

论 著

双源CT双能量成像联合能谱曲线诊断肝囊肿与乏血供肝转移瘤的研究及意义*

张桂成* 孙晓霞 马宇
温杰河北省沧州中西医结合医院影像科
(河北 沧州 061001)

【摘要】目的 探讨双源CT双能量成像联合能谱曲线诊断肝囊肿与乏血供肝转移瘤的价值。**方法** 选取2022年9月至2023年12月我院收治的104例肝脏病变患者共141个病灶,其中肝囊肿病灶80个,乏血供肝转移瘤病灶61个,入院后均行双源CT双能量成像检查并获取能谱曲线,分析双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿与乏血供肝转移瘤的诊断价值,并比较肝囊肿与乏血供肝转移瘤双源CT双能量成像、能谱曲线结果,Logistic回归分析双源CT双能量成像和能谱曲线结果与两种病变的关系,并分析双源CT双能量成像联合能谱曲线多种衍生序列对不同面积肝病检出情况。**结果** 双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿、乏血供肝转移瘤检出情况及诊断敏感度、阳性预测值、漏诊率、误诊率均无显著差异($P>0.05$);肝囊肿增强扫描特征均表现为无强化,乏血供肝转移瘤均表现为低于周围正常肝组织的轻度及中度强化,组间比较存在显著差异($P<0.05$);肝囊肿标准化碘浓度低于乏血供肝转移瘤($P<0.05$);肝囊肿能谱曲线下降型患者占比低于乏血供肝转移瘤,平直型、上升型患者占比高于乏血供肝转移瘤($P<0.05$);肝囊肿能谱曲线斜率低于乏血供肝转移瘤($P<0.05$);增强扫描无强化、能谱曲线平直型和上升型均与肝囊肿相关($P<0.05$);增强扫描轻度和中度强化、标准化碘浓度、能谱曲线下降型、能谱曲线斜率均与乏血供肝转移瘤相关($P<0.05$);Sn 140 kVp、100 kVp、线性融合图像、碘图及最高对比噪声比图像对 $\leq 1 \text{ cm}^2$ 肝病检出率比较存在显著差异($P<0.05$)。**结论** 双源CT双能量成像联合能谱曲线可用于肝囊肿、乏血供肝转移瘤早期诊断中,为临床辅助鉴别诊断、制定干预方案提供参考。

【关键词】 肝囊肿; 肝转移瘤;
双源CT双能量成像; 能谱曲线;
诊断价值

【中图分类号】R575

【文献标识码】A

【基金课题】河北省卫生健康委医学科学
研究课题计划(20180977)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.11.029

Study and Significance of Dual-source CT Dual-energy Imaging Combined with Energy Spectrum Curve in the Diagnosis of Hepatic Cysts and Liver Metastases Lacking Blood Supply*

ZHANG Gui-cheng*, SUN Xiao-xia, MA Yu, WEN Jie.

Department of Imaging, Cangzhou Hospital of Integrated TCM-WM-Hebei, Cangzhou 061001, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the value of dual-source CT dual-energy imaging combined with energy spectrum curve in the diagnosis of hepatic cysts and liver metastases with deficient blood supply, in order to provide references for early clinical diagnosis and formulation of corresponding intervention programs.

Methods A total of 141 lesions were selected from 104 patients with liver diseases admitted to our hospital from September 2022 to December 2023, including 80 lesions of liver cyst and 61 lesions of liver metastatic tumor with poor blood supply. Dual-source CT dual-energy imaging was performed after admission, and the data obtained from the scan were uploaded to the workstation for processing and analysis, and energy spectrum curves were obtained. The diagnostic value of dual-source CT dual-energy imaging combined with energy spectrum curve for hepatic cysts and liver metastases with deficient blood supply was analyzed, and the results of dual-source CT dual-energy imaging and energy spectrum curve for hepatic cysts and liver metastases with deficient blood supply were compared, and the relationship between the results of dual-source CT dual-energy imaging and energy spectrum curve and the two kinds of lesions was analyzed by Logistic regression. The detection of liver lesions in different areas by dual-source CT dual-energy imaging combined with multiple derivative sequences of energy spectrum curves was analyzed. **Results** Dual-source CT dual-energy imaging combined with energy spectrum curve had no significant differences in the detection of hepatic cysts and liver metastases without blood supply, diagnostic sensitivity, positive predictive value, missed diagnosis rate and misdiagnosis rate ($P>0.05$). The enhanced scanning features of hepatic cysts showed no enhancement, and liver metastases with lack of blood supply showed mild and moderate enhancement lower than surrounding normal liver tissue, and the difference between groups was statistically significant ($P<0.05$). The standardized iodine concentration of hepatic cysts was lower than that of liver metastases without blood supply ($P<0.05$). The proportion of patients with descending liver cyst energy spectrum curve was lower than that with deficient blood supply liver metastases, and the proportion of patients with flat and ascending liver cysts was higher than that with deficient blood supply liver metastases ($P<0.05$). The slope of energy spectrum curve of hepatic cysts was lower than that of liver metastases without blood supply ($P<0.05$). Multivariate Logistic regression analysis showed that there was no enhancement in enhanced scan, and both the flat and rising spectral curve were correlated with hepatic cysts ($P<0.05$). Mild and moderate enhancement of enhanced scan, standardized iodine concentration, descending type of energy spectrum curve and slope of energy spectrum curve were correlated with liver metastases without blood supply ($P<0.05$). There was statistical significance in the detection rate of liver disease $\leq 1 \text{ cm}^2$ compared with Sn 140 kVp, 100 kVp, linear fusion image, iodine image and highest contrast noise ratio image ($P<0.05$). **Conclusion** Dual-source CT dual-energy imaging combined with energy spectrum curve can be used in the early diagnosis of hepatic cysts and liver metastases with deficient blood supply, providing a reference for clinical differential diagnosis and targeted intervention.

Keywords: Hepatic Cyst; Liver Metastases; Dual-source CT Dual-energy Imaging; Energy Spectrum Curve; Diagnostic Value

肝脏血液供应较为丰富,因此为恶性肿瘤转移好发脏器,根据肝转移瘤血供特点可分为富血供、乏血供转移瘤,且大部分均为乏血供转移瘤,严重威胁患者生命安全^[1-3]。因此,需尽早对肝转移瘤进行准确评估诊断。报道显示^[4-6],CT为临床诊断肝转移瘤主要方案,经平扫多呈低密度影,中心区域坏死后可显示“牛眼征”,而肝囊肿为一种先天性疾病,经平扫多呈边界清晰、形态规整的低密度影,可与乏血供肝转移瘤进行鉴别,但部分经增强后无明显强化,易与肝囊肿混淆。而双源CT双能量成像通过一次扫描可获取高、低能及混合能量图像,经后台工作站处理后可获取能谱曲线及碘图,定量分析组织强化、血供等信息^[7-9]。基于此,本研究试分析双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿与乏血供肝转移瘤诊断价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 经我院伦理委员会审核批准,选取2022年9月至2023年12月我院收治的104例肝脏病变患者共141个病灶,其中肝囊肿病灶80个,乏血供肝转移瘤病灶61个,两

【第一作者】张桂成,男,副主任医师,主要研究方向:肌骨系统及腹腔腔疾病影像诊断。E-mail:tkk463951@21cn.com

【通讯作者】张桂成

种病变患者一般资料比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。见表1。

纳入标准: 肝囊肿、乏血供肝转移瘤均经手术病理、活检穿刺及影像检查综合诊断确诊; 未接受抗肿瘤治疗者; 病灶直径 $<2\text{cm}$; 可接受本研究检查方案; 知晓本研究, 并签订同意书。

排除标准: 合并其他部位恶性肿瘤; 对碘对比剂过敏者; 存在CT检查禁忌症者; 合并重大脏器功能障碍者; 合并精神障碍或检查依从性较差者。

表1 两种病变患者一般资料比较[n(%)]

组别	例数	性别(男/女)	年龄(岁)	BMI(kg/m^2)	病灶直径(cm)
肝囊肿	53	30/23	62.31 \pm 3.82	23.38 \pm 1.12	1.35 \pm 0.31
乏血供肝转移瘤	51	27/24	61.84 \pm 3.65	23.24 \pm 1.06	1.32 \pm 0.28
χ^2/t		0.012	0.738	0.753	0.593
P		0.912	0.462	0.453	0.554

1.2 方法 双源CT双能量成像检查: 均采用德国西门子第二代炫速双源CT双能量成像扫描仪进行检查, 碘普罗胺($370\text{mg}/\text{mL}$)作为对比剂。引导患者处仰卧位, 行平扫期、动脉期、静脉期及选择性延迟期扫描。常规扫描参数: 管电压 120kV , 电流 250mAs , Care kV on、Care Dose4D on, 准直 $128\times 0.6\text{mm}$, 层厚 1mm , 重建算法B36f, 重建层间 0.7mm , 旋转时间 0.5s ; 双能量扫描参数设置为: Care Dose4D on, 准直 $32\times 0.6\text{mm}$, 视野 332mm , A球管参考电压 100kVp , 电流 230mAs , B球管参考电压 $Sn 140\text{kVp}$, 电流 190mAs , 融合系数 0.5 , 螺距 0.7 , 重建算法D36f, 层厚 1mm , 层间距 0.7mm 。采用对比剂示踪法触发启动增强扫描, 触发点位于腹主动脉, 触发阈值 100Hu , 延迟 5s 后行动脉期扫描, 延迟 25s 后行静脉期扫描, 经周静脉团注对比剂, 注射速率 $2.5\text{mL}/\text{s}$, 剂量为 $1.4\text{mL}/\text{kg}$, 注射后跟注 40mL 生理盐水。

图像分析处理: 将图像上传至后台工作站, 采用工作站自带双能量处理软件分别获取碘图及能谱曲线, 测量曲线斜率、标准化碘浓度, 均测量3次取平均值; 标准化碘浓度=肝实质测量碘值/同层面腹主动脉测量碘值; 斜率=($40\text{keV CT值}-140\text{keV CT值}$)/($140\text{keV}-40\text{keV}$)。不同序列获取 $Sn 140\text{kVp}$ 、 100kVp 、线性融合图像均由机器自动生成, 将静脉期双能量扫描图像代入后处理软件, 根据病灶显示最佳层面选取病灶, 将 keV 调至最高对比噪声比时, 即为肝脏最高对比噪声比图。均由同两名具有丰富经验的医师检阅, 根据病灶面积分为 $\leq 1\text{cm}^2$ 与 $> 1\text{cm}^2$ 与, 比较不同图像对不同面积肝病检出情况。

1.3 观察指标 (1)比较双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿、乏血供肝转移瘤诊断结果。(2)比较双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿、乏血供肝转移瘤诊断效能, 包括敏感度、阳性预测值、漏诊率、误诊率。(3)比较肝囊肿、乏血供肝转移瘤双源CT双能量成像联合能谱曲线结果, 包括平扫特征、病灶边界、增强扫描特征、标准化碘浓度、能谱曲线类型及斜率。(4)分析双源CT双能量成像和能谱曲线结果与两种病变的关系。(5)比较双源CT双能量成像联合能谱曲线多种衍生序列对不同面积肝病检出情况。

1.4 统计学方法 采用SPSS 28.0软件处理分析相关数据, 符合正态分布的计量资料用($\bar{x}\pm s$)表示, 非正态分布数据经自然对数转

换成正态分布后施行分析, 两组间比较采用独立样本t检验, 计数资料用n(%)表示, 两组间比较行 χ^2 检验, 采用Logistic回归方程分析双源CT双能量成像和能谱曲线结果与肝囊肿、乏血供肝转移瘤的关系, 默认双侧检验, $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 双源CT双能量成像联合能谱曲线的诊断结果 双源CT双能量成像联合能谱曲线检出肝囊肿、漏检肝囊肿、误检肝脓肿以及检出乏血供肝转移瘤、漏检乏血供肝转移瘤、误检乏血供肝转移瘤的详情见表2, 对两种病变诊断情况比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.2 双源CT双能量成像联合能谱曲线的诊断效能 双源CT双能量成像联合能谱曲线诊断肝囊肿、乏血供肝转移瘤敏感度、阳性预测值、漏诊率、误诊率的详情见表3, 对两种病变诊断效能比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。

2.3 两组双源CT双能量成像和能谱曲线结果比较 肝囊肿增强扫描特征均表现为无强化, 乏血供肝转移瘤均表现为低于周围正常肝组织的轻度和中度强化, 组间比较差异有统计学意义($P<0.05$); 肝囊肿标准化碘浓度低于乏血供肝转移瘤($P<0.05$); 肝囊肿能谱曲线下型患者占比低于乏血供肝转移瘤, 平直型、上升型患者占比高于乏血供肝转移瘤($P<0.05$); 肝囊肿能谱曲线斜率低于乏血供肝转移瘤($P<0.05$)。见表4、图1~2。

病例1, 男, 35岁, 肝囊肿病例。图1A: ROI位于肝右叶后下段; 门脉期双能量扫描后经工作站后处理得到的病灶碘分布图、能谱曲线。图1B, 碘分布图:碘图上测得的病灶碘浓度及同一层面腹主动脉碘浓度; 图1C, 能谱曲线: 该病灶绘制的能谱曲线(红色箭头所示)

病例2, 女, 43岁, 肝门区胆管细胞癌, 乏血供肝转移瘤病例, 图2A:ROI位于肝右叶后下段。门脉期双能量扫描后经工作站后处理得到的病灶碘分布、能谱曲线。图2B: 碘图上测得的病灶碘浓度及同一层面腹主动脉碘浓度; 图2C: 该病灶绘制的能谱曲线(红色箭头所示)

表2 双源CT双能量成像联合能谱曲线的诊断结果[n(%)]

组别	n	检出		漏检		误检	
		n	百分比	n	百分比	n	百分比
肝囊肿	80	77	96.25	2	2.50	1	1.25
乏血供肝转移瘤	61	59	96.72	1	1.64	1	1.64
χ^2		0.023		0.123		0.037	
P		0.881		0.726		0.846	

表3 双源CT双能量成像联合能谱曲线的诊断效能

组别	n	敏感度(%)	阳性预测值(%)	漏诊率(%)	误诊率(%)
肝囊肿	80	96.25(77/80)	97.50(78/80)	2.50(2/80)	1.25(1/80)
乏血供肝转移瘤	61	96.72(59/61)	98.36(60/61)	1.64(1/61)	1.64(1/61)
χ^2		0.023	0.123	0.123	0.037
P		0.881	0.726	0.726	0.846

表4 两组双源CT双能量成像联合能谱曲线结果比较

组别	n(%)	肝囊肿(n=80)	乏血供肝转移瘤(n=61)	统计值	P
平扫特征				0.123	0.726
稍低密度影	3(2.13)	2(2.50)	1(1.64)		
低密度影	138(97.87)	78(97.50)	60(98.36)		
病灶边界				1.949	0.163
清晰	128(90.78)	75(93.75)	53(86.89)		
欠清晰	13(9.22)	5(6.25)	8(13.11)		
增强扫描特征				141.000	<0.001
无强化	80(56.73)	80(100.00)	0(0.00)		
轻度强化	17(12.6)	0(0.00)	17(27.87)		
中度强化	44(31.21)	0(0.00)	44(72.13)		
标准化碘浓度($\mu\text{g}/\text{cm}^3$)		0.09 \pm 0.02	0.29 \pm 0.07	24.311	<0.001
能谱曲线				27.838	<0.001
下降型	112(79.43)	51(63.75)	61(100.00)		
平直型	17(12.06)	17(21.25)	0(0.00)		
上升型	12(8.51)	12(15.00)	0(0.00)		
斜率		0.23 \pm 0.07	1.00 \pm 0.28	23.669	<0.001

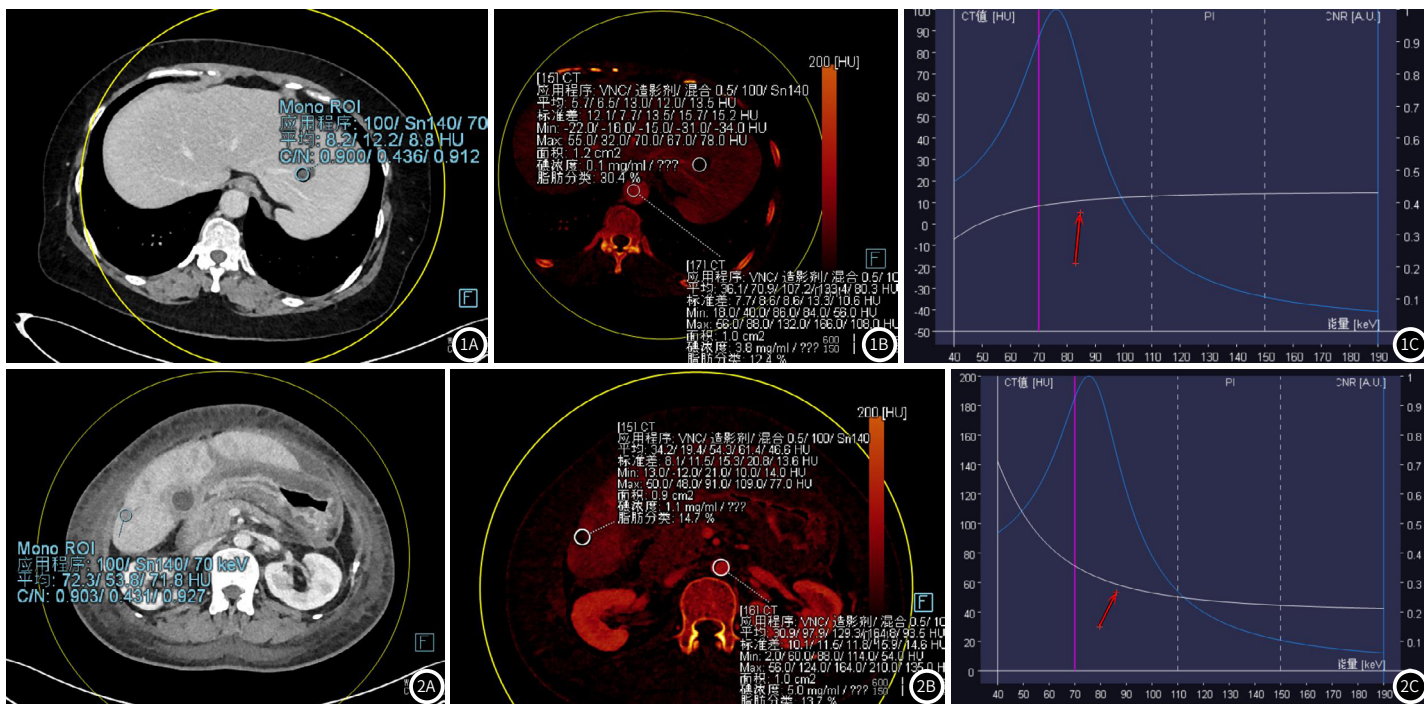


图1 肝囊肿双源CT双能量成像和能谱曲线图。图2 肝乏血供肝转移瘤双源CT双能量成像和能谱曲线图。

2.4 双源CT双能量成像联合能谱曲线结果与两种病变的关系

多因素Logistic回归分析显示，增强扫描无强化、能谱曲线平直型和上升型均与肝囊肿相关($P < 0.05$)；增强扫描轻度和中度强化、标准化碘浓度、能谱曲线下降型、能谱曲线斜率均与乏血供肝转移瘤相关($P < 0.05$)。见表5。

2.5 双源CT双能量成像联合能谱曲线多种衍生序列对不同面积肝病检出情况

Sn 140 kVp、100 kVp、线性融合图像、碘图及最高对比噪声比图像对 $\leq 1 \text{ cm}^2$ 肝病检出率比较，差异有统计学意义($P < 0.05$)；Sn 140 kVp、100 kVp、线性融合图像、碘图及最高对比噪声比图像对 $> 1 \text{ cm}^2$ 肝病检出率比较，差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表6。

表5 多因素Logistic回归分析双源CT双能量成像和能谱曲线结果与两种病变的关系

影响因素	单因素		多因素	
	OR值(95%CI)	P	OR值(95%CI)	P
肝囊肿				
增强扫描无强化	4.827(1.265~13.059)	<0.001	3.552(1.165~11.740)	<0.001
能谱曲线				
平直型	3.182(2.085~9.253)	<0.001	2.754(1.749~7.836)	<0.001
上升型	4.556(1.642~8.591)	<0.001	4.060(1.503~9.994)	<0.001
乏血供肝转移瘤				
增强扫描				
轻度强化	2.684(2.134~12.700)	<0.001	2.536(1.978~14.551)	<0.001
中度强化	3.259(2.689~10.325)	<0.001	3.071(2.234~8.647)	<0.001
标准化碘浓度	1.643(1.002~15.118)	<0.001	1.564(1.120~16.821)	<0.001
能谱曲线下降型	2.911(2.353~7.682)	<0.001	2.728(2.184~9.062)	<0.001
能谱曲线斜率	1.706(1.485~9.716)	<0.001	1.593(1.364~7.540)	<0.001

表6 双源CT双能量成像联合能谱曲线
多种衍生序列对不同面积肝病检出情况

组别	≤1 cm ²	x ²	P	>1 cm ²	x ²	P
	(n=76)			(n=65)		
Sn 140 kVp	22(28.95)			62(95.38)		
100 kVp	35(46.05)			63(96.92)		
线性融合图像	48(63.16)	81.336	<0.001	61(93.85)	7.314	0.120
碘图	66(86.84)			65(100.00)		
最高对比噪声比图像	65(85.53)			65(100.00)		

3 讨论

肝转移瘤多由微小病灶逐渐形成,其早期无典型特征,临床检查发现时已处于中晚期,且肿瘤细胞类型、恶性程度、肝脏局部情况与转移瘤生长速度密切相关,尽早发现转移病灶,评估病灶特征并判断其是否可手术切除具有重大意义^[10-12]。报道显示^[13-14],CT扫描为临床诊断肝转移瘤的主要方案,对于典型肝转移瘤诊断准确性较高,但随原发肿瘤不同,其影像表现呈多样化,经增强扫描可表现为不典型强化,常规CT扫描对于早期乏血供肝转移瘤、肝囊肿鉴别诊断存在一定局限性。

双源CT双能量成像可通过两个X线球管选择不同电压、电流进行扫描,一次扫描中可获取不同能谱射线及高、低两种能量图像数据,通过对图像数据特定分析处理后,可特征性获取感兴趣区能谱曲线及碘分布图^[15-17]。本研究结果显示,双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿、乏血供肝转移瘤检出率分别为96.25%、96.72%,具有较高检出率,且对两种病变诊断情况比较无显著差异,提示临床可通过双源CT双能量成像联合能谱曲线早期诊断肝囊肿、乏血供肝转移瘤。报道显示^[18-20],双源CT双能量成像经工作站处理后可特征性获取病灶能谱曲线,而不同病变在不同X线能量水平下衰减系数存在差异,从而生成特征性能谱曲线,且可通过物质含碘浓度分析病灶强化情况,能谱衰减曲线随含碘浓度发生变化,因此可对不同病灶血供情况进行准确评估。

本研究结果还发现,肝囊肿增强扫描特征均表现为无强化,乏血供肝转移瘤均表现为轻度和中度强化,且两种病变标准化碘浓度、能谱曲线类型、能谱曲线斜率存在显著差异,提示临床可通过双源CT双能量成像联合能谱曲线鉴别诊断肝囊肿、乏血供肝转移瘤。国外学者研究表明^[21-23],双源CT双能量成像根据组织对不同能量级别X线衰减不同,可显示脏器中碘分布,且可在碘图中测量含碘值,相较于CT值可更准确反映物质强化情况。另有研究表明^[24-25],经双源CT双能量成像扫描,不同病灶含碘浓度不同,其能谱曲线衰减程度随之不同,而能谱曲线斜率可评估能谱曲线差异。本研究还发现,能谱曲线类型、增强扫描强化、标准化碘浓度、能谱曲线斜率与肝囊肿、乏血供肝转移瘤密切相关,进一步说明双源CT双能量成像联合能谱曲线对肝囊肿、乏血供肝转移瘤的评估价值。此外,本研究结果还发现,Sn 140 kVp、100 kVp、线性融合图像、碘图及最高对比噪声比图像对≤1 cm²肝病检出率比较存在显著差异,而对>1 cm²肝病检出率比较无显著差异,说明碘图及最高对比噪声比图像更有利于对≤1 cm²肝病检出,原因可能在于本研究所有图像均采用1mm层厚较薄,因此更有利于小病灶检出。

综上所述,双源CT双能量成像联合能谱曲线对于肝囊肿、乏血供肝转移瘤具有较高诊断价值,临床可通过其辅助鉴别诊断,以制定相应干预方案,改善预后。

参考文献

[1] Li X, Wang Z, Jiao C, et al. Hepatocyte SGK1 activated by hepatic ischemia-reperfusion promotes the recurrence of liver metastasis via IL-6/STAT3[J]. J Transl Med, 2023, 21(1): 121.
[2] Ying X, Ma N, Zhang X, et al. Research progress on the molecular mechanisms of hepatic metastasis in lung cancer: a narrative review[J]. Ann Palliat Med, 2021, 10(4): 4806-4822.

[3] 古丽米拉·巴巴什, 周永, 文智, 等. 宝石能谱CT单能量成像对乏血供肝脏小转移瘤的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2020, 36(12): 1952-1956.
[4] Lee T, Lee JM, Yoon JH, et al. Deep learning-based image reconstruction of 40-keV virtual monoenergetic images of dual-energy CT for the assessment of hypoenhancing hepatic metastasis[J]. Eur Radiol, 2022, 32(9): 6407-6417.
[5] Deipolyi AR, England RW, Ridouani F, et al. PET/CT imaging characteristics after radioembolization of hepatic metastasis from breast cancer[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2020, 43(3): 488-494.
[6] Jung JH, Kim JK, Kim T, et al. Newly appearing hepatic lesion after curative surgery for colorectal cancer: single-phase CT findings implying metastasis[J]. Curr Med Imaging, 2023, 19(9): 1096-1104.
[7] Greffier J, Villani N, Defez D, et al. Spectral CT imaging: technical principles of dual-energy CT and multi-energy photon-counting CT[J]. Diagn Interv Imaging, 2023, 104(4): 167-177.
[8] Chen B, Zhang Z, Xia D, et al. Dual-energy CT imaging over non-overlapping, orthogonal arcs of limited-angular ranges[J]. J Xray Sci Technol, 2021, 29(6): 975-985.
[9] 孙晓霞, 张桂成, 马宇, 等. 双源CT双能量扫描在鉴别肝脏血管瘤与富血供肝转移瘤中的应用价值[J]. 现代消化及介入诊疗, 2020, 25(11): 1528-1531.
[10] Lee CM, Kang BK, Kim M. Differentiation of small hepatic abscess from hepatic metastasis with a combination of imaging parameters[J]. J Comput Assist Tomogr, 2022, 46(4): 514-522.
[11] Guest RV, Søreide K. Addressing the variation in hepatic surgery for colorectal liver metastasis[J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2021, 10(1): 103-106.
[12] Miwa T, Kanda M, Shimizu D, et al. Hepatic metastasis of gastric cancer is associated with enhanced expression of ethanolamine kinase 2 via the p53-Bcl-2 intrinsic apoptosis pathway[J]. Br J Cancer, 2021, 124(8): 1449-1460.
[13] Noskovicova L, Kovacova M, Janik J, et al. Hepatic cavernous hemangioma mimicking metastasis of midgut neuroendocrine neoplasia on 18F-Fluorodihydroxyphenylalanine PET/CT[J]. Clin Nucl Med, 2022, 47(1): 76-78.
[14] Velichko YS, Mozafarykhamseh A, Trabzonlu TA, et al. Association between the size and 3d ct-based radiomic features of breast cancer hepatic metastasis[J]. Acad Radiol, 2021, 28(4): 93-100.
[15] Mowlavi G, Shirani S, Askari Z, et al. Dual-source dual-energy ct-scan confirms the diagnosis of ancient hydatid cysts recovered from a Late Roman Burial in Amiens, France[J]. Iran J Parasitol, 2022, 17(2): 194-201.
[16] Zhou Z, Ren L, Rajendran K, et al. Simultaneous dual-contrast imaging using energy-integrating detector multi-energy CT: an in vivo feasibility study[J]. Med Phys, 2022, 49(3): 1458-1467.
[17] Petritsch B, Pannenbecker P, Weng AM, et al. Comparison of dual- and single-source dual-energy ct for diagnosis of acute pulmonary artery embolism[J]. Rofo, 2021, 193(4): 427-436.
[18] 张玲霞, 倪艳. 双源CT双能量扫描在肝脏肿瘤诊断中的应用价值探讨[J]. 影像研究与医学应用, 2021, 5(18): 33-34.
[19] Gong H, Baffour FI, Glazebrook KN, et al. Deep learning-based virtual noncalcium imaging in multiple myeloma using dual-energy CT[J]. Med Phys, 2022, 49(10): 6346-6358.
[20] 孙晓霞, 于友友, 郭福庆, 等. 双源CT双能量扫描对肝囊肿与乏血供肝转移瘤的鉴别价值[J]. 现代消化及介入诊疗, 2021, 26(6): 768-771.
[21] Bottari A, Silipigni S, Carerj ML, et al. Dual-source dual-energy CT in the evaluation of hepatic fractional extracellular space in cirrhosis[J]. Radiol Med, 2020, 125(1): 7-14.
[22] Wortman JR, Shyu JY, Dileo J, et al. Dual-energy CT for routine imaging of the abdomen and pelvis: radiation dose and image quality[J]. Emerg Radiol, 2020, 27(1): 45-50.
[23] Greffier J, Si-Mohamed S, Dabli D, et al. Performance of four dual-energy CT platforms for abdominal imaging: a task-based image quality assessment based on phantom data[J]. Eur Radiol, 2021, 31(7): 5324-5334.
[24] 孙晓霞, 张桂成, 马宇, 等. 双源CT双能量扫描在正常肝脏和脂肪肝中的应用价值研究[J]. 中国医学装备, 2021, 18(2): 44-47.
[25] 马海鸿, 谭娟, 赵波. 双源CT双能量扫描碘图在肾脏占位中的应用[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(5): 67-70.

(收稿日期: 2024-04-15)

(校对编辑: 翁佳鸿)