

Research Paper



Effect of Linear Versus Nonlinear Pedagogy on the Improvement and Persistence of Postural Control in Older Women

Samira Soleimani¹ , *Mahmoud Sheikh¹ , Davood Homanian¹ , Elham Shirzad Araghi² , Masoumeh Shojaei³

1. Department of Behavioral and Cognitive Sports Sciences, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Department of Sports Biomechanics, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Department of Motor Behavior, Faculty of Sport Sciences, Alzahra University, Tehran, Iran.



Citation Soleimani S, Sheikh M, Homanian D, Shirzad Araghi E, Shojaei M. [Effect of Linear Versus Nonlinear Pedagogy on the Improvement and Persistence of Postural Control in Older Women (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(2):200-213. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3306>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3306>

ABSTRACT

Background and Aims The nonlinear training method provides a theoretical framework for pedagogical principles that can be used to estimate nonlinear changes in motor learning. The present study aimed to compare the effects of linear and nonlinear training on the improvement and maintenance of postural control indices in older women.

Methods The present study was quasi-experimental with a pretest-posttest and follow-up design. Forty-five older women aged 60-75 were randomly divided into nonlinear training, linear training, and control. Subjects in the experimental groups received training for four weeks, four 30-minute sessions per week. During this time, the control group only performed their usual daily activities. One day before and after the intervention and one week later, the subjects performed a static balance task on a force plate.

Results The results showed that the scores for anterior-posterior displacement, lateral displacement, and speed in the linear and nonlinear training groups were significantly reduced in the posttest and follow-up phases compared with the pretest ($P < 0.0005$). So, postural oscillations were reduced, and static balance improved in both groups, but no significant difference was found between the above scores in the posttest and retention phases ($P < 0.0005$). These results indicate that the improvement in static balance is sustained in both the linear and nonlinear training groups. The nonlinear training stimulation group also had significantly fewer postural oscillations than the linear training and control groups at the posttest and retention phases ($P < 0.0005$).

Conclusion The flexible, adaptable, and comprehensive nature of nonlinear training, compared to the repetitive and predictable structure of linear training, makes it more effective in training balance in older people.

Keywords Linear pedagogy, Nonlinear pedagogy, Posture control, Balance, Aging

Received: 27 Nov 2024

Accepted: 12 Jan 2025

Available Online: 22 May 2025

* Corresponding Author:

Mahmoud Sheikh, Professor.

Address: Department of Behavioral and Cognitive Sports Sciences, Faculty of Sports and Health Sciences, University of Tehran, Tehran, Iran.

Tel: +98 (912) 3104602

E-Mail: msheikh@ut.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);
This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

Extended Abstract

Introduction

The natural aging process leads to a decline in postural control, resulting in the reorganization of sensory-motor integration to maintain balance and prevent falls. However, this reorganization is often incomplete, disrupting balance control mechanisms and leading to suboptimal corrective responses. Consequently, the likelihood of losing balance and experiencing falls increases. Research evidence indicates that balance deficiencies associated with aging are a significant factor contributing to the risk of falls in older people. The critical importance of this issue has prompted many researchers to design various intervention programs to improve balance in older adults. However, findings on the effectiveness of these programs remain inconsistent. One possible reason for this variability is the differences in the content and training methods.

Furthermore, only a limited number of studies have employed theories or theoretical frameworks in the design of their interventions, which may contribute to the scattered findings. The nonlinear pedagogy method provides a theoretical framework for training principles that can be used to estimate nonlinear changes in motor learning. The present study aimed to compare the effects of linear and nonlinear pedagogy on postural control indices in older women.

Methods

This study was a quasi-experimental research project designed to meet its specific objectives. Given the implementation timeline, the research was cross-sectional and applied in nature, as it aimed to provide practical insights based on the results. The study employed a repeated-measures design, including pre-test, post-test and retention stages. The study included 45 older women aged 60 to 80 years, selected through convenience sampling based on the inclusion criteria. Sample size was determined using G*Power software, which calculated power requiring at least 14 participants per group. To account for potential dropouts, 15 participants were allocated to each of the three groups: Linear training, nonlinear training, and control. Participants were randomly assigned to these groups. The inclusion criteria for the study included the following: Female gender, age range of 60 to 80 years, ability to walk independently, normal vision, ability to follow simple instructions, no memory impairment (score >24 on the mini-mental state examination), and no diseases or medications affecting balance and movement.

This field-based study included pre-test, intervention, post-test, and follow-up stages.

The participants provided written and verbal consent and were briefed about the study objectives and procedures. During the pre-test, participants performed a two-legged standing task on the force platform to familiarize themselves with the equipment and protocol. They then completed the pre-test by standing barefoot on the force plate and focusing on a fixed point for maximum balance effort. The intervention phase included the following parts: The linear training group participants performed prescribed, repetitive exercises during each session. The instructor detailed the proper execution of balance and walking skills, followed by participant practice. In the nonlinear training group, the exercises involved constraint manipulations, such as changes in the support surface's level, diameter, height, task difficulty, and vision conditions (eyes open or closed). These constraints were systematically introduced to challenge the participants' balance. The intervention lasted four weeks. It should be noted that during this period, the control group carried out their usual daily activities. The post-test was conducted immediately after the last training session, and the follow-up phase was conducted after one week of no training. In these phases, the participants performed the balance skill on the force gauge plate. Each test was performed three times according to the instructions.

Results

The combined analysis of variance showed that the main effect of time, group, and interaction effect were significant for all research variables ($P < 0.0005$). Nonlinear and linear training significantly improved anterior-posterior displacement, lateral displacement, and speed in the post-test and follow-up compared to the pre-test ($P < 0.0005$). Still, no significant difference was found between the post-test and follow-up stages ($P < 0.0005$), which indicated that the improvement in anterior-posterior displacement was maintained in both the linear and nonlinear pedagogy groups. Also, in both the post-test and retention stages, the nonlinear pedagogy stimulation group had significantly better scores in all variables than the linear training and control groups ($P < 0.0005$).

Conclusion

Balance depends on the integration of sensory, motor, and cognitive systems. Nonlinear training engages these systems simultaneously by requiring participants to solve problems and adjust rapidly. This holistic approach fosters stronger neural connections and enhances balance

mechanisms, which is particularly beneficial for older adults, whose sensory and motor responses may already decline. Unlike traditional methods focusing on mastering a single technique, nonlinear training emphasizes exploring various motor solutions. This strategy enables older adults to identify the most efficient ways to maintain balance, resulting in improved motor learning and increased resilience to unexpected disturbances. Nonlinear training also emphasizes adaptability by employing varied and unpredictable training conditions. These conditions encourage older adults to experience and adapt to a broader range of motor challenges, closely mirroring real-life scenarios. This variability enhances their ability to regulate balance dynamically in both static and dynamic contexts. By manipulating constraints and creating appropriate interactions between them through diverse exercises at different levels, nonlinear training facilitates skill development, improves performance, and encourages older adults to generate a wide range of effective motor solutions for maintaining balance. Consequently, this approach leads to meaningful learning and improved balance retention.

Ethical Considerations

Compliance with ethical guidelines

This study was approved by the Ethics Committee of [Islamic Azad University, Sari Branch](#), Sari, Iran (Code: IR.IAU.SARI.REC.1403.268). All ethical principles were considered in this study including the informed consent of the participants, the confidentiality of their information, and their right to leave the study.

Funding

This article was extracted from the PhD thesis of Samira Soleimani, at the Faculty of Physical Education and Sport Sciences, [University of Tehran](#), Iran. This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Authors' contributions

All authors contributed equally to the conception and design of the study, data collection and analysis, interpretation of the results, and drafting of the manuscript. Each author approved the final version of the manuscript for submission.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

The authors would like to thank the participants and their families for their cooperation in this study.



مقاله پژوهشی

تأثیر آموزش خطی و غیرخطی بر بهبود و ماندگاری شاخص‌های کنترل پاسچر در زنان سالمند

سمیرا سلیمانی^۱، *محمود شیخ^۱، داود حومنیان^۱، الهام شیرزاد عراقی^۲، معصومه شجاعی^۳

۱. گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲. گروه بیومکانیک ورزشی، دانشکده علوم ورزش و بهداشت، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۳. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه الزهراء، تهران، ایران.



Citation Soleimani S, Sheikh M, Homanian D, Shirzad Araghi E, Shojaei M. [Effect of Linear Versus Nonlinear Pedagogy on the Improvement and Persistence of Postural Control in Older Women (Persian)]. *Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*. 2025; 14(2):200-213. <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3306>

doi <https://dx.doi.org/10.32598/SJRM.14.2.3306>

چکیده

مقدمه و اهداف روش آموزش غیرخطی یک چارچوب نظری را برای اصول آموزشی فراهم می‌کند که می‌تواند برای تخمین تغییرات غیرخطی یادگیری حرکتی مورد استفاده قرار گیرد. هدف از مطالعه حاضر مقایسه تأثیر آموزش خطی و غیرخطی بر بهبود و ماندگاری شاخص‌های کنترل پاسچر در زنان سالمند است.

مواد و روش‌ها پژوهش حاضر از نوع نیمه‌آزمایشی و از نظر هدف کاربردی با طرح پیش‌آزمون پس‌آزمون و یادداری بود. بدین‌منظور ۴۵ نفر از زنان سالمند ۶۰ تا ۷۵ ساله به‌طور تصادفی به ۳ گروه آموزش غیرخطی، آموزش خطی و گروه کنترل تقسیم شدند. آزمودنی‌های گروه‌های تجربی به مدت ۴ هفته و هر هفته ۴ جلسه ۳۰ دقیقه‌ای تحت آموزش قرار گرفتند. در این مدت گروه کنترل فقط به اجرای فعالیت‌های معمول و روزانه خود پرداختند. یک روز قبل و بعد از مداخله و ۱ هفته بعد، آزمودنی‌ها به انجام تکلیف تعادل ایستا روی صفحه نبروسنج پرداختند.

یافته‌ها نتایج نشان داد نمرات جابه‌جایی قدامی خلفی، جابه‌جایی طرفی و سرعت در گروه آموزش خطی و غیرخطی کاهش معنی‌داری در پس‌آزمون و یادداری نسبت به پیش‌آزمون داشت ($P < 0.005$)؛ بدین معنی که نوسانات قدامی کاهش یافته تعادل ایستا در هر دو گروه بهبود یافته است، اما بین نمرات مذکور در مرحله پس‌آزمون با یادداری تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($P < 0.005$). این نتایج حاکی از ماندگاری بهبود تعادل ایستا در هر دو گروه آموزش خطی و غیرخطی شد. همچنین هم در مرحله پس‌آزمون و هم در مرحله یادداری، گروه تحریک آموزش غیرخطی در مقایسه با گروه آموزش خطی و کنترل به‌طور معنی‌داری نوسانات قدامی کمتری داشتند ($P < 0.005$).

نتیجه‌گیری ماهیت منعطف، انطباق‌پذیر و جامع آموزش غیرخطی، در مقایسه با ساختار تکراری و قابل پیش‌بینی آموزش خطی، آن را در آموزش تعادل در میان سالمندان مؤثرتر می‌کند.

کلیدواژه‌ها آموزش خطی، آموزش غیرخطی، کنترل قامت، تعادل، سالمندی

تاریخ دریافت: ۰۷ آذر ۱۴۰۳

تاریخ پذیرش: ۲۳ دی ۱۴۰۳

تاریخ انتشار: ۰۱ خرداد ۱۴۰۴

* نویسنده مسئول:

دکتر محمود شیخ

نشانی: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم ورزشی و تندرستی، گروه علوم رفتاری و شناختی ورزشی.

تلفن: ۰۲۱۰۴۶۰۲ (۹۱۲) ۹۸+

رایانامه: msheikh@ut.ac.ir



Copyright © 2025 The Author(s);

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY-NC: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode.en>), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and is not used for commercial purposes.

مقدمه و اهداف

محدودیت‌ها) فرد، محیط و تکلیف شکل می‌گیرد [۱۳]. در این رویکرد برای یادگیری حرکتی، کنترل‌کننده مرکزی (مثل مربی) وجود ندارد تا تعیین کند یک رفتار چگونه باید انجام شود. چو و همکاران اصطلاح «روش آموزش غیرخطی» را معرفی کردند تا مربیان از این مفاهیم به‌طور هم‌زمان بهره‌مند شوند. این روش به دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها) کلیدی تأکید دارد تا به یادگیرنده کمک کند راه‌حل‌های حرکتی را کشف کند [۱۴]. روش آموزش غیرخطی یک چارچوب نظری برای اصول آموزشی فراهم می‌کند که می‌تواند برای تخمین تغییرات غیرخطی در یادگیری حرکتی مورد استفاده قرار گیرد و به مربیان انگیزه می‌دهد تا محدودیت‌ها، تمرکز توجه و متغیرهای کارکردی را در طراحی مداخلات مؤثر ترکیب کنند. این روش به اهمیت طراحی محیط آموزشی تأکید دارد و معتقد است یادگیری باید در یک محیط واقعی و براساس بازی صورت گیرد [۱۵].

تحقیقات متعددی در حوزه یادگیری حرکتی و اکتساب مهارت‌های حرکتی انجام شده است. به‌طور مثال، گالاتی و همکاران، لی و همکاران و رابرتس و همکاران نشان دادند که آموزش غیرخطی یک روش مؤثر برای آموزش مهارت‌های حرکتی تنیس و افزایش مهارت تصمیم‌گیری است [۱۶-۱۸]. موسوی و همکاران نیز اثربخشی آموزش غیرخطی را در اکتساب مهارت سرویس بک‌هند کوتاه بدمینتون نشان دادند [۱۹]. ریچارد و همکاران و مرزونی و همکاران نیز نشان دادند تمرینات خلاقانه مرتبط با اصول آموزش غیرخطی باعث بهبود خلاقیت حرکتی و شناختی کودکان می‌شود [۲۰، ۲۱]. در بررسی آثار آموزش غیرخطی بر تعادل، کردی نشان داد این نوع آموزش به بهبود تعادل ایستا و پویا در دانش‌آموزان دختر ۷ تا ۹ سال کمک می‌کند [۲۲].

در رابطه با اثر آموزش غیرخطی بر تعادل سالمندان فقط یک تحقیق یافت شد. در این تحقیق غیب‌الهی و همکاران نشان دادند یک مداخله ۸ هفته‌ای مبتنی بر دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها) موجب بهبود شاخص‌های تعادل سالمندان سالم نسبت به گروه کنترل شد [۲۳]. باتوجه به اینکه در این تحقیق فقط ۲ گروه آموزش مبتنی بر دستکاری قیود (آموزش غیرخطی) و گروه کنترل وجود داشت، نمی‌توان به این سؤال پاسخ داد که آیا بهبود تعادل در گروه آزمایش حاصل آموزش بوده است یا دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها)؛ بنابراین یکی از محدودیت‌های این تحقیق عدم وجود گروه آموزش خطی بدون دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها) بود. همچنین تأثیر آموزش غیرخطی بر ماندگاری تعادل سالمندان تاکنون مشخص نشده است و ممکن است این تأثیر باتوجه به نیازهای تکلیف، سن و جنس شرکت‌کنندگان و سطح مهارت شرکت‌کنندگان، متفاوت باشد [۲۱]؛ بنابراین لزوم تحقیقات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. تحقیق حاضر به بررسی اثر آموزش غیرخطی و خطی بر بهبود و ماندگاری شاخص‌های کنترل پاسچر در زنان سالمند می‌پردازد.

سالمندی^۱ بخشی از فرایند زیستی است که تمام موجودات زنده، از جمله انسان را دربر می‌گیرد. سازمان جهانی بهداشت سالمندی را به‌عنوان فرایند انباشته شدن تغییرات فیزیکی، روانی و اجتماعی در فرد در طول زمان تعریف می‌کند. سالمندی تنها یک پدیده بیولوژیکی نیست، بلکه تحت تأثیر عوامل اجتماعی، محیطی و سبک زندگی نیز قرار دارد [۱]. در این مرحله تغییرات زیستی با کاهش نیروی حیاتی و تطابقی، یعنی کاهش ظرفیت انطباق فرد با شرایط ناگهانی و ناتوانی در ایجاد تعادل مجدد همراه بوده و به تدریج دگرگونی‌هایی را در ساختار و عملکرد اعضای مختلف بدن فرد به وجود می‌آورد [۲، ۳]. از طرفی دیگر، با پیشرفت بهداشت و ارائه مراقبت‌های پیشگیرانه و کنترل بیماری‌های واگیردار، طول عمر انسان بیشتر شده است؛ به‌طوری‌که شمار سالمندان در کشورهای پیشرفته و در حال توسعه و در کشور ایران به‌شدت در حال افزایش است [۴، ۵]. با افزایش سن، سیستم‌های اصلی حسی درگیر در تعادل، یعنی سیستم بینایی، حسی و غیره افول می‌کنند که به موجب آن بدن قادر به شناسایی انحرافات مرکز ثقل و تولید پاسخ‌های عضلانی مناسب و سریع برای اصلاح وضعیت قامت نخواهد بود [۶]. کاهش در کنترل قامت به علت روند طبیعی پیری منجر به سازماندهی مجدد ادغام حسی حرکتی برای حفظ تعادل و جلوگیری از افتادن می‌شود. این سازماندهی مجدد به‌صورت ناقص بوده و باعث اختلال در مکانیسم‌های کنترل تعادل و اصلاحات کمتر از حد مطلوب می‌شود و در نهایت احتمال از دست دادن تعادل و افتادن را افزایش می‌دهد [۷]. شواهد پژوهشی به‌خوبی نشان می‌دهد نارسایی‌های تعادلی ناشی از فرایند افزایش سن تا حد زیادی در خطر افتادن سالمندان دخالت دارند [۸]. اهمیت زیاد این موضوع سبب جلب توجه بسیاری از محققان به تدوین برنامه‌های مختلف مداخله‌ای برای توسعه تعادل سالمندان شده است. اما یافته‌های پراکنده‌ای در مورد میزان اثربخشی این برنامه‌ها وجود دارد. به نظر می‌رسد محتوا و روش‌های تمرینی استفاده‌شده، یکی از دلایل این پراکندگی باشد. علاوه بر این تعداد محدودی از تحقیقات در طراحی مداخلات، از نظریات یا چارچوب نظری استفاده کرده‌اند [۹].

مداخلات مختلفی برای توانبخشی عصبی وجود دارد [۱۰، ۱۱]. در این میان روش آموزش غیرخطی یکی از مداخلات مبتنی بر نظریه سیستم‌های پویا جهت بهبود مهارت‌ها و افزایش عملکردی حرکتی است [۱۲]. مطابق دیدگاه سیستم‌های پویا، فرایند یادگیری یک پیشروی خطی و مداوم نیست، بلکه شامل تغییرات ناگهانی و غیرپیوسته در طول زمان است. یادگیرنده باید یک سیستم پویای غیرخطی در نظر گرفته شود که شامل اجزای زیادی هستند که برای اجرای یک الگوی ثابت بر هم اثر می‌گذارند. راه‌حل عملیاتی از طریق تعامل بین قیود (شرایط و

1. Ageing

مواد و روش‌ها

دستگاه صفحه نیرو^۳

از دستگاه صفحه نیرو شرکت دانش سالار ایرانیان (کشور ایران) با اندازه ۴۰ در ۶۰ سانتی‌متر برای اندازه‌گیری کنترل پاسچر شرکت‌کنندگان استفاده شد. تحلیل داده‌های کینتیک (کنترل پاسچر) توسط نرم‌افزار مطلب نسخه ۲۰۱۴ انجام گرفت و باتوجه به فرمول‌های موجود انحراف معیار جابه‌جایی مرکز فشار در راستای محور قدامی خلفی، مرکزی جانبی و سرعت جابه‌جایی مرکز فشار (میانگین سرعت کل) محاسبه شد. برای اندازه‌گیری کنترل پاسچر در تحقیق حاضر از آزمودنی‌ها خواسته شد به صورت پای‌برهنه و به صورت کاملاً آزاد و آرام روی صفحه نیرو سنج به مدت ۳۰ ثانیه قرار بگیرند و در حالتی که باتوجه به نشانه موردنظر که در روی دیوار نصب شده است، تعادل خود را حفظ کنند [۲۷].

روش اجرا

در ابتدا از شرکت‌کنندگان رضایت‌نامه آگاهانه کتبی کسب شد. همچنین شرکت‌کنندگان به صورت شفاهی تمایل خود را برای شرکت در پژوهش اعلام کردند. سپس شرکت‌کنندگان با اهداف تحقیق و نحوه امتیازدهی و اجرای آزمون‌های موردنظر آشنا شدند.

در ابتدا شرکت‌کنندگان برای آشنایی با تکلیف موردنظر به اقدام به اجرای ایستادن دو پا با پای برهنه روی صفحه نیرو کردند. سپس از آن‌ها پیش‌آزمون به عمل آمد. در مرحله پیش‌آزمون از شرکت‌کنندگان خواسته شد بر روی صفحه نیرو سنج بایستند و بینایی خود را در نقطه روبه‌روی آن‌ها که در فاصله دومتری از آن‌ها قرار دارد متمرکز کنند و نهایت تلاش خود را برای تعادل بهتر بکنند.

در گروه آموزش خطی شرکت‌کنندگان در هر جلسه به اجرای تمرینات طراحی شده مطابق **جدول شماره ۱** پرداختند. در این روش آموزش، مربی به آموزش صحیح اجرای تکالیف تعادل و راه رفتن، شامل تعادل روی ۱ پا، ایستادن پست سر هم، ایستادن با ۲ پا چسبیده به هم، راه رفتن پشت سر هم، چرخش پشت سر هم، ۱۸۰ درجه، راه رفتن و نگاه کردن، ایستادن بر روی تخته تعادل، راه رفتن روی چوب موازنه و راه رفتن زمان‌دار پرداخت. شرح نحوه اجرای هر کدام از آزمون‌ها در **جدول شماره ۱** بیان شده است. سپس شرکت‌کنندگان مطابق با تمرینات مربی فقط به اجرای صحیح مهارت مورد نظر در هر جلسه پرداختند [۱۸]. در گروه آموزش غیرخطی علاوه بر اینکه مربی نحوه اجرای صحیح مهارت را آموزش می‌دهد، شرایط مختلف تکلیف را نیز مطابق جدول شماره ۱ دستکاری می‌کند. در این روش، دستکاری‌های مربوط به شرایط مختلف تکالیف تعادلی و راه رفتن شامل تغییر در سطح اتکا، تغییر در میزان قطر سطح اتکا، تغییر در ارتفاع

این پژوهش، باتوجه به اهداف پیش‌بینی‌شده، از نوع تحقیقات نیمه‌تجربی و همچنین باتوجه به طول زمان اجرای تحقیق از نوع مقطعی و به لحاظ استفاده از نتایج به‌دست‌آمده، کاربردی بود. روش گردآوری مطالعه حاضر به روش میدانی بود. طرح تحقیق به صورت اندازه‌گیری تکراری (مراحل پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری) بود. مطالعه حاضر شامل مراحل پیش‌آزمون، مداخله (تمرین)، پس‌آزمون و یادداری (فالو آپ) بود. یادداری یکی از شاخص‌های مهم برای استنباط یادگیری مهارت‌های حرکتی، از دیدگاه متخصصان است در این مرحله پس از یک دوره بی‌تمرینی از آزمودنی‌ها خواسته می‌شود تکلیف موردنظر را دوباره مطابق مراحل پیش‌آزمون و پس‌آزمون اجرا کنند.

شرکت‌کنندگان

جامعه آماری این تحقیق تمامی زنان سالمند ۶۰ تا ۸۰ سال شهرستان تهران بودند. شرکت‌کنندگان در این مطالعه ۴۵ زن سالمند با دامنه سنی ۶۰ تا ۸۰ سال بودند که به صورت دردسترس و براساس معیارهای ورود به تحقیق انتخاب شدند. انتخاب این تعداد نمونه توسط نرم‌افزار جی‌پاور [۲۴] با اندازه اثر ۰/۲۵ توان آماری ۰/۹۵ و سطح معنی‌داری ۰/۰۵، ۴۴ نفر محاسبه شد که در مطالعه حاضر ۱۵ شرکت‌کننده برای هر گروه در نظر گرفته شد. شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی در ۳ گروه آموزش خطی، آموزش غیرخطی و کنترل قرار گرفتند.

معیارهای ورود

۱. جنسیت همه آزمودنی‌ها زن بود. ۲. سن همه آزمودنی‌ها ۶۰ تا ۸۰ سال بود. ۳. آزمودنی‌ها توانایی راه رفتن به طور مستقل را داشتند. ۴. آزمودنی‌ها دارای دید طبیعی بودند. ۵. آزمودنی‌ها توانایی دنبال کردن دستورات ساده را داشتند. ۶. مبتلا نبودن به دمانس حافظه (کسب نمره بیش از ۲۴ در آزمون کوتاه وضعیت ذهنی) [۲۵]. ۷. نداشتن بیماری یا مصرف داروهای اثرگذار بر تعادل و حرکت [۲۶].

ابزار اندازه‌گیری

فرم رضایت آگاهانه

از این فرم جهت جلب رضایت شرکت‌کنندگان برای شرکت در این مطالعه استفاده شد.

پرسش‌نامه تندرستی، فعالیت بدنی و سلامت پزشکی

از این پرسش‌نامه جهت مشخصات فردی، سابقه خانوادگی، اطلاعات دارویی، آسیب و صدمات و اطلاعات بیماری شرکت‌کنندگان استفاده شد.

3. Force Plat

2. Mini-mental state examination (MMSE)

جدول ۱. برنامه طراحی شده تمرینات تعادلی

تکلیف	نحوه اجرای صحیح برای هر دو گروه آموزش خطی و غیرخطی	دستکاری شرایط برای گروه آموزش غیرخطی
تعادل روی یک پا	۱ بار با پای راست و ۱ بار با پای چپ خود ایستاده و حداکثر زمانی که در ۳۰ ثانیه در حالت تعادل بودید را ثبت کنید و جلو را نگاه کنید.	۱. سطح سخت و سطح نرم ۲. محدوده سطح اتکا (بدون خط، ۲/۵ سانتی متر قطر و ۱۰ سانتی متر ارتفاع) ۳. چشم باز و چشم بسته
ایستادن پشت سرهم	یک پا را در مقابل پای دیگر قرار داده به صورتی که پاشنه پای جلو به انگشتان پای عقب چسبیده باشد، به مدت ۳۰ ثانیه تعادل را در این وضعیت حفظ می کنید.	
ایستادن با ۲ پا چسبیده به هم	پاها را به همدیگر بچسبانید. به مدت ۳۰ ثانیه ایستاده و تعادل خود را حفظ کنید.	
ایستادن تخته تعادل	با ۲ پا روی تخته تعادل می ایستید و سعی کنید در حداکثر زمان تعادل خود را حفظ کنید.	
راه رفتن پشت سر هم	یک خط به طول ۸ متر روی زمین رسم کنید. بر روی خط به سمت جلو حرکت کنید به صورتی که پاشنه پای جلو به انگشت شست پای عقب چسبیده باشد. این خط هم به صورت مستقیم و هم به صورت خمیده است.	
چرخش پشت سرهم ۱۸۰ درجه	پاشنه را از زمین بلند کرده و چرخش را انجام دهید. به صورتی که صورت ما در جهت مخالف حالت شروع قرار بگیرد. پاشنه را گذاشته و در این حالت تعادل را حفظ کنید.	۱. سطح سخت و سطح نرم ۲. محدوده سطح اتکا (بدون خط، ۲/۵ سانتی متر قطر و ۱۰ سانتی متر ارتفاع) ۳. چشم باز و چشم بسته
راه رفتن و نگاه کردن	بر روی خط مستقیم حرکت کنید. در ۲ متری سیل که قرار گرفتید به آن نگاه کنید و همچنان تا آخر مسیر به آن خیره شوید.	
راه رفتن روی چوب موازنه	سعی کنید روی چوب موازنه به طول ۳ متر با حداکثر تعادل و نیفتادن راه بروید.	
راه رفتن زمان دار	آزمودنی ها بر روی صندلی دسته دار می نشینند و با فرمان رو بلند می شوند و فاصله ۳ متری تا مخروط را راه می روند و سپس برمی گردند و روی صندلی می نشینند.	

طب توانبخش

و بین گروهی متغیرهای مربوط به کنترل پاسچر از آزمون تحلیل واریانس با اندازه های تکراری (تحلیل واریانس مرکب) استفاده شد. تجزیه و تحلیل داده ها در سطح معناداری $P < 0.05$ و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ انجام رفت.

یافته ها

شاخص های آماری توصیفی متغیرهای سن، قد و وزن در **جدول شماره ۲** ارائه شده است. نتایج تحلیل واریانس یک راهه نشان داد بین گروه های مختلف در ویژگی های جمعیت شناختی تفاوت معنی داری وجود نداشت. بنابراین گروه ها همگن بودند.

در **جدول شماره ۳** شاخص های آماری مربوط به متغیرهای پژوهش در گروه های مختلف طی مراحل مختلف آزمون نشان داده شده است.

نتایج آزمون شاپیرو ویلیک نشان داد برای تمام متغیرها، تمامی مراحل سطح معنی داری بزرگ تر از 0.05 است. در نتیجه داده ها از ویژگی نرمال بودن تبعیت می کنند. برای تمامی متغیرها قبل از انجام آزمون تحلیل واریانس با اندازه گیری های تکراری آزمون برابری ماتریس کوواریانس بررسی شد و باتوجه به عدم سطح معنی داری آزمون باکس، این پیش فرض برقرار بود. همچنین پیش فرض دوم این آزمون که اصل تقارن مرکب است، باتوجه به عدم معنی دار بودن آزمون کرویت موخلی نیز

سطح اتکا، دشواری تکلیف و تغییر در شرایط بینایی (چشم باز و بسته) انجام گرفت. مداخله به مدت ۴ هفته و هر هفته ۴ جلسه و هر جلسه ۳۰ دقیقه به طول انجامید. در این مدت گروه کنترل به اجرای فعالیت های معمول و روزانه خود پرداختند. مرحله پس آزمون دقیقاً پس از آخرین جلسه تمرینی و مرحله یادداری بعد از ۱ هفته بی تمرینی اجرا شد. در این مراحل شرکت کنندگان مهارت تعادل روی صفحه نیروسنج را اجرا کردند. هر آزمون مطابق با دستورالعمل ۳ بار اجرا شد.

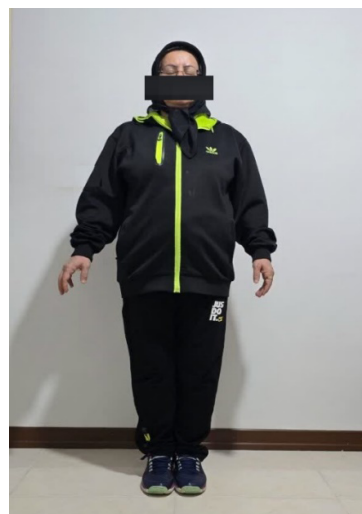
در **تصویر شماره ۱** تصاویری از اجرای تمرینات تعادلی توسط یکی از آزمودنی ها ارائه شده است. طبق **تصویر شماره ۱** قسمت ۱ و ۲ آزمودنی به ترتیب تکلیف ایستادن با ۲ پا چسبیده به هم را با چشمان باز و با چشمان بسته اجرا کردند. طبق **تصویر شماره ۱** قسمت ۳ و ۴ آزمودنی به ترتیب تکالیف تعادل روی یک پا و راه رفتن پشت سر هم را اجرا کرد.

روش آماری

قبل از انتخاب روش آماری، از آزمون شاپیرو ویلیک برای طبیعی بودن توزیع داده ها، از آزمون لون برای بررسی همگنی واریانس ها و از آزمون کرویت موخلی برای بررسی اصل تقارن مرکب داده ها استفاده شد. به منظور تجزیه و تحلیل اطلاعات و آزمون فرضیه های تحقیق و برای بررسی تغییرات درون گروهی



۱



۲



۳



۴

طب توانبخشی

تصویر ۱. تصاویری از اجرای تمرینات تعادلی توسط آزمودنی‌ها

کاهش معنی‌دار جابه‌جایی قدامی خلفی در پس‌آزمون و یادداری نسبت به پیش‌آزمون شد ($P < 0/001$)، اما بین مراحل پس‌آزمون با یادداری تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($P \geq 0/05$) که این نتایج حاکی از ماندگاری بهبود جابه‌جایی قدامی خلفی در هر دو گروه آموزش خطی و غیرخطی شد.

بعد از بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی به بررسی تفاوت بین‌گروهی در هریک از مراحل آزمون پرداخته شد. در مرحله پیش‌آزمون بین ۳ گروه شرکت‌کننده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P \geq 0/05$)، اما هم در مرحله پس‌آزمون و هم در مرحله یادداری، شرکت‌کنندگان گروه تحریک آموزش غیرخطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه آموزش خطی و کنترل به‌طور معنی‌داری نمرات پایین‌تری

برقرار بود. علاوه‌براین‌ها پیش از بررسی اثرات بین‌گروهی، برای برابری واریانس‌های خطا از آزمون لون استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد آزمون F برای هیچ‌یک از عامل‌های درون‌گروهی معنی‌دار نیست و این نشان می‌دهد مفروضه همگنی واریانس در بین گروه‌های متغیر مستقل برقرار است.

جابه‌جایی قدامی خلفی

همان‌طور که در **جدول شماره ۴** مشاهده می‌شود، یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری نشان داد اثر اصلی زمان اندازه ($P < 0/001$)، اثر اصلی گروه ($P < 0/001$) و تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه ($P < 0/001$) معنادار است. نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی نشان داد آموزش غیرخطی و خطی باعث

جدول ۲. شاخص‌های آماری توصیفی متغیرهای سن، قد و وزن ($n=15$)

متغیر	گروه	میانگین $\pm$ انحراف معیار	P
سن (سال)	آموزش غیرخطی	۶۳/۸۰ $\pm$ ۲/۲۰	۰/۰۹۸
	آموزش خطی	۶۴/۷۲ $\pm$ ۲/۰۵	
	کنترل	۶۵/۳۱ $\pm$ ۲/۲۳	
قد (سانتی‌متر)	آموزش غیرخطی	۱۵۹/۸۲ $\pm$ ۸/۸۶	۰/۱۰۹
	آموزش خطی	۱۵۸/۵۰ $\pm$ ۷/۲۹	
	کنترل	۱۵۴/۴۳ $\pm$ ۸/۱۱	
وزن (کیلوگرم)	آموزش غیرخطی	۶۴/۲۹ $\pm$ ۴/۶۲	۰/۴۱۳
	آموزش خطی	۶۵/۳۶ $\pm$ ۵/۳۱	
	کنترل	۶۶/۰۹ $\pm$ ۴/۸۰	

طب توانبخشی

معنادار است. آموزش غیرخطی و خطی باعث کاهش معنی‌دار جابه‌جایی طرفی در پس‌آزمون و یادداری نسبت به پیش‌آزمون شد ($P<0/001$)؛ اما بین مراحل پس‌آزمون با یادداری تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($P\geq 0/05$) که این نتایج حاکی از ماندگاری بهبود جابه‌جایی قدامی خلفی در هر دو گروه آموزش خطی و غیرخطی شد.

بعد از بررسی تفاوت‌های درون‌گروهی با استفاده از آزمون تعقیبی بونفرونی به بررسی تفاوت بین گروهی در هریک از مراحل آزمون پرداخته شد. نتایج نشان داد در مرحله پیش‌آزمون بین ۳

داشته‌اند ($P<0/001$). همچنین شرکت‌کنندگان گروه آموزش خطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه کنترل نیز به‌طور معنی‌داری نمرات پایین‌تری داشته‌اند ($P<0/001$).

جابه‌جایی طرفی

همان‌طور که در **جدول شماره ۵** مشاهده می‌شود یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری نشان داد اثر اصلی زمان اندازه‌گیری ($P<0/001$)، اثر اصلی گروه ($P<0/001$) و تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه ($P<0/001$)

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد نمرات شاخص‌های تعادل در گروه‌های مختلف آموزشی در ۳ مرحله پیش‌آزمون، پس‌آزمون و یادداری

متغیر	مرحله	میانگین $\pm$ انحراف معیار		
		آموزش غیرخطی	آموزش خطی	کنترل
جابه‌جایی قدامی خلفی (سانتی‌متر)	پیش‌آزمون	۵/۱ $\pm$ ۲۶/۰۸	۵/۱ $\pm$ ۰۶/۸۳	۵/۱ $\pm$ ۴۰/۹۸
	پس‌آزمون	۳/۱ $\pm$ ۱۳/۴۷	۴/۱ $\pm$ ۴۶/۵۵	۵/۱ $\pm$ ۸۰/۳۶
	یادداری	۳/۱ $\pm$ ۲۳/۳۹	۴/۵۳ $\pm$ ۱/۵۹	۵/۲۹ $\pm$ ۱/۵۸
جابه‌جایی طرفی (سانتی‌متر)	پیش‌آزمون	۶/۲ $\pm$ ۶۰/۰۵	۶/۲ $\pm$ ۶۶/۱۱	۷/۴ $\pm$ ۲۰/۱۵
	پس‌آزمون	۴/۱ $\pm$ ۰۶/۸۲	۵/۱ $\pm$ ۰۰/۶۷	۷/۲ $\pm$ ۲۰/۴۵
	یادداری	۴/۱ $\pm$ ۱۰/۲۳	۵/۱۳ $\pm$ ۳/۱۳	۷/۱۶ $\pm$ ۱/۷۸
سرعت جابه‌جایی (سانتی‌متر بر ثانیه)	پیش‌آزمون	۱۵/۱ $\pm$ ۴۶/۹۹	۱۴/۱ $\pm$ ۴۶/۴۵	۱۵/۲ $\pm$ ۸۶/۱۹۲۳
	پس‌آزمون	۸/۳ $\pm$ ۴۰/۳۳	۱۰/۱ $\pm$ ۴۶/۲۴	۱۴/۱ $\pm$ ۴۰/۶۳
	یادداری	۸/۳ $\pm$ ۳۳/۲۴	۱۱/۰۶ $\pm$ ۱/۲۸	۱۵/۲۶ $\pm$ ۲/۰۵

طب توانبخشی

جدول ۴. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای متغیر جابه‌جایی قدامی خلفی

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	میانگین مجزورات	F	*P	مجذور اتا
زمان اندازه‌گیری	۶۱۸/۳۲	۲۰۳۹/۴۴	۵۴/۹۸	۰/۰۰۱	۰/۵۶۷
گروه	۱۷۰۷۰/۸۱	۸۵۳۵/۴۰	۱۸۰/۹۰	۰/۰۰۱	۰/۸۹۶
زمان×گروه	۴۸۴۷/۳۲	۸۰۷/۸۸	۲۱/۷۸	۰/۰۰۱	۰/۵۰۹

طب توانبخش

جدول ۵. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای متغیر جابه‌جایی طرفی

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	میانگین مجزورات	F	*P	مجذور اتا
زمان اندازه‌گیری	۱۲۱۱/۵۵	۲۳۵۶/۳۱	۸۸/۴۹	۰/۰۰۱	۰/۵۳۹
گروه	۱۳۲۶/۸۲	۷۱۴۲/۳۷	۱۷۶/۳۶	۰/۰۰۱	۰/۷۱۱
زمان×گروه	۱۳۳۹/۳۰	۹۰۲/۵۲	۲۹۳/۷۱۹	۰/۰۰۱	۰/۴۸۷

طب توانبخش

جدول ۶. یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری برای متغیر سرعت جابه‌جایی

منبع تغییرات	مجموع مجزورات	میانگین مجزورات	F	*P	مجذور اتا
زمان اندازه‌گیری	۲۲۵۴/۱۹	۱۸۵۳/۲۵	۵۵/۱۹	۰/۰۰۱	۰/۵۶۷
گروه	۱۸۵۶۰/۷۲	۷۲۶۹/۵۲	۱۵۹/۸۳	۰/۰۰۱	۰/۸۹۶
زمان×گروه	۴۴۵۲/۲۶	۱۱۱۰/۷۳	۴۲/۳۹	۰/۰۰۱	۰/۵۰۹

طب توانبخش

نتایج آزمون تعقیبی بونفرونی برای مقایسه بین گروه‌ها نشان داد در مرحله پیش‌آزمون بین ۳ گروه شرکت‌کننده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$)، اما هم در مرحله پس‌آزمون و هم در مرحله یادداری، شرکت‌کنندگان گروه تحریک آموزش غیرخطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه آموزش غیرخطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه آموزش خطی و کنترل به‌طور معنی‌داری نمرات پایین‌تری داشته‌اند ($P < 0.001$). همچنین شرکت‌کنندگان گروه آموزش خطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه کنترل نیز به‌طور معنی‌داری نمرات پایین‌تری داشته‌اند ($P < 0.001$).

بحث

هدف از این مطالعه مقایسه تأثیر آموزش خطی و غیرخطی بر شاخص‌های کنترل پاسچر در زنان سالمند بود نتایج این تحقیق نشان داد آموزش غیرخطی و خطی باعث بهبود معنی‌دار جابه‌جایی قدامی خلفی، جابه‌جایی طرفی و سرعت جابه‌جایی در پس‌آزمون و یادداری نسبت به پیش‌آزمون شد که این نتایج حاکی از ماندگاری بهبود جابه‌جایی قدامی خلفی در هر دو گروه آموزش خطی و غیرخطی شد. همچنین هم در مرحله پس‌آزمون و هم در مرحله یادداری، گروه تحریک آموزش غیرخطی در مقایسه با

گروه شرکت‌کننده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد ($P > 0.05$)، اما هم در مرحله پس‌آزمون و هم در مرحله یادداری، شرکت‌کنندگان گروه تحریک آموزش غیرخطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه آموزش خطی و کنترل به‌طور معنی‌داری نمرات پایین‌تری داشته‌اند ($P < 0.001$). همچنین شرکت‌کنندگان گروه آموزش خطی در مقایسه با شرکت‌کنندگان گروه کنترل نیز به‌طور معنی‌داری نمرات پایین‌تری داشته‌اند ($P < 0.001$).

سرعت جابه‌جایی

همان‌طور که در جدول شماره ۶ مشاهده می‌شود، یافته‌های مربوط به آزمون تحلیل واریانس با اندازه‌گیری تکراری نشان داد اثر اصلی زمان اندازه‌گیری ($P < 0.001$)، اثر اصلی گروه ($P < 0.001$) و تعامل زمان اندازه‌گیری با گروه ($P < 0.001$) معنادار است. آموزش غیرخطی و خطی باعث کاهش معنی‌دار سرعت جابه‌جایی در پس‌آزمون و یادداری نسبت به پیش‌آزمون شد ($P < 0.001$)؛ اما بین مراحل پس‌آزمون با یادداری تفاوت معنی‌داری یافت نشد ($P > 0.05$) که این نتایج حاکی از ماندگاری بهبود سرعت جابه‌جایی در هر دو گروه آموزش خطی و غیرخطی شد.

و محدودیت‌ها) به واسطه استفاده از تمرینات مختلف در سطوح مختلف، موجب تسهیل مهارت، بهبود عملکرد و تشویق سالمندان برای ایجاد انواع راه‌حل‌های حرکتی مناسب به منظور حفظ بهتر تعادل می‌شود؛ در نتیجه به یادگیری معنادار برای حفظ تعادل در آن‌ها می‌انجامد. آموزش غیرخطی از مفهوم دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها) برای شکل دادن به یادگیری استفاده می‌کند. با اصلاح تدریجی محیط، وظایف یا الگوهای حرکتی بدن، این آموزش امکان یادگیری طبیعی و خودسازماندهی بیشتری را فراهم می‌کند. در مقابل، آموزش خطی تمایل به دنبال کردن یک پیشرفت تکراری و ساختاریافته را دارد که ممکن است به اندازه کافی سیستم عصبی و عضلانی درگیر در تعادل را به چالش نکشد، به‌ویژه در شرایط دنیای واقعی.

علاوه بر این، دیدگاه‌های قدیمی در این خصوص تأکید کرده‌اند که پیشرفت گروه‌ها را می‌توان به تأثیر تمرین نسبت داد؛ به این صورت که تمرین در کل به عنوان عامل مؤثری برای پیشرفت در مهارت‌های حرکتی و روانی مدنظر قرار می‌گیرد [۳۱]. اگر تمامی عوامل ثابت نگه داشته شود، پیشرفت در مهارت به صورت چشمگیری به مقدار تمرین مربوط است که با عنوان قانون تمرین توضیح داده شده است. همچنین مربیان می‌توانند قیود (شرایط و محدودیت‌ها) تکلیف، محیط و فرد را دستکاری کنند تا رفتارهای حرکتی در مدت تمرینات را تسهیل کنند یا تحت فشار قرار دهند [۲۹]. به‌طور خلاصه، ماهیت منعطف، انطباق‌پذیر و جامع آموزش غیرخطی، در مقایسه با ساختار تکراری و قابل‌پیش‌بینی آموزش خطی، آن را در آموزش تعادل در میان سالمندان مؤثرتر می‌کند.

به‌طور کلی، رویکرد دستکاری تکلیف در پژوهش حاضر، با استفاده از تغییرات مداوم شرایط تمرین (مانند سطح زمین، سرعت حرکت یا افزودن موانع)، سیستم‌های عصبی-عضلانی سالمندان را تحریک می‌کند تا راهبردهای جدیدی برای حفظ تعادل پیدا کنند. این تغییرات باعث تقویت سیستم ادراکی حرکتی می‌شود. همچنین تغییر در تکالیف به سالمندان کمک می‌کند تا انعطاف‌پذیری شناختی و حرکتی خود را افزایش دهند. این به آن‌ها اجازه می‌دهد تا در موقعیت‌های واقعی و پیش‌بینی نشده، تعادل بهتری داشته باشند.

به علاوه با شبیه‌سازی شرایط متغیر و مشابه زندگی روزمره، افراد مهارت‌هایی را یاد می‌گیرند که به‌طور مستقیم قابل انتقال به زندگی واقعی هستند. این امر احتمال افتادن در محیط‌های مختلف را کاهش می‌دهد [۱۷، ۱۶]. از طرفی دستکاری تکلیف باعث می‌شود سیستم‌های مختلف بدن (مثل سیستم بینایی، دهلیزی و حس عمقی) به‌طور هم‌زمان فعال شوند. این هماهنگی بین سیستم‌ها برای حفظ تعادل بسیار حیاتی است. همچنین می‌توان گفت تغییرات مداوم در تکالیف، تمرین را برای سالمندان جذاب‌تر و چالش‌برانگیزتر می‌کند. این باعث افزایش مشارکت و انگیزه برای انجام تمرینات می‌شود. در روش‌های سنتی، تمرینات

گروه آموزش خطی و کنترل به‌طور معنی‌داری نمرات بهتری در تمامی متغیرها داشتند. این نتایج با مطالعات پیشین که مزایای آموزش غیرخطی را نسبت به آموزش خطی بر یادگیری و عملکرد حرکتی نشان دادند همخوانی دارد [۱۷، ۱۹-۲۱]. همچنین این یافته‌ها کاملاً منطبق با تحقق کردی بود که به‌طور ویژه مزایای آموزش غیرخطی را نسبت به آموزش خطی بر تعادل ایستا و پویا نشان داد [۲۲]. علاوه بر این یافته‌های این تحقیق با مطالعات قبلی که مزایای تمرینات شناختی و تعادلی را بر تقویت و بهبود عملکرد عضلات قامتی از قبیل عضلات ثبات‌دهنده تنه و اندام تحتانی نشان داده‌اند همخوانی دارد [۲۷، ۲۸].

آموزش غیرخطی معمولاً سیستم‌های حسی، حرکتی و شناختی را به‌طور هم‌زمان با الزام یادگیرندگان به حل مسائل و انجام تنظیمات سریع درگیر می‌کند. این رویکرد جامع، ارتباطات عصبی قوی‌تر و مکانیسم تعادل قوی‌تری را ترویج می‌کند، به‌ویژه برای افراد مسن که پاسخ‌های حسی و حرکتی آن‌ها ممکن است در حال حاضر رو به کاهش باشد. آموزش غیرخطی به جای تکمیل یک تکنیک واحد، بر کشف انواع راه‌حل‌های حرکتی تمرکز دارد. این رویکرد به سالمندان کمک می‌کند تا کارآمدترین راه‌ها را برای حفظ تعادل کشف کنند که منجر به بهبود یادگیری حرکتی و انعطاف‌پذیری بیشتر در برابر آشفتگی‌های غیرمنتظره می‌شود [۱۳-۱۵].

همچنین آموزش غیرخطی بر سازگاری با استفاده از شرایط تمرینی متنوع و غیرقابل‌پیش‌بینی تأکید دارد. این رویکرد، سالمندان را تشویق می‌کند تا طیف وسیع‌تری از موقعیت‌های حرکتی را تجربه کرده و با آن‌ها سازگار شوند که چالش‌های زندگی واقعی را بیشتر تقلید می‌کند. در نتیجه، این تنوع توانایی آن‌ها را برای تنظیم تعادل خود افزایش می‌دهد. به نظر می‌رسد، ایجاد شرایط تمرینی از طریق دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها) یا ایجاد تعامل مناسب بین قیود (شرایط و محدودیت‌ها) به واسطه استفاده از تمرینات مختلف در سطوح مختلف، موجب تسهیل مهارت، بهبود عملکرد و تشویق سالمندان برای ایجاد انواع راه‌حل‌های حرکتی مناسب به منظور حفظ تعادل می‌شود؛ در نتیجه به یادگیری معنادار حفظ تعادل در آن‌ها می‌انجامد.

همچنین پیشرفت گروه‌ها را می‌توان به تأثیر تمرین نسبت داد. به این صورت که تمرین در کل به عنوان عامل مؤثری برای پیشرفت در مهارت‌های حرکتی مدنظر قرار می‌گیرد؛ چرا که اگر تمامی عوامل ثابت نگه داشته شود، پیشرفت در مهارت به صورت چشمگیری به مقدار تمرین مربوط است که با عنوان قانون تمرین توضیح داده شده است [۱۳-۱۵].

باتوجه به اینکه در این تحقیق به دستکاری شرایط تمرینی پرداخته شد و شرایط فرد [۲۹] یا محیط دستکاری [۳۰] نشد، به نظر می‌رسد ایجاد شرایط تمرینی از طریق دستکاری قیود (شرایط و محدودیت‌ها) و ایجاد تعامل مناسب بین قیود (شرایط

مشارکت نویسندگان

همه نویسندگان به طور یکسان در مفهوم و طراحی مطالعه، جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها، تفسیر نتایج و تهیه پیش‌نویس مقاله مشارکت داشتند.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از تمامی آزمودنی‌ها و خانواده‌های آن‌ها و تمام افرادی که در به سرانجام رساندن این تحقیق تلاش و همکاری کردند، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

تکراری ممکن است به سازگاری بیش از حد سیستم‌های حرکتی منجر شود. اما در آموزش غیرخطی، تنوع مداوم مانع از یکنواختی شده و یادگیری عمیق‌تری ایجاد می‌کند [۲۴-۲۶].

باتوجه به اینکه مطالعات اندکی در حیطه تمرینات تعادلی خطی و غیرخطی در سالمندان صورت گرفته است و مطالعه‌ای هم‌راستا در ایران نیز یافت نشده است و همچنین باتوجه به اینکه این تحقیق فقط بر روی سالمندان زن صورت گرفت و تعادل پویا نیز در آن اندازه‌گیری نشد. پیشنهاد می‌شود برای تعمیم نتایج مطالعه حاضر به تکالیف تعادلی مختلف و گروه‌های سالمند مختلف دیگر از لحاظ ویژگی جمعیت‌شناختی، مطالعات و پژوهش‌های گسترده‌ای در حیطه تأثیر آموزش خطی و غیرخطی در سالمندان انجام شود.

نتیجه‌گیری

آموزش غیرخطی بر استفاده از شرایط تمرینی متنوع و غیرقابل پیش‌بینی تأکید دارد تا سالمندان را به تجربه و سازگاری با طیف گسترده‌ای از موقعیت‌های حرکتی ترغیب کند که شباهت بیشتری به چالش‌های واقعی زندگی دارند. استفاده از این رویکرد در آموزش تکالیف تعادلی منجر به افزایش توانایی آن‌ها در تنظیم تعادل می‌شود. ایجاد این شرایط از طریق دستکاری یا تعامل مؤثر بین شرایط مختلف تکلیف و به کارگیری تمرینات مختلف در سطوح متنوع، به تقویت مهارت‌ها، بهبود عملکرد و یافتن راه‌حل‌های حرکتی مناسب برای حفظ تعادل کمک می‌کند. همچنین باتوجه به اهمیت نقش تمرینات تعادلی خصوصاً در سالمندان به مربیان و متخصصان حرکتی پیشنهاد می‌شود تا با فراهم کردن فرصت‌های تمرینی، برنامه‌ریزی تمرینی و تهیه تجهیزات و ابزار لازم و استفاده از پروتکل تمرینی تحقیق حاضر باعث تقویت فرایندهای حرکتی و تعادلی در سالمندان شوند.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

در اجرای پژوهش ملاحظات اخلاقی مطابق با دستورالعمل کمیته اخلاق **دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری** در نظر گرفته شده و کد اخلاق به شماره (IR.IAU.SARI.REC.1403.268) دریافت شده است.

حامی مالی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری سمیرا سلیمانی دانشکده تربیت بدنی و علوم ورزشی، **دانشگاه تهران** می‌باشد و هیچ‌گونه کمک مالی از سازمانی‌های دولتی، خصوصی و غیرانتفاعی دریافت نکرده است.

References

- [1] Rudnicka E, Napierała P, Podfigurna A, Męczekalski B, Smolarczyk R, Grymowicz M. The World Health Organization (WHO) approach to healthy ageing. *Maturitas*. 2020; 139:6-11. [DOI:10.1016/j.maturitas.2020.05.018] [PMID] [PMCID]
- [2] Mesquita LS, de Carvalho FT, Freire LS, Neto OP, Zângaro RA. Effects of two exercise protocols on postural balance of elderly women: A randomized controlled trial. *BMC Geriatrics*. 2015; 15:61. [DOI:10.1186/s12877-015-0059-3] [PMID] [PMCID]
- [3] Ahmadi kakavandi M, Azizbeigi K, Qeysari SF. [The effects of progressive resistance training on malondialdehyde concentration and superoxide dismutase enzyme activity in inactive elderly women (Persian)]. *Payavard*. 2019; 13(2):151-9. [Link]
- [4] Bisson E, Contant B, Sveistrup H, Lajoie Y. Functional balance and dual-task reaction times in older adults are improved by virtual reality and biofeedback training. *Cyberpsychology & Behavior*. 2007; 10(1):16-23. [DOI:10.1089/cpb.2006.9997] [PMID]
- [5] Javadi-Pashaki N, Mohammadi F, Jafaraghaee F, Mehrdad N. Keeping up with the caravan of life: Successful aging strategies for Iranian women. *International Journal of Qualitative Studies on Health and Well-Being*. 2015; 10:29500. [DOI:10.3402/qhw.v10.29500] [PMID] [PMCID]
- [6] Haywood K, Getchell N. Life span motor development. *Champaign: Human kinetics*; 2024. [Link]
- [7] Varjan M, Žiška Böhmerová Ľ, Oreská Ľ, Schickhofer P, Hamar D. In elderly individuals, the effectiveness of sensorimotor training on postural control and muscular strength is comparable to resistance-endurance training. *Frontiers in Physiology*. 2024; 15:1386537. [DOI:10.3389/fphys.2024.1386537] [PMID] [PMCID]
- [8] Shaffer SW, Harrison AL. Aging of the somatosensory system: A translational perspective. *Physical Therapy*. 2007;87(2):193-207. [DOI:10.2522/ptj.20060083] [PMID]
- [9] Riethmuller AM, Jones R, Okely AD. Efficacy of interventions to improve motor development in young children: A systematic review. *Pediatrics*. 2009; 124(4):e782-92. [DOI:10.1542/peds.2009-0333] [PMID]
- [10] Qysari F, Tahmasebi Boroujeni S, Ahmadi Kakavandi M. [PET-TLEP imagery is effective in table tennis forehand learning of multiple sclerosis patients (Persian)]. *Middle Eastern Journal of Disability Studies*. 2019; 9:4. [Link]
- [11] Qeysari SF, Sheikh M, Hoomanian D, Bagherzadeh F. Comparison of play-based training and riding on the key social dimensions of stanford in adolescents with autism spectrum disorder: Examining the theory of social motivation. *The Scientific Journal of Rehabilitation Medicine*, 2025; [Unpublished]. [DOI:10.22037/SJRM.2024.117308.3279]
- [12] McKeon PO. Dynamic systems theory as a guide to balance training development for chronic ankle instability: A review of the literature. *Athletic Training & Sports Health Care*. 2012; 4(5):230-6. [DOI:10.3928/19425864-20120731-04]
- [13] Schiepek G, Schöller H, Carl R, Aichhorn W, Lichtwarck-Aschoff A. A nonlinear dynamic systems approach to psychological interventions 1. In: Kunnen ES, Ruiter NMP, Jeronimus BF, Gaag MAE, editors. *Psychosocial development in adolescence*. Milton Park: Routledge; 2019. [DOI:10.4324/9781315165844-4]
- [14] Renshaw I, Davids K, Savelsbergh GJ. *Motor learning in practice*. London: Routledge; 2010. [DOI:10.4324/9780203888100]
- [15] Chow JY. Nonlinear learning underpinning pedagogy: Evidence, challenges, and implications. *Quest*. 2013; 65(4):469-84. [DOI:10.1080/00336297.2013.807746]
- [16] Galatti LR, Machado JC, Motta MDC, Misuta MS, Belli T. Non-linear Pedagogy and the implications for teaching and training in table tennis. *Motriz: Revista de Educação Física*. 2019; 25(1):e101999. [DOI:10.1590/s1980-6574201900010015]
- [17] Roberts SJ, Rudd JR, Reeves MJ. Efficacy of using non-linear pedagogy to support attacking players' individual learning objectives in elite-youth football: A randomised cross-over trial. *Journal of Sports Sciences*. 2020; 38(11-12):1454-64. [DOI:10.1080/02640414.2019.1609894] [PMID]
- [18] Lee MC, Chow JY, Komar J, Tan CW, Button C. Nonlinear pedagogy: An effective approach to cater for individual differences in learning a sports skill. *Plos One*. 2014; 9(8):e104744. [DOI:10.1371/journal.pone.0104744] [PMID] [PMCID]
- [19] Mousavi SK, Yaali R, Bahram A, Abbasi A. [Comparison of the effect of nonlinear pedagogy on emergence of coordination patterns in low badminton backhand serve (Persian)]. *Motor Behavior*. 2020; 12(39):107-24. [DOI:10.22089/mbj.2018.5609.1654]
- [20] Ghorbani Marzoni M, Bahram A, Ghadiri F, Yaali R. [The comparison of effectiveness Linear and Nonlinear Pedagogy on manipulation Motor Skills performance of children (Persian)]. *Motor Behavior*, 2021; 13(45): 91-112. [DOI:10.22089/mbj.2020.1656.1656]
- [21] Richard V, Lebeau JC, Becker F, Boiangin N, Tenenbaum G. Developing cognitive and motor creativity in children through an exercise program using nonlinear pedagogy principles. *Creativity Research Journal*. 2018; 30(4):391-401. [DOI:10.1080/10400419.2018.1530913]
- [22] Kordi F. Comparison of the effect of linear and non-linear pedagogy on static and dynamic balance of girls students aged 7 to 9 years. *Journal of Motor and Behavioral Sciences*. 2022; 5(2):143-51. [DOI:10.22089/jmbs.2022.161792]
- [23] Gheybollahi M, Parvinpour S, Balali M, Entezari Z. [The effect of task constraints manipulation on balance indexes of healthy elderly adults (Persian)]. *Motor Behavior*. 2023; 15(53):101-12. [DOI:10.22089/mbj.2023.14508.2085]
- [24] Kang H. Sample size determination and power analysis using the G*Power software. *Journal of Educational Evaluation for Health Professions*. 2021; 18:17. [DOI:10.3352/jeehp.2021.18.17] [PMID] [PMCID]
- [25] Seyedian M, Falah M, Nourouzian M, Nejat S, Delavar A, Ghasemzadeh HA. [Validity of the Farsi version of the Mini-Mental State Examination (Persian)]. *Journal of Medical Council of Islamic Republic of Iran*. 2008; 25(4):408-4. [Link]

- [26] Qeysari SF, Eslamizad A, Masdari V, Khoshbakht M, Sheikh M. [The effect of indoor rock-climbing exercises (based on traversing and upward bouldering) on the postural control indicators of the elderly men (Persian)]. *Iranian Journal of Ageing*. 2024; [Unpublished]. [DOI:10.32598/sija.2024.2428.2]
- [27] Qeysari S, Tahmasebi Broujeni S, Shahbazi M. [The effect of focus of attention on electromyography activity of the rectus abdominus muscle in vertical jump (Persian)]. *Research in Sport Medicine and Technology*. 2020; 18(19):35-45. [DOI:10.29252/jsmt.18.19.35]
- [28] Qeysari F, Shahbazi M, Tahmasebi Boroujeni S, Sharifnejad A. [The effect of external and internal focus of attention on electromyography of the lower extremity muscles in different phases of vertical jump (Persian)]. *Motor Behavior*. 2020; 12(40):87-102. [DOI:10.22089/mbj.2020.7204.1790]
- [29] Heirani A, Vazini Taher A, Aghdasi MT, Behpoor N. Cognition, balance and gait in elderly with dementia: A motor cognitive approach to reducing risk of falling. *Motor Behavior*. 2016; 8(24):73-94. [DOI:10.22089/mbj.2016.757]
- [30] Buszard T, Farrow D, Reid M, Masters RS. Scaling sporting equipment for children promotes implicit processes during performance. *Consciousness and Cognition*. 2014; 30:247-55. [DOI:10.1016/j.concog.2014.07.004] [PMID]
- [31] Hortobágyi T, Lesinski M, Gäbler M, VanSwearingen JM, Malatesta D, Granacher U. Effects of three types of exercise interventions on healthy old adults' gait speed: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*. 2015; 45(12):1627-43. [DOI:10.1007/s40279-015-0371-2] [PMID] [PMCID]