‌رسد، شش هفته تمرینات تعادلی چندحسی در زنان سالمند در کنار ایجاد سازگاری‌های فیزیولوژیکی و جسمانی مؤثر بر تعادل، سیستم عصبی و روانی سالمندان را نیز تحت تأثیر قرار داده و از این طریق می‌تواند متغیرهای تعادل ایستا و پویا و کاهش خطر افتادن در سالمندان را بهبود بخشد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که تمرینات تعادلی چندحسی می‌تواند به عنوان یک مداخله مؤثر و ایمن برای بهبود عملکرد تعادل و کاهش خطر افتادن در سالمندان مورد استفاده قرار گیرد. این تمرینات با تحریک همزمان سیستم‌های حسی مختلف، قابلیت سازگاری و بازسازی عصبی را در سالمندان افزایش داده و موجب بهبود کیفیت زندگی و کاهش عوارض ناشی از افتادن در این قشر آسیب‌پذیر جامعه می‌شود.

پی‌نوشت

تعارض منافع

طبق اعلام نویسنده، هیچ گونه تعارض منافع وجود ندارد.

تاییدیه اخلاق

این تحقیق مورد تایید کمیته اخلاق گروه رفتار حرکتی دانشگاه شهید بهشتی است و پروتکل تمرین در این گروه مورد تایید قرار گرفته است؛ همچنین دارای کد ثبت از مرکز کارآزمایی بالینی ایران به شماره کد [IRCT2013061513672N1](https://doi.org/10.2196/IRCT2013061513672N1) می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش بدون دریافت هرگونه بودجه‌ی مالی انجام شده است

تقدیر و تشکر

از سالمندان شرکت‌کننده در تحقیق و تمام دوستانی که به نوعی ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند کمال سپاسگزاری را داریم.

References

1. Farsi A, Ashayeri H, Mohammadzadeh S. The effect of six weeks balance training program on kinematic of walking in women elderly people. Iranian Journal of Ageing. 2015;9(4):278-87. (In Persian)
2. Beard JR, Officer AM, Cassels AK. The world report on ageing and health. Oxford University Press US; 2016. p. S163-S6.
3. Farrokhnejad Z, Hosseini SS. The Effect of Eight Weeks of Selected Vestibular Exercises on Functional Balance, Walking Speed and Quality of Life of Sedentary Elderly Men. The Journal of Tolooebehdasht. 2024.
4. Organization WH. Step safely: strategies for preventing and managing falls across the life-course. 2021.
5. Florence CS, Bergen G, Atherly A, Burns E, Stevens J, Drake C. Medical costs of fatal and nonfatal falls in older adults. Journal of the American Geriatrics Society. 2018;66(4):693-8.
6. Sherrington C, Fairhall NJ, Wallbank GK, Tiedemann A, Michaleff ZA, Howard K, et al. Exercise for preventing falls in older people living in the community. Cochrane database of systematic reviews. 2019(1).
7. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age and ageing. 2006;35(suppl_2):ii7-ii11.

8. Kwon M-S, Kwon Y-R, Park Y-S, Kim J-W. Comparison of gait patterns in elderly fallers and non-fallers. *Technology and health care*. 2018;26(1_suppl):427-36.
9. Xu F, Soh KG, Chan YM, Bai XR, Qi F, Deng N. Effects of Tai Chi on postural balance and quality of life among the elderly with gait disorders: A systematic review. *Plos one*. 2023;18(9):e0287035.
10. Hamidi N, Azimzadeh E, Marvi Isfahani M, Rezaeian ZS, Copetti F. Contribution of Sensory Systems to Static Balance in Elderly Women following Exercise Training (Part Two: Hippotherapy vs Aquatic Exercise): Quasi-experimental Study. *Journal of Research in Rehabilitation Sciences*. 2023;19(1).
11. Fallah M, Azimzadeh E, Farsi A. The effect of eight weeks of virtual reality-based intervention on postural fluctuation indices in elderly women. *Jundishapur Scientific Medical Journal*. 2025.
12. Gschwind YJ, Kressig RW, Lacroix A, Muehlbauer T, Pfenninger B, Granacher U. A best practice fall prevention exercise program to improve balance, strength/power, and psychosocial health in older adults: study protocol for a randomized controlled trial. *BMC geriatrics*. 2013;13(1):105.
13. Cadore EL, Rodriguez-Manas L, Sinclair A, Izquierdo M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation research*. 2013;16(2):105-14.
14. Howe TE, Rochester L, Neil F, Skelton DA, Ballinger C. Exercise for improving balance in older people. *Cochrane database of systematic reviews*. 2011(11).
15. Teixeira CVL, Gobbi S, Pereira JR, Vital TM, Hernández SSS, Shigematsu R, et al. Effects of square-stepping exercise on cognitive functions of older people. *Psychogeriatrics*. 2013;13(3):148-56.
16. Zhang S-l, Liu D, Yu D-z, Zhu Y-t, Xu W-c, Tian E, et al. Multisensory exercise improves balance in people with balance disorders: a systematic review. *Current medical science*. 2021;41(4):635-48.
17. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*. 1975;12(3):189-98.
18. Seyedian M, Fallah M, Norouzian M, Nejat S, Delavar A, Ghasemzadeh H. Validity of the farsi version of mini-mental state examination. 2007.
19. Berg K. Measuring balance in the elderly: Development and validation of an instrument. 1992.
20. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American geriatrics Society*. 1991;39(2):142-8.
21. Farsi A, Ashayeri H, Mohammadzadeh S. The effect of balance training on hip, knee, and ankle joints Kinematic compatibility of older women during walking. *J Rehab Med*. 2016;5(1):135-44.
22. Tyagi S, Perera S, Brach JS. Balance and mobility in community-dwelling older adults: Effect of daytime sleepiness. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2017;65(5):1019-25.
23. Alghwiri AA, Whitney SL. Balance and falls in older adults. *Guccione's Geriatric Physical Therapy E-Book*. 2019:220.
24. Papalia GF, Papalia R, Diaz Balzani LA, Torre G, Zampogna B, Vasta S, et al. The effects of physical exercise on balance and prevention of falls in older people: A systematic review and meta-analysis. *Journal of clinical medicine*. 2020;9(8):2595.
25. Zhong Y-J, Meng Q, Su C-H, editors. Mechanism-driven strategies for reducing fall risk in the elderly: a multidisciplinary review of exercise interventions. *Healthcare*; 2024: MDPI.
26. Ni Y, Li S, Lv X, Wang Y, Xu L, Xi Y, et al. Efficacy of sensory-based static balance training on the balance ability, aging attitude, and perceived stress of older adults in the community: a randomized controlled trial. *BMC geriatrics*. 2024;24(1):49.
27. Sadaqa M, Németh Z, Makai A, Prémusz V, Hock M. Effectiveness of exercise interventions on fall prevention in ambulatory community-dwelling older adults: a systematic review with narrative synthesis. *Frontiers in public health*. 2023;11:1209319.
28. Allison LK, Kiemel T, Jeka JJ. Sensory-challenge balance exercises improve multisensory reweighting in fall-prone older adults. *Journal of neurologic physical therapy*. 2018;42(2):84-93.
29. Dyer SM, Suen J, Kwok WS, Dawson R, McLennan C, Cameron ID, et al. Exercise for falls prevention in aged care: systematic review and trial endpoint meta-analyses. *Age and ageing*. 2023;52(12):afad217.
30. Devasahayam AJ, Farwell K, Lim B, Morton A, Fleming N, Jagroop D, et al. The effect of reactive balance training on falls in daily life: an updated systematic review and meta-analysis. *Physical therapy*. 2023;103(1):pzac154.
31. Ue S, Nakahama K, Hayashi J, Ohgomori T. Cortical activity associated with the maintenance of balance during unstable stances. *PeerJ*. 2024;12:e17313.

32. Symeonidou E-R, Ferris DP. Intermittent visual occlusions increase balance training effectiveness. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022;16:748930.