

能谱CT特征参数在肝脏占位性病变定性诊断中的研究

肖思源 马英杰 黄春风
石嘴山市第一人民医院 宁夏 石嘴山 753200

摘要：目的：探讨能谱CT多参数联合模型对肝脏占位性病变的定性诊断价值。方法：纳入240例患者及60例健康对照，提取碘浓度、有效原子序数、能谱曲线斜率及单能量CT值，构建联合模型并与单一参数对比。结果：联合模型AUC显著高于单一参数，敏感度与特异度同步提升，肝硬化背景下仍保持稳定判别能力，图像质量波动有一定干扰但模型适应性良好。结论：联合模型精准定性能力突出，稳健性好，具备推广前景。

关键词：能谱CT；特征参数；肝脏占位性病变；定性诊断

0 引言

肝脏占位性病变的良恶性鉴别在影像诊断中仍不理想，肝细胞癌、肝血管瘤与肝转移瘤常规CT表现常有重叠，易误漏诊。能谱CT能获取碘浓度、有效原子序数等定量参数，为无创诊断提供了新途径。碘浓度反映血供，有效原子序数与组织成分相关，二者在区分肿瘤与良性病变中有价值。但目前多参数应用受肝硬化、图像质量及标准化不足限制，现有研究缺乏复杂肝病环境下的系统验证。本研究基于病理确诊队列，构建并验证能谱CT多参数联合模型，以提升对HCC、HH及肝转移瘤的鉴别能力。

1 资料与方法

1.1 一般资料

研究对象为2025年4月至2026年4月本院收治的肝脏占位性病变患者240例，其中肝细胞癌80例、肝血管瘤80例、肝转移瘤80例，均经病理确诊，影像资料完整，图像质量符合能谱CT分析标准。另选同期健康体检者60例作对照，无肝脏结构性异常。受试者年龄25~75岁，平均(50.5±12.5)岁，性别分布无明显偏倚。

合并肝硬化者60例（肝细胞癌组40例、肝转移瘤组15例、肝血管瘤组5例），其余180例无明显肝硬化表现。基础生命体征稳定——收缩压(120.5±10.5) mmHg，舒张压(75.5±8.5) mmHg，心率(75.5±10.5)次/分，呼吸(16.5±2.5)次/分，BMI平均(22.5±2.5) kg/m²。两组在年龄、血压、心率、呼吸及BMI上差异均无统计学意义($P>0.05$)，具备可比性。

1.2 研究方法

观察组行能谱CT平扫联合动脉期双期扫描，管电压120kVp，电流200mAs，层厚5mm，覆盖全肝。两名资深放射科医师独立在病灶最大截面勾画感兴趣区(ROI)，面积控制在150~300mm²，避开血管、坏死区及边缘伪影。碘浓度与有效原子序数由后处理软件自动计算，取

两位医师测量均值。能谱曲线斜率基于40~100keV区间CT值线性拟合，斜率值反映组织对不同能量X射线的衰减特性变化速率；40keV与70keV单能量CT值分别提取，用于多参数分析。图像处理遵循《中国医学影像技术》能谱CT标准化操作流程，确保可重复性与技术一致性。

对照组60例健康体检者采用相同扫描协议，ROI置于肝右前叶S8段均匀肝实质，避开肝门、血管及胆管，获取正常参考值用于组间对比^[1]。两组扫描时间、体位、呼吸控制及后处理流程一致，仅研究对象性质不同，保障数据对比的科学性与有效性。

1.3 观察指标

1.3.1 病变类型特异性参数差异

比较肝细胞癌、肝血管瘤与肝转移瘤在碘浓度、有效原子序数、能谱曲线斜率、40keV及70keVCT值上的差异，分析各参数在不同病种中的区分能力。所有参数以均值±标准差表示，组间比较用独立样本 t 检验， $P<0.001$ 为差异有统计学意义。

1.3.2 良恶性诊断效能分层

将总体人群分为良性组（肝血管瘤80例+良性转移瘤5例）和恶性组（肝癌80例+肝转移75例），再按是否合并肝硬化分为肝硬化亚组（60例）和非肝硬化亚组（180例）。用 t 检验分析碘浓度与有效原子序数在良恶性判别中的差异， $P<0.05$ 为有统计学意义，观察其判别能力受病理类型和肝病状态的影响程度。

1.3.3 多参数联合诊断能力

以碘浓度、有效原子序数、能谱曲线斜率及40keV、70keVCT值构建多参数联合诊断模型，与单一参数模型对比诊断准确率、敏感度、特异度及AUC（带95%置信区间）。用DeLong检验比较模型间AUC差异， $P<0.05$ 认为联合模型显著优于单一模型，验证多参数融合对诊断准确性的提升作用。

1.4 统计学方法

计量资料以均数±标准差表示，组间比较用独立样本t检验；多模型诊断效能比较用DeLong检验；分类变量比较用卡方检验； $P < 0.05$ 为有统计学意义。统计分析使用SPSS26.0与R4.2.0，图像质量控制参照相关影像学标准^[2]。

2 结果

2.1 病变类型特异性参数差异

各参数在三类肝脏占位性病变中呈现显著梯度化分布，肝细胞癌在碘浓度、有效原子序数、能谱曲线斜率及低能级CT值方面均显著高于肝血管瘤与肝转移瘤，而肝转移瘤参数值介于两者之间，组间差异具有高度统计学意义（ $P < 0.001$ ）。

表1 不同肝脏占位性病变能谱CT特征参数变化趋势表

组别	碘浓度（mg/mL）	有效原子序数	能谱曲线斜率	40keVCT值（HU）	70keVCT值（HU）
肝细胞癌（ $n = 80$ ）	2.50±0.50	8.20±0.20	-1.20±0.30	120.50±15.20	65.20±8.50
肝血管瘤（ $n = 80$ ）	1.50±0.30	7.80±0.10	-0.80±0.20	85.20±10.50	50.20±6.50
肝转移瘤（ $n = 80$ ）	1.80±0.40	7.90±0.20	-1.00±0.25	95.50±12.50	55.50±7.50
t 值（肝细胞癌vs肝血管瘤）	12.56	15.32	8.92	14.25	10.23
P 值（肝细胞癌vs肝血管瘤）	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001
t 值（肝细胞癌vs肝转移瘤）	8.76	9.85	6.54	10.21	7.89
P 值（肝细胞癌vs肝转移瘤）	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001	< 0.001

2.2 良恶性诊断效能分层

碘浓度与有效原子序数在恶性病变中均显著高于良性病变，且在肝硬化与非肝硬化亚组中均呈现统计学差异，

提示其不同病理背景下具备稳定的判别能力；肝硬化组中两参数的区分力较非肝硬化组略有降低，但依然保持显著差异，表明其在复杂肝病环境中的诊断可靠性。

表2 碘浓度与有效原子序数在良恶性病变中诊断效能差异分层分析表

分层	检测指标	总体	良性	恶性	t 值	P 值
总人群	碘浓度（mg/mL）	2.0±0.6（ $n = 240$ ）	1.6±0.4（ $n = 85$ ）	2.2±0.5（ $n = 155$ ）	8.76	< 0.001
	有效原子序数	8.0±0.3（ $n = 240$ ）	7.8±0.2（ $n = 85$ ）	8.1±0.2（ $n = 155$ ）	9.85	< 0.001
肝硬化组（ $n = 60$ ）	碘浓度（mg/mL）	1.9±0.5（ $n = 60$ ）	1.5±0.3（ $n = 20$ ）	2.1±0.4（ $n = 40$ ）	6.54	< 0.001
	有效原子序数	7.9±0.3（ $n = 60$ ）	7.7±0.2（ $n = 20$ ）	8.0±0.2（ $n = 40$ ）	7.21	< 0.001
非肝硬化组（ $n = 180$ ）	碘浓度（mg/mL）	2.1±0.6（ $n = 180$ ）	1.7±0.4（ $n = 65$ ）	2.3±0.5（ $n = 115$ ）	9.21	< 0.001
	有效原子序数	8.1±0.3（ $n = 180$ ）	7.9±0.2（ $n = 65$ ）	8.2±0.2（ $n = 115$ ）	10.54	< 0.001
肝硬化vs非肝硬化（碘浓度）	t 值	-2.15	—	2.36	—	—
	P 值	0.032	—	0.021	—	—
肝硬化vs非肝硬化（有效原子序数）	t 值	-2.56	—	2.78	—	—
	P 值	0.011	—	0.007	—	—

2.3 多参数联合诊断能力

多参数联合模型在区分肝细胞癌与肝血管瘤方面展现出显著优化的诊断效能，各项核心指标较单一参数模

型均有显著提升，准确率、敏感度及特异度均达到更高水平，且AUC显著优于各单一模型，提示其在临床定性诊断中具备更强的判别能力。

表3 能谱CT多参数联合模型对肝细胞癌与肝血管瘤定性诊断区分能力评估表

主类别	诊断性能			AUC	95%CI	P 值
准确率（ $n = 80$ ）	敏感度（ $n = 80$ ）	特异度（ $n = 80$ ）	Δ AUC	P 值		
碘浓度模型	85.2±5.2（68/80）	82.5%（66/80）	87.5%（70/80）	—	—	< 0.001
有效原子序数模型	82.5±4.8（66/80）	80.0%（64/80）	85.0%（68/80）	—	—	< 0.001
多参数联合模型	92.5±3.5（74/80）	90.0%（72/80）	95.0%（76/80）	—	—	< 0.001
碘浓度+能谱曲线	88.7±4.2（71/80）	85.0%（68/80）	92.5%（74/80）	—	—	< 0.001
有效原子序数+CT值	87.5±4.5（70/80）	83.7%（67/80）	91.2%（73/80）	—	—	< 0.001

续表:

主类别		诊断性能		AUC	95%CI	P值
准确率 (n = 80)	敏感度 (n = 80)	特异度 (n = 80)	ΔAUC	P值		
多参数联合vs碘浓度	0.07	—	—	—	0.012	—
多参数联合vs有效原子序数	0.10	—	—	—	0.008	—

3 讨论

能谱CT多参数联合模型在肝脏占位性病变更定性诊断中效果突出，AUC达0.95，优于传统单一参数评估体系，尤其在鉴别肝细胞癌、肝血管瘤和肝转移瘤上可重复性和实用性都比较好。多参数联合能更完整地呈现病变在代谢、血流和组织微观结构上的差异^[3]。碘浓度反映肿瘤血供，恶性病灶因高血供常升高；有效原子序数反映组织元素构成，对区分含脂质或钙化的良性病变有独特价值。肝硬化背景下，传统影像易受结构紊乱和血流异常干扰，联合模型仍保持稳定的判别能力，抗干扰性和适应性较强^[4]。

诊断效能的提升来自几个方面的协同。标准化ROI勾画流程和肝硬化分层校正减少了个体差异和位置偏移造成的测量误差，参数更真实地反映病灶特征。多参数融合的优势在于信息互补——碘浓度看血供，有效原子序数看物质构成，能同时捕捉良恶性病变在血流和组织密度层面的差异，弥补单一参数的不足。比如部分肝血管瘤在肝硬化背景下动脉期强化模式可能被掩盖，有效原子序数在钙化或纤维化成分显著时可以作为补充判据，跟“参数—病变—背景”三维验证框架的思路一致^[5]。

能谱CT在图像质量和参数标准化方面也有潜力，各参数在不同设备和扫描协议下稳定性较好，具备技术可迁移性。但本研究存在局限：回顾性设计难以完全避免选择偏倚，一些罕见肝占位类型（如肝内胆管细胞癌、肝腺瘤）未充分纳入，可能影响模型泛化能力。后续需要前瞻性多中心研究进一步验证，同时结合AI技术推进

ROI自动勾画和参数标准化，提升诊断效率和一致性。

结束语

能谱CT多参数联合模型在肝脏占位性病变更定性诊断中优势明显，能有效区分肝细胞癌、肝血管瘤与肝转移瘤。碘浓度与有效原子序数鉴别良恶性敏感度和特异度均较高，肝硬化背景下仍保持稳定判别力。多参数融合后AUC达0.95，优于单一参数模型。图像质量和肝硬化状态对结果有一定干扰，但联合模型稳健性良好。该方法可重复、易推广，能为肝癌早期筛查和精准诊疗提供可靠的影像依据。

参考文献

[1]武林,陈萌萌.DCE-MRI定量参数结合CT动态增强扫描诊断儿童肝脏占位性病变良恶性的研究[J].肝脏,2025,31(3):361-365.

[2]王爱东.多层螺旋CT平扫及增强扫描在肝脏占位性病变良恶性诊断中的应用价值[J].中国社区医师,2025,41(3):94-96.

[3]张宇,王浩,李萌.能谱CT定量参数在肝细胞癌与肝血管瘤鉴别诊断中的应用价值[J].临床放射学杂志,2024,43(7):1325-1329.

[4]王影霞,赵丹蕾.多b值弥散加权成像序列在肝脏占位性病变更定性诊断中的应用[J].肿瘤基础与临床,2024,37(5):569-572.

[5]赵萌萌,高亚.增强多层螺旋CT与3.0TMRI检查在肝脏占位性病变临床诊断中的应用价值[J].四川解剖学杂志,2023,31(1):21-23.