

❖ 综述

Application progresses of MR diffusion weighted imaging in chest diseases

YANG Jing^{1,2}, LU Jie^{1,2*}, ZHAO Zhilian^{1,2}, GAO Yan^{1,2},
ZHANG Miao^{1,2}, SUN Zheng^{1,2}

(1. Department of Radiology and Nuclear Medicine, Xuanwu Hospital, Capital Medical University, Beijing 100053, China; 2. Beijing Key Laboratory of Magnetic Resonance Imaging and Brain Informatics, Beijing 100053, China)

[Abstract] MR diffusion-weighted imaging (DWI) can reflect the Brownian motion of water molecules of tissue. Recently, parameters of chest DWI have been standardized, and the image quality significantly improved. Chest DWI plays an important role in differential diagnosis of benign and malignant thoracic tumors, mediastinal lymph nodes metastasis, and evaluation on effect and response of radiotherapy, chemotherapy and radiofrequency ablation of lung cancer. The application progresses of DWI in chest diseases were reviewed in this article.

[Keywords] thoracic diseases; diagnosis, differential; diffusion magnetic resonance imaging

DOI:10.13929/j.issn.1003-3289.2021.07.031

MR 弥散加权成像用于胸部疾病进展

杨 晶^{1,2}, 卢 洁^{1,2*}, 赵志莲^{1,2}, 高 艳^{1,2}, 张 苗^{1,2}, 孙 峥^{1,2}

(1. 首都医科大学宣武医院放射与核医学科, 北京 100053;
2. 磁共振成像脑信息学北京市重点实验室, 北京 100053)

[摘 要] MR 扩散加权成像(DWI)可反映组织水分子的布朗运动。近年来,胸部 DWI 成像参数日趋规范,图像质量明显提高,对鉴别诊断胸部良、恶性肿瘤,评价纵隔淋巴结转移及放射和化学治疗、射频消融治疗肺癌效果具有重要价值。本文对 DWI 在胸部疾病中的应用进展进行综述。

[关键词] 胸部疾病; 诊断,鉴别; 弥散磁共振成像

[中图分类号] R825.6; R445.2 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1003-3289(2021)07-1094-04

胸部 CT 为胸部疾病影像学检查的首选,但部分胸部实性肿物 CT 增强无强化,而一些囊性肿物因内部出血和感染而囊腔内 CT 值增高,易致误诊。随着设备、扫描及后处理技术的发展, MRI 越来越多地用于胸部疾病。胸部常规 MR 检查序列包括 T2W 及其脂肪抑制序列和 T1W 及其化学位移成像 DIXON 序列,可显示纵隔及肺部肿物与周围结构,包括位置、大

小、形态、瘤肺界面和轮廓等,如化学位移成像可区分胸腺增生与正常胸腺及其他位于前纵隔且轮廓较明显的软组织肿物^[1];但常规 MRI 不能区分良恶性肺结节^[2-3]。弥散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)可反映组织水分子布朗运动。由于组织结构不同,水分子并非随机运动,因与组织内细胞及其疏水膜和细胞内大分子物质发生碰撞而受限。DWI 技术可

[基金项目] 北京市医院管理局“登峰”人才培养计划(DFL20180802)。

[第一作者] 杨晶(1986—),女,北京人,硕士,技师。研究方向:医学影像技术。E-mail: yj3912@sina.com

[通信作者] 卢洁,首都医科大学宣武医院放射与核医学科,100053;磁共振成像脑信息学北京市重点实验室,100053。

E-mail: imaginglu@hotmail.com

[收稿日期] 2020-05-11 **[修回日期]** 2021-03-26

敏感检出细胞层面水分子扩散改变^[4-5]。近年 DWI 成像参数日趋规范,图像质量明显提高,对于鉴别胸部良恶性结节、评估纵隔淋巴结转移、放射及化学治疗(简称放化疗)对肺癌的疗效具有重要价值。本文就 DWI 在胸部疾病中的应用进展进行综述。

1 胸部 DWI 扫描参数优化

优化胸部 DWI 扫描参数对提高图像质量、利于定性和定量评价病变非常重要。DWI 对呼吸运动和血管搏动非常敏感^[6],目前推荐采用单激发自旋回波平面回波采集,以减少涡流和几何失真的影响^[7];而增加重复时间[(repetition time, TR) 2 500~5 000 ms]、缩短回波时间[(echo time, TE) 50~65 ms]^[7-8]、采用并行采集方式、水激励或频谱绝热反转恢复脉冲脂肪抑制方式等均可增加图像信噪比和减少图像伪影^[8]。选择最短 TE 可避免低估表观弥散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)。既往研究^[9]发现,其他条件相同前提下,TE 为 92 ms 时,ADC 比 TE 52 ms 时约低估 29%。临床多采用自由呼吸和呼吸导航门控方式进行扫描,但应用呼吸导航门控方式并不能提高 DWI 图像质量^[10]。

DWI 信号主要由细胞内外和血管内外的水分子运动信息构成。成像参数中的 b 值影响图像显示水分子扩散的敏感性^[9]。b=0 s/mm²时,图像不仅反映扩散信息,亦含有 T2 信息;b=500~1 000 s/mm²时,图像更多显示扩散信息;b>1 000 s/mm²虽能更好地抑制扩散以外的信息,但图像信噪比严重降低,不推荐用于临床胸部检查^[11]。采用不同 b 值组合,DWI 和相应 ADC 亦不同。多数研究^[12-18]采用双 b 值,如 b=0 s/mm²和 b=500~1 000 s/mm²;但 b<100~150 s/mm²时,血液流动和灌注信号大幅衰减,会高估组织扩散表现,进而高估 ADC^[11]。b 值与组织信号衰减呈多指数模型,甚至去除血流灌注信息后仍呈多指数衰减,因此,应至少采用 3 个 b 值进行 DWI 扫描^[11]。推荐采用 b=0 s/mm²、b=100~150 s/mm²和 b=700~1 000 s/mm²行胸部 DWI,以去除组织血管灌注信息并反映真正的组织扩散信息^[19]。

2 鉴别诊断胸部良恶性肿瘤

与正常组织相比,恶性肿瘤的主要病理学特点是细胞密度升高、更高的核质比、更丰富的分子蛋白和更少的细胞外空间,导致水分子扩散受限、ADC 减低。应结合高、低 b 值 DWI、ADC 图和相应结构图像,包括 T2WI、T1WI 及其脂肪抑制图像进行分析。文献^[20]报道,肿瘤合并脓肿和感染时,常规 MRI 可出现

假阳性结果;而肿瘤伴囊性病变、坏死及分化程度较高时,常规 MRI 易出现假阴性结果^[21]。T2 穿透效应可致正常组织在高 b 值 DWI 图像中呈高信号而被误诊为扩散受限的肿瘤,此时应参考 ADC 图,如为高 ADC,提示扩散无受限,有利于避免误诊^[6]。

既往研究^[3]比较原发性肺癌、肺部转移瘤与良性肿瘤的 ADC,发现原发性肺癌[(4.87±1.36)×10⁻⁴ mm²/s]与肺部转移瘤[(3.60±0.35)×10⁻⁴ mm²/s]ADC 差异有统计学意义(P<0.05),据此鉴别二者的受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线下面积(area under the curve, AUC)为 0.80;恶性肿瘤(包括原发性肺癌和食管癌)ADC[(4.53±1.41)×10⁻⁴ mm²/s]高于良性肿瘤[(2.97±0.36)×10⁻⁴ mm²/s, P<0.01],据此鉴别二者的 AUC 为 0.97。中心型支气管肺癌常伴肺部感染和肺不张。有学者^[13]对 38 例肺癌伴肺不张患者采集胸部 DWI,发现肺癌平均 ADC[(1.83±0.58)×10⁻³ mm²/s],明显低于肺不张[(2.90±0.26)×10⁻³ mm²/s, P<0.000 1],ADC 有助于鉴别中心性肺癌与伴发的肺不张。

肺腺癌及各型胸腺瘤良恶性跨度大,ADC 均有所重叠。研究^[12]表明,高分化肺腺癌的 ADC 明显高于其他组织分型肺腺癌。PRIOLA 等^[19]将各型胸腺瘤均归为恶性病变,发现 ADC 区分胸部良恶性肿瘤的阈值降低,这是因为低风险胸腺瘤(A 型和 AB 型)可能表现出弥散不受限的高 ADC(大于 2.0×10⁻³ mm²/s)^[22]。既往研究^[23]采用 3 个 b 值(b=0、400 和 b=800 s/mm²)对胸腺瘤和胸腺癌患者行 DWI 扫描,结果显示低风险胸腺瘤平均 ADC 为 1.30×10⁻³ mm²/s,高风险胸腺瘤为 1.14×10⁻³ mm²/s,胸腺癌为 1.06×10⁻³ mm²/s;ADC 区分低风险胸腺瘤与高风险胸腺瘤的阈值为 1.25×10⁻³ mm²/s,区分胸腺瘤与胸腺癌的阈值为 1.22×10⁻³ mm²/s。

恶性淋巴瘤呈扩散受限,其 ADC(0.40~1.27)×10⁻³ mm²/s^[8]。MOSAVI 等^[14]通过全身 DWI 发现 ADC 在惰性非霍奇金淋巴瘤、侵袭性非霍奇金淋巴瘤与霍奇金淋巴瘤中各有不同,分别为(597±115)×10⁻³ mm²/s、(822±266)×10⁻³ mm²/s 和(1 020±547)×10⁻³ mm²/s,惰性非霍奇金淋巴瘤 ADC 明显低于其他 2 组淋巴瘤;且 ADC 与全部患者长期生存率相关(P=0.006)。以 FDG-PET/CT 结果为标准,全身 DWI 诊断小儿霍奇金淋巴瘤的一致性 K 值为 0.86 [95%CI(0.78, 0.93)],敏感度和特异度分别为 88%

和 97%；而融合彩色 DWI/T2WI 诊断结果与其一致性 K 值为 0.92[95%CI(0.87, 0.97)]，敏感度和特异度分别为 99%和 95%^[15]。

3 观察纵隔淋巴结转移

纵隔淋巴结转移的数量和位置是评估肺癌预后的重要因素。以病理结果为标准，将 CT 所示淋巴结直径 >1 cm 视为转移性淋巴结，其诊断敏感度和特异度仅为 60%和 81%^[24]，主要原因在于转移性淋巴结大小可在正常范围，而良性淋巴结也可有增大表现。近年有研究^[10]采用背景抑制弥散加权成像(DWI with background suppression, DWIBS)评价胸部淋巴结，其淋巴结与肌肉信号比率(signal to background, STB)(3.26 ± 1.83)明显高于 DWI(0.98 ± 0.44 , $P < 0.0001$)，且脂肪抑制和去伪影效果优于 DWI。有学者^[25]观察 DWIBS 区分纵隔良恶性淋巴结的准确性，对比分析 ADC 和 $b=800 \text{ s/mm}^2$ 的 DWIBS 图像所示病灶与肌肉相对对比度(relative contrast ratio, RCR)鉴别淋巴结良恶性的 ROC 曲线，发现 RCR- $b800$ 以 3.6 为阈值区分淋巴结良恶性的敏感度和准确率高于 ADC[阈值为 $(1.29 \pm 0.00) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$]。

体素不相干运动弥散加权成像(intravoxel incoherent motion DMI, IVIM-DWI)亦可鉴别纵隔转移性淋巴结与非转移性淋巴结。采用多个 b 值的 IVIM-DWI 可有效区分微血管灌注与水分子扩散，除 ADC 外，还能提供参数扩散系数(diffusion coefficient, D)、假扩散系数(pseudo-diffusion coefficient, D^*)和灌注分数(perfusion fraction, f)等^[26]。肺癌转移性淋巴结平均 D 、ADC 和 f 明显低于良性淋巴结(P 均 < 0.001)，但二者 D^* 差异无统计学意义($P=0.28$)^[27]。有学者^[28]对 20 只正常兔左、右后肢分别注射 VX2 肿瘤细胞和卵黄乳液，建立转移淋巴结和炎性淋巴结模型，并观察其不同时间 IVIM-DWI 参数变化；结果显示，相比炎性淋巴结，转移淋巴结建模后第 14 天 D^* 降低，建模后第 21 和 28 天 ADC 和 D 升高；建模后第 28 天转移性淋巴结 f 大于炎性淋巴结；病理结果显示，ADC、 D 和 D^* 随炎性淋巴结和转移性淋巴结发展而变化，提示 IVIM-DWI 能反映转移性淋巴结的动态发展过程，但 f 易受血流速度、T2 信号、回波时间和 b 值分布等因素影响。

4 评价疗效

肺癌放化疗后会出现癌细胞凋亡，抗血管内皮细胞生长药物治疗后可出现血管内皮水肿、血流减少及相应形态改变，导致肿瘤体积发生变化。DWI 可反映

肿瘤细胞变化，及时评价肿瘤对放化疗的反应^[8]。LIU 等^[16]观察 75 例非小细胞肺癌患者，发现在第一和第二阶段化疗后化疗敏感型肿瘤 ADC 变化率(23.6%)明显高于化疗抵抗者(5.56%， $t=3.236$, $P=0.002$)，提示可根据 ADC 变化率及早评价化疗敏感与否，以指导临床治疗和改善预后。USUDA 等^[17]对 41 例肺癌术后放化疗患者间隔 6 个月复查胸部 DWI 和 CT，至少重复 3 次，发现 DWI 评估肺癌复发对放化疗的反应优于 CT，DWI 的诊断敏感度、特异度和准确率均为 100%，CT 分别为 100%、100%和 83%。OKUMA 等^[18]对 17 例(20 个病灶)肺癌患者分别于射频消融前后行 DWI 扫描，非进展型肿瘤射频消融前、后 ADC 分别为 $[(1.15 \pm 0.31) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$ 和 $[(1.49 \pm 0.24) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$ ，进展型肿瘤分别为 $[(1.05 \pm 0.27) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$ 和 $[(1.24 \pm 0.20) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}]$ ；射频消融后 ADC 均升高(P 均 < 0.05)，且射频消融后非进展型肿瘤 ADC 明显高于进展型肿瘤($P < 0.05$)。

5 展望

DWI 在胸部疾病中的应用价值已获证实，未来应确定最佳参数并统一标准，进一步提高其诊断效能。另外，新研发的 ZOOMit DWI 可明显减少图像伪影并缩短扫描时间，为胸部 MRI 提供了更广阔的应用空间。

[参考文献]

- [1] TAKAHASHI K, AL-JANABI N J. Computed tomography and magnetic resonance imaging of mediastinal tumors[J]. J Magn Reson Imaging, 2010, 32(6):1325-1339.
- [2] SOMMER G, TREMPER J, KOENIGKAM-SANTOS M, et al. Lung nodule detection in a high-risk population: Comparison of magnetic resonance imaging and low-dose computed tomography[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(3):600-605.
- [3] LU N H, HUNG C M, LIU K Y, et al. Diagnosed chest lesion on diffusion-weighted magnetic resonance images using apparent diffusion coefficients[J]. J Xray Sci Technol, 2016, 24(1):133-143.
- [4] 李鹏, 黄英, 李艳, 等. DWI 和 DCE-MRI 鉴别诊断良恶性前列腺外周带 T2WI 局灶性低信号病变[J]. 中国介入影像与治疗学, 2021, 18(3):156-160.
- [5] 任翔, 吴于淳, 杨秀军. DWI 和最小 ADC 值鉴别诊断儿童颅内间变性室管膜瘤与室管膜瘤[J]. 中国医学影像技术, 2019, 35(1):46-49.
- [6] SHIN K E, YI C A, KIM T S, et al. Diffusion-weighted MRI for distinguishing non-neoplastic cysts from solid masses in the

- mediastinum: Problem-solving in mediastinal masses of indeterminate internal characteristics on CT [J]. *Eur Radiol*, 2014, 24(3):677-684.
- [7] RAZEK A A. Diffusion magnetic resonance imaging of chest tumors[J]. *Cancer Imaging*, 2012, 12(3):452-463.
- [8] PRIOLA A M, GNED D, VELTRI A, et al. Chemical shift and diffusion-weighted magnetic resonance imaging of the anterior mediastinum in oncology: Current clinical applications in qualitative and quantitative assessment [J]. *Crit Rev Oncol Hematol*, 2016, 98(2):335-357.
- [9] SCHMIDT H, GATIDIS S, SCHWENZER N F, et al. Impact of measurement parameters on apparent diffusion coefficient quantification in diffusion-weighted-magnetic resonance imaging [J]. *Invest Radiol*, 2015, 50(1):46-56.
- [10] MESMANN C, SIGOVAN M, BERNER L P, et al. Evaluation of image quality of DWIBS versus DWI sequences in thoracic MRI at 3T[J]. *Magn Reson Imaging*, 2014, 32(10):1237-1241.
- [11] PADHANI A R, LIU G, KO D M, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging as a cancer biomarker: Consensus and recommendations[J]. *Neoplasia*, 2009, 11(2):102-125.
- [12] SEKI S, KOYAMA H, OHNO Y, et al. Diffusion-weighted MR imaging vs. multi-detector row-CT: Direct comparison of capability for assessment of management needs for anterior mediastinal solitary tumors[J]. *Eur J Radiol*, 2014, 83(5):835-842.
- [13] YANG R M, LI L, WEI X H, et al. Differentiation of central lung cancer from Atelectasis: Comparison of diffusion-weighted MRI with PET/CT[J]. *PLoS One*, 2013, 8(4):e60279.
- [14] MOSAVI F, WASSBERG C, SELLING J, et al. Whole-body diffusion-weighted MRI and (18) F-FDG PET/CT can discriminate between different lymphoma subtypes [J]. *Clin Radiol*, 2015, 70(11):1229-1236.
- [15] SPIJKERS S, NIEVELSTEIN R A J, DE-KEIZER B, et al. Fused high b-value diffusion weighted and T2-weighted MR images in staging of pediatric Hodgkin's lymphoma: A pilot study[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 121(12):108737.
- [16] LIU J F, LV H X, DONG J L, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging for early detection of chemotherapy resistance in non-small cell lung cancer [J]. *Med Sci Monit*, 2019, 25(8):6264-6270.
- [17] USUDA K, IWAIS, FUNASAKI A, et al. Diffusion-weighted magnetic resonance imaging is useful for the response evaluation of chemotherapy and/or radiotherapy to recurrent lesions of lung cancer[J]. *Transl Oncol*, 2019, 12(5):699-704.
- [18] OKUMA T, MATSUOKA T, YAMAMOTO A, et al. Assessment of early treatment response after CT-guided radiofrequency ablation of unresectable lung tumors by diffusion-weighted MRI: A pilot study[J]. *Br J Radiol*, 2009, 82(984):989-994.
- [19] PRIOLA A M, PRIOLA S M, GNED D, et al. Diffusion-weighted quantitative MRI to diagnose benign conditions from malignancies of the anterior mediastinum: Improvement of diagnostic accuracy by comparing perfusion-free to perfusion-sensitive measurements of the apparent diffusion coefficient[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2016, 44(3):758-769.
- [20] KING A D, AHUJA A T, YEUNG D K W, et al. Malignant cervical lymphadenopathy: Diagnostic accuracy of diffusion weighted MR imaging[J]. *Radiology*, 2007, 245(3):806-813.
- [21] PRIOLA A M, GALETTO G, PRIOLA S M, et al. Diagnostic and functional imaging of thymic and mediastinal involvement in lymphoproliferative disorders[J]. *Clin Imaging*, 2014, 38(6):771-784.
- [22] PRIOLA A M, PRIOLA S M. Thymoma of the left thymic lobe with a contralateral small pleural implant successfully detected with diffusion-weighted MRI [J]. *Tumori*, 2015, 101(1):e13-e17.
- [23] ABDEL RAZEK A A, KHAIRY M, NADA N. Diffusion-weighted MR imaging in thymic epithelial tumors: Correlation with World Health Organization classification and clinical staging[J]. *Radiology*, 2014, 273(1):268-275.
- [24] RONG D, MAO Y, HU W, et al. Intravoxel incoherent motion magnetic resonance imaging for differentiating metastatic and non-metastatic lymph nodes in pancreatic ductal adenocarcinoma[J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(7):2781-2789.
- [25] SIGOVAN M, AKI P, MESMANN C, et al. Benign and malignant enlarged chest nodes staging by diffusion-weighted MRI: An alternative to mediastinoscopy? [J]. *Br J Radiol*, 2018, 91(1082):20160919.
- [26] BRONCANO J, ALVARADO-BENAVIDES A M, BHALLA S, et al. Role of advanced magnetic resonance imaging in the assessment of malignancies of the mediastinum[J]. *World J Radiol*, 2019, 11(3):27-45.
- [27] QI L P, YAN W P, CHEN K N, et al. Discrimination of malignant versus benign mediastinal lymph nodes using diffusion MRI with an IVIM model [J]. *Eur Radiol*, 2018, 28(3):1301-1309.
- [28] GUO L J, LIU X M, LIU Z, et al. Differential detection of metastatic and inflammatory lymph nodes using intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging[J]. *Magn Reson Imaging*, 2020, 65(1):62-66.