



Research Article

Investigation of Tree Non-Invasive Intervention Methods: Somatosensory Training, Neurofeedback Training, and Foot Massage on Balance in Elderly People Over 65 Years Old

Atefeh Azarpaikan¹, HamidReza Taheri², Manochehr Galkhani³

1. Department of Sport Science, Faculty of Motor learning, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2. Department of Sport Science, Faculty of Motor learning, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Department of Sport Science, Faculty of Motor learning, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 02/03/2023, Accepted: 26/09/2023, OnlinePublished: 27/09/2023

* Corresponding Author: HamidReza Taherii, E-mail E-mail: hamidtaheri@um.ac.ir

How to Cite: Azarpaikan, A; Taheri, H. R; Galkhani, M. Investigation of Tree Non-Invasive Intervention Methods: Somatosensory Training, Neurofeedback Training, and Foot Massage on Balance in Elderly People Over 65 Years Old. Motor Behavior, 17(59), 35-52. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2023.14302.2080

Extended Abstract

Background and Purpose

Balance is a critical component of physical fitness closely linked to health, defined as the ability to maintain the body's position in space. As aging populations increase globally, falls have become a common and serious problem among the elderly, often leading to injury and disability. Therefore, investigating effective methods to prevent falls and enhance balance is of paramount importance. These methods aim to improve balance performance by targeting the underlying somatosensory and neuromuscular systems that support postural control. The present study examined the effects of three non-invasive intervention methods—active somatosensory training, passive somatosensory training (foot massage), and neurofeedback training—on static and dynamic balance in healthy elderly adults. The research sought to answer two primary questions: (a) Do active, passive, and neurofeedback somatosensory training differentially affect the acquisition of static and dynamic balance? (b) Do these interventions influence the transfer of static and dynamic balance abilities?

Methods

Sixty healthy male adults from Mashhad, Iran, with a mean age of 67.66 years (SD = 3.1), participated in the study. None had prior experience with balance training. Participants completed the General Health Questionnaire (GHQ-28) and underwent neurobehavioral cognitive status evaluation (NCSE) to ensure mental and physical health and absence of cognitive impairment. They were randomly assigned to one of four groups: active somatosensory training (SST-1), passive somatosensory training (SST-2), neurofeedback training (NFT), or a control group. Two



participants (one from the NFT group and one from the control group) did not complete the delayed transfer tests.

Static balance was assessed using the Biodex SD balance system's fall risk test during the acquisition phase (pre- and post-test) and the limit of stability test during the transfer phase, both set at level 8 difficulty. Dynamic balance was evaluated using the Berg Balance Scale (BBS) during acquisition and the Timed Up and Go (TUG) test during transfer.

Neurofeedback training was conducted using the Biograph Infiniti software system (version 5). Active somatosensory training involved exercises on a 5-meter patterned surface with small round bumps designed to stimulate plantar mechanoreceptors under weight-bearing conditions. Passive somatosensory training consisted of foot massage using a grooved foam roller (7 cm diameter, 20 cm length) to provide non-weight-bearing tactile stimulation.

Each experimental group completed 15 sessions of 30 minutes each over the study period. The control group underwent only pre- and post-testing without intervention.

Data were analyzed using SPSS version 19. Independent t-tests compared demographic variables, and a one-way mixed ANOVA (group $\times$ time) was conducted to analyze static and dynamic balance outcomes. Tukey's HSD test was applied for post hoc comparisons. Mauchly's test assessed sphericity assumptions. Statistical significance was set at $\alpha = 0.05$ with a 95% confidence interval.

Results

Baseline comparisons showed no significant differences among groups in age, weight, height, mental health (GHQ-28), or cognitive status (NCSE), confirming group homogeneity (Table 1). All three intervention groups demonstrated significant improvements in balance measures post-intervention (Table 2). Specifically, the interaction effects among NFT, SST-1, and SST-2 groups indicated a reduced fall risk (Figure A-2). The TUG test revealed significant reductions in completion time for SST-1, NFT, and SST-2 groups, respectively (Figure A-2).

Transfer test results suggested differential effects of interventions on balance transfer abilities. SST-1 showed superior performance in dynamic balance transfer, while NFT excelled in static balance transfer. Although SST-2 outperformed the control group, it lagged behind SST-1 and NFT in transfer test performance (Figure 3).

Conclusion

The findings indicate that both static and dynamic balance improved significantly following neurofeedback (NFT), active somatosensory training (SST-1), and passive somatosensory training (SST-2). These interventions enhance balance through distinct mechanisms. Active somatosensory training, involving weight-bearing stimulation of a broad plantar surface, likely engages multiple somatosensory receptors and the vestibular system, thereby improving dynamic balance performance and maintenance in healthy elderly individuals. Passive stimulation, even without weight bearing, still exerts a meaningful effect on balance preservation.

Neurofeedback training enhances balance by promoting self-regulation at the cerebral cortex level, improving information processing, directing attention toward environmental perception, and augmenting visual recognition and observation processes. This mechanism particularly benefits static balance stability.

Overall, the study supports the use of these non-invasive interventions to improve balance and reduce fall risk in the elderly. Practitioners may consider substituting one method with another when necessary, as all showed beneficial effects.

Keywords: Static Balance, Dynamic Balance, Somatosensory Training, Neurofeedback Training, Foot Massage

Article Message

If any of the three methods—active somatosensory training, passive somatosensory training, or neurofeedback—are unavailable, substituting with one of the others can still yield positive and meaningful improvements in balance among elderly individuals.

Ethical Considerations

All experimental procedures were conducted under the supervision of the Motor Behavior Group at Ferdowsi University, adhering strictly to ethical guidelines. Ethical approval was granted by the relevant committee, with documentation submitted to the journal.

Authors' Contributions

Conceptualization: Azarpaikan and Taheri

Data Collection: Azarpaikan and Galkhani

Data Analysis: Azarpaikan and Galkhani

Manuscript Writing: Azarpaikan and Galkhani

Review and Editing: Azarpaikan and Taheri

Project Management: Taheri

Literature Review: Azarpaikan

Funding Responsibility: None

Conflict of Interest

The authors declare no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the support of the Faculty of Sport Sciences laboratory at Ferdowsi University and express sincere thanks to all participants, especially the elderly individuals who contributed to this research



بررسی سه روش مداخله غیر تهاجمی تمرین حسی پیکری، تمرین نوروفیدبک و ماساژ کف پا بر تعادل سالمندان بالای ۶۵ سال

عاطفه آذریکان^۱، حمیدرضا طاهری تربتی^{۲*}، منوچهر قلخانی^۳

۱. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳. گروه رفتار حرکتی، دانشکده علوم ورزشی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴، تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵

*نویسنده مسئول: حمیدرضا طاهری تربتی، ایمیل: hamidtaheri@um.ac.ir

How to Cite: Azarpaikan, A; Taheri, H. R; Galkhani, M. Investigation of Tree Non-Invasive Intervention Methods: Somatosensory Training, Neurofeedback Training, and Foot Massage on Balance in Elderly People Over 65 Years Old. Motor Behavior, 17(59), 35-52. In Persian. Doi: 10.22089/mbj.2023.14302.2080

چکیده

هدف این مطالعه ارزیابی اثربخشی تمرینات تعادلی غیرتهاجمی حسی پیکری (فعال و غیرفعال) و نوروفیدبک بر شاخص‌های تعادل پویا و ایستا در سالمندان بود. شرکت‌کنندگان ۶۰ نفر بزرگسال سالم (مرد، میانگین سن: ۶۷/۶۶ سال، میانگین وزن: ۶۵/۶۴۲ کیلوگرم) بودند که به طور تصادفی در یکی از چهار گروه حسی پیکری فعال، حسی پیکری غیرفعال (ماساژ کف پا)، نوروفیدبک و کنترل قرار گرفتند. ابتدا آزمودنی‌ها پیش‌آزمون‌های تعادل ایستا و پویا را تکمیل کردند. سپس در ۱۵ جلسه تمرین ۳۰ دقیقه‌ای شرکت کرده و در پایان پس‌آزمون و آزمون انتقال را تکمیل کردند. آزمون‌های مرحله اکتساب شامل آزمون خطر سقوط برای تعادل ایستا و آزمون بلند شدن و رفتن زمان‌دار برای تعادل پویا بود. آزمون‌های مرحله انتقال در تعادل ایستا آزمون محدودیت ثبات و در تعادل پویا مقیاس تعادل برگ بود. برای بررسی آماری ویژگی‌های شخصیت‌شناسی آزمودنی‌ها از آزمون t مستقل و برای بررسی تعادل در گروه‌ها از میکس آنوای یک‌طرفه و آزمون‌های تعقیبی توکی اچ‌ای‌دی استفاده شد. نتایج حاکی از بهبود تعادل ایستا و پویا در هر سه گروه آزمایشی در آزمون اکتساب بود. همچنین بهبود تعادل در آزمون انتقال در گروه نوروفیدبک و حسی پیکری به ترتیب در شرایط ایستا و پویا مشاهده شد. گروه ماساژ کف پا بهبود در تعادل ایستا و پویا داشت، اما امتیاز آن از دو گروه دیگر کمتر بود. به طور کلی یافته‌ها حاکی از آن است که مداخلات تمرینی نوروفیدبک بهتر است در ترکیب و همراه با مداخلات تمرینی حسی پیکری باشد تا بیشترین تأثیر را بر پیشگیری از افتادن و بهبود تعادل کلی در بزرگسالان بر جای بگذارد. به انجام تحقیقات بیشتری برای ارزیابی اثرات بلند مدت و ناپیوسته حاصل از این مداخلات غیرتهاجمی بر تعادل در سالمندان نیاز است.

واژگان کلیدی: تعادل ایستا، تعادل پویا، تمرین حسی پیکری، تمرین نوروفیدبک، ماساژ کف پا.



مقدمه

تعادل یکی از مهم‌ترین فاکتورهای آمادگی جسمانی مرتبط با سلامت است که از آن به‌عنوان توانایی حفظ بدن در فضا یاد می‌شود. تعادل مناسب مستلزم ادغام پیچیده اطلاعات حسی درمورد موقعیت بدن نسبت به محیط اطراف است (۱). تعادل همچنین به پاسخ‌های حرکتی مناسبی برای کنترل حرکت بدن نیاز دارد که توسط مغز ایجاد می‌شود (۲). تقلیل قابلیت‌های جسمی و ذهنی که با افزایش سن رخ می‌دهد، می‌تواند حفظ تعادل در موقعیتهای بدون حرکت (تعادل ایستا) یا موقعیتهای دارای حرکت (تعادل پویا) را برای افراد مسن دشوار کند؛ یعنی با افزایش سن، زمین خوردن مشکلی رایج در میان سالمندان می‌شود. گزارش‌ها حاکی از آن است که یک نفر از هر سه فرد بالای ۶۵ سال، حداقل سالی یک بار زمین می‌خورد (۳). شاخص‌های جمعیت‌شناسی سنی نشان می‌دهد که پدیده سالمندی در سال‌های اخیر رشد زیادی داشته است. با توجه به نقش بسیار مهم و حیاتی تعادل برای داشتن زندگی سالم و مستقل، توجه تحقیقات زیادی به مطالعه عوامل مؤثر بر تعادل معطوف شده است. حجم درخور توجهی از تحقیقات بر بهبود تعادل و پیشگیری از سقوط از طریق برنامه‌های مختلف در سالمندان متمرکز شده است. اغلب این روش‌ها در تلاش‌اند با تأثیر بر زیرساخت‌های تعادل، بهبود عملکرد تعادلی را در افراد ایجاد کنند. در همین راستا در مطالعه حاضر سه روش مداخله غیرتهاجمی شامل تمرینات حسی پیکری فعال، حسی پیکری غیرفعال (ماساژ کف پا) و نوروفیدبک به‌منظور بررسی تأثیر آن‌ها بر تعادل در سالمندان بررسی شد.

تا به امروز عوامل اولیه مرتبط با آسیب‌شناسی نبود تعادل به طور دقیق مشخص نشده است، اما چندین عامل خطر از جمله نقصان سلامت جسمانی و شناختی، ضعف جسمانی، تغییرات مرتبط با سن در عملکرد فیزیولوژیک مانند افت فشارخون ارتواستاتیک و ضعف پردازش ادراکی و غیره در این باره پیشنهاد شده است (۴، ۲). به طور خاص، کنترل تعادل به فرایندهای پیچیده‌ای بستگی دارد و شامل مجموعه‌ای هماهنگ از فعل و انفعالات حسی حرکتی است که به طور مداوم اطلاعات حواس مربوط، به‌ویژه حالت‌های دهلیزی، حس عمقی، شنوایی و بصری را یکپارچه می‌کند (۵). مطالعات نشان می‌دهد که هرگونه افزایش در اطلاعات حسی ممکن است منجر به بهبود تعادل در سالمندان شود. تحریک کف پا یکی از انواع مداخلاتی است که می‌تواند حس عمقی و سیستم حسی پیکری را بهبود بخشد. مطالعات متعددی رابطه بین تحریک کف پا و کنترل تعادل را نشان داده‌اند. مطالعات دیگر نشان داده‌اند که حس لامسه می‌تواند برای جلوگیری از افتادن در بزرگسالان مفید باشد (۶)؛ به عنوان مثال، نشان داده شد که مداخلات کفش، مانند ارتز پا^۱ و کفی می‌تواند بر عملکردهای تعادل ایستا و پویا تأثیر بگذارد. سرکوب یا تحریک آوران‌های کف پا، هر دو روش‌های مرتبطی برای توصیف نقش پیام‌های لمسی در کنترل وضعیتی بدن هستند. روش‌های دیگری نیز وجود دارد که شامل تغییر ویژگی‌های سطح نگهدارنده می‌شود (۷). پریپلاتا و همکاران دریافتند که کفی‌های لرزان و لغزنده می‌تواند بر متغیرهای نوسان وضعیتی کوتاه‌مدت در بزرگسالان جوان و مسن تأثیر بگذارد (۹). پالول و همکاران آزمایش راه رفتن با صندل‌های مجهز به کفی میخ‌دار را به مدت ۴۵ دقیقه انجام دادند که تعادل را حداقل به طور موقت بهبود بخشید (۱۰). هاتون و همکاران نشان دادند که ایستادن روی یک سطح طرح‌دار می‌تواند ثبات وضعیتی را افزایش دهد و عملکرد تعادلی را بهبود بخشد. به طور کلی، مطالعات از این نظریه حمایت می‌کنند که مداخلات حسی پیکری و تحریک‌کننده کف پا باعث بهبود عملکرد حسی حرکتی می‌شود (۶). این نتایج ممکن است به دلیل تظاهرات انعطاف‌پذیری و پلاستیسیته در قشر حسی حرکتی مغز باشد. شواهد متعدد ادعا می‌کنند که احتمالاً تنوع در پروتکل‌های مداخله‌ای تحریک حسی پیکری مانند مکان‌های تحریک دوگانه در مقابل چندگانه و پارامترهایی مانند مدت، فرکانس و دامنه تحریک، مداخله فعال یا غیرفعال آزمودنی

می‌تواند منجر به تفاوت آثار در نتیجه نهایی شود؛ با این حال، پروتکل‌های مداخله حسی‌پیکری هنوز به طور جامع مقایسه نشده‌اند و شناخت پارامترهای مناسب برای این مداخلات تحریک بسیار مهم است (۱۰). انجام حرکت به صورت فعال و مستقل برای گروه زیادی از سالمندان مشکل است و می‌تواند با مخاطراتی همراه باشد (۲)؛ با این حال، مقایسه مستقیم روش‌های مداخله حسی‌پیکری غیرفعال همچون ماساژ با روش‌های فعال مانند راه رفتن روی سطح طرح‌دار، به‌ویژه بررسی امکان انتقال مهارت‌های تعادلی کسب‌شده به شرایط بدیع تکلیف که برای زندگی مستقل فرد سالمند ضروری است، کمتر بررسی شده است (۴، ۱)؛ در حالی که نتیجه این پژوهش‌ها می‌تواند به درمانگران و فعالان این عرصه در زمینه انتخاب روش تمرین اثرگذار با توجه به شرایط و قابلیت‌های سالمند و در نظر گرفتن ریسک نوع تمرینات کمک کند؛ بر این اساس، یکی از اهداف این پژوهش، تعیین تأثیر راه رفتن روی سطح طرح‌دار (به‌عنوان مداخله حسی‌پیکری فعال) و ماساژ کف پا (به‌عنوان مداخله حسی‌پیکری غیرفعال) در سالمندان بر تعادل ایستا و پویا بود. این روش‌ها می‌توانند یک گزینه درمانی کاربردی کم‌هزینه برای بیماران و سالمندانی باشند که تحلیل حس لامسه، انعطاف‌پذیری غیرطبیعی یا اشکال خاصی از اختلال حرکتی را تحمل می‌کنند.

نوروفیدبک یک مداخله آموزشی-تمرینی غیرتهاجمی است که در آن اطلاعاتی درمورد تغییر در فعالیت عصبی به شرکت‌کننده ارائه می‌شود تا خودتنظیمی آموخته‌شده، فعالیت عصبی را تسهیل کند و در نتیجه تغییراتی در عملکرد مغز، شناخت یا رفتار ارائه شود. می‌توان از آن برای رسیدگی به طیف وسیعی از مشکلات با مداخلات مؤثر برای افراد مختلف استفاده کرد (۱۱). شواهد نشان می‌دهد که تمرین نوروفیدبک (NFT) می‌تواند تعادل را افزایش دهد. در طول NFT، آزمودنی‌ها می‌توانند یاد بگیرند که به طور انتخابی امواج مغزی خود را برای بهبود عملکرد حرکتی کنترل کنند. این شواهد نشان می‌دهد که NFT بر مکانیسم‌های عصبی پلاستیسیتهی متکی است. این مکانیسم‌های عصبی به‌منظور القای تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت در فعالیت‌های مغز، مانند تغییراتی در نوسانات EEG یا انعکاس پاسخ طولانی‌مدت ایجاد می‌شوند (۱۲). در طی این تغییرات عملکردی، توده‌های ماده خاکستری به‌عنوان معیار و میزانی از پتانسیل و ظرفیت مغز برای قرار گرفتن در موقعیت‌های نوروپلاستیسیته عمل می‌کنند و افزایش حجم توده‌های ماده خاکستری به عملکرد یادگیری در زمینه‌های مختلف وابسته است (۱۳). به نظر می‌رسد، ویژگی‌های ماده خاکستری و سفید مغز می‌تواند تحت تأثیر برنامه‌های آموزش و تمرین NFT قرار گیرد. ایجاد ارتباطات بیشتر شبکه عصبی در طول NFT، ممکن است منجر به بهبود تعادل ایستا و پویا (به‌عنوان عملکرد پیچیده حرکتی) شود. در این زمینه، هاموند درمان موفق NFT (افزایش موج بتا و کاهش موج تتا) را در چهار بیمار با مشکلات تعادلی مختلف گزارش کرد (۱۴). باستا و همکاران بیان کردند که این فرایندها احتمالاً در درمان اختلالات دهلیزی محیطی مزمن امیدوارکننده هستند (۱۵). روسی و همکاران تأیید کردند که NFT ارتعاشی تعداد سقوط‌ها را در آزمودنی‌ها کاهش می‌دهد (۱۶). آذریپکان و همکاران نشان دادند که NFT تعادل ایستا و پویا را در بیماران مبتلا به بیماری پارکینسون بهبود می‌بخشد (۱۷). بررسی پیشینه تحقیقات توسط نویسندگان حاکی از این است که تأثیر تمرینات نوروفیدبک بر تعادل سالمندان سالم کمتر بررسی شده است (۱۹-۱۶)؛ بر این اساس، هدف دیگر این تحقیق، تعیین تأثیر NFT (افزایش موج SMA و کاهش موج تتا) در لوب‌های پس سری بر تعادل ایستا و پویا در سالمندان بود. به طور کلی، با وجود ادعای اثربخشی روش‌های مختلف بر شاخص‌های تعادل ایستا و پویا، این روش‌ها از نظر میزان اثربخشی و قابلیت انتقال به شرایط بدیع و جدید مقایسه نشده‌اند. با توجه به کمبود شواهد آزمایشی در زمینه تعادل سالمندان، این گزارش، آزمایشی را برای تعیین تفاوت بین مداخلات تمرینی حسی‌پیکری فعال، غیرفعال (ماساژ کف پا) و نوروفیدبک در بهبود تعادل در سالمندان شرح می‌دهد. از آنجاکه مفید بودن یک روش به انتقال آن به موقعیت‌های مختلف بستگی دارد، برای ارزیابی انتقال یادگیری از دو آزمون متفاوت تعادل ایستا و پویا استفاده شده است. سؤالات پژوهشی که فرضیه‌های مطالعه را ایجاد کردند، عبارت‌اند از:

الف) آیا تمرینات حسی پیکری فعال، غیرفعال و نوروفیدبک بر اکتساب تعادل ایستا و پویا تأثیر متفاوت دارند؟
 ب) آیا تمرینات حسی پیکری فعال، غیرفعال و نوروفیدبک بر انتقال توانایی تعادل ایستا و پویا تأثیر می‌گذارند؟

روش پژوهش

آزمودنی‌های این پژوهش، شصت نفر بزرگسال سالم (مرد، میانگین سن = ۶۷/۶۶ سال، انحراف استاندارد = ۳/۱) شهر مشهد بودند که از طریق فراخوان به طور داوطلبانه در پژوهش شرکت کرده و پس از بررسی معیارهای ورود به مطالعه، در این آزمایش شرکت کردند. شرکت‌کنندگان قبل از شروع مطالعه هیچ تمرین تعادلی نداشتند. آن‌ها پرسشنامه سلامت عمومی (GHQ-28) را تکمیل کردند. ضریب آلفای کرونباخ برای GHQ محدوده ۰/۸۲ تا ۰/۸۶ است و نمره برش ۹ یا بیشتر استفاده شده است (۱۸). همچنین وضعیت شناختی-عصبی رفتاری آنان بررسی شد (NCSE). نمره برش ۱۱ یا بیشتر برای تعیین اینکه آیا شرکت‌کننده علائم اختلالات عصبی-شناختی درخور توجهی را تجربه می‌کند یا خیر، استفاده شد (۱۹). همچنین هر آزمودنی برگه رضایت آگاهانه کتبی را امضا کرد. اطلاعات شرکت‌کنندگان محرمانه بود و جلسات تمرین در آزمایشگاه دانشگاه فردوسی با رعایت نکات ایمنی مثل میله محافظ در طول مسیر برای جلوگیری از سقوط ناخواسته، پوشش زمین با کف پوش مناسب برگزار شد. همچنین گروه رفتار حرکتی دانشکده علوم ورزشی دانشگاه فردوسی، این مطالعه را تأیید کرد و بر رعایت اصول اخلاقی در آن نظارت کامل داشت. شرکت‌کنندگان به صورت تصادفی به یکی از چهار گروه آزمایشی (۱۵ نفر) حسی پیکری فعال، غیرفعال (ماساژ کف پا)، نوروفیدبک و یک گروه کنترل تقسیم شدند؛ البته دو شرکت‌کننده (یکی در گروه NFT و دیگری در گروه کنترل) نتوانستند در آزمون‌های انتقال تأخیری شرکت کنند.

برای ارزیابی تعادل ایستا، از آزمون‌های دستگاه تعادل‌سنج (Biodex SD)، آزمون خطر سقوط (Fall risk) در مرحله اکتساب (به‌عنوان پیش‌آزمون-پس‌آزمون) و آزمون محدودیت ثبات (Limit of stability) در مرحله انتقال (هر دو در سطح ۸) استفاده شد.

برای ارزیابی تعادل پویا، از مقیاس تعادل برگ (BBS) در مرحله اکتساب (به‌عنوان پیش‌آزمون-پس‌آزمون) و آزمون بلند شدن و رفتن زمان‌بندی‌شده (TUG) در مرحله انتقال استفاده شد.

برای جلسات تمرین نوروفیدبک سیستم نرم‌افزار Biograph Infiniti (نسخه ۵)، رمزگذار Flex Comp Infiniti و واحد رابط TT-USB با کابل فیبر نوری و کابل USB استفاده شد که تبدیل ۲۴ بیتی آنالوگ به دیجیتال را با نرخ نمونه ۲۰۴۸ نمونه در ثانیه و سرعت داده ۲۵۶ sps به کامپیوتر منتقل می‌کرد. برای جلسات حسی پیکری فعال از سطوح طرح‌دار به طول ۵ متر استفاده شد. این سطوح طرح‌دار با برجستگی‌های پلاستیکی سفت گرد در فاصله حدود ۱ سانتی‌متری از یکدیگر پوشیده شده بودند. برای جلسات حسی پیکری غیرفعال از یک فوم رول به قطر ۷ سانت و طول ۲۰ سانت استفاده شد. سطح فوم رول با شیارهای طرح‌دار دارای برجستگی‌های کوچک پوشیده شده بود. آزمون‌ها طبق روال زیر انجام شد: از شرکت‌کنندگان ابتدا پیش‌آزمون گرفته شد و سپس هر سه گروه آزمایشی در ۱۵ جلسه ۳۰ دقیقه‌ای تمرینات مربوط به خود (پنج هفته، سه جلسه در هر هفته) شرکت کردند. گروه کنترل فقط در پیش‌آزمون، پس‌آزمون و آزمون انتقال شرکت کردند و در طی پنج هفته انجام پژوهش، فعالیت عادی روزانه خود را انجام دادند.

تمرینات نوروفیدبک (NFT): در طول ۳۰ دقیقه تمرین نوروفیدبک (NFT)، شرکت‌کنندگان در یک صندلی راحتی در مقابل یک مانیتور کامپیوتر قرار گرفتند. از سیستم بین‌المللی ۱۰-۲۰ الکتروگذاری برای قرار دادن الکترودها روی پوست سر استفاده شد. دو حسگر (الکترودهای اکتیو و رفرنس) به روش بایوپولار الکتروگذاری به لوب‌های پس سری

چپ و راست (O2 و O1) و یک (الکتروود گراند) به لاله گوش چپ سوژه متصل شدند (شکل A-1). در طول جلسات NFT از شرکت کنندگان خواسته شد دو بازی ویدئویی (قایق و پازل) را روی صفحه کامپیوتر (به عنوان بازخورد بصری) به مدت ۳۰ دقیقه بازی کنند. شرکت کنندگان برای افزایش فعالیت SMA (۱۵-۱۲ هرتز) و کاهش فعالیت تتا (۴-۷ هرتز) آموزش دیدند. در پایان هر جلسه، نوار EEG برای تعیین سطح فعالیت امواج مغزی در CZ (صفر مرکزی) پوست سر با چشم‌های باز و بسته ثبت شد.

تمرین حسی-پیکری فعال (SST-1) و غیرفعال (SST-2): در گروه تمرین حسی-پیکری فعال (SST-1)، ۳۰ دقیقه تمرین در هر جلسه به سه بخش زیر تقسیم شد: گرم کردن (۱۰ دقیقه)، راه رفتن روی سطح طرح‌دار (۱۵ دقیقه) و سرد کردن (۵ دقیقه). مرحله گرم کردن شامل حرکات کششی ایستا، پویا و سپس راه رفتن آرام روی سطح صاف بود. در طول بخش اصلی تمرین (۱۵ دقیقه)، از شرکت کنندگان خواسته شد تا روی سطح طرح‌دار برای دو دوره متوالی و یک بار روی زمین صاف راه بروند (شکل B-1). در مرحله سرد کردن از آزمودنی‌ها خواسته شد سرعت گام‌برداری خود را به نصف کاهش دهند. در گروه تمرین حسی-پیکری غیرفعال (SST-2)، ۳۰ دقیقه تمرین در هر جلسه به سه بخش زیر تقسیم شد: ۱۰ دقیقه ماساژ کف پا با دست و روغن زیتون (۵ دقیقه برای هر پا)، ۱۶ دقیقه ماساژ کف پا با فوم رول طرح‌دار (۸ دقیقه برای هر پا)، ۴ دقیقه ماساژ کف پا با دست و روغن زیتون. در طول ماساژ با فوم رول طرح‌دار، فرد روی صندلی راحت با ارتفاع مناسب از زمین نشست، فوم روی زمین قرار گرفت و فرد کف پای خود را به صورت رفت و برگشتی از سمت پاشنه پا به سمت نوک انگشتان و برعکس روی سطح فوم می‌غلطاند (شکل C-1).

ارزیابی تعادل ایستا و پویا برای همه شرکت کنندگان در قالب پیش‌آزمون، پس‌آزمون و آزمون انتقال به دست آمد. با هدف بررسی مرحله اکتساب قبل و بعد از جلسات تمرینی، تعادل ایستا (خطر سقوط) و پویا (بلند شدن و رفتن زمان‌دار TUG) اجرا شد. شرکت کنندگان پس از یک ساعت استراحت، آزمون انتقال را تکمیل کردند که شامل آزمون‌های تعادل ایستا (محدودیت ثبات) و تعادل پویا (مقیاس برگ) بود.

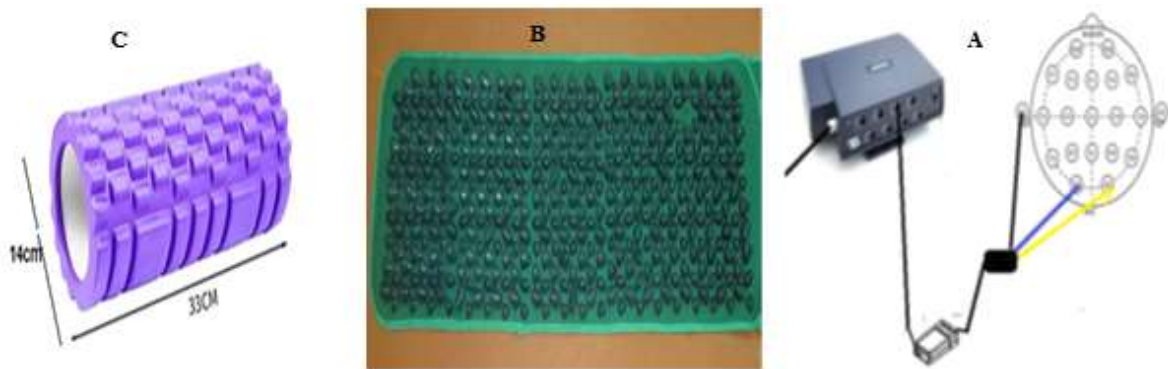
تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم افزار SPSS نسخه انجام شد. ابتدا آزمون t نمونه مستقل برای مقایسه شاخص‌های جمعیت‌شناختی مانند سن، وزن، قد، پرسشنامه سلامت عمومی (GHQ-28) و بررسی وضعیت شناختی عصبی-رفتاری (NCSE) بین شرکت کنندگان گروه‌ها اجرا شد. سپس برای ارزیابی تعادل ایستا و پویا، میکس آنوای یک‌طرفه (گروه × زمان)^۱ با گروه به عنوان عامل بین آزمودنی‌ها (۴ سطح)، زمان به عنوان عامل درون موضوعی (پیش-پس آزمون و آزمون‌های انتقال)، و توکی اچ‌ای‌دی^۲ برای آزمون تعقیبی استفاده شد. برای بررسی فرض کروی بودن از آزمون کروییت موچلی^۳ استفاده شد. از آنجاکه فرض کروی بودن نقض شد، تصحیح گرین هوس-گیسر^۴ اعمال شد و ضریب اطمینان ۹۵ (CI) درصد در نظر گرفته شد ($\alpha: 0.05$).

1. One-way (Group × Time) mixed design analysis of variance (ANOVA)

2. Tukey HSD

1. Mauchly's test of sphericity

2. Greenhouse-Geisser



شکل ۱- شمایی از تجهیزات و مواد؛ A: نوروفیدبک براساس نقشه ۱۰-۲۰، B: کفپوش‌های برجسته، C: فوم رول
Figure 1- Illustration of equipment and material; A: neurofeedback based on 10-20 system, B: patterned surfaces, C: Foam Roll

نتایج

مقایسه تحلیل‌های پارامتریک آزمون‌های t مستقل نشان داد که قبل از مداخله، گروه‌ها از نظر شاخص‌های سن، وزن و قد مشابه بودند. براساس تحلیل آزمون‌های GHQ-28 و NCSE، هیچ تفاوتی در وضعیت سلامت روانی-جسمی در بین همه شرکت‌کنندگان وجود نداشت و هیچ اختلال شناختی نشان داده نشد (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین و انحراف استاندارد شاخص‌های شخصیت شناختی آزمودنی‌ها

Table 1- Mean scores and std of characteristic of participants

P - value	گروه کنترل		گروه SST- 2		گروه SST-1		گروه NFT		قد (سانتی‌متر) Height (cm)
	Control group		SST-2 group		SST-1 group		NFT group		
	انحراف	میانگین	انحراف	میانگین	انحراف	میانگین	انحراف	میانگین	
	معیار SD	Mean	معیار SD	Mean	معیار SD	Mean	معیار SD	Mean	
0.36	2.1	162.5	2.1	160.7	2.8	162.3	2.9	161.6	وزن (کیلوگرم) Weight (kg)
0.32	2.6	62.4	2.3	66.7	2.5	65.2	3.7	67.4	سن (سال) Age (years)
0.42	3.9	66.91	2.4	67.9	2.9	68.05	3.8	68.04	۲۸GHQ
0.22	2.3	5.04	2.3	5.05	1.9	5.09	2.0	5.06	امتیازی GHQ 28 points
0.87	1.8	6.9	1.9	6.8	2.0	6.6	1.5	7.01	NCSE

به طور کلی، میانگین نمرات تعادل پس از هر سه مداخله آزمایشی شده بهبود یافت (جدول ۲). نتایج تعامل بین گروه‌های NFT، SST-1 و SST-2 نشان داد که شرکت‌کنندگان توانستند خطر سقوط را کاهش دهند (شکل A-۲). همچنین براساس داده‌های جدول (۲)، نتایج آزمون TUG نشان داد که شرکت‌کنندگان در گروه‌های SST-1، NFT و SST-2 به ترتیب توانستند میانگین زمان را به طور درخور توجهی کاهش دهند (شکل A-۲). علاوه بر این، نتایج آزمون‌های انتقال نشان داد که مداخلات ممکن است تأثیر متفاوتی بر انتقال توانایی‌های تعادل ایستا و پویا داشته باشد. گروه SST-1 امتیاز بهتری در آزمون‌های انتقالی تعادل پویای برگ کسب کرد؛ در حالی که گروه NFT در آزمون‌های انتقالی تعادل ایستای محدودیت ثبات امتیاز بهتری کسب کرد. گروه SST-2 با وجود معنادار بودن تفاوت عملکرد در آزمون‌های انتقالی تعادل در مقایسه با گروه کنترل، در مقایسه با دو گروه دیگر آزمایشی عملکرد ضعیف‌تری داشت (شکل ۳).

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد مرحله اکتساب (پیش‌آزمون-پس‌آزمون) و انتقال
Table2- Mean scores and std of acquisition (pre-post tests) and transfer stages

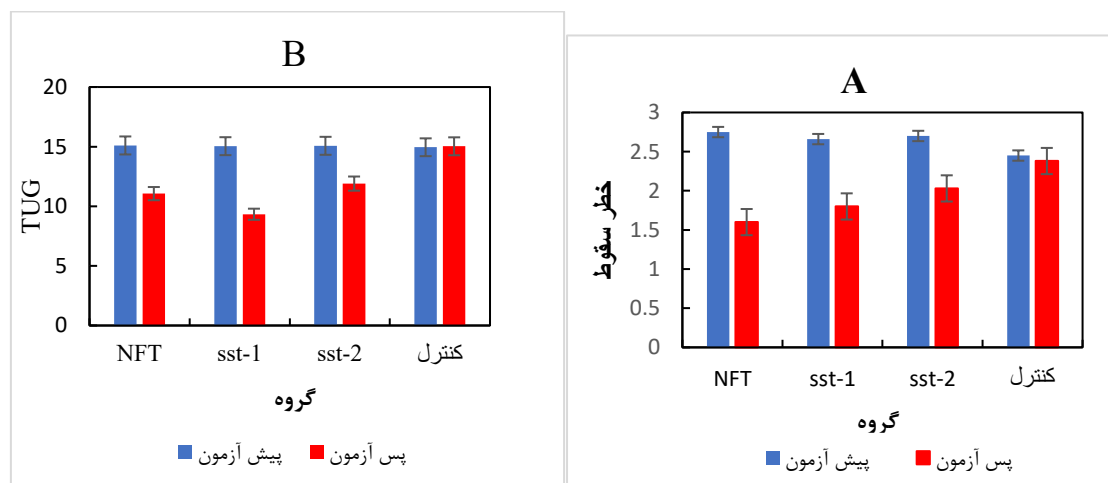
P-value		زمان آزمون Test Time		آزمون گروه Test Group	
آزمون تعقیبی Post Hoc Test	گروه Group	انتقال Transfer	پس آزمون Post-test	پیش آزمون Pre-test	
0.00	0.01		1.60±1.07	2.75±1.34	خطر سقوط ۱ Rick of falling 1
	0.03		1.80±1.21	2.66±1.62	خطر سقوط ۲ Rick of falling 2
	0.05		2.03±1.15	2.70±1.43	خطر سقوط ۳ Rick of falling 3
	0.75		2.38±1.11	2.45±1.33	خطر سقوط ۴ Rick of falling 4
	0.02	50.021±2.01			محدودیت ثبات ۱ Stability limit 1
	0.03	39.04±3.21			محدودیت ثبات ۲ Stability limit 2
	0.07	30.81±2.54			محدودیت ثبات ۳ Stability limit 3
	0.52	24.12±2.14			محدودیت ثبات ۴ Stability limit 4
0.00	0.01		11.06±2.3	15.10±2.1	۱ TUG TUG 1
	0.01		9.33±2.0	15.04±2.5	۲ TUG TUG 2
	0.08		11.90±2.50	15.07±2.3	۳ TUG TUG 3
	0.20		15.03±2.12	14.95±1.8	۴TUG TUG 4
	0.01	40.13±2.17			مقیاس برگ ۱ Berg Scale 1
	0.06	49.03±1.17			مقیاس برگ ۲

جدول ۲- میانگین و انحراف استاندارد مرحله اکتساب (پیش آزمون-پس آزمون) و انتقال
Table2- Mean scores and std of acquisition (pre-post tests) and transfer stages

P-value		زمان آزمون Test Time		آزمون گروه Test Group
آزمون تعقیبی Post Hoc Test	گروه Group	انتقال Transfer	پس آزمون Post-test	پیش آزمون Pre-test
	0.09	38.44±1.93		Berg Scale 2 مقیاس برگ ۳
	0.13	27.14±2.50		Berg Scale 3 مقیاس برگ ۴ Berg Scale 4

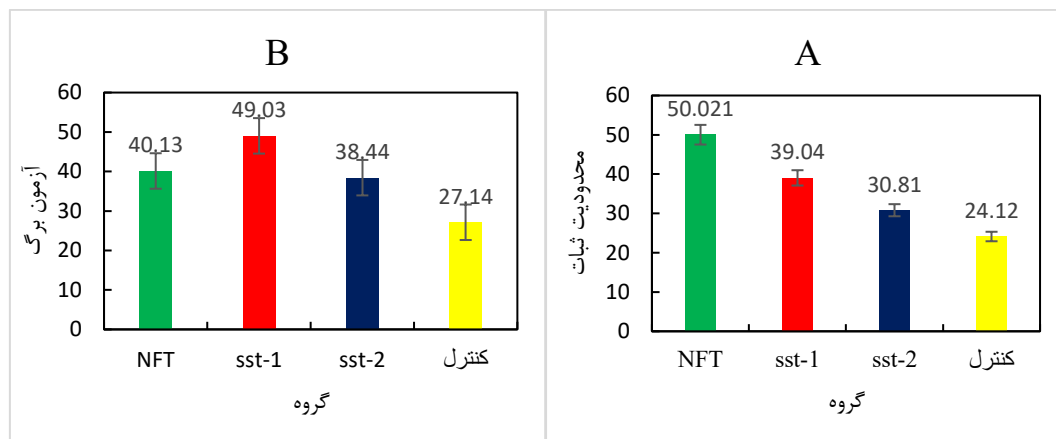
۱: گروه NFT، ۲: گروه SST-1، ۳: گروه SST-2، ۴: گروه کنترل

1: NFT group, 2: SST-1 group, 3: SST-2 group, 4: Control group



شکل ۲ - تغییرات میانگین امتیازات در گروهها در مرحله اکتساب: A: آزمون خطر سقوط برای تعادل ایستا، B: آزمون بلند شدن و رفتن زمان دار TUG برای تعادل پویا

Figure2- Mean scores changes for groups in acquisition stage; A: Fall risk test for static balance, B: TUG test for dynamic balance



شکل ۳- میانگین امتیازات گروه‌ها در مرحله انتقال؛ A: آزمون محدودیت ثبات برای تعادل ایستا، B: آزمون برگ برای تعادل پویا

Figure3- Mean scores changes for groups in transfer stage; A: limit of stability test for static balance, B: Berg test for dynamic balance

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش مقدماتی، بررسی تأثیر مداخلات حسی-پیکری و نوروفیدبک بر تعادل ایستا و پویا در سالمندان سالم بود. سوالات پژوهشی که از آن‌ها فرضیه‌های تحقیق ایجاد شد، به شرح زیر بود:

الف) آیا تمرینات حسی-پیکری فعال، غیرفعال و نوروفیدبک بر اکتساب تعادل ایستا و پویا تأثیر متفاوت دارند؟

ب) آیا تمرینات حسی-پیکری فعال، غیرفعال و نوروفیدبک بر انتقال توانایی تعادل ایستا و پویا تأثیر می‌گذارند؟

در ابتدا شایان ذکر است که افراد مسن سالم جامعه نمونه این مطالعه را تشکیل دادند که هیچ‌یک از آن‌ها اختلال شناختی یا وضعیتی نداشتند؛ بنابراین نتایج این مطالعه را نمی‌توان برای جمعیت‌هایی با آسیب‌های جسمی یا شناختی یا افرادی با عملکرد سطح پایین اعمال کرد. نتایج این پژوهش نشان داد، اول اینکه هر سه نوع مداخلات تمرینی در بهبود کنترل تعادل در افراد مسن به طور کلی موفق بودند؛ بر این اساس می‌توان گفت که هر سه این روش‌ها می‌توانند به افراد مسن در پیشگیری از افتادن و بهبود کنترل ثبات وضعیت در طول فعالیت‌های روزانه کمک کنند؛ دوم اینکه سه گروه آزمون تعادل پویای بهتری در آزمون اکتساب در مقایسه با گروه کنترل داشتند، اما گروه SST-1 نمره درخورتوجهی بیشتر از گروه NFT و گروه SST-2 داشت. در نهایت مشخص شد که گروه SST-1 نمرات بهتری در آزمون‌های انتقال تعادل پویا به دست آورد؛ در حالی که گروه NFT نمرات بهتری در آزمون‌های انتقال تعادل ایستا کسب کرد. گروه SST-2 هم در آزمون اکتساب و هم در آزمون‌های انتقال در مقایسه با گروه کنترل عملکرد بهتری داشت، اما در مقایسه با دو گروه آزمایشی دیگر عملکرد ضعیفتری در تمام آزمون‌ها داشت.

نتایج تمرین و آموزش نوروفیدبک بر تعادل نشان داد که فرضیه ما مبنی بر اینکه تمرین نوروفیدبک عملکرد تعادلی را تسهیل کرده و در نتیجه بهبود تعادل ایستا و پویا را در سالمندان تسریع می‌کند، تأیید می‌شود. شرکت‌کنندگان توانستند کنترل خود را بر نوسانات وضعیتی در تعادل ایستا و پویا ارتقا دهند. مطالعات قبلی تأثیر تمرین تعادل نوروفیدبک را بر بیماران دارای ناتوانی تعادل نشان داده است (۱۷)؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر با چنین یافته‌هایی در ادبیات مرتبط سازگار است. عملکرد آزمودنی‌ها در طول اکتساب و شواهد بهبود نمره تعادل از پیش‌آزمون تا پس‌آزمون تفاوت معناداری با پیشرفت‌های به‌دست‌آمده توسط اعضای گروه کنترل داشت. دو توضیح احتمالی در این باره وجود دارد: اول اینکه به

نظر می‌رسد محل استقرار الکترودها نقش مهمی در ارائه اطلاعات موردنیاز برای تعادل دارد. نقاط "O1-O2" که در این مطالعه استفاده شد، نزدیک به ساختارهای مغزی است که در ایجاد تعادل نقش دارند؛ مانند لوب اکسیپیتال، جسم سیاه، عقده‌های قاعده‌ای و مخچه. هالدر و همکاران در طبقه‌بندی مطالعاتی خود اذعان می‌کنند که در ارتباط با اجرای مغزی-کامپیوتری، سطح فعالیت شکنج جلویی-اکسیپیتال برتر، نقش مهمی در تعیین سطح عملکرد فردی ایفا می‌کند؛ بر این اساس، قرار دادن الکترودها (O1-O2) مورد استفاده در این مطالعه با افزایش نوسانات مهم SMR در تاج خلفی سازگار است که پردازش بصری را فعال تر می‌کند.

تحقیقات قبلی نشان داده است که پردازش بصری هشداردهنده در افراد مسن در مقایسه با بزرگسالان جوان بیشتر بروز می‌کند و افراد مسن برای تنظیم کنترل تعادل، اتکای بیشتری به بازخورد بصری دارند. علاوه بر این، یک مرور سیستماتیک قبلی شواهدی را ارائه کرد که افراد مسن‌تر، به‌ویژه آن‌هایی که در معرض بیشتر خطر افتادن هستند، الگوهای بصری خاصی را نمایش می‌دهند که نشان‌دهنده کاهش ظرفیت استفاده از اطلاعات بصری آنلاین نسبت به بزرگسالان جوان در هنگام مواجهه با تهدیدات پیش‌بینی نشده برای ایجاد ثبات قامتی است (۲۰)؛ بر این اساس پیشنهاد می‌شود که پردازش بصری فضایی فعال برای برنامه‌ریزی و تنظیمات پیشگیرانه به‌منظور حفظ ثبات در محیط پویا و پیچیده (به عنوان مثال، سطوح مختلف، تغییر مسیر به مقصد) ضروری است و اجازه تنظیم پیشگیرانه الگوهای حرکتی را می‌دهد تا حرکت ایمن و کنترل وضعیتی بدن تضمین شود.

دومین توضیح این است که روش به‌کارگرفته‌شده برای کاهش تنا و تقویت SMR برای حفظ تعادل مهم است. تنای قشری اغلب در کودکان خردسال مشاهده می‌شود. در کودکان بزرگ‌تر و بزرگسالان، در حالت‌های مراقبه، خواب آلودگی یا خواب ظاهر می‌شود؛ با این حال، هنگامی که توجه به سمت وظایف شناختی و محیطی معطوف می‌شود، یعنی در حالت بیداری طبیعی و هوشیاری موج SMR غالب است. زمانی که فرد هوشیار بوده، توجه و حواسش مشغول فعالیت بدنی است و موج SMR قدرتمند است (۲۱-۲۳)؛ بر این اساس، این امکان وجود دارد که سالمندان در مطالعه حاضر پس از تمرینات نوروفیدبک یاد می‌گیرند که با بهره‌گیری از فعالیت‌های شناختی خودتنظیمی ناهوشیار، بتوانند قدرت تنا را کاهش داده و قدرت SMR را افزایش دهند. در آزمون انتقال حفظ تعادل افرادی که در گروه NFT بودند، در مقایسه با گروه دیگر گروه‌ها نمرات بهتری در تعادل ایستا به دست آوردند. با توجه به ماهیت شرایط گروه تمرین نوروفیدبک، به نظر می‌رسد که شرکت‌کنندگان در حین آزمون‌های تعادل ایستا در بایودکس توانستند به وضوح امواج مغزی خود را حتی در شرایط جدید تحمیل‌شده توسط آزمون انتقال، تنظیم کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که فرایند یادگیری در تعادل ایستا در افراد گروه NFT رخ داده است. به طور کلی، براساس یافته‌های حاضر و در مقایسه با سایر مطالعات، به نظر می‌رسد که پروتکل SMR/ تنا که در این مطالعه استفاده شده است، برای تعادل ایستا سالمندان سالم مفید باشد.

از سوی دیگر در بخش دیگر این پژوهش به بررسی دو نوع مداخله تمرینی فعال و غیرفعال حسی-پیکری پرداخته شد. در مداخله فعال، فرد راه رفتن روی سطح بافت برجسته را تمرین می‌کرد و در مداخله غیرفعال، فرد در حالت نشسته روی صندلی، ماساژ کف پا دریافت می‌کرد (شکل ۱). نتایج این آزمون‌ها حاکی از آن است که پس از ۱۵ جلسه SST فعال و غیرفعال، تعادل ایستا و پویا نسبت به گروه کنترل به طور درخور توجهی بهبود یافت؛ اگرچه گروه مداخله فعال عملکرد بهتری از گروه غیرفعال داشت (شکل‌های ۲ و ۳). این یافته‌ها با برخی مطالعاتی که بهبود تعادل را در جامعه‌های مختلف به دنبال برنامه‌های تمرینی حسی-پیکری گزارش کرده‌اند، مطابقت دارد. برنامه‌های این گروه‌ها شامل تمرینات مقاومتی روی سطوح نامتعادل یا ایستادگی روی سطوح تک‌محوری یا چندمحوری بود (۲۴).

در برخی از مطالعات گزارش شده است که کنترل قامت در افراد جوان و سالمند پس از تحریک کف پا بهبود یافت (۸)، (۷). نتایج این مطالعات و همچنین مطالعه حاضر، شواهد غیرمستقیمی را ارائه می‌دهد که کف پا اطلاعات لمسی مربوط را در مورد موقعیت بدن با توجه به عمودی بودن و انتقال وزن تجهیز می‌کند. در طول تطبیق، گیرنده‌ها، فشار مداوم اعمال شده به میدان خود را کدگذاری می‌کنند (۲۵)؛ بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد، کف پا یکی از سطوحی است که آگاهی ادراکی فضایی بدن را از موقعیت خود در محیط افزایش می‌دهد و نمایش فضایی توزیع فشار زیر پا را فزونی می‌بخشد (۲۶). پایه اصلی ایده مطالعه حاضر در استفاده از سطوح بافت‌دار، تقویت ورودی حسی بود. از آنجاکه کنترل قامت کارآمد بر ادغام موفقیت‌آمیز ورودی‌های چندحسی متکی است، انتظار می‌رود که راه رفتن روی یک سطح طرح‌دار باعث افزایش حس پوستی و حس عمقی و همچنین ثبات وضعیتی در افراد مسن شود (۲۷)؛ با این حال، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات هاتون و همکاران (۶) و ویلسون و همکاران (۲۸) مطابقت ندارد. این پژوهشگران گزارش دادند که کفی‌های بافت‌دار در کفش‌های استاندارد شده تأثیر درخورتوجهی بر متغیرهای نوسان وضعیتی ندارند. در تحقیق آن‌ها از صندل‌های مجهز به کفی‌های میخ‌دار برای مداخله استفاده شد که به نظر می‌رسد برآمدگی‌های کوچک روی صندل‌ها که پوست را در نواحی موضعی نزدیک بهم فرو می‌کند، باعث می‌شود تعداد نسبتاً کمی از گیرنده‌های مجاور را با سرعت زیادی شلیک کنند (۶). در مقابل، در مطالعه ما در بخش تمرینات فعال، از کفپوش برجسته‌ای استفاده شد که برجستگی‌ها آن درشت و دارای لبه‌های گرد بود و با سطح بیشتری از پوست تماس داشت. در گروه غیرفعال نیز فوم رول شیاردار تمام سطح کف پا را ماساژ می‌داد (شکل ۱). این گستره بزرگ‌تر تماسی، نرخ شلیک دامنه کمتری را از درصد بیشتری از گیرنده‌ها ایجاد می‌کند. شواهد موجود مبنی بر کاهش نوسانات وضعیتی در بزرگسالان سالم جوان و مسن توسط کفی‌های ارتعاشی، این احتمال را افزایش می‌یابد که هرگونه تأثیری بر تعادل به ماهیت و/یا درجه ورودی حسی وابسته باشد. شایان ذکر است که در آزمون انتقال افراد گروه SST-1 نمرات بهتری را در تعادل پویا کسب کردند. این نتایج معقول به نظر می‌رسد. تمرین گروه SST-1 شامل بخش‌های جداگانه‌ای است که همگی برای فعال بودن طراحی شده‌اند. تحمل وزن روی کف پا در حین جلسات و در حین جابه‌جایی می‌تواند تأثیر درخورتوجهی بر سیستم دهلیزی و حسی‌پیکری داشته باشد؛ بنابراین شرکت‌کنندگان این گروه یاد گرفتند که تعادل پویای خود را در حین انجام یک تکلیف جدید کنترل کنند. سازوکار عمل این فرایند مبتنی بر کاهش مکانیسم‌های جبرانی کنترل حرکت و نوسانات قامت (فعالیت بیش از حد قشر پری‌فورنتال و تغییر به سمت یک استراتژی کنترل اجرایی برای کنترل راه رفتن و حفظ تعادل برای فرد سالمند) و بهبود عملکرد تضعیف‌شده در مدارهای حرکتی تولیدکننده الگو در سیستم عصبی مرکزی (به دلیل فقدان و اختلال اطلاعات حسی پیکری) است که برای هماهنگی راه رفتن و تعادل مهم هستند (۲۹).

البته در مورد گروه SST-2 نتایج بهبود عملکرد تعادلی سالمندان را می‌توان با مکانیسم‌های مطرح‌شده در مطالعات پیشین نیز توجیه کرد. ماساژ کف پا موجب از بین بردن فیبروز در بافت‌های میوفاشیال می‌شود و آنچه به عنوان تعدیل جنبه‌های فیزیولوژیک عصبی شهرت یافته است، یعنی توانایی بهبود انتقال‌های عصبی در سطوح کف پا رخ می‌دهد (۳۱، ۳۰). تمرینات خودتنظیمی نوروفیدبک بر کنترل تعادل ایستا مؤثرتر بود و تمرینات فعال حسی‌پیکری بر تعادل پویا و گروه حسی‌پیکری غیرفعال (ماساژ کف پا) بعد از این دو گروه، اما بالاتر از گروه کنترل در هر دو تعادل ایستا و پویا قرار گرفت. در آزمون‌های انتقال نیز گروه NFT بهبودی درخورتوجهی را در تعادل ایستا نشان داد؛ در حالی که گروه SST-1 امتیاز بهتری در تعادل پویا به دست آورد و گروه SST-2 نیز بعد از دو گروه آزمایشی دیگر، ولی بالاتر از گروه کنترل قرار گرفت. یادگیری حرکتی تغییری است که با توجه به میزان یادداری یا انتقال به شرایط جدید نشان داده می‌شود (۳۲). با توجه به نتایج آزمون‌های انتقال، می‌توان اذعان کرد که یادگیری برای کنترل تعادل ایستا و پویا به ترتیب در گروه‌های NFT، SST-1 و SST-2 رخ داده است. همان‌گونه که مطرح شد، روش‌های مداخله تمرینی نوروفیدبک و تمرینات حسی‌پیکری

با مکانیسم اثر کاملاً متفاوتی سبب توسعه و بهبود تعادل می‌شوند. به طور کلی، براساس یافته‌های حاضر و در مقایسه با سایر مطالعات، به نظر می‌رسد که بسط دامنه تحریک پوست کف پا همراه با تحمل وزن و جابه‌جایی فعال که باعث تحریک نواحی بزرگ‌تر و گیرنده‌های متعدد حسی پیکری و سیستم دهلیزی می‌شود، موجب بهبود عملکرد و حفظ تعادل پویای افراد مسن سالم مفیدتر می‌شود. در صورتی که این تحریک به صورت غیرفعال و بدون تحمل وزن باشد، باز هم می‌تواند تأثیر زیادی بر حفظ تعادل در سالمندان داشته باشد؛ در حالی که خودتنظیمی ناشی از تمرینات نوروفیدبک در قشر مغز با بهبود فرایندهای پردازش اطلاعات، سوق دادن توجه به فرایندهای ادراکی محیطی و همچنین بهبود فرایندهای مرتبط با شناسایی و رصد بصری، به‌طور ویژه سبب گسترش ثبات در تعادل ایستا می‌شود. براساس یافته‌ها می‌توان ادعا کرد که در صورت نبود امکان دسترسی به هرکدام از روش‌های مذکور، جایگزینی دیگر روش‌های این پژوهش می‌تواند تأثیر مثبت و فزاینده مطلوبی بر تعادل فرد سالمند داشته باشد.

مطالعه حاضر با هدف بررسی اثرات احتمالی برنامه‌های NFT و SST با تمرکز بر روند بهبود تعادل ایستا و پویا در سالمندان سالم انجام شد. براساس یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان پیشنهاد کرد که سالمندان می‌توانند از هر سه روش آزمایش‌شده به صورت ترکیبی برای بهبود تعادل جسمانی خود بهره‌مند شوند. اثر تمرینات غیرفعال حسی پیکری به‌ویژه برای سالمندانی که امکان حرکت و جابه‌جایی ایمن ندارند، می‌تواند راهکار مفیدی برای بهبود تعادل باشد؛ با این حال، شرکت‌کنندگان در این مطالعه سالمندان سالم بودند و هیچ‌گونه اختلال وضعیتی یا شناختی مشخص نداشتند. توصیه می‌شود که مطالعات آتی اثربخشی آموزش پاسخ واکنشی را بر اجرای وظایف روزانه، پیشگیری از خطر سقوط در حین فعالیت چالشی، و در جمعیت‌هایی با اختلال شناختی و/یا وضعیتی بررسی کنند. علاوه بر این، این نتایج باید با سایر روش‌های تمرین تعادل مقایسه شود.

پیام مقاله

اگر هر یک از سه روش - آموزش فعال حس پیکری، آموزش غیرفعال حس پیکری یا نوروفیدبک - در دسترس نباشد، جایگزینی با یکی از روش‌های دیگر همچنان می‌تواند بهبودهای مثبت و معناداری در تعادل در افراد مسن ایجاد کند.

ملاحظات اخلاقی

تمامی مراحل آزمایش زیر نظر گروه رفتار حرکتی دانشگاه فردوسی و با پیروی از اصول اخلاقی انجام شده است. نامه تأیید گروه به مجله ارسال شده است.

مشارکت نویسندگان

ایده‌پردازی: عاطفه آذرپیکان و حمیدرضا طاهری
جمع‌آوری داده‌ها: عاطفه آذرپیکان و منوچهر قلخانی
تحلیل داده‌ها: عاطفه آذرپیکان و منوچهر قلخانی
نوشتن مقاله: عاطفه آذرپیکان و منوچهر قلخانی
بازبینی و ویرایش: حمیدرضا طاهری
مرور ادبیات: عاطفه آذرپیکان
مدیر پروژه: حمیدرضا طاهری

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.

تشکر و قدردانی

از آزمایشگاه دانشکده علوم ورزشی دانشگاه فردوسی و از همه افراد و سالمندانی که در انجام پژوهش همکاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Aartolahti E, Tolppanen AM, Lnnroos E, et al. Health condition and physical function as predictors of adherence in longterm strength and balance training among community-dwelling older adults. *Arch Gerontol Geriatr*. 2015; 61:452–7. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2015.06.016>
2. Sturnieks DL, St George R, Lord SR. Balance disorders in the elderly. *Clin Neurophysiol*. 2008; 38:467–78. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.09.001>
3. Paquette MR, Li Y, Hoekstra J, Bravo J. An 8-week reactive balance training program in older healthy adults: a preliminary investigation. *Journal of Sport Health Science*. 2015; 4:263–9. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.06.004>
4. Graham DF, Carty CP, Lloyd DG, et al. Biomechanical predictors of maximal balance recovery performance amongst community-dwelling older adults. *Exp Gerontol*. 2015; 66:39–46. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2015.04.006>
5. Chang NY, Uchanski R M, Hullar TE. Temporal integration of auditory and vestibular stimuli. *Laryngoscope*. 2012; 122:1379–84. <https://doi.org/10.1002/lary.23329>
6. Hatton AL, Dixon J, Martin D, et al. The effect of textured surfaces on postural stability and lower limb muscle activity. *Journal of Electromyog Kinesiol*. 19; 2009:957–64. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.04.012>
7. Perry SD. Evaluation of age-related plantar-surface insensitivity and onset age of advanced insensitivity in older adults using vibratory and touch sensation tests. *Neurosci Lett*. 2006; 392:62–7. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.08.060>
8. Palluel E, Nougier V, Olivier I. Do spike insoles enhance postural stability and plantar surface cutaneous sensitivity in the elderly? *AGE*, 30;2008:53–61. <https://doi.org/10.1007/s11357-008-9047-2>
9. Priplata AA, Niemi JB, Harry JD, et al. Vibrating insoles and balance control in elderly people. *Lancet*. 2003; 362:1123–4. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(03\)14470-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(03)14470-4)
10. Lesemann F, Reuter EM, Godde B. Tactile stimulation interventions: influence of stimulation parameters on sensorimotor behavior and neurophysiological correlates in healthy and clinical samples. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015; 51:126–37. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.01.005>
11. Gruzelier JH, Foks M, Steffert T, et al. Beneficial outcome from EEG-neurofeedback on creative music performance, attention and well-being in school children. *Biol Psychol*. 2014; 95:86–95. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.04.005>
12. Zhang Y, Chen Y, Bressler SL, et al. Response preparation and inhibition: the role of the cortical sensorimotor beta rhythm. *Neuroscience*. 2008; 156:238–46. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.06.061>
13. Ninausa MC, Kobera SE, Wittea, M, et al. Brain volumetry and self-regulation of brain activity relevant for neurofeedback. *Biol Psychol*. 2015; 110:126–33. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2015.07.009>
14. Hammond DC. Neurofeedback to improve physical balance, incontinence, and swallowing. *Journal of Neurother*. 2005;9(1):27–36. https://doi.org/10.1300/j184v09n01_03
15. Basta D, Todt I, Ernst A. Characterization of age-related changes in vestibular evoked myogenic potential. *Journal of Vest Research*. 2007; 17:93–8. <https://doi.org/10.3233/ves-2007-172-304>
16. Rossi-Izquierdo M, Ernst A, Soto-Varela A, et al. Vibrotactile neurofeedback balance training in patients with Parkinson's disease: reducing the number of falls. *Gait Posture*. 2012;37: 195–200. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.002>
17. Azarpaikan A, Taherii HR, Sohrabi M. Neurofeedback and physical balance in Parkinson's patients. *Gait Posture*. 2014; 40:177–81. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.03.179>
18. Goldberg DP, Gater R, Sartorius N, et al. The validity of two versions of the GHQ in the WHO study of mental illness in general health care. *Psychol Med*. 1997; 27:191–7. <https://doi.org/10.1017/s0033291796004242>

19. Macaulaya C, Battistab M, Lebbyc PC, et al. Geriatric performance on the neurobehavioral cognitive status examination (Cognistat): What is normal? *Arch Clin Neuropsychol*. 2003; 18:463–71. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(02\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(02)00141-5)
20. Mak TC, Wong TL, Ng SM. Visual-related training to improve balance and walking ability in older adults: a systematic review. *Experimental Gerontology*. 2021; 156:111612. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2021.111612>
21. Reichert JL, Kober SE, Neuper C, et al. Resting-state sensorimotor rhythm (SMR) power predicts the ability to up-regulate SMR in an EEG-instrumental conditioning paradigm. *Clin Neurophysiol*. 2015; 126:2068–77. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.09.032>
22. Halder S, Varkuti B, Bogdan M, et al. Prediction of brain computer interface aptitude from individual brain structure. *Front Hum Neurosci*. 2013; 7:105. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00105>
23. Dickson CT, Kirk IJ, Oddi SD, et al. Classification of thetarelated cells in the entorhinal cortex: cell discharges are controlled by the ascending brainstem synchronizing pathway in parallel with hippocampal theta-related cells. *Hippocampus*. 1995; 5:306–19. <https://doi.org/10.1002/hipo.450050404>
24. Behm D, Colado JC. The effectiveness of resistance training using unstable surfaces and devises for rehabilitation. *Int J Sports Phys Therapy*. 7; 2012:226–41. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3325639/>
25. Kennedy PM, Inglis JT. Distribution and behaviour of glabrous cutaneous receptors in the human foot sole. *J Physiol*. 2002; 1:995–1002. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2001.013087>
26. Wu G, Chiang JH. The significance of somatosensory stimulations to the human foot in the control of postural reflexes. *Brain Res*. 1997; 114:163–9. <https://doi.org/10.1007/pl00005616>
27. Merriman NA, Whyatt C, Setti A, et al. Successful balance training is associated with improved multisensory function in fallprone older adults. *Comput Hum Behav*. 2015; 45:192–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chb.2014.12.017>
28. Wilson ML, Rome K, Hodgson D, et al. Effect of textured foot orthotics on static and dynamic postural stability in middle aged females. *Gait Posture*. 2008; 27:36–42. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.12.006>
29. Sood P, Chatterjee SA, et al. Somatosensory impairment of the feet is associated with higher activation of prefrontal cortex during walking in older adults. *Exp Gerontol*. 2022; 168:111845. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2022.111845>
30. Abrantes R, Monteiro R, et al. The acute effect of two massage techniques on functional capability and balance in recreationally trained older adult women: a cross-over study. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*. 2021; 28:458-62. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.07.010>
31. Winberg TB, Hedg ET, et al. Influence of intermittent pneumatic compression on foot sensation and balance control in chemotherapy-induced peripheral neuropathy patients. *Clinical Biomechanics*. 2021; 90:101255. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2021.105512>
32. Magill R, Anderson D. Motor learning and control: concepts and applications, 10th ed. McGraw-Hill Education; 2011.