DOI:10.16016/j.2097-0927.202408035

双能CT定量参数联合临床特征对结直肠癌T2期与T3期分期的诊断价值

方 霓,韦 鑫,陈维娟,冯 梅,张灵镜,刘玥希,赖 奇,丁 轩,刘欣杰,蒋 伟,余 菡 重庆医科大学附属第二医院放射科,重庆

［**摘要**］ **目的** 探讨双能CT定量参数联合临床特征构建的回归模型对结直肠癌T2期与T3期分期的诊断价值。**方法** 该研究为横断面研究,收集2022年1月至2023年11月在重庆医科大学附属第二医院经术后病理证实,术前在本院放射科行双能CT检查的结直肠癌患者,共91例,根据中国结直肠癌诊疗规范(2020年版)病理T分期标准分为T2组(n=43)和T3(n=48)组。采用单因素分析比较2组间CT定量参数和临床特征的差异性,将差异具有统计学意义的变量采用单因素或多因素Logistic回归分析构建模型,并比较CT参数模型和联合模型的AUC,评估诊断T2期及T3期的效能。**结果** 单因素分析发现癌胚抗原、N分期、肿瘤位置、肿瘤长径、虚拟平扫CT值、脂肪分数、电子密度及双能指数在T2组与T3组间差异具有统计学意义(P<0.05)。多因素Logistic分析发现N分期、肿瘤位置、肿瘤长径、脂肪分数和双能指数是诊断T3期的独立危险因素,将以上变量分别构建CT参数模型和CT参数+临床特征联合模型,其中CT参数模型诊断结直肠癌T3期的AUC为0.671(95%*CI*:0.558~0.783),联合模型的AUC为0.886(95%*CI*:0.815~0.957),且联合模型AUC值与CT参数模型AUC值间差异具有统计学意义(P<0.01)。**结论** 双能CT定量参数联合临床特征构建的回归模型对术前诊断结直肠癌T2期与T3期分期具有较高价值。

［**关键词**］ 结直肠肿瘤;T分期;体层摄影术,X线计算机;双能量成像
［**中图法分类号**］ R195.4;R735.35;R814.42 ［**文献标志码**］ A

Value of dual-energy CT quantitative parameters combined with clinical features in diagnosis of stages T2 and T3 colorectal cancer

FANG Ni, WEI Xin, CHEN Weijuan, FENG Mei, ZHANG Lingjing, LIU Yuexi, LAI Qi, DING Xuan, LIU Xinjie, JIANG Wei, YU Han Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, China

［**Abstract**］ **Objective** To investigate the diagnostic value of our regression model based on quantitative parameters of dual-energy CT and clinical features for stages T2 and T3 colorectal cancer. **Methods** A cross-section study was performed on 91 patients with colorectal cancer confirmed by postoperative pathology in our hospital from January 2022 to November 2023. All of them underwent dual-energy CT examination. According to the pathological T staging criteria of Chinese Colorectal Cancer Diagnosis and Treatment Standard (2020 Edition), they were divided into T2 group (n=43) and T3 group (n=48). Univariate analysis was used to compare the differences in quantitative CT parameters and clinical features between the 2 groups, and the obtained significant variables were employed to construct diagnosis models by

［**基金项目**］ 重庆市科卫联合医学科研面上项目(2022MSXM136);重庆医科大学附属第二医院宽仁横向项目(2023HX014)
［**通信作者**］ 余 菡,E-mail:304457@hospital.cqmu.edu.cn

2097-0927/Copyright © 2025,陆军军医大学(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/)
引用格式:方霓,韦鑫,陈维娟,等.双能CT定量参数联合临床特征对结直肠癌T2期与T3期分期的诊断价值[J].陆军军医大学学报,2025,47(2):177-185.DOI:10.16016/j.2097-0927.202408035.
Citation:FANG N,WEI X,CHEN W J,*et al*. Value of dual-energy CT quantitative parameters combined with clinical features in diagnosis of stages T2 and T3 colorectal cancer[J]. J Army Med Univ,2025,47(2):177-185. DOI:10.16016/j.2097-0927.202408035.

univariate or multivariate logistic regression analysis. The area under receiver operating characteristic curve (AUC) of the CT parametric model and the model combined with clinical features was compared to evaluate the efficacy of diagnosing T2 and T3 stages. **Results** Univariate analysis showed that carcinoembryonic antigen (CEA), N stage, tumor location, tumor longest diameter (LD), CT value of virtual noncontrast (CT-VNC), fat fraction, electron density (Rho) and dual energy index (DEI) were significantly different between the T2 and T3 groups (P<0.05). Multivariate logistic regression analysis found that N stage, tumor location, LD, fat fraction and DEI were independent risk factors for the diagnosis of stage T3. The AUC value of the model of above CT parameters in diagnosing stage T3 colorectal cancer was 0.671 (95%*CI*: 0.558~0.783), and the AUC value of the combined model of above CT parameters and clinical features was 0.886 (95%*CI*: 0.815~0.957), and statistical difference was observed in the AUC value between the combined model and the CT parametric model (P<0.01). **Conclusion** The regression model constructed with dual-energy CT quantitative parameters combined with clinical features has high value in the preoperative diagnosis of stages T2 and T3 colorectal cancer before surgery.

[**Key words**] colorectal tumor; T stage; tomography, X-ray computer; dual energy imaging

Supported by the Joint General Project of Chongqing Science and Technology Commission and Chongqing Health Commission (2022MSXM136), and the Lenient Horizontal Project of the Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University (2023HX014). Corresponding author: YU Han, E-mail: 304457@hospital.cqmu.edu.cn

结直肠癌(colorectal cancer,CRC)作为一种常见的消化道恶性肿瘤,发病率和死亡率呈逐年上升趋势[1-2]。依据欧洲肿瘤学会及我国结直肠癌诊疗指南,T1~T2与T3~T4期推荐的治疗措施不同[3-4],因此准确评估T分期对结直肠癌患者治疗方案的选择具有十分重要的指导意义。目前,高分辨MRI是术前诊断结直肠癌T分期的主要影像学检查方法,然而由于肿瘤周围脂肪厚度、组织炎性水肿或纤维增生等征象,导致部分T2期肿瘤呈现T3期系膜浸润等特征,影像诊断T2期和T3期难度大,容易出现过度分期[5-6]。因此,寻找术前便捷且准确诊断T2及T3期的方法具有重要的临床价值。有研究显示,临床特征指标有助于诊断结直肠癌重要的病理特征[7-9],且多项研究发现,双能CT(dual energy CT,DECT)定量参数与T分期存在相关性[10-11]。因此,本研究旨在筛选出有助于结直肠癌患者术前诊断T2与T3期分期的双能CT定量参数和临床特征,构建单一特征模型和联合特征模型,并探讨其应用效能。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究为横断面研究,收集2022年1月至2023年11月在重庆医科大学附属第二医院经术后病理证实,术前在本院放射科行DECT检查的结直肠癌患者,共91例,根据中国结直肠癌诊疗规范(2020年版)病理T分期标准分为T2组(n=43)和T3(n=48)组。纳入标准:①经组织病理学确诊为结直肠腺癌;②术前2周内行全腹部双能量CT增强检查且2名具有10年以上腹部影像诊断经验的放射科医师均无法判定T分期;③术前2周内行血常规检查;④术前未行新辅助放化疗。排除标准:①CT图像质量差或病灶太小(<2 cm)无法测量者;②除腺癌外特殊病理类型的结直肠癌;③临床及病理资料不全。本回顾性研究遵守《赫尔辛基宣言》,经重庆医科大学附属第二医院伦理委员会批准[2021年科伦审第(243)号],由于患者身份匿名,因此免除受试者知情同意。

1.2 方法

1.2.1 检查前准备 患者检查前1 d进食少渣饮食并口服缓泻剂,以保证肠道清洁,检查当天空腹饮水适当充盈胃肠道。

1.2.2 扫描范围 患者取仰卧位,足先进,扫描范围由肝顶至耻骨联合水平。

1.2.3 扫描方案 采用SOMATOM Drive CT(Siemens Healthineers, Germany)扫描。采用双筒高压注射器(Ulrich medical)经肘正中静脉注入非离子型碘对比剂碘普罗胺注射液(优维显,370 mgI/mL)70~80 mL,注射流率2.5~3.0 mL/s,注射完成后以相同流率注入30 mL生理盐水。采用双能扫描模式进行3期增强扫描,包括动脉期、静脉期和平衡期,使用对比剂智能追踪技术触发扫描,监测点置于腹主动脉腹腔干起始水平,触发阈值120 HU,达到阈值后延迟15 s自

动触发扫描,静脉期和平衡期分别延迟35 s和110 s后进行扫描。扫描参数:管电压80 kVp/Sn140 kVp,管电流采用CARE DOSE(参考管电流分别为210 mAs和105 mAs),转速0.5 s/r,螺距0.6,层厚5.0 mm,层间距5.0 mm,采用迭代重建算法ADMRE2,卷积核为Br40。

1.3 图像处理及分析

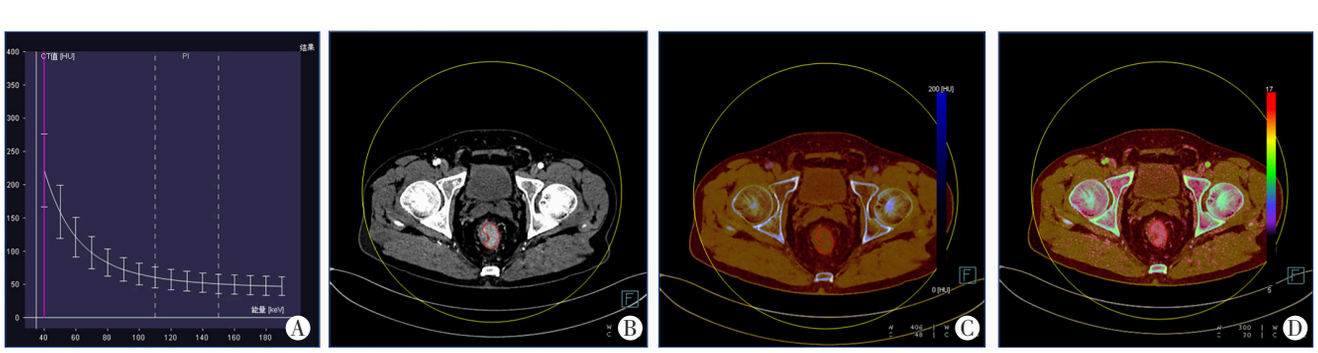
将动脉期原始数据传至Syngo.via VB 10B后处理工作站进行多参数分析,软件自动生成能谱衰减曲线(图1A、2A),并计算曲线斜率,曲线斜率计算公式:K=[(CT-40 keV)-(CT-70 keV)]/30[12];获得动脉期40 keV(图1B、2B)、70 keV、100 keV的虚拟单能量成像(virtual monoenergetic image, VMI)图、虚拟平扫(virtual noncontrast,VNC)图、碘浓度图(图1C、2C)、脂肪图和电子密度/有效原子序数图(图1D、2D)。由2名具有10年以上腹部影像诊断经验的放射科医师于上述图像中,以病灶实性部分最大层面为中心、1 mm为间隔选取3层横轴位图像,独立勾画全病变ROI,确保其大小、形态、位置的一致性,并避开肉眼所见大血管及伪影明显区域,测量CT值(CT-VNC、CT-40 keV、CT-70 keV、CT-100 keV)、碘浓度(iodine concentration,IC)、脂肪分数、电子密度(electron density,Rho)、有效原子序数(effective atomic number,Zeff)及双能指数(dual energy index,DEI),最终取3次测量的平均值进行分析,2名医师对患者的临床病理结果均不知情,结果存在分歧或不一致时,以2名医师的讨论结果为准。其中CT-VNC、CT-40 keV、CT-70 keV和CT-100 keV分别代表在VNC图,40、70和100 keV图上测量的CT值。计算病灶标准碘浓度(normalized IC,NIC):$NIC=IC_{病灶}/IC_{同一层面动脉}\times100\%$。病例1的临床一般资料、病理资料及CT定量参数资料如下:患者为男性,年龄69岁,病理T分期为T3期直肠腺癌,神经浸润为阴性,脉管浸润为阳性,病理N分期为N1b,糖类抗原19-9(carbohydrate antigen 19-9,CA19-9):26.66 U/mL,癌胚抗原(carcinoembryonic antigen,CEA):2.42 ng/mL,肿瘤长径(longest diameter,LD):5.83 cm;HU-VNC:32.20 HU,HU-40 keV:222.00 HU,HU-70 keV:93.50 HU,HU-100 keV:60.00 HU,K=3.23,IC=1.90 mg/mL,NIC=17.80%,Rho=37.40 HU,Zeff=8.41,DEI=0.013,脂肪分数:15.40%。病例2的临床一般资料、病理资料及CT定量参数资料如下:患者为男性,年龄54岁,病理T分期为T2期直肠腺癌,神经浸润为阴性,脉管浸润为阴性,病理N分期为N0期,CA19-9:2.98 U/mL,CEA:2.50 ng/mL,LD:3.70 cm;HU-VNC:36.90 HU,HU-40 keV:150.90 HU,HU-70 keV:76.90 HU,HU-100 keV:57.00 HU,K=2.43,IC=1.20 mg/mL,NIC=7.40%,Rho=45.30 HU,Zeff=8.11,DEI=0.009,脂肪分数:13.30%。

1.4 临床及病理资料

临床资料包括患者年龄、性别、CA19-9及CEA。CT特征包括CT报告的N分期、肿瘤位置、LD及肿瘤沉积(tumor deposits,TD)。病理T分期诊断标准根据中国结直肠癌诊疗规范(2020年版):T2期,肿瘤侵犯固有肌层,但未穿透固有肌层;T3期,肿瘤突破固有肌层外膜,到达直肠周围系膜脂肪内[13]。

1.5 统计学分析

采用SPSS 27.0软件进行统计学分析。采用Kolmogorov-Smirnov检验评价计量资料的正态性,符合正态分布的数据以$\bar{x}\pm s$表示,行独立样本t检验,符合偏态分布的数据以$M(Q1,Q3)$表示,行Mann-Whitney U检验。计数资料以例(%)表示,行χ^2检验或Fisher精确概率检验。将$P<0.05$的相关变量采用双向逐步Logistic回归筛选独立危险因素,采用最小赤池信息量准则(Akaike information criterion, AIC)确定最优模型。绘制受试者工作特征(ROC)曲线,并计算敏感



A:动脉期能谱衰减曲线;B:全腹轴位动脉期40 keV单能量CT表现;C:全腹轴位动脉期碘图;D:全腹轴位动脉期Rho/Zeff图;红色区域:肿瘤ROI

图1 病例1(T3期直肠腺癌)图像处理及分析示意图

度、特异度、准确率、约登指数及曲线下面积(AUC),评价CT参数及联合模型的诊断效能。采用Delong检验比较两模型的诊断效能差异是否具有统计学意义,P<0.05为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 临床病理资料比较

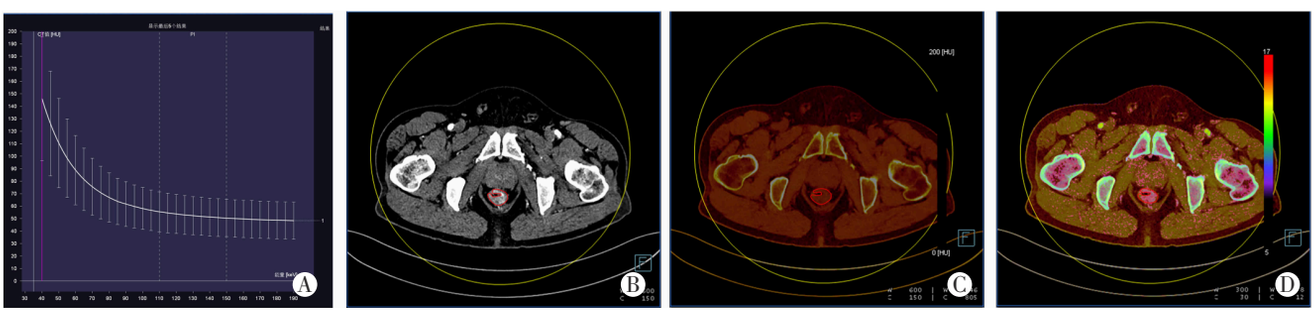
本研究共纳入91例CRC患者,男性55例,女性36例,年龄21~77岁。其中T2组43例,T3组48例,2组患者CEA、N分期、肿瘤位置及LD的差异均具有统计学意义(P<0.05),其余资料差异均无统计学意义,见表1。

2.2 双能CT定量参数比较

T3组脂肪分数、DEI均明显高于T2组(P<0.05),T3组CT-VNC、Rho均明显低于T2组(P<0.05),2组间其余定量参数差异均无统计学意义。见表2。

2.3 Logistic回归分析及模型效能

单因素Logistic回归分析结果表明CEA、N分期、肿瘤位置、LD、CT-VNC、脂肪分数、Rho及DEI是诊断T3期的危险因子。将上述变量纳入多因素Logistic回归分析,经双向逐步分析显示,N分期、肿瘤位置、LD、



A:动脉期能谱衰减曲线;B:全腹轴位动脉期40 keV单能量CT图;C:全腹轴位动脉期碘图;D:全腹轴位动脉期Rho/Zeff图;红色区域:肿瘤ROI

图2 病例2(T2期直肠腺癌)图像处理及分析示意图

表1 两组患者临床一般资料和病理资料比较[$M(Q1,Q3)$,例(%)]

因素	总量(n=91)	T2组(n=43)	T3组(n=48)	Z/χ^2	P
年龄/岁	62.00(53.00,68.00)	65.00(53.00,68.50)	60.50(51.75,67.00)	−0.732	0.464
性别				0.746	0.388
男性	55(60.44)	28(65.12)	27(56.25)		
女性	36(39.56)	15(34.88)	21(43.75)		
CA19-9/(U/mL)				0.267	0.605
≤37	80(87.91)	37(86.05)	43(89.58)		
>37	11(12.09)	6(13.95)	5(10.42)		
CEA/(ng/mL)				5.345	0.021
≤5	61(67.03)	34(79.07)	27(56.25)		
>5	30(32.97)	9(20.93)	21(43.75)		
N分期				8.536	0.003
N0	65(71.43)	37(86.05)	28(58.33)		
N1~N2	26(28.57)	6(13.95)	20(41.67)		
肿瘤沉积				−	1.000
无	82(90.11)	39(90.70)	43(89.58)		
有	9(9.89)	4(9.30)	5(10.42)		
肿瘤位置				20.083	<0.001
直肠	54(59.34)	36(83.72)	18(37.50)		
结肠	37(40.66)	7(16.28)	30(62.50)		
LD/cm	5.20(4.05,6.00)	4.20(3.70,5.60)	5.70(4.70,6.10)	−3.589	<0.001

表2 两组患者CT定量参数比较[$\bar{x}\pm s$,$M(Q1,Q3)$]

CT定量参数	总量(n=91)	T2组(n=43)	T3组(n=48)	t/Z	P值
CT-VNC/HU	30.31±4.96	31.49±4.44	29.25±5.20	2.191	0.031
CT-40 keV/HU	212.13±52.55	205.38±49.71	218.18±54.77	−1.162	0.248
CT-70 keV/HU	88.92±16.74	87.71±15.04	90.00±18.21	−0.649	0.518
CT-100 keV/HU	57.00(52.40,62.20)	57.00(52.90,61.65)	58.20(51.83,62.73)	−0.036	0.971
K	4.10±1.22	3.91±1.20	4.27±1.24	−1.423	0.158
IC/(mg/mL)	2.27±0.66	2.16±0.66	2.37±0.65	−1.567	0.121
NIC/%	16.00(12.85,20.45)	15.60(12.20,20.15)	16.55(14.05,20.72)	−1.363	0.173
脂肪分数/%	16.68±3.55	15.85±3.40	17.41±3.56	−2.131	0.036
Rho/HU	35.12±4.51	36.17±4.48	34.17±4.37	2.151	0.034
Zeff	8.56±0.31	8.52±0.30	8.61±0.31	−1.434	0.155
DEI/%	1.57±0.43	1.46±0.43	1.66±0.41	−2.259	0.026

表3 T3期患者临床病理资料和双能CT定量参数的单因素和多因素Logistic回归分析

因素	单因素					多因素				
	β值	SE	$Wald$值	P值	OR(95%CI)	β值	SE	$Wald$值	P值	OR(95%CI)
CEA										
≤5 ng/mL					1.000(Reference)					
>5 ng/mL	1.078	0.475	5.159	0.023	2.938(1.159~7.448)					
N分期										
N0					1.000(Reference)					1.000(Reference)
N1~N2	1.483	0.529	7.868	0.005	4.405(1.563~12.413)	2.253	0.747	9.095	0.003	9.512(2.200~41.119)
肿瘤位置										
直肠					1.000(Reference)					1.000(Reference)
结肠	2.148	0.509	17.786	<0.001	8.571(3.158~23.264)	2.346	0.612	14.695	<0.001	10.445(3.147~34.661)
LD	0.491	0.168	8.578	0.003	1.633(1.176~2.268)	0.478	0.195	6.007	0.014	1.613(1.101~2.365)
CT-VNC	−0.097	0.046	4.422	0.035	0.908(0.829~0.993)					
脂肪分数	0.133	0.065	4.192	0.041	1.142(1.006~1.296)	0.121	0.081	2.205	0.138	1.128(0.962~1.323)
Rho	−0.103	0.050	4.301	0.038	0.902(0.818~0.994)					
DEI	1.168	0.543	4.626	0.031	3.214(1.109~9.314)	1.404	0.750	3.499	0.061	4.070(0.935~17.717)

脂肪分数及DEI是诊断T3期的独立危险因素,分别构建CT参数模型和CT参数+临床特征联合模型,其中以脂肪分数+DEI构建的CT参数模型诊断结直肠癌T3期的敏感度为75.00%,特异度为44.19%,准确率为65.93%,最大约登指数为0.308,AUC为0.671(95%CI:0.558~0.783),以N分期、肿瘤位置、LD、脂肪分数及DEI构建的联合模型的敏感度为87.50%,特异度为81.40%,准确率为84.62%,最大约登指数为0.689,AUC为0.886(95%CI:0.815~0.957)。见表3、图3。

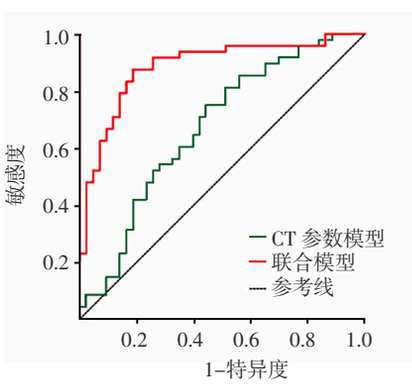


图3 CT参数模型及联合模型诊断T3分期的ROC曲线

将联合模型与CT参数模型AUC值进行比较,结果显示联合模型与CT参数模型AUC值间差异具有统计学意义($P<0.01$)。

3 讨论

本研究联合DECT定量参数和临床特征,通过Logistic回归分析构建CT参数模型和联合模型,用于术前诊断结直肠癌T2与T3期。研究结果发现CEA、N分期、肿瘤位置、LD、CT-VNC、脂肪分数、Rho及DEI是T3期的预测因子,且N分期、肿瘤位置、LD、脂肪分数及DEI是诊断T3期的独立危险因素。在构建的模型中联合模型对T3期结直肠癌具有最佳诊断效能,并且该模型的AUC值显著高于CT参数模型。既往关于结直肠癌T分期的研究多为诊断T1~T2与T3~T4期的研究[7,14-15],而尚无关于DECT针对T2期与T3期的文献报道。本研究为术前诊断结直肠癌T2与T3期提供新的思路。

3.1 临床特征诊断结直肠癌T2与T3期的价值分析

T分期越高,代表肿瘤局部浸润侵袭越严重,越有可能从淋巴道转移。本研究T3期CT报告的N1~N2分期比例明显高于T2期,与以往报道一致[16]。本研究结果显示肿瘤位于直肠时以T2期为主,位于结肠时以T3期为主,可能与直肠距离肛门较近,较容易发生血便、疼痛、肛门刺激感等不适症状,容易在早期发现,结肠癌在早期可能不会出现明显症状有关[17]。本研究T3期肿瘤LD明显高于T2期,且LD为诊断二者的独立危险因素,可能是由于肿瘤细胞越大,侵袭能力越强,肠壁浸润越深,T分期也越高,与既往研究相符[7]。CEA和CA19-9是目前最常用的结直肠癌肿瘤标志物,在肿瘤的发生发展中均起重要作用[18]。本研究T3期CEA水平升高的比例明显高于T2期,这可能因为CEA水平越高提示肿瘤细胞的增殖能力越强,标志着肿瘤恶性程度越高,而T3期结直肠癌恶性程度比T2期更高。吴树剑等[7]与LIN等[18]研究表明CEA和CA19-9可用于评估直肠癌的T分期,在本研究中T3期和T2期间的CA19-9差异无统计学意义,这可能是因为本研究对象除直肠癌患者外还有结肠癌患者,导致结果存在差异。

3.2 DECT定量参数诊断结直肠癌T2与T3期的价值分析

DECT能对扫描时的高、低能量数据进行分离和解析,可测量多种定量参数,对结直肠癌T分期有很高的参考价值[19],而动脉期DECT定量参数更能反映肿瘤特征[9],因此本研究采用动脉期数据进行分析。VNC是基于碘物质的识别,通过去除CT增强图像上的碘强化效果而获得的图像,测得的CT值与真实平扫接近。有研究证明肿瘤区域的VNC数值可反映组织生物学特性[20],本研究T3期的VNC数值明显低于T2期,可能与T3期肿瘤突破固有肌层影响周围结缔组织及脂肪组织,导致组织CT值下降有关。肿瘤脂肪分数代表肿瘤组织脂肪浓度,本研究T3期的脂肪分数明显高于T2期,可能与T3期肿瘤浸润肠周系膜脂肪、组织脂肪含量增高有关,且脂肪分数为诊断二者的独立危险因素,表明脂肪分数可明确评估肿瘤的进展情况。Rho是相对于水的电子密度,为一个体素内多种元素的混合,能反映细胞密度[21]。Zeff表示混合物质中的复合原子数,可以准确分析组织的化学组成成分[22]。DEI反映随kV增加,ROI内组织CT值的动态变化[21]。由于ROI内的每个提速由不同元素构成,因此ROI范围内的Rho、Zeff及DEI均代表不同体素的平均加权结果[23]。本研究结果表明T3期Rho低于T2期,可能与T3期肿瘤恶性程度高、细胞密度降低、Rho也会降低有关[24]。此外,本研究T3期DEI明显高于T2期,同时DEI是二者的独立危险因素,分析可能因为DEI随着组织内对比剂的增多而增多,T3期浸润深度更深,肿瘤血管更丰富,吸收的对比剂更多。本研究中Zeff在T3和T2期间的差异不具有统计学意义,与CHEN等[10]研究结果不同,可能是由于CHEN等的研究将ROI进行逐层勾画,而本研究ROI勾画的是肿瘤实性部分最大层面的上下3层图像,这可能导致ROI内的组织成分构成存在差异,在一定程度上可能导致实验结果有所不同。但目前关于Rho、Zeff及DEI在结直肠癌T分期方面的研究较少,尚需更多的研究来探索三者的价值。

既往研究认为VMI增加了病变与周围组织的对比度,有助于观察浆膜面是否受侵,能增加T分期的准确性[15,25],且VMI图像CT值能反映组织碘摄取情况,肿瘤分期越高,新生血管成分越多,所摄取的碘量越多[26]。肿瘤的IC及NIC代表组织对碘对比剂的摄取,能直接反映肿瘤微循环情况。CHEN等[10]回顾性分析131例结直肠癌患者的光谱CT资料,发现结直肠癌T分期与Zeff、能谱曲线斜率及NIC均呈正相关。而

SUN等[11]研究表明,T3期结直肠癌VMI图像的CT值、IC、Zeff及细胞外容积分数(extracellular volume fraction,ECV)等光谱CT参数均高于T1~T2期。最近,SUN等[11]研究认为Zeff、IC、CT-40 keV和CT-100 keV等光谱CT定量参数与病理T分期呈正相关。本研究显示40、70、100 keV图像的CT值、能谱曲线斜率、IC及NIC在T3与T2期间的差异无统计学意义,与以往研究结果不同,分析可能与ROI勾画方法、研究对象、能谱CT扫描方式及定量参数算法相关,有待未来进一步探究。

3.3 Logistic回归模型诊断结直肠癌T2与T3期的价值分析

本研究通过多因素Logistic回归分析构建了脂肪分数+DEI的CT参数模型,但其诊断结直肠癌T3期的AUC仅为0.671,对结直肠癌T分期的诊断具有局限性,多参数特征联合诊断可弥补这一不足。结果表明基于N分期、肿瘤位置、LD、脂肪分数及DEI构建的联合模型为最优模型,AUC为0.886,为术前诊断结直肠癌T3期的可靠方式。

3.4 不足之处及展望

尽管本研究取得了一定的成果,但仍存在一些局限性:①本研究为单中心回顾性研究,存在一定的数据选择偏移;②本研究样本量仍不够充足,纳入病例相对较少;③本研究采用最大层面肿瘤实质区进行ROI勾画,而未对病灶整体进行评估;④本研究未分析不同组织学类型肿瘤的参数差异,未来可加入更多临床CT特征进行进一步研究。今后将纳入多中心、大样本研究来验证本研究结果,继续探讨双能CT定量参数联合临床CT特征在诊断结直肠癌术前分期方面的应用价值。

综上所述,联合临床特征构建Logistic回归模型对诊断T2与T3期分期具有较高的效能。当在双能增强CT检查中观察到肿瘤周围脂肪厚度、组织炎性水肿或纤维增生明显,诊断医师难以判定T2或T3分期时,结合临床特征更有助于诊断医师准确评估T分期,从而为临床治疗决策提供参考。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献:

[1] BRAY F, FERLAY J, SOERJOMATARAM I, *et al*. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2018, 68(6): 394-424. DOI: 10.3322/caac.21492.

[2] 郑荣寿, 陈茹, 韩冰峰, 等. 2022年中国恶性肿瘤流行情况分析[J]. 中华肿瘤杂志, 2024, 46(3): 221-231. DOI: 10.3760/cma.j.cn112152-20240119-00035.
ZHENG R S, CHEN R, HAN B F, *et al*. Cancer incidence and mortality in China, 2022[J]. Chin J Oncol, 2024, 46(3): 221-231. DOI: 10.3760/cma.j.cn112152-20240119-00035.

[3] QIU H B, CAO S M, XU R H. Cancer incidence, mortality, and burden in China: a time-trend analysis and comparison with the United States and United Kingdom based on the global epidemiological data released in 2020[J]. Cancer Commun, 2021, 41(10): 1037-1048. DOI: 10.1002/cac2.12197.

[4] 国家卫生健康委员会医政司,中华医学会肿瘤学分会. 中国结直肠癌诊疗规范(2023版)[J]. 消化肿瘤杂志(电子版), 2023, 15(3): 177-206. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.06.02.
Hospital Authority of National Health Commission of the People's Republic of China, Chinese Society of Oncology of Chinese Medical Association. Chinese protocol of diagnosis and treatment of colorectal cancer(2023 edition)[J]. J Dig Oncol Electron Version, 2023, 15(3): 177-206. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2023.06.02.

[5] HAMABE A, TAKEMASA I, ISHII M, *et al*. The potential of an artificial intelligence for diagnosing MRI images in rectal cancer: multicenter collaborative trial[J]. J Gastroenterol, 2024, 59(10): 896-904. DOI: 10.1007/s00535-024-02133-8.

[6] Expert Panel on Gastrointestinal Imaging, KORNGOLD E K, MORENO C, *et al*. ACR appropriateness criteria® staging of colorectal cancer: 2021 update[J]. J Am Coll Radiol, 2022, 19(5s): S208-S222. DOI: 10.1016/j.jacr.2022.02.012.

[7] 吴树剑, 俞咏梅, 范莉芳, 等. 基于深度学习的影像组学预测直肠癌T2与T3分期[J]. 磁共振成像, 2023, 14(11): 84-89, 102. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.11.014.
WU S J, YU Y M, FAN L F, *et al*. Radiomics based on deep learning to predict T2 and T3 staging of rectal cancer[J]. Chin J Magn Reson Imag, 2023, 14(11): 84-89, 102. DOI: 10.12015/issn.1674-8034.2023.11.014.

[8] 马玉萍, 朱建国, 雍千叶, 等. 增强CT影像组学联合临床指标预测结直肠癌壁外血管侵犯[J]. 中国医学影像技术,

2024, 40(7): 1041-1046.
MA Y P, ZHU J G, YONG Q Y, *et al*. Enhanced CT radiomics combined with clinic for predicting extramural venous invasion of colorectal cancer [J]. Chin J Med Imag Technol, 2024, 40(7): 1041-1046.

[9] 黄豆豆, 陈峻帆, 韦鑫, 等. 双能CT定量参数联合CT特征预测结直肠腺癌周围神经浸润[J]. 中国医学影像技术, 2023, 39(12): 1827-1832. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2023.12.019.
HUANG D D, CHEN J F, WEI X, *et al*. Dual-energy CT quantitative parameters combined with CT features for predicting perineural invasion of colorectal adenocarcinoma [J]. Chin J Med Imag Technol, 2023, 39(12): 1827-1832. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2023.12.019.

[10] CHEN W C, YE Y S, ZHANG D C, *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: 1002592. DOI: 10.3389/fonc.2022.1002592.

[11] SUN Q, BIAN X L, SUN D Q, *et al*. The value of preoperative diagnosis of colorectal adenocarcinoma pathological T staging based on dual-layer spectral-detector computed tomography extracellular volume fraction: a preliminary study[J]. Jpn J Radiol, 2024, 42(6): 612-621. DOI: 10.1007/s11604-024-01537-z.

[12] AN C, LI D Y, LI S, *et al*. Deep learning radiomics of dual-energy computed tomography for predicting lymph node metastases of pancreatic ductal adenocarcinoma[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 49(4): 1187-1199. DOI: 10.1007/s00259-021-05573-z.

[13] 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局,中华医学会肿瘤学分会. 中国结直肠癌诊疗规范(2020年版)[J]. 中国实用外科杂志, 2020, 40(6): 601-625. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2020.06.01.
Hospital Authority of National Health Commission of the People's Republic of China, Chinese Society of Oncology of Chinese Medical Association. Chinese protocol of diagnosis and treatment of colorectal cancer(2020 edition)[J]. Chin J Pract Surg, 2020, 40(6): 601-625. DOI: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2020.06.01.

[14] 胡飞翔, 岳亚丽, 彭卫军, 等. DWI联合T_2WI在鉴别T2和T3期直肠癌术前分期中的应用价值[J]. 放射学实践, 2021, 36(4): 507-513. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.04.017.
HU F X, YUE Y L, PENG W J, *et al*. The application value of DWI combined with T_2WI for preoperative differentiation of in T2- and T3-stage of rectal cancer[J]. Radiol Pract, 2021, 36(4): 507-513. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2021.04.017.

[15] 李鹏强, 刘念军, 张艳利, 等. 双层探测器光谱CT术前评估结直肠癌研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2024,40(8): 1262-1265. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2024.08.032.
LI P Q, LIU N J, ZHANG Y L, *et al*. Research progresses of dual-layer spectral detector CT for preoperative evaluation on colorectal cancer[J]. Chin J Med Imag Technol, 2024, 40(8): 1262-1265. DOI: 10.13929/j.issn.1003-3289.2024.08.032.

[16] 焦帅, 关旭, 王锡山. 结直肠癌淋巴结检出数目影响因素分析及个体化评估展望[J]. 中华结直肠疾病电子杂志, 2023, 12(3): 234-240. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3224.2023.03.010.
JIAO S, GUAN X, WANG X S. Factor analysis and the prospect of individualized evaluation for lymph node harvest in colorectal cancer [J]. Chin J Colorectal Dis Electron Ed, 2023, 12(3): 234-240. DOI: 10.3877/cma.j.issn.2095-3224.2023.03.010.

[17] QU R Z, MA Y P, TAO L Y, *et al*. Features of colorectal cancer in China stratified by anatomic sites: a hospital-based study conducted in university-affiliated hospitals from 2014 to 2018[J]. Chin J Cancer Res, 2021, 33(4): 500-511. DOI: 10.21147/j.issn.1000-9604.2021.04.07.

[18] LIN X, ZHAO S, JIANG H J, *et al*. A radiomics-based nomogram for preoperative T staging prediction of rectal cancer[J]. Abdom Radiol (NY), 2021, 46(10): 4525-4535. DOI: 10.1007/s00261-021-03137-1.

[19] GAO W, ZHANG Y Q, DOU Y N, *et al*. Association between extramural vascular invasion and iodine quantification using dual-energy computed tomography of rectal cancer: a preliminary study[J]. Eur J Radiol, 2023, 158: 110618. DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110618.

[20] MCCOLLOUGH C H, BOEDEKER K, CODY D, *et al*. Principles and applications of multienergy CT: report of AAPM task group 291[J]. Med Phys, 2020, 47(7): e881-e912. DOI: 10.1002/mp.14157.

[21] 袁艺, 李杭, 方著, 等. 双能量CT的不同定量参数在直肠癌术前评估中的应用价值[J]. 临床放射学杂志, 2023, 42(10): 1607-1612. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2023.10.011.
YUAN Y, LI H, FANG Z, *et al*. Application value of

different quantitative parameters of dual energy CT in preoperative rectal cancer[J]. J Clin Radiol, 2023,42(10): 1607-1612. DOI:10.13437/j.cnki.jcr.2023.10.011.

[22] LU W Z, TAN X Y, ZHONG Y Q, *et al*. Spectral CT in the evaluation of perineural invasion status in rectal cancer[J]. Jpn J Radiol, 2024, 42(9): 1012-1020. DOI: 10.1007/s11604-024-01575-7.

[23] 赵薇. 双能CT参数术前预测结直肠癌区域淋巴结转移的临床研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古医科大学, 2022.
ZHAO W. Clinical study on preoperative prediction of regional lymph node metastasis in colorectal cancer by dual-energy CT parameters[D]. Hohhot: Inner Mongolia Medical University, 2022.

[24] ONISHI S, FUJIOKA C, KAICHI Y, *et al*. Utility of dual-energy CT for predicting the vascularity of meningiomas[J]. Eur J Radiol, 2020, 123: 108790. DOI: 10.1016/j.ejrad.2019.108790.

[25] 范芮, 孙美玉. 双能CT在直肠癌的应用进展[J]. 放射学实践, 2019, 34(3): 346-349. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.03.021.
FAN R, SUN M Y. Application progress of dual-energy CT in rectal cancer[J]. Radiol Pract, 2019, 34(3): 346-349. DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2019.03.021.

[26] 孙琦, 孙丹琦, 卞雪莲, 等. 光谱CT细胞外体积分数术前诊断结直肠癌病理T分期及组织学分级的价值[J]. 临床放射学杂志, 2024, 43(5): 782-787. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2024.05.023.
SUN Q, SUN D Q, BIAN X L, *et al*. The value of spectral CT extracellular volume fraction in preoperative diagnosis of pathological T stage and histological grade of colorectal cancer[J]. J Clin Radiol, 2024, 43(5): 782-787. DOI: 10.13437/j.cnki.jcr.2024.05.023.

(**收稿**:2024-08-09;**修回**:2024-11-15)
(编辑 刘秋池)