DOI:10.16016/j.2097-0927.202204001

能谱 CT 容积定量参数鉴别结直肠癌病理类型的价值

李晓凤,庄羽翔,傅浪舟,刘 巧,周代全,旷连勤,曾 燕 401120 重庆,重庆医科大学附属第三医院放射科

[**摘要**] **目的** 探讨能谱 CT 容积定量参数对鉴别结直肠癌病理类型的临床价值。**方法** 回顾性分析 2019 年 1 月至 2021 年 11 月在本院经病理证实的 66 例结直肠癌患者的临床和影像学资料,其中黏液腺癌 16 例,管状腺癌 50 例,采用不同的感兴趣区域(region of interest, ROI)获取方法测得肿瘤的容积参数和二维参数,包括碘(水)浓度、水(碘)浓度、有效原子序数,并计算出标准化碘(水)浓度(normalized iodine concentration,NIC)。采用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验进行组间比较,对有统计学意义的参数运用 ROC 曲线评价其对结直肠癌病理类型的诊断效能。**结果** 能谱 CT 容积参数中,动脉期和静脉期的碘(水)浓度、NIC、有效原子序数组间差异均具有统计学意义($P<0.01$);黏液腺癌的碘(水)浓度、NIC、有效原子序数均低于管状腺癌。而在二维参数中,仅静脉期的碘(水)浓度、NIC、有效原子序数组间差异具有统计学意义($P<0.05$)。黏液腺癌的容积碘(水)浓度和 NIC 低于相应二维参数。ROC 曲线显示容积参数的曲线下面积均高于二维参数,其中动脉期容积 NIC 的诊断效能最高,其敏感度为 82.0%,特异度为 87.5%。**结论** 能谱 CT 容积定量参数对鉴别结直肠黏液腺癌和管状腺癌较二维参数可能具有更大的潜在临床价值。

[**关键词**] 结直肠癌;黏液腺癌;管状腺癌;能谱 CT
[**中图法分类号**] R735.35; R814.3; R814.42 [**文献标志码**] A

Value of energy spectrum CT volume quantitative parameters in differentiating pathological types of colorectal cancer

LI Xiaofeng, ZHUANG Yuxiang, FU Langzhou, LIU Qiao, ZHOU Daiquan, KUANG Lianqin, ZENG Yan
Department of Radiology, the Third Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing, 401120, China

[**Abstract**] **Objective** To investigate the clinical value of energy spectrum CT volume quantitative parameters in differentiating pathological types of colorectal cancer. **Methods** The clinical and imaging data of 66 patients (16 cases of mucinous adenocarcinoma and 50 cases of tubular adenocarcinoma) with colorectal cancer confirmed by pathology in our hospital from January 2019 to November 2021 were collected and retrospectively analyzed. The volume parameters and two-dimensional parameters of the tumor, including iodine (water) concentration, water (iodine) concentration and effective atomic number, were measured by different methods of region of interest (ROI) acquisition, and normalized iodine (water) concentration (NIC) was calculated. Student's t test or Mann-Whitney U test was used for comparison between groups, and receiver operating characteristic (ROC) curve was drawn to evaluate the diagnostic efficacy of statistically significant parameters for pathological types of colorectal cancer. **Results** In terms of energy spectrum volume parameters, iodine (water) concentration, NIC and Eff-Z in arterial and venous phases were significantly different ($P<0.01$). The iodine (water) concentration, NIC and Eff-Z of mucinous adenocarcinoma were lower than those of tubular adenocarcinoma. However, in the two-dimensional parameters, only iodine (water) concentration, NIC and Eff-Z in venous phase had significant differences among groups ($P<0.05$). The volumetric iodine (water) concentration and NIC in mucinous adenocarcinoma

[**通信作者**] 曾 燕, E-mail:zengyan@cqmu.edu.cn

2097-0927/Copyright © 2022, 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/)

were lower than corresponding two-dimensional parameters. ROC curve showed that the area under the curve of energy spectrum volume parameters was higher than that of two-dimensional parameters. Among them, arterial volume NIC had the highest diagnostic efficiency, with a sensitivity of 82.0% and specificity of 87.5%. **Conclusion** The quantitative parameters of CT volume of energy spectrum may have greater potential clinical value in differentiating mucinous colorectal adenocarcinoma from tubular adenocarcinoma than two-dimensional parameters.

[**Key words**] colorectal cancer; mucinous adenocarcinoma; tubular adenocarcinoma; energy spectrum CT

Corresponding author: ZENG Yan, E-mail: zengyan@cqmu.edu.cn

结直肠癌(colorectal cancer,CRC)是临床常见的恶性肿瘤,近年来其发病率明显升高。其中腺癌是最常见的组织学类型,包括黏液腺癌和非黏液腺癌。黏液腺癌是指肿瘤中含黏液成分50%以上[1]。与非黏液腺癌相比,黏液腺癌有较高的局部复发率、远处转移、淋巴结转移和脉管浸润能力[1-3],更需要个性化治疗。因此,准确诊断肿瘤的病理类型非常重要。目前内镜活检是术前诊断结直肠癌的金标准,然而其可能受取材表浅和肿瘤异质性的影响导致诊断不准确[4]。传统CT由于分辨率有限且缺乏定量参数,在结直肠肿瘤的评估上应用受限;而能谱CT较传统CT具有更高的图像质量,而且能够进行多参数定量分析。能谱CT常规观测病灶参数的方法是通过轴位影像放置感兴趣区域(region of interest, ROI)获得,这种方法并不能代表整个病灶的情况;而能谱CT容积参数可以反映包含黏液成分等在内的肿瘤整体的生物学信息。因此,本研究拟探讨能谱CT容积参数在鉴别结直肠黏液腺癌和管状腺癌中的价值,并通过与能谱CT常规二维参数进行比较,以期探索一种无创检测结直肠癌病理类型的影像学方法。

1 材料与方法

1.1 临床资料

收集2019年1月至2021年11月在本院行全腹部CT能谱增强检查的66例结直肠癌患者,其中男性42例,女性24例,年龄23~87(63.86±13.32)岁。回顾性分析其能谱CT影像数据及临床资料。病例纳入标准:①能谱CT检查前未行治疗干预;②对碘剂无过敏,无甲亢等禁忌证;③CT图像质量能满足研究需要;④有手术病理学结果。排除标准:①影像资料及临床资料不全;②病变边界不清无法测量。本研究已通过本院伦理委员会审批,审批号:2022年科伦审第(45)号。

1.2 检查方法

扫描前准备:患者1周内未服用干扰CT图像质量的药物如钡剂,检查前3 d行低渣饮食,检查当日禁食8~12 h,检查前10 min饮温水800~1 500 mL。采用多排螺旋CT(Revolution CT, GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin),患者取仰卧位,先进行平扫,然后在能谱成像(gemstone spectral imaging, GSI)模式下行双期增强扫描,动脉期采用智能追踪触发扫描模式于第二肝门监测腹主动脉CT值为120亨氏单位时自动扫描,静脉期于动脉期结束后25 s开始扫描。扫描参数:管电压80~140 kV自动切换,管电流405 mA,探测器宽度80 mm,螺距0.992:1,层厚及层间距5 mm,自适应迭代(adaptive statistical iterative reconstruction,ASIR)重建50%,重建层厚1.25 mm。对比剂选用欧乃派克(350 mgI/mL),经肘正中静脉注入,用量为1.5 mL/kg+生理盐水30 mL,注射速率4 mL/s。

1.3 影像分析及数据测量

将能谱数据导入GE AW4.7后处理工作站,由两位经验丰富的医师使用GSI专用后处理软件独立进行图像后处理及测量,取两位医师测值的平均值作为最终测量结果。能谱容积定量参数测量方法为先采用容积再现(volume rendering,VR)软件,重建出肿瘤整体的VR图像,在VR图像的基础上再分别测量整个肿瘤动脉期及静脉期的碘(水)浓度、水(碘)浓度、有效原子序数(effective atomic number,Eff-Z)。能谱常规二维参数测量方法:在轴位影像选择病灶最大3个相邻层面的实性成分且强化最显著的区域放置相同大小的ROI,取其平均值,分别记录动脉期及静脉期的碘(水)浓度、水(碘)浓度、Eff-Z。然后在轴位图像上测得动脉期和静脉期腹主动脉或髂外动脉的碘(水)浓度,计算出标准化碘(水)浓度(normalized iodine concentration,NIC)=肿瘤碘(水)浓度/动脉碘(水)浓度。

1.4 统计学分析

应用SPSS 26.0统计分析软件,符合正态分布的计量资料以$\bar{x}\pm s$表示,非正态分布的计量参数用中位

数 $M(IQR)$ 表示,计数资料用例数(n)表示。组间比较采用 t 检验或 Mann-Whitney U 检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。采用 ROC 曲线分析,比较能谱 CT 容积定量参数与二维参数鉴别结直肠癌病理类型的准确性,选择 Youden 指数确定诊断最佳阈值,分别计算出相应的敏感度和特异度。

2 结果

2.1 两位医师测量结果的一致性分析

66 例患者中包含直肠癌 36 例,结肠癌 30 例;黏液腺癌 16 例,管状腺癌 50 例。黏液腺癌中 8 例为中分化管状腺癌伴黏液腺癌,1 例为高分化管状腺癌伴黏液腺癌,其中黏液腺癌占比均大于 50%,7 例黏液腺癌未提示分化程度;管状腺癌低或低-中分化 9 例,中分化 34 例,中-高或高分化 7 例。术后病理 T 分期示:T2 期 9 例,T3 期 33 例,T4 期 24 例。两位医师运用容积 ROI 和二维 ROI 测量值均有较好的一致性,且容积参数较二维参数一致性更具有优势(表 1)。

2.2 两种类型结直肠癌的能谱 CT 分析结果

在容积定量参数中,动脉期和静脉期的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 在两组间差异具有显著统计学意义($P<0.01$);黏液腺癌的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 均低于管状腺癌,且静脉期高于动脉期。而在能谱常规二维参数中,仅静脉期的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 在两组间差异具有统计学意义($P<0.05$),黏液腺癌的静脉期碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 低于管状腺癌(表 2 和图 1、2)。

2.3 两类能谱参数对不同类型结直肠癌的分析结果

两种病理类型结直肠癌中,仅黏液腺癌的动脉期碘(水)浓度和 NIC 在两种测量方法间差异具有统计学意义($P<0.05$),容积碘(水)浓度和 NIC 低于二维碘(水)浓度和 NIC。其余各参数两两比较差异均不具有统计学意义($P>0.05$,表 3 和图 1、2)。

2.4 两类能谱参数对黏液腺癌与管状腺癌的鉴别效能

能谱容积参数中动脉期和静脉期的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 对鉴别黏液腺癌和管状腺癌具有统计学意义,其中动脉期 NIC 的诊断效能最高,其 ROC 曲线下面积为 0.910,敏感度为 82.0%,特异度为 87.5%,最佳诊断阈值为 0.105。而在能谱常规二维参数中仅静脉期的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 对两种结直肠癌的鉴别具有统计学意义,但是其 ROC 曲线下面积均低于容积参数(表 4)。

表 1 两种参数获取方法中不同医师测量结果一致性分析

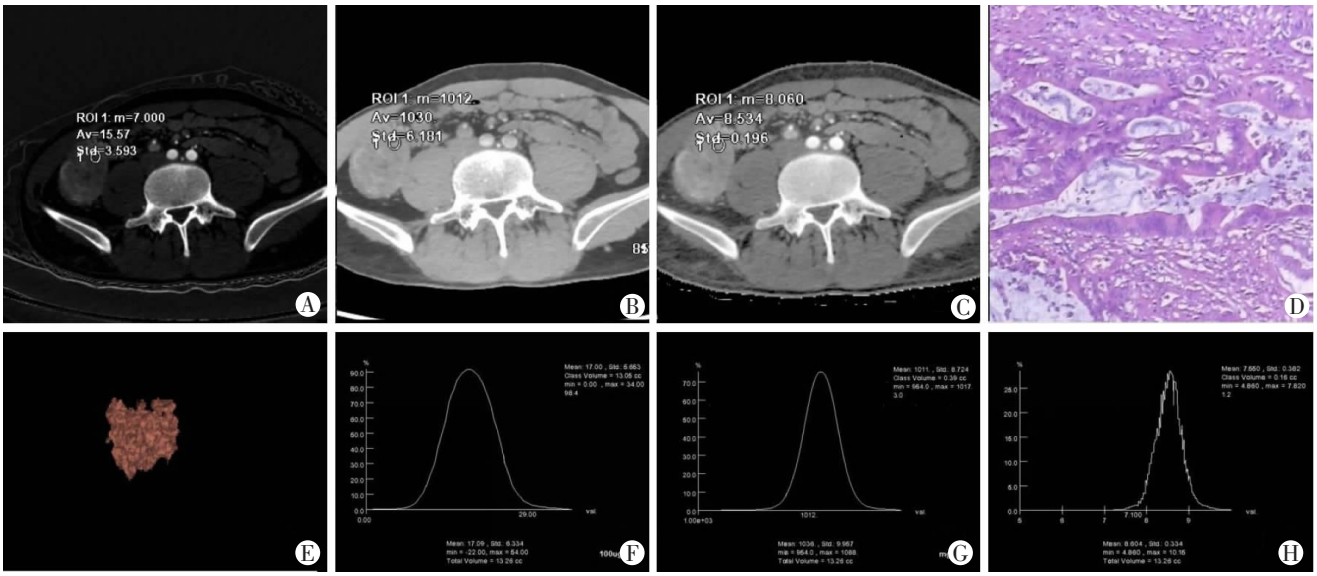
观测者	动脉期			静脉期		
	碘(水)浓度(mg/cm^3)	水(碘)浓度(mg/cm^3)	Eff-Z	碘(水)浓度(mg/cm^3)	水(碘)浓度(mg/cm^3)	Eff-Z
能谱容积参数						
医师 1	0.45~2.28	1 006~1 328	7.87~8.87	0.59~3.48	1 006~1 342	7.75~9.42
医师 2	0.38~2.28	1 006~1 358	7.87~8.97	0.66~3.63	1 013~1 348	7.99~9.42
ICC	0.942	0.925	0.870	0.944	0.979	0.882
能谱二维参数						
医师 1	0.35~2.93	1 001~1 049	7.73~9.17	1.06~3.41	1 008~1 045	7.85~9.81
医师 2	0.36~2.83	1 003~1 049	7.72~9.17	1.17~3.57	1 004~1 046	7.93~9.89
ICC	0.925	0.833	0.868	0.939	0.880	0.857

表 2 两种类型结直肠癌能谱 CT 分析结果 [$\bar{x}\pm s$,$M(IQR)$]

病理学类型	动脉期				静脉期			
	碘(水)浓度(mg/cm^3)	NIC	水(碘)浓度(mg/cm^3)	Eff-Z	碘(水)浓度(mg/cm^3)	NIC	水(碘)浓度(mg/cm^3)	Eff-Z
能谱容积参数								
黏液腺癌($n=16$)	1.01±0.39	0.08±0.02	1 028.50(12.25)	8.23±0.21	1.58(0.86)	0.29(0.14)	1 027.50(10.50)	8.53±0.30
管状腺癌($n=50$)	1.47±0.32	0.13±0.03	1 029.50(10.25)	8.47±0.19	2.05(0.49)	0.43(0.18)	1 032.00(8.00)	8.79±0.21
t/Z 值	−4.779	−5.719	−0.382	−4.206	−3.262	−3.636	−1.545	−3.906
P 值	<0.001	<0.001	0.702	<0.001	<0.01	<0.001	0.122	<0.001
能谱二维参数								
黏液腺癌($n=16$)	1.41±0.54	0.11(0.05)	1 033.00(16.25)	8.39±0.27	1.91±0.62	0.36(0.22)	1 032.00(17.00)	8.55(0.49)
管状腺癌($n=50$)	1.39±0.49	0.11(0.04)	1 030.00(10.00)	8.41±0.28	2.27±0.54	0.44(0.20)	1 032.00(6.50)	8.88(0.40)
t/Z 值	0.107	−0.898	−0.892	−0.259	−2.213	−2.364	−0.263	−2.581
P 值	0.915	0.369	0.373	0.796	<0.05	<0.05	0.793	<0.05

表 3　两种能谱分析方法对不同类型结直肠癌分析结果（$\bar{x}\pm s$,$M(IQR)$）

能谱参数	动脉期				静脉期			
	碘(水)浓度(mg/cm^3)	NIC	水(碘)浓度(mg/cm^3)	Eff-Z	碘(水)浓度(mg/cm^3)	NIC	水(碘)浓度(mg/cm^3)	Eff-Z
黏液腺癌(n=16)								
能谱容积参数	1.01±0.39	0.08±0.02	1 028.43±8.01	8.23±0.21	1.56±0.55	0.30±0.10	1 028.06±8.54	8.59(0.51)
能谱二维参数	1.41±0.54	0.30±0.10	1 032.94±9.38	8.39±0.27	1.91±0.62	0.37±0.12	1 031.63±9.34	8.65(0.28)
t/Z 值	−2.385	−8.125	−1.460	−1.818	−1.687	−1.818	−1.125	−0.98
P 值	<0.05	<0.001	0.155	0.079	0.102	0.079	0.269	0.327
管状腺癌(n=50)								
能谱容积参数	1.47±0.32	0.12(0.03)	1 029.50(10.25)	8.47±0.19	2.05(0.49)	0.42(0.18)	1 032.00±8.00	8.79±0.21
能谱二维参数	1.39±0.49	0.11(0.04)	1 030.00±10.00	8.41±0.04	2.24(0.78)	0.44(0.20)	1 032.00±6.50	8.88±0.36
t/Z 值	0.977	−1.206	−0.815	1.272	−1.572	−0.696	−0.667	−1.585
P 值	0.331	0.228	0.415	0.206	0.116	0.486	0.505	0.116



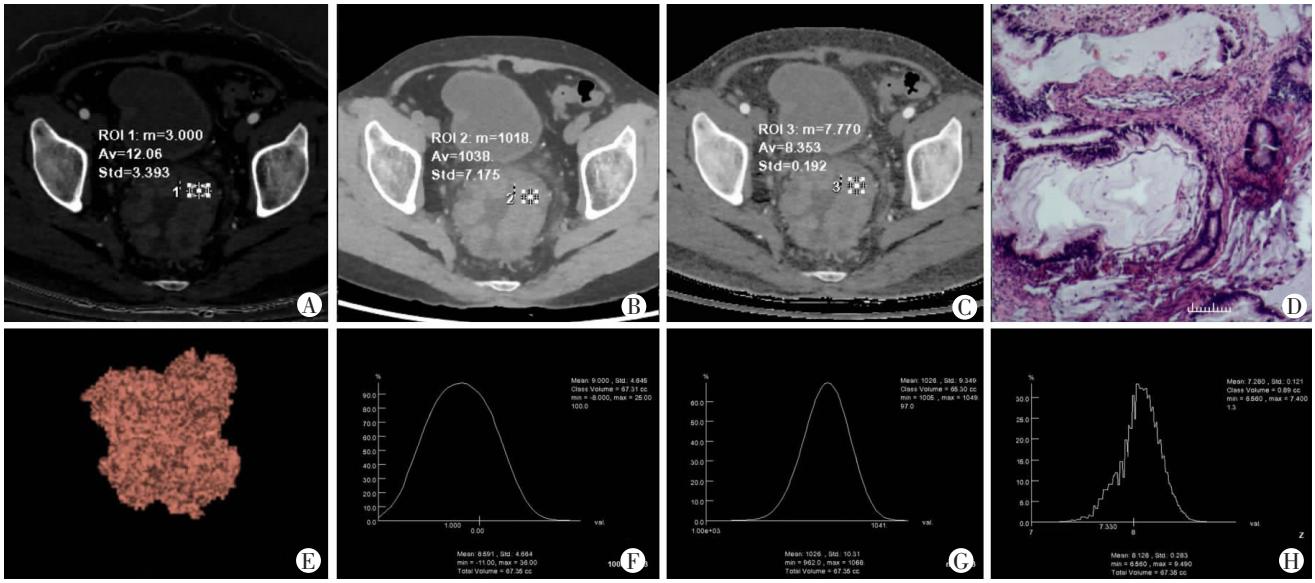
A~C:动脉期能谱二维参数　A 为碘(水)浓度(1.56 mg/cm^3),B 为水(碘)浓度(1 030 mg/cm^3),C 为 Eff-Z(8.53),显示肿瘤沿肠壁浸润,肠壁增厚达肠环 1 周,增强扫描中度不均匀强化,肠腔狭窄;D:镜下病理图像(HE ×400)　示中分化管状腺癌,侵犯全层;E:肿瘤整体的容积再现(VR)图　容积为 17.09 cm^3;F~H:动脉期能谱容积参数　F 为碘(水)浓度(1.71 mg/cm^3),G 为水(碘)浓度(1 036 mg/cm^3),H 为 Eff-Z(8.60)

图 1　30 岁男性升结肠管状腺癌患者能谱 CT 表现及病理学观察

3　讨论

能谱 CT 与传统 CT 相比不仅能获得较好的图像质量,还能提供多种参数进行定量分析,其在胃肠道肿瘤已有较多研究,主要集中在鉴别肿瘤的良恶性、预测肿瘤的分化程度和浆膜外浸润、评估肿瘤放化疗后疗效等方面[5-8];而关于能谱 CT 参数鉴别肿瘤病理组织类型的研究尚少。这些研究的能谱定量参数均是在轴位图像上放置二维 ROI 获得;而本研究采用肿瘤的容积定量参数对管状腺癌和黏液腺癌进行鉴别诊断,或许能更好地反映包含黏液成分等在内的肿瘤整体的生物学信息。

本研究结果显示,在所有定量参数中,静脉期的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 均高于动脉期,与既往研究[9-10]结果一致。静脉期二维参数中黏液腺癌的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 均低于管状腺癌,与陈丽红等[9]单独采用能谱 CT 二维参数在胃癌病理类型中的研究结果相似。其原因可能是由于黏液腺癌有分泌黏液形成“黏液湖”的特点,其内微血管网较稀疏,常规增强扫描时通常呈相对低强化区[11],相应区域的碘剂摄取能力亦较低,从而导致碘(水)浓度和 NIC 减低。对于黏液腺癌的 Eff-Z 低于管状腺癌,其病理学基础可能为黏液腺癌与管状腺癌相比含有大量的细胞外黏蛋白,两者的化学成分及密度不同,其摄碘、储碘能力亦有差别,



A~C:动脉期能谱二维参数　A 为碘(水)浓度(1.21 mg/cm^3),B 为水(碘)浓度(1 018 mg/cm^3),C 为 Eff-Z(8.35),显示沿肠腔生长的范围广泛的肿瘤,增强扫描轻度强化,内部可见斑片状低强化区,推测其对应病理上的"黏液湖"区域;D:镜下病理图像(HE ×400),黏液腺癌,侵犯深肌层;E:肿瘤整体的容积再现(VR)图　容积为 144.60 cm^3;F~H:动脉期能谱容积参数　F 为碘(水)浓度(0.86 mg/cm^3),G 为水(碘)浓度(1 026 mg/cm^3),H 为 Eff-Z(8.13)

图 2　59 岁男性直肠黏液腺癌患者能谱 CT 表现及病理学观察

表 4　两类能谱参数对结直肠黏液腺癌和管状腺癌鉴别诊断的 ROC 曲线分析结果

能谱参数类型	碘(水)浓度(mg/cm^3)	NIC(mg/cm^3)	Eff-Z
曲线下面积			
动脉期容积参数	0.812	0.910	0.790
静脉期容积参数	0.773	0.804	0.750
静脉期二维参数	0.684	0.698	0.716
敏感度			
动脉期容积参数	94.0%	82.0%	54.0%
静脉期容积参数	88.0%	84.0%	62.0%
静脉期二维参数	86.0%	82.0%	84.0%
特异度			
动脉期容积参数	56.3%	87.5%	93.8%
静脉期容积参数	56.3%	75.0%	81.3%
静脉期二维参数	56.3%	56.3%	62.5%
最佳阈值			
动脉期容积参数	1.038	0.105	8.434
静脉期容积参数	1.627	0.319	8.762
静脉期二维参数	1.688	0.359	8.592

从而导致两者间 Eff-Z 的差异[10]。但石义志[10]的研究结果显示结直肠癌中黏液腺癌组的动脉期碘浓度、NIC、Eff-Z 稍高于管状腺癌组。推测出现不同结果的原因可能为:①各项研究中纳入的病理类型有些不同,如管状腺癌中不同分化程度肿瘤的数量、黏液腺癌中是否纳入印戒细胞癌等;②增强扫描的各期时间设置差异、造影剂的浓度和用量等对结果造成影响;③ROI 的放置位置差异所致。本研究显示容积参数中,动脉期和静脉期的碘(水)浓度、NIC、Eff-Z 在两种病理类型肿瘤间差异均有统计学意义,而二维参数中仅静脉期的相应参数体现出差异,其原因可能为不同的参数获取方法所致,容积参数包含更多肿瘤组织,可以更好地反映肿瘤的异质性。

本研究中黏液腺癌和管状腺癌两类参数间两两比较结果显示,仅黏液腺癌的碘(水)浓度和 NIC 组间差异具有统计学意义。其原因可能是由于两种 ROI 观测方法包含的物质不同所致。容积参数观测的是肿瘤整体,其包含了肿瘤实体部分及黏液腺癌中的"黏液湖"区域,黏液成分区域因微血管网稀疏导致摄碘能力减低,而常规二维参数 ROI 选取的是病灶实性部分强化最显著的区域,其内微血管相对丰富,摄碘、储碘能力较强,因而出现黏液腺癌中容积碘(水)浓度和相应 NIC 低于二维参数。本研究结果显示肿瘤容积分析能更好地反映肿瘤内部的异质性,动脉期容积碘(水)浓度和 NIC 对于间接反映黏液腺癌中黏液成分的含量可能具有重要意义。

本研究结果显示能谱 CT 容积定量参数对黏液腺癌和管状腺癌的鉴别诊断效能高于常规二维能谱参数。其原因可能为两种观测方法包括的病变范围差异所致。二维能谱 ROI 是在轴位图像上选取病灶区域肠壁最厚处的肿瘤实体部分,并不能全面反映肿瘤整

体的生物学特征。目前已有少数学者运用能谱容积分析方法在肝癌、肺癌中进行研究,结果显示能谱 CT 容积碘(水)浓度等参数对肝癌微血管侵犯、肺癌病理类型的诊断具有较好的诊断效能[12-13],也表明能谱 CT 容积定量参数值得进一步研究。本研究中碘(水)浓度与 NIC 相比,NIC 具有更高的灵敏度和特异度,与 LI 等[8]在能谱参数预测结直肠癌侵袭性的研究中相似。理论上讲 NIC 通过选取主动脉或髂动脉作参照计算获得,可以排除个体循环差异、造影剂注射时间、流速、用量以及扫描条件等干扰因素的影响,可以更加准确地反映肿瘤内部的血供情况,然而一项系统综述显示 NIC 是否比碘(水)浓度具有更高的价值需要更多的研究进一步验证[5]。

综上所述,能谱 CT 参数可以反映肿瘤的生物学特性,对鉴别结直肠癌的病理类型具有一定价值,容积参数的鉴别诊断效能优于二维参数,其中动脉期的容积碘(水)浓度和 NIC 的诊断价值最高。本研究的不足之处在于:①黏液腺癌组的样本量小,可能因统计学偏倚而影响研究结果。②样本中未包括印戒细胞癌和其他少见类型结直肠癌,管状腺癌中主要是中低分化腺癌。③未将能谱 CT 扫描层面与病理切片进行一一对应以揭示能谱参数的病理学本质。在未来的研究中需逐步完善,并扩大样本量进一步深入研究。

参考文献:

[1] HORVAT N, HOPE T A, PICKHARDT P J, *et al*. Mucinous rectal cancer: concepts and imaging challenges[J]. Abdom Radiol (NY), 2019, 44(11): 3569-3580. DOI: 10.1007/s00261-019-02019-x.

[2] LI Z H, LI S, ZANG S Q, *et al*. Predicting treatment response to neoadjuvant chemoradiotherapy in rectal mucinous adenocarcinoma using an MRI-based radiomics nomogram [J]. Front Oncol, 2021, 11: 671636. DOI: 10.3389/fonc.2021.671636.

[3] CHEN J C, ZHOU L R, GAO J, *et al*. Clinicopathological characteristics and mutation spectrum of colorectal adenocarcinoma with mucinous component in a Chinese cohort: comparison with classical adenocarcinoma[J]. Front Oncol, 2020, 10: 917. DOI: 10.3389/fonc.2020.00917.

[4] GE Y X, LI J, ZHANG J Q, *et al*. Radiomics analysis of multicenter CT images for discriminating mucinous adenocarcinoma from nomucinous adenocarcinoma in rectal cancer and comparison with conventional CT values[J]. J Xray Sci Technol, 2020, 28(2): 285-297. DOI: 10.3233/XST-190614.

[5] XU J J, TAUDORF M, ULRIKSEN P S, *et al*. Gastrointestinal applications of iodine quantification using dual-energy CT: a systematic review[J]. Diagnostics (Basel), 2020, 10(10): E814. DOI: 10.3390/diagnostics10100814.

[6] AL-NAJAMI I, MAHMOUD SHETA H, BAATRUP G. Differentiation between malignant and benign rectal tumors by dual-energy computed tomography— a feasibility study[J]. Acta Oncol, 2019, 58(sup1): S55-S59. DOI: 10.1080/0284186X.2019.1574404.

[7] 李淑娟, 杨鹏飞, 鲁仁财, 等. 能谱 CT 诊断直肠癌浆膜外浸润[J]. 中国医学影像学杂志, 2018, 26(7): 531-534. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2018.07.013.
LI S J, YANG P F, LU R C, *et al*. Spectral CT diagnosis of rectal cancer pericolic infiltration[J]. Chin J Med Imaging, 2018, 26(7): 531-534. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5185.2018.07.013.

[8] LI Y, LI X B, REN X Y, *et al*. Assessment of the aggressiveness of rectal cancer using quantitative parameters derived from dual-energy computed tomography[J]. Clin Imaging, 2020, 68: 136-142. DOI: 10.1016/j.clinimag.2020.06.028.

[9] 陈丽红, 段青, 薛蕴菁, 等. CT 能谱成像在术前评估胃癌患者病理类型的临床价值[J]. 中华放射学杂志, 2013(7): 634-637. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.07.012.
CHEN L H, DUAN Q, XUE Y J, *et al*. Spectral CT characterizing the pathological type of gastric cancer[J]. Chin J Radiol, 2013(7): 634-637. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1005-1201.2013.07.012.

[10] 石义志. 宝石能谱 CT 成像对结直肠癌病理分型及与溃疡性结肠炎鉴别的应用价值[D]. 承德: 承德医学院, 2017.
SHI Y Z. The value of gemstone CT imaging in evaluating the pathological types of colorectal cancer and its application in identificating of ulcerative colitis[D]. Chengde: Chengde Medical College, 2017.

[11] RYOO J A, KIM S S. Typical CT and MRI features of mucinous rectal adenocarcinoma[J]. J Belg Soc Radiol, 2019, 103(1): 55. DOI: 10.5334/jbsr.1910.

[12] KIM T M, LEE J M, YOON J H, *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. DOI: 10.1186/s40644-020-00338-7.

[13] 钟丽娟. 能谱 CT 容积定量分析对鉴别肺癌病理类型的初步研究[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2020.
ZHONG L J. Preliminary study on energy spectrum CT volume quantitative analysis to differentiate the pathological types of lung carcinoma[D]. Chongqing: Chongqing Medical University, 2020.

(**收稿**:2022-04-01;**修回**:2022-05-06)

(编辑 汪勤俭)