

· 综 述 ·

磁共振弥散张量成像技术在神经外科疾病中的临床应用

王 博 综述 王 忠 审校

【关键词】 磁共振;弥散张量成像;神经外科疾病;临床应用

【文章编号】 1009-153X(2020)09-0644-04 【文献标志码】 A 【中国图书资料分类号】 R 445.2

正常脑组织水分子运动具有明显各向异性,然而,损伤神经元的各向异性会减弱^[1]。1994 年, Bassar 等^[2]首次报道磁共振弥散张量成像(magnetic resonance diffusion tensor imaging, MR-DTI),可无创检测体内水分子在不同组织中各向异性,定量评估神经组织的完整性。近 20 多年,MR-DTI 在神经系统疾病中被广泛应用,定性及定量分析神经纤维束损伤后的变化。本文就 MR-DTI 在神经外科疾病中的临床应用进展进行综述。

1 MR-DTI 的基本原理

MR-DTI 的生理基础是水分子弥散的各向异性,即弥散张量。在水分子进行热运动扩散时,垂直作用于纤维束方向的阻力远远大于水平方向,因此,水分子的扩散模式可以揭示正常或患病状态下的组织结构的微观改变^[3]。通常,DTI 产生多个参数,如平均弥散率(mean diffusivity, MD)、各向异性分数(fractional anisotropy, FA)、表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)等。DTI 可以显示白质纤维结构的异常,并且可以提供大脑白质连通性的模型。随着 MR-DTI 技术的不断发展,使用软件与 MR-DTI 结合后,把 MR-DTI 数据整合成三维图像,将白质束的走行方向、空间位置、数量以及纤维间的连接关系充分可视化。

2 MR-DTI 技术在颅脑损伤中的应用

2.1 轻型颅脑损伤(trumatic brain injuries, TBI) 临床上,轻型 TBI 占多数,其诊断,一般基于 CT 检查,

包括脑挫裂伤、硬膜外出血等;对出血量很少的病人,常规检查不易判断,尤其是脑震荡,常规 CT、MRI 呈阴性,只能通过病人症状的评估进行诊断,给临床诊治带来很大困扰。熊坤林^[4]研究表明与正常人相比,轻型 TBI 病人脑白质区域 DTI 参数 FA 值显著下降,主要分布在上纵束、内囊、放射冠等区域,部分白质纤维束 MD 值显著增高,主要包括视束及内囊等区域;并且,轻型 TBI 病人认知功能障碍与白质结构的变化显著相关。因此,白质纤维束可作为评价轻型 TBI 病人认知功能障碍更客观的形态学基础,对于轻型 TBI 的诊断和治疗具有重要意义。

2.2 重型 TBI 一般需要抢救,头颅 CT 检查基本可以诊断明确,而 MRI 检查时间长,危重病人不适宜。应用 DTI 技术可以预测病人预后。杜彦李^[5]研究发现重型 TBI 病人内囊和胼胝体 FA 值明显降低,而且对评估病人病情严重性及预后也具有临床意义。

3 MR-DTI 技术在神经系统肿瘤中的应用

3.1 胶质瘤 脑胶质瘤是常见的颅内原发性肿瘤,沿白质纤维束浸润性生长,因此常规影像学检查确定肿瘤边界的位置较为困难^[6]。术前确定肿瘤边界、肿瘤分级对治疗方案的选择具有一定的指导作用,对预后的评估也具有一定的意义^[7]。研究发现,胶质瘤瘤体区 FA 值、ADC 值明显低于对侧正常脑白质^[8];而且 ADC 值与肿瘤实质部分细胞的密集度密切相关,在一定程度上可用于指导肿瘤分级^[9]。随着肿瘤恶性程度的升高,肿瘤细胞的密度增加,因此肿瘤病理级别越高,FA 和 ADC 值越低。

目前,应用荧光素钠染色结合术中超声、神经导航系统明显提高胶质瘤切除程度。Chen 等^[10]用 DTI 技术进行弥散张量纤维束成像,能够更加准确地判断胶质瘤周白质纤维受损程度,对肿瘤细胞浸润程度有更直观的体现,有助于确认肿瘤细胞浸润区与

瘤周水肿区正常组织的界限。刘俊华^[11]应用 DTI 重建有效锥体束 (effective fibers of pyramidal tract, EPT) 为主的脑白质纤维束, 指导术中最大限度切除肿瘤并保护 EPT, 与常规切除肿瘤的全切率无明显差异, 但术后 3 个月致残率却显著下降。

3.2 垂体腺瘤 垂体腺瘤是颅内常见的良性肿瘤^[12]。Ylva 等^[13]发现 DTI 检查可检测垂体腺瘤压迫前视通路的病理学和损伤程度, 低水平轴向扩散性提示视觉通路的早期萎缩, 即为视束损伤的早期征兆, 是确定垂体腺瘤手术适应证的可靠方法。Mohamadreza 等^[14]发现术后 3 个月视辐射 FA 值可作为临床评价垂体大腺瘤手术及预后的时间点, 术前双侧视辐射 FA 值下降程度与手术效果及预后密切相关。垂体柄的保存在垂体腺瘤切除术中非常重要, 而有时术中难以识别垂体柄。Wang 等^[15]利用 DTI 技术进行下丘脑垂体束的追踪并成功进行纤维追踪和三维可视化, 发现术后 MRI 显示垂体柄与脑道位置一致, 表明 DTI 对术前定位垂体柄有一定帮助, 避免术中误切。

3.3 听神经瘤 起源于雪旺细胞的良性肿瘤, 占颅内神经鞘瘤的 91%, 主要起源于第Ⅷ颅神经的前庭支, 因而国际统一命名为前庭神经雪旺细胞瘤 (vestibular schwannoma, VS), 俗称听神经瘤^[12]。保留神经功能和生活质量的全肿瘤切除是现代 VS 手术的目标。术后面神经麻痹是 VS 手术的严重并发症。术前确定面神经非常重要。Amey 等^[16]发现超过 90% 的 VS 术前应用 DTI 能成功识别出完整的面神经, 对手术方案的制定有一定的辅助作用。

4 MR-DTI 技术在脑血管疾病中的应用

4.1 缺血性脑血管病 Zhang 等^[17]利用 DTI 指数观察永久性缺血闭塞的猕猴模型脑卒中后 2~96 h 脑灰质和白质缺血性损伤的时间演变, 发现白质束 MD 从超急性期到急性期逐渐变化与整个梗死区域的 MD 变化在时间上相关。孟庆强等^[18]发现 DTI 在脑梗死诊断准确率、成本以及效率等方面都较常规 MRI 检查有较高的应用价值, 可以有效的展现脑梗死前期的病变状况, 准确判断病人是否存在白质纤维束的受累情况, 实现对疾病严重程度的量化。认知功能障碍是急性缺血性卒中后常见的并发症。Biesbroek 等^[19]发现 DTI 分数各向异性和平均扩散率评估右上纵束、左皮质脊髓束、左钩束的损伤, 与脑梗死后病人认知障碍密切相关。Hugo 等^[20]发现基于 DTI 的脑连通性测量对脑卒中后认知障碍病人在日常临床实践中 1 年的认知结局的预测非常有必要。

4.2 出血性脑血管病 与缺血性卒中相比, 出血性卒中的病死率和致残率更高^[21]。皮质脊髓束 (cortico-spinal tract, CST) 损伤是致残的重要原因。脑出血后, 患侧感兴趣区 FA 值、ADC 值均较对侧有不同程度的降低, 而且早期利用 DTI 技术可作为脑出血病人运动功能恢复的预测手段^[22-24]。

4.3 颅内动脉瘤 MR-DTI 在颅内动脉瘤的应用鲜有报道。很少有人知道动脉瘤性蛛网膜下腔出血后的视放射损伤。Jang 等^[25]发现动脉瘤性蛛网膜下腔出血病人较正常对照组, 视辐射 FA 值显著降低、ADC 值显著升高, 而视辐射纤维数目没有显著差异, 提示蛛网膜下腔出血后视辐射的损伤, 而且视神经水肿明显。

5 MR-DTI 技术在功能神经外科中的应用

5.1 帕金森病 (Parkinson disease PD) 是一种多发于中老年人, 以肌肉静止性震颤、肌肉僵直、运动活动起困难、姿势反射丧失为特征的中枢神经系统疾病^[12], CT、MRI 等常规检查并无特异性表现, 而症状明显时病人已进入中晚期, 治疗难度大增。滕佳歧和李坤成^[26]发现 PD 病人黑质、额叶白质 FA 值明显低于正常对照组, 这种差异可能是因为 PD 病人多巴胺能神经元丢失, 胶质细胞增生导致神经纤维结构紊乱; 而且 PD 病人额叶和颞叶白质等 ADC 值明显高于对照组, 表明 PD 病人脑微观结构有异常改变, 这说明 DTI 测定的 FA、ADC 值在对 PD 早期的诊断有一定指导意义。Kirsten 等^[27]发现 PD 病人脑干、小脑、胼胝体前部、额下和额枕下白质 FA 显著升高, 运动区 MD 显著升高, 病程 1 年以上的 PD 病人视辐射、胼胝体、顶枕叶等 FA 下降显著, 额叶、岛叶和丘脑后部灰质及视神经放射和胼胝体 MD 明显增加。这种 DTI 变化与神经解剖学相一致, 表明 DTI 可以作为早期 PD 进展的敏感检查。目前, 脑深部电刺激术 (deep brain stimulation, DBS) 是治疗 PD 的有效方法^[28]。陈宇昆和王学廉^[29]认为 DBS 电极触点到齿状-红核-丘脑纤维束的空间距离, 与震颤症状改善的程度有相关性, 距离这条纤维束越近, 震颤改善越好。所以, DTI 可评价 DBS 电极触点刺激作用范围和纤维束的空间关系, 选择最佳刺激靶点和参数, 为达到最佳治疗效果^[30]。

5.2 癫痫 癫痫产生的原因就是脑内神经细胞不正常同步性过度放电^[10]。颞叶癫痫 (temporal lobe epilepsy, TLE) 发病率较高, 是局限性癫痫的代表。Lionel 等^[31]发现 MD 值升高、FA 值降低的区域不仅表现

在海马区,同样出现在杏仁核、颞极,这与脑电图痫性放电区域有很好的-致性,间接反映了癫痫网络,对于癫痫灶的手术切除具有一定的指导意义。Simon 等^[32]发现 48.8% 的 TLE 病人行颞叶手术后仍会出现癫痫发作,利用 DTI 的量化参数计算穹隆伞、海马旁白质束和钩束的长度,发现术后并无发生癫痫的病人较发生癫痫的病-人的钩束切除范围更大,这表明钩束的较小切除可能造成癫痫发生网络断开不-充分,导致术后癫痫再次发作。因此,DTI 能显示常规 MRI 不能显示的癫痫灶,可以指导外科手术对癫痫灶的充分切除,提高疗效。

总之,MR-DTI 作为一种新型的可在活体研究脑白质神经纤维的无创成像技术,在神经外科疾病的发展以及预后的评估中有着重要的参考价值。

【参考文献】

- [1] Silvia LP. Diffusion tensor imaging (DTI) [J]. *Methods Mol Biol* 2018, 1718: 103-116.
- [2] Bassar PJ, Mattiello J, LeBihan D. MR diffusion tensor spectroscopy and imaging [J]. *Biophys J*, 1994, 66: 259-267.
- [3] Shaikh S, Kumar A, Bansal A. Diffusion tensor imaging: an overview [J]. *Neurol India*, 2018, 66: 1603-1611.
- [4] 熊坤林. 扩散张量及静息态功能磁共振成像在轻度创伤性脑损伤中的应用研究[D]. 第三军医大学, 2015.
- [5] 杜彦李. 磁共振弥散张量成像及波谱成像对重型创伤性脑损伤的预后评估研究[D]. 苏州大学, 2012.
- [6] 宋加哲, 胡兰花, 范国光, 等. 3.0 T 磁共振动态对比增强扫描在脑胶质瘤分级诊断中的应用[J]. *中国医科大学学报*, 2016, 45(7): 620-625.
- [7] 中国脑胶质瘤协作组. 成人幕下低级别胶质瘤的手术治疗指南[J]. *中华神经外科杂志*, 2016, 32(7): 652-658.
- [8] 何沛芝, 黄文光, 王金洪, 等. 探讨弥散张量成像及氢质子磁共振波谱在脑胶质瘤诊断分级中的应用价值[J]. *中国医学装备*, 2018, 15(9): 54-57.
- [9] 杨喜彪, 许照敏, 张洪静, 等. 质子磁共振波谱对脑炎与脑炎样胶质瘤鉴别诊断的价值[J]. *临床放射学杂志*, 2016, 35(12): 1796-1800.
- [10] Chen Z, Tie Y, Olubiyi O, *et al.* Reconstruction of the arcuate fasciculus for surgical planning in the setting of peritumoral edema using two-tensor unscented Kalman filter tractography [J]. *Neuroimage Clin*, 2015, 7: 815-822.
- [11] 刘俊华. 3.0 T 磁共振弥散张量成像在胶质瘤切除术中的应用价值[J]. *中国 CT 和 MRI 杂志*, 2016, 14: 30-32, 72.
- [12] 王忠诚. 神经外科学[M]. 武汉: 湖北科技科学出版社, 2015. 1.
- [13] Ylva L, Oscar G, Maria L, *et al.* Visual pathway impairment by pituitary adenomas: quantitative diagnostics by diffusion tensor imaging [J]. *J Neurosurg*, 2017, 127(3): 569-579.
- [14] Mohamadreza H, Madjid S, Rudolf F. A preliminary study of the clinical application of optic pathway diffusion tensor tractography in suprasellar tumor surgery: preoperative, intraoperative, and postoperative assessment [J]. *J Neurosurg*, 2016, 125(3): 759-65.
- [15] Wang FY, Zhang JS, Wang P, *et al.* Prediction of pituitary stalk position in pituitary adenomas by visualization of the hypothalamo-hypophyseal tract using diffusion tensor imaging tractography [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2018, 97(10): e0052.
- [16] Amey RS, Devi PP, Jai DT, *et al.* Preoperative diffusion tensor imaging-fiber tracking for facial nerve identification in vestibular schwannoma: a systematic review on its evolution and current status with a pooled data analysis of surgical concordance rates [J]. *Neurosurg Focus*, 2018, 44(3): E5.
- [17] Zhang XD, Yan YM, Tong F, *et al.* Progressive assessment of ischemic injury to white matter using diffusion tensor imaging: a preliminary study of a macaque model of stroke [J]. *Open Neuroim J*, 2018, 12: 30-41.
- [18] 孟庆强, 孙 丽, 孟令花. 磁共振弥散张量成像技术在脑梗死中的临床应用[J]. *中国继续医学教育*, 2018, 10(27): 54-55.
- [19] Biesbroek JM, Alexander L, Hanna DB, *et al.* Microstructure of strategic white matter tracts and cognition in memory clinic patients with vascular brain injury [J]. *Dement Geriatr Cogn Disord*, 2017, 44(5-6): 268-282.
- [20] Hugo PA, Yael DR, Jacoba MS, *et al.* A role for new brain magnetic resonance imaging modalities in daily clinical practice: protocol of the prediction of cognitive recovery after stroke (procras) study [J]. *JMIR Res Protoc*, 2018, 7(5): e127.
- [21] Feigin VL, Law es CM, Bennett DA, *et al.* Worldwide stroke incidence and early case fatality reported in 56 population-based studies: a systematic review [J]. *Lancet Neurol*, 2009, 8(4): 355-369.
- [22] Kuzu Y, Inoue T, Kanbara Y, *et al.* Prediction of motor function outcome after intracerebral hemorrhage using fraction-

nal anisotropy calculated from diffusion tensor imaging [J]. Cerebrovasc Dis, 2012, 33(6): 566–573.

[23] Tetsuo K, Yuki U, Kazuhisa D. Associations of diffusion-tensor fractional anisotropy and FIM outcome assessments after intracerebral hemorrhage [J]. Stroke Cerebrovasc Dis, 2018, 27(10): 2869–2876.

[24] Jang SH, Chang CH, Kim JH, *et al.* Diffusion tensor tractography for decompressive operation decisions in patients with intracerebral hemorrhage[J]. Am J Phys Med Rehabil, 2018, 97(5): e48–e49.

[25] Jang SH, Chang CH, Jung YJ, *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.

[26] 滕佳岐,李坤成. 磁共振弥散张量成像在帕金森病诊断中的价值[J]. 中国CT和MRI杂志, 2018, 16(3): 1–3, 7.

[27] Kirsten IT, Fabio S, Frank B, *et al.* Progressive decline in gray and white matter integrity in de novo parkinson’s disease: an analysis of longitudinal parkinson progression markers initiative diffusion tensor imaging data [J]. Front Aging Neurosci, 2018, 10: 318.

[28] Benabid AL, Pollak P, Louveau A, *et al.* Combined (thalamotomy and stimulation) stereotactic surgery of the VIM thalamic nucleus for bilateral Parkinson disease [J]. Appl Neurophysiol, 1987, 50(1–6): 344–346.

[29] 陈宇昆,王学廉. 弥散张量成像追踪齿状-红核-丘脑束在脑深部电刺激治疗帕金森病震颤症状的应用[J]. 中国微侵袭神经外科杂志, 2018, 23(5): 193–196.

[30] 陈宇昆,王学廉. 脑深部电刺激术治疗帕金森病新进展 [J]. 中国临床神经外科杂志, 2018, 23(1): 56–58.

[31] Lionel T, Stéphane L, Krainik A, *et al.* Diffusion tensor imaging in medial temporal lobe epilepsy with hippocampal sclerosis [J]. Neuroimage, 2005, 28(3): 682–90.

[32] Simon SK, Russell G, Bernd W, *et al.* Preoperative automated fibre quantification predicts postoperative seizure outcome in temporal lobe epilepsy [J]. Brain, 2017, 140(1): 68–82.

(2018–12–02 收稿, 2019–01–27 修回)

~~~~~

(上接第 643 页)

[7] Morgenstern LB, Demchuk AM, Kim DH, *et al.* Rebleeding leads to poor outcome in ultra-early craniotomy for intracerebral hemorrhage [J]. Neurology, 2001, 6(10): 1294–1299.

[8] Steiner T, Salman R, Beer R, *et al.* European Stroke Organisation (ESO) guidelines for the management of spontaneous intracerebral hemorrhage [J]. Int J Stroke, 2014, 9(7): 840–855.

[9] Zhou X, Chen J, LI Q, *et al.* Minimally invasive surgery for spontaneous supratentorial intracerebral hemorrhage: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Stroke, 2012, 43(11): 2923–2930.

[10] Rennert RC, Signorelli JW, Abraham P, *et al.* Minimally invasive treatment of intracerebral hemorrhage [J]. Expert Rev Neurother, 2015, 15(8): 919–933.

[11] Sadahiro H, Nomura S, Goto H, *et al.* Real-time ultrasound-guided endoscopic surgery for putaminal hemorrhage [J]. J Neurosurg, 2015, 123(5): 1151–1155.

[12] Hou Y, Ma L, Zhu R. iPhone-assisted augmented reality localization of basal ganglia hypertensive hematoma [J]. World Neurosurg, 2016, 94: 480–492.

[13] Zhu H, Wang Z, Shi W. Keyhole endoscopic hematoma evacuation in patients [J]. Turk Neurosurg, 2012, 22(3): 294–199.

[14] Feng Y, He J, Liu B, *et al.* Endoscope-assisted keyhole technique for hypertensive cerebral hemorrhage in elderly patients: a randomized controlled study in 184 patients [J]. Turk Neurosurg, 2016, 26(1): 84–89.

[15] Ding D, Przybylowski CJ, Starke RM, *et al.* A minimally invasive anterior skull base approach for evacuation of a basal ganglia hemorrhage [J]. J Clin Neurosci, 2015, 22(11): 1816–1819.

[16] Dye JA, Dusick JR, Lee DJ, *et al.* Frontal bur hole through an eyebrow incision for image-guided endoscopic evacuation of spontaneous intracerebral hemorrhage [J]. J Neurosurg, 2012, 117(4): 767–773.

[17] Kuo LT, Chen CM, Li CH, *et al.* Early endoscope-assisted hematoma evacuation in patients with supratentorial intracerebral hemorrhage: case selection, surgical technique, and long-term results [J]. Neurosurg Focus, 2011, 30(4): 127–131.

[18] Auer LM, Deinsberger W, Niederkorn K, *et al.* Endoscopic surgery versus medical treatment for spontaneous intracerebral hematoma: a randomized study [J]. J Neurosurg, 1989, 70(4): 530–535.

(2018–12–11 收稿, 2019–03–18 修回)