



多模态 MR 功能成像技术 评估高级别胶质瘤周浸润的价值

符念霞¹, 宋建勋¹, 罗泽斌²

(1 深圳市宝安区人民医院放射科, 广东 深圳 518101;

2 广东医科大学附属第一医院放射科, 广东 湛江 524001)

摘要:目的 探讨多模态 MR 功能成像技术 [¹H-MRS、DTI、灌注加权成像(PWI)]在高级别胶质瘤周浸润的临床应用价值。方法 回顾性分析 35 例经手术病理确诊的高级别胶质瘤患者。所有受检者术前均在 3.0T MR 扫描仪上行 T₁WI、T₂WI、液体衰减反转恢复(FLAIR)以及 T₁WI 增强、¹H-MRS、DTI、PWI 检查。以肿瘤实质及瘤周区域(<1 cm)为 ROI, 计算胆碱/肌酸(Cho/Cr)与胆碱/N-乙酰天门冬氨酸(Cho/NAA)、相对脑血容量(rCBV)与相对脑血流量(rCBF), 读取 FA 与 ADC 值, 分析¹H-MRS、DTI、PWI 在瘤周浸润的相关性及联合应用的诊断价值。结果 (1)瘤周 Cho/NAA 及 Cho/Cr、FA 值、ADC 值与对侧镜像区脑实质差异有统计学意义($P < 0.05$), 瘤周 rCBV、rCBF 与对侧镜像区脑实质差异均无统计学意义($P > 0.05$); (2)瘤周 Cho/NAA 与 FA 值呈中等负相关($r = -0.35, P = 0.038$); 瘤周 rCBV 与 Cho/NAA、FA 值之间均无显著相关性($P > 0.05$); (3)Cho/NAA、FA 值在瘤周浸润的诊断价值较高, 两者联合应用预测瘤周浸润的准确率为 91.4%; 瘤周 rCBV、rCBF 联合 Cho/NAA 的 AUC 差异有统计学意义($P < 0.05$)。结论 多模态 MR 功能成像技术对瘤周浸润的评价具有一定临床应用价值, Cho/NAA 在瘤周浸润的诊断价值最高, 与 FA 的联合应用在预测瘤周浸润中准确性较高。

关键词:高级别胶质瘤; 瘤周浸润; 多模态磁共振成像

DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2019.12.003

中图分类号: R739.41; R445.2 文献标志码: A 文章编号: 1002-1671(2019)12-1897-05

Value of multimodal functional magnetic resonance imaging in evaluating the peritumoral invasion of high grade glioma

FU Nianxia¹, SONG Jianxun¹, LUO Zebin²

(1 Department of Radiology, Bao'an People's Hospital, Shenzhen 518101, China;

2 Department of Radiology, the Affiliated Hospital of Guangdong Medical University, Zhanjiang 524001, China)

Abstract: Objective To explore the clinical value of multimodal functional magnetic resonance imaging, including ¹H-MRS, DTI and PWI in the peritumoral invasion of high grade glioma. **Methods** A retrospective analysis was made of 35 patients with high grade glioma confirmed by surgery and pathology. All patients underwent preoperative T₁WI, T₂WI, FLAIR, T₁WI-enhancement, ¹H-MRS, DTI and PWI on 3.0T MR scanner. ROI were in the parenchyma and peritumoral area which were less than 1 cm. The ratio of Cho/Cr and Cho/NAA, rCBV and rCBF were calculated. FA and ADC values were read. The correlation of ¹H-MRS, DTI and PWI in peritumoral invasion and the diagnostic value of combined application were analyzed. **Results** (1) The ratio of peritumoral Cho/NAA and Cho/Cr, FA and ADC value were significantly different from those in the contralateral mirror area ($P < 0.05$), whereas rCBV and rCBF in the peritumoral area were not significantly different from those in the contralateral mirror area ($P > 0.05$). (2) The ratio of peritumoral Cho/NAA was negatively correlated with FA ($r = -0.35, P = 0.038$), whereas there were no significant correlations between peritumoral rCBV and the ratio of Cho/NAA, FA value ($P > 0.05$). (3) The diagnostic value of the ratio of Cho/NAA and FA value in peritumoral infiltration was higher, and the accuracy of combined application of them in predicting peritumoral infiltration was 91.4%. There was significant difference in the AUC of peritumoral rCBV and rCBF combined with ratio of Cho/NAA ($P < 0.05$). **Conclusion** Multimodal functional magnetic resonance imaging

has certain clinical value in evaluating peritumoral invasion. The ratio of Cho/NAA shows the highest diagnostic value in peritumoral invasion and higher accuracy in predicting peritumoral invasion when combining with FA.

Key words: high grade glioma; peritumoral invasion; multimodal magnetic resonance imaging

作者简介:符念霞(1990—),女,广东省遂溪县人,硕士,住院医师。
研究方向:中枢神经影像学。

通信作者:宋建勋, E-mail: songjianxun@126.com

基金项目:深圳市科技计划基础研究项目(JCYJ20150402152005622);
广东医科大学学校院联合科研基金项目(L2016017)。

胶质瘤是一种神经上皮源性肿瘤,WHO 分为 4 级,Ⅲ、Ⅳ级为高级别,容易沿着脑白质纤维束浸润,与周围脑组织分界不清,手术难以切除^[1]。MRS 可以非侵入性观察肿瘤以及瘤周组织的代谢物变化、DTI 可视化显示肿瘤深部灰质以及白质纤维束走行,而灌注加权成像(perfusion-weighted imaging, PWI)可以无创性评估血管增殖。而目前对胶质瘤的研究大部分集中在单个功能成像技术,但是单个成像技术存在自身的缺陷及不足^[2],故本研究联合运用¹H-MRS、DTI、PWI 探讨其在高级别胶质瘤瘤周浸润的相关性及诊断价值,更好地指导临床手术入路及手术方式。

1 资料与方法

1.1 一般资料 选取 2014 年 7 月至 2017 年 12 月在深圳市宝安区人民医院经病理证实的高级别胶质瘤患者 35 例,男 20 例,女 15 例,年龄 7~82 岁,平均(47.35±14.71)岁。本研究经深圳市宝安区人民医院伦理委员会批准,受试者均签署知情同意书。入选及排除标准:①所有病例未经任何治疗;②所有病例均行头部 MRI T₁WI、T₂WI、液体衰减反转恢复(fluid attenuated inversion recovery, FLAIR)以及 T₁WI 增强、¹H-MRS、DTI 和 PWI 检查;③所有病例均经手术病理或者立体定向活检证实。排除有 MRI 禁忌证者。

1.2 检查方法 采用 3.0T MR 扫描仪(西门子 Verio 3.0T),12 通道的头线圈,对比剂采用 Gd-DTPA 注射液,剂量为 0.1 mmol/kg,流速 4~5 mL/s。常规自旋回波(spin echo, SE)序列轴位 T₁WI、T₂WI、T₂/FLAIR 及矢状位 T₂WI。增强扫描矢状位 SE T₁WI 层厚 0.9 mm,层间距 0.45 mm,FOV 23.0 cm×23.0 cm。DTI 采用 DWI-EPI 序列行横轴位扫描,体素大小 2 mm×2 mm×4.0 mm,矩阵 128×128,层厚 4 mm,层间距 0 mm,TE 86 ms,TR 8 300 ms,b 值 0 s/mm²、1 000 s/mm²;32 个扩散敏感梯度方向,NEX 2,扫描持续时间 6 min。多体素¹H-MRS 检查扫描参数为 TE 1 35 ms,TR 1 700 ms,FOV 160 mm×160 mm。动态对比增强 PWI 检查扫描参数为 TR 1 500 ms,TE 30 ms,FOV 23.0 cm×23.0 cm,层厚 4.0 mm,层间距 1.2 mm,矩阵 128×128。

1.3 图像处理及分析 ① MRS 经西门子后处理工作站进行处理,获得肿瘤实质区域、瘤周区域及邻近正常组织的波谱,利用图像处理方法获取胆碱(choline, Cho),N-乙酰天门冬氨酸(N-acetylaspartate, NAA)代谢物分布图,计算 Cho/肌酸(creatine, Cr)与 Cho/NAA。② DTI 扫描图像中设备自动获取 FA 图、DWI 图及 ADC 图,利用西门子后处理 neuro 3D 功能模块,

ROI 选取肿瘤实质与镜像侧正常脑实质、瘤周区域与镜像侧相对应的正常脑组织,自动获取 FA 值、ADC 值(对于中线区及胼胝体胶质瘤选取临邻相对应白质及灰质组织作为正常对照)。③获取肿瘤灌注成像的动脉流入效应图,然后以动脉流入效应图作为参照获取脑血容量(cerebral blood volume, CBV),脑血流量(cerebral blood flow, CBF),平均通过时间(mean transmit time, MMT),达峰时间(time to peak, TTP)参数图;在 CBV 及 CBF 伪彩图中计算肿瘤实质与镜像侧正常脑实质、瘤周区域与镜像侧正常脑实质的相对 CBV(relative CBV, rCBV)、相对 CBF(relative CBF, rCBF)。所有病例图像由 2 名副高影像专业医生在双盲的条件下独立阅片并记录。

1.4 统计学分析 采用 SPSS 21.0 统计软件包。多均数间两两比较采用单因素方差分析;瘤周区域 MRS、DTI、PWI 的相关性分析采用 *Pearson* 法;诊断价值的比较采用 AUC 法,AUC 的比较采用 *Z* 检验;两者的联合运用采用 *Logistic* 回归分析。 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 高级别胶质瘤瘤周及镜像区功能参数的比较 本研究中经病理证实的高级别胶质瘤强化明显并沿着纤维束浸润胼胝体(图 1A),对应瘤周 Cho/NAA 及 Cho/Cr、FA 值、ADC 值与对侧镜像区脑实质差异有统计学意义($P < 0.05$)(表 1)(图 1B~E;2A,B);瘤周 rCBV、rCBF 与对侧镜像区脑实质差异均无统计学意义($P > 0.05$)(表 1)(图 1F~G,2C)。

2.2 高级别胶质瘤瘤周区域功能参数的相关性分析 本研究中瘤周 Cho/NAA 与 FA 值呈中等负相关($r = -0.35$, $P = 0.038$)(图 3);瘤周 rCBV 与 Cho/NAA、FA 值之间均无显著相关性($P > 0.05$)。

2.3 功能参数对高级别胶质瘤瘤周浸润诊断价值的效能评价 Cho/NAA、FA 值、rCBV 联合 Cho/NAA 对高级别胶质瘤瘤周浸润的诊断有一定的价值,Cho/NAA 的 AUC 最大(表 2)。rCBV、rCBF 联合 Cho/NAA 的 AUC 差异有统计学意义($Z = 2.06$, $P = 0.02$);FA 值联合 Cho/NAA 预测瘤周浸润的准确率为 91.4%。

3 讨论

胶质瘤是成年人最常见的脑内原发性恶性肿瘤,其中高级别胶质瘤恶性程度高,肿瘤新生血管丰富,肿瘤容易沿脑白质纤维束、室管膜和脑脊液种植^[3]。最大限度切除脑肿瘤、尽最大可能保护脑功能,明确肿瘤范围,确定肿瘤放疗区域,是临床所要面临的重大问题^[4]。

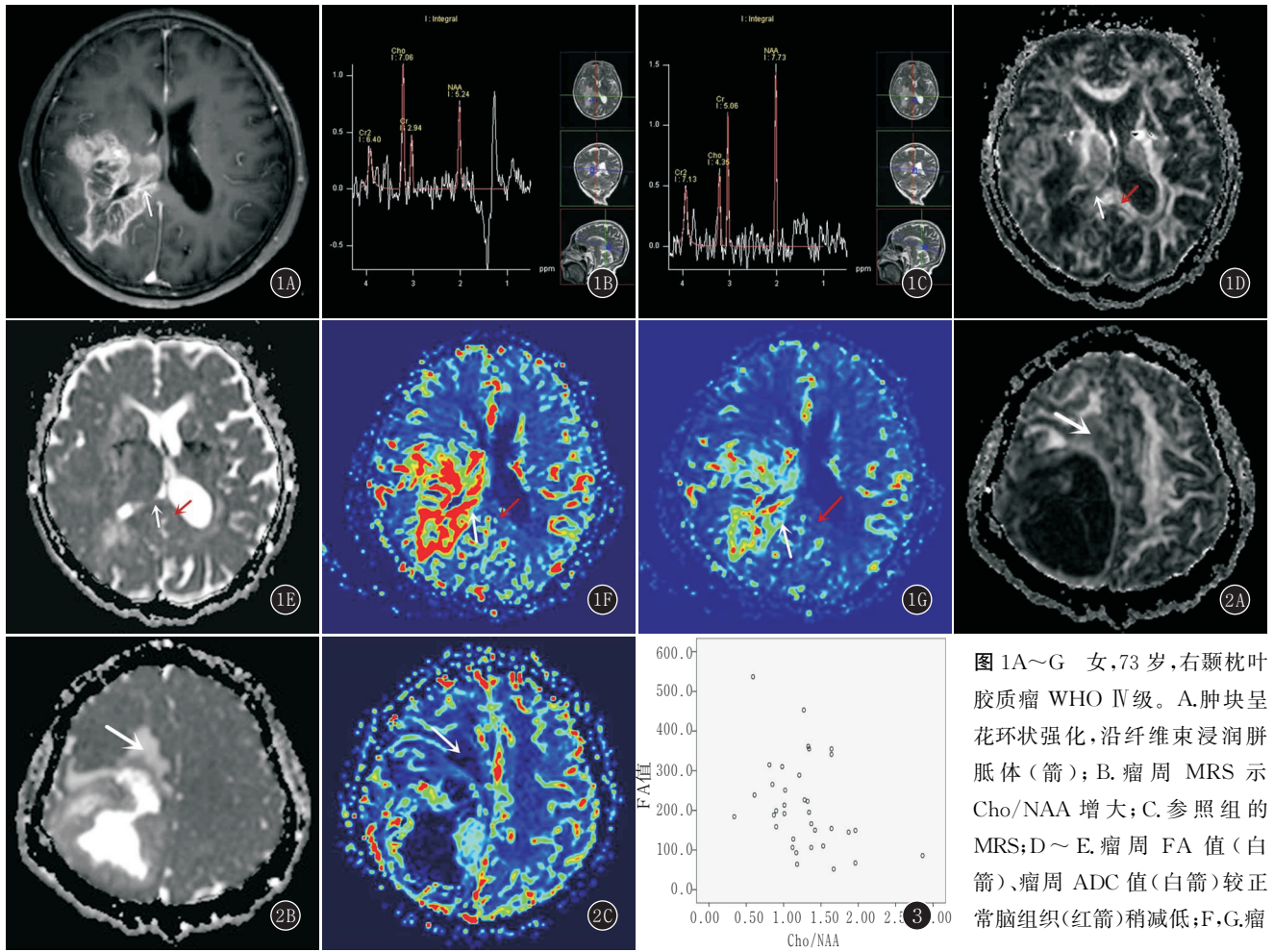


图 1A~G 女, 73 岁, 右颞枕叶胶质瘤 WHO IV 级。A. 肿块呈花环状强化, 沿纤维束浸润胼胝体(箭); B. 瘤周 MRS 示 Cho/Cr 增大; C. 参照组的 MRS; D~E. 瘤周 FA 值(白箭)、瘤周 ADC 值(白箭)较正常脑组织(红箭)稍减低; F, G. 瘤

周 CBV、CBF 呈高灌注(白箭), 正常脑组织呈低灌注(红箭)(注: 因胼胝体为中线结构, 参照组选取邻近正常脑组织) 图 2~C 女, 42 岁, 右顶叶胶质瘤 WHO III 级。瘤周 FA 减低、ADC 增高、CBV 减低(箭) 图 3 瘤周 Cho/NAA 与 FA 的散点图($r = -0.35, P = 0.038$)

表 1 高级别胶质瘤肿瘤实质、瘤周区域、镜像区脑实质各功能参数的统计分析($\bar{x} \pm s$)

	肿瘤实质	瘤周区域	脑实质 ^a	脑实质 ^b	F	P
Cho/Cr	4.15 ± 3.80	1.42 ± 0.49	1.09 ± 0.41	1.10 ± 0.42	20.41	0.000
Cho/NAA	10.09 ± 9.72	1.28 ± 0.47	0.54 ± 0.14	0.55 ± 0.14	32.13	0.000
FA	152.7 ± 85.3	212.2 ± 113.2	419.9 ± 146.7	427.5 ± 145.5	44.61	0.000
ADC	1 081.3 ± 233.8	1 355.7 ± 422.0	795.2 ± 120.9	736.2 ± 80.1	34.94	0.000
rCBV	1 799.5 ± 1 124.0	489.6 ± 391.8	483.6 ± 251.4	522.9 ± 281.0	38.01	0.000
rCBF	236.5 ± 186.0	70.7 ± 76.1	68.9 ± 66.7	72.9 ± 61.3	19.76	0.000

注: a, 表示肿瘤实质对应的镜像区脑实质; b, 表示瘤周区域对应镜像区的脑实质

表 2 Cho/NAA、FA、rCBV、rCBV+ Cho/NAA 的 AUC

方法	AUC	SE	95% 可信区间
Cho/NAA	0.955	0.30	0.897~1.013
FA	0.884	0.039	0.808~0.960
rCBV	0.412	0.07	0.276~0.549
rCBV+ Cho/NAA	0.592	0.05	0.490~0.693

随着多模态 MR 功能成像技术的发展, 可以无创反映高级别胶质瘤瘤周代谢物浓度、纤维束完整性以及微

血管, 术前对高级别胶质瘤的瘤周浸润有更好的评估, 提高患者的术后生存期。

3.1 功能成像评估瘤周浸润的最佳参数 ¹H-MRS 反映瘤周脑实质代谢物水平以及瘤周肿瘤细胞的增殖, 将肿瘤的侵袭范围与正常脑组织区别开来^[5]。瘤周水肿区域 Cho/NAA 与胶质瘤细胞增殖活性呈正相关, 而 Cho/Cr 与肿瘤细胞增殖活性无相关性^[6], 主要是高级别胶质瘤瘤周水肿区环境复杂, Cr 的浓度受到不同程度影响, 而瘤周 Cho/NAA 在一定程度上消除了

Cr 峰的影响。因此,选取 Cho/NAA 作为 MRS 在研究高级别胶质瘤周浸润中合适参数。

DTI 无创性活体显示脑纤维束形态及方向性,反映纤维束损害程度及范围的判断,并且可以监测高级别胶质瘤周脑实质内瘤细胞的浸润水平。FA 值、ADC 值是 DTI 较为常用的 2 个指标。本研究中瘤周 ADC 值高于对侧正常脑组织,但是高级别胶质瘤呈浸润性生长,瘤周肿瘤细胞相对增多,理论上 ADC 值减低^[7],分析其原因可能是 ADC 值受瘤周水肿影响显著而中和了部分增多的细胞数量。因此,瘤周 ADC 值在评估高级别胶质瘤的瘤周浸润中存在争议。因此,本研究选取 FA 值作为 DTI 研究高级别胶质瘤周浸润的合适参数。FA 值反映水分子扩散各向异性的程度,与脑组织神经元方向性有关^[8]。

PWI 主要反映组织中微观血流动力学信息,通过测量血流动力学参数,能够无创性评估血管增殖以及毛细血管通透性。胶质瘤的生长具有侵袭性,瘤周新生血管较其他肿瘤增多,新生肿瘤血管不成熟且通透性高,使局部的血流量及血容量增大而呈高灌注。目前 PWI 应用于胶质瘤的病理分级、肿瘤进展或假性进展以及评估治疗反应的主要参数是 rCBV^[9]。因此,选取 rCBV 作为 PWI 研究高级别胶质瘤周浸润的合适参数。

3.2 功能参数在瘤周浸润的改变及意义 在¹H-MRS 代谢物检测中,Cho 升高与细胞代谢活跃、细胞增殖快有关,NAA 降低与神经元破坏有关。本研究中瘤周的 Cho/NAA 与对侧镜像区脑实质差异有统计学意义,笔者推测瘤周 Cho/NAA 的增大与瘤周浸润有关。在 DTI 中,瘤周 FA 值减低与白质纤维束破坏有关。本研究中瘤周区域的 FA 值与对侧正常脑组织的差异有统计学意义,笔者认为肿瘤浸润瘤周脑组织,由于肿瘤细胞的异常增殖导致正常细胞结构破坏。在 PWI 中,rCBV 间接反映肿瘤内皮细胞的增生以及新生血管浓度。本研究中,瘤周区域 rCBV 与对侧正常脑实质差异无统计学意义,可能是瘤周水肿明显而掩盖了部分新生血管的通透性,也有可能与瘤周 rCBV 的影响因素有关,如Ⅲ级胶质瘤与Ⅳ级胶质瘤瘤周水肿区微血管密度不同^[10]。因此,rCBV 在高级别胶质瘤周浸润中的作用及演变规律尚有待于进一步深入研究。

3.3 功能参数在瘤周浸润中的相关性及其诊断价值的分析 本研究中瘤周 Cho/NAA 与 FA 值有显著相关性,笔者认为 MRS 与 DTI 在监测高级别胶质瘤周区域的浸润是一致的。本研究中瘤周 rCBV 与 Cho/NAA、FA 值之间均无显著相关性,可能因样本数量小、Ⅲ级与Ⅳ级胶质瘤周水肿区微血管密度及灌注差异所

致。本研究发现在瘤周区域 Cho/NAA 的诊断价值最高,其次是 FA 值,结果与文献报道相符^[11],笔者认为肿瘤发生浸润,组织代谢物最早出现变化,¹H-MRS 代谢物的检测在评估早期瘤周浸润具有重要作用;经过 Logistic 回归分析,两者的联合应用预测瘤周浸润的准确率为 91.4%,因此功能参数 Cho/NAA 联合 FA 对高级别胶质瘤周浸润早期预警并指导临床治疗具有重大意义。rCBV、rCBV 联合 Cho/NAA 的 AUC 有统计学意义,rCBV 联合 Cho/NAA 在瘤周浸润的诊断价值高于单个 rCBV 的运用,可能是 Cho/NAA 在一定程度上消除了水肿对 rCBV 的部分影响。

本研究的不足:(1)临床神经外科手术中肿瘤多采取瘤内分块切除,因而难以分析肿瘤水肿区及水肿边缘组织的病理结果,同时部分人认为切除瘤周区域脑组织,可能过度破坏脑组织,因此缺乏瘤周病理的金标准,未能比较功能参数的敏感性与特异性;(2)样本数量较小,可能存在统计学偏倚。

总之,多模态 MR 功能成像技术在高级别胶质瘤周浸润中有一定的临床应用价值,Cho/NAA 在瘤周浸润的诊断价值最高,与 FA 的联合应用在预测瘤周浸润中准确性较高;rCBV 联合 Cho/NAA,诊断瘤周浸润的信心增大。

参考文献:

- [1] YUAN J, LIU L. Brain glioma growth model using reaction-diffusion equation with viscous stress tensor on brain MR images[J]. Magn Reson Imaging, 2016, 34(2): 114-119. DOI: 10.1016/j.mri.2015.10.012.
- [2] 符念霞, 宋建勋, 罗泽斌. 多模态磁共振功能成像技术在高级别胶质瘤边界中的研究进展[J]. 兰州大学学报(医学版), 2017, 43(2): 72-75. DOI: 10.13885/j.issn.1000-2812.2017.02.013.
- [3] SMITHA K A, GUPTA A K, JAYASREE R S. Total magnitude of diffusion tensor imaging as an effective tool for the differentiation of glioma[J]. Eur J Radiol, 2013, 82(5): 857-861. DOI: 10.1016/j.ejrad.2012.12.027.
- [4] SKOGEN K, SCHULZ A, DORMAGEN J B, et al. Diagnostic performance of texture analysis on MRI in grading cerebral gliomas[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(4): 824-829. DOI: 10.1016/j.ejrad.2016.01.013.
- [5] NAGASHIMA H, TANAKA K, SASAYAMA T, et al. Diagnostic value of glutamate with 2-hydroxyglutarate in magnetic resonance spectroscopy for IDH1 mutant glioma[J]. Neuro Oncol, 2016, 18(11): 1559-1568. DOI: 10.1093/neuonc/now090.
- [6] 黄莉, 黄穗乔, 袁小平, 等. 胶质瘤瘤体及瘤周¹H MRS、ADC 值与 Ki-67 的相关性研究[J]. 实用放射学杂志, 2013, 29(6): 875-879. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2013.06.003.
- [7] 吴宏, 赖清泉, 李伟程, 等. 脑肿瘤应用磁共振弥散联合波谱分析技术诊断的临床价值[J]. 中国 CT 和 MRI 杂志, 2018, 16(1): 25-29. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2018.01.008.

恶性肿瘤和良性肿瘤病变进行特征提取和鉴别模型构建,得到了较为有意义的鉴别模型,但尚不能代表更广泛的乳腺良恶性病变,在以后更为深入的研究中,需要不断纳入更多不同病理类型的乳腺良恶性病变病例。本研究所建立的模型尚缺乏外部病例数据集的验证,笔者将会继续收集更多的病例资料,尤其是增加多中心的病例资料,对本研究所建立的模型进行验证和进一步完善。

总之,乳腺 MRI 传统参数中,ADC 值在鉴别乳腺癌与乳腺纤维腺瘤具有很高的价值,IER 价值有限,而基于 DWI 和 DCE-MRI 的影像组学特征可以作为乳腺 MRI 传统定量参数(尤其是 IER 值)鉴别乳腺癌与乳腺纤维腺瘤的有效补充。

参考文献:

- [1] CHEN W, ZHENG R, BAADE P D, et al. Cancer statistics in China, 2015[J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132. DOI: 10.3322/caac.21338.
- [2] BYERS T, WENDER R C, JEMAL A, et al. The american cancer society challenge goal to reduce US cancer mortality by 50% between 1990 and 2015: results and reflections[J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(5): 359-369. DOI: 10.3322/caac.21348.
- [3] 张亚平,董光,耿海,等. DCE-MRI 和 DWI 对乳腺腺病和乳腺瘤的诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2017, 33(4): 533-536. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2017.04.012.
- [4] 陈钊地,龙莉玲,彭鹏,等. ADC 值和乳腺 MRI 征象对 TIC II 型曲线肿块样病变的诊断价值[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(3): 370-373. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2018.03.011.
- [5] 贺丽英,潘克棣,郭佑民. DWI 与 DCE-MRI 联合应用对乳腺良恶性病变鉴别诊断价值的 Meta 分析[J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(11): 1696-1701. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2016.11.012.
- [6] ARNAOUT A, CATLEY C, BOOTH C M, et al. Use of preoperative

magnetic resonance imaging for breast cancer: a canadian population-based study[J]. JAMA Oncol, 2015, 1(9): 1238-1250. DOI: 10.1001/jamaoncol.2015.3018.

- [7] 吴佩琪,刘再毅,何兰,等. 影像组学与大数据结合的研究现状[J]. 中华放射学杂志, 2017, 51(7): 554-558. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2017.07.023.
- [8] WAUGH S A, PURDIE C A, JORDAN L B, et al. Magnetic resonance imaging texture analysis classification of primary breast cancer[J]. Eur Radiol, 2016, 26(2): 322-330. DOI: 10.1007/s00330-015-3845-6.
- [9] FENG D, BAUMGARTNER R, SVETNIK V. A robust bayesian estimate of the concordance correlation coefficient[J]. J Biopharm Stat, 2015, 25(3): 490-507. DOI: 10.1080/10543406.2014.920342.
- [10] MA X, GUO J, SUN X. Sequence-based prediction of RNA-binding proteins using random forest with minimum redundancy maximum relevance feature selection[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015: 425810. DOI: 10.1155/2015/425810.
- [11] GALLEGO-ORTIZ C, MARTEL A L. Improving the accuracy of computer-aided diagnosis for breast MR imaging by differentiating between mass and nonmass lesions[J]. Radiology, 2016, 278(3): 679-688. DOI: 10.1148/radiol.2015150241.
- [12] 张鑫,闵智乾,雷晓燕,等. MR 动态增强 MIP 技术在乳腺疾病良恶性鉴别中的应用[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(1): 35-38. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1671.2018.01.010.
- [13] PAREKH V S, JACOBS M A. Integrated radiomic framework for breast cancer and tumor biology using advanced machine learning and multiparametric MRI[J]. NPJ Breast Cancer, 2017, 3: 43. DOI: 10.1038/s41523-017-0045-3.
- [14] LU W, LI Z, CHU J. A novel computer-aided diagnosis system for breast MRI based on feature selection and ensemble learning[J]. Comput Biol Med, 2017, 83: 157-165. DOI: 10.1016/j.combiomed.2017.03.002.

(收稿日期: 2018-08-09; 修回日期: 2019-06-20)

(上接第 1900 页)

- [8] 谭朝元,杨晶,严开心,等. 扩散峰度成像对高级别胶质瘤及单发脑转移瘤的鉴别诊断价值[J]. 放射学实践, 2017, 32(3): 218-222. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2017.03.003.
- [9] YOO R E, CHOI S H. Recent application of advanced MR imaging to predict pseudoprogression in high-grade glioma patients[J]. Magn Reson Med Sci, 2016, 15(2): 165-177. DOI: 10.2463/mrms.rev.2015-0053.

- [10] 陈杰云,林晓莹,陈向荣,等. MR 灌注加权成像鉴别诊断单发脑转移瘤与高级别胶质瘤[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(2): 215-218. DOI: 10.13929/j.1003-3289.2015.02.016.

- [11] TOLIA M, VERGANELAKIS D, TSOUKALAS N, et al. Prognostic value of MRS metabolites in postoperative irradiated high grade gliomas[J]. Biomed Res Int, 2015, 2015: 341042. DOI: 10.1155/2015/341042.

(收稿日期: 2018-12-28; 修回日期: 2019-04-02)