

The Effect of Non-Slippery Flooring on Postural Stability and Gait Parameters in Severe Osteoporosis Elderly

Ramin Rafeie¹ , Mohammad Eftekhari Yazdi^{2,*} , Koorosh Nakhaee³ , Siamak Khorrammehr¹ 

¹ Department of Biomechanics, Faculty of Medical Sciences and Technologies, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Department of Mechanical Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

³ Department of Mechanic and Biomedical Engineering, School of Sciences and Technologies, Eslamshahr Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Article History:

Received: 27/09/2022

Revised: 15/11/2022

Accepted: 22/11/2022

ePublished: 21/12/2022



Objectives: Investigating the effective factors in controlling and increasing stability due to weakening of the balance parts of the body in the elderly with osteoporosis, in order to prevent falling is of particular importance, so in this study, the effect of anti-slip flooring in the stimulation of the somatosensory part of the sole of the foot to improve postural stability and gait balance has been evaluated in the elderly with osteoporosis.

Methods: 22 elderlies participated (11 elderly women with severe osteoporosis, 11 healthy elderly women) in this study in two static and dynamic condition on three different surfaces including sponge non-slippery flooring (FL), PVC patterned non-slippery flooring (SF) and control surface (CO). In the static part, each participant was standing on the force plate for 30 seconds with eyes open and eyes closed. The values of the length, sway and average velocity of the anterior-posterior and internal-external center of pressure of the foot were measured. In the dynamic part, each participant walked at a selected speed on different surfaces and the values of the normalized step and stride length, step width, step and stride time, and average step and stride velocity were measured.

Results: PVC non-slippery flooring (SF) and control surface (CO) reduced all postural stability and gait variables ($P < 0.05$) in osteoporosis and healthy elderly than soft Sponge Surface (SF). Moreover, all postural stability variable and spatial and temporal gait parameters were significantly more in the osteoporosis elderly than in healthy elderlies ($P < 0.05$). Moreover, anterior-posterior mean velocity in open-eyed state significantly reduced in both elderly groups than close-eyed state ($P < 0.05$).

Conclusion: Stiff and patterned surfaces are more effective than soft spongy surfaces in stimulating the somatosensory part of the foot sole to improve stability in both osteoporotic and healthy elderly groups. The results of this study may be helpful to understand the characteristics of the elderly while walking and standing on non-slippery flooring in different environments and the ergonomic design of the environment in order to reduce slips and falls and as a result possible fracture in the elderly with severe osteoporosis. In addition, observation of instability between the elderly with osteoporosis and healthy suggests the need for further investigation and the use of auxiliary exercises to correct and improve stability.

Keywords: Floorcovering; Postural balance; Gait variability; Osteoporosis; Elderly; Ergonomics

*Corresponding author:

Mohammad Eftekhari Yazdi,
Department of Mechanical
Engineering, Central Tehran
Branch, Islamic Azad University,
Tehran, Iran.

Email: moh.eftekhari-yazdi@iauctb.ac.ir

Extended Abstract

Background and Objective

Falling and walking instability are among the most severe problems faced by the elderly. Falls caused by slipping are the most critical cause of injury-related death among the elderly over 75 and the second cause of accidental death for people 45-75. Several experimental and laboratory studies have shown changes in walking and balance parameters due to ageing and the effect of those changes on the occurrence of slips and the number of falls with biomechanical variables.

Therefore, investigating the influential factors in controlling and increasing stability as a result of weakening the balance parts of the body in the elderly with osteoporosis to prevent falls is of particular importance. In this study, the effect of anti-slip flooring in stimulating the somatosensory part of the sole to improve postural stability and balance. Walking has been evaluated in elderly with osteoporosis and healthy elderly.

Materials and Methods

22 older adults over 60 years old (11 older women with severe osteoporosis (Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) method was used to determine the level of osteoporosis in patients), 11 healthy older women) in this Study in two static and dynamic conditions on three different surfaces including soft non-slip sponge flooring made of nylon fibers in each warp with a thickness of 16 mm (FL), hard non-slip patterned PVC flooring with a thickness of 10 mm in a grid form (SF) and surface Control of the smooth and hard surface of the Kistler force plate (Model 9286AA, Kistler, Alton, UK) without any indentation or indentation (CO) was performed. Textured surfaces covered the entire walking and standing track, and force plates were placed under it.

The kinematic data of the markers were collected with a sampling frequency of 100 Hz by the motion recording system of VICON 8 cameras (VICON Motion System, UK), and the force data were collected to calculate the parameters of the centre of pressure (COP) with a frequency of 1000 Hz. The test included two static parts (standing fully with eyes open (EO) and eyes closed (EC)) and a dynamic part (walking at average speed) on different surfaces.

In the static part, each subject stood for 30 seconds in eyes-open and eyes-closed positions at three different levels on a Kistler force plate (Model 9286AA, Kistler, Alton, UK) while legs together, arms by the side of the trunk and looking straight ahead. Stood, the standing position was repeated three times by each subject at a 2-minute interval to eliminate the effect of fatigue and habituation of sensory stimuli for each state (eyes open and eyes closed in all three levels). Anterior-posterior displacement length (APLCOP), medial-external displacement length (MLLCOP), anterior-posterior deviation (APSCOP) and medial-external deviation (MLSCOP) as well as anterior-posterior mean velocity (AP-MVCOP) and mean internal velocity values - External (ML-MVCOP) plantar centre of pressure (COP)

was measured at different levels of SF, FL and CO in eyes open (EO) and eyes closed (EC).

In the dynamic part, each participant walked with a selected speed on different walking levels and normalized values of step length (nStepL), step length (nStrideL), step width (StepW), step time (StepT), step duration (StrideT) and also, average walking speed (StepV) and stride speed (StrideV) were measured. To increase the reliability of the results and also to check the reliability of the average values of the variables in repeated measurements from the ICC test and check the significant difference between the dependent variables in the dynamic mode from the two-way analysis of variance test with repeated measures and also to prevent the multiple levels of the effect of each of the variables One-way ANOVA test was used independently on dependent variables in each group.

Results

All walking parameters except Step W had excellent reliability in both healthy elderly groups (ICC > 0.919) and elderly with severe osteoporosis (ICC > 0.919). In the standing condition, all variables of the foot pressure centre in the control group (ICC > 0.672) and the elderly group with severe osteoporosis (ICC > 0.535) often had excellent and good reliability. PVC hard flooring (SF) and complex control surface (CO) compared all variables related to postural stability and spatiotemporal parameters of walking ($P > 0.05$) except normalized length and step time, and step width in elderly with osteoporosis and healthy. To soft spongy flooring (SF) significantly reduced, step time in elderly with severe osteoporosis was considerably more than healthy elderly.

Even though the walking speed of older adults with osteoporosis was significantly lower than that of healthy older people at all levels of walking, no significant difference was observed in the average walking speed of older people at any of the stories. In addition, only the average anterior-posterior velocity in the eyes-open condition compared to the eyes-closed condition decreased significantly in the two elderly groups ($P = 0.002$).

Discussion

The results of this study can help to understand the characteristics of the elderly better when walking and standing on non-slip flooring in different environments and the ergonomic design of the environment to reduce slips and falls. As a result, possible failure in the elderly with severe osteoporosis. In addition, the observation of instability between the elderly with osteoporosis and the healthy suggests the need for further investigation and the use of auxiliary exercises to correct and improve stability.

Conclusion

Hard and patterned surfaces effectively stimulate the somatosensory part of the soles of the feet to improve stability and stability in healthy and osteoporosis elderly groups.

اثر کفپوش‌های بدون لغزش بر پایداری وضعیتی و پارامترهای راه رفتن در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان شدید

رامین رفیعی^۱ ID، محمد افتخاری یزدی^{۲*} ID، کوروش نخعی^۳ ID، سیامک خرمی مهر^۱ ID

^۱ گروه بیومکانیک، دانشکده‌ی علوم و فناوری‌های پزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

^۲ گروه فنی مهندسی، دانشکده‌ی فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

^۳ گروه مکانیک و مهندسی پزشکی، دانشکده‌ی فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر، تهران، ایران

چکیده

اهداف: بررسی عوامل مؤثر در کنترل و افزایش پایداری در نتیجه تضعیف بخش‌های تعادلی بدن در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان جهت پیشگیری از افتادن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین در این مطالعه، تأثیر کفپوش‌های ضد لغزش در تحریک بخش سوماتوسنوری کف پا جهت بهبود پایداری وضعیتی و تعادل در راه رفتن در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان مورد ارزیابی قرار گرفته است.

روش کار: تعداد ۲۲ سالمند (۱۱ نفر سالمند خانم مبتلا به پوکی استخوان شدید، ۱۱ نفر سالمند زن سالم) در این مطالعه در دو وضعیت ایستا و پویا در سه سطح مختلف شامل کفپوش بدون لغزش اسفنجی (FL (Non-slippery flooring)، کفپوش بدون لغزش طرح‌دار PVC (Patterned non-slippery flooring) و SF و سطح کنترل (Control surface) CO شرکت کردند. در بخش استاتیک، هر شرکت‌کننده برای مدت ۳۰ ثانیه بر روی صفحه‌ی نیرو در وضعیت چشم باز و چشم بسته در حالت کاملاً ایستاده قرار داشتند. مقادیر طول، انحراف و سرعت متوسط قدامی-خلفی و داخلی-خارجی مرکز فشار کف پا اندازه‌گیری شد. در بخش پویا، هر یک از شرکت‌کننده‌ها با سرعت انتخابی بر روی سطوح مختلف راه رفتن و مقادیر طول نرمالیز قدم و گام، عرض قدم، زمان گام و قدم و همچنین سرعت متوسط قدم و گام اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: کفپوش PVC (SF) و سطح کنترل (CO) کلیه‌ی متغیرهای مربوط به پایداری وضعیتی و پارامترهای زمانی-مکانی راه رفتن ($P < 0/05$) در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان و سالم را نسبت به کفپوش نرم اسفنجی SF کاهش دادند. همچنین تمامی متغیرهای پایداری وضعیتی و پارامترهای زمانی-مکانی راه رفتن در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان به طور معنی‌داری بیشتر از سالمندان سالم بود ($P > 0/05$). علاوه بر آن، سرعت متوسط قدامی-خلفی در وضعیت چشم باز نسبت به چشم بسته به طور معنی‌داری در دو گروه سالمندان کاهش یافت ($P < 0/05$).

نتیجه‌گیری: سطوح سخت و طرح‌دار نسبت به سطح نرم اسفنجی در تحریک بخش سوماتوسنوری کف پا در راستای بهبود ثبات و پایداری در هر دو گروه سالمندان سالم و مبتلا به پوکی استخوان تأثیرگذار می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند به درک بهتر ویژگی‌های سالمندان هنگام راه رفتن و ایستادن بر کفپوش‌های ضد لغزش در محیط‌های مختلف و طراحی ارگونومی محیط در جهت کاهش لغزش و سقوط و در نتیجه شکست احتمالی در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان شدید کمک دهد. علاوه بر آن، مشاهده‌ی ناپایداری بین سالمندان مبتلا به پوکی استخوان و سالم، ضرورت بررسی بیشتر و بکارگیری تمرینات کمکی جهت اصلاح و بهبود پایداری را پیشنهاد می‌دهد.

کلید واژه‌ها: کفپوش؛ تعادل وضعیتی؛ پارامترهای راه رفتن؛ پوکی استخوان؛ سالمندان؛ ارگونومی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵

تاریخ داوری مقاله: ۱۴۰۱/۰۸/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰



تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* نویسنده مسئول: محمد افتخاری یزدی؛ گروه فنی مهندسی، دانشکده‌ی فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
ایمیل: moh.eftekhari-yazdi@iauctb.ac.ir

استناد: رفیعی رامین، افتخاری یزدی محمد، نخعی کوروش، خرمی مهر سیامک. اثر کفپوش‌های بدون لغزش بر پایداری وضعیتی و پارامترهای راه رفتن در سالمندان مبتلا به پوکی استخوان شدید. مجله ارگونومی، تابستان ۱۴۰۱؛ ۱۰(۳): ۱۹۹-۱۹۰.

در حالت ایستاده در سطوح مختلف مورد بررسی قرار داد [۱۶]. اما اثر سطوح مختلف در سالمندان SO بر پایداری وضعیتی و تغییرات راه رفتن و مقایسه‌ی آن با سالمندان سالم در شرایط مختلف ادراکی و حسی روشن نیست. هدف از این مطالعه، بررسی رابطه‌ی بین تأثیر کفپوش‌های بدون لغزش بر پارامترهای راه رفتن و تعادل وضعیتی راستای بهبود تعادل در سالمندان سالم و سالمندان SO همچنین طراحی ارگونومیک محیط‌های داخلی می‌باشد.

روش کار

این مطالعه‌ی عرضی توسط کمیته‌ی تحقیقات بالینی گروه بیومکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات به شماره CTV-12875 تأیید شد. بر اساس ادبیات تحقیق [۱۷]، تعداد ۲۲ مورد، ۱۱ نفر سالمند زن SO با سن (۴/۹۵) (۶۴/۴۷) سال، وزن (۱۲/۲۹) (۶۸/۴۴) کیلوگرم و قد (۵/۵۲) (۱۵۵/۳۳) سانتی‌متر و ۱۱ نفر زن سالمند سالم با سن (۳/۱۲) (۶۴/۰۰) سال، وزن (۱۲/۳۴) (۷۱/۸۲) کیلوگرم و قد (۱۰/۳۴) (۱۶۷/۷۳) بالای ۶۰ سال سن شرکت کردند. تمام شرکت‌کنندگان قبل از شرکت در مطالعه، رضایت‌نامه‌ی کتبی آگاهی از شرایط آزمون را امضاء کردند و قبل از ورود به مطالعه توسط روماتولوژی بررسی شده تا شرایط ورود به مطالعه را داشته باشند. معیارهای خروج از مطالعه شامل هر نوع بیماری اعصاب مانند Multiple sclerosis، Parkinson's، عصبی-عضلانی، سکته، بیماری‌های اعصاب محیطی، بیماری‌های گوش داخلی، بیماری‌های ژنتیکی استخوان، بیماران با $BMI < 15 \text{ kg/m}^2$ بودند. جهت بررسی میزان پوکی استخوان بیماران از (Dual-energy X-ray absorptiometry) DXA استفاده شد. مقادیر T-score و BMD در سالمندان SO برای هر یک از بخش‌های (۱/۱۶) (-۲/۷۸) Spine، (۰/۸۳) (-۲/۰۱) Femoral Neck و (۰/۹۸) (-۱/۴۹) Total Hip اندازه‌گیری شد.

مواد (سطوح بافتی): در این مطالعه، از دو کفپوش بدون لغزش نرم و سفت با طرح و ضخامت مختلف و همچنین یک سطح کنترل مطابق با شکل ۱ استفاده شد: سطح کنترل سطح صاف و سخت فورس پلیت (Model 9286AA, Kistler, Alton, UK) بدون هیچ دندان یا فرورفتگی (CO)، کفپوش بدون لغزش اسفنجی (نرم) ساخته شده از الیاف نایلون درهم‌تنیده با ضخامت ۱۶ میلی‌متر مدل نودل مت ساخت شرکت اکباتان دیزان ایران (FL (Non-slippery flooring) و کفپوش بدون لغزش (پلاستیک فشرده) طرح‌دار از جنس PVC با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به شکل شبکه‌ای مبتلا به حفره ساخت شرکت Kleine Wolke آلمان (Stiffness). سطوح بافتی کل مسیر راه رفتن و ایستادن را پوشانده و فورس پلیت‌ها در زیر کفپوش‌ها جانمایی شده بودند.

فرایند آزمایش و پردازش دیتاها: هر آزمودنی با لباس استرج بدون کفش با الگوی مارکرگذاری Full body Plug-In-Gait VICON به آزمایش وارد شدند (شکل ۲).

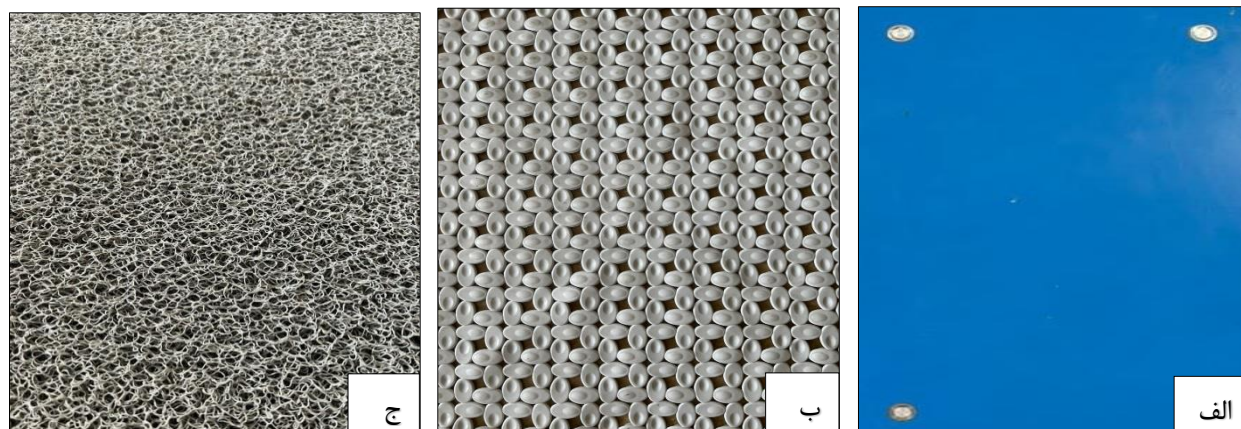
خطر سقوط و لغزش با افزایش سن اتفاق می‌افتد [۱]، عامل ۶۷ درصد سقوط و افتادن‌ها در سالمندان در نتیجه‌ی لغزش یا سر خوردن می‌باشد [۲]. تقریباً ۶۵ درصد از تمام صدمات جدی و ۵۵ درصد مرگ و میرها مربوط به زمین خوردن بیماران بالای ۶۵ سال بوده است [۳]. بنابراین، دو عامل مؤثر کلی وجود دارد (که به وضوح عوامل مستقلی نیستند) که احتمالاً در شدت لغزش نقش دارند: ۱- وضعیت بدن و مهم‌تر از آن اختلالات پا، در نتیجه کاهش تعادل در راه رفتن و ۲- واکنش‌های اصلاحی ایجاد شده در پاسخ به لغزش.

آتروفی نواحی کورتیکال موتور کنترل [۴] و کاهش حجم بخش‌های سفید [۵] و خاکستری [۶] ناشی از افزایش سن می‌تواند همراه با نقص تعادل و راه رفتن باشد. از طرفی حفظ تعادل در فعالیت‌های مختلف و راه رفتن، از پرتکرارترین وظایف حسی-حرکتی در زندگی سالمندان می‌باشد. حفظ تعادل، یک عمل پیچیده مبتنی بر اثر متقابل سیستم حرکتی، کنترل حسی و عملکرد شناختی می‌باشد. در طول پیر شدن طبیعی، تغییرات فیوزولوژیکی در دید، وستیبولار، ورودی‌های سوماتوسنسوری و همچنین پردازش ناحیه‌ی مرکزی و عامل عضلانی رخ می‌دهد [۷]. علاوه بر آن، ضعف اسکلتی-عضلانی ناشی از سارکوپنیا و پوکی استخوان می‌تواند منجر به سقوط و شکستگی شود.

بنابراین، خطر شکستن با سلامت استخوان و خطر افتادن تعیین می‌گردد، در نتیجه یکی از گروه‌های بسیار پرخطر جهت پیشگیری از شکستگی‌های مربوط به افتادن افراد مبتلا به پوکی استخوان شدید (Sever osteoporosis) SO می‌باشند. از دلایل احتمالی افزایش ریسک افتادن در بیماران SO می‌توان به تغییرات وضعیتی مربوط به پوکی استخوان (چون کایفوزیز)، استراتژی‌های تعادلی نامناسب [۸]، محدودیت‌های خودتحمیلی در فعالیت‌های مختلف فیزیکی ناشی از ترس زمین خوردن [۹]، ضعف عمومی [۱۰] و جرم پایین بدن اشاره کرد [۱۱]. پوکی استخوان در افراد سالمند از مهم‌ترین ریسک فاکتورهای افتادن، شکستگی‌ها و حتی مرگ و میر می‌باشد [۱۲]. بنابراین ارزیابی اختلافات حسی-حرکتی سالمندان SO از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مطالعات بالینی غالباً متمرکز بر پیش‌بینی دقیق عوامل مؤثر بر سقوط سالمندان و ارائه‌ی راهکارهای پیشگیرانه و کنترلی مانند برنامه‌های ورزشی بوده‌اند [۱۲]. در مطالعات مختلف مشخصاً مقادیر BMD (bone mineral density)، پایداری گیت، انحرافات وضعیتی و قدرت عضله‌ی چهارسر را به عنوان عوامل مؤثر اصلی پیش‌بینی‌کننده بر خطر سقوط سالمندان بالای ۶۰ سال بیان کرده‌اند [۱۳، ۱۴]. برخی از مطالعات محدود به تعداد پایین شرکت‌کنندگان [۱۵] یا تنها بر روی موارد خانم و یا سالمندان انجام شده بود.

Simon و همکاران در یک جامعه‌ی آماری بالا (شامل هر دو جنسیت) ارتباط BMD و پایداری وضعیتی بیماران SO را به روش وضعیت‌شناسی Romberg در یک سطح مشخص مورد ارزیابی قرار دادند [۱۵]. در مطالعه‌ی دیگر، تنها وضعیت پایداری سالمندان را



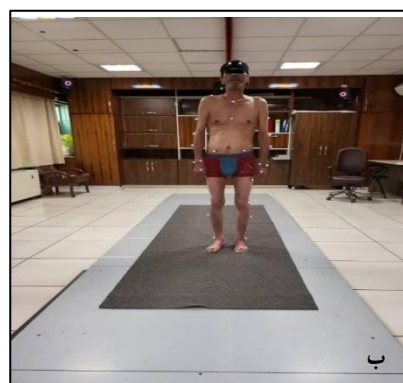
شکل ۱: سطوح مختلف مطالعه: الف) سطح سخت و صاف سطح کنترل (CO)، ب) سطح بدون لغزش از پلاستیک فشرده و طرحدار (SF)، ج) سطح بدون لغزش نرم اسفنجی (FL)

(COP) در هر یک از سطوح CO، FL و SF جهت بررسی اثر سوماتوسنوری کف پا و اثر ادراکی بر پایداری وضعیتی در حالت چشم بسته (EC) و چشم باز (EO) اندازه‌گیری شد. علاوه بر آن به دلیل قابل اطمینان بودن اندازه‌ی سرعت متوسط مرکز فشار در بررسی تعادل وضعیتی در مقایسه با سایر اندازه‌های COP-based، مقادیر سرعت متوسط قدمی - خلفی ($AP-MV_{COP}$) و سرعت متوسط داخلی - خارجی ($ML-MV_{COP}$) بر اساس محاسبات Prieto و همکاران [۱۸] در هر یک از ۶ حالت در دو گروه سالمندان سالم و SO اندازه‌گیری شد.

علاوه آن، متغیرهای راه رفتن شامل مقادیر نرمالایز طول قدم ($nStepL$)، طول گام ($nStrideL$) (جهت کاهش اثر اختلاف ابعاد بدن بین افراد بر متغیرهای طول قدم و طول گام، این مقادیر بر حسب درصدی از قد افراد بیان شدند) و عرض قدم ($StepW$)، مدت زمان قدم ($StepT$)، مدت زمان گام ($StrideT$) بر اساس مطالعه‌ی Maki [۱۹] اندازه‌گیری شدند. علاوه بر آن سرعت متوسط قدم زدن ($StepV$) (سرعت قدم زدن از تقسیم اختلاف فاصله بین برخورد پاشنه‌ی یک پا با برخورد پاشنه‌ی پای متناظر بر زمان سپری شده محاسبه شد) و سرعت گام برداشتن ($StrideV$) (سرعت گام برداشتن از تقسیم اختلاف فاصله بین برخورد اول و دوم یک پا بر زمان سپری شده محاسبه شد) در هر یک از حالات سطح اندازه‌گیری شدند.

به طور کلی آزمون شامل دو بخش استاتیک (ایستادن کامل به صورت چشم باز (EO) و چشم بسته (EC)) و بخش دینامیک (راه رفتن با سرعت نرمال) بر روی سطوح مختلف بود. در بخش استاتیک، هر فرد برای مدت ۳۰ ثانیه در وضعیت‌های چشم باز و چشم بسته در سه سطح مختلف بروی فورس پلیت پاهای کنار هم، بازوها در کنار تنه و نگاه مستقیم به جلو، ایستادند. حالت استاتیک با ۴ مرتبه تکرار در مجموع ۱۸ تسک و در حالت دینامیک با ۳ مرتبه مجموعاً ۱۲ تسک انجام شد. دیتاهای سینماتیکی مارکرها با فرکانس نمونه‌برداری ۱۰۰ هرتز توسط سیستم ضبط حرکت ۸ دوربین (VICON Motion System, UK) و دیتاهای فورس جهت محاسبه‌ی پارامترهای مرکز فشار (COP) با فرکانس ۱۰۰۰ هرتز جمع‌آوری شدند. فیلتر پایین گذر مرتبه‌ی دوم Butterworth zero-lag جهت حذف نویز از سیگنال اصلی با فرکانس قطع ۱۲ هرتز برای فورس پلیت و ۶ هرتز برای دیتاهای سینماتیکی استفاده شد.

متغیرهای پایداری وضعیتی و راه رفتن: در حالت استاتیک، متغیرهای وابسته شامل طول جابجایی قدمی - خلفی (APL_{COP})، طول جابجایی داخلی - خارجی (MLL_{COP})، انحراف قدمی - خلفی (APS_{COP}) و انحراف داخلی - خارجی (MLS_{COP}) مرکز فشار پا



شکل ۲: الف) راه رفتن روی سطوح مختلف (شرایط پویا)، ب) وضعیت کاملاً ایستاده (شرایط ایستا)

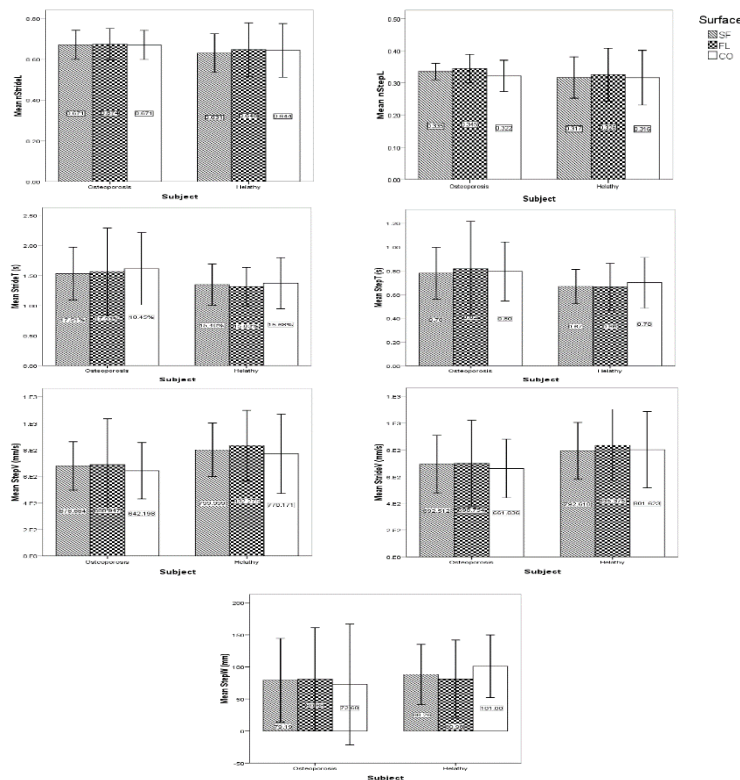
nStrideL ($P = 0/040$) و گام nStepL ($P = 0/010$) زمان قدم StepT ($P < 0/001$) و گام StepT ($P < 0/001$) در سالمندان SO نسبت به سالمندان سالم به طور معنی‌داری افزایش یافت اما عرض قدم StepW ($P = 0/151$) بین دو گروه تغییر معنی‌داری نداشت (شکل ۲). نتایج نشان دادند که مقدار nStepL در هر دو گروه در سطح FL نسبت به دو سطح SF و CO بیشتر بود، علاوه بر آن عرض گام در گروه سالمندان SO در سطح CO نسبت به دو سطح دیگر کمتر اما در سالمندان سالم این مقدار در سطح CO نسبت به دو سطح دیگر افزایش قابل توجهی داشت. در کلیه سطوح نتایج افزایش معنی‌داری در زمان قدم زدن ($P < 0/001$) StepT و گام برداشتن StepT ($P < 0/001$) سالمندان SO نسبت به سالمندان سالم را نشان دادند. با توجه به شکل ۳ زمان گام StrideT و قدم StepT در سطح نرم اسفنجی (FL) نسبت به دو سطح سفت دیگر (SF, CO) در هر دو گروه سالمندان بیشتر بود اما این اختلاف معنی‌دار نبود.

در هیچ یک از دو گروه (سالمندان سالم و سالمندان SO) اختلاف معنی‌داری در سرعت قدم زدن StepV ($P = 0/673$) و سرعت گام برداشتن StrideV ($P = 0/414$) در سطوح مختلف راه رفتن مشاهده نشد، در حالی که مقادیر StepV ($P < 0/001$) و StrideV ($P < 0/001$) در کلیه سطوح SF, FL و CO در سالمندان SO نسبت به سالمندان سالم به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳).

آنالیزهای آماری: تمام آزمون‌های آماری در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ (version 16, SPSS Inc., Chicago, IL) انجام شد. آزمون نرمال بودن Kolmogorov-Smirnov و همگنی واریانس Levene's برای مقادیر متوسط تمام متغیرها مورد استفاده قرار گرفت. جهت افزایش اطمینان از نتایج و همچنین بررسی پایایی مقادیر متوسط متغیرها در اندازه‌گیری‌های مکرر (۴ مرتبه) از آزمون ICC (Intraclass correlation coefficient) با سطوح مختلف استفاده شد. در نتیجه به منظور بررسی اختلاف معنی‌دار بین متغیرهای وابسته در حالت دینامیک و استاتیک از آزمون واریانس چند راهه (MANOVA) با اندازه‌های تکراری برای فاکتورهای Vision و Texture surface استفاده شد. به منظور بررسی سطوح معنی‌دار در هر گروه از آزمون تعقیبی Bonferroni با سطح معنی‌داری ۰/۰۵ استفاده شد.

یافته‌ها

متغیرهای راه رفتن: مقدار میانگین ICC در سطوح مختلف برای هر یک از پارامترهای راه رفتن در گروه شاهد به جز StepW ($ICC = 0/481$) با پایایی متوسط، از پایایی بالایی ($ICC < 0/975$) برخوردار بود. سطوح مختلف سطح بر هیچ یک از متغیرهای گیت در هر دو گروه سالمندان تأثیر معنی‌داری نداشت، در صورتی که مقدار طول نرمالایز قدم



شکل ۳: مقادیر متوسط طول نرمالایز قدم (nStepL)، طول نرمالایز گام (nStrideL)، عرض قدم (StepW) (میلی‌متر)، سرعت قدم (StepV) (میلی‌متر بر ثانیه) و سرعت گام (StrideV) (میلی‌متر بر ثانیه) در سطوح مختلف SF, FL و CO در گروه سالمندان سالم (Healthy) و سالمندان مبتلا به پوکی استخوان (Osteoporosis)

کاملاً برعکس بود، چنانچه در هر سه متغیر $MLSCOP$ ، $MLLCOP$ و $ML-MVCOP$ در وضعیت چشم باز نسبت به وضعیت چشم بسته مقادیر افزایش یافت اما این تغییرات به غیر از متغیر $AP-MVCOP$ معنی‌دار نبودند. در گروه سالمندان SO این تغییرات در متغیرهای وابسته تعادل وضعیتی بین وضعیت چشم باز و بسته کمی متفاوت بود، به طوری که در وضعیت چشم باز مقادیر متوسط $APLCOP$ ، $MLLCOP$ ، $APSCOP$ و $MLSCOP$ نسبت به چشم بسته، بیشتر بود اما مقادیر متوسط $AP-MVCOP$ و $ML-MVCOP$ در وضعیت چشم باز نسبت به چشم بسته به طور معنی‌داری کمتر بود (شکل ۴).

بحث

متغیرهای راه رفتن: مطالعات متعددی به ارزیابی اثر کفی‌های مختلف بر متغیرهای گیت در گروه‌های مختلف سنی پرداختند [۲۰، ۲۱]. در سال ۲۰۱۲، Hatton و همکاران به کمک سیستم $GAITRite$ تغییرات پارامترهای گیت در نتیجه مداخله کفی‌های مختلف (کفی صاف و دنداندار) در سالمندان مبتلا به سابقه افتادن (افتادن بیش از دو مرتبه) را اندازه‌گیری کردند، آن‌ها نشان دادند که طول قدم، طول گام و سرعت راه رفتن با کفی دنداندار نسبت به کفی صاف، به طور معنی‌داری کاهش یافت [۲۲]. در این مطالعه، مشابه مطالعه‌ی Hatton و همکاران، در هر دو گروه سالمندان سالم و SO طول گام و قدم در دو سطح طرح‌دار (SF) و صاف سخت (CO) نسبت به سطح نرم اسفنجی کمتر بود اما این مقادیر معنی‌دار نبودند.

Qiu و همکاران در نتایجی همسو با مطالعه‌ی حاضر، بهبودی در پایداری دینامیکی سالمندان سالم هنگام استفاده از کفی‌های برجسته را گزارش کردند. همچنین به این نتیجه رسیدند که کفی‌های سخت در مقایسه با کفی‌های نرم، پایداری دینامیکی بهتری را نشان می‌دهند [۲۳]، اما هیچ یک به بررسی اثر سطوح مختلف بر پایداری دینامیکی سالمندان SO نپرداخته بودند. در مطالعه‌ی حاضر هیچ تأثیر معنی‌داری بر متغیرهای گیت در هر دو گروه سالمندان سالم و SO بین سطوح مختلف مشاهده نشد، احتمالاً مقدار تحریک سنسورهای مکانیکی سطح پوست کف پا ناشی از سطوح مختلف بکار رفته، کمتر از آستانه‌ی تحریک سیستم سوماتوسنوری بوده است.

Galica و همکاران، با اضافه کردن یک وایبراتور در سطح کفی توانستند با افزایش سطح تحریک سیستم سوماتوسنوری کف پا، تغییراتی مثبت در متغیرهای گیت در راستای بهبود پایداری دینامیکی در سالمندان ایجاد کنند [۲۱]. به طوری که با افزایش آستانه‌ی تحریک، زمان قدم و گام در سالمندان با و بدون سابقه‌ی افتادن به شکل معنی‌داری کاهش یافت، چنانچه در مطالعه‌ی حاضر در گروه سالمندان SO ، زمان گام و قدم استخوان در سطح سخت (SF ، CO) نسبت به سطح اسفنجی (FL) دچار کاهش شد اما در سالمندان سالم این نتیجه کاملاً برعکس بود.

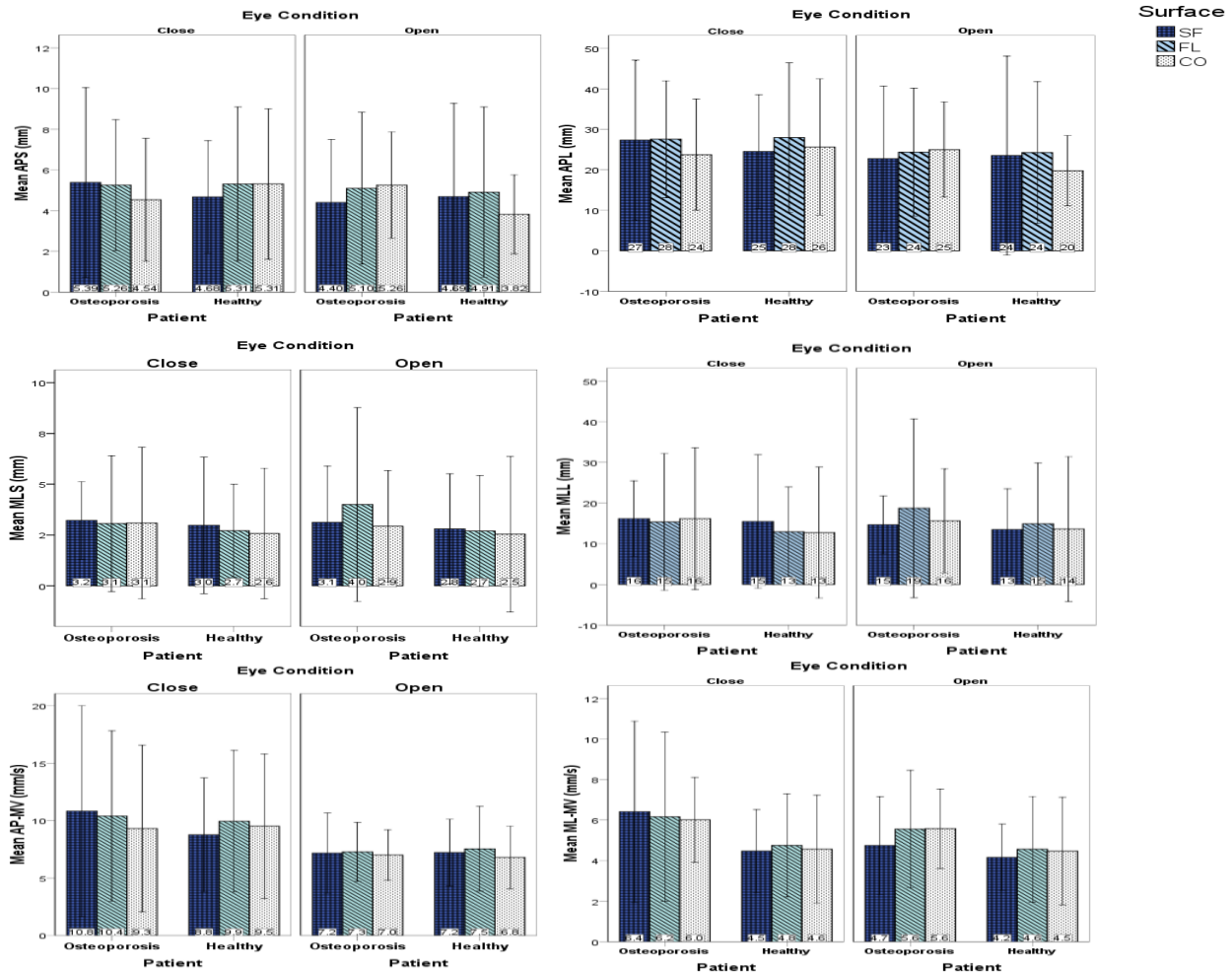
پایداری وضعیتی: متغیرهای پایداری وضعیتی در گروه شاهد در شرایط چشم بسته ($0/930 < ICC < 0/672$) و در شرایط چشم باز ($0/913 < ICC < 0/715$) و همچنین در گروه سالمندان پوکی استخوان در شرایط چشم بسته ($0/937 < ICC < 0/756$) و در شرایط چشم باز ($0/868 < ICC < 0/535$) از پایایی بالایی برخوردار بودند. بین دو گروه سالمندان سالم و سالمندان SO در میانگین متغیرهای وابسته مربوط به تعادل وضعیتی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد ($P < 0/001$)، به طوری که مقدار ($P = 0/018$) $ML-MVCOP$ ، $MLLCOP$ ($P = 0/006$) و $MLSCOP$ ($P = 0/001$) در سالمندان SO نسبت به سالمندان سالم هر یک به ترتیب ۲۲/۲۳، ۲۶/۴۶ و ۳۱/۵۸ درصد به طور معنی‌داری افزایش یافت. اگرچه در راستای قدامی- خلفی هیچ اختلاف معنی‌داری در مقادیر طول، انحراف و سرعت متوسط مرکز فشار کف پا بین دو گروه سالمندان مشاهده نشد، اما مقدار متوسط کلیه‌ی متغیرهای وابسته در راستای قدامی- خلفی در سالمندان SO نسبت به سالمندان سالم بیشتر بود.

نتایج، هیچ اختلاف معنی‌داری بین سطوح مختلف SF ، FL و CO در هیچ یک از متغیرهای وابسته پایداری وضعیتی نشان ندادند ($P = 0/734$). با این وجود، تمام مقادیر $APLCOP$ ، $MLLCOP$ ، $APSCOP$ ، $AP-MVCOP$ ، $ML-MVCOP$ مرکز فشار کف پا به غیر از $MLSCOP$ در سطوح سفت CO و SF نسبت به سطح اسفنجی FL کمتر بود، به عبارت دیگر کلیه‌ی متغیرهای وابسته پایداری وضعیتی مطالعه، در سطح اسفنجی FL نسبت به دو سطح سخت دیگر افزایش یافت.

تأثیر سطوح مختلف بر متغیرهای وابسته در هر گروه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت، در گروه سالمندان SO ، بیشترین مقدار $APLCOP$ ، $APSCOP$ و کم‌ترین مقدار $MLLCOP$ و $MLSCOP$ در سطح FL مشاهده شد. در این گروه، مقدار $AP-MVCOP$ و $ML-MVCOP$ در سطوح سخت SF ، CO نسبت به سطح FL بیشتر بود.

نتایج آزمون $MANOVA$ نشان داد که مقدار ($P = 0/017$) $MLSCOP$ در وضعیت چشم بسته نسبت به چشم باز، افزایش و مقدار ($P < 0/001$) $AP-MVCOP$ به طور معنی‌داری کاهش یافت. در صورتی که آزمون $ANOVA$ به صورت جداگانه برای هر گروه سالمندان سالم ($P = 0/004$) $AP-MVCOP$ و سالمندان SO ($P = 0/002$) $AP-MVCOP$ تنها در مقدار سرعت متوسط قدامی- خلفی بین دو وضعیت چشم باز و بسته افزایش معنی‌داری را نشان داد.

مقایسه‌ی مقادیر متوسط بین دو وضعیت چشم باز و چشم بسته در هر گروه به طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفت، نتایج در گروه سالمندان سالم به این صورت بود که در راستای قدامی- خلفی در هر سه متغیر وابسته $APLCOP$ ، $APSCOP$ و $AP-MVCOP$ در وضعیت چشم باز، شاهد کاهش قابل توجهی نسبت به وضعیت چشم بسته بودند در حالی که در راستای داخلی- خارجی نتایج



شکل ۴: مقادیر متوسط طول قدامی- خلفی (APL_{COP}) و داخلی خارجی (MLL_{COP}) مرکز فشار (میلی‌متر)، انحراف قدامی- خلفی (APS_{COP}) و داخلی- خارجی (MLS_{COP}) مرکز فشار و مقادیر سرعت متوسط قدامی- خلفی (AP-MV_{COP}) و داخلی- خارجی (ML-MV_{COP}) مرکز فشار کف پا در حالت ایستاده در سطوح مختلف SF، FL و CO و دو وضعیت پشم بار (EO) و چشم بسته (EC) در گروه سالمندان سالم (Healthy) و سالمندان مبتلا به پوکی استخوان (Osteoporosis)

ایستاده را هم در جوانان و هم در سالمندان در وضعیت چشم بسته افزایش دهد [۲۳]، هرچند در وضعیت چشم باز، اختلافی ایجاد نکردند. در همین راستا Hatton و همکاران، اثر سطوح مختلف بر تعادل سالمندان سالم را مورد ارزیابی قرار دادند، آن‌ها هیچ اختلاف معنی‌داری در پارامترهای تعادل بین هیچ یک از سطوح در سالمندان سالم گزارش نکردند که کاملاً با نتایج مطالعه‌ی حاضر همسو بود [۱۶]. اما همچنان اثر سطوح مختلف بر پایداری وضعیتی سالمندان SO روشن نبود.

Abreu و همکاران نشان دادند که سالمندان SO در هر دو حالت چشم باز و بسته، هنگام ایستادن بر روی فوم نسبت به چوب جابجایی معنی‌دار داخلی- خارجی و قدامی- خلفی بیشتری را نسبت به سالمندان سالم دارند که کاملاً با نتایج مطالعه‌ی حاضر همسو بود [۲۴]. به طوری که در مطالعه‌ی حاضر، بیشترین مقدار MLL_{COP}، APL_{COP}، MLS_{COP}، APS_{COP}، AP-MV_{COP} و ML-MV_{COP} در سالمندان سالم در سطح اسفنجی FL رخ داد اما در سالمندان SO، تنها در راستای قدامی- خلفی شاهد افزایش

در متغیرهای فرضی راه رفتن بین سالمندان SO و سالم به غیر از nStepL (P = ۰/۱۵۹، F = ۲/۶۵۱) و StepW (P = ۰/۱۵۱، F = ۲/۱۲۳) شاهد اختلاف معنی‌داری بودیم. طول نرمالایز، زمان قدم و گام در سالمندان SO نسبت به سالم بیشتر اما سرعت قدم و گام در سالمندان SO از سالم کمتر بود. با توجه به شرایط یکسان آزمایش برای هر دو گروه، این اختلاف در متغیرهای گیت بین سالمندان سالم و SO را می‌توان به دلیل ترس از افتادن دانست. به طور معنی‌داری، در سالمندان SO به دلیل ترس از افتادن و شکستگی‌های ترد استخوان نسبت به سالمندان سالم، شاهد قدم‌های بلندتر با فاصله‌ی عرضی (StepW) بیشتر و سرعت پایین‌تر می‌باشیم. در نتیجه یافته‌های این مطالعه می‌تواند به فهم بهتر مکانیزم تعادلی در سالمندان SO و کاربرد برنامه‌های تمرینی هدفمند به پزشکان کمک نماید.

پایداری وضعیتی: برخی از مطالعات به بررسی اثر کفی با جنس‌های مختلف بر تعادل وضعیتی پرداختند و عموماً گزارش کردند که کفی‌های مختلف می‌تواند پایداری وضعیتی در حالت

که تنها بر متغیرهای وابسته خدای- خلقی تأثیر داشت و مقادیر APL_{COP} ، $APSCOP$ و $AP-MV_{COP}$ در وضعیت چشم باز کاهش یافت، اگرچه تنها کاهش سرعت متوسط در این راستا معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری

سطوح سفت و برجسته SF و CO تا حد قابل توجهی کلیه‌ی متغیرهای مربوط به پایداری وضعیتی را نسبت به سطح نرم اسفنجی کاهش داد، علاوه بر آن، کلیه‌ی پارامترهای زمانی- مکانی گیت به جز طول نرمالیز گام، عرض قدم و زمان گام در سطوح سخت و برجسته SF و CO نسبت به سطح نرم اسفنجی به طور قابل توجهی کمتر بود. محرک دیداری در هر دو گروه سالمندان سالم و پوکی استخوان تنها بر سرعت قدامی- خلفی مرکز فشار کف پا به طور معنی‌داری تأثیرگذار بود و در وضعیت چشم باز، در تمام سطوح، کمتر از چشم بسته بود. نتایج این مطالعه پیشنهاد می‌دهد که مداخله‌ی سطوح طرح‌دار و برجسته می‌تواند به عنوان یک راه‌حل کاربردی و محتمل جهت کاهش ریسک خطر افتادن در سالمندان SO نیز در نظر گرفته شود. علاوه بر این، نتایج این مطالعه را می‌توان در استفاده از کفپوش‌های سفت و غیرلغزنده در محیط‌های داخلی و خارجی مانند استخر و حمام و غیره برای جلوگیری از سر خوردن و افتادن سالمندان به منظور ارتقای سلامت و اعمال اصول در طراحی محیطی ارگونومیک به کار برد.

تشکر و قدردانی

این مقاله از نتایج تحقیق رساله دکتری رامین رفیعی به سرپرستی استاد محمد افتخاری یزدی استخراج شده است و از همه‌ی عزیزانی که ما را در نوشتن این مقاله کمک کردند، سپاسگزاریم.

تضاد منافع

در نگارش این مقاله تضاد منافع وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

کلیه ملاحظات اخلاقی پیش از آزمون توسط کمیته اخلاق دانشگاه مورد تایید قرار گرفت و همچنین فرم رضایت از بیماران جهت حضور در آزمون از کلیه شرکت‌کنندگان اخذ شد.

حمایت مالی

کلیه منابع مالی این مطالعه از جمله هزینه‌های آزمایشگاه آنالیز حرکت توسط نویسندگان تامین شده است.

نوسانات مرکز فشار کف پا در سطح اسفنجی بودیم. در صورتی که در راستای داخلی- خارجی نتایج برعکس (کم‌ترین مقدار MLL_{COP} و MLS_{COP} در سطح اسفنجی FL مشاهده شد) بود. برخی از مطالعات، ضعف عضلانی و ناپایداری وضعیتی بیشتر در سالمندان SO نسبت به سالمندان سالم هم سن نشان دادند [۲۲]، که این اختلافات می‌تواند به دلیل ضعف عضلانی عضلات ران و هم در نتیجه‌ی ترس از شکستگی در سالمندان SO باشد. در مطالعه Abreu و همکاران، به تأثیر متغیرهای مربوط به پایداری وضعیتی (جابجایی مرکز فشار) بین سطوح فرضی در هر گروه اشاره‌ای نشده بود [۲۴]. در حالی که در مطالعه‌ی ما به کمک آزمون‌های تعقیبی در هر گروه، اختلاف سطوح مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج هیچ اختلاف معنی‌داری در هیچ یک از گروه بین سطوح مختلف نشان ندادند.

در مطالعه‌ی گذشته‌نگر با جامعه‌ی آماری بسیار بالا به کمک روش Romberg posturography همبستگی معنی‌دار BMD و جنسیت را با ناپایداری وضعیتی نشان دادند و مقادیر BMD و جنسیت را به عنوان ریسک فاکتورهایی برای اختلالات پایداری وضعیتی معرفی کردند [۲۵]. علاوه بر آن، بیان کردند کاهش فمورال BMD و سابقه‌ی شکستگی ناشی از پوکی استخوان، انحرافات بیشتر مرکز فشار را همراه خواهد داشت در صورتی که شاخص BMI (Body mass index)، کاهش اسپینال BMD و ضعف عضلانی را نمی‌توان به عنوان عوامل پیشگوکننده بر پایداری وضعیتی در نظر گرفت. در این مطالعه اگرچه طول، انحرافات و سرعت متوسط قدامی- خلفی و داخلی- خارجی مرکز فشار کف پا در سالمندان پوکی استخوان در نتیجه‌ی کاملاً همسو با نتایج مطالعه‌ی فوق در هر دو وضعیت چشم باز و بسته از سالمندان سالم بیشتر بود اما این نتایج در مطالعه‌ی ما تنها در راستای داخلی- خارجی برای مقادیر MLL_{COP} ، MLS_{COP} و $ML-MV_{COP}$ معنی‌دار بود. نتایج مطالعه‌ی ما همچنین از این فرضیه که استراتژی‌های تعادل در بیماران SO در مقایسه با افراد سالم متفاوت است، حمایت نمود [۸].

چنانچه نتایج نشان دادند، مقادیر APL_{COP} ، MLL_{COP} ، $APSCOP$ و MLS_{COP} در سالمندان SO در وضعیت چشم باز بیشتر از وضعیت چشم بسته بود، اما این تغییرات معنی‌داری نبود، در حالی که مقادیر $AP-MV_{COP}$ و $ML-MV_{COP}$ در سالمندان SO در وضعیت چشم بسته، به طور معنی‌داری از وضعیت چشم باز بیشتر بود که می‌توان این اختلاف را ناشی از انقباضات جبرانی بخش موتور کنترل در غیاب تحریکات دیداری و وستیبولار دانست. در گروه شاهد (سالمندان سالم)، تأثیر تحریکات دیداری به گونه‌ای بود

REFERENCES

1. Thomas EJ, Brennan TA. Incidence and types of preventable adverse events in elderly patients: population based review of medical records. *BMJ*. 2000;320(7237):741-4. [DOI: [10.1136/bmj.320.7237.741](https://doi.org/10.1136/bmj.320.7237.741)] [PMID]
2. Lloyd DG, Stevenson MG. An investigation of floor surface profile characteristics that will reduce the incidence of slips and falls. *The Trans Inst Eng Aust, Mech Eng*. 1992;17(2):99-105.
3. Sterling DA, O'connor JA, Bonadies J. Geriatric falls: injury

- severity is high and disproportionate to mechanism. *J Trauma*. 2001;50(1):116-9. [DOI: [10.1097/00005373-200101000-00021](https://doi.org/10.1097/00005373-200101000-00021)] [PMID]
4. Seidler RD, Bernard JA, Burutolu TB, Fling BW, Godon MT, Gwin JT, et al. Motor control and aging: links to age-related brain structural, functional, and biochemical effects. *Neurosci Biobehav Rev*. 2010;34(5):721-33. [DOI: [10.1016/j.neubiorev.2009.10.005](https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.10.005)] [PMID]
 5. Jernigan TL, Archibald SL, Fennema-Notestine C, Gamst AC, Stout JC, Bonner J, et al. Effects of age on tissues and regions of the cerebrum and cerebellum. *Neurobiol Aging*. 2001;22(4):581-94. [DOI: [10.1016/s0197-4580\(01\)00217-2](https://doi.org/10.1016/s0197-4580(01)00217-2)] [PMID]
 6. Courchesne E, Chisum HJ, Townsend J, Cowles A, Covington J, Egaas B, et al. Normal brain development and aging: quantitative analysis at in vivo MR imaging in healthy volunteers 1. *Radiology*. 2000;216(3):672-82. [DOI: [10.1148/radiology.216.3.r00au37672](https://doi.org/10.1148/radiology.216.3.r00au37672)] [PMID]
 7. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006;35(Suppl 2):ii7-11. [DOI: [10.1093/ageing/af1077](https://doi.org/10.1093/ageing/af1077)] [PMID]
 8. Lynn S, Sinaki M, Westerlind K. Balance characteristics of persons with osteoporosis. *Arch Phys Med Rehabil*. 1997;78(3):273-7. [DOI: [10.1016/s0003-9993\(97\)90033-2](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(97)90033-2)] [PMID]
 9. Cook D, Guyatt G, Adachi J, Clifton J, Griffith LE, Epstein RS, et al. Quality of life issues in women with vertebral fractures due to osteoporosis. *Arthritis Rheum*. 1993;36(6):750-6. [DOI: [10.1002/art.1780360603](https://doi.org/10.1002/art.1780360603)] [PMID]
 10. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol Med Sci*. 2001;56(3):M146-56. [DOI: [10.1093/gerona/56.3.m146](https://doi.org/10.1093/gerona/56.3.m146)] [PMID]
 11. Era P, Schroll M, Ytting H, Gause-Nilsson I, Heikkinen E, Steen B. Postural balance and its sensory-motor correlates in 75-year-old men and women: a cross-national comparative study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 1996;51(2):M53-63. [DOI: [10.1093/gerona/51a.2.m53](https://doi.org/10.1093/gerona/51a.2.m53)] [PMID]
 12. Lajoie Y, Gallagher SP. Predicting falls within the elderly community: comparison of postural sway, reaction time, the Berg balance scale and the Activities-specific Balance Confidence (ABC) scale for comparing fallers and nonfallers. *Arch Gerontol Geriatr*. 2004;38(1):11-26. [DOI: [10.1016/s0167-4943\(03\)00082-7](https://doi.org/10.1016/s0167-4943(03)00082-7)] [PMID]
 13. Liu-Ambrose T, Eng JJ, Khan KM, Carter ND, McKay HA. Older women with osteoporosis have increased postural sway and weaker quadriceps strength than counterparts with normal bone mass: overlooked determinants of fracture risk? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2003;58(9):M862-6. [DOI: [10.1093/gerona/58.9.m862](https://doi.org/10.1093/gerona/58.9.m862)] [PMID]
 14. Nguyen T, Sambrook P, Kelly P, Jones G, Lord S, Freund J, et al. Prediction of osteoporotic fractures by postural instability and bone density. *BMJ*. 1993;307(6912):1111-5. [DOI: [10.1136/bmj.307.6912.1111](https://doi.org/10.1136/bmj.307.6912.1111)] [PMID]
 15. Simon A, Rupp T, Hoening T, Vettorazzi E, Amling M, Rolvien T. Evaluation of postural stability in patients screened for osteoporosis: A retrospective study of 1086 cases. *Gait Posture*. 2021;88:304-10. [DOI: [10.1016/j.gaitpost.2021.06.013](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.06.013)] [PMID]
 16. Hatton AL, Dixon J, Rome K, Martin D. Standing on textured surfaces: effects on standing balance in healthy older adults. *Age Ageing*. 2011;40(3):363-8. [DOI: [10.1093/ageing/afr026](https://doi.org/10.1093/ageing/afr026)] [PMID]
 17. Moyer BE, Chambers AJ, Redfern MS, Cham R. Gait parameters as predictors of slip severity in younger and older adults. *Ergonomics*. 2006;49(4):329-43. [DOI: [10.1080/00140130500478553](https://doi.org/10.1080/00140130500478553)] [PMID]
 18. Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1996;43(9):956-66. [DOI: [10.1109/10.532130](https://doi.org/10.1109/10.532130)] [PMID]
 19. Maki BE. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear? *J Gerontol*. 1997;45(3):313-20. [DOI: [10.1111/j.1532-5415.1997.tb00946.x](https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1997.tb00946.x)] [PMID]
 20. Lin D, Seol H, Nussbaum MA, Madigan ML. Reliability of COP-based postural sway measures and age-related differences. *Gait Posture*. 2008;28(2): 337-42. [DOI: [10.1016/j.gaitpost.2008.01.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.01.005)] [PMID]
 21. Galica AM, Kang HG, Priplata AA, D'Andrea SE, Starobinets OV, Sorond FA, et al. Subsonic vibrations to the feet reduce gait variability in elderly fallers. *Gait Posture*. 2009;30(3):383-7. [DOI: [10.1016/j.gaitpost.2009.07.005](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2009.07.005)] [PMID]
 22. Hatton AL, Dixon J, Rome K, Newton JL, Martin DJ. Altering gait by way of stimulation of the plantar surface of the foot: the immediate effect of wearing textured insoles in older fallers. *J Foot Ankle Res*. 2012;5(1):11. [DOI: [10.1186/1757-1146-5-11](https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-11)] [PMID]
 23. Qiu F, Cole MH, Davids KW, Henning EM, Silburn PA, Netscher H, et al. Enhanced somatosensory information decreases postural sway in older people. *Gait Posture*. 2012;35(4):630-5. [DOI: [10.1016/j.gaitpost.2011.12.013](https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.12.013)] [PMID]
 24. Abreu DC, Trevisan DC, Costa GC, Vasconcelos FM, Gomes MM, Carneiro AA. The association between osteoporosis and static balance in elderly women. *Osteoporos Int*. 2010;21(9):1487-91. [DOI: [10.1007/s00198-009-1117-5](https://doi.org/10.1007/s00198-009-1117-5)] [PMID]
 25. Verghese J, Holtzer R, Lipton RB, Wang C. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009;64(8):896-901. [DOI: [10.1093/gerona/glp033](https://doi.org/10.1093/gerona/glp033)] [PMID]