

脑卒中偏瘫痉挛期患者足底压力与平衡功能的相关性分析

李晓亚, 张芝梅, 王山岭, 凌晴

【摘要】 目的:探讨脑卒中偏瘫痉挛期患者的足底压力分布和平衡功能特点及相关性。**方法:**2020年12月至2022年2月于本院康复科招募脑卒中偏瘫痉挛期患者40例(研究组)和健康中老年志愿者30例(对照组)。2组均进行静、动态的足底压力和睁、闭眼下的平衡功能测试,比较2组足底8个区域压力参数,分析研究组足底压力不对称性与平衡功能的相关程度。**结果:**研究组中,与非偏瘫侧比较,偏瘫侧静态和动态足跟内侧和外侧的足底压力均明显低于非偏瘫侧($P<0.05$)。与对照组比较,研究组偏瘫侧静态和动态足跟内侧和外侧的足底压力均明显低于对照组($P<0.05$),动态拇趾足底压力明显低于对照组($P<0.05$)。研究组闭眼状态下平衡测试运动轨迹长度与动态足跟内侧压力差呈正相关($R=0.645, P<0.05$),与动态足跟外侧压力差呈正相关($R=0.518, P<0.05$)。**结论:**脑卒中偏瘫痉挛期患者步行时足底压力呈现不对称性,足跟内外侧压力的不对称与平衡运动轨迹长度存在相关性。

【关键词】 脑卒中;足底压力分析;平衡功能障碍;步态不对称性

【中图分类号】 R49;R743.3 **【DOI】** 10.3870/zgkf.2022.09.005

Correlation between the plantar pressure distribution and standing balance function in poststroke patients with spastic hemiplegia Li Xiaoya, Zhang Zhimei, Wang Shanling, et al. Department of Rehabilitation Medicine, Shanghai Yangsi Hospital, Shanghai 200126, China

【Abstract】 Objective: To explore the characteristics and the relationship between the plantar pressure distribution and standing balance function in poststroke patients with spastic hemiplegia. **Methods:** From December, 2020 to February, 2022, 40 stroke subjects with spastic hemiplegia (experimental group) and 30 normal subjects (control group) were recruited in the Rehabilitation Department of our hospital. Static and dynamic plantar pressure of subjects in both groups was measured using the Gaitview system, and the standing balance function under eyes open and closed conditions were collected. The parameters of plantar pressure in 8 regions within and between groups were compared. The relationship between the plantar pressure asymmetry and standing balance function was analyzed in the experimental group. **Results:** In the experimental group, the static and dynamic plantar pressures in the medial and lateral heel of the affected feet were significantly lower than those of the unaffected feet ($P<0.05$). The static and dynamic plantar pressures in the medial and lateral heel, and the dynamic toe I plantar pressure were significantly lower in the experimental group than in the control group ($P<0.05$). There was a positive correlation between the trajectory length under eyes closed condition and medial heel pressure difference ($R=0.645, P<0.05$) and lateral heel pressure difference ($R=0.518, P<0.05$) between the affected and unaffected side in the experimental group. **Conclusion:** The plantar pressure of stroke patients with spastic hemiplegia presents the gait asymmetry when walking, and the asymmetry of dynamic plantar pressures in the medial and lateral heel is correlated with the trajectory length.

【Key words】 stroke; balance dysfunction; plantar pressure analysis; gait asymmetry

脑卒中是我国中老年人常见病与多发病,脑卒中患者跌倒的风险很高,发病后6个月内在26%~73%之间,一年内在33%~48%之间^[1-3],跌倒的主要原因是步行失衡和整体功能下降。痉挛期偏瘫患者足内翻是下肢异常运动模式,严重地影响平衡功能和步行

姿势控制,如何对平衡步态量化评估、优化治疗,降低跌倒风险,是神经康复领域的研究重点^[4-5]。目前针对平衡步态评估多以半定量评定量表为主,本研究将足底压力测试和仪器平衡功能评估相结合,分析足底压力和动静平衡特点,探索足底压力定量指标与平衡功能之间的相关性,筛选出影响平衡功能的关键足底区,为脑卒中偏瘫痉挛期患者的平衡步态提供精准评定,并且为康复治疗提供更多循证依据。

收稿日期:2022-02-12

作者单位:上海杨思医院康复医学科,上海 200126

作者简介:李晓亚(1985-),女,主管技师,主要从事神经康复和骨科康复方面的研究。

通讯作者:凌晴,lingqing_ll@163.com

1 资料与方法

1.1 一般资料 招募2020年12月~2022年2月于上海市杨思医院康复医学科住院的脑卒中痉挛期偏瘫患者40例(研究组),诊断标准符合中国各类主要脑血管病诊断要点^[6],并经头颅CT或MRI检查证实。另外招募30名无脑血管疾病及无下肢疼痛正常健康中老年志愿者作为健康对照(对照组)。纳入标准:年龄40~69岁;病程<1年,无认知障碍者,可配合完成研究;脑卒中引起单侧肢体功能障碍,且站立平衡达到2级;偏瘫下肢Brunnstrom分期Ⅲ~Ⅳ期,改良的Ashworth分级为1⁺~2级;可独立步行6m以上;所有健康对照组参试者无神经系统或下肢疼痛疾病,近6个月内无跌倒史;身体质量指数(Body mass index, BMI)20~30kg/m²。排除标准:病情不稳定,伴重要脏器严重受损;伴下肢疼痛、髋关节脱位、骨折未愈合、震颤等不能配合完成测试;头晕、视觉及严重听力障碍等;简明精神状态检查表(Mini-mental state examination, MMSE)<27分;跟腱挛缩、深感觉障碍等;脊柱严重侧弯畸形等。本次募集脑卒中患者均为募上病变,2组性别、年龄、病程等比较差异无统计学意义。见表1。本研究通过杨思医院伦理委员会审查(ys2020-06)。所有受试者自愿参加测试并自愿签知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 足底压力测试 采用韩国进口足底压力 Gait-view AFA-50 仪器 Footscan 足底压力板。治疗室光线充足较安静,方法:①让受试者了解测试流程和方法;②静态测试:受试者穿统一袜子站立于测试台上,两手自然下垂放松,双眼看向前方保持10s;③动态测试:嘱受试者以自然步态来回走过测试台,共4m距离。分别练习1次和测试3次,2次测试中间休息5min,避免疲劳。通过信息采集能够分析静态(立位)和动态(步行)的足底压力值,足底区域分布如下:1区-拇趾、2区-第2~5脚趾、3区-第1跖骨、4区-第2~4跖骨、5区-第5跖骨、6区-中足部、7区-足跟内侧、8区-足跟外侧;1区和2区为足趾区,3、4、5区为前足,6

区为中足,7区和8区为后足。

1.2.2 平衡仪评估 采用 Prokin 平衡训练系统(PK252)评定受试者静态姿势控制能力。方法:①受试者赤足站在平衡板指定位置上,双足外八字型,内踝位于平衡板红线刻度值5上,双上肢自然下垂放松;②进行睁、闭眼测试,睁眼测试时需让受试者平视前方对应目标物,测试时间各为30s。根据仪器设置提示完成测试,可测出睁、闭眼压力中心(center of pressure, CoP)的相关参数,包括:CoP运动椭圆面积,CoP运动轨迹长度,前后和左右方向运动速度、前后和左右方向运动幅度标准差6项量化指标。以上试验全程由一名治疗师完成,并由另一名治疗师在患者身旁进行保护,消除患者紧张心态,避免跌倒。

1.3 评定标准 ①足底压力参数:静态(站立)和动态(行走)双足足底各区压力分布。②平衡运动学参数:睁眼、闭眼状态下CoP运动椭圆面积,CoP运动轨迹长度,前后和左右方向运动速度、前后和左右方向运动幅度标准差。③偏瘫步态不对称性:脑卒中偏瘫痉挛期患者双侧足底各区的压力差反映步态不对称性,差值越大,不对称程度越高,跌倒风险越大。

1.4 统计学方法 采用 SPSS 16.0 统计软件进行数据处理与分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,进行正态性检验,符合正态分布采用 t 检验。2组间性别比较采用卡方检验。组内比较以配对 t 检验;组间比较采用两独立样本 t 检验。足底压力参数和平衡运动参数的相关性采用 Pearson 相关分析。显著性水平 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 2组足底压力参数比较 研究组中,与非偏瘫侧比较,偏瘫侧静态和动态足跟内侧和外侧的足底压力、静态拇趾压力、动态第2~5脚趾压力低于非偏瘫侧($P<0.05$)。偏瘫侧静态第2~4跖骨足底压力高于非偏瘫侧,动态拇趾压力低于非偏瘫侧,差异无统计学意义。见表2。与对照组比较,研究组偏瘫侧静态和动态足跟内侧和外侧的足底压力、动态拇趾和第2~5脚趾足底压力均低于对照组($P<0.05$),而静态第2~5脚趾的压力高于对照组($P<0.05$)。见表3。

表1 2组一般资料比较

组别	n	性别(例)		年龄	体质量指数	病程	卒中类型(例)	患肢(例)	BBS	FMA-LE
		男	女	(岁, $\bar{x} \pm s$)	(kg/m ² , $\bar{x} \pm s$)	(d, $\bar{x} \pm s$)	梗死/出血	左/右	(分, $\bar{x} \pm s$)	(分, $\bar{x} \pm s$)
研究组	40	23	17	61.90±12.50	23.53±3.35	113.45±40.35	29/11	18/22	32.90±5.45	28.22±4.94
对照组	30	19	11	62.03±6.86	23.33±2.32	—	—	—	51.73±1.76	—
χ^2/t		0.021		0.057	0.284	—	—	—	20.468	—
P		0.885		0.955	0.778	—	—	—	0.000	—

表 2 研究组双侧静/动态足底压力分布比较 kpa, $\bar{x} \pm s$

足底部位分布	状态	偏瘫侧	非偏瘫侧	<i>t</i>	<i>P</i>
拇趾	静态	20.08±25.01	37.66±35.44	-2.553	0.013
第 2~5 脚趾	静态	28.98±28.99	23.05±20.49	1.057	0.294
第 1 跖骨	静态	61.18±31.54	58.38±32.84	0.390	0.698
第 2~4 跖骨	静态	117.52±35.891	107.77±29.84	1.321	0.190
第 5 跖骨	静态	79.74±37.22	80.04±35.03	-0.038	0.970
中足部	静态	31.41±22.23	42.12±29.34	-1.841	0.069
足跟内侧	静态	100.61±40.86	142.53±25.85	-5.483	0.000
足跟外侧	静态	109.44±39.74	142.30±31.95	-4.077	0.000
拇趾	动态	59.11±45.72	78.19±47.37	-1.834	0.071
第 2~5 脚趾	动态	36.84±22.30	53.33±31.03	-2.729	0.008
第 1 跖骨	动态	85.77±44.70	98.64±48.28	-1.238	0.220
第 2~4 跖骨	动态	129.85±30.42	131.73±29.26	-0.282	0.778
第 5 跖骨	动态	98.04±35.43	97.07±34.05	0.125	0.900
中足部	动态	64.31±35.54	70.29±39.56	-0.712	0.479
足跟内侧	动态	116.35±34.94	135.67±23.11	-2.916	0.005
足跟外侧	动态	124.06±35.45	155.88±26.67	-4.536	0.000

表 3 2 组静/动态足底压力分布比较 kpa, $\bar{x} \pm s$

足底部位分布	状态	研究组偏瘫侧足 (n=40)	对照组左侧足 (n=30)	<i>t</i>	<i>P</i>
拇趾	静态	20.08±25.01	21.02±19.86	-0.169	0.886
第 2~5 脚趾	静态	28.98±28.99	18.22±12.47	2.103	0.040
第 1 跖骨	静态	61.18±31.54	69.128±34.223	-1.005	0.318
第 2~4 跖骨	静态	117.52±35.89	115.17±25.38	0.306	0.761
第 5 跖骨	静态	79.74±37.22	63.28±25.93	2.072	0.0420
中足部	静态	31.41±22.23	41.22±22.76	-1.810	0.075
足跟内侧	静态	100.61±40.87	145.49±18.24	-6.174	0.000
足跟外侧	静态	109.44±39.74	146.49±18.65	-5.184	0.000
拇趾	动态	59.105±45.72	93.19±33.32	-3.608	0.001
第 2~5 脚趾	动态	36.84±22.30	47.91±22.50	-2.048	0.044
第 1 跖骨	动态	85.77±44.70	92.64±36.43	-0.688	0.494
第 2~4 跖骨	动态	129.85±30.42	131.14±24.39	-0.191	0.849
第 5 跖骨	动态	98.04±35.43	98.04±35.43	1.373	0.174
中足部	动态	64.31±35.54	87.09±29.55	-0.041	0.967
足跟内侧	动态	116.35±34.94	144.31±12.31	-4.688	0.000
足跟外侧	动态	124.06±35.45	151.57±14.62	-4.432	0.000

2.2 2 组足底压力分布与压力中心轨迹分析 研究组非偏瘫侧和对照组动、静态足底压力均表现为后足足跟区压力最大,而痉挛期偏瘫侧足表现为前足中外

侧第 2~4 跖骨的压力最大。步行周期压力中心轨迹图显示:非偏瘫侧足支撑相表现为足跟先着地、再向中足和前足的连续推进过程,而偏瘫痉挛期患者着地顺序依次表现为前足外侧、中足、足跟的过程。见图 1。

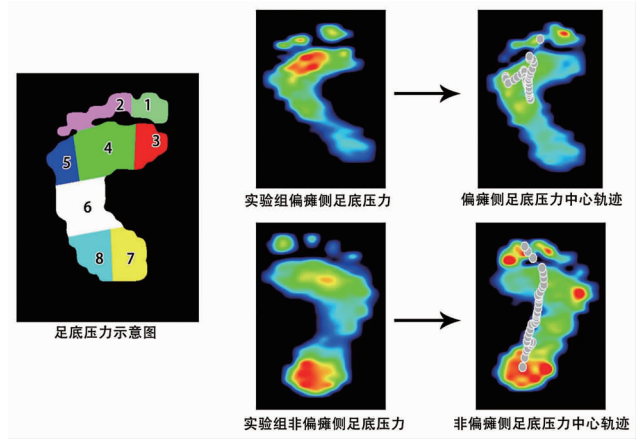


图 1 足底压力分布与压力中心轨迹

2.3 2 组运动学参数比较 研究组闭眼和睁眼状态下 CoP 运动轨迹长度、CoP 运动椭圆面积、左右方向运动幅度标准差、前后和左右方向平均速度明显高于对照组(均 $P<0.05$)。研究组闭眼状态下研究组前后方向运动幅度标准差明显高于对照组($P<0.05$)。睁眼状态下研究组前后方向运动幅度标准差高于对照组,差异无统计学意义。见表 4。

2.4 研究组运动轨迹长度与静、动态双侧足底压力差相关性分析 研究组闭眼状态下的立位平衡功能测试结果提示运动轨迹长度与动态足跟内侧压力差呈正相关($r=0.645, P<0.05$),与动态足跟外侧压力差呈正相关($r=0.518, P<0.05$)。见表 5。

3 讨论

偏瘫痉挛期是脑卒中后的典型运动功能障碍,偏瘫下肢伸肌痉挛模式导致步态异常,表现为足内翻和

表 4 2 组立位平衡功能参数比较 $\bar{x} \pm s$

状态	组别	CoP 运动轨迹长度 (mm)	CoP 运动椭圆面积 (mm ²)	运动幅度标准差		平均运动速度 (mm/sec)	
				前后方向	左右方向	前后方向	左右方向
睁眼	研究组	536.80±207.11 ^a	620.95±305.98 ^a	6.60±2.07	6.65±3.92 ^a	13.92±6.82 ^a	9.00±4.44 ^a
	对照组	358.63±102.11	360.27±212.15	5.80±2.46	3.90±1.86	8.13±2.80	5.80±1.56
闭眼	研究组	798.32±328.07 ^a	1162.37±696.76 ^a	8.95±2.96 ^a	7.60±3.22 ^a	20.72±9.53 ^a	12.93±6.41 ^a
	对照组	481.63±128.52	407.87±176.22	5.97±1.50	4.07±1.48	12.30±3.68	7.50±3.09

与对照组比较, ^a $P<0.05$

表 5 研究组足底压力分布与立位平衡功能的相关性分析

闭眼状态平衡功能测试参数	双侧静态足底压力				双侧动态足底压力			
	足跟内侧压力差		足跟外侧压力差		足跟内侧压力差		足跟外侧压力差	
	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>
运动椭圆面积	0.398	0.011	0.268	0.095	0.151	0.354	0.068	0.677
运动轨迹长度	0.305	0.056	0.256	0.111	0.645	0.000	0.518	0.001

下垂。传统的定性步态分析主要基于观察步态,易受人为主观因素限制,重复性和准确性不理想。因此足底压力分析结合仪器平衡功能的定量评定,更有助于精准的康复治疗^[7-8]。

目前步态分析方法除了观察法外,更强调运动分析测量方法,包括无标记运动捕获、基于标记的分析、足底压力分析和可穿戴传感器。足底压力分析通过测量足底的压力分布,提供了足部压力值和压力分布的详细动力学参数资料,可分析特定足部区域或与对侧相比较。通常分为足底压力平台系统和鞋垫/鞋内系统。平台系统提供了一个非常详细的裸脚分析资料,没有外部干扰,传感器的分辨率高,因此本研究采用了足底压力平台系统分析。

本研究选取的对象是痉挛期的卒中偏瘫患者,国外有学者进行横断面研究^[9],把卒中偏瘫患者按照踝跖屈肌痉挛水平分为高痉挛组和低痉挛组,分别完成了睁眼和闭眼静立试验,结果显示卒中后高度痉挛的个体表现出更大程度的平衡功能损害,而偏瘫踝部痉挛对足底压力影响的深入报道少见。本研究对恢复期卒中偏瘫痉挛期患者和健康中老年志愿者分别进行静态和动态的足底压力测试,分析足底压力分布特点,结果显示静态和动态偏瘫侧足跟内侧和外侧足底压力明显低于健康对照组和非偏瘫侧。说明痉挛期偏瘫患者重心偏向非偏瘫侧,偏瘫侧承重比减少,偏瘫侧足底压力小于非偏瘫侧。而双足跖骨静态和动态足底压力无明显统计学差异。本研究的足底压力分布部位把足趾分为拇趾和第2~5脚趾两个区域,静态和动态的步行足底压力分析显示均提示偏瘫侧足拇趾压力均低于非偏瘫侧,但第2~5脚趾静态压力高于非偏瘫侧,动态压力低于非偏瘫侧,考虑静态站立时因痉挛导致足趾屈曲抓地,所以第2~5脚趾的足底压力高于非偏瘫侧足相同部位,而动态足底压力反应的是步行动态变化,步行周期压力中心轨迹图显示,非偏瘫侧支撑相表现为足跟先着地、再向中足和前脚掌的连续推进过程,而偏瘫痉挛期患者支撑相着地的区域是集中在前足中外侧跖骨区,支撑末期摆动前期足趾压力明显低于非偏瘫侧,解释了足下垂内翻异常表现,验证了痉挛期偏瘫患者足底区域的压力分布趋势。

动静态足底各区压力值得大小分析均显示,健康对照组和研究组非偏瘫侧的后足区足跟内外侧的压力最大,其次是前足的第二三四跖骨压力,而偏瘫侧足相反,前足第二三四跖骨的压力最大,其次是后足足跟内外侧,再次是中足和足趾。Rogers等^[10]对21例后遗症期卒中偏瘫患者进行重复足底压力测试,足底压力大小依次是前足>足趾>后足>中足部。前足、中

足和后足压力均与本研究结论一致,不同之处足趾压力仅次于前足,考虑本研究选取的对象是痉挛期卒中患者,存在足下垂内翻异常运动模式,并且步行时呈现踝关节跖屈、足趾过度屈曲、足趾抓地姿势,步态观察显示支撑相初期与前足接触,重量主要集中在前足外侧缘,足趾负重不足,故足趾压力最小。

脑卒中偏瘫患者双侧足底各区压力差反映偏瘫步态的不对称性,差值越大,不对称程度越高,跌倒风险越大。脑卒中偏瘫患者睁/闭眼状态下的运动轨迹长度和运动椭圆面积,被认为是评价脑卒中后平衡功能和预后的重要指标^[11-12]。本研究中,脑卒中偏瘫患者双足动静态足底八个区域的压力差与平衡功能的相关性分析显示,动态双侧足跟内侧压力差值和足跟外侧压力差值,均与闭眼状态下运动轨迹长度呈正相关。双侧足跟内/外侧压力反映了脑卒中偏瘫患者双侧足底压力的不对称性,足底压力的差值越大,不对称性程度越高,则平衡功能和稳定性越差,导致运动轨迹长度增加。我们推测利用动力学指标中的足底压力指标,尤其是足跟内外侧压力和不对称性参数,是分析步态、指导康复治疗,预测平衡功能结局的重要评价指标。卒中后运动功能与平衡障碍的相关性研究已经得到证实^[13-14]。但足底压力与平衡功能之间的相关性研究鲜有报道。Parsons等^[15]研究足底皮肤感觉受损对卒中后平衡障碍的影响,通过足底单丝感觉测试、站立平衡控制力板测量和BBS评分,结果显示足底皮肤感觉障碍导致卒中后平衡障碍,单丝感觉测试评分可以作为确定足底皮肤感觉受损导致患者平衡障碍的一个因素。我们认为卒中后足底皮肤感觉受损,引起足底压力异常,进而影响平衡功能。所以整合运动和感觉治疗的综合康复策略更有利于改善卒中患者的平衡功能。

脑卒中偏瘫康复治疗新技术应用广泛,虚拟现实技术^[16-18]、镜像联合电刺激^[19-20]、运动想象^[21]、躯干核心肌群训练^[22]、定制鞋垫^[23]等措施对平衡步态疗效肯定,但评估工具仍局限在量表评估和平衡仪器层面。足底压力测试结合步态分析作为一种便捷可行的定量评估工具,不仅用于运动医学和生物力学研究,而且已扩展为神经康复领域中不可或缺的组成部分。客观化、量化的足底压力步态分析,与仪器平衡评估相结合,利用足跟内外侧压力和不对称性指标,为痉挛期偏瘫患者踝足姿势和步态控制提供更优化的个体化治疗。

本研究尚存在一些局限性,如果扩大样本量,按照痉挛严重程度进行分组研究,就能够深入探讨痉挛对足底压力的影响。痉挛期偏瘫患者多存在下肢局灶性

肌张力增高,有研究对踝关节不稳的患者步态训练时同时采集足底压力和动态肌电信号^[24-25],捕捉步行周期中激活肌肉的肌电特征,更有助于在神经肌肉层面的步态分析,值得借鉴应用到偏瘫步态的靶向治疗领域。足底压力测试和仪器平衡功能评定结合,能够对偏瘫痉挛步态的特征进行动力学评价,获取客观定量的评价指标。同时偏瘫侧足跟内外侧压力的不对称性程度,可能作为步态平衡分析的重要评价指标,为精准康复提供更多临床思路。

【参考文献】

- [1] Minet LR, Peterson E, von Koch L, et al. Occurrence and predictors of falls in people with stroke: six-year prospective study[J]. *Stroke*, 2015, 46(9):2688-2690.
- [2] Walsh ME, Galvin R, Williams DJ, et al. Falls-related events in the first year after stroke in Ireland: results of the multi-centre prospective freese cohort study[J]. *Eur Stroke J*, 2018, 3(3):246-253.
- [3] Morone G, Martino Cinnera A, Paolucci T, et al. Clinical features of fallers among inpatient subacute stroke: an observational cohort study[J]. *Neurol Sci*, 2020, 41(9):2599-2604.
- [4] Ahmed U, Karimi H, Amir S, et al. Effects of intensive multi-planar trunk training coupled with dual-task exercises on balance, mobility, and fall risk in patients with stroke: a randomized controlled trial[J]. *J Int Med Res*, 2021, 49(11):3000605211059413.
- [5] Varas-Diaz G, Bhatt T. Application of neuromuscular electrical stimulation on the support limb during reactive balance control in persons with stroke: a pilot study[J]. *Exp Brain Res*, 2021, 239(12):3635-3647.
- [6] 中华医学会神经病学分会, 中华医学会神经病学分会脑血管病学组. 中国各类主要脑血管病诊断要点 2019[J]. *中华神经科杂志*, 2019, 52(9):710-715.
- [7] 张路, 袁望舒, 刘颖, 等. 帕金森病跌倒与非跌倒者平衡评估及步态分析结果比较[J]. *中国康复*, 2019, 34(01):26-29.
- [8] 孙良文, 胡锦荣, 潘喆, 等. 基于现实环境的功能性步态训练对卒中偏瘫患者早期社区生活的影响[J]. *中国康复*, 2017, 32(03):260-263.
- [9] Rahimzadeh Khiabani R, Mochizuki G, Ismail F, et al. Impact of spasticity on balance control during quiet standing in persons after stroke[J]. *Stroke Res Treat*, 2017, (2017):1-10.
- [10] Rogers A, Morrison SC, Gorst T, et al. Repeatability of plantar pressure assessment during barefoot walking in people with stroke[J]. *J Foot Ankle Res*, 2020, 13(1):39.
- [11] Zhang M, You H, Zhang H, et al. Effects of visual feedback balance training with the Pro-kin system on walking and self-care abilities in stroke patients[J]. *Medicine(Baltimore)*, 2020, 99(39):e22425.
- [12] Wang N, Liang J, Zhang H, et al. Correlation between post-stroke balance function and brain symmetry index in sitting and standing postures[J]. *Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc*, 2021, (2021):6273-6276.
- [13] Bruyneel AV, Dubé F. Best quantitative tools for assessing static and dynamic standing balance after stroke: a systematic review[J]. *Physiother Can*, 2021, 73(4):329-340.
- [14] Halmi Z, Stone TW, Dinya E, et al. Postural instability years after stroke[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2020, 29(9):105038.
- [15] Parsons SL, Mansfield A, Inness EL, et al. The relationship of plantar cutaneous sensation and standing balance post-stroke[J]. *Top Stroke Rehabil*, 2016, 23(5):326-332.
- [16] Zhang B, Li D, Liu Y, et al. Virtual reality for limb motor function, balance, gait, cognition and daily function of stroke patients: a systematic review and meta-analysis[J]. *J Adv Nurs*, 2021, 77(8):3255-3273.
- [17] Dominguez-Tellez P, Moral-Munoz JA, Casado-Fernandez E, et al. Effects of virtual reality on balance and gait in stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Rev Neurol*, 2019, 69(6):223-234.
- [18] de Rooij IJ, van de Port IG, Meijer JG. Effect of virtual reality training on balance and gait ability in patients with stroke: systematic review and meta-analysis[J]. *Phys Ther*, 2016, 96(12):1905-1918.
- [19] Lee D, Lee G. Effect of afferent electrical stimulation with mirror therapy on motor function, balance, and gait in chronic stroke survivors: a randomized controlled trial[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2019, 55(4):442-449.
- [20] Kim DH, Jang SH. Effects of mirror therapy combined with emg-triggered functional electrical stimulation to improve on standing balance and gait ability in patient with chronic stroke[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(7):3721.
- [21] Silva S, Borges LR, Santiago L, et al. Motor imagery for gait rehabilitation after stroke[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2020, 9(9):CD013019.
- [22] Van Crielinge T, Truijen S, Schröder J, et al. The effectiveness of trunk training on trunk control, sitting and standing balance and mobility post-stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Clin Rehabil*, 2019, 33(6):992-1002.
- [23] Wang J, Qiao L, Yu L, et al. Effect of customized insoles on gait in post-stroke hemiparetic individuals: a randomized controlled trial[J]. *Biolog (Basel)*, 2021, 10(11):1187.
- [24] Feger MA, Hart JM, Saliba S, et al. Gait training for chronic ankle instability improves neuromechanics during walking[J]. *J Orthop Res*, 2018, 36(1):515-524.
- [25] Koldenhoven RM, Feger MA, Fraser JJ, et al. Surface electromyography and plantar pressure during walking in young adults with chronic ankle instability[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(4):1060-1070.