

· 临床研究 ·

康复训练对恢复期脑卒中患者小腿肌肉收缩功能影响的磁共振研究

姜丽 卫小梅 窦祖林 康庄 温红梅 喻勇 解东风

【摘要】目的 采用速度编码相位对比磁共振成像(VE-PC MRI)技术评估康复训练对恢复期脑卒中患者小腿骨骼肌动力学特征的改善作用。方法 采用随机数字表法将 27 例恢复期脑卒中偏瘫患者分为治疗组(14 例)和对照组(13 例)。治疗组给予下肢平板训练及小腿后群肌牵伸训练,对照组给予小腿后群肌牵伸训练及一般步行训练。2 组患者均持续训练 8 周。于入选时及康复训练结束 1 周后进行疗效评定,嘱患者平卧在磁共振扫描床上进行周期性踝关节屈伸运动,期间采集偏瘫侧肢体胫骨前肌、腓肠肌内侧头及比目鱼肌运动时的 VE-PC MR 图像;同时采用 Barthel 指数(BI)、Berg 平衡量表(BBS)进行功能评估。结果 与入选时比较,治疗组患者偏瘫侧胫骨前肌(第 2-7 相)、腓肠肌内侧头(第 12-18 相)及比目鱼肌(第 13-16 相)收缩速度均明显提高($P < 0.05$);对照组偏瘫侧小腿仅有胫骨前肌(第 4 相)、腓肠肌内侧头(第 13-15 相)及比目鱼肌(第 15 相)收缩速度改善。治疗后 2 组患者 BBS 及 BI 评分均较治疗前明显改善,且上述指标均以治疗组的改善幅度较显著,与对照组间差异具有统计学意义($P < 0.05$)。结论 在常规康复干预基础上辅以平板训练,可进一步提高脑卒中患者偏瘫侧胫骨前肌、腓肠肌内侧头及比目鱼肌收缩速度,且能显著改善患者日常生活活动能力及平衡功能;VE-PC MRI 技术能为脑卒中患者小腿肌群在体收缩功能评估提供准确数据。

【关键词】 脑卒中; 小腿肌群; 康复; 磁共振成像

The effects of rehabilitation training on lower extremity muscle function in patients convalescing after stroke as revealed by velocity-encoded phase-contrast MRI JIANG Li*, WEI Xiao-mei, DOU Zu-lin, KANG Zhuang, WEN Hong-mei, YU Yong, XIE Dong-feng. * Department of Rehabilitation Medicine, The Third Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510630, China

Corresponding author: DOU Zu-lin, Email: douzul@163.com

【Abstract】 Objective To assess the effects of rehabilitation training on lower extremity muscle function in stroke patients using velocity-encoded phase-contrast MRI (VE-PC MRI). Methods Twenty-nine stroke patients at the convalescence stage were divided into a treatment group (14 cases) and a control group (13 cases). The subjects performed calf muscles stretches supine in a scanner bed with voluntary ankle flexion-extension movements. Imaging data were collected from the tibialis anterior muscle (TA), the medial head of the gastrocnemius (MG) and the soleus muscle (SOL) of the affected side. The treatment group also underwent rehabilitation including treadmill training, while the control group received only walking training without the treadmill. Barthel index (BI) and Berg balance scale (BBS) scores were measured after rehabilitation. Results Compared with baseline, the contraction velocity of the TA (phases 2 to 7), the MG (phases 12 to 18) and the SOL (phases 13 to 16) on the affected side increased significantly in the treatment group. In the control group, the contraction velocity of the calf muscles on the affected side improved, but fewer phases were significant-for the TA phase 4, for the MG phases 13 to 15 and for the SOL phase 15. In both groups, BBS and BI scores improved significantly compared with baseline. The average improvement in the treatment group was significantly greater than that in the control group. Conclusions Rehabilitation including treadmill training can improve calf muscle contraction function on stroke patients' affected side, and also their ADL performance and balance. VE-PC MRI can provide quantitative in vivo measurements of the contraction function of stroke patients' calf muscles.

【Key words】 Stroke; Calf; Magnetic resonance imaging; Rehabilitation

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.02.009

基金项目:中国-芬兰政府间合作课题(2006DFA33290);广东省科技厅科技社会发展项目(2006B50107003)

作者单位:510630 广州,中山大学附属第三医院康复医学科(姜丽、卫小梅、窦祖林、温红梅、喻勇、解东风),放射科(康庄)

通信作者:窦祖林,Email:douzul@163.com

脑卒中后偏瘫侧肢体失去高位中枢调控,容易出现肌张力异常、肌力下降、肌群间协调紊乱,进而出现肢体运动功能障碍^[1]。偏瘫患者在行走时呈典型“划圈”步态,其足下垂是小腿肌肉收缩异常的典型表现。由于人体踝关节在站立行走时具有重要作用,因此对

小腿前、后肌群运动模式进行研究有助于康复评定及指导康复治疗。表面肌电图(surface electromyography, sEMG)作为临床常用的评估肌肉在体收缩功能的技术,能在一定程度上反映运动单位募集和同步化等中枢控制因素以及肌肉兴奋传导速度等外周因素的共同作用^[2];但该技术也存在一些自身无法解决的问题,如采样信息只能局限在表层肌肉内,无法了解深层肌肉的运动功能情况等^[3]。

速度编码相位对比磁共振(velocity encoded phase contrast MRI, VE-PC MRI)技术可获得在体运动时的骨骼肌图像,尤其是在深层肌肉功能评估方面较 sEMG 更具有优势^[4]。本研究采用 VE-PC MRI 技术评估康复训练对脑卒中患者小腿肌肉收缩功能的改善作用,旨在为临床有效治疗脑卒中患者提供客观依据。现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

共选取 2008 年 5 月至 2010 年 5 月间在中山大学附属第三医院康复科就诊的脑卒中患者 27 例,患者入选标准如下:初发脑卒中 3~12 月;经头颅 CT 或 MRI 确诊;年龄 30~70 岁;单侧肢体瘫痪,偏瘫侧踝关节屈伸肌徒手肌力评定(manual muscle test, MMT) ≥ 3 级;可独立坐站、独立或扶拐杖行走。患者排除标准如下:病情不稳定或偏瘫严重;有明显认知功能障碍;不具备基本语言理解和表达能力;偏瘫侧踝屈伸肌 Ashworth 分级 > 2 级,偏瘫侧下肢轻瘫试验(-);脑外伤、脑手术后或伴有其它神经疾病史,有心脏病史或血压水平不稳定,不能耐受运动平板训练等。采用随机数字表法将上述患者分为治疗组(14 例)及对照组(13 例),2 组患者一般情况及病情详见表 1,表中数据经统计学比较,发现组间差异均无统计学意义($P > 0.05$),具有可比性。

表 1 入选时 2 组患者一般情况及病情比较

组别	例数	性别(例)		年龄(岁)	身高(cm)	体重(kg)	病程(月)
		女	男				
治疗组	14	4	10	54.52±8.19	165.2±7.7	65.6±7.5	4.28±4.16
对照组	13	3	10	57.07±9.26	163.9±9.8	66.2±9.2	5.38±4.14

二、治疗方法

治疗组患者给予康复训练,包括:①运动平板训练,根据患者实际行走功能调整运动平板速度,以患者感觉适度为宜,治疗师指导患者如何转移重心,如何协调髋、膝、踝关节屈伸动作,必要时给予动作分解示范,训练强度循序渐进,逐渐进展到患者可耐受的最大强度;如患者感觉疲劳时,可在平板训练间隙休息 2~3 min,每次训练持续 20~30 min(包括 5 min 准备活

动及结束活动),每周训练 5 d,共训练 8 周。②小腿后群肌牵伸训练,采用倾斜角度为 15°的楔形板,患者偏瘫侧脚踏在楔形板上呈背伸位,健侧脚置于偏瘫侧脚前稍外侧,患者躯干保持正直,重心移向偏瘫侧,借助自身体重来牵拉小腿后肌群,每次训练持续 10~15 min,每天训练 2~3 次,每周训练 6 d,共训练 8 周。

对照组患者给予小腿后群肌牵伸训练(训练方法及疗程同治疗组)及一般步行训练,每次持续 20~30 min,每周训练 5 d,共训练 8 周。

三、评定方法

患者入组后共接受 2 次评定,第 1 次评定为患者刚入组时,第 2 次评定在康复训练结束后 1 周内完成,具体评定内容包括以下方面。

1. VE-PC MRI 图像采集及分析:①嘱患者平卧在磁共振舱内进行偏瘫侧踝关节主动屈伸运动,运用 GE 1.5T 超导型全身磁共振扫描仪进行图像采集,其踝关节运动时通过特殊装置(与华南理工大学联合方研制)触发磁共振扫描,踝关节运动节律由节拍器控制在 32 次/min 水平,扫描持续 2 min 左右,共采集小腿肌肉运动图像 2 套,分别为解剖图及相位图(各包括 20 帧图片,分别对应踝关节 1 个屈伸运动周期中不同时相,按采集先后时间排序,1~10 为踝背伸阶段,11~20 为踝跖屈阶段)。②首先在解剖图上描画拟分析肌肉所在的区域,然后通过 Xcode 图像软件(与中山大学软件学院联合研发)将描画后的解剖区域投射至相位图上,分析软件会自动计算该区域内肌肉的最大向心收缩速度。本组患者小腿肌肉 VE-PC MRI 图像详见图 1。

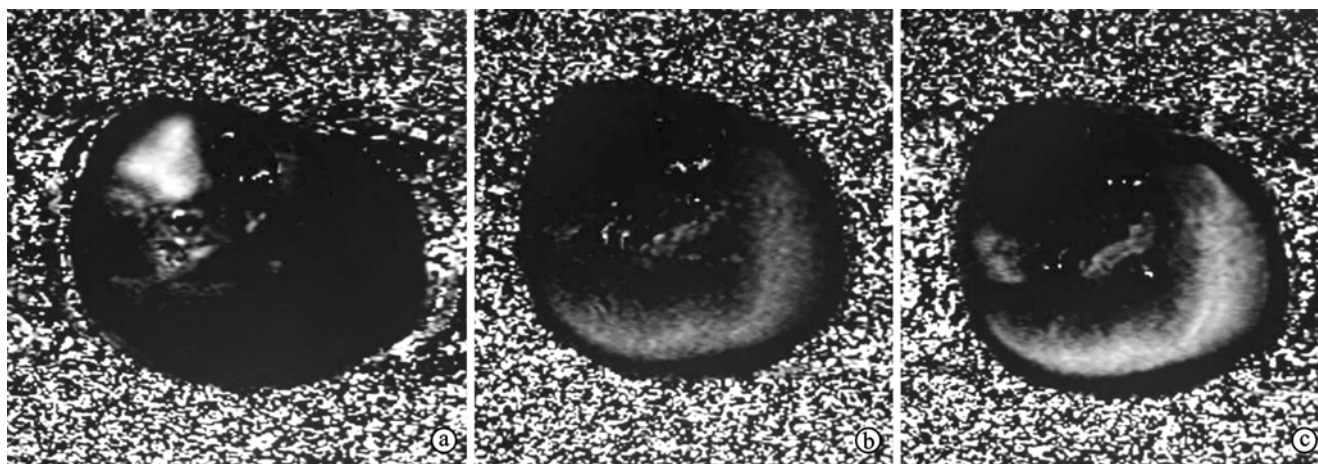
2. 临床疗效评定:①采用 Barthel 指数(Barthel index, BI)评定患者日常生活活动能力改善情况;②采用 Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)评定患者平衡功能变化;③采用改良的 Ashworth 量表(modified Ashworth scale, MAS)评定患者踝关节跖屈肌张力情况。

四、统计学分析

本研究所得计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,选用 SPSS 16.0 版统计学软件包进行数据分析,组间比较采用两独立样本 t 检验,同组患者治疗前、后数据比较采用配对样本 t 检验;组间疗效比较采用两独立样本 t 检验,等级资料比较采用 χ^2 检验, $P < 0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

2 组患者均能遵循既定康复方案坚持训练并按时完成随访。入选时 2 组患者进行踝关节背伸时(1-10 相),其偏瘫侧胫骨前肌为背伸主动肌向心收缩,比目



注:a 为跖屈阶段,b 为中间位置,c 为背伸阶段(图中灰度值代表肌肉收缩的方向及大小,黑色代表肌肉向心收缩,白色代表肌肉离心收缩)

图1 脑卒中患者偏瘫侧小腿肌肉 VE-PC MRI 图像分析

鱼肌及腓肠肌内侧头作为背伸拮抗肌离心收缩,其中腓肠肌内侧头收缩速度大于比目鱼肌,是背伸主要拮抗肌;该阶段 2 组患者小腿前、后肌群均未发现异常收缩模式。2 组患者进行踝关节跖屈时(11-20 相),发现其比目鱼肌及腓肠肌内侧头作为跖屈肌进行向心收缩,其中腓肠肌内侧头收缩速度大于比目鱼肌,是主要跖屈肌,胫骨前肌则作为跖屈拮抗肌进行离心收缩。该阶段 2 组患者小腿肌群均未发现异常收缩模式。经统计学分析发现,入选时 2 组患者偏瘫侧胫骨前肌、比目鱼肌及腓肠肌内侧头最大向心收缩速度组间差异均无统计学意义($P > 0.05$),具体情况详见图 2。

2 组患者分别经相应治疗后,其偏瘫侧小腿肌肉最大向心收缩速度变化情况详见图 2,可见对照组偏瘫侧胫骨前肌(第 4 相)、比目鱼肌(第 15 相)、腓肠肌内侧头(第 13~15 相)最大向心收缩速度均明显增加;治疗组偏瘫侧小腿肌肉最大向心收缩速度亦显著改善,其胫骨前肌(第 2~7 相)、比目鱼肌(第 13~16 相)、腓肠肌内侧头(第 12~18 相)收缩速度均明显大于治疗前水平;且所有患者小腿肌肉收缩模式均未发现明显异常。组间比较发现,治疗组胫骨前肌(第 4-5 相)、比目鱼肌(第 14 相)、腓肠肌内侧头(第 14~17 相)肌肉收缩速率改善幅度均显著优于对照组($P < 0.05$)。

治疗前 2 组患者 BI、BBS 评分及 MAS 评级组间差异均无统计学意义($P > 0.05$),治疗后随访时发现 2 组患者 BI、BBS 评分均较入选时显著改善($P < 0.05$),并

且以治疗组 BBS 评分的改善幅度较显著,与对照组间差异具有统计学意义($P < 0.05$);另外治疗组 MAS 评级也明显优于入选时水平($P < 0.05$),对照组 MAS 评级虽较入选时有一定程度改善,但差异无统计学意义($P > 0.05$);组间比较发现,治疗后随访时治疗组 MAS 评级显著优于对照组($P < 0.05$),具体数据详见表 2。

讨 论

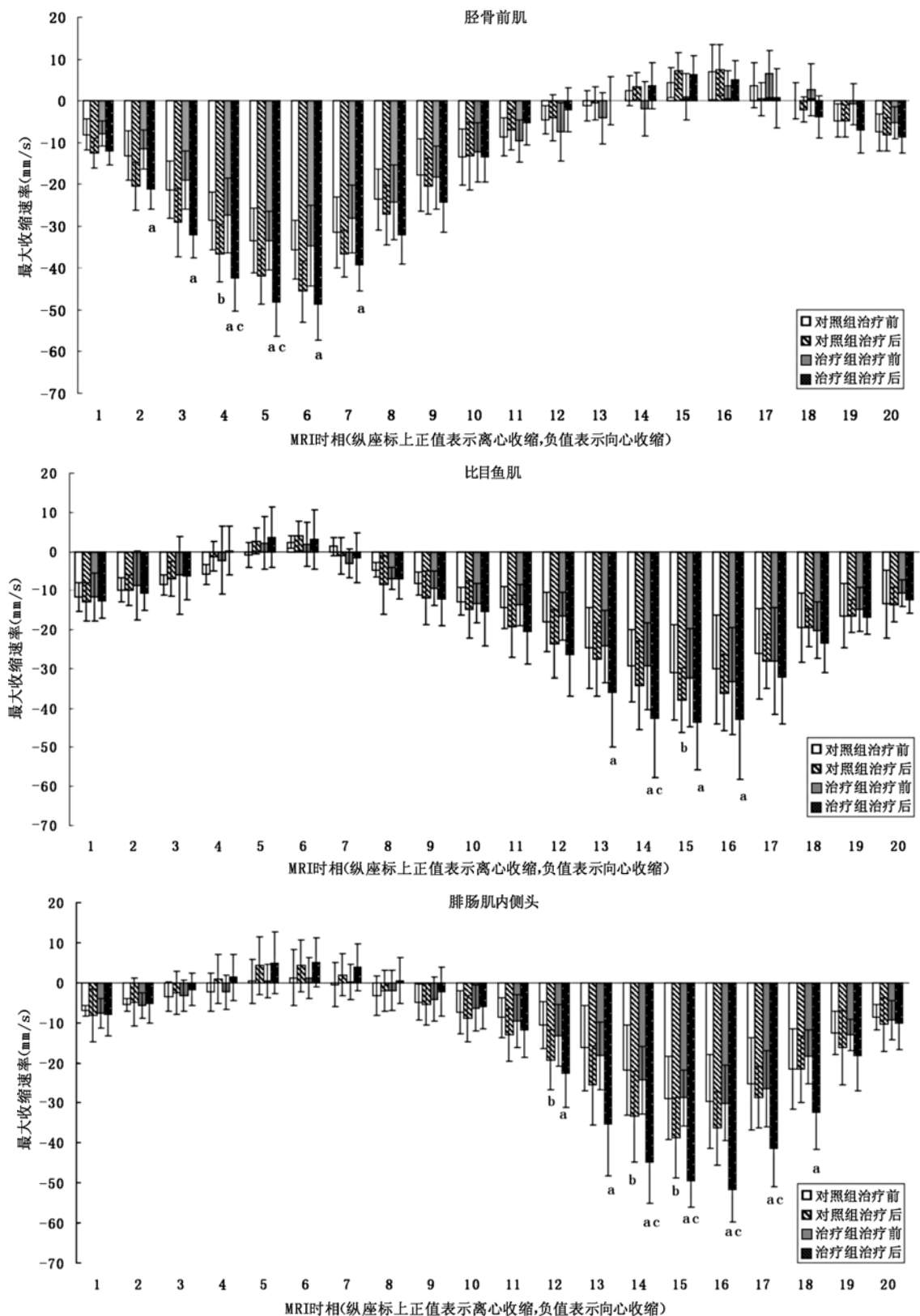
VE-PC MRI 通常包括在广义的功能性 MRI 范围内,是电影 MRI 技术和相位对比 MRI 技术的结合。电影 MRI 可获得运动组织的解剖结构图像(解剖图),相位对比 MRI 可获得运动组织的速度图像(相位图)。该技术最早用于心脏搏动的影像学研究,加以改进后用于骨骼肌在体运动功能评估^[5]。采用 VE-PC MRI 技术可同时获得组织在体运动时的解剖结构、运动速度等信息,经特殊软件分析后可描述骨骼肌动力学特性^[6]。Drace 等^[7]于 1994 年验证了 VE-PC MRI 测量骨骼肌运动的有效性,之后该技术的应用范围逐渐扩大。目前已有大量研究采用 VE-PC MRI 技术观察肌腱移植术后肌肉功能改变、跟腱断裂修补术后小腿肌肉力学特征及减重状态下在体骨骼肌及肌腱复合体力学特性变化等^[4,5,8-9]。

sEMG 检查是目前常用的肌肉功能在体评估方法,该技术可提供运动肌肉在体活动信息,但不能提供肌肉运动方向信息;并且由于该技术自身局限性,只能检

表 2 治疗前后 2 组患者临床疗效结果比较

组别	例数	Barthel 指数(分)		Berg 量表评分(分)		Ashworth 量表评分(级)							
						治疗前				治疗后			
		治疗前	治疗后	治疗前	治疗后	0 级	1 级	1+ 级	2 级	0 级	1 级	1+ 级	2 级
治疗组	14	81.35 ± 4.47	90.07 ± 4.03 ^a	47.57 ± 4.14	53.07 ± 2.97 ^{ab}	0	2	7	5	3 ^{ab}	8	3	0
对照组	13	82.35 ± 3.25	89.56 ± 3.60 ^a	48.53 ± 2.61	51.85 ± 2.91 ^a	0	7	3	3	4	7	2	0

注:与治疗前比较,^a $P < 0.05$;与对照组随访时比较,^b $P < 0.05$



注: 治疗组治疗前后比较, ^a $P < 0.05$; 对照组治疗前后比较, ^b $P < 0.05$; 与对照组治疗后时比较, ^c $P < 0.05$

图2 治疗前、后2组患者小腿肌群最大向心收缩速率比较

测表浅肌肉活动,不能获得深部肌肉活动信息,故结果准确性受到明显影响^[10]。窦祖林等^[11]采用 sEMG 评估脑卒中偏瘫患者小腿肌肉收缩情况,发现在踝关节

周期性屈伸(无负荷)运动时,偏瘫侧小腿肌肉协调模式异常,如比目鱼肌取代腓肠肌并成为主要跖屈肌。本课题组前期研究采用 VE-PC MRI 技术评估同样运

动状态下脑卒中患者小腿肌肉功能,并未发现小腿后群肌出现上述异常变化^[12];本研究扩大样本数量后,也未发现比目鱼肌、腓肠肌在踝关节屈伸活动时出现异常收缩模式,患者腓肠肌仍为主要跖屈肌,比目鱼肌收缩速度小于腓肠肌,起协助跖屈作用。上述结果再次证明 VE-PC MRI 技术较 sEMG 技术更能准确反映在体肌肉收缩情况,尤其是在评估深层肌肉功能方面。

Louise 等^[13]对脑卒中患者进行康复训练,发现耐力训练或肌力训练均可抑制肌肉废用性萎缩,从而提高患者日常生活活动能力。本课题组前期研究对脑卒中患者进行大腿肌力训练,随访时发现患者偏瘫侧膝关节屈伸肌群收缩功能均明显改善,并且肌力训练未加重患者膝关节异常收缩模式^[14]。平板训练是提高脑卒中患者下肢肌肉功能的常用方法,对于恢复期脑卒中患者,平板训练不仅能改善患者下肢力量、行走能力,同时还能提高患者心血管功能及耐受性;患者通过平板运动训练,可促其在行走时协调多个肌群功能,有助于主动肌和拮抗肌之间神经肌肉协调模式得到较好发展。Macko 等^[15]发现脑卒中患者经平板运动训练后,其下肢肌肉功能相对应的脑皮质活动明显改善,认为中枢可塑性在运动功能改善方面发挥重要作用。本研究结果表明,2 组患者随访时肌肉收缩速度均有改善,并且以给予平板训练的治疗组小腿肌肉收缩速度改善更显著,尤其是在各肌肉进行向心收缩时。笔者认为,导致患者肌肉收缩功能改善的原因包括中枢性及外周性两种机制:①中枢性机制:进行平板训练时,患者下肢肌肉经过反复行走训练,其运动反射弧功能提高,神经系统对肌肉的调控作用也显著改善,运动中中枢同步放电幅度明显提高,对肌纤维募集能力增强,从而使患者小腿前后肌群参与收缩的运动单位增多,收缩速度提高;②外周性机制:有基础研究显示,肌力训练可促进肌细胞内线粒体增多、增大,蛋白合成增加,肌肉内毛细血管数量增多,肌纤维横断面积增大,对增强肌肉收缩功能具有重要意义^[16]。另外本研究中患者各肌肉恢复情况有所差异,考虑可能与每块肌肉受中枢支配不同、肌纤维构成不同及训练方法不同等因素有关,故肌肉恢复效果各异,更确切原因有待进一步探讨。

脑卒中后偏瘫侧肢体肌张力异常、肌力下降、肌群间协调紊乱及感觉功能障碍,这些异常改变均可影响患者平衡功能^[17]。本课题组前期研究发现,脑卒中患者平衡功能与其双下肢肌肉收缩功能间存在显著相关性^[12]。本研究结果显示,平板训练在提高患者小腿各肌肉收缩速度同时,还使得踝关节运动更协调,降低了踝关节肌张力,有助于患者平衡功能及日常生活活动能力进一步提高。

综上所述,本研究采用 VE-PC MRI 技术评估康复

训练前、后脑卒中患者偏瘫侧小腿肌肉生物力学特征,发现平板训练可显著改善患者小腿肌肉收缩速度,提高患者平衡功能及日常生活活动能力,且未加重肌肉异常收缩模式,为平板训练治疗脑卒中患者提供了有效依据。

参 考 文 献

- [1] Higginson JS, Zajack FE, Neptune RR. Muscle contributions to support during gait in an individual with post-stroke hemiparesis. *J Biomech*, 2006, 39:1769-1777.
- [2] 王健, 金德闻. 康复医学领域的表面肌电应用研究. *中国康复医学杂志*, 2006, 21:6-7.
- [3] 郑洁皎, 胡佑红, 俞卓伟. 表面肌电图在神经肌肉功能评定中的应用. *中国康复理论与实践*, 2007, 13:25-27.
- [4] Wen HM, Dou Z, Finni T, et al. Thigh muscle function in stroke patients revealed by velocity-encoded cine phase-contrast magnetic resonance imaging. *Muscle Nerve*, 2008, 37:736-744.
- [5] Lee HD, Finni T, Hodgson JA, et al. Soleus aponeurosis strain distribution following chronic unloading in humans an in vivo MR phase contrast study. *J Appl Physiol*, 2006, 100:2004-2011.
- [6] Asakawa DS, Pappas GP, Blemker SS, et al. Cine phase-contrast magnetic resonance imaging as a tool for quantification of skeletal muscle motion. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2003, 7:287-295.
- [7] Drace JE, Pelc NJ. Skeletal muscle contraction; analysis with use of velocity distributions from phase-contrast MR imaging. *Radiology*, 1994, 193:423-429.
- [8] Riewald SA, Delp SL. The action of the rectus femoris muscle following distal tendon transfer: does it generate a knee flexion moment. *Dev Med Child Neurol*, 1997, 39:99-105.
- [9] Sinha S, Lai A, Finni T, et al. In vivo assessment of function in human plantar flexors following achilles tendon rupture and surgical repair a phase contrast MR study. *Magn Reson Med*, 2003, 11:1493.
- [10] Hogrel JY. Clinical applications of surface electromyography in neuromuscular disorders. *Neurophysiol Clin*, 2005, 35:59-71.
- [11] 窦祖林, 温红梅, 姜丽, 等. 脑卒中患者小腿肌肉运动协调性的表面肌电特征研究. *中华物理医学与康复杂志*, 2009, 31:448-451.
- [12] 姜丽, 窦祖林, 温红梅, 等. 脑卒中恢复期患者小腿肌肉功能的速度编码相位对比磁共振观察. *中华医学杂志*, 2011, 91:160-165.
- [13] Louise A, Simone D, Colleen GC. Strengthening interventions increase strength and improve activity after stroke: a systematic review. *Aust J Physiother*, 2006, 52:241-248.
- [14] 姜丽, 窦祖林, 温红梅, 等. 肌力训练对脑卒中恢复期偏瘫患者大腿表面肌电的影响. *中华生物医学工程杂志*, 2010, 16:346-350.
- [15] Macko RF, Ivey FM, Forrester LW. Task-oriented aerobic exercise in chronic hemiparetic stroke: training protocols and treatment effects. *Top Stroke Rehabil*, 2005, 12:45-57.
- [16] 李长宏, 吴倩. 被动运动和电刺激对尾吊大鼠比目鱼肌纤维的影响. *中华物理医学与康复杂志*, 2004, 26:133-135.
- [17] Tyson SF, Hanley M, Chillala J, et al. Balance disability after stroke. *Phys Ther*, 2006, 86:30-38.

(修回日期:2012-01-12)

(本文编辑:易 浩)