

·临床论著·

# 水中平板步行训练干预脑卒中偏瘫患者 临床疗效研究

王亚因<sup>1,2</sup>, 张通<sup>1,2</sup>, 刘惠林<sup>1,2\*</sup>, 杜雪晶<sup>1,2</sup>, 朱晓敏<sup>1,2</sup>, 刘元旻<sup>1,2</sup>

1 中国康复研究中心, 北京 100068;

2 首都医科大学康复医学院, 北京 100068

\* 通信作者: 刘惠林, E-mail: liuhuilin2010@sina.com

收稿日期: 2021-12-27; 接受日期: 2022-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(61720106012)

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.04003

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



**摘要** **目的:**观察水中平板步行训练对脑卒中偏瘫患者患侧静息肌肉厚度及步行功能的影响。**方法:**选取2021年3—10月在中国康复研究中心治疗的脑卒中偏瘫患者40例,按SPSS 26.0统计软件产生的随机数列分为对照组和试验组,每组20例。2组均接受常规康复治疗(基本动作训练、运动功能促通、站立动态平衡训练、步行训练等),30 min/次,1次/d,5 d/周,共持续训练4周。对照组在常规康复治疗基础上接受天轨悬吊步行训练;试验组在常规康复治疗基础上接受水中平板步行训练。2组治疗均20 min/d,1次/d,5 d/周,共训练4周。分别于治疗前后采用全数字手持式彩色超声诊断仪测量患侧腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌、股直肌、胫前肌、腓肠肌内侧头肌肉厚度;采用GaitWatch三维步态分析及运动训练系统分析步速、摆动期对称性和步长对称性。**结果:**①肌肉厚度:与治疗前比较,对照组治疗后股直肌、胫前肌厚度明显增加,试验组治疗后腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌、股直肌、胫前肌厚度明显增加,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。与对照组比较,试验组腹外斜肌、腹内斜肌、股直肌、胫前肌明显更厚,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。②步速、摆动期对称性和步长对称性:与治疗前比较,2组治疗后步速均明显升高,步长对称性值均明显降低,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。与对照组比较,试验组步速均明显更高,步长对称性值均明显更低,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。**结论:**水中平板步行训练可改善脑卒中偏瘫患者患侧肌肉厚度、步行速度、步长对称性,值得临床推广。

**关键词** 脑卒中;偏瘫;步态;水中平板步行训练;减重步行训练;肌骨超声

70%~80%脑卒中患者遗留不同程度的功能障碍<sup>[1]</sup>,其中步行功能障碍严重影响患者的日常生活<sup>[2]</sup>。感觉障碍、肌力弱化、肌张力异常等是影响步行速度、步态对称性的主要原因<sup>[3-4]</sup>。恢复步行功能是康复训练的重点及主要目标之一<sup>[2]</sup>。传统步行训练方法主要包括治疗师徒手矫正步态训练(患侧下肢负重训练和患侧下肢摆动训练等)和运动平板训练等。脑卒中偏瘫患者因患侧下肢无力,负重训练可能会出现膝反张、躯干侧屈/旋转等异常姿势;摆

动训练无法在正确力线下摆动下肢,出现画圈等异常步态<sup>[5]</sup>。徒手训练虽可对其姿势进行矫正,但很难精准可重复、高强度训练。平板步行训练,可提高患者步行连贯性和步行速度<sup>[6-7]</sup>,但支撑能力和摆动训练针对性不足。

减重步行训练是应用外力不同程度地减少体质量对下肢的负荷,使患者重心较好地对称性分布,有利于患侧下肢的摆动且辅助其支撑,改善患者的步态,提高患者步态对称性及步行能力<sup>[5-6]</sup>。水

引用格式:王亚因,张通,刘惠林,等.水中平板步行训练干预脑卒中偏瘫患者临床疗效研究[J].康复学报,2022,32(4):299-305.

WANG Y N, ZHANG T, LIU H L, et al. Effect of aquatic treadmill training on patients with hemiplegia after stroke [J]. Rehabilitation Medicine, 2022, 32(4): 299-305.

DOI: 10.3724/SP.J.1329.2022.04003

中平板步行训练和天轨悬吊步行训练是2种较为有效的减重步行康复训练方法。水中平板步行训练是利用水的物理性质(浮力等)减轻患者体质量并联合运动平板功能进行步行训练的方法<sup>[7]</sup>。天轨悬吊步行训练方法是利用悬吊装置并在较长场地中与环境相结合的步行训练方法,该方法更符合实际生活中步行环境<sup>[5]</sup>。这2种减重步行训练均可有效改善患者步行能力,提高平衡功能<sup>[5,7]</sup>。在以往研究中,常以功能/能力评分评定其临床疗效<sup>[5]</sup>,观察指标相对主观<sup>[6,8]</sup>,未能准确反映神经肌肉系统的改善情况。骨骼肌是脑卒中患者致残的主要效应器官<sup>[9]</sup>,肌肉厚度直接反映肌肉含量,是肌肉功能的主要预测因子<sup>[10]</sup>,因此,对骨骼肌进行精准测量十分必要<sup>[9,11]</sup>。肌骨超声具有非侵入、实时、无辐射等特点,对测量脑卒中患者肌肉厚度有良好的信度和效度<sup>[11-13]</sup>。本研究应用肌骨超声技术评价水中平板步行训练和天轨悬吊步行训练对脑卒中偏瘫患者的影响,现报道如下。

## 1 临床资料

### 1.1 病例选择标准

**1.1.1 诊断标准** 符合中华医学会神经病学分会等制定的《中国各类主要脑血管病诊断要点2019》<sup>[14]</sup>中有关脑卒中诊断要点,并经头颅CT或MRI检查确诊。

**1.1.2 纳入标准** ① 年龄20~60岁;② 病程2~

6个月;③ 能独立行走12 m以上;④ 患者可扶持或独立完成步行2节台阶;⑤ 生命体征平稳;⑥ 患者知晓本研究方案,并自愿签署知情同意书。

**1.1.3 排除标准** ① 感觉障碍、下肢被动关节活动度受限;② 髋、膝、踝等骨关节疾病;③ 严重认知障碍,无法配合完成训练;④ 下肢肌肉张力改良 Ashworth 分级 $\geq$  I 级;⑤ 有水中运动禁忌证,如不稳定高血压( $>140/100$  mm Hg)、肺功能不全(肺活量 $<1\ 500$  mL)、不稳定心脏、瓣膜等疾病(如静息心率 $>100$ 次/min或 $<60$ 次/min)、急/慢性肾炎综合征、肾病综合征、大小便失禁、各种感染性疾病和不受控制的癫痫发作等。

**1.1.4 中止和脱落标准** ① 患者依从性低,无法配合完成试验;② 患者突发身体不适,不适合继续参与试验;③ 患者出院或转科等无法继续完成治疗;④ 患者或家属因各种原因申请退出。

### 1.2 一般资料

选择2021年3—10月在中国康复研究中心住院的首次发病的脑卒中偏瘫患者40例。所有患者根据SPSS 26.0统计软件产生的随机数列分为对照组和试验组,每组20例。2组性别、年龄、体质量指数(body mass index, BMI)、病程、脑卒中类型、偏瘫侧等一般资料比较,差异无统计学意义( $P>0.05$ ),具有可比性。见表1。本研究方案经中国康复研究中心伦理委员会审批通过(伦理批准号:2021-091-1)。

表1 2组一般资料比较 $[(\bar{x}\pm s)/M(P_{25}, P_{75})]$

Table 1 Comparison of general data between two groups  $[(\bar{x}\pm s)/M(P_{25}, P_{75})]$

组别	例数	性别		年龄/岁	病程/月	BMI/(kg/m <sup>2</sup> )	脑卒中类型		偏瘫侧	
		男	女				脑出血	脑梗死	左侧	右侧
对照组	20	9	11	42.95 $\pm$ 7.70	4.00(3.00,5.00)	22.59 $\pm$ 1.31	9	11	8	12
试验组	20	12	8	41.45 $\pm$ 10.26	3.50(2.25,5.00)	23.21 $\pm$ 1.33	6	14	9	11

## 2 方法

### 2.1 治疗方法

**2.1.1 常规治疗** 2组均接受脑卒中相关神经营养和常规康复训练。常规康复训练主要包括① 基本动作训练:治疗师指导患者以正确姿势完成的翻身、坐起、站起等体位转换训练;② 运动功能促通:纠正异常运动模式,在正确运动模式下由辅助运动到主动运动;③ 站立动态平衡训练:由静态到动态立位平衡训练以及重心前后、左右转移训练;④ 步行训练:躯干骨盆正确力线下,立位患侧支撑训练以及健侧良好姿势控制下患肢摆动练习等。

30 min/次,1次/d,5 d/周,共持续训练4周。

**2.1.2 对照组** 在常规治疗基础上接受天轨悬吊步行训练。采用天轨减重步行训练仪器(广州曼纽科实验分析仪器有限公司,HNT-ST-L015A)进行训练,具体训练方法如下:

**2.1.2.1 训练前准备** 保持训练环境安静,空气质量良好。首次治疗时测量患者体质量,康复治疗师向患者讲解行走距离、方向、速度、训练注意事项等,以取得患者配合。

**2.1.2.2 训练操作** ① 设定减质量,开始为患者50%的体质量。② 治疗师降下悬吊带,患者于立位正确穿戴悬吊带,分别固定胸廓(平乳头,在腋下

防挤压带)、腰部(平脐)和大腿。③开始训练时,患者按指定路径行走,逐渐增加步行速度,步行速度为自然速度并保持。④治疗师于患者旁边保护并随时监测患者生命体征,预防跌倒等意外发生。20 min/次,1次/d,5 d/周,共持续训练4周。

**2.1.2.3 注意事项** 检查步行训练中减重步行训练仪器固定装置的松紧度,避免挤压损伤;减重机头滑行速度随着患者步行速度变化而变化,始终与患者同步。治疗时需监测患者自我疲劳程度、心率等指标,在指标正常前提下调节步行速度和减重比例,若出现异常,立即停止。

**2.1.3 试验组** 在常规治疗基础上进行水中平板步行训练。采用Aqua mill训练仪器(日本酒井医疗株式会社,SAKAI med)于水疗室进行训练。具体训练方法如下:

**2.1.3.1 训练前准备** 保证水疗室室温恒定(23℃左右),环境安静。治疗前,设置Aqua mill训练仪器水温(35℃左右)、治疗时间(20 min)、运动平板运动方向、速度(初始最低平板速度6 m/min),并确认仪器设备运行正常。治疗师确认患者生命体征平稳,无严重心肺疾病、传染病等水疗禁忌证。患者于水疗室换上泳衣,在开始训练前进行自我牵伸、主动运动等热身运动。首次训练时向患者讲解注水、排水、训练流程,取得患者配合。

**2.1.3.2 训练操作** 训练仪器用隔板分为水中运动平板区和准备区。①患者步行进入训练仪器后坐于准备区的椅子上,治疗师开始向水中运动平板区注水,当水达到注水线高度,停止注水。②打开两区隔离门,两区水位相同时,患者从椅子上站起,扶着扶手走入平板区,关上隔离门。③继续注水,水位选择脐至剑突水平。④患者准备好后,启动运动平板。患者在适应最低速度步行速度后再调节为舒适的自然速度。20 min/次,1次/d,5 d/周,共持续训练4周。

**2.1.3.3 注意事项** 治疗过程中由治疗师监测患者生命体征,指导步态并预防跌倒等意外发生。若患者心率、自我疲劳程度较高时,停止水中平板运动,休息,待患者心率等指标恢复正常后,方可继续训练。根据患者的步态、自我疲劳程度等情况调节扶手辅助程度、增加喷流、调节水量、增加平板速度等<sup>[15]</sup>。

## 2.2 观察指标

治疗前后由具有5年以上临床工作经验的治疗师进行以下指标评估,对评估者设盲,由未参与研

究的治疗师负责评估事宜。

**2.2.1 患侧静息肌肉厚度测量** 应用全数字手持式彩色超声诊断仪(成都优图科技有限公司,MU3L)测量患侧腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌、股直肌、胫前肌、腓肠肌内侧头肌肉厚度。每块肌肉测量3次,取平均值。

**2.2.1.1 腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌厚度测量** 患者仰卧位,双上肢置于体侧,双足平放于床面并与肩同宽(不能保持者由他人辅助保持姿势)。负责评估的治疗师于患者患侧,选取腋前线和脐水平线交叉处作为超声测量位点。轻调探头角度和斜度,在患者平静呼气末瞬间冻结图像,屏幕中显示3层平行的腹肌结构。腹外斜肌(obliquus externus abdominis, EO)厚度值为屏幕中点处腹外斜肌上筋膜与腹外斜肌下筋膜距离;腹内斜肌(internal abdominal oblique, IO)位于腹外斜肌下层;腹横肌(transverse abdominal, TrA)位于腹内斜肌下层<sup>[13]</sup>。见图1。

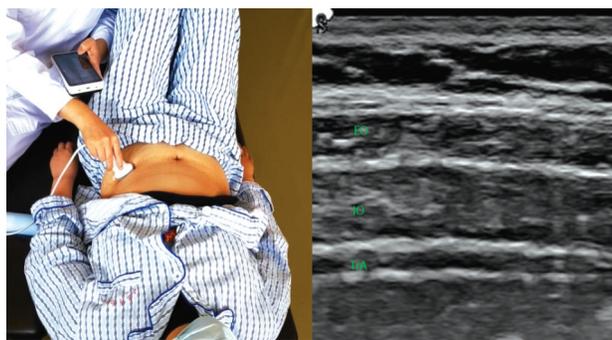


图1 腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌厚度测量  
Figure 1 Thickness measurement of EO, IO and TrA muscles

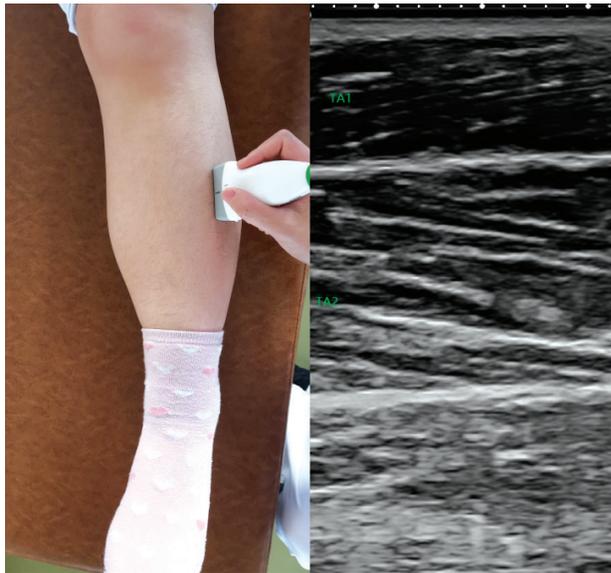
**2.2.1.2 股直肌厚度** 患者仰卧位,伸膝,双上肢置于体侧,双下肢伸展,身体放松,充分暴露下肢,探头垂直于股四头肌长轴作纵向扫描,选取髌前上脊和髌骨上缘中下1/3的距离做标记,股直肌(rectus femoris, RF)位于软组织下层,用超声光标测量图像屏幕中点的股直肌上筋膜与下筋膜的垂直距离<sup>[16]</sup>。见图2。

**2.2.1.3 胫前肌厚度** 患者仰卧位,双上肢置于体侧,双下肢伸展,身体放松,取胫骨近端与外踝之间中点的肌腹处,探头与小腿长轴方向平行,胫前肌(tibialis anterior, TA)为羽状肌,分为深、浅2个部分,本研究取上部(位于软组织与深层胫前肌间)的浅层羽状肌厚度作为评定胫前肌厚度<sup>[17]</sup>。见图3。



图2 股直肌厚度测量

Figure 2 Thickness measurement of RF muscle



注:TA1为浅层肌;TA2为深层肌。

Note: TA1 is superficial muscle; TA2 is deep muscle.

图3 胫前肌厚度测量

Figure 3 Thickness measurement of TA muscle

**2.2.1.4 腓肠肌内侧头厚度** 患者俯卧位双下肢伸展,足悬于检查床外,放松身体,取胫骨(胫骨内侧髁至内踝高点)上1/3处找到内侧腓肠肌(medial gastrocnemius, MG)肌腹中点,探头平行于下肢长轴,测量厚度<sup>[10,17]</sup>。见图4。

**2.2.2 步态分析指标** 应用GaitWatch三维步态分析及运动训练系统(广州市章和电气设备有限公司)进行步态分析。选取长12 m的空旷安静场地,测试前进行校准。正确佩戴7个传感器分别为骶骨后正中间、两股骨中段正前方、两胫骨平台内侧和

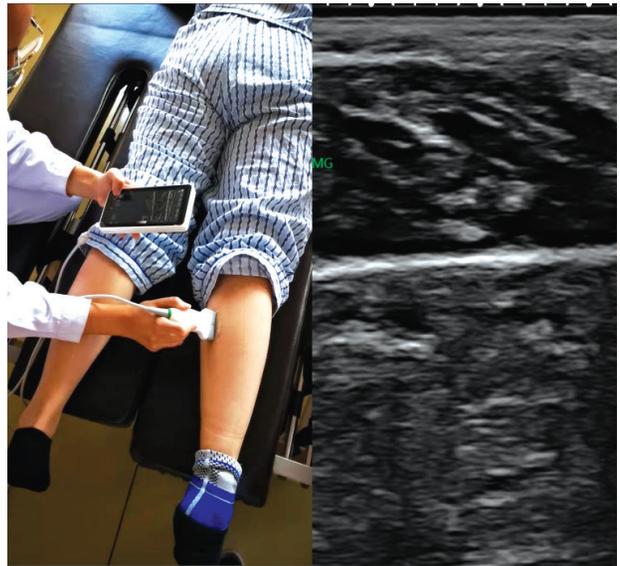


图4 腓肠肌厚度测量

Figure 4 Thickness measurement of MG muscle

两足背第三跖骨。测试前,进行4次练习适应环境,再以自然步速测试<sup>[18]</sup>。测量步速、摆动期对称性和步长对称性。

$$\text{摆动期对称性} = \frac{\text{患侧下肢摆动期时间}}{\text{健侧下肢摆动期时间}}$$

$$\text{步长对称性} = \frac{\text{患侧下肢步长}}{\text{健侧下肢步长}}$$

摆动期对称性和步长对称性数值越接近1,步态对称性越好<sup>[19]</sup>。

### 2.3 统计学方法

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析。计量资料符合正态分布,数据以 $(\bar{x} \pm s)$ 表示,组内比较采用配对样本 $t$ 检验,组间比较采用两独立样本 $t$ 检验;计量资料不符合正态分布,数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,组间比较采用Mann-Whitney秩和检验。计数资料采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

## 3 结果

### 3.1 治疗完成情况

在治疗过程中,试验组1例因甲沟炎退出训练,最终对照组纳入20例,试验组纳入19例。

### 3.2 2组治疗前后患侧肌肉厚度比较

与治疗前比较,对照组股直肌、胫前肌厚度明显增加,试验组腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌、股直肌、胫前肌厚度明显增加,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。与对照组比较,腹外斜肌、腹内斜肌、股直肌、胫前肌明显更厚,差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。见表2。

表2 2组治疗前后患侧肌肉厚度比较( $\bar{x}\pm s$ )

mm

Table2 Comparison of the thickness of affected side muscle between two groups before and after treatment ( $\bar{x}\pm s$ ) mm

组别	例数	时间	腹外斜肌	腹内斜肌	腹横肌	股直肌	胫前肌	腓肠肌内侧头
对照组	20	治疗前	5.02±1.29	5.26±1.11	2.32±0.59	12.73±1.26	13.29±1.22	13.97±1.75
		治疗后	4.91±0.77	5.32±0.77	2.76±0.89	14.03±1.41 <sup>1)</sup>	13.71±1.43 <sup>1)</sup>	13.27±2.31
试验组	19	治疗前	5.26±0.65	5.26±0.53	2.11±0.45	13.34±1.32	13.62±1.34	14.99±1.70
		治疗后	5.89±0.50 <sup>1)2)</sup>	5.89±0.52 <sup>1)2)</sup>	2.48±0.32 <sup>1)</sup>	15.04±1.55 <sup>1)2)</sup>	16.90±3.43 <sup>1)2)</sup>	14.52±1.44

注:与治疗前比较,1)  $P<0.05$ ;与对照组比较,2)  $P<0.05$ 。Note: Compared with that before treatment, 1)  $P<0.05$ ; compared with the control group, 2)  $P<0.05$ .

### 3.3 2组治疗前后步速、摆动期对称性和步长对称性比较

与治疗前比较,2组步速均明显升高,步长对称性值均明显降低,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。与

对照组比较,试验组步速均明显更高,步长对称性值均明显更低,差异具有统计学意义( $P<0.05$ )。见表3。

表3 2组治疗前后步速、摆动期对称性和步长对称性比较( $\bar{x}\pm s$ )Table3 Comparison of velocity, swing time asymmetry ratio and step length asymmetry ratio between two groups before and after treatment ( $\bar{x}\pm s$ )

组别	例数	时间	步速/(cm/min)	摆动期对称性值/%	步长对称性值/%
对照组	20	治疗前	55.40±20.66	1.15±0.33	1.21±0.11
		治疗后	58.50±19.33 <sup>1)</sup>	1.10±0.19	1.14±0.08 <sup>1)</sup>
试验组	19	治疗前	55.74±19.09	1.20±0.32	1.22±0.122
		治疗后	71.89±18.78 <sup>1)2)</sup>	1.08±0.09	1.05±0.05 <sup>1)2)</sup>

注:与治疗前比较,1)  $P<0.05$ ;与对照组比较,2)  $P<0.05$ 。Note: Compared with that before treatment, 1)  $P<0.05$ ; compared with the control group, 2)  $P<0.05$ .

## 4 讨论

### 4.1 水中平板步行训练可增加脑卒中偏瘫患者骨骼肌厚度

本研究结果显示,与治疗前比较,对照组股直肌、胫前肌厚度明显增加,试验组腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌、股直肌、胫前肌厚度明显增加;与对照组比较,腹外斜肌、腹内斜肌、股直肌、胫前肌明显更厚。这提示水中平板步行训练和天轨悬吊步行训练均可改善脑卒中偏瘫患者骨骼肌厚度,水中平板步行训练能更有效改善腹外斜肌、腹内斜肌、股直肌、胫前肌厚度。这可能与以下原因有关,① 静水压:本研究水的深度为脐至剑突水平,腹肌群可浸于水中,静水压可对腹部肌群持续刺激,增加感觉输入<sup>[15]</sup>。② 浮力、喷流:浮力、喷流可使患者运动支撑面不稳,而不稳定的训练环境,可加强躯干肌肉活动<sup>[20]</sup>,特别是浅层的腹肌群。③ 水的阻力:胫前肌在足趾离地时收缩,保证足廓清且足跟着地,股直肌在摆动期主要为伸膝,患者若要在水中迈步和足跟着地,需更多摆动下肢以克服水的阻力<sup>[9]</sup>。

这与LEE等<sup>[21]</sup>研究显示水中平板步行训练可以改善股直肌、胫前肌肌肉厚度的结果一致。

但2组治疗后腓肠肌内侧头厚度和对照组治疗后腹部肌肉厚度变化差异均无统计学意义。这可能与以下因素有关:① 肌肉组织变化需达到一定运动强度<sup>[22]</sup>,天轨悬吊步行训练在躯干部给予固定,使躯干阶段性随意运动减少。② 脑卒中后因肌纤维倾向从慢肌纤维转变为快肌纤维,且比同龄人肌肉减少更快<sup>[23]</sup>,无法抵抗肌肉量的减少及转变。这与吴琼等<sup>[24]</sup>研究发现正常人在水中平板步行时腓肠肌肌电信号明显低于陆地步行,减重步行训练对腓肠肌内侧头肌肉厚度改善不明显的结果一致。

### 4.2 水中平板步行训练可有效改善脑卒中偏瘫患者步态参数

本研究结果显示,与治疗前比较,2组步速均明显升高,步长对称性值均明显降低;与对照组比较,试验组步速均明显更高,步长对称性值均明显更低,这提示水中平板步行训练可有效改善脑卒中偏瘫患者步行速度和步长对称性。这可能与以下因素有关,① 肌肉厚度改变:脑卒中偏瘫患者骨骼肌

大小、肌肉与脂肪组织比例明显失调,致其运动功能障碍<sup>[12]</sup>。股直肌、胫前肌厚度与步行能力密切相关<sup>[12,23]</sup>,腹肌厚度与患者躯干功能、步行稳定性密切相关<sup>[20,25]</sup>。水中平板步行训练可改善股直肌、胫前肌、腹肌厚度,因此可以有效改善脑卒中偏瘫患者步行速度和步长对称性。②水浮力:水浮力可以弥补脑卒中偏瘫患者患侧下肢的屈髋不充分<sup>[26]</sup>,增加患侧下肢步长,改善步长对称性。③运动平板:运动平板是一个任务导向性训练,通过节奏性、强制性、反复性训练使患者步行连贯性增加,从而改善步行速度和步态对称性。这与LEME等<sup>[5,27]</sup>研究显示可独立行走的脑卒中患者使用减重步行训练可改善患者步行速度和步长对称性的结果一致。

## 5 小 结

水中平板步行训练可改善脑卒中偏瘫患者患侧肌肉厚度、步行速度、步长对称性,值得临床推广。但水中平板步行训练须在水中进行,对于有心血管疾病及皮肤破损等情况的患者需谨慎选择。

## 参考文献

[1] 王陇德,刘建民,杨弋,等.我国脑卒中防治仍面临巨大挑战:《中国脑卒中防治报告2018》概要[J].中国循环杂志,2019,34(2):105-119.  
WANG L D, LIU J M, YANG Y, et al. The prevention and treatment of stroke still face huge challenges: brief report on stroke prevention and treatment in China, 2018 [J]. Chin Circ J, 2019, 34(2):105-119.

[2] MIYATA K, HASEGAWA S, IWAMOTO H, et al. Comparing the measurement properties and relationship to gait speed recovery of the Mini-Balance Evaluation Systems Test and the Berg Balance Scale in ambulatory individuals with subacute stroke [J]. Phys Ther Res, 2020, 23(1):72-78.

[3] LITTLE V L, PERRY L A, MERCADO M W V, et al. Gait asymmetry pattern following stroke determines acute response to locomotor task [J]. Gait Posture, 2020, 77:300-307.

[4] SALEH M S M, REHAB N I, ALY S M A. Effect of aquatic *versus* land motor dual task training on balance and gait of patients with chronic stroke: a randomized controlled trial [J]. NeuroRehabilitation, 2019, 44(4):485-492.

[5] LEME B, TAN C K, NUNEZ E, et al. A sensorized overground body weight support system for assessing gait parameters during walking rehabilitation [J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2021, 2021:4936-4939.

[6] BARELA A, CELESTINO M, GAMA G, et al. Gait alterations induced by unloaded body weight in individuals with stroke while walking on moveable and fixed surfaces [J]. Med Eng Phys, 2021, 95:9-14.

[7] 中华医学会物理医学与康复学分会康复治疗学组,中国医师协会水疗康复专业委员会.脑卒中水中运动治疗中国循证临床实践指南(2019版)[J].中国康复理论与实践,2020,26(3):

249-262.  
Group of Rehabilitation Treatment of Branch Association of Physical Medicine and Rehabilitation of Chinese Medical Association, Special Committee of Aquatic Rehabilitation of Chinese Medical Association. Chinese evidence-based clinical practice guideline for aquatic therapeutic exercise in patients with stroke (2019 version) [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2020, 26(3):249-262.

[8] BRUNELLI S, IOSA M, FUSCO F R, et al. Early body weight-supported overground walking training in patients with stroke in subacute phase compared to conventional physiotherapy: a randomized controlled pilot study [J]. Int J Rehabil Res, 2019, 42(4):309-315.

[9] MAEDA H, IMADA K, ISHIDA K, et al. Quadriceps thickness and echo intensity predict gait independence in individuals with severe and mild hemiparetic stroke [J]. Eur Neurol, 2020, 83(2):167-173.

[10] 职文倩,刘超然,王宁华.超声成像测量不同姿势下腓肠肌形态的信度[J].中国康复理论与实践,2019,25(11):1336-1341.  
ZHI W Q, LIU C R, WANG N H. Reliability of morphological measurement of gastrocnemius using ultrasonography in different positions [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(11):1336-1341.

[11] 叶林伟,刘洪海.基于超声的厚度提取算法[J].传感器与微系统,2018,37(3):112-114.  
YE L W, LIU H H. Thickness extraction algorithm based on ultrasound [J]. Transducer Microsyst Technol, 2018, 37(3):112-114.

[12] AKAZAWA N, HARADA K, OKAWA N, et al. Relationships between muscle mass, intramuscular adipose and fibrous tissues of the quadriceps, and gait independence in chronic stroke survivors: A cross-sectional study [J]. Physiotherapy, 2018, 104(4):438-445.

[13] 杜雪晶,张通,刘元旻,等.超声视觉反馈下的核心训练对脑卒中偏瘫患者腹横肌厚度及运动功能的影响[J].中国康复,2021,36(3):135-139.  
DU X J, ZHANG T, LIU Y M, et al. Effects of core training under ultrasonic visual feedback on transverse abdominal muscle thickness and motor function in stroke patients with hemiplegia [J]. Chin J Rehabil, 2021, 36(3):135-139.

[14] 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.  
Chinese Society of Neurology, Chinese Stroke Society. Diagnostic criteria of cerebrovascular diseases in China (version 2019) [J]. Chin J Neurol, 2019, 52(9):710-715.

[15] 曾明,崔尧,王月丽,等.水中平板步行训练对脑卒中患者步行功能的影响[J].中国康复理论与实践,2019,25(1):76-80.  
ZENG M, CUI Y, WANG Y L, et al. Effect of aquatic treadmill training on walking in stroke patients [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2019, 25(1):76-80.

[16] 李若祎,何怀武,孙建华,等.早期床旁超声测量重症患者股四头肌变化对重症监护病房获得性衰弱的诊断价值[J].中华医学杂志,2020,100(25):1967-1972.  
LI R Y, HE H W, SUN J H, et al. Clinical value of early bedside ultrasound measurement of quadriceps femoris in diagnosis of ICU-acquired weakness [J]. Natl Med J China, 2020, 100(25):1967-1972.

- [17] 刘美快,徐乐义,李海燕,等. 脑卒中患者小腿肌肉形态结构变化的定量超声研究[J]. 中国康复医学杂志, 2018, 33(10): 1183-1187.  
LIU M K, XU L Y, LI H Y, et al. A study on quantitative ultrasound on evaluating the architectural parameters of lower leg muscles in stroke survivors [J]. Chin J Rehabil Med, 2018, 33(10): 1183-1187.
- [18] 王康玲,黄杰斌,吴文,等. 一种便携式步态分析系统的信度研究[J]. 中国康复医学杂志, 2016, 31(7): 761-764, 782.  
WANG K L, HUANG J B, WU W, et al. Research on reliability of parameters taken by a portable gait analysis system [J]. Chin J Rehabil Med, 2016, 31(7): 761-764, 782.
- [19] 林英杰,吴建宁,林丽辉. 人体步态对称性量化评价方法研究进展[J]. 中国生物医学工程学报, 2019, 38(2): 222-232.  
LIN Y J, WU J N, LIN L H. Research progress of the quantitative evaluation methods in human gait symmetry [J]. Chin J Biomed Eng, 2019, 38(2): 222-232.
- [20] 庄国栋,陈丹丹,王婷婷,等. 不稳定表面进行躯干训练对卒中后恢复期患者躯干肌肉活动和姿势控制的作用[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2019, 22(3): 296-302.  
ZHUANG G D, CHEN D D, WANG T T, et al. Effect of trunk exercises performed on an unstable surface for trunk muscle activation and postural control in patients with stroke [J]. Chin J Pract Nerv Dis, 2019, 22(3): 296-302.
- [21] LEE S Y, IM S H, KIM B R, et al. The effects of a motorized aquatic treadmill exercise program on muscle strength, cardiorespiratory fitness, and clinical function in subacute stroke patients: A randomized controlled pilot trial [J]. Am J Phys Med Rehabil, 2018, 97(8): 533-540.
- [22] ANDERSEN J L, JØRGENSEN J R, ZEEMAN P, et al. Effects of high-intensity physical training on muscle fiber characteristics in poststroke patients [J]. Muscle Nerve, 2017, 56(5): 954-962.
- [23] JUNG H J, LEE Y M, KIM M, et al. Suggested assessments for sarcopenia in patients with stroke who can walk independently [J]. Ann Rehabil Med, 2020, 44(1): 20-37.
- [24] 吴琼,张通,丛芳,等. 健康成人水中平板步行运动分析[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(1): 63-67.  
WU Q, ZHANG T, CONG F, et al. Gait and surface electromyogram characteristics in underwater treadmill training [J]. Chin J Rehabil Theory Pract, 2017, 23(1): 63-67.
- [25] LEE J, JEON J, LEE D, et al. Effect of trunk stabilization exercise on abdominal muscle thickness, balance and gait abilities of patients with hemiplegic stroke: a randomized controlled trial [J]. NeuroRehabilitation, 2020, 47(4): 435-442.
- [26] LEE M E, JO G Y, DO H K, et al. Efficacy of aquatic treadmill training on gait symmetry and balance in subacute stroke patients [J]. Ann Rehabil Med, 2017, 41(3): 376-386.
- [27] BURNFIELD J M, BUSTER T W, GOLDMAN A J, et al. Partial body weight support treadmill training speed influences paretic and non-paretic leg muscle activation, stride characteristics, and ratings of perceived exertion during acute stroke rehabilitation [J]. Hum Mov Sci, 2016, 47: 16-28.

## Effect of Aquatic Treadmill Training on Patients with Hemiplegia after Stroke

WANG Yanan<sup>1,2</sup>, ZHANG Tong<sup>1,2</sup>, LIU Huilin<sup>1,2\*</sup>, DU Xuejing<sup>1,2</sup>, ZHU Xiaomin<sup>1,2</sup>, LIU Yuanmin<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> China Rehabilitation Research Center, Beijing 100068, China;

<sup>2</sup> School of Rehabilitation Medicine of Capital Medical University, Beijing 100068, China

\*Correspondence: LIU Huilin, E-mail: liuhuilin2010@sina.com

**ABSTRACT Objective:** To observe the effect of aquatic treadmill training on resting muscle thickness of the affected side and walking functions of patients with hemiplegia after stroke. **Methods:** A total of 40 patients with hemiplegia after stroke hospitalized in the China Rehabilitation Research Center from March 2021 to October 2021, were divided randomly into control group and experiment group according to the random series generated by SPSS 26.0 software, with 20 patients in each group. Both groups received conventional rehabilitation treatment (basic movement training, motor function facilitation, dynamic standing balance training, walking training, etc.), 30 minutes a time, once a day, five days a week, lasting for four weeks. In addition to the conventional rehabilitation treatment, the control group received gait training with the overhead track system and the experiment group received aquatic treadmill training. Both groups were treated for 20 minutes a day, five days a week, lasting for four weeks. Before and after treatment, a full digital handheld color ultrasound diagnostic instrument was used to measure the muscle thickness of obliquus externus abdominis (EO), internal abdominal oblique (IO), transverse abdominal (TrA), rectus femoris (RF), tibialis anterior (TA) and medial gastrocnemius (MG). GaitWatch 3D gait analysis and sports training system was used to measure velocity, swing time asymmetry ratio and step length asymmetry ratio. **Results:** 1) Muscle thickness: compared with that before treatment, the thickness of RF and TA muscles in the control group increased significantly after treatment; the thickness of EO, IO, TrA, RF and TA muscles of the experiment group increased significantly after treatment, the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). Compared with the control group, there was significant increases in thickness of EO, IO, RF and TA muscles in the experiment group ( $P < 0.05$ ). 2) Gait velocity, swing time asymmetry ratio, step length asymmetry ratio: compared with that before treatment, gait velocity of both groups after treatment increased significantly, and step length asymmetry ratio decreased significantly, the difference was statistically significant ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** The aquatic treadmill training can improve the affected side muscle thickness, gait velocity and step length asymmetry ratio of patients with hemiplegia after stroke, and is recommended for clinical application.

**KEY WORDS** stroke; hemiplegia; gait; aquatic treadmill training; body weight support training; musculoskeletal ultrasound

DOI:10.3724/SP.J.1329.2022.04003