

面肌痉挛的神经影像学研究

何洋清, 梁丰丽

【摘要】 面肌痉挛(HFS)是一种以面部肌肉不自主阵发性收缩为特征的神经肌肉疾病,严重时可导致眼睑不自主闭合和嘴角牵扯,从而引发视力和言语障碍,严重影响患者的生活质量。尽管 HFS 的具体发病机制尚未完全明确,但近年来神经影像技术在 HFS 的研究中发挥了重要作用,能够客观地反映大脑结构和功能活动的异常,为揭示 HFS 的病理生理机制提供了新的视角。因此,本文旨在系统地梳理近年来神经影像技术在 HFS 研究中的应用,以了解其最新研究进展。

【关键词】 磁共振成像; 面部肌肉; 痉挛

【中图分类号】 R445.2; R323.1; R256.69 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2026)02-0223-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2026.02.019

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



面肌痉挛(hemifacial spasm, HFS)是一种以面部肌肉不自主、阵发性收缩为特征的神经肌肉疾病,多从眼轮匝肌开始,逐渐累及整个面部^[1]。尽管 HFS 不直接危及生命,但频繁的眼睑不自主闭合和嘴角牵扯,不仅使患者出现视力和言语障碍,还常常伴随着焦虑和抑郁等心理问题,给患者带来了严重的生活困扰^[2-3]。HFS 分为原发性和继发性两大类,其中原发性 HFS 较为常见,其主要病理机制被认为与面神经根出口区(root exit zone, REZ)的神经血管压迫(neurovascular compression, NVC)有关^[4,5]。然而, HFS 的具体发病机制仍存在争议,主要涉及“中枢学说”^[6]和“周围学说”^[7]两种假说。近年来,随着神经影像技术的发展,其在揭示 HFS 病理生理机制方面的作用日益凸显。研究者们已经利用先进的神经影像技术对 HFS 患者进行了广泛的研究,以期深入理解其复杂的病理过程。因此,本综述将从面神经 REZ 区 NVC 的影像学评估、脑结构和功能改变以及 NVC 状态与神经影像学变化的角度出发,系统地梳理当前关于 HFS 的研究进展。

面神经根出口区神经血管压迫的影像学评估

面神经根出口区(root exit zone, REZ)是面肌痉挛发病的关键解剖部位。近年来,多种磁共振成像技术被应用于面神经 REZ 区神经血管压迫(neurovascular compression, NVC)的评估,为临床诊断和治疗提供了重要依据。三维时间飞跃磁共振血管成像

(three-dimensional time of flight-MRA, 3D-TOF-MRA)和三维双激发平衡式稳态自由进动(three-dimensional fast imaging employing steady state acquisition, 3D-FIESTA-C)序列常用于术前检测 NVC,但单独使用均存在局限性。3D-TOF-MRA 基于血流流入增强效应,动脉呈高信号,神经呈中等信号,脑脊液为低信号。该序列对动脉性压迫敏感(如小脑前下动脉、椎动脉),但其对静脉和低速血流的小血管显示不佳,易漏诊静脉压迫病例。3D-FIESTA-C 通过增强 T2/T1 对比,使脑脊液呈高信号,神经和血管均呈低信号,形成“黑血”效果。该序列对神经轮廓和血管走行关系显示清晰,尤其适合评估神经受压变形。但因其无法区分动静脉,当血管迂曲重叠时易误判责任血管来源^[8,9]。鉴于单独使用任一序列的局限性,多篇研究表明 3D-TOF-MRA 联合 3D-FIESTA-C 在 NVC 评估中具有显著优势。郑珂等^[10]和戚云杰等^[11]的研究发现联合检测方法对 HFS 责任血管诊断的敏感度和特异度均明显高于单独使用任一序列;Liang 等^[12]的研究也进一步证实了其在提高诊断准确性方面的价值,这些研究结果的一致性进一步验证了该技术在 NVC 影像学评估中的可靠性和有效性。通过三维重建技术能够立体展示血管神经空间关系,程哲等^[13]利用 3D-slicer 软件基于 3D-FIESTA-C 及 3D-TOF-MRA 序列重建责任血管,使诊断率从 73.3% 提升至 96.67%,并能模拟手术视角,指导微血管减压术(microvascular decompression, MVD)入路规划。李丹等^[14]证实使用曲面重建和仿真内镜技术可 360° 观察面神经 REZ 区血管神经接触点,对单纯接触型压迫的诊断准确率(94.5%)显著高于二维图像(83.6%),尤其适用于静脉或多支动脉形成的“袢状”压迫。刘盼盼

作者单位:730000 兰州,甘肃中医药大学第一临床医学院(何洋清);730000 兰州,甘肃省人民医院放射科(梁丰丽)

作者简介:何洋清(2000-),男,甘肃武威人,硕士研究生,主要从事神经影像学研究。

通讯作者:梁丰丽, E-mail:15117004588@163.com

等^[15]研究发现三维 T_1 加权结合改良后水脂分离技术 (three-dimensional T_1 -weighted multi-echo DIXON, 3D- T_1 W-mDIXON) 联合三维 T_2 加权驱动平衡技术 (three-dimensional T_2 -weighted driven imaging with variable excitation, 3D- T_2 W-DRIVE) 在 NVC 的评估中也显示出良好的应用价值, 3D- T_1 W-mDIXON 能够清晰地显示面神经与周围血管的空间关系, 尤其在动脉血管的显示上具有优势, 可有效识别责任血管的来源及走行; 3D- T_2 W-DRIVE 则通过特殊的脉冲序列, 显著增强了脑脊液与神经组织的对比度, 同时抑制了流动伪影, 使得面神经在图像上更加清晰, 有助于识别面神经 REZ 区的微小解剖结构变化。综上所述, 面神经 REZ 区 NVC 的影像学评估技术不断发展, 诊断准确性和可靠性不断提高, 然而, 目前仍需进一步的研究来验证和优化这些影像学技术在面神经 REZ 区 NVC 评估中的应用, 以期能为 HFS 患者提供更精准的诊断和更有效的治疗方案。

基于结构影像的面肌痉挛研究进展

目前应用于 HFS 研究的结构影像技术包括: 基于体素的形态学分析 (voxel-based morphometry, VBM)、扩散张量成像 (diffusion tensor imaging, DTI) 以及基于表面的形态学分析 (surface-based morphometry, SBM)。

VBM 是一种在体素层面上定量评估大脑结构变化的神经影像学分析方法, 通过精确计算局部灰质和白质的密度及体积变化来揭示脑组织的形态学差异。近期研究表明 HFS 患者的大脑结构变化具有区域特异性。Tu 等^[16]通过对 42 例 HFS 患者研究发现, 患者右侧颞下回灰质体积 (gray matter volume, GMV) 减少, 且与病程相关, 而在小脑 VIII 叶 GMV 增加。Bao 等^[17]的研究进一步扩展了这一发现, 他们观察到 HFS 患者在多个脑区 (包括丘脑、壳核、苍白球、背外侧前额叶皮层、杏仁核和海马旁回) 的 GMV 减少, 特别指出杏仁核的 GMV 变化与情感障碍高度相关。Xu 等^[18]对 30 例 HFS 患者的研究中也发现了右侧杏仁核体积的减小, 这可能揭示了 HFS 患者杏仁核结构变化与情绪障碍之间的潜在联系。Xu 等^[19]首次采用顶点形状分析方法, 揭示了 HFS 患者尾状核和苍白球的形态变化与焦虑、抑郁程度的相关性, 这些发现为 HFS 患者特定的皮层下脑结构异常提供了有力的证据。Yu 等^[20]研究也发现 HFS 患者左侧丘脑 GMV 显著减少, 右侧小脑 IV-V 叶 GMV 增加。以上研究结果均表明 HFS 患者存在大脑不同区域的 GMV 减少和小脑不同区域的 GMV 增加, 然而, 陆等^[21]的研究却发现 HFS 患者在小脑 VI 小叶区 GMV 显著低于健康对

照, 并未观察到小脑 GMV 增加的脑区。此外, 也有研究未能发现 HFS 患者与健康对照之间 GMV 存在显著差异^[22], 研究结果的差异可能与患者的病程长短及潜在的混杂因素有关, 需要进一步的研究阐明。

DTI 作为评估大脑白质纤维束结构和完整性的重要工具, 已在多项 HFS 研究中得到应用。Guo 等^[23]和雷等^[24]研究均发现了 HFS 患者在胼胝体膝部和体部、额枕下束、双侧下纵束及左丘脑后辐射等区域的各向异性分数 (fractional anisotropy, FA) 显著降低而径向扩散率 (radial diffusivity, RD) 明显增加, 且右侧下纵束和额枕下束的 RD 值与患者痉挛评分之间存在正相关关系。Zhang 等^[25]的研究进一步发现 HFS 患者双侧上纵束的 FA 值显著增加, 且左上纵束的 FA 值与痉挛评分和 HFS 持续时间呈正相关, 这与 Yu 等^[20]的研究结果一致, 提示该脑区可能存在活动依赖性髓鞘的形成。张等^[26]的研究则指出 HFS 患者胼胝体存在广泛的损伤, 主要表现为髓鞘的破坏或丧失, 而非轴突损伤, 且这些改变与病程及痉挛程度相关。然而, 与这些研究结果不同的是 Tu 等^[16]在 HFS 患者中未检测到白质微结构的破坏。另外, 学者指出 DTI 在识别神经与血管之间的关系方面提供了重要的影像学支持, 有助于对无血管压迫的痉挛或面瘫患者的病因进行分析^[27]。在另外一项纵向研究中通过比较术前和术后患侧 FA 和表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC) 值的变化, 研究者首次验证了 DTI 在 HFS 诊断和术后评估中的有效性, 强调了 HFS 与神经脱髓鞘变化密切相关^[28]。Zhang 等^[29]和 Wang 等^[30]的研究进一步揭示了 HFS 患者全脑白质结构的广泛损伤, 特别是在胼胝体小钳、双侧前丘脑辐射和右侧上纵束区域, 以及特定白质纤维束和结构网络拓扑属性的改变, 这些变化与疾病的严重程度和持续时间相关。以上研究中, 尽管研究结果存在差异, 但均表明白质纤维束的改变在 HFS 的病理生理学中扮演着关键角色。

SBM 是一种新型的形态测量分析技术, 它提供了精确评估大脑皮层变化的几种皮层参数, 以代表大脑皮层的神经解剖学变化。SBM 技术考虑了皮层厚度、表面积和折叠的差异, 能够提供比传统的 VBM 更详细的大脑结构信息^[31]。目前, 使用 SBM 技术对 HFS 的研究尚不多。Li 等^[32]对 33 例左侧原发性 HFS 患者的研究中发现 HFS 患者存在大脑皮质形态学改变, 包括对侧中央前回和左侧眶额叶皮质的皮质厚度减少、左侧眶额叶皮质的沟深度降低, 以及右侧岛叶和颞上皮的局部脑回指数增加, 这些变化可能与 HFS 的神经生理机制密切相关, 并为未来的研究和治疗提供了新的视角。初级运动皮层位于中央前回, 负责控制

随意运动,包括面部表情和眨眼,该区域的异常形态可能表明运动信息处理受损,从而导致 HFS 患者持续性面部收缩。然而也有研究报告称 HFS 患者和健康对照之间的皮层厚度没有显著差异^[18]。研究结果的差异可能与研究对象的人组标准或病程不同有关,尚需大样本的同质性研究来证实。

基于功能影像的面肌痉挛研究进展

目前应用于 HFS 研究的功能影像技术主要有两种:正电子发射计算机断层显像(positron emission tomography, PET)和静息态功能磁共振成像(resting-state functional magnetic resonance imaging, rs-fMRI)。

1. PET

PET 技术通过检测正电子放射性同位素衰变时所释放的伽马射线,能够推测出脑部代谢、血流以及神经递质活动等重要信息,具有较高的灵敏度和特异性。然而,由于其价格昂贵且存在辐射风险,目前在 HFS 研究中的应用相对较少。Shimizu 等^[33]的研究表明 HFS 患者在活跃期和抑制期均表现出双侧丘脑的葡萄糖高代谢。丘脑作为感觉信息传递的关键中继站,其活动增强可能与面部肌肉的自主收缩及运动功能的调控密切相关,这为理解 HFS 的神经生物学机制提供了新的视角。

2. 静息态功能磁共振研究

rs-fMRI 是一种在受试者清醒且未执行特定任务时,通过采集血氧水平依赖信号,来探测大脑自发活动的神经影像技术。目前,众多学者利用 rs-fMRI,结合不同的分析方法对 HFS 进行了深入研究。

局部一致性(regional homogeneity, ReHo)是一种通过计算某一特定体素及其周围邻近体素(通常由 27 个体素组成的簇)之间血氧水平依赖信号时间序列的相似性,来揭示局部脑区神经元活动一致性的指标。研究发现 HFS 患者在脑桥、小脑后叶、右侧脑干和中央前回运动区的 ReHo 值增加,而在运动辅助区、颞上回、楔前叶、额中回、左舌回和扣带回的 ReHo 值降低^[34,35],提示 HFS 患者大脑中参与面肌运动激活的皮层和灰质核团兴奋性增加,而抑制面肌运动的皮层功能减弱,从而可能影响面部肌肉的运动控制。不同的是陆等^[21]发现 HFS 患者小脑 VI 小叶区的 ReHo 值降低,结果的差异可能与患者的异质性有关。Luo 等^[36]的研究揭示了 HFS 患者中双侧后扣带回皮层和双侧楔前叶的 ReHo 明显增加,右侧枕中回、右侧枕上回、右侧楔叶和右侧角回的 ReHo 降低。特别是右侧后扣带回皮层的 ReHo 值与神经血管压迫程度和痉挛严重程度呈正相关,提示右侧后扣带回皮层的功能变

化可能与 HFS 患者的临床特征密切相关。

低频震荡幅度(amplitude of low frequency fluctuation, ALFF)测量 fMRI 信号中低频范围内的波动幅度,反映了大脑中的自发神经活动。分数低频震荡幅度(fractional amplitude of low frequency fluctuation, fALFF)是 ALFF 在 0.01~0.08 Hz 频段内的值与整个可检测频率范围内 ALFF 值的比率,这种方法可以提高对自发脑活动的检测敏感性和特异性,同时减少生理噪声的影响,有助于研究者更准确地理解脑区的功能状态^[37]。目前这两种方法在 HFS 的报道很少。Luo 等^[36]发现 HFS 患者中左侧楔前叶和右侧后扣带回皮层的 fALFF 值明显增加。也有学者研究发现在 HFS 患者中没有观察到 ALFF 的变化^[38]。因此,关于 HFS 患者 ALFF 的改变尚需进一步大样本资料的研究证实。

功能连接(functional connectivity, FC)描述了解剖学上分离的大脑皮质区域之间活动的时间相关性,是神经影像学中用于探究脑区间功能联系的关键指标。近年来,基于种子点的分析方法已成为揭示这些联系的重要工具。Fang 等^[39]研究发现 HFS 患者显示出小脑前网络与左枕叶区域,尤其是 Brodmann19 区的 FC 增强。此外,通过定量温度测试(quantitative thermal test, QTT)观察到 HFS 患者冷感觉检测阈值的增加,这一变化与小脑前网络和左舌回之间的 FC 增强有关,暗示了小脑前网络在感觉处理中可能存在潜在作用。进一步的研究发现以纹状体的 6 个亚区作为种子点时, HFS 患者表现出纹状体亚区与运动皮层和眶额叶皮层之间的 FC 发生了变化,其中腹侧纹状体与运动皮层的 FC 与患者的痉挛严重程度呈正相关,提示皮质-纹状体网络可能在 HFS 的神经病理机制中发挥重要作用^[40]。Niu 等^[41]的研究通过以左右丘脑为种子点,发现了 HFS 患者双侧丘脑-顶叶功能连接增强,特别是右侧丘脑与左侧体感联合皮层之间的连接增强与运动障碍的加重相关,而与右侧缘上回之间的连接增强与情感症状的改善相关,这表明丘脑亚区在 HFS 患者的感觉运动及情感调节中扮演着重要角色。Xu 等^[18]基于右侧杏仁核的种子点分析发现 HFS 患者该区域与双侧眶额叶皮层、双侧内侧前额叶皮层以及左后岛叶的 FC 增强,且杏仁核与左后岛叶及内侧前额叶皮层之间的 FC 分别与 HFS 患者的疾病严重程度和焦虑症状存在正相关关系。Cheng 等^[42]的研究则发现 HFS 患者左眶额区与左初级体感皮层之间以及苍白球右前部与背侧前扣带回皮层右前部之间的 FC 显著降低。在一项最新的研究中 Lv 等^[43]采用 DTI 结合图论分析发现 HFS 患者在 MVD 前后白质网络均存在异常,主要影响躯体运动网络、边

缘网络和默认网络,重要的是 MVD 术后白质网络表现出向正常化恢复的趋势,提示手术解除压迫可能促进相关脑网络的结构修复。Guo 等^[44]应用图论分析揭示了 HFS 患者脑网络全局效率的增高和局部效率的减小,以及多个皮质和皮质下区域节点效率的增加,表明 HFS 患者的白质结构网络经历了广泛的重组。综上所述,FC 分析揭示了 HFS 患者在纹状体、丘脑和杏仁核等关键脑区与运动、情感相关的皮层之间的功能连接异常,为深入理解 HFS 的复杂神经病理机制提供了重要视角。

神经血管压迫状态与神经影像变化的相关性

理解 NVC 的存在与否及严重程度对大脑结构和功能的影响,是揭示 HFS 病理机制和评估治疗效应的关键环节。研究发现存在明确 REZ 区 NVC 影像证据的 HFS 患者,其大脑特定区域的结构或功能改变可能更为显著。例如,Luo 等^[36]发现 HFS 患者右侧后扣带回皮层的 ReHo 值与 NVC 程度以及临床痉挛严重程度均呈正相关。这提示 REZ 区的机械性压迫可能通过神经环路传导,影响特定脑区的功能活动。另外,多项研究观察到大脑结构或功能的改变与 HFS 严重程度相关^[25,26,30],虽未直接分析神经影像学变化与有无 NVC 及 NVC 程度之间的相关性,但考虑到绝大多数患者存在 NVC,这些变化很可能与压迫病理过程有关。针对面神经本身的 DTI 研究表明患侧面神经 FA 降低/ADC 升高与 NVC 的存在直接相关,成功的 MVD 术后患侧面神经 FA 值升高,ADC 值降低,逐渐接近健侧水平,且这种变化与临床症状缓解显著相关^[28],这为 NVC 致病学说和 MVD 治疗有效性提供了直接的影像学证据。综上所述,NVC 状态与神经影像学变化之间存在显著相关性,区分有无明确 NVC 影像证据的 HFS 患者的神经影像学差异,是未来研究需要关注的方向。

小结及展望

综上所述,当前的研究表明 HFS 患者在大脑结构和功能方面存在显著的变化。然而,当前研究仍存在一些不足之处。首先,尽管多项研究使用了相同的神经影像学技术,但研究结果却不尽一致,这可能与患者群体的异质性有关,例如病程、是否同侧发病等因素未被充分控制。其次,现有研究方法较为单一,且样本量普遍较小,限制了对 HFS 神经病理生理机制的全面探索。第三,针对 NVC 状态(如有无、严重程度分级)与神经影像学改变之间的相关性研究尚不充分。第四,MVD 术后大脑结构和功能动态变化的纵向研究仍处于起步阶段,样本量小,随访时间短,难以全面阐明术

后神经重塑的规律及其与长期预后的关系。因此,未来的研究应:①在增大样本量的同时进一步细化研究对象的纳入标准,区分左侧和右侧发病的 HFS 患者,以探讨其大脑结构和功能的特异性变化;②综合运用多模态神经影像技术,以全面评估 HFS 的神经病理变化,为进一步揭示其神经病理生理机制提供重要的科学依据;③在研究中系统性地纳入 NVC 的影像学评估(如分型、分级),并分层分析其与神经影像学指标及临床症状的相关性,特别是比较有明确 NVC 和无明确 NVC 患者的神经影像学差异。④开展大样本、多时间点(术前、术后早期、远期)的纵向影像学研究,动态监测 MVD 术后受压面神经的修复过程以及大脑结构和功能网络的重塑轨迹。

参考文献:

- [1] Lu AY, Yeung JT, Gerrard JL, et al. Hemifacial spasm and neurovascular compression [J]. *The Scientific World Journal*, 2014, 2014:349319.
- [2] 李世亭, 王旭辉. 面肌痉挛的诊断与治疗 [J]. *中华神经外科疾病研究*, 2011, 10(6):481-484.
- [3] Wu F, Wei P, Wang G, et al. Roles of preoperative anxiety and depression in the outcomes of microvascular decompression in hemifacial spasm for adolescent patients [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100(32):e26831.
- [4] Traylor KS, Sekula RF, Eubanks K, et al. Prevalence and severity of neurovascular compression in hemifacial spasm patients [J]. *Brain*, 2021, 144(5):1482-1487.
- [5] 杨利霞, 贾文霄. 面肌痉挛病因诊断的影像学研究 [J]. *放射学实践*, 2007, 22(6):539-541.
- [6] Kaufmann AM, Wilkinson MF. The origin of the abnormal muscle response seen in hemifacial spasm remains controversial [J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127(7):2704-2705.
- [7] Kameyama S, Masuda H, Shirozu H, et al. Ephaptic transmission is the origin of the abnormal muscle response seen in hemifacial spasm [J]. *Clin Neurophysiol*, 2016, 127(5):2240-2245.
- [8] 王迎春, 孔延亮, 刘婷, 等. 3.0T 磁共振联合 3D-FIESTA-C 及 3D-TOF-MRA 序列对血管压迫性面肌痉挛的诊断价值 [J]. *临床医学研究与实践*, 2021, 6(14):130-132.
- [9] 周新军, 郭佑民, 陈利军. 3D-FIESTA-C 与 3D-TOF-MRA 序列在血管压迫三叉神经痛中责任血管显示的比较研究 [J]. *实用放射学*, 2016, 32(5):667-670.
- [10] 郑珂, 何海青, 杨爱春, 等. 3D-TOF-MRA 联合 3D-FIESTA-C 序列判断面肌痉挛责任血管的诊断价值 [J]. *医学影像学*, 2019, 29(10):1665-1668.
- [11] 戚云杰, 孙小伶, 郇艳美, 等. 3D-FIESTA-C 联合 3D-TOF-MRA 序列在单侧血管压迫性面肌痉挛中的应用价值 [J]. *中国临床医学影像*, 2021, 32(4):237-240.
- [12] Liang C, Yang L, Zhang BB, et al. Three-dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography combined with high resolution T₂-weighted imaging in preoperative evaluation of microvascular decompression [J]. *World J Clin Cases*, 2022, 10(34):12594-12604.
- [13] 程哲, 周星辰, 巢青, 等. 3D-slicer 基于 3D-FIESTA 及 3D-TOF

- 序列在面肌痉挛和原发性三叉神经痛责任血管的诊断及术前评估中的应用[J].中国实用神经疾病,2023,26(11):1338-1342.
- [14] 李丹,刘阳,雷苗,等.MRI三维重建技术在颅神经血管压迫综合征中的应用价值[J].西安交通大学学报(医学版),2024,45(5):844-850.
- [15] 刘盼盼,严金明,张颖.3D-T₁W-mDIXON联合3D-T₂W-DRIVE在单侧血管压迫性面肌痉挛中的应用[J].中国现代医生,2025,63(9):20-23.41.
- [16] Tu Y, Yu T, Wei Y, et al.Structural brain alterations in hemifacial spasm:A voxel-based morphometry and diffusion tensor imaging study[J].Clin Neurophysiol,2016,127(2):1470-1474.
- [17] Bao F, Wang Y, Liu J, et al.Structural changes in the CNS of patients with hemifacial spasm[J].Neuroscience,2015,289:56-62.
- [18] Xu H, Guo C, Li H, et al.Structural and functional amygdala abnormalities in hemifacial spasm[J].Front Neurol,2019,10:393.
- [19] Xu H, Guo C, Luo F, et al.Subcortical brain abnormalities and clinical relevance in patients with hemifacial spasm [J]. Front Neurol,2019,10:1383.
- [20] Yu Q, Cui Y, Dong S, et al.Altered brain structure in hemifacial spasm patients:a multimodal brain structure study[J].Int J Gen Med,2024,17:4435-4443.
- [21] 陆海锋,张绮婷,张记磊,等.面肌痉挛的静息态脑功能和结构的初步探究[J].磁共振成像,2018,9(1):38-42.
- [22] Xu J, Luo Y, Peng K, et al.Supplementary motor area driving changes of structural brain network in blepharospasm[J].Brain, 2023,146(4):1542-1553.
- [23] Guo C, Xu H, Niu X, et al.Abnormal brain white matter in patients with hemifacial spasm;a diffusion tensor imaging study [J].Neuroradiology,2020,62(3):369-375.
- [24] 雷苗,王渊,张明,等.基于扩散张量成像的面肌痉挛患者脑白质异常分析[J].实用放射学,2022,38(2):181-184.
- [25] Zhang J, Yu Q, Gu P, et al.Brain structure alterations in hemifacial spasm;a diffusion tensor imaging study[J].Clin EEG Neurosci,2022,53(2):165-172.
- [26] 张天然,齐先龙,李蕊,等.基于DTI探讨面肌痉挛患者胼胝体亚结构区域完整性的损伤[J].医学影像学,2021,31(11):1832-1835.1863.
- [27] 王文雄,成睿,张刚利.弥散张量成像辅助面肌痉挛治疗研究进展[J].中国临床神经外科,2020,25(6):331-333.
- [28] Jin Z, Li Z.Clinical application of diffusion tensor imaging in diagnosis and prognosis of hemifacial spasm[J].World Neurosurg, 2021,145:e14-e20.
- [29] Zhang T, Zhao C, Qi X, et al.Brain white matter structural alteration in hemifacial spasm;a diffusion tensor imaging study[J].J Craniofac Surg,2023,34(2):674-679.
- [30] Wang J, Liu X, Wang X, et al.Alterations of white matter tracts and topological properties of structural networks in hemifacial spasm[J].NMR Biomed,2022,35(9):e4756.
- [31] Palaniyappan L, Liddle PF.Differential effects of surface area, gyrification and cortical thickness on voxel based morphometric deficits in schizophrenia[J].Neuroimage,2012,60(1):693-699.
- [32] Li Z, Xiong F, Gao F, et al.Cortical changes in the brain of patients with hemifacial spasm[J].Neurol Sci,2024,45(7):3209-3215.
- [33] Shimizu M, Suzuki Y, Kiyosawa M, et al.Glucose hypermetabolism in the thalamus of patients with hemifacial spasm[J].Mov Disord,2012,27(4):519-525.
- [34] Tu Y, Wei Y, Sun K, et al.Altered spontaneous brain activity in patients with hemifacial spasm:a resting-state functional MRI study[J].PLoS One,2015,10(1):e0116849.
- [35] 卫永旭,赵卫国,涂业.面肌痉挛发病机制的静息态功能磁共振研究[J].中华神经外科,2015,31(5):482-486.
- [36] Luo FF, Xu H, Zhang M, et al.Abnormal regional spontaneous brain activity and its indirect effect on spasm ratings in patients with hemifacial spasm[J].Front Neurosci,2020,14:601088.
- [37] Zou QH, Zhu CZ, Yang Y, et al.An improved approach to detection of amplitude of low-frequency fluctuation (ALFF) for resting-state fMRI: fractional ALFF[J].J Neurosci Methods,2008,172(1):137-141.
- [38] Luo Y, Guo Y, Zhong L, et al.Abnormal dynamic brain activity and functional connectivity of primary motor cortex in blepharospasm[J].Eur J Neurol,2022,29(4):1035-1043.
- [39] Fang TC, Chen CM, Chang MH, et al.Altered functional connectivity and sensory processing in blepharospasm and hemifacial spasm:coexistence and difference[J].Front Neurol,2021,12:759869.
- [40] Gao W, Yang D, Zhang Z, et al.Altered cortical-striatal Network in patients with hemifacial spasm [J]. Front Hum Neurosci, 2021,15:770107.
- [41] Niu X, Xu H, Guo C, et al.Strengthened thalamoparietal functional connectivity in patients with hemifacial spasm;a cross-sectional resting-state fMRI study[J].Br J Radiol,2020,93(1108):20190887.
- [42] Cheng Q, Xiao H, Luo Y, et al.Cortico-basal ganglia networks dysfunction associated with disease severity in patients with idiopathic blepharospasm[J].Front Neurosci,2023,17:1159883.
- [43] Lv K, Zhang C, Liu B, et al.White matter structural changes before and after microvascular decompression for hemifacial spasm [J].Brain Struct Funct,2024,229(4):959-970.
- [44] Guo Y, Peng K, Liu Y, et al.Topological alterations in white matter structural Networks in blepharospasm[J].Mov Disord,2021,36(12):2802-2810.

(收稿日期:2024-12-20 修回日期:2025-08-10)