

文章编号:1004-7220(2022)04-0741-07

不同跌倒风险老年人跨越障碍前后足底压力特征

孟站领¹, 张庆来¹, 苑玲伟², 甄洁³

(1. 郑州大学体育学院, 郑州 450044; 2. 河北体育学院 运动人体科学系, 石家庄 050041;

3. 郑州大学 体育学院(校本部), 郑州 450001)

摘要:目的 探索不同跌倒风险老年人在跨越障碍前后的步态动力学特征。方法 采用坐-立行走计时测试和5次坐立测试对27名社区老年人进行跌倒风险分级,应用足底压力测量系统对老年人跨越障碍前后的足底压力参数进行测试分析。结果 高、低跌倒风险组老年人在跨越障碍前后整体足底压力双峰曲线特征值组间无显著差异($P>0.05$)。高跌倒风险组在跨越障碍后X方向压力中心(center of pressure, COP)运行轨迹显著大于低跌倒风险组($P<0.05$)。跨越障碍前,高跌倒风险组支撑足第3跖骨峰值压力大于低跌倒风险组($P<0.05$)。在跨越障碍后,高跌倒风险组支撑足第1趾骨峰值压力明显小于低跌倒风险组($P<0.05$),而高跌倒风险组足跟外侧冲量明显大于低跌倒风险组($P<0.05$)。高、低跌倒风险组老年人在跨越障碍前后足底接触面积分布规律基本一致,各区域接触面积组间均无显著差异($P>0.05$)。结论 高跌倒风险老人相对低跌倒风险老人跨越障碍时支撑时间延长,跨越腿足底跖骨区域峰值压力增加,足底COP曲线表现出不对称性,且在冠状面横向变化范围增大。在临床评估中应重点关注跌倒风险人群跨越障碍的足底压力特征。

关键词: 老年人; 跌倒风险; 障碍跨越; 步态; 足底压力

中图分类号: R 318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2022.04.025

Plantar Pressure Characteristics of the Elderly with Different Fall Risks before and after Obstacle Crossing

MENG Zhanling¹, ZHANG Qinglai¹, YUAN Lingwei², ZHEN Jie³

(1. Physical Education College of Zhengzhou University, Zhengzhou 450044, China; 2. Department of Sports Human Sciences, Hebei Institute of Physical Education, Shijiazhuang, 050041, China; 3. School of Physical Education (Main Campus), Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract; Objective To explore dynamic characteristics of the gait for the elderly with different fall risks before and after obstacle crossing. **Methods** Twenty-seven elderly people in community were graded as fall risk by using the time up and go test and five-time sit to stand test. The plantar pressure parameters of the elderly before and after obstacle crossing were measured and analyzed by foot pressure measurement system. **Results** There was no significant difference in the characteristic value of bimodal curve of overall plantar pressure between the high and low fall risk groups before and after obstacle crossing ($P>0.05$). The center of pressure (COP) trajectory in X direction of high fall risk group after obstacle crossing was significantly greater than that of low fall risk group ($P<0.05$). Before obstacle crossing, the peak pressure of the 3rd metatarsal of supporting foot was higher in high fall risk group than that in low fall risk group ($P<0.05$). After obstacle crossing, the peak pressure

收稿日期:2021-10-13; 修回日期:2021-11-15

基金项目:河南省科技攻关项目(202102310319),教育部人文社会科学规划基金项目(19YJA890038)

通信作者:甄洁,讲师,E-mail:305736313@qq.com

of the 1st phalanx of supporting foot was significantly lower than that in high fall risk group ($P < 0.05$), while the lateral heel impulse in high fall risk group was significantly larger than that in low fall risk group ($P < 0.05$). The distribution patterns of contact area of the foot for the elderly in two groups before and after obstacle crossing were basically the same, and there was no significant difference in contact area of each plantar region ($P > 0.05$).

Conclusions The support time of the elderly with high fall risk is longer than that of the elderly with low fall risk during obstacle crossing, the peak pressure of plantar metatarsal region of the crossing leg increases, and the plantar COP curve shows asymmetry, with an increase in transverse range of the coronal plane. In clinical evaluation, plantar pressure characteristics of people with fall risks during obstacle crossing should be focused on.

Key words: the elderly; fall risk; obstacle crossing; gait; plantar pressure

步行是人类最基本的运动形式之一,它是在复杂环境中通过感觉信息的输入协调控制身体姿势并做出适应性步态^[1]。四肢及躯干肌肉力量、神经调节系统及运动平衡能力均会影响步态^[2-3]。然而,随着年龄增长,人的身体机能逐渐下降,老年人存在感觉功能衰退、站立及行走晃动不稳、肌力及运动功能减退等现象^[4-5]。这些功能退化将导致老年人步态发生改变,通过调整步态避开障碍物和在必要时改变速度和方向的能力相对不足,从而易诱发老年人跌倒^[6-8]。资料显示,几乎 50% 老年人跌倒是由于没能很好通过地面上的突起物或者障碍物所致^[9-11]。对于不同跌倒风险的老年人而言,跨越障碍物的能力也有所不同。陈岩等^[12-13]研究表明,老年人跨越障碍时会选择不同的跨越策略。老年人跌倒与跨越障碍物时的步态异常有直接关系^[14-16]。Cawtano 等^[17]研究认为,步态适应性受损与老年人跌倒风险相关,在接近目标/障碍物时,步态速度下降越明显,则表明跌倒风险越高。在老年人行走过程中,足底各区域的压力特征与步态的稳定性密切相关。刘逸萌^[18]基于全区域足底压力分布数据,针对压力曲线的峰值和抵达峰值的时间这两个特征指标,结合卷积神经网络和长短期记忆神经网络,建立预测跌倒风险的 Conv LSTM 模型,并进一步证实足底压力分布在不同风险群体中存在差异,这一差异表明足底压力可用于评估跌倒风险。以往研究多围绕老年人正常行走步态及足底压力特征进行分析,而对老年人跨越障碍的步态及足底压力特征研究相对不足。为进一步明确跨越障碍对老年人步态及足底压力的影响,本文将按老年人跌倒风险等级进行分组,探讨不同跌倒风险老年人跨越障碍的步态足底压力特征。研究结果对

预防老年人跌倒具有重要的现实意义。

1 对象与方法

1.1 测试对象

随机抽样某市社区和老年公寓的老年人为测试对象。根据纳入标准和排除标准,最终 27 名老年人入选。郑州大学体育学院伦理委员会批准本研究。

入选标准:① 年龄 ≥ 60 岁;② 测试期间,身体健康状况良好,行动均无受限,均能独立完成所规定的测试任务;③ 所有受试者均在自愿知情的前提下参加测试,并填写知情同意书。

排除标准:① 有明显影响姿势控制的创伤和疾病;② 正在服用神经松弛剂或支气管治疗剂或抗抑郁药物;③ 存在严重认知障碍或心理疾患;④ 有严重心脏病或心脑血管疾病或存在较高运动风险;⑤ 不能独立完成实验测试。

1.2 跌倒风险分组

对所有受试者进行坐-立行走计时测试^[19]和 5 次坐-立测试^[20]。受试者都按照每种方法的操作要求进行 3 次重复测试,取平均值作为最终结果进行综合评定。

参照 Shumway-Cook 等^[21]提出的关于跌倒预测坐-立行走计时测试时间标准,将 13.5 s 作为高跌倒风险的临界值,12 s 作为低跌倒风险的临界值。参照 Bohannon 等^[20]有关 5 次坐-立测试时间标准的研究,将 14.8 s 确定为高跌倒风险的临界值,11.4 s 确定为低跌倒风险的临界值。所有受试者均经过两种跌倒风险评估方法进行测试,按照同时满足两种跌倒风险评估标准的原则,将受试者分为高跌倒风险组和低跌倒风险组。为了减少体重(body weight, BW)对足底压力各参数的影响,进行数据加权的标准化处理。

1.3 跨越障碍足底压力测量

采用比利时 Fooscan Usb2 足底压力测试系统 (578 mm×418 mm×12 mm) 进行老年人跨越障碍的步态动力学测量。采集频率为 250 Hz, 配有 Fooscan 7.0 步态软件分析系统。测试过程采用“1 步法”进行测试^[22]。首先完成 3 次无障碍物的自然行走足底压力测试, 然后分别在压力板前、后放置障碍物(见图 1)。参照陈岩等^[12]提出“障碍物高度为 15 cm 与现实生活中跨越的台阶高度最相符”的结论, 本实验采用 15 cm×10 cm×80 cm (高×宽×长) 泡沫板作为障碍物。所有受试者均是右侧腿为优势腿, 故均采用右腿作为跨越腿。测试前, 每人需练习 1 次, 然后正式测试 3 次。

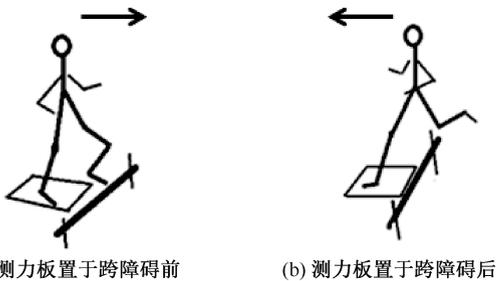


图 1 实验测试现场示意图

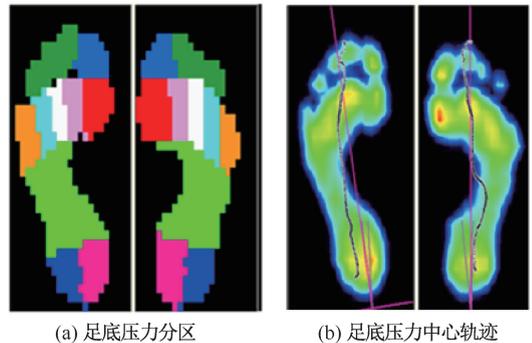
Fig. 1 Schematic diagram of experimental test site

- (a) The force plate is placed before the obstacle,
(b) The force plate is placed behind the obstacle

足底压力分析过程中, 将足底按解剖结构分为 10 个区域: 第 1 趾骨 (T1)、第 2~5 趾骨 (T2~5)、第 1 跖骨 (M1)、第 2 跖骨 (M2)、第 3 跖骨 (M3)、第 4 跖骨 (M4)、第 5 跖骨 (M5)、足弓 (MF)、足跟内侧 (HM)、足跟外侧 (HL)。分析指标包括各区域峰值压力、冲量、接触面积以及 COP 轨迹等, 为了降低 BW 对足底压力的影响, 各区域峰值压力或冲量值均除以 BW 进行标准化处理。

1.5 统计学分析

实验数据统计采用 SPSS 21.0 进行统计分析, 使用 $Q-Q$ 图和 Shapiro-Wilk 检验验证数据的正态性, 服从正态分布, 组间比较 (高跌倒风险组 vs 低跌倒风险组) 采用独立样本 t 检验。本研究均数比较的样本量采用给定置信水平下可接受的边际误差进行样本容量的估计, 所有结果均以均值±标准差表示, 双侧 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。



(a) 足底压力分区

(b) 足底压力中心轨迹

图 2 足底压力分区与压力中心轨迹

Fig. 2 Plantar pressure zone and pressure center trajectory

- (a) Plantar pressure zone, (b) Trajectory of plantar pressure center

2 结果

2.1 受试者基本情况

选取符合筛查标准的 27 名受试者, 其中高跌倒风险组 15 人, 低跌倒风险组 12 人。所有受试者均签署知情同意书, 两组在人口学特征上基线可比 ($P>0.05$), 具体信息见表 1。

表 1 受试者基本情况

Tab. 1 General information of the subjects

参数	高跌倒风险组	低跌倒风险组	P
	($n=15$)	($n=12$)	
性别	男(7人);女(8人)	男(8人);女(4人)	0.489
年龄/岁	68.35±8.23	67.56±7.49	0.235
身高/m	1.68±0.15	1.66±0.13	0.306
体重/kg	66.54±9.47	65.87±10.69	0.383

2.2 老年人跌倒风险测评

高跌倒风险组的坐-立行走计时明显高于低跌倒风险组坐-立行走计时 ($P<0.05$), 高跌倒风险组 5 次坐-立测试计时明显高于低跌倒风险组 5 次坐-立测试计时 ($P<0.05$), 见表 2。

表 2 老年人跌倒风险测试结果 ($*P<0.05$)

Tab. 2 Test results of elderly people with different fall risks

项目	高跌倒风险组	低跌倒风险组	t
	($n=15$)	($n=12$)	
坐-立行走计时/s	14.28±0.97	12.53±0.62*	5.42
5次坐-立测试计时/s	15.23±0.49	11.92±0.51*	17.11

2.3 不同跌倒风险老年人跨越障碍的足底压力特征

2.3.1 跨越障碍前后足底压力整体分布及特征 高、低跌倒风险组老年人在跨越障碍前后支撑腿整体足底

压力双峰曲线中,两个波峰最大压力和波谷最小压力 在跨越障碍前后组间均无显著差异($P>0.05$),见表3。

表3 跨越障碍前、后足底整体压力曲线特征值比较

Tab.3 Characteristic value comparison of overall plantar pressure curve before and after crossing obstacles 单位:N/ kg

状态	参数	高跌倒风险组($n=15$)	低跌倒风险组($n=12$)	t	P
跨越障碍前	第1波峰值	11.42±1.21	10.90±1.49	1.01	0.323
	波谷值	9.74±0.94	9.10±1.28	1.49	0.151
跨越障碍后	第2波峰值	12.61±1.57	11.95±1.92	0.98	0.338
	第1波峰值	11.70±0.95	11.88±1.93	-0.31	0.762
	波谷值	10.25±1.30	9.67±1.47	1.08	0.286
	第2波峰值	11.89±1.65	11.58±1.51	0.52	0.623

2.3.2 跨越障碍前后足底压力中心轨迹分析 高跌倒风险组在跨越障碍后X方向足底压力中心(center of pressure, COP)运行轨迹明显大于低跌倒风险组($P<0.01$),而在跨越障碍前COP轨迹在X、Y方向差异性均无显著统计学意义($P>0.05$),见表4。

表4 跨越障碍前后足底压力中心轨迹比较(* $P<0.05$)

Tab.4 Comparison of plantar pressure center trajectory before and after crossing obstacles 单位:mm

状态	COP 轨迹	高跌倒风险组($n=15$)	低跌倒风险组($n=12$)	t	P
跨越障碍前	X方向	31.07±11.81	31.08±7.73	-0.01	0.9886
	Y方向	205.67±24.02	201.83±35.44	0.33	0.742
跨越障碍后	X方向	46.52±13.76	34.07±10.68*	2.65	0.015
	Y方向	207.20±23.47	198.32±36.06	0.77	0.459

2.3.3 跨越障碍前后足底峰值压力分析 跨越障碍前,支撑足第3跖骨峰值压力高跌倒风险组大于低跌倒风险组($P<0.05$)。跨越障碍后,支撑足的第1趾骨峰值压力高跌倒风险组明显小于低跌倒风险组($P<0.01$),见表5。

表5 跨越障碍前后足底各区域峰值压力比较(* $P<0.05$)

Tab.5 Comparison of peak pressure of plantar regions before and after obstacle crossing 单位:N/ kg

状态	足底分区	高跌倒风险组($n=15$)	低跌倒风险组($n=12$)	t	P
跨越障碍前	第1趾骨	1.61±0.85	1.95±0.77	-1.10	0.287
	第2~5趾骨	0.57±0.58	0.64±0.45	-0.36	0.725
	第1跖骨	1.78±0.73	2.19±0.64	-1.56	0.134
	第2跖骨	2.89±0.54	3.17±0.86	-1.03	0.312
	第3跖骨	2.66±0.52	2.24±0.48*	2.16	0.039
	第4跖骨	2.34±0.85	2.07±0.51	0.96	0.358
	第5跖骨	1.47±0.72	1.33±0.79	0.48	0.641
	足中部	2.50±1.30	2.56±1.19	-0.11	0.917
	足跟内侧	3.20±0.87	2.99±0.81	0.63	0.543
	足跟外侧	2.72±0.77	2.46±0.65	0.94	0.364
跨越障碍后	第1趾骨	1.27±0.83	2.27±1.07*	-2.74	0.014
	第2~5趾骨	0.72±0.54	0.70±0.68	0.06	0.952
	第1跖骨	1.38±0.72	1.21±0.92	0.55	0.598
	第2跖骨	1.99±0.79	2.19±0.87	-0.63	0.537
	第3跖骨	2.31±0.43	2.24±0.63	0.37	0.723
	第4跖骨	2.52±0.63	2.10±1.01	1.33	0.199
	第5跖骨	2.09±0.96	1.94±1.13	0.38	0.698
	足中部	3.10±1.25	3.15±1.20	-0.11	0.923
	足跟内侧	3.12±0.52	3.13±1.17	-0.01	0.994
	足跟外侧	2.96±0.72	2.57±0.81	1.30	0.198

2.3.4 跨越障碍前后足底冲量值分析 跨越障碍后,支撑足的足跟外侧冲量高跌倒风险组明显大于

低跌倒风险组($P<0.05$),其他指标差异组间均无显著统计学意义(见表6)。

表6 跨越障碍前、后足底各区域冲量值比较(* $P<0.05$)

Tab.6 Comparison of impulse values of plantar areas before and after crossing obstacles

单位: $N \cdot s \cdot (cm^2 \cdot kg)^{-1}$

状态	足底分区	高跌倒风险组($n=15$)	低跌倒风险组($n=12$)	t	P
跨越障碍前	第1趾骨	0.48±0.26	0.54±0.23	-0.67	0.515
	第2~5趾骨	0.15±0.17	0.13±0.09	0.31	0.764
	第1跖骨	0.66±0.40	0.66±0.20	0.01	0.993
	第2跖骨	1.13±0.29	1.14±0.35	-0.01	0.991
	第3跖骨	1.13±0.41	0.90±0.31	1.65	0.109
	第4跖骨	1.08±0.52	0.80±0.32	1.60	0.124
	第5跖骨	0.59±0.35	0.46±0.29	1.07	0.296
	足中部	0.96±0.64	0.85±0.50	0.47	0.643
	足跟内侧	1.12±0.33	0.98±0.46	0.93	0.361
	足跟外侧	1.00±0.40	0.84±0.37	1.11	0.277
跨越障碍后	第1趾骨	0.38±0.31	0.41±0.30	-0.24	0.814
	第2~5趾骨	0.18±0.14	0.19±0.19	-0.04	0.972
	第1跖骨	0.39±0.27	0.33±0.28	0.56	0.584
	第2跖骨	0.79±0.38	0.76±0.36	0.18	0.861
	第3跖骨	0.94±0.23	0.79±0.28	1.44	0.158
	第4跖骨	1.11±0.31	0.86±0.40	1.80	0.079
	第5跖骨	0.80±0.43	0.75±0.42	0.30	0.763
	足中部	1.37±0.66	1.25±0.64	0.47	0.644
	足跟内侧	1.19±0.37	0.96±0.50	1.39	0.182
	足跟外侧	1.13±0.41	0.73±0.38*	2.60	0.018

3 讨论

本文结果表明,高、低跌倒风险组老年人在跨越障碍前后整体足底压力双峰曲线特征值并无明显差异。该特征值是评判从中年到老年衰老过程的一个重要指标^[23]。本文认为,不同跌倒风险老年人在面对障碍时所采取的跨越策略差异性并不大,都是较为谨慎的摆动和落地方式。从COP的轨迹分析可知,跨越障碍前,高跌倒风险组老年人蹬离地面过程COP向第1趾骨方向偏移;跨越障碍后,着地过程中COP向足跟外侧方向偏移。而在X轴(左右)方向高跌倒风险组的变化范围明显大于低跌倒风险组。程磊^[24]研究表明,有跌倒史老年人相比正常老年人COP在X轴方向移动范围显著增加,而在Y轴方向显著降低,该结果与本研究结论基本一致。Maki等^[25]研究认为,人体左右方向姿势变化的第一反应产生于髋关节,左右方向对于姿势变化的感觉则更为敏感。因此,足底COP曲线的不对称性及其在X轴方向较大的变化范围可以提示老年人跌倒风险的增加。

跨越障碍前,支撑足第3跖骨峰值压力高跌倒风险组大于低跌倒风险组($P<0.05$)。陈岩等^[12]研究表明,有、无跌倒史老人在跨越障碍时支撑足第1趾骨和足中部存在显著差异。与正常行走时相比,跨越前老年人会根据自己的下肢控制能力提前调整合适的步态以应对障碍。本文结果表明,高跌倒风险组第3跖骨峰值压力大于低跌倒风险组,说明高跌倒风险老人在面对障碍时,对重心进行微调,大腿出现内旋,导致峰值压力向足中部偏移。李正宇等^[26]研究表明,有跌倒史的老年人髋关节主动肌(髂腰肌和股四头肌)与拮抗肌(腘绳肌与臀大肌)的神经运动模式发生改变,跨越障碍后支撑足的第1趾骨峰值压力高跌倒风险组明显小于低跌倒风险组($P<0.05$)。

不同跌倒风险老年人跨越障碍前后足底各区域标准化冲量值的比较表明,跨越障碍前,高、低跌倒风险组各区域冲量值均无显著差异($P>0.05$)。但跨越障碍后,支撑足的足跟外侧冲量高跌倒风险组明显大于低跌倒风险组($P<0.05$)。李永强^[27]研究表明,老年人正常行走足底冲量最大部位出现在

足跟部,说明随着跌倒风险的增加,老年人在完成跨越障碍时对摆动腿的控制能力有所下降。当跨越足跨过障碍正上方后,由于下肢摆动的相关肌群力量及柔韧性下降,导致姿势控制能力不足,不能保障在跨越过程中重心的平稳位移^[12]。Joe等^[28]研究认为,步幅增加和摆动时间变异性是最可靠的跌倒预测因子。因此,一旦跨越足跨过障碍正上方,重心回落速度增大,可导致足跟冲量增大。随着跌倒风险增大,老年人跨越障碍后的足底冲量值与正常行走相比出现了由内向外的转移,第3、4、5跖骨的冲量值较正常行走时都不同程度升高,意味着足的侧向摆动增大,足内翻程度增大。当跨越障碍后支撑足的翻转超出老年人的控制力,易诱发老年人失去平衡而导致跌倒。

4 结论

相比低跌倒风险老年人,高跌倒风险老年人跨越腿足底跖骨区域峰值压力增加,足与地面的触地着力点由足跟内侧向前脚掌外侧偏移,足底 COP 曲线表现出不对称性,且在冠状面横向变化范围增大。本文建议增强老年人下肢摆动肌群的力量,适当进行横向移动能力的练习,对预防老年人跌倒会有积极的作用。

参考文献:

- [1] 张庆来,张林.老年人步态移动稳定性的增龄特征研究[J].中国运动医学杂志,2017,36(7):599-604.
- [2] FUKUCHI CA, FUKUCHI RK, DUARTE M. Effects of walking speed on gait biomechanics in healthy participants: A systematic review and meta-analysis [J]. Syst Rev, 2019, 8(1): 153-154.
- [3] LEE K. Effects of single and dual tasks during walking on spatiotemporal gait parameter of community-dwelling older [J]. J Phys Ther Sci, 2017, 29(10): 1874-1877.
- [4] 马新颖, 满喜. 不同年龄段人群行走足底压力特征分析[J]. 医用生物力学, 2020, 35(1): 108-113.
MA XY, MAN X. Analysis on characteristics of plantar pressures in different age groups during walking [J]. J Med Biomech, 2020, 35(1): 108-113.
- [5] 张子华, 纪仲秋, 庞博, 等. 老年人步态稳定性、步态评价与跌倒风险的研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2019, 25(7): 793-796.
- [6] 王少君, 苏丽娜, 李静先, 等. 老年男性和年轻男性行走时足底动力学特征差异[J]. 医用生物力学, 2021, 36(2): 304-308.
- [7] WANG SJ, SU LN, LI JX, *et al.* Comparison of the characteristics of plantar kinetics in older and young male adults during walking [J]. J Med Biomech, 2021, 36(2): 304-308.
- [7] 张庆来. 姿势控制理论与老年人跌倒研究进展[J]. 首都体育学院学报, 2018, 30(6): 569-576.
- [8] 徐欣, 温子星. 人体动态稳定性控制理论在老年人防跌倒中的应用[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 11(11): 1254-1257.
- [9] KUNIMUNE S, OKADA S. The effects of object height and visual information on the control of obstacle crossing during locomotion in healthy older adults [J]. Gait Posture, 2017, 55: 126-130.
- [10] 孟站领, 张庆来, 刘昌亚. 社区不同跌倒风险老年人跨越障碍的步态运动学特征分析[J]. 中国康复理论与实践, 2020, 26(1): 110-114.
- [11] MUIR BC, HADDAD JM, HEIJNEN MJH, *et al.* Proactive gait strategies to mitigate risk of obstacle contact are more prevalent with advancing age [J]. Gait Posture, 2015, 41(1): 233-239.
- [12] 陈岩, 孙威, 马腾, 等. 有跌倒史老年人跨越障碍步态特征的研究[J]. 山东体育学报, 2014, 30(5): 62-64.
- [13] 陈岩, 孙威, 杨帆, 等. 有跌倒史老年人在不同行走状态下足底压力特征研究[J]. 山东体育学院学报, 2014, 30(3): 57-60.
- [14] DRAGANICH LF, KUO CE. The effects of walking speed on obstacle crossing in healthy young and healthy older adults [J]. J Biomech, 2004, 37(6): 889-896.
- [15] POTOANAC Z, HOOGKAMER W, CARPES FP, *et al.* Response inhibition during avoidance of virtual obstacles while walking [J]. Gait Posture, 2014, 39(1): 641-644.
- [16] POTOANAC Z, SMULDERS E, PIJNAPPELS M, *et al.* Response inhibition and avoidance of virtual obstacles during gait in healthy young and older adults [J]. Hum Movement Sci, 2015, 39: 27-40.
- [17] CAWTANO MJD, LORD SR, BRODIE MA, *et al.* Executive functioning, concern about falling and quadriceps strength mediate the relationship between impaired gait adaptability and fall risk in older people [J]. Gait Posture, 2018, 59: 188-192.
- [18] 刘逸萌. 基于足底压力分布的老年人跌倒风险深度预测模型研究[D]. 深圳: 深圳大学, 2019.
- [19] PODSIADLO D, RICHARDSON S. "The timed 'Up & Go': A test of basic functional mobility for frail elderly persons" [J]. J Am Geriatr Soc, 1991, 39(2): 142-148.
- [20] BOHANNON RW. Reference values for the five-repetition sit-to-stand test: A descriptive meta-analysis of data from elders [J]. Percept Mot Skill, 2006, 103(1): 215-

- 222.
- [21] SHUMWAY-COOK A, BRAUER S, WOOLLACOTT M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the timed up & go test[J]. *Phys Ther*, 2000, 80(9): 896-903.
- [22] STURNIEKS DL, MENANT J, VANRENTERGHEN J, *et al.* Sensorimotor and neuropsychological correlates of force perturbations that induce stepping in older adults [J]. *Gait Posture*, 2012, 36: 356-360.
- [23] 赵芳, 周兴龙. 老年人站立及行走稳定性的生物力学研究 [J]. *北京体育大学学报*, 2003, 26(2): 188-191.
- [24] 程磊. 有跌倒史老年人群足底压力分布特征分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2010.
- [25] SCHMITZ A, SILDER A, HEIDERSCHEIT B, *et al.* Differences in lower-extremity muscular activation during walking between healthy older and young adults [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2009, 19(6): 1085-1091.
- [25] MAKI BE, HOLLIDAY PJ, TOPPER AK. Postural control and prospective of falling in the elderly[M]// *Posture and gait: Control mechanisms*. Eugene: University of Oregon Books, 1992: 291-294.
- [26] 李正宇, 张盘德. 踝背屈延迟预测老年人跌倒[J]. *神经损伤与功能重建*, 2004, 24(1): 39-40.
- [27] 李永强. 60~69岁妇女自然行走时的足底压力特征[J]. *中国组织工程研究*, 2009, 13(41): 8044-8047.
- [28] JOE V, ROEE H, LIPTON RB, *et al.* Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults [J]. *J Gerontol A Biol*, 2009, 64(8): 896-901.

· 致读者 ·

关于文稿中法定计量单位的书写要求

本刊法定计量单位具体使用参照中华医学会编辑出版部编写的《法定计量单位在医学上的应用》。注意单位名称与单位符号不可混用。如 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{天}^{-1}$ 应改为 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$; 组合单位符号中表示相除的斜线多于 1 条时, 应采用负数幂的形式表示, 如 $\text{ng}/\text{kg}/\text{min}$ 应采用 $\text{ng} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 的形式; 组合单位中斜线和负数幂亦不可混用, 如前例不宜采用 $\text{ng}/\text{kg} \cdot \text{min}^{-1}$ 的形式。在首次出现不常用的法定计量单位时加注与旧制单位的换算系数, 下文再出现时只列法定计量单位。人体及动物体内的压力单位使用 mmHg 或 cmH_2O , 但文中首次出现使用括号加注 ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$)。正文中时间的计量单位表达, 凡表示时间的具体数据时, 数据后的计量单位应采用 d、h、min、s, 而不用天、小时、分钟、秒。量的符号一律用斜体字, 如密度的符号 ρ , " ρ " 为斜体。

本刊编辑部