

论 著

能谱CT容积参数联合
肝脏体积预测肝硬化食
管静脉曲张出血*郭 钰^{1,2,3,4} 徐 媛^{1,2,3,4} 史佳丽^{1,2,3,4}
杨新梅^{1,2,3,4} 张宏瑜^{1,2,3,4} 刘建莉^{1,2,3,4,*}1.兰州大学第二医院放射科
2.甘肃省医学影像重点实验室
3.兰州大学第二临床医学院
4.医学影像人工智能甘肃省国际科技合作
基地 (甘肃 兰州 730030)

【摘要】目的 探讨能谱CT容积定量参数对肝硬化食管静脉曲张出血(EVB)的预测价值。**方法** 回顾性分析2022年12月至2023年9月在本院行门静脉能谱CT增强扫描的73例肝硬化食管静脉曲张患者的临床及影像资料,其中未出血组41例,出血组32例。以单因素分析及多因素Logistic回归分析筛选EVB的临床、实验室检查指标、常规CT表现及增强门脉期能谱CT容积定量参数相关独立预测因素,构建回归模型。绘制受试者工作特征(ROC)曲线,计算曲线下面积(AUC),评估独立预测因素及回归模型对EVB的预测效能。**结果** 血红蛋白(HGB)、红细胞压积(HCT)、标准化肝脏体积比(SLVR)和70keV单能量CT值均为肝硬化EVB的独立预测因素($OR=1.145、0.526、0.949、0.925、P=0.035、0.009、0.010、0.021$),其预测EVB的AUC分别为0.736、0.769、0.661和0.657,回归模型的AUC为0.868。**结论** 能谱CT容积参数联合实验室指标对肝硬化食管静脉曲张破裂出血具有较好的预测效能,有助于临床治疗的选择。

【关键词】 食管静脉曲张出血; 能谱CT;
容积分析; 肝脏体积

【中图分类号】 R571

【文献标识码】 A

【基金项目】 甘肃省卫生行业科研计划优秀青年
人才和骨干人才项目
(GSWSQN2023-04);
兰州大学第二医院"萃英研究生导师"
培养计划项目(CYDSPY202003)。

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.035

Spectrum CT Volumetric Parameters
Combined with Liver Volume Predict
Esophageal Variceal Bleeding in Cirrhosis*GUO Yu^{1,2,3,4}, XU Yuan^{1,2,3,4}, SHI Jia-li^{1,2,3,4}, YANG Xin-mei^{1,2,3,4}, ZHANG Hong-yu^{1,2,3,4}, LIU Jian-li^{1,2,3,4,*}

1.Department of Radiology, the Second Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730030, Gansu Province, China

2.Key Laboratory of Medical Imaging of Gansu Province, Lanzhou 730030, Gansu Province, China

3.The Second Clinical School, Lanzhou University, Lanzhou 730030, Gansu Province, China

4.Gansu International Science and Technology Cooperation Base for Artificial Intelligence in Medical Imaging, Lanzhou 730030, Gansu Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the predictive value of quantitative spectrum CT volume parameters for esophageal variceal bleeding (EVB) in cirrhosis. **Methods** Clinical and imaging data of 73 patients with cirrhotic esophageal varices who underwent portal vein energy spectrum CT enhancement scanning at our hospital from December 2022 to September 2023 were retrospectively analyzed, including 41 cases in the non-bleeding group and 32 cases in the bleeding group. Independent predictors related to clinical and laboratory examination indexes, routine CT performance and quantitative parameters of enhanced portal spectrum CT volume of EVB were screened by univariate analysis and multifactorial logistic regression analysis, and regression models were constructed. The ROC curves were plotted, and the area under the curve (AUC) was calculated to evaluate the predictive efficacy of the independent predictors and regression model for EVB. **Results** Hemoglobin (HGB)、Hematocrit (HCT)、Standard liver volume ratio (SLVR) and 70keV single-energy CT value were independent predictors of EVB in cirrhosis ($OR=1.145, 0.526, 0.949, 0.925, P=0.035, 0.009, 0.010, 0.021$), and their AUCs for predicting EVB were 0.736, 0.769, 0.661, and 0.657, respectively. The AUC of the regression model was 0.868. **Conclusion** Spectrum CT volumetric parameters combined with laboratory indices have good predictive efficacy for ruptured esophageal variceal hemorrhage in cirrhosis and help in the choice of clinical treatment.

Keywords: Esophageal Variceal Hemorrhage; Spectrum CT; Volumetric Analysis; Liver Volume

食管静脉曲张是肝硬化门脉高压患者最严重的并发症之一, 发生率达50%, 而由食管静脉曲张导致的出血发生率较高, 且6周死亡率达到20%^[1]。约60%食管静脉曲张破裂出血(esophageal variceal bleeding, EVB)患者在1-2年内可发生再次出血, 因再出血而死亡的患者可达25%-33%^[2]。因此, 早期预测、及时诊断EVB, 对提高肝硬化患者总生存率、改善生活质量等是至关重要的。目前, Baveno VI指南建议将内窥镜检查作为诊断EVB的“金标准”^[3], 但其为有创检查, 部分患者不能耐受, 患者依从性差, 临床应用存在一定局限性。

能谱CT作为一种新兴的能量成像技术, 可在降低辐射剂量、优化图像质量的同时, 还能获得更多定量参数, 如碘(水)浓度(iodine concentration, IC)、水(碘)浓度(water concentration, WC)、有效原子序数(effective atomic number, Eff-Z)及单能量CT值, 可客观分析和评价组织器官的功能状态^[4]。能谱CT常规测量是通过在病灶放置感兴趣区域ROI进行定量检测, 难以反映整体肝脏的情况。目前, 已有大量研究证实, 能谱CT容积分析方法可有效反映脏器的整体情况, 在预测结直肠、肝脏疾病的预后及疗效等方面有一定的临床价值^[5-6]。肝硬化作为一种肝脏改变不均匀的疾病, 容积定量方法提供的肝脏整体形态、功能及血流动力学信息, 是有效避免人工勾画ROI的手段。因此, 本研究采用能谱CT容积分析联合临床检测指标, 构建肝硬化食管静脉曲张患者出血的预测模型并分析其应用价值, 以期临床诊治食管静脉曲张提供新的、早期、准确便捷的评估方法。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性收集2022年12月至2023年9月在本院行门静脉增强CT的肝硬化患者, 回顾性分析其能谱CT影像数据和临床资料。

纳入标准: 患者年龄 ≥ 18 岁; 经临床或病理确诊为肝硬化; 均行胃镜检查并证实存在食管静脉曲张; 门静脉能谱CT增强扫描资料完善; CT检查前后2周内完成血清实验室检查。对纳入患者进行电话随访或再入院记录查询, 以第一次出现EVB或2024年7月1日为随访终点。排除标准(符合以下任意一条): 肝内病灶单个病灶直径或多个病灶直径总和大于3cm, 或肝弥漫性占位性病变; 既往行内镜下食管静脉曲张硬化治疗、结扎术等以及肝胆外科手术、脾切除或血管内外的介入治疗手术; 胆道狭窄、梗阻; 门静脉及其分支、属支血栓/癌栓, 门静脉海绵样变; 图像质量差。最终纳入73例, 其中未出血组41例, 出血组32例。本研究经过兰州大学第二医院伦理委员会批准(2022A-112), 豁免患者知情同意。

【第一作者】 郭 钰, 女, 住院医师, 主要研究方向: 腹部影像学。E-mail: guooyu@163.com

【通讯作者】 刘建莉, 女, 主任技师, 主要研究方向: 腹部及心血管方向。E-mail: liujl_1219@163.com

1.1.1 食管静脉曲张出血 符合下列条件可诊断为EVB：内镜下可见曲张静脉活动性出血(渗血、喷血)、血栓头，或存在静脉曲张又未发现其他可解释出血的病变^[7]。

1.2 临床及胃镜资料收集 记录患者的一般信息，包括年龄、性别、肝硬化病因。收集实验室指标包括白细胞(WBC)、血红蛋白(HGB)、红细胞压积(HCT)、白蛋白(ALB)、丙氨酸氨基转移酶(ALT)、天门冬氨酸氨基转移酶(AST)、总胆红素(TBIL)、肌酐(Cr)、凝血酶原时间(PT)、国际标准化比值(INR)。计算白蛋白-胆红素(albumin-Bilirubin, ALBI)评分，ALBI评分= $-0.085 \times \text{ALB}(\text{g/L}) + 0.66 \times \lg \text{TBil}(\mu\text{mol/L})$ 。胃镜观察指标：红色征。

1.3 扫描仪器与方法 采用宝石能谱CT扫描仪(GE Discovery CT 750HD)行肝脏增强三期扫描，扫描当天禁食，扫描前15~30 min嘱患者饮水1000-1500mL以充盈胃部；患者取仰卧位，扫描范围从肝顶部至双侧髂前上棘。扫描参数：平扫管电压120 kVp，管电流为自动毫安秒。增强扫描采用能谱扫描模式(GSI)，管电压80/140 kVp 快速切换(切换速率0.5 ms)，管电流375mA，螺旋扫描速度0.6 s/r，螺距1.375，准直器宽度0.625 mm×64mm，重建模式Std、30%Asir，重建层厚及层间距1.25 mm。采用高压注射器经肘前静脉。注入增强扫描对比剂碘海醇(300 mgI/mL)，剂量80~120mL(1.0 mL/kg体重)，注射速率3.5~4.0 mL/s，于膈肌水平腹主动脉检测触发阈值100 HU后8 s行动脉期扫描，动脉期后25 s、120 s分别扫描门静脉期及延迟期，其中门静脉期采用单源双电压球管间瞬时切换的能谱成像模式进行扫描。

1.4 图像分析及数据测量

1.4.1 常规CT指标包括：门静脉直径(portal vein diameter, PVD)；脾静脉直径(splenic vein diameter, SVD)

PSD和SVD测量方法：在门静脉期的最大密度投影(maximum intensity projection, MIP)图上进行PVD、SVD的测量，避开血管分叉处并选择血管主干的最宽处进行测量。如图1所示。

1.4.2 能谱CT数据 原始图像数据采集完成后，将重建后的门静脉期能谱图像导入ADW 4.7后处理工作站，采用能谱后处理工作站专用软件包(GSI Volume Viewer)进行图像后处理和数据测量。利用hepatic VACR后处理软件对门静脉期肝脏进行自动提取，

可手动勾画修改轮廓，尽可能避免胆囊、大血管(下腔静脉、门静脉)，重建出肝脏整体的VR图像。利用GSI软件提取全肝的单能量图、碘(水)浓度图、水(碘)浓度图和有效原子序数图。在VR图像的基础上分别测量门脉期整个肝脏的体积(liver volume, LV)、40keV-70keV单能量CT值、IC、WC、和Eff-Z。并根据患者体表面积手动计算标准化肝脏体积比(standard liver volume ratio, SLVR)^[8]。同时获得整个肝脏对应节段腹主动脉VR图，测量其腹主动脉IC，计算标准化碘浓度(normalized iodine concentration, NIC)。

SLVR的计算公式如下：SLVR= LV/SLV

标准化肝脏体积(Standard liver volume, SLV)^[9]=706.2×体表面积(m²)+2.4

体表面积(m²)^[10]=体重(kg)^{0.425}×身高(cm)^{0.725}×0.007184

NIC计算公式：NIC=IC_{肝脏}(100μg/cm³)/IC_{腹主}(100μg/cm³)

1.5 统计学方法 使用SPSS 27.0软件(IBM, Armonk, New York, USA)及Medclac进行统计分析。符合正态分布的连续变量用均值±标准差表示，组间比较采用独立样本t检验；不符合正态分布的连续变量用中位数(四分位数间距)表示，组间比较采用Mann-Whitney U检验。计数资料组间比较采用χ²检验或Fisher检验。通过单因素和多因素Logistic回归分析确定与出血相关的危险因素。将单因素分析中具有统计学意义的参数纳入多因素Logistic回归，逐步回归法筛选出独立预测因子并建立回归模型，绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线，并计算曲线下面积(area under the curve, AUC)、敏感度和特异度，采用Delong检验进行AUC比较。P<0.05认为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料 本研究共纳入73例肝硬化患者，男性46例，女性27例，根据是否合并食管静脉曲张破裂出血分为未出血组(n=41例)和出血组(n=32例)，两组基线资料见表1。两组间肝硬化病因、红色征、HGB、HCT、白蛋白、ALBI评分差异具有统计学意义(P<0.05)，其余指标组间差异无统计学意义(P>0.05)。

表1 两组患者一般资料比较

指标	未出血组(n=41)	出血组(n=32)	z/t/χ ² 值	P值
年龄(岁)	55.2±10.3	53.4±10.9	0.725	0.471
性别			0.324	0.630
男	27(65.9%)	19(59.4%)		
女	14(34.1%)	13(40.6%)		
肝硬化病因			11.623	0.013
乙型肝炎	21(51.2%)	15(46.9%)		
丙型肝炎	0(0)	2(6.2%)		
自身免疫性肝炎	3(7.3%)	10(31.3%)		
原发性胆汁性肝炎	7(17.1%)	2(6.2%)		
其他	10(24.4%)	3(9.4%)		
腹水			0.706	0.482
无	19(51.4%)	22(61.1%)		
有	18(48.6%)	14(38.9%)		
红色征			7.582	0.008
无	22(75.9%)	19(43.2%)		
有	7(24.1%)	25(56.8%)		
白细胞WBC(10 ⁹ /L)	2.93(2.10, 4.35)	3.70(2.49, 6.13)	-1.618	0.106
血红蛋白HGB(g/L)	125.76±26.103	99.63±31.581	3.870	<0.001
红细胞压积HCT(L/L)	0.38±0.07	0.30±0.09	4.475	<0.001
肌酐Cr(μmol/L)	61.47±15.08	64.77±17.16	-0.874	0.385
血清总胆红素TBIL(μmol/L)	27.30(19.10, 36.85)	32.00(16.93, 41.13)	-0.284	0.777
丙氨酸氨基转移酶ALT(U/L)	33.00(19.50, 48.00)	35.00(23.00, 55.25)	-0.623	0.533
天门冬氨酸氨基转移酶AST(U/L)	46.00(30.50, 65.50)	42.00(32.25, 64.50)	-0.200	0.841
白蛋白ALB(g/L)	34.70±4.77	32.17±4.22	2.364	0.021
白蛋白-胆红素评分ALBI	-1.994±0.442	-1.760±0.409	-2.326	0.023
凝血酶原时间PT(s)	13.92±2.00	13.50±2.30	-1.163	0.249
国际标准化比值INR	1.27±0.18	1.32±0.20	-1.034	0.304

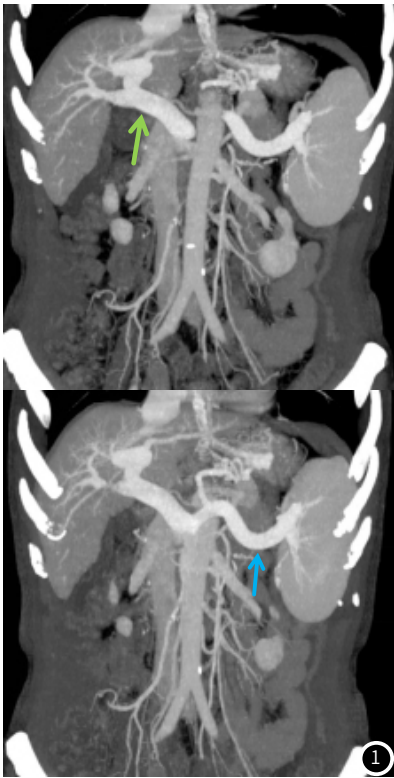


图1 增强CT门静脉期的冠状位MIP图像：门静脉(绿色箭头)、脾静脉(蓝色箭头)。

2.2 常规CT参数及能谱CT容积定量参数 两组患者LV、SLVR、50keV-70keV单能量CT值、NIC差异具有统计学意义($P<0.05$)，WC、Zeff、40keV单能量CT值组间差异无统计学意义($P>0.05$)(表2)。

2.3 单因素及多因素Logistic分析结果 在单因素Logistic分析中，红色征、HGB、HCT、白蛋白、ALBI评分、肝脏体积、SLVR、50keV-70keV单能量CT值、NIC差异具有统计学意义($P<0.05$)。多因素Logistic分析显示HGB、HCT、SLVR、70keV单能量CT值均为肝硬化食管胃底静脉曲张破裂出血的独立预测因素($P<0.05$)，采用以上独立预测因子构建临床-影像综合模型(表3)。

表2 两组患者常规CT及能谱CT容积参数比较

指标	未出血组(n=41)	出血组(n=32)	$z/t/\chi^2$ 值	P值
常规CT征象				
门静脉内径(cm)	1.61±0.35	1.56±0.21	0.702	0.485
脾静脉内径(cm)	1.02±0.29	1.02±0.25	0.085	0.933
LV(cm ³)	1100.90±347.56	930.38±238.90	2.480	0.016
SLV(cm ³)	1179.24±129.92	1200.35±118.90	-0.715	0.477
标准化肝脏体积比	0.86(0.74, 1.10)	0.79(0.64, 0.86)	-2.346	0.019
能谱CT参数				
IC(100μg/cm ³)	16.41±4.59	15.56±4.08	0.826	0.411
WC(mg/cm ³)	1054(1045, 1063)	1051(1043, 1059)	-1.452	0.146
Eff-Z	8.53±0.26	8.53±0.26	0.003	0.998
NIC(100μg/cm ³)	0.48±0.10	0.42±0.06	3.342	0.001
40keV(HU)	193.55±33.46	181.46±30.58	1.590	0.116
50keV(HU)	145.71±21.00	133.24±22.55	2.437	0.017
60keV(HU)	115.86±13.92	108.12±14.40	2.321	0.023
70keV(HU)	97.66±10.16	91.05±11.52	2.601	0.011

注：LV，肝脏体积；SLV，标准化肝脏体积；IC，碘(水)浓度；WC，水(碘)浓度；Eff-Z，有效原子序数；NIC，标准化碘浓度。

2.4 ROC分析 对有预测价值的单变量及回归模型进行ROC曲线分析，临床-影像综合模型的AUC为0.868(95%CI：0.790~0.947)，敏感度为78.0%，特异度为78.1%。HGB、HCT、SLVR、70keV单能量CT值的AUC分别为0.736(95%CI：0.615~0.855)、0.769(95%CI：0.656~0.881)、0.661(95%CI：0.537~0.785)、0.657(95%CI：0.522~0.777)。Delong检验结果显示综合模型的AUC高于单一变量参数(HGB、HCT、SLVR、70keV单能量CT值)，差异具有统计学意义($Z=2.50、2.15、3.07、3.23$ ， $P=0.013、0.032、0.002、0.001$)，单一参数间的AUC差异无统计学意义($P>0.05$)(表4；图2)。

表4 HGB、HCT、SLVR和70keV单能量CT值及综合模型预测肝硬化EVB的ROC曲线数据

	AUC	最佳截断值	95%CI		敏感度	特异度	P值
			下限	上限			
临床-影像综合模型	0.868	0.504	0.790	0.947	78.0%	78.1%	<0.001
HGB(g/L)	0.736	102	0.618	0.855	85.4%	59.4%	0.001
HCT(L/L)	0.769	0.313	0.656	0.881	87.8%	59.4%	0.000
SLVR	0.661	0.856	0.537	0.785	51.2%	78.1%	0.019
70keV单能量CT值(HU)	0.657	99.1	0.522	0.777	46.3%	81.2%	0.022

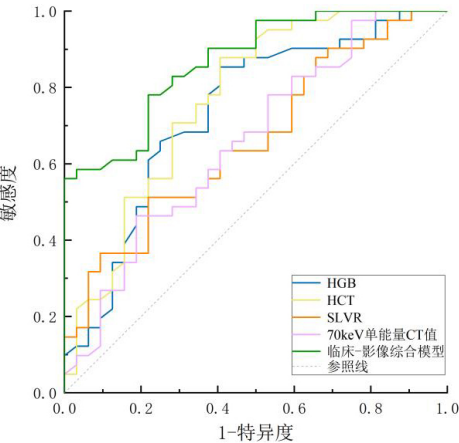


图2 HGB、HCT、SLVR、70keV单能量CT值和综合模型预测EVB的ROC曲线。

表3 影响EVB的二元Logistic回归分析

指标	单因素Logistic分析			多因素Logistic分析		
	β	OR(95%CI)	P值	β	OR(95%CI)	P值
肝硬化病因	-0.153	0.858(0.639, 1.153)	0.310			
红色征	1.420	4.135(1.463, 11.686)	0.007			
血红蛋白	-0.031	0.969(0.951, 0.987)	<0.001	0.135	1.145(1.009, 1.298)	0.035
红细胞压积	-0.132	0.876(0.816, 0.941)	<0.001	-0.642	0.526(0.325, 0.851)	0.009
白蛋白	-0.126	0.882(0.789, 0.985)	0.026			
ALBI评分	1.328	3.772(1.149, 12.375)	0.029			
常规CT参数						
LV(cm ³)	-0.002	0.998(0.996, 1.000)	0.027			
标准化肝脏体积比	-0.030	0.970(0.947, 0.994)	0.013	-0.052	0.949(0.912, 0.988)	0.010
能谱CT参数						
50keV(HU)	-0.028	0.973(0.950, 0.996)	0.023			
60keV(HU)	-0.040	0.961(0.928, 0.996)	0.028			
70keV(HU)	-0.058	0.944(0.900, 0.989)	0.015	-0.078	0.925(0.866, 0.988)	0.021
NIC(100μg/cm ³)	-0.095	0.909(0.852, 0.971)	0.004			

注：ALBI评分，白蛋白-胆红素评分；LV，肝脏体积；NIC，标准化碘浓度。

3 讨论

食管静脉曲张出血(EVB)的发生风险与肝硬化和门静脉高压的严重程度密切相关^[11]，是失代偿期肝硬化最危险的并发症之一，其再出血率和病死率均较高^[12]，极大威胁患者的生存。目前，内窥镜检查仍是诊断肝硬化患者食管静脉曲张程度和出血的主要方法^[13]。然而，内窥镜检查为一种侵入性检查，很难动态监测患者食管静脉曲张的水平 and 进展。因此，如何通过无创手段准确且迅速地评估肝硬化EVB，以指导后续临床治疗并提升患者安全管理，仍是亟待解决的问题。

本研究回顾性分析了41例肝硬化食管静脉曲张未出血及32例出血患者的临床指标及能谱CT容积定量指标差异，进一步探讨了其预测出血的效能，结果表明出血组的HGB、HCT、LV、SLVR和单能量CT值是EVB的独立预测因素，并且出血组均低于未出血组，基于独立预测因素建立的临床-影像综合模型的预测效能最高。既往关于肝硬化食管静脉曲张分级及并发出血的研究仅局限于临床指标及常规能谱CT参数，而本研究创新性地探讨了能谱CT容积参数联合临床指标预测出血的价值，得到了可靠的结果，

因此认为能谱CT容积参数可作为预测食管静脉曲张出血的新型指标,可为临床个体化诊治提供参考依据。

贫血是肝硬化患者发生EVB的常见表现之一。肝硬化继发脾功能亢进时,脾脏淤血性肿大,脾脏的清除作用增强,单核巨噬细胞大量增殖并过度活跃,吞噬淤滞在脾脏中的血细胞,导致外周血中红细胞明显下降,进而使血红蛋白浓度降低,引起贫血^[14]。HGB是红细胞内运输氧气的特殊蛋白质,Nahon等^[15]研究发现,血红蛋白<100g/L与肝硬化EVB发生风险显著相关。Piano等^[16]的研究结果与之类似,该研究发现低血红蛋白与肝硬化的严重程度相关。在本研究中,HGB是肝硬化EVB的独立预测因素,其截断值为102g/L,与既往研究结果一致^[17-18]。这可能是由于与肝硬化时骨髓造血微环境中的各种干细胞成分发生改变相关。并且促红细胞生成素(erythropoietin, EPO)部分由肝脏合成,它通过与促红细胞生成素受体(erythropoietin receptor, EPOR)结合而间接作用,而肝硬化时EPOR的反应性降低,可导致贫血发生;EPO也可以直接作用于造血干细胞影响骨髓造血系统的功能^[19]。另外,HCT是血常规常规检测指标之一,间接反映了患者红细胞数量与体积,其异常表达与出血、红细胞受损程度密切相关。本研究显示,肝硬化患者出血组的HGB和HCT明显低于未出血组,均为轻中度贫血状态,这与目前研究结果相符^[20],其预测出血的AUC值分别为0.736和0.769,对出血有较高的预测价值。

肝细胞变性、坏死,导致纤维结缔组织增生并沉积,取代了原有的肝细胞空间,导致肝脏形态失常,同时门静脉高压导致肝脏内血液回流受阻,进一步加剧肝细胞受损和坏死,最终改变肝硬化患者的肝脏体积和形态^[21]。同时,侧支循环的血流量增加,曲张静脉压力较高且血管壁薄,这是破裂出血的决定性因素^[22]。此外,为减少肝脏体积的个体差异,本研究纳入标准化肝脏体积比(即肝脏体积与标准肝脏体积的比值)的概念。既往研究表明肝脏体积变化与肝功能相关^[23-25],并且SLVR与患者门静脉压力及肝硬化程度密切相关,能够较为准确地评价肝脏的功能^[26]。本研究结果显示出血组LV明显低于未出血组($930.38 \pm 238.90 \text{ cm}^3$ vs. $1100.90 \pm 347.56 \text{ cm}^3$, $P < 0.05$),与文献报道^[27]相符。SLVR预测出血的AUC值为0.661,其效能中等,进一步说明,通过测量和计算SLVR值来减少个体差异,获取可靠稳定的研究结果是可行的。

近年来逐渐应用于临床的CT能谱成像技术通过采集高低两种能量X线,并运算获得单能量CT值、NIC、Eff-Z等,实现多参数功能成像,为预测肝硬化患者并发EVB风险提供了一种简单、易行的无创方法^[28]。能谱CT常规测量病灶参数的方法是通过轴位影像放置ROI获得,这种方法并不能代表整个肝脏的情况。且放置ROI具有一定主观性,可能导致结果偏倚。既往研究已表明能谱CT容积定量参数的诊断效能高于常规二维能谱参数^[6]。故本研究采用容积分析方法,基于能谱CT获得全肝VR图,获取整个肝脏的能谱参数平均值。单因素分析结果显示,出血组NIC值低于未出血组,与Fu等^[29]研究结果一致。可能的原因是肝硬化失代偿期时,门静脉阻力逐渐增加,门静脉血流量持续下降,肝脏动脉供血增加不足以代偿静脉供血减少,因此肝脏总灌注量减少。由于低keV水平能谱图像的对比噪声比(contrast-to-noise ratio, CNR)高于常规120 kVp图像,有效改善图像对比度,提升组织密度分辨力和细节显示能力,图像质量更优^[30]。本研究发现门脉期70keV单能量CT值为肝硬化EVB的独立预测因素,其预测食管静脉曲张出血的AUC为0.657,特异度为81.2%,表明能谱CT容积分析对预测肝硬化食管静脉曲张出血具有较高临床价值。此外,本研究进一步联合SLVR、门脉期70keV单能量CT值及HGB、HCT建立预测肝硬化EVB的Logistic回归模型,结果显示其AUC值为0.868(95%CI: 0.790~0.947),敏感度为78.0%,特异度为78.1%,综合预测模型的诊断效能优于单一参数,这与Karagiannakis等^[31]的结果相类似。

本研究仍存在一定的局限性:本研究为单中心回顾性研究,且样本量较小,研究结果可能不具备良好的普适性,后续将进一步扩大样本量,与常规能谱CT扫描参数构建相结合并采用机器学习等方法进一步验证其价值。

综上所述,基于能谱CT容积参数及实验室指标建立的临床影像综合模型对预测肝硬化食管静脉曲张破裂出血具有较好的临床应用价值,为肝硬化食管静脉曲张的患者提供了一种有效、便捷的预

测手段,为患者的个体化精准治疗和改善预后提供了新的参考。

参考文献

- [1] 徐小元, 丁惠国, 李文刚, 等. 肝硬化诊治指南[J]. 实用肝脏病杂志, 2019, 22(6): 770-786.
- [2] Kovacs TOG, Jensen DM. Varices: esophageal, gastric, and rectal[J]. Clinics in Liver Disease, 2019, 23(4): 625-642.
- [3] Stafylidou M, Paschos P, Katsoula A, et al. Performance of baveno VI and expanded baveno VI criteria for excluding high-risk varices in patients with chronic liver diseases: a systematic review and meta-analysis[J]. Clinical Gastroenterology and Hepatology, 2019, 17(9): 1744-1755.e11.
- [4] Lea A, P. J. K, Thomas O, et al. Combined whole-lesion radiomic and iodine analysis for differentiation of pulmonary tumors[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 11813-11813.
- [5] Kim M T, Lee M J, Yoon H J, et al. Prediction of microvascular invasion of hepatocellular carcinoma: value of volumetric iodine quantification using preoperative dual-energy computed tomography[J]. Cancer Imaging, 2020, 20(1): 60-60.
- [6] 吕雪, 刘巧, 严敏, 等. 能谱CT容积定量参数术前预测肝细胞癌微血管侵犯[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(5): 700-704.
- [7] 徐小元, 丁惠国, 令狐恩强, 等. 肝硬化门静脉高压食管胃静脉曲张出血的防治指南[J]. 实用肝脏病杂志, 2023, 26(2): 305-318.
- [8] 侯建存, 张雅敏, 李阳, 等. 功能性残肝体积与脾体积分预测肝切除术后肝功能不全[J]. 中华肝胆外科杂志, 2018, 24(10): 671-675.
- [9] Urata K, Kawasaki S, Matsunami H, et al. Calculation of child and adult standard liver volume for liver transplantation[J]. Hepatology, 1995, 21(5): 1317-1321.
- [10] Du Bois D, Du Bois E. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. 1916[J]. Nutrition, 1989, 5(5): 303-311.
- [11] ChunWei C, ChiaJung K, ChaoWei L, et al. Albumin-bilirubin grade as a novel predictor of the development and short-term survival of post-banding ulcer bleeding following endoscopic variceal ligation in cirrhotic patients[J]. Medicina, 2022, 58(12): 1836-1836.
- [12] Yokoyama S, Honda T, Ishizu Y, et al. Predicting early rebleeding and mortality after endoscopic hemostasis of esophagogastric varices: Diagnostic performance of aspartate aminotransferase-to-platelet ratio index and model for end-stage liver disease-Na score[J]. J Hepatobiliary Pancreat Sci, Published online July 18, 2024.
- [13] 徐小元, 丁惠国, 令狐恩强, 等. 肝硬化门静脉高压食管胃静脉曲张出血的防治指南[J]. 临床肝脏病杂志, 2023, 39(3): 527-538.
- [14] Theresa B, Katharina L, Constantin V, et al. Covered transjugular intrahepatic portosystemic shunt improves hypersplenism associated cytopenia in cirrhosis[J]. Digestive Diseases and Sciences, 2022, 67(12): 5693-5703.
- [15] S N, H H, P J L, et al. Epidemiological and prognostic factors involved in upper gastrointestinal bleeding: results of a French prospective multicenter study[J]. Endoscopy, 2012, 44(11): 998-1008.
- [16] Piano S, Tonon M, Vettore E, et al. Incidence, predictors and outcomes of acute-on-chronic liver failure in outpatients with cirrhosis[J]. Journal of Hepatology, 2017, 67(6): 1177-1184.
- [17] Mohamed D E S S E, Shima A, S M B. Clinical characteristics and predictors of esophagogastric variceal bleeding among patients with HCV-induced liver cirrhosis: an observational comparative study[J]. PloS One, 2022, 17(10): e0275373-e0275373.
- [18] 杨艳芬, 史诗, 刘晓芳, 等. 基于机器学习构建肝硬化食管胃静脉曲张出血的预测模型[J]. 中华消化杂志, 2024, 44(03): 172-177.
- [19] Madeleine L R, Mogens F, Vidiendal N O, et al. Hepatic erythropoietin response in cirrhosis. A contemporary review[J]. Scandinavian journal of clinical and laboratory investigation, 2016, 76(3): 183-189.
- [20] 蒋帆荣, 颜华东. HBV感染肝硬化失代偿期患者贫血情况调查及其对预后的影响[J]. 中华实验和临床病毒学杂志, 2020, 34(5): 547-550.
- [21] 林勇, 曾欣, 胡平方. 中国肝硬化临床诊治共识意见[J]. 临床肝胆病杂志, 2023, 39(9): 2057-2073.
- [22] Vashishtha C, Sarin K S. Bleeding complications of portal hypertension[J]. Clinics in Liver Disease, 2024, 28(3): 483-501.
- [23] Milan P, Mark T, Suthat L. CT-scan based liver and spleen volume measurement as a prognostic indicator for patients with cirrhosis[J]. The American Journal of the Medical Sciences, 2020, 362(prepublish): 252-259.
- [24] 陈韵壕, 马靖, 刘清波, 等. 腹腔镜脾切除联合选择性贲门周围血管断流术对门静脉高压症患者肝脏体积及肝储备功能的影响[J]. 中国微创外科杂志, 2021, 21(11): 982-986.
- [25] BangGuo T, Zhao T, Jing O, et al. A novel model based on liver/spleen volumes and portal vein diameter on MRI to predict variceal bleeding in HBV cirrhosis[J]. European radiology, 2022, 33(2): 1378-1387.
- [26] Shang W, Yi W, Xin Z, et al. CT-derived quantitative liver volumetric parameters for prediction of severe esophageal varices and the risk of first variceal hemorrhage[J]. European Journal of Radiology, 2021, 144: 109984-109984.
- [27] Ahmad M, Yaniv F, Salvatore A, et al. Two hundred and fifty-one right hepatectomies for living donation: Association between preoperative risk factors, hepatic dysfunction, and complications[J]. Surgery, 2022, 172(1): 397-403.
- [28] Joël G, Nicolas V, Didier D, et al. Spectral CT imaging: Technical principles of dual-energy CT and multi-energy photon-counting CT[J]. Diagnostic and Interventional Imaging, 2022, 104(4): 167-177.
- [29] Sunya F, Dawei C, Zhongwei Z, et al. Predictive value of spectral computed tomography parameters in esophageal variceal rupture and bleeding in cirrhosis[J]. The Turkish Journal of Gastroenterology : the Official Journal of Turkish Society of Gastroenterology, 2023, 34(4): 339-345.
- [30] 吕培杰, 刘娜娜, 王落桐, 等. 深度学习重建算法优化能谱CT低单能量图像质量及检测肝脏低对比度小病灶能力[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(1): 104-108.
- [31] Karagiannakis DS, Voulgaris T, Koureta E, et al. Role of spleen stiffness measurement by 2D-shear wave elastography in ruling out the presence of high-risk varices in cirrhotic patients[J]. Dig Dis Sci, 2019, 64(9): 2653-2660.

(收稿日期: 2024-09-13)

(校对编辑: 赵望淇)