

·综述·

脑卒中后认知障碍的静息态功能磁共振成像研究进展

李沁¹ 肖端¹ 徐亚林^{1,2}

2020年,《中国卒中后认知障碍防治研究专家共识》中指出,脑卒中已成为我国成年人致残率及致死率最高的疾病,其发病率更是在逐年激增;而卒中患者常伴有的认知障碍表现,对于患者、家庭及社会无疑是沉重的负担,但此前却未引起足够重视^[1]。卒中后认知障碍(post-stroke cognitive impairment, PSCI)是指发生卒中事件后6个月内表现出达到认知障碍诊断标准的一系列综合征,特别突出卒中与认知障碍之间的前因后果关系,且涵盖了从卒中后认知障碍非痴呆(post-stroke cognitive impairment no dementia, PSCIND)至卒中后痴呆(post stroke dementia, PSD)不同程度的认知障碍^[2]。近年来,可防可治的PSCI受到国内外广泛关注和积极探讨^[3],多项研究表明卒中后早期干预及康复更有助于改善症状和预后。因此,临床上研究PSCI的脑功能机制及识别早期PSCI的技术显得尤为重要。

静息态功能磁共振成像(resting-state fMRI, rs-fMRI)技术具有安全无创、高分辨率、重复性好等诸多优势,现已在认知、神经和临床等研究领域受到广泛运用。相对于任务态功能磁共振成像,rs-fMRI更加简易,且能反映脑功能的生理基线状态;被试无需任何思维活动,这对于伴有障碍、难以配合患者的临床治疗和科学研究都更有优势。PSCI患者常常伴有言语、视听、感知及运动等功能障碍,不能配合完好的认知检测^[4],于是研究人员希望运用rs-fMRI辅助预测患者的认知功能或协助评估临床治疗康复效果^[5]。目前,已有许多研究证实了PSCI在静息状态下存在多个脑区局部功能活动、功能连接上的异常,然而不同的研究方法 & 处理分析方法使PSCI患者在影像学下的研究结果及评估预后仍有争议。鉴于上述情况,笔者将对目前主要应用于PSCI中rs-fMRI的分析研究进展做一综述。

1 rs-fMRI的定义及其分析方法

20世纪90年代,Ogawa等^[6]提出了基于血氧水平依赖成像(blood oxygen level dependence, BOLD)技术,即当大脑神经元兴奋时,局部加强电活动时会同增加局部脑血流量及需氧量,但由于脑血流量增加的速度相对较快,因此其综

合效应是使局部氧合血红蛋白含量相对增加^[7],局部磁场发生改变,从而反映局部神经元活动。而在静息状态下,Biswal等^[8]在左右大脑半球运动区观察到BOLD信号的0.01—0.08Hz低频振荡部分存在显著的功能连接性,便提出了rs-fMRI技术的概念。区别于传统的脑结构性磁共振,rs-fMRI更注重空间上不相连的脑区活动在时间上的相关性,为脑功能障碍研究提供了更加广阔的视角。目前,rs-fMRI主要是从局部脑区活动及脑区间功能连接来分析,两类方法各有利弊,目前已有一定的研究进展,为我们更有效、更准确地认识PSCI患者的脑功能代偿机制提供帮助。

2 PSCI的rs-fMRI研究进展

2.1 PSCI局部脑区活动的研究进展

局部脑区活动的分析方法主要包括局部一致性(regional homogeneity, ReHo)和低频振荡振幅(amplitude of low-frequency fluctuation, ALFF)。

ReHo揭示了局部脑区神经元活动在时间上的同步性,可反映脑区内和脑区间的自发神经活动协调性。这是由Zang等^[9]在2004年提出的一种模型驱动的补充方法,通过肯德尔一致性系数量化指定区域内邻近体素间的活动一致性,阐明该区域自发神经活动的状态;ReHo值增高及减弱,分别表明局部脑区神经元活动在时间上是否趋于同步。此方法的优势在于对局部小区域的功能同步性更加敏感,可为功能连接分析提供信息补充^[10]。现有研究表明,PSCI患者多个脑区可出现异常ReHo值,可能与其受损脑区内和之间的自发神经活动不平衡有关。如Ni等^[11]发现腔隙性梗死后轻度认知障碍(mild cognitive impairment-Lacunar infarction, MCI-LI)与单纯的轻度认知障碍(mild cognitive impairment, MCI)患者的ReHo值改变出现在不同脑区,神经自发活动出现不平衡,这表明出现认知障碍的脑机制可能是不相同的。也有研究表明PSCI患者部分脑区ReHo值改变与蒙特利尔认知评估量表(Montreal cognitive assessment, MoCA)、简易精神状态检查表(mini-mental state examination, MMSE)等认知障碍评分有关,但这些脑区分布及结果不尽

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.06.025

1 暨南大学附属第一医院,广东省广州市,510632; 2 通讯作者

第一作者简介:李沁,女,硕士研究生,住院医师; 收稿日期:2020-04-03

相同,其相关性及相关意义均有争议。如Diciotti等^[12]研究发现ReHo值和MoCA认知评分之间存在显著的负相关,即整体认知障碍较差的患者左后小脑ReHo值越高;执行功能较差的患者,双侧扣带回皮质的ReHo值较高。而Zuo等^[13]发现相对于健康对照组(cognitively normal subjects, CNs),血管性轻度认知障碍(vascular mild cognitive impairment, VaMCI)患者的左侧小脑和右侧豆状核的ReHo值显著降低;右侧豆状核的ReHo值和MoCA评分之间存在显著的正相关。目前,已有研究普遍表明PSCI患者的多个大脑区域出现异常局部生物活性,认为ReHo值可能是PSCI功能成像研究中的敏感生物标志之一^[14]。但ReHo值改变机制尚未明确,各项研究中纳入被试的卒中损伤区域、病程时间等影响因素较多,需要进一步的探讨与研究。

ALFF揭示了区域神经元的活动性,可反映局部脑区自主神经活动功能状态。这是由Zang等^[15]在2007年提出的一种数据驱动分析方法,可量化区域神经元自发放电活动中的低频(通常为0.01—0.1Hz)振荡(low frequency oscillation, LFO)强度,ALFF值的增高和减低,分别反映了脑区活动的兴奋和抑制,有着良好的可重复性和重测信度^[16]。彭程宇^[17]的研究中提到,相对于CNs,皮质下卒中患者后扣带回皮质(posterior cingulate cortex, PCC)的ALFF值降低,考虑为PSCI患者的PCC脑区可能发生功能性重构和机能改变,降低了该脑区神经信号的振幅。在动物实验研究中,Wen等^[18]通过缺血性手术诱发的小鼠脑梗死后出现认知障碍发现其海马、扣带回、前缘皮质的ALFF值降低。正如上述研究,既往多集中于研究疾病相关低频波动的脑区分布的影响,但目前不同ALFF值幅度的研究影响受到热议。如Zuo等^[19]将ALFF值细分为四个不同的频率范围(slow-5: 0.01—0.027Hz, slow-4: 0.027—0.073Hz, slow-3: 0.073—0.198Hz, slow-2: 0.198—0.25Hz),灰质的LFO幅度明显强于白质,slow-4和slow-5频段广泛分布于灰质部分。李磊等^[20]研究中,PSCI患者在不同频段下脑功能均发生了改变,其在顶下小叶及岛叶ALFF值均较对照组升高,而右侧小脑后叶的ALFF值低于对照组;PSCI患者在slow-2、slow-3及slow-4下双侧颞下回的ALFF值高于对照组,而在slow-5及slow-6(0—0.01Hz)下双侧颞下回的ALFF值低于对照组。这些样本量及研究量仍较少,处于探索性工作,目前尚存争议。

2.2 PSCI脑区间联系的研究进展

认知表现由大规模脑网络协同工作与动态交互支撑,局部脑区损伤可引发多个脑区功能障碍,因此脑卒中后脑网络功能连接的重建与认知功能恢复息息相关。目前应用较多的方法主要有以下几种:基于种子点的相关分析方法(seed-based correlation analysis, SBCA)、独立成分分析(independent component analysis, ICA)、Granger因果分析(Granger

causality analysis, GCA)、基于体素镜像同伦连接(voxel-mirrored homotopic connectivity, VMHC)及基于图论的脑网络分析方法。

SBCA揭示了脑区间的相关系数,可反映相应脑区间的连接强度,其方法运用简单,结果解释清晰,但有一定的主观依赖性。研究人员通过选定一个特定的感兴趣脑区(ROI)作为“种子点”,与其他脑区进行相关性分析,衡量特定脑区的功能连接强度^[21]。如Dacosta-Aguayo等^[22]基于SBCA研究PSCI的默认模式网络(Default mode network, DMN)时,发现患者的左额上回(left superior frontal gyrus, LSFG)和PCC、左侧海马旁回和右额上回、左侧海马旁回和LSFG、右侧顶叶和LSFG之间的功能连接性降低,这与卒中后行为学改变是相关的。Puig等^[23]针对卒中患者功能预后的rs-fMRI研究结果显示:功能预后较好的患者两侧大脑半球脑区之间具有较高的功能连接性,而同侧大脑半球脑区间的FC降低。上述研究结果表明半球间的FC提示患者的功能预后,但当大脑损伤较为严重时,半球内及半球之间的FC降低,损伤脑区出现神经适应性改变,导致同侧大脑半球间FC代偿性增加;而对于预后良好的患者,并不需要增加同侧半球内的FC。近来许多研究认为内嗅皮质可能有独立的记忆形成系统,不一定归属于海马体,如Zuo等^[13]发现PSCI患者在右额下回、右额中回、双侧中央前回和右中央后回的右内嗅皮质功能连接(functional connectivity, FC)减少,这为研究PSCI的神经机制提供新的看法。因此,SBCA可以帮助我们更全面地了解PSCI的发病机理。

相对于SBCA,ICA的客观性更强。ICA是一种盲源分离技术,主要用于信号分离和特征识别,揭示体素间的相互联系,反映了脑网络的连通性。这种方法可以提取出一系列时间独立的脑活动信号或者空间独立的脑网络来分析fMRI数据,从而客观可靠地定义及分析不同的静止状态网络(resting-state network, RSNs)。WANG等^[24]通过ICA分离RSNs,发现卒中患者在感觉运动网络、视觉网络、听觉网络、背侧注意力网络和默认网络中的内部FC增加,而额顶叶(FPN)和前DMN的网络内FC减少;同时发现患者的视觉-听觉网络、听觉-感觉运动网络等网络之间也出现了变化,以上表明卒中不仅影响多个RSNs内部网络FC,还影响这些RSNs之间的FC^[23]。就病灶位置对卒中患者认知影响而言,Chen等^[25]研究发现基底节卒中患者和桥脑卒中患者的感觉运动网络和DMN均显示FC降低,即两组患者在感觉运动和认知区域都表现出特定类型的FC损伤。多项研究表明静止状态DMN的连通性可以作为未来干预研究的神经影像生物标记,如Liu等^[26]研究基于ICA表明PSCI患者的感觉运动网络、后默认网络、右侧顶叶网络和语言网络的RSNs中FC发生了显著改变,且部分卒中后患者可能尚未出现认知障碍,

但在RSNs中显示多项反应神经元的脑区功能亢进显著增加;这可能是由于疾病的适应不良反应或认知资源的代偿性重新分配,从而产生了一种掩盖的补偿现象^[27],即提示在疾病早期RSNs中的功能区已产生了改变。由此可见,rs-fMRI的ICA分析将数据分解为具有时间对应关系的空间模式,能为潜在PSCI患者的早期识别提供依据。

GCA揭示了脑区间形成相互联系的原因,可用于探索脑网络的因果特性,挖掘脑网络异常模式。这种方法来源于经济学中的一种基于多元线性回归方法,可衡量脑区之间的有效连接,探究一个时间序列是否可以正确预测另一个时间序列,可分析静息态和任务态数据。判断PSCI患者脑区之间信息流动方向的改变,可以通过GCA方法来解读卒中后损伤大脑间的因果联系,如Dacosta-Aguayo等^[22]基于GCA,阐明DMN的功能受损与卒中患者病变的大小与位置有关,即随着病变的大小越大,节点之间的连通性越差;双侧额叶、扣带回、顶叶和海马旁回的节点受损越多,认知功能越差。PSCI患者常常也伴有抑郁问题,如Shi等^[28]通过多元GCA方法分析到卒中患者组从腹侧前额叶皮质、前扣带回皮质和杏仁核到丘脑的顺序呈正向调节,而当相互作用顺序相反时,调节作用则为负;丘脑可以通过前扣带回皮质预测岛叶的阴性活动,背外侧前额叶皮质可以通过额叶预测前扣带回皮质的活动。但是,GCA在fMRI数据分析上的适用性仍有较大的争论^[29],首先,GCA分析的数据需具有高度平稳性,但脑功能的因果影响却有多样性;其次,机械地寻求“效应”的“原因”来量化因果关系,容易产生误导和无效的预测结果。当然,目前许多研究人员结合脑电图、干预研究等验证方法,使GCA在rs-fMRI神经网络中建立因果关系有了良好的运用前景^[30],为我们理解PSCI的神经病理生理机制提供一个新思路。

VMHC揭示了双侧大脑半球间同步活动情况,可反映大脑半球间信息交流的模式。这是由Zuo等^[31]在2010年提出的,通过量化一侧半球中每个体素与另一侧半球中镜像对应体之间的功能连接强度,反映两侧大脑半球信号活动的同步性;VMHC值的高低反映大脑半球间的功能活动平衡性好坏,提示是否存在协同异常及加工障碍,这种模式对大脑发挥功能信息整合有着重要作用。那么,卒中患者不同时期的恢复机制与VMHC值也应有所关联,如Shan等^[32]研究中,观察到卒中后患者在不同时期两侧大脑半球的中央前回和中央后回的VMHC值有所改变,即早期卒中患者双侧中央前回、中央后回的VMHC值降低,但3个月后,中央前回和中央后回的VMHC值恢复至正常水平。中央前回和中央后回是感觉运动网络的重要组成部分,以上VMHC值的动态改变考虑是可能卒中后脑功能重组的特征模式,或者是与相对快速的运动恢复过程有关。另外,在此观察期间,患者楔前叶/

PCC的VMHC值长期处于较低状态但也略有改变,该脑区与认知高度相关,表明卒中后认知功能恢复较为缓慢。PSCI患者部分脑区的VMHC值持续改变,其可能与脑血管再通、再灌注及脑组织重塑性有关^[33]。迄今,VMHC方法在认知方面的研究仍较少,其是否可预测行为学的恢复及理解卒中后的脑部代偿机制,非常值得我们进一步探究。

基于图论的脑网络分析揭示了人脑的复杂网络是由结构脑网络和功能脑网络组成的,存在着“小世界”特性,即伴有较短的平均路径长度和较高的聚类系数。结构脑网络基于大脑的解剖形态学,而功能脑网络基于结构脑网络,但强调不同脑区之间神经活动的关联性及协调性^[34]。如Zhang等^[35]发现与正常人相比,卒中患者的功能脑网络中存在异常拓扑特性,表现为特征路径更长,整体效率更低;这表明卒中后脑部信息传递减慢,信息处理效率降低。目前基于rs-fMRI结合图论分析PSCI患者的功能脑网络研究较少,大多研究集中在结构脑网络的分析。Bournonville等^[36]基于图论的分析方法,发现PSCI患者与卒中后无认知障碍患者的全脑拓扑结构无明显差异,而基于网络的统计分析方法,可见全脑网络功能障碍,额叶与颞叶内与认知相关的多个区域功能连接出现中断,其中认知相关的脑区功能连接性与认知评分成正相关。这考虑可能是由于该文中的纳入PSCI被试的认知评估方式有关,且基于网络的统计分析与基于图论的rs-fMRI分析敏感性是否有区别,这些问题需要更多的研究做进一步探讨。

3 小结

rs-fMRI对评估PSCI患者脑功能变化的探讨有重要意义,不仅对PSCI患者的早期辨别提供客观依据,而且对其康复预后和疗效评估也有很好的应用前景。然而,目前PSCI患者主要异常脑区表现在与认知记忆相关的DMN、中央执行网络及凸显网络等脑区,但不同的分析方法对PSCI脑区改变结果仍存在较大差异,将脑区局部活动和脑区间连接的分析方法相结合能更加全面地获得脑功能活动信息。PSCI是一种混合损伤机制的结果^[37-38],年龄、脑萎缩程度、血浆生化参数及病变位置等都是PSCI的风险影响因素^[39-40],但脑损伤代偿机制仍在探究阶段,认知功能恢复机制尚未完全阐明,康复机制也暂无统一论,亟待更多权威的高质量研究使rs-fMRI能更好地帮助解决临床问题。脑功能分析仍面临诸多重大挑战,在今后的研究中,可就上述分析方法行大规模样本横向比较,纵向密切追踪卒中后患者从急性期到慢性期的认知功能的动态演变过程^[32],为临床诊断提供更多依据,并扩大对PSCI脑机制的更多认识;与此同时,结合相关行为学认知功能量表评估,为创新及运用精准康复奠定重要基础。

参考文献

- [1] 王俊. 中国卒中后认知障碍防治研究专家共识[J]. 中国卒中杂志, 2020, 15(2): 158—166.
- [2] 董强, 郭起浩, 罗本燕, 等. 卒中后认知障碍管理专家共识[J]. 中国卒中杂志, 2017, 12(6): 519—531.
- [3] 王陇德, 刘建民, 杨弋, 等. 我国脑卒中防治仍面临巨大挑战——《中国脑卒中防治报告2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(2): 105—119.
- [4] Mijajlovic MD, Pavlovic A, Brainin M, et al. Post-stroke dementia - a comprehensive review[J]. BMC Med, 2017, 15(1): 11.
- [5] 于春水. 磁共振脑功能成像的现状与挑战[J]. 中国临床医学影像杂志, 2018, 29(8): 533—542.
- [6] Ogawa S, Lee TM, Kay AR, et al. Brain magnetic resonance imaging with contrast dependent on blood oxygenation[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1990, 87(24): 9868—9872.
- [7] 杨国庆, 刘东柏, 高恒. BOLD和DTI成像在轻度脑外伤中的研究进展[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2019, 24(6): 286—288.
- [8] Biswal B, Yetkin FZ, Haughton VM, et al. Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI[J]. Magn Reson Med, 1995, 34(4): 537—541.
- [9] Zang Y, Jiang T, Lu Y, et al. Regional homogeneity approach to fMRI data analysis[J]. Neuroimage, 2004, 22(1): 394—400.
- [10] Chen YC, Zhang J, Li XW, et al. Altered intra- and interregional synchronization in resting-state cerebral networks associated with chronic tinnitus[J]. Neural Plast, 2015, 2015: 475382.
- [11] Ni L, Liu R, Yin Z, et al. Aberrant spontaneous brain activity in patients with mild cognitive impairment and concomitant lacunar infarction: a resting-state functional MRI study[J]. J Alzheimers Dis, 2016, 50(4): 1243—1254.
- [12] Diciotti S, Orsolin S, Salvadori E, et al. Resting state fMRI regional homogeneity correlates with cognition measures in subcortical vascular cognitive impairment[J]. J Neurol Sci, 2017, 373: 1—6.
- [13] Zuo M, Xu Y, Zhang X, et al. Aberrant brain regional homogeneity and functional connectivity of entorhinal cortex in vascular mild cognitive impairment: a resting-state functional MRI study[J]. Front Neurol, 2018, 9: 1177.
- [14] Yuan X, Han Y, Wei Y, et al. Regional homogeneity changes in amnesic mild cognitive impairment patients[J]. Neurosci Lett, 2016, 629: 1—8.
- [15] Zang YF, He Y, Zhu CZ, et al. Altered baseline brain activity in children with ADHD revealed by resting-state functional MRI[J]. Brain Dev, 2007, 29(2): 83—91.
- [16] Chen X, Lu B, Yan CG. Reproducibility of R-fMRI metrics on the impact of different strategies for multiple comparison correction and sample sizes[J]. Hum Brain Mapp, 2018, 39(1): 300—318.
- [17] 彭程宇. 卒中后患者认知功能障碍的静息态功能磁共振成像研究[D]. 东南大学, 2017.
- [18] Wen T, Zhang X, Liang S, et al. Electroacupuncture ameliorates cognitive impairment and spontaneous low-frequency brain activity in rats with ischemic stroke[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2018, 27(10): 2596—2605.
- [19] Zuo XN, Di Martino A, Kelly C, et al. The oscillating brain: complex and reliable[J]. Neuroimage, 2010, 49(2): 1432—1445.
- [20] 李磊, 陈雪, 曹雯玮, 等. 不同频段下血管性认知功能障碍患者低频振幅的静息态脑功能改变[J]. 临床放射学杂志, 2016, 35(9): 1297—1302.
- [21] van den Heuvel MP, Hulshoff PH. Exploring the brain network: a review on resting-state fMRI functional connectivity[J]. Eur Neuropsychopharmacol, 2010, 20(8): 519—534.
- [22] Dacosta-Aguayo R, Graña M, Iturria-Medina Y, et al. Impairment of functional integration of the default mode network correlates with cognitive outcome at three months after stroke[J]. Human Brain Mapping, 2015, 36(2): 577—590.
- [23] Puig J, Blasco G, Alberich-Bayarri A, et al. Resting-state functional connectivity magnetic resonance imaging and outcome after acute stroke[J]. Stroke, 2018, 49(10): 2353—2360.
- [24] Wang C, Qin W, Zhang J, et al. Altered functional organization within and between resting-state networks in chronic subcortical infarction[J]. J Cereb Blood Flow metab, 2014, 34(4): 597—605.
- [25] Chen H, Shi M, Zhang H, et al. Different patterns of functional connectivity alterations within the default-mode network and sensorimotor network in basal ganglia and pontine stroke[J]. Med Sci Monit, 2019, 25: 9585—9593.
- [26] Liu X, Chen L, Cheng R, et al. Altered functional connectivity in patients with subcortical ischemic vascular disease: a resting-state fMRI study[J]. Brain Res, 2019, 1715: 126—133.
- [27] Barkhof F, Haller S, Rombouts SA. Resting-state functional MR imaging: a new window to the brain[J]. Radiology, 2014, 272(1): 29—49.
- [28] Shi Y, Liu W, Liu R, et al. Investigation of the emotional network in depression after stroke: A study of multivariate Granger causality analysis of fMRI data[J]. J Affect Disord, 2019, 249: 35—44.
- [29] Stokes PA, Purdon PL. A study of problems encountered in Granger causality analysis from a neuroscience perspective[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2017, 114(34): E7063—E7072.

- [30] Bielczyk NZ, Uithol S, van Mourik T, et al. Disentangling causal webs in the brain using functional magnetic resonance imaging: A review of current approaches[J]. *Netw Neurosci*, 2019, 3(2):237—273.
- [31] Zuo XN, Kelly C, Di Martino A, et al. Growing together and growing apart: regional and sex differences in the lifespan developmental trajectories of functional homotopy [J]. *Journal of Neuroscience*, 2010, 30(45):15034—15043.
- [32] Shan Y, Wang YS, Zhang M, et al. Homotopic connectivity in early pontine infarction predicts late motor recovery [J]. *Front Neurol*, 2018, 9:907.
- [33] Nijssen B, Visser-Meily JM, van Mierlo ML, et al. Temporal evolution of poststroke cognitive impairment using the montreal cognitive assessment[J]. *Stroke*, 2017, 48(1): 98—104.
- [34] Farahani FV, Karwowski W, Lighthall NR, et al. Application of graph theory for identifying connectivity patterns in human brain networks: A systematic review [J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2019, 13:585.
- [35] Zhang J, Zhang Y, Wang L, et al. Disrupted structural and functional connectivity networks in ischemic stroke patients[M]. Elsevier Ltd, 2017, 364:212—225.
- [36] Bournonville C, Hénon H, Dondaine, et al. Identification of a specific functional network altered in poststroke cognitive impairment[J]. *Neurology*, 2018, 90(21): e1879—e1888.
- [37] Hagberg G, Fure B, Thommessen B, et al. Predictors for favorable cognitive outcome post-stroke: a seven-year follow-up study[J]. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 2019, 48(1—2):45—55.
- [38] Molad J, Halleli H, Korczyn AD, et al. Vascular and neurodegenerative markers for the prediction of post-stroke cognitive impairment: results from the TABASCO study[J]. *J Alzheimers Dis*, 2019, 70(3):889—898.
- [39] Casolla B, Caparros F, Cordonnier C, et al. Biological and imaging predictors of cognitive impairment after stroke: a systematic review[J]. *J Neurol*, 2019, 266(11): 2593—2604.
- [40] Wu JX, Xue J, Zhuang L, et al. Plasma parameters and risk factors of patients with post-stroke cognitive impairment [J]. *Ann Palliat Med*, 2020, 9(1):45—52.

· 综述 ·

虚拟现实技术在孤独谱系障碍治疗领域的应用研究进展*

赵晓鑫¹ 杜亚松^{1,2}

孤独谱系障碍(autism spectrum disorder, ASD)是一种神经发育障碍性疾病,其基本特征是交互性社交交流和社交互动的持续损害和受限的、重复的行为、兴趣或活动模式^[1]。2018年一项对我国30个孤独症流行病学调查的meta分析显示,我国孤独症患者患病率约为1.4%^[2]。ASD病因尚不明确,亦无特效药物治疗,目前主要通过康复训练提高患者在日常生活中的自理、认知、社会交往及社会适应的能力。然而我国儿童精神科医师及康复培训人员严重缺乏,训练机构培训水平参差不齐,不同地区医疗资源分布不均衡,因此远不能满足广大患儿早期干预的需求。作为一种计算机领域的高新

技术,虚拟现实(virtual reality, VR)技术治疗ASD的研究成为近年来十分活跃的领域。本文就VR技术在ASD治疗领域的应用进行综述。

1 VR技术及其应用于ASD治疗的优势

1.1 VR技术

VR技术,是通过多媒体平台构建的一个可能实现或是不可能实现的虚拟事物或环境,具备交互性、沉浸性与想象性的特性,可以借由“虚拟化身”使操作者沉浸在计算机生成的虚拟环境中,并成为其中的一员,能够与虚拟环境中的各

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2022.06.026

*基金项目:重大慢性非传染性疾病防控研究专项(2017YFC1309903);上海市卫健委卫生行业临床研究专项(20194Y0071)

1 上海交通大学医学院附属精神卫生中心儿童与青少年精神科,上海市,200030; 2 通讯作者

第一作者简介:赵晓鑫,男,在读博士; 收稿日期:2020-03-21