

## ◁头颈部影像学▷

## Revolution 能谱 CT 定量参数在鉴别食管癌病理类型中的价值

马芳芳<sup>1</sup>, 田兆荣<sup>2</sup>, 贾晶<sup>2</sup>, 张莉萍<sup>2</sup>, 胡靖波<sup>1</sup>, 徐奋玲<sup>1</sup>, 王志军<sup>2</sup>

(1. 宁夏医科大学临床医学院, 宁夏 银川 750000; 2. 宁夏医科大学总医院放射科, 宁夏 银川 750003)

**[摘要]** 目的:探讨 Revolution 能谱 CT 定量参数在鉴别食管癌病理类型及分化程度中的价值。方法:回顾性收集 35 例手术病理证实为食管癌的患者,其中食管鳞癌 29 例、食管腺癌 6 例;明确分化程度 28 例,高分化者 4 例,低-中分化者 24 例;35 例食管癌患者均行能谱 CT 增强扫描,比较不同病理类型及不同分化程度食管癌病灶能谱曲线特征及有效原子序数(Eff-Z)值的差异。结果:食管腺癌组能谱曲线斜率和 Eff-Z 值(3.530 9±0.937 80、9.116 1±0.434 79)均高于食管鳞癌组(2.490 2±0.610 81、8.788 0±0.292 34),差异有统计学意义(P<0.05);差异有统计学意义的参数绘制 ROC 曲线显示:能谱曲线斜率的 AUC 值为 0.845(95%CI 0.674~1.000),Eff-Z 的 AUC 值为 0.724(95%CI 0.503~0.946)。食管癌高分化组与低-中分化组能谱曲线斜率分别为 3.091 3±0.292 72 与 2.732 1±0.833 09, Eff-Z 分别为 8.975 8±0.251 05 与 8.862 3±0.371 17,差异均无统计学意义(P>0.05)。结论:Revolution 能谱 CT 定量参数能谱曲线斜率及 Eff-Z 在鉴别食管癌病理类型中有较高的诊断价值,能为临床术前精准诊断提供影像学依据。

**[关键词]** 食管肿瘤;体层摄影术,X 线计算机

**[中图分类号]** R735.1;R814.42

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1008-1062(2025)01-0015-04

DOI:10.12117/jccmi.2025.01.004

The value of quantitative parameters of Revolution-spectral CT in the identification of pathological types of esophageal cancer

MA Fang-fang<sup>1</sup>, TIAN Zhao-rong<sup>2</sup>, JIA Jing<sup>2</sup>, ZHANG Li-ping<sup>2</sup>, HU Jing-bo<sup>1</sup>, XU Fen-ling<sup>1</sup>, WANG Zhi-jun<sup>2</sup>

(1. Clinical Medical College, Ningxia Medical University, Yinchuan 750000, China;

2. Department of Radiology, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750003, China)

**Abstract: Objective:** To investigate the value of Revolution CT quantitative parameters in differentiating pathological type and differentiation degree of esophageal carcinoma. **Methods:** A total of 35 patients with esophageal cancer confirmed by surgery and pathology in our hospital were retrospectively collected, including 29 cases of esophageal squamous cell carcinoma and 6 cases of esophageal adenocarcinoma. The degree of differentiation was clear in 28 cases, of which 4 cases were well differentiated and 24 cases were low-medium differentiated. All patients underwent enhanced spectral CT scanning. The spectral curve characteristics and Eff-Z values of esophageal cancer with different pathological types and different differentiation degrees were compared. **Results:** The slope of energy spectrum curve and the Eff-Z in esophageal adenocarcinoma group(3.530 9±0.937 80 and 9.116 1±0.434 79) were higher than those in esophageal squamous cell carcinoma group (2.490 2±0.610 81 and 8.788 0±0.292 34), and the differences were statistically significant (P<0.05). Receiver operating characteristic (ROC) curves showed that the AUC values of the slope and Eff-Z of the spectral curve were 0.845 (95%CI 0.674~1.000) and 0.724 (95%CI 0.503~0.946), respectively. The slope of energy spectrum curves in the highly differentiated group and the low-medium differentiated group were 3.091 3±0.292 72 and 2.732 1±0.833 09, respectively, and the Eff-Z values were 8.975 8±0.251 05 and 8.862 3±0.371 17, respectively, the differences were not statistically significant(P>0.05). **Conclusion:** The slope of energy spectrum curve and Eff-Z of the quantitative parameters of Revolution energy spectrum CT have high diagnostic value in differentiating pathological types of esophageal cancer, and can provide imaging basis for accurate diagnosis before clinical operation.

**Key words:** Esophageal Neoplasms; Tomography, X-Ray Computed

食管癌是临床常见的消化道肿瘤,因其极具侵袭性且存活率低而位居全球恶性肿瘤发病率及死亡率第 8 位及第 6 位,五年存活率仅约 15%~20%;在我国,食管癌属第 6 常见恶性肿瘤,约 70%的食管癌患者在初诊时已局部晚期或转移性病变,预后较

差。根据文献报道,发病因素差异导致食管癌不同病理类型间发病率有较大差异<sup>[1-2]</sup>。两种最常见的组织学亚型是食管鳞癌和腺癌,两者从分子水平就存在差异,导致二者在预防与治疗方面差别甚大,因此准确的食管癌亚型的判别对于确定适当的治疗和预测

**[收稿日期]** 2024-03-21;**[修回日期]** 2024-04-15

**[作者简介]** 马芳芳(1995-),女,宁夏海原人,在读硕士研究生。E-mail:1825530946@qq.com

**[通信作者]** 王志军,宁夏医科大学总医院放射科,750003。E-mail:wangzhijun2056@163.com

预后至关重要<sup>[3-5]</sup>。常规 CT 作为食管癌诊断的重要组成部分,能够判断食管癌病灶的形态学特征及周围毗邻情况,但是无法对病灶进行定性定量评估,食管癌确诊及病理分型仍依赖于术后病理诊断<sup>[6]</sup>。近年来,随着能谱 CT 成像技术的迅速发展,能谱曲线斜率、基物质浓度等能谱 CT 定量参数在肿瘤评估中的运用得到拓展<sup>[7-8]</sup>,也为食管癌术前病理类型及分化程度判定提供新思路。本文旨在探讨能谱曲线斜率及有效原子序数(Eff-Z)术前诊断食管癌病理类型及分化程度的价值。

## 1 资料和方法

### 1.1 研究对象

回顾性收集 2023 年 1—12 月宁夏医科大学总医院经病理证实为食管癌的患者 35 例,均行能谱 CT 增强扫描。男 29 例,女 6 例,年龄 41~82 岁,平均(66.97±8.15)岁。食管鳞癌 29 例,食管腺癌 6 例。明确分化程度的患者共 28 例,其中高分化者 4 例,低-中分化者 24 例。

纳入标准:①经内镜或手术病理证实;②均为单发病灶;③无严重心脏、肝脏、肾脏功能衰竭并且依从性良好,可以配合检查。④无碘对比剂及山莨菪碱禁忌症。排除标准:①影像资料及临床数据缺失不完整;②图像质量不佳,不能达到诊断要求。

本研究遵守《赫尔辛基宣言》原则,经过宁夏医科大学总医院医学科研伦理审查委员会批准(批准号:2020-657),所有受试者均免除知情同意书。

### 1.2 设备与方法

采用 256 排 CT 扫描仪 (Revolution CT, GE) 行胸部平扫及双期增强扫描,所有患者扫描前臀部注射盐酸山莨菪碱注射液两支;患者取仰卧位,扫描范围从胸部入口至贲门入口。扫描参数:管电压 140 kVp 和 80 kVp 的瞬时(0.5 s)切换,管电流 320 mA,球管转速 5/s,螺距 1.375。延时期参数:管电压 120 kV, SmartmA 100~650,NI 为 11.0。平扫期扫描结束后,使用高压注射器于肘中静脉以 3 mL/s 流速团注非离子对比剂碘海醇(300 mgI/mL)约 80 mL,后以同样的流速注射生理盐水 30 mL。采用对比剂示踪阈值触发技术确定动脉期开始扫描时间,胸主动脉达阈值(110 HU)后启动动脉扫描,动脉期后间隔 20 s 行静脉期扫描。

### 1.3 图像后处理

将平扫期、增强动脉期及静脉期所有能谱 CT 数据重建成层厚及层间距 0.625 mm 薄层单能量图像,传输至 GE AW4.7 工作站,采用能谱扫描 GSI Viewer 软件分析。由 2 名具有 3 年及以上工作经验

的放射科医师独立对图像进行分析及测量,间隔 2 周后再次对数据进行测量。

相关文献报道,胃癌不同病理类型能谱曲线特征在静脉期是差异最显著且最能体现各病理类型特征<sup>[9]</sup>,故本研究选择静脉期 40%权重迭代重建算法 Asir-V 单能量图像进行感兴趣区(ROI)勾画。在食管肿瘤最大层面选取面积约 20~60 mm<sup>2</sup> 相同 ROI,尽量避开钙化、坏死及囊变等区域,测量 3 次,取其平均值。选取 40 keV 单能量图像食管肿瘤病灶 CT 值(CT<sub>40keV</sub>)、100 keV 单能量图像病灶 CT 值(CT<sub>100keV</sub>)及 Eff-Z 值,前两者用于计算能谱曲线斜率( $\lambda_{40-100keV} = (CT_{40keV} - CT_{100keV}) / 60$ )并比对不同病理类型及不同分化程度之间指标差异。能谱曲线显示随着 X 线能量的增加,所对应病灶的 CT 值逐渐减低,所有曲线斜率均为负值,但是符号仅表示曲线斜率方向,不代表曲线斜率大小,方便计算将其舍去;另外 CT 值的减小幅度也会随 X 线能量的增加而降低,为方便计算,我们用 40~100 keV 之间的斜率代表食管病灶的能谱曲线斜率。

### 1.4 统计学分析

使用 SPSS 22.0 软件对数据进行统计学分析。计量资料采用 Kolmogorov-Smirnov 进行正态性检验,符合正态分布的用均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,不符合正态分布的用中位数(四分位数间距)表示。采用组内相关系数(ICC)评价 2 名医师采用同一方法对相同患者测量相关参数的一致性以及同一观察者在不同时间测量数据的一致性。两组间均数比较,先行正态性检验和方差齐性检验,如资料呈正态分布且方差齐则采用独立样本 *t* 检验分析,如果资料呈非正态性分布则采用 Mann-Whitney U 检验分析。检验水准为  $\alpha=0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 观察者间定量参数测量的一致性检验

观察者内部及观察者间定量参数测量的一致性较好,见表 1。

表 1 两名医师组间相关性及同名医师组内相关性

	能谱曲线斜率	Eff-Z
观察者 1	0.906(0.822,0.952)	0.843(0.71,0.918)
观察者 2	0.944(0.833,0.973)	0.887(0.788,0.941)
观察者间	0.911(0.831,0.954)	0.802(0.643,0.895)

### 2.2 能谱 CT 定量参数在鉴别食管癌病理类型中的比较

食管腺癌及食管鳞癌能谱曲线斜率分别为 3.530 9±0.937 80 及 2.490 2±0.610 81 ( $t=3.460, P<0.05$ ); 食管腺癌及食管鳞癌 Eff-Z 分别为 9.116 1±

0.434 79 及  $8.788 0 \pm 0.292 34 (t=2.300, P<0.05)$ , 见图 1, 2。

### 2.3 不同分化程度食管癌患者能谱曲线及 Eff-Z 值之间的比较

中高分化组 4 例, 低-中分化组 24 例; 食管癌

高分化组及低-中分化组的能谱曲线斜率分别为  $3.091 3 \pm 0.292 72$  及  $2.732 1 \pm 0.833 09 (t=-0.842, P>0.05)$ ; 食管癌高分化组及低-中分化组的 Eff-Z 值分别为  $8.975 8 \pm 0.251 05$  及  $8.862 3 \pm 0.371 17 (t=-0.585, P>0.05)$ , 见图 1, 2。

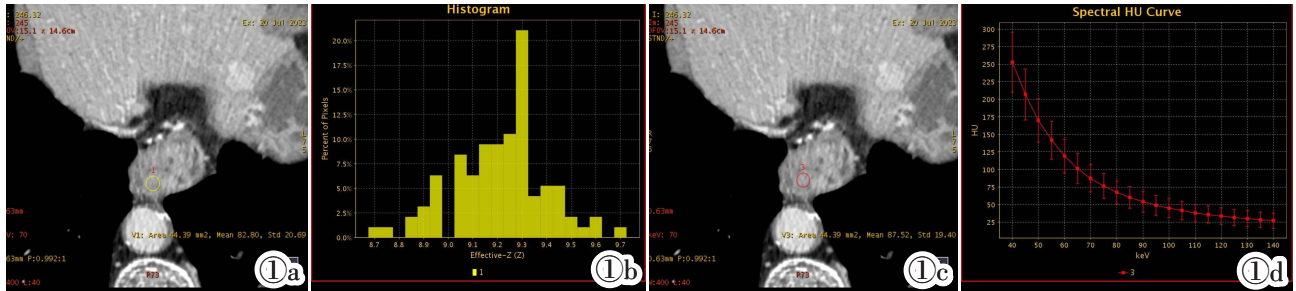


图 1 男, 66 岁, 食管下段低分化腺癌, 静脉期图像。图 1b, 1d 显示病灶 Eff-Z 分布区间为 9.1~9.3, 能谱曲线斜率约为 3.417。

Figure 1. Male, 66 years old, poorly differentiated adenocarcinoma of lower esophagus, the venous phase images. Figure 1b, 1d show that the Eff-Z distribution area of the lesion is 9.1~9.3, and the slope of the energy spectrum curve is about 3.417.

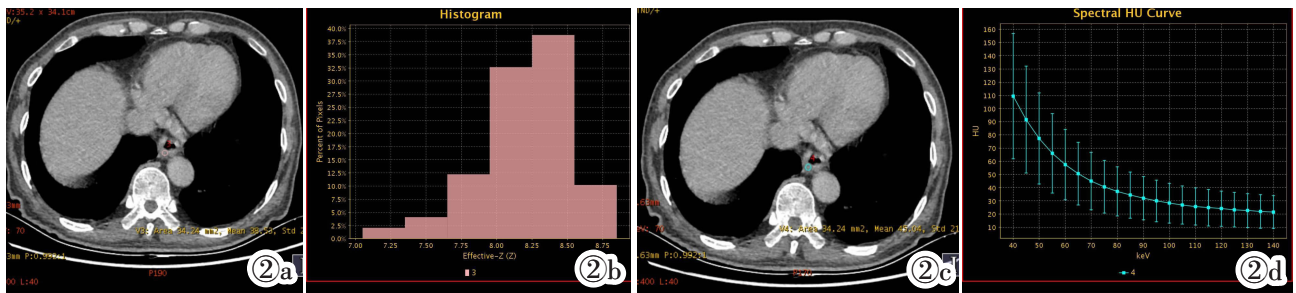


图 2 男, 66 岁, 食管下段低分化浸润性鳞癌静脉期图像。图 2b, 2d 分别显示病灶 Eff-Z 分布区间为 8.0~8.5, 能谱曲线斜率约为 1.350。

Figure 2. Male, 66 years old, poorly differentiated invasive squamous carcinoma of the lower esophagus, the venous phase image. Figure 2b, 2d show that the Eff-Z of the lesion is 8.0~8.5, and the slope of the energy spectrum curve is about 1.350.

### 2.4 能谱 CT 定量参数对食管癌病理类型的诊断效能

食管鳞癌组与食管腺癌组能谱定量参数的 ROC 曲线显示, 能谱曲线斜率的 AUC 值为 0.845 (95%CI 0.674~1.000), 约登指数、敏感度和特异度分别为 0.661、0.833 和 0.828; Eff-Z 值的 AUC 值为 0.724 (95%CI 0.503~0.946), 约登指数、敏感度及特异度分别为 0.362、0.500 和 0.862, 见图 3。

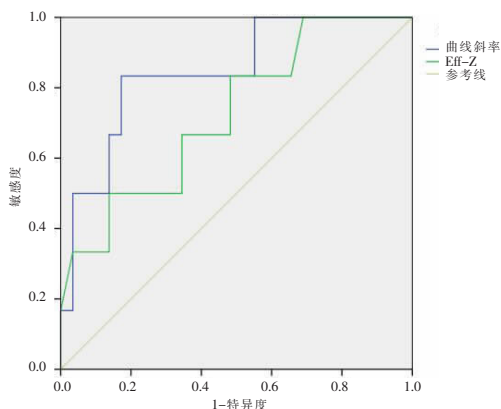


图 3 鉴别食管腺癌和食管鳞状细胞癌能谱曲线斜率及有效原子序数的 ROC 曲线。

Figure 3. ROC curves for distinguishing the slope of the energy spectrum curve and Eff-Z between esophageal adenocarcinoma and esophageal squamous cell carcinoma.

## 3 讨论

食管癌在我国属于高发病率及高死亡率恶性肿瘤之一, 并且其早期症状隐匿, 一般初次发现时病情已经发展至中晚期, 又因其较强的浸润性及淋巴结跳跃转移的特性, 全球范围内的五年生存率仅 20% 左右<sup>[1,8]</sup>。食管癌组织类型主要为食管鳞癌与食管腺癌。在我国, 食管鳞癌发病率约占 97%, 食管腺癌发病率约占 2%。与食管鳞癌相比, 食管腺癌更易出现腹膜转移及骨膜转移<sup>[10]</sup>。根据相关文献显示, 食管鳞癌与食管腺癌从分子水平就存在差异, 因此其治疗及预防方式也将大相径庭。目前鉴别食管癌的金标准仍是手术病理活检, 但是食管癌患者年龄较大且身体耐受能力较差, 经病理活检确诊食管癌的性价比比较低, 因此寻求一种更简便且高效术前诊断食管癌病理及分化程度的检查手段是迫切的。

本文主要探讨利用能谱 CT 定量参数中的能谱曲线及 Eff-Z 鉴别食管癌病理类型及分化程度。近年来, 能谱 CT 以其多参数的技术优势在各个系统肿瘤性病变的诊断中发挥了巨大作用, 尤其是曲线斜率和 Eff-Z 实现了定量诊断。所谓能谱曲线即物

质的能量衰减曲线,不同组织随着 X 线束能量的变化表现出不同衰减特性,以此鉴别肿瘤来源、良恶性及分级等;Eff-Z 即以某元素原子序数代表与之具有相同吸收衰减系数的某混合物或化合物,可以利用 Eff-Z 对某混合物或化合物真实组成成分进行准确推测<sup>[11-12]</sup>。国内外研究者在不同领域利用能谱曲线斜率及 Eff-Z 鉴别肿瘤性质取得较好效果,如袁源等<sup>[13]</sup>利用能谱 CT 定量参数如能谱曲线及 Eff-Z 鉴别脊柱转移瘤与感染性病变,滑思等<sup>[14]</sup>及 Xie 等<sup>[15]</sup>利用能谱定量参数鉴别涎腺肿瘤、胸腺瘤与纵隔淋巴瘤;同样能谱 CT 定量参数在肺腺癌及其他组织类型也能够发挥重要鉴别价值<sup>[16-17]</sup>,但是国内运用能谱 CT 定量参数鉴别食管癌病理类型及分化程度的研究较少。

本研究结果显示,食管腺癌能谱曲线斜率及 Eff-Z 均高于食管鳞癌,这可能与食管腺癌、食管鳞癌的生长方式及肿瘤内部血供差异相关。能谱曲线代表物质的吸收衰减曲线,不同物质均有其特征性的能谱曲线。因食管腺癌来自于腺体组织,癌细胞排列疏松呈腺管或腺泡状,倾向于蔓延式生长,而食管鳞癌来自于鳞状上皮,癌细胞间排列紧密并呈叠加式生长,细胞密度较大且更容易形成体积较大硬质肿块,相较于食管腺癌,食管鳞癌肿瘤内部压力较大,新生血管的数量及通透性均较低,对于碘对比剂的摄取及廓清能力较弱,故食管鳞癌 X 线衰减系数低于食管腺癌,能谱曲线斜率低于食管腺癌。关于 Eff-Z,更多被运用于推测待检组织真实组成成分,食管腺癌与食管鳞癌不仅组织来源不同,肿瘤内部新生血管密度及通透性均存在较大差异,因此两种病灶的碘摄取程度也相差甚远,食管腺癌以其独特的组织学特点有较高的碘摄取量,出现食管腺癌 Eff-Z 高于食管鳞癌的结果<sup>[18-19]</sup>。相关文献报道不同病理类型的食管癌其能谱 CT 定量参数能谱曲线斜率及 Eff-Z 存在较大差异<sup>[20]</sup>,而我们的研究结果与组织病理学特点及文献报道相一致;并且本研究中 ROC 曲线显示,能谱曲线斜率及 Eff-Z 对食管腺癌及食管鳞癌有较高的诊断效能,有较高的临床应用价值。

本研究结果显示,能谱曲线斜率及 Eff-Z 不能鉴别食管恶性肿瘤的分化程度,这与文献报道不一致。有研究表明<sup>[20-25]</sup>曲线斜率和 Eff-Z 与肿瘤病理分级有明显相关性,能鉴别肿瘤的分化程度,肿瘤分化程度不同组织微血管密度不同,而碘对比剂摄取值与微血管密度及血管通透性紧密相关,因此不同分化程度肿瘤组织对碘对比剂的摄取就存在差异。然而本研究由于纳入病例较少、且以中-低分化程度

为主,使得数据产生了偏移。因此,在今后的工作中将扩大样本量,进一步研究定量参数在分化程度中的诊断价值。

本研究的局限性性在于本研究样本量较少,后续的研究有望在扩大样本量的基础上,进一步探究食管癌不同分化程度在能谱 CT 定量参数能谱曲线斜率及相对原子序数上的差异体现,为食管癌的诊断提供价值。

综上所述,能谱曲线斜率及 Eff-Z 对于食管腺癌及食管鳞癌的鉴别诊断具有一定临床价值,食管肿瘤患者术前行能谱 CT 增强扫描可以为临床医生提供更多具有诊断价值的信息。

#### [参考文献]

- [1]Domper Arnal MJ, Ferrández Arenas A, Lanás Arbeloa A. Esophageal cancer: Risk factors, screening and endoscopic treatment in Western and Eastern countries[J]. World J Gastroenterol, 2015, 21(26): 7933-7943.
- [2]Uhlenhopp DJ, Then EO, Sunkara T, et al. Epidemiology of esophageal cancer: update in global trends, etiology and risk factors[J]. Clin J Gastroenterol, 2020, 13(6): 1010-1021.
- [3]Wang Y, Huang Y, Zhao Q, et al. Esophageal wall thickness on CT scans: can it predict the T stage of primary thoracic esophageal squamous cell carcinoma?[J]. Esophagus, 2022, 19(2): 269-277.
- [4]杨雄涛,王鑫. 食管癌综合治疗新进展[J]. 中国肿瘤临床,2023,50(2):98-103.
- [5]王程浩,韩泳涛. 2020 年中国临床肿瘤学会《食管癌诊疗指南》解读[J]. 肿瘤预防与治疗,2020,33(4):285-290.
- [6]中华医学会肿瘤学分会早诊早治学组. 中国食管癌早诊早治专家共识[J]. 中华肿瘤杂志,2022,44(10):1066-1075.
- [7]王欣,陈刘成,沈龙山,等. CT 能谱成像基本原理及其临床应用进展[J]. 中国中西医结合影像学杂志,2021,19(2):197-200.
- [8]Cui Y, Li Z, Xiang M, et al. Machine learning models predict overall survival and progression free survival of non-surgical esophageal cancer patients with chemoradiotherapy based on CT image radiomics signatures[J]. Radiat Oncol, 2022, 17(1): 212.
- [9]陈丽红,薛蕴菁,段青,等. 不同病理类型和分化程度胃癌宝石 CT 能谱曲线及 CT 值的比较 [J]. 中华肿瘤杂志,2019,41(5):363-367.
- [10]田媛媛,雷骏,陈永顺. 晚期食管癌的放射治疗策略[J]. 中华放射肿瘤学杂志,2023,32(7):644-650.
- [11]中华医学会放射学分会,中国医师协会放射医师分会与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.
- [12]Adam SZ, Rabinowich A, Kessner R, et al. Spectral CT of the abdomen: Where are we now?[J]. Insights Imaging, 2021, 12(1): 138.
- [13]袁源,郎宁,袁慧书. CT 能谱曲线在脊柱转移瘤和感染性病变中的鉴别诊断价值[J]. 北京大学学报(医学版),2021,53(1):183-187.