

论 著

能谱CT影像组学及CT征象对GIST危险度分级探讨

李晶晶 张梦琪 刘 焱\*  
新疆维吾尔自治区人民医院放射影像中心  
(新疆 乌鲁木齐 830001)

【摘要】目的 本研究旨在探讨利用能谱CT影像学改变与CT征象联合建立的胃肠道间质瘤(GIST)危险度分级图模型,以评估其对临床精准治疗和GIST治疗的价值。方法 我们纳入了本院术后病理确诊为GIST、同时有完整影像信息的135例患者进行研究,并收集73例外院确诊病例进行外部验证。根据2017年中国病理专家组的共识,将患者分为极低危、低危(入低危组)、中危和高危(入高危组)。我们将本院的135例病例作为训练组,外院的73例作为验证组,通过训练和验证独立的危险因素,进行特征筛选,利用能谱CT参数、CT表现预测模型和影像组学预测模型的独立危险因素进行多因素逻辑回归分析,并选取 $P<0.05$ 的特征进行多因素逻辑回归建模,最终得出分级图。结果 能谱CT参数,包括单能CT值、碘浓度、水浓度和有效原子数,计算能谱曲线的归一化碘浓度(NIC)和斜率 $k$ 。评估其他的影像学变化,例如如肿瘤体积、生长模式、肿瘤坏死/溃疡、肿瘤供血或引流血管增生(EVFDM)、肿瘤边缘及临近组织浸润。在单因素分析中,70keV的结果更接近40keV~140keV单能量的平均值,图像噪声低、信噪比较高,低危组与高危组间在临近组织侵犯差异上有统计学意义( $P<0.05$ )。多因素logistic回归分析显示,肿瘤大小、肿瘤坏死/溃疡、EVFDM、肿瘤轮廓及临近组织浸润(存在vs不存在)与较高的恶性潜力密切相关。将这些独立因素纳入列线图模型后,训练组和验证组的C指数分别为0.872(95%CI: 0.753-0.863)和0.807(95%CI: 0.697-0.893)。敏感度为0.865,特异性为0.915,诊断准确率为0.837。能谱CT影像组学联合CT特征列线图的AUC为0.927(训练组)和0.905(验证组),显示出了良好的预测。结论 由能谱CT不同KeV影像学表现结合CT征象特征组成的胃肠道间质瘤列线图,包括大小、位置、肿瘤坏死/溃疡、EVFDM、肿瘤轮廓及临近组织浸润等,可以准确预测原发性胃肠道间质瘤的恶性潜力,对临床疗效评价和评估患者预后提供有效帮助。

【关键词】胃肠道间质瘤;能谱CT;CT特征;影像组学;预测模型  
【中图分类号】R573  
【文献标识码】A  
DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2024.07.049

A Study on Dual-source CT Imagings Combined with CT Signs to Established a Nomographic Model for Calculate the Risk Classification of GIST

Li Jing-jing, ZHANG Meng-qi, LIU Yan\*.  
Radioimaging Center, The People's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830001, Xinjiang Uygur Autonomous Region, China

**ABSTRACT**  
**Objective** The main aim of this study is to evaluate the effectiveness of using dual-source CT imaging features and CT signs to grade the risk of gastrointestinal stromal tumors (GIST) with a nomographic model, in order to improve precision in clinical treatment and prognosis assessment of GIST. **Methods** A total of 135 patients who were pathologically diagnosed with GIST in our hospital and had complete preoperative energy spectrum CT images were collected and included in the study, and 73 hospital-confirmed cases were collected as external validation. 135 cases in our hospital were used as the training group, and 73 cases in other hospitals were used as the validation group. The independent risk factors were trained and validated, and the independent risk factors of the energy spectrum CT parameters, CT signs prediction model and radiomics prediction model were selected for multi-factor logic. Regression, retaining features with  $P<0.05$  for multivariate logistic regression modeling and obtaining nomograms. **Results** The values of single-energy CT, iodine concentration, water concentration, and effective atomic number were computed using Dual-source CT results. Additionally, the normalized iodine concentration (NIC) and the gradient of the energy spectrum curves were also determined. Other imaging features were evaluated, such as tumor size, growth pattern, tumor necrosis/ulceration, tumor feeding or draining vascular proliferation (EVFDM), tumor outline and adjacent tissue infiltration. During the univariate analysis, it was observed that at 70keV, the single energy value fell in between 40keV and 140keV. This particular energy level resulted in lower image noise, a higher signal-to-noise ratio (SNR), and statistically significant differences in adjacent tissue invasion between the low-risk and high-risk groups ( $P<0.05$ ). Additionally, multivariate logistic regression analysis indicated that tumor size, along with other factors, played a significant role. tumor necrosis/ulcer, EVFDM, tumor contour, and adjacent tissue invasion (presence vs absence) were significantly associated with high malignant potential. After incorporating these independent factors into the nomogram model, the c-index for the training and validation groups were 0.872(95%CI: 0.753-0.863) and 0.807(95%CI: 0.697-0.893). respectively, The sensitivity was 0.865, the specificity was 0.915, and the diagnostic accuracy was 0.837. The AUC of energy spectrum CT imaging combined with CT feature map were 0.927 (training group) and 0.905 (validation group), showing good prediction. **Conclusion** The nomogram of gastrointestinal stromal tumors composed of different KeV imaging features of spectral CT combined with CT signs, including size, location, tumor necrosis/ulcer, EVFDM, tumor outline and adjacent tissue infiltration, etc. The malignant potential of gastrointestinal stromal tumors can be used to accurately forecast the primary tumor, thus providing useful aid in clinical treatment and assessing patient prognosis.  
**Keywords:** Gastrointestinal Stromal Tumors(GIST); Dual-source CT; CT Features; Radiomics; Predictive Models

胃肠道间质瘤(GIST)是消化系统中最常见的间叶源性肿瘤,潜在恶性程度不同,包括从良性小肿瘤到侵袭性肉瘤,在胃肠道肿瘤中占比1%-2%<sup>[1]</sup>。对于局限性GIST,完全手术切除是其标准治疗方法,而对于高危患者则建议进行辅助治疗。因此,术前准确评估胃肠道间质瘤的风险,对于选择手术还是辅助治疗变得越来越重要<sup>[2]</sup>。对比增强CT(contrast-enhanced computed tomography, CECT)是检查分期、管理和术前手术计划的重要选择。间质瘤的CT影像特征在国内外已被多篇文献报道,这些特征在影像学上具有显著性。根据术前CT特征差异, GIST的病理危险度分级也存在明显的不同,这表明CT在GIST的诊断和鉴别诊断中发挥了关键作用<sup>[3-4]</sup>。但CT影像特征与评估GIST病理危险度和肿瘤特征之间的相关程度,尤其是定量能谱CT与GIST的相关系数尚待明确。本研究旨在回顾性分析能谱CT定量参数、CT征象联合影像组学模型在评估胃肠道间质瘤危险度分级方面的潜在作用,评估GIST肿瘤特征和病理危险度之间的相关性,运用影像学早发现、早诊断GIST,正确预评估其侵袭性,减少GIST的临床复发率提供有效的手段。

1 资料与方法

**1.1 一般资料** 本研究回顾性收集2015年10月至2021年10月在新疆维吾尔自治区人民医院医院(135例)及中南大学湘雅二医院(73例)经手术后病理学检查证实的208例GIST患者的病例和影像资料。

纳入标准: 经过病理诊断为GIST患者; 有完整的术前双源CT增强影像; 患者检查前未经手术、化疗及放疗等任何治疗排除准则: 手术前已经接受了特定治疗; 病情已经复发或者转移。患有全身性的其他恶性疾病。本院135例患者(其中男性60例, 女性75例,

【第一作者】李晶晶, 女, 主治医师, 主要研究方向: 腹部影像诊断。E-mail: ed2023er@163.com  
【通讯作者】刘 焱, 女, 主任医师, 主要研究方向: 腹部影像诊断。E-mail: liuyanct@163.com

平均年龄 $61\pm 10$ 岁)被纳入, 分为训练队列。使用相同的标准获得73例患者(来自另一个中心的患者: 35例男性和38例女性; 平均年龄 $63\pm 11$ 岁)的验证队列。根据病理结果和GIST分类指南, 将患者分为低恶性组(极低风险和低风险; 训练队列73例, 验证队列33例)和高恶性组(中风险和高风险; 训练队列为62例, 验证队列为40例)。研究经过新疆维吾尔自治区人民医院伦理委员会审批, 并已完成知情同意书的签署。

**1.2 CT检查** 我们采用Siemens Somatom FLASH双源CT设备进行检查。扫描范围从肝顶到双侧股骨上段, 扫描序列包括腹盆腔平扫、双能量扫描的动脉期、静脉期和延迟期。平扫参数为: 120KV, 螺距0.7, 每圈0.5秒, 准直器宽度为 $128\times 0.6$ 毫米, 层厚1毫米, 间距0.5毫米。平扫完成后, 通过肘前静脉留置针注射碘帕醇( $350\text{mgI/mL}$ )90毫升, 流速为4.5毫升/秒。双能量扫描的参数为: 管电压分别设定为140kvp、178mAs和100kvp、230mAs, FOV为32厘米。

**1.3 碘图及能谱曲线的获得** 使用Siemens MMWP(syngo MMWP, siemens medical solutions)工作站, 可以获取70-140keV的单能图像和融合图像(融合比例为0.5)。通过进入双能选项卡(dual-energy)并选定Abdomen(CA)后, 开启Liver VNC以获取伪彩色图像; 打开Mono Energetic功能, 即可看到40-190keV范围内的单能量图像及其相应的能谱曲线。

**1.4 影像组学特征提取与筛选**

**1.4.1 影像特征及能谱特征提取** 由2名放射科主治医师(分别工作7年、13年)采用盲法阅片并记录肿瘤影像特征, 包括肿瘤大小、生长模式、肿瘤坏死/溃疡、肿瘤供血或引流血管增生(EVFD)、肿瘤轮廓及临近组织浸润。在勾勒肿瘤最大横截面以确定感兴趣范围时, 应避免液化坏死区, 并将同样大小的感兴趣区域分别放置在病变区和同一层面上的正常胃壁, 以记录碘浓度值和CT值。标准化CT值=病灶CT值/正常胃壁CT值, 标准化碘值(NIC)=病灶碘值/正常胃壁碘值。ITK-SNAP(版本3. 8. 0)软件用于描绘ct肿瘤的体积, 沿着肿瘤的形状并避免与正常组织的交叉点手动画出感兴趣区域(ROI)(如图1示)。

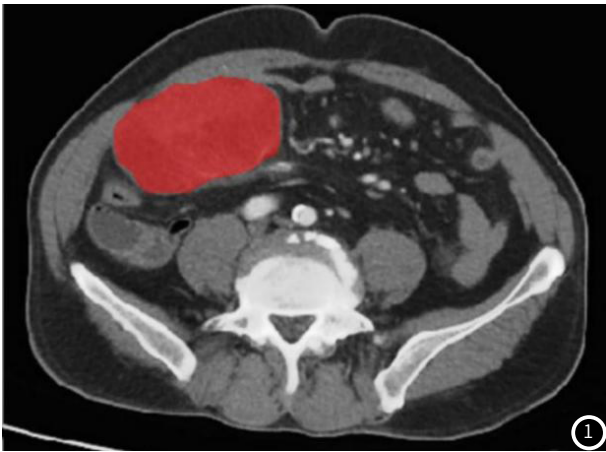


图1 在包含肿瘤的所有层上沿病灶边缘手动勾画肿瘤ROI, 然后将图像合并为3D ROI图像(红色)。

将患者信息ROI文件与肿瘤原始图像统一导入FeAture Exporer软件中, 用于自动提取肿瘤的放射组学特征。在动脉期图像中找出肿瘤病灶中除囊性、坏死、空腔外的最大层面, 然后计算包括VOI在内的影像学特征参数。每位患者提取5种类型的396个特征, 包括直方图、形态、纹理、灰度共生矩阵和灰度区域大小矩阵等方面的特征。

**1.4.2 特征筛选和建模** 对于训练组, 首先进行Spearman相关性分析, 计算特征参数之间的冗余度, 并设置阈值0.9, 剔除相关性强的特征参数, 只保留其中一个特征参数。然后, 通过LASSO回归进行十倍交叉验证, 选择非零系数的特征。为了检测组合模型中各变量之间的多重共线性, 使用方差膨胀因子(VIF)对表示严重共线性的 $VIF > 5$ 进行共线性诊断。选取特征参数, 通过逻辑回归分析建立GIST风险分级模型。

**1.5 统计学方法** 我们使用了R(版本:3.4.4)和SPSS(SPSS 23.0)作为我们的统计工具来执行分析任务。为了判断数据是否符合正态分布的假设, 我们采用了Kolmogorov-Smirnov检验。对于两个独立的数据集, 我们可以利用独立样本 t 检验对其中包含的连续变量进行对比。而针对分类变量的处理, 则可以应用卡方检验或者Fisher精确检验。准确度、灵敏度、特异性和曲线下面积(AUC)等参数用于评估模型的预测能力。利用一致性指数(C-index)来评估预测列线图的表现, 并通过绘制受试者工作特征(ROC)曲线来计算。

**2 结果**

**2.1 一般特征** 共208例患者(男95例, 女113例, 年龄31-81岁; 平均年龄:  $60\pm 12$ 岁)被分为低危组( $n=106$ 例; 极低风险组32例, 低风险组74例)和高危组( $n=102$ 例; 中危46例, 高危56例)。两组的一般资料比较(表1)。性别在两组患者中并无显著差异。然而, 疾病发生的年龄却有一定的不同, 例如高危组的疾病发生年龄超过了低危组。两组肿瘤生长模式无统计学差异, 但肿瘤大小、肿瘤坏死/溃疡、肿瘤引流血管增生(EVFD)、肿瘤临近组织浸润等参数有一定统计学意义。根据肿瘤最大直径、肿瘤形态构建GIST风险分级的临床模型, 其AUC为0.848 (95%CI: 0.659-0.776), 敏感性为66.1%, 特异性为61.9%。

表1 低风险组和高风险组GIST患者的影像学特征和临床数据

| 分组     |   | 训练组(n=135) |          |        | 验证组(n=73) |          |       |
|--------|---|------------|----------|--------|-----------|----------|-------|
|        |   | 低风险组       | 高风险组     | P值     | 低风险组      | 高风险组     | P值    |
|        |   | (n=73)     | (n=62)   | (n=33) | (n=40)    | (n=40)   |       |
| 性别     | 男 | 33         | 27       | 0.752  | 18        | 17       | 0.806 |
|        | 女 | 40         | 35       |        | 15        | 23       |       |
| 年龄(岁)  |   | 58±11      | 63±12    | 0.008  | 56±9      | 68±13    | 0.007 |
| 大小(cm) |   | 2.3±1.6    | 8.4±4.2  | 0.003  | 2.1±1.8   | 7.9±5.3  | 0.002 |
| 腔内生长   |   | 42(57.5)   | 36(58.1) | 0.082  | 17(51.5)  | 22(0.55) | 0.112 |
| 腔外生长   |   | 31(42.5)   | 26(41.9) |        | 16(48.5)  | 18(0.45) |       |
| 坏死/溃疡  | 有 | 7(9.6)     | 52(83.9) | 0.001  | 2(6.1)    | 35(87.5) | 0.001 |
|        | 无 | 66(90.4)   | 10(16.1) |        | 31(93.9)  | 5(12.5)  |       |
| EVFDM  | 有 | 2(2.7)     | 42(67.7) | 0.001  | 3(9.1)    | 28(70)   | 0.001 |
|        | 无 | 71(97.3)   | 20(32.3) |        | 30(90.9)  | 12(30)   |       |
| 肿瘤临近   | 有 | 0(0)       | 38(61.3) | 0.001  | 1(3)      | 31(77.5) | 0.001 |
| 组织浸润   | 无 | 73(100)    | 24(38.7) |        | 32(97)    | 9(22.5)  |       |

注: EVFD为肿瘤供血或引流血管增生; 括号中的数字是百分比; P值<0.05有统计学差异。

**2.2 比较不同虚拟单能CT值** 静脉期训练组和验证组之间的碘含量能谱曲线K的斜率(表2)。对能谱CT胃肠道间质瘤能谱特征的分析显示, 在训练组中及验证组中, 虚拟单能图的CT值随着keV的增加而降低; 从40-100千电子伏之间, keV越大, 下降速度越快; 比较表明, 训练组和验证组在虚拟单能CT值、能谱曲线K斜率和碘含量方面存在统计学显著差异。静脉期70 keV时, CT值在AUC=0.924时最高; 当虚拟单能CT值 $\geq 111.1\text{Hu}$ , 虚拟单能CT值诊断间质瘤良、恶性的敏感性和特异性分别为75%和95%。能谱曲线K的斜率在AUC=0.731时最高, 当 $K\geq 3.6$ 时诊断间质瘤良、恶性的敏感性和特异性分别为58.3%和85%。静脉期AUC=0.885时碘含量最高, 当碘含量 $\geq 2.55$ , 敏感性和特异性分别为61.1%和100%。

**2.3 构建基于能谱CT 的列线图并验证列线图的预测准确性** 将来自多变量逻辑回归分析的多个与 GIST良、恶性相关的能谱 CT 特征纳入构建列线图, 列线图的诊断性能(图2), 结果表明, 训练组( $n=135$ )模型的AUC为0.872(95%CI: 0.753-0.863); 验证组( $n=73$ )模型的AUC为0.807(95%CI: 0.697-0.893)。该模型的AUC为0.837(95%CI: 0.718-0.882), 符合临床特征( $n=208$ )。 敏感度为0.865, 特异性为0.915, 诊断准确率为0.837。



表2 静脉期不同虚拟单能CT值、能谱曲线斜率K值及病变和正常胃壁碘含量汇总

|     | 40keV                   | 50keV                   | 60keV                  | 70keV                  | 80keV     | 90keV     | 100keV   | K       | 碘含量                  |
|-----|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-----------|-----------|----------|---------|----------------------|
| 训练组 | 276.4±51.6              | 192.1±33.5              | 145.2±22.9             | 113.0±17.2             | 93.2±13.8 | 77.1±11.1 | 69.3±9.2 | 3.4±0.9 | 2.8±0.6              |
| 验证组 | 141.2±30.9 <sup>*</sup> | 104.2±15.3 <sup>*</sup> | 81.0±13.1 <sup>*</sup> | 64.8±10.4 <sup>*</sup> | 56.5±9.2  | 47.9±8.0  | 45.1±8.0 | 1.7±0.4 | 1.8±0.5 <sup>*</sup> |
| T/Z | -8.783                  | -8.78                   | -9.018                 | -9.010                 | 16.743    | 16.783    | 15.37    | 14.5    | -8.53                |
| P   | 0                       | 0                       | 0                      | 0                      | 0         | 0         | 0        | 0       | 0                    |

注：<sup>\*</sup>表示数据不符合正态分布。

**2.4 能谱CT影像组学联合CT特征列线图及效能** 根据多变量逻辑回归分析的结果，通过能谱CT联合CT特征(肿瘤最大径和EVFDM )和rad评分生成放射组列线图(图3A)。能谱CT影像组学联合CT特征列线图校准曲线显示出良好的结果(图3B、3C)， Hosmer-Lemeshow测试统计无差异(能谱CT放射组学列线图分别为0.05和0.503)。计算rad分数并用于预测GIST的恶性潜能(图3D)，蓝色和黄色反映真实程度，蓝色和黄色完全分离表明可以很好地分类，蓝色和黄色的混合越多，rad-score的准确度就

越低。恶性潜能高的患者通常比恶性潜能低的患者具有更高的rad评分。能谱CT影像组学联合CT特征列线图的AUC为0.927和0.905(分别为训练队列和验证队列)(图4A-4B)，显示出了良好的预测，C指数为0.927和0.905(分别为训练队列和验证队列)。DCA表明，在最合理的阈值概率范围内预测GIST的恶性潜能时，能谱CT影像组学联合CT特征列线图比单独的能谱CT影像组学特征提供更高的总体净收益(图4C-4D)。

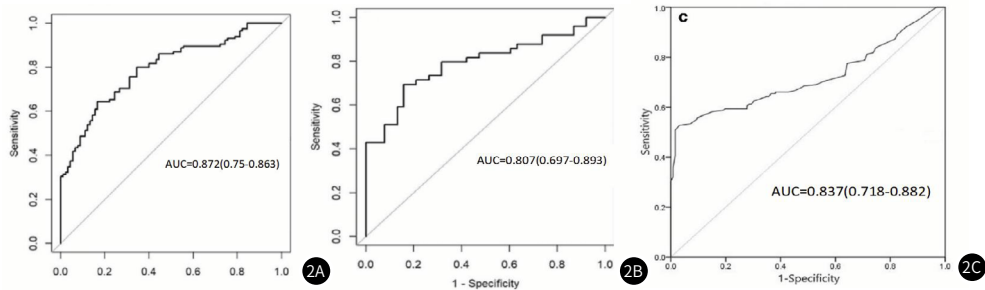


图2A-图2C 评估能谱CT影像组学模型，用ROC曲线预测GIST风险分级。

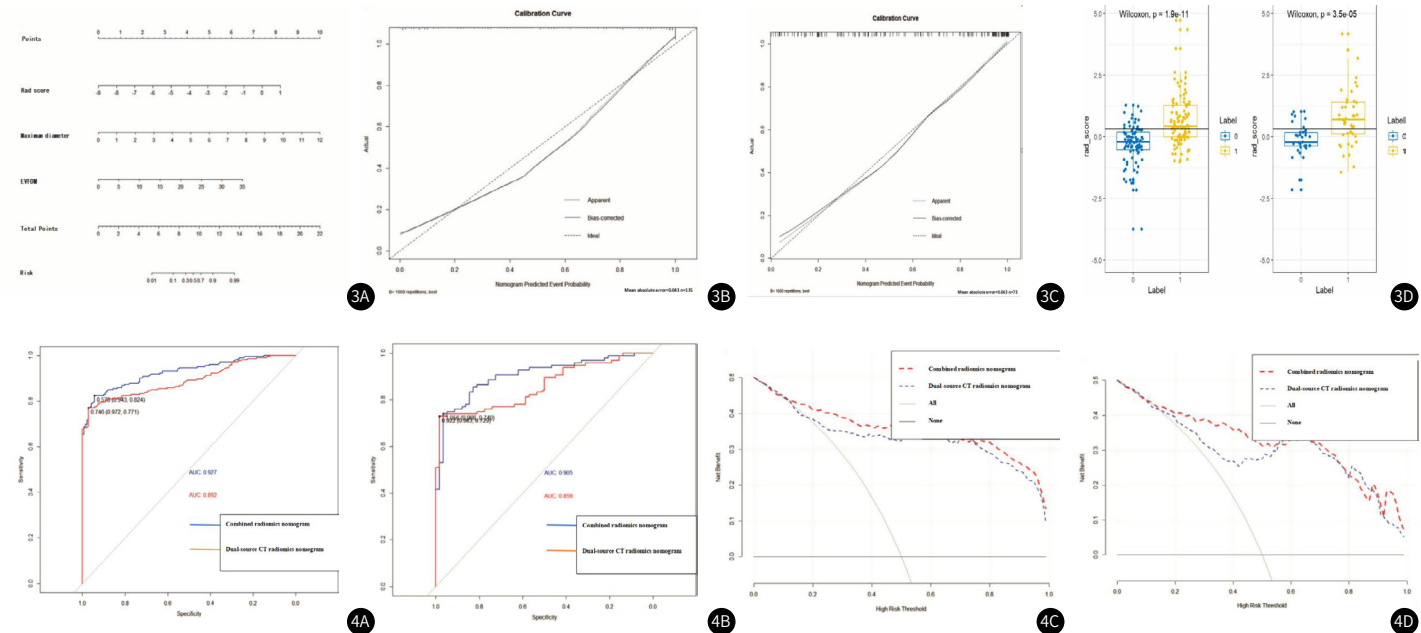


图3A-图3D 能谱CT影像组学联合CT特征列线图(3A)。训练组(3B)、验证组(3C)中术前放射组学列线图的校准曲线。(3D)训练组及验证组rad-scores的验证。  
图4A-图4D 训练组(4A)和验证组(4B)中不同影像组学列线图的ROC曲线。训练组(4C)、验证组(4D)中能谱CT影像组学联合CT特征列线图 and 能谱CT影像组学列线图的决策曲线分析对比(DCA)。

3 讨论

伴随着医学图像技术进步与胃肠镜技术的广泛应用，胃肠道间质瘤(GIST)的发现频率显著提升，特别是在小于两厘米的小型或微小GIST上表现得尤为明显。大部分情况下，GIST会选择通过腹腔播散或者肝脏转移的方式扩散，有时也会出现同步发展的情况，次之是肺部和骨骼部位。对于转移性的GIST来说，其生存期相对较短，一般不超过一年<sup>[2,4]</sup>。近些年来，该病的发作年龄逐渐降低，使得GIST的生物特性及其预期结果呈现出了更大的多样性和难以预测性，具有一定的恶性潜能，无法仅凭良恶性来简单判断。复发危险度分级是确定间质瘤为潜在恶性肿瘤的最新评价标准，肿瘤的大小及有丝分裂指数可以判断其恶性程度<sup>[3,10]</sup>。

影像学检查已经变成了疾病管理中不可或缺的关键步骤，它能为临床提供各种信息，对于疾病筛选、早期诊断、治疗决策以及预后评价等方面起着至关重要的作用。CT能谱成像是依据人体内同一部位对不同光子能量以及不同部位对相同光子能量吸收能力的差异来实现的，这是基于对x线吸收特性的判断来区分各种组织。能谱CT可以在保持低辐射暴露的同时提升信号质量至原本的一半以上<sup>[16]</sup>。随著科技的发展和对该项技术的理解加深，其在各类癌症病症的初期筛查、确诊辨识、等级分类分析以及治疗效果预测等方面的重要性日益凸显<sup>[13]</sup>。由于GIST风险分级对于决定最佳临床治疗方案至关重要，而能谱CT定量的分析，使检查其

更方便、直观和无创性，因此该方法是术前辅助检查及诊断的重要方法。能谱CT的特征性参数可以对胃肠道肿瘤进行鉴别诊断<sup>[7-8,17]</sup>。有研究<sup>[5-6,9]</sup>表明，定量研究使GIST的诊断更具体、直观并有规律可循，目前已用于GIST的鉴别诊断研究，但其应用于GIST危险度分级方面的研究过少，能谱CT结合影像征象或许能填补定量参数对GIST危险度分级诊断的空白<sup>[13]</sup>。

伴随着人工智能技术的进步，我们在以往传统影像学诊断的基础上，利用深层的数据分析去发现病症的核心特性，以此揭示身体组织的、细胞及基因层次上的变化，这对于医疗领域来说具有巨大的潜在价值。因此，根据这个理念，一种名为“影像组学”的新兴学科诞生了<sup>[7,11]</sup>。影像组学是一种结合了大数据技术和医学影像辅助诊断的技术，能够更深入地发掘大量特征和数据，显著提升疾病确诊的精确度。该方法能从医学影像资料中抽取大量的关键信息以描述癌症的特点，并在肿瘤类型划分、治疗策略的选择、效果评价和预测未来状况等多个方面展现其强大的功能，被认为是最具潜力的研究热点<sup>[12]</sup>。

将能谱CT图像与CT征象联合的影像组学研究少见报道，因此通过能谱CT的计量数据与传统的CT特性标志物融合构建出新的影像组学新型模式，以供医疗实践参考是我们此篇的研究目标。在这项研究中，我们发现几个CT特征(大小、肿瘤内坏死/溃疡、EVFDM和临近组织浸润)可能是原发性胃GIST的高危因素，高危组的发病年龄大于低危组，因此我们推测更高级别的肿瘤可能出现在晚年，与以往的研究相似<sup>[8-11,16]</sup>。我们的分析表明，训练组及验证组在年龄、最大肿瘤直径和肿瘤形态方面存在显著差异。在最终选择的5个模型构建特征中，体积系数最大，表明病灶大小和GIST的形态与风险分级密切相关。体积越大，表面积比率越小，GIST的风险程度越高。这些观察结果在一般患者信息分析中的统计参数结构中得到了进一步证实，因此我们可以从这些因素得出CT的列线图中提供一套评分系统，在术前鉴别高、低风险患者，对于临床治疗有指导作用。

既往研究表明NIC与GIST危险度静脉期相关性系数较动脉期略高，因此我们选取了静脉期NIC与GIST的危险度分级相鉴别。研究中发现，在静脉期，高危度GIST的CT值、标准化碘值(NIC)和斜率k值显著高于低级别GIST。碘浓度和斜率k用于定量评估肿瘤中的血管形成程度<sup>[10,12]</sup>。高危度GIST具有更高的CT值和斜率k值，这表明高危度GIST的血液供应量高于低级别GIST。我们采用了病灶标准化碘含量NIC(病灶IC/同层面腹主动脉IC)，最大程度上降低了个体化差异、造影剂注入差异及病灶累及范围差异。我们比较了高危度GIST和低级别GIST的CT值和NIC值之间的判别性能，结果表明，NIC的判别性能优于CT值，这表明NIC是更稳定的指标，与先前的研究一致<sup>[9,11-12]</sup>。我们的研究发现，NIC在静脉期70keV的判别力较高(AUC=0.837)。

在本研究中，ROI是特征提取的前提。肿瘤的ROI分割直接影响特征提取，其中一些特征对分割边界非常敏感。过去的研究表明，局部肿瘤成分不能完全代表整个肿瘤，基于肿瘤全局域的分析可以更准确可靠地显示肿瘤异质性<sup>[17-19]</sup>。因此，在目前的研究中，增强CT静脉期图像中包含肿瘤实质的所有层被逐层描绘，然后融合成三维(3D)结构，以确保提取的特征参数的通用性和准确性。

在本研究中，高风险度GIST的体积、熵、惯性和长时间高灰度值均大于低风险GIST，这表明CT形态的异质性越大，发生高风险GIST的可能性越大，与既往研究相似<sup>[20-21]</sup>。高风险GIST的相关性、GLCM能量低于低风险GIST，表明像素值越均匀，灰度分布越均匀。在本研究中选择的所有参数中，灰度共生矩阵和游程长度矩阵的数量最大，这表明肿瘤内部的纹理分布和空间异质性与肿瘤分化密切相关。

将能谱CT图像与CT特征相结合，联合影像组学的方法，可以最大限度的了解间质瘤的内部特征，了解肿瘤的内部异质性，可以更精确、胃肠道间质瘤分级。本研究有一些局限性。首先此项研究是回顾性的，样本在选择上存在一定偏差，需要前瞻性的研究论证；其次两个中心的病例个体差异较大，样本量较小，仍需要从更多医院收集更多的数据进行更大样本量的研究；第三，没有研究GIST的其他重要临床指标，如Ki67表达；第四，ROI为

手工测绘，有一定偏差，如有机器自动勾画准确性更高。总之，我们的研究提出了一种基于能谱CT定量特征联合CT征象的影像组学列线图，它在预测GIST良、恶性潜能方面表现出令人满意的性能。此研究可为临床医生提供一个简单而有效的工具，就正确选择治疗方式做出了适宜的临床决策。

## 参考文献

- [1] 张妙泉, 邱海波, 周志伟. 胃肠间质瘤危险度分级的前世与今生及其临床指导价值[J]. 中华胃肠外科杂志, 2020, 23(9): 845-851.
- [2] 张丽静, 陈德强, 张春谦, 等. 基于CT图像的放射组学特征联合CT征象的GIST危险度分级的列线图模型的初步研究[J]. 临床放射学杂志, 2020(9): 6.
- [3] 苏海霞, 潘海虹, 张蕾. 胃肠道间质瘤CT影像特征对照病理危险度评估的相关性研究[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2014, 20(6): 6.
- [4] Kang B, Yuan X, Wang H, et al. Preoperative CT-based deep learning model for predicting risk stratification in patients with gastrointestinal stromal tumors[J]. Front Oncol, 2021, 11: 750875.
- [5] 王军, 张文胜, 裴效端, 等. 胃肠道间质瘤临床诊断与治疗研究进展[J]. 中国肿瘤临床与康复, 2019, 26(1): 122-124.
- [6] Inoue A, Ota S, Sato S, et al. Comparison of characteristic computed tomographic findings of gastrointestinal and non-gastrointestinal stromal tumors in the small intestine[J]. Abdom Radiol (NY), 2019, 44(4): 1237-1245.
- [7] Jocelyn, Hoyer, Justin B, et al. Quantification of minimum detectable difference in radiomics features across lesions and ct imaging conditions[J]. Academic Radiology, 2021, 28(11): 1570-1581.
- [8] 凌文峰, 黄瑞滨, 戴卓智, 等. 基于CT特征构建鉴别胃神经鞘瘤与胃肠道间质瘤的诊断模型[J]. 中国CT和MRI杂志, 2023, 21(12): 146-148.
- [9] 张千凤, 李辉, 李晶晶, 等. 能谱CT多模态参数联合临床参数对胃间质瘤Ki-67的预测价值[J]. 分子影像学杂志, 2022, 45(5): 5.
- [10] 贾浩, 范志刚, 朱彬, 等. 术前应用Philips CT成像特征预测胃肠道间质瘤高ki-67增殖指数的研究[J]. 中国CT和MRI杂志, 2024, 22(01): 130-132.
- [11] 吴晓佳, 柯东平, 张炯, 等. 胃完全囊变胃肠道间质瘤三例CT特征并文献复习[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(11): 9-11.
- [12] Xu Jianxia, Yu JieNi, Wang Xiaojie. A radiologic diagnostic scoring model based on CT features for differentiating gastric schwannoma from gastric gastrointestinal stromal tumors[J]. American Journal of Cancer Research, 2022, 121.
- [13] Papke DJ Jr, Hornick JL. Recent developments in gastroesophageal mesenchymal tumours[J]. Histopathology, 2021, 78(1): 171-186.
- [14] Park HJ, Park B, Lee SS. Radiomics and deep learning: hepatic applications[J]. Korean Journal of Radiology, 2020, 21(4): 387-401.
- [15] Wang C, Li H, Jiaerken Y, et al. Building CT radiomics-based models for preoperatively predicting malignant potential and mitotic count of gastrointestinal stromal tumors[J]. Transl Oncol, 2019, 12(9): 1229-1236.
- [16] 王学东, 刘爱连, 田士峰, 等. 单源双能CT能谱分析定量参数预测胃间质瘤Ki-67表达的可行性研究[J]. 放射学实践, 2020, 35(7): 893-899.
- [17] 原士超, 赵庆, 范红燕. 双能CT对胃间质瘤中Ki-67表达的预测价值及其与病理参数的关系[J]. 临床荟萃, 2021, 36(11): 1013-1018.
- [18] Mühlberg A, Holch JW, Heinemann V, et al. The relevance of CT-based geometric and radiomics analysis of whole liver tumor burden to predict survival of patients with metastatic colorectal cancer[J]. European Journal of Radiology, 2020, 31(2): 834-846 (2020).
- [19] 王德娟. 多层螺旋CT结合MRI对胃肠道间质瘤病理危险度分级的诊断价值[J]. 罕少疾病杂志, 2023, 30(1): 57-59.
- [20] 董婷宇, 刘峰, 汤林梦, 等. 增强CT影像组学术前预测胃肠道间质瘤危险度分级的价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2022, 30(1): 66-71.
- [21] Zheng Jing, Wang Xu, Xia Yang. Performance of the combined model based on both clinicopathological and CT texture features in predicting liver metastasis of high-risk gastrointestinal stromal tumors[J]. Zhongguo yi xue ke xue yuan xue bao. Acta Academiae Medicinae Sinicae, 2022, 441.

(收稿日期: 2023-06-27)

(校对编辑: 孙晓晴)