

文章编号:1003-2754(2019)05-0420-05

下肢康复机器人训练对缺血性脑卒中患者 脑功能重建影响的初步观察

李坤彬, 吴志远, 吴艳芝, 上官建伟, 姚先丽, 孙平鸽, 李小杏, 刘亚鸽, 温小鹏, 焦冰, 方桦

摘要: **目的** 观察基于常规康复的下肢康复机器人训练对缺血性脑卒中患者脑功能重建的影响。**方法** 选取缺血性脑卒中患者 120 例,采用信封法随机分成观察组和对照组,每组各 60 例。对照组实施常规康复训练,观察组实施基于常规康复的下肢康复机器人训练。观察两组患者治疗前、后步速、步频、左右步幅差变化;并在治疗前、后对患者进行脑电图、颅脑弥散张量成像(DTI)检查,对比观察下肢康复机器人训练对患者脑功能的影响。**结果** 两组患者治疗前步速、步频、左右步幅差比较无统计学上的差异($P > 0.05$),治疗后观察组患者步速、步频高于对照组,左右步幅差低于对照组,差异有统计学意义($P < 0.05$);治疗前两组患者脑电图 δ/α 值(DAR)、脑对称指数(BSI)比较差异均无统计学意义($P > 0.05$),治疗后观察组患者 DAR、BSI 较对照组均有所降低,且差异均有统计学意义($P < 0.05$);治疗前、后两组患者大脑患侧各向异性分数(FA 值)比较无统计学意义上的差异($P > 0.05$),而治疗后,观察组患者健侧大脑半球 FA 值与治疗前相比提高,与对照组比较也有提高,且差异均有统计学意义($P < 0.05$)。**结论** 基于常规康复的下肢康复机器人训练可改善缺血性脑卒中患者的步行功能,并提高了患者大脑的活跃性、双侧大脑的对称性及健侧大脑半球的代偿作用,从而能够促进患者脑功能的重建。

关键词: 脑卒中; 下肢康复机器人; 步行功能; 脑功能

中图分类号:R493;R743 文献标识码:A

Preliminary observation on the effect of lower limb rehabilitation robot training on the reconstruction of brain function in patients with ischemic stroke LI Kunbin, WU Zhiyuan, WU Yanzhi, et al. (Department of Rehabilitation, Zhengzhou Central Hospital Affiliated to Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)

Abstract: **Objective** To observe the effect of rehabilitation training of lower limb robot on cerebral function reconstruction in ischemic stroke patients based on conventional rehabilitation. **Methods** 120 patients with ischemic stroke were randomly divided into observation group and control group, 60 cases in each group. The control group received routine rehabilitation training, while the observation group received lower limb rehabilitation robot training based on routine rehabilitation. Before and after treatment, the changes of step speed, step frequency and left and right stride amplitude difference were observed in the two groups. Meanwhile, the patients of two groups were examined by posterior electroencephalogram (EEG) and brain diffusion tensor imaging (DTI). The effects of lower limb rehabilitation robot training on brain function were observed. **Results** There was no statistical difference between the two groups in step speed, step frequency and left and right step amplitude difference before treatment ($P > 0.05$). After treatment, the walking speed and frequency of the observation group were higher than those of the control group, and the left and right step amplitude difference was lower than that of the control group. The difference was statistically significant ($P < 0.05$). There was no significant difference in EEG δ/α ratio (DAR) and brain symmetry index (BSI) between the two groups before treatment ($P > 0.05$). After treatment, the DAR and BSI of observation group were lower than those of control group. The difference was statistically significant ($P < 0.05$). Before and after treatment, there was no significant difference in the value of cerebral anisotropy score (FA) between the injured lateral brain in two groups ($P > 0.05$). After treatment, the FA value of the healthy hemisphere of the patients in observation group was higher than before and that of the control group, and the difference was statistically significant ($P < 0.05$). **Conclusion** Lower limb rehabilitation robot training can improve the walking function of patients with ischemic stroke, including the brain electrical activity of the patients, the symmetry of bilateral brain and the compensatory effect of the uninjured side hemisphere of the brain, so as to promote the reconstruction of the patients' brain function.

Key words: Stroke; Lower limb rehabilitation robot; Walking function; Brain function

下肢运动功能障碍是脑卒中后常见的症状之一,大约 80% 的脑卒中患者存在步行能力、速度、耐力及步态的异常^[1],严重影响患者日常生活的独立性^[2,3]。脑卒中后下肢功能障碍是由上运动神经元损伤,引起运动反射释放,造成运动模式异常。步行训练是改善下肢功能重要的康复治疗方法,但步行

收稿日期:2018-11-20;修订日期:2019-03-10

基金项目:河南省医学科技攻关计划项目(201702309)

作者单位:(郑州大学附属郑州中心医院,河南 郑州 450000)

通讯作者:李坤彬, E-mail:13603711347@163.com

训练时步幅、步行速度等康复难度较高,从而会耗费辅助人员大量体力,且较难纠正患者的步幅系统。下肢康复机器人训练是近几年来辅助下肢运动功能康复的重要方法之一。国内外众多研究表明^[4~6]下肢康复机器人训练可提高脑卒中患者平衡能力、步行能力、日常生活能力等,但这些研究大多关注了下肢康复机器人训练对周围运动功能的改善作用,很少关注脑功能的变化。脑卒中后下肢运动功能的恢复有赖于受损脑区的激活和大脑功能的重组^[7,8]。然而,常规康复训练对受损脑功能恢复影响有限,下肢康复机器人训练对患者脑功能重建的影响目前尚未见临床报道。因此,本研究主要通过与常规康复对比,观察基于常规康复的下肢康复机器人训练对患者脑功能重建的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取2017年1月~2018年7月郑州大学附属郑州中心医院神经康复科收治的缺血性脑卒中患者120例,采用信封随机法分成观察组和对照组,每组各60例。两组患者年龄、发病时间、性别、患侧等基线资料对比无统计学意义($P > 0.05$)(见表1)。本研究符合《世界医学会赫尔辛基宣言》相关要求,并通过郑州大学附属郑州中心医院伦理委员会批准。

1.2 纳入及排除标准 纳入标准:(1)脑卒中诊断符合1995年第四届脑血管病学术会议制定的《各类脑血管疾病诊断要点》诊断标准^[9];(2)经头部CT或MRI检查确诊为基底节区缺血性脑梗死,并证实首次发病;(3)年龄30~75岁,病程14~60 d,患者生命体征平稳、意识清楚、能听从指令,单侧肢体瘫痪;(4)在服用降压药的情况下血压维持在150/90 mm Hg(1 mmHg = 0.133 kPa)以下,无严重的心脏病史,无其他神经系统疾病;(5)Ashworth评定,下肢<3级;(6)签署知情同意书。

排除标准:(1)患有其他影响步行能力的神经肌肉和骨关节疾病;(2)有严重的急慢性心瓣膜病、心脏病及其他器质性心脏病患者;(3)脑出血、颅脑创伤及除基底节区损伤外的其他部位造成的偏瘫患者;(4)有精神症状、听力障碍、言语表达障碍、认知障碍者;(5)合并有严重的感染、呼吸衰竭、肾衰竭或癌症等其他器官的器质性病变患者;(6)精神病患者。

1.3 方法 两组患者均予以常规抗血小板聚集、扩张血管、稳定斑块、调整血压及血糖等脑血管病二级预防治疗。

1.3.1 对照组 患者实施常规康复训练,主要

包括运动治疗、作业治疗、物理因子治疗、针灸治疗等,运动治疗主要以四大神经发育疗法为主(Brunnstrom技术、Bobath技术、PNF技术、Rood技术),主要治疗包括:被动关节活动训练、肌力训练、牵伸训练、主动控制训练、转移能力训练、平衡功能训练、步行功能训练等,30 min/次,5次/w,4 w为1个疗程,共2个疗程。

1.3.2 观察组 患者实施基于常规康复的下肢康复机器人训练,常规康复训练同对照组,下肢康复机器人训练采用广州一康医疗设备实业有限公司生产的A3-步态训练与评估系统。进行下肢康复机器人训练前先测量腿部长短,调节机器人装置及绑带尺寸,将机器人与患者绑定,打开开关,预热1 min后,进入操作界面,根据患者身体状况选择站立角度、踏步模式(单腿/双腿)、左/右腿活动范围(0~25°),步频20~30步/min,30 min/次,5次/w,4 w为1个疗程,共2个疗程。

1.4 观察指标 (1)采用步态分析系统测量对比治疗前后两组步速、步频、左右步幅差;(2)治疗前、治疗后两组进行脑电图测量、颅脑弥散张量成像(Diffusion tensor imaging, DTI)检查。步态分析采用全身三维步态与运动分析系统(江苏德长医疗科技有限公司),记录1 min患者平地步行情况,用测量软件综合分析,取平均值分别计算两组患者步速、步频、左右步幅差。脑电图测量采用Solar 3000N神经中央监护分析系统(北京太阳科技有限公司),按照国际10~20标准系统放置盘状电极,选择16导单极导联记录。放置电极包括Fp1、Fp2、F3、F4、F7、F8、T3、T4、T5、T6、C3、C4、P3、P4、O1、O2、A1、A2为耳电极,GND为参考电极。脑电图记录时间2 h,结束后存储脑电图及录像,选择无伪迹波段进行采样,波段不少于3 min,以10s为一个采样单元,用脑电图监护仪自带脑功能波谱分析对数据进行处理,按频带分布取各电极总数的平均值为所得数据,最终计算出两组患者治疗前、后的 δ/α 值(DAR)和脑对称指数(Brain symmetry index, BSI)。脑电图频段划分标准: α 波(8.0~13.9 Hz)、 β 波(14.0~30.0 Hz)、 θ 波(4.0~7.9 Hz)、 δ 波(1.0~3.9 Hz)。DTI检查采用Siemens Magnetom Skyra 3.0 T磁共振扫描机,采用标准20通道头颈联合线圈。DTI序列扫描参数:数据采集使用单次激发自旋回波平面成像(SE-EPI)序列,扫描参数为:TR/TE = 5500 ms/92 ms,翻转角90°,层厚3 mm,层间隔0 mm,层数为40层,FOV:240 mm × 128 mm × 240 mm,矩阵:128 mm × 128 mm,体素:大小为

1.8 mm × 1.8 mm × 3.0 mm。每层采集 20 个方向, 激发次数为 1, b 值选取 0 s/mm² 和 1000s/mm², 带宽 1562Hz/Px, 信噪比 1.0, 扫描时间 7 min 43 s。DTI 数据在西门子多模态后处理工作站进行处理, 由放射科专职医师在处理后的图像的病灶侧中央、边缘及对侧相应正常脑区共选取 4 处感兴趣区, 面积均为 10 mm², 分别测量病灶侧及对侧感兴趣区的各向异性分数(Fractional anisotropy, FA) 值, 并分别计算患侧和健侧平均值。

1.5 统计学分析 采用 SPSS 22.0 软件处理数据, 计量资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示, 先对数据进行正态性检验, 符合正态分布采用 *t* 检验, 不符合正态分布采用秩和检验; *P* < 0.05 表示差异有统计学意义, 计数资料采用 χ^2 检验。

2 结果

2.1 步速、步频、左右步幅差 治疗前两组步速、步频、左右步幅差对比, 差异无统计学意义 (*P* > 0.05), 治疗后观察组步速、步频高于对照组, 左右

步幅差低于对照组, 差异有统计学意义 (*P* < 0.05) (见表 2)。

2.2 脑电图结果 两组患者治疗前 DAR 值、BSI 值比较差异均无统计学意义 (*P* < 0.05); 对照组患者治疗后与治疗前比较 DAR 值、BSI 值均无统计学意义上的差异 (*P* > 0.05); 观察组患者治疗后 DAR 值、BSI 值与治疗前比较均降低, 且差异均有统计学意义 (*P* < 0.05), 与对照组相比, 观察组患者治疗后 DAR 值、BSI 值均降低, 且差异有统计学意义 (*P* < 0.05) (见表 3)。

2.3 颅脑 DTI 检查 FA 值比较 两组患者治疗前健侧 FA 值与患侧 FA 值比较差异均无统计学意义 (*P* > 0.05) 治疗后观察组患者健侧 FA 值较对照组明显提高, 且差异有统计学意义 (*P* < 0.05); 治疗后对照组患者健侧 FA 值、患侧 FA 值较治疗前均无统计学意义上的差异 (*P* > 0.05)。治疗后观察组患者健侧 FA 值较治疗前提高, 且差异有统计学意义 (*P* < 0.05) (见表 4)。

表 1 两组基线资料对比

组别	例数	年龄(岁)	发病时间(d)	性别		患侧	
				男	女	左侧	右侧
观察组	60	61.64 ± 9.75	34.57 ± 12.31	36	24	23	37
对照组	60	62.18 ± 7.71	35.12 ± 11.88	38	22	24	36
χ^2/t		0.187	-0.249	0.141		0.035	
<i>P</i>		0.852	0.804	0.707		0.852	

表 2 两组步速、步频、左右步幅差对比 ($\bar{x} \pm s$)

时间	组别	例数	步速(m/min)	步频(步/min)	左右步幅差(cm)
治疗前	观察组	60	5.79 ± 1.47	17.62 ± 3.69	8.65 ± 2.38
	对照组	60	6.03 ± 1.32	18.15 ± 3.78	8.02 ± 2.14
	<i>t</i>		0.941	0.777	1.525
	<i>P</i>		0.349	0.439	0.13
治疗后	观察组	60	16.17 ± 5.48	29.43 ± 5.66	4.41 ± 1.29
	对照组	60	12.30 ± 4.31	24.79 ± 4.81	5.67 ± 1.54
	<i>t</i>		4.3	4.839	4.858
	<i>P</i>		0.000	0.000	0.000

表 3 两组患者脑电图 DAR 值、BSI 值对比 ($\bar{x} \pm s$)

分类	例数	治疗前 DAR 值	治疗后 DAR 值	<i>t</i>	<i>P</i>	治疗前 BSI 值	治疗后 BSI 值	<i>t</i>	<i>P</i>
对照组	60	3.802 ± 1.123	3.657 ± 1.042	0.366	0.717	0.213 ± 0.146	0.163 ± 0.086	1.141	0.264
观察组	60	3.637 ± 1.254	2.835 ± 0.766	2.212	0.044	0.271 ± 0.171	0.090 ± 0.061	3.858	0.001
<i>t</i>		0.38	2.462	-	-	-0.997	2.683	-	-
<i>P</i>		0.707	0.020	-	-	0.372	0.012	-	-

表4 两组患者脑电图 DAR 值、BSI 值对比($\bar{x} \pm s$)

分类	n	健侧 FA 值		t	P	患侧 FA 值		t	P
		治疗前	治疗后			治疗前	治疗后		
对照组	60	0.635 ± 0.077	0.666 ± 0.056	-1.274	0.213	0.407 ± 0.042	0.414 ± 0.038	-0.494	0.625
观察组	60	0.651 ± 0.082	0.716 ± 0.056	-2.507	0.018	0.401 ± 0.035	0.409 ± 0.036	-0.562	0.579
t		-0.573	-2.433	-	-	0.37	0.395	-	-
P		0.572	0.022	-	-	0.714	0.696	-	-

3 讨论

脑卒中后下肢功能障碍的康复主要集中在步行功能的恢复,步行训练是下肢康复训练的重要方法。重复性模拟地面自然行走步态并获得正确本体感觉及外部感觉反馈是步行训练取得良好效果的关键^[10]。但是治疗师的耐力和训练方法并不能长时间维持在同一水准,同时,治疗师之间的治疗水平并不一致,因此,人工辅助步行训练的长时间重复性和不同患者的训练效果会受到一定的限制^[11]。与人工辅助步行训练相比,下肢康复机器人可以在一定程度上代替治疗师的劳作,提供持续的,不间断的康复训练,没有身体上的负担,没有时间上的限制。此外,机器人能够获得和记录数据,如位置,速度,交互力,或生物信号与各种传感器。该定量数据可用于进一步的离线分析,从而对患者的康复情况进行客观评价^[11,12],甚至可用于机器人适应患者当前状态的行为^[13,14]。

在既往的多数研究中已表明,下肢康复机器人训练对于亚急性期或慢性期脑卒中患者的康复应用不仅是安全的^[15]、低成本的,而且也能够提高患者的步行功能、平衡功能和日常生活能力,特别是对于慢性期的患者步行速度和步行耐力的提高效果更好^[4,6,16]。本研究显示,治疗后观察组步速、步频高于对照组,左右步幅差低于对照组($P < 0.05$),提示对缺血性脑卒中患者实施基于常规康复的下肢机器人康复训练,可改善患者步行能力。这一结论与既往的研究结果相一致。

然而,下肢运动功能恢复除了下肢肌肉、关节功能的恢复之外,仍有赖于上运动神经元的调控^[7]。脑卒中可造成运动中枢损伤,阻碍躯体感觉传入,影响运动的产生与调节能力。而大脑具有可塑性,受经验及外界环境作用可塑造大脑功能与结构,通过特定、重复的训练活动可使重组大脑接受反复刺激,学习并存储正确运动模式,重建脑功能。下肢康复

训练可促进中枢神经结构修复、功能重组,恢复中枢神经功能。大鼠试验发现,早期运动训练可改变局灶性脑缺血大鼠健脑突触界面结构,促使突触长时程增强,上调大鼠梗死灶对侧海马区神经元 N-甲基-D-天冬氨酸受体功能,恢复脑缺血大鼠学习记忆功能,康复训练能加快建立脑侧支循环,促进病灶周围组织重塑,发挥脑可塑性,并能增加相应皮质区血流量,为神经元再生重塑创造良好环境^[17]。下肢康复机器人训练可增加训练密度,保持康复训练的稳定性、科学性,持续刺激下肢运动神经、感觉神经,并传导运动中枢,对其产生刺激,应该能够促进中枢神经功能重建。本研究采用脑电图数据中 DAR 比值和脑对称指数(BSI)来对脑卒中康复后中枢神经的放电兴奋性进行定量分析,并应用头部磁共振弥散张量成像来重建神经纤维束,计算各向异性分数即 FA 值,来定量衡量神经纤维束的恢复情况,从而对比观察基于常规康复的下肢康复机器人训练与只进行常规康复后患者的脑功能变化。研究表明^[18] DAR 值是判断神经损伤和预后的重要指标,在缺血性卒中患者的病情及预后评估方面有着较高的准确度和特异性;脑对称指数是中枢神经恢复的重要指标,代表左右大脑半球功率谱的差异,能够量化评估两侧半球在频率分布和波幅大小方面的差异,也就是传统脑电图所说的左、右大脑半球导联的对称性,它的变化范围是 0-1,值越小表示对称性越好,值越大表示差异性越大^[19]。而神经纤维束,特别是皮质脊髓束是随意运动的重要传导通路,定量分析 FA 值能够直观判断神经纤维束的恢复情况^[20,21]。研究结果显示:经过 8 w,共两个疗程的康复训练,观察组患者脑电图 DAR 值不仅较治疗前降低($P < 0.05$),而且与对照组比较同样降低($P < 0.05$),同时观察组 BSI 值在治疗后与治疗前比较明显降低($P < 0.05$),与对照组比较也显著降低($P < 0.05$)。由此可见,与单独进行常规康复训练相比,下肢康复机器人训练能够

更好的提高中枢神经的兴奋性,提高损伤大脑的脑电频率,从而促进脑电网络的重组,最终改善双侧大脑功能的对称性,促进脑功能的恢复。而 DTI 结果显示,两组患者患侧大脑 FA 值治疗前、后无明显差异($P > 0.05$),而健侧大脑 FA 值治疗后较治疗前有所提高($P < 0.05$),且与对照组相比也有提高($P < 0.05$)。根据研究结果分析:虽然目前研究发现中枢神经在一定程度上可以再生重组^[22],但是,神经生长速度缓慢,随着时间的推移,损伤的神经周围内环境及本身出现变化使中枢神经的修复是有限的,因此,两组患者患侧 FA 值在短时间内并没有明显差异。而双侧大脑半球又有着密切的联系,当新生的神经不足以修复损伤的神经,后期运动功能的恢复可能就主要靠健侧大脑神经的代偿。研究的数据也表明,患者脑电的逐渐活跃、大脑对称指数的改善可能与患侧大脑功能的恢复有关,而健侧大脑 FA 值的提高关键在于基于常规康复的下肢康复机器人训练增强了健侧大脑的代偿作用。

综上所述,基于常规康复的下肢机器人康复训练能够提高缺血性脑卒中患者下肢运动功能,改善患者的步行能力,促进患者脑损伤后脑功能的重建。本研究不足之处,样本均选自本医院,纳入观察的样本偏少,虽然康复时间有近 2 m,但是按照中枢神经恢复的理论,观察时间仍然较短,在特定的时间内中枢神经的变化可能并不会很大,且没有进行后期随访,仍有待进一步研究。

[参考文献]

- [1] Langhorne P, Coupar F, Pollock A. Motor recovery after stroke: a systematic review[J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8(8): 741-754.
- [2] 樊巍. 危重脑卒中患者的急诊流行病学分析及其干预措施探讨[J]. *临床急诊杂志*, 2017, 18(11): 854-856.
- [3] 中华医学会神经病学分会. 中国脑卒中早期康复治疗指南[J]. *中华神经科杂志*, 2017, 50(6): 405-412.
- [4] Chang JL, Lin RY, Saul M, et al. Intensive seated robotic training of the ankle in patients with chronic stroke differentially improves gait[J]. *Neurorehabilitation*, 2017, 41(1): 61-68.
- [5] 王大武, 白定群, 邵岚, 等. 下肢康复机器人训练对脑卒中偏瘫侧膝关节本体感觉的影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2016, 31(9): 950-954.
- [6] Erbil D, Tugba G, Murat TH, et al. Effects of robot-assisted gait training in chronic stroke patients treated by botulinum toxin-a: A pivotal study[J]. *Physiother Res Int*, 2018, 23(3): e1718.
- [7] Cauraugh JH, Summers JJ. Neural plasticity and bilateral movements: A rehabilitation approach for chronic stroke[J]. *Prog Neurobiol*, 2005, 75(5): 309-320.
- [8] 吴涛, 顾捷, 李建华, 等. 下肢外骨骼机器人辅助步行训练系统的研发及临床康复应用进展[J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2014, 36(12): 960-962.
- [9] 中华医学会全国第四届中华医学会全国第四次脑血管病学术会议. 各类脑血管病诊断要点[J]. *中华神经科杂志*, 1996, 29(12): 379.
- [10] 李正宇, 陈惠琼. 下肢康复机器人训练对早期脑卒中偏瘫患者下肢功能的康复效果观察[J]. *现代诊断与治疗*, 2015, 26(8): 1843-1844.
- [11] Masiero S, Poli P, Rosati G, et al. The value of robotic systems in stroke rehabilitation[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2014, 11(2): 187.
- [12] Meng W, Liu Q, Zhou Z, et al. Recent development of mechanisms and control strategies for robot-assisted lower limb rehabilitation[J]. *Mechatronics*, 2015, 31: 132-145.
- [13] Guo B, Han J, Li X, et al. Research and Design of a New Horizontal Lower Limb Rehabilitation Training Robot[J]. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2016, 13(1): 1.
- [14] Galvez JA, Budovitch A, Harkema SJ, et al. Trainer variability during step training after spinal cord injury: Implications for robotic gait-training device design[J]. *J Rehabil Res Dev*, 2011, 48(2): 147-160.
- [15] Gandolfi M, Geroin C, Tomelleri C, et al. Feasibility and safety of early lower limb robot-assisted training in sub-acute stroke patients: a pilot study[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2017, 53(6): 870-882.
- [16] Bustamante Valles K, Montes S, Madrigal Mde J, et al. Technology-assisted stroke rehabilitation in Mexico: a pilot randomized trial comparing traditional therapy to circuit training in a Robot/technology-assisted therapy gym[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2016, 13(1): 83.
- [17] 米海霞, 张通, 缪培, 等. 早期运动训练对大鼠局灶性脑缺血后运动功能及磁共振弥散张量成像的影响[J]. *中国康复理论与实践*, 2016, 22(1): 1-7.
- [18] Finnigan S, Wong A, Read S. Defining abnormal slow EEG activity in acute ischaemic stroke: Delta/alpha ratio as an optimal QEEG index[J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127(2): 1452-1459.
- [19] van Putten MJ, Tavy DL. Continuous quantitative EEG monitoring in hemispheric stroke patients using the brain symmetry index[J]. *Stroke*, 2004, 35(11): 2489-2492.
- [20] 邵晨兰. 磁共振弥散张量成像在亚急性脑梗死皮质脊髓束损伤及远期运动功能恢复中的应用[D]. 泸州医学院, 2014.
- [21] 曾皎, 陈红群, 刘芳. 弥散张量成像评估急性脑梗死康复治疗前后运动功能变化与预后的相关性[J]. *中风与神经疾病杂志*, 2016, 33(4): 334-337.
- [22] Gordon T. Nerve regeneration in the peripheral and central nervous systems[J]. *J Physiol*, 2016, 594(13): 3517-3520.