

文章编号:1004-7220(2022)05-0839-07

老年人身体活动及久坐时间与静态平衡能力的相关性

赵晨曦, 朱文斐, 孙方君, 李运峰, 赵成雷, 郭嘉玮, 张龙海, 赵敏敏, 王琳

(陕西师范大学体育学院, 西安 710119)

摘要:目的 探究老年人和青年人身体活动、久坐行为和平衡能力的差异,以及不同强度身体活动水平和久坐行为与平衡能力的相关性。**方法** 选取74名老年人和60名青年人,采用三轴加速度计对其身体活动和久坐行为进行监测,并运用三维测力台对其静态平衡能力进行测量。**结果** 老年女性中高强度身体活动与静态平衡能力之间呈显著正相关关系($P<0.05$),久坐时间与静态平衡能力呈显著负相关关系($P<0.05$);老年男性久坐中断次数与静态平衡能力呈显著正相关关系($P<0.05$)。**结论** 与青年人相比,老年人每日轻度身体活动水平更高,久坐时间更少。在老年人中,尤其是老年女性,拥有较高的中高强度身体活动水平者或较少久坐时间者静态平衡控制能力更好。身体活动对平衡能力控制存在一定积极作用。

关键词: 身体活动;久坐时间;久坐中断;平衡能力;老年人

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.05.011

Correlation of Physical Activity, Sedentary Time with Static Balance Ability in Older Adults

ZHAO Chenxi, ZHU Wenfei, SUN Fangjun, LI Yunfeng, ZHAO Chenglei,
GUO Jiawei, ZHANG Longhai, ZHAO Minmin, WANG Lin

(College of Physical Education, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Objective To explore the differences in physical activity, sedentary behaviour and balance ability between older adults and young people, and the correlation of physical activity at different levels and sedentary behaviour with balance ability. **Methods** A total of 74 older adults and 60 young people were selected. The physical activity and sedentary behaviour of the subjects were monitored by three-axis accelerometers, and their static balance ability was measured by three-dimensional (3D) force platform. **Results** For elderly women, moderate-to-vigorous physical activity (MVPA) were positively correlated with static balance ability ($P<0.05$), and sedentary time was negatively correlated with static balance ability ($P<0.05$). For elderly men, sedentary breaks were positively correlated with static balance ability ($P<0.05$). **Conclusions** Compared with young people, older adults have higher light physical activity levels and less sedentary time. For older adults, especially elderly women, those with higher MVPA levels or less sedentary time have better static balance ability. Physical activity has a positive effect on balance control.

Key words: physical activity; sedentary time; sedentary breaks; balance ability; older adults

收稿日期:2021-12-28;修回日期:2022-02-16

基金项目:教育部人文社会科学研究青年基金项目(20YJC890053),陕西省社会科学基金项目(2020Q009)

通信作者:朱文斐,副教授,E-mail:wzhu@snnu.edu.cn

我国人口老龄化情况呈逐年上升趋势,截至 2019 年底,中国 60 岁以上老年人数为 2.5 亿人,占总人数 18.1%^[1]。中国已成为世界上老年人口最多的国家,老龄化可能会产生一系列公共社会问题。老年人的免疫力以及运动能力等都在不同程度下降,给老年人的晚年生活质量带来巨大威胁。

据中国疾病检测系统的数据显示,中国 65 岁以上老年人群中,跌倒在意外伤害死亡中占比最高^[2]。随着老年人年龄的增长,骨骼肌减少,肌肉力量和关节活动性降低,本体感受和前庭功能衰退,导致老年人平衡能力不断下降^[3-5]。老年人平衡能力降低是造成跌倒的重要原因之一,良好的平衡能力对于老年人来说非常重要。

身体活动是指人体骨骼肌收缩引起能量消耗的活动,包括职业活动、交通出行活动、家务活动、业余休闲活动,范围比运动锻炼更广^[6]。身体活动水平已被证明与老年人健康水平密切相关^[7-10]。研究表明,运动锻炼可有效延缓平衡能力的下降速度,经常从事太极拳、广场舞、健步走的老年人静态平衡能力明显优于久坐人群^[9,11]。世界卫生组织曾强调身体活动在各年龄组人群开展的重要性,推荐老年人每天至少进行 30 min 中等强度身体活动。缺乏身体活动是造成老年人跌倒的重要危险因素之一^[10]。久坐的生活方式会使身体机能恶化,并进一步增加跌倒的风险^[12]。

前人研究多数通过问卷、电话回访和自我报告等主观方式了解实验对象的身体活动水平,采用加速度计这种客观测量的方式可以克服主观测量的局限性,类似加速度计的可穿戴设备也可以作为评价跌倒风险的重要参考指标^[13]。此外,久坐过多不同于身体活动不足,是与多种慢性疾病相关的独立危险因素^[14]。研究证明,久坐的生活方式与健康水平和身体功能下降以及跌倒的发生率有关。但相关研究仍比较有限,有待采用加速度计准确测量久坐时间,探索久坐时间与平衡能力之间的关系。另一方面,平衡能力的测量方法也有一定差异,可能存在测试人员的主观因素影响或者测试敏感度不高等问题。

本文采用三轴加速度计和三维测力台对老年人和青年人日常身体活动、久坐行为和平衡能力进行测量,探究老年人和青年人身体活动、久坐行为

和平衡能力的差异,以及不同强度身体活动水平和久坐行为与平衡能力的相关性。研究结果为设计科学合理的运动训练项目与体系、尽早发现并干预久坐人群、延缓老年人平衡能力下降、降低人群跌倒风险提供理论依据和实践方向。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

招募陕西师范大学社区老年受试者 74 人(男、女性分别为 32、42 人),陕西师范大学校园大学生青年受试者 60 人(男、女性分别为 27、33 人)。本研究经陕西师范大学学术委员会科学伦理专委会批准,实验前受试者均了解实验内容、流程及实验目的并签署知情同意书,填写问卷调查以了解受试者年龄、受教育程度和是否存在运动损伤等基本信息,并在实验人员的组织下测量身高、体重。

1.2 测量指标及方法

1.2.1 身体活动和久坐行为测量 采用三轴加速度计(wGT3X-BT, ActiGraph 公司,美国)在受试者完成静态平衡能力测试前对其身体活动和久坐行为进行测量。受试者连续 7 d 在全天清醒时间内(洗澡和游泳除外)佩戴加速度计于左手手腕处^[15],测试完成后通过 ActiLife 软件将数据进行进一步筛选和分析。非佩戴时间定义为连续 90 min 的加速度计零计数^[16]。纳入有效数据的标准为佩戴天数不少于 5 d,且每天佩戴有效时间大于 600 min^[17]。身体活动强度界值切点设定为久坐不动(0~99 次/min)、轻度身体活动(light physical activity, LPA)(100~1 951 次/min)和中高强度身体活动(moderate-to-vigorous physical activity, MVPA)(>1 952 次/min)^[18]。久坐中断次数(sedentary breaks, SB)定义为久坐时间(sedentary time, SED)平均每天每小时被轻度或中高强度身体活动打断的次数^[19]。

1.2.2 静态平衡能力测试 采用 Kistler 三维测力台(9287C, Kistler 公司,瑞士)和 MARS 平衡分析软件对受试者进行静态平衡测试。要求所有受试者进行睁眼与闭眼两组静态平衡能力测试,每组测试 3 次,每次测试 20 s。测试中要求受试者双脚自然开立站立,双手叉腰,并正视前方的参考点。测试从测试者示意站稳后开始,使用测力台测量脚底压力中心(center of pressure, COP)的位移参数。

1.3 统计方法

本研究的样本量基于 GPower 软件计算得出。实验前,结合前人研究,确定平均效应量(effect size d)为 0.5,在设定显著性水平 $\alpha = 0.05$ 、检验效能(power)为 0.8 的情况下,GPower 计算得出老年组和青年组各 64 名受试者^[20]。考虑到样本流失,本研究额外招募 10 名老年人,而由于条件限制,只招募到 60 名青年人提供有效数据。后期通过 GPower 计算发现,在 74 名老年人和 64 名青年人以及效应量为 0.5 的情况下,检验效能为 0.82,存在统计学上的对比意义。进一步统计分析采用 SPSS 24.0 软件进行。采用 Kolmogorov Smirnov 检验受试者各项指标是否服从正态分布,若数据符合正态分布,采用独立样本 t 检验分析老年组和青年组受试者各指标的差异;若不服从正态分布,采用 Wilcoxon 符号秩检验进行比较。身体活动及久坐行为与平衡能力的相关性分析采用一般线性回归分析。其中,年龄、身高、体重和加速度计佩戴时间、是否有运动损伤作为控制变量。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 研究结果

2.1 基本情况

表 1 显示了所有受试者的基本信息。老年组的 LPA 和 LPA% 明显高于青年组 ($P < 0.01$), SED 和 SED% 明显低于青年组 ($P < 0.01$), SB 明显低于青年组 ($P < 0.05$); 两组受试者 MVPA 和 MVPA% 差异无统计学意义。

表 2 睁闭眼状态下静态平衡能力

Tab. 2 Static balance ability with eyes open and closed

参数	睁眼		闭眼	
	青年组	老年组	青年组	老年组
SP-T/mm	211.58±46.46	228.80±83.25	253.75±65.62	272.16±92.92
SP-AP/mm	104.04±41.05	120.48±33.22*	109.83±31.76	129.89±35.43**
SP-ML/mm	147.08±33.40	181.34±70.12**	189.44±54.30	226.23±85.46**
SV-T/(mm·s ⁻¹)	10.58±2.32	11.44±4.16	12.69±3.28	13.61±4.65
SV-AP/(mm·s ⁻¹)	5.20±2.06	6.02±1.66*	5.49±1.59	6.50±1.77**
SV-ML/(mm·s ⁻¹)	7.35±1.67	9.07±3.51**	9.47±2.71	11.31±4.27**

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。SP:摆动轨迹长度(sway path length);SV:摆动速度(sway velocity);T:总计(total);AP:前后方向(anterior-posterior direction);ML:左右方向(medio-lateral direction)。

2.2 身体活动及久坐行为与静态平衡能力的相关性

由于男性和女性身体活动存在显著性差异,故

表 1 受试者基本情况

Tab. 1 Basic information of the subjects

参数	青年组($n = 60$)	老年组($n = 74$)
年龄/岁	21.35±2.18	65.91±4.82**
身高/cm	171.65±8.71	163.93±8.24**
体重/kg	66.43±12.58	64.92±10.76
BMI/(kg·m ⁻²)	22.44±3.17	24.03±2.55**
LPA/(min·d ⁻¹)	181.91±40.27	268.74±52.79**
LPA%	25.46±4.85	35.02±5.35**
MVPA/(min·d ⁻¹)	132.82±51.63	141.85±55.66
MVPA%	18.44±6.56	18.51±6.90
SED/(min·d ⁻¹)	400.63±83.55	357.52±91.04**
SED%	56.10±9.68	46.47±9.19**
SB/(count·h ⁻¹)	2.80±2.78	2.06±1.31*

注: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ 。BMI: 身体质量指数(body mass index);LPA:轻度身体活动;LPA%:轻度身体活动占比;MVPA:中高强度身体活动;MVPA%:中高强度身体活动占比;SED:久坐时间;SED%:久坐时间占比;SB:久坐中断次数。

对两组受试者在睁闭眼状态下的静态平衡能力测试的各项指标进行对比。结果表明,在睁眼状态下,老年组左右移动长度(sway path-medio-lateral, SP-ML)和左右移动速度(sway velocity-medio-lateral, SV-ML)显著高于青年组($P < 0.01$);老年组的前后移动长度(sway path-antero-posterior, SP-AP)和前后移动速度(sway velocity-antero-posterior, SV-AP)明显大于青年组($P < 0.05$)。在闭眼状态下,老年组 SP-AP、SP-ML、SV-AP、SV-ML 明显大于青年组($P < 0.01$)。其余指标差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 2。

本文对不同性别受试者身体活动与平衡能力的相关性分别进行分析。结果表明,老年女性受试者身体活动与静态平衡各指标的关系中,在睁眼状态下

总移动长度 (sway path-total, SP-T)、总移动速度 (sway velocity-total, SV-T) 与 MVPA% 呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。在闭眼状态下, SP-T、SV-T 与 MVPA 和 MVPA% 呈显著负相关关系 ($P < 0.01$)。老年女性受试者久坐行为与静态平衡各指标的关系中, 在睁眼状态下, SV-T 与 SB 呈显著负相关关系 ($P < 0.01$)。在闭眼状态下, SP-T 和 SV-T 与 SED 和 SED% 呈显著正相关关系 ($P < 0.05$)。

在老年男性受试者中, 未发现 SP-T 与 LAP、LPA%、MVPA、MVPA% 之间的显著相关关系, 但在睁闭眼条件下 SV-T 均与 MVPA 和 MVPA% 呈显著负相关关系 ($P < 0.01$)。老年男性受试者久坐行为与静态平衡各指标的关系中, 在睁眼状态下, SP-T 和 SV-T 与 SB 呈显著负相关关系 ($P < 0.05$)。其余情况下未发现显著相关性 (见表 3)。

表 3 老年人身体活动及久坐行为与静态平衡指标相关性

Tab. 3 Correlation of physical activity, sedentary time with static balance ability in older adults

状态	指标	女				男			
		SP-T		SV-T		SP-T		SV-T	
		B	SE	B	SE	B	SE	B	SE
睁眼	LPA	-0.704	0.109	-0.035	0.109	-0.325	0.109	-0.033	0.161
	LPA%	-5.902	0.177	-0.296	0.177	-2.443	0.226	-0.273	0.263
	MVPA	-0.774	0.379	-0.039	0.019	-0.351	0.366	-0.052	0.018**
	MVPA%	-6.334	2.829*	-0.317	0.142*	-1.920	2.748	-0.419	0.137**
	SED	0.598	0.303	-0.033	0.161	-0.102	0.223	-0.005	0.011
	SED%	4.588	2.371	-0.273	0.263	-0.875	1.742	-0.044	0.087
	SB	3.021	14.835	-0.052	0.018**	-25.083	11.310*	-1.251	0.566*
闭眼	LPA	-0.653	0.152	-0.033	0.161	-0.180	0.142	-0.033	0.161
	LPA%	-5.463	0.263	-0.273	0.263	-1.563	0.295	-0.273	0.263
	MVPA	-1.048	0.364**	-0.052	0.018**	-0.531	0.418	-0.052	0.018**
	MVPA%	-8.381	0.274**	-0.419	0.137**	-4.268	3.063	-0.419	0.137**
	SED	0.712	0.301*	0.036	0.015*	-0.161	0.258	-0.008	0.013
	SED%	5.437	2.385*	0.271	0.119*	-0.929	2.003	-0.047	0.100
	SB	7.235	15.196	0.356	0.760	-20.828	13.641	-1.042	0.683

注: B 为回归系数, SE 为标准误差; * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$; LPA: 轻度身体活动; LPA%: 轻度身体活动占比; MVPA: 中高强度身体活动; MVPA%: 中高强度身体活动占比; SB: 久坐中断次数; SED: 久坐时间; SED%: 久坐时间占比; SP: 摆动轨迹长度 (sway path length); SV: 摆动速度 (sway velocity); T: 总计 (total)。

3 讨论

3.1 不同年龄段人群身体活动、久坐行为以及静态平衡能力的差异

本文结果显示, 老年组 LPA 和 LPA% 显著高于青年组, SED 和 SED% 显著低于青年组, 说明老年组受试者的轻度身体活动比青年组更多, 静坐时间更少, 身体活动水平更活跃。进行家庭劳动与参与社区活动可能是老年人 LPA 和 LPA% 较高的原因。而青年受试者主要为在校大学生, 课业压力大, 上课时间长, 故 SED 和 SED% 明显高于老年人。

静态平衡能力测试结果显示, 老年人 COP 的 SP 和 SV 明显高于青年组, 说明老年人在维持双足静态平衡时, 躯干摇晃程度比青年人大, 平衡能力比青年人更差。该结果与 Prado 等^[20]的观点一致。

Prado 等^[20]通过研究老年人和年轻人在视觉认知双重任务中的平衡能力发现, 在两种视觉条件下, 老年人 COP 摆动速度均显著高于年轻人。Wingert 等^[21]在调查 3 个年龄组之间的本体感受和平衡差异时发现, 老年人 COP 摆动速度明显高于青年人与中年人, 并且髋关节本体感受随年龄增长而下降, 具有较差本体感受老年人动态平衡能力的 mini-BESTest 评分明显更高。

老年人静态平衡能力较差, 受以下几种生理性因素影响: ① 本体感觉功能退化以及中枢神经系统衰退可能是老年人跌倒的危险因素。本体感受在平衡控制中起着至关重要的作用。研究表明, 年龄的增长与前庭毛细胞数量减少、前庭神经纤维数量减少、前庭神经节细胞和前庭脑干神经元的衰退有关, 最终会导致前庭兴奋性降低^[22-23]。腿部本体感

受的敏锐度和本体感受性信号的整合也会随着年龄的增长而降低,从而影响人体平衡能力的控制^[24]。②老年人视觉输入不足,会导致距离的错误判断和空间距离的错误解释,平衡控制和避障能力会受到损害^[25]。③神经肌肉系统功能和下肢肌肉力量下降而导致肌肉与关节活动能力减弱以及运动能力下降等都是平衡能力降低的影响因素。

3.2 身体活动及久坐行为与静态平衡能力的相关性

研究表明,较高的身体活动在维持适当的平衡控制方面有促进作用。本文发现,老年女性 MVPA 和 MVPA% 与静态平衡能力之间存在显著正相关 ($P < 0.05$)。Loprinzi 等^[26]研究美国 40 岁以上成年人身体活动与平衡能力之间的关联,使用加速度计客观测量 LPA 和 MVPA。结果发现,具有较高 LPA 和 MVPA 的个体可能会有更好的平衡能力。一项横断面研究发现,较高身体活动水平与站立平衡能力呈正相关,并建议适当增加成年人身体活动水平,提高中年人的身体机能表现^[27]。一项前瞻性研究采用 Actigraph GT3X+ 加速度计测量 5 545 名女性 1 周的 MVPA,并在之后的 13 个月中回访了解受试者的跌倒状况^[28]。结果显示,MVPA 较低的受试者跌倒发生率明显增高。增加中高强度的身体活动可以增强老年人身体机能,提高老年人的平衡控制,预防跌倒风险。

本体感受随年龄的增长而下降。Irshad 等^[29]研究发现,定期运动训练对可延缓本体感受的下降。一项对照研究也证明,非针对性的体育锻炼也可以保持老年人本体感觉敏锐度和体位控制^[30]。Ilona 等^[31]研究发现,日常身体活动活跃的人群在步态速度、力量功能灵活性和对方向的控制、最大偏移等方面上往往表现得更好。Melzer 等^[32]研究表明,定期散步老年人的姿势稳定性要比不运动老年人好得多,且脚踝跖屈肌和膝伸肌力量明显更高。日常身体活动较高老年人在平衡测试中表现出更好的平衡控制能力,可能是由于以上几种机制的影响。

本文结果表明,久坐时间较长的老年受试者在平衡控制方面都表现较弱。有研究发现,久坐时间是影响人体心血管健康、肌肉质量以及骨密度的独立因素,长期静坐少动的生活方式,可能导致肌肉

和骨质流失,从而降低身体姿势控制和维持平衡的能力^[33]。减少久坐时间,增加负重运动,可以有效地降低老年人跌倒风险,并提高体质健康水平。Rosenberg 等^[34]研究老年女性久坐时间与跌倒风险的关系。结果显示,久坐时间最少的老年女性发生严重跌倒的可能性最小,并且与无跌倒或有 1 次跌倒史的女性相比,有两次或两次以上跌倒史的女性与久坐时间和跌倒发生率之间的关联性更强。Ramsey 等^[35]对 43 项研究的系统综述表明,较高的身体活动水平和较少的久坐时间与较低的跌倒恐惧程度显著相关,但是与实际跌倒以及骨折发生率之间的关系尚存在争议,有待进一步证实。未来需要开展有关久坐时间与平衡能力以及跌倒风险的长期跟踪调查,进一步揭示两者之间的关系。

本研究的优势如下:①受试者身体活动水平均采用加速度计进行客观测量,数据可信度更高,弥补了主观测量的局限性。②平衡能力的测量指标较为客观敏感,能够反映不同方向上平衡的差异。③实验设置青年对照组,能直观探究不同年龄段人群身体活动水平以及静态平衡能力的差异。但本文为横断面研究,后期研究将进一步扩大样本量、延长实验随访时间,以进一步探讨老年人身体活动水平与平衡能力的关系。

4 结论

老年人静态平衡能力明显低于青年人。老年人(尤其是老年女性)拥有较高的中高强度身体活动水平者或较少久坐时间者静态平衡能力更好。老年人应该保持或增加日常身体活动,减少久坐时间,维持相对活跃的身体活动水平从而有效促进身体平衡能力与体质健康。本研究为有效提高老年人身体活动水平,减少久坐时间,设计科学合理的运动训练方案与体系,尽早发现并干预久坐风险人群,有效延缓老年人平衡能力下降,降低人群跌倒发生率,提供重要的理论依据和实践方向。

参考文献:

- [1] 国家统计局. 中华人民共和国 2019 年国民经济和社会发展统计公报[N]. 人民日报, 2020-02-29 (005).

- [2] 中国老年人跌倒风险评估专家共识(草案) [J]. 中国老年保健医学, 2019, 17(4): 47-48.
- [3] FLING BW, DUTTA GG, SCHLUETER H, *et al.* Associations between proprioceptive neural pathway structural connectivity and balance in people with multiple sclerosis [J]. *Front Hum Neurosci*, 2014, 8: 814.
- [4] EIBLING D. Balance disorders in older adults [J]. *Clin Geriatr Med*, 2018, 34(2): 175-181.
- [5] LESINSKI M, HORTOBÁGYI T, MUEHLBAUER T, *et al.* Erratum to: Effects of balance training on balance performance in healthy older adults: A systematic review and meta-analysis [J]. *Sports Med*, 2016, 46(3): 457.
- [6] 赵文华, 李可基, 王玉英, 等. 中国人群身体活动指南(2021) [J]. 中国公共卫生, 2022, 38(2): 129-130.
- [7] HAIDER S, GRABOVAC I, DORNER TE. Effects of physical activity interventions in frail and prefrail community-dwelling people on frailty status, muscle strength, physical performance and muscle mass-a narrative review [J]. *Wien Klin Wochenschr*, 2019, 131(11-12): 244-254.
- [8] FERNANDA MS, JOÃO P, JOÃO S, *et al.* The sedentary time and physical activity levels on physical fitness in the elderly: A comparative cross sectional study [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(19): 3697.
- [9] SHEILA AD. Exercise for health and wellness at midlife and beyond: Balancing benefits and risks [J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2007, 18(3): 555-575.
- [10] CONOR C, ROGER OS, PAOLO C, *et al.* Consequences of physical inactivity in older adults: A systematic review of reviews and meta-analyses [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2020, 30(5): 816-827.
- [11] 张猛, 王凤, 宋旭, 等. 常用锻炼方式对老年女性静态平衡能力的影响 [J]. 医用生物力学, 2018, 33(3): 267-272.
ZHANG M, WANG F, SONG X, *et al.* Influence of common exercise methods on static balance ability in elderly women [J]. *J Med Biomech*, 2018, 33(3): 267-272.
- [12] TREMBLAY MS, COLLEY RC, SAUNDERS TJ, *et al.* Physiological and health implications of a sedentary lifestyle [J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2010, 35(6): 725-740.
- [13] QIU H, REHMAN RZU, YU X, *et al.* Application of wearable inertial sensors and a new test battery for distinguishing retrospective fallers from non-fallers among community-dwelling older people [J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 16349.
- [14] WILMOT EG, EDWARDSON CL, ACHANA FA, *et al.* Sedentary time in adults and the association with diabetes, cardiovascular disease and death: Systematic review and meta-analysis [J]. *Diabetologia*, 2012, 55(11): 2895-2905.
- [15] 孙建刚, 柯友枝, 洪金涛, 等. 利器还是噱头;可穿戴设备在身体活动测量中的信效度 [J]. 上海体育学院学报, 2019, 43(6): 29-38.
- [16] LEENA C, ZHOUWEN L, CHARLES EM, *et al.* Validation of accelerometer wear and nonwear time classification algorithm [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2011, 43(2): 357-364.
- [17] TERESA LH, ANN MS, SUSAN EC, *et al.* How many days of monitoring predict physical activity and sedentary behaviour in older adults? [J]. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2011, 8(1): 62.
- [18] PATTY SF, EDWARD M, JOHN S. Calibration of the computer science and applications, Inc. accelerometer [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1998, 30(5): 777-781.
- [19] HEALY GN, DUNSTAN DW, SALMON J, *et al.* Breaks in sedentary time: Beneficial associations with metabolic risk [J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(4): 661-666.
- [20] PRADO JM, STOFFREGEN TA, DUARTE M. Postural sway during dual tasks in young and elderly adults [J]. *Gerontology*, 2007, 53(5): 274-281.
- [21] JASON RW, CATHERINE W, PATRICK F. Age-related hip proprioception declines: Effects on postural sway and dynamic balance [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2014, 95(2): 253-261.
- [22] TSUJI K, VELÁZQUEZ VL, RAUCH SD, *et al.* Temporal bone studies of the human peripheral vestibular system [J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl*, 2000, 181: 26-31.
- [23] RICHTER E. Quantitative study of human Scarpa's ganglion and vestibular sensory epithelia [J]. *Acta Otolaryngol*, 1980, 90: 199-208.
- [24] HENRY M, BAUDRY S. Age-related changes in leg proprioception: Implications for postural control [J]. *J Neurophysiol*, 2019, 122(2): 525-538.
- [25] STEPHEN RL. Visual risk factors for falls in older people [J]. *Age Ageing*, 2006, 35(2): 42-45.
- [26] LOPRINZI PD, BROSKEY JA. Objectively measured physical activity and balance among U. S. adults [J]. *J Strength Cond Res*, 2014, 28(8): 2290-2296.
- [27] COOPER R, MISHRA GD, KUH D. Physical activity across adulthood and physical performance in midlife: Findings from a British birth cohort [J]. *Prev Med*, 2011, 41(4): 376-384.
- [28] BUCHNER DM, RILLAMAS SE, DI C, *et al.* Accelerometer-measured moderate to vigorous physical activity and incidence rates of falls in older women [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2017, 65(11): 2480-2487.
- [29] IRSHAD A, MAJUMI MN, SHALINI V, *et al.* Effect of

- sensorimotor training on balance measures and proprioception among middle and older age adults with diabetic peripheral neuropathy [J]. *Gait Posture*, 2019, 74: 114-120.
- [30] PETRELLA M, GRAMANI SK, SERRÃO PRMS, *et al.* Measuring postural control during mini-squat posture in men with early knee osteoarthritis [J]. *Hum Mov Sci*, 2017, 52: 108-116.
- [31] ILONA IM, SUZANNE MM, MARK AT, *et al.* The association between balance and free-living physical activity in an older community-dwelling adult population: A systematic review and meta-analysis [J]. *BMC Public Health*, 2018, 18(1): 431.
- [32] MELZER I, BENJUJA N, KAPLANSKI J. Effects of regular walking on postural stability in the elderly [J]. *Gerontology*, 2003, 49(4): 240-245.
- [33] BIDDLE SJH, BENNIE JA, DE COCKER K, *et al.* Controversies in the science of sedentary behaviour and health: Insights, perspectives and future directions from the 2018 queensland sedentary behaviour think tank [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2019, 16(23): 4762.
- [34] ROSENBERG D E, RILLAMASSUN E, BELLETTIERE J, *et al.* Accelerometer-measured sedentary patterns are associated with incident falls in older women [J]. *J Am Geriatr Soc*, 2021, 69(3): 718-725.
- [35] RAMSEY KA, ZHOU W, ROJER AGM, *et al.* Associations of objectively measured physical activity and sedentary behaviour with fall-related outcomes in older adults: A systematic review [J]. *Ann Phys Rehabil Med*, 2022, 65(2): 101571.

(上接第 831 页)

- adjustable joints on lower limb joint kinematics and kinetics during gait in individuals post-stroke [J]. *Clin Biomech*, 2018, 59(2): 47-55.
- [12] 牛文鑫. 主动健康中的生物力学 [J]. *医用生物力学*, 2021, 36(5): 676-678.
- NIU WX. Biomechanics in active health [J]. *J Med Biomech*, 2021, 36(5): 676-678.
- [13] 樊瑜波, 蒲放. 康复辅具与生物力学 [J]. *医用生物力学*, 2016, 31(6): 476-477.
- FAN YB, PU F. Biomechanics and rehabilitation technical aids [J]. *J Med Biomech*, 2016, 31(6): 476-477.
- [14] 高凡, 侯瑶, 朱勇, 等. 一种可模拟体重加载的踝足矫形器力学特性测量装置及方法; 中国, 109459307B [P]. 2020-04-07.
- [15] KOBAYASHI T, LEUNG A, HUTCHINS SW. Techniques to measure rigidity of ankle-foot orthosis: A review [J]. *J Rehabil Res Dev*, 2011, 48(5): 565-576.
- [16] 黄萍, 钟慧敏, 陈博, 等. 正常青年人三维步态: 时空及运动学和运动力学参数分析 [J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(24): 3882-3888.
- [17] YAMAMOTO M, SHIMATANI K, HASEGAWA M, *et al.* Effects of varying plantarflexion stiffness of ankle-foot orthosis on achilles tendon and propulsion force during gait [J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2020, 28(10): 2194-2202.
- [18] KOBAYASHI T, LEUNG AKL, AKAZAWA Y, *et al.* The effect of varying the plantarflexion resistance of an ankle-foot orthosis on knee joint kinematics in patients with stroke [J]. *Gait Posture*, 2013, 37(3): 457-459.
- [19] COLLINS SH, WIGGIN MB, SAWICKI GS. Reducing the energy cost of human walking using an unpowered exoskeleton [J]. *Nature*, 2015, 522(7555): 212-215.
- [20] KOBAYASHI T, SINGER ML, ORENDURFF MS, *et al.* The effect of changing plantarflexion resistive moment of an articulated ankle-foot orthosis on ankle and knee joint angles and moments while walking in patients post stroke [J]. *Clin Biomech*, 2015, 30(8): 775-780.