·临床研究·

LAVA 技术与小视野双指数模型弥散成像在壶腹周围病变中的诊断价值

金洋伟，王新宇，金小聪

【摘要】目的　探讨肝脏容积加速采集（LAVA）技术与小视野双指数模型弥散成像在壶腹周围病变中的诊断价值。**方法**　本研究为回顾性病例对照研究。收集 2023 年 1 月至 2025 年 1 月金华市中心医院收治的壶腹周围病变患者 128 例，根据病变类型分为良性组（*n*=75）和恶性组（*n*=53）。均行腹部磁共振成像检查，采用 LAVA 技术扫描获取峰值强度和始增时间，小视野双指数模型弥散成像获取细胞内弥散系数（Din）、细胞外弥散系数（Dex）及灌注分数（f）。采用二元 Logistic 回归分析壶腹周围恶性病变的诊断因素，采用受试者工作特征曲线分析联合预测对壶腹周围恶性病变的诊断效能。**结果**　恶性组峰值强度高于良性组，而始增时间短于良性组，差异均有统计学意义（均 $P < 0.05$）。恶性组 Din、Dex 低于良性组，而 f 高于良性组，差异均有统计学意义（均 $P < 0.05$）。高峰值强度、低始增时间、低 Din、低 Dex 及高 f 均为诊断壶腹周围恶性病变的影像学表现特征（均 $P < 0.05$）。峰值强度、始增时间、Din、Dex 及 f 单独与联合预测的曲线下面积（*AUC*）分别为 0.846、0.890、0.870、0.855、0.862 及 0.962，联合预测的 *AUC* 最高，灵敏度和特异度最高。**结论**　恶性壶腹周围病变在 LAVA 技术中表现为峰值强度升高、始增时间缩短，小视野双指数模型弥散成像中呈现 Din 及 Dex 降低、f 升高，且这些指标均为危险因素，多指标联合预测对恶性病变诊断价值最优。

【关键词】　肝脏容积加速采集技术；小视野双指数模型弥散成像；壶腹周围病变；磁共振成像；预测
DOI:10.3969/j.issn.1671-0800.2026.03.004
【中图分类号】　R735.3；R445.2　**【文献标志码】**　A　**【文章编号】**　1671-0800(2026)03-0235-04

壶腹周围区域病变临床表现缺乏特异性，早期诊断难，且不同性质病变的治疗和预后差异大[1]，准确鉴别其良恶性、明确病变情况，对制定合理治疗策略与改善预后至关重要。影像学检查在壶腹周围病变诊断中有重要作用，传统超声、CT 等技术能提供一定信息，但存在局限，如超声易受肠道气体干扰，CT 对早期病变敏感性不足，且鉴别病变性质困难[2]。磁共振成像（MRI）在腹部疾病诊断中备受关注，肝脏容积加速采集（liver acquisition with volume acceleration，LAVA）技术与小视野双指数模型弥散成像已成为壶腹周围病变诊断手段。LAVA 技术是快速三维脂肪抑制 T_1 加权成像技术，分辨率高、脂肪抑制效果好，能清晰显示病变与周围组织关系，助力病变检出与定位[3]；小视野双指数模型弥散成像可细分水分子弥散运动，精准反映组织微观结构和生理功能变化，提供丰富定量信息以鉴别病变性质[4]。故本研究旨在探讨 LAVA 技术与小视野双指数模型弥散成像在壶腹周围病变中的应用价值，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　一般资料　本研究为回顾性病例对照研究。收集 2023 年 1 月至 2025 年 1 月金华市中心医院收治的壶腹周围病变患者 128 例，纳入标准：（1）临床高度怀疑壶腹周围病变，后续通过手术病理、内镜活检明确病变性质，或经至少 6 个月临床随访，结合影像学及实验室检查综合判断病变稳定或进展的壶腹周围病变患者[5]；（2）年龄 18 ～ 80 岁；（3）一般状况良好，无严重心、肺、肝及肾等脏器功能障碍；（4）能耐受腹部 MRI 检查，体内无金属植入物，无幽闭恐惧症等；（5）意识清晰，具备良好的沟通理解能力；（6）图像质量良好。排除标准：（1）患有其他严重腹部疾病者，如晚期肝硬化伴大量腹水、腹部严重感染性疾病等；（2）存在神经系统疾病者，如帕金森病、脑卒中等导致肢体不自主运动或震颤，无法在 MRI 检查过程中保持相对静止；（3）患有血液系统疾病者，如严重贫血、血小板减少性紫癜等；（4）已接受过针对壶腹周围病变

基金项目：　金华市科技计划项目（2021-3-077）
作者单位：　321000 金华，金华市中心医院
通信作者：　金洋伟，Email：j13655794342@136.com

的相关治疗者，如放疗、化疗、介入治疗等；(5)合并未分化的恶性肿瘤者；(6)妊娠期或哺乳期女性。

本研究获得金华市中心医院医学伦理委员会批准[伦审号：(研)2021-伦理审查-298]，免除/豁免知情同意。

1.2　方法

1.2.1　MRI 检查　使用 GE Discovery MR 750w 3.0T MRI 扫描仪，配备腹部相控阵线圈，该设备支持 LAVA 动态增强扫描及弥散加权成像（diffusion-weighted imaging，DWI）技术。患者检查前禁食 6 ～ 8 h，取仰卧位，使用腹部相控阵线圈，扫描整个上腹部，确保壶腹周围区域全部纳入扫描视野。

1.2.2　LAVA 技术检查　使用 LAVA-Flex 三维梯度回波序列完成数据采集，关键参数：重复时间（repetition time，TR）3.5 ～ 5.0 ms，回波时间（echo time，TE）1.5 ～ 2.5 ms，翻转角 12°～ 15°，层厚 3 mm，矩阵 256×256 ～ 320×320，视野（field of view，FOV）（320 ～ 380）mm×（320 ～ 380）mm。对比剂选用钆贝葡胺（0.1 mmol/kg 体质量）。

采用自动触发技术联合经验性时间点控制的复合扫描启动策略：动脉期扫描通过对比剂自动追踪系统实现，当主动脉腔内信号强度达到预设阈值（100 HU）时触发序列采集，同时以 1.5 s/期的采样频率连续采集 8 期图像（覆盖注射后 0 ～ 12 s 时间窗）；门静脉期与延迟期则基于前期预实验确定的平均通过时间（60 ～ 80 s、120 ～ 180 s）设定固定扫描时相，但通过实时监测肝实质信号强度变化进行动态微调（允许±5 s 浮动范围）。扫描结束后，由 2 名具有 5 年以上腹部影像诊断经验的放射科医师独立分析图像，重点测定峰值强度和始增时间，当 2 位医师意见分歧时通过双盲复核结合 ROI 信号强度-时间曲线一致性分析达成最终结论。

本研究通过高时间分辨率采样（动脉期 1.5 s/期）和信号强度动态监测技术，间接推算峰值强度与始增时间参数，其准确性已通过预实验验证。

1.2.3　小视野双指数模型弥散成像检查　采用单次激发平面回波成像技术，扫描参数：在 X、Y、Z 方向上均施加扩散敏感梯度场，设置 3 个不同的 b 值，分别为 0、500 及 800 s/mm^2。TR 为 3 000 ～ 5 000 ms，TE 为 60 ～ 100 ms，层厚为 4 ～ 6 mm，层间距为 0 ～ 1 mm，矩阵为 128×128 ～ 160×160，FOV 根据病变大小进行调整，一般为（200 ～ 260）mm×（200 ～ 260）mm，以缩小视野提高图像分辨率。扫描完成后，将获取的原始数据传输至后处理工作站，利用工作站配备的专用软件进行后处理。采用双指数模型拟合计算获取细胞内弥散系数（intracellular diffusion coefficient，Din）、细胞外弥散系数（extracellular diffusion coefficient，Dex）及灌注分数（perfusion fraction，f）等参数。同样由上述 2 名放射科医师独立对处理后的图像及参数进行分析和测量，当出现意见不一致时，通过共同讨论确定最终结果。

1.3　统计方法　数据采用 SPSS 22.0 软件分析，计数数据以例数表示，行 χ^2 检验；计量数据正态分布采用均数±标准差表示，行 t 检验；不符合则采用 $M(P_{25},P_{75})$ 表示，行 Mann-Whitney U 检验。采用二元 Logistic 回归分析壶腹周围恶性病变的诊断因素，采用受试者工作特征（ROC）曲线分析诊断效能。$P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

2　结果

2.1　一般资料比较　根据壶腹周围病变类型将 128 例患者分为良性组（n=75）和恶性组（n=53）。两组性别、年龄、体质量指数、吸烟史、饮酒史、癌症家族史及病灶直径差异均无统计学意义（均 $P > 0.05$），见表 1。

2.2　峰值强度和始增时间比较　恶性组峰值强度高于良性组，而始增时间短于良性组，差异均有统计学意义（均 $P < 0.05$），见表 2。

2.3　Din、Dex 及 f 比较　恶性组 Din 及 Dex 低于良性组，而 f 高于良性组，差异均有统计学意义（均 $P < 0.05$），见表 3。

2.4　二元 Logistic 回归分析壶腹周围恶性病变的诊断因素　将峰值强度、始增时间、Din、Dex 及 f 作为自变量，将壶腹周围病变情况作为因变量（1=恶性

表 1　两组一般资料比较

指标	恶性组（n=53）	良性组（n=75）	$\chi^2(t)$ 值	P 值
性别（男/女，例）	25/18	38/37	0.15	＞ 0.05
年龄（岁）	62.6±5.3	62.3±5.7	（0.25）	＞ 0.05
BMI（偏瘦/正常/超重/肥胖，例）	11/18/18/6	18/22/23/12	0.94	＞ 0.05
吸烟史（有/无，例）	15/38	19/56	0.14	＞ 0.05
饮酒史（有/无，例）	14/39	23/52	0.27	＞ 0.05
癌症家族史（有/无，例）	16/37	24/51	0.04	＞ 0.05
病灶直径（cm）	2.52±0.39	2.51±0.39	（0.15）	＞ 0.05

注：BMI 为体质量指数

组，0=良性组），分析显示，高峰值强度、短始增时间、低 Din、低 Dex 及高 f 均为诊断壶腹周围恶性病变的影像学表现特征（均 $P < 0.05$），见表 4。

2.5　预测壶腹周围恶性病变的 ROC 分析　建立 ROC 曲线分析峰值强度、始增时间、Din、Dex、f 及 5 个指标联合预测诊断壶腹周围恶性病变的价值，结果显示，峰值强度、始增时间、Din、Dex 及 f 单独预测与联合预测的 *AUC* 分别为 0.846、0.890、0.870、0.855、0.862 及 0.962，联合预测的 *AUC* 最高，灵敏度和特异度最高，见表 5 及图 1。

3　讨论

本研究结果显示，恶性组的峰值强度高于良性组（$P < 0.05$）。这主要源于恶性肿瘤独特的生物学特性。恶性肿瘤细胞具有无限增殖的能力，其代谢极为活跃，对氧气和营养物质的需求远超正常组织。为满足这种高需求，肿瘤组织会分泌大量的血管内皮生长因子等促血管生成因子，刺激新生血管大量形成。这些新生血管不仅数量众多，而且结构存在严重缺陷，管壁薄弱，缺乏完整的基底膜，血管通透性显著增加[6]。在 LAVA 技术扫描过程中，对比剂能够迅速且大量透过这些异常血管进入肿瘤组织间隙，使得局部对比剂浓度快速上升，进而导致磁共振信号强度急剧增加，最终表现为峰值强度升高。此外，恶性肿瘤的新生血管丰富、血流速度快，导致对比剂在肿瘤组织内的聚集速度加快、浓度升高，从而在动态增强扫描过程中表现出更高的峰值强度。

本研究显示，恶性组的始增时间短于良性组（$P < 0.05$）。始增时间反映的是对比剂开始进入组织并引起信号变化的时间，其缩短与恶性肿瘤的血流灌注特点密切相关。恶性肿瘤新生血管丰富，血流速度较快，对比剂能够更迅速地到达肿瘤部位[7]。而且，肿瘤组织内的血管网络结构紊乱，存在大量的动静脉瘘，这使得对比剂在血管内的循环时间大幅缩

表 2　两组峰值强度和始增时间比较

组别	例数	峰值强度（a.u.）	始增时间（s）
恶性组	53	13.99±1.05	12.39±1.66
良性组	75	12.44±1.10	15.42±1.84
t 值		7.98	9.50
P 值		＜ 0.05	＜ 0.05

表 3　两组 Din、Dex 及 f 比较

组别	例数	Din（×10⁴mm/s）	Dex（×10⁴mm/s）	f（%）
恶性组	53	1.79±0.86	16.68±2.86	20.11±3.25
良性组	75	3.54±1.28	21.80±3.84	15.23±3.19
t 值		8.67	8.23	8.44
P 值		＜ 0.05	＜ 0.05	＜ 0.05

注：Din 为细胞内弥散系数，Dex 为细胞外弥散系数，f 为灌注分数

表 4　二元 Logistic 回归分析壶腹周围恶性病变的诊断因素

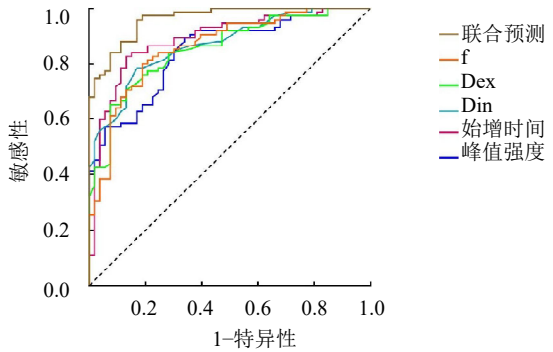
变量	*B* 值	*SE* 值	Wald χ^2 值	*P* 值	*OR* 值（95%*CI*）
峰值强度	1.375	0.588	5.46	＜ 0.05	3.957（1.249 ～ 12.536）
始增时间	−1.075	0.395	7.40	＜ 0.05	0.341（0.157 ～ 0.740）
Din	−2.380	0.981	5.88	＜ 0.05	0.093（0.014 ～ 0.633）
Dex	−0.724	0.305	5.64	＜ 0.05	0.485（0.267 ～ 0.881）
f	0.635	0.300	4.49	＜ 0.05	1.887（1.049 ～ 3.396）

注：Din 为细胞内弥散系数，Dex 为细胞外弥散系数，f 为灌注分数

表 5　预测壶腹周围恶性病变的受试者工作特征曲线分析

检验结果变量	*AUC*	*cut-off* 值	最大约登指数	灵敏度（%）	特异度（%）
峰值强度	0.846	13.56 a.u.	0.533	66.0	89.3
始增时间	0.890	13.74 s	0.689	84.0	84.9
Din	0.870	2.45×10⁴mm/s	0.617	78.7	83.0
Dex	0.855	19.55×10⁴mm/s	0.575	70.7	86.8
f	0.862	17.62%	0.611	81.1	80.0
联合预测	0.962	—	0.839	92.5	91.4

注：Din 为细胞内弥散系数，Dex 为细胞外弥散系数，f 为灌注分数



注：Din 为细胞内弥散系数，Dex 为细胞外弥散系数，f 为灌注分数

图 1　预测壶腹周围恶性病变的受试者工作特征曲线分析图

短，能够更快地进入组织间隙，从而缩短了始增时间[8]。相比之下，良性病变的血管生成相对较少，血管结构较为正常，血流灌注相对缓慢，所以对比剂到达组织并引起信号变化的时间较长，始增时间也就相应延长。本研究发现恶性组的 Din 低于良性组（$P < 0.05$）。这是因为细胞内弥散系数反映了水分子在细胞内的扩散运动情况。恶性肿瘤细胞通常具有较大的细胞核和丰富的细胞质，细胞内结构复杂，存在大量的细胞器和生物大分子，如线粒体、内质网、核糖体以及各种蛋白质等。这些结构会对水分子的扩散运动产生明显的限制作用，增加水分子在细胞内的扩散阻力，导致 Din 降低[9]。

Dex 作为定量反映细胞外间隙水分子扩散特性的关键参数，其数值变化与肿瘤组织微环境重构密切相关。本研究结果显示，恶性组的 Dex 低于良性组（$P < 0.05$）。这一差异主要与恶性肿瘤细胞外基质（extracellular matrixm，ECM）的特异性改变有关。恶性肿瘤细胞会分泌基质金属蛋白酶（matrix mtalloproteinases，MMPs）等酶类，这些酶可特异性降解 ECM 中的Ⅰ型和Ⅲ型胶原蛋白、纤维连接蛋白等关键结构成分，破坏 ECM 原有的三维网状结构。从理论上讲，这种降解作用会减少 ECM 对水分子扩散的物理阻碍。然而，恶性肿瘤组织中还存在其他影响因素：一方面，肿瘤内部间质流体压力通常高于 20 mmHg（1 mmHg≈0.133 kPa），这种高压会压缩 ECM 空间，使水分子扩散的通道变窄[10]；另一方面，肿瘤相关炎症细胞会浸润肿瘤组织，并分泌透明质酸、硫酸乙酰肝素等黏多糖，这些物质在 ECM 中形成高黏度的凝胶状基质，同时通过整合素增强细胞与基质的黏附作用，进一步增加了水分子扩散的阻力，从而导致 Dex 降低。

本研究表明恶性组的 f 高于良性组（$P < 0.05$）。灌注分数表示组织中血液灌注所占的比例。恶性肿瘤具有高度血管生成的特点，为了满足肿瘤细胞快速增殖对氧气和营养物质的需求，肿瘤组织会持续分泌大量的促血管生成因子，刺激新生血管的形成。这些新生血管的数量显著增多，使得肿瘤组织的血液灌注量大幅增加，从而导致灌注分数升高。而且，新生血管的结构异常，存在较多的短路和动静脉瘘，会使血液在肿瘤组织中的灌注更加丰富，进一步提高了 f 值[11]。

本研究结果显示，联合预测的 *AUC* 最高，为 0.962，灵敏度和特异度也分别达到了 92.5%和 91.4%。单个指标在诊断疾病时往往存在一定的局限性，容易受到多种因素的影响而产生误差。联合多个指标可以从不同的角度反映病变的特征，综合考虑了病变的血流灌注、细胞结构和水分子扩散等多方面的信息，能够更全面、准确地评估病变的性质。

综上所述，恶性壶腹周围病变在 LAVA 技术中表现为峰值强度升高、始增时间缩短，小视野双指数模型弥散成像中呈现 Din 及 Dex 降低、f 升高，且这些指标均为危险因素，多指标联合预测对恶性病变诊断价值最优。

利益冲突　所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明　金洋伟：酝酿和设计实验，实施研究，采集数据，文章撰写，统计分析；王新宇：采集数据，分析/解释数据，文章撰写，获取研究经费；金小聪：统计分析，工作指导

参　考　文　献

[1] Seyfried S, Kahler G, Belle S, et al. Endoscopic papillectomy or pancreaticoduodenectomy for ampullary lesions: A single center retrospective cohort study[J]. Scand J Gastroenterol, 2022, 57(11): 1381-1389.

[2] Trung K V, Heise C, Abou-Ali E, et al. Endoscopic papillectomy for ampullary lesions of minor papilla[J]. Gastrointest Endosc, 2024, 99(4): 587-595.

[3] 王佳淇,邵晓娜,沈建伟.非壶腹部十二指肠浅表肿瘤内镜微创治疗的进展[J].新医学,2023,54(5):317-320.

[4] 李鑫鑫,李安庆,钟晓琴,等.超声内镜、增强 CT 对胆胰肿瘤诊断价值的对比研究[J].现代消化及介入诊疗,2023,28(1):104-108.

[5] 志鹏,吴广东,王良,等.2022 美国国立综合癌症网络临床实践指南:壶腹部腺癌诊疗解读[J].临床外科杂志,2023,31(1):4-6.

[6] Huang L S, Wei Q, Peng H, et al. Monoexponential and advanced diffusion-weighted imaging for hepatic fibrosis staging based on high inter-examiner reliability[J]. Saudi Med J, 2024, 45(9):911-918.

[7] 刘向东,闫松果,孙世松.动态增强 CT 扫描与 MRI 对肝细胞癌的诊断价值及影像学特征分析[J].实用癌症杂志,2023,38(1):89-91.

[8] 刘平安,陈忠英,孙雪,等.多层螺旋 CT 不同时相扫描对多中心性肝细胞癌的诊断价值[J].癌症进展,2024,22(2):222-224.

[9] 白萍,王汉,刘芮,等.多层螺旋 CT 与磁共振 LAVA 增强扫描诊断肝内占位性病变性质效能分析[J].实用肝脏病杂志,2024,27(3):422-425.

[10] 张锦超,孙宜楠,杨擎,等.分数阶微积分模型弥散加权成像判断宫颈癌病理类型及分化程度[J].中国医学影像技术,2024,40(11):1730-1734.

[11] Dan G Y, Sun K B, Luo Q F, et al. Single-shot multi-b-value (SSMb) diffusion-weighted MRI using spin echo and stimulated echoes with variable flip angles[J]. NMR Biomed, 2024, 37(12):e5261.

收稿日期：2025-07-08

（本文编辑：钟美春）