

·综述·

心理旋转实验在脑卒中患者运动想象能力评估中的应用*

王鹤玮¹ 贾杰^{1,2}

运动想象疗法是一种不依赖患者现有肢体功能的主动式中枢干预治疗技术,在脑卒中康复中得到了广泛的运用^[1-2]。在患者进行运动想象训练的时候,需要集中注意力在内心模拟、演练特定的训练动作,但不伴有实际运动的产生^[3]。既往研究表明运动想象的训练效果和运动想象的能力紧密相关,想象得越生动、逼真,训练效果可能会更好^[4]。因此,我们需要对脑卒中患者的运动想象能力进行评估,从而筛选出适合接受运动想象训练的对象。运动想象能力的评定有很多方法,其中心理旋转实验(mental rotation test)得到了比较高的认可度。心理旋转是一种较为客观的测试,能够得到运动想象相关的反应时间和正确率等详细参数,因此在评估运动想象能力时相较于传统的主观式运动想象问卷要更有优势^[5-6]。本综述将围绕心理旋转实验的基本概念、常见范式、脑卒中患者的临床研究及评定患者运动想象能力的神经生理基础进行阐述。

1 心理旋转的基本概念

“心理旋转”这一概念最早由 Shepard 等在 1971 年提出,基本内容对于空间内旋转到不同角度的三维图形,人类可以通过大脑的空间认知等相关机能来予以识别,并且识别的速度和旋转的角度密切相关^[7]。该研究被公认为空间认知领域的经典,后续大量的研究都借鉴了 Shepard 实验的核心设计,创造出众多的研究范式,取得了丰硕的研究成果^[8-9]。现代理论认为,心理旋转指受试者对于呈现在面前的一个或多个几何图形、身体部分、字母符号等客体,通过大脑的空间表征转换^[9],进而判断该客体的空间特征。该实验和患者的视空间认知功能密切相关,和运动想象能力也紧密关联^[10]。大量科学研究和临床实践认为,脑卒中患者在进行运动想象康复训练之前,需要通过心理旋转实验对患者的运动想象能力进行筛查^[11],只有当患者能在特定时间内以较高的正确率完成测试才可以被认为是运动想象训练的适用对象^[4]。

2 心理旋转实验的常见范式

心理旋转实验的实施所需要的外部设备包括视觉刺激

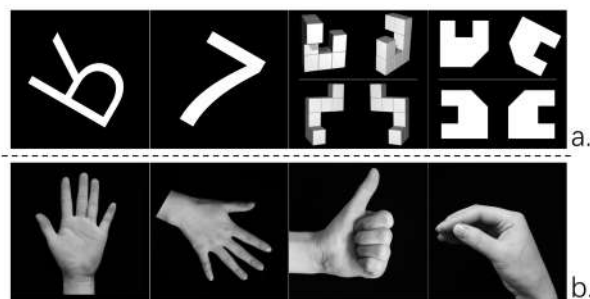
(visual stimulus)的呈现设备和实验判断的反应设备。在评估时,我们需要通过心理学的专业软件(如 E-prime 等)预先编制好专门的测试程序,然后利用电脑屏幕呈现出不同的视觉刺激图片,并使用按键进行判别同时准确记录反应时间^[8]。心理旋转实验可以按照视觉刺激内容的不同和测试形式上的差异来分别进行划分。

2.1 视觉刺激内容

心理旋转实验的视觉刺激内容可以根据实验的目的相应设置,因此种类繁多。最常见的视觉刺激包括身体的部分(例如手、脚、单侧躯干的图片)^[12]、3D 模型^[7]、字母、数字和包含空间关系的其他图案^[13]等(图 1)。其中,手旋转测试(hand rotation test)最为经典^[14],刺激的图片可以是手心、手背或者手的局部,而手的照片既有真实的拍摄也有 3D 建模或手绘。手部的动作最常见的是五指伸直自然分开,也可以有握拳或者其他复杂的动作^[15]。手旋转测试之所以经典,是因为手是人类最熟悉的身体部位之一,人们想要与外界环境发生关系、参与各种活动、进行各种操作任务都需要手功能的参与^[16]。因此,受试者在进行手旋转试验时带入感比较强,能够更好地集中注意力完成测试,研究甚至表明手旋转测试可以诱发出明显的运动想象相关的大脑皮层的激活^[10]。

2.2 测试形式

心理旋转实验的测试形式包括单个刺激判断、成对刺激

图 1 心理旋转实验常见的视觉刺激图片^[7,12,13]

a. 字母、数字、3D 图案、2D 图案; b. 手心、手背、握拳、异形手

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2020.10.023

*基金项目:国家重点研发计划(2018YFC2002301);国家自然科学基金青年项目(81401859);上海市科委科研项目(16441905302)

1 复旦大学附属华山医院,上海市静安区乌鲁木齐中路12号,200040; 2 通讯作者

第一作者简介:王鹤玮,男,博士研究生; 收稿日期:2018-11-28

比较和多个刺激选择等^[8]。“单个刺激”指每次出现在受试者面前的是单个图形,需要判断该图形的正反或者左右,例如判断手的左右或者数字的正镜向;“成对刺激”指的是每次呈现给受试者两个图形,需要受试者判断这两个图形是完全一样还是互为镜像;“多个刺激选择”指的是每次出现一个标准图形和多张旋转到不同角度的待选图形,在待选图形中只有一个图形和标准图形完全一致,其他图形皆为镜像图形。无论选择哪一种实验形式,在正式测试前都需要对受试者进行充分的解释和指导,同时还需要保证每次测试要有足够的总量,以提高测试结果的真实性和稳定性。

3 脑卒中患者心理旋转实验的行为学分析

3.1 脑卒中患者心理旋转实验正确率的改变

Johnson等^[17]认为,脑卒中患者如果想要进行有效的运动想象训练,首先需要保留完整的运动想象能力。因此,Johnson等对23位脑卒中患者进行了初筛,并排除了12位有明显智力损伤的患者,因为运动想象训练所涉及的空间表征和转化与高级认知功能密切相关,因此认知功能不足的患者通常不适合进行训练。剩余的11位脑卒中患者和匹配的健康受试者被要求进行抓握选择测试,屏幕上显示有旋转到不同角度的抓握柱状物体的准备动作,受试者需要在内心进行心理旋转操作并挑选出最容易完成的姿势,结果显示脑卒中患者和健康受试者选择模式非常接近,最倾向于0°完成抓握动作(实际操作时该动作最容易完成),且随着角度增加(实际抓握难度增加)选择倾向性越来越小,几乎没有人选择在180°完成抓握动作(实际操作时该动作最费力)。Johnson等^[18]随后对肢体功能恢复较好和恢复较差的脑卒中患者进行了测试,测试内容包括上述的抓握选择测试和手旋转测试。抓握选择测试结果显示两组患者都可以比较好地完成试验,想象抓握和实际抓握的选择高度一致(一致率在90%左右),且组间比较并没有显著性差异($F=3.2, P=0.12$)。此外,手旋转测试采用了单个3D手模型的左右侧判断,结果显示恢复好的和恢复较差的患者都可以较为准确地识别出手的图片的左右侧。该研究发现,偏瘫侧手的图片的识别率有高于健侧手图片的趋势($F=5.0, P=0.07$),这可能是因为对于认知功能较为完好的脑卒中患者,其偏瘫侧肢体的运动执行功能的减弱或者消失反而减少了其对运动想象的干扰,即所谓的“偏瘫侧优势(hemiplegic advantage)”。患者由于运动的下游即运动执行受阻,更加关注和强化了上游的运动准备,因此心理旋转的成绩反而更好^[8]。随后,Vries等^[19]和Liepert等^[20]的研究都显示,脑卒中患者的心理旋转的识别正确率和健康对照组并没有显著性差异。

然而,也有一些脑卒中患者心理旋转实验的研究结果与上述的研究结论不一致。Braun等^[12]招募了20个发病1个月

以上的脑卒中患者和20个年龄匹配的健康受试者,比较两组受试者在进行心理旋转实验左右判断时的不同反应,采用的视觉刺激为3D建模的手和脚。结果发现脑卒中患者无论是偏瘫侧还是非偏瘫侧的心理旋转的识别正确率都在80%左右,明显低于健康对照组的接近90%的正确率,且统计学意义显著($F=4.41, P=0.042$)。Daprati等^[21]也发现,右侧大脑半球损伤的脑卒中患者心理旋转实验的正确率显著降低,但左侧大脑半球损伤的脑卒中患者心理旋转识别率正常。还有研究提示,脑卒中患者在发病早期(卒中后3周)心理旋转实验的正确率显著降低,但在发病6周时,其正确率逐渐恢复到正常水平,即脑卒中患者的运动想象能力在发病初期阶段是逐渐恢复的^[22],因此在筛选适合接受运动想象训练的脑卒中患者时,需要注意其运动想象能力可能处于动态变化中。那如何合理解释这些研究结果的显著不一致呢?仔细对比上述研究设计的差异和招募对象的不同,我们发现影响心理旋转实验得分的因素是复杂的,损伤脑区的差异、发病时间的不同、心理旋转实验视觉刺激的复杂程度等都会影响到最终的结论。

综上所述,虽然脑卒中患者的大脑受到了不同程度的损伤,但仍有很多患者保留有较好的心理旋转表征能力,这些证据为脑卒中患者进行运动想象训练提供了基础。

3.2 脑卒中患者心理旋转实验反应时间的改变

反应时间是心理旋转实验的另一个主要结果参数。既往研究显示,在健康人群中,心理旋转的反应时间和视觉刺激对象旋转的角度呈线性相关,且旋转角度在180°时,反应时间最长^[7-8,13]。其基本原理是,受试者为了判断视觉刺激的正反或者一致性,需要先将大脑中将视觉刺激图形旋转到正位,进而进行判断。而心理旋转的方向既可以顺时针又可以是逆时针,因此在视觉刺激图形旋转角度为0°时反应时间最短,在视觉刺激图形旋转到180°时,反应时间最长^[8]。脑卒中患者和健康受试者对于不同旋转角度的视觉刺激的反应时间变化类似,都是随着旋转角度的增加而增加,在180°附近达到最长的反应时间^[5,23]。刘华等^[9]的研究还发现,随着旋转角度的增加,不仅反应时间在延长,正确率也有所下降。

与健康受试者比较,通常脑卒中患者心理旋转的反应时间要更长^[23],且心理旋转视觉刺激的复杂程度越高,脑卒中患者的反应时间相对于健康对照组会越长^[23]。其他类型的中枢系统的损伤,例如多发性硬化^[24]、帕金森病^[25]等,其心理旋转能力也有所下降,反应时间显著比健康人群要长。Johnson等^[18]比较了肢体功能恢复好的和恢复较差的患者进行单个3D手模型的左右侧判断的反应时间,结果表明健侧手和患侧手图片的反应时间没有显著性差异($F<1.0, P>0.05$),恢复较好组和恢复较差组的组间比较也没有显著性差异($F=1.4, P=0.27$),但健患侧手和恢复不同的组之间有交互

作用($F=5.2, P=0.06$),即在恢复较差的患者组,其偏瘫侧手的视觉刺激的反应时间比健侧要短;而在恢复较好的患者组,其偏瘫侧手的视觉刺激的反应时间比健侧要长,该结果的解释跟前文所述的“偏瘫侧优势”一致。

因此,脑卒中患者保留有心理旋转实验反应时间随旋转角度变化的基本特征,但反应时间较健康人有不同程度的延长。因此,我们需要考虑到脑卒中患者在进行运动想象训练时候可能存在的困难如反应迟钝等,在训练的流程设置上要难度适中、梯度增加,训练过程要注意诱导和指引,治疗师更要具备较好的耐心和职业素养。

4 心理旋转实验用于评估运动想象能力的神经解剖基础

运动想象疗法促进脑卒中患者运动功能恢复的经典理论是“心理神经肌肉理论(psychoneuromuscular theory, PM理论)”,该理论认为大脑中保存的运动想象和运动执行的“流程图”是类似的,脑卒中患者的运动通路可能不同程度受损,但其大脑中关于运动想象的“流程图”则可能部分或完整地保留^[26]。因此通过运动想象训练,就可以刺激和强化整个运动系统的起始阶段,激活感觉运动网络,从中枢层面为运动功能的改善提供基础^[27-28]。支持该理论的证据有很多,例如大量神经影像学的研究结果提示,运动想象和实际运动所激活的感觉运动皮层模式是非常接近的。Kuhtz等^[29]和Sharma等^[30]的研究都提示,实际运动执行和想象运动都可以激活包括辅助运动区、运动前皮质、顶叶皮质和小脑等与运动功能密切相关的脑区。

与此同理,如果想通过心理旋转实验评估脑卒中患者的运动想象能力,就需要提供证据证明运动想象和心理旋转实验所对应的功能性神经解剖(functional neuroanatomy)的定位是相似的。大量研究提示心理旋转实验可以激活包括运动前皮质、辅助运动区、顶叶皮质等脑区^[10,15]。其中运动前皮质与运动准备密切相关^[31],辅助运动区往往参与复杂运动的调控(例如双侧协调运动、序列运动等)^[32-33],而顶叶皮质则涉及空间定位和表征^[8]。Hamada等^[10]近期发表的研究直接比较了手旋转运动和运动想象时脑区的激活情况,结果显示,双侧的运动前皮质和辅助运动区在运动想象和心理旋转实验时都有显著的激活。综上所述,心理旋转涉及的脑区和运动想象相关的脑网络分布是非常相似的,因此通过心理旋转实验可以反映脑卒中患者运动想象能力的强弱。

5 小结

运动想象疗法需要患者对特定的想象动作进行反复地强化和演练,因为不伴有实际动作的输出,所以患者能否在内心很好的表征出需要想象的训练动作就是运动想象疗法的先决条件。本综述阐述了运动想象和心理旋转等的基本

概念,归纳了心理旋转实验的基本样式,分析和讨论了脑卒中患者的心理旋转和运动想象能力的特点,并在最后从神经影像学证据入手阐述了心理旋转实验评估运动想象能力的神经生理基础。需要指出,心理旋转实验虽然属于最重要的运动想象能力的评估方法之一,但其他的评估方法,例如时间一致性评估、主观量表评定、自主神经系统的监测等都可以提供关于患者运动想象能力的重要信息^[3],因此在临床运用中应该综合使用、优势互补。

参考文献

- [1] Butler AJ, Page SJ. Mental practice with motor imagery: evidence for motor recovery and cortical reorganization after stroke[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2006, 87(12 Suppl 2): S2—S11.
- [2] 贾杰. “中枢-外周-中枢”闭环康复——脑卒中后手功能康复新理念[J]. 中国康复医学杂志, 2016(11): 1180—1182.
- [3] Sharma N, Pomeroy VM, Baron JC. Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke?[J]. Stroke, 2006, 37(7): 1941—1952.
- [4] Simmons L, Sharma N, Baron JC, et al. Motor imagery to enhance recovery after subcortical stroke: who might benefit, daily dose, and potential effects[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2008, 22(5): 458—467.
- [5] 刘华, 杜晓霞, 孙蓉, 等. 脑卒中患者心理旋转能力与视空间认知能力的关系[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(3): 249—252.
- [6] Kho AY, Liu KP, Chung RC. Meta-analysis on the effect of mental imagery on motor recovery of the hemiplegic upper extremity function[J]. Aust Occup Ther J, 2014, 61(2): 38—48.
- [7] Shepard RN, Metzler J. Mental rotation of three-dimensional objects[J]. Science, 1971, 171(3972): 701—703.
- [8] Searle JA, Hamm JP. Mental rotation: an examination of assumptions[J]. Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci, 2017, 8(6): 3—7.
- [9] 王鹏, 游旭群, 刘永芳. 心理旋转研究的新进展[J]. 心理科学, 2005, 28(5): 1164—1166.
- [10] 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.
- [11] Barclay-Goddard RE, Stevenson TJ, Poluha W, et al. Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2011(5): D5950.
- [12] Braun N, Kranczioch C, Liepert J, et al. Motor imagery impairment in postacute stroke patients[J]. Neural Plast, 2017, 2017: 4653256.

- [13] Dalecki M, Dern S, Steinberg F. Mental rotation of a letter, hand and complex scene in microgravity[J]. *Neurosci Lett*,2013,533:55—59.
- [14] Zapparoli L, Invernizzi P, Gandola M, et al. Like the back of the (right) hand? A new fMRI look on the hand laterality task[J]. *Exp Brain Res*,2014,232(12):3873—3895.
- [15] Kosslyn SM, Digirolamo GJ, Thompson WL, et al. Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography[J]. *Psychophysiology*,1998,35(2):151—161.
- [16] Duruöz M T. *Hand Function*[M]. Springer New York,2014.
- [17] Johnson SH. Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics[J]. *Neuroreport*,2000,11(4):729—732.
- [18] Johnson SH, Sprehn G, Saykin AJ. Intact motor imagery in chronic upper limb hemiplegics: evidence for activity-independent action representations[J]. *J Cogn Neurosci*,2002,14(6):841—852.
- [19] de Vries S, Tepper M, Feenstra W, et al. Motor imagery ability in stroke patients: the relationship between implicit and explicit motor imagery measures[J]. *Front Hum Neurosci*,2013,7:790.
- [20] Liepert J, Busching I, Sehle A, et al. Mental chronometry and mental rotation abilities in stroke patients with different degrees of sensory deficit[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2016,34(6):907—914.
- [21] Daprati E, Nico D, Duval S, et al. Different motor imagery modes following brain damage[J]. *Cortex*,2010,46(8):1016—1030.
- [22] de Vries S, Tepper M, Otten B, et al. Recovery of motor imagery ability in stroke patients[J]. *Rehabil Res Pract*,2011, 2011:283840.
- [23] 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.
- [24] Tabrizi YM, Mazhari S, Nazari MA, et al. Abnormalities of motor imagery and relationship with depressive symptoms in mildly disabling relapsing-remitting multiple sclerosis[J]. *J Neurol Phys Ther*,2014,38(2):111—118.
- [25] Weil RS, Schrag AE, Warren JD, et al. Visual dysfunction in Parkinson's disease[J]. *Brain*,2016,139(11):2827—2843.
- [26] 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.
- [27] Tong Y, Pendy JJ, 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.
- [28] Wang H, Sun L, Jia J. The plasticity of resting-state brain networks associated with motor imagery training in chronic stroke patients[J]. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*,2018,61:e20.
- [29] Kuhtz-Buschbeck JP, Mahnkopf C, Holzknecht C, et al. Effector-independent representations of simple and complex imagined finger movements: a combined fMRI and TMS study[J]. *Eur J Neurosci*,2003,18(12):3375—3387.
- [30] Sharma N, Simmons LH, Jones PS, et al. Motor imagery after subcortical stroke: a functional magnetic resonance imaging study[J]. *Stroke*,2009,40(4):1315—1324.
- [31] Hardwick RM, Caspers S, Eickhoff SB, et al. Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution[J]. *Neurosci Biobehav Rev*,2018,94: 31—44.
- [32] Lee D, Quessy S. Activity in the supplementary motor area related to learning and performance during a sequential visuomotor task[J]. *J Neurophysiol*,2003,89(2):1039—1056.
- [33] Kermadi I, Liu Y, Tempini A, et al. Neuronal activity in the primate supplementary motor area and the primary motor cortex in relation to spatio-temporal bimanual coordination[J]. *Somatosens Mot Res*,1998,15(4):287—308.