

影像新技术在胃癌诊治中的应用进展

王娜, 李振辉, 李华秀, 寸红丽, 张大福, 王关顺

【摘要】 胃癌的发病率和死亡率一直居于恶性肿瘤的前列, 胃癌的早期诊断及精准分期对治疗方式的选择至关重要。如今越来越多的影像新技术可为胃癌的诊治提供更多有价值的信息。一些基于常规影像技术发展起来的新技术, 如双能 CT、CT 灌注、DWI、IVIM、PET/CT、PET/MRI 等, 能为其提供更多分子、基因、病理等方面的信息。随着精准医学的提出, 影像组学和影像基因组学也得到了快速发展, 即将在胃癌的诊断、鉴别诊断、分期、疗效评价及预后判定方面扮演重要角色。

【关键词】 胃癌; 双能 CT; CT 灌注; 磁共振成像; 扩散加权成像; 正电子发射断层成像; 影像组学; 影像基因组学

【中图分类号】 R735.2; R814.42; R445.2 **【文献标识码】** A

【文章编号】 1000-0313(2020)01-0108-05

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2020.01.021

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



胃癌是常见的恶性肿瘤之一, 在我国其发病率和死亡率在恶性肿瘤中均高居第二位^[1]。早期胃癌预后较好, 而进展期胃癌预后差, 早发现、早治疗是提高胃癌患者生存率的最有效措施^[1]。目前国内胃癌的早期筛查尚未普及, 临床发现的胃癌患者多为进展期胃癌, 其治疗方式主要为手术和放化疗, 因而术前对胃癌的精准分期就显得极其重要。

传统的医学影像模式是基于形态学信息的评价与诊断, 仅能提供一些主观的、半定量的结构学信息, 传统的影像医学模式已无法满足精准医学的要求。如今, 越来越多的基于 CT、MRI、PET 等成像手段的新技术(包括设备、影像显像剂、采集技术和图像分析等)逐步得到应用。胃癌相关影像技术已超越了单纯的解剖评价, 能为临床提供基于病理、生理、基因变异等更为丰富的信息, 从而为胃癌的诊治提供更多的手段。本文拟对一些影像新技术在胃癌诊治中的应用进展进行综述。

CT 新技术

1. 双能 CT

双能 CT 主要利用同源或不同源几乎同时发射的两组不同能级 X 射线照射后进行成像, 它不仅能提供组织器官的常规解剖结构信息, 经后处理还可获得虚拟平扫、碘图、能谱曲线、线性及非线性融合图像, 实现

了 CT 的多参数成像。增强后利用后处理软件能将物质分解为脂肪、软组织、碘三种基物质, 通过三种基物质分解的空间图能将碘对比剂与软组织分离, 从而得到碘图和虚拟平扫 2 个系列的图像^[2-4]。碘图能观察碘对比剂分布及含量的差别, 从而定量分析组织器官的病变情况及程度, 还能叠加到虚拟平扫或平均加权的 120 kV 的影像上, 从而同时显示靶器官的解剖信息和碘分布情况^[3]。双能 CT 能谱成像可获得 40~140 keV 的单能量图像, 得到感兴趣区在不同能量下的 CT 值, 从而绘制出反映不同物质特性的能谱曲线, 拓宽了 CT 在判断肿瘤性质、鉴别诊断、确定治疗方案及疗效评价等方面的应用^[5]。

目前, 双能 CT 在胃癌诊治中得到了广泛的应用, 为临床诊疗提供了更多信息。普通 MSCT 软组织分辨率较低, 对进展期胃癌 T 分期的诊断有一定价值, 但对早期胃癌 T 分期较困难, 特别是 T1 期胃癌, 对 N 分期的诊断准确度也有待提高^[6]。因为短径大于 1 cm 的淋巴结可为炎性淋巴结。有研究表明通过碘图可对病灶本身与周围淋巴结进行定量碘浓度测定, 从而对胃癌进行更精确的 TNM 分期; T 分期的总体诊断准确率为 81.2%, N 分期和 M 分期的诊断准确率、灵敏度、特异度分别为 82.9%、90.7%、67.9% 和 98.9%、92.8%、100%^[7,8]。能谱曲线有助于鉴别不同病理亚型和分化程度的胃癌, 非黏液胃癌组的能谱曲线斜率绝对值明显高于黏液癌组, 绝大多数印戒细胞胃癌组的能谱曲线高度高于黏液腺癌组, 低分化腺癌组的能谱曲线高度稍高于中高分化腺癌组^[9]。120、140 kV 及 80~130 keV 的单能量图像同样有助于鉴别中高分化与低分化胃癌^[10]。双能 CT 对胃癌新辅助化疗疗

作者单位: 650118 昆明, 昆明医科大学第三附属医院 云南省肿瘤医院放射科

作者简介: 王娜(1994—), 女, 云南曲靖人, 硕士研究生, 主要从事肿瘤影像诊断工作。

通讯作者: 王关顺, E-mail: wgsh602@vip.163.com

基金项目: 云南省科技厅(昆医联合专项)2018FE001(—251)

效的评估也有一定帮助,病灶体积、最大截面积、病灶碘浓度及碘覆盖值变化率都可评估胃癌化疗疗效,其评估准确性从高到低依次为碘浓度变化率、体积变化率、碘覆盖值变化率和最大截面积变化率^[4]。有学者认为虚拟平扫可替代真正的平扫,从而减少 1 次扫描,可降低患者的辐射剂量,一定程度缩短了检查时间,提高了检查的流量^[2,3]。

2. CT 灌注成像

CT 灌注成像利用静脉团注的方式给予患者一定量的对比剂,在同一区域进行重复、快速的 CT 检查,利用相关数字模型计算灌注参数、绘制函数图,对组织的灌注量、通透性情况进行评价^[11]。CT 灌注成像作为一种功能成像,能反映活体的血流动力学变化并可进行定量、定性分析,已成为近年来影像学研究的热点之一。

CT 灌注成像在胃癌的分期、预后和化疗疗效评价等方面具有一定优势。王莉莉等^[12]的研究指出,TNM 分期越高,表面通透性(permeability surface, PS)值越大,早期胃癌患者的 PS 较中晚期患者低($t=2.381$),N0 期患者的 PS 较无淋巴结转移者高($t=3.357$),M0 期患者的 PS 较 M1 期患者高($t=2.641$),以上差异均有统计学意义(P 值均 <0.05)。Lee 等^[13]的研究表明,低黏性胃癌的表面通透性明显高于其他组织学类型;其平均通过时间也显著长于非低黏性癌。还有研究表明胃癌患者的灌注参数与肿瘤因子具有一定的相关性^[14],血流量(blood flow, BF)、峰值强化、PS 与肿瘤因子 CEA、AFP、CA199、CA72-4 呈显著正相关;达峰时间与肿瘤因子 CEA、AFP、CA199、CA72-4 呈显著负相关。CT 灌注可通过 BF、血容量(blood volume, BV)、平均通过时间、PS 等进行新生血管的评估,从而评估胃癌化疗疗效^[15]。有研究发现化疗前后的 BF、BV 及病灶体积缩小率与病理分级显著相关;BV 降低率评估的灵敏度和特异度均高于体积缩小率,当 BV 降低率的阈值取 34.5% 时,其评估的敏感度为 73%,特异度为 87%;当体积减小率的阈值取 32.2% 时,其评估的敏感度为 67%,特异度为 80%^[16]。

MRI 新技术

1. 扩散加权成像

扩散加权成像(diffusion weighted imaging, DWI)是目前唯一能无创地在活体内微观水平上探测水分子运动的影像技术。DWI 包括高斯扩散模型和非高斯扩散模型,在临床中常用高斯扩散模型,即单指数模型,非高斯扩散模型包括体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)、扩散峰度成像和

拉伸指数模型^[17]。

高斯扩散模型:单指数表观扩散系数(apparent diffusion coefficient, ADC)模型是描述 DWI 信号行为最简单的模型。单 b 值 DWI 和 ADC 值有助于检出肿瘤、鉴别淋巴结是否转移,还可通过测量浆膜外 ADC 值判断周围组织是否浸润。有研究表明^[18],DWI 对胃癌 T2-T4 分期的灵敏度和特异度分别为 72.7% 和 77.5%(T2)、71.0% 和 80.0%(T3)、55.6% 和 92.9%(T4);对 N 分期的灵敏度和特异度分别为 75.0% 和 84.6%(N1)、79.3% 和 77.3%(N2)、60.0% 和 97.6%(N3)。与 MSCT 相比,DWI 对 N 分期的评价明显优于 MSCT,而对 T 分期的评价两者则无显著差异。另一项对胃癌转移性淋巴结的研究表明,当 ADC 值的阈值取 0.807 时,其对胃癌转移性淋巴结的诊断敏感度为 79.2%,特异度为 73.1%^[19]。胃癌的 ADC 值与组织分化和 Lauren 分型也具有一定的相关性,正常胃壁的平均和最小 ADC 值均显著高于胃癌各亚型;随着腺癌组织分化程度的增加,平均和最小 ADC 值逐渐增加;肠型、混合型、弥漫性胃癌的平均和最小 ADC 值依次逐渐降低^[20]。ADC 值还与胃癌的 HER-2 基因的状态有一定相关性。HER-2 阳性胃癌的平均 ADC 值和最小 ADC 值均明显高于 HER-2 阴性胃癌(平均 ADC 值:1.211 vs 0.984;最小 ADC 值:1.105 vs 0.905)^[21]。另外,ADC 值与表皮生长因子受体(epidermal growth factor receptor, EGFR)的表达也有相关性,EGFR 阴性组的平均和最小 ADC 值均明显高于 EGFR 阳性组[平均 ADC 值分别为 $(1.106 \pm 0.196) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 $(0.918 \pm 0.164) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$;最小 ADC 值分别为 $(0.989 \pm 0.198) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 和 $(0.835 \pm 0.170) \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$]^[22]。

非高斯扩散模型:非高斯扩散模型是为了更密切地联系和评价水分子扩散在人体组织中的分布,从而更加真实地反映活体组织的生理和病理特征。IVIM 包括水分子的真性扩散及微循环灌注形成的假性扩散。

一项运用 IVIM 研究贲门癌的研究指出,肿瘤组标准 ADC 值、假扩散系数 D^* 和灌注分数 f 值低于正常组,真扩散系数 D 值高于正常组,两组的标准 ADC、 D 、 D^* 值的差异有统计学意义,有助于贲门癌的诊断^[23]。刘广辉^[24]的研究提示多 b 值 DWI 有助于检出肿瘤和鉴别胃壁是否浸润,病变组肿瘤区 fast ADC 值明显低于病变组无癌浸润区和正常组胃壁,当阈值取 $19.25 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时,病灶检出的灵敏度为 0.846,特异度为 0.677,当阈值取 $18.75 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时,其判断胃壁是否浸润的灵敏度为 0.833,特异度为 0.611。胡友强^[25]的研究表明,标准 ADC 和 slow ADC

值与胃癌病理分级呈负相关, f 值在低分化组胃癌组织中显著高于中、高分化组。另一项研究指出, 胃腺癌低分化组的 fast ADC 值低于中、高分化组, 而中分化组与高分化组之间差异无统计学意义。当 fast ADC 值的阈值取 $11.08 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时, 鉴别低、中分化胃腺癌的灵敏度为 0.815, 特异度为 0.519; 阈值取 $11.40 \times 10^{-3} \text{ mm}^2/\text{s}$ 时, 鉴别低、高分化胃腺癌的灵敏度为 0.852, 特异度为 0.520^[24]。IVIM 还能预测胃癌的化疗疗效^[26]。相关动物实验表明, 与 ADC 值相比, IVIM 的相关参数能更敏感地检测小鼠胃癌模型早期化疗的疗效, 与对照组相比, 治疗组的快扩散系数和灌注分数均显著降低^[27]。

2. 淋巴结特异性对比剂的 MR 显像

淋巴结转移对胃癌的治疗和预后具有重要影响。使用淋巴结特异性对比剂的 MR 显像对胃癌淋巴结转移有较好的诊断价值。在功能正常的淋巴组织中, 超微超顺磁性氧化铁颗粒 (ultrasmall superparamagnetic particles of iron oxide, USPIO) 被巨噬细胞吞噬, T_2 信号强度降低; 而在转移性淋巴结中, 巨噬细胞被肿瘤组织全部或部分破坏, 不能有效吞噬 USPIO, 因此在 T_2 WI 序列上, 正常淋巴结的信号强度均匀降低, 而转移性淋巴结的信号保持不变或不均匀性降低。一项对 17 例进展期胃癌患者的研究表明, 使用 Ferumoxtran-10 的增强 MRI 对淋巴结转移的诊断优于 CT 和超声, 其灵敏度、特异度和准确度分别为 100%、92.6%、94.8%^[28]。但因为 USPIO 是阴性对比剂且对人体的毒副作用比常用的钆对比剂大, 限制了其在临床上的应用。

正电子发射断层成像

正电子发射断层成像 (positron emission tomography, PET) 是依据代谢情况进行评估的一种方法。迄今为止, 除了经典的 ^{18}F -脱氧葡萄糖 (fluorodeoxyglucose, FDG) 外, 还出现了其他新的示踪剂, 如可用于评估细胞增殖的 ^{18}F -脱氧胸苷 (fluorothymidine, FLT)。这也引起了人们对不同肿瘤代谢途径评估的兴趣。

1. PET/CT

PET/CT 将 PET 图像和 CT 图像融合在一起, 将功能和解剖结合, 互相补充, 可为临床提供更多帮助。相关研究表明, ^{18}F -FDG PET/CT 有助于预测胃癌患者人类表皮生长因子受体 2 (HER-2) 是否表达, 当研究样本不包括印戒细胞胃癌时, HER-2 阴性组的最大标准摄取率 (maximal standard uptake value, SUV_{max}) 明显高于 HER-2 阳性组, 当 SUX_{max} 的阈值设定为 6.2 时, 其预测 HER-2 表达的准确率为

64.4%^[29]。FDG PET/CT 和 FLT-PET/CT 对胃癌原发灶和淋巴结转移的诊断有相同的价值, 两者的诊断灵敏度、特异度、准确率无显著差异^[30]。 ^{18}F -FDG PET/CT 在胃癌中的作用还有很多, 但它并非万能。术前影像检查对胃癌腹膜转移的敏感性很低, 但 ^{18}F -FLT PET/CT 却对腹膜转移很敏感^[31]。在用 ^{18}F -FLT PET/CT 对胃癌患者扫描时, 腹膜转移灶的 SUV_{max} 可达 73.7%, 原发灶达 100%, 转移淋巴结达 72.7%^[32]。因此, ^{18}F -FLT PET/CT 可作为诊断胃癌腹膜转移的一种新方法, 但其对肝转移和骨转移的评估效果却并不理想^[33]。

2. PET/MRI

PET/MRI 为胃癌的影像评价开辟了新的领域。 ^{18}F -FDG PET/MRI 与 MSCT 在 T、N 分期准确率上无显著差异, 但在 M 分期中, ^{18}F -FDG PET/MRI 的准确率明显高于 MSCT; 在可切除性方面, ^{18}F -FDG PET/MRI 的诊断准确率 (92.9%) 也显著高于 MSCT (76.2%)^[34]。另外, 在一项 ^{18}F -FDG PET/MRI 对晚期胃癌化疗疗效预测价值的研究中, 应答组的 K_{trans} 值和初始曲线下面积 (iAUC) 明显高于无应答组, 但 SUX_{max} 值无显著差异; 当 K_{trans} 值的 AUC 为 0.2 或 iAUC 值的 AUC 为 23.0 时, 预测化疗疗效的灵敏度和特异度可达 83.3% 和 100%, 因此 K_{trans} 值和 iAUC 值可作为化疗反应的早期预测标志物^[35]。

影像组学和影像基因组学

随着传统影像模式的局限性越来越明显和精准医学概念的提出, 影像组学和影像基因组学应运而生。影像组学是指从 CT、MRI 或 PET 等影像图像中高通量地提取分析大量高级、定量的影像学特征; 而影像基因组学是建立基因表达谱数据和影像学特征间的关联。两者能提供分子和基因水平的生物学信息, 也能提供个性化治疗所需的信息, 有望成为精准影像医学的重要基石。影像组学定量分析肿瘤内空间异质性的方法主要有直方图分析、纹理分析、分形分析等。

1. 直方图分析

直方图分析是一种用于分析肿瘤内信号强度分布、描述其异质性的方法。采用逐像素的体积分析方法可使分析结果更加准确。磁共振 ADC 图的直方图分析得到的特征参数有助于胃癌的 T、N 分期^[36], 不同 T、N 期胃癌的斜率、峰度等参数均有显著差异, 其中斜率的诊断灵敏度为 0.758, 特异度为 0.810。对于胃癌患者来说, 分化程度与 ADC 图的直方图参数相关, 低、高分化胃癌在第 5、10、25、50 百分位数、倾斜度、峰度上有显著差异^[37]。同样是 ADC 图的直方图分析, Liu 等^[38]研究发现不同 T、N 分期的直方图参数

均有显著差异。除 ADC_{max} 外,大多数参数在鉴别胃癌的不同 T、N 分期方面表现良好。特别是对 N 分期,ADC_{10%} 的 ROC 曲线下的最大面积为 0.794。

2. 纹理分析

影像图像包含很多有用的信息,不仅是简单的视觉检查所能感知到的信息。图像纹理特征的评估能描述和量化体素强度的空间分布和异质性。虽然纹理分析参数无明确的生物学相关性,但不同的纹理指标已显示出与常规指标的相关性。

纹理分析能更好地描述胃癌的组织特征,不仅有助于评估胃癌的分化、分型,在评价肿瘤侵袭性、血管侵犯情况和预测淋巴结转移方面也有很大的潜力^[39-41]。基于 CT 纹理分析的多个特征都有助于胃癌 TNM 分期^[39],动脉期最大频率,静脉期平均和最小频率都与 T、N 分期和总分期呈正相关,静脉期熵也与 N 分期和总分期呈正相关。Yoon 等^[41]在运用 CT 纹理特征预测 HER-2 阳性胃癌患者接受曲妥珠单抗治疗后生存率的研究中发现,对比度、方差和相关度均与治疗后的生存率相关,且均具有较高的准确率(>0.7)。还有研究表明,CT 纹理分析在预测胃癌的分化程度、Lauren 分级及血管浸润状态方面有很大潜力^[42]。门脉期图像的平均衰减、最大衰减、所有百分位数和模式与胃癌的分化程度和 Lauren 分类显著相关(r : 0.231~0.324);动脉期图像的标准差和熵也与胃癌的 Lauren 分类显著相关(r 值分别为 0.265 和 0.222);有血管侵犯者的动脉期图像的标准差和熵显著低于无血管侵犯者,但最小衰减显著高于无血管侵犯者。

挑战与展望

随着科技的发展,这些新技术的挑战也随之出现。首先,大多数研究都是通过感兴趣区来测量参数的值,这种方法存在潜在忽略肿瘤异质性的风险,因为感兴趣区并不能完全代表该肿瘤的全部表型,肿瘤感兴趣区和病理标本中获得的参数之间通常缺乏确切的相关性。其次,肿瘤生物学的复杂性不是一个能以单一成像方法来评估的特性,它需要多种模式组合才能得到更好地评估,所以必须探索和建立多种功能和分子成像技术相结合的肿瘤表型多参数成像方法的实际价值。最后,这些新技术多为相对较小的单中心研究,要想得到推广和发展还应进行多中心研究。期望不久的将来,从胃癌图像中提取的“组学”数据能与其他非放射学数据相结合,以产生能提高诊断准确性和临床决策、预测能力的模型,从而为临床诊治提供依据,并为准确判断患者预后提供生物标志物。

综上所述,影像医学已由传统的解剖图片的模式转换到了一个基于影像特点、基因、组织、临床和预后

相互联系起来新的模式。胃癌相关影像也由单纯的解剖图像转化到分子、功能定量分析和肿瘤异质性分析的新模式。随着这些新技术在临床上的逐步应用,必将对胃癌的诊治提供极大的帮助。

参考文献:

- [1] 杜奕奇,蔡全才,廖专,等.中国早期胃癌筛查流程专家共识意见(草案)(2017 年,上海)[J].胃肠病学,2018,23(2):92-97.
- [2] 袁元,黄子星,李真林,等.双源 CT 双能量碘图对急性坏死性胰腺炎影像的诊断价值[J].四川大学学报(医学版),2012,43(4):597-600.
- [3] 张龙江,卢光明.双能量 CT 的技术原理及在腹部的应用[J].国际医学放射学杂志,2010,33(2):118-121.
- [4] 杨品.双源 CT 双能量碘图评价胃癌新辅助化疗疗效的初步研究[D].兰州:兰州大学,2016.
- [5] 袁源,张艳,郎宇,等.CT 能谱曲线鉴别诊断脊柱肿瘤及肿瘤样病变[J].中国医学影像技术,2015,31(4):600-603.
- [6] 何文琪,伍兵.胃癌术前 cTN 分期的影像研究进展[J].国际医学放射学杂志,2019,42(1):76-80.
- [7] Pan Z, Pang L, Ding B, et al. Gastric cancer staging with dual energy spectral CT imaging[J]. Plos One, 2013, 8(2):e53651.
- [8] 诗潞,张欢,刘博,等.双源双能 CT 个性化扫描评估胃癌术前分期[J].中国医学影像技术,2014,30(5):767-771.
- [9] 唐彩银,刘斌.双源 CT 双能成像对不同胃癌病理分型的诊断价值[J].现代医用影像学,2016,25(3):421-425.
- [10] 万娅敏,高剑波,王芳,等.双能量 CT 成像评估胃癌分化程度的价值[J].放射学实践,2016,31(12):1210-1212.
- [11] 程亮.CT 灌注成像在肝细胞癌诊断中的应用价值[J].中国当代医药,2018,25(27):98-100.
- [12] 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.
- [13] Lee D, Kim S, Joo I, et al. CT Perfusion evaluation of gastric cancer: correlation with histologic type[J]. Eur Radiol, 2018, 28(2):487-495.
- [14] 张颖颖,范小波,亓子坤.胃癌多层螺旋 CT 灌注成像及灌注参数与肿瘤因子的相关性研究[J].中国 CT 和 MRI 杂志,2015,13(1):69-71.
- [15] 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(10):399-408.
- [16] Sun Z, Cheng C, Ge Y, et al. An application study of low-dose computed tomography perfusion imaging for evaluation of the efficacy of neoadjuvant chemotherapy for advanced gastric adenocarcinoma[J]. Gastric Cancer, 2018, 21(3):413-420.
- [17] Permutt Z, Le T, Peterson M, et al. Correlation between liver histology and novel magnetic resonance imaging in adult patients with non-alcoholic fatty liver disease - MRI accurately quantifies hepatic steatosis in NAFLD[J]. Aliment Pharmacol Ther, 2012, 36(1):22-29.
- [18] Arslan H, Fatihözbay M, Calli I, et al. Contribution of diffusion weighted MRI to diagnosis and staging in gastric tumors and comparison with multi-detector computed tomography[J]. Radiol Oncol, 2017, 51(1):23-29.
- [19] 杨虹,李雪霜,陆通,等.DWI 及 ADC 值对胃癌转移淋巴结的诊

- 断价值[J]. 临床放射学杂志, 2017, 36(9): 1271-1275.
- [20] Liu S, Guan W, Wang H, et al. Apparent diffusion coefficient value of gastric cancer by diffusion-weighted imaging: Correlations with the histological differentiation and Lauren classification[J]. Eur J Radiol, 2014, 83(12): 2122-2128.
- [21] He J, Shi H, Zhou Z, et al. Correlation between apparent diffusion coefficients and HER2 status in gastric cancers: pilot study[J]. BMC Cancer, 2015, 15(1): 749.
- [22] 郑欢欢, 刘松, 季长风, 等. 胃癌扩散加权成像 ADC 值与 EGFR、Ki-67 表达的相关性[J]. 放射学实践, 2017, 32(9): 923-926.
- [23] 邵楠楠, 王立峰, 韩帅, 等. 体素内不一致运动成像序列在贲门癌中的初步应用[J]. 磁共振成像, 2015, 6(11): 824-828.
- [24] 刘广辉. 磁共振多 b 值 DWI 成像在胃癌诊断中的应用研究[D]. 河南: 新乡医学院, 2015.
- [25] 胡友强. 体素内不相干运动弥散加权成像及动态对比增强 MRI 在胃癌诊断中的应用研究[D]. 四川: 川北医学院, 2017.
- [26] Song XL, Kang HK, Jeong GW, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging for monitoring chemotherapeutic efficacy in gastric cancer[J]. World J Gastroenterol, 2016, 22(24): 5520-5531.
- [27] Cheng J, Wang Y, Zhang C, et al. Chemotherapy response evaluation in a mouse model of gastric cancer using intravoxel incoherent motion diffusionweighted MRI and histopathology[J]. World J Gastroenterol, 2017, 23(11): 1990-2001.
- [28] Tatsumi Y, Tanigawa N, Nishimura H, et al. Preoperative diagnosis of lymph node metastases in gastric cancer by magnetic resonance imaging with ferumoxtran-10[J]. Gastric Cancer, 2006, 9(2): 120-128.
- [29] Chen R, Zhou X, Liu J, et al. Relationship between ^{18}F -FDG PET-CT scans and HER2 expression in gastric cancer. [J]. J Nucl Med, 2016, 57(7): 1040-1044.
- [30] Nakajo M, Kajiya Y, Tani A, et al. FLT-PET/CT diagnosis of primary and metastatic nodal lesions of gastric cancer: comparison with FDG-PET/CT[J]. Abdom Radiol, 2016, 41(10): 1891-1898.
- [31] Staniuk T, Malkowski B, Srutek E, et al. Comparison of FLT-PET/CT and CECT in gastric cancer diagnosis[J]. Abdom Radiol, 2016, 41(7): 1349-1356.
- [32] Honma Y, Terauchi T, Tateishi U, et al. Imaging peritoneal metastasis of gastric cancer with ^{18}F -fluorothymidine positron emission tomography/computed tomography: a proof-of-concept study[J]. Br J Radiol, 2018, 91(1089): 20180259.
- [33] Zhou M, Wang C, Hu S, et al. ^{18}F -FLT PET/CT imaging is not competent for the pretreatment evaluation of metastatic gastric cancer: a comparison with ^{18}F -FDG PET/CT imaging[J]. Nucl Med Commun, 2013, 34(7): 694-700.
- [34] Lee D, Kim S, Joo I, et al. Comparison between ^{18}F -FDG PET/MRI and MDCT for the assessment of preoperative staging and resectability of gastric cancer[J]. Eur J Radiol, 2016, 85(6): 1085-1091.
- [35] Lee D, Kim S, Im S, et al. Multiparametric fully-integrated ^{18}F -FDG PET/MRI of advanced gastric cancer for prediction of chemotherapy response: a preliminary study[J]. Eur Radiol, 2016, 26(8): 2771-2778.
- [36] Liu S, Zhang Y, Xia J, et al. Predicting the nodal status in gastric cancers: The role of apparent diffusion coefficient histogram characteristic analysis[J]. Magn Reson Imaging, 2017, 42(10): 144-151.
- [37] Zhang Y, Chen J, Liu S, et al. Assessment of histological differentiation in gastric cancers using whole-volume histogram analysis of apparent diffusion coefficient maps[J]. J Magn Reson Imaging, 2017, 45(2): 440-449.
- [38] Liu S, Zhang Y, Chen L, et al. Whole-lesion apparent diffusion coefficient histogram analysis: significance in T and N staging of gastric cancers[J]. BMC Cancer, 2017, 17(1): 665.
- [39] Liu S, Shi H, Ji C, et al. Preoperative CT texture analysis of gastric cancer: correlations with postoperative TNM staging[J]. Clin Radiol, 2018, 73(8): 756.
- [40] Giganti F, Antunes S, Salerno A, et al. Gastric cancer: texture analysis from multidetector computed tomography as a potential preoperative prognostic biomarker[J]. Eur Radiol, 2016, 27(5): 1831-1839.
- [41] Yoon S, Kim Y, Lee Y, et al. Tumor Heterogeneity in Human Epidermal Growth Factor Receptor 2 (HER2)-Positive Advanced Gastric Cancer Assessed by CT Texture Analysis: Association with Survival after Trastuzumab Treatment[J]. Plos One, 2016, 11(8): e161278.
- [42] Liu S, Song L, Ji C, et al. Application of CT texture analysis in predicting histopathological characteristics of gastric cancers[J]. Eur Radiol, 2017, 27(12): 4951-4959.

(收稿日期: 2018-11-05 修回日期: 2019-04-27)