

吞咽功能相关脑功能区激活机制的血氧水平 依赖功能磁共振研究

郭刚^{1a}, 马鹏程^{1b}, 涂坤^{1a}, 翟娜^{1b}, 邹爱容^{1a}, 郭艳吉^{1a}, 吴海燕²

摘要 目的:运用血氧水平依赖功能磁共振(fMRI-BOLD)技术对正常成人吞咽动作时相应的脑功能区域的体积和强度进行研究。方法:选取健康志愿者100例,对其进行fMRI-BOLD扫描,记录其在进行吞咽动作时相关脑功能区域的激活体积和强度,并对比左右两侧脑功能区的差异。结果:100例志愿者在吞咽活动时BOLD-fMRI显示两侧初级运动皮质中枢(BA4区)、运动前区/辅助运动区(BA6/8区)、缘上回(BA40区)、岛叶(BA13区)、颞上回(BA22区)、扣带回皮质(BA24区)、额叶内侧(BA32区)、延髓、脑桥、基底核团、丘脑、小脑以及左侧颞极(BA38区)和右侧的颞横回(BA41区)等脑功能区激活体积和强度增加,左侧BA4区、BA40区、小脑激活体积较右侧大($P<0.05$);左右两侧脑区的激活强度对比差异无统计学意义($P>0.05$)。结论:在吞咽过程中,BA4区、BA6/8区是吞咽活动执行中枢,BA40区负责吞咽动作规划和判断,BA13区则对吞咽过程中的一系列诸如唾液分泌、吞咽反射、进食冲动等功能进行调节,BA38区、BA32区、BA24参与吞咽的执行,BA22和BA41两个嗅觉、听觉中枢是吞咽活动启动重要因素,基底核团、丘脑、脑桥、延髓主要是吞咽功能执行的第二级中枢,小脑则负责协调吞咽各肌群的运动平衡。这种自主吞咽动作的中枢调控具有一定的偏侧性特征。

关键词 吞咽;功能磁共振;脑功能区;偏侧性

中图分类号 R741;R741.02 **文献标识码** A **DOI** 10.16780/j.cnki.sjssgncj.20210555

本文引用格式:郭刚, 马鹏程, 涂坤, 翟娜, 邹爱容, 郭艳吉, 吴海燕. 吞咽功能相关脑功能区激活机制的血氧水平依赖功能磁共振研究[J]. 神经损伤与功能重建, 2022, 17(7): 413-415, 433.

正常的神经功能运行依赖于不同脑功能区域进行复杂的中枢调控来完成。吞咽活动是人类最基本的生理功能之一,也是人类最复杂的神经功能活动^[1],早在1989年,Berer^[2]就发现吞咽功能是运动、感觉和自主神经等脑功能区域通过复杂的调控机制来完成的,而这种机制对于探索人类脑功能区域之间的网络连接有重要意义^[3]。血氧水平依赖功能磁共振(functional magnetic resonance imaging of blood-oxygen level dependent, fMRI-BOLD)是通过顺磁脱氧血红蛋白与逆磁的含氧血红蛋白之间的变化,将进入相应脑功能区域脑细胞血液动力学的变化进行磁共振成像^[4],可提供机体在运动、感觉、语言、认知等过程中相应脑功能区域兴奋的部位、体积及强度,对于脑功能研究具有一定价值^[5]。本研究运用fMRI-BOLD技术对正常成人进行吞咽动作时相应的脑功能区域的体积和强度进行研究,探讨人类在吞咽活动时相关的脑功能区域之间的调控方式,为进一步研究人类各脑功能区域神经网络协调运行机制提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2018年7月至2020年7月于昆明市延安医院招募志愿者100例,年龄40~75岁,平均(53.56±11.41)岁;男57例,女43例。纳入标准:右利手的健康成人,能配合完成BOLD-fMRI检查;吞咽功能评价标准量表(Standardized Swallowing Assessment,

SSA)及洼田饮水试验评定提示吞咽功能正常;医院焦虑量表评分及抑郁量表均小于7分;实验前12h未使用任何含酒精饮料;受试前无不适症状及神经系统阳性体征;签署知情同意书。排除标准:由于意识障碍、精神障碍、认知障碍等原因不能配合;既往有头颈部肿瘤,咽喉、食管局部病变而影响吞咽功能的评测;体内有金属物体而不能行MRI检查;MRA未见颅内外大动脉狭窄及除脑梗死外其他明显异常。本研究通过昆明医科大学附属延安医院伦理委员会审查同意。

1.2 方法

1.2.1 BOLD-fMRI 检查 所有受试者均进行BOLD-fMRI检查:扫描时间至少进行15min,受试者仰卧于检查床上,安静闭目,头部使用鸟笼式线圈固定,整个扫描过程中避免多余的表情和动作,吞咽时尽量需唇、舌、头部的运动。扫描过程中患者自行完成10次吞咽动作,每次30s,每次间隔1min。

1.2.2 磁共振数据采集 采用3.0T超导型MR成像系统(Siemens Veio dot 3.0t MRI,德国西门子)和正交头部8通道扫描线圈进行图像采集,MR梯度场强40mT/m,梯度场变换率200m/(Tm·ms)。依次行功能像扫描、采用FSET₁WI脑三维平面成像、3DFLASH全脑扫描。使用三维磁化准备快速梯度回波(3DMP-RAGE)序列采集T₁WI作为BOLD信号的解剖参考图像,层数160,层厚1mm,TR2000ms,TE2.27ms,激励次数1,视野(FOV)250mm×250mm,扫描时间248s,扫描后用多层面重建(MPR)后处

作者单位

1. 昆明医科大学附属延安医院 a. 神经内科, b. 影像科
云南 昆明 650051
2. 云南省第一人民医院
云南 昆明 650051
基金项目
云南省高层次卫生健康技术人才医学学科后备人才计划项目(No. H-2018060, No. H-2019069);

昆明市卫生科技人才培养暨内设研究机构/技术中心建设科研项目[2020-SW(后备)-10];
云南省科技厅-昆明医科大学联合专项资助项目[No. 202101AY070001(-210), No. 2019FE001(-292)];
昆明市卫生健康委员会卫生科研课题资助项目(No. 2021-03-07-003)

收稿日期

2021-06-05

通讯作者

马鹏程

51769229@qq.com

理进行横断面与冠状面重建。BOLD采用GRE-EPI扫描序列, 层数36, 层厚3 mm, 层间距0.25 mm, TR 3 000 ms, TE 30 ms, 激励次数1, 视野(FOV)200 mm×200 mm, 扫描时间15 min, 频率编码方向为R/L。

1.2.3 数据处理 采用SPM5(Statistical Parametric Mapping 5)成像数据分析软件对BOLD-fMRI数据进行处理: 首先将采集的DICOM数据转化为Analyze格式, 将层面的数据转换为全脑为单元的数据。然后对数据进行预处理: 将序列中的每一帧图像都和第一帧图像进行算法对齐, 以此来对头动的矫正; 将低分辨率的功能图像配准到高分辨率的解剖图像上, 以实现功能区的辨认。将受试者由于大脑解剖结构上的差异产生的不同大脑图像进行处理, 从而转化为大小和朝向都相同的标准化图像; 之后进行Smooth化, 最后使用SPM对模型进行统计分析, 建立一个合适的统计模型, 产生坐标、激活体积和激活强度, 激活范围阈值设定为10个像素, 即连续激活像素数达到10个以上的区域考虑为有意义激活区。

1.3 统计学处理

采用SPSS 22.0统计软件处理数据。正态分布的计量资料以(均数±标准差)表示, 计数资料以率(%)表示, 左右侧激活强度与体积的比较采用方差分析, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

100例受试者在吞咽活动时BOLD-fMRI显示两侧初级运动皮质中枢(BA4区)、运动前区/辅助运动区(BA6/8区)、缘上

回(BA40区)、岛叶(BA13区)、颞上回(BA22区)、扣带回皮质(BA24区)、额叶内侧面(BA32区)、延髓、脑桥、基底核团、丘脑、小脑及左侧颞极(BA38区)和右侧的颞横回(BA41区)等脑功能区激活体积和强度增加, 左侧BA4区、BA40区、小脑激活体积较右侧大, 差异有统计学意义($P < 0.05$); 左右两侧脑区的激活强度对比无统计学差异($P > 0.05$), 见表1、表2和图1。

3 讨论

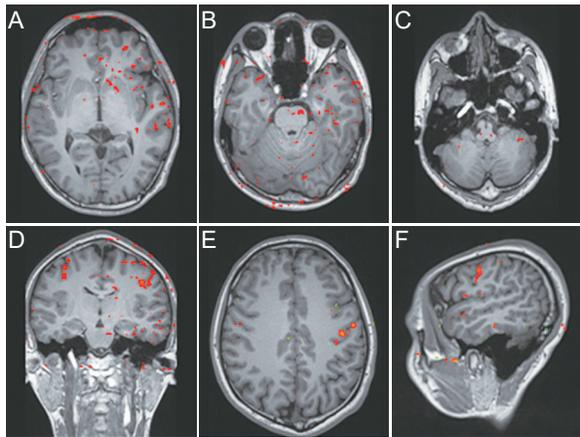
人类的吞咽动作是多个脑功能区对神经功能进行调控的结果, 充分体现了脑功能网络对于同一神经功能的自主或半自主的协调能力^[6,7]。目前对中枢神经系统吞咽功能的研究中, 吞咽功能的规划、启动、执行等生理学过程已基本清楚, 但由于神经网络调控的复杂性^[8], 中枢神经电生理及神经递质代谢的变化往往决定吞咽功能中枢过程的复杂性, 不同的脑功能区域对吞咽这一神经功能活动的调控过程仍需进一步探索。研究显示正常人自主吞咽活动的脑皮质调控中枢主要集中在大脑的外侧裂周围区域和旁中央区^[9,10], 而本研究结果显示正常成人行吞咽动作时, 被激活的脑功能区主要集中在BA4区、BA40区、BA13区、BA22区等大脑外侧裂周围区域和BA6/8区、BA24区、BA32区、BA38区、BA22区、BA41区等区域, 与上述研究基本一致。其中BA4区、BA6/8区在吞咽运动中主要负责吞咽活动的运动执行, 具有空间定位和运用功能的BA40主要负责吞咽动作规划和判断, 对自主神经功能起主要调控作用的BA13区则对吞咽过程中的唾液分泌、吞咽反射、进食冲动等功能进行调节, 这

表1 受试者吞咽时左右侧脑功能激活区体积对比($\text{cm}^3, \bar{x} \pm s$)

组别	例数	BA4区	BA6/8区	BA40区	BA13区	BA22区	BA24区	延髓
左侧半球	100	1 454.55±300.43	183.18±23.76	102.20±20.71	79.56±10.03	90.21±15.94	43.59±9.17	15.21±3.81
右侧半球	100	890.61±130.22	170.55±20.06	80.27±15.40	69.04±10.18	96.71±15.72	40.65±6.71	15.71±3.32
t值		4.512	0.727	2.119	1.057	0.542	0.290	0.104
P值		0.032	0.371	0.048	0.122	0.760	0.884	0.968
组别	脑桥	基底核团	BA32区	丘脑	BA38区	BA41区	小脑	
左侧半球	14.15±2.04	20.42±5.69	21.88±8.27	62.41±5.65	275.61±20.44	0	120.05±30.35	
右侧半球	14.21±3.65	20.28±3.61	20.15±3.21	50.25±4.01	0	70.61±10.68	90.51±19.51	
t值	0.237	0.569	0.755	0.978	/	/	4.296	
P值	0.845	0.747	0.445	0.160	/	/	0.036	

表2 受试者吞咽时左右侧脑功能激活区强度对比($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	BA4区	BA6/8区	BA40区	BA13区	BA22区	BA24区	延髓
左侧半球	100	7.85±1.08	6.61±0.55	7.81±1.05	8.63±0.55	6.96±1.12	5.33±0.44	4.51±0.37
右侧半球	100	7.69±0.87	6.59±0.51	7.66±0.47	8.81±0.63	5.51±0.58	4.51±0.41	4.81±0.53
t值		0.736	0.694	0.551	0.519	0.502	0.336	0.163
P值		0.394	0.472	0.646	0.721	0.760	0.889	0.966
组别	脑桥	基底核团	BA32区	丘脑	BA38区	BA41区	小脑	
左侧半球	4.13±0.65	5.56±2.07	5.46±0.69	5.33±1.69	6.37±0.84	0	6.36±1.05	
右侧半球	4.31±0.89	9.51±3.61	5.11±0.59	6.05±1.21	0	6.61±0.28	6.10±1.21	
t值	0.387	0.497	0.702	1.151	/	/	0.773	
P值	0.843	0.742	0.445	0.160	/	/	0.433	



注:A:左侧BA32区、双侧BA22区、双侧基底核团激活;B:左侧BA38区、双侧BA13区、双侧脑桥、左侧BA22区、右侧BA41区激活;C:双侧延髓、双侧小脑激活;D:双侧BA40区、BA24区激活;E:双侧BA4区激活;F:左侧BA6/8区、左侧BA38区激活

图1 BOLD影像

些脑功能区域的激活是吞咽活动启动、规划以及部分执行的先决条件^[11],也是参与吞咽活动的重要环节,也侧面证明这些高级皮质功能区的中枢调控对人类吞咽功能的影响非常大^[12,13]。

本研究还发现负责深浅感觉、内脏感觉、嗅觉、听觉、味觉等感觉加工的双侧丘脑被激活,说明丘脑在吞咽过程中协助对食物的各类性状进行初步判断^[14],并将神经冲动在不传导至初级躯体感觉中枢区域的情况下直接传导至相应的吞咽规划和执行中枢。其中BA38区、BA32区、BA24区等负责感兴趣事件和促进愉快或厌恶刺激的情感处理的功能区的激活可能是引起食欲的一种表现,同时也参与吞咽活动的执行。BA22区和BA41区是嗅觉与听觉的中枢,这两个脑功能区被激活的原因可以理解为大脑对食物气味、进食情境等因素的生理反应,可能也是一种防御反射,对吞咽的启动也起到一定的作用^[15],与Babaei等^[16]的研究结果一致。本研究显示基底核团、脑桥、延髓等脑功能区被激活,因为上述核团是吞咽功能执行的第二级中枢,在吞咽功能的启动后负责具体的吞咽执行功能,而双侧小脑则负责协调吞咽各肌群的运动平衡,受损时可能导致咽期延长^[17,18]。

与多数神经功能的脑功能区分布特点相似,本研究发现吞咽活动时人类的不同脑功能区域的激活体积和强度也具有偏侧性。口咽部初级运动皮质中枢BA4区在人类执行吞咽活动时,左侧优势半球的激活体积大于右侧,且大于其他脑功能区的激活体积(图1E),而激活强度则没有明显的差别(图1E),说明吞咽活动时各脑功能区域虽然发挥各自的作用,但仍需保证激活自主吞咽运动执行的中枢保持正常状态,且优势半球侧的运动执行中枢是进行正常自主吞咽运动的重要基础条件,这与Smith等^[19]的研究结果相同。

同样,激活代表运用中枢脑功能区域的左侧BA40区的体积明显大于右侧BA40区(图1D和F),而激活两侧BA6/8区的体积则无区别(图1D和F),而它们均小于激活两侧BA4区运动执行中枢的体积,激活这些皮质中枢的强度没有明显的不同,提

示两侧BA40区和BA6/8区的是自主吞咽功能的重要运动规划中枢,其中激活左侧运用中枢的体积编码处于正常状态是确保自主吞咽运动准确有效完成的重要保障条件^[20]。小脑这一负责骨骼肌共济运动的中枢在吞咽活动时发挥的作用也在本研究中得到了一定的诠释,本研究发现两侧小脑在吞咽活动时,体积均有明显的激活(图1C),可能是为了保证吞咽活动时吞咽动作和过程更加协调和流畅,左侧小脑激活体积大于右侧小脑(图1C),提示在吞咽过程中左侧小脑的运动协调功能发挥更大的作用。即优势半球的吞咽中枢对吞咽活动的启动进行调控^[21],而非优势半球的吞咽中枢则主要是对吞咽活动进行协调。目前对吞咽活动的脑功能区研究中,这种体积激活具有优势半球偏侧性的成因可能与语言、听理解等中枢具有体积激活优势半球偏侧性的原因类似^[22-24]。

综上,在吞咽过程中,BA4区、BA6/8区是吞咽活动执行中枢,BA40区负责吞咽动作规划和判断,BA13区则对吞咽过程中的一系列诸如唾液分泌、吞咽反射、进食冲动等功能进行调节,BA38区、BA32区、BA24参与吞咽的执行,BA22和BA41等嗅觉和听觉中枢是吞咽活动启动的重要因素,基底核团、丘脑、脑桥、延髓主要是吞咽功能执行的第二级中枢,小脑则负责协调吞咽各肌群的运动平衡。以上这些吞咽运动的脑功能区的中枢调控具有一定的偏侧性特征。

参考文献

- [1] Kagari A, Tohru S, Chietsugu K, et al. Relationship between intelligence quotient (IQ) and cerebral metabolic rate of oxygen in patients with neurobehavioural disability after traumatic brain injury [J]. *Brain Inj*, 2018, 32: 1367-1372.
- [2] Barer DH. The natural history and functional consequences of dysphagia after hemispheric stroke[J]. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 1989, 52: 236-241.
- [3] Wang ML, Ma H, Wang XD, et al. Integration of BOLD-fMRI and DTI into radiation treatment planning for high-grade gliomas located near the primary motor cortexes and corticospinal tracts [J]. *Radiat Oncol*, 2015, 10: 64.
- [4] Lu Z, Huang Y, Lu Q, et al. Abnormal intra-network architecture in extra-striate cortices in amblyopia:a resting state fMRI study[J]. *Eye Vis (Lond)*, 2019, 6: 20.
- [5] Glover GH. Overview of functional magnetic resonance imaging [J]. *Neurosurg Clin N Am*, 2011, 22: 133-139.
- [6] Peck KK, Branski RC, Lazarus C, et al. Cortical activation during swallowing rehabilitation maneuvers: a functional MRI study of healthy controls[J]. *Laryngoscope*, 2010, 120: 2153-2159.
- [7] Malandraki GA, Johnson S, Robbins J. Functional MRI of swallowing: from neurophysiology to neuroplasticity [J]. *Head Neck*, 2011, 33: 14-20.
- [8] Niu C, Liu X, Yang Y, et al. Assessing region of interest schemes for the corticospinal tract in patients with brain tumors[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2016, 95: e3189.
- [9] Georgia AM, Adrienne LP, Dimitrios CK, et al. Reduced Somatosensory Activations in Swallowing With Age [J]. *Human Brain Mapping*, 2011, 32: 730-743.
- [10] Peck KK, Branski RC, Lazarus C, et al. Cortical Activation During Swallowing Rehabilitation Maneuvers: A Functional MRI Study of Healthy Controls[J]. *Laryngoscope*, 2010, 120: 2153-2159.
- [11] Barhoum S, Rodgers ZB, Langham M, et al. Comparison of MRI methods for measuring whole -brain venous oxygen saturation [J]. *Magn Reson Med*, 2015, 73: 2122-2128.

静注射液中麝香有开窍醒神、活血通经之功效,郁金既能理气又能化痰,冰片具有开窍醒脑、清热解暑功效,栀子具有凉血、安神熄风之功效^[8],四药合用可促进气血逆乱、脑脉瘀阻所致EDS状态患者神志康复。经过分子药理学研究表明,醒脑静可对抗中枢神经系统中抑制性神经递质 γ -氨基酸丁酸^[9],使其活性下降,使患者尽快清醒,并阻断电压依赖性通道,使神经元过度极化缓解,进而保护脑组织^[10]。丁苯酞注射液能通过作用于多个病理生理途径^[11],对缺血半暗带神经细胞及纤维进行挽救^[12-13],缩小梗死面积,降低RAS纤维区域脑组织损伤,使RAS系统释放的兴奋性神经递质恢复^[14,15],使睡眠觉醒失衡得到缓解,显著改善急性后循环脑梗死后出现EDS状态患者的神经功能。本观察表明丁苯酞联合醒脑静治疗对急性后循环脑梗死后EDS状态患者的临床疗效显著,无严重不良反应,值得临床进一步研究。

参考文献

- [1] 中华神经科学会. 各类脑血管疾病诊断要点[J]. 中华神经科杂志, 1996, 29: 370-380.
- [2] 范爱月, 张焱磊, 黄桂乾, 等. 急性脑卒中后日间过度嗜睡相关因素分析[J]. 中风与神经疾病杂志, 2019, 36: 517-519.
- [3] 冀战一, 杨春华. ASPECT及NIHSS对早期血管内介入治疗急性缺血性脑卒中的效果评价[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2019, 22: 187-191.
- [4] Matsuda T, Iwagami M, Suzuki T, et al. Correlation between the Barthel Index and care need levels in the Japanese long-term care insurance system[J]. Geriatr Gerontol Int, 2019, 19: 1186-1187.
- [5] 徐曼, 陈葵, 张拥波, 等. 睡眠时程与卒中风险的研究进展[J]. 中风与神经疾病杂志, 2016, 33: 381-382.
- [6] Ding Q, Whittemore R, Redeker N. Excessive daytime sleepiness in stroke survivors: An integrative review[J]. Biol Res Nurs, 2016, 18: 420-431.
- [7] 韦颖辉. 脑卒中后睡眠障碍的病因及危险因素分析[J]. 世界睡眠医学杂志, 2018, 5: 149-151.
- [8] 郑壮勋, 郑成芳, 陈壮荣. 醒脑静注射液治疗急性脑梗死溶栓患者的疗效观察[J]. 内科急危重症, 2019, 25: 53-55.
- [9] 王春秀, 孙景存, 张娟. 醒脑静注射液治疗急性脑梗死的效果观察[J]. 当代医药论丛, 2018, 16: 119-120.
- [10] 王春超, 苗虎, 桑宏超, 等. 醒脑静注射液对急性脑梗死病人血清细胞因子与神经功能的影响[J]. 中西医结合心脑血管病杂志, 2017, 15: 1772-1775.
- [11] 任彩霞, 余凡, 余永平. 丁苯酞注射液治疗急性脑梗死疗效观察[J]. 陕西医学杂志, 2016, 45: 909-910.
- [12] 蔡玉芬, 马金辉, 李艳彬. 丁苯酞治疗轻度认知功能障碍的临床疗效[J]. 神经损伤与功能重建, 2015, 10: 545-546.
- [13] 孟云, 周宏斌, 尚芙蓉. 丁苯酞注射液对中青年缺血性卒中后认知功能障碍的临床疗效[J]. 神经损伤与功能重建, 2019, 14: 256-257.
- [14] 奋伟, 刘东炜. 丁苯酞软胶囊治疗进展性脑梗死认知功能和日常生活能力的影响[J]. 中国实用医药, 2017, 12: 110-112.
- [15] 陈光生, 林伯昌, 朱伟明, 等. 丁苯酞软胶囊治疗急性脑梗死的疗效观察[J]. 现代药物与临床, 2017, 32: 1429-1432.

(本文编辑:王晶)

(上接第415页)

- [12] Malandraki GA, Johnson S, Robbins JA. Functional MRI of swallowing: From neurophysiology to neuroplasticity [J]. Head Neck, 2011, 33: 14-20.
- [13] 孙洁, 黄颖, 盛超, 等. 卒中后吞咽障碍患者行电视荧光放射技术检查的对比剂研究[J]. 神经损伤与功能重建, 2020, 15: 548-549, 555.
- [14] Oqua E, Goto TK, Nakamura Y, et al. Brain Activation During Oral Exercises Used for Dysphagia Rehabilitation in Healthy Human Subjects: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study[J]. Dysphagia, 2012, 27: 353-360.
- [15] Babaei A, Kern M, Antonik S, et al. Enhancing effects of flavored nutritive stimuli on cortical swallowing network activity[J]. Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol, 2010, 299: 422-429.
- [16] Babaei A, Ward BD, Siwec RM, et al. Functional connectivity of the cortical swallowing network in humans[J]. Neuro Image, 2013, 76: 33-44.
- [17] Salles L, Girones X, Lafuente JV. [The motor organization of cerebral cortex and the role of the mirror neuron system. Clinical impact for rehabilitation.] [J]. Med Clin (Barc), 2015, 144: 30-34.
- [18] Malandraki GA, Sutton BP, Perlman AL, et al. Neural activation of swallowing and swallowing-related tasks in healthy young adults: an attempt to separate the components of deglutition[J]. Hum Brain Mapp, 2009, 30: 3209-3226.
- [19] Smith EE, Biessels GJ, De Guio F, et al. Harmonizing brain magnetic resonance imaging methods for vascular contributions to neurodegeneration [J]. Alzheimers Dement (Amst), 2019, 11:191-204.
- [20] Cha J, Hwang JM, Jo HJ, et al. Assessment of functional characteristics of amnesic mild cognitive impairment and Alzheimer's disease using various methods of resting-state fMRI analysis[J/OL]. Biomed Res Int, 2015, 2015: 902464.
- [21] Wang L, Li K, Zhang Q, et al. Interhemispheric functional connectivity and its relationships with clinical characteristics in major depressive disorder: a resting state fMRI study [J]. PLoS One, 2013, 8: e60191.
- [22] Lajoie I, Nugent S, Debacker C, et al. Application of calibrated fMRI in Alzheimer's disease[J]. Neuroimage Clin, 2017, 15: 348-358.
- [23] Rehme AK, Eickhoff SB, Rottschy C, et al. Activation likelihood estimation meta-analysis of motor-related neural activity after stroke[J]. Neuroimage, 2012, 59: 2771-2782.
- [24] Lou W, Shi L, Wong A, et al. Changes of cerebral perfusion and functional brain network organization in patients with mild cognitive impairment [J]. J Alzheimers Dis, 2016, 54: 397-409.

(本文编辑:王晶)