

· 腹部影像学 ·

光谱 CT 多参数成像术前预测结肠癌神经及脉管侵犯状态的价值

刘思佳, 赵卫, 胡继红, 李青青, 杨亚英

【摘要】 目的:探讨光谱 CT 多参数成像术前预测结肠癌神经侵犯(PNI)及脉管侵犯(LVI)状态的价值。**方法:**搜集 2021 年 9 月至 2022 年 9 月在昆明医科大学第一附属医院行光谱 CT 扫描并经术后病理确诊为结肠癌的 64 例患者的临床及影像资料,根据术后病理中 PNI/LVI 的状态分为阳性组(29 例)和阴性组(35 例)。测量光谱 CT 动脉期、静脉期 40 keV、90 keV 单能级图像上病灶的 CT 值(CT_{40keV} 、 CT_{90keV})、碘浓度(IC)、标准化碘浓度(NIC)、有效原子序数(Z_{eff})及标准化有效原子序数(NZ_{eff}),并计算光谱曲线斜率 λ 。比较两组间各光谱参数的差异,绘制受试者工作特征(ROC)曲线并计算曲线下面积(AUC)、敏感度、特异度及最佳阈值,以评估各参数的预测效能。**结果:**结肠癌 PNI/LVI 阳性组的动脉期和静脉期光谱 CT 定量参数 CT_{40keV} 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 及 λ 均高于阴性组,差异均有统计学意义(P 均 <0.05),而两组间动脉期和静脉期的 CT_{90keV} 差异无统计学意义(P 均 >0.05)。ROC 曲线分析结果显示,动脉期各参数预测结肠癌 PNI/LVI 状态的效能高于静脉期,其中以动脉期 IC 的预测效能最佳,其 AUC 值、敏感度和特异度分别为 0.783(95% CI: 0.672~0.894)、82.76% 和 65.71%。**结论:**光谱 CT 定量参数 CT_{40keV} 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 及 λ 在术前预测结肠癌 PNI/LVI 状态中具有一定价值,以动脉期 IC 的预测效能最佳。

【关键词】 结肠肿瘤; 体层摄影术, X 线计算机; 神经侵犯; 脉管侵犯

【中图分类号】 R735.3; R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)01-0083-07

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.01.015

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of spectral CT multi-parameter imaging in preoperative prediction of perineural and lymphovascular invasion in colon cancer LIU Si-jia, ZHAO Wei, HU Ji-hong, et al. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650032, China

【Abstract】 Objective: To investigate the value of spectral CT multi-parameter imaging in preoperative prediction of perineural and lymphovascular invasion in colon cancer. This study aims to investigate the value of spectral CT multi-parameter imaging in preoperative prediction of perineural and lymphovascular invasion (PNI/LVI) in colon cancer. **Methods:** The clinical and imaging data of 64 colon cancer patients confirmed by pathology in the First Affiliated Hospital of Kunming Medical University from September 2021 to September 2022 were collected. According to the presence of PNI/LVI, these patients were divided into the positive group (29 cases) and the negative group (35 cases). The CT values of 40keV and 90keV (CT_{40keV} , CT_{90keV}), iodine concentration (IC), normalized iodine concentration (NIC), effective atomic number (Z_{eff}), and normalized effective atomic number (NZ_{eff}) were measured in the arterial and venous phases on spectral CT images, then the spectrum curve slope λ was calculated. The difference of each spectral parameter between the two groups was compared, and the ROC curve with the area under the curve (AUC), sensitivity, specificity, and the optimal threshold were calculated to evaluate the predictive performance of each parameter. **Results:** Compared to the PNI/LVI-negative group, the PNI/LVI-positive group had higher CT_{40keV} , IC, NIC, Z_{eff} , NZ_{eff} , and λ values on arterial and venous phases (all $P < 0.05$). There was no significant difference in CT_{90keV} between the two groups in both phases (all $P > 0.05$). The ROC curve showed that the predictive efficacy

作者单位: 650032 昆明, 昆明医科大学第一附属医院医学影像科

作者简介: 刘思佳(1996—), 男, 云南曲靖人, 硕士研究生, 主要从事腹部影像诊断相关研究工作。

通讯作者: 杨亚英, E-mail: yayingyang@163.com

基金项目: 云南省放射与治疗临床医学研究中心专项基金子课题(202102AA100067); 昆明医科大学研究生创新基金项目(2022S230)

of each parameter in the arterial phase was higher than that in the venous phase, and the IC in the arterial phase had the highest predictive value in predicting PNI/LVI, with an AUC of 0.783 (95% CI: 0.672~0.894), sensitivity and specificity of 82.76% and 65.71%, respectively. **Conclusion:** The quantitative parameters of CT_{40keV} , IC, NIC, Z_{eff} , NZ_{eff} and λ values on spectral CT have certain value in predicting preoperative PNI/LVI status of colon cancer, and the IC in arterial phase has the best predictive efficacy.

【Key words】 Colon neoplasms; Tomography, X-ray computed; Perineural invasion; Lymphovascular invasion

结肠癌是消化道最常见的恶性肿瘤之一,据 2020 年全球癌症统计报告显示,结肠癌居全球恶性肿瘤发病率及死亡率的第 5 位^[1]。神经侵犯(perineural invasion, PNI)及脉管侵犯(lymphovascular invasion, LVI)作为影响结肠癌患者预后的高危因素,可能与肿瘤的转移和复发相关^[2]。目前,结肠癌临床治疗主要采取以手术为主的多学科综合治疗,术前内镜活检或常规增强 CT 检查在评估结肠癌 PNI 及 LVI 状态时均存在局限性,往往需要通过手术病理获得,具有一定滞后性。有研究表明 PNI 和 LVI 是 I 期结肠癌复发的不良预后因素^[3],此类患者根治性切除术后应定期进行随访,必要时加以辅助化疗;而对于 II 期结肠癌患者, PNI 及 LVI 则是国内外指南推荐进行术后辅助化疗的指征^[4-5]。因此,若术前能有效预测结肠癌 PNI 及 LVI 状态,对患者风险分层的判定和个体化治疗计划的制定具有重要意义。双层探测器光谱 CT 作为新一代能量 CT,与既往基于球管端实现能量扫描的能量 CT 不同,光谱 CT 基于上、下两层探测器采集能量数据,检查前无需进行双能量扫描预判,没有器官和扫描视野的限制,通过常规扫描流程便可获得包含各种能谱信息的 SBI 数据包,并且“同源、同时、同向”的成像特点保证了采集到的高、低能两套数据集在空间和时间上完全配准,有助于大幅度降低能谱图像的噪声,提高能量数据分析的准确性^[6-7]。既往研究发现光谱 CT 定量参数在预测喉肿物良恶性、乳腺癌免疫组化表达及鉴别结直肠癌转移淋巴结等方面具有一定临床价值^[8-10],但利用光谱 CT 多参数预测结肠癌 PNI 及 LVI 状态的研究鲜有报道。本研究旨在探讨光谱 CT 各定量参数术前预测结肠癌 PNI 及 LVI 状态的价值。

材料与方法

1. 研究对象

搜集昆明医科大学第一附属医院 2021 年 9 月至 2022 年 9 月经术后病理确诊为结肠癌的 75 例患者的病例资料。病例纳入标准:①术后病理证实为结肠癌,且明确神经管侵犯情况;②术前 2 周内行光谱 CT 增强扫描;③术前未行放疗、化疗等新辅助治疗。病例

排除标准:①临床、病理或 CT 资料不完整;②CT 图像质量差、伪影重,观察受限;③CT 图像上肿瘤可视性差,不足以绘制感兴趣区(ROI)。排除仅行内镜检查而未行根治性外科手术者 5 例、术前化疗者 4 例及术后临床病理资料不完整者 2 例,最终本研究纳入 64 例结肠癌患者,其中男 31 例,女 33 例,年龄 31~90 岁,平均 (61.7 ± 12.9) 岁。将存在 PNI 和/或 LVI 设为 PNI/LVI 阳性组,共 29 例(其中神经和脉管同时侵犯者 21 例,单独神经侵犯者 2 例,单独脉管侵犯者 6 例);将无 PNI 和 LVI 设为 PNI/LVI 阴性组,共 35 例。本研究通过昆明医科大学第一附属医院伦理委员会审批(2022 伦审 L 第 112 号)。

2. 检查方法

采用荷兰 Philips IQon Spectral 双层探测器光谱 CT 对患者进行胸腹联合增强扫描,CT 检查前患者禁食 4~6 h,扫描范围自肺尖至双侧坐骨结节水平。扫描参数:管电压 120 kVp,采用自动管电流调节技术,螺距 1.016,准直器宽度 64×0.625 mm,线管转速 0.5 s/r,矩阵 512×512 ,扫描层厚 5 mm,重建层厚 1 mm。增强扫描采用对比剂智能追踪阈值自动触发技术,触发点设在膈顶水平,触发阈值为 140 HU,达到阈值后 6 s 扫描动脉期,30 s 扫描静脉期。对比剂采用非离子型对比剂碘海醇(浓度 350 mg I/mL),剂量 1.5 mL/kg,注射流率 3.0 mL/s。

3. 图像后处理及数据测量

将结肠癌患者光谱 CT 增强扫描动脉期、静脉期图像的 SBI 数据包调入光谱后处理工作站,得到相应的虚拟单能级图、碘浓度图及有效原子序数图,在肿瘤实体显示最大层面(避开瘤内血管结构及肿瘤坏死区域)及同层面腹主动脉或髂动脉勾画感兴趣区,瘤灶感兴趣区直径大于肿瘤厚度的 1/2。每个瘤灶测量 3 次并取其平均值,尽量保证不同期相勾画的感兴趣区位置、大小一致。测量参数:①动、静脉期 40 keV 及 90 keV 单能级图像上瘤灶的 CT 值,表示为 CT_{40keV} 、 CT_{90keV} ;②动、静脉期瘤灶的光谱曲线斜率 λ , $\lambda = (CT_{40keV} - CT_{90keV})/50$;③动、静脉期瘤灶及同层面腹主动脉或髂动脉的碘浓度(iodine concentration, IC)

值;④动、静脉期瘤灶的标准化碘浓度(normalized iodine concentration, NIC)值, NIC=瘤灶 IC 值/同层面腹主动脉或髂动脉 IC 值;⑤动、静脉期瘤灶及同层面腹主动脉或髂动脉的有效原子序数(Z-effective, Z_{eff});⑥动、静脉期瘤灶的标准化有效原子序数(normalized Z-effective, NZ_{eff}), NZ_{eff} = 瘤灶 Z_{eff} /同层面腹主动脉或髂动脉 Z_{eff} 。

4.统计学分析

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计量资料符合正态分布者以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用独立样本 t 检验比较组间差异。计数资料以频数描述,采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法比较组间差异。对差异具有统计学意义的定量参数绘制受试者工作特征(receiver operating characteristic, ROC)曲线,计算曲线下面积(area under the curve, AUC),以检验各参数的诊断效能,并根据约登指数确定各参数的最佳阈值及其敏感度、特异度。以 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

1.两组结肠癌患者临床及病理资料比较

统计学分析结果显示,结肠癌 PNI/LVI 阳性组与阴性组之间 T 分期、分化程度及淋巴结转移情况差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),阳性组倾向于 T 分期更高、分化程度更差;两组间年龄、性别、肿瘤部位及 CEA 差异均无统计学意义(P 均 > 0.05 ,表 1)。T 分期中肿瘤以 T3 期为主,占比约为 72%(46/64);分化程度以中分化为,占比为 50%(32/64)。

2.两组结肠癌患者光谱 CT 定量参数比较

表 1 两组结肠癌患者临床及病理资料比较 (例)

指标	PNI/LVI 阳性组 (n=29)	PNI/LVI 阴性组 (n=35)	χ^2 值	P 值
年龄(岁)			2.705	0.100
≥60	20	17		
<60	9	18		
性别			0.963	0.326
男	16	15		
女	13	20		
肿瘤部位			0.188	0.665
左半结肠	15	20		
右半结肠	14	15		
T 分期			—	0.009
T1	0	1		
T2	2	5		
T3	18	28		
T4	9	1		
分化程度			11.154	0.004
高/中-高分化	5	14		
中分化	13	19		
低/中-低分化	11	2		
淋巴结转移			26.166	<0.001
有	26	9		
无	3	26		
CEA			0.388	0.533
升高	13	13		
正常	16	22		

注:PNI/LVI 阳性表示存在神经和/或脉管侵犯,PNI/LVI 阴性表示无神经和脉管侵犯,CEA 表示肿瘤标志物癌胚抗原。

PNI/LVI 阳性组的动脉期和静脉期光谱 CT 定量参数 $CT_{40\text{keV}}$ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 及 λ 均高于 PNI/LVI 阴性组,差异均有统计学意义(P 均 < 0.05),两组间动静脉期的 $CT_{90\text{keV}}$ 差异均无统计学意义(P 均 > 0.05 ,表 2,图 1、2)。

3.光谱 CT 各定量参数预测结肠癌 PNI/LVI 状态的效能

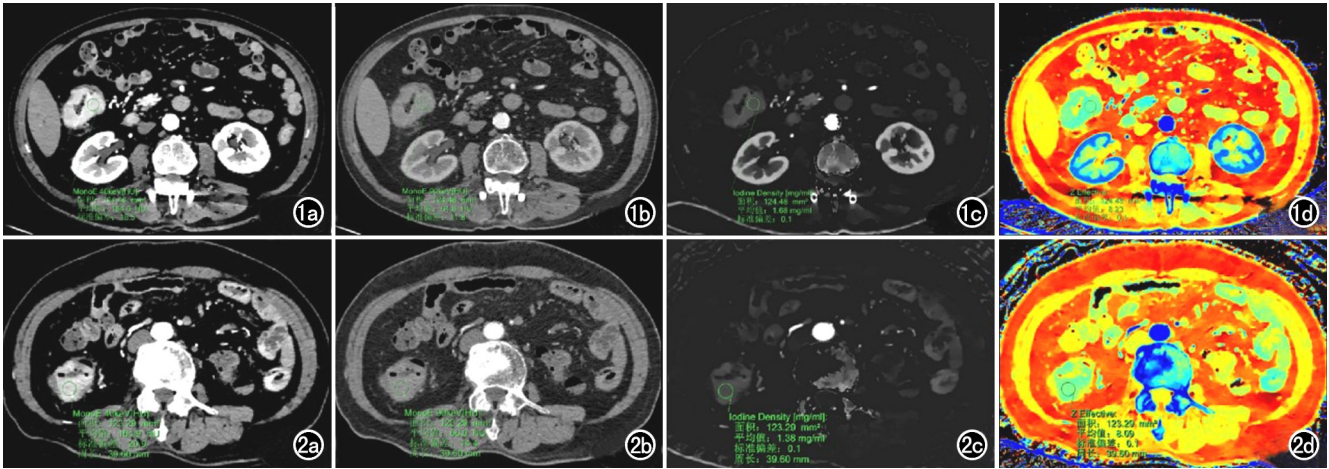


图 1 患者,男,67 岁,结肠肝曲癌并 PNI/LVI 阳性,动脉期轴面腹部光谱 CT 图像。a)40 keV 单能级图像,病灶 CT 值为 184.6 HU;b)90 keV 单能级图像,病灶 CT 值为 64.8 HU;c)碘浓度图,病灶碘浓度为 1.68 mg/mL;d)有效原子序数图,病灶有效原子序数为 8.23。图 2 患者,男,71 岁,升结肠癌并 PNI/LVI 阴性,动脉期轴面腹部光谱 CT 图像。a)40 keV 单能级图像,病灶 CT 值为 164.9 HU;b)90 keV 单能级图像,病灶 CT 值为 66.0 HU;c)碘浓度图,病灶碘浓度为 1.38 mg/mL;d)有效原子序数图,病灶有效原子序数为 8.09。

表 2 两组结肠癌患者光谱 CT 参数比较

参数	PNI/LVI 阳性组 (n=29)	PNI/LVI 阴性组 (n=35)	t 值	P 值
动脉期				
CT _{40keV} (HU)	175.96±35.19	147.06±26.72	3.733	<0.001
CT _{90keV} (HU)	64.12±7.98	60.68±6.13	1.952	0.055
λ	2.24±0.57	1.73±0.43	4.082	<0.001
IC(mg/mL)	1.58±0.40	1.20±0.30	4.347	<0.001
NIC	0.15±0.04	0.11±0.03	4.109	<0.001
Z _{eff}	8.17±0.20	7.99±0.15	3.977	<0.001
NZ _{eff}	0.73±0.04	0.71±0.04	2.036	0.046
静脉期				
CT _{40keV} (HU)	216.47±38.12	194.43±31.98	2.516	0.014
CT _{90keV} (HU)	71.64±7.55	68.96±6.87	1.487	0.142
λ	2.90±0.64	2.51±0.53	2.652	0.01
IC(mg/mL)	2.03±0.44	1.76±0.36	2.660	0.01
NIC	0.46±0.13	0.34±0.08	4.102	<0.001
Z _{eff}	8.38±0.20	8.25±0.17	2.867	0.006
NZ _{eff}	0.89±0.03	0.86±0.04	3.803	<0.001

注:CT_{40keV}、CT_{90keV}为光谱 CT 上 40 keV、90 keV 单能级图像中病灶的 CT 值,λ 为光谱曲线斜率,IC 为碘浓度,NIC 为标准化碘浓度,Z_{eff} 为有效原子序数,NZ_{eff} 为标准化有效原子序数。

表 3 光谱 CT 各定量参数预测结肠癌 PNI/LVI 状态的效能

参数	AUC(95%CI)	约登指数	最佳阈值	敏感度(%)	特异度(%)
动脉期					
CT _{40keV} (HU)	0.737(0.617~0.858)	0.403	175.55	51.72	88.57
λ	0.773(0.660~0.887)	0.485	1.87	82.76	65.71
IC(mg/mL)	0.783(0.672~0.894)	0.485	1.31	82.76	65.71
NIC	0.767(0.648~0.887)	0.513	0.12	82.76	68.57
Z _{eff}	0.760(0.641~0.878)	0.422	8.06	79.31	62.86
NZ _{eff}	0.651(0.514~0.788)	0.318	0.72	68.97	62.86
静脉期					
CT _{40keV} (HU)	0.667(0.533~0.800)	0.278	205.35	62.07	65.71
λ	0.678(0.547~0.810)	0.290	2.58	68.97	60.00
IC(mg/mL)	0.677(0.545~0.809)	0.301	1.89	58.62	71.43
NIC	0.769(0.652~0.887)	0.444	0.37	75.86	68.57
Z _{eff}	0.692(0.562~0.821)	0.318	8.29	68.97	62.86
NZ _{eff}	0.754(0.634~0.873)	0.467	0.88	72.41	74.29

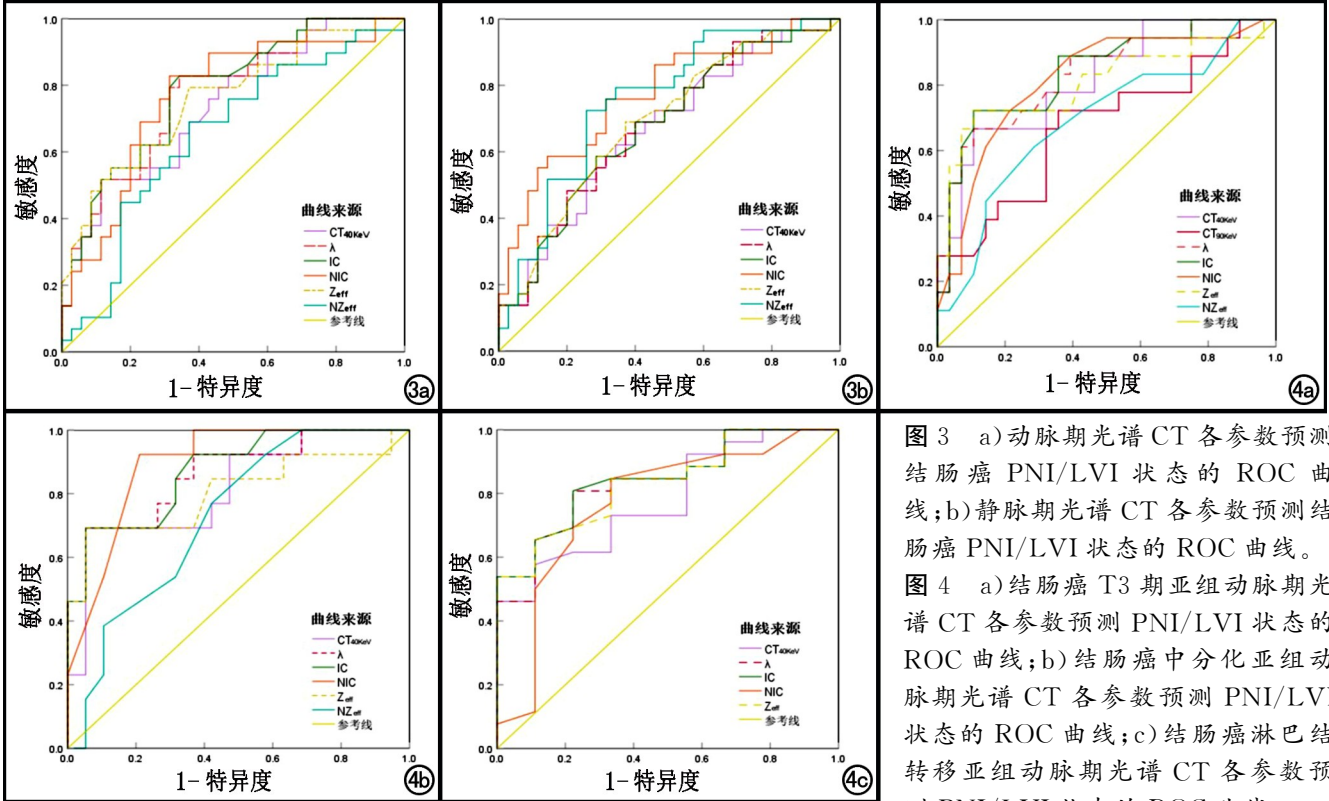


图 3 a)动脉期光谱 CT 各参数预测结肠癌 PNI/LVI 状态的 ROC 曲线;b)静脉期光谱 CT 各参数预测结肠癌 PNI/LVI 状态的 ROC 曲线。
图 4 a)结肠癌 T3 期亚组动脉期光谱 CT 各参数预测 PNI/LVI 状态的 ROC 曲线;b)结肠癌中分化亚组动脉期光谱 CT 各参数预测 PNI/LVI 状态的 ROC 曲线;c)结肠癌淋巴结转移亚组动脉期光谱 CT 各参数预测 PNI/LVI 状态的 ROC 曲线。

λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 和静脉期 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 均高于阴性组,差异均有统计学意义(P 均 <0.05),两组间静脉期 $\text{CT}_{90\text{keV}}$ 差异无统计学意义($P>0.05$,表 4);中分化亚组结肠癌中,PNI/LVI 阳性组的动脉期光谱参数 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 均高于阴性组,差异均有统计学意义(P 均 <0.05),两组间动脉期 $\text{CT}_{90\text{keV}}$ 差异无统计学意义($P>0.05$,表 5)。

表 4 T3 期亚组结肠癌光谱 CT 参数比较

参数	PNI/LVI 阳性 (n=18)	PNI/LVI 阴性 (n=28)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
动脉期				
CT _{40keV} (HU)	186.47±37.74	147.87±25.56	4.143	<0.001
CT _{90keV} (HU)	66.17±8.35	60.81±6.15	2.506	0.016
λ	2.41±0.61	1.74±0.41	4.442	<0.001
IC(mg/mL)	1.71±0.43	1.22±0.28	4.700	<0.001
NIC	0.16±0.04	0.11±0.03	4.111	<0.001
Z_{eff}	8.22±0.22	8.00±0.14	4.153	<0.001
NZ_{eff}	0.74±0.04	0.71±0.03	2.294	0.027
静脉期				
CT _{40keV} (HU)	213.96±28.39	193.08±31.85	2.261	0.029
CT _{90keV} (HU)	70.35±6.32	68.94±7.38	0.667	0.508
λ	2.87±0.49	2.48±0.52	2.547	0.014
IC(mg/mL)	2.01±0.33	1.74±0.35	2.523	0.015
NIC	0.45±0.13	0.35±0.08	3.369	0.002
Z_{eff}	8.37±0.15	8.24±0.17	2.764	0.008
NZ_{eff}	0.89±0.04	0.86±0.04	2.771	0.008

表 5 中分化亚组结肠癌光谱 CT 参数比较

参数	PNI/LVI 阳性 (n=13)	PNI/LVI 阴性 (n=19)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
动脉期				
CT _{40keV} (HU)	183.53±38.92	143.84±24.60	3.542	0.001
CT _{90keV} (HU)	63.92±8.29	60.00±6.35	1.518	0.139
λ	2.39±0.63	1.68±0.38	4.016	<0.001
IC(mg/mL)	1.68±0.43	1.17±0.26	4.209	<0.001
NIC	0.16±0.03	0.11±0.03	4.726	<0.001
Z_{eff}	8.20±0.23	7.98±0.14	3.437	0.002
NZ_{eff}	0.73±0.02	0.71±0.03	2.280	0.03
静脉期				
CT _{40keV} (HU)	214.62±21.66	190.33±30.11	2.494	0.018
CT _{90keV} (HU)	70.85±7.36	67.85±6.74	1.189	0.244
λ	2.87±0.31	2.45±0.49	2.761	0.01
IC(mg/mL)	2.01±0.22	1.72±0.33	2.743	0.01
NIC	0.46±0.09	0.34±0.08	3.764	0.001
Z_{eff}	8.37±0.10	8.24±0.16	2.715	0.011
NZ_{eff}	0.89±0.03	0.86±0.04	2.807	0.009

在发生淋巴结转移的结肠癌亚组中,PNI/LVI 阳性组的动脉期光谱参数 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 和静脉期 NIC、 NZ_{eff} 均高于阴性组,差异均有统计学意义(P 均 <0.05),两组间动脉期 $\text{CT}_{90\text{keV}}$ 、 NZ_{eff} 和静脉期 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 $\text{CT}_{90\text{keV}}$ 、 λ 、IC、 Z_{eff} 差异均无统计学意义(P 均 >0.05 ,表 6)。

ROC 曲线分析结果显示,各亚组动脉期光谱 CT 参数预测结肠癌 PNI/LVI 状态的效能高于静脉期,其中 T3 期亚组中,动脉期 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 $\text{CT}_{90\text{keV}}$ 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 预测 PNI/LVI 的 AUC 分别为 0.812、0.674、0.830、0.839、0.814、0.807、0.690(图 4a);中分化亚组中,动脉期 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff} 预测 PNI/LVI

表 6 淋巴结转移亚组结肠癌光谱 CT 参数比较

参数	PNI/LVI 阳性 (n=26)	PNI/LVI 阴性 (n=9)	<i>t</i> 值	<i>P</i> 值
动脉期				
CT _{40keV} (HU)	179.98±36.58	145.37±23.89	2.636	0.013
CT _{90keV} (HU)	64.95±7.62	60.69±7.21	1.465	0.152
λ	2.30±0.60	1.69±0.36	2.834	0.008
IC(mg/mL)	1.63±0.42	1.18±0.26	3.000	0.005
NIC	0.15±0.04	0.11±0.04	2.393	0.023
Z_{eff}	8.20±0.19	7.99±0.14	3.033	0.005
NZ_{eff}	0.73±0.04	0.70±0.04	1.461	0.153
静脉期				
CT _{40keV} (HU)	220.29±35.72	195.90±30.52	1.826	0.077
CT _{90keV} (HU)	72.67±7.217	8.67±5.33	1.521	0.138
λ	2.95±0.60	2.55±0.51	1.818	0.078
IC(mg/mL)	2.06±0.42	1.78±0.36	1.799	0.081
NIC	0.46±0.12	0.34±0.07	2.503	0.017
Z_{eff}	8.40±0.19	8.27±0.17	1.836	0.075
NZ_{eff}	0.89±0.03	0.86±0.04	2.549	0.016

的 AUC 分别为 0.818、0.862、0.872、0.895、0.806、0.727(图 4b);淋巴结转移亚组中,动脉期 $\text{CT}_{40\text{keV}}$ 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 预测 PNI/LVI 的 AUC 分别为 0.780、0.835、0.846、0.771、0.833(图 4c)。

讨 论

结肠癌发病率及死亡率在我国呈上升趋势,影响结肠癌患者预后的因素除 TNM 分期外,还与肿瘤 PNI 及 LVI 状态相关^[2-3,11],PNI 指癌细胞侵犯肿瘤周围的神经细胞或神经纤维,LVI 指血管和/或淋巴管中癌栓形成或癌细胞侵犯淋巴血管壁^[12],是癌细胞转移和扩散的重要途径。本研究结果显示,结肠癌 PNI/LVI 阳性组发生淋巴结转移的风险更高,与既往研究报道一致^[13]。此外,PNI 及 LVI 阳性患者的预后较差,术后往往需要进行辅助化疗。MRI 软组织分辨率高,在直肠癌壁外血管侵犯评估中已得到广泛应用,但其检查时间较长、受呼吸及肠管蠕动影响较大,扫描结肠时图像质量会受到一定程度影响,因此很难获得高分辨率的 MR 图像来准确评估局部结肠癌的病变特征,目前在结肠癌壁外血管侵犯评估中的效果差强人意。MSCT 具有扫描速度快、受肠蠕动及呼吸运动影响小、便于进行三维重建等优点,已成为目前结肠癌术前评估的首选影像学检查方法。常规增强 CT 以观察肿瘤形态学为主,在评估结肠癌 PNI 及 LVI 状态时存在局限性。光谱 CT 多参数成像在常规 CT 的基础上,提供了能谱曲线、碘浓度、有效原子序数等定量指标,可对肿瘤异质性的组织学特征进行量化分析,从而为疾病的治疗及预后提供参考信息^[14]。Chen 等^[15]研究发现结直肠癌原发灶光谱 CT 定量参数 Z_{eff} 、 λ 和 NIC 可用于预测肿瘤病理分期和组织学分级,但其未纳入对 PNI、LVI 的研究。Ren 等^[16]的研究显示胃癌 PNI/LVI 阳性组肿瘤原发灶动脉期和静脉期的 IC、NIC、 Z_{eff} 和 NZ_{eff} 高于 PNI/LVI 阴性组,在

术前预测胃癌 PNI/LVI 方面具有一定价值。本研究结果显示,光谱 CT 动脉期、静脉期相关定量参数(CT_{40keV} 、 λ 、IC、NIC、 Z_{eff} 、 NZ_{eff})有助于预测结肠癌 PNI 及 LVI 状态,动脉期参数的预测效能优于静脉期。

病理血管生成被认为是实体肿瘤发生、发展和转移的关键因素,而结直肠癌与血管生成密切相关,肿瘤组织通常比正常肠壁组织具有更大的血管生成活性^[17]。光谱 CT 利用物质分离技术对碘含量进行测定得到 IC 值,可以精确反映病变组织对碘对比剂的吸收,从而间接反映病变的血供情况,可在一定程度上反映病变的血管密度、肿瘤活性和侵袭性^[15,18]。有效原子序数是从原子序数引申而来的概念,可以反映物质的 X 线吸收衰减情况,光谱 CT 在人体成像时,通过计算机后处理得到人体组织的有效原子序数图并测量有效原子序数大小,进而区分物质成分^[19]。本研究结果显示,结肠癌 PNI/LVI 阳性组动脉期、静脉期的 IC 值、 Z_{eff} 值均高于阴性组,其中以动脉期 IC 的 AUC 最大,为 0.783,诊断阈值为 1.31 mg/mL 时,敏感度为 82.76%,特异度为 65.71%,可作为评估结肠癌 PNI/LVI 状态的重要依据。基于高能和低能两组数据计算出来的虚拟单能级图像,相当于单一能量射线下的 CT 图像,随着能级水平减小,碘的衰减逐渐增加,低能级图像可提高血管的 CT 值和组织对比度,使病变显示更加明显。既往研究报道 40 keV 虚拟单能级图像可提高胃肠道病变的检出率^[20]及直肠癌术前 T 分期的准确率^[21]。能谱曲线以单能级为横坐标,以 CT 值为纵坐标,从而获得具有物质特异性的曲线,根据曲线形态及斜率的不同可对病灶组织成分差异进行鉴别^[22]。本研究中结肠癌病灶动脉期、静脉期 40 keV 时的 CT 值及 40~90 keV 的能谱曲线斜率 λ 均与 PNI/LVI 状态相关,PNI/LVI 阳性组肿瘤原发灶的 CT_{40keV} 、 λ 均高于阴性组,动脉期 CT_{40keV} 、 λ 预测 PNI/LVI 的 AUC 分别为 0.737、0.773,静脉期分别为 0.667、0.678。

同时本研究发现,在相同 T 分期或相同分化程度或均发生淋巴结转移的前提下,结肠癌 PNI/LVI 阳性组与阴性组之间的光谱参数差异仍存在统计学意义,ROC 曲线分析结果显示动脉期各参数预测 PNI/LVI 状态的 AUC 多达 0.8 以上。分析原因,可能在于 T 分期、分化程度、淋巴结转移、PNI/LVI 均是影响肿瘤侵袭性及恶性程度的指标,当前三个因素合并 PNI/LVI 阳性时,肿瘤侵袭性更强、恶性程度更高,与 PNI/LVI 阴性组光谱 CT 参数的差异也更加显著。

本研究存在以下局限性:首先是样本量较小,研究所得数据可能存在一定偏差,今后将扩大样本量继续

研究;其次,本研究仅确定了光谱 CT 定量参数与结肠癌神经管侵犯状态的相关性,没有涉及患者预后信息,后续需要扩大样本量并进行随访,从而评估结肠癌患者术前的恶性程度和预后情况,为临床提供更多指导信息。

综上所述,光谱 CT 动脉期、静脉期各定量参数在术前预测结肠癌 PNI/LVI 状态方面具有一定价值,可为临床制定诊疗方案和评估预后提供一定参考依据。

参考文献:

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020; GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] Kang JH, Son IT, Kim BC, et al. Recurrence-free survival outcomes based on novel classification combining lymphovascular invasion, perineural invasion, and T4 status in stage II-III colon cancer[J]. Cancer Manag Res, 2022, 20(14): 2031-2040.
- [3] Kim S, Huh JW, Lee WY, et al. Lymphovascular invasion, perineural invasion, and tumor budding are prognostic factors for stage I colon cancer recurrence[J]. Int J Colorectal Dis, 2020, 35(5): 881-885.
- [4] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 中国结直肠癌诊疗规范(2020 年版)[J]. 中华外科杂志, 2020, 58(8): 561-585.
- [5] Baxter NN, Kennedy EB, Bergsland E, et al. Adjuvant therapy for stage II colon cancer: ASCO guideline update[J]. J Clin Oncol, 2022, 40(8): 892-910.
- [6] Adam SZ, Rabinowich A, Kessner R, et al. Spectral CT of the abdomen: where are we now? [J]. Insights Imaging, 2021, 12(1): 138.
- [7] 中华医学会放射学分会, 中国医师协会放射医师分会, 安徽省影像临床医学研究中心. 能量 CT 临床应用中国专家共识[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(5): 476-487.
- [8] 王芳, 熊星, 张丹萍, 等. 光谱 CT 定量参数预测喉肿瘤良恶性的价值[J]. 临床放射学杂志, 2022, 41(5): 825-829.
- [9] 陈澜菁, 傅建梅, 程勇, 等. 双层探测器光谱 CT 评估乳腺癌患者免疫组化表达的价值[J]. 中华放射学杂志, 2021, 55(12): 1270-1276.
- [10] 万幸, 赵心竹, 罗敏, 等. 结直肠癌双层探测器光谱 CT 成像: 转移性与非转移性淋巴结的对照研究[J]. 放射学实践, 2021, 36(12): 1543-1547.
- [11] 秦颖, 张海涛, 文剑锋, 等. 进展期结肠癌根治术后复发转移的危险因素探讨[J]. 中国普通外科杂志, 2017, 26(10): 1352-1355.
- [12] Huh JW, Lee WY, Shin JK, et al. A novel histologic grading system based on lymphovascular invasion, perineural invasion, and tumor budding in colorectal cancer[J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2019, 145(2): 471-477.
- [13] Kaya T, Dursun A. Can lymphovascular and perineural invasion be additional staging criteria in colorectal cancer? [J]. J Coll Physicians Surg Pak, 2021, 30(6): 657-662.
- [14] 崔百强, 马娅琼, 王文娜, 等. 双层探测器光谱 CT 在肿瘤疾病的临床应用进展[J]. 放射学实践, 2022, 37(7): 904-909.
- [15] Chen W, Ye Y, Zhang D, et al. Utility of dual-layer spectral-detector CT imaging for predicting pathological tumor stages and

histologic grades of colorectal adenocarcinoma[J].Front Oncol, 2022,12(3):1002592.

[16] Ren T,Zhang W,Li S,et al.Combination of clinical and spectral-CT parameters for predicting lymphovascular and perineural invasion in gastric cancer[J].Diagn Interv Imaging,2022,103(12):584-593.

[17] Gong HX,Zhang KB,Wu LM,et al.Dual energy spectral CT imaging for colorectal cancer grading:a preliminary study[J].PLoS One,2016,11(2):e0147756.

[18] Li Y,Li X,Ren X,et al.Assessment of the aggressiveness of rectal cancer using quantitative parameters derived from dual-energy computed tomography[J].Clin Imaging,2020,68(12):136-142.

[19] Demirler simşir B,Krug KB,Burke C,et al.Possibility to discriminate benign from malignant breast lesions detected on dual-layer spectral CT-evaluation[J].Eur J Radiol,2021,142(9):109832.

[20] Taguchi N,Oda S,Imuta M,et al.Dual-energy computed tomography colonography using dual-layer spectral detector computed tomography:utility of virtual monochromatic imaging for electronic cleansin[J].Eur J Radiol,2018,108(11):7-12.

[21] 谭晶文,朱兰,王兰,等.新型双层探测器光谱 CT 在直肠癌术前 T 分期中的价值[J].中华放射学杂志,2020,54(7):671-676.

[22] 中华放射学杂志双层探测器光谱 CT 临床应用协作组.双层探测器光谱 CT 临床应用中国专家共识(第一版)[J].中华放射学杂志,2020,54(7):635-643.

(收稿日期:2022-11-15 修回日期:2023-04-02)

《放射学实践》杂志入选 中国医学科学院医学科学卓越期刊目录

华中科技大学同济医学院附属同济医院《放射学实践》杂志入选中国医学科学院医学科学卓越期刊目录,是该目录中文杂志放射影像领域仅有的两本杂志之一。《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。

《放射学实践》创刊于 1986 年。创刊时杂志主要内容是将德国著名医学影像学杂志《Roentgen-praxis》原文翻译成中文,向中国广大放射学工作者介绍德国最新的医学影像学信息,是我国改革开放后最早的国际合作译文期刊。1996 年开始刊登国内专家学者的文章,以论著为主,涉及医学影像学的方方面面。以时代性、权威性、群众性作为刊物的定位品格,博采众长、兼收并蓄,受到广大放射学工作者的喜爱。现为 2020 年版北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。本刊为中国科学引文数据库(CSCD)核心库来源期刊、《中文核心期刊要目总览》收录期刊、中国科技核心期刊、中国高质量科技期刊分级目录临床医学领域医学影像学期刊,并在中国学术期刊分区中位列 Q1 区。