

## 论 著

## SWI、3D-ASL及IVIM鉴别高低级别脑胶质瘤的研究

杜常月<sup>1</sup> 齐旭红<sup>2</sup> 温智勇<sup>2</sup>  
王仁贵<sup>1,\*</sup>

1.首都医科大学附属北京世纪坛医院放射科(北京 100038)

2.首都医科大学电力教学医院放射科(北京 100073)

【摘要】目的 评估磁敏感加权成像(SWI)、三维动脉自旋标记(3D-ASL)成像及体素内不相干运动(IVIM)成像鉴别高、低级别脑胶质瘤的诊断价值。方法 纳入97例确诊为胶质瘤的病例(低级别35例,高级别62例),术前进行SWI、3D-ASL及IVIM成像,然后进行手术,对照术后病理。测量参数包括瘤灶内的敏感性信号(ITSS)、瘤灶所在区域的血流量最大值(maximum cerebral blood flow, TBFmax)、灌注相关扩散系数(fast ADC)、扩散系数(slow ADC)及灌注分数f值,并获得TBFmax的相对值:r1(TBFmax/对侧正常白质区血流量)、r2(TBFmax/对侧正常灰质区血流量)及r3(TBFmax/镜像区脑血流量)。用统计学分析所得各参数值。然后应用受试者工作特性曲线(ROC曲线),进行诊断效能的分析。结果 SWI、3D-ASL及IVIM各参数在鉴别高低级别脑胶质瘤中具有统计意义,  $P < 0.05$ 。联合SWI、3D-ASL及IVIM得到的曲线下面积(AUC)数值最大。结论 通过对SWI、3D-ASL及IVIM三种技术进行分析,优化了胶质瘤术前高低级别分级的方法。

【关键词】胶质瘤分级; 三维动脉自旋标记成像; 磁敏感加权成像; 体素内不相干运动成像

【中图分类号】R81

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2023.01.004

## The Study of SWI, 3D-ASL and IVIM in Distinguishing High and Low Grade Glioma

DU Chang-yue<sup>1</sup>, QI Xu-hong<sup>2</sup>, WEN Zhi-yong<sup>2</sup>, WANG Ren-gui<sup>1,\*</sup>.

1.Department of Radiology, Beijing Shijitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100038, China

2.Department of Radiology, Electric Power Teaching Hospital, Capital Medical University, Beijing 100073, China

## ABSTRACT

**Objective** To evaluate the value of susceptibility weighted imaging (SWI), three-dimensional arterial spin labeling (3D-ASL) imaging, and intravoxel incoherent motion (IVIM) imaging in identification of gliomas. **Methods** 97 patients with glioma (35 patients with low-grade glioma and 62 patients with high-grade glioma) were enrolled. SWI, 3D-ASL and IVIM imaging were performed before the operation, and then the operation was performed. All cases were confirmed by postoperative histopathology. The measurement parameters include intratumoral susceptibility signal (ITSS), maximum cerebral blood flow (TBFmax) in the tumor area, the fast apparent diffusion coefficient (fast ADC), slow apparent diffusion coefficient (slow ADC) and perfusion fraction (f). TBFmax was also normalized to the corresponding values in contralateral normal white matter (r1), grey matter (r2), and mirror regions (r3). Analysed all parameters with statistical methods. Receiver operating characteristic (ROC) curve analysis was used to evaluate the performance of these parameters. **Results** The parameters of SWI, 3D-ASL and IVIM were statistically different in distinguishing high and low grade gliomas,  $P < 0.05$ . By combining SWI, 3D-ASL and IVIM, the area under the curve (AUC) was the highest in identification of gliomas. **Conclusion** By comparing and combining SWI, 3D-ASL and IVIM, optimized the method of preoperative high and low grade classification of glioma.

**Keywords:** Glioma Grading; Three-Dimensional Arterial Spin Labeling Imaging; Susceptibility Weighted Imaging; Intravoxel Incoherent Motion

脑胶质瘤的起源是颅内的神经胶质细胞,可分为4级:I、II级为低级别胶质瘤,III、IV级为高级别胶质瘤<sup>[1]</sup>。目前临床的治疗方式主要是手术和标准放化疗,通常低级别胶质瘤的预后比较好,而高级别胶质瘤患者容易复发<sup>[2]</sup>。所以术前评估肿瘤的级别对指导治疗及评估预后有重要的临床意义。

磁共振成像是肿瘤诊断、术后随访必不可少的成像工具。磁敏感加权成像(即SWI)可以反映瘤灶所在区域的血管生成和出血,对胶质瘤进行分级有重要作用<sup>[3]</sup>。三维动脉自旋标记成像(即3D-ASL)能够无创地评估瘤灶内的微循环和肿瘤血管生成,并量化肿瘤灌注异常情况<sup>[4-5]</sup>。Le Bihan等<sup>[6-7]</sup>提出的体素内不相干运动(即IVIM)是一种双指数模型,不需要注射外源性的对比剂,就可以获得水的分子扩散和毛细血管网中血液的微循环信息,能够帮助鉴别高级别与低级别脑胶质瘤。

本研究通过使用3.0T磁共振扫描仪,对脑胶质瘤患者增加SWI、3D-ASL及IVIM扫描,探讨三种技术在鉴别高级别与低级别脑胶质瘤中的意义。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 本研究为回顾性研究,本研究经过国家电网公司北京电力医院医学伦理委员会批准(批准文号:ky-2018-014-1),免除受试者知情同意。选取2016年5月至2018年2月期间到院就诊的病例共计97例(男性55例,女性42例,平均年龄约47.88岁),其中低级别患者35例,高级别患者62例。所有病例均经过手术进行切除,且术后病理证实为胶质瘤,并于术前完成了头颅磁共振平扫及增强扫描,同时增加了SWI、3D-ASL及IVIM序列的扫描。排除标准:MR扫描禁忌症。

**1.2 方法** 本研究应用的设备是GE Discovery 750W 3.0T 磁共振扫描仪。扫描序列包括:(1)常规MRI平扫:T1加权成像(TE 24.0 ms, TR 2087.4 ms)、T2加权成像(TE 104.0 ms, TR 5281.0 ms)、T2脂肪抑制成像(TE 95.0 ms, TR 9000.0 ms),层厚5.0 mm,层间距1.5 mm,FOV是24 cm×24 cm。(2)SWI序列参数:TE 22.9 ms, TR 38.3 ms, FA 15°,视野24.0 cm×21.6 cm, NEX为0.69,层厚2.0 mm,无层间距。(3)3D-ASL序列参数:TE 10.7 ms, TR 4683.0 ms,带宽62.5 KHz,矩阵512×512, NEX=3, Post Label Delay 1525.0 ms,层厚4.0 mm,层数40,无间隔,扫描时间4 min 32 s。(4)IVIM成像,视野24 cm×24 cm,矩阵130×160,层厚5.0 mm,层间距1.5 mm, b值分别为0s/mm<sup>2</sup>、25s/mm<sup>2</sup>、50s/mm<sup>2</sup>、75s/mm<sup>2</sup>、100s/mm<sup>2</sup>、150s/mm<sup>2</sup>、200s/mm<sup>2</sup>、400s/mm<sup>2</sup>、600s/mm<sup>2</sup>、800s/mm<sup>2</sup>、1000s/mm<sup>2</sup>、1500s/mm<sup>2</sup>、2000s/mm<sup>2</sup>、3000s/mm<sup>2</sup>。扫描所需的头颅线圈采用的是24通道头颅表面线圈。

**1.3 数据分析** 将图像载入GE ADW 4.6工作站进行后处理,测量并记录肿瘤实质区域的各项参数值。

【第一作者】杜常月,女,初级医师,主要研究方向:影像医学。E-mail: 1923731657@qq.com

【通讯作者】王仁贵,男,主任医师,主要研究方向:影像医学。E-mail: wangrengui@yahoo.com

(1)通过reformat后处理,获得SWI的后处理图像,即最小信号强度投影图(minimum intensity projection, MinIP)。在MinIP图上,统计瘤灶内肉眼可见的低信号病灶,并进行记录和评分,即肿瘤所在区域的敏感性信号强度(intratatumoral susceptibility signal intensity, ITSS)<sup>[8]</sup>评分。通过Park等人提出的半定量分析方法<sup>[8]</sup>, ITSS评分为以下几个等级:0分为没有ITSS;1分为1~5个点状或细线性低信号;2分为6~10个点状或细线性低信号;3分为11个或更多的点状或细线性低信号。(2)利用Functool软件对3D-ASL图像进行拟合,获得灌注伪彩图像。确定灌注伪彩图像上肿瘤实性部分所在的区域,并分别选择三个50 mm<sup>2</sup>左右的感兴趣区(region of interest, ROI)进行测量,获得三个瘤灶所在区域的脑血流灌注值,然后取均值。在同一个层面,利用镜像对称的方法,测量肿瘤对侧正常脑白质区、脑灰质区以及镜像区的血流灌注。然后取相对值,获得血流灌注值得相对值,包括:r1 (TBFmax/对侧正常白质区血流量)、r2 (TBFmax/对侧正常灰质区血流量)及r3(TBFmax/镜像区脑血流量)。为了尽可能的避免测量误差,感兴趣区的设置尽可能的避开囊变、坏死。(3)通过利用Functool软件对IVIM图像进行后处理,获得各参数的伪彩图像。分别在各参数(fast ADC、slow ADC、f值)的伪彩图上选取40mm<sup>2</sup>左右的感兴趣区(ROI),ROI的设置是在肿瘤实质区,保证同一患者的ROI大小一致,最终获得ROI的平均值进行记录。为避免误差,ROI的选择尽可能避开囊变、坏死区域。

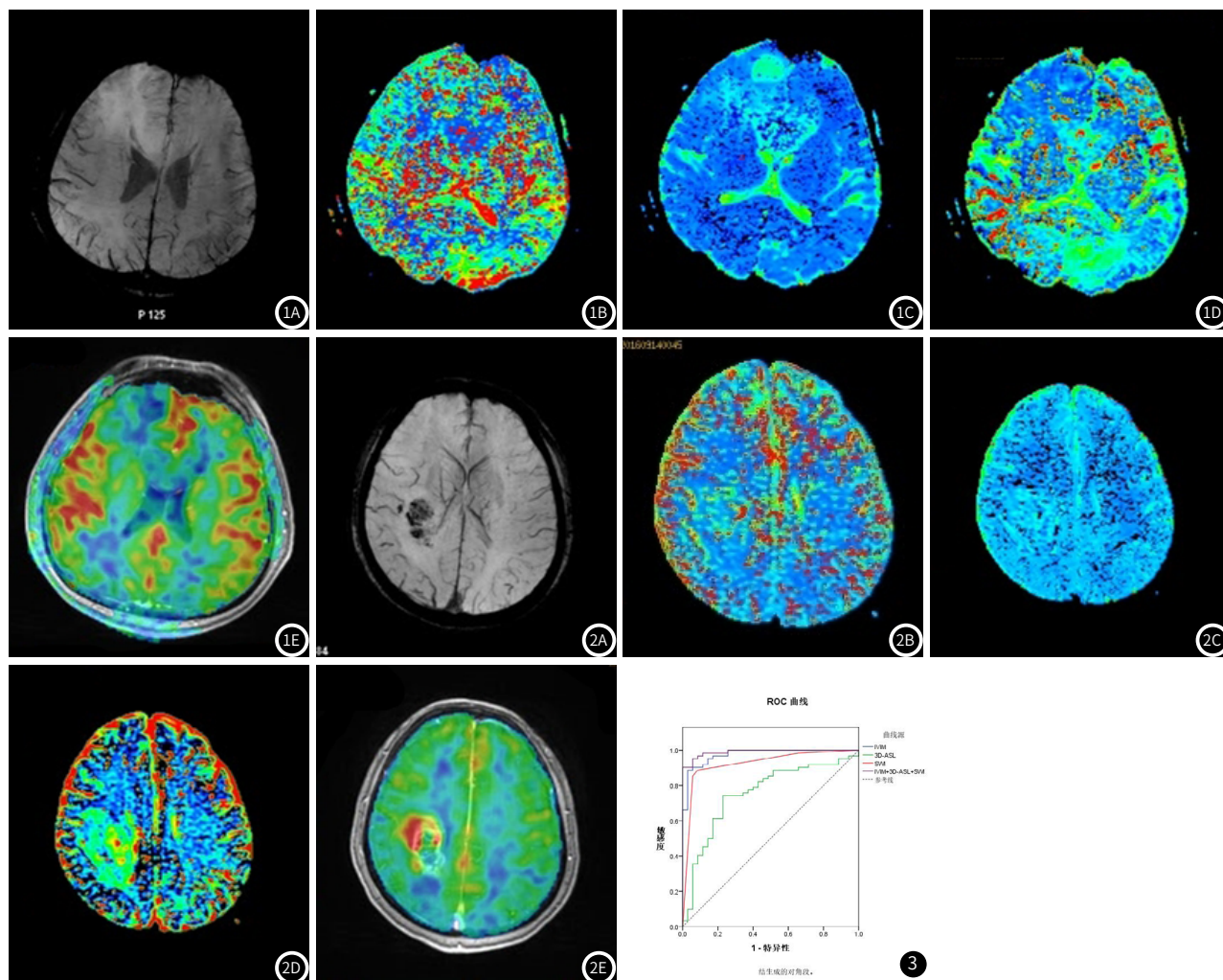
各参数的测量都是由两位有经验的研究人员测量取得。当两位的测量结果差距比较大时,由另一名高级职称的影像诊断医师进行测量,获得结果。

**1.4 统计学方法** 应用SPSS 17.0统计软件,用Mann-Whitney U检验对SWI的参数进行统计学分析, $P<0.05$ 表示有统计学差异。用两独立样本t检验的方法对3D-ASL及IVIM各参数进行统计学分析, $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。并采用ROC曲线对SWI、3D-ASL及IVIM各参数以及拟合的三种技术进行分析。

## 2 结果

脑胶质瘤SWI、IVIM及3D-ASL后处理图像见图1。统计结果表明,SWI的参数ITSS值表现为,在高级别胶质瘤组明显高于低级别胶质瘤组( $P<0.05$ )(见表1)。3D-ASL的参数(包括TBFmax值、r1值、r2值及r3值)表现为,在高级别胶质瘤组明显高于低级别胶质瘤组( $P<0.05$ )(见表2)。IVIM的参数(包括fast ADC值、f值)表现为,在高级别胶质瘤组明显高于低级别胶质瘤组( $P<0.05$ );而高级别胶质瘤组的slow ADC值低于低级别胶质瘤组,差异有统计学意义( $P<0.05$ )(见表2)。

通过ROC曲线评估SWI、3D-ASL及IVIM在鉴别高低级别胶质瘤中的意义。利用约登指数最大,确定各参数的诊断敏感性、特异性,见表3。并通过拟合,获得三种技术在脑胶质瘤分级中的AUC值、诊断敏感性、特异性(见表4,图3)。



脑胶质瘤各序列参数图。图1 男, 49岁, 右侧额叶, 少突胶质细胞瘤, WHO II级。图1A: SWI后处理的MinIP图。图1B: IVIM参数fast ADC伪彩图。图1C: IVIM参数slow ADC伪彩图。图1D: IVIM参数f值伪彩图。图1E: 3D-ASL的血流灌注图像。图2 女, 53岁, 右侧额叶, 胶质母细胞瘤, WHO IV级。图2A: SWI后处理的MinIP图。图2B: IVIM参数fast ADC伪彩图。图2C: IVIM参数slow ADC伪彩图。图2D: IVIM参数f值伪彩图。图2E: 3D-ASL的血流灌注图像。图3 SWI、3D-ASL和IVIM三种技术鉴别高、低级别胶质瘤的ROC曲线图。

表1 高、低级别脑胶质瘤组的SWI参数表

|                   | ITSS 0 | ITSS 1 | ITSS 2 | ITSS 3 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| low-grade (case)  | 12     | 20     | 1      | 2      |
| high-grade (case) | 1      | 6      | 2      | 53     |

注：用Mann-Whitney U 检验对SWI的参数进行统计学分析，得到 $P<0.01$

表2 高、低级别脑胶质瘤的3D-ASL及IVIM各参数统计分析结果

|                                                   | low-grade(n=35)   | high-grade(n=62)   | Pvalue |
|---------------------------------------------------|-------------------|--------------------|--------|
| fast ADC ( $\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ ) | 13.58 $\pm$ 6.74  | 31.61 $\pm$ 12.53  | 0.000  |
| slow ADC ( $\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ ) | 0.87 $\pm$ 0.24   | 0.43 $\pm$ 0.16    | 0.000  |
| f                                                 | 0.30 $\pm$ 0.13   | 0.49 $\pm$ 0.13    | 0.000  |
| TBFmax                                            | 82.59 $\pm$ 55.07 | 116.20 $\pm$ 56.43 | 0.005  |
| r1                                                | 3.24 $\pm$ 1.93   | 5.02 $\pm$ 2.69    | 0.000  |
| r2                                                | 1.72 $\pm$ 1.02   | 2.73 $\pm$ 1.56    | 0.001  |
| r3                                                | 1.95 $\pm$ 1.26   | 2.98 $\pm$ 1.47    | 0.001  |

注：P<0.05有统计学差异

表3 各参数在胶质瘤分级中的效能表

|          | AUC   | Diagnostic threshold                       | Sensitivity | Specificity |
|----------|-------|--------------------------------------------|-------------|-------------|
| fast ADC | 0.908 | 22.80 $\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$ | 80.6%       | 91.4%       |
| slow ADC | 0.928 | 0.70 $\times 10^{-3}\text{mm}^2/\text{s}$  | 93.5%       | 85.7%       |
| f        | 0.864 | 0.38                                       | 82.3%       | 80.0%       |
| TBFmax   | 0.739 | 80.83                                      | 77.4%       | 71.4%       |
| r1       | 0.746 | 3.77                                       | 66.1%       | 77.1%       |
| r2       | 0.748 | 1.94                                       | 72.6%       | 77.1%       |
| r3       | 0.737 | 1.85                                       | 77.4%       | 65.7%       |
| ITSS     | 0.924 | 1.50                                       | 88.7%       | 91.4%       |

表4 SWI、3D-ASL和IVIM三种技术在胶质瘤分级中的效能表

|                 | AUC   | 敏感性   | 特异性   |
|-----------------|-------|-------|-------|
| SWI             | 0.924 | 88.7% | 91.4% |
| 3D-ASL          | 0.756 | 74.2% | 77.1% |
| IVIM            | 0.975 | 88.7% | 97.1% |
| SWI+3D-ASL+IVIM | 0.990 | 90.3% | 100%  |

### 3 讨论

胶质瘤的级别越高，具有细胞增殖、坏死、血管生成以及侵袭性等特点越显著<sup>[9]</sup>，说明肿瘤细胞增殖、病理血管的形成是瘤细胞增殖的必备条件。

SWI对具有磁化作用的血液制品比较敏感，包括铁血黄素和脱氧血红蛋白<sup>[10]</sup>，所以能够明显的显示出小静脉和出血点，并进行放大，反映肿瘤血管的生成及瘤内出血情况，通过后处理得到的SWI Min IP图，可以更好地显示低信号，提高对磁效应差异的敏感性<sup>[11]</sup>。本研究结果显示，高级别的胶质瘤表现出的ITSS评分值高于低级别，这与以往<sup>[12-15]</sup>的研究结果一致。这表明，高级别脑胶质瘤的新生血管系统比低级别胶质瘤更加密集，低级别胶质瘤的ITSS评分值一般在2分以下，而高级别脑胶质瘤的ITSS评分一般为2分或3分。然而，本研究中，在低级别胶质瘤组中存在2个患者的ITSS评分值是3。以往有部分研究表明，低级别的胶质瘤小部分可以出现出血的情况<sup>[16]</sup>。本研究中这种情况的产生，分析原因可能是肿瘤血管形成初期比较薄弱，以至于产生脱氧血红蛋白及出血；或者是由于SWI沉积高浓度的含铁血黄素，导致少量的出血将低信号灶放大<sup>[14]</sup>。同时，高级别脑胶质瘤组存在7例ITSS低于2分，并且存在1例的ITSS评分值为0。通过观察这例患

者的3D-ASL参数值，发现TBFmax为21.69mL/(min.100 g)，低于本研究所得的临界值80.83mL/(min.100 g)，说明此例肿瘤病灶的血流灌注也比较低，血管生成较少，与SWI相吻合。之前有研究表明，高级别脑胶质瘤的静脉结构存在各种形状、不均匀厚度及成簇情况<sup>[15]</sup>，部分很难达到一定的数量，这可能影响实际的脑胶质瘤分级。

3D-ASL可以用于评估肿瘤的血流灌注情况，反映肿瘤内的微血管生成。通过量化脑血流量值(CBF)，预测各级别脑胶质瘤中的血管生成情况<sup>[17]</sup>，评估脑胶质瘤的级别。本研究中，高低级别脑胶质瘤的肿瘤区最大脑血流量TBFmax 及其相对值r1、r2及r3均具有统计学差异。这说明，高级别脑胶质瘤表现为更高的血流灌注，病理血管生成更加丰富，这一点与SWI的结果相吻合。但是，3D-ASL各参数鉴别高低级别脑胶质瘤的曲线下面积均比较低，敏感性和特异性也低于SWI、IVIM的各参数。而且，3D-ASL的诊断效能不如SWI、IVIM。分析原因可能是，新生血管形成并没有引起相应程度的血流灌注增加，可能是因为在高级别胶质瘤中，血脑屏障破坏造成瘤周血管源性水肿，使正常脑组织血流灌注降低<sup>[18]</sup>。此外，3D-ASL设定的参数，包括标记后延迟、动脉通过时间，很容易影响结果的不准确<sup>[19]</sup>。

IVIM的双指数模型公式为 $S_b/S_0=(1-f)\exp(-bD)+f\exp[-b(D^*+D)]$ <sup>[6]</sup>，D值(即slow ADC)表示肿瘤内的水分子弥散；D\*值(即fast ADC)表示肿瘤血管的微循环灌注；f值表示fast ADC在IVIM中的百分比。在本研究中：IVIM的参数(包括fast ADC值、f值)表现为，在高级别胶质瘤组明显高于低级别胶质瘤组(P<0.05)；而高级别胶质瘤组的slow ADC值低于低级别胶质瘤组(P<0.05)。这与以往的研究结果类似<sup>[20-22]</sup>。这提示：高级别胶质瘤表现的细胞增殖比较显著，细胞密度及细胞体积更大，细胞间的空间减小，水扩散明显受限<sup>[22]</sup>。同时说明，高级别脑胶质瘤的瘤内微血管比较密集。此外，这一结果进一步证实了，本研究中所选的b值具有一定的诊断效能。

本研究涉及的所有参数中，slow ADC值的AUC值(0.928)最大，具有较高的敏感性(93.5%)和特异性(85.7%)。同时，SWI、3D-ASL及IVIM均可以用来鉴别高低级别脑胶质瘤，而且IVIM模型的AUC(0.975)、敏感性(88.7%)和特异性(97.1%)最高。有研究表明，多参数放射组学模型是较好的脑膜瘤分级预测模型<sup>[23]</sup>，这其中涉及到SWI及ADC值得参数，与本研究两项检查方式类似。而本研究结果表明，联合三种磁共振技术，可以进行优势互补，能更加准确的评估肿瘤细胞的增殖及血管生成情况，可以广泛适用于临床胶质瘤患者的术前分级。

本研究存在的不足：3D-ASL的受影响因素较多，无法完全排除，需要未来技术升级，拓展其临床应用。

### 参考文献

- [1] Louis D N, Perry A, Reifenberger G, et al. The 2016 world health organization classification of tumors of the central nervous system: a summary[J]. Acta Neuropathol, 2016, 131(6): 803-820.
- [2] Luo C K, Xu S C, Dai G, et al. Tumor treating fields for high-grade gliomas[J]. Biomed Pharmacother, 2020, 127, 110193.
- [3] Bhattacharjee R, Gupta R K, Patir R, et al. Quantitative vs. semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals in patients with different grades of glioma[J]. J Magn Reson Imaging, 2020, 51(1): 225-233.
- [4] Ma H, Wang Z, Xu K, et al. Three-dimensional arterial spin labeling imaging and dynamic susceptibility contrast perfusion-weighted imaging value in diagnosing glioma grade prior to surgery[J]. Exp Ther Med, 2017, 13(6): 2691-2698.
- [5] Di N N, Pang H P, Dang X F, et al. Perfusion imaging of brain gliomas using arterial spin labeling: correlation with histopathological vascular density in MRI-guided biopsies[J]. Neuroradiology, 2017, (59): 51-59.
- [6] Le B D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders[J]. Radiology, 1986, 161(2): 401-407.
- [7] Lima M, Le B D. Clinical intravoxel incoherent motion and Diffusion MR Imaging: Past, Present, and Future[J]. Radiology, 2016, 278(1): 13-32.

(下转第 28 页)

[3] 尹伟,王馨蕊,陈录广,等.CE-MRA与磁共振管壁成像联合应用对颅内动脉瘤的诊断价值[J].中国CT和MRI杂志,2017,154(4):21-23.

[4] 周卉芳.CT平扫,CT灌注成像及CT血管成像对缺血性卒中脑侧支循环的诊断价值分析[J].中国CT和MRI杂志,2018,16(7):72-75.

[5] 任国勇,薛盼,吴雪梅,等.CT血管造影和数字减影血管造影对软脑膜侧支循环评估对比[J].中华老年心脑血管病杂志,2020,22(2):133-137.

[6] 张建强,曲丹丹,张艳丽,等.TCD动态监测软脑膜侧支循环状态评估急性缺血性卒中患者预后的可行性分析[J].中风与神经疾病,2019,36(1):45-49.

[7] 梁汉祥,李新春.高分辨磁共振成像检测轻度大脑中动脉粥样斑块情况对梗死类型的评估价值[J].中西医结合心脑血管病杂志,2020,18(21):3672-3675.

[8] 杨倩,张杨,黎海涛.轻中度血管狭窄重构模式与斑块易损性的高分辨磁共振研究[J].第三军医大学学报,2017,39(18):1836-1840.

[9] Yuan H W, Ji R J, Wang A L, et al. A grading scale for pial collaterals in middle cerebral artery total occlusion based on time-of-flight MR angiography source images[J]. Magn Reson Med Sci, 2019, 18(1): 62-69.

[10] 崔雪花,叶玉芳,单春辉,等.MR高分辨率管壁成像与超声评价颈动脉斑块负荷的对比研究[J].中华放射学杂志,2019,53(8):720-723.

[11] 王嫣,白岩,王志学,等.三维高分辨磁共振成像在评估大脑中动脉斑块特征与缺血性脑卒中和短暂性脑缺血发作关系中的研究[J].磁共振成像,2019,10(3):19-23.

[12] Zhang D F, Chen Y C, Chen H, et al. A high-resolution MRI study of relationship between remodeling patterns and ischemic stroke in patients with atherosclerotic middle cerebral artery stenosis[J]. Front Aging Neurosci, 2017, 9(5): 140-147.

[13] 陈伟红,靳玮,张淑倩,等.后循环缺血性卒中颅内动脉粥样硬化的高分辨率磁共振成像特征分析[J].中国脑血管病杂志,2019,16(9):461-465.

[14] 王新丽,王欣宇,陈振,等.颅内动脉粥样硬化斑块易损性的三维高分辨磁共振研究[J].中国医学影像学杂志,2019,27(1):20-24.

[15] 白晶晶,钱丽霞.高分辨MRI测定大脑中动脉斑块负荷与急性脑梗死灶体积关系的研究[J].中国现代医药杂志,2016,18(2):10-12.

[16] 武青,王健,王玉洁,等.大脑中动脉狭窄患者软脑膜动脉侧支循环与脑梗死的相关性研究[J].中华老年心脑血管病杂志,2018,20(4):392-395.

[17] 鲁艺花,李今实,崔东淑.大脑中动脉狭窄程度及侧支代偿与神经功能缺损的关系[J].中国继续医学教育,2017,9(5):91-93.

[18] Shi M C, Wang S C, Zhou H W, et al. Compensatory remodeling in symptomatic middle cerebral artery atherosclerotic stenosis: a high-resolution MRI and microemboli monitoring study[J]. Neurol Res, 2012, 34(2): 153-8.

(收稿日期: 2021-04-14)

(校对编辑: 阮 靖)



(上接第 11 页)

[8] Park M J, Kim H S, Jahng G H, et al. Semiquantitative assessment of intratumoral susceptibility signals using non-contrast-enhanced high-field high-resolution susceptibility-weighted imaging in patients with gliomas: comparison with MR perfusion imaging[J]. AJNR, 2009, 30(7): 1402-1408.

[9] Lee J, Hoxha E, Song H R, et al. A novel NF1A-NF1B feed-forward loop contributes to glioblastoma cell survival[J]. Neuro Oncol, 2017, 19: 524-534.

[10] Gaudino S, Marziali G, Pezzullo G, et al. Role of susceptibility-weighted imaging and intratumoral susceptibility signals in grading and differentiating pediatric brain tumors at 1.5 T: a preliminary study[J]. Neuroradiology, 2020, 62(6): 705-713.

[11] 陈新坚,程传虎,肖俊强,等.磁共振敏感成像在弥漫性轴索损伤中的临床应用研究[J].中国CT和MRI杂志,2016,14(8):96-98.

[12] Hsu C C, Watkins T W, Kwan G N, et al. Susceptibility-weighted imaging of gliomas: update on current imaging status and future directions[J]. J Neuroimaging, 2016, 26: 383-390.

[13] Li X, Zhu Y, Kang H, et al. Glioma grading by microvascular permeability parameters derived from dynamic contrast-enhanced MRI and Intratumoral susceptibility signal on susceptibility weighted imaging[J]. Cancer Imaging, 2015, 15(1): 4.

[14] Su C Q, Lu S S, Han QY, et al. Integrating conventional MRI, texture analysis of dynamic contrast-enhanced MRI, and susceptibility weighted imaging for glioma grading[J]. Acta radiologica (Stockholm, Sweden: 1987), 2019, 60(6): 777-787.

[15] Xu JX, XU H, ZHANG W, et al. Contribution of susceptibility- and diffusion-weighted magnetic resonance imaging for grading gliomas[J]. Exp Ther Med, 2018, 15(6): 5113-5118.

[16] Kondziolka D, Bernstein M, Resch L, et al. Significance of hemorrhage into brain tumors: Clinicopathological study[J]. Neurosurg, 1987, 67(6): 852-857.

[17] Pang HP, Dang X F, Ren Y, et al. 3D-ASL perfusion correlates with VEGF expression and overall survival in glioma patients: comparison of quantitative perfusion and pathology on accurate spatial location-matched basis[J]. J Magn Reson Imaging, 2019, 50(1): 209-220.

[18] 邓达标,毛家骥,汪文胜,等.基于3D动脉自旋标记成像的纹理分析法在脑胶质瘤分级中的初步研究[J].磁共振成像,2019,10(5):321-326.

[19] 潘铭智,李扬.3D PC-ASL技术对急性缺血性脑卒中的诊断价值及临床应用[J].医学影像学杂志,2019,29(6):1040-1042.

[20] Wang X, Chen X Z, Shi L, et al. Glioma grading and IDH1 mutational status: assessment by intravoxel incoherent motion MRI[J]. Clin Radiol, 2019, 74(8): 651.e7-651.e14.

[21] Zou T, Yu H, Jiang C, et al. Differentiating the histologic grades of gliomas preoperatively using amide proton transfer-weighted (APTW) and intravoxel incoherent motion MRI[J]. NMR Biomed, 2018, 31(1): e3850.

[22] Togao O, Hiwatashi A, Yamashita K, et al. Differentiation of high-grade and low-grade diffuse gliomas by intravoxel incoherent motion MR imaging[J]. Neuro Oncol, 2016, 18(1): 132-141.

[23] Hu J, Zhao Y, Li M, et al. Machine learning-based radiomics analysis in predicting the meningioma grade using multiparametric MRI[J]. Eur J Radiol, 2020, 131: 109251.

(收稿日期: 2021-10-14)

(校对编辑: 阮 靖)