



DOI:10.13364/j.issn.1672-6510.20200014

## 老年男性站姿平衡能力评价体系的建立

芦芳芳, 张峻霞

(天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室, 天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘要:** 本文旨在建立老年男性站姿平衡能力评价体系. 选取 46 名平均年龄为  $(65.77 \pm 2.86)$  岁的健康老年男性作为平衡能力测试对象, 利用 COGNI 平衡评估训练系统, 采集睁、闭眼条件下, 双脚站立、左脚站立、右脚站立 6 种姿势的静态平衡指标参数. 利用单因素分析法筛选出影响老年人平衡能力的主要指标, 通过主成分分析建立平衡能力评分公式, 对综合得分进行频数分析并制定评价标准. 本文建立的评价体系能较客观而系统地评价老年男性平衡能力的水平.

**关键词:** 平衡评估; 评价指标; 评价体系

中图分类号: R318.01

文献标志码: A

文章编号: 1672-6510(2021)02-0046-05

## A Stance Balance Ability Evaluation System for Elderly Males

LU Fangfang, ZHANG Junxia

(Tianjin Key Laboratory of Integrated Design and On-line Monitoring for Light Industry & Food Machinery and Equipment, College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** The objective of this research was to establish a stance balance ability evaluation system for elderly males. 46 healthy elderly men at an average age of  $65.77 \pm 2.86$  were selected as the research subjects. The COGNI balance assessment training system was used to collect the static balance data of the subjects in six positions: standing with eyes open and then closed on both feet, on the left foot only, and on the right foot only. The single factor analysis method was used to screen out the main indicators affecting the balance ability of the elderly, the selected indicators were subjected to principal component analysis to establish the elderly balance ability scoring formula, and the comprehensive score was analyzed with frequency to formulate evaluation grade standards. The evaluation system thus established can objectively and systematically evaluate the balance ability of the elderly males.

**Key words:** balance evaluation; evaluation index; evaluation system

平衡能力是人体的一项重要生理功能, 是维持人体日常行走、站立等静态或动态姿势的基本条件<sup>[1]</sup>. 老年人在衰老过程中, 平衡功能明显减弱, 平衡能力下降会增加跌倒风险<sup>[2]</sup>, 研究表明步态平衡失调导致跌倒风险上升了 3 倍<sup>[3-4]</sup>, 跌倒是造成老年伤害的头号杀手, 也是老年人慢性致残的第三大原因<sup>[5]</sup>. 对平衡能力进行准确评估是预防老年人跌倒的有效手段之一<sup>[6]</sup>. 目前有关平衡能力评估的方案已经逐渐规范, 但相关派生指标不断衍生, 存在指标重叠和冗余的现象<sup>[7]</sup>, 导致平衡试验和后期的平衡评估变得繁杂

困难, 因此建立一套简单易行准确度较高的老年人平衡能力检测标准至关重要.

在人体静态站姿平衡研究领域, 平衡的测试研究已经经历了多年的积累, 基于压力中心 (COP) 对平衡能力或跌倒风险的评估方法研究中, Greene 等<sup>[8]</sup>采用支持向量机 (support vector machine, SVM) 对 120 名受试者的 COP 幅度、摆动距离及其方根、摆动速度、包络面积和前后方向的频率等参数进行收集, 用来预测跌倒风险. Kimura 等<sup>[9]</sup>通过对步态参数和平衡能力的临床测试表现来获得相关运动参数以评估

收稿日期: 2020-02-18; 修回日期: 2020-04-30

基金项目: 天津市自然科学基金重点资助项目 (16JCZDJ35900)

作者简介: 芦芳芳 (1991—), 女, 山西太原人, 硕士研究生; 通信作者: 张峻霞, 教授, zjx@tust.edu.cn

人体的平衡能力;Kang等<sup>[10]</sup>研究发现平衡能力的分水岭在60岁,60岁以前平衡能力恒定性较强,60岁以后每10年下降16%或更多;Sturnieks等<sup>[11]</sup>通过老年人重心平衡研究发现,随着年龄增大,老年人平衡能力下降,摔倒次数逐渐增多,这些研究对人体平衡功能评估及临床平衡测验都做出了卓越的贡献,为后续平衡的研究提供了科学的指导与参考。但是,在以上这些平衡能力测试实验中,所采用的方法多为主观性的量表工具,尚缺乏客观、定量的平衡能力综合评价方法。Sibley等<sup>[12]</sup>对1986—2014年的相关研究分析后认为,平衡能力评估缺乏维度分析会限制评估结果的准确性。

本文将运用多指标综合分析方法,对老年人静态平衡能力进行综合评价,建立老年人静态站姿平衡能力评价体系。通过分析静态站姿平衡的各项指标数据,筛选出对年龄因素较为敏感的平衡指标,根据指标自身的作用和影响确定权数,构建综合评价模型,给出老年受试者平衡能力的评分公式,根据综合得分制定出评价等级标准。

## 1 实验方案

### 1.1 实验对象

为排除性别因素的影响,实验只选取男性作为研究对象。实验选取了46名60<年龄≤70周岁的老年受试者,受试者的平均年龄、身高、体重分别为(65.77±2.86)岁、(169.50±4.92)cm、(70.19±8.02)kg。实验要求受试者在过去6个月无下肢外伤史,没有从事过系统的体育训练,身体形态正常、无神经肌肉疾病、无明显平衡障碍症状,如帕金森病、脑卒中等。在实验开始前24h内没有进行剧烈运动,所有受试者均被告知具体实验过程及要求。所有受试者均自愿参加这项研究,实验在征得受试者同意后

### 1.2 实验设计

平衡能力测试采用COGNI平衡评估训练系统,采集7项数据指标,即:包络面积、X方向偏倚、单位时间轨迹长、单位面积轨迹长、X方向最大动摇径、Y方向最大动摇径、Y方向偏倚。受试者被要求睁/闭眼、双脚静立于压力感应板上,双足平行置于压力平板两侧的线框内,双手叉腰,双目平视前方设定的标识物,测试时间10s;受试者睁/闭眼、左/右脚静立于压力感应板上,右/左脚屈膝抬起,置于压力平板上方

约20~30cm,双手叉腰,双目平视前方设定的标识物,测试时间10s。在每一组平衡实验结束后,要求受试者休息2min以避免疲劳影响。

### 1.3 数据处理

实验所收集的原始数据使用Microsoft Excel 2016进行整理,数据处理使用SPSS 20.0软件,将受试者以5岁为段划分为两个年龄区间,区间1(60<年龄≤65周岁,共计24名);区间2(65<年龄≤70周岁,共计22名),分别对两个区间的各变量(指标)数据进行方差齐性检验,方差齐性检验值Sig>0.05,然后对实验数据以年龄区间为影响因素进行单因素方差分析,筛选出显著性P<0.05的指标,这些指标适用于对60<年龄≤65周岁老年人平衡能力的评估。对筛选出的指标进行主成分分析,将原来变量重新组合成一组新的互相无关的几个主成分(综合变量),而且这些主成分在反映数据的信息方面尽可能保持原有的信息。对这些主成分进行加权处理后,建立老年人平衡能力评分公式,由评分公式计算出平衡得分,再对评分进行标准化处理,划分平衡能力评估等级。

## 2 实验结果分析

### 2.1 数据分析

以年龄为影响因素对实验所收集的42个指标进行单因素方差分析,筛选显著性P<0.05的指标结果见表1。表中:AE表示包络面积;DE表示单位面积轨迹长;FX表示X方向偏倚;FY表示Y方向偏倚;IE表示单位时间轨迹长;MX表示X方向最大动摇径;MY表示Y方向最大动摇径;O表示睁眼;C表示闭眼;DF表示双脚站立姿势;RF表示右脚站立姿势;LF表示左脚站立姿势。

表1 各指标的显著性水平  
Tab. 1 Levels of significant indicators

指标	P	指标	P
ODFAE	0.027	CDFMX	0.048
ODFFX	0.036	CRFFX	0.015
ORFFX	0.016	CRFIE	0.033
ORFIE	0.005	CRFMX	0.046
ORFMX	0.008	CLFAE	0.017
OLFFX	0.012	CLFDE	0.044
OLFIE	0.027	CLFFX	0.032
OLFMX	0.026	CLFFY	0.029
OLFMY	0.033	CLFMX	0.034
CDFFX	0.021		

表 1 共计筛选出 19 个对年龄因素较敏感的指标, 对其进行主成分分析, 结果见表 2.

表 2 主成分特征值

Tab. 2 Feature values of principal components

主成分	初始特征值	方差贡献率/%	累积贡献率/%
1	7.387	38.877	38.877
2	4.135	21.765	60.642
3	2.617	13.773	74.415
4	1.618	8.516	82.932
5	1.198	6.305	89.237

分析表 2 的数据, 筛选初始特征值  $v_i$  大于 1 的主成分因子, 发现前 5 个主成分因子的方差贡献率累计达到 89.237%, 这说明在一定程度上这 5 个主成分因子可以用来描述老年受试者的大部分数据信息.

根据因子载荷 0.5 原则, 为了能够更好地解释各项因子的意义, 应选择因子载荷较高的指标, 结果见表 3.

表 3 平衡能力综合评价指标

Tab. 3 Comprehensive evaluation index of balance ability

主成分	高载荷指标	因子载荷	代表指标
1	CRFFX	0.957	CRFFX
	CRFMX	0.914	
	CLFAE	0.742	
	CLFFX	0.945	
	CLFMX	0.947	CLFMX
	OLFMY	0.655	
2	CDFFX	0.762	
	CDFMX	0.765	
	OLFFX	0.902	OLFFX
	OLFIE	0.777	
3	OLFMX	0.855	OLFMX
	CRFIE	0.724	
	ODFAE	0.812	ODFAE
4	ODFFX	0.772	
	CLFFY	0.922	CLFFY
	CLFDE	0.784	
5	ORFIE	0.746	
	ORFFX	0.844	
	ORFMX	0.925	ORFMX

对表 3 通过归类, 挑选因子载荷  $\lambda_{\alpha}$  较大的指标作为主成分因子的代表指标, 代表指标作为评价静态平衡能力的综合评价指标, 也称为静态平衡能力的主导因素, 能对静态平衡能力做出较全面的评价.

### 2.2 建立老年受试者的平衡能力评分公式

各主成分按式 (1) 计算

$$Z_i = \sum \lambda_{\alpha} x \quad (i=1, 2, \dots, 5) \quad (1)$$

式中:  $Z_i$  代表各主成分;  $x$  代表指标数据的实际值;

$\lambda_{\alpha}$  为因子载荷.

依据表 2 中 5 个主成分的初始特征值, 按式 (2) 计算出各主成分的加权系数  $a_i$ .

$$a_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^5 v_i} \quad (2)$$

求得:  $a_1=0.436$ ;  $a_2=0.244$ ;  $a_3=0.154$ ;  $a_4=0.095$ ;  $a_5=0.071$ .

各主成分加权后的得分总和即为老年受试者平衡能力得分  $G$ .

$$G = \sum a_i Z_i \quad (i=1, 2, \dots, 5) \quad (3)$$

### 2.3 制定平衡评估等级

将静态平衡能力综合评价指标中各主成分实测值代入式 (1) 求出各指标得分, 然后根据式 (2) 求得各主成分的权重系数, 再根据式 (3) 求各主成分加权后的得分总和即为老年受试者平衡能力得分, 该总分即是静态平衡能力的综合得分. 对综合得分进行频数分析, 对老年受试者的平衡得分采用 20 分制, 共设立 5 个标准化的等级, 使每个级别的人数占受试者总人数的 20%, 按得分由高到低依次定为优、良、中、中下、差, 各等级对应的评分范围见表 4. 评估老年人平衡能力根据评分公式 (式 (3)) 及评分标准 (表 4) 便可确定老年人静态平衡能力所在的等级.

表 4 老年人静态平衡能力评分标准

Tab. 4 Evaluation criteria of the static balance ability of the elderly

平衡等级	评价规则
优	平衡得分 > 12.68
良	11.43 < 平衡得分 ≤ 12.68
中	9.98 < 平衡得分 ≤ 11.43
中下	8.31 < 平衡得分 ≤ 9.98
差	平衡得分 ≤ 8.31

### 2.4 评价体系的验证

平衡能力较好的受试者其相应步态稳定性也较好. 文中对平衡评价体系的验证通过结合步态测试来进行, 实验仪器使用 Zebris 足底压力跑台, 收集受试者在 2 min 内以日常步速赤脚行走时的各项指标数据. 该步态实验与平衡实验选用的是相同的受试者, 将平衡得分与步态参数进行相关性分析, 结果见表 5. 表 5 中数据显示: 平衡得分与左、右脚支撑相占比表现出了较强的负相关, 而与左、右脚摆动相占比则表现出了较强的正相关, 从统计学角度说明了随着平衡得分增加受试者在行走过程中左右脚摆动相占整个步态周期的比例会相应增加, 而支撑相占整个

步态周期的比例相应降低。此外,平衡得分高的受试者行走时会有相对较大的步宽,其步长对称比值也更接近于1。这些步态参数是表征步态稳定性的重要参考指标,由此可以证明该评价系统与步态测试结果具有相应的一致性,也说明该评价体系能相对准确地反映老年受试者的静态站姿平衡能力。

表5 平衡得分与步态参数的相关性水平

Tab. 5 Correlation of balance score and gait parameters

步态参数	Pearson 相关系数	P
步态周期	-0.301	0.191
左脚支撑相占比	-0.507	0.041*
右脚支撑相占比	-0.606	0.035*
左脚摆动相占比	0.507	0.041*
右脚摆动相占比	0.606	0.035*
左脚步长	0.382	0.061
右脚步长	0.293	0.096
步幅	0.317	0.092
步宽	0.479	0.046*
步速	0.353	0.073
步频	0.332	0.081
左足足部旋转	-0.272	0.124
右足足部旋转	-0.306	0.087
支撑相对称比	0.132	0.574
摆动相对称比	0.076	0.738
步长对称比	0.635	0.022*

注: \*表示在 0.05 水平上显著相关。

### 3 讨论

本文在平衡能力测试方法、平衡指标筛选、评价体系构建及应用的内容上均进行了优化。首先平衡能力测试采用 COGNI 平衡评估训练系统可定量准确地测试出各项平衡指标值。目前临床使用较多的有 Berg 平衡量表、Tinetti 平衡及步态量表、平衡信心量表等评估法,这些平衡评估法会受到评估者主观因素的影响,文中基于实测数据获得的评价体系在一定程度上弥补了这些应用主观性量表工具进行平衡评估的不足。应用单因素方差分析法对 6 种平衡姿势下测得的平衡指标进行筛选,避免了由指标重叠和派生指标的衍生导致的平衡评估不准确、评价标准繁杂的问题。本文构建的评价体系可方便有效地评估老年人静态平衡能力水平,为平衡能力的评估提供了一种评价方法。该评价方法也可应用于康复训练,实验收集的人体平衡参数可用于指导平衡康复训练器械的设计研发。

回顾整个研究过程,还存在一些不足之处需要完善。实验只选取了 60~70 周岁这个年龄段的男性受试者,样本类别不够全面,后续研究可在此实验基础

上丰富样本类别,不断完善该评价体系。人体维持平衡的过程是一个极其复杂敏感的阶段,极易受到自身或外来扰动因素的影响,受试者心理状况、测试环境等因素对于所测数据会有直接的影响<sup>[13]</sup>,如何尽量降低这些扰动因子的影响,是今后需要研究的重点。有关人体平衡能力的研究多数单以人体静态平衡、动态平衡或是步态研究范畴展开,而将人体静态平衡同动态平衡或步态研究相结合讨论的文献非常少。相关文献<sup>[14-15]</sup>已指出基于步态的定量测试可以反映平衡系统在运动过程中调控身体姿态稳定性的能力,因此后续研究可在老年人平衡评价体系的基础上,结合步态参数进行多维度分析。将平衡评价体系应用于老年人跌倒风险的评估中,寻找平衡能力与跌倒风险之间的联系。

当前平衡测量设备所给出的测试结果多为平衡指标的实时数据,对于受试者的平衡能力总体水平并未给出具体评价。评价体系若能应用于相关平衡测量软件系统,在测量时生成相应的平衡评估报告,则可更直观地表明受试者的平衡能力状况。

### 4 结语

本文建立了老年男性的站姿平衡能力评价体系。首先完成对平衡能力评价指标的筛选,通过对指标的筛选从而简化平衡测试的过程,基本解决了由指标重叠和冗余现象所导致的评价标准繁杂、平衡评估困难的问题。然后依据所选指标建立老年人的平衡能力评分公式  $G = \sum a_i Z_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 5$ ),通过评分公式可以计算出受试者的平衡得分,再根据分值判别平衡能力等级。评分公式和评估等级标准可以进一步表明受试者的平衡能力状况。该评价体系可应用于康复领域,指导平衡康复训练器材的设计研发。

#### 参考文献:

- [1] Mierau A, Pester B, Thorben H, et al. Cortical correlates of human balance control[J]. Brain Topography, 2017, 30(6): 1-13.
- [2] Ambrose A F, Paul G, Hausdorff J M. Risk factors for falls among older adults: A review of the literature[J]. Maturitas, 2013, 75(1): 51-61.
- [3] Severo I M, Almeida M A, Kuchenbecker R, et al. Risk factors for falls in hospitalized adult patients: An integrative review[J]. Revista da Escola de Enfermagem da USP, 2014, 48(3): 540-554.

- [4] 刘庆梅,李玉明. 预测老年人跌倒风险的功能性测试方法[J]. 中国老年保健医学,2018,16(2):12-14.
- [5] Russell M, Clapperton A, Vu T, et al. Trends in fall-related hospitalisations in older people living in aged care facilities[J]. Osteoporosis International, 2015, 26(3): 1219-1224.
- [6] Zakaria N A, Kuwae Y, Tamura T, et al. Quantitative analysis of fall risk using TUG test[J]. Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, 2015, 18(4): 426-437.
- [7] 贾桂锋. 人体平衡能力定量评估方法研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
- [8] Greene B R, Mcgrath D, Walsh L, et al. Quantitative falls risk estimation through multi-sensor assessment of standing balance[J]. Physiological Measurement, 2012, 33(12): 2049-2063.
- [9] Kimura T, Kobayashi H, Nakayama E, et al. Seasonality in physical activity and walking of healthy older adults[J]. Journal of Physiological Anthropology, 2015, 34(1): 33.
- [10] Kang H G, Dingwell J B. Separating the effects of age and walking speed on gait variability[J]. Gait & Posture, 2008, 27(4): 572-577.
- [11] Sturnieks D L, St George R, Lord S R. Balance disorders in the elderly[J]. Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology, 2009, 38(6): 467-478.
- [12] Sibley K M, Beauchamp M K, Ooteghem K V, et al. Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: A scoping review[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2015, 96(1): 122-132.
- [13] Grobe S, Kakar R S, Smith M L, et al. Impact of cognitive fatigue on gait and sway among older adults: A literature review[J]. Preventive Medicine Reports, 2017, 6: 88-93.
- [14] Motalebi S A, Cheong L S, Iranagh J A, et al. Effect of low-cost resistance training on lower-limb strength and balance in institutionalized seniors[J]. Experimental Aging Research, 2018, 44(1): 48-61.
- [15] Muir-Hunter S W, Clark J, Mclean S, et al. Identifying balance and fall risk in community-dwelling older women: The effect of executive function on postural control[J]. Physiotherapy Canada, 2014, 66(2): 179-186.

责任编辑:周建军

(上接第39页)

- 量检测方法研究[J]. 应用声学, 2017, 36(2): 105-110.
- [5] 苑美实, 骆令海. 无损检测技术在电力系统中的应用[J]. 科学技术创新, 2018(21): 159-160.
- [6] 孙明慧, 王丽, 梁文武. 无损检测技术在特种设备检验中的运用研究[J]. 科技风, 2019(31): 2.
- [7] 陈嘉辉. 涡流检测技术在承压特种设备检测中的应用研究[J]. 特种设备安全技术, 2017(6): 51-53.
- [8] 张颖志, 徐志祥. 带涂层金属零件表面缺陷的无损检测综述[J]. 仪器仪表与分析监测, 2015(2): 1-5.
- [9] 王兴国. 缸套耐磨涂层及界面特性的无损检测研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [10] 刘国辉, 雷良育, 朱长城, 等. 基于涡流探伤的轮毂轴承裂纹检测系统研究[J]. 测试技术学报, 2019, 33(6): 470-475.
- [11] 申振腾, 陈建平, 杜厚栋, 等. 基于机器视觉的绝缘子RTV涂层质量检测方法研究及应用[J]. 电瓷避雷器, 2018(5): 233-240.

责任编辑:周建军