

· 综述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.12.025

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240221.1541.014\(2024-02-22\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20240221.1541.014(2024-02-22))

弥散张量成像评估脑出血相关脑功能预后的价值*

黄磊¹, 叶飞², 王丽琨^{2△}, 伍国锋²

(1. 中山大学附属第一医院贵州医院, 贵阳 550000; 2. 贵州医科大学附属医院急诊医学科, 贵阳 550001)

[摘要] 脑出血(ICH)是严重危害人类健康的神经系统疾病,具有极高的致残率和致死率,多数幸存者会遗留不同程度的神经功能障碍。因此,早期评估 ICH 患者神经功能具有重要临床意义。弥散张量成像(DTI)是一种以无创方式重建活体中神经纤维束结构与其走行的核磁共振技术,可用于 ICH 后病情评估及预后判断,对神经功能障碍的评估具有重要的临床意义。该文综述 DTI 对 ICH 患者预后评估的相关价值。

[关键词] 脑出血;皮质脊髓束;弥散张量成像;综述

[中图分类号] R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)12-1896-05

Value of diffusion tensor imaging in evaluating prognosis of cerebral hemorrhage related cerebral function*

HUANG Lei¹, YE Fei², WANG Likun^{2△}, WU Guofeng²

(1. Guizhou Hospital, the First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guiyang, Guizhou 550000, China; 2. Department of Emergency Medicine, Affiliated Hospital of Guizhou Medical University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

[Abstract] Intracerebral hemorrhage (ICH) is a nervous system disease that seriously endangers human health, with a very high rate of disability and fatality. Most survivors will leave behind varying degrees of neurological dysfunction. Therefore, early assessment of neurological function in the patients with cerebral hemorrhage has an important clinical significance. Diffusion tensor imaging (DTI) is a nuclear magnetic resonance technique to noninvasively reconstruct the structure and path of nerve fiber bundles in vivo, which can be used to the condition evaluation and prognosis judgment after ICH, and has an important clinical significance for the evaluation of neurological dysfunction. This paper reviews the related value of DTI in the prognosis evaluation of the patients with ICH.

[Key words] cerebral hemorrhage; corticospinal tract; diffusion tensor imaging; review

脑出血(intracerebral hemorrhage, ICH)后的血肿直接压迫脑白质导致原发性损伤,并引起红细胞溶解等继发性损伤^[1]。常见的为基底节出血导致皮质脊髓束(corticospinal Tract, CST)中断,进而引发偏瘫、失语等功能障碍^[2]。但目前用影像学来评估 ICH 预后的方式很少。由于 ICH 后皮质脊髓束损伤最常见的机制是华勒变性^[3],而弥散张量成像(diffusion tensor imaging, DTI)可以观察到脑白质微观结构变化,其通过检测感兴趣区域水分子的扩散特性来评估脑白质神经纤维束完整性^[4]。这种方法能较精准地

呈现神经纤维束受损程度^[5],故对 ICH 患者具有重要临床诊疗意义。

1 扩散张量成像简介

DTI 是一种非侵入性临床诊断工具,通过核磁共振弥散加权成像技术发展而来,用于检测大脑内神经纤维束完整性,具有立体化、定向化和高准确性等优点^[6]。其成像原理是利用水分子在感兴趣区域(region of interest, ROI)中的扩散来评估脑白质的方向和特性^[7],以此评估神经纤维束完整性。人体内水分子扩散受到不均匀外力和环境因素影响而具有各向

同性和各向异性,DTI 通过测量组织中水分子在不同方向上的运动概率和速度,并以图形呈现出功能解剖图,进而评估患者神经纤维束损伤程度^[8],用以研究核磁共振不能评估的脑白质微观结构的完整性^[9]。在均匀介质中,水分子在三维空间内的扩散完全不受抑制时会发生各向同性扩散;当水分子的扩散存在方向性,例如细胞膜和髓鞘等的阻碍导致水分子扩散不再随机,称为各向异性扩散^[5]。而脑白质由神经纤维束排列而成,这导致扩散的水分子受到细胞膜等生物屏障限制,故具有高度各向异性^[10]。当神经纤维束完整性受到破坏,则会改变水分子运动方向,故各向异性扩散也会随之改变^[11]。ICH 造成神经纤维束结构破坏而改变了水分子的定向扩散^[12]。因此,DTI 适合用于测量 ICH 后 CST 的破坏程度,从而进一步评估预后。

DTI 各种检测参数包括各向异性分数 (fractional anisotropy, FA)、表观扩散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)、纤维束体积 (tract volume, TV)、径向扩散率 (radial diffusivity, RD) 和轴向扩散率 (axial diffusivity, AD)^[12],FA 值反映了水分子在轴突、髓鞘和微管中占整个扩散值的比例,对神经纤维束微观结构高度敏感,FA 越趋近于 0 提示水分子扩散自由度不受限,接近 1 则表示扩散越趋向于同一个方向。因此,FA 值降低表明脑白质微观结构破坏,水分子扩散不再具有高度各向异性^[5];ADC 是定量分析水分子在扩散梯度磁场施加方向上的扩散效率,其降低与出血、细胞毒性水肿、免疫细胞浸润、肿瘤有关,而升高与血管性水肿有关^[13];TV 值则反映神经纤维束的总数,TV 值低表明神经纤维束受损;AD 值反映水分子沿主神经方向扩散,被认为是替代轴浆完整性的标志物,该值降低说明轴突受损;RD 反映水分子沿垂直神经轴方向扩散,是一种假定的髓磷脂标志物,随髓磷脂对脑白质组织的损害增加而增加,但是垂直神经轴方向的扩散是有限的,轴突的直径和密度也可对其产生影响^[14]。由于个体神经解剖存在高度可变性,使用 DTI 测量特定 ROI 可能导致错误结果^[15]。弥散张量纤维束造影 (diffusion tensor tractography, DTT) 是 DTI 的进一步发展,能够重建脑白质神经纤维束轨迹。相较于 DTI,通过观察神经纤维束的三维重构图和检查 DTT 参数以及分析重建的神经纤维束结构,可以确定整个神经纤维束的特征^[16]。

目前 DTI 不仅应用于 ICH 领域,还被广泛运用于诊断颅内肿瘤、梗死性病变、大脑发育以及正常脑白质的神经纤维构成等多个研究领域。此外,将 DTI

与 DTT 联合应用于精准定位颅内病变,有利于临床上准确分析病变部位和解剖学类型。

2 DTI 评估 ICH 预后的可行性

2.1 ICH 后运动功能障碍

CST 是中枢神经系统的运动传导神经纤维束,CST 的结构改变或破坏会造成明显的运动功能障碍,例如反射行为异常、肌张力变化及运动速度和精准性下降,甚至肢体瘫痪^[17]。因此,对 CST 完整性检测是预测运动功能好坏的关键^[18]。研究表明,使用 DTI 扫描评估 ICH 后 CST 完整性是可靠的,脑白质神经纤维束完整性的破坏与肢体运动功能障碍恢复不良相关。在严重残疾的 ICH 患者中检测到水肿侧及水肿对侧 FA 值均降低,而运动功能较好的患者则有较高的 FA 值^[19]。脑卒中患者 CST 的 FA 值与上肢肢体运动恢复有关,FA 值升高与较好的预后呈正相关^[20]。DTI 在制订康复治疗方式方面 also 具有重要意义,可将 FA 值作为预测偏瘫性 ICH 患者是否需要矫形器进行康复治疗的依据^[21]。研究表明,康复训练后 CST 的数量显著增加,参与者上肢运动功能得到改善,作者指出 FA 值降低的 CST 受损患者预后比 CST 完整患者运动功能更差^[22]。有研究也发现穿过病灶周围水肿区域 CST 的 FA 值随时间逐渐趋于稳定,但与运动功能评估无关^[11]。

对于不同部位 ICH 患者运动功能评估,WU 等^[23] 纳入了微创手术 (minimally invasive surgery, MIS) 治疗组和保守治疗组共 43 例丘脑出血患者,通过 DTI 确定经过内囊的 FA 值,结果显示两组入院时水肿侧内囊中 CST 的 FA 值均降低,提示 CST 数量显著减少或中断。但 MIS 组仅在清除水肿后两周,内囊中 CST 的数量和 FA 值相较入院时明显增加。SEO 等^[24] 通过对一例壳核出血导致左侧肢体无力患者进行 DTT 重建,结果提示 DTT 能够追踪 10 个月后 ICH 患者 CST 的变化及运动恢复。有研究还对 10 例脑室内出血 (intraventricular hemorrhage, IVH) 患者与健康志愿者行 DTI 测量了穹窿、胼胝体、放射冠和后肢的 FA 和 ADC 值。结果提示 IVH 患者较健康者 FA 值降低,DTI 能够检测 IVH 患者脑室周围脑白质损伤,同时有助于制订 IVH 患者的预后管理策略^[25]。同样对蛛网膜下腔出血 (subarachnoid hemorrhage, SAH) 患者与健康志愿者行 DTI 检查获取 FA 值及 ADC 值,进一步评估 SAH 患者视野缺损程度,结果提示较健康志愿者,SAH 视野缺损患者 FA 值降低且 ADC 值升高,DTI 对 SAH 后视野缺损程度也可

起到预示作用^[26]。上述研究表明,在不同部位 ICH 患者中,准确诊断神经纤维束损伤严重程度对于神经康复至关重要,而 DTI 在此过程中扮演着决定性角色。然而,由于颅内神经纤维束结构的复杂性,需要进一步开展更多脑损伤以及其他神经纤维束或结构的研究^[4]。

2.2 ICH 后语言功能障碍

失语症是 ICH 的后遗症之一,主要是由于弓形束(arcuate fasciculus, AF)受破坏所致,而 AF 主要负责将布罗卡氏区(Broca'ares)和韦尼克区(Wernick'ares)连接起来^[27],是中枢神经系统中负责语言功能的重要组成部分。DTI 能够判断 AF 损伤程度及言语障碍的预后,使用 DTI 来研究 AF 破坏对失语的影响,可通过 FA、ADC 值反映 AF 的完整性,并有助于对 ICH 后的失语类型进行分类^[28]。使用 DTI 重建 ICH 患者 AF 的结构特征与失语症类型间的关系,发现 AF 在布罗卡氏区和韦尼克区区域发生了移位,而韦尼克区的损坏导致了传导性或经皮质感觉性失语。此时,DTI 参数相较于健康者 FA、FN、TV 降低,MD 升高,且左侧大脑半球出血后患者 AF 的结构差异与流利性失语的不同类型有关^[29]。脑卒中早期使用 DTI 评估左 AF 完整性有助于预测失语症患者的预后,同时也能用于言语障碍指导治疗^[30],尽管 DTI 对脑卒中后失语程度及类型起到预测作用,但缺血性脑卒中和出血性脑卒中 AF 损伤程度及机制可能不完全相同^[31]。

2.3 ICH 后认知功能障碍

ICH 后幸存者中会出现早期认知功能障碍,甚至部分患者出现持续性恶化的认知障碍^[32]。因此需要对认知恢复的预测因子和认知衰退的标志物进行研究^[33]。DTI 对脑白质微观结构完整性的测量可用于发现认知功能障碍、痴呆的早期迹象^[34]。SHI 等^[35]人在基底节出血后发现同侧海马神经元树突棘密度降低,伴随认知障碍。ICH 第一周认知功能明显下降,全脑 DTI 数据显示同侧海马 FA 值下降。至 ICH 第 12 周,认知功能持续恶化,同侧海马 FA 值进一步下降,提示发病一周后患侧海马 FA 值可预测认知功能的预后^[18]。在国内研究中,高血压脑出血患者经过 CST 分级分组后接受 MIS 治疗。结果显示,接受 MIS 治疗后 21 天患侧 FA 值越低,CST 分级越高,患者预后及认知功能越差。因此 DTI 可用于评估高血压脑出血患者接受 MIS 治疗后的预后及认知功能^[36]。成年人发生创伤性脑损伤(traumatic brain in-

jury, TBD)时,扫描 DTI 可以检测到脑白质完整性的变化。而中度至重度 TBI 患者的脑白质改变与认知功能较差相关联^[37]。

2.4 DTI 在 ICH 动物模型中的应用

WU 等^[38]利用 25 只实验狗注入自体血制备 ICH 模型,随机分为 ICH 组和 MIS 组。对 MIS 组进行手术清除血肿前后观察神经功能缺损评分和 DTI 检查发现,手术后血肿侧内囊的 FA 值较术前显著提高。相较于 ICH 组,MIS 组的神经功能缺损评分明显降低,内囊继发性损伤减少,促进了运动功能恢复。早期 FAN 等^[39]向 14 只大鼠右纹状体灌注胶原酶诱导 ICH,通过扫描 DTI 和组织学检查观察血肿侧(右纹状体)及血肿对侧(左纹状体)黑质(substantia nigra, SN)和锥体束(pyramidal tract, PY)的变化。在 ICH 后 3.5 h 以及第 1、3、7、14、42 和 120 天进行 DTI 扫描并取大鼠脑组织,在第 3 天发现血肿侧 SN 的 FA、AD、RD 值相较血肿对侧明显降低,并且组织病理学提示血肿侧神经元变性。而血肿侧 PY 的 ADC 值和 RD 值呈先下降后上升,FA 值和 AD 值则持续下降,同时组织学显示轴突损失和脱髓鞘进行性加重。这些结果支持使用 DTI 来评估 ICH 临床研究中的 SN 和 PY 损伤。随后还有研究^[40]通过对 61 只大鼠的右脑注入 30 μ L 自体尾血诱导脑干出血(brain stem hemorrhage, BSH)。分别在术后第 1、3、7、14 和 28 天选择示踪的部位后重复进行 DTI 检查和运动功能评估。测量了 PY 的 FA、ADC、MD、RD 值。通过与健康对照比较,结果提示 DTI 能够观察到 BSH 后 PY 的动态变化,并与运动功能改变有关。从而得出定量 DTI 可以追踪 PY 的结构变化,并且 DTI 可以作为预测 BSH 患者预后的非侵入性工具。但目前仍需更多有关脑白质损伤及恢复机制的基础研究。

3 缺陷和不足

ICH 患者判断预后关键在于明确 CST 损伤程度及部位,DTI 能够准确识别轻微神经性病变,对 ICH 患者术后康复起到指导作用。研究表明手术清除治疗能够尽量避免残留血肿持续损伤患者神经血管,并通过 DTI 检查对患者预后进行管理,以此获取最佳疗效。然而 DTI 仍有一定局限性。目前以缩短时间与获取高分辨率图像,如何将图像质量与临床应用之间的差距缩小仍需要进一步探究^[41]。同时对 ICH 患者肢体、语言及认知功能损伤程度与 DTI 各个参数值之间的对应关系仍需大量临床数据及更深入的基础研究去发现。中枢神经系统结构复杂,大脑中神经纤维束数

量数不胜数,因此应鼓励更多有关 ICH 的临床及基础研究,尤其是对其他神经纤维束结构及功能的研究。

4 展 望

综上所述,DTI 技术对 ICH 患者的诊断、提示治疗手段判断疾病部位及判断患者的预后具有重要的临床意义,是目前临床上无创、安全、操作简便的辅助检查手段。尽管 DTI 应用于 ICH 后失语及认知障碍的研究甚少,但随着时间发展,对运动、语言、认知、视觉等神经纤维束的传导路径均可实现清晰重建,以进一步指导 ICH 手术治疗向真正意义上的微创方向发展。作者认为运用 DTI 检测脑白质的损伤和恢复机制仍然是未来重点,同时 DTI 也有望在未来成为脑卒中患者主要的影像学诊断和治疗手段。

参考文献

[1] NOVAKOVIC N, LINZEY J R, CHENEVERT T L, et al. White matter survival within and around the hematoma: quantification by mri in patients with intracerebral hemorrhage[J]. *Biomolecules*, 2021, 11(6):910.

[2] CHANG M C, KWAK S G, PARK D. Prediction of the motor prognosis with diffusion tensor imaging in hemorrhagic stroke: a meta-analysis[J]. *J Integr Neurosci*, 2021, 20(4):1011-1017.

[3] SCHWARZ G, KANBER B, PRADOS F, et al. Whole-brain diffusion tensor imaging predicts 6-month functional outcome in acute intracerebral haemorrhage[J]. *J Neurol*, 2023, 270(5):2640-2648.

[4] CHO M K, JANG S H. Diffusion tensor imaging studies on spontaneous subarachnoid hemorrhage-related brain injury: a mini-review[J]. *Front Neurol*, 2020, 11:283.

[5] RANZENBERGER L R, SNYDER T. Diffusion tensor imaging[M]. Treasure Island: StatPearls Publishing, 2023.

[6] NANDA G, JAIN P, SUMAN A, et al. Role of diffusion tensor imaging and tractography in spinal cord injury[J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2022, 33:101997.

[7] JANG S H, CHO M J. Role of diffusion tensor

imaging in the diagnosis of traumatic axonal injury in individual patients with a concussion or mild traumatic brain injury: a mini-review[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12(7):1580.

- [8] MIN Y S, JANG K E, PARK E, et al. Prediction of motor recovery in patients with basal ganglia hemorrhage using diffusion tensor imaging[J]. *J Clin Med*, 2020, 9(5):1304.
- [9] LATINI F, FAHLSTRÖM M, FÄLLMAR D, et al. Can diffusion tensor imaging (DTI) outperform standard magnetic resonance imaging (MRI) investigations in post-COVID-19 autoimmune encephalitis? [J]. *Ups J Med Sci*, 2022, 2022, 127.
- [10] EGOROVA-BRUMLEY N, LIANG C, KHLIF M S, et al. White matter microstructure and verbal fluency[J]. *Brain Struct Funct*, 2022, 227(9):3017-3025.
- [11] MCCOURT R, MISAGHI E, TU W, et al. Perihematoma corticospinal tract integrity in intracerebral hemorrhage patients: a diffusion-tensor imaging study[J]. *J Neurol Sci*, 2021, 421:117317.
- [12] ZOLKEFLEY M K I, FIRWANA Y M S, HATTA H Z M, et al. An overview of fractional anisotropy as a reliable quantitative measurement for the corticospinal tract (CST) integrity in correlation with a Fugl-Meyer assessment in stroke rehabilitation[J]. *J Phys Ther Sci*, 2021, 33(1):75-83.
- [13] DI PAOLA V, TOTARO A, AVESANI G, et al. Correlation between FA and ADC, number and length of the periprostatic neurovascular fibers[J]. *Urologia*, 2022, 89(4):535-540.
- [14] WALKER M R, ZHONG J, WASPE A C, et al. Peripheral nerve focused ultrasound lesioning-visualization and assessment using diffusion weighted imaging[J]. *Front Neurol*, 2021, 12:673060.
- [15] SEO J P, KWON Y H, JANG S H. Mini-review of studies reporting the repeatability and reproducibility of diffusion tensor imaging[J]. *Invest Magnetic Reson Imag*, 2019, 23(1):26.

- [16] JANG S H, LEE H D. Diagnostic approach to traumatic axonal injury of the spinothalamic tract in individual patients with mild traumatic brain injury [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2019, 9 (4):199.
- [17] VOLBERS B, MENNECKE A, KÄSTLE N, et al. Quantitative corticospinal tract assessment in acute intracerebral hemorrhage [J]. *Transl Stroke Res*, 2021, 12(4):540-549.
- [18] SONG K, LIU X, ZHENG Q, et al. Secondary injury to distal regions after intracerebral hemorrhage influence neurological functional outcome [J]. *Aging*, 2020, 12(5):4283-4298.
- [19] BHASIN A, SRIVASTAVA P, KUMARAN S S. Correlation of DTI-derived measures to therapy-mediated recovery after stroke: preliminary findings [J]. *Neurol India*, 2021, 69 (5): 1210-1216.
- [20] HAQUE M E, BOREN S B, AREVALO O D, et al. Longitudinal, quantitative, multimodal mri evaluation of patients with intracerebral hemorrhage over the first year [J]. *Front Neurol*, 2021, 12:764718.
- [21] CHEN J, LIU M, SUN D, et al. Effectiveness and neural mechanisms of home-based telerehabilitation in patients with stroke based on fMRI and DTI: a study protocol for a randomized controlled trial [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(3):e9605.
- [22] OKAMOTO Y, ISHII D, YAMAMOTO S, et al. Relationship between motor function, DTI, and neurophysiological parameters in patients with stroke in the recovery rehabilitation unit [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2021, 30 (8): 105889.
- [23] WU G, WANG L, LIU J, et al. Minimally invasive procedures reduced the damages to motor function in patients with thalamic hematoma: observed by motor evoked potential and diffusion tensor imaging [J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2013, 22(3):232-240.
- [24] SEO Y S, JANG S H. Recovery of a degenerated corticospinal tract after injury in a patient with intracerebral hemorrhage; confirmed by diffusion tensor tractography imaging [J]. *Neural Regen Res*, 2015, 10(5):829-831.
- [25] YEO S S, CHOI B Y, CHANG C H, et al. Periventricular white matter injury by primary intraventricular hemorrhage: a diffusion tensor imaging study [J]. *Eur Neurol*, 2011, 66 (4): 235-241.
- [26] JANG S H, CHANG C H, JUNG Y J, et al. Optic radiation injury in patients with aneurismal subarachnoid hemorrhage: a preliminary diffusion tensor imaging report [J]. *Neural Regen Res*, 2018, 13(3):563-566.
- [27] SHEPPARD S M, SEBASTIAN R. Diagnosing and managing post-stroke aphasia [J]. *Expert Rev Neurother*, 2021, 21(2):221-234.
- [28] WANG H, LI S, DAI Y, et al. Correlation Between speech repetition function and the arcuate fasciculus in the dominant hemisphere detected by diffusion tensor imaging tractography in stroke patients with aphasia [J]. *Med Sci Monit*, 2020, 26:e928702.
- [29] RYU H, PARK C H. Structural characteristic of the arcuate fasciculus in patients with fluent aphasia following intracranial hemorrhage: a diffusion tensor tractography study [J]. *Brain Sci*, 2020, 10(5):280.
- [30] YU Q, SUN Y, LIAO X, et al. Integrity of the left arcuate fasciculus segments significantly affects language performance in individuals with acute/subacute post-stroke aphasia: a cross-sectional diffusion tensor imaging study [J]. *Brain Sci*, 2022, 12(7):907.
- [31] LEE S, NA Y, TAE W S, et al. Clinical and neuroimaging factors associated with aphasia severity in stroke patients: diffusion tensor imaging study [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1):12874.
- [32] AAM S, EINSTAD M S, MUNTKE-KAAS R, et al. Post-stroke cognitive impairment-impact of follow-up time and stroke subtype on severity and cognitive profile: the Nor-COAST Study [J]. *Front Neurol*, 2020, 11:699.
- [33] BRODTMANN A, VELDSMAN (下转第 1905 页)

- [24] 刘婷阳, 邓桂元, 赖娟. 冠心病支架植入术后患者运动恐惧调查及影响因素分析[J]. 齐鲁护理杂志, 2020, 26(8):109-112.
- [25] 宋晓梅, 马素慧, 彭艳婷, 等. 基于结构方程模型的冠心病患者运动恐惧影响因素分析[J]. 护理学杂志, 2022, 37(12):64-67, 78.
- [26] KOCJAN J, KNAPIK A. Barriers of physical activity (kinesiophobia) in patients subjected to cardiac rehabilitation[J]. *Balt J Health Phys Act*, 2014, 6(4):291-297.
- [27] QIN J, XIONG J, WANG X, et al. Kinesiophobia and its association with fatigue in CHF patients[J]. *Clin Nurs Res*, 2022, 31(7):1316-1324.
- [28] 张丽君, 马宏文, 孙然然. 老年急性 ST 段抬高型心肌梗死患者经皮冠状动脉介入治疗术后运动恐惧现状及影响因素分析[J]. 天津护理, 2022, 30(4):422-426.
- [29] TER HOEVE N, KEESSEN P, DEN UIJL I, et al. Assessing changes in fear of movement in patients attending cardiac rehabilitation; responsiveness of the TSK-NL heart questionnaire[J]. *J Rehabil Med*, 2022, 54:jrm00328.
- [30] LU M M, XIA H O, MA J Y, et al. Relationship between adherence to secondary prevention and health literacy, self-efficacy and disease knowledge among patients with coronary artery disease in China[J]. *Eur J Cardiovasc Nurs*, 2020, 19(3):230-237.
- [31] 李琪, 朴京京, 万博雅, 等. 冠心病病人运动恐惧的评价与干预研究进展[J]. 护理研究, 2023, 37(2):269-272.
- [32] 黄蓉, 贺媛, 黄华华, 等. 冠心病病人恐动症的研究进展[J]. 全科护理, 2021, 19(34):4779-4784.
- [33] 郭文敏, 赵素琴, 赵丽婷. 心脏康复联合认知行为疗法对 AMI 患者恐动症的疗效[J]. 心血管康复医学杂志, 2022, 31(3):285-290.

(收稿日期:2023-10-10 修回日期:2024-01-26)

(编辑:姚雪)

(上接第 1900 页)

- M. Predicting poststroke cognitive impairment: sharpening the diffuse? [J]. *Stroke*, 2021, 52(6):1993-1994.
- [34] POWER M C, SU D, WU A, et al. Association of white matter microstructural integrity with cognition and dementia[J]. *Neurobiol Aging*, 2019, 83:63-72.
- [35] SHI E, SHI K, QIU S, et al. Chronic inflammation, cognitive impairment, and distal brain region alteration following intracerebral hemorrhage[J]. *FASEB J*, 2019, 33(8):9616-9626.
- [36] 刘兴宇, 田宝刚, 崔建忠, 等. DTI 技术在评估微创引流治疗 HICH 患者预后及认知中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(6):1155-1160.
- [37] WALLACE E J, MATHIAS J L, WARD L, et al. Chronic white matter changes detected using diffusion tensor imaging following adult traumatic brain injury and their relationship to cognition[J]. *Neuropsychology*, 2020, 34(8):881-893.
- [38] WU G, WANG F, WANG L, et al. Minimally invasive surgery for evacuating the intracerebral hematoma in early stages decreased secondary damages to the internal capsule in dog model of ich observed by diffusion tensor imaging[J]. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2017, 26(4):701-710.
- [39] FAN S J, LEE F Y, CHEUNG M M, et al. Bilateral substantia nigra and pyramidal tract changes following experimental intracerebral hemorrhage: an MR diffusion tensor imaging study[J]. *NMR Biomed*, 2013, 26(9):1089-1095.
- [40] ZHANG R Z, TAO C Y, CHEN W, et al. Dynamic diffusion tensor imaging reveals structural changes in the bilateral pyramidal tracts after brain stem hemorrhage in rats[J]. *Front Neuroanat*, 2016, 10:33.
- [41] DANYLUK H, SANKAR T, BEAULIEU C. High spatial resolution nerve-specific DTI protocol outperforms whole-brain DTI protocol for imaging the trigeminal nerve in healthy individuals [J]. *NMR Biomed*, 2021, 34(2):e4427.

(收稿日期:2023-10-11 修回日期:2024-01-21)

(编辑:姚雪)