

可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术对脑卒中患者平衡功能的影响

梁嘉欣¹ 黄国志^{1,3} 王俊辉² 何龙龙¹

摘要

目的:研究可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术对脑卒中患者平衡功能的影响,并探讨此技术在临床平衡功能训练中的应用方式和价值。

方法:选择病程为8个月内的脑卒中患者30例,随机分配到试验组和对照组,每组15例。对照组接受常规平衡训练,试验组在可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术配合下进行平衡训练,每次30min,每周5次,共训练4周。比较训练前及训练4周后两组患者的平衡功能评分,包括Berg平衡量表(BBS)、“起立—行走”计时测试(TUG)和采用可穿戴式智能足底压力视觉反馈鞋垫记录的睁眼和闭眼静态平衡率,以评估训练的有效性和对照组与试验组间训练效果的差异。

结果:训练前两组患者的一般资料、BBS及TUG评分和静态平衡率均无显著性差异($P > 0.05$);训练后,试验组和对照组患者各观察指标与训练前相比均有显著改善($P < 0.05$)。试验组的训练后与训练前各平衡功能评分差值与对照组相较更大,且有显著性差异($P < 0.05$)。

结论:应用可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术进行平衡功能训练可以改善偏瘫患者的平衡功能,且较常规方法更有效。

关键词 可穿戴设备;足底压力;视觉反馈;脑卒中;步态训练

中图分类号:R743.3, R493 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2019)-03-0267-06

Effects of wearable intelligent plantar pressure visual feedback technique in balance training for post-stroke patients: a randomized controlled trial/LIANG Jiaxin, HUANG Guozhi, WANG Junhui, et al./Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2019, 34(3): 267—272

Abstract

Objective: To observe the effect of wearable intelligent plantar pressure visual feedback technique in the balance training for post-stroke patients. To discuss the application method and value of this technique in clinical balance training as well.

Method: Thirty hemiplegic patients with stroke less than 8 months were randomly allocated to experimental($n=15$) or control group($n=15$). The control group received the traditional balance training, while the experimental group participated in the balance training with the wearable intelligent plantar pressure visual feedback technique, for 30min once daily, 5 days per week for 4 weeks. BBS score, TUG score and balance ratio were evaluated twice: one day before and 4 weeks after training to compare the difference in efficacy between two groups.

Result: Before training, there were no significant differences in general information, BBS score, TUG score and balance ratio between two groups ($P > 0.05$). After training, all the parameters show significant differences in both groups ($P < 0.01$). In addition, the difference between post-training and pre-training of the groups were significant ($P < 0.05$) with the bigger difference in the experimental group.

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2019.03.004

1 南方医科大学珠江医院,广州,510515; 2 南方医科大学珠江医院康复医学科; 3 通讯作者

作者简介:梁嘉欣,女,硕士研究生; 收稿日期:2018-01-23

Conclusion: Applying wearable intelligent plantar pressure visual feedback technique in balance training can improve the balance function of stroke patients and was more effective than the traditional training.

Author's address Zhujiang Hospital, Southern Medical University, Guangzhou, 510515

Key word wearable device; plantar pressure; visual feedback; stroke; gait training

脑卒中后平衡功能障碍是影响患者日常生活独立性的主要原因之一,约有45%—73%的脑卒中患者会出现跌倒^[1-2],从而导致额外的损伤,延长康复过程,产生有害的心理效应。因而,平衡功能障碍的康复也被认为是脑卒中后康复的重要内容。通过足底压力对患者的平衡功能进行监测和记录的方法已经在试验室中应用超过20年了,而脑卒中患者的足底压力变化与平衡控制的相关性和在平衡训练中的应用也得到了验证^[3-4]。近年来,随着内置于鞋垫的低功耗柔性足底压力传感器的研制成功和无线通讯技术的飞速发展,足底压力数据的监测不再受训练地点和动作的限制,从而有望形成符合临床功能性平衡训练需求的可穿戴式足底压力视觉反馈,为平衡功能训练提供更实时、准确和标准化的指导^[5]。如何利用更直观、灵活的可穿戴式设备进行患者的足底压力数据监测和平衡训练,使训练更高效、更贴近患者日常生活的功能需求是临床工作者正在努力探索的方向。本研究通过自主设计的可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术对患者进行平衡数据监测和平衡训练,以观察其对偏瘫患者平衡功能康复的影响。

1 资料与方法

1.1 病例资料

选取2017年5—11月间在南方医科大学珠江医院康复医学科进行康复治疗的脑卒中后偏瘫患者共30例,其中男性21例,女性9例;左侧偏瘫13例,右侧偏瘫17例,平均年龄(42.60±12.88)岁。

1.1.1 纳入标准:①入组患者诊断均符合中国脑血管疾病分类(2015),经头颅CT或MR检查后临床诊断为脑梗死或脑出血;②首次发病,病程<8个月,年龄在20—80岁;③患侧下肢Brunnstrom分期在3

期以上、改良Ashworth分级在2级以下;④初始Berg平衡量表(Berg balance scale, BBS)评分21—50分(范围0—56分);⑤在不借助辅助器具的情况下,可以自主步行10m以上;⑥没有严重的认知缺陷,简易精神状态检查(mini-mental state examination, MMSE)>20分;⑦纳入者可自己本人或委托家属签署知情同意书。

1.1.2 排除标准:①视觉功能障碍或视空间忽略;②伴有严重的意识障碍及认知功能障碍,不能遵从治疗;③由小脑、脑干、脊髓、周围神经病变或颅脑外伤引起的平衡功能障碍;④有下肢骨折或骨关节疾病等影响下肢功能恢复、导致关节活动度受限的肌肉骨骼疾病;⑤既往有影响平衡的病史;⑥伴有严重的心血管疾病,或生命体征不稳定。

1.1.3 一般资料:采用随机数字表法将上述患者分为试验组和对照组各15例。对照组接受常规平衡训练,试验组在可穿戴式智能足底压力反馈技术配合下接受平衡训练。两组患者一般情况及病程见表1,对两组患者一般资料进行比较,定量资料用独立样本 t 检验,定性资料用 χ^2 检验。两组患者年龄、病程、性别、脑卒中类型及偏瘫侧等情况无显著性差异($P>0.05$)。

1.2 设备和训练方法

两组患者均以常规药物治疗为基础,按照患者需求给予相应的康复治疗,包括物理治疗、作业治疗及言语治疗等。对照组给予常规平衡功能训练,每次30min,每周5次,疗程为4周;试验组应用可穿戴式智能足底压力反馈技术配合进行平衡功能训练,每次30min,每周5次,疗程为4周。训练由指定的四名治疗师在进行统一培训后按相同标准进行,评估者与统计者不参与训练。

表1 两组患者一般资料

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

组别	例数	平均年龄(岁)	发病时间(d)	性别(例)		脑卒中类型(例)		偏瘫肢体(例)	
				男	女	脑梗死	脑出血	左	右
试验组	15	38.80±13.624	138.53±82.068	10	5	4	11	4	11
对照组	15	46.40±11.281	134.40±78.540	11	4	8	7	9	6
P		0.11	0.89	1.00		0.26		0.07	

1.2.1 常规平衡训练:主要采用传统康复治疗,包括被动活动关节、躯干肌控制训练、重心转移训练、静态平衡训练、动态平衡训练等,通过语言和触觉提示来鼓励患者进行重心的转移和体重对称分配。

1.2.2 应用可穿戴式智能足底压力反馈技术配合进行平衡功能训练:由南方医科大学康复医学院为主研发的可穿戴式智能足底压力视觉反馈鞋垫,由六个直径为1cm的柔性薄膜压力传感器(ultra-thin flexible pressure sensor)覆盖180 μ m超薄高柔韧性PET薄膜制作而成(图1)。六个传感器分为三组,分别分布在足掌内、外侧和足跟。穿戴鞋垫后,手机应用程序通过蓝牙分别正确连接左右脚的两个鞋垫,患者即可在手机屏幕上实时看到自己足底压力的图像变化 and 数据分析。足底压力图像由三组传感器和虚拟的五个脚趾的受力情况图像这四部分构成,受力越大,图像的面积越大,图像颜色越接近红色(图2)。训练时,治疗师及患者可以通过健侧足底压力图像的变化发现患侧足底压力异常所体现出的平衡或姿势异常,并进行相应的调整。

训练方法:①静态平衡训练:患者可以在足底压力视觉反馈的帮助下感受足底的受力情况,进行平衡的调整;②左右重心转移训练:患者根据足底压力图像和训练要求左右调整重心,常用于习惯健侧负重的患者和平衡功能障碍患者的训练;③前后重心转移训练:患者健侧足分开呈前后站立,根据足底压力图像和训练要求,按正确足底压力时序^[6]进行前后重心转移,常用于前后重心转移困难的患者;④患侧承重训练:患者根据足底压力图像进行调整,保持患侧足底均匀承重,常用于足内翻患者或其他原因导致的足底承重不均匀的患者;⑤坐一站重心转移训练:患者根据足底压力图像的引导,在重心转移充分,并且足底均匀承重的情况下进行坐一站转移训练;⑥功能性平衡训练:根据患者日常生活需要的功能性活动进行平衡训练,如步行、上下楼梯等,患者通过足底压力图像的视觉反馈指导训练中重心的保持和足底受力的均匀分布。本研究中,患者很容易掌握设备的工作原理,并很快成功地调整了平衡和姿势,以达到较理想的足底压力图像。

1.3 评估方法

训练前及训练4周后分别评估两组患者的平衡

图1 可穿戴式智能足底压力视觉反馈鞋垫

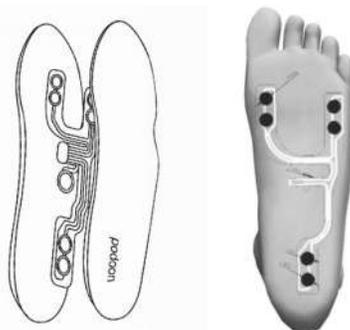


图2 足底压力图像



功能,由同一治疗师完成,具体方法如下。

1.3.1 静态平衡率:它反映的是在测量的过程中,患者维持静态平衡时,重心移动范围在正常人维持静态平衡时重心移动范围内的概率,即患者的动摇程度,其值越大提示稳定性越好。在测量过程中,嘱患者使用自主研发的可穿戴式智能足底压力反馈鞋垫进行测试,分别测试睁眼与闭眼30s的静态平衡率。

1.3.2 Berg平衡量表:由评估者要求并观察患者做出包括坐到站、无支撑站立、无支撑坐位、站到坐、转移、闭眼站立、并脚站立、手臂前伸、弯腰抬物、转头向后看、原地转圈、双脚交替踏凳、前后脚直线站立和单腿站立共14个项目的活动。0分代表无法完成动作,4分代表可正常完成动作。总分56分,第2、3、6、7、13、14项(共6项)为静态平衡,余下8项测试为动态平衡。

1.3.3 “起立—行走”计时测试(timed up and go test, TUG):由评估者对患者表现进行观察,患者从靠背椅上站起。站稳后,按照患者习惯走路的步态,向前步行3m后转身,步行回到椅子前,然后转身坐

下。评估者记录患者背部离开椅背到再次坐下(靠到椅背)所用的时间(以s为单位)。

1.4 统计学分析

采用IBM SPSS 24.0统计学软件对数据进行分析,数据使用平均数±标准差表示。定量资料用*t*检验,定性资料用 χ^2 检验。两组患者分别进行训练前与训练4周后BBS及TUG评分和静态平衡率评估结果的配对样本*t*检验。两组患者间,训练后与训练前各评估指标结果差值的比较,采用独立样本*t*检验。采用双侧检验。

2 结果

两组患者的基本资料无显著性差异。试验组的所有患者在试验期间均使用可穿戴式智能足底压力反馈技术配合进行训练,患者均在第一次训练就能

学会使用足底压力图像给予的视觉反馈进行自我负重和平衡调整的方法,并且没有产生不适和不良反应,见表2。

2.1 两组患者BBS及TUG评分和静态平衡率的训练前与训练后比较

训练前两组患者BBS及TUG评分和静态平衡率无显著性差异($P > 0.05$)。与训练4周后比较,对照组与试验组患者各观察指标均有改善,且有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 患者训练后与训练前BBS及TUG评分和静态平衡率差值的两组比较

训练4周后,试验组患者的BBS及TUG评分和静态平衡率差值与对照组的相比均更大,且有显著性差异($P < 0.05$)。

表2 组内训练前后和两组间训练后的平衡指标比较

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

观察指标	对照组(n=15)		P值	试验组(n=15)		P值	治疗后—治疗前		P值
	治疗前	治疗后		治疗前	治疗后		治疗前	治疗后	
BBS	43.40±3.04	49.60±2.50	0.000	41.39±4.88	51.20±3.84	0.000	6.20±2.54	9.27±3.11	0.006
TUG(s)	62.40±22.17	40.47±13.46	0.000	80.93±47.82	35.53±19.33	0.000	22.07±12.69	45.40±31.93	0.014
睁眼平衡率	0.53±0.24	0.61±0.21	0.000	0.46±0.28	0.69±0.23	0.000	0.07±0.03	0.23±0.06	0.000
闭眼平衡率	0.47±0.23	0.55±0.22	0.000	0.36±0.24	0.63±0.22	0.000	0.07±0.04	0.25±0.05	0.000

3 讨论

脑卒中患者由于运动、感觉和认知障碍等原因出现姿势摇摆,体重分布不对称,重心转移困难,站立能力下降等问题而导致平衡功能障碍,增加跌倒风险,并且限制独立进行日常生活活动的能力^[6]。因此平衡功能受损是脑卒中后运动功能障碍的主要原因,改善平衡功能是脑卒中患者早期康复训练的重要目标。

足底压力视觉反馈技术可以用于平衡功能的监测、评估与训练^[4]。目前,力学平台视觉反馈技术(force platform with visual feedback technique, FPVF)在临床中主要使用平衡板或平衡垫进行足底重心位置、倾斜角度等数据监测并通过电脑屏幕进行视觉反馈^[7]。这种技术虽然能改善患者的平衡功能,但仍存在缺陷,如呈现的视觉反馈内容不够直观、患者训练动作和场景受限等。本研究旨在探讨可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术能否改善脑卒中患者的平衡功能。研究的结果表明,应用此技术对脑卒中偏瘫患者进行平衡训练可以改善患者的平

衡功能,且较传统平衡训练方法改善更显著。

BBS和TUG是康复临床中评估动态平衡的常用指标。在本次试验中,试验组和对照组的患者在进行了4周的平衡训练后,BBS和TUG评分及睁眼和闭眼平衡率均有明显提高($P < 0.01$)。试验组的训练后与训练前评分差值较对照组更大($P < 0.05$)。证明传统平衡训练可以改善平衡功能,且应用可穿戴式足底压力视觉反馈技术进行平衡训练较传统训练方式改善更显著。在常规训练中,患者通过本体感觉及治疗师的观察来判断患者的平衡状态,有时会加入镜像的视觉反馈以补偿本体感觉的缺陷^[8]。但仍会出现躯干看似平衡,但实则双足承重不均,且足底各部分受力不均等问题。Santos等^[9]研究发现,使用重心视觉反馈进行平衡训练较镜像视觉反馈对患者平衡功能的改善更显著。Abhishek等通过对45例患者的研究发现,应用力学平台视觉反馈技术进行训练,患者的平衡功能、步行速度和日常生活活动能力都较训练前有显著提高^[6]。其可能的作用机制是视觉反馈的信息可以补偿脑卒中感觉

运动功能的不足,提高训练效率。通过训练,患者可以将视觉反馈信息与运动感觉信息进行整合,从而建立中央运动程序,减少患者对外部反馈的依赖,提高患者的平衡功能和运动控制能力^[10]。但这种方式仍不能直观地反映足底压力情况,且仅能在固定的平衡垫或平衡板上训练,缺乏平衡的生活场景应用训练,所以在脑卒中患者的平衡功能训练中效果较局限。Chen等^[11]的研究发现,试验组患者在完成训练计划后6个月时,动态平衡功能测量结果仍有显著改善,但静态平衡功能没有显著差异,功能独立性测量(functional independence measure, FIM)的运动和移动性评分也显示组间没有差异。Ko等^[12]通过屏幕实时反馈的患者倾斜角度和足底重心图像对患者进行平衡训练,患者的平衡功能较传统平衡训练改善更多,但差异不显著。在本研究中,我们将可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术应用于平衡训练中,将足底压力图像直接反馈给患者,进行基础和功能性平衡训练。在日常生活场景中进行任务导向型的训练被认为对有效学习复杂任务是必不可少的,平衡训练尽可能地类似现实生活中的任务可以最大限度地提高培训效果^[13]。由于可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术可以使患者在平衡训练过程中不受场地和动作的限制,尽可能根据日常生活需要进行训练。足底压力图像是平衡训练过程中足底受力情况的直观呈现,不仅能指导患者将重心转移到正确的位置,也能指导患者通过正确足底承重和受力方式进行平衡训练。此技术的灵活性和直观性,可以在保留功能性平衡训练优势的同时,提供足底压力的视觉反馈,提高训练的准确性和效率。

在本次试验中,经过4周的平衡训练后,试验组与对照组患者完成TUG测试所需的时间均较训练前缩短一半以上,且试验组的提高较明显($P < 0.05$)。研究发现,提高姿势及下肢负重的对称性可以提高坐一站转移的稳定性,可能是缩短TUG测试完成时间的原因之一^[14]。脑卒中患者平衡功能的改善也是改善患者步行功能的重要基础。有研究指出,55.5%的脑卒中患者表现出步态不对称^[15],而平衡与步幅、支撑时间和摆动时间的不对称性有关^[16],前后平衡控制和负重的对称性与步行时的摆动时间和步长对称性有关,与支撑时间对称性有关^[17]。患

者平衡功能改善后,步行的对称性改善,患侧支撑能力提高,行走速度也会随之有所提高。因此,除稳定性提高外,步行速度的提高也是TUG测试完成时间缩短的重要原因之一。试验组的患者在传统平衡训练的基础上,应用可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术进行指导。与传统训练仅通过躯干的对称性来判断患者的承重对称性不同,患者可以实时地通过足底压力图像视觉反馈来判断双足承重是否对称,更有针对性地训练健患侧下肢的对称承重,提高平衡的稳定性和对称性。而力学平台视觉反馈技术无法应用于日常功能性平衡如步态的训练中。

静态平衡率可以直观地显示患者重心移动的范围是否超过正常值。正常人站立时,重心在正常范围内移动,静态平衡率接近100%。脑卒中患者常出现重心移动范围增大,移动频率加快或重心不在圈内等情况。有研究指出,脑卒中偏瘫患者站立时,患侧负重的减少,由健侧支撑大部分身体重量^[18]。在本试验中,经过4周的平衡训练,两组患者的静态平衡率均较训练前有所提高($P < 0.01$),且试验组的改善更大($P < 0.01$),这可能与患者使用可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术进行训练有关。在传统平衡训练中,患者和治疗师无法看到重心的位置,只能通过本体感觉和镜像的视觉反馈来进行重心调整,故无法确定患者重心是否真的在身体正中,也无法监测训练的结果。研究发现,由于力学平台视觉反馈技术仅能反馈患者重心的位置,无法提供患者足底压力的具体图像,对患者进行重心调整时足底的受力位置和发力方式没有指导,所以患者的静态平衡功能改善往往有限,且长期来看,与传统平衡训练的改善差异不显著^[19]。而可穿戴式足底压力视觉反馈可以实时监测患者在训练过程中重心的位置和足底压力实时变化图像,患者可以建立正确的发力模式,使得训练更客观、高效且准确。

研究的局限:本次试验过程中,患者的训练时间仅为4周,无法确定在更长期的训练过程中,可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术的训练作用及优势,也无法确定其疗效优势在训练后能否保持。平衡功能的改善除了体现在重心的控制以及转移,也会对患者步态的对称性以及稳定性产生影响,在本次试验过程中虽然观察到了患者步态的改善,但未能记

录相应的试验数据进行观察,可以在未来的试验中继续研究。

4 结论

应用可穿戴式智能足底压力视觉反馈技术进行步态训练,能有效改善脑卒中偏瘫患者的平衡功能,矫正健患侧负重的不对称,提高患者的重心控制能力,且较传统平衡训练方法改善更明显。患者可以在足底压力视觉反馈的指导下,自主进行平衡训练,并能及时得到反馈指导,弥补了传统平衡训练无法直接观察足底压力情况的不足,具有直观简便、实时反馈、可操作性强的优点。未来可以继续就此技术应用于步态训练和对患者步态功能的改善作用进行研究。

参考文献

- [1] Forster A, Young J. Incidence and consequences of falls due to stroke: a systematic inquiry[J]. *BMJ*, 1995, 311(6997): 83—86.
- [2] Mackintosh SF, Hill KD, Dodd KJ, et al. Balance score and a history of falls in hospital predict recurrent falls in the 6 months following stroke rehabilitation[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006, 87(12):1583—1589.
- [3] Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control[J]. *Neuroreport*, 1998, 9(14):3247—3252.
- [4] Barclay-Goddard R, Stevenson T, Poluha W, et al. Force platform feedback for standing balance training after stroke [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2004, (4):CD004129.
- [5] Wang MC, Zheng LN, Yang HD, et al. Foot Pressure Intelligent Analysis System[C]//*Applied Mechanics and Materials*. Trans Tech Publications, 2015, 713: 581—584.
- [6] Tyson SF, Hanley M, Chillala J, et al. Balance disability after stroke[J]. *Phys Ther*, 2006, 86(1):30—38.
- [7] Srivastava A, Taly AB, Gupta A, et al. Post-stroke balance training: role of force platform with visual feedback technique[J]. *J Neurol Sci*, 2009, 287(1—2):89—93.
- [8] In TS, Cha YR, Jung JH, et al. Effects of visual feedback with a mirror on balance ability in patients with stroke[J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(1):181—185.
- [9] Santos FMKD, Mendes FV, Woellner SS, et al. Use of visual feedback for balance training in hemiparetic Stroke patients[J]. *Fisioter Mov*, 2015, 28(2):241—249.
- [10] Mulder T, Hulstyn W. Sensory feedback therapy and theoretical knowledge of motor control and learning[J]. *Am J Phys Med*, 1984, 63(5):226—244.
- [11] Chen IC, Cheng PT, Chen CL, et al. Effects of balance training on hemiplegic stroke patients[J]. *Chang Gung Med J*, 2002, 25(09):583—590.
- [12] Ko Y, Ha H, Bae YH, et al. Effect of space balance 3D training using visual feedback on balance and mobility in acute stroke patients[J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(5): 1593—1596.
- [13] 段春兴,李宝,谢仁明,等.以任务为导向的康复治疗改善脑卒中患者平衡及步行功能的疗效观察[J].*中国康复*,2011,26(4): 256—258.
- [14] Cheng PT, Liaw MY, Wong MK, et al. The sit-to-stand movement in stroke patients and its correlation with falling [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1998, 79(9):1043—1046.
- [15] Patterson KK, Parafianowicz I, Danells CJ, et al. Gait asymmetry in community-ambulating stroke survivors[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2008, 89(2):304—310.
- [16] Lewek MD, Bradley CE, Wutzke CJ, et al. The relationship between spatiotemporal gait asymmetry and balance in individuals with chronic stroke[J]. *J Appl Biomech*, 2014, 30(1):31—36.
- [17] Hendrickson J, Patterson KK, Inness EL, et al. Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke[J]. *Gait & Posture*, 2014, 39(1): 177—181.
- [18] Shumway-Cook A, Anson D, Haller S. Postural sway biofeedback: its effect on reestablishing stance stability in hemiplegic patients[J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1988, 69(6): 395—400.
- [19] Walker C, Brouwer BJ, Culham EG. Use of visual feedback in retraining balance following acute stroke[J]. *Phys Ther*, 2000, 80(9):886—895.