

运动想象的脑机制及其在运动功能 康复中应用的研究进展*

刘铁军^{1)**} 徐 鹏¹⁾ 余 茜²⁾ 尧德中¹⁾

(¹⁾ 神经信息教育部重点实验室, 电子科技大学生命科学与技术学院, 成都 610054; ²⁾ 四川省医学科学院康复科, 成都 610072)

摘要 运动想象对大脑相关功能有明显的改善作用, 目前正在大量应用于运动训练和康复治疗领域. 近年来随着诸如功能磁共振等成像工具的出现, 神经成像的复杂程度得到了不断提高, 从而推动了人们对运动想象的脑机制尤其是涉及多脑区之间的协同作用机制的认识逐步深入. 针对运动想象的多脑区之间相互协作机制及运动想象在运动功能康复中的应用作了详细介绍.

关键词 运动想象, 运动功能康复, 功能磁共振成像, 脑电图

学科分类号 Q42

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2010.00409

运动系统可以帮助我们完成各种所需的动作, 一个有趣的现象是: 对于同一个动作, 不同人的完成过程是不完全一样的, 即使是同一个人在不同的时间完成情况也有差别. 人类大部分的运动行为都是用于满足我们现实生活需求, 但是满足需求的方法并不是一成不变的, 而是随着需求的不同和环境的变化而变化的. Decety 等^[1]据此提出: 运动控制不会是一个严格的成体系的系统, 在这个系统中所有的运动过程都存储在一个“仓库”中, 控制系统调用这些过程来控制各个肌肉; 运动控制应该是运动过程与认知、感觉过程不断进行交互的结果. 大脑皮层的功能并不是固定不变的, 皮层间的联接与反应是根据外界刺激不断变化的, 不断的训练可以改变大脑皮层结构, 这就是皮层可塑性理论^[2]. 所以当大脑部分皮层受到损伤, 出现运动功能障碍时, 通过不断的训练, 可以实现运动功能的康复. 但是由于运动功能受损, 患者的自主运动能力将会部分或者全部丧失, 这就导致患者主动训练的方法将受到限制. 近年来出现的运动想象技术被认为是运动障碍康复治疗的重要新进展之一^[3].

运动想象(motor imagery, MI)是一个认知处理过程, 想象者想象自己执行一个动作, 但是没有肢体的活动, 甚至没有肌肉的收缩^[4]. MI 可分为肌肉

运动知觉想象和视觉运动想象. 在肌肉运动知觉想象过程中, 被试感觉到自己实际完成了动作. 在视觉运动想象中, 被试好像在一定距离处看到自己或者其他人完成了动作. MI 在不同的领域有不同的具体含义. 在体育运动领域, MI 是指运动活动在内心反复地模拟、排练, 而未伴有明显的身体运动. 即在暗示语的指导下, 在头脑中反复想象某种运动动作或运动情境, 从而提高运动技能和情绪控制能力. 在康复领域, MI 被认为能促进受损伤的运动传导通路修复或重建, 使一部分处于休眠状态的突触苏醒过来并担当起代偿的作用. 在脑机接口领域, 人们则试图通过识别不同的 MI, 实现大脑与外界设备的通讯. 从总体上看, 所有这几个方面都是在利用 MI 引起的神经活动的变化, 因此 MI 的神经机制问题成为众多领域的研究热点. 随着神经成像技术、方法的不断提高, 人们对运动想象的脑机制尤其是涉及的多脑区之间协同作用机制的认识逐步深入. 本文将针对运动想象的多脑区之间相

* 国家自然科学基金资助项目(60701015).

** 通讯联系人.

Tel: 028-83201018, E-mail: liutiejun@uestc.edu.cn

收稿日期: 2010-08-08, 接受日期: 2010-11-08

互协作机制及运动想象在运动功能康复中的应用理论作详细的介绍。

1 运动想象的神经机制

1.1 基于 fMRI 和脑电的运动想象脑机制研究

随着功能磁共振(fMRI)脑成像技术的发展,MI 相关研究在近年得到了较多的关注. 已有的一些研究表明,MI 与实际运动涉及的脑区相似,包括皮质运动前区(premotor cortex)、辅助运动区(supplementary motor area, SMA)、基底神经节(basal ganglion)、扣带回(callosal convolution)、顶叶皮层(parietal cortical)、小脑(cerebellum)等^[5-6]. Ehrsson 等^[7]的研究表明,想象手指、舌头、脚趾的运动可以系统地激活大脑初级运动皮层(primary motor cortex)的特定区域. 当想象手指运动时将激活初级运动皮层的手指区域,想象脚趾运动时将激活对侧附加运动皮层(contralateral supplementary motor area)足部区域后侧和对侧初级运动皮层的足部区域,想象舌头运动时将激活初级运动皮层舌头区域. Stippich 也发现了类似的现象. Li 等^[8]发现运动想象也可以激活脊髓运动神经元(spinal motoneurons). 这些现象表明,运动想象或多或少地反应了皮层活动的范式. 符合 Fadiga 的早期研究结果,即运动想象可能是实际运动脑激活的阈下活动状态.

Stinear 等^[9]的研究结果表明,肌肉运动知觉想象在运动学习上比视觉运动想象更有效. Decety 等^[10]通过训练被试想象自己或别人在完成一系列动作,对比两种运动想象的激活区域. 结果表明两者都和辅助运动区、中央前回(precentral gyrus)和楔前叶(precuneus)的神经网络激活有关. 而肌肉运动知觉想象则引起了左顶下小叶(inferior lobule)和躯体感觉皮层(somatosensory cortex)的活动,视觉运动想象则引起了右顶下小叶、后扣带回(posterior cingulate)和额极皮层(frontopolar cortex)的活动.

Lotze 等^[11]发现顶叶和左侧额叶损伤的病人不能进行运动想象并且不能完成想象手指敲击时的时间认知. 以上结果证明顶叶皮层对于运动想象具有十分重要的作用. Thobois 等^[12]通过 PET 发现帕金森病人存在运动想象缺失,这可能和多巴胺系统异常有一定的关联. Yaguez 等^[13]对帕金森病人和亨廷顿病人进行书写的运动想象训练,结果发现帕金森病人不能进行书写的运动想象和实际书写的动作. 而亨廷顿病人可以完成想象和实际动作. 当对

两类病人进行视觉运动想象训练时发现,帕金森病人不能进行视觉运动想象,亨廷顿病人视觉运动想象的效果与尾状核的萎缩有关. 这说明尾状核的萎缩与视觉运动想象有关而与肌肉运动知觉想象无关.

Ueno 等^[14]研究真实的手指运动和想象手指运动,结果显示,在真实的运动中对侧感觉运动皮层(motor and somatosensory cortex)有强烈的活动,在想象运动中对侧额下皮层(inferior frontal cortex)、同侧感觉运动皮层(ipsilateral motor somatosensory cortex)、中脑(midbrain)有较高的活动,其第一次报道了运动想象的皮层区域涉及了对侧额下皮层和中脑,作者认为这些区域在认知反馈中具有重要作用. Stinear 等^[9]的研究结果显示运动想象不仅仅激活相关的皮层区域而且还可以调节皮层区域的兴奋强度,这一发现对运动想象在临床的应用具有很重要的意义.

Mulder 等^[15]开展了运动想象学习的实验. 将被试随机分成运动想象组、实际运动组和控制组,实验的目的是让被试学习只动大脚趾而其他脚趾不动. 实验结果显示运动想象组合和实际运动组的被试大脚趾运动的灵活性明显增加,而控制组没有任何变化. 但是在运动想象组中,只有那些在实验前就能动大脚趾的被试的灵活性增加了,而那些实验前不能动大脚趾的被试大脚趾的灵活性没有显著增加. 这个结果指出运动想象的有效实施必须依赖被试已有的实际经验.

虽然目前的很多运动想象研究都是基于手、手指、舌头、脚等开展的,但是其得出的结论可以适用于其他身体运动器官的运动想象^[16]. 运动想象不仅在大脑激活区域上与实际运动有很高的相似性,在一些行为表现上也具有一定相似性. Parsons^[17]对比了运动与运动想象的反应时,发现两者的时间差异没有显著性. Decety 等^[18]对比了实际运动与运动想象时被试呼吸率和心率的变化,结果发现不仅仅是在实际运动时心率和呼吸率会增加,运动想象时二者也会明显增加. Mulder 等^[19]比较了 333 个被试在 XX 运动想象中年龄的差异. 被试被分成 3 个年龄段(< 30 岁; 30~64 岁和 > 64 岁),结果发现年老的被试肌肉运动知觉想象的能力较年轻的被试稍低. 通过这些现象可以推断出,运动想象与实际运动具有相同的作用机制,仅仅是在肌肉激活水平上存在差异.

脑电也是研究运动想象的重要手段之一. 在较

早的研究中, 人们通过脑电发现了在 MI 试验中有较为明显的事件相关去同步(event-related desynchronization, ERD)和事件相关同步(event-related synchronization, ERS)现象, 并认为它们是大脑神经元的同步和去同步化引起的。最近, Pfurtscheller 等^[20]又研究了在 MI 结束后出现的较为明显的 β 波反弹现象, 并认为利用这一信息有可能提高脑机系统的性能。然而, ERD/ERS 和 β 波反弹等与运动(想象)相关现象的神经机理还有待进一步研究。

Lim 等对比了帕金森病人在视觉运动想象和肌肉运动知觉想象后脑电的关联性负变化(contingent negative variation, CNV)。CNV 包含早成分和晚成分两个主要的成分, 早成分呈正向分布, 主要发源于前额叶和带状运动区, 晚成分起源于丘脑皮层中枢(gangliathalamocortical), 反映了初级运动皮层的活动。结果发现肌肉运动知觉想象较视觉运动想象对 CNV 晚成分的幅度有较大的影响。帕金森病人的视觉运动想象后, CNV 晚成分的幅度没有明显变化。而肌肉运动知觉想象后, CNV 晚成分的幅度有明显的增加。在正常被试中无论视觉运动想象还是肌肉运动知觉想象后, CNV 晚成分的幅度都没有明显变化。所以作者建议肌肉运动知觉想象对帕金森病人运动功能的康复有一定效果^[21]。但是他的结论与 Yaguez 和 Thobois 相互矛盾。

1.2 基于 fMRI 和 EEG 的运动想象脑网络研究

综合已有的文献可见, MI 可能涉及了以下众多的脑区: 辅助运动区、主运动区、侧背部运动前区、第一和第二感觉区(primary and secondary sensory areas, S1)、顶上小叶(superior parietal lobule, SPL)、顶内沟(intraparietal sulcus, PAR)和小脑等, 当前需要重点关注的是这些脑区之间的网络结构关系, 包括对相关脑网络的结构及其功能意义的探索^[22-23]。从文献看, 有关脑网络既可以从 fMRI 出发也可以基于脑电来构造, 根据网络的内涵可把它们分为结构网络(MRI)^[24]和功能网络(EEG、fMRI)^[25], 并可探讨它们之间的相互关系^[26]。有关网络的测度主要有聚类系数、度分布、平均路径长度等刻画网络整体性质的参数, 基于这些参数可以探讨相关网络与小世界网络、无标度网络、随机网络和规则网络之间的关系, 此外, 有关网络是否具有组块结构(module)、是否有 Hub 节点及其分类等也是研究的重要内容之一。有关这些方面的研究方法思路在相关文献中有较详细的介绍^[27]。另外, 近年人

们还对考虑信息流向的有效连接网络(effective connectivity)进行了深入的研究。比如, Solodkin 等^[28]用结构方程模型(structural equation modeling, SEM)研究了运动想象的脑网络, Kasess 等^[29]用动态因果模型(dynamic causal modeling, DCM)研究了辅助运动区(SMA)和主运动区(M1)在运动想象中的相互作用, 发现大脑在执行运动想象时, 辅助运动区(SMA)对大脑主运动区的活动有抑制作用。

然而, 这些基于单模态的脑网络也继承了相应模态信号的特点, 也就是基于脑电构建的网络通常不能很好地描述脑区的空间关系, 而由 fMRI 生成的网络则缺乏小时间尺度上的动态信息。为了弥补这两种单模态网络所存在的缺点, 已有研究者尝试着在 EEG 和 fMRI 信息融合的基础上, 建立具有较高时空分辨特性的网络^[30]。在当前的研究中, 采取的主要融合方式是利用 fMRI 的信号作为先验信息, 来对脑电成像进行空间约束。显然, 通过该种融合, 有可能获得大脑特定活动区域的较为准确的时间过程信息。在这些工作中, 他们利用由此得到的多模态信息融合后的网络, 对经典的 Stroop 冲突实验、手指运动实验和一些其他的认知过程所牵涉脑区的关系进行了研究。

1.3 运动想象理论模型研究

基于运动想象的实验还是十分有限的, 所以运动想象的理论模型还不是十分成熟。目前有两种主要理论, 即外周理论和中央理论。外周理论又叫做心理神经肌肉理论。此理论认为, 真实运动与运动想象有相同的运动神经元通路。通过训练运动神经元和运动皮层中已经存储的“运动模式”, 运动想象的训练可以达到和真实运动同样的效果, 都可以实现运动技巧的学习。心理神经肌肉理论被一系列的实验所支持^[4]。Jacobson 在 1933 年第一个发现当被试执行运动想象训练时, 相关的肌肉活动得到增强。同时很多实验也证实, 当被试执行运动想象时肌电活动得到增强^[31]。而在一些运动想象实验中也发现肌电活动和其他外周活动缺失的现象。Mulder 等^[32]发现在没有真实的肌肉活动的情况下, 运动想象也可以增强肌肉的活动。

现在已经有更多的实验支持中央理论。Grush 提出^[33], 运动想象是大脑控制中心驱动了一个“仿真器”模拟执行了身体的动作, 同时断开了大脑内正常控制肌肉活动的输出通路。这个“仿真器”是一个能够同时接收大脑控制中心的输出命令和评估运动感觉结果的系统, “仿真器”是模仿了感觉运

动皮层的输入输出功能。当大脑控制中心给“仿真器”输出了命令时,就会有相关的神经电流输入到“仿真器”,运动想象的训练就是练习不断地输出这些神经电流。当一个真实运动将要产生时,这些经过训练的大脑控制中心的神经电流将会输出给运动皮层,控制相关的肌肉完成所需要的动作。运动想象是一个内部控制中心输出的信息,能够被用于学习。这个中心理论机制解释了上面提到的 Mulder 的脚趾运动实验。那些没有大脚趾运动经验的被试,在运动想象时不能输出正确的用于训练的神经电流启动“仿真器”执行大脚趾运动的模式,所以这些被试进行运动想象实验的效果不是很理想。

综合现有的文献,目前尽管针对运动想象的理论模型还有争议,但是大家基本同意运动想象是一个综合感觉、运动、认知过程的现象。作者认为运动想象更可能是认知、感觉等多过程联合作用,形成“控制中心”,输出控制命令,虽然这个“控制中心”的工作机理目前还不是很清楚,但是作者更倾向于用中心理论解释运动想象现象。

2 运动想象在运动功能康复中的应用

目前传统的运动功能康复治疗方法,如物理治疗(physical therapy, PT)和作业治疗(occupational therapy, OT),对运动功能恢复有一定疗效,但治疗时间分散且疗程长,家庭经济负担大,大部分康复训练需要治疗师与患者“一对一”进行,往往患者难以得到充足的治疗,从而影响治疗效果。神经影像学研究显示,运动想象和实际运动具有相似的关联性脑激活,换句话说,即参与运动想象的神经网络与参与实际运动神经网络是基本一致的。所以就有很多研究尝试使用运动想象技术进行运动功能康复。

20 世纪 80 年代 Fansler 等进行了 36 个老年女性参加的 3 天平衡训练实验。被试被分为 3 个组, A 组:控制组, B 组:放松组, C 组:运动想象组。实验测量了被试的平衡时间,其中只有 C 组的训练后结果较基线结果有显著的增加。Fansler 认为想象训练能够提高真实任务执行的效果,运动想象可以用于运动损伤的临床治疗。1999 年, Cincotta 对一个四肢瘫痪且无法发声但可以眼动的病人进行运动想象治疗,结果发现运动想象无法增加四肢的运动能力,但是眼动的潜伏期明显变短。Crosbie 等^[34]用单病例研究方法,观察了“运动想象”对脑卒中偏瘫患者描线训练效果以及伸手抓握

物品等功能的影响,结果显示“运动想象”明显改善了患者描线的准确性和上肢运动指数(mortality index)。Bovend 等^[35]用目标达成评级(goal attainment scaling)、巴塞尔日常生活活动指数(the Barthel activities of daily living index)、瑞弗米德运动指数(the rivermead mobility index)量表评价运动想象结合物理疗法康复脑中风、脑损伤、综合硬化病人的运动功能,证实运动想象结合物理疗法的有效性。

Lebon 等^[36]证实运动想象能够有效地提高运动的执行能力和运动的学习能力,他特别建议想象时应想象肌肉的收缩,尤其是在实际运动的休息期间,这样能够提高肌肉强度。Page 等通过训练脑卒中患者想象手臂的功能来验证了运动想象的有效性。16 个卒中后 2~11 个月的右半身功能缺失的脑卒中患者参加了实验。其中 A 组的 8 个患者进行了运动想象训练和常规的物理治疗, B 组的 8 个患者只进行常规的物理治疗。治疗后 A 组右手功能恢复较 B 组有显著增加。Page 等又进行了卒中时间 1 年以上病人的实验,结果发现运动想象结合常规物理治疗组病人的手功能恢复较控制组有明显增加。这说明运动想象可以对卒中时间较长的患者进行运动功能康复^[24]。Liu 等^[37]对 26 个脑卒中患者进行了视觉运动想象训练,被试被要求想象叠衣服的动作。通过测量被试的神经生理学上的注意指标和控制组进行了比较,结果显示被试的注意能力得到显著的增强。通过以上实验可以得出视觉运动想象对于认知功能的康复具有一定的效果,而肌肉运动知觉想象对基本运动功能的恢复具有效果。

从文献看,近年国外已对 MI 在康复中的应用进行了较多的研究,并得到了许多启发性的结果。Zimmermann 等^[38]在肯定了 MI 疗效的同时,也指出了需要进行更多的更细致的研究去理解相关的机理, Butler 等^[39]发现,不同的疾病情况 MI 的效果是不同的,希望通过机理的研究去明确具体的原因,还有一些研究探讨了联合实际运动和 MI 训练的问题。综上所述,MI 可在不增加康复训练强度的情况下提高患者功能恢复程度,与已有的康复治疗方法相比具有很大优越性,极可能成为一种很有前途的治疗方法。

近年来,脑-机接口技术(brain computer interface, BCI)取得了很大的进展^[40-41]。而运动想象是 BCI 中重点使用的技术之一。研究者已经实现利用手、脚及舌头的运动想象实现对计算机的初步控制^[41]。目前国内外已经有 100 多个课题组从事此

方面的研究, 全球性的基于运动想象的 BCI 大赛也举办多次, 这些都极大地推动了运动想象和 BCI 的研究. 因此, 在未来的工作中, 可以借助 BCI 技术, 更好地开展运动想象的脑机制研究, 同时发展出更加有效的、带反馈的运动想象康复训练系统.

参 考 文 献

- [1] Decety J, Grezes J. The power of simulation: imagining one's own and others behavior. *Brain Res*, 2006, **1079**(1): 4-14
- [2] Fiori M, Tinazzi M, Aglioti S M. Selective impairment of hand mental rotation in patients with focal hand dystonia. *Brain*, 2006, **129**(1): 47-54
- [3] Mulder T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *J Neural Transm*, 2007, **114**(10): 1265-1278
- [4] Lotze M, Cohen L G. Volition and imagery in neurorehabilitation. *Cogn Behav Neurol*, 2006, **19**(3): 135-140
- [5] Milton J, Small S L, Solodkin A. Imaging motor imagery: methodological issues related to expertise. *Methods*, 2008, **45**(4): 336-341
- [6] Holmes P, Calmels C. A neuroscientific review of imagery and observation use in sport. *J Mot Behav*, 2008, **40**(5): 433-445
- [7] Ehrsson H, Geyer S, Naito E. Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body part specific motor representations. *J Neurophysiol*, 2003, **90**(5): 3304-3316
- [8] Li S, Kamper D G, Stevens J A, *et al.* The effect of motor imagery on spinal segmental excitability. *J Neurosci*, 2004, **24**(43): 9674-9680
- [9] Stinear C M, Byblow W D, Steyvers M, *et al.* Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Exper Brain Res*, 2006, **168**(1-2): 157-164
- [10] Decety J, Grezes J. The power of simulation: imagining one's own and others behavior. *Brain Res*, 2006, **1079**(1): 4-14
- [11] Lotze M, Halsband U. Motor imagery. *J Physiol*, 2006, **99**(4-6): 386-395
- [12] Thobois S, Dominey P F, Decety J, *et al.* Motor imagery in normal subjects and in asymmetrical Parkinson's disease. *Neurology*, 2000, **55**(7): 996-1002
- [13] Yaguez L, Canavan A G, Lange H W, *et al.* Motor learning by imagery is differently affected in Parkinson's and Huntington's diseases. *Behav Brain Res*, 1999, **102**(1-2): 115-127
- [14] Ueno T, Inoue M, Matsuoka T, *et al.* Comparison between a real sequential finger and imagery movements: an fMRI study revisited. *Brain Imaging and Behavior*, 2010, **4**(1): 80-85
- [15] Mulder T H, Zijlstra S, Zijlstra W, *et al.* The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Exper Brain Res*, 2004, **154**(2): 211-217
- [16] Malouin F, Richards C, Jackson P L, *et al.* Brain activation during motor imagery of locomotor related tasks: a PET study. *Hum Brain Mapp*, 2003, **19**(1): 47-62
- [17] Parsons L M. Integrating cognitive psychology, neurology and neuroimaging. *Acta Psychol*, 2001, **107**(1-3): 155-181
- [18] Decety J, Jeannerod M, Durozard D, *et al.* Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions. *J Physiol*, 1993, **461**(1): 549-563
- [19] Mulder T H, Hochstenbach J, Van H, *et al.* Motor imagery: the relationship between age and imagery capacity. *Hum Mov Sci*, 2007, **26**(2): 203-211
- [20] Pfurtscheller G, Solis-Escalante T. Could the beta rebound in the EEG be suitable to realize a "brain switch"? *Clin Neurophysiology*, 2009, **120**(1): 24-29
- [21] Lim V K, Polych M A, Hollander A, *et al.* Kinesthetic but not visual imagery assists in normalizing the CNV in Parkinson's disease. *Clin Neurophysiol*, 2006, **117**(10): 2308-2314
- [22] Szameitat A J, Shen S, Sterr A. Motor imagery of complex everyday movements. An fMRI study *NeuroImage*, 2007, **34**(2): 702-713
- [23] Jaap C, Ponten S, Berendse H, *et al.* The application of graph theoretical analysis to complex networks in the brain. *Clinical Neurophysiology*, 2007, **118**(11): 2317-2331
- [24] Page S, Levine P, Leonard A. Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, **86**(3): 399-402
- [25] Ferri R, Rundo F, Bruni O, *et al.* The functional connectivity of different EEG bands moves towards small-world network organization during sleep. *Clinical Neurophysiology*, 2008, **119**(9): 2026-2036
- [26] Honey C, Sporns O, Cammoun L, *et al.* Predicting human resting-state functional connectivity from structural connectivity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, **106**(6): 2035-2040
- [27] Bullmore E, Olaf S. Complex brain networks: graph theoretical analysis of structural and functional systems. *Nature Reviews Neuroscience*, 2009, **10**(3): 186-198
- [28] Solodkin A, Hlustik P, Chen E, *et al.* Fine modulation in network activation during motor execution and motor imagery. *Cereb Cortex*, 2004, **14**(11): 1246-1255
- [29] Kasess C, Windischberger C, Cunnington R, *et al.* The suppressive influence of SMA on M1 in motor imagery revealed by fMRI and dynamic causal modeling. *Neuro Image*, 2008, **40**(2): 828-837
- [30] Astolfi L, Vico F, Cincotti F, *et al.* Imaging functional brain connectivity patterns from high-resolution EEG and fMRI via graph theory. *Psychophysiology*, 2007, **44**(6): 880-893
- [31] Boschker M. Action-based Imagery: On The Nature of Mentally Imagined Motor Actions [D]. Amsterdam: Free University, 2001
- [32] Mulder T, Zijlstra S, De Vries S. Observation, imagination and execution of an effortful movement: more evidence for a central explanation of motor imagery. *Exper Brain Res*, 2005, **163**(3): 344-351
- [33] Grush R. The emulation theory of representation: motor control, imagery and perception. *Behav Brain Sci*, 2004, **27**(3): 377-396
- [34] Crosbie J, McDonough S, Gilmore D, *et al.* The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clin Rehabil*, 2004, **18**(1): 60-68
- [35] Bovend T, Dawes H, Sackley C, *et al.* An integrated motor

- imagery program to improve functional task performance in neurorhabilitation: a single-blind randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2010, **91**(6): 939–946
- [36] Lebon F, Collet C, Guillot A. Benefits of motor imagery training on muscle strength. *J Strength and Conditioning Research*, 2010, **24**(6): 1680–1687
- [37] Liu K, Chan C, Lee T, *et al.* Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 2004, **85**(9): 1403–1408
- [38] Zimmermann-Schlatter A, Schuster C, Puhon M, *et al.* Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *J Neuro Engineering and Rehabilitation*, 2008, **14**(5): 5–8
- [39] Butler A, Page S. Mental practice with motor imagery: evidence for motor recovery and cortical reorganization after stroke. *Arch Phys Med Rehabil*, 2006, **87**(12): S2–11
- [40] Lei X, Yang P, Yao D. An empirical bayesian framework for brain computer interfaces. *IEEE Trans Neural Syst Rehab Eng*, 2009, **17**(6): 521–529.
- [41] 尧德中, 刘铁军, 雷旭, 等. 基于脑电的脑-机接口: 关键技术和应用前景. *电子科技大学学报*, 2009, **38**(5): 550–554
- Yao D Z, Liu T J, Lei X, *et al.* *J Uni Electron Sci Technol China*, 2009, **38**(5): 550–554

The Research and Progress in The Mechanism of Motor Imagery and Its Application in Motor Rehabilitation*

LIU Tie-Jun^{1)**}, XU Peng¹⁾, YU Qian²⁾, YAO De-Zhong¹⁾

⁽¹⁾ *Key Laboratory for NeuroInformation of Ministry of Education, School of Life Science and Technology, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China;*

²⁾ *Sichuan Academy of Medical Sciences, Chengdu 610072, China)*

Abstract It has been show that motor imagery can clearly improve the brain function and it has been widely applied in sports training and motor rehabilitation therapy. Recently, with the appearance of imaging system, such as functional Magnetic Resonance, the method of the neuroimaging became more complexity. Then the mechanism of motor imagery had been deeply understood, especially in the cooperation with the multi-encephalic regions. The mechanism of motor imagery and its application in motor rehabilitation were briefly introduced.

Key words motor imagery, motor rehabilitation, functional magnetic resonance imaging, electroencephalography

DOI: 10.3724/SP.J.1206.2010.00409

*This work was supported by a grant from The National Natural Science Foundation of China (60701015).

**Corresponding author.

Tel: 86-28-83201018, E-mail: liutiejun@uestc.edu.cn

Received: August 8, 2010 Accepted: November 8, 2010