

·临床研究·

跑台扰动训练对脑卒中偏瘫患者平衡功能及跌倒风险的影响*

张玉婷¹ 汪杰¹ 吕雪莹¹ 李瑛琦¹ 郝淑燕¹ 王丛笑^{1,2}

摘要

目的:探讨跑台扰动训练对脑卒中偏瘫患者平衡功能及跌倒风险的影响。

方法:将97例脑卒中偏瘫伴有平衡障碍的患者随机均分为观察组和对照组,两组均进行常规PT训练,对照组在此基础上进行传统静动态平衡训练,20min/d;观察组中应用跑台扰动训练进行危机模拟步行功能训练,20min/d。两组训练时间均为5d/周,共6周。在治疗前和治疗6周后分别采用STABLE三维平衡姿势控制训练与评估系统进行静动态平衡功能测试,应用Tetrax平衡仪进行跌倒风险评估。

结果:治疗前,两组受试对象各项指标无显著性差异($P>0.05$);治疗6周后,对照组的睁眼站立、闭眼站立、脚前后站立、动态稳定时间明显改善($P<0.001$)。单腿站立时重心摆动速度和跌倒风险评则进步不显著($P=0.482$, $P=0.066$)。治疗组的上述指标均较治疗前显著进步($P<0.001$),进步程度大于对照组,除了睁眼站立和动态稳定时间外均 $P<0.05$ 。

结论:跑台扰动训练可以更好地帮助脑卒中后偏瘫患者改善动态平衡功能,降低跌倒风险。

关键词 跑台扰动训练;脑卒中;平衡功能;跌倒风险

中图分类号:R493,R743.3 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2022)-05-0636-06

Effects of treadmill-based perturbation training on balance function and fall risk in stroke patients with hemiplegia/ZHANG Yuting, WANG Jie, LV Xueying, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2022,37(5): 636—641

Abstract

Objective: To explore the effect of treadmill-based perturbation training on balance function and fall risk of the stroke patients with hemiplegia.

Method: Ninety-seven hemiplegic patients after stroke with balance disorder were randomly divided into the treatment group and the control group. Both groups received routine PT training. In addition, the control group accepted traditional static and dynamic balance training at 20min/d and the treatment group performed crisis simulating walking training with treadmill-based perturbation, 20min/d. The training time of both groups was 5d/week, 6 weeks in total. Before treatment and after 6 weeks treatment, the static and dynamic balance performance was evaluated by the STABLE three-dimensional balance training and evaluation system, and using TETRAX balance devices to assess fall risk.

Result: Before treatment, there was no significant difference in all parameters between the two groups ($P>0.05$). After 6 weeks intervention, the time of dynamic stabilization, and the average center of pressure (COP) swing velocity when standing in eyes close, eyes open and tandem improved significantly ($P<0.05$) in control group, but not for average COP swing velocity as single leg support ($P=0.482$) and fall risk ($P=0.066$). In the ob-

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.05.011

*基金项目:国家科技部重点研发计划(2020YFC2004300)

1 首都医科大学附属北京康复医院康复诊疗中心,北京市,100144; 2 通讯作者

第一作者简介:张玉婷,女,主管技师; 收稿日期:2021-12-16

served group, all index improved after treatment($P<0.001$), and improved more than those in control group($P<0.05$) except for fall risk and average COP swing velocity when standing in eyes open.

Conclusion: Treadmill-based perturbation training have better effects on improving balance function and reducing the risk of falls compared with traditional static and dynamic balance training in stroke patients with hemiplegia.

Author's address Department of Rehabilitation Medicine, Beijing Rehabilitation Hospital, Capital Medical University, Beijing, 100144

Key word treadmill-based perturbation training; stroke; balance function; fall risk

跌倒是脑卒中后最常见的不良事件之一。据报道,脑卒中患者在住院治疗期间急性期的跌倒发生率为13%—22%^[1-2],卒中后前6个月内为26%—73%^[3-5]。跌倒会导致患者功能障碍或死亡,骨折率高达普通人群的4倍^[6],严重影响患者的身体健康及社会参与能力。跌倒往往发生在日常生活中的运动执行过程中(例如行走或从站立转移到坐姿)^[7]。因此,预防步行时跌倒已成为脑卒中患者的一个重要课题。脑卒中患者发生跌倒的最重要的风险因素之一是平衡能力下降。失去平衡后的快速反应能力(即反应性平衡控制)对于防止跌倒至关重要^[8]。传统动静平衡训练作为改善脑卒中患者平衡功能的常用方法,旨在提高在保持静止或在自愿运动期间的平衡能力^[9]。然而,相关研究并未证明传统平衡训练可以降低脑卒中患者跌倒率^[10-11]。基于扰动的平衡训练是一种新兴的针对特定任务的干预措施,旨在安全可控的环境中,改善扰动后失稳的反应性平衡控制。研究表明,通过跑台扰动训练的患者可通过减少补偿步数和中外侧支撑面积来改善反应平衡^[12]。也有研究证明了通过跑台扰动训练可以降低年轻人、老年人和帕金森病患者的跌倒风险^[13-15]。然而目前国内外关于跑台扰动训练在脑卒中患者治疗中的应用的报道较少。因此,本研究的目的是探讨脑卒中患者在接受了为期6周的跑台扰动训练后的动态平衡控制和跌倒风险情况。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选择2018年7月—2021年3月在首都医科大学附属北京康复医院康复诊疗中心进行康复治疗 of 97例脑卒中偏瘫患者作为研究对象,以随机数字表法分为观察组49例和对照组48例。

纳入标准:①符合全国第四届脑血管病学术会议通过的诊断标准,并经颅脑CT或MRI确诊;②年龄为30—65岁;③病程1—6个月;④单侧偏瘫;⑤各项生命体征平稳且病情稳定;⑥简易精神状态评分(mini-mental state examination, MMSE)^[16]≥24分,可配合康复评估及训练;⑦患侧下肢的Brunnstrom功能分期不低于IV期,改良的Ashworth分级≤II级,无感觉障碍;⑧Holden步行功能分级≥4级,能独立完成室内步行;⑨无关节炎、腰椎间盘突出症等影响下肢感觉、运动的疾病;⑩经首都医科大学附属北京康复医院伦理委员会批准,均签署知情同意书。

排除标准:①既往存在脑外伤、脑炎及其他颅内疾病史者;②伴有严重心、肺、肝、肾功能不全等无法训练者;③伴有精神疾病,治疗依从性差者;④因前庭、小脑、脑干、周围神经病变或骨骼肌肉疾患引起的平衡功能障碍者。

两组受试对象的一般资料比较如表1所示,两组受试对象在的性别、年龄、身高、体重、患侧等方面均无显著性差异($P>0.05$)。

1.2 治疗方法

每项康复训练都在经过康复医学知识培训的专业人员监督下进行。两组患者均进行常规康复训练,对照组在此基础上进行静动态平衡训练,观察组在常规康复训练基础上进行跑台扰动训练。

1.2.1 常规康复训练:采用以Bobath技术作为指导进行的常规康复训练,包括:①主被动关节活动度训练,改善关节灵活性及柔韧性;②促进下肢力量和分离运动训练;③调节异常的肌张力;④立位平衡功能训练:利用平衡垫、Bobath球、平衡训练仪等设备,遵循支撑面由大到小、从稳定到不稳定、重心由低到高、睁眼到闭眼的原则循序渐进地进行训练;⑤姿势控制和重心转移训练:通过言语提示、姿势矫正镜提

表1 两组患者一般资料

($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	年龄 ($\bar{x}\pm s$, 岁)	病程 ($\bar{x}\pm s$, d)	BMI	性别		脑卒中类型(例)		患侧	
					男	女	脑梗死	脑出血	左	右
观察组	49	50.10±7.50	96.02±27.06	24.05±2.86	23	26	33	16	25	24
对照组	48	49.12±6.22	97.04±26.79	23.87±2.79	21	27	37	11	23	25
χ^2/t 值		0.401	0.052	0.004	0.099		1.144		0.093	
P 值		0.528	0.821	0.949	0.752		0.285		0.760	

供视觉反馈,并采用运动控制理论指导患者进行训练;⑥步行过程中通过言语提示调整患者异常步态。每天2次,每次治疗30min,每周5天,共6周。患者非治疗期间不进行其它干预性治疗。

1.2.2 静动态站立平衡训练:对照组采用BIODEX动静态平衡训练仪^[17](美国BIODEX公司,型号为950—302)进行平衡训练。选择稳定极限模块:要求患者尽可能快而准确地将重心转移到目标处并保持规定时间后返回中心点,系统自动记录完成全部8个目标的时间与经过路径的长度,时间越短,路径越短,患者表现越好。每天2次,每次10min,每次间歇休息1—2min,每周5天,共6周。平衡训练过程中治疗师站在患者一侧予以保护。

1.2.3 跑台扰动训练:观察组采用扰动的跑台(Balance Tutor BT100)进行危机模拟步行训练。训练前先进行评估。步行过程中患者佩戴悬挂式安全带,调整安全带长度,以防止患者在摔倒时与跑步机发生任何身体接触。根据患者最适步行速度进行训练。在行走其间进行增加跑台扰动,向前、向后、向左、向右方向扰动各20次,同时,根据患者评估情况制定扰动级别(扰动级别越高跑台移动速度越快、幅度越大)。每天2次,每次10min,每次间歇休息1—2min,每周5天,共6周。

1.3 评定指标

由专业人员在不知道患者分组的情况下分别为治疗前和治疗6周后的两组受试对象进行评定。

1.3.1 静、动态平衡功能评估:应用荷兰STABLE三维平衡姿势控制训练与评估系统^[18]评估姿势稳定性和稳定时间。静态平衡评估姿势稳定:测试睁眼双脚站立、闭眼双脚站立、脚前后站立、单腿站立时的重心移动速度。速度越小,稳定性越差;动态平衡功能评估:稳定时间,评估在足底测试平板前后左右四个方向移动干扰情况下维持稳定的能力。干扰的强度设定为容易。数值越小,维持动态稳定越好。

1.3.2 跌倒指数评估:采用以色列生产Tetrax平衡仪^[19],患者站立在Tetrax平台上,测量在8个不同姿势(睁眼站立、闭眼站立、软垫睁眼站立、软垫闭眼站立、闭眼头部左转、闭眼头部右转、闭眼抬头、闭眼低头)下得到的跌倒指数,0—100分,分数越高,提示平衡能力越差、跌倒风险越高。

1.4 统计学分析

采用SPSS22.0统计软件对数据结果进行统计分析。对于计量资料,各组数据经K-S正态性检验后,符合正态分布者用平均数±标准差表示,组间比较采用独立样本 t 检验,组内比较采用配对样本 t 检验。非正态分布者用中位数±四分位间距[M(P25, P75)]表示,组间比较采用Wilcoxon秩和检验,组内比较采用Friedman检验。计数资料采用 χ^2 检验。显著性水平 $\alpha=0.05$, $P<0.05$ 提示有显著性差异。

2 结果

治疗前,两组受试对象各项指标无显著性差异($P>0.05$);治疗6周后,观察组各项指标较治疗前明显改善($P<0.001$),且观察组治疗后闭眼站立、脚前后站立、单腿站立时重心摆动速度、动态稳定时间和跌倒风险评分较对照组显著降低($P<0.05$),睁眼站立时重心摆动速度与对照组无显著性差异($P>0.05$)。对照组治疗后在睁眼站立、闭眼站立、脚前后站立时重心摆动速度和动态稳定时间评分与治疗前比较显著降低($P<0.001$, $P<0.05$),单腿站立时重心摆动速度和跌倒风险与治疗前比较无显著性差异($P>0.05$)。见表2—7。

3 讨论

脑卒中偏瘫属于脑部高位神经中枢发生病变的一种疾病,由于神经突触联系被破坏,而丧失了正常控制低位神经中枢能力,导致腱反射亢进,肌张力增高,肌群间互相协调能力丧失,感觉及平衡功能障

表2 两组治疗前、后睁眼站立重心摆动速度比较
(cm/s)[M(P25,P75)]

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	48	4.93(4.36,6.26)	4.48(4.13,5.33)	-3.666	<0.001
观察组	49	4.74(4.25,6.05)	4.25(3.74,5.00)	-4.138	<0.001
Z值		-0.707	-1.804		
P值		0.479	0.071		

表3 两组治疗前、后闭眼站立重心摆动速度比较
(cm/s)[M(P25,P75)]

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	48	5.98(4.92,6.97)	5.13(4.46,6.19)	-3.159	0.002
观察组	49	5.67(4.42,6.75)	4.75(4.46,5.26)	-3.715	<0.001
Z值		-1.367	-2.118		
P值		0.171	0.034		

表4 两组治疗前、后脚前后站立重心摆动速度比较
(cm/s)[M(P25,P75)]

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	48	7.38(5.91,9.58)	6.15(5.67,8.64)	-2.651	0.008
观察组	49	7.57(6.25,8.89)	5.83(5.26,6.77)	-5.829	<0.001
Z值		-0.285	-2.053		
P值		0.776	0.040		

表5 两组治疗前、后单腿站立重心摆动速度比较
(cm/s)[M(P25,P75)]

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	48	8.71(6.24,10.51)	7.99(5.96,11.59)	-0.703	0.482
观察组	49	8.53(6.85,10.79)	7.10(5.93,8.44)	-5.411	<0.001
Z值		-0.613	-2.093		
P值		0.540	0.036		

表6 两组治疗前、后动态稳定时间比较
(s)[M(P25,P75)]

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	48	2.94(2.15,3.76)	2.58(2.10,3.62)	-3.027	0.002
观察组	49	2.99(2.33,3.86)	2.44(1.60,2.67)	-5.411	<0.001
Z值		-0.660	-2.100		
P值		0.509	0.036		

表7 两组治疗前、后跌倒指数比较
(分)[M(P25,P75)]

组别	例数	治疗前	治疗后	Z值	P值
对照组	48	55.50(46.25,81.50)	51.00(45.25,72.00)	-1.837	0.066
观察组	49	55.00(42.00,83.50)	43.00(30.50,62.00)	-4.971	<0.001
Z值		-0.004	-2.714		
P值		0.997	0.007		

碍,造成动静姿势控制能力下降,跌倒风险增高^[20-21]。大多数跌倒发生在行走过程中^[22]。研究证明,日常生活中跌倒率的增加与平衡反应控制受损有关^[23]。平衡反应控制的改善可有效降低跌倒风险。平衡控制是通过肌肉骨骼和神经(感觉、认知和

运动)系统的复杂交互作用而在环境中实现功能目标。来自于姿势定向和环境相关的感觉系统(如视觉、前庭和体感)的信息由中枢神经系统参照内部身体模式进行整合和判断;中枢神经系统形成适当的反应,运动策略被快速准确地激活,以执行适当的运动来保持姿势^[24]。平衡控制系统的适应性很强,基于个人整体情况和先前经验^[25],所使用的感官信息和诱发的运动策略取决于任务的背景和环境^[26]。研究报告显示脑卒中患者受姿势扰动后的平衡反应(如踝关节或髌关节策略)启动延迟^[27],肌肉激活模式异常^[28],患肢对平衡恢复的贡献减少^[29]。静动态平衡训练仪作为目前脑卒中偏瘫患者的常用平衡训练方法,其重点在于提高患者的核心肌力、神经肌肉控制能力、感觉及平衡功能,改善骨骼肌肉的协同运动,促进中枢控制能力的恢复^[30]。

本研究显示对照组进行静动态平衡训练仪治疗后,在睁眼站立、闭眼站立、脚前后站立时重心摆动速度和动态稳定时间评分与治疗前比较显著降低,但是单腿站立时重心摆动速度和跌倒风险与治疗前比较无显著性差异。这可能是由于对照组通过视觉反馈进行多种模式的重心移动训练有效地促进运动再学习,提高患者在动静平面上扩大稳定极限维持平衡的能力^[31],侧重于在自主运动过程中保持稳定,改善患者姿势稳定性,但不能降低偏瘫患者的跌倒率^[32]。另外,它们提供的现实环境因素不够充分,无法替代各种日常活动,例如转身、躲避障碍物、在不平整的路面上行走等。对实际行走中受到意外干扰时的反应性平衡能力及预防跌倒的作用十分有限。

本研究试验组采用跑台扰动训练与传统的动静平衡训练不同,其可在静态和动态步行中提供应激反应测试和针对性的意外姿势扰动,从而训练患者的姿势控制能力。可突然改变速度的跑带固定在可向左右两侧突然移动的平台,由跑台扰动训练专业软件控制跑台速度和平台突然左右移动的速度、加速度和幅度,从而模拟日常生活中静态及动态模式下滑倒或绊倒时的情境。本研究结果显示,脑卒中患者通过跑台扰动训练治疗6周后,睁眼双脚站立、闭眼双脚站立、脚前后站立、单腿站立时的重心摆动速度,动态稳定时间等各项评估指标均较治疗前有显著性差异,跌倒指数较治疗前明显降低,且

闭眼站立、脚前后站立、单腿站立时重心摆动速度和动态稳定时间均优于对照组患者治疗后,跌倒风险较对照组显著降低,但睁眼站立的差异不显著。显示患者的动静态平衡能力得到显著提高,跌倒风险降低,其结果明显优于对照组。

中枢神经系统利用从反复干扰中接收到的错误信息,通过从反馈或反应性控制转变为前馈或主动性控制进行适应,以产生保护性反应^[33]。在一次跌倒之后,借鉴在之前试验中可能出现跌倒的经验可进行主动调整。中枢神经系统通过减少踝关节背屈,增加膝关节屈曲,降低脚跟接触速度,从而影响地面反作用力,降低扰动强度,以适应在滑移开始时保持重心前移的状态^[34]。同时患者必须通过髋、膝、踝关节快速启动来调节自身平衡,进一步提高了下肢关节的运动控制功能。本研究纳入的患者具有一定的独立步行功能,在进行跑台危机模拟应激训练时,通过显示器的动态反馈和自身平衡觉,向大脑中枢传入各种视觉、本体觉和前庭觉的刺激,提高了患者姿势平衡的感觉补偿机制,提高脑卒中患者三维感觉在维持姿势稳定性中发挥的作用,旨在改善反应性平衡控制和降低跌倒风险^[35]。有研究表明跑台扰动训练能降低年轻人、老年人及帕金森病患者步行中的跌倒风险^[13-15]。有研究对老年人进行12个月的基于扰动的步行训练,结果表明训练后跌倒发生率降低了50%^[36]。此外,患者在跑步机上获得的运动学习技能会运用到实际的地面绊倒情况中^[37-38]。也有研究表明,慢性脑卒中患者进行基于扰动的平衡训练后,平衡和步行功能也有所改善,且出院后跌倒率也显著降低^[39-40]。我们运动跑台的扰动训练的研究结果与上述研究一致。本研究所用的跑台扰动训练通过悬吊安全绳保护患者,帮助患者克服害怕跌倒的心理,解除了患者的恐惧感,快速提高患者的平衡功能及步行能力^[41]。Handelzalts S等^[42]研究结果显示基于扰动的平衡训练可以改善反应性平衡功能和自信心。结果支持在脑卒中偏瘫患者康复过程中进行反应性平衡训练。

综上所述,跑台扰动训练短期内可以更好地帮助脑卒中后偏瘫患者改善反应性平衡功能,降低跌倒风险,其训练效果优于动静态平衡训练。本研究也存在一些不足:①由于在跑台上进行扰动平衡训

练,对脑卒中患者的功能要求相对较高,只有能够独立行走的患者才能纳入本研究。这可能导致某些指标的上限效应,对在脑卒中患者中广泛应用可能受到限制;②本研究只进行了短期疗效观察,缺少长期随访;③本研究仅针对单纯运动功能障碍的脑梗死患者进行疗效观察,排除了因小脑、脑干和前庭损伤造成的平衡功能障碍患者。

参考文献

- [1] Davenport RJ, Dennis MS, Wellwood I, et al. Complications after acute stroke[J]. Stroke, 1996, 27:415—420.
- [2] Persson CU, Kjellberg S, Lernfelt B, et al. Risk of falling in a stroke unit after acute stroke: the fall study of Gothenburg(FallsGOT)[J]. Clin Rehabil, 2017, 32: 398—409.
- [3] Andersson AG, Kamwendo K, Seiger A, et al. How to identify potential fallers in a stroke unit: validity indexes of 4 test methods[J]. J Rehabil Med 2006, 38:186—191.
- [4] 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, 46:2688—2690.
- [5] Walsh ME, Galvin R, Williams DJP, 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, 3:246—253.
- [6] Pouwels S, Lalmohamed A, Leufkens B, et al. Risk of hip/femur fracture after stroke: a population-based case-control study[J]. Stroke, 2009, 40:3281—3285.
- [7] Robinovitch SN, Feldman Fabio, Yang Yijian, et al. Video capture of the circumstances of falls in elderly people residing in long-term care: an observational study[J]. Lancet, 2013, 381:47—54.
- [8] Maki BE, McIlroy WE. The role of limb movements in maintaining upright stance: the "change-in-support" strategy [J]. Phys Ther, 1997, 77:488—507.
- [9] Dean Catherine M, Rissel Chris, Sherrington Catherine, et al. Exercise to enhance mobility and prevent falls after stroke:the community stroke club randomized trial[J]. Neuro-rehabil Neural Repair, 2012, 26:1046—1057.
- [10] Verheyden GS, Weerdesteijn V, Pickering RM, et al. Interventions for preventing falls in people after stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2013, 31:CD008728.
- [11] Batchelor F, Hill K, Mackintosh S, et al. What works in falls prevention after stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. Stroke, 2010, 41:1715—1722.
- [12] Mansfield Avril, Peters AL, Liu BA, et al. Effect of a perturbation-based balance training program on compensatory stepping and grasping reactions in older adults: a randomized controlled trial[J]. Phys Ther, 2010, 90:476—491.

- [13] Protas EJ, Mitchell K, Williams A, et al. Gait and step training to reduce falls in Parkinson's disease[J]. *NeuroRehabilitation*, 2005, 20(3):183—190.
- [14] Grabiner MD, Bareither ML, Gatts S, et al. Task-specific training reduces trip-related fall risk in women[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2012, 44: 2410—2414.
- [15] Yang F, Bhatt T, Pai YC. Generalization of treadmill-slip training to prevent a fall following a sudden (novel) slip in over-ground walking[J]. *J Biomech*, 2013, 46:63—69.
- [16] 胡艳群, 李斌, 王蛟颜, 等. 短期虚拟现实康复训练联合认知干预对老年脑卒中偏瘫患者运动功能、Lovett肌力分级及生存质量的影响分析[J]. *中国医学前沿杂志(电子版)*, 2018, 10(8):97—101.
- [17] 潘翠环, 叶正茂, 缪萍, 等. 平衡功能训练对脑卒中后步行功能恢复的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2014, 29(3):263—264.
- [18] 鄢淑燕, 王丛笑, 汪杰, 等. 平衡姿势控制训练联合核心稳定性训练治疗慢性非特异性下背痛的临床疗效[J]. *中国康复医学杂志*, 2018, 33(12):1416—1419+1439.
- [19] 林源, 钮美娥, 王丽. 脑卒中患者平衡功能评定方法的应用进展[J]. *中国康复理论与实践*, 2016, 22(6):667—671.
- [20] Karimi-AhmadAbadi A, Naghdi S, Ansari NN, et al. A clinical single blind study to investigate the immediate effects of plantar vibration on balance in patients after stroke [J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2018, 22:242—246.
- [21] Afzal Muhammad Raheel, Pyo Sanghun, Oh Min-Kyun, et al. Evaluating the effects of delivering integrated kinesthetic and tactile cues to individuals with unilateral hemiparetic stroke during overground walking.[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2018, 15: 33.
- [22] Berg WP, Alessio HM, Mills EM, et al. Circumstances and consequences of falls in independent community dwelling older adults[J]. *Age Ageing*, 1997, 26(4):261—268.
- [23] de Kam D, Roelofs JMB, Bruijnes A, et al. The next step in understanding impaired reactive balance control in people with stroke: the role of defective early automatic postural responses[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2017, 31:708—716.
- [24] Mancini M, Horak FB. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2010, 46: 239—248.
- [25] Horak FB, Shupert CL, Mirka A. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review[J]. *Neurobiol Aging*, 1989, 10:727—738.
- [26] Zettel JL, McIlroy WE, Maki BE. Environmental constraints on foot trajectory reveal the capacity for modulation of anticipatory postural adjustments during rapid triggered stepping reactions[J]. *Exp Brain Res*, 2002, 146:38—47.
- [27] Marigold DS, Eng JJ. Altered timing of postural reflexes contributes to falling in persons with chronic stroke[J]. *Exp Brain Res*, 2006, 171:459—468.
- [28] Kirker SG, Simpson DS, Jenner JR et al. Stepping before standing: hip muscle function in stepping and standing balance after stroke[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2000, 68:458—464.
- [29] van Asseldonk EH, Buurke Jaap H, Bloem Bastiaan R, et al. Disentangling the contribution of the paretic and non-paretic ankle to balance control in stroke patients[J]. *Exp Neurol*, 2006, 201:441—51.
- [30] 杨勤, 赵艳玲, 朱正坤, 等. Bobath球训练对脑卒中偏瘫患者平衡和步行能力的影响[J]. *中国康复*, 2014, 29(4):295—297.
- [31] 司徒杏仙, 王玉龙, 潘巍一, 等. BIODEX动静态平衡训练仪对脑卒中偏瘫患者平衡功能和步行能力恢复的影响[J]. *安徽医药*, 2015, 19(10):1964—1966.
- [32] Verheyden GS, Weerdesteijn V, Pickering RM, et al. Interventions for preventing falls in people after stroke[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, 31:CD008728.
- [33] Bhatt T, Pai YC. Long-term retention of gait stability improvements[J]. *J Neurophysiol*, 2005, 94:1971—1979.
- [34] Yang F, Bhatt T, Pai YC. Role of stability and limb support in recovery against a fall following a novel slip induced in different daily activities[J]. *J Biomech*, 2009, 42: 1903—1908.
- [35] 李雪婷, 姜迎萍. 脑卒中平衡功能障碍康复治疗研究[J]. *新疆中医药*, 2016, 34(6):63—65.
- [36] Pai YC, Bhatt T, Yang F, et al. Perturbation training can reduce community-dwelling older adults' annual fall risk: a randomized controlled trial[J]. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 2014, 69:1586—1594.
- [37] Bieryla KA, Madigan ML, Nussbaum MA: Practicing recovery from a simulated trip improves recovery kinematics after an actual trip[J]. *Gait Posture*, 2007, 26(2):208—213.
- [38] Grabiner MD, Donovan S, Bareither ML, et al. Trunk kinematics and fall risk of older adults: translating biomechanical results to the clinic[J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2008, 18(2):197—204.
- [39] Mansfield A, Schinkel-Ivy A, Danells CJ, et al. Does perturbation-based balance training prevent falls among individuals with chronic stroke? A randomised controlled trial[J]. *BMJ Open*, 2018, 8:e021510.
- [40] Mansfield A, Schinkel-Ivy A, Danells CJ, et al. Does perturbation training prevent falls after discharge from stroke rehabilitation? A prospective cohort study with historical control[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2017, 26:2174—2180.
- [41] Hesse S, Werner C, von Frankenberg S, et al. Treadmill training with partial body weight support after stroke[J]. *Phy Med Rehabil Clin N Am*, 2003, 14(1):S111—S123.
- [42] Handelzalts S, Kenner-Furman M, Gray G, et al. Effects of perturbation-based balance training in subacute persons with stroke: a randomized controlled trial[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2019, 33:213—224.