DOI:10.16016/j.2097-0927.202406074

基于双能 CT 的影像临床联合模型鉴别门静脉良恶性栓子的价值

田红斌,杨孟于,李晓光,张伟国 400042 重庆,陆军特色医学中心放射科,重庆市影像医学与核医学临床研究中心

［**摘要**］ **目的** 评估双能 CT(dual-energy CT, DECT)定量参数联合临床实验室指标在鉴别门静脉癌栓(portal vein tumor thrombus,PVTT)和门静脉血栓(portal vein thrombosis, PVT)的价值。**方法** 采用病例-对照研究设计方案,分析 2022 年 5 月至 2024 年 3 月在陆军特色医学中心放射科接受腹部双能 CT 增强检查并诊断有门静脉血栓或癌栓的 65 例患者的临床和影像资料,其中门静脉血栓患者 39 例,门静脉癌栓患者 26 例,记录患者年龄、性别,在后处理工作站重建线性融合图(linear blending,LB)、非线性融合图(non-linear blending,NLB)、40 keV 及 100 keV 虚拟单能图(virtual monoenergetic image,VMI)、碘图(iodine concentration,IC)、电子云密度/有效原子系数图(electron density /effective atomic number ,Rho/Zeff),在 LB 图像上评估栓子影像特征,包括附栓处血管壁是否光滑、附栓处血管有无增宽、栓子有无新生血管。比较血栓和癌栓在双能 CT 定量参数及临床实验室指标的差异,实验室指标有甲胎蛋白(alpha-feto protein,AFP)、癌胚抗原(carcinoembryonic antigen,CEA)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase,ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase,AST),将双能 CT 定量参数、栓子影像特征及临床实验室指标进行单因素和多因素 Logistic 回归分析,再用 ROC 曲线评估双能 CT 定量参数及联合模型的诊断效能。**结果** 双能 CT 各定量参数中,除 Rho 在血栓和癌栓之间差异无统计学意义外,其余参数在癌栓中均高于血栓,差异具有统计学意义($P<0.05$)。多因素 Logistic 回归分析中,LB、NLB、CEA、AST 的差异具有统计学意义($P<0.05$),以 NLB 的诊断效能较好(AUC:0.830,敏感性:53.85%,特异性:100.00%,准确率:81.54%)。基于双能 CT 定量参数与临床实验室指标结合构建的联合模型(LB+NLB+CEA+AST)诊断效能最佳(AUC:0.983,敏感性:96.15%,特异性:92.31%,准确率:93.85%)。**结论** 基于双能 CT 的影像临床联合模型对门静脉良恶性栓子的鉴别诊断提供了可靠依据,具有潜在应用前景。

［**关键词**］ 双能 CT;门静脉血栓;门静脉癌栓
［**中图法分类号**］ R364.15; R735.7; R814.42 ［**文献标志码**］ A

Value of combined model of clinical and imaging based on dual-energy CT for differentiating benign and malignant portal vein embolus

TIAN Hongbin, YANG Mengyu, LI Xiaoguang, ZHANG Weiguo Department of Radiology, Chongqing Clinical Research Center for Imaging and Nuclear Medicine, Army Medical Center of PLA, Chongqing, 400042, China

［**Abstract**］ **Objective** To investigate the value of dual-energy CT (DECT) quantitative parameters combined with clinical laboratory indicators in differentiation of portal vein tumor thrombus (PVTT) from thrombosis (PVT). **Methods** A case-control study was conducted on 65 patients diagnosed with portal vein thrombosis (n = 39) or tumor embolus (n = 26) who underwent abdominal dual-energy enhanced CT examination in our department from May 2022 to March 2024. Their clinical and imaging data were collected. Linear blending image (LB), non-linear blending image (NLB), 40 keV and 100 keV virtual monoenergetic image (VMI), iodine image and electron density/effective atomic number image (Rho/Zeff) were

［**基金项目**］ 重庆市临床重点专科建设项目(425Z41);重庆市影像医学与核医学临床医学研究中心科技计划项目(CSTC2015YFPT-gcjsyjzx0175)
［**通信作者**］ 张伟国,E-mail:wgzhang01@tmmu.edu.cn

2097-0927/Copyright © 2024, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

reconstructed with the aid of post-processing workstation. The image characteristics of thrombus were evaluated in LB images, including whether the vessel wall at the thrombus was smooth, whether the vessel at the thrombus was widen, and whether the embolus was neovascularization. The quantitative parameters and clinical laboratory indicators of PVT and PVTT in DECT were compared. Laboratory indicators included apha-fetoprotein (AFP), carcinoembryonic antigen (CEA), alanine aminotransferase (ALT) and aspartate aminotransferase (AST). Univariate and multivariate logistic regression analyses were employed to analyze DECT quantitative parameters, embolus image characteristics and clinical laboratory indicators. Then receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to evaluate the diagnostic efficiency of the quantitative parameters and combined model of DECT. **Results** Among the DECT parameters, except for Rho, the other parameters in PVTT were significantly higher than those in PVT ($P<0.05$). Multivariate logistic regression analysis showed that there were obvious differences in LB, NLB, CEA and AST ($P<0.05$), and NLB had better diagnostic efficacy (AUC: 0.830, sensitivity: 53.85%, specificity: 100.00%, accuracy: 81.54%). The combined model based on DECT quantitative parameters and clinical laboratory indicators (LB+NLB+CEA+AST) obtained the best diagnostic efficacy (AUC: 0.983, sensitivity: 96.15%, specificity: 92.31%, accuracy: 93.85%). **Conclusion** The combined imaging and clinical model based on DECT provides a reliable reference for the differential diagnosis of benign and malignant portal vein embolus, and it has potential application prospects.

[**Key words**] dual-energy CT; portal vein thrombosis; portal vein tumor thrombus

Supported by the Construction Project for Clinical Key Specialties of Chongqing (425Z41) and the Project of Science and Technology Plan of Chongqing Clinical Research Center of Imaging and Nuclear Medicine (CSTC2015YFPT-gcjsyjzx0175). Corresponding author: ZHANG Weiguo, E-mail: wgzhang01@tmmu.edu.cn

门静脉血栓(portal vein thrombosis,PVT)是一种重要的血管性疾病,肝硬化、肝癌、腹部炎症是其常见原因[1],而门静脉癌栓(portal vein tumor thrombus,PVTT)多发生于肝癌患者。据报道[2-3],4.6%~45.0%的肝癌患者可出现癌栓,部分患者门静脉系统内既可以出现血栓,也可以出现癌栓。血栓主要由纤维蛋白、红细胞、血小板等组成,可通过溶栓、抗凝进行治疗;癌栓通常由肿瘤侵犯到门静脉引起的,是导致预后不良的重要因素,与术后复发或肝内转移有关。故早期准确鉴别血栓和癌栓对后续治疗方案的选择及预后评估至关重要[4-5]。组织病理学检查是鉴别血栓和癌栓的金标准,但门静脉穿刺活检是有创操作,且存在危险的并发症,故在临床实践中多采用实验室检查与影像学检查结合进行判断。近年来,随着双能CT的不断发展,其后处理功能日益强大,较常规CT可提供更多信息,如线性融合图(linear blending, LB)、既提高图像对比度又降低图像噪声的非线性融合图(non-linear blending, NLB)、虚拟单能图(virtual monoenergetic image, VMI)、碘图(iodine concentration, IC)、电子云密度/有效原子系数图(electron density /effective atomic number, Rho/Zeff)等[6-8]。本研究旨在探讨双能CT定量参数联合临床实验室指标在鉴别门静脉血栓和癌栓的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究采用病例-对照研究设计方案,搜集2022年5月至2024年3月期间在陆军特色医学中心放射科接受腹部双能CT增强检查并诊断有PVT或PVTT的患者的临床及影像资料,记录患者年龄、性别及临床实验室数据[甲胎蛋白(alpha-feto protein, AFP)、癌胚抗原(carcinoembryonic antigen, CEA)、谷丙转氨酶(alanine aminotransferase, ALT)、谷草转氨酶(aspartate aminotransferase, AST)]。PVT纳入标准:①患者无肿瘤病史,肿瘤标志物正常;②病理结果证实为血栓;③经增强CT、MRI或超声检查诊断为血栓,并且有2名对患者临床情况不知情的高年资影像医师对检查结果达成一致,经抗凝、溶栓治疗后栓子减少或消失。上述3条标准,除第1条以外,第2、3条至少满足1条则诊断为PVT。PVTT纳入标准:①患者有肿瘤病史;②手术或穿刺病理结果证明为癌栓;③肿瘤直接侵犯门静脉;④增强CT检查栓子存在明显点状或线状强化。上述4条标准,除第1条以外,第2~4条满足其中2条则诊断为PVTT。PVT和PVTT的排除标准:①临床或影像资料不完整;②栓子太小(长径<3 mm);③图像质量不佳,伪影较重。血栓、癌栓同时存在且癌栓易辨认的视为癌栓病例,多发血栓或癌栓时仅评估

横断面横径最大的栓子。根据纳排标准最终纳入65例患者,其中血栓患者39例(病理证实24例,经2名医师达成一致15例,一致性检验Kappa值为0.806,未达成一致的则排除),癌栓患者26例。本研究经陆军特色医学中心伦理委员会批准[医研伦理(2024)第65号]。

1.2 CT扫描方法

使用西门子Force双源CT(Somatom Force;Siemens Healthineers,Forchheim,Germany)在双能模式下行腹部双能CT检查。管电压100 kV/Sn 150 kV,管电流采用自动控制技术自动调节,准直宽度128 mm×0.6 mm,旋转时间0.5 s,螺距1.2 mm,层间距0.6 mm,层厚0.6 mm。增强扫描采用高压注射器(德国欧利奇医疗公司)经右肘正中静脉注射碘克沙醇(270 mg/mL),流速为3.5~4.5 mL/s,剂量依据患者体质量计算(1.0~1.2 mL/kg),再以相同流速注射40 mL生理盐水冲洗。在降主动脉达到预定阈值(120 HU)后7 s自动触发动脉期扫描,注射造影剂80 s后获得静脉期双能CT图像数据。仅门静脉期双能CT数据用于后处理和图像分析。

1.3 图像处理与分析

扫描结束获得动静脉期100 kVp、Sn150 kVp图像及权重0.6的LB图像,将原始图像传入西门子Syngo. via后处理工作站,在双能量分析中选择"Optimum Contrast"进行非线性融合重建,LI等[9]研究发现当融合宽度w=0,融合中心λ=0时,可显著提高图像质量,故本研究将融合宽度w和融合中心λ设为0,重建NLB图像。选择"肝脏VNC(virtual non-contrast)"重建碘图,测量栓子碘浓度(iodine concentration,IC)和归一化碘浓度(normalized iodine concentration,NIC),$NIC = IC_{栓子}/IC_{主动脉}$。选择"单能+"重建虚拟单能图像,分别选择能级为40、100 keV时重建虚拟单能图,斜率(λ)=($CT_{40\ keV}$-$CT_{100\ keV}$)/60。选择"Rho/Zeff"重建电子云密度/等效原子系数图。在各个重建图像上测量栓子LB、NLB、40和100 keV的VMI、IC、NIC、Rho、Zeff的值并计算斜率(λ)。由2名高年资影像医师在各图像的最大横断面上,选择横径最大的栓子勾画圆形感兴趣区(region of interest,ROI),测量时选择栓子相对均质的部位,ROI至少包括栓子面积的2/3,面积为5~50 mm^2,测量时保持ROI的大小、形状和位置不变,尽量避开血管壁、钙化及周围组织。每组数据在连续层面上测量2次取平均值,同一病灶在不同后处理图像上选择同一层面。在LB图像上评估栓子CT影像特征,包括附栓处血管壁是否光滑、附栓处血管有无增宽、栓子有无新生血管(增强CT中栓子存在明显点状或线状强化可视为存在新生血管)。

1.4 统计学分析

采用SPSS 27.0软件和MedCalc 20.1软件进行统计分析,计量资料服从正态分布的以$\bar{x}\pm s$表示,组间比较采用独立样本t检验;不服从正态分布的以$M(P_{25},P_{75})$表示,组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料以例(%)描述,组间比较采用χ^2检验。Kappa检验或组间相关系数(intraclass correlation coefficients,ICC)用于评价观察者间一致性,Kappa值或ICC>0.75可认为一致性良好至优秀。采用Logistic回归分析癌栓发生的相关因素,并构建诊断模型,使用Delong检验比较各ROC曲线下面积(area under curue,AUC)差异,进一步筛选最佳诊断方法,$P<0.05$表示差异具有统计学意义。在单因素Logistic回归分析中,对于癌栓的诊断具有重要提示作用的实验室指标,$P<0.1$也可纳入多因素Logistic回归分析。

2 结果

2.1 癌栓组与血栓组患者临床基线特征比较

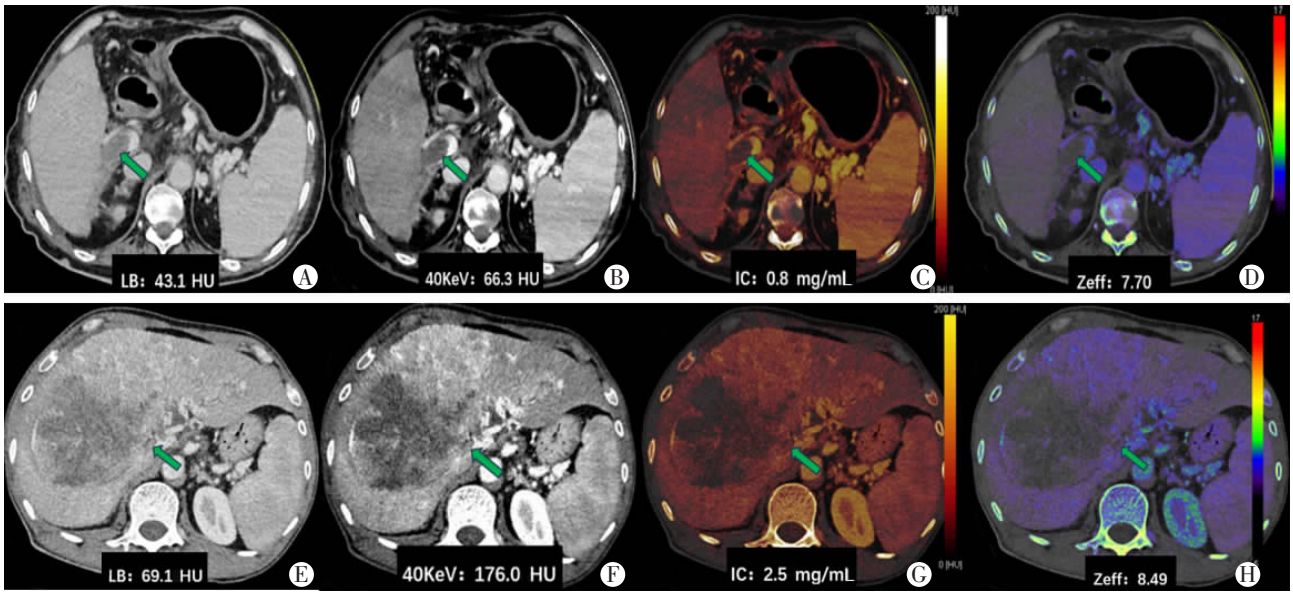
65例患者分为2组:血栓组39例,其中男29例,女10例,年龄25~90(57.79±15.87)岁;癌栓组26例,其中男17例,女9例,年龄23~85(62.88±13.79)岁,2组患者的年龄、性别差异无统计学意义。癌栓组26例均有肿瘤病史,其中原发性肝癌18例,肝转移瘤8例;血栓组39例均无肿瘤病史。血栓组患者具有稳定的肝功能和正常的肿瘤标志物,癌栓组实验室指标均高于血栓组,差异具有统计学意义($P<0.05$)。与血栓相比,癌栓可表现为附栓处血管壁不光滑、附栓处血管增宽、栓子中存在新生血管,差异具有统计学意义($P<0.05$,表1)。

2.2 癌栓组与血栓组患者双能CT参数比较

与血栓相比,癌栓在LB、40keV虚拟单能图、IC、Zeff中都表现出更高的参数值。与等效于常规CT的LB相比,在40keV虚拟单能图中无论是血栓还是癌栓CT值都显著升高,在40keV虚拟单能图中癌栓与血栓CT值差值为109.7 HU,远高于LB中癌栓与血栓CT值之差26 HU,在40keV虚拟单能图中增大了癌栓与血栓间CT值差异,更有利于主观识别(图1)。双能CT的定量参数除Rho在癌栓和血栓之间差异无统计学意义外,其余定量参数在癌栓中均高于血栓,差异具有统计学意义($P<0.05$)。组间相关系数ICC均>0.75,说明各参数值在2名医师间具有较好的一致性(表2)。

表 1 癌栓组与血栓组的基线特征比较 [$\bar{x}\pm s$,例(%),$M(P_{25},P_{75})$]

基线资料	血栓(n=39)	癌栓(n=26)	$t/Z/\chi^2$	P
年龄/岁	57.79±15.87	62.88±13.79	−1.333	0.187
性别			0.607	0.436
男性	29(74.36)	17(65.38)		
女性	10(25.64)	9(34.62)		
附栓处血管壁			5.437	0.020
光滑	25(64.10)	9(34.62)		
不光滑	14(35.90)	17(65.38)		
附栓处血管增宽			7.565	0.006
有	12(30.77)	17(65.38)		
无	27(69.23)	9(34.62)		
栓子新生血管			17.727	<0.001
有	0	10(38.46)		
无	39(100.00)	16(61.54)		
AFP/(ng/mL)	3.35(2.73,4.56)	5.31(3.47,70.88)	−2.986	0.003
CEA/(ng/mL)	2.29(1.77,2.58)	3.16(2.15,4.38)	−2.524	0.012
ALT/(U/L)	28.50(19.20,30.50)	60.10(25.15,94.13)	−2.652	0.008
AST/(U/L)	31.30(26.40,38.70)	93.20(40.98,165.18)	−3.294	<0.001



A~D:79 岁男性门静脉血栓患者 LB、40keV 虚拟单能图、IC、Zeff 血栓测量图 箭头所示:血栓;E~H:52 岁男性门静脉癌栓患者 LB、40keV 虚拟单能图、IC、Zeff 癌栓测量图 箭头所示:癌栓

图 1 癌栓和血栓患者的双能 CT 图

表 2 癌栓组和血栓组患者双能 CT 参数比较 [$\bar{x}\pm s$,$M(P_{25},P_{75})$]

参数	血栓组(n=39)	癌栓组(n=26)	t/Z	P	ICC
LB/HU	41.12±13.17	55.44±17.01	−3.818	<0.001	0.957
NLB/HU	45.66±13.97	69.85±19.51	−5.831	<0.001	0.965
40keV/HU	70.46±22.97	123.79±38.15	−7.037	<0.001	0.950
100keV/HU	35.67±13.23	45.14±14.36	−2.731	0.008	0.974
斜率(λ)	0.58±0.34	1.31±0.56	−6.609	<0.001	0.928
IC/(mg/mL)	0.59±0.54	1.29±0.62	−4.781	<0.001	0.885
NIC	0.09(0.03,0.22)	0.26(0.17,0.34)	−3.803	<0.001	0.916
Rho/HU	30.25(17.45,36.95)	32.70(23.28,40.20)	−0.911	0.363	0.971
Zeff/HU	7.74±0.30	8.22±0.43	−5.328	<0.001	0.963

2.3 变量筛选及 Logistic 回归模型构建

单因素和多因素 Logistic 回归分析结果见表 3。单因素 Logistic 回归分析结果显示,双能 CT 定量参数中除 Rho(P>0.05)外,其余参数 P 均<0.05,纳入多因素分析。影像特征中栓子新生血管这一指标由于亚组间病例数差异过大导致 OR 过大,不纳入多因素 Logistic 回归分析,附栓处血管壁是否光滑、附栓处血管有无增宽 2 个指标 P<0.05,纳入多因素 Logistic 回归分析。实验室指标中 ALT、AST 的 P<0.05,虽然 CEA P>0.05,但对于重要变量 CEA P<0.1 也可纳入多因素分析。在单因素分析的基础上采用逐步回归构建多因素联合模型,最终 LB、NLB、CEA、AST 等 4 个指标纳入联合模型。

2.4 双能 CT 定量参数及联合模型 ROC 曲线分析

ROC 曲线分别分析双能 CT 定量参数和联合模型对癌栓的鉴别诊断效能,DECT 曲线下面积 AUC 为 0.939,明显高于等效于常规 CT 的 LB 图 AUC 值,差异具有统计学意义(P<0.05),而NLB的敏感性为53.85%,特异性为 100.00%,差异较大。实验室指标中,CEA 和 AST 的 AUC 值分别为 0.686 和 0.743,均低于 0.8。双能 CT 定量参数与实验室指标结合构建的联合模型 AUC 值为 0.983,敏感性为 96.15%,特异性为 92.31%,准确率为 93.85%,与双能 CT 单一参数和实验室指标相比差异均具有统计学意义(P<0.05),综合诊断效能最佳(表 4、图 2)。

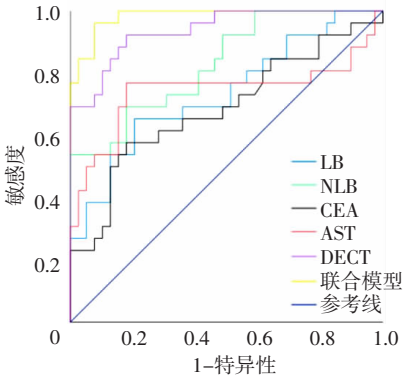


图 2 ROC 曲线评估癌栓与血栓的鉴别诊断效能

表 3 癌栓鉴别诊断相关因素 Logistic 回归分析

变量	单因素分析		多因素分析			
			DECT		联合模型	
	OR(95%*CI*)	*P*	*OR*(95%*CI*)	*P*	*OR*(95%*CI*)	*P*
LB	1.066(1.025~1.108)	0.001	0.690(0.560~0.851)	<0.001	0.538(0.348~0.831)	0.005
NLB	1.094(1.045~1.145)	<0.001	1.525(1.238~1.879)	<0.001	1.893(1.229~2.914)	0.004
40KeV	1.067(1.033~1.102)	<0.001				
100KeV	1.052(1.011~1.095)	0.012				
斜率(λ)	42.355(7.013~255.818)	<0.001				
IC	7.851(2.591~23.789)	<0.001				
NIC	1 327.918(16.076~109 690.513)	0.001				
Rho	1.019 (0.984~1.056)	0.293				
Zeff	37.068(5.753~238.842)	<0.001				
附栓处血管壁是否光滑	3.373(1.193~9.540)	0.022				
附栓处血管有无增宽	4.250(1.478~12.218)	0.007				
AFP	1.080(0.961~1.214)	0.197				
CEA	1.452(0.967~2.179)	0.072			1.414(0.700~2.859)	0.334
ALT	1.036(1.013~1.060)	0.002				
AST	1.024(1.009~1.040)	0.001			1.038(0.996~1.083)	0.080

DECT:LB+NLB;联合模型:LB+NLB+CEA+AST

表 4 双能 CT 定量参数及联合模型对癌栓鉴别诊断效能

	AUC	截断值	约登指数	敏感性/%	特异性/%	阳性预测值/%	阴性预测值/%	准确率/%	*P* (*vs* DECT)	*P* (*vs* 联合模型)
LB	0.735	51.00	0.449	65.38	79.49	68.00	77.50	73.85	0.001	<0.001
NLB	0.830	69.75	0.539	53.85	100.00	100.00	76.47	81.54	0.014	0.002
CEA	0.686	2.81	0.397	57.69	82.05	68.18	74.42	72.31	0.002	<0.001
AST	0.743	43.80	0.590	76.92	82.05	74.07	84.21	80.00	0.023	0.002
DECT	0.939	0.25	0.744	92.31	82.05	77.42	94.12	86.15	-	0.068
联合模型	0.983	0.31	0.885	96.15	92.31	89.29	97.30	93.85	0.068	-

3 讨论

准确鉴别门静脉癌栓和血栓以及对癌栓的准确分型对患者的治疗方案选择及预后评估至关重要[10],鉴于穿刺活检为有创检查,影像学检查越来越多的在PVTT和PVT的鉴别中发挥重要作用。既往有研究者采用不同的影像学方法来鉴别癌栓和血栓,比如SARSWAT等[11]利用PET-CT根据血栓和癌栓成分的不同,FDG摄取存在差异对其进行鉴别,但PET-CT检查费用较高限制了其临床常规使用。ABOELEZZ等[12]采用超声横波弹性成像(shear wave elastography,SWE)来鉴别血栓和癌栓,SWE是一种新型超声成像技术,是基于组织的弹性、硬度会随着病理变化而变化的原理,进而对血栓和癌栓进行鉴别,但是超声检查易受操作者经验和技术的影响而产生偏差。GENG等[13]用磁共振弥散成像来鉴别门静脉血栓和癌栓,发现血栓的ADC值高于癌栓,差异有统计学意义($P<0.05$),但是血栓ADC值的范围较广,和癌栓的ADC值有部分重叠,此外血栓的演变是动态的,ADC值会随时间的变化而发生变化,故其应用受到一定的限制。

本研究希望找到一种相对经济、无创且有效的方法来鉴别门静脉癌栓和血栓。双能CT作为一种新型的CT成像技术,相比常规CT,可降低辐射剂量、减少伪影,提高组织间对比度,表征组织成分等,双能CT具有强大的后处理功能,可根据需要进行相应的图像重建,同时常规图像质量不佳时也可以作为一种补救措施重建质量更好的图像,减少患者二次检查,减少辐射剂量和检查费用。既往有研究者利用双能CT鉴别栓子良恶性,但多采用单一技术进行鉴别,如MARTIN等[14]利用噪声优化虚拟单能成像在不同能级下比较栓子的信噪比、对比噪声比以及图像噪声来进行鉴别。ASCENTI等[15]利用碘图比较栓子碘浓度的差异来对癌栓和血栓进行鉴别。门静脉癌栓的特点是有活的肿瘤细胞和新生血管,而血栓主要由纤维蛋白、红细胞、血小板等组成,缺乏供血血管,二者成分不同,增强扫描强化程度也不一样,SHERMAN等[16]研究表明癌栓存在明显强化,而血栓表现为弱强化或不强化。门静脉栓子的可检测性很大程度上取决于栓子的大小,此外在癌栓中也不是都能观察到明显的点状或线状强化,尤其是当栓子较小的时候,故提高栓子与周围组织间对比度对提高诊断效率很重要。

本研究显示,在癌栓组中观察到新生血管的比例占38.46%,与GAVRIILIDIS等[4]的研究结果相似。双能CT各定量参数,如NLB、VMI是通过采用不同的方式增加组织间对比度,从而较常规增强CT提高对栓子的主观识别、定位和描述。NLB通过调节融合中心、融合宽度等参数来提高图像对比度,同时降低图像噪声,使图像整体质量达到最佳。VMI通过调节能级的大小来调整图像对比度,keV值较低时可显著提升图像对比度[17],但图像噪声也升高。本研究中40 keV时癌栓组CT值较血栓组升高75.69%,血栓和癌栓之间的CT值差异增大,更容易被鉴别。双能CT碘图可以看成CT灌注成像,IC值可以表征组织的灌注状态,IC值的高低与组织中血管的丰富程度有关,癌栓中存在新生血管,血供相对丰富,故癌栓比血栓有更高的IC值,而NIC消除了个体循环因素和扫描时间差异,是一个比IC更稳定的指标,与CAO等[18]之前的研究一致。Zeff表示组织中物质的平均原子系数,与组织成分密度和碘含量有关。本研究显示,癌栓组Zeff高于血栓组($P<0.05$),与WANG等[19]的研究结果一致。这可能是因为癌栓中肿瘤细胞和新生血管增生导致密集的细胞堆积和较高的碘积累,进一步导致Zeff值升高。总之,双能CT各后处理技术各有优缺点,单一参数的使用难以达到最佳诊断效能,况且影像与临床结合进行诊断也是大势所趋,故本研究将双能CT定量参数、影像特征及临床指标进行结合构建联合模型,由于部分指标具有一定相关性,为避免多重共线性而被排除,最终构建的联合模型综合诊断效能最佳。

综上所述,对于门静脉癌栓和血栓的鉴别可通过双能CT定量参数、影像学征象及临床实验室指标进行综合诊断,双能CT定量参数、临床实验室指标可定量分析癌栓和血栓的区别,比如:NLB、VMI通过增加组织间对比度来提高栓子诊断准确率,碘图通过比较栓子的碘含量来判断栓子的血供情况进而判断栓子性质;临床指标中CEA、AST等可定量评估肝功能状态。影像学征象可定性分析癌栓和血栓的区别,比如:癌栓附栓处血管壁多不光滑、附栓处血管多有明显增宽、栓子可见新生血管等。本研究将双能CT定量参数、临床实验室指标结合构建联合模型,为门静脉癌栓和血栓的鉴别提供了参考依据,具有潜在的应用前景。本研究的局限性:①样本数量有限,无法进行亚组分析,限制了研究结果的普遍性,下一步将在多中心运用大样本进行验证。②本研究是基于西门子Force双源双能CT,不同厂家的双能CT系统有一定差异,下一步将在不同品牌双能CT上进行验证。

参考文献:

[1] MANTAKA A, AUGOUSTAKI A, KOUROUMALIS E A, *et al*. Portal vein thrombosis in cirrhosis: diagnosis, natural history, and therapeutic challenges[J]. Ann Gastroenterol,

2018, 31(3): 315-329. DOI: 10.20524/aog.2018.0245.
[2] LV Y, BAI W, ZHU X, *et al*. Association of nonmalignant portal vein thrombosis and clinical outcomes in patients with cirrhosis and acute variceal bleeding: a multicenter observational study[J]. Hepatol Int, 2023, 17(5): 1192-1204. DOI: 10.1007/s12072-023-10493-1.
[3] DENGZ J, LI L, TENG Y X, *et al*. Treatments of hepatocellular carcinoma with portal vein tumor thrombus: current status and controversy[J]. J Clin Transl Hepatol, 2022, 10(1): 147-158. DOI: 10.14218/JCTH.2021.00179.
[4] GAVRIILIDIS P, PAWLIKT M, AZOULAY D. Comprehensive review of hepatocellular carcinoma with portal vein tumor thrombus: State of art and future perspectives[J]. Hepatobiliary Pancreat Dis Int, 2024, 23(3): 221-227. DOI: 10.1016/j.hbpd.2023.10.009.
[5] BENATATOS N, PAPADOPOULOU I, ASSIMAKOPOULOSS F, *et al*. Surgical management in hepatocellular carcinoma with portal vein tumour thrombosis: is this the end of the road or a chance to expand the criteria for resectability? [J]. Prz Gastroenterol, 2022, 17(4): 257-265. DOI: 10.5114/pg.2022.118138.
[6] JIANG J X, GU H M, LI M D, *et al*. The value of dual-energy computed tomography angiography-derived parameters in the evaluation of clot composition[J]. Acad Radiol, 2023, 30(9): 1866-1873. DOI: 10.1016/j.acra.2022.12.023.
[7] PANYAPING T, UDOMKAEWKANJANA N, KEANDOUNGCHUN J. Utility of dual energy CT in differentiating clot in acute ischemicstroke[J]. Neuroradiol J, 2023, 36(4): 435-441. DOI: 10.1177/19714009221147234.
[8] HONG Y J, SHIM J, LEE S M, *et al*. Dual-energy CT for pulmonary embolism: current and evolving clinical applications[J]. Korean J Radiol, 2021, 22(9): 1555-1568. DOI: 10.3348/kjr.2020.1512.
[9] LI Q, TAN H, LV F R. Molecular characterization of solitary pulmonary nodules in dual-energy CT nonlinear image fusion technology[J]. J Recept Signal Transduct Res, 2022, 42(1): 95-99. DOI: 10.1080/10799893.2020.1853158.
[10] PAN C, DAI F, SHENG L, *et al*. Clinical application of spectral CT perfusion scanning in evaluating the blood supply source of portal vein tumor thrombus in hepatocellular carcinoma[J]. Front Oncol, 2024;13:1348679. DOI:10.3389/fonc.2023.1348679.
[11] SARSWAT S, KHAN D, SAGAR S, *et al*. Role of 18 F-FDG PET/CT in the diagnosis of benign *vs*. malignant tumor thrombus[J]. Nucl Med Commun, 2023, 44(8): 726-731. DOI: 10.1097/MNM.0000000000001708.
[12] ABOELEZZ AHMAD A F, ELSAWY A A, OMAR H M, *et al*. The role of shear wave elastography in differentiation between benign and malignant portal vein thrombosis in hepatocellular carcinoma[J]. Egypt J Radiol Nucl Med, 2022, 53(1): 188. DOI: 10.1186/s43055-022-00872-3.
[13] GENG C Z, SONG L H, MI Y C, *et al*. The usefulness of diffusion-weighted imaging for differentiating portal vein thrombus from tumour embolus[J]. Imag Sci J, 2016, 64(5): 279-284. DOI: 10.1080/13682199.2016.1177293.
[14] MARTIN S S, KOLANECI J, CZWIKLA R, *et al*. Dual-energy CT for the detection of portal vein thrombosis: improved diagnostic performance using virtual monoenergetic reconstructions[J]. Diagnostics, 2022, 12(7): 1682. DOI: 10.3390/diagnostics12071682.
[15] ASCENTI G, SOFIA C, MAZZIOTTI S, *et al*. Dual-energy CT with iodine quantification in distinguishing between bland and neoplastic portal vein thrombosis in patients with hepatocellular carcinoma[J]. Clin Radiol, 2016, 71(9): 938.e1-938.e9. DOI: 10.1016/j.crad.2016.05.002.
[16] SHERMAN C B, BEHR S, DODGEJ L, *et al*. Distinguishing tumor from bland portal vein *Thrombus* in liver transplant candidates with hepatocellular carcinoma: the A-VENA criteria[J]. Liver Transpl, 2019, 25(2): 207-216. DOI: 10.1002/lt.25345.
[17] YUAN X, QUAN X, CHEX L, *et al*. Preoperative prediction of the lymphovascular tumor thrombus of colorectal cancer with the iodine concentrations from dual-energy spectral CT[J]. BMC Med Imaging, 2023, 23(1): 103. DOI: 10.1186/s12880-023-01060-z.
[18] CAO Y T, ZHANG G J, BAO H H, *et al*. Development of a dual-energy spectral CT based nomogram for the preoperative discrimination of mutated and wild-type KRAS in patients with colorectal cancer[J]. Clin Imaging, 2021, 69: 205-212. DOI: 10.1016/j.clinimag.2020.08.023.
[19] WANG P, TANG Z H, XIAO Z B, *et al*. Dual-energy CT in differentiating benign sinonasal lesions from malignant ones: comparison with simulated single-energy CT, conventional MRI, and DWI[J]. Eur Radiol, 2022, 32(2): 1095-1105. DOI: 10.1007/s00330-021-08159-3.

(收稿:2024-06-24;修回:2024-08-26)
(编辑 汪勤俭)