

运动想象在运动功能康复中的应用进展*

李冉¹ 杜巨豹^{1,2}

脑卒中、膝关节骨关节炎等疾病经常会遗留有不同程度的运动功能障碍,影响其自理能力,甚至影响其回归工作,给家庭和社会带来了沉重的照护负担,给个人心理带来了很大压力。在众多康复手段中,运动想象以其成本消耗少、可操作性强、患者易接受等优势而有很大发展潜力。现将其研究进展综述如下:

1 运动想象概述

1950年Hossack首次提出心理意象(mental imagery)的概念,即在中枢神经系统参与下,在感官没有受到相应刺激时,产生了一种类似感受器受刺激所产生的反应^[1],它可以包括听觉想象、触觉想象、视觉想象、运动想象等^[2]。运动想象(motor imagery)是指在没有实际动作的情况下,大脑对某一个动作的意念执行,它的脑激活与实际运动时的脑激活非常相似^[3]。文献中有多种叫法,如mental practice, mental training, mental imagination等,经常混用。

运动想象可以分为两种,一种是受试者以旁观者身份观察某人完成某个动作,即外部想象或者视觉想象;另一种是受试者本人体会自身通过运动知觉来排练某个动作,即内部想象或者知觉想象^[4]。不同的任务选择不同的想象方法, Maamer Slimani等^[5]表示,知觉想象更有利于封闭性运动技能(如固定靶射击、跳水、体操等),而视觉想象更适合学习开放性运动技能(如拳击、击剑、足球的防守等)。

2 运动想象能力的评估

2.1 量表法

量表法以检测运动想象的生动性为主。常用的量表为:①运动想象问卷(movement imagery questionnaire, MIQ)、修订版的运动想象问卷(a revision of the movement imagery questionnaire, MIQ-R):预先设定好上下肢动作,要求被试完成某个动作,而后想象完成某个动作,并对运动想象的难易程度进行评分,7分制,共进行两次评分,一次为视觉想象评分,另一次为知觉想象评分,该问卷主要适用于健康人群^[6];②运动想象清晰度问卷(the vividness of motor imag-

ery questionnaire, VMIQ):它着重评估运动想象清晰度,一半条目为视觉想象相关,另一半条目为知觉想象相关,共48个条目,5分制,该问卷同样适用于健康人群^[6];③运动视觉想象问卷(kinesthetic and visual imagery questionnaire, KVIQ):预先设定10个(KVIQ-20)或5个动作(KVIQ-10),如肩前屈、躯干前屈、足拍地等,让被试首先尽量完成这些动作,然后进行视觉想象和知觉想象,分别评估视觉想象的清晰度和知觉想象的感觉是否强烈,5分制,该问卷在脑卒中患者、下肢截肢者、健康人等人群中均得到验证^[7-8]。Storm V等^[9]也认为量表可用于评估脑卒中患者的运动想象能力,且该能力不受年龄、性别因素影响。但在更精细的基于运动想象的脑机接口训练中,MIQ问卷得分则与脑机接口训练中的表现无明显相关^[10],这提醒我们运动想象能力评估可能还需要建立其他方法。

2.2 心理旋转测试

心理旋转测试以检测运动想象的准确性为主。最常用的是给被试呈现不同角度的双手旋转图片,让被试判断左/右手,计算正确率和反应时间。Hamada H等^[11]招募健康被试进行研究,嘱其进行以下三种任务:运动想象任务(想象不同角度手图片的转动轨迹并将自己的手跟随图片进行旋转)、心理旋转任务一(看到不同角度手图片并进行左右手判断)、心理旋转任务二(看到不同角度汽车图片并判断尾灯在左侧还是右侧),结果三者脑激活区域相似,故认为心理旋转测试可以用来评估运动想象能力。在脑卒中患者中应用时,虽然其随角度变化的反应与健康被试者相似,但反应慢、错误率高;进一步区分发现,在健康被试和脑卒中患者同时面对健侧手旋转图片时,右侧脑卒中导致二者反应时相似但错误率高,左侧脑卒中导致二者错误率相似但反应时间长^[12]。故心理旋转测试可用于评估健康被试的运动想象能力,但应用于临床患者时,需要适当考虑损伤侧别。

2.3 心理计时测试

心理计时测试以检测实际运动和运动想象之间的时间耦合性为主。一般先设计一个动作,然后进行两种计时测试,一种为时间依赖性的运动想象筛选试验,让被试想象完

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.10.024

*基金项目:北京市优秀人才青年骨干个人项目(2018000020124G141)

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京,100053; 2 通讯作者
第一作者简介:李冉,女,博士研究生,住院医师; 收稿日期:2020-06-16

成该动作,检查者记录被试在15s、25s、45s时间段内完成的次数,理论上,想象运动的次数将随着时间的增加而成比例地增加,它可以判断被试是否能理解该检查的指令并进行运动想象;另一种为时间一致性测试,检查者分别记录被试进行运动想象和运动执行的时间并进行比较,理论上两者应该相似。Malouin F等^[13]的研究表明健康被试和脑卒中患者运动想象能力相似,均可进行运动想象,且运动想象耗时相似,心理计时测试可以作为脑卒中患者运动想象能力筛查的工具。

3 运动想象的作用

运动想象提出之初首先被应用到体育领域来提高运动员的成绩。随着越来越多的研究表明运动想象可以改善运动技能,康复领域也开始考虑将运动想象融入康复治疗中,最常应用于神经康复中,骨科康复也有所涉猎。

3.1 运动想象与脑卒中患者运动功能康复

3.1.1 运动想象:运动想象改善上肢运动功能:Lee SA等^[14]研究了24例伴轻至中度上肢功能障碍的发病半年内的脑卒中患者,先分为轻度认知障碍组和重度认知障碍组,两组组内再分为运动想象组和镜像疗法组,4周后发现,对于运动想象更适合轻度认知障碍组,镜像疗法更适合重度认知障碍组。故大多数文献均要求参加运动想象研究的患者无认知障碍。Page SJ等^[15]对5例发病半年后的脑卒中患者进行研究,让患者进行运动想象来触发电刺激训练装置,采用前后对比统计,8周后,这些看似功能稳定没有任何进展的患者上肢功能得到了明显改善。Polli A等^[16]纳入了28例发病1年内的脑卒中患者进行研究,试验组每天进行分级运动想象及常规康复训练各1h,对照组每天进行常规康复训练2h,4周后试验组10/14例患者、对照组4/14例患者上肢功能得到了明显改善,推测分级运动想象对慢性期患者亦有效果。Peters HT^[17]认为如果有非侵入性脑刺激技术做辅助,患者的功能可能会有更明显的提高。Tani M等^[18]甚至发现,仅仅动作观察就可以达到甚至超过运动想象的大脑去同步化程度,如果脑卒中患者由于年龄大和/或认知功能障碍不能完成运动想象,可以用动作观察来代替运动想象。这些康复方法是对传统康复手段的有效补充。

运动想象改善下肢运动功能:Oostra KM等^[19]招募了44例发病1年内的脑卒中患者,在常规康复训练之外,一组患者进行运动想象训练,另一组患者这进行肌肉放松,6周后两组患者Fugl-Meyer评分无明显改善,但运动想象组的10m步行试验较肌肉放松组明显改善。另一研究将40例慢性期脑卒中患者随机分为对照组和试验组,在接受任务导向性训练的基础上,对照组接受健康教育而试验组接受运动想象训练,在训练4周后,试验组的患侧步长、步幅、步速、步频等均有明显改善^[20]。故运动想象亦可改善下肢功能。Li RQ等^[21]

对文献进行了荟萃分析证明,相比于常规训练,运动想象确实可以在短期(<6周)及长期(≥6周)更有效地提高步行能力,并可在短期内(<6周)改善平衡能力。除了慢性期患者,在早期脑梗死患者中,8周的运动想象治疗亦可提高其Fugl-Meyer、Berg等量表评分,改善下肢运动功能^[22],可能早期开始运动想象治疗效果更佳。

综上,运动想象可促进运动功能恢复,但4—8周的训练周期无疑会带来住院日、治疗费用、训练依从性等诸多问题。运动想象为患者本人主动进行干预,经颅直流电刺激、经颅磁刺激等为患者被动接受干预,二者叠加使用会加速康复进程吗?

3.1.2 运动想象结合非侵入式电/磁刺激:Okuyama K等^[23]嘱10例慢性期脑卒中患者想象患侧手指伸展并同时接受在线桡神经电刺激,治疗共10d,治疗前后对比发现,患者的上肢功能明显改善、上肢屈肌肌群张力有所降低,肌电图显示交互抑制明显改善。这在一定程度上说明运动想象结合外周神经电刺激可增加皮质脊髓束兴奋性,但该研究为单一组别前后对照,结论需随机对照分组研究进一步证实。周艳平等^[24]选取病程1—3个月的脑卒中患者,随机分为常规治疗组、运动想象治疗组、在线tDCS+嵌入式运动想象联合治疗组(先进行运动想象,再进行实际作业活动训练,两者穿插进行,完成后进行下一组作业活动),想象内容为与上肢功能密切相关的功能活动,阳极tDCS刺激患侧M1区20min,8周后联合治疗组和运动想象治疗组上肢功能改善明显,其中联合治疗组效果最佳。这说明中枢电刺激可增强运动想象的效果。上海瑞金医院招募了44例发病3—12个月的脑卒中患者,随机分为试验组和对照组,试验组进行健侧大脑M1区低频经颅磁刺激(1Hz)及运动想象训练,对照组进行健侧大脑M1区低频经颅磁刺激(1Hz)及放松训练,在试验结束后,2周后,试验组均较对照组上肢功能明显改善^[25]。这说明运动想象可增强中枢磁刺激的治疗效果。

综上,运动想象与非侵入式电/磁刺激相互促进,二者可产生叠加效应,进一步多中心、大样本的验证优化研究或可为脑卒中康复提供一套安全、可靠、有效的技术组合。

3.1.3 运动想象结合脑机接口:脑机接口可以基于视觉诱发电位、P300、运动想象、 δ 波和 μ 节律、皮层慢电位等,其中基于运动想象的脑机接口技术不依赖于任何感觉刺激,通过想象即可产生,被研究者所青睐^[26]。Lu RR等^[27]发现,26例慢性期脑卒中患者,腕关节伸展持续不恢复,接受基于运动想象的脑机接口控制的持续被动运动训练6周之后,腕关节主动关节活动范围明显改善。一例脑出血后16个月的患者间断接受基于运动想象的脑机接口控制的手部外骨骼辅助训练8个月,训练前后手功能明显改善,fMRI结果显示患手进行运动想象时大脑激活区域明显缩小,这可能代表了大脑重

塑后运动功能的恢复^[28]。但这些研究仅为单组患者训练效果的前后对比。Frolov AA等^[29]将74例亚急性期、慢性期脑卒中患者随机分为运动想象(想象手指伸开)驱动的机械臂训练组和单纯机械臂训练组,实验前后分别给予Fugl-Meyer等上肢功能测试,结果运动想象驱动的机械臂训练组较单纯机械臂训练组上肢功能明显改善。这证明基于运动想象的脑机接口训练效果更优。为了提高校准阶段脑电图信号辨别的准确性,Zuo C等^[30]还创新性地将P300和运动想象融合触发脑机接口系统,提高了脑电信号识别的准确率,减少了前期的校准时间。

有研究更是在基于运动想象的脑机接口系统之外,又联合了经颅直流电刺激,19例慢性期脑卒中患者随机分为两组,一组在训练前接受20min经颅直流电刺激,阳极在损伤同侧M1,阴极在损伤对侧M1,另一组则接受假刺激,结果二者在训练结束后、1个月后随访时功能恢复相似,但经颅直流电刺激组损伤侧皮质脊髓束和双侧胼胝体的白质纤维完整性明显改善,说明三者联合可以更大程度地促进神经可塑^[31]。关于三者联合的研究未来可做更多尝试来验证其临床效果。

脑机接口系统可以监督、反馈并进一步控制运动想象的执行,高效的运动想象又使脑机接口系统得到良好的操控,二者不断的正反馈循环可更精确地触发中枢相关运动区域,从而促进功能恢复。不过由于其涉及医工结合、技术难度较高、机械设备昂贵等问题,目前在康复领域普及应用尚有困难,未来如可深度挖掘、广泛应用,将革新现有康复技术。

3.2 运动想象与膝关节骨关节炎患者运动功能康复

Yeslawath等^[32]招募了28周膝关节骨关节炎患者,给予分级运动想象(graded motor imagery, GMI)治疗6周(其中左右侧图片辨认训练2周、想象疼痛肢体运动2周、镜像治疗2周),前后对比评估发现,分级运动想象应用于膝关节骨关节炎患者可以改善疼痛、提高功能、降低运动恐惧。此外,膝关节骨关节炎关节置换术后亦可应用运动想象。有人选择了视觉运动想象和知觉运动想象混合进行,结果疼痛改善但功能活动改善不明显^[33];有人选择了知觉运动想象,结果关节活动度改善、功能活动提高明显,但对疼痛改善不明显^[34]。原因可能是知觉运动想象主要激活运动皮层改善运动功能,而视觉运动想象主要激活了视觉处理皮层,功能有待进一步确认。另外,入组患者较少、康复开始时间晚(术后2—6周)导致组织粘连等亦是影响因素。运动想象在膝关节置换术后康复中的应用研究值得改进研究条件后进一步明确其作用。

4 运动想象的神经机制

运动想象与大脑皮层有什么关系?是否会改变大脑皮

层兴奋性、激活运动相关区域?

在健康人群中,Ehrsson HH等^[35]发现想象手/足/舌运动时,M1区的相应代表区域及辅助运动区、运动前区分别被激活;经颅磁刺激抑制M1区之后,手部旋转图片测试中的左右辨别力明显受损、反应时明显增加^[36],也就是说M1区受到抑制之后运动想象能力受损。另外,除常见的M1区、运动前区、辅助运动区之外,前额叶背外侧也是认知和运动网络的一部分^[37]。运动想象和主动运动时相似的脑区激活区域是运动想象应用于脑卒中临床康复的基础。在患者中,运动想象的脑结构激活有所不同。Yan J等^[38]招募左侧脑卒中患者和健康被试进行手部旋转图片辨认并记录P300,结果无论辨认的早、中、末期,脑卒中患者的事件相关去同步化均处于低激活状态,而且脑卒中患者以健侧半球偏侧化激活为主而健康被试以双侧大脑半球激活为主,该课题组进一步的脑电图分析结果也显示脑卒中患者的大脑联络多在健侧半球的额顶枕,患侧半球的大脑联络较少^[39]。以上说明运动想象亦可干预患者的大脑皮层,只是大脑皮层兴奋方式不同,脑卒中患者以健侧大脑功能代偿为主。Kaiser V等^[40]进一步发现运动想象时大脑激活侧别取决于功能障碍的程度,脑卒中患者功能障碍越重则健侧半球激活越多即代偿越多,功能障碍越轻则患侧半球激活越多即患侧半球支配患手为主。Kraft E等^[41]还发现,与运动执行相比,运动想象期间脑卒中和健康者运动前区的皮层活动更加平衡,这为使用运动想象作为康复治疗方法提高亚急性期脑卒中患者功能提供了一个合理的生理基线。

最近的研究发现,被动运动和运动想象甚至主动运动也有相似之处。Formaggio E等^[42]发现21例健康被试在机器人辅助的被动运动和运动想象时的脑电图节律去同步化表现相似。Caruso P等^[43]使用经颅多普勒超声检测发现,8例健康被试在进行运动想象和机器人辅助的被动关节运动时脑血流速度是相似的,均较静息状态有明显升高。推测被动运动是作为一种本体感觉刺激输入激活了S1区、M1区,但机器人只是一种工具,机器人辅助被动运动只是用于强化特定任务^[42],它改善肢体功能的效果较弱。有研究提出被动运动要达到阳性结果需要6周或者更长的时间^[44]。7例脑卒中恢复期患者经过长达7周的机器人辅助双侧上肢被动运动训练后,才有4例患者功能得到改善,而且改善幅度较小^[45]。故我们还需继续挖掘运动想象的机制及临床价值,寻找快速、有效改善患者功能的康复技术。

5 展望

运动功能障碍严重影响患者的生活自理能力。运动想象无需额外购置医疗设备、无需额外占用场地、操作简单、执行无痛苦患者易接受,而且是患者主动配合的主动干预模

式,若可在充分评估后应用于合适的患者,将有助于运动功能恢复。运动想象还可与其他高科技手段相结合,如与经颅直流电刺激、经颅磁刺激、脑机接口等结合,这将极大地丰富目前的康复手段,有望加速康复过程、提高康复效果,成为未来康复界的明星技术。

参考文献

- [1] 孙莉敏,吴毅,胡永善.运动想象训练促进脑卒中患者肢体功能康复的研究进展[J].中国康复医学杂志,2014,29(9):873—878.
- [2] Slimani M, Tod D, Chaabene H, et al. Effects of mental imagery on muscular strength in healthy and patient participants: a systematic review[J]. J Sports Sci Med, 2016, 15(3):434—450.
- [3] Tong Y, Pendy JT Jr, Li WA, et al. Motor imagery-based rehabilitation: potential neural correlates and clinical application for functional recovery of motor deficits after stroke[J]. Aging Dis, 2017, 8(3):364—371.
- [4] Jeannerod M. Mental imagery in the motor context[J]. Neuropsychologia, 1995, 33(11):1419—1432.
- [5] Hall CR, Martin KA. Measuring movement imagery abilities: a revision of the movement imagery questionnaire[J]. Journal of Mental Imagery, 1997, 21(1—2):143—154.
- [6] Isaac A, Marks DF, Russell DG. An instrument for assessing imagery of movement: the Vividness of Movement Imagery Questionnaire (VMIQ)[J]. J Mental Imagery, 1986, 10(6919):23—30.
- [7] 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.
- [8] 刘华,周军,杨少峰,等.中文版运动觉-视觉想象问卷在脑卒中患者中的信度[J].中华物理医学与康复杂志,2017,39(4):259—263.
- [9] Storm V, Utesch T. Mental practice ability among stroke survivors: investigation of gender and age[J]. Front Psychol, 2019, 10:1568.
- [10] Rimbert S, Gayraud N, Bougrain L, et al. Can a subjective questionnaire be used as brain-computer interface performance predictor?[J]. Front Hum Neurosci, 2019, 12:529.
- [11] Hamada H, Matsuzawa D, Sutoh C, et al. Comparison of brain activity between motor imagery and mental rotation of the hand tasks: a functional magnetic resonance imaging study[J]. Brain Imaging Behav, 2018, 12(6):1596—1606.
- [12] Kemlin C, Moulton E, Samson Y, et al. Do motor imagery performances depend on the side of the lesion at the acute stage of stroke?[J]. Front Hum Neurosci, 2016, 10:321.
- [13] Malouin F, Richards CL, Durand A, et al. Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2008, 89(2):311—319.
- [14] Lee SA, Cha HG. The effect of motor imagery and mirror therapy on upper extremity function according to the level of cognition in stroke patients[J]. Int J Rehabil Res, 2019, 42(4):330—336.
- [15] Page SJ, Levine P, Hill V. Mental practice-triggered electrical stimulation in chronic, moderate, upper- extremity hemiparesis after stroke[J]. Am J Occup Ther, 2015, 69(1):6901290050p1—8.
- [16] Polli A, Moseley GL, Gioia E, et al. Graded motor imagery for patients with stroke: a non-randomized controlled trial of a new approach[J]. Eur J Phys Rehabil Med, 2017, 53(1):14—23.
- [17] Peters HT, Page SJ. Integrating mental practice with task-specific training and behavioral supports in poststroke rehabilitation: evidence, components, and augmentative opportunities[J]. Phys Med Rehabil Clin N Am, 2015, 26(4):715—727.
- [18] Tani M, Ono Y, Matsubara M, et al. Action observation facilitates motor cortical activity in patients with stroke and hemiplegia[J]. Neurosci Res, 2018, 133:7—14.
- [19] Oostra KM, Oomen A, Vanderstraeten G, et al. Influence of motor imagery training on gait rehabilitation in sub-acute stroke: a randomized controlled trial[J]. J Rehabil Med, 2015, 47(3):204—209.
- [20] Bovonsunthonchai S, Aung N, Hiengkaew V, et al. A randomized controlled trial of motor imagery combined with structured progressive circuit class therapy on gait in stroke survivors[J]. Sci Rep, 2020, 10(1):6945.
- [21] Li RQ, Li ZM, Tan JY, et al. Effects of motor imagery on walking function and balance in patients after stroke: a quantitative synthesis of randomized controlled trials[J]. Complement Ther Clin Pract, 2017, 28:75—84.
- [22] 肖少华,吴夏静,代菁,等.镜像治疗联合运动想象治疗对脑梗死早期患者下肢运动及平衡功能的影响[J].中华物理医学与康复杂志,2019,41(8):575—578.
- [23] Okuyama K, Ogura M, Kawakami M, et al. Effect of the combination of motor imagery and electrical stimulation on upper extremity motor function in patients with chronic stroke: preliminary results[J]. Ther Adv Neurol Disord, 2018, 11:1756286418804785.
- [24] 周艳平,张妍昭,王刚,等.经颅直流电刺激联合运动想象疗法改善脑卒中患者上肢功能的疗效观察[J].中华物理医学与康复杂志,2018,40(9):657—661.
- [25] Pan W, Wang P, Song X, et al. The effects of combined low frequency repetitive transcranial magnetic stimulation and motor imagery on upper extremity motor recovery following stroke[J]. Front Neurol, 2019, 10:96.
- [26] 王舒欢.基于运动想象的脑机接口研究[D].天津工业大学,2016.
- [27] Lu RR, Zheng MX, Li J, et al. Motor imagery based brain-computer interface control of continuous passive motion for wrist extension recovery in chronic stroke patients [J]. Neurosci Lett, 2020, 718:134727.
- [28] Frolov AA, Bobrov PD, Biryukova EV, et al. Electrical, hemodynamic, and motor activity in BCI post-stroke rehabilitation: clinical case study[J]. Front Neurol, 2018, 9:1135.
- [29] Frolov AA, Mokienko O, Lyukmanov R, et al. Post-stroke rehabilitation training with a motor-imagery-based brain-computer interface (BCI)-controlled hand exoskeleton: a randomized controlled multicenter trial[J]. Front Neurosci, 2017, 11:400.
- [30] Zuo C, Jin J, Yin E, et al. Novel hybrid brain-computer interface system based on motor imagery and P300[J].

- Cogn Neurodyn,2020,14(2):253—265.
- [31] Hong X, Lu ZK, Teh I, et al. Brain plasticity following MI-BCI training combined with tDCS in a randomized trial in chronic subcortical stroke subjects: a preliminary study[J]. *Sci Rep*,2017,7(1):9222.
- [32] Yeslawath M, Sequeira S, Tarale S. Effect of graded motor imagery for kinesiophobia on pain and function for institutionalised elder people with knee osteoarthritis[J]. *International Journal of Science and Research*, 2015, 6 (9) : 1377—1381.
- [33] Moukarzel M, Di Rienzo F, Lahoud JC, et al. The therapeutic role of motor imagery during the acute phase after total knee arthroplasty: a pilot study[J]. *Disabil Rehabil*, 2017,41(8):926—933.
- [34] Mahmoud N, Razzano Jr MA, Tischler K. The efficacy of motor imagery training on range of motion, pain and function of patients after total knee replacement[J]. *CUNY Academic Works*, 2016.
- [35] Ehrsson HH, Geyer S, Naito E. Imagery of voluntary movement of fingers, toes, and tongue activates corresponding body-part-specific motor representations[J]. *J Neurophysiol*, 2003, 90(5): 3304—3316.
- [36] Pelgrims B, Michaux N, Olivier E, et al. Contribution of the primary motor cortex to motor imagery: a subthreshold TMS study[J]. *Hum Brain Mapp*,2011,32(9):1471—1482.
- [37] Kim YK, Park E, Lee A, et al. Changes in network connectivity during motor imagery and execution[J]. *PLoS One*,2018,13(1):e0190715.
- [38] Yan J, Guo X, Jin Z, et al. Cognitive alterations in motor imagery process after left hemispheric ischemic stroke [J]. *PLoS One*,2012,7(8):e42922.
- [39] Yan J, Sun J, Guo X, et al. Motor imagery cognitive network after left ischemic stroke: study of the patients during mental rotation task[J]. *PLoS One*,2013,8(10):e77325.
- [40] Kaiser V, Daly I, Pichiorri F, et al. Relationship between electrical brain responses to motor imagery and motor impairment in stroke[J]. *Stroke*, 2012, 43 (10) : 2735—2740.
- [41] Kraft E, Schaal MC, Lule D, et al. The functional anatomy of motor imagery after sub-acute stroke[J]. *Neurorehabilitation*,2015,36(3):329—337.
- [42] Formaggio E, Masiero S, Bosco A, et al. Quantitative EEG evaluation during robot-assisted foot movement[J]. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng*, 2017, 25 (9) : 1633—1640.
- [43] Caruso P, Ridolfi M, Furlanis G, et al. Cerebral hemodynamic changes during motor imagery and passive robot-assisted movement of the lower limbs[J]. *J Neurol Sci*,2019, 405:116427.
- [44] Aman JE, Elangovan N, Yeh IL, et al. The effectiveness of proprioceptive training for improving motor function: a systematic review[J]. *Front Hum Neurosci*,2015,8:1075.
- [45] Gandolfi M, Formaggio E, Geroin C, et al. Quantification of upper limb motor recovery and EEG power changes after robot-assisted bilateral arm training in chronic stroke patients: a prospective pilot study[J]. *Neural Plast*, 2018:8105480.

·综述·

经颅直流电刺激对脑卒中患者平衡功能影响的研究进展

董柯¹ 练涛^{2,3}

脑卒中是指由于脑血管破裂或阻塞等多种原因引起的急性脑血管循环障碍,其发病患者数、死亡人数、致残人数均较高^[1]。卒中患者由于局部的脑组织结构或功能损害,引起相应的认知心理功能、肌力、肌张力、深浅感觉、视觉功能等损伤,最终影响患者的平衡功能^[2]。平衡功能障碍导致患者姿势维持不能,影响患者步态和功能独立性^[3]。经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)作为一种非侵入性脑刺激,通过置于头皮的低强度直流电(通常1—2mA)来诱发脑功能的变化。近几年随着神经生理学分析技术的发展,把单纯的电刺激与更准确的脑功能和生理学分析

相结合,使得对经颅直流电刺激技术的研究上升至新的台阶,并且使其在康复治疗中的作用逐渐得到重视。对于tDCS治疗效应的可能机制,目前认为是tDCS产生了对脑细胞膜静息电位的阈下调节^[4],导致与突触可塑性相关的N-甲基天冬氨酸(N-methyl-D-aspartic acid receptor, NMDA)受体功能发生极性-依赖性修饰^[5],引起大脑功能重塑,主要表现为极性依赖的皮质兴奋性增加或降低,但其确切机制仍有多种解释。随着当前康复领域中关于tDCS在运动功能方面的研究迅速增多,探讨tDCS技术与卒中患者平衡功能的关系具有重要的现实意义。因此,本文综述tDCS对脑卒中后

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.10.025

1 山西医科大学,山西太原市,030000; 2 山西医科大学第一医院康复医学科; 3 通讯作者

第一作者简介:董柯,男,硕士研究生; 收稿日期:2020-05-31