

中老年人新平衡能力测试的可靠性、性别和方向差异

Yoshinori Nagasawa^{1*}, Shinichi Demura², Yoshimasa Matsuura³

¹ 京都药科大学健康与运动科学系 日本

² 金泽大学人文社会科学学院 日本

³ 大阪府立大学人文科学与全球教育学部 日本

【摘要】本研究旨在检验一种新型测试的可靠性，该测试用于评估中老年人在不稳定站立姿势下，前后或左右移动时的平衡能力、性别差异以及各项评估参数，并测量接触时间、总接触时间及其相互关系。受试者为 31 名日本人（17 名男性：平均年龄 61.8 岁，标准差 8.3；14 名女性：平均年龄 56.9 岁，标准差 9.6）。受试者被要求在新型设备的平板上保持稳定的站立姿势 1 分钟，期间不得接触接触感应板的边缘。该设备会在受试者站立时使平板前后或左右倾斜，并测量接触时间和接触板边缘的时间。在前后或左右两种移动方向下，受试者分别进行一次练习后，进行两次测试，两次测试间隔 1 分钟。每次接触时间（总接触时间/接触次数）被用作评估参数。在前后和左右两个方向上，评估参数、接触时间和总接触时间在不同试验间均无显著差异。两个方向的组内相关系数（ICC）均 ≥ 0.7 。双因素方差分析显示，性别和方向条件对评估参数和总接触时间均无显著交互作用或主效应。虽然接触时间未发现显著交互作用，但性别的主效应显著。事后检验表明，在前后和左右两个方向上，男性的评估参数值和效应量（Cohen's d：前后方向：1.21，左右方向：1.27）均高于女性。相关性分析显示，男性和女性在前后和左右方向的评估参数之间均存在较高的相关性（男性： $r = 0.71$ ，女性： $r = 0.80$ ）。总之，这项新的平衡能力测试在中老年人群中具有较高的信度，且评估参数未显示出性别差异或前后/左右移动幅度上的差异。前后/左右方向的参数之间在两性中均具有高度相关性。

【关键词】动态平衡；站立；接触式传感板；前后移动；左右移动

【基金项目】日本学术振兴会（JSPS）科研费（KAKENHI）资助（项目编号为 17K19832）

【收稿日期】2026 年 4 月 23 日 **【出刊日期】**2026 年 5 月 25 日 **【DOI】**10.12208/j.gmcdm.20260004

Reliability, sex, and direction differences in the new balance ability test for middle-aged and older people

Yoshinori Nagasawa^{1*}, Shinichi Demura², Yoshimasa Matsuura³

¹Department of Health and Sports Sciences, Kyoto Pharmaceutical University, Japan

²College of Human and Social Sciences, Kanazawa University, Japan

³Faculty of Liberal Arts, Sciences and Global Education, Osaka Metropolitan University, Japan

【Abstract】 This study aimed to examine the reliability of a new test that evaluates differences in balance ability, sex, and evaluation parameters when moving in the back/forth or left/right direction, as well as contact times, total contact time, and their relations during an unstable standing posture in middle-aged and older people. The participants were 31 Japanese individuals (17 men: mean age, 61.8 years; standard deviation (SD) = 8.3; 14 women: mean age, 56.9 years; SD = 9.6). They were instructed to maintain a stable standing posture for 1 minute on the plate of the new device without contacting the edge of a contact-sensing plate. This device leans the plate either back/forth or left/right when standing on the plate and can measure times and their time of contact with the plate edge. The test was performed twice with a 1-minute interval after one practice trial in either condition (back/forth or left/right direction). The time per contact (total contact time/contact times) was used as an evaluation parameter. Insignificant

*通讯作者: Yoshinori Nagasawa

注：本文于 2024 年发表在 International Journal of Clinical and Experimental Medicine Research 期刊 8 卷 1 期，为其授权翻译版本。

differences were found between trials in evaluation parameters, contact times, and total contact time in both back/forth and left/right directions. Intraclass correlation coefficients (ICC) were ≥ 0.7 in both directions. A two-way analysis of variance showed insignificant interaction or main effects of sex and direction conditions for the evaluation parameter and the total contact time. Although no significant interaction was found for contact times, a significant main effect was found for sex. The post hoc test showed that men had higher values and larger effect sizes (Cohen's d back/forth: 1.21, left/right: 1.27) than women in both back/forth and left/right directions. A correlation analysis showed relatively high correlations between back/forth and left/right direction evaluation parameters in both sexes (Men: $r = 0.71$, Women: $r = 0.80$). In conclusion, this new balance ability test has a high reliability in middle-aged and older people, and the evaluation parameter does not indicate sex differences or differences in the amount of back/forth and left/right movement. The relations between the parameters of back/forth and left/right directions are high in both sexes.

【Keywords】 Dynamic balance; Standing; Contact-sensing plate; Back/forth; Left/right direction

1 引言

随着年龄增长, 人体机能逐渐下降。老年人行走困难, 且易因虚弱和肌肉减少而跌倒。老年人跌倒后可能需要护理^[1-3]。在日本这个超老龄化社会, 人们已采取各种措施延长老年人的健康寿命。特别是, 老年人普遍接受防跌倒训练, 这得到了众多跌倒预防研究的支持^[4-10]。日本骨科协会尤其推荐通过运动训练来增强肌肉力量, 从而预防跌倒^[11-13]。

老年人跌倒的原因可分为被动跌倒和主动跌倒。被动跌倒是指在电车或公交车上站立时被他人撞击或因急刹车而跌倒。主动跌倒则包括从坐姿站起时绊倒、行走时绊倒或上下楼梯时跌倒。尤其值得注意的是, 即使是轻微的坡度或起伏, 老年人也更容易绊倒。例如, 当入口或房间之间存在高低落差、地面湿滑或在浴室等情况下, 跌倒的风险并不局限于室外。为了避免跌倒, 老年人需要能够在站立姿势因任何原因受到干扰时保持稳定的姿势 (即具备平衡能力)。

平衡能力是指在负重刺激 (例如单腿站立和身体运动) 下保持稳定站立姿势 (主动能力) 的能力, 以及在外力负重刺激 (例如根据刺激迈步、站在不稳定的板上) 下保持或调整支撑面 (被动力) 的能力。睁眼单腿站立、功能性前伸测试 (FRT) 和计时起立行走测试 (TUG) 是目前常用的典型平衡能力测试。近年来, 平衡板测试作为一种被动平衡能力测试被开发出来, 该测试要求受试者在受到干扰的情况下调整支撑面并保持稳定的站立姿势。平衡板测试与腿部力量、Berg 平衡量表 (BBS)、FRT 和 TUG 测试均有显著相关性, 但这些相关性并不高, 不足以反映不同的能力^[14-18]。平衡板的支撑面可以

向各个方向移动, 包括左右或前后, 因为板的背面中心只有一个凸起。因此, 平衡板本身非常不稳定。为了在板上保持稳定的姿势, 受试者需要运用瞬时适应能力和平衡技巧来操控平衡板。为了恰当地评估老年人的平衡能力, 除了评估其在稳定站立时的平衡能力外, 还必须评估其在不稳定站立姿势下的平衡能力。然而, 对于老年人来说, 使用这种会向各个方向大幅移动的平衡板进行测试可能会导致跌倒。

因此, 考虑到安全性, 我们开发了一种新的装置, 其板面可以略微向左/右或前后倾斜 (Takei, 东京, 日本)。该装置能够测量平板边缘与接触感应板接触的时间。本研究旨在检验新型平衡能力测试的可靠性, 以及中老年人在左右或前后移动时, 不同性别和评估参数的差异, 并探讨接触时间、总接触时间及其相互关系。

2 方法

2.1 参与者

参与者包括 31 名中老年人 (17 名男性, 14 名女性), 他们每周进行 90 分钟的锻炼。在初步研究中, 他们均确认无腿部和背部疾病。本研究已获得大阪府立大学高等教育推进机制研究伦理委员会的批准 (2018-2022)。

2.2 测量设备

测量设备的平板内置四个负载传感器。平板、接触式感应板和踏步垫的信号通过中继器 (A/D 转换器) 传输至个人电脑并进行记录。平板尺寸为 300mm^2 , 高度为 72mm 。角度变化范围为 $\pm 2.5^\circ$, 可沿左右或前后方向进行调节。硬件详情见表 1。典型的平衡板 (DYJOC) 测量平板从水平状态到最大

角度的变化。另一方面,本装置测量的是接触板边缘与接触感应板接触的时间,而非角度变化。接触时间、总接触时间和角度变化率可通过个人电脑(Windows10®, ≥32 位)上的软件进行计算。测量

时间为 1-600 秒,采样频率可以是 10、20、50 或 100Hz。图 1 和图 2 分别展示了感应板的正面和背面,感应板背面中心的三凸台可使其左右或前后移动。

表 1 新型天平测量系统中的硬件

Style	Weight	Size	Quantity
Plate	11.1kg	300 (W) × 300 (D) × 72 (H) mm	1
Contact-sensing plate	0.1kg	100 (W) × 300 (D) × 5 (H) mm	2
Step mat	0.1kg	100 (W) × 300 (D) × 5 (H) mm	2
Repeater	4.3kg	430 (W) × 270 (D) × 60 (H) mm	1
Horizontal block	2.1kg	300 (W)	2

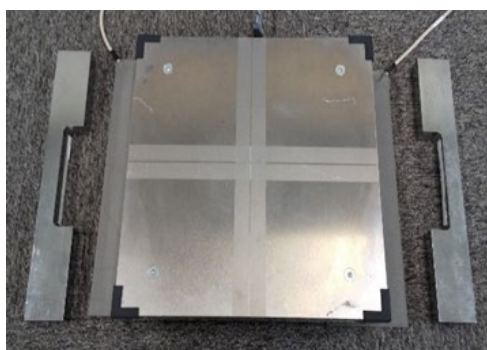


图 1 板和块的表面

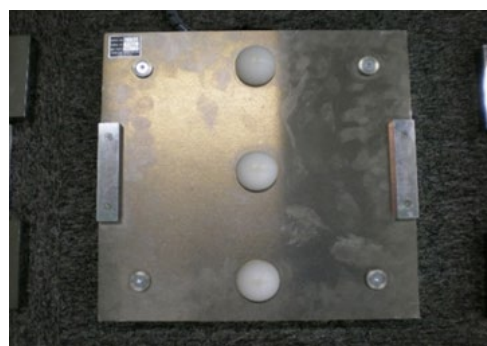


图 2 板的背面

2.3 新平衡能力的测量

受试者站在测量装置的平台(图 3),该平台可沿 Y 轴(前后)或 X 轴(左右)方向略微倾斜(图 4 和图 5)。随后,受试者被要求保持稳定的站立姿势 1 分钟,期间平台边缘不得接触感应板。测量过程中,受试者保持双腿分开站立的姿势,双脚脚跟贴与平台边缘对齐,双手叉腰。

测试人员确认受试者在平台上的姿势稳定后,测量开始。当平台边缘接触感应板时,蜂鸣器会发出提示音,同时测量受试者的接触时间。受试者的接触时间和时间均持续测量 1 分钟。蜂鸣器响起后,受试者需立即尝试将平台边缘从感应板上移开。为防止测量过程中跌倒,我们在平台两侧安排了观察员。测量过程中,所有受试者均未从测试板上跌落或摔倒。

测试在一次练习后随机进行两次,两次测试间隔 1 分钟,测试条件仅在前后方向(图 4)或左右方向(图 5)上有所变化。数据以 50Hz 的采样频率记录。

2.4 接触次数、总接触时间和评估参数

本研究计算了受试者在 1 分钟内前后方向和左右方向的接触次数和总接触时间。每次接触时间作为评估参数。

2.5 统计分析

数据采用 SPSS 23.0 for Windows 软件(SPSS 公司,东京,日本)进行分析。描述性统计数据以均值±标准差表示。采用学生 t 检验分析受试者(样本)在年龄、身高、体重和 BMI 方面的性别差异。采用 Cohen's d 检验分析均值差异的大小,即效应量。Cohen's d ≤ 0.2 为小效应,≥ 0.5 为中等效应,≥ 0.8 为大效应^[19]。采用 Z 检验分析样本平均身高和体重与全国中位数(即当代标准)之间的差异^[20]。采用组内相关系数(ICC)评估试验间信度。ICC > 0.7 被认为信度良好^[21]。ICC 值根据 ICC 决策标准确定。采用重复测量双因素方差分析(ANOVA)检验各评估参数在左右或前后方向上的差异显著性,并根据性别进行分析,效应量采用 η^2 计算。本研究中, $\eta^2 \leq 0.01$ 为小效应, ≥ 0.06 为中等效应, ≥ 0.14 为大效应^[22]。采用 Bonferroni 校正法进行多重比较检验。p

值 <0.05 被认为具有统计学意义。

3 结果

3.1 参与者的年龄和体格特征(身高、体重和 BMI)

表 2 显示了参与者按性别划分的年龄、身高、

体重和 BMI 的基本统计数据。年龄方面未发现显著的性别差异。男性的身高和体重显著高于女性。此外, 两性的身高和体重均与同期对照组^[20]相似。本研究的参与者被认为是体格正常的中老年人。



图 3 新型平衡测量装置



图 4 前后方向的动态平衡测量



图 5 左右方向的动态平衡测量

表 2 按性别划分的年龄、身高、体重和 BMI 的平均值和标准差

	Men (N=17)		Women (N=14)		t	p	Cohen's d
	M	SD	M	SD			
Age (year)	61.8	8.3	56.9	9.6	1.525	0.138	0.57
Height (cm)	168.1	7.2	158.3	4.6	4.395	0.000*	1.64
Weight (kg)	67.5	11.3	52.5	6.1	4.727	0.000*	1.67
BMI	23.8	3.0	21.0	2.6	2.793	0.009*	1.04

注: *: $p<0.05$

3.2 评估参数、接触时间和总接触时间的试验间信度

表 3 显示了两次试验中评估参数、接触时间和总接触时间的基本统计数据, 这些参数分别在前后方向和左右方向测量, 并计算了平均差异和组内相关系数 (ICC)。在任何方向上, 两次试验的评估参数、接触时间和总接触时间均未观察到显著差异, 效应量 (Cohen's d) ≤ 0.2 。评估参数的 ICC 分别为: 前后方向 0.70, 左右方向 0.92, 前后和左右方向总接触时间 0.89。此后, 两次试验的平均值被用作代表值。此外, 前后和左右方向的接触时间和总接触时间的 ICC 分别为 0.76-0.87。

3.3 性别和方向对评估参数、接触时间和总接触时间的影响

表 4 显示了根据性别和方向对评估参数、接触时间和总接触时间进行双因素方差分析的结果。虽

然男性在所有变量上的均值均大于女性, 但方差分析显示, 评估参数和总接触时间均不存在显著的性别和方向交互作用或主效应。接触时间虽然未发现显著的交互作用, 但存在显著的性别主效应。事后检验证实了男性在前后方向和左右方向上的数值均高于女性, 且效应量 (Cohen's d) 较大 (前后方向: 1.21, 左右方向: 1.27)。

3.4 按性别划分的年龄、体格、评估参数、接触次数以及前后和左右方向总接触时间的相关系数

表 5 显示了按性别划分的年龄、体格、评估参数、接触次数以及前后和左右方向总接触时间的相关系数。在两性中, 前后和左右方向的评估参数之间均存在较高的相关性 (男性: $r=0.71$, 女性: $r=0.80$)。在男性中, 前后方向的评估参数与总接触时间呈较高相关性 ($r=0.66-0.90$), 而左右方向的评估参数与总接触时间 ($r=0.66-0.81$) 和接触次数 (r

= -0.66) 均呈较高相关性。此外, 前后方向的总接触时间 ($r = 0.69$) 以及前后方向和左右方向之间的接触时间 ($r = 0.56$) 均呈中度相关。在女性中, 前后方向的评估参数与总接触时间呈较高相关性 ($r = 0.75-0.81$), 左右方向的评估参数与总接触时间也呈

较高相关性 ($r = 0.88$)。左右方向的接触时间与两个方向的总接触时间 ($r = 0.55$, $r = 0.62$) 以及总接触时间 ($r = 0.69$) 与两个方向之间的接触时间 ($r = 0.62$) 均呈中度相关。此外, 男性的身高与左右方向的总接触时间呈中度相关 ($r = 0.51$)。

表 3 试验间信度和试验间平均差异 ($n = 31$)

Evaluation parameter (Time per contact)	1st time		2nd times		t	p	Cohen's d	ICC
	M	SD	M	SD				
Back-forth direction	0.38	0.11	0.37	0.10	0.75	0.46	0.11	0.70
Left-right direction	0.35	0.11	0.36	0.11	1.20	0.24	0.08	0.92
Back-forth + left-right directions	0.73	0.21	0.73	0.20	0.12	0.91	0.01	0.89
Contact-times								
Back-forth direction	56.5	12.38	58.1	12.89	1.01	0.32	0.13	0.76
Left-right direction	55.5	13.31	56.6	13.62	0.72	0.48	0.08	0.80
Total contact-time								
Back-forth direction	21.4	6.90	21.0	5.93	0.48	0.63	0.06	0.80
Left-right direction	19.1	6.00	20.0	6.36	1.61	0.12	0.15	0.87

注: M: 均值, SD: 标准差, t: t 值, ICC: 组内相关系数。

表 4 评价参数、接触时间和总接触时间的双因素方差分析结果 ($n = 31$)

	Back/forth direction		Left/right direction		F	p	η^2	Post-hoc
	M	SD	M	SD				
Evaluation parameter (Time per contact)								
Men	0.36	0.11	0.34	0.10	F1	1.31	0.26	0.04
Women	0.40	0.09	0.38	0.13	F2	1.91	0.18	0.06
					IN	0.00	0.97	0.00
Contact-times								
Men	63.1	8.45	62.4	9.66	F1	15.93	0.00 *	0.36 Back/forth: Men > Women
Women	50.3	11.88	48.3	11.99	F2	0.59	0.45	0.02 Left/right: Men > Women
					IN	0.16	0.69	0.01
Total contact-time								
Men	22.0	5.64	20.5	4.43	F1	0.94	0.34	0.03
Women	20.1	6.64	18.5	7.50	F2	3.32	0.08	0.10
					IN	0.00	0.98	0.00

注: M: 均值, SD: 标准差, F: F 值, F1: 性别的主效应, F2: 方向的主效应, IN: 交互作用。

表5 根据性别划分的年龄、体格、评估参数、接触时间和前后及左右方向总接触时间之间的相关性 (n = 31)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Age		0.38	-0.03	-0.21	0.28	0.29	0.25	0.06	0.35	0.33
2. Height	-0.44		0.16	-0.31	0.19	0.09	0.18	-0.29	0.22	0.00
3. Body weight	-0.74 *	0.70 *		0.89 *	-0.09	-0.04	0.06	-0.02	-0.03	-0.02
4. BMI	-0.71 *	0.25	0.86 *		-0.16	-0.08	0.00	0.14	-0.11	0.00
5. Estimation parameter (Time per contact) (back/forth)	-0.32	0.44	0.51 *	0.39		0.80 *	0.26	0.24	0.81 *	0.75 *
6. Estimation parameter (Time per contact) (left/right)	0.06	0.40	0.23	0.04	0.71 *		0.03	0.19	0.52	0.88 *
7. Contact-times (back/forth)	0.31	-0.29	-0.34	-0.27	-0.43	-0.43		0.62 *	0.78 *	0.33
8. Contact-times (left/right)	0.06	-0.11	-0.05	-0.01	-0.38	-0.66 *	0.56 *		0.55 *	0.62 *
9. Total contact-time (back/forth)	-0.23	0.40	0.44	0.31	0.90 *	0.60 *	-0.01	-0.16		0.69 *
10. Total contact-time (left/right)	0.10	0.51 *	0.32	0.08	0.66 *	0.81 *	-0.17	-0.12	0.69 *	

注：*：p < 0.05。左下角数值表示男性相关系数，右上角数值表示女性相关系数。

4 讨论

在本项使用我们新开发的平衡板测试中，板边缘与接触感应板接触的时间越短，表明平衡能力越强。本研究采用每次接触时间作为评估参数，检验试验间可靠性、性别和方向差异，以及它们与接触时间和总接触时间的关系。该测试旨在评估受试者在不稳定站立姿势下的平衡能力。

Demura 等人^[23]基于组内相关系数 (ICC) 检验了静态站立姿势下足底中心压力抖动的可靠性。由于首次试验与后续试验之间存在显著差异，他们剔除了首次试验的数据，进一步检验了各次试验之间的差异以及 ICC 值。他们发现大多数变量在试验间没有显著差异，且具有较高的可靠性。类似地，本研究也基于一次练习试验后的两次正式试验，检验了评估参数（每次接触时间）的 ICC 值。根据本研究结果，评估参数、接触时间和总接触时间在各次试验间均无显著差异，这与 Demura 等人的研究结果一致。

前后方向和左右方向评估参数的组内相关系数 (ICC) 分别为 0.70 和 0.92。前后方向和左右方向总接触时间的 ICC 为 0.89。此外，接触时间和总接触时间的 ICC 均大于 0.76。基于所有变量在两个方向上的 ICC 均 ≥ 0.7 的标准，证明了该新型平衡能力测试的试验间信度。

左右方向评估参数的 ICC (0.92) 高于前后方向 (0.70)，因此信度存在差异。在 Demura 等人^[23]的研究中，受试者在稳定的平板上保持静态站立姿势，因此测量习惯不太可能影响测量结果。然而，本研

究需要操作不稳定的平板以维持稳定的站立姿势。由于站立时前后运动的重心变化与左右运动相比有所不同^[24]，因此在不稳定的平板上保持前后方向的稳定性较为困难，导致个体差异较大。也就是说，姿势维持过程中动作的难度可能会影响测量结果。为了获得更稳定的数据，有必要进行练习或增加测试次数。

因此，评估参数（接触时间和总接触时间）的高可靠性 (0.70-0.92) 使得可以使用其中任何一个参数来评估平衡能力。

在前后方向和左右方向上，评估参数（接触时间和总接触时间）均未发现显著差异。因此，新的平衡能力测试未观察到方向差异。因此，在任何方向上均可获得可靠的结果。Ogaya 等人^[25]使用 DYJOC 板测试了年轻人和老年人的姿势控制能力，结果显示，在 20 秒内，前后角度波动范围无显著差异；然而，年轻人的总角度波动指数显著高于老年人。这可能是因为，尽管年轻人和老年人的抖动程度相似，但老年人在 DYJOC 板上尽量保持静止，而年轻人则通过不断移动板子来控制姿势。在本研究中，接触时间和总接触时间都很短，每次接触的时间在两个方向上也很短；之所以未观察到差异，是因为受试者被要求在前后和左右方向上都不要接触接触感应板，并在接触后尽快将板边缘与接触感应板分离。

由于本研究使用的测试方法与使用 DYJOC 板的测试方法不同，且前后和左右方向的角度波动范围均为 ±2.5°，受试者能够轻松地将板边缘与接

触感应板分离, 因此认为未观察到差异。

尽管男性在评估参数、接触时间和总接触时间上的平均值均高于女性, 但仅在接触时间上发现了显著的性别差异: 男性在前后和左右方向上的接触时间均更长(效应量分别为 1.21 和 1.27)。然而, 男性的接触时间也 longer, 因此, 可以推断, 在总接触时间除以接触时间(每次接触的时间)的评估参数中, 未发现显著差异。

因此, 在前后方向和左右方向的每次接触时间上, 未观察到性别差异, 因此该参数可作为新测试的评估指标。

在两个方向和两个性别中, 评估参数之间均观察到较高的相关性(男性: $r=0.71$, 女性: $r=0.80$)。也就是说, 无论男女, 平衡能力都可以通过前后方向或左右方向的评估参数来评估。

左右方向的接触时间与前后方向的接触时间在两性中均呈中等程度的相关性(男性: $r=0.56$, 女性: $r=0.62$), 但在男性中, 它与身高($r=0.51$)和左右方向的评估参数($r=-0.66$)呈显著相关; 在女性中, 它与左右方向($r=0.62$)和前后方向($r=0.55$)的总接触时间呈显著相关。也就是说, 接触时间被认为与身高以及男性每次接触时间相关, 而与女性前后和左右方向的总接触时间相关。此外, 虽然没有测量腿部力量, 但在平衡板测试中, 由于支撑面不稳定(如本研究所示), 前后和左右方向的身体稳定策略有所不同^[26-28]。Fujiwara 等人^[29]和 Shiota 等人^[30]报道, 体格、肌肉力量等因素也会产生影响; 男性的体格和肌肉力量通常更高。

本研究的参与者为每周进行 90 分钟锻炼的中老年人, 因此属于活跃人群。为了检验新测试的可靠性、性别差异和方向差异, 需要开展更多试验、更大样本量的研究, 并与年轻人的每次接触时间进行比较。

5 结论

总之, 我们观察到, 在新的平衡能力测试中, 中老年人的评估参数(每次接触时间)、接触次数和总接触时间均具有较高的试验间信度, 但评估参数在性别和方向上均无差异。前后方向和左右方向的参数之间在两性中均具有较高的相关性。

参考文献

[1] falling and improves dynamic balance and isometric

strength in institutionalized older people: a randomised trial. *Journal of Physiotherapy*, 58, 97-104.

- [2] Kuzuya, M. (2015). The Cutting-edge of Medicine; Sarcopenia and frailty in super-aged society. *The Journal of the Japanese Society of Internal Medicine*, 104(12), 2602-2607.
- [3] Morley, J. E. (2016). *Frailty and sarcopenia in elderly*. Springer-Verlag Wien, s439-s445.
- [4] Kasahara, M., Yamasaki, H., Aoki, U., Yokoyama, H., Omori, Y., & Hiraki, K. (2001). Relationship between one leg standing time and knee extension strength in elderly patients. *The Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 50, 369-374.
- [5] Takakura, S., Ohgi, S., & Akiyama, T. (2004). Standing postural control test using the elderly balance board type N and predicting falls. *Journal of the Japanese Physical Therapy Association*, 31(6), 364-368.
- [6] Murata, S., Tsuda, A., Inatani, F., & Tanaka Y. (2005). Physical and cognitive factors associated with falls among the elderly with disability at home. *Journal of the Japanese Physical Therapy Association*, 32(2), 88-95.
- [7] Murata, S., Kai, Y., Mizota, K., Yamasaki, S., Yumioka, M., Otao, H., & Takeda, I. (2006). Relationship between one-leg standing duration with vision and physical function among community dwelling older adults. *Rigakuryoho Kagaku*, 21(4), 437-440.
- [8] Murata, S. & Tsuda, A. (2006). A prospective study of the relationship between physical and cognitive factors and falls in the elderly disabled at home. *Journal of the Japanese Physical Therapy Association*, 33(3), 97-104.
- [9] Hirase, T., Inokuchi, S., Shiozuka, J., Nakahara, K., & Matsusaka, N. (2008). Relationship between balance ability and lower extremity muscular strength in the elderly: Comparison by gender, age, and Tokyo Metropolitan Institute of Gerontology (TMIG) index of competence. *Rigakuryoho Kagaku*, 23(5), 641-646.
- [10] Uchida, Y., Demura, S., & Hirai, H. (2018). Influence of hand help pressure on body sway and leg muscle activity during one-leg stance. *Advances in Research*, 17(5), 1-9.

- [11] Shibata, Y., Okada, E., Nakamura, M., & Ojima, T. (2021). Effects of locomotion training in community-dwelling older individuals attending clubs. *Nihon Koshu Eisei Zasshi*, 68(3), 180-185.
- [12] Uchida, Y. & Demura, S. (2016). Body sway and muscle activity during assisted one-and two-leg stances in the elderly, *Advances in Research*, 7(3), 1-9.
- [13] The Japanese Orthopaedic Association. (2021). The brochure of locomotion in Japan, 2013. https://www.med.or.jp/dl-med/doctor/ssi/sports25/sports25_k14.pdf.
- [14] Hayashi, F., Asai, Y., Morimoto, H., Maruyama, T., Watanabe, M., Lohman E. B., Johnson E. G., & Kashiwa, N. (2012). The postural control in different conditions among the healthy elderly person. *Journal of Health Sciences*, Nihon Fukushi University, 15, 11-16.
- [15] Suzuki, Y., Nakata, Y., Kato, H., Tanabe, Y., Iwabuchi, S., & Ishikawa, K. (2015). Association between age and dynamic balance capability assessed by use of force plates. *The Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 64(4), 419-425.
- [16] Morita, M., Urabe, Y., Takeuchi, T., & Maeda, N. (2018). Effects on ankle muscle activity of the tilt direction of a balance board. *Rigakuryoho Kagaku*, 33(3), 395-400.
- [17] Kitabayashi, T., Shinichi, D., Yamaji, S., Nakada, M., Noda, M., & Imaoka, K. (2002). Gender differences and relationships between physical parameters on evaluating the center of foot pressure in static standing posture. *Equilibrium Research*, 61(1), 16-27.
- [18] Oyama, Y., Murayama, T., & Ohta, T. (2019). Influence of standing posture on a stable surface affecting center-of-pressure sway and stability in standing posture on an unstable surface in middle-aged women. *Japan Journal of Test and Evaluation of Physical Education and Sports*, 18, 59-69.
- [19] Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis in the behavioral sciences*, 2nd Edition, Academic Press.
- [20] Ministry of Health, Labour and Welfare. (2019). II. Results of physical status survey, *The National Health and Nutrition Survey in Japan*, 2019, 115-168. https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/kenkou_iryoku/kenkou/eiyoku/r1-houkoku_00002.html.
- [21] Jackson, A., Jackson A. S., & Bell, J. (1980). A comparison of alpha and the intraclass reliability coefficients. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 568-571.
- [22] Tabachnick, B. G. & Fidell, L. S. (2006). *Using multivariate statistics*. 5th International Edition, Boston, MA: Pearson/Allyn & Bacon.
- [23] Demura, S., Yamaji, S., Noda, M., Kitabayashi, T., & Nagasawa, Y. (2001). Examination of parameters evaluating the center of foot pressure in static standing posture from the viewpoints of trial-to-trial reliability and interrelationships among parameters. *Equilibrium Research*, 60 (1), 44-55.
- [24] Aoki, H., Demura, S., Yamaji, S., Nagasawa, Y., Nakatani, T., & Nadamoto, M. (2023). Sex and age-level differences of center of pressure sway variables and their inter-relations during static standing posture in healthy people. *The Journal of Education and Health Science*, 68 (4), 247-257.
- [25] Ogaya, S., Ikezoe, T., Tsuboyama, T., & Ichihashi, N. (2009). Postural control on a wobble board and stable surface of young and elderly people. *Rigakuryoho Kagaku*, 24 (1), 81-85.
- [26] Gatev, P., Thomas, S., Kepple, T., & Hallett, M. (1999). Feedforward ankle strategy of balance during quiet stance in adults. *The Journal of Physiology*, 514(3), 915-928.
- [27] Loram, I. D., Kelly, S. M., & Lakie, M. (2001). Human balancing of an inverted pendulum: is sway size controlled by ankle impedance? *The Journal of Physiology*, 532(3), 879-891.
- [28] Winter, D. A., Patla, A. E., Ishac, M., & Gage, W. H. (2003). Motor mechanisms of balance during quiet standing. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 49-56.
- [29] Fujiwara, K., Murata, S., Kamijou, K., Komatsu, Y., Nagasumi, T., Horie, J., Kubo, A., & Aoyama, H. (2012). Generation and sex differences of the body function of elderly person's participating in long-term care prevention

projects. West Kyushu Journal of Rehabilitation Sciences, 5, 33-36.

- [30] Shiota, K., Hosoda, M., Takanashi, A., Matsuda, M., Miyajima, S., Aizawa, J., & Ikeda, M. (2008). The relationship between muscle power and balance in postural

control. Rigakuryoho Kagaku, 23(6), 817-821.

版权声明: ©2026 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS