

· 临床研究 ·

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

曲斯伟 朱琳 钱龙 杨晓龙 宋为群

首都医科大学宣武医院康复医学科, 北京 100053

通信作者: 宋为群, Email: songwq66@163.com

【摘要】 目的 探讨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。**方法** 将 60 例脑卒中患者按随机数字表法分为对照组、机器人组和联合组, 每组 20 例。3 组患者均接受康复科常规康复训练, 机器人组在此基础上进行 4 周的下肢康复机器人辅助步行训练(每次 30 min、每日 1 次、每周 5 d), 联合组在机器人组基础上增加镜像视觉反馈训练(每次 20 min、每日 1 次、每周 5 d)。治疗前和治疗 4 周后(治疗后), 采用简式 Fugl-Meyer 运动功能量表下肢部分(FMA-LE)、Berg 平衡量表(BBS)和 Holden 功能性步行分级(FAC)评价患者的下肢功能和步行能力。**结果** 治疗前, 3 组患者 FMA-LE、BBS 评分及 FAC 分级比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。3 组患者治疗后 FMA-LE、BBS 评分及 FAC 分级均较组内治疗前有所改善($P<0.05$)。机器人组治疗后 FMA-LE、BBS 评分及 FAC 分级较对照组优异($P<0.05$), 且联合组治疗后 FMA-LE[(21.95±2.95)分]、BBS 评分[(35.65±3.53)分]、FAC 分级优于机器人组, 差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 在常规康复治疗基础上, 增加下肢康复机器人训练能提高脑卒中患者的下肢运动功能和步行能力, 联合镜像视觉反馈治疗的效果更显著。

【关键词】 脑卒中; 下肢; 康复; 镜像视觉反馈; 机器人辅助步行训练

基金项目: 首都医科大学宣武医院院级课题(XWJL-2019019)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.01.005

Effects of combining mirror visual feedback with robot-assisted gait training on the lower limb functioning of stroke survivors

Qu Siwei, Zhu Lin, Qian Long, Yang Xiaolong, Song Weiqun

Rehabilitation Department, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China

Corresponding author: Song Weiqun, Email: songwq66@163.com

【Abstract】 Objective To investigate any effect of combining mirror visual feedback (MVF) training with robot-assisted gait training (RGT) in promoting the recovery of lower limb motor function among stroke survivors. **Methods** Sixty stroke survivors were randomly divided into a combined treatment group, an RGT group and a control group, each of 20. In addition to traditional rehabilitation, the RGT group received 30min of RGT 5 days a week for 4 weeks, while the combined treatment group underwent 30min of RGT and also 20min of MVF training with the same frequency and duration. Before and after the treatment, the lower extremities motor functioning and walking ability of all of the patients were assessed using the Fugl-Meyer Assessment for the lower extremities (FMA-LE), the Berg Balance Scale (BBS) and Functional Ambulation Categories (FAC). **Results** There were no systematic differences in any of the measurements before the treatment. After the 4 weeks, however, the average FMA-LE, BBS and FAC scores of the combined treatment and RGT groups were significantly better than the control group's averages, and those of the combined treatment group were significantly superior to the RGT group's. All of the groups had, however, improved significantly compared with before the treatment. **Conclusions** Robot-assisted gait training is more effective in enhancing the motor functioning of the lower extremities and walking ability when it is combined with MVF.

【Key words】 Stroke; Lower limbs; Rehabilitation; Mirror visual feedback; Robot-assisted gait training

Funding: A Project of Xuanwu Hospital of Capital Medical University (XWJL-2019019)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2022.01.005

脑卒中患者的运动功能障碍主要表现为偏瘫,其中有 1/3~1/2 的患者遗留有下肢功能障碍和步行障碍,严重影响其日常生活质量^[1-2]。随着技术的进步,下肢康复机器人已经广泛用于脑卒中患者的康复治疗,且被证实能够有效提高脑卒中患者的下肢运动功能和步行能力^[3]。镜像视觉反馈训练,又称镜像疗法,近年来逐渐被应用于脑卒中患者上肢运动功能的恢复,且效果较好^[4-6],但将其应用于脑卒中患者下肢功能训练的相关研究较少。本研究采用镜像疗法联合下肢康复机器人治疗脑卒中患者,旨在观察其对患者下肢运动功能和步行能力的影响。

对象与方法

一、研究对象

纳入标准:①患者均经头部 CT 或 MRI 检查,符合全国第 4 次脑血管病学术会议制订的脑卒中诊断标准^[7];②年龄 20~65 岁;③初发卒中 7 d~3 个月,生命体征稳定;④一侧肢体偏瘫,患侧下肢髋、膝和踝关节改良 Ashworth 量表(modified Ashworth scale, MAS)评定分级<2 级;⑤患侧下肢 Brunnstrom 分期 II~IV 期;⑥无认知功能障碍,简易精神状态检查量表(mini-mental state examination, MMSE)评分 ≥ 24 分^[8];⑦运动觉和视觉想象调查问卷(kinesthetic and visual imagery questionnaire, KVIQ) ≥ 25 分^[9];⑧坐位平衡 ≥ 2 级,坐位能耐受至少 20 min;⑨使用辅助具或需 1 人帮助下步行 10 m 以上;⑩本研究经首都医科大学宣武医院伦理委员会批准通过,批号为临研审[2020]046 号,患者本人或家属自愿签署知情同意书。

排除标准:①进展型脑卒中,小脑或脑干卒中;②卒中后抑郁或严重失语,精神病史;③双下肢和足部骨关节疾病,如骨折、截肢或严重骨质疏松、挛缩等;④双下肢长度差值 ≥ 2 cm;⑤体重 ≥ 130 kg,身高 ≥ 200 cm;⑥颅脑外伤、颅内肿瘤或癫痫等;⑦合并严重心、肝、肾及感染性疾病等严重内科疾病;⑧患者有严重视觉、听觉障碍;⑨不能按照治疗方法完成康复训练的患者;⑩病情加重患者。

选取 2019 年 7 月至 2020 年 1 月在首都医科大学宣武医院康复科就诊的脑卒中患者 60 例。按照随机数字表法将其分为对照组、机器人组和联合组,每组

20 例。3 组患者的性别、平均年龄、卒中类型、偏瘫侧别、病程等一般资料比较,差异无统计学意义($P>0.05$),具有可比性,详见表 1。

二、治疗方法

3 组患者均接受神经内科规范药物治疗和常规康复训练,机器人组在此基础上进行 4 周的下肢康复机器人辅助步行训练,联合组在机器人组基础上增加镜像视觉反馈训练。

1.常规康复训练:综合应用神经发育疗法,如利用联合反应、牵张反射引出随意运动、多种感觉输入、刺激感受器等,包括床上良肢位摆放、翻身、起坐及坐立位转移,患侧肢体主动-辅助关节活动训练,坐位和站位平衡训练、负重训练、步行训练、日常生活活动训练等,治疗师根据每位患者的具体情况,选择合适的常规治疗项目。上述训练每次 30 min,每日 2 次,每周 5 d,共 4 周。

2.下肢康复机器人训练:采用瑞士产 Locomat 下肢智能化康复机器人进行训练,此训练由经过专业培训的康复治疗师进行操作。具体步骤和参数设置如下:患者首次减重设置为 50% 体重,之后根据其耐受程度和训练适应性,逐步减少减重比例,但最多不得少于 30%;将患者外骨骼式下肢矫正装置的速度调至与配套跑台相一致,根据患者个体化设置训练步行速度,控制在 1.2~2.0 km/h;同时训练时根据由易到难的原则调节引导力,初始设定在 100%,逐步减少到 60%~90%。于下肢康复机器人 1 m 前放置姿势矫正镜,以避免患者低头。上述训练每次 30 min,每日 1 次,每周 5 d,共 4 周。

3.镜像疗法:患者在 PT 床或直靠背椅子上取端坐位,在双下肢间、正中矢状位放置一面高 100 cm×宽 50 cm 的治疗镜,镜面侧朝向健侧下肢,背面朝向患侧下肢。同时治疗师嘱患者将躯干和头部稍偏向健侧,以便能观察镜面中的运动成像。具体方法如下:①要求患者健侧下肢缓慢依次进行髋关节屈曲、内收、外展,膝关节屈曲、伸展,足跟触地时踝关节背屈,并保持一段时间,而患侧下肢则静止不动,嘱其将注意力全部注视在镜面中的下肢运动,利用视错觉想象其为患侧下肢的运动。每组动作 10 次,共做 3 组;②在上一阶段的基础上,要求患者健侧下肢缓慢进行上述运动时,

表 1 3 组患者一般资料

组别	例数	性别(例)		平均年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$)	卒中类型(例)		偏瘫侧别(例)		病程 [d, M(P ₂₅ , P ₇₅)]
		男	女		脑梗死	脑出血	左侧	右侧	
对照组	20	11	9	53.90 $\pm$ 10.55	12	8	6	14	34(21, 60)
机器人组	20	17	3	53.95 $\pm$ 14.02	13	7	12	8	46(27, 67)
联合组	20	14	6	55.55 $\pm$ 11.43	10	10	9	11	33(21, 53)

患侧下肢也尽力做出相同的动作,同时注视镜面中的下肢运动成像,想象成为双侧下肢一起运动。每组动作 10 次,共做 3 组。以上镜像疗法训练每次 20 min,每日 1 次,每周 5 d,共 4 周。

三、评定方法

治疗前和治疗 4 周后(治疗后),采用简式 Fugl-Meyer 运动功能量表下肢部分(Fugl-Meyer assessment-lower extremity, FMA-LE)、Berg 平衡量表(Berg balance scale, BBS)和 Holden 功能性步行分级(functional ambulation categories, FAC)评价患者的下肢功能和步行能力。

1. FMA-LE:分为 17 项内容,每项内容评分分别为 0、1 和 2 分,总分为 34 分,评分越高,表示下肢运动功能恢复越好^[10]。

2. BBS:共 14 项内容,每项内容评分分别为 0、1、2、3、4 分,满分 56 分,评分越高,表示平衡功能越好^[11]。

3. FAC:分为 6 级,0 级表示患者不能行走或需 2 人及以上辅助,1 级表示患者需 1 人连续帮助行走,5 级表示患者在任何地方均能够独立行走,级别越高表示患者步行能力越好^[12]。

四、统计学方法

采用 SPSS 21.0 版统计学软件包对数据进行处理。计数资料采用 χ^2 检验;服从正态分布的计量资料以($\bar{x}\pm s$)形式表示,治疗前、后 3 组患者下肢 FMA 评分和 BBS 评分的组内比较采用配对 t 检验,组间比较采用单因素方差分析,进一步两两组间比较采用最小显著差异法(least significant difference, LSD);不服从正态分布的计量资料采用中位数和四分位数 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,其组间比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验;FAC 属于等级资料,组内比较采用 Wilcoxon 秩和检验,组间比较采用 Kruskal-Wallis 秩和检验。 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

结 果

治疗前,3 组患者 FMA-LE、BBS 评分及 FAC 分级比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。与组内治疗前比较,3 组患者治疗后 FMA-LE、BBS 评分及 FAC 分级均有所改善($P<0.05$)。与对照组治疗后比较,机器人组 FMA-LE、BBS 评分及 FAC 分级较为优异($P<0.05$),且联合组治疗后上述指标优于机器人组,差异有统计学意义($P<0.05$)。详见表 2,表 3。

讨 论

镜像疗法作为一种双侧肢体训练,利用“视觉幻象”向大脑发出反馈,使支配患侧肢体的运动神经元

表 2 3 组患者治疗前、后 FMA-LE、BBS 评分比较(分, $\bar{x}\pm s$)

组别	例数	FMA-LE	BBS
对照组			
治疗前	20	10.70±2.68	13.85±2.72
治疗后	20	17.10±1.77 ^a	27.30±2.94 ^a
机器人组			
治疗前	20	10.85±2.56	13.30±2.98
治疗后	20	19.15±2.16 ^{ab}	30.45±3.20 ^{ab}
联合组			
治疗前	20	11.20±2.71	14.90±3.54
治疗后	20	21.95±2.95 ^{ac}	35.65±3.53 ^{ac}

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

表 3 3 组患者治疗前、后 FAC 分级比较(例)

组别	例数	0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
对照组							
治疗前	20	13	5	2	0	0	0
治疗后	20	10 ^a	8	2	0	0	0
机器人组							
治疗前	20	13	4	3	0	0	0
治疗后	20	6 ^{ab}	4	3	5	2	0
联合组							
治疗前	20	13	6	1	0	0	0
治疗后	20	0 ^{ac}	1	6	7	6	0

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

被激活,进而促进其突触的可塑性^[13-14]。镜像疗法的神经生理学基础是镜像神经元,大量实验研究证实其在人类大脑中广泛存在,包括前额叶皮质、前运动皮质、辅助运动皮质、中央前回下部、额下回后部、脑岛等部位^[15-16]。有研究报道,镜像疗法能显著增强人类大脑皮质区域活动,包括初级运动区(primary motor area, M1)、辅助运动皮质、上顶叶等^[17]。因此,本研究当中脑卒中患者进行镜像疗法训练时,治疗师要求患者患侧下肢尽可能完成与健侧下肢相同的动作,如髋、膝关节的屈曲伸展和踝关节背屈等,同时利用镜面提供的“视觉幻象”反馈,刺激大脑皮质相关区域,促进皮质脊髓束的传导,进而激活支配患侧肢体的镜像神经元,提高患侧下肢的运动功能。

脑卒中后偏瘫患者产生功能障碍的主要原因之一是大脑半球间交互抑制(interhemispheric inhibition, IHI)失衡所致。有研究显示,脑卒中患者在进行一侧肢体主动运动时,能够易化对侧大脑半球 M1 区的兴奋性,同时提高同侧半球皮质脊髓束传导通路的兴奋性,进而促进双侧肢体运动能力的提高^[18]。所以当患者进行健侧下肢的主动运动时,可以提高病灶侧皮质脊髓束的兴奋性,促进患侧下肢运动功能的恢复,减轻因 IHI 失衡对病灶侧 M1 区的抑制。Chieffo 等^[19]指

出,偏瘫患者患侧肢体的主动运动可以引起健侧肢体相应肌群的非自主收缩,被称为“镜面运动”,镜面运动可以减轻胼胝体的抑制作用,增强病灶侧 M1 区的兴奋性,改善患侧肢体的运动功能。因此,当患者进行镜像疗法训练时,双侧下肢同时运动,病灶侧 M1 区和皮质脊髓束能从对侧半球的运动通路中得到易化信号,激活相关神经元,减轻经胼胝体的交互抑制失衡,进而促进半球间神经网络平衡的再建立,这可能是镜像疗法促进脑卒中患者运动功能得到改善的原因之一。同时,由镜面所反射出的健侧下肢的正确运动图像,通过视觉输入反馈到大脑皮质,可以提高患侧下肢的本体感觉和存在意识,在大脑内逐步整合产生正确的“感知-运动幻象”,促使患侧下肢在训练过程中产生正确的运动模式,从而促进患者下肢运动和平衡能力的提高。

下肢康复机器人通过运用减重、迈步及平衡原则,实现下肢功能和步行的训练^[20]。脑卒中患者通过外骨骼系统,带动下肢各关节进行重复的主动运动,其训练模式如同正常人的步行,将正确的动作予以重复,不断刺激位于脊髓的步行中枢模式发生器,同时强化脚底、关节和肌腱的本体感觉输入,纠正错误的运动模式,提高患者的步行能力^[21]。本研究创新点在于通过镜像疗法的“中枢干预”作用促进脑功能重组,通过康复机器人的“外周干预”作用加强患侧肢体的本体感觉输入,将两者联合应用后,增加了感觉和运动之间的内在联系,强化了本体感觉-运动反馈环路,从而促进了患者骨盆、双下肢的控制能力和步行功能的改善。将镜像疗法与传统运动任务相结合时,有研究者利用脑电图的 β 波段证实,受试者双侧半球激活的不对称性比单侧运动训练时降低,尤其是在运动准备和执行阶段更加明显^[22],认为加入镜像疗法训练后可以最大限度地提高单纯康复训练的效果,与本研究结果类似。

本研究结果显示,3 组患者经过 4 周治疗后,FMA-LE 评分、BBS 评分和 FAC 分级较组内治疗前显著改善,联合组上述指标改善明显优于机器人组和对照组,提示镜像视觉反馈训练联合下肢康复机器人能够有效改善脑卒中患者的下肢运动功能、平衡能力和步行能力,较单纯训练效果更好。在今后的研究中,将会选用客观化的评定方法、增加样本量及治疗后随访,进行多中心、大样本的研究。综上所述,镜像疗法训练和下肢康复机器人均是改善脑卒中患者下肢运动功能和步行能力的有效方法,操作简便,二者联合应用的效果更加显著,值得临床应用。

参 考 文 献

[1] Murray CJ, Lopez AD. Measuring the global burden of disease[J]. N

Engl J Med, 2013, 369 (5): 448-457. DOI: 10.1056/NEJMr1201534.

[2] Fryer CE, Luker JA, McDonnell MN, et al. Self management programmes for quality of life in people with stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2016, 8(8): CD010442. DOI: 10.1002/14651858.CD010442.pub2.

[3] Masiero S, Poli P, Rosati G, et al. The value of robotic systems in stroke rehabilitation[J]. Expert Rev Med Devices, 2014, 11(2): 187-198. DOI: 10.1586/17434440.2014.882766.

[4] Ramachandran VS, Rogers-Ramachandran D. Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors [J]. Proc Biol Sci, 1996, 263 (1369): 377-386. DOI: 10.1098/rspb.1996.0058.

[5] Pérez-Cruzado D, Merchán-Baeza JA, González-Sánchez M, et al. Systematic review of mirror therapy compared with conventional rehabilitation in upper extremity function in stroke survivors[J]. Aust Occup Ther J, 2017, 64(2): 91-112. DOI: 10.1111/1440-1630.12342.

[6] Park JY, Chang M, Kim KM, et al. The effect of mirror therapy on upper-extremity function and activities of daily living in stroke patients [J]. J Phys Ther Sci, 2015, 27(6): 1681-1683. DOI: 10.1589/jpts.27.1681.

[7] 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.

[8] Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini- mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician [J]. J Psychiatr Res, 1975, 12(3): 189-198. DOI: 10.1016/0022-3956(75)90026-6.

[9] Malouin F, Richards CL, Jackson PL, et al. The kinesthetic and visual imagery questionnaire (KVIQ) for assessing motor imagery in persons with physical disabilities: a reliability and construct validity study [J]. J Neurol Phys Ther, 2007, 31(1): 20-29. DOI: 10.1097/01.npt.0000260567.24122.64.

[10] Gladstone DJ, Danells CJ, Black SE. The Fugl-Meyer assessment of motor recovery after stroke: a critical review of its measurement properties [J]. Neurorehabil Neural Repair, 2002, 16(3): 232-240. DOI: 10.1177/154596802401105171.

[11] Blum L, Korner-Bitensky N. Usefulness of the Berg balance scale in stroke rehabilitation: a systematic review [J]. Phys Ther, 2008, 88(5): 559-566. DOI: 10.2522/ptj.20070205.

[12] 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.

[13] Ramachandran VS, Altschuler EL. The use of visual feedback, in particular mirror visual feedback, in restoring brain function [J]. Brain, 2009, 132(Pt 7): 1693-1710. DOI: 10.1093/brain/awp135.

[14] Abolfazli M, Lajevardi L, Mirzaei L, et al. The effect of early intervention of mirror visual feedback on pain, disability and motor function following hand reconstructive surgery: a randomized clinical trial [J]. Clin Rehabil, 2019, 33(3): 494-503. DOI: 10.1177/0269215518811907.

[15] Cattaneo L, Rizzolatti G. The mirror neuron system [J]. Arch Neurol, 2009, 66(5): 557-560. DOI: 10.1001/archneurol.2009.41.

[16] Mukamel R, Ekstrom AD, Kaplan J, et al. Single-neuron responses in humans during execution and observation of actions [J]. Curr Biol, 2010, 20(8): 750-756. DOI: 10.1016/j.cub.2010.02.045.

[17] Saleh S, Adamovich SV, Tunik E. Mirrored feedback in chronic-stroke: recruitment and effective connectivity of ipsilesional sensori-motor networks[J]. Neuro rehabil Neural Repair, 2014,28(4): 344-354. DOI: 10.1177/1545968313513074.

[18] Perez MA, Cohen LG. Mechanisms underlying functional changes in the primary motor cortex ipsilateral to an active hand[J]. J Neurosci, 2008, 28(22): 5631-5640. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0093-08.2008.

[19] Chieffo R, Inuggi A, Straffi L, et al. Mapping early changes of cortical motor output after subcortical stroke: a transcranial magnetic stimulation study[J]. Brain Stimul, 2013, 6(3):322-329. DOI: 10.1016/j.brs.2012.06.003.

[20] Masiero S, Poli P, Rosati G, et al. The value of robotic systems in stroke rehabilitation[J]. Expert Rev Med Devices, 2014, 11(2): 187-198. DOI: 10.1586/17434440.2014.882766.

[21] Aprile I, Iacovelli C, Goffredo M, et al. Efficacy of end-effector robot-assisted gait training in subacute stroke patients: clinical and gait outcomes from a pilot bi-centre study[J]. NeuroRehabilitation, 2019, 45(2):201-212. DOI: 10.3233/NRE-192778.

[22] Rohafza M, Saleh S, Adamovich S. EEG sased analysis of cortical activity during mirror visual feedback target-directed movement[J]. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc, 2019, 2019:5156-5159. DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857945.

(修回日期:2021-12-10)

(本文编辑:凌琛)

《中华物理医学与康复杂志》第八届编辑委员会组成名单

总编辑:黄晓琳

副总编辑: 窦祖林 顾新 郭铁成 何成奇 李玲 刘宏亮 吴毅 燕铁斌 岳寿伟 周谋望

编辑委员: (含总编辑、副总编辑)(按姓氏拼音顺序排序)

教丽娟 白定群 白玉龙 毕胜 陈红 陈丽霞 陈青山 陈文华 窦祖林 杜青

范建中 冯珍 冯晓东 高晓平 顾新 顾旭东 郭琪 郭钢花 郭铁成 何成奇

何晓红 胡昔权 黄真 黄东锋 黄国志 黄晓琳 贾子善 姜志梅 金俏 李丽

李玲 李海峰 李红玲 李建华 李晓捷 李雪萍 梁英 廖维靖 刘楠 刘宏亮

刘遂心 刘忠良 卢红建 鲁雅琴 陆敏 陆晓 罗军 马超 牟翔 倪朝民

倪国新 潘钰 单春雷 邵明 宋为群 孙强三 唐强 王刚 王强 王彤

王宝兰 王冰水 王楚怀 王宁华 王玉龙 吴华 吴霜 吴毅 武继祥 肖农

谢青 谢荣 谢欲晓 许涛 许光旭 闫金玉 燕铁斌 杨建荣 杨卫新 叶超群

尹勇 于慧秋 余茜 虞乐华 袁华 岳寿伟 恽晓平 张芳 张皓 张桂青

张继荣 张锦明 张盘德 张巧俊 张长杰 张志强 郑光新 周谋望 朱宁 朱珊珊

中国香港编委: Leonard Sheung Wai LI(中国香港)

外籍编委: Akira Miyamoto(日本)Hao Liu(美国)Hong Wu(美国)

Li-Qun Zhang(美国)Nathan R. Qi(美国)Sheng Quan Xie(新西兰)

Sheila Purves(加拿大)Sheng Li(美国)Wenchun Qu(美国)