



· 论 著 ·

# DECT定量参数预测胃癌淋巴结转移的临床价值探析

蓝燕芬, 林宇英, 马明平, 郑云艳, 李 添

福建医科大学省立临床医学院福建省立医院放射科, 福建 福州 350001

[摘要] 目的: 探讨胃癌原发灶双能量计算机断层成像 (dual-energy computed tomography, DECT) 定量参数对术前淋巴结转移 (lymph node metastasis, LNM) 的预测价值。方法: 回顾并分析2020年7月—2022年1月福建医科大学省立临床医学院福建省立医院203例经术后病理学检查确诊为胃腺癌患者的临床病理及影像学资料, 根据淋巴结术后病理学检查结果, 将其分为淋巴结转移组 [LNM (+), 130例] 与非转移组 [LNM (-), 73例]。由2名医师采用双盲方式测量并计算每例患者病灶动脉期、静脉期及延迟期标准化碘浓度 (normalized iodine concentration in arterial/venous/delay phase, nICA/nICV/nICD) 及相应能谱曲线 (40~110 keV) 斜率 $k$ 值, 进行单因素分析。将 $P < 0.05$ 的指标纳入多因素logistic回归分析中构建预测模型。绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线评价预测模型的诊断效能, 并使用DeLong检验比较各曲线间差异。结果: 原发灶最大径、T分期及Lauren分型在两组间差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); DECT定量参数中, LNM (+) 组的nIC<sub>V</sub>、nIC<sub>D</sub>、 $k_A$ 、 $k_V$ 及 $k_D$ 均大于LNM (-) 组 ( $P < 0.05$ ), 而nIC<sub>A</sub>在两组间差异无统计学意义; 多因素logistic回归分析示, T分期、Lauren分型、nIC<sub>V</sub>和 $k_V$ 是胃癌LNM的独立危险因素 ( $P < 0.05$ ); 纳入T分期、Lauren分型和nIC<sub>V</sub>的预测模型1和纳入T分期、Lauren分型和 $k_V$ 的预测模型2术前诊断LNM对应的曲线下面积 (area under curve, AUC) 分别为0.839和0.858, 两者差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。结论: 联合DECT定量参数的预测模型对胃癌术前LNM状态具有较高的诊断效能, 其中, 静脉期DECT定量参数较其余期更具诊断价值。

[关键词] 胃癌; 淋巴结; 转移; 计算机断层成像; 双能量计算机断层成像

中图分类号: R735.2; R445.3 文献标志码: A DOI: 10.19732/j.cnki.2096-6210.2023.04.008

## Clinical value of DECT quantitative parameters in predicting lymph node metastasis of gastric cancer

LAN Yanfen, LIN Yuying, MA Mingping, ZHENG Yunyan, LI Tian (Department of Radiology, Fujian Provincial Hospital, Fujian Provincial Clinical College, Fujian Medical University, Fuzhou 350001, Fujian Province, China)

Correspondence to: MA Mingping E-mail: f007820@163.com

[Abstract] **Objective:** To investigate the predictive value of quantitative parameters of dual-energy computed tomography (DECT) scan of gastric cancer primary on preoperative lymph node metastasis (LNM). **Methods:** A retrospective analysis of the clinicopathological and imaging data of 203 patients with gastric adenocarcinoma diagnosed by postoperative pathology in Fujian Provincial Hospital, Fujian Provincial Clinical College, Fujian Medical University, from July 2020 to January 2022 was divided into LNM (+) group (130 cases) and LNM (-) group (73 cases) according to the pathological results. Two physicians measured and calculated the normalized iodine concentration in arterial, venous and delayed phase (nIC<sub>A</sub>/nIC<sub>V</sub>/nIC<sub>D</sub>), and the corresponding energy spectrum curve (40-110 keV) slope  $k$  values of each patient's lesion in a double-blind manner for univariate analysis. The indicators of  $P < 0.05$  were incorporated into the multivariate logistic regression analysis to build a predictive model. The receiver operating characteristic (ROC) curve was plotted to evaluate the diagnostic performance of the prediction model, and the differences between the curves were compared using DeLong's test. **Results:** The maximum diameter of primary focus, T stage and Lauren's classification were statistically significant between the two groups ( $P < 0.05$ ); the nIC<sub>V</sub>, nIC<sub>D</sub>,  $k_A$ ,  $k_V$  and  $k_D$  of the LNM (+) group were larger than those in the LNM (-) group ( $P < 0.05$ ), while the nIC<sub>A</sub> was not statistically significant between the two groups. Multiple logistic regression analysis showed that T stage, Lauren's classification, nIC<sub>V</sub> and  $k_V$  were independent risk factors for

LNM in gastric cancer ( $P < 0.05$ ). The area under curve (AUC) corresponding to the preoperative diagnosis of LNM were 0.839 and 0.858 respectively in the prediction model 1 with T stage, Lauren's classification and  $nIC_V$  and model 2 with T stage, Lauren's classification and  $k_v$ , and there was no significant difference between the two ( $P > 0.05$ ). **Conclusion:** The prediction model combined with the quantitative parameters of DECT has high diagnostic power for the preoperative LNM status of gastric cancer, and the quantitative parameters of the venous phase have more diagnostic value than the residual phase.

[ **Key words** ] Gastric cancer; Lymph node; Metastasis; Computed tomography; Dual-energy computed tomography

胃癌的转移方式主要是通过淋巴途径, 肿瘤细胞经淋巴管道汇聚于区域淋巴结或远处淋巴结。胃癌患者的预后与此息息相关, 据研究<sup>[1]</sup>报道, 行R0根治性切除的胃癌患者中位随访时间仅为3.6年。患者必须通过术后病理学检查结果确诊转移性淋巴结, 但对于无手术指征的进展期胃癌或存在手术禁忌证的患者而言, 无法明确获悉淋巴结状态。因此, 转移性淋巴结术前诊断方法的探寻, 对于癌症患者治疗方式的选择、提高生存率和改善预后有着重要意义。目前, 国际上对于胃癌淋巴结转移 (lymph node metastasis, LNM) 尚无明确定义, 早期与进展期胃癌淋巴结转移率不同、检出率亦不同, 常规检查方式往往低估了微转移, 导致大量假阳性和假阴性结果<sup>[2-3]</sup>。双能量计算机断层成像 (dual-energy computed tomography, DECT) 在骨肌、呼吸及内分泌系统等病变中较传统CT扫描更具优势, 同时也为病变定性、定量诊断提供了更丰富的影像学信息<sup>[4-6]</sup>。有关肿瘤原发病灶影像学特征与LNM两者间关系的报道相继出现, 本研究旨在探讨胃癌原发病灶DECT定量参数在术前预测LNM的诊断价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 一般资料

回顾并分析2020年7月—2022年1月于福建医科大学省立临床医学院福建省立医院经术后病理学检查确诊的203例胃腺癌患者临床及相关影像学资料。其中, 男性144例, 女性59例, 年龄范围31~84岁, 中位年龄65.0岁。本研究符合《赫尔辛基宣言》要求。

纳入标准: ① 手术后病理学检查证实为胃腺癌, 且临床及病理学资料完整; ② 根治性手术前

1周内行DECT多期增强扫描; ③ DECT检查前未进行治疗; ④ CT图像质量佳。排除标准: ① CT检查发现远处转移; ② 胃癌复发或残胃癌; ③ 合并其他腹部肿瘤。

### 1.2 扫描方案与参数

DECT检查前要求每例患者过夜禁食并行屏气训练, 扫描前15~20 min饮用适量温水使胃肠道充盈良好。扫描范围: 膈顶至耻骨联合上缘。采用德国Siemens公司的SOMATOM Force双源CT机行腹部CT平扫和多期增强扫描, 以3.5 mL/s流速经肘前静脉注射非离子型对比剂 (碘佛醇, 320 mg/mL) 1.5 mL/kg、继以生理盐水20 mL冲管; 腹主动脉CT值达100 HU为触发阈值, 动脉期、静脉期、延迟期分别于延迟25、60、180 s开始扫描。扫描参数: 平扫参考管电压100 kV, 管电流120 mA。增强扫描双能量球管管电压分别为80 kV、150 kV (锡滤过), 自动管电流, 扫描视野150 mm × 150 mm, 准直参数128 × 0.6 mm。

### 1.3 图像处理与分析

将重建层厚1.5 mm、层间距1.5 mm的图像集传输至后处理工作站 (syngo.via VB10)。选择圆形、面积10~20 mm<sup>2</sup>的感兴趣区 (region of interest, ROI), 在显示病灶横轴位最大层面及其上下两个层面连续绘制ROI并取三者平均值, 距离肿瘤边缘2 mm, 避开血管及囊变坏死区。并保证每次ROI的位置和大小基本一致。由2名分别具有2和5年以上相关胃肠道影像学诊断工作经验的放射科医师独立阅片和测量, 这2名医师对所有患者的病理学检查结果及临床资料不知情 (图1、2)。将增强后病灶碘浓度与同期同层腹主动脉碘浓度的比值作为标准化碘浓度 (normalized iodine concentration,  $nIC$ )。其计算公式:  $nIC = \text{病灶碘浓度} / \text{同期腹主动脉碘浓度}$ 。根据后处理工作站获得ROI的能谱曲线,

取40~110 keV曲线段, 计算该曲线的斜率 $k$ 。其计算公式:  $k = (CT_{40\text{ keV}} - CT_{110\text{ keV}}) / 70$ , 其中 $CT_{40\text{ keV}}$ 、 $CT_{110\text{ keV}}$ 分别表示为在40、110 keV光子

能量条件下病灶对应的CT值。原发灶最大径在横轴位、冠状及矢状位重建图上选取病灶最大层面测得。

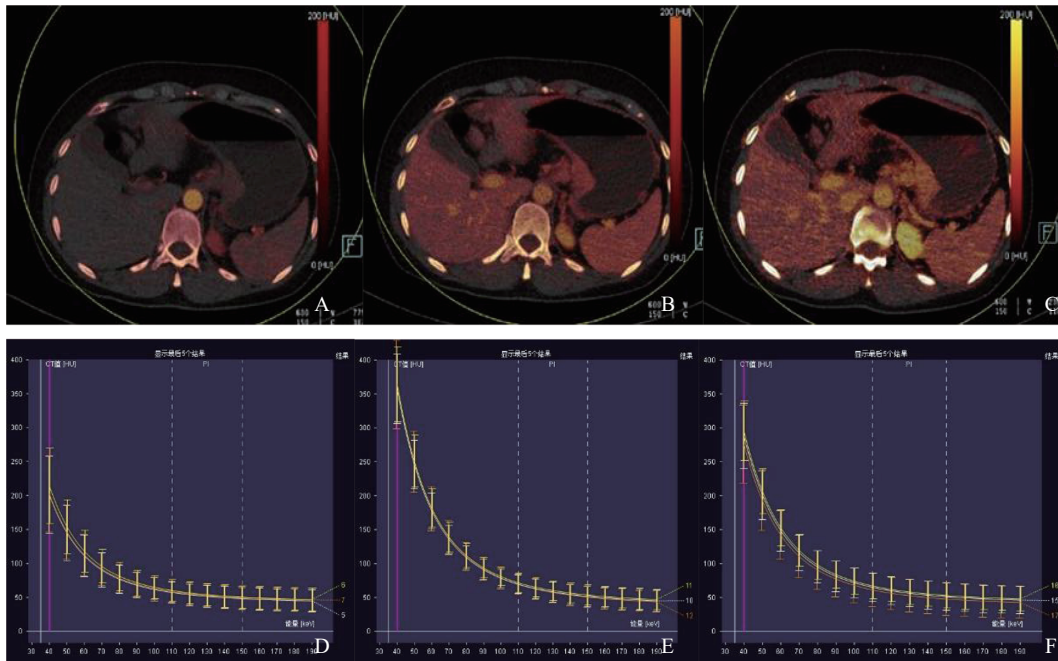


图1 LNM (+) 组病例 (患者, 女性, 46岁) 胃贲门癌DECT碘基图及能谱曲线图

A: 动脉期碘基图,  $nIC_A=0.22$ ; B: 门静脉期碘基图,  $nIC_V=0.71$ ; C: 延迟期碘基图,  $nIC_D=0.91$ ; D: 动脉期能谱曲线,  $k_A=2.10$ ; E: 门静脉期能谱曲线,  $k_V=4.17$ ; F: 延迟期能谱曲线,  $k_D=3.22$ 。

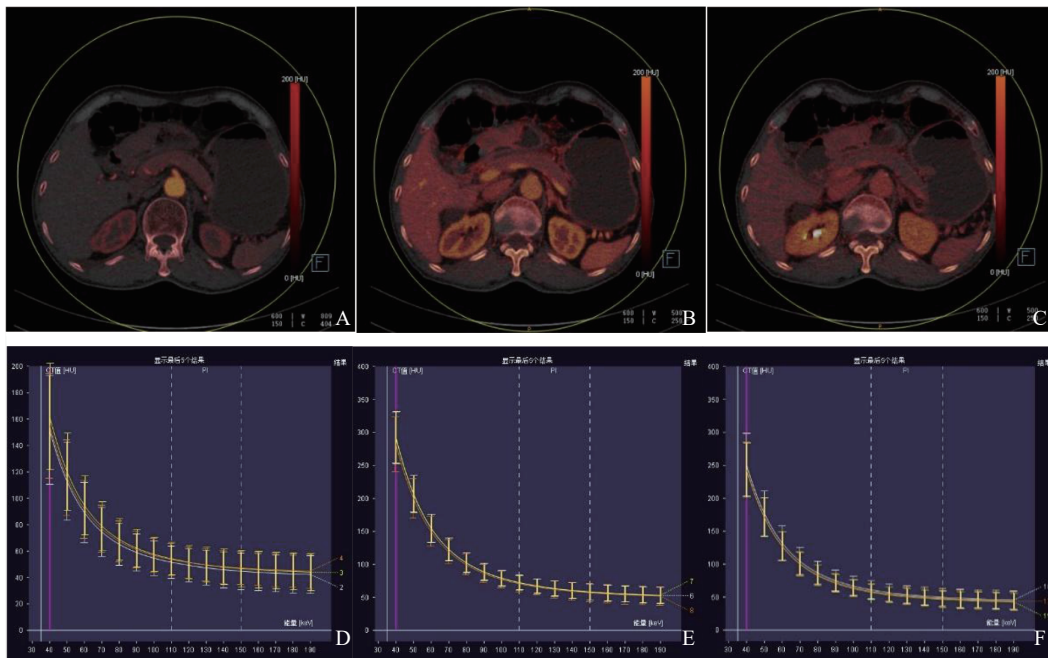


图2 LNM (-) 组病例 (患者, 男性, 74岁) 胃窦癌DECT碘基图及能谱曲线图

A: 动脉期碘基图,  $nIC_A=0.10$ ; B: 门静脉期碘基图,  $nIC_V=0.47$ ; C: 延迟期碘基图,  $nIC_D=0.54$ ; D: 动脉期能谱曲线,  $k_A=1.47$ ; E: 门静脉期能谱曲线,  $k_V=3.10$ ; F: 延迟期能谱曲线,  $k_D=2.67$ 。

根据第8版美国癌症联合会及国际抗癌联盟 (American Joint Committee on Cancer/Union for International Cancer Control, AJCC/UICC) 胃癌 TNM分期系统<sup>[7]</sup>:  $N_0$ 期定义为无区域LNM,  $N_1$ 期定义为1~2个区域LNM,  $N_2$ 期定义为3~6个区域LNM,  $N_3$ 期定义为6个以上区域LNM。

#### 1.4 研究方法

通过医院信息系统 (hospital information system, HIS) 获取203例患者的年龄、性别等资料; 根据术前胃镜报告提示病灶位置和Lauren分型。DECT定量参数包括 $nIC_A$ 、 $nIC_V$ 、 $nIC_D$ 及对应的 $k_A$ 、 $k_V$ 、 $k_D$ 。根据术后淋巴结病理学检查结果, 分为LNM (+) 130例和LNM (-) 73例, 其中 $N_0$ 期73例、 $N_1$ 期35例、 $N_2$ 期41例、 $N_3$ 期54例。

#### 1.5 统计学处理

采用SPSS 22.0软件和MedCalc 15.0软件进行统计学分析。对所有资料进行Kolmogorov-Smirnov正态性检验。依据计数资料是否符合正态分布, 分别以 $\bar{x} \pm s$ 或 $M (P_{25}, P_{75})$ 表示, 计量资料以 $n (%)$ 表示。采用两独立样本 $t$ 检验、Pearson  $\chi^2$ 检验和Mann-Whitney  $U$ 检验进行两组间差异性比较。绘制受试者工作特征 (receiver operating characteristic, ROC) 曲线对二元logistic回归模型的预测性能进行评估, 最佳截断值由约登指数 $J$ 最大值确定, 计算曲线下面积 (area under curve, AUC)、灵敏度和特异度。采用DeLong检验对ROC曲线进行两两比较。采用组内相关系数 (intra-class correlation coefficient, ICC) 评价观察者间一致性,  $ICC < 0.40$ 为一致性差,  $ICC > 0.75$ 为一致性非常好。  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 观察者间一致性检验

由2名放射科医师测得并计算的3期增强 $nIC$ 值和 $k$ 值的一致性均较好。 $nIC_A$ 、 $nIC_V$ 、 $nIC_D$ 、 $k_A$ 、 $k_V$ 、 $k_D$ 对应的ICC分别为0.773、0.758、0.832、0.896、0.845及0.811。

### 2.2 LNM (+) 组与LNM (-) 组患者临床病理学资料比较

单因素分析结果显示, 原发灶最大径、T分期及Lauren分型在两组间差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); LNM (+) 组与LNM (-) 组两组间年龄、性别和病灶位置差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ , 表1)。

表1 LNM (+) 组与LNM (-) 组患者临床病理学特征比较

项目	n (%)		$\chi^2$ 值	P值
	LNM (+) (n=130)	LNM (-) (n=73)		
年龄/岁			2.496	0.114
<65	58 (44.6)	41 (56.2)		
$\geq 65$	72 (55.4)	32 (43.8)		
性别			2.824	0.093
男性	87 (66.9)	57 (78.1)		
女性	43 (33.1)	16 (21.9)		
病灶位置			0.196	0.096
贲门部	26 (20.0)	16 (21.9)		
胃体部	39 (30.0)	20 (27.4)		
胃窦部	65 (50.0)	37 (50.7)		
原发灶最大径/cm			12.257	<0.001
<4	47 (36.2)	45 (61.6)		
$\geq 4$	83 (63.8)	28 (38.4)		
T分期			48.333	<0.001
$T_1$ 和 $T_2$	20 (15.4)	46 (63.0)		
$T_3$ 和 $T_4$	110 (84.6)	27 (37.0)		
Lauren分型			10.773	<0.004
肠型	55 (42.3)	47 (64.4)		
弥漫型	37 (28.5)	17 (23.3)		
混合型	38 (29.2)	9 (12.3)		

### 2.3 LNM (+) 组与LNM (-) 组患者DECT定量参数比较

LNM (+) 组的 $nIC_V$ 、 $nIC_D$ 、 $k_A$ 、 $k_V$ 及 $k_D$ 均大于LNM (-) 组, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); 两组间仅 $nIC_A$ 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ , 表2)。

表2 LNM (+) 组与LNM (-) 组患者DECT定量参数比较

参数	LNM (+)	LNM (-)	t/Z值	P值
nIC <sub>A</sub>	0.17 ± 0.07	0.16 ± 0.05	-0.533	0.590
nIC <sub>V</sub>	0.60 ± 0.19	0.50 ± 0.12	-3.950	<0.001
nIC <sub>D</sub>	0.79 ± 0.16	0.69 ± 0.13	-4.615	<0.001
k <sub>A</sub>	1.77 (1.30, 2.50)	1.53 (1.22, 2.09)	-2.155	0.008
k <sub>V</sub>	3.54 (2.84, 4.39)	2.77 (2.25, 3.26)	-6.166	<0.001
k <sub>D</sub>	3.10 (2.63, 3.70)	2.32 (2.02, 2.79)	-6.421	<0.001

## 2.4 胃癌LNM多因素logistic回归分析

相关性分析结果提示nIC值和k值间高度相关 ( $r > 0.7$ ), 遂对两者独立进行多因素

logistic回归分析。结果显示, T分期、Lauren分型、nIC<sub>V</sub>和k<sub>V</sub>是胃癌LNM的独立危险因素 ( $P < 0.05$ , 表3)。

表3 影响203例胃癌患者LNM多因素分析

项目	多因素模型1			多因素模型2		
	P值	OR	95% CI	P值	OR	95% CI
T分期	<0.001	9.73	4.20~22.56	<0.001	7.00	2.97~16.53
Lauren分型	0.003			0.004		
肠型	1 (参考类别)			1 (参考类别)		
弥漫型	0.005	5.83	1.70~19.98	0.007	5.65	1.60~19.92
混合型	0.850	0.92	0.39~2.18	0.873	0.93	0.38~2.29
nIC <sub>V</sub>	<0.001	202.67	12.11~3 391.86			
k <sub>V</sub>				<0.001	3.315	1.95~5.04

为避免多重共线性问题, 多因素模型1纳入T分期、Lauren分型和nIC<sub>V</sub>指标, 多因素模型2纳入T分期、Lauren分型和k<sub>V</sub>指标。

## 2.5 多因素logistic回归模型预测胃癌患者LNM效能

对回归方程的预测概率进行ROC曲线分析, 纳入T分期、Lauren分型及nIC<sub>V</sub>的模型1, 当最佳截断值为0.56时, 对应AUC为0.839 (95% CI 0.781~0.886), 灵敏度和特异度分别为0.846、0.712; 纳入T分期、Lauren分型及k<sub>V</sub>的模型2, 取最佳截断值0.57时, AUC为0.858 (95% CI 0.802~0.903), 灵敏度和特异度分别为0.915、0.658均最高 (表4, 图3)。DeLong检验结果显示纳入T分期、Lauren分型及nIC<sub>V</sub>的模型1和纳入T分期、Lauren分型及k<sub>V</sub>的模型2两者AUC

之间差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 联合模型的诊断效能不仅优于单独的nIC<sub>V</sub>预测指标, 也优于单独的k<sub>V</sub>预测指标, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。

表4 单个及多个联合预测指标ROC预测性能分析

预测指标	AUC	95% CI	灵敏度	特异度
nIC <sub>V</sub>	0.680	0.611~0.743	0.592	0.740
k <sub>V</sub>	0.761	0.696~0.818	0.592	0.808
模型1	0.839	0.781~0.886	0.846	0.712
模型2	0.858	0.802~0.903	0.915	0.658

模型1纳入T分期、Lauren分型和nIC<sub>V</sub>指标, 模型2纳入T分期、Lauren分型和k<sub>V</sub>指标。

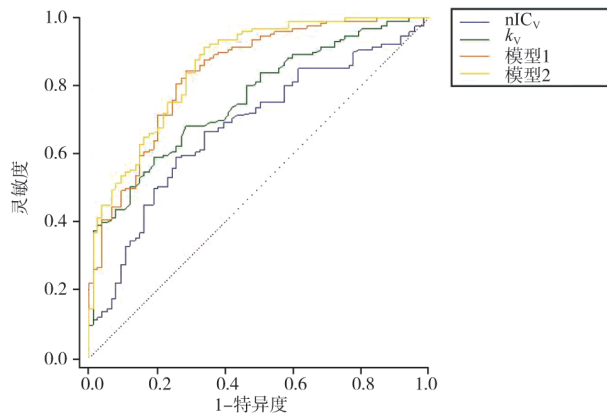


图3 nIC<sub>v</sub>、k<sub>v</sub>、模型1和模型2的ROC曲线

### 3 讨论

多项研究<sup>[8-10]</sup>表明,胃癌生存及预后的独立危险因素之一为LNM, LNM (+)患者较无LNM胃癌患者术后复发率高、总生存期明显缩短。传统CT常受阅片者主观因素、反应性淋巴结增大等影响,从而导致LNM诊断准确度低,仅为54.8~71.3%<sup>[11-12]</sup>。较传统CT扫描而言, DECT不仅在术前肿瘤分期方面展现出较高的诊断效能,同时对肿瘤分级及淋巴结性质鉴别也更具优势<sup>[13]</sup>。以往研究多直接探讨淋巴结状态,由于术前CT图像单个淋巴结与术后病理学检查结果一一对照较困难,本研究不再局限于具体某个淋巴结,而是通过测定原发灶相关特征预测LNM。

本研究结果显示,原发灶最大径、T分期及Lauren分型均与胃癌LNM有关;其中,T分期和Lauren分型是胃癌LNM独立危险因素( $P < 0.05$ ),与崔昊等<sup>[14]</sup>对1 633例训练集胃癌患者原发灶分析结果一致。弥漫型胃癌发生LNM OR值超过5.6,说明与其他Lauren分型胃癌相比,弥漫型更易发生LNM、预后最差,这主要与弥漫型组织分化差、恶性程度高有关<sup>[15]</sup>。本研究与既往研究<sup>[16-17]</sup>结果一致,患者年龄、性别及病灶位置无法预测胃癌LNM( $P > 0.05$ )。

DECT定量参数稳定且可重复测量,本次研究涉及的定量参数ICC均高于0.75。且nIC值减少了体循环及对比剂量差异对ROI碘负荷的干扰,更具价值。组织的血流灌注情况及血供丰富程

度体现在病灶血管对含碘对比剂的摄取,并与肿瘤血供呈正相关,病灶血管越丰富摄碘浓度越高, DECT形成的碘图可定量分析ROI的碘含量<sup>[18-19]</sup>。本研究中LNM (+)组nIC<sub>v</sub>和nIC<sub>D</sub>均高于LNM (-)组( $0.60 \pm 0.19$  vs  $0.50 \pm 0.12$ ;  $0.79 \pm 0.16$  vs  $0.69 \pm 0.13$ ,  $P < 0.05$ ),说明发生LNM的原发灶肿瘤新生血管更为丰富。而恶性程度和转移情况又与肿瘤新生血管密切相关,血管内皮生长因子(vascular endothelial growth factor, VEGF)诱发原发灶微血管和微淋巴管的生成从而增加LNM的概率<sup>[20]</sup>。而动脉期两者间nIC值差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),推测与胃癌强化方式有关,静脉期及延迟期有助于显示间质纤维,细胞外基质对比剂廓清延迟。胃癌原发灶碘摄取浓度与血管生成存在一定关系<sup>[21]</sup>,且静脉期两者相关性更为密切。Li等<sup>[22]</sup>的研究发现,动脉期胃癌LNM (+)组的nIC高于LNM (-)组,可能是由于该研究动脉期是延迟30 s后采集的且对比剂注射速率不同,导致获取的动脉期图像较本研究的动脉期迟,相当于动脉晚期或静脉早期,对比剂已在纤维化的间质内蓄积。

大量肿瘤细胞聚集,改变了胃壁血供与组织结构,恶性程度越高,上述改变越显著,故能谱曲线斜率相对较高,正如本研究中LNM (+)组3期增强的能谱曲线较LNM (-)组陡峭,  $k$ 值分别为1.77 (1.30, 2.50)、3.54 (2.84, 4.39)、3.10 (2.63, 3.70),差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),是因为LNM (+)组较LNM (-)组肿瘤内部组织成分的异质性增加,物质的能量衰减差异大,能谱曲线斜率的偏移尤为显著<sup>[23]</sup>。 $k_v$ 预测LNM的AUC为0.761,较 $k_A$  (AUC=0.591)明显提升,这同样表明 $k_v$ 在胃癌LNM的预测价值高于 $k_A$ 。另有研究<sup>[24]</sup>使用nIC<sub>v</sub>和 $k_v$ 术前评估胃癌脉管及神经侵犯状态。

值得注意的是,本研究联合T分期、Lauren分型及nIC<sub>v</sub>的预测模型1的AUC为0.839,联合T分期、Lauren分型及 $k_v$ 的预测模型2的AUC为0.858,经DeLong检验得出,两者AUC差异无统计学意义( $P < 0.05$ ),说明两个联合模型间预测LNM的性能一致,均体现出非常高的预测性

能,且高于独立的T分期、Lauren分型、 $nIC_V$ 及 $k_V$ 预测指标。T分期和Lauren分型对于术前预测胃癌LNM的灵敏度较高、特异度较低,而DECT定量参数术前预测LNM的特异度较高、灵敏度较低,纳入T分期、Lauren分型及DECT定量参数的联合模型有着较高的灵敏度和特异度,提高了LNM的术前诊断准确度。

本研究尚存在一些不足:①本研究为回顾性研究,无法完全避免选择偏倚;②所有患者病理学类型均为腺癌,未纳入其他病理学类型;③纳入的患者缺少 $T_{4b}$ 期,肿瘤浸润深度的评估不够全面。基于本研究回顾性建立的预测模型,在今后的研究中我们将进一步补充前瞻性研究。

综上所述,胃癌发生LNM与原发灶最大径、T分期、Lauren分型、 $nIC_V$ 及 $k_V$ 相关,其中, $nIC_V$ 及 $k_V$ 是独立危险因素;利用DECT定量参数能够术前预测胃癌LNM,联合T分期、Lauren分型可进一步提高其诊断价值,其灵敏度、特异度均较高,为临床治疗方案的选择提供参考。

## 【参 考 文 献】

- [1] IKOMA N, ESTRELLA J S, BLUM M, et al. Central lymph node metastasis in gastric cancer is predictive of survival after preoperative therapy [J]. *J Gastrointest Surg*, 2018, 22(8): 1325-1333.
- [2] NAKAGAWA M, CHOI Y Y, AN J Y, et al. Difficulty of predicting the presence of lymph node metastases in patients with clinical early stage gastric cancer: a case control study [J]. *BMC Cancer*, 2015, 15: 943.
- [3] XU S H, FENG L L, CHEN Y M, et al. Consistency mapping of 16 lymph node stations in gastric cancer by CT-based vessel-guided delineation of 255 patients [J]. *Oncotarget*, 2017, 8(25): 41465-41473.
- [4] 曹波,唐庆昆,李海歌,等.痛风尿酸盐结晶在膝关节分布特征的观察与分析:一项基于双源CT双能量成像的初步研究[J].*临床放射学杂志*, 2019, 38(12): 2396-2401.
- [5] 黄益龙,赵雯,李俊利,等.双能CT碘图评估甲状腺微小乳头状癌淋巴结转移潜能的价值[J].*中华放射学杂志*, 2019, 53(8): 655-660.
- [6] 徐驰杰,孔玲玲,邓小毅.双能量CT电子云密度/有效原子序数在成骨型转移瘤与骨岛中的鉴别诊断价值[J].*肿瘤影像学*, 2022, 31(4): 403-408.
- [7] 国家卫生健康委员会.胃癌诊疗规范(2018年版)[J].*肿瘤综合治疗电子杂志*, 2019, 5(1): 55-82.
- [8] KANO K, YAMADA T, YAMAMOTO K, et al. Association between lymph node ratio and survival in patients with pathological stage II/III gastric cancer [J]. *Ann Surg Oncol*, 2020, 27(11): 4235-4247.
- [9] 辛磊,宋波,王莉,等.淋巴结转移率和病理学淋巴结分期对胃癌根治术后患者的预后评估[J].*中华内分泌外科杂志*, 2021, 15(3): 293-298.
- [10] 李靖,高剑波,王睿,等.能谱CT碘基值预测及评估胃腺癌淋巴结转移的价值[J].*临床放射学杂志*, 2022, 41(6): 1083-1088.
- [11] WANG J D, ZHONG L J, ZHOU X J, et al. Value of multiphase contrast-enhanced CT with three-dimensional reconstruction in detecting depth of infiltration, lymph node metastasis, and extramural vascular invasion of gastric cancer [J]. *J Gastrointest Oncol*, 2021, 12(4): 1351-1362.
- [12] 胡友强,董小娟,钱勇,等.CT增强扫描对胃腺癌术前TN分期的诊断价值[J].*影像研究与医学应用*, 2021, 5(11): 21-23.
- [13] 姜智允,李鹏飞,隋林,等.双源CT双能量扫描融合三维重建技术在诊断胃癌及淋巴结中应用的研究[J].*实用肿瘤学杂志*, 2017, 31(5): 425-430.
- [14] 崔昊,曹博,邓欢,等.早期胃癌淋巴结转移的列线图预测模型[J].*中华胃肠外科杂志*, 2022, 25(1): 40-47.
- [15] 雷慧君,吴妍,吕慧芳.弥漫型胃癌免疫治疗的现状及研究进展[J].*中国肿瘤临床*, 2021, 48(14): 733-736.
- [16] 王睿,李靖,方梦捷,等.基于能谱CT的影像组学术前预测进展期胃癌淋巴结转移的价值[J].*中华医学杂志*, 2020, 100(21): 1617-1622.
- [17] 高玉青,王小雷,徐鹤,等.基于增强CT影像组学术前预测胃癌淋巴结转移[J].*中国CT和MRI杂志*, 2022, 20(11): 140-142.
- [18] MCCOLLOUGH C H, LENG S, YU L F, et al. Dual- and multi-energy CT: principles, technical approaches, and clinical applications [J]. *Radiology*, 2015, 276(3): 637-653.
- [19] GOO H W, GOO J M. Dual-energy CT: new horizon in medical imaging [J]. *Korean J Radiol*, 2017, 18(4): 555-569.
- [20] 张金梅,董江宁,吴瑶媛,等.甲状腺乳头状癌原发灶能谱CT形态学特征联合多参数预测颈部淋巴结转移的价值[J].*临床放射学杂志*, 2022, 41(10): 1834-1839.
- [21] CHEN X H, REN K, LIANG P, et al. Spectral computed tomography in advanced gastric cancer: can iodine concentration non-invasively assess angiogenesis? [J]. *World J Gastroenterol*, 2017, 23(9): 1666-1675.
- [22] LI J, DONG D, FANG M J, et al. Dual-energy CT-based deep learning radiomics can improve lymph node metastasis risk prediction for gastric cancer [J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(4): 2324-2333.
- [23] 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.
- [24] 任铁柱,邓靓娜,李昇霖,等.能谱CT多参数成像在术前评估胃癌脉管及神经侵犯状态中的应用价值[J].*中华医学杂志*, 2022, 102(23): 1741-1746.

(收稿日期: 2023-02-26 修回日期: 2023-04-29)