

## CT功能成像在胃癌治疗前评估中的研究进展

任铁柱<sup>1</sup>, 陈倩倩<sup>1</sup>, 张文娟<sup>1</sup>, 邓娟<sup>1</sup>, 苏鑫安<sup>2</sup>, 徐敏<sup>1</sup>, 徐媛<sup>1</sup>, 孙嘉晨<sup>1</sup>, 李玉凤<sup>1</sup>, 周俊林<sup>1</sup>

1. 兰州大学第二医院放射科/兰州大学第二临床医学院/甘肃省医学影像重点实验室/医学影像人工智能甘肃省国际科技合作基地, 甘肃 兰州 730030; 2. 兰州大学第一医院风湿病科, 甘肃 兰州 730030

**【摘要】**胃癌的发病率和死亡率均居世界恶性肿瘤前列, 目前增强CT是胃癌术前诊断与评估的主要手段, 但其多基于形态学评估, 无法进行定量分析。以能谱CT及CT灌注成像为代表的功能成像技术发展迅速, 其具有多种精准定量参数, 有望弥补常规CT的缺陷。本文对能谱CT及CT灌注成像的基础原理、其在胃癌诊断、病理分型、分级、分期的评估以及疗效预测等方面的研究展开综述, 旨在提高CT功能成像在胃癌治疗前评估中的认识。

**【关键词】**胃癌; 能谱CT; CT灌注; 治疗前评估; 综述

**【中图分类号】**R318; R816.4

**【文献标志码】**A

**【文章编号】**1005-202X(2024)07-0836-06

### Review on functional CT imaging for pretreatment assessment in gastric cancer

REN Tiezhu<sup>1</sup>, CHEN Qianqian<sup>1</sup>, ZHANG Wenjuan<sup>1</sup>, DENG Juan<sup>1</sup>, SU Xin'an<sup>2</sup>, XU Min<sup>1</sup>, XU Yuan<sup>1</sup>, SUN Jiachen<sup>1</sup>, LI Yufeng<sup>1</sup>, ZHOU Junlin<sup>1</sup>

1. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital/the Second Clinical Medical School, Lanzhou University/Key Laboratory of Medical Imaging of Gansu Province/Gansu International Scientific and Technological Cooperation Base of Medical Imaging Artificial Intelligence, Lanzhou 730030, China; 2. Department of Rheumatology, the First Hospital of Lanzhou University, Lanzhou 730030, China

**Abstract:** Both morbidity and mortality of gastric cancer are in the front rank among malignant tumors. At present, enhanced CT is served as an important imaging method for preoperative diagnosis and assessment of gastric cancer, but it is mostly based on morphological evaluation and unable to perform quantitative analysis. The functional imaging technology represented by energy spectral CT and CT perfusion imaging has a variety of quantitative parameters, which is expected to make up for the shortcomings of conventional CT. The review introduces the basic principles of energy spectral CT and CT perfusion imaging, and summarizes their applications in the diagnosis, pathological classification, grading, staging and efficacy prediction of gastric cancer, aiming to improve the understanding of functional CT imaging for the pretreatment assessment in gastric cancer.

**Keywords:** gastric cancer; energy spectral CT; CT perfusion; pretreatment assessment; review

### 前言

胃癌(Gastric Cancer, GC)是常见的消化道恶性肿瘤, 位居世界癌症发病率的第5位和相关死亡率的第4位。根据2020年世界卫生组织的统计, 全球GC新发病例108.9万人, 死亡病例76.9万人, 其中我国新发及

死亡病例约占全世界的44%和49%<sup>[1-2]</sup>。由于我国未建立成熟的早期GC筛查体系, 因此多数患者来院就医时已经进展到中晚期, 5年相对生存率约为35.1%, 而日本、韩国则高达80.1%和75.4%<sup>[3]</sup>。精准医学概念的提出促使GC的诊断标准和治疗策略发生变化, 传统的手术治疗仍然是主要手段, 但新辅助放化疗、免疫治疗、靶向治疗等综合治疗方案在临床的应用越来越多, 因此, 治疗前多学科讨论要求影像科对分期、预后因子及疗效作出更准确的判断<sup>[4]</sup>。正确的诊断及分期、准确的分型分级是GC患者选择最佳治疗方法的基础, 及时的疗效评估是治疗方案调整的重要参考<sup>[5]</sup>。因此, 在个性化诊疗和多学科协作的时代, 影像学评估在GC诊疗中的价值越来越受到重视。

**【收稿日期】**2024-03-09

**【基金项目】**国家自然科学基金(82071872, 82102151); 甘肃省省级人才项目(青年个人项目)(甘组通字[2024]4号)

**【作者简介】**任铁柱, 博士研究生, 研究方向: 腹部影像学, E-mail: 1442001890@qq.com

**【通信作者】**周俊林, 博士, 教授, 主任医师, 研究方向: 神经影像, E-mail: lzujl601@163.com

当前影像设备的发展也愈发多样、成熟,包括计算机断层扫描(CT)、内镜超声(EUS)、磁共振成像(MRI)、正电子发射断层扫描(PET/CT)等,这些检查让GC评估的准确性得到显著提高。EUS图像在早癌诊断中具有价值,但其对胃周淋巴结及远处转移显示较差,同时EUS具有侵入性和高度依赖操作者经验的现实问题<sup>[6]</sup>。PET/CT和MRI技术在GC诊断中展示出良好潜力,但因其价格昂贵、成像参数不稳定等因素,无法广泛使用<sup>[7]</sup>。增强CT是第8版美国癌症分期手册建议使用的GC分期手段<sup>[8]</sup>,也是中国临床肿瘤学会(CSCO)胃癌诊疗指南I级推荐使用的治疗前分期、疗效评估方式<sup>[9]</sup>。然而,Seeveratnam等<sup>[10]</sup>统计显示CT增强图像在T分期中的准确率约为70%,N分期约为66%,M分期约为80%。因此,临床迫切需要准确率更高的CT分期手段来满足精准治疗需求,功能CT技术的出现和成熟应用,让影像医师有了新的选择。能谱CT及CT灌注成像等功能成像技术不仅能提供形态学信息,还能提供多参数的功能学信息。本文就CT功能成像在GC中的研究进展予以综述。

## 1 CT功能成像概述

CT功能成像包括能谱CT及CT灌注成像。能谱CT以高低两种能量瞬时切换扫描,在40~140 keV能量范围产生101个单能量图像,得到相应能谱曲线、有效原子序数,还可进行物质分离和定量分析,得到碘浓度(Iodine Concentration, IC)、水浓度<sup>[11]</sup>。在后处理时可利用最佳对比噪声比、直方图、散点图等工具分析图像。此外,能谱CT成像扫描设备装载有自适应统计迭代重建技术,在降低图像噪声、减少辐射剂量方面效果显著。因此,能谱CT参数对于疾病诊断和评估的准确性和可靠性较传统CT优势明显。

CT灌注成像的工作原理是在外周静脉团注对比剂之后,选定人体组织器官某一区域,在同层多次、反复扫描,便可以获得强化的不同时间点的密度值,之后采用灌注分析软件产生动脉、组织脏器的时间-密度曲线,最后选定数字模型绘制函数图、计算灌注参数<sup>[12]</sup>,进而得到血容量(Blood Volume, BV)、血流量(Blood Flow, BF)、平均通过时间(Mean Transit Time, MTT)、表面通透性(Permeability Surface, PS)等参数。CT灌注成像揭示器官组织、局部病灶的血流情况,从细胞、微循环的微观层面展示组织的血供和病理生理状态。

## 2 CT功能成像在GC诊断及分期中的研究

### 2.1 CT功能成像在GC诊断中的研究

早期准确诊断是GC诊疗的基础,通过内镜活检

诊断的GC准确率已经很高,但其存在有创伤及取材局限的问题,故影像学的无创诊断仍然十分重要。GC与高度侵袭危险性胃间质瘤、早期胃原发性淋巴瘤在影像表现上有较多重叠,常规增强CT不好区分。王夏婉等<sup>[13]</sup>研究表明,GC相较于胃间质瘤,其能谱CT静脉期IC、能谱曲线斜率都是偏高的,可对两者进行鉴别。唐琪等<sup>[14]</sup>发现胃淋巴瘤的静脉期70 keV单能量图像的斜率低于GC,敏感度和特异度分别为62.5%和100.0%。早期GC仅需要进行胃镜下黏膜剥脱术,但是由于诊断水平和筛查机制的不同,我国早期GC检出率仅占全部GC的10%,而日本达到50%~70%,因此提高早期GC检出率至关重要<sup>[3]</sup>。国内一项研究<sup>[15]</sup>表明能谱参数标准化IC值和能谱曲线的斜率在早期GC定性诊断及定量评估中均有一定价值。李攀等<sup>[16]</sup>研究显示GC和恶性胃间质瘤的灌注参数BF、MTT、PS之间具有统计学差异,GC的灌注参数值较间质瘤更高,有助于对两者进行鉴别。以上研究证明能谱CT及CT灌注成像不仅可以提供形态学信息,还可以提供多定量参数,在GC诊断及鉴别诊断中具有应用价值,但以上均为小样本研究,尚需大样本多中心研究验证。

### 2.2 CT功能成像在GC分期中的研究

目前GC的TNM分期体系是进行诊疗决策和预后评估的重要方法,美国癌症联合委员会第8版癌症分期系统新增了基于影像手段的临床TNM(cTNM)分期,更加彰显了影像学在术前评估的重要性<sup>[8]</sup>。GC的浸润深度和淋巴结、远处转移状态对于患者生存影响较大,TNM分期越晚患者往往预后越差、生存率越低。临床对于不同分期的患者,采用的治疗方案是有差别的,分期不同与手术范围、是否新辅助化疗、术后化疗方案的选择紧密相关。早期GC(黏膜内癌)行微创手术即可,而进展期GC需结合新辅助治疗来提高手术R0切除率<sup>[17]</sup>。能谱CT最佳单能量图像可以利用参数设置,对癌组织侵犯的胃壁分层结构、壁外脂肪等更清楚显示,有利于更准确的分期。Pan等<sup>[18]</sup>研究表明,利用双能CT单能量图像对GC的T、N、M的分期准确率分别达到81.2%、80.0%、98.9%,高于混合能量图像。临床实践中T<sub>2</sub>与T<sub>3</sub>期分辨难度较大,GC的固有肌层和黏膜下层解剖上是密切贴合的,CT图像上难以具体识别分层。国外统计表明,在N分期相同的情况下,T<sub>3</sub>和T<sub>4a</sub>分期的GC之间的5年生存率具有差异,相差达到10%~30%<sup>[19]</sup>。对于T<sub>4a</sub>期GC,临床多推介新辅助化疗对肿瘤降期后进行手术治疗,但是胃壁浆膜层较薄,癌细胞侵袭或者炎性浸润均可以导致浆膜层密度增高及临近脂肪组织浑浊,因此常规CT图像难以



准确鉴别。严映等<sup>[20]</sup>将浆膜高强度征作为诊断T<sub>4a</sub>期的标准,研究能谱CT静脉期碘图的诊断效能,发现其对T<sub>4a</sub>期GC检出率达到81.81%。邢静静等<sup>[21]</sup>研究指出,T<sub>4a</sub>期较T<sub>3</sub>期癌灶外围的脂肪间隙中的碘浓度会更高,当能谱CT静脉期标准化碘浓度截断值为-0.039,其诊断的受试者工作特征曲线下面积(Area Under Curve, AUC)为0.905。常宝等<sup>[22]</sup>研究发现GC的T分期越低,其灌注CT参数BF、BV、MTT越小。GC根治性手术需要对转移淋巴结清扫,若对转移淋巴结清扫不彻底,术后出现复发及转移的概率极大;若对正常淋巴结过度清扫,则会破坏免疫屏障,增加术后并发症及病死率。目前临床以淋巴结大小作为转移的诊断标准,但是炎性浸润也可导致淋巴结增大,因此特异性并不高。有研究纳入86例GC患者,在对其能谱参数测量分析之后发现,淋巴结的动脉期IC值联合短长径比能明显提高对淋巴结转移诊断的灵敏度(95.2%)<sup>[23]</sup>。而另一研究显示,肿瘤的静脉期IC值也是淋巴结发生转移的一个独立预测因子<sup>[24]</sup>。Sun等<sup>[25]</sup>利用灌注CT预测GC淋巴结转移的研究表明,转移淋巴结较炎性淋巴结BF值更高,当取截断值为80.76 mL/100 mg·min<sup>-1</sup>时,其AUC值为0.816,是可靠的诊断标志物。王莉莉等<sup>[26]</sup>利用CT灌注参数对GC进行术前评估的研究表明,BV、BF在不同TNM分组间具有统计学差异,可以为GC术前评估提供参考。以上研究从多种角度对胃功能CT在GC分期中的应用进行探索,功能参数让GC分期突破了肉眼观察的局限,提高分期准确性,具有进一步研究及应用的价值,但在数据量扩充、参数采集标准化等方面需要进一步的细致工作。

以上研究说明功能CT在GC诊断及分期中效能优于传统CT,可以为临床提供更客观的诊断信息,但其临床应用尚需要大样本、多中心及标准化的研究进一步验证。

### 3 CT功能成像在GC病理特征评估中的研究

#### 3.1 CT功能成像在GC分型分化评估中的研究

GC的病理类型、组织学分型及分化是影响其生存的重要生物学指标,Lauren分型的原则是根据癌组织结构、生物学行为进而判断,可以在一定程度上体现肿瘤的流行特点和发生发展机理,因此Lauren分型诊断对于治疗的选择和对疗效的判断有一定参考价值<sup>[27]</sup>。这些病理信息只有通过外科手术大体标本、胃镜穿刺标本染色或者免疫组化分析得到,若术前可以通过影像学方法判断这些信息,可以为患者治疗决策及预后评估提供重要参考。Li等<sup>[28]</sup>研究认为低分化GC组的IC值及标准化IC值均高于分化良

好组。国内研究证实,对纳入肠型、混合型、弥漫型3个类型GC患者的数据分析之后,发现动脉期的能谱曲线斜率、IC、标准化IC比值在3组中有统计学差异,对评估GC的Lauren分型有意义<sup>[29]</sup>。陈丽红等<sup>[30]</sup>研究表明,非粘液腺癌和印戒细胞癌的能谱CT静脉期IC高于粘液腺癌。李佳音等<sup>[31]</sup>利用灌注CT鉴别GC Borrmann II型和III型的研究发现,III型GC的清除率明显高于II型,对诊断Borrmann分型具有价值。国内利用灌注CT鉴别GC分化程度的研究发现BV、达峰时间、PS在高低分化两组中具有统计学差异<sup>[32]</sup>。目前这些信息仅能通过术后病理得到,能谱CT及CT灌注在术前评估病理分型及分化程度方面有较好前景。以上研究说明功能CT参数可以一定程度实现无创评估GC分化分型,是GC术前有效的无创评估手段,但其目前仅为初步探索,尚需要进一步细化研究。

#### 3.2 CT功能成像在GC人表皮生长因子受体-2表达(HER-2)、增殖标志物Ki-67水平、脉管侵犯评估中的研究

随着生物医学的发展,免疫组织化学、原位杂交和基因测序等技术愈发成熟,为GC检测提供更多精准的生物标志物。肿瘤之间或者肿瘤内部不同区域的异质性决定不同患者在面对同一治疗时产生截然不同的效果。HER-2是血管内皮生成因子,在诱导血管的生成中作用显著,能促进新生血管的发生和成熟。对于无法手术切除的进展期GC患者,姑息治疗是其主要治疗手段,临床中HER-2阳性的GC患者,目前多推荐其使用含曲妥珠单抗疗法,临床试验显示其可以明显延长生存期<sup>[33]</sup>。郭丹丹等<sup>[34]</sup>研究表明,GC的HER-2阳性组相对于阴性组,其能谱CT动、静脉期的标准化IC值偏高,与HER-2阳性相关系数分别为0.772、0.788。国内一项研究利用CT灌注成像评估GC患者HER-2状态,其结果显示BV及达峰时间是HER-2阳性的独立预测因子,评估模型的AUC值为0.880<sup>[35]</sup>。增殖标志物Ki-67可以反应癌细胞的增殖状态,因此有学者探究双能CT能谱参数预测GC的Ki-67表达水平,结果表明增强CT三期的参数与Ki-67状态呈现出负相关,所以能谱参数能够提示GC的细胞增殖程度,作者进一步探究了联合参数的诊断效能,发现联合参数相较于部分单一参数的诊断是有优势的<sup>[36]</sup>。脉管侵犯能体现肿瘤的侵袭性,刘玉良等<sup>[37]</sup>对40例进展期GC进行研究,其研究详细纳入了黏膜侧高强度区及整体癌灶的IC值,结果表明能谱CT的动脉期IC在脉管癌栓阳性患者中是大于阴性患者的。以上研究说明能谱CT及CT灌注成像对GC分子标志物及恶性程度的预测具有价

值,但其多局限于小样本、单中心研究,尚需要外部队列验证稳定性。

以上研究证明了功能CT作为无创技术在GC病理特征的评估中具有重要潜力,其对于微观及分子层面信息的评估有意义,未来需要纳入多中心数据及外部验证队列检验其价值。

#### 4 CT功能成像在GC疗效评估中的研究

手术治疗依然是GC患者的基本治疗选择,随着治疗理念的改进,围手术期综合治疗得到越来越多的使用,包括新辅助放化疗、靶向治疗、免疫治疗等多种手段。但是,即使是相同分期的患者使用同一方案,临床实践中却表现出不同的疗效,因此早期识别个体患者对于某一化疗药、靶向药、免疫抑制药物有效与否,对于及时调整修改治疗计划很关键<sup>[38]</sup>。孟德杰等<sup>[39]</sup>研究GC新辅助治疗前后静脉期碘浓度增长率,结果显示其在治疗有效组和肿瘤进展组之间具有统计学差异,诊断效能AUC值为0.806。Gao等<sup>[40]</sup>对44例能谱CT图像分析,发现治疗后静脉期碘摄取变化有助于预测GC新辅助化疗病理反应,同时也是无进展生存期的有价值预测参数。国内学者利用低剂量CT灌注成像预测GC新辅助化疗后疗效进行研究<sup>[41]</sup>,结果表明BV、BF减少率与疗效分级具有相关性,减少率更大的病灶代表着化疗更有效。Kruk-Bachonko等<sup>[42]</sup>利用CT灌注成像参数评估新辅助化疗疗效的研究表明,高BF、PS值的GC对于新辅助化疗效果更好。

以上研究均说明能谱CT参数及CT灌注参数可以一定程度评估GC疗效,RECIST标准是新辅助疗效评价的主要方法,但其是基于治疗后形态学指标的变化判断,若能够在早期对肿瘤疗效评价,那么临床治疗决定和治疗方案的调整就更有针对性。因此,功能CT评估GC治疗疗效的研究具有极佳的应用前景。

#### 5 基于功能CT的影像组学在GC中的研究

人工智能在医学的应用研究进步迅速,影像组学、深度学习等技术不断挖掘图像中蕴含的微观信息、分子特征,弥补常规CT的不足。目前,影像组学通过逻辑回归、随机森林等算法筛选和整合有意义的特征,在GC分期及疗效评估等方面取得显著成效,基于能谱CT图像特征的组学研究也显现出优越的诊断效能。王小雷等<sup>[43]</sup>基于能谱CT纹理分析提取的特征,在GC淋巴结转移的预测效能0.79。Li等<sup>[44]</sup>纳入210例患者,将肿瘤厚度、Borrmann分型及静脉期IC值一起纳入分析建立诺模图,在预测淋巴

结转移中诊断准确率达到0.757。而在另一项研究中,Li等<sup>[45]</sup>利用深度学习方法提取特征并组建模型,对GC淋巴结转移的预测效能AUC值达到0.84。Wang等<sup>[46]</sup>研究表明基于碘图和120 keV混合能量图提取的特征,两者联合构建的影像组学模型在诊断GC浆膜浸润中的敏感度为85.2%,特异度为83.3%。Liu等<sup>[47]</sup>利用双能CT放射组学联合临床指标构建的模型,在晚期GC疗效评估中展现出良好的预测效能,AUC值为0.934。Chen等<sup>[48]</sup>纳入156例双能CT图像的研究,在碘图及混合能量图像上提取组学特征,其中 $\delta$ 组学特征构建的模型可以很好地预测GC新辅助化疗疗效及预后。在Wang等<sup>[46]</sup>和Chen等<sup>[48]</sup>研究中都比较了碘图和传统混合能量图像提取组学的效能,发现基于碘图的组学特征有着更大的诊断价值。

以上研究说明能谱图像蕴含着更多的微观信息,其与影像组学的结合在GC的研究中有着更加重要的价值,但其存在着图像采集未标准化及特征提取不统一等问题,尚需要进一步前瞻性、多中心研究。

#### 6 小结与展望

能谱CT及CT灌注成像在GC诊断、侵袭性评估及预后预测中有价值,其克服传统CT仅基于形态学评估的缺陷,通过多参数信息,提高GC诊断及评估的准确率,并为GC疗效评估及预后监测提供新思路。但其目前多为单中心研究,研究结果存在差异,距离临床应用还有相当差距。目前对于影像组学的研究正如火如荼开展着,而部分学者基于能谱图像的影像组学研究已取得良好的效果,未来可进一步探索能谱及灌注图像的多方面研究潜力。另外,关于一站式CT能谱联合灌注扫描成像在GC中的研究价值也需要进一步探索。CT功能成像将在GC诊疗中发挥更大的价值,提供更具潜力的影像标志物。

#### 【参考文献】

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.
- [2] Chen WQ, Zheng RS, Baade PD, et al. Cancer statistics in China, 2015[J]. CA Cancer J Clin, 2016, 66(2): 115-132.
- [3] 国家消化系统疾病临床医学研究中心,中华医学会消化内镜学分会,中华医学会健康管理学分会,等.中国早期胃癌筛查流程专家共识意见(草案2017年,上海)[J].中华消化内镜杂志,2018,35(2): 77-83. National Clinical Medical Research Center for Digestive Diseases, Chinese Medical Association Digestive Endoscopy Branch, Health Management Branch of the Chinese Medical Association, et al. Expert consensus on early gastric cancer screening process in China (Draft, 2017, Shanghai)[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2018, 35(2): 77-83.
- [4] 唐磊.进展期胃癌的影像学评估:从图像到大数据影像组学[J].中



- 华胃肠外科杂志, 2018, 21(10): 1106-1112.
- Tang L. Radiological evaluation of advanced gastric cancer: from image to big data radiomics[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2018, 21(10): 1106-1112.
- [5] 唐磊. 胃癌影像学分期与疗效--多学科诊疗的需求与对策[J]. 中华胃肠外科杂志, 2015(3): 208-212.
- Tang L. Staging and response evaluation of gastric cancer: requirements and resolutions by multidisciplinary treatment[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2015(3): 208-212.
- [6] 胡薇潇, 龙顺华, 王强, 等. 内镜超声检查在早期胃癌分期中的应用价值及影响因素分析[J]. 中华消化内镜杂志, 2017, 34(9): 662-666.
- Hu WX, Long SH, Wang Q, et al. Diagnostic value of endoscopic ultrasonography for staging of early gastric cancer[J]. Chinese Journal of Digestive Endoscopy, 2017, 34(9): 662-666.
- [7] 杨玲. 胃癌影像学检查的研究现状及进展[J]. 实用放射学杂志, 2018, 34(7): 1127-1129.
- Yang L. The current status and progress of imaging in gastric cancer[J]. Journal of Practical Radiology, 2018, 34(7): 1127-1129.
- [8] Amin MB, Greene FL, Edge SB, et al. The eighth edition AJCC cancer staging manual: continuing to build a bridge from a population-based to a more "personalized" approach to cancer staging[J]. CA Cancer J Clin, 2017, 67(2): 93-99.
- [9] Wang FH, Zhang XT, Tang L, et al. The Chinese Society of Clinical Oncology (CSCO): clinical guidelines for the diagnosis and treatment of gastric cancer, 2023[J]. Cancer Commun (Lond), 2024, 4(1): 127-172.
- [10] Seevaratnam R, Cardoso R, McGregor C, et al. How useful is preoperative imaging for tumor, node, metastasis (TNM) staging of gastric cancer? A meta-analysis[J]. Gastric Cancer, 2012, 15(Suppl 1): S3-S18.
- [11] So A, Nicolaou S. Spectral computed tomography: fundamental principles and recent developments[J]. Korean J Radiol, 2021, 22(1): 86-96.
- [12] 钟星, 张俊祥, 陈自谦, 等. 胃癌多层螺旋CT灌注成像研究现状及进展[J]. 中国医疗设备, 2013, 28(1): 20-23.
- Zhong X, Zhang JX, Chen ZQ, et al. Study and development of multi-slice spiral CT perfusion of gastric carcinoma[J]. China Medical Devices, 2013, 28(1): 20-23.
- [13] 王夏婉, 高剑波, 柴亚如, 等. CT能谱成像在胃癌与高度侵袭危险性胃间质瘤鉴别诊断中的应用[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(6): 834-837.
- Wang XW, Gao JB, Chai YR, et al. Application of spectral CT in differential diagnosis of the gastric cancer and the high-risk gastric stromal tumors[J]. Journal of Clinical Radiology, 2017, 36(6): 834-837.
- [14] 唐琪, 谢东, 苏丹柯, 等. 能谱CT定量参数鉴别诊断原发性胃淋巴瘤和胃癌[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(2): 221-226.
- Tang Q, Xie D, Su DK, et al. Dual-energy spectral CT quantitative parameters in differential diagnosis of primary gastric lymphoma and gastric carcinoma[J]. Chinese Journal of Medical Imaging Technology, 2017, 33(2): 221-226.
- [15] 王芳, 高剑波, 梁盼. CT能谱曲线及碘含量测定在早期胃癌诊断中的应用价值[J]. 中华胃肠外科杂志, 2015, 18(3): 243-247.
- Wang F, Gao JB, Liang P. Application value of CT spectrum curve and iodine measurement in the early diagnosis of gastric cancer[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2015, 18(3): 243-247.
- [16] 李攀, 高剑波, 岳松伟, 等. 胃肿瘤64层螺旋CT灌注成像的初步研究[J]. 实用放射学杂志, 2011, 27(4): 552-555.
- Li P, Gao JB, Yue SW, et al. Preliminary evaluation of 64-slice spiral CT perfusion imaging in stomach neoplasm[J]. Journal of Practical Radiology, 2011, 27(4): 552-555.
- [17] 国家卫生健康委员会. 胃癌诊疗规范(2018年版)[J]. 中华消化病与影像杂志(电子版), 2019, 9(3): 118-144.
- National Health Commission of the People's Republic of China. Gastric cancer diagnosis and treatment specification (2018 edition)[J]. Chinese Journal of Digestion and Medical Imageology (Electronic Edition), 2019, 9(3): 118-144.
- [18] Pan ZL, Pang LF, Ding B, et al. Gastric cancer staging with dual energy spectral CT imaging[J]. PLoS One, 2013, 8(2): e53651.
- [19] Zeraati H, Amiri Z. Estimating postoperative survival of gastric cancer patients and factors affecting it in Iran: based on a TNM-7 staging system[J]. Acta Med Iran, 2016, 54(2): 114-118.
- [20] 严映, 张梦梅, 吕艳娥, 等. 双能CT静脉期碘图及融合图像浆膜强化征鉴别T3期与T4a期胃癌[J]. 放射学实践, 2021, 36(7): 894-898.
- Yan Y, Zhang MM, Lv YE, et al. Serous hyperenhancement sign of iodine map and fusion image in dual-energy CT venous phase to distinguish T3 and T4a stage gastric cancer[J]. Radiologic Practice, 2021, 36(7): 894-898.
- [21] 邢静静, 柴亚如, 高剑波, 等. 能谱CT在鉴别T<sub>3</sub>及T<sub>4a</sub>期胃癌中的应用价值[J]. 中华胃肠外科杂志, 2016, 19(5): 580-584.
- Xing JJ, Chai YR, Gao JB, et al. Application of spectral CT in the differentiation of stage T<sub>3</sub> and T<sub>4a</sub> gastric carcinoma[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2016, 19(5): 580-584.
- [22] 常宝, 马发鹏, 任伟. 基于多层螺旋CT灌注成像评估胃癌患者血流动力学改变及其与临床病理参数的关系[J]. 中国CT和MRI杂志, 2021, 19(9): 119-121.
- Chang B, Ma FP, Ren W. Evaluation on hemodynamic changes in gastric cancer patients by perfusion imaging based on multi-slice spiral CT and their relationship with clinicopathological parameters[J]. Chinese Journal of CT and MRI, 2021, 19(9): 119-121.
- [23] 柴亚如, 高剑波, 邢静静, 等. 能谱CT定量参数对胃癌淋巴结的定性评估价值[J]. 中华胃肠外科杂志, 2017, 20(3): 309-314.
- Chai YR, Gao JB, Xing JJ, et al. Preoperative assessment value of spectral CT quantitative parameters in lymph node metastasis of gastric cancer[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2017, 20(3): 309-314.
- [24] 柴亚如, 高剑波, 岳松伟, 等. 能谱CT多参数成像预测胃癌淋巴结转移的应用价值[J]. 中华消化外科杂志, 2021, 20(2): 240-245.
- Chai YR, Gao JB, Yue SW, et al. Application value of spectral CT multi-parameter imaging in predicting gastric cancer lymph node metastasis[J]. Chinese Journal of Digestive Surgery, 2021, 20(2): 240-245.
- [25] Sun ZQ, Li J, Wang T, et al. Predicting perigastric lymph node metastasis in gastric cancer with CT perfusion imaging: a prospective analysis[J]. Eur J Radiol, 2020, 122: 108753.
- [26] 王莉莉, 徐香玖, 黄刚, 等. 多层螺旋CT灌注成像在胃癌术前评估中的应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2012, 20(8): 590-593.
- Wang LL, Xu XJ, Huang G, et al. Preoperative assessment of multi-slice CT perfusion imaging in gastric cancer[J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2012, 20(8): 590-593.
- [27] Chen YC, Fang WL, Wang RF, et al. Clinicopathological variation of Lauren classification in gastric cancer[J]. Pathol Oncol Res, 2016, 22(1): 197-202.
- [28] Li R, Li J, Wang XP, et al. Detection of gastric cancer and its histological type based on iodine concentration in spectral CT[J]. Cancer Imaging, 2018, 18(1): 42.
- [29] 董杰, 刘松, 潘梁, 等. CT能谱成像定量评估胃癌Lauren分型的应用价值[J]. 实用放射学杂志, 2016, 32(8): 1214-1217.
- Dong J, Liu S, Pan L, et al. Application value of spectral CT imaging in quantitative evaluation of Lauren classification of gastric cancer[J]. Journal of Practical Radiology, 2016, 32(8): 1214-1217.
- [30] 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, 47(7): 634-637.
- Chen LH, Duan Q, Xue YJ, et al. Spectral CT characterizing the pathological type of gastric cancer[J]. Chinese Journal of Radiology, 2013, 47(7): 634-637.
- [31] 李佳音, 刘洋, 高剑波, 等. CT灌注成像在Borrmann II型与III型胃癌鉴别诊断中的价值[J]. 中华胃肠外科杂志, 2016, 19(10): 1149-1153.
- Li JY, Liu Y, Gao JB, et al. Value of CT perfusion imaging in differential diagnosis between Borrmann types and gastric cancer[J]. Chinese Journal of Gastrointestinal Surgery, 2016, 19(10): 1149-1153.
- [32] 朱勇, 何光武, 傅燕飞, 等. 多层螺旋CT灌注成像对胃癌病理分化程度评估的研究[J]. 实用放射学杂志, 2015(1): 75-77.
- Zhu Y, He GW, Fu YF, et al. Research of multi-slice spiral CT perfusion imaging in evaluating the degree of pathological differentiation of gastric carcinoma[J]. Journal of Practical Radiology, 2015(1): 75-77.
- [33] 俞悦, 周爱萍, 曾益新. HER2阳性胃癌的治疗研究进展[J]. 中国肿瘤临床, 2017, 44(2): 59-63.
- Yu Y, Zhou AP, Zeng YX. Advances in the treatment for HER2-positive advanced gastric cancer[J]. Chinese Journal of Clinical Oncology, 2017, 44(2): 59-63.
- [34] 郭丹丹, 刘洋, 高剑波, 等. 标准化碘浓度与胃癌组织中HER2表达

- 的关系[J]. 世界华人消化杂志, 2016, 24(4): 573-578.
- Guo DD, Liu Y, Gao JB, et al. Correlation between normalized iodine concentration and HER2 protein expression in gastric cancer [J]. World Chinese Journal of Digestology, 2016, 24(4): 573-578.
- [35] 黄列彬, 龙晚生, 陈钦贤, 等. CT灌注成像对进展期胃癌HER2表达状态的评估价值[J]. 遵义医科大学学报, 2020, 43(5): 641-645.
- Huang LB, Long WS, Chen QX, et al. The value of CT perfusion imaging in assessing the expression of HER2 in advanced gastric cancer [J]. Journal of Zunyi Medical University, 2020, 43(5): 641-645.
- [36] 王学东, 刘爱连, 田士峰, 等. 双能CT能谱成像增强定量参数预测胃癌增殖抗原Ki-67表达的价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2021, 29(9): 885-891.
- Wang XD, Liu AL, Tian SF, et al. Enhanced quantitative parameters of spectral CT in predicting the expression of Ki-67 in gastric cancer [J]. Chinese Journal of Medical Imaging, 2021, 29(9): 885-891.
- [37] 刘玉良, 张晓鹏, 唐磊, 等. 能谱CT分析进展期胃癌碘含量与脉管癌栓的相关性[J]. 中国介入影像与治疗学, 2013, 10(7): 413-417.
- Liu YL, Zhang XP, Tang L, et al. Correlation between iodine concentrations and lymphatic and/or vascular cancer emboli in advanced gastric cancer: analysis with spectral CT [J]. Chinese Journal of Interventional Imaging and Therapy, 2013, 10(7): 413-417.
- [38] Sasaki Y, Kato K. Chemoradiotherapy for esophageal squamous cell cancer [J]. Jpn J Clin Oncol, 2016, 46(9): 805-810.
- [39] 孟德杰, 刘洋, 王立兵, 等. 光谱双层探测器CT碘含量定量预测评估晚期胃癌治疗价值的价值[J]. 医学影像学杂志, 2021, 31(7): 1200-1203.
- Meng DJ, Liu Y, Wang LB, et al. The predictive value of quantitative iodine concentration in CT with dual-layer detector spectral CT in the assessment of advanced gastric cancer [J]. Journal of Medical Imaging, 2021, 31(7): 1200-1203.
- [40] Gao XY, Zhang Y, Yuan F, et al. Locally advanced gastric cancer: total iodine uptake to predict the response of primary lesion to neoadjuvant chemotherapy [J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2018, 144(11): 2207-2218.
- [41] 孙宗琼, 王惠, 李晓红, 等. 低剂量CT灌注成像在进展期胃癌新辅助化疗疗效评价中的价值[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(12): 1884-1888.
- Sun ZQ, Wang H, Li XH, et al. The value of low-dose CT perfusion imaging in predicting efficacy of neoadjuvant chemotherapy in advanced gastric cancer [J]. Journal of Clinical Radiology, 2017, 36(12): 1884-1888.
- [42] Kruk-Bachonko J, Krupski W, Czechowski M, et al. Perfusion CT-a novel quantitative and qualitative imaging biomarker in gastric cancer [J]. Eur J Radiol, 2017, 95: 399-408.
- [43] 王小雷, 高玉青, 徐鹤, 等. 基于能谱CT纹理分析在预测胃癌术前淋巴结转移中的价值[J]. 蚌埠医学院学报, 2021, 46(1): 21-24.
- Wang XL, Gao YQ, Xu H, et al. Value of texture analysis based on spectral CT in predicting preoperative lymph node metastasis of gastric cancer [J]. Journal of Bengbu Medical College, 2021, 46(1): 21-24.
- [44] Li J, Fang MJ, Wang R, et al. Diagnostic accuracy of dual-energy CT-based nomograms to predict lymph node metastasis in gastric cancer [J]. Eur Radiol, 2018, 28(12): 5241-5249.
- [45] Li J, Dong D, Fang MJ, et al. Dual-energy CT-based deep learning radiomics can improve lymph node metastasis risk prediction for gastric cancer [J]. Eur Radiol, 2020, 30(4): 2324-2333.
- [46] Wang LY, Zhang Y, Chen Y, et al. The performance of a dual-energy CT derived radiomics model in differentiating serosal invasion for advanced gastric cancer patients after neoadjuvant chemotherapy: iodine map combined with 120-kV equivalent mixed images [J]. Front Oncol, 2021, 10: 562945.
- [47] Liu YY, Zhang H, Wang L, et al. Predicting response to systemic chemotherapy for advanced gastric cancer using pre-treatment dual-energy CT radiomics: a pilot study [J]. Front Oncol, 2021, 11: 740732.
- [48] Chen Y, Yuan F, Wang LY, et al. Evaluation of dual-energy CT derived radiomics signatures in predicting outcomes in patients with advanced gastric cancer after neoadjuvant chemotherapy [J]. Eur J Surg Oncol, 2022, 48(2): 339-347.

(编辑:陈丽霞)