

· 临床研究 ·

骨盆辅助式康复机器人训练对急性期脑梗死患者躯干控制及步行功能的影响

施爱梅 郑琦 顾旭东 柏和风 姚云海 傅建明 李岩 陆操 孙亚

嘉兴市第二医院康复医学中心 314000

通信作者:柏和风,Email: baihefeng1218@163.com

【摘要】 目的 观察骨盆辅助式康复机器人训练对急性期脑梗死患者躯干控制及步行功能的影响。**方法** 采用随机数字表法将 40 例急性期脑梗死偏瘫患者分为观察组及对照组,每组 20 例。2 组患者均给予常规药物治疗及康复训练,观察组患者在此基础上给予骨盆辅助式康复机器人训练,每天训练 1 次,每周训练 5 d,连续干预 4 周。于治疗前、治疗 4 周后(治疗后)分别采用简式 Fugl-Meyer 运动功能量表(下肢部分)、功能性步行分级量表(FAC)、躯干控制测试(TCT)及机器人检测系统对 2 组患者下肢运动功能、步行能力、躯干控制能力和骨盆运动情况进行评估。**结果** 治疗后,2 组患者下肢 FMA 评分、FAC 分级、TCT 评分及骨盆运动参数均较治疗前明显改善($P<0.05$),并且观察组下肢 FMA 评分[(19.35 ± 2.54)分]、FAC 分级[(2.85 ± 0.67)级]、TCT 评分[(74.65 ± 7.86)分]及骨盆侧向位移[(10.05 ± 1.54)cm]、高度位移[(14.25 ± 1.94)cm]、旋转角度[(9.15 ± 1.72)°]、侧倾角度[(21.35 ± 2.18)°]均显著优于同期对照组水平,组间差异均具有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 骨盆辅助式康复机器人训练能显著改善急性期脑梗死患者躯干控制及步行功能,且疗效明显优于常规康复训练。

【关键词】 康复机器人; 脑梗死; 躯干控制; 步行

基金项目:浙江省医药卫生科技计划项目(2020KY954)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.08.005

Robotic pelvic assistance better improves trunk control and walking after a stroke

Shi Aimei, Zheng Qi, Gu Xudong, Bai Hefeng, Yao Yunhai, Fu Jianming, Li Yan, Lu Cao, Sun Ya

Rehabilitation Medical Center of the Second Hospital of Jiaxing, Jiaxing 314000, China

Corresponding author: Bai Hefeng, Email: baihefeng1218@163.com

【Abstract】 Objective To explore any effect of training assisted by a pelvic rehabilitation robot on trunk control and walking after cerebral infarction. **Methods** Forty cerebral infarction survivors with hemiplegia were randomly divided into an experimental group and a control group, each of 20. Both groups were given routine neurological medication and rehabilitation training, while the experimental group was additionally provided with 20 minutes of robot-assisted gait training daily, five times a week, for 4 weeks. Before and after the intervention, the motor function, walking function, trunk control and pelvic movement were assessed using a simplified version of the Fugl-Meyer assessment (FMA-LL), functional ambulation categories (FAC) and the trunk control test (TCT). **Results** After the treatment, significant improvement was observed in all of the above measurements in both groups. The average FMA-LL, FAC and TCT results of the experimental group as well as their average pelvic lateral displacement, height displacement, rotation angle and roll angle were all significantly superior to the control group's averages. **Conclusions** Robot-assisted training can effectively improve lower limb motor functioning, trunk control, walking and pelvic motion after cerebral infarction, with better curative effect than routine rehabilitation training alone.

【Key words】 Robotics; Cerebral infarction; Trunk control; Walking

Funding: Zhejiang Province Medical and Health Science and Technology Project (2020KY954)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.08.005

脑梗死患者常表现一侧肢体瘫痪,丧失活动能力,造成不同程度功能障碍;据报道,超过 60% 的脑卒中患者均残留有不同程度运动功能障碍^[1]。偏瘫后肢

体功能恢复是脑卒中康复治疗的主要目标之一,而骨盆、躯干控制对稳定肢体功能具有重要作用^[2]。相关研究指出,人体功能活动需要肢体与躯干相互配合,而

躯干及骨盆控制能力优劣将直接影响人体运动功能、平衡功能及步行能力^[3-4],因此尽快恢复骨盆及躯干控制对卒中患者肢体功能改善具有重要意义。

近年来,智能化康复机器人已被广泛应用于临床治疗中,有大量文献报道,康复机器人训练能改善卒中患者下肢运动功能^[5]。然而,关于康复机器人训练对急性期脑梗死患者躯干控制及骨盆运动的影响鲜见报道。基于此,本研究在常规干预基础上对 40 例急性期脑梗死患者给予骨盆辅助式康复机器人训练,并探讨对其骨盆、躯干控制、运动功能及步行能力的影响,现报道如下。

对象与方法

一、研究对象

患者纳入标准包括:①均符合全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑梗死诊断标准^[6],并经头颅 CT 或 MRI 检查证实;②首次发病,病程 7~14 d;③年龄 45~75 岁;④患者生命体征平稳;⑤偏瘫侧下肢 Brunnstrom 分期≥Ⅲ期;⑥患者意识清楚,依从性较好;⑦患者认知功能无明显异常,简易精神状态量表(mini-mental state examination,MMSE)评分≥27 分;⑧患者及家属均对本研究知晓并签署知情同意书,本研究同时经嘉兴市第二医院伦理学委员会审批(JXEY-2020SW042)。患者排除标准包括:①合并心、肝、肾等重要脏器损伤或患有恶性肿瘤等疾病;②伴有下肢严重骨质疏松、震颤、骨折、疼痛、深静脉血栓等;③既往有颅脑外伤、其他颅内疾病等;④患者有意识障碍、精神障碍等;⑤患者身高≤150 cm 或≥180 cm。

选取 2020 年 1 月至 2020 年 12 月期间在嘉兴市第二医院康复医学中心治疗且符合上述标准的 40 例急性期脑梗死患者作为研究对象,采用随机数字表法将其分为观察组及对照组,每组 20 例。2 组患者一般资料情况(详见表 1)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。

二、治疗方法

2 组患者均给予常规药物治疗及康复训练,常规药物治疗包括血压及血糖控制、减轻脑水肿、营养神经、改善脑代谢、扩容脑循环等;常规康复训练包括良姿位摆放、关节被动活动、卧位下骨盆左右旋转训练、骨盆前后倾斜训练、坐位下躯干屈曲及旋转训练、坐位

下躯干前后倾斜训练、肌力训练、重心转移、站立训练及步行训练等,每日训练 1 次,每次持续约 40 min,每周训练 5 d,连续训练 4 周。

观察组患者在上述干预基础上给予骨盆辅助式康复机器人训练,采用由嘉兴市第二医院、上海大学及上海电气研究中心共同研发的 Natural Gait 型骨盆辅助式下肢康复机器人,该机器人由立柱部件、减重带、骨盆辅具、H/P/Cosmos 运动平板、显示屏、集成传感器及电脑操作系统等组成(图 1)。训练前先测量患者心率及血压并确定上述指标在稳定范围内,指导患者佩戴 Biodex 腰带,并用束缚带(约减重 4 kg)绑定于骨盆辅具上;调节患者骨盆高度范围(即骨盆辅具与运动平板的垂直距离)为 95~126 cm、旋转范围为 0~35°、侧倾范围为 0~30°;选择跟随训练模式(即跑台速度随患者步行速度改变),运动平板最大速度<2 km/h;嘱患者在设备引导下进行步行训练,机器人系统能根据患者步行速度调整运动平板速度、坡度以及引导力;在训练过程中当患者心率超过年龄标准化最高心率 75%水平或有其他明显不适时须立刻停止训练。上述机器人辅助训练每日 1 次,每次持续 20 min,每周训练 5 d,连续治疗 4 周。



图 1 本研究骨盆辅助式康复机器人训练示意图

三、疗效评定分析

于治疗前、治疗 4 周后(治疗后)对 2 组患者进行疗效评定,具体评定内容包括以下方面。

1. 下肢运动功能评估:采用简式 Fugl-Meyer 运动功能量表(Fugl-Meyer assessment,FMA)下肢部分评估患者下肢运动功能情况,该量表共包括 17 个下肢评定项目,满分为 34 分,得分越高表示患者下肢运动功能越好^[7]。

表 1 入选时 2 组患者一般资料情况比较

组别	例数	性别(例)		年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	病程(d, $\bar{x}\pm s$)	偏瘫侧别(例)		下肢 Brunnstrom 分期(例)	
		男	女			左侧	右侧	Ⅲ期	Ⅳ期
对照组	20	11	9	66.65±4.79	14.25±2.19	13	7	8	12
观察组	20	12	8	68.15±4.17	14.55±2.01	14	6	9	11

表 2 治疗前、后 2 组患者各项骨盆运动学指标比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	侧向位移 (cm)	高度位移 (cm)	旋转角度 (°)	侧倾角度 (°)
对照组					
治疗前	20	12.85±1.46	18.85±2.06	12.55±2.82	26.65±3.32
治疗后	20	11.05±1.19 ^a	15.65±1.93 ^a	10.65±2.76 ^a	23.55±3.39 ^a
观察组					
治疗前	20	13.75±1.37	19.25±2.15	13.60±2.68	25.05±2.21
治疗后	20	10.05±1.54 ^{ab}	14.25±1.94 ^{ab}	9.15±1.72 ^{ab}	21.35±2.18 ^{ab}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$

2.骨盆运动功能评估:采用机器人传感系统检测患者行走训练过程中骨盆运动轨迹,测试前患者先适应系统 10 min,正式测试约耗时 1 min,分析指标包括骨盆侧向位移、高度位移平均距离及骨盆旋转、侧倾平均角度。

3.步行功能评估:采用功能性步行分级 (functional ambulation category,FAC) 评估患者步行功能情况,该量表结果共分为 6 个等级,0 级指不能行走或完全依靠轮椅或需 2 人以上帮助行走;1 级指需双拐支撑或需 1 人持续有力帮助行走、维持平衡;2 级指持续或间断需 1 人帮助平衡或协调才能行走,或需矫形器或单拐等维持平衡;3 级指可行走但需 1 人监护或言语指导;4 级指仅能在平地上独立行走;5 级指可独立行走任何地方。FAC 等级越高,表示患者步行功能越好^[8]。

4.躯干控制能力评估:采用躯干控制测试 (the trunk control test,TCT) 评估患者躯干控制能力情况,该测试要求患者完成以下 4 个动作,分别是转向瘫痪侧 (在床上)、转向健侧 (在床上)、坐位保持平衡 (在床边或无扶手椅子上) 及卧位坐起。如患者不能完成计 0 分,能完成但需一些帮助 (抓或倚靠物体) 计 12 分,正常完成计 25 分,TCT 满分为 100 分,得分越高表示患者躯干控制能力越强^[9]。

四、统计学方法

本研究所得计量资料以 ($\bar{x}\pm s$) 表示,采用 SPSS 20.0 版统计学软件包进行数据分析,所有计量资料均经正态分布及方差齐性检验,计量资料组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验,计数资料比较采用 χ^2 检验, $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

结 果

一、治疗前、后 2 组患者骨盆运动学参数比较

治疗前,2 组患者行走时骨盆侧向位移、高度位移、旋转角度及侧倾角度组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$);治疗后,2 组患者骨盆侧向位移、高度位移、旋转角度及侧倾角度与治疗前差异均具有统计学意义

($P<0.05$),并且观察组治疗后上述各项指标亦明显优于对照组水平,组间差异均具有统计学意义 ($P<0.05$),具体数据见表 2。

二、治疗前、后 2 组患者下肢 FMA、TCT 评分及 FAC 分级比较

治疗前 2 组患者下肢 FMA、TCT 评分及 FAC 分级组间差异均无统计学意义 ($P>0.05$);治疗后 2 组患者下肢 FMA、TCT 评分及 FAC 分级均较治疗前明显改善 ($P<0.05$);并且观察组治疗后上述指标结果亦显著优于对照组水平,组间差异均具有统计学意义 ($P<0.05$),具体数据见表 3。

表 3 治疗前、后 2 组患者下肢 FMA、TCT 评分及 FAC 分级比较($\bar{x}\pm s$)

组别	例数	下肢 FMA 评分 (分)	TCT 评分 (分)	FAC 分级 (级)
对照组				
治疗前	20	15.65±2.21	41.95±17.46	1.60±0.59
治疗后	20	17.65±2.52 ^a	58.95±12.23 ^a	2.05±0.69 ^a
观察组				
治疗前	20	16.35±1.66	43.95±13.06	1.65±0.67
治疗后	20	19.35±2.54 ^{ab}	74.65±7.86 ^{ab}	2.85±0.67 ^{ab}

注:与组内治疗前比较,^a $P<0.05$;与对照组治疗后比较,^b $P<0.05$

讨 论

本研究结果显示,治疗后观察组患者下肢 FMA、TCT 评分、FAC 分级、骨盆侧向和高度位移、骨盆旋转和侧倾角度均较治疗前及同期对照组明显改善 ($P<0.05$),表明骨盆辅助式康复机器人训练能有效改善急性脑梗死患者躯干控制、下肢运动功能及步行能力,其疗效显著优于常规康复干预。

脑梗死后患者偏瘫侧躯干及肢体活动失去中枢神经系统调控,致使其运动、姿势控制、感觉等功能丧失。躯干控制是患者进行躯体活动的先决条件^[10];躯干位于身体中心位置,由多块骨骼肌组成,其中最主要的肌肉是腹直肌、腹外斜肌、腹内斜肌、腹横肌及竖脊肌,起着稳定人体重心、传递力量及支撑四肢运动等作用。躯干及骨盆肌肉是人体运动的核心,在运动中具有稳定、传递、支撑等作用。相关研究指出,人体肢体活动

需要躯干配合,躯干及骨盆控制能力与机体平衡、步行、运动功能等密切相关^[11];躯干姿势^[12]、躯干肌及骨盆周围肌力是维持躯干稳定的重要因素,提高躯干、骨盆功能对脑卒中患者运动及步行功能恢复具有重要意义^[13-14]。

据相关研究报道,外骨骼机器人被认为是减轻物理治疗师重复、繁重工作的重要工具,同时还可以提高患者康复疗效^[15],如 Lokomat 能辅助患者进行步态训练^[16],Rewalk 能帮助患者步行及促进运动能力恢复^[17],Lokohelp 能辅助患者进行减重步行训练^[18],HAL 能提供额外动力辅助患者进行步行及上、下楼梯训练^[19]。本研究采用的 Natural Gait 型骨盆辅助式康复机器人是集骨盆控制、运动平板、数据传感及记录于一体的智能康复机器人,能辅助患者在减重状态下进行步行训练,并根据患者运动姿势实时调整重心高度及骨盆运动方向,智能化控制运动平板坡度及步行速度,能提高患者躯干及骨盆控制能力,改善步行稳定性;另外治疗师还可根据系统反馈的数字化信息实时调整训练参数,无需中断训练,有助于提高工作效率。

关于骨盆辅助式康复机器人改善急性期脑梗死患者下肢运动功能、骨盆运动、躯干控制及步行能力的作用机制,可能包括以下方面:①机器人系统能提供重复的周期性步行及骨盆训练,有助于巩固正确的运动模式,促进脑部记忆及储存相关运动信息,并激活大脑可塑性及加速功能重组^[20],对提高机体运动功能、改善步行能力具有重要作用;②患者在减重状态下其骨盆运动功能得到充分训练,能增强骨盆周围肌肉力量,提高骨盆控制能力及动态稳定性;③机器人辅助步行训练时患者上肢呈对称性摆动,躯干呈伸展姿态,并带动骨盆、躯干进行节律性旋转及侧屈运动,能优化躯干肌协同收缩能力,促使骨盆运动轨道呈对称性正弦曲线^[21],同时还能诱导腹直肌、腹内外斜肌、背阔肌及骶棘肌快速反应性收缩^[22],增加骨盆及躯干稳定性,有助于保持步行对称性及提高步行稳定性^[23];④患者在步行过程中其躯干运动方向及肢体运动方向不断发生变化,机器人辅助训练能促使患者躯干及下肢运动方向在动态时程上保持线性关系^[24],从而提高患者下肢运动功能,改善步行能力;⑤康复机器人辅助训练能模拟正常的步态,避免足下垂、内翻等偏瘫步态,在训练过程中还能提供保护,降低跌倒风险,能消除患者担心跌倒畏惧心理,提高其主动参与性及训练依从性^[25-26],同时康复机器人辅助训练还能减轻治疗师体能负担,有助于治疗师投入更多精力纠正患者错误运动方式,从而促进患者肢体功能全面恢复。

综上所述,骨盆辅助式康复机器人训练能改善急性期脑梗死患者骨盆运动、躯干控制、下肢运动功能及

步行能力,且疗效明显优于常规康复干预,该疗法值得在急性期脑梗死患者中推广、应用。需要指出的是,本研究还存在诸多不足,包括样本量偏少、入选标准较苛刻、疗效评价指标有待优化、未进行长期随访等,后续研究将针对上述不足进一步完善。

参 考 文 献

- [1] Hummel FC, Cohen LG. Non-invasive brain stimulation: a new strategy to improve neurorehabilitation after stroke [J]. *Lancet Neurol*, 2005, 5 (8): 708-712. DOI: 10.1016/S1474-4422(06)70525-7.
- [2] 廖亚萍, 杨红专, 许继旭, 等. 强化骨盆与躯干功能控制训练对脑卒中偏瘫患者运动能力的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2011, 33(4): 285-287. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2011.04.012.
- [3] 廖亮华, 江兴妹, 罗林坡, 等. 强化躯干肌训练对偏瘫患者平衡及步行能力的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2007, 29(8): 540-542. DOI: 10.3760/j.issn.0254-1424.2007.08.010.
- [4] 梁天佳, 吴小平, 龙耀斌, 等. 核心稳定性训练对脑卒中偏瘫患者运动功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2012, 34(5): 353-356. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2012.05.008.
- [5] 曲斯伟, 朱琳, 钱龙, 等. 镜像视觉反馈训练联合下肢康复机器人对脑卒中患者下肢运动功能的影响 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2022, 44(1): 30-34. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.01.005.
- [6] 中华神经科学会, 中华神经外科学会. 各类脑血管疾病诊断要点 [J]. *中华神经科杂志*, 1996, 29(6): 379-380.
- [7] Sullivan KJ, Tilson JK, Cen SY, et al. Fugl-Meyer assessment of sensorimotor function after stroke: standardized training procedure for clinical practice and clinical trials [J]. *Stroke*, 2011, 42(2): 427-432. DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.592766.
- [8] Hesse S, Konrad M, Uhlenbrock D. Treadmill walking with partial body weight support versus floor walking in hemiparetic subjects [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 1999, 80(4): 421-427. DOI: 10.1016/S0003-9993(99)90279-4.
- [9] Loewen SC, Anderson BA. Predictors of stroke outcome using objective measurement scales [J]. *Stroke*, 1990, 21(1): 78-81. DOI: 10.1161/01.STR.21.1.78.
- [10] Chae J, Johnston M, Kim H, et al. Admission motor impairment as a predictor of physical disability after stroke rehabilitation [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 1995, 74(3): 218. DOI: 10.1097/00002060-199505000-00007.
- [11] Cho DY, Park SW, Lee MJ, et al. Effects of robot-assisted gait training on the balance and gait of chronic stroke patients: focus on dependent ambulators [J]. *J Phys Ther Sci*, 2015, 27(10): 3053-3057. DOI: 10.1589/jpts.27.3053.
- [12] 胡进, 侯增广, 陈翼雄, 等. 下肢康复机器人及其交互控制方法 [J]. *自动化学报*, 2014, 40(11): 2378-2390. DOI: 10.3724/SP.J.1004.2014.02377.
- [13] 韩亮, 李惠琳, 陈晶晶, 等. 脑卒中后躯干控制障碍研究进展 [J]. *中国老年保健医学*, 2018, 16(2): 5-8. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2671.2018.02.002.
- [14] 范杰诚, 于海宁, 王留根, 等. 脑卒中后不同侧偏瘫患者躯干控制能力恢复的差异化研究 [J]. *中华物理医学与康复杂志*, 2018, 40(1): 35-37. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2018.01.009.

- [15] 李慧,陈颖伟,喻洪流,等.下肢外骨骼康复机器人运动感知系统的研究进展[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(1):82-86. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2021.01.023.
- [16] Nathalia C,Marcela M,Catalina G,et al.Social human-robot interaction for gait rehabilitation[J].IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2020,28(6):1299-1307.DOI:10.1109/TNSRE.2020.2987428.
- [17] Benson I,Hart K,Tussler D,et al.Lower-limb exoskeletons for individuals with chronic spinal cord injury;findings from a feasibility study [J]. Clin Rehabil, 2016, 30 (1): 73-84. DOI: 10. 1177/0269215515575166.
- [18] Freivoge S,Mehrholz J,Husak-Sotomayor T,et al.Gait training with the newly developed LokoHelp-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke,spinal cord and brain injury.A feasibility study[J]. Brain Inj, 2008, 22 (7-8): 625-632. DOI: 10. 1080/02699050801941771.
- [19] Tsurushima H, Mizukami M, Yoshikawa K, et al. Effectiveness of a walking program involving the hybrid assistive limb robotic exoskeleton suit for improving walking ability in stroke patients:protocol for a randomized controlled trial[J].JMIR Res Protoc,2019,8(10):e14001. DOI:10.2196/14001.
- [20] Lou L,Shou T,Li Z,et al.Transhemispheric functional reorganization of the motor cortex induced by the peripheral contralateral nerve transfer to the injured arm[J].Neuroscience,2006,138(4):1225-1231. DOI:10.1016/j.neuroscience.2005.11.062.
- [21] 吴华,顾旭东,徐从英,等.机器人辅助步行训练对脑卒中后偏瘫患者骨盆运动能力和步行功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2019,41(3):174-177. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-1424. 2019.03.003.
- [22] Duarte E,Marco E,Muniesa JM,et al.Trunk control test as a functional predictor in stroke patients[J].J Rehabil Med,2002,34(6):267-272. DOI:10.1080/165019702760390356.
- [23] Coenen P, van Werven G, van Nunen MP, et al. Robot-assisted walking vs overground walking in stroke patients;an evaluation of muscle activity[J].J Rehabil Med, 2012, 44 (4): 331-337. DOI: 10. 2340/16501977-0954.
- [24] 杨国梁,司福中,李德洋,等.躯干及肢体配套组合训练对脑梗死患者运动功能恢复的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2007,29(1):37-40.DOI:10.3760/j.issn:0254-1424.2007.01.010.
- [25] Swinnen E,Beckwde D,Meeusen R,et al.Does robot-assisted gait rehabilitation improve balance in stroke patients? a systematic review [J].Top Stroke Rehabil,2014,21(2):87-100.DOI:10.1310/tsr2102-87.
- [26] 郑琦,施爱梅,顾旭东,等.骨盆辅助式康复机器人对急性期脑梗死患者下肢功能和膝关节本体感觉的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2021,43(10):895-898. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0254-1424.2021.10.007.

(修回日期:2022-03-21)

(本文编辑:易 浩)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊对基金项目的有关要求

论文所涉及的课题若取得国家或部、省级以上基金资助或属攻关项目,请以中英文双语形式脚注于文题页左下方,如“基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划)(2013CB532002);国家自然科学基金(30271269);Funding:National Key Basic Research Program of China(973 Program)(2013CB532002);National Natural Science Foundation of China(30271269)”,并请附基金证书复印件。论文刊登后获奖者,请及时通知编辑部,并附获奖证书复印件。