

胃肠道间质瘤影像学研究进展

吴琼, 姜慧杰

【摘要】 胃肠道间质瘤(GIST)的发病率虽然远不及胃肠癌等,但其独特的发病机制和检出设备的不断升级使得人们对该病的重视程度日益增加,术前对其进行精准的诊断及评估具有重要临床意义。传统影像技术可为 GIST 的鉴别诊断、危险度及基因突变的评估、监测随访等提供多种有意义的征象。影像功能成像(DWI、IVIM、PET 及双能 CT 等)能对肿瘤内部成分定量评估,在 GIST 恶性潜能和疗效预测方面有更高价值。近年来影像组学和深度学习研究的兴起给 GIST 的研究提供了新的方向,它们的预测能力优于传统指标和影像医生主观判断,向实现 GIST 精准医疗前进了一大步。本文就影像学在 GIST 领域中的应用进展进行综述。

【关键词】 胃肠道间质瘤; 疗效评估; 磁共振成像; 体层摄影术, X 线计算机; 影像组学; 深度学习

【中图分类号】 R735; R445.2; R814.42 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2024)02-0287-06

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.02.024

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



胃肠道间质瘤(gastrointestinal stromal tumor, GIST)是胃肠道最常见的间叶源性肿瘤,C-KIT 和 PDGFRA 基因异常激活突变为其主要发病机制,所有的 GIST 都有不同程度的生物学侵袭性^[1],治疗方式也因此不尽相同。CT、MRI 及正电子发射断层显像(positron emission tomography, PET)等影像学技术可在病变的诊断和鉴别诊断、生物学行为评估、突变类型和疗效预测等方面为临床提供有价值的信息,在实现 GIST 个体精准化治疗中发挥了重要作用。本文从诊断与鉴别诊断、评估基因突变类型、预测恶性潜能及预后、指导治疗和疗效评价等 5 个方面对 GIST 影像学研究进展进行综述。

GIST 诊断与鉴别诊断

GIST 有广泛的发生位置、生长模式及增强模式,图像上小肿瘤多为边缘清晰、均匀强化的黏膜下肿块,大肿瘤形态常不规则,且因坏死、囊变而呈不均匀强化。巨大外生型 GIST 需与其他腹腔盆腔肿瘤鉴别,追踪肿瘤供血血管有助于识别腹腔盆腔肿瘤的脏器起源,另外如“鸟嘴征”、“器官嵌入征”和“起源胃壁强化征”等特殊征象也可辅助诊断肿瘤来源^[2,3]。

胃 GIST 是最常见的胃黏膜下肿瘤(submucosal tumor, SMT),这类肿瘤有类似的影像学表现,但生物学行为差异较大,彼此间的鉴别是当下研究的热点之一。Liu 等^[4]结合影像特征(年龄>49 岁、非贲门位

置、边界不规则、平扫 CT 值 ≤ 43 HU、强化不均一、坏死和无增大淋巴结)建立了识别 GIST 的简易评分系统, ≥ 4 分判断为 GIST, < 4 分判断为非 GIST,准确度可达 92%。Yoo 等^[5]研究了不同 SMT 的 MRI 特征,结果显示当表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)值临界值定为 $1.27 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时更能有效地鉴别 GIST 与非 GIST,其 ROC 曲线下面积(area under curve, AUC)为 0.816。在 2022 年核医学和分子成像学会年会上有学者提出与¹⁸F-FDG PET 相比,⁶⁸Ga-RM26 PET 的最大标准摄取值(standardized uptake value, SUV)更能区分 GIST 与其他 SMT,准确率可达 82.6%。近年来,随着机器学习在医学领域的广泛使用,鉴别不同类型的 SMT 也有了进一步发展。Wang 等^[6]发现逻辑回归(M2)模型在区分胃神经鞘瘤与 GIST 方面的诊断效能最佳(AUC 值 0.97);顾佳毅等^[7]的基于卷积神经网络的 GIST-Net 模型鉴别 GIST 与非 GIST 的准确率(83%)基于传统 CT 征象的 GIST-Risk 模型(75%)和两位影像科医生(60%、65%)。

有研究表明与小肠非 GIST 肿瘤相比,小肠 GIST 早期静脉回流发生率更高,动静脉期的 CT 值也更高^[8]。十二指肠与胰头毗邻,发生于该处的 GIST 还常需与胰头区肿瘤鉴别,Ren 等^[9]发现十二指肠 GIST 与胰头神经内分泌肿瘤相比,肿瘤中心靠近十二指肠并以实性为主,且其动脉期 CT 值较低,延迟期 CT 值较高;另一项直方图分析结果显示,Vater 壶腹周围 GIST 直方图分析参数均高于胰腺导管腺癌^[10]。

评估基因突变类型

大多数 GIST 存在 C-KIT(70%)或 PDGFRA- α

作者单位:150086 哈尔滨,哈尔滨医科大学附属第二医院影像科

作者简介:吴琼(1996-),女,内蒙古自治区鄂尔多斯市人,硕士研究生,住院医师,主要从事腹部影像诊断工作。

通讯作者:姜慧杰, E-mail: jhjemail@163.com

(10%~15%)突变,其他因缺乏上述基因突变而被称为野生型 GIST^[1]。KIT 突变型 GIST 对伊马替尼有反应,其中 KIT 外显子 11 突变型反应最佳,而 PDGFR 外显子 18 D842V 突变及野生型 GIST 则对伊马替尼无反应,因此准确评估基因突变类型对靶向药物的选择十分关键。

目前关于这方面的研究较少,且多基于 CT 图像。Cannella 等^[11]发现 PDGFR α 突变和野生型 GIST 在门静脉期的强化程度明显高于 KIT 突变型 GIST; Yin^[12]等进一步发现 KIT 外显子 9 突变型比 KIT 外显子 11 突变型具有更高的强化率(门静脉期肿瘤实质 CT 值/同一水平竖脊肌 CT 值)。还有极少数学者采用 PET 分析 GIST 有无 C-KIT 基因突变,结果发现有该基因突变的肿瘤存在延迟 FDG 摄取^[13]。

影像基因组学是传统放射成像扩展到分子基因组成像的一次成功尝试,它将图像特征与基因突变等基因表达模式相关联,促进对肿瘤异质性的更深层次解释和成像生物标志物的发展。Xu 等^[14]从门静脉期 CT 图像提取了 30 个影像组学特征进行纹理分析,首次发现标准差是 KIT 外显子 11 突变的独立预测因子。Liu 等^[15]从 327 例 GIST 患者中提取了 1024 个影像组学特征,同时还研究了传统 CT 图像特征,结果显示用于预测肿瘤是否存在 KIT 外显子 11 突变的主观 CT 模型 AUC 值在训练队列和验证队列分别为 0.7158 和 0.6777,当联合影像组学特征和临床因素后, AUC 分别增加至 0.8375 和 0.8105,该研究较前者样本量更大,影像组学特征更多,更能全面体现影像组学在预测基因突变类型中的价值。

预测恶性潜能及预后

GIST 生物学行为多样,且具有潜在恶性,即使是小肿瘤也可能表现出侵袭行为,其危险度评估系统多样,目前临床应用最广泛的是美国国立卫生院(national institute of health, NIH)2008 改良版,它依据术后病理标本所示肿瘤大小、部位、核分裂像及是否破裂这 4 个指标将 GIST 分为极低危、低危、中危及高危。影像学可以提供形态学征象和定量指标等信息,对术前无创性预测 GIST 恶性潜能及预后有重要意义。

1. 传统形态学成像

传统影像技术可提供较多与危险度相关的形态学征象。肿瘤直径 ≥ 5 cm、非胃位置、外生性生长、瘤周粗大血管等征象常提示肿瘤属于高危 GIST。Wei 等^[16]发现量化肿瘤形状(大角度/小角度)在预测 GIST 的风险水平和核分裂象计数方面较最大径更有优势。

高度恶性 GIST 更容易发生囊变坏死。Su 等^[17]首次提出坏死与囊变是造成肿瘤异质性的两个不同因素,只有坏死与危险度分级有关。Xue 等^[18]的研究进一步验证了 Su 等的结论,他们发现纯囊性 GIST(cystic gastrointestinal stromal tumor, cGIST)是一类相对惰性的亚型,有较好的预后。由此可见,不能一概而论,要深入探索不同类型 GIST 变性征象,尽可能做到全面评估影像征象与肿瘤恶性潜能的关系。关于肿瘤强化程度的研究结果目前并未统一^[17,19]。有些学者认为静脉期强化相对值差异较小的 GIST 恶性程度较高,还有些学者则认为随着危险度的升高,增强扫描各期肿瘤的 CT 值减低。

传统形态学成像临床应用最广泛,但受到影像医生主观因素的影响,而且大多数影像特征没有达到与已经使用的风险分层系统相似的准确度。另外目前的研究多集中于 CT,但已有学者指出平扫 MRI 与增强 CT 在诊断 GIST 病变方面性能相当^[20]。总之,还需要更多研究(尤其是关于 MRI 的研究)来验证传统影像特征预测 GIST 恶性潜能及预后的可靠性。

2. 功能成像

不同危险度的 GIST 在传统 CT/MRI 中有许多重叠征象,功能成像可对肿瘤内部成分进行定量分析,从而更准确地评估 GIST 恶性潜能及预后。

多参数 MRI 将形态学指标和定量指标结合,在预测 GIST 危险度方面更有优势,Zheng 等^[21]研究发现体积、ADC 比值(肿瘤平均 ADC 值/右肾平均 ADC 值)和静脉期流入指数[(肿瘤静脉期信号强度-肿瘤平扫信号强度)/肿瘤平扫信号强度 $\times 100$]联合指标在鉴别极低-低与中-高危险度 GIST 中的敏感度、特异度和准确度分别为 88%、94.29 和 91.7%。PET 中与肿瘤代谢相关的定量标记物最大标准化摄取值(maximal standardized uptake value, SUVmax)、肿瘤代谢体积(metabolic tumor volume, MTV)和病灶糖酵解总量(total lesion glycolysis, TLG)与 GIST 危险度类别密切相关^[22],其中 MTV 和 TLG 是预测无复发生存期(recurrence-free survival, RFS)的独立预后因素,它们比修改后的 NIH 标准能更准确地预测生存率。双能 CT 经特殊后处理技术可获得多种功能参数,弥补了传统 CT 无法定量评估的缺陷。Zhang 等^[23]研究发现高危组的 70 keV 单能量成像的 CT 值、光谱曲线斜率和标准化碘浓度(normalized iodine concentration, NIC)均高于中低危组,而唐波等^[24]却认为只有动脉期 NIC 值在区分两组胃 GIST(中-高危险度与极低-低危险度)上才有价值,这可能与危险度分组和肿瘤部位的不同有关。还有学者尝试利用双能 CT 定量预测胃间质瘤 Ki-67 表达,结果表明静脉期

NIC 值为最佳参数,诊断 Ki-67 高表达组的敏感度和特异度分别为 90.9%和 82.4%^[25],有望为术前定量评估肿瘤细胞增殖能力提供新方法。

3. 影像组学和深度学习

影像组学通过从影像图像中提取基于形状、像素强度和纹理的特征来获取生物学信息,为诊断和治疗应用提供影像表型分析,有效避免了影像医生主观因素的影响,理论上对 GIST 危险度分级的诊断效能要优于传统方法。

Choi 等^[26]从门静脉期 CT 图像提取特征进行纹理分析,发现平均正像素、峰度与 GIST 危险等级和有丝分裂指数显著相关;而 Yang 等^[27]从三期 MRI 图像中提取到了更多用来预测核分裂指数的纹理特征,其 AUC 值为 0.906,可见选择单一期相来评估危险度比较片面。Song 等^[28]的大样本研究也支持这一结论,结果显示三期(动脉期、门静脉期、延迟期)联合影像组学模型较单期影像组学模型有更好的诊断效能,且得到了外部验证的支持。除了基于增强图像外,Zhang 等^[29]还尝试从非增强 CT 图像提取特征并建立模型,结果显示基于平扫 CT 影像组学模型的诊断效能优于基于增强 CT 的影像组学模型(训练集 AUC 分别为 0.965 和 0.936,内部验证 AUC 分别为 0.967 和 0.960,外部验证 AUC 分别为 0.941 和 0.899)。尽管单纯影像组学模型的预测效能较好,但其忽略了临床信息、特殊影像征象等的影响,Chen 等^[30]比较了四种模型评估 GIST 恶性潜能的效能,诊断效能由高到低依次为联合模型(影像组学特征+肿瘤直径+胃肠道出血+生长模式+瘤周粗大供血血管)、单纯影像组学模型、主观 CT 模型、临床模型,可见联合模型是预测 GIST 恶性程度更好的选择。

Chen 等^[30,31]建立的基于支持向量机和残差神经网络的模型在预测局部间质瘤完全手术切除后的 3 年和 5 年 RFS 方面有良好到近乎完美的表现,且得到了内部和外部队列的验证。Fu 等^[32]提取了 GIST 患者 T₂WI、扩散加权成像(diffusion-weighted imaging, DWI)和 ADC 图上的纹理特征,结果发现来自 DWI 和 ADC 图上的纹理特征与总生存率相关性最强。Ki-67 指数是肿瘤细胞增殖的标志,其值越高提示 GIST 预后越差。杨采薇等^[33]基于增强 CT 建立的影像组学模型预测 GIST Ki-67 指数表达的效能良好,训练集和验证集的 AUC 值分别为 0.802 和 0.730,当进一步结合肿瘤大小、含气及系膜脂肪浸润这 3 个传统影像征象后,模型在训练集和验证集中的预测效能更高、更稳定,AUC 值分别为 0.823 和 0.731。

深度学习作为人工智能的强大算法之一,可以通过直接学习预测特征来简化过程。此外,与经典机器

学习相比,它可以自动提取更多高层次和抽象的特征,近年来在 GIST 预测领域得到了广泛的应用。Kang 等^[34]基于增强 CT 图像建立的深度学习模型可以准确地预测 GIST 的风险分类,且诊断效能优于影像组学模型,两者在测试队列中的 AUC 分别为 0.90 和 0.84,外部验证集中 AUC 分别为 0.81 和 0.78,这可能是因为手动获得的影像组学特征只能反映相对低阶的简单特征,缺乏风险评估的特异性。

无论选择何种影像方法,何种期相及何种扫描方式(增强/非增强),影像组学都能良好地评估 GIST 恶性潜能及预后,其中包含多种特征的联合模型能进一步提高预测效能,为临床提供更优的预测方案。深度学习在提高预测精准度的同时,还能精简过程、缩减时间,有望在 GIST 危险分层领域发挥更大的作用。

指导治疗

1. 手术治疗

外科手术治疗是 GIST 的主要治疗方式,术前影像图像三维重建技术实现了解剖关系的可视化,可辅助制定手术方案。其中电影渲染这一新兴三维重建技术,能够重建出高度逼真、更接近术中亲眼所见的三维图像,从而可以减少其他意外和解剖变异对手术的影响。

2. 靶向药物治疗

突变类型和危险度的不同会影响 GIST 靶向药物种类、剂量及治疗时间的选择。CSCO 指南中提到伊马替尼是 KIT 突变型 GIST 的一线治疗药物^[35],KIT 外显子 11 突变者推荐常规剂量(400 mg),KIT 外显子 9 突变者推荐高剂量(600~800 mg);PDGFR α 外显子 18D842V 突变型 GIST 对阿泊替尼反应性好;而野生型 GISTs 目前尚无明确药物可用。在治疗时间上,中危胃 GIST 需伊马替尼辅助治疗 1 年,高危 GIST 至少需 3 年。

大多数对伊马替尼有反应的 GIST 最终会产生耐药性,新生血管及其通透性与肿瘤耐药性有关。一项动物实验研究结果表明,动态增强 MRI 参数容积转移常数(K^{trans})和血管内体积分数(V_p)可以监测肿瘤血管化程度,从而区分出伊马替尼耐药群体(耐药组 K^{trans} 和 V_p 值显著高于敏感组)^[36]。因此,可以通过对新生血管的评估来选择更恰当的靶向药物,避免过多无效靶向药物辅助治疗。

疗效评估

目前用于 GIST 疗效评估的标准多样,除了指南中推荐的实体瘤疗效评价标准(response evaluation criteria in solid tumor,RECIST)和 Choi 标准外,影像

学提供的一些新型定量指标也可用来监测肿瘤进展,评估药物疗效,然而不同疗效评估标准在实际应用中得到的结果并不完全一致,如何选择最优标准是学者们一直探索的一大难题。

CT 是 GIST 疗效评价的首选检查手段,郝英杰等^[37]研究了胃 GIST 患者新辅助治疗后的 Choi 评分、肿瘤体积减少率与组织学疗效评价的相关性,结果显示 MSCT 测量的肿瘤体积减少率与组织学疗效评价相关性更强,由此可见体积评估比一维 Choi 标准更敏感和准确。但现在多数药物主要通过抑制新血管形成来达到治疗效果,对肿瘤大小并没有明显影响,因此基于尺寸的反应评估可能无法精确监测抗血管生成治疗的效果。Meyer 等^[38]另辟蹊径,利用双能 CT 预测治疗效果,结果发现双能 CT 有效碘肿瘤负荷标准明显优于 CTRECIST 1.1 和 mChoi 标准,而且此标准较少受肿瘤内出血和钙化的影响,更有可能成为基于影像的治疗反应标志物。

PET 在开始治疗的 24 h 内就能识别到肿瘤代谢活性的下降,较传统的 RECIST 标准能更早、更精准地评估药物疗效。目前临床最常见的是¹⁸F-FDG PET,主要依据半定量标准 SUV_{max} 从代谢水平层面进行疗效评估,评估效能常优于 CT 等传统成像方式。最近的一项研究还发现 FAPI PET 对 GIST 复发/转移的检出优于 FDG PET 阳性检出率分别为 80.2%和 53.8%,尤其是肝转移方面(阳性检出率分别为 87.5%和 33.3%),弥补了部分病灶不摄取 FDG 的缺陷,有望成为监测 GIST 患者治疗有效性的新型成像方式^[39]。

功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)能通过量化肿瘤内部微结构特征为 GIST 靶向治疗疗效的预测提供有价值的定量指标。DWI 是临床最常用的 fMRI 技术,其提供的 ADC 值与治疗反应相关,Tang 等^[40]研究发现 GIST 靶向治疗 2 周后,ADC 值变化率($\% \Delta ADC$) $\geq 15\%$ 可判断为治疗有效, $\% \Delta ADC \leq 1\%$ 可判断为反应不良;同年该团队的另外一项研究发现分数微积分模型能更早、更准确地预测 GIST 对舒尼替尼二线治疗的反应^[41],该模型与之前的单指数模型相比,包括了更多定量参数(扩散系数 D、反映组织成分均匀度的 β 值和代表水分子扩散间距的 μ 值),结果显示联合治疗前的 β 绝对值和治疗 2 周前后扩散系数变化率 ΔD 的 AUC 值可达 0.843,这又一次证明了 GIST 患者在靶向治疗两周后评估疗效的可行性。体素内不相关运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)除了能提供纯水分子扩散运动的信息外,还能提供灌注信息,其相关参数中的快速扩散系数和快速体积分数比 ADC 值具有更高的评价效能。

小结与展望

从传统形态学影像到影像功能成像,再到影像组学和深度学习,影像学越来越能精准、全面地评估 GIST,是实现 GIST 患者个性和优化治疗不可或缺的辅助工具,但它仍然存在一定问题:①难以判断起源的巨大外生性 GIST 易被误诊为腹盆腔其他肿瘤,如 Castleman 病、孤立性纤维瘤等,但目前关于这方面的研究很少,以后可以多进行这方面的研究,切实解决影像医生临床工作中的问题;②目前关于基因的研究多集中于识别 KIT 突变方面,但其它不同突变类型的 GIST 在靶向药物选择方面也有差异,因此需要更多基因种类的研究;③目前的一些研究结果不统一,如肿瘤强化程度、熵值等与肿瘤恶性潜能的关系,这可能是因为目前多数研究样本量较小,应用的具体技术也各不相同,因此还需要更大样本量的研究;④影像组学分析缺乏标准化的方法,构建的模型稳定性和泛化能力较弱,因此需要提高标准化,采用更多前瞻性研究。在影像技术蓬勃发展的时代,挑战即是机遇,各种功能成像方法、参数定量研究及人工智能必是未来研究的热点,期待影像学在 GIST 领域取得更广泛、更深度的进展。

参考文献:

- [1] Nishida T, Yoshinaga S, Takahashi T, et al. Recent progress and challenges in the diagnosis and treatment of gastrointestinal stromal tumors[J]. Cancers (Basel), 2021, 13(13): 3158.
- [2] 付佳, 唐磊, 李健, 等. “起源胃壁强化征”辅助 CT 诊断胃外生性胃肠间质瘤[J]. 中华结直肠疾病电子杂志, 2019, 8(3): 231-235.
- [3] Al-Dasuqi K, Irshaid L, Mathur M. Radiologic-pathologic correlation of primary retroperitoneal neoplasms[J]. Radiographics, 2020, 40(6): 1631-1657.
- [4] Liu M, Liu L, Jin E. Gastric sub-epithelial tumors: identification of gastrointestinal stromal tumors using CT with a practical scoring method[J]. Gastric Cancer, 2019, 22(4): 769-777.
- [5] Yoo J, Kim SH, Han JK. Multiparametric MRI and ¹⁸F-FDG PET features for differentiating gastrointestinal stromal tumors from benign gastric subepithelial lesions[J]. Eur Radiol, 2020, 30(3): 1634-1643.
- [6] Wang J, Xie Z, Zhu X, et al. Differentiation of gastric schwannomas from gastrointestinal stromal tumors by CT using machine learning[J]. Abdom Radiol (NY), 2021, 46(5): 1773-1782.
- [7] 顾佳毅, 史豪庭, 杨琳希, 等. 基于增强 CT 的深度学习算法对直径 ≤ 5 cm 胃的胃肠间质瘤鉴别诊断临床意义[J]. 中华胃肠外科杂志, 2021, 24(9): 796-803.
- [8] 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.
- [9] Ren S, Chen X, Wang J, et al. Differentiation of duodenal gastrointestinal stromal tumors from hypervascular pancreatic neuroendo-

- crine tumors in the pancreatic head using contrast-enhanced computed tomography[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(3): 867-876.
- [10] Lu J, Hu D, Tang H, et al. Assessment of tumor heterogeneity; differentiation of periampullary neoplasms based on CT whole-lesion histogram analysis[J]. *Eur J Radiol*, 2019, 115(6): 1-9.
 - [11] Cannella R, Tabone E, Porrello G, et al. Assessment of morphological CT imaging features for the prediction of risk stratification, mutations, and prognosis of gastrointestinal stromal tumors[J]. *Eur Radiol*, 2021, 31(11): 8554-8564.
 - [12] Yin YQ, Liu CJ, Zhang B, et al. Association between CT imaging features and KIT mutations in small intestinal gastrointestinal stromal tumors[J]. *Sci Rep*, 2019, 9(1): 7257.
 - [13] Kwon Y, Park E, Pakk K, et al. Preoperative assessment of malignant potential of gastrointestinal stromal tumor by dual-time-point ¹⁸F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography imaging; usefulness of standardized uptake value and retention index[J]. *J Cancer Res Ther*, 2019, 15(1): 142-147.
 - [14] Xu F, Ma X, Wang Y, et al. CT texture analysis can be a potential tool to differentiate gastrointestinal stromal tumors without KIT exon 11 mutation[J]. *Eur J Radiol*, 2018, 107(10): 90-97.
 - [15] Liu X, Yin Y, Wang X, et al. Gastrointestinal stromal tumors; associations between contrast-enhanced CT images and KIT exon 11 gene mutation[J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(19): 1496.
 - [16] Wei SC, Xu L, Li WH, et al. Risk stratification in GIST; shape quantification with CT is a predictive factor[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(4): 1856-1865.
 - [17] Su Q, Wang Q, Zhang H, et al. Computed tomography findings of small bowel gastrointestinal stromal tumors with different histologic risks of progression[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2018, 43(10): 2651-2658.
 - [18] Xue A, Yuan W, Gao X, et al. Gastrointestinal stromal tumors (GISTs) with remarkable cystic change; a specific subtype of GISTs with relatively indolent behaviors and favorable prognoses[J]. *J Cancer Res Clin Oncol*, 2019, 145(6): 1559-1568.
 - [19] 黄丹萍, 蔺红梅, 杨蕊梦, 等. 胃肠道间质瘤临床、MSCT 特征与病理危险度分级的相关性分析[J]. *临床放射学杂志*, 2021, 40(5): 935-940.
 - [20] Zhou Z, Lu J, Morelli JN, et al. Utility of noncontrast MRI in the detection and risk grading of gastrointestinal stromal tumor; a comparison with contrast-enhanced CT[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(6): 2453-2464.
 - [21] Zheng T, Du J, Yang L, et al. Evaluation of risk classifications for gastrointestinal stromal tumor using multi-parameter magnetic resonance analysis[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2020, 46(4): 1506-1518.
 - [22] Hwang SH, Jung M, Jeong YH, et al. Prognostic value of metabolic tumor volume and total lesion glycolysis on preoperative ¹⁸F-FDG PET/CT in patients with localized primary gastrointestinal stromal tumors[J]. *Cancer Metab*, 2021, 9(1): 8.
 - [23] Zhang X, Bai L, Wang D, et al. Gastrointestinal stromal tumor risk classification; spectral CT quantitative parameters[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(7): 2329-2336.
 - [24] 唐波, 冯秋霞, 李琼, 等. 双能 CT 在胃肠道间质瘤危险度评估中的应用价值[J]. *影像诊断与介入放射学*, 2021, 30(5): 342-346.
 - [25] 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.
 - [26] Choi IY, Yeom SK, Cha J, et al. Feasibility of using computed tomography texture analysis parameters as imaging biomarkers for predicting risk grade of gastrointestinal stromal tumors; comparison with visual inspection[J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2019, 44(7): 2346-2356.
 - [27] Yang L, Zheng T, Dong Y, et al. MRI texture-based models for predicting mitotic index and risk classification of gastrointestinal stromal tumors[J]. *J Magn Reson Imaging*, 2021, 53(4): 1054-1065.
 - [28] Song Y, Li J, Wang H, et al. Radiomics nomogram based on contrast-enhanced CT to predict the malignant potential of gastrointestinal stromal tumor; a two-center study[J]. *Acad Radiol*, 2022, 29(6): 806-816.
 - [29] Zhang QW, Zhou XX, Zhang RY, et al. Comparison of malignancy-prediction efficiency between contrast and non-contrast CT-based radiomics features in gastrointestinal stromal tumors; a multicenter study[J]. *Clin Transl Med*, 2020, 10(3): e291.
 - [30] Chen T, Ning Z, Xu L, et al. Radiomics nomogram for predicting the malignant potential of gastrointestinal stromal tumours pre-operatively[J]. *Eur Radiol*, 2019, 29(3): 1074-1082.
 - [31] Chen T, Liu S, Li Y, et al. Developed and validated a prognostic nomogram for recurrence-free survival after complete surgical resection of local primary gastrointestinal stromal tumors based on deep learning[J]. *EBio Medicine*, 2019, 39(1): 272-279.
 - [32] Fu J, Fang MJ, Dong D, et al. Heterogeneity of metastatic gastrointestinal stromal tumor on texture analysis; DWI texture as potential biomarker of overall survival[J]. *Eur J Radiol*, 2020, 125(4): 108825.
 - [33] 杨采薇, 刘曦娇, 魏毅, 等. CT 影像组学联合传统影像特征对胃肠道间质瘤 Ki-67 指数表达的预测价值[J]. *放射学实践*, 2022, 37(9): 1068-1073.
 - [34] 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(9): 750875.
 - [35] Guidelines Working Committee of Chinese Society of Clinical Oncology. Guidelines of Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO) for the diagnosis and treatment of Gastrointestinal Stromal Tumors 2021[M]. Beijing: People's Health Press, 2021.
 - [36] Consolino L, Longo DL, Sciortino M, et al. Assessing tumor vascularization as a potential biomarker of imatinib resistance in gastrointestinal stromal tumors by dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging[J]. *Gastric Cancer*, 2017, 20(4): 629-639.
 - [37] 郝英杰, 郑涛, 刘洋, 等. 多层螺旋 CT 对局部进展期胃间质瘤患者术前治疗疗效及预后的评估价值[J]. *中华普通外科杂志*, 2020, 35(10): 773-777.
 - [38] Meyer M, Hohenberger P, Overhoff D, et al. Dual-energy CT vital iodine tumor burden for response assessment in patients with metastatic GIST undergoing TKI therapy; comparison with standard CT and FDG PET/CT criteria[J]. *AJR Am J Roentgenol*, 2022, 218(4): 659-669.

[39] Wu C,Zhang X,Zeng Y,et al.¹⁸F FAPI-42 PET/CT versus ¹⁸F FDG PET/CT for imaging of recurrent or metastatic gastrointestinal stromal tumors[J].Eur J Nucl Med Mol Imaging,2022,50(1):194-204.

[40] Tang L,Li J,Li ZY,et al.MRI in predicting the response of gastrointestinal stromal tumor to targeted therapy:a patient-based multi-parameter study[J].BMC Cancer,2018,18(1):811.

[41] Tang L,Sui Y,Zhong Z,et al.Non-gaussian diffusion imaging with a fractional order calculus model to predict response of gastrointestinal stromal tumor to second-line sunitinib therapy[J].Magn Reson Med,2018,79(3):1399-1406.

(收稿日期:2022-10-13 修回日期:2023-01-03)

本刊可直接使用的医学缩略语

医学论文中正确、合理使用专业名词可以精简文字,节省篇幅,使文章精炼易懂。现将放射学专业领域为大家所熟知的专业名词缩略语公布如下(按照英文首字母顺序排列),以后本刊在论文中将对这一类缩略语不再注释其英文全称和中文。

- ADC (apparent diffusion coefficient):表观扩散系数
- ALT:丙氨酸转氨酶;AST:天冬氨酸转氨酶
- BF (blood flow):血流量
- BOLD (blood oxygenation level dependent):血氧水平依赖
- BV (blood volume):血容量
- b:扩散梯度因子
- CAG (coronary angiography):冠状动脉造影
- CPR (curve planar reformation):曲面重组
- CR(computed radiography):计算机 X 线摄影术
- CT (computed tomography):计算机体层成像
- CTA (computed tomography angiography):CT 血管成像
- CTPI(CT perfusion imaging):CT 灌注成像
- DICOM (digital imaging and communication in medicine):医学数字成像和传输
- DR(digital radiography):数字化 X 线摄影术
- DSA (digital subtraction angiography):数字减影血管造影
- DWI (diffusion weighted imaging):扩散加权成像
- DTI (diffusion tensor imaging):扩散张量成像
- ECG (electrocardiography):心电图
- EPI (echo planar imaging):回波平面成像
- ERCP(endoscopic retrograde cholangiopancreatography):内镜逆行胰胆管造影术
- ETL (echo train length):回波链长度
- FLAIR (fluid attenuation inversion recovery):液体衰减反转恢复
- FLASH (fast low angel shot):快速小角度激发
- FOV (field of view):视野
- FSE (fast spin echo):快速自旋回波
- fMRI (functional magnetic resonance imaging):功能磁共振成像
- IR (inversion recovery):反转恢复
- Gd-DTPA:钆喷替酸葡甲胺

- GRE (gradient echo):梯度回波
- HE 染色:苏木素-伊红染色
- HRCT(high resolution CT):高分辨率 CT
- MPR (multi-planar reformation):多平面重组
- MIP (maximum intensity projection):最大密(强)度投影
- MinIP (minimum intensity projection):最小密(强)度投影
- MRA (magnetic resonance angiography):磁共振血管成像
- MRI (magnetic resonance imaging):磁共振成像
- MRS (magnetic resonance spectroscopy):磁共振波谱学
- MRCP(magnetic resonance cholangiopancreatography):磁共振胰胆管成像
- MSCT (multi-slice spiral CT):多层螺旋 CT
- MTT (mean transit time):平均通过时间
- NEX (number of excitation):激励次数
- PACS (picture archiving and communication system):图像存储与传输系统
- PC (phase contrast):相位对比法
- PET (positron emission tomography):正电子发射计算机体层成像
- PS (surface permeability):表面通透性
- ROC 曲线(receiver operating characteristic curve):受试者操作特征曲线
- SPECT (single photon emission computed tomography):单光子发射计算机体层摄影术
- PWI (perfusion weighted imaging):灌注加权成像
- ROI (region of interest):兴趣区
- SE (spin echo):自旋回波
- STIR(short time inversion recovery):短时反转恢复
- TACE(transcatheter arterial chemoembolization):经导管动脉化疗栓塞术
- T₁ WI (T₁ weighted image):T₁ 加权像
- T₂ WI (T₂ weighted image):T₂ 加权像
- TE (time of echo):回波时间
- TI (time of inversion):反转时间
- TR (time of repetition):重复时间
- TOF (time of flight):时间飞跃法
- TSE (turbo spin echo):快速自旋回波
- VR (volume rendering):容积再现
- WHO (World Health Organization):世界卫生组织
- NAA(N-acetylaspartate):N-乙酰天门冬氨酸
- Cho(choline):胆碱
- Cr(creatine):肌酸