

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2024.02.008

❖ 临床研究 ❖

# DCE-MRI 血流动力学参数在高、低级别胶质瘤鉴别中的应用及其与分子生物学标记物水平的相关性

李建丽, 张晓瑞, 李莹

(邯郸市中心医院 CT/MR 室, 河北 邯郸 056001)

**【摘要】目的:** 探讨动态增强磁共振成像 (DCE-MRI) 血流动力学参数在高、低级别胶质瘤鉴别中的应用, 分析其与分子生物学标记物水平的相关性。**方法:** 选取 86 例脑胶质瘤患者为研究对象。以病理结果作为金标准, 按 WHO 肿瘤分类标准, 将其分为低级别组 ( $n=41$ )、高级别组 ( $n=45$ ), 获得常规和动态增强 MRI 扫描参数数值, 通过受试者工作特征曲线 (ROC) 分析 DCE-MRI 血流动力学参数对高、低级别胶质瘤的鉴别价值, Pearson 分析各血流动力学参数与癌组织分子生物学标志物的相关性。**结果:** 高级别组 DCE-MRI 血流动力学参数  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  水平均高于低级别组 ( $P < 0.05$ ); 高级别组与低级别组  $V_p$  水平比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ); DCE-MRI 血流动力学参数  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  联合检测鉴别高、低级别脑胶质瘤 ROC 曲线下面积 (AUC) 为 0.927, 高于单独检测 AUC (0.822, 0.803, 0.785), 敏感度为 91.11%、特异度为 80.49% ( $P < 0.05$ ); 高级别组脑胶质瘤分子生物学标记物 VEGF mRNA、Ki-67 mRNA 表达水平高于低级别组 ( $P < 0.05$ ); Pearson 相关性分析显示, 脑胶质瘤 DCE-MRI 血流动力学参数  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  水平与癌组织 VEGF mRNA、Ki-67 mRNA 表达水平正相关 ( $r = 0.522$ 、 $0.415$ 、 $0.323$ 、 $0.483$ 、 $0.376$ 、 $0.274$ ,  $P < 0.05$ )。**结论:** 高级别脑胶质瘤 DCE-MRI 血流动力学参数  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  水平均高于低级别胶质瘤, 且与癌组织分子生物学标记物 VEGF、Ki-67 表达水平正相关, 可用于临床高、低级别脑胶质瘤鉴别。

**【关键词】** 脑胶质瘤; 病理分级; 动态增强磁共振成像; 分子生物学标记物

**【中图分类号】** R445.2; R739.41 **【文献标志码】** A

## The application of DCE-MRI hemodynamic parameters in the identification of high and low grade gliomas and its correlation with the level of molecular biological markers

LI Jian-li, ZHANG Xiao-rui, LI Ying

(CT/MR room, Handan Central Hospital, Handan 056001, Hebei, China)

**【Abstract】Objective:** To explore the application of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging (DCE-MRI) hemodynamic parameters in the identification of high and low grade gliomas, and to analyze its correlation with molecular biological markers. **Methods:** The clinical data of 86 patients with glioma were retrospectively analyzed. The pathological results were used as the gold standard. According to the WHO tumor classification criteria, they were divided into low-grade group ( $n=41$ ) and high-grade group ( $n=45$ ). The values of conventional and dynamic enhanced MRI scan parameters were obtained. The receiver operating curve (ROC) was used to analyze the differential value of DCE-MRI hemodynamic parameters for high and low-grade gliomas. Pearson was used to analyze the correlation between hemodynamic parameters and molecular biological markers of cancer tissues. **Results:** The levels of DCE-MRI hemodynamic parameters  $K_{trans}$ ,  $K_{ep}$  and  $V_e$  in the high-level group were higher than those in the low-level group ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in  $V_p$  level between the high-level group and the low-level group ( $P > 0.05$ ). The area under the ROC curve of combined detection of DCE-MRI hemodynamic parameters  $K_{trans}$ ,  $K_{ep}$  and  $V_e$  in differentiating high and low grade glioma was 0.927, which was higher than that of single detection of 0.822, 0.803 and 0.785, with sensitivity of 91.11% and specificity of 80.49% ( $P < 0.05$ ). The expression levels of VEGF mRNA and Ki-67 mRNA in the high-grade group were higher than those in the low-grade group ( $P < 0.05$ ). Pearson correlation analysis showed that the levels of  $K_{trans}$ ,  $K_{ep}$  and  $V_e$  in DCE-MRI of glioma were positively correlated with the expression levels of VEGF mRNA and Ki-67 mRNA in cancer tissues ( $r = 0.522, 0.415, 0.323, 0.483, 0.376, 0.274, P < 0.05$ ). **Conclusion:** The levels of DCE-MRI hemodynamic parameters  $K_{trans}$ ,  $K_{ep}$  and  $V_e$  in high-grade gliomas are higher than those in low-grade gliomas, and are positively correlated with the expression levels of VEGF and Ki-67, which can be used for clinical identification of high-grade and low-grade gliomas.

基金项目: 河北省医学科学研究重点课题计划 (20171133)

作者简介: 李建丽 (1986 - ), 女, 硕士, 主治医师。E-mail: Y530891916@126.com

**[Key words]** Brain glioma; Pathological grading; Dynamic enhanced magnetic resonance imaging; Molecular biological markers

胶质瘤约占颅内肿瘤的 40%，为颅内最常见原发性肿瘤<sup>[1]</sup>。根据胶质瘤恶性程度和生物学表现，WHO 将胶质瘤分为 I ~ IV 级，结合临床又将 I、II 级归为低级别胶质瘤，III、IV 级归为高级别，相较于低级别胶质瘤，高级别恶性程度高，并呈现出向邻近组织侵袭的发展趋势，不同级别的胶质瘤对应不同的治疗方案和预后状态<sup>[2]</sup>。因此，术前胶质瘤鉴别诊断对临床治疗方案制定、预后评估具有重要价值。常规 CT、MRI 等在脑胶质瘤的定性诊断是常用的影像学方法，通过观察病灶位置、密度、信号强度以及周围脑组织的关系进行初步评估。然而，常规影像在良恶性评估方面存在一定的局限性，有时无法提供足够的信息<sup>[3]</sup>。近年来，动态增强磁共振成像 (dynamic contrast-enhanced MRI, DCE-MRI) 成为一种能够详细评估肿瘤功能和血管结构的影像学技术。DCE-MRI 利用注射造影剂后连续获取多个磁共振图像，通过观察血流对比剂在肿瘤中的分布和动态变化，可以反映肿瘤的血管超微结构和功能<sup>[4]</sup>。此外，由于脑胶质瘤的发生、发展、预后与多种基因和分子水平变化关系密切，多项分子生物学指标对脑胶质瘤的预后评估及临床治疗指导具有重要参考价值。基于此，本研究欲分析 DCE-MRI 血流动力学参数在高、低级别胶质瘤鉴别中的应用价值，并探讨其与分子生物学标记物水平的关系。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2020 年 1 月至 2022 年 12 月于邯郸市中心医院收治的 86 例脑胶质瘤患者为研究对象，其中男性 47 例，女性 39 例；年龄 (61.06 ± 8.90) 岁；肿瘤

部位：额叶 48 例，颞叶 23 例，顶叶 8 例，其他 7 例；肿瘤大小：≤ 3 cm 者 11 例，3 ~ 5 cm 者 41 例，> 5 cm 者 33 例；按 WHO 分类标准分为低级别、高级别胶质瘤，其中低级别 41 例 (I 级 15 例，II 级 26 例)，高级别 45 例 (III 级 24 例，IV 级 21 例)。纳入标准：(1) 经手术及病理证实为脑胶质瘤；(2) 接受术前常规 MRI 及 DCE-MRI 检查；(3) 影像学检查前未接受过放化疗或其它抗肿瘤治疗；(4) 图像质量较佳；(5) 临床资料完整。排除标准：(1) 既往有脑外伤或脑部手术史；(2) 合并颅内占位或血管畸形等情况；(3) 胶质瘤复发；(4) 存在严重颅内压增高；(5) 合并免疫或血液疾病。本研究经医院伦理委员会审核批准。

### 1.2 方法

1.2.1 DCE-MRI 检查 采用美国 GE 公司 Discovery MR 750 3.0T 超导型磁共振扫描仪，16 通道头颅相控阵列线圈。对所有患者进行常规 MRI 检查和 DCE-MRI 扫描，常规 MRI 扫描包括：轴位/矢状位/冠状位 T1WI，使用自旋回波序列，TR = 450 ms，TE = 10 ms，层厚 8 mm，矩阵 256 × 206，FOV 240 mm × 197 mm；轴位 T2WI，采用快速自旋回波序列，TR = 4 200 ms，TE = 98 ms，层厚 8 mm，矩阵 256 × 206，FOV 240 mm × 197 mm。DCE-MRI 扫描采用基于 T1 加权动态增强的轴位扫描序列，扫描范围涵盖肿瘤及其周围水肿区域，连续进行 50 个时相的扫描，第 1 ~ 5 个为蒙片，从第 6 个开始，经肘部静脉高压注射器注入 0.1 mmol/kg 钆喷酸葡胺，注射速率 2 mL/s，注射后以同速率注入等量 0.9% 氯化钠冲管，扫描时间 300 s 左右，所有 DCE-MRI 序列的定位层面保持一致。见图 1。

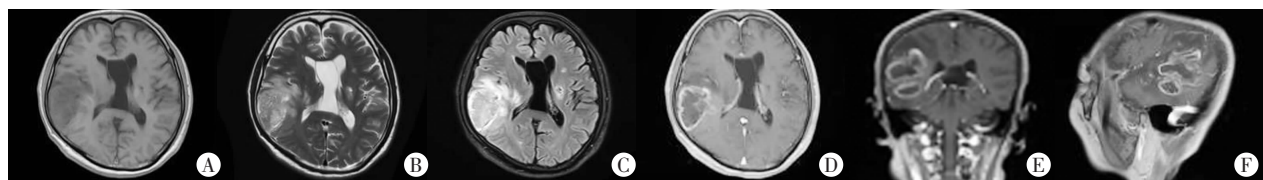


图 1 典型患者常规 MRI 及 DCE-MRI 扫描图片

男，68 岁，病理结果 (颅内) 多形性胶质母细胞瘤伴片状坏死，WHO IV 级，DCE-MRI 扫描图片。A. T1WI 呈稍低信号；B. T2WI 呈不均匀稍高信号；C. FLAIR 呈稍低信号；D. 增强扫描肿瘤呈明显花环状、不规则边缘强化，周围见片状无强化水肿；E-F. 冠状位、矢状位示右侧额顶叶肿块，增强扫描肿瘤呈明显花环状、不规则边缘强化，周围见片状无强化水肿。

1.2.2 影像学后处理 将多个翻转角 T1 Mapping 数据、DCE-MRI 数据传输至工作站，通过 Ommi Kinetics Tool 软件，3D 非刚性自动三维配准，矢状窦作为靶血管，个性化血管输入函数提取，得到时间-浓度曲线。标记感兴趣区 (region of interest, ROI)，面积约 20 ~ 60 mm<sup>2</sup>，包含实质区和周围水肿区，注意

尽可能避开囊变、坏死、血管区域，软件生成定量参数彩图，获得参数值：容积转移常数 (volumetric transfer constant, K<sub>trans</sub>)、速率常数 (rate constant, K<sub>ep</sub>)、血管外细胞外间隙容量分数 (extravascular extracellular volume fraction, V<sub>e</sub>)、血浆容积分数 (capillary plasma volume, V<sub>p</sub>)，各参数重复测量 3 次取均值。阅片由

两名经验丰富的放射科医师双盲法阅片,结果不一致则经协商达成一致。

**1.2.3 分子生物学标记物水平检测** 取液氮保存下的患者组织标本 100 mg 左右,液氮研磨法将组织研磨成粉,加入 Trizol 裂解组织试剂提取总 RNA,逆转录聚合酶链反应检测癌组织分子生物学标志物血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)mRNA、细胞增殖核相关抗原(nuclear-associated antigen, Ki-67)mRNA 表达水平。利用 Prime Script TMRT 反转录试剂盒将总 RNA 反转录为 cDNA,SYBR. Premix Ex Taq qRT-PCR 试剂盒扩增定量,引物设计:VEGF mRNA, F:5'-TGGGCCAGCAAT-TGTTTACA-3', R: 5'-TTGTCTTGCCATCATGCTAG-3'; Ki67 mRNA, F:5'-GGGCCAATCCTGTCGCTTAAT-3', R: 5'-GTTATGCGCTTGC GAACCT-3';  $\beta$ -actin, F: 5'-AGGCACTGGGGCTTCATCTGAC-3', R: 5'-GCCT-TCCATCCCTTTGCTTAG-3'。PCR 反应条件:92 °C 10 min,92 °C 15 s,62 °C 1 min,50 个循环。扩增产物电泳,扫描得到 VEGF mRNA、Ki67 mRNA、 $\beta$ -actin 光密度,以  $\beta$ -actin 为内参,得到 VEGF mRNA、Ki67 mRNA 变化值( $\Delta Ct$ ),VEGF mRNA、Ki67 mRNA 相对表达量为  $2^{-\Delta\Delta Ct}$ 。

**1.3 统计学分析**

采用 SPSS22.0 软件进行数据处理与分析。计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本 *t* 检验;通过受试者工作曲线(ROC)分析 DCE-MRI 血流动力学参数在高、低级别胶质瘤鉴别中的应用价值;采用 Pearson 相关性分析 DCE-MRI 血流动力学参数与分子生物学标记物水平的相关性。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 高、低级别脑胶质瘤 DCE-MRI 血流动力学参数比较**

与低级别组比较,高级别组 DCE-MRI 血流动力学参数 *K*<sub>trans</sub>、*K*<sub>ep</sub>、*V*<sub>e</sub> 水平均较高( $P < 0.05$ )。两组 *V*<sub>p</sub> 水平比较,差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。见表 1。

**表 1 高、低级别脑胶质瘤 DCE-MRI 血流动力学参数比较( $\bar{x} \pm s$ )**

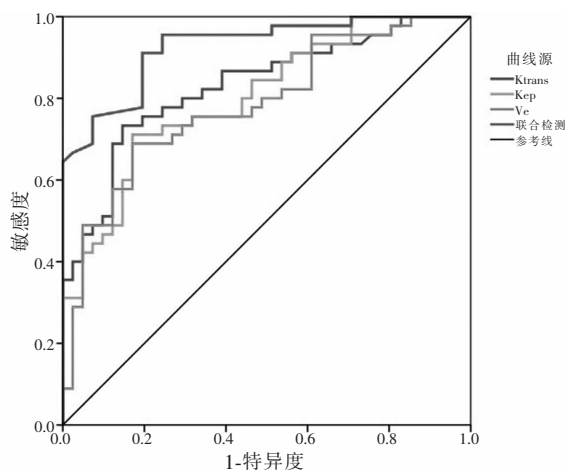
| 组别                   | <i>K</i> <sub>trans</sub> (min <sup>-1</sup> ) | <i>K</i> <sub>ep</sub> (min <sup>-1</sup> ) | <i>V</i> <sub>e</sub> (%) | <i>V</i> <sub>p</sub> (%) |
|----------------------|--|---|---------------------------|---------------------------|
| 低级别组( <i>n</i> = 41) | 0.048 2 ± 0.015 7                              | 0.398 9 ± 0.127 8                           | 0.114 2 ± 0.032 5         | 0.038 7 ± 0.012 1         |
| 高级别组( <i>n</i> = 45) | 0.171 5 ± 0.049 0                              | 1.013 6 ± 0.332 4                           | 0.243 8 ± 0.076 6         | 0.042 4 ± 0.013 0         |
| <i>t</i> 值           | 15.401   | 11.111                                      | 10.038                    | 1.362                     |
| <i>P</i> 值           | <0.001   | <0.001                                      | <0.001                    | 0.177                     |

**2.2 DCE-MRI 血流动力学参数对高、低级别脑胶质瘤的鉴别价值分析**

DCE-MRI 血流动力学参数 *K*<sub>trans</sub>、*K*<sub>ep</sub>、*V*<sub>e</sub> 联合检测鉴别高、低级别脑胶质瘤 ROC 曲线下面积(*AUC*)为 0.927,高于单独检测 *AUC*(0.822、0.803、0.785, $P < 0.05$ ),联合检测敏感度为 91.11%、特异度为 80.49%。见表 2 及图 2。

**表 2 DCE-MRI 血流动力学参数对高、低级别脑胶质瘤的鉴别价值分析**

| 指标                        | 截断值                      | <i>AUC</i> 值 | 95% <i>CI</i> | <i>P</i> 值 | 敏感度(%) | 特异度(%) |
|---------------------------|--------------------------|--------------|---------------|------------|--------|--------|
| <i>K</i> <sub>trans</sub> | 0.1350 min <sup>-1</sup> | 0.822        | 0.746 - 0.917 | <0.001     | 73.33  | 85.37  |
| <i>K</i> <sub>ep</sub>    | 0.7264 min <sup>-1</sup> | 0.803        | 0.713 - 0.894 | <0.001     | 71.11  | 82.93  |
| <i>V</i> <sub>e</sub>     | 0.1894%                  | 0.785        | 0.688 - 0.881 | <0.001     | 68.89  | 82.93  |
| 联合检测                      | -                        | 0.927        | 0.874 - 0.979 | <0.001     | 91.11  | 80.49  |



**图 2 DCE-MRI 血流动力学参数对高、低级别脑胶质瘤的鉴别 ROC 曲线**

**2.3 高、低级别脑胶质瘤分子生物学标记物水平比较**

高级别组脑胶质瘤分子生物学标记物 VEGF mRNA、Ki-67 mRNA 表达水平高于低级别组( $P < 0.05$ )。见表 3。

**表 3 高、低级别脑胶质瘤分子生物学标记物水平比较( $\bar{x} \pm s$ )**

| 组别                   | VEGF mRNA   | Ki-67 mRNA  |
|----------------------|-------------|-------------|
| 低级别组( <i>n</i> = 41) | 4.13 ± 1.15 | 0.61 ± 0.18 |
| 高级别组( <i>n</i> = 45) | 6.69 ± 1.86 | 1.02 ± 0.31 |
| <i>t</i> 值           | 7.588       | 7.405       |
| <i>P</i> 值           | <0.001      | <0.001      |

**2.4 DCE-MRI 血流动力学参数与分子生物学标记物水平的相关性分析**

相关性分析显示,脑胶质瘤 DCE-MRI 血流动力学参数 *K*<sub>trans</sub>、*K*<sub>ep</sub>、*V*<sub>e</sub> 水平与癌组织 VEGF mRNA、Ki-67 mRNA 表达水平正相关( $P < 0.05$ )。见表 4。

表 4 DCE-MRI 血流动力学参数与分子生物学标记物水平的相关性分析

| 参数     | VEGF mRNA |        | Ki-67 mRNA |        |
|--------|-----------|--------|------------|--------|
|        | r 值       | P 值    | r 值        | P 值    |
| Ktrans | 0.522     | <0.001 | 0.483      | <0.001 |
| Kep    | 0.415     | <0.001 | 0.376      | <0.001 |
| Ve     | 0.323     | 0.002  | 0.274      | 0.009  |

### 3 讨论

脑胶质瘤具有侵袭性强、异质性高、高度血管化等特点,临床上低级别脑胶质瘤一般主要采用手术切除,术后定期随访;高级别脑胶质瘤通常予以手术大范围切除后再辅以放、化疗或生物治疗等<sup>[5]</sup>。相关研究<sup>[6]</sup>表明,低级别胶质瘤患者 5 年平均生存率约 80%,而高级别胶质瘤患者平均生存期仅 1 年左右,术前对胶质瘤良恶性进行准确分级对患者预后改善具有重要价值。

脑胶质瘤具有微血管增生的组织学特点,微血管增生在不同的病理分级患者中表现不同,其通透性可评估病理分级,通常情况下,高级别的胶质瘤会出现较高水平的血管内皮生长因子表达,造成血脑屏障的开放,从而显著增加微血管密度<sup>[1]</sup>。DCE-MRI 检查是基于病变或组织微血管循环的检测方法,通过获取血管通透性和血流灌注等信息,高效测评微小血流通道特征<sup>[7]</sup>。多项研究<sup>[3]</sup>发现,DCE-MRI 可为脑胶质瘤微循环透过性评估提供诸多信息,微血管透过性定量分析与脑胶质瘤分级明确相关。Ktrans 可评估血脑屏障完整性,Ktrans 值越高,意味着血流速度加快,血脑屏障的通透性也增加;Kep 代表对比剂交换速率,肿瘤恶性程度越高则血流速度加快,对比剂交换速率随之加快,Kep 值增加,Ktrans、Kep 值与肿瘤细胞壁面积及通透性、血流量等密切相关<sup>[8]</sup>。Ve 值的计算基于血管外细胞外间隙的体积,其值的升高可能提示局部血管通透性增加;Vp 为血管内空间容积分数,上述血流动力学参数可以反映肿瘤微血管的渗透性。

Hou 等<sup>[9]</sup>研究通过脑胶质瘤老鼠模型证实,随着肿瘤级别增加,肿瘤血管生成增加,Ktrans、Kep、Ve 值也随之增加。本研究显示,高、低级别脑胶质瘤在 Ktrans、Kep、Ve 值等方面有差异。对于高级别脑胶质瘤,细胞增殖速度快,代谢活跃,血管内皮生长因子表达水平高,从而导致更多新生血管的形成以满足肿瘤的营养需求。这种情况促使血管内皮细胞增生,被肿瘤破坏的血管以及肿瘤新生血管的完整性受到破坏,血管通透性增加。因此,高级别胶质瘤的 Ktrans 值通常比低级别胶质瘤更高。另外,

Kep 值可以反映血脑屏障的破坏程度,如高级别胶质瘤的血脑屏障破坏更为严重。同时,Kep 值也反映了肿瘤组织中血管外细胞压力的影响,高度恶性的肿瘤会进一步增加此类压力,导致 Kep 水平升高;血脑屏障可阻止对比剂渗透至血管外,高级别胶质瘤血脑屏障破坏更加严重,对比剂进入组织间隙更多,Ve 值高于低级别胶质瘤<sup>[10]</sup>。

本研究中,高级别与低级别胶质瘤 Vp 值比较无明显差异,与 Liang 等<sup>[11]</sup>的研究高级别胶质瘤 Vp 值高于低级别胶质瘤的结论不同,这可能与病理组织学类型、MRI 设备、序列参数、ROI 勾画方法差异有关。Ktrans、Kep、Ve 在鉴别高、低级别胶质瘤 AUC 分别为 0.822、0.803、0.785,当其最佳阈值分别为 0.135 0 min<sup>-1</sup>、0.726 4 min<sup>-1</sup>、0.189 4% 时,其敏感度分别为 73.33%、71.11%、68.89%,特异度分别为 85.37%、82.93%、82.93%,结果提示,Ktrans、Kep、Ve 对评价试验准确性具有较好的表现。通过 Logistic 二元回归建立 Ktrans、Kep、Ve 多参数联合诊断模型。结果显示,三项指标联合 AUC 达到 0.927,高于各项指标单独检测,敏感度、特异度分别为 91.11%、80.49%,表明 Ktrans、Kep、Ve 三者联合在高、低级别胶质瘤鉴别方面应用价值较高。

分子生物学指标在一定程度上反映了脑胶质瘤生物学行为,而分子生物学行为又在一定程度上决定了胶质瘤形态学改变,影响其影像学表现,因此脑胶质瘤 DCE-MRI 表现与分子生物学指标可能存在着一定的联系<sup>[12]</sup>。基于此,本研究对比了高级别与低级别胶质瘤 VEGF、Ki-67 水平差异,并分析了其与 DCE-MRI 血流动力学参数的相关性。目前已知,VEGF 可促进新生血管生长、增殖、迁移,与此同时 VEGF 可诱导内皮细胞纤溶酶原激活物等生成,增加微血管通透性。有学者<sup>[13]</sup>指出,VEGF 高表达可能是 MRI 强化的基础之一。本研究中,脑胶质瘤 VEGF mRNA 表达水平随肿瘤级别增高而升高,且与 Ktrans、Kep、Ve 值正相关。DCE-MRI 检测过程中,病灶强化主要取决于病变组织血管密度、血管壁的渗透、肿瘤间质内压力等因素,VEGF 的高表达在早期的灌注过程中起着关键作用,其促使肿瘤血管的通透性增加,使得对比剂更容易进入肿瘤组织,加快对比剂的摄取速度,从而影响 Ktrans、Kep、Ve 值的水平。Ki-67 抗原由 MK167 基因编码,是目前肿瘤细胞增殖活性评估最重要的指标之一。本研究中,高级别胶质瘤 Ki-67 mRNA 水平高于低级别胶质瘤,随着肿瘤级别的增高,肿瘤内血管变得不成熟,通透性增加,肿瘤增殖活性增加,Ki-67 参与血管新生调控、血管内皮细胞增殖,诱导 VEGF、bFGF、

PDGF 高表达,以自分泌、旁分泌的方式丰富胶质瘤增生区域血管分布,血管壁通透性、微血管密度增加,肿瘤新生微血管增生活跃,肿瘤组织中对对比剂灌注量增加,对比剂交换速率加快,DCE-MRI 血流动力学参数  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  值升高,故 Ki-67 mRNA 表达水平与  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  值正相关。

综上,高级别脑胶质瘤 DCE-MRI 血流动力学参数  $K_{trans}$ 、 $K_{ep}$ 、 $V_e$  水平高于低级别胶质瘤,且与癌组织分子生物学标记物 VEGF、Ki-67 水平正相关,可用于临床高、低级别脑胶质瘤鉴别。

#### 参考文献

- [1] Mahajan A, Burrewar M, Agarwal U, *et al.* Deep learning based clinico-radiological model for paediatric brain tumor detection and subtype prediction[J]. *Exploration of Targeted Anti-Tumor Therapy*, 2023, 4(4): 669 - 684.
- [2] Bury D, Morais CLM, Martin FL, *et al.* Discrimination of fresh frozen non-tumour and tumour brain tissue using spectrochemical analyses and a classification model[J]. *British Journal of Neurosurgery*, 2020, 34(1): 40 - 45.
- [3] Buchlak QD, Esmaili N, Leveque JC, *et al.* Machine learning applications to neuroimaging for glioma detection and classification: an artificial intelligence augmented systematic review [J]. *Journal of Clinical Neuroscience*, 2021, 89: 177 - 198.
- [4] Bernal J, Valdés-Hernández MDC, Escudero J, *et al.* A four-dimensional computational model of dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging measurement of subtle blood-brain barrier leakage[J]. *NeuroImage*, 2021, 230: 117786.
- [5] 卢海涛,邢伟,张艳文,等. 基于体素内不相干运动成像的直方图分析鉴别高、低级别脑胶质瘤的价值[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2023, 29(2): 117 - 124.
- [6] Jothi J, Janardhanam VA, Krishnaswamy R. Metabolic variations between low-grade and high-grade gliomas-profiling by <sup>1</sup>H NMR spectroscopy[J]. *Journal of Proteome Research*, 2020, 19(6): 2483 - 2490.
- [7] Li F, Zhang Y, Wang N, *et al.* Evaluation of the prognosis of neuro-glioma based on dynamic magnetic resonance enhancement [J]. *World Neurosurgery*, 2020, 138: 663 - 671.
- [8] Gao Y, Feng W, Lu XR, *et al.* Difference of DCE-MRI parameters at different time points and their predictive value for axillary lymph node metastasis of breast cancer [J]. *Academic Radiology*, 2022, 29: S79 - S86.
- [9] Hou W, Li X, Pan H, *et al.* Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging for monitoring the anti-angiogenesis efficacy in a C6 glioma rat model [J]. *Acta Radiologica*, 2020, 61(7): 973 - 982.
- [10] Xu WJ, Zheng BJ, Lu J, *et al.* Identification of triple-negative breast cancer and androgen receptor expression based on histogram and texture analysis of dynamic contrast-enhanced MRI [J]. *BMC Medical Imaging*, 2023, 23(1): 70.
- [11] Liang J, Liu D, Gao P, *et al.* Diagnostic values of DCE-MRI and DSC-MRI for differentiation between high-grade and low-grade gliomas [J]. *Academic Radiology*, 2018, 25(3): 338 - 348.
- [12] 周祥,王仲伟,常海刚,等. ITGA3 在脑胶质瘤中的表达及其对预后的评估价值 [J]. *中华神经医学杂志*, 2022, 21(3): 232 - 241.
- [13] Xi Y, Yuan Q, Zhang Y, *et al.* Statistical clustering of parametric maps from dynamic contrast enhanced MRI and an associated decision tree model for non-invasive tumour grading of T1b solid clear cell renal cell carcinoma [J]. *European Radiology*, 2018, 28(1): 124 - 132.

(收稿日期:2023-09-11

修回日期:2023-10-26)