

胰腺癌胰周血管侵犯的影像学进展

李政晓^{1,2,3,4}, 李昇霖^{1,2,3,4}, 孙嘉晨^{1,2,3,4}, 任铁柱^{1,2,3,4}, 刘苏卫^{1,2,3,4}, 周俊林^{1,2,3,4}

1. 兰州大学第二医院放射科, 甘肃 兰州 730030; 2. 兰州大学第二临床医学院, 甘肃 兰州 730030; 3. 甘肃省医学影像重点实验室, 甘肃 兰州 730030; 4. 医学影像人工智能甘肃省国际科技合作基地, 甘肃 兰州 730030

【摘要】胰腺癌(PC)的胰周血管侵犯是术前肿瘤不可切除、术后肿瘤复发和转移的重要危险因素。近年来,超声、CT、MRI、PET/CT技术和影像组学方法可在术前无创分析PC胰周血管侵犯状态。基于此,本文将对近年来传统影像学技术和影像组学方法在PC方面应用的相关文献进行梳理,对术前预测PC胰周血管侵犯的研究展开综述,旨在进一步分析先进的影像学技术在医疗领域应用中存在的挑战,促进预测PC血管侵犯状态的临床运用。

【关键词】胰腺癌;胰周血管侵犯;影像学检查;影像组学;综述

【中图分类号】R735.9;R816.5

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2022)09-1114-05

Advances in imaging of peripancreatic vascular invasion in pancreatic carcinoma

LI Zhengxiao^{1,2,3,4}, LI Shenglin^{1,2,3,4}, SUN Jiachen^{1,2,3,4}, REN Tiezhu^{1,2,3,4}, LIU Suwei^{1,2,3,4}, ZHOU Junlin^{1,2,3,4}

1. Department of Radiology, Lanzhou University Second Hospital, Lanzhou 730030, China; 2. Second Clinical Medical School, Lanzhou University, Lanzhou 730030, China; 3. Key Laboratory of Medical Imaging of Gansu Province, Lanzhou 730030, China; 4. Gansu International Scientific and Technological Cooperation Base of Medical Imaging Artificial Intelligence, Lanzhou 730030, China

Abstract: Peripancreatic vascular invasion in pancreatic carcinoma (PC) is an important risk factor for preoperative unresectable tumor, postoperative tumor recurrence and metastasis. In recent years, ultrasound, CT, MRI, PET/CT techniques and radiomics methods have been used to realize the preoperative noninvasive analysis on the peripancreatic vascular invasion status in PC. Herein the relevant literatures on the application of traditional imaging techniques and radiomics methods in PC in recent years are sorted out, and the researches on preoperative prediction of peripancreatic vascular invasion in PC are summarized, aiming to further analyze the challenges existing in the application of advanced imaging technology in the medicine, thereby promoting the clinical application of predicting the vascular invasion status in PC.

Keywords: pancreatic carcinoma; peripancreatic vascular invasion; imaging examination; radiomics; review

前言

目前,胰腺癌(Pancreatic Carcinoma, PC)已经成为人类死亡的第四大原因,总体预后极差^[1-2]。PC发病率居我国恶性肿瘤的第6位,在20世纪及本世纪初呈逐渐上升趋势^[3-4]。有效延长PC患者远期生存的唯一方法是手术达到完全切除(R0切除)并辅助放化疗^[5-8]。根据美国国家综合癌症网络(NCCN)指

南,将肿瘤与血管(肠系膜上动脉、门静脉、肠系膜上静脉)的周向接触 $<180^\circ$ 定义为边缘性可切除的PC^[9-11]。由于PC恶性程度高,术中或术后常发现胰腺周围血管侵犯,导致手术效果欠佳^[12-13]。因此,术前有效评估胰周血管是否受侵与受侵程度是预测患者手术效果的有效标志物。

1 超声在PC胰周血管侵犯中的研究进展

超声检查作为一种常规的影像学成像技术,可同时识别胰腺组织和主要胰周血管;彩色多普勒超声成像更具有多平面探查的优点,可以准确地评估倾斜和垂直平面内肿瘤与血管之间的空间关系。Angeli等^[14]对61例PC患者进行术前彩色多普勒超声成像,评估血管受累的敏感性、特异性及准确性分别为79%、89%、84%,阳性、阴性预测值为89%、79%。此外,当肿瘤与血管无接触或纵向接触长度 ≤ 2 cm

【收稿日期】2022-03-21

【基金项目】国家自然科学基金(82071872);甘肃省科技计划项目(21YF5FA123)

【作者简介】李政晓,硕士研究生,研究方向:中枢及腹部影像学, E-mail: 1825416991@qq.com

【通信作者】周俊林,博士,主任医师,研究方向:神经影像学, E-mail: lzuzjl601@163.com

时,肿瘤具有可切除性,反之不可切除,这表明肿瘤与血管的纵向接触长度与可切除性有相关性。另有研究在152例PC患者多普勒超声成像中发现,检测血管受累的敏感性、特异性及准确性为89.8%、95.8%及84.1%,阳性和阴性预测值分别为89.8%和92.6%^[15]。

对于PC而言,内镜超声检查(Endoscopic Ultrasonography, EUS)为检测PC胰周血管侵犯的新技术(图1a)。Sugiyama等^[16]表明术前超声在检测门静脉侵犯方面的敏感性和特异性均为92%,而EUS在检测门静脉侵犯方面相比CT、超声和血管造影更准确,因此,当怀疑PC胰周血管侵犯时,可将EUS纳入术前评估,但EUS在检测动脉受侵程度上存在一定局限性。

总之,多普勒超声是一种相对准确、廉价的影像学检查方法,可以通过检测血管通畅度评估血管受侵程度;然而,多普勒超声检查在识别肿瘤更深部位的定位方面存在一定的局限性。相比彩色多普勒超声而言,EUS在评估门静脉侵犯方面有更高的敏感性和特异性。

2 CT在PC胰周血管侵犯中的研究进展

计算机断层扫描技术(Computer Tomography, CT)是PC术前诊断及分期的主要方式,它能准确地显示血管解剖结构以及肿瘤与邻近血管结构之间的关系(图1b)^[17]。Phoa等^[18]在50例PC患者CT中,依据肿瘤向血管内的凸起,认为D级(肿瘤向血管内凹陷)或E级(血管的周向受累)具有88%的侵袭风险,且可切除性分别为7%、0%;若肿瘤凸面等级为D或E,且有大于90°的血管周向接触,则检测的灵敏度、特异性分别为60%、90%,这表明肿瘤凸面等级在评估可切除性上有一定意义。另有研究认为肿瘤与血管纵向接触的长度是血管侵犯的较好预测因素,其预测门静脉及肠系膜上静脉受侵的灵敏度分别为78%、81%^[18],这说明肿瘤与血管的纵向接触长度与血管受侵程度存在相关性。Lu等^[19]在35名PC患者CT中发现肿瘤与血管的周向接触大于180°时,其不可切除性的敏感性和特异性分别为84%、98%,且阳性、阴性预测值为95%、93%,因此,肿瘤与血管的周向接触程度与不可切除性有很好的相关性。在能谱CT方面,李方元等^[20]对15例PC患者进行能谱成像发现血管内瘤栓与PC病灶的单能量衰减曲线重合,而血管内血栓的单能量衰减曲线显著低平。

此外,对于PC而言,CT血管造影技术在评价PC胰周血管侵犯程度方面具较高的临床价值。张蕴等^[21]对34例PC患者进行64层螺旋CT血管造影发

现,以动脉受侵程度 ≤ 2 级时为PC切除的临界点,血管造影评价可切除性的敏感性、特异性及准确性分别为92.9%、95%、94.1%,阳性、阴性预测值为92.9%、95%;而静脉受侵程度 ≤ 3 级时为可切除的临界点,其敏感性、特异性及准确性分别为78.6%、95%、88.2%,且阳性、阴性预测值为91.7%、86.4%,由此可见,相对动脉受侵而言,静脉受侵程度较大时仍可进行手术切除。Hamada等^[12]在20例T₁期(肿瘤直径 < 2 cm)肿瘤血管造影中发现,以静脉侵犯为特征的PC亚型可以隐藏在体积小的肿瘤中,若有60%的静脉侵犯,则肝转移的可能性增加,且肝转移组肿瘤浸润静脉占总静脉数(浸润和非浸润)的百分比显著高于非肝转移组,这表明肝脏转移与静脉受侵程度有一定关联,可以依据静脉受侵评估PC患者肝脏转移的可能性,帮助临床更好地制定治疗决策。

总之,CT检查在PC胰周血管侵犯方面有较高的检出率,此外,CT血管造影技术可以更好地显示血管解剖,在评估血管受侵、病灶可切除性及肝脏转移可能性方面具有一定临床价值,由此可见,CT血管造影已经成为一种较好的常规检查手段,而临床评估指标、重要评判标准及价值需进一步明确,能谱CT在未来或可用于评估PC胰周血管侵犯。

3 磁共振成像(MRI)在PC胰周血管侵犯中的研究进展

MRI及磁共振血管造影(Magnetic Resonance Angiography, MRA)在PC胰周血管侵犯及侵犯程度的评估中也具有独特的优势(图1c)。王冬青等^[22]对37例PC患者同时行增强MRI和冠状位MRA检查,将血管侵犯程度分为4级,2a级为可切除标准的最佳临界点,其预测不可切除的敏感性、特异性及准确性分别为67.4%、99.5%、95.9%,阳性、阴性预测值为92.9%、96.6%;血管侵犯程度为2a级时,诊断PC不可切除的效能最高。在PC直方图分析研究中,De Robertis等^[23]在103例PC患者MR直方图中发现,T₁熵、ADC熵、T₂-kurtosis和ADC-uniformity在预测PC血管浸润、淋巴结转移及胰周脂肪浸润方面的曲线下面积(AUC)分别为0.657、0.742、0.818,此外,动脉变性是术后死亡的重要预测因子,这表明MR直方图衍生参数在预测血管侵犯及动脉变性程度上有一定的临床意义。Wang等^[13]分析了118例PC合并门静脉侵犯的患者,发现肿瘤分化程度和静脉浸润深度是影响预后的独立危险因素,静脉受侵程度越重、预后越差,术后1、2及3年的生存率分别为34.0%、28.4%和18.0%,因此,门静脉侵犯是PC患者长期预后不良的重要原因之一。Fischer等^[24]对36例PC患者行MRI

发现当肿瘤包绕血管、阻塞动脉或静脉时为PC不可切除的标准,其判断可切除、不可切除的准确性分别为73.7%和88.2%,阳性、阴性预测值为87.3%、75.6%。

总之,MRI在PC胰周血管侵犯程度方面有一定的评估价值,MRA作为重要补充技术,可以提供更好的血管解剖概况,在MRA显示正常血管的情况下,常规MRI可能显示肿瘤与血管接触,对于血管形态改变的评价标准明确。因此,二者可同时作为PC胰周血管侵犯的评估手段。此外,MR直方图参数在预测PC胰周血管侵犯方面也具有相对较好的判别效能。

4 正电子发射断层扫描技术(PET)在PC胰周血管侵犯中的研究进展

18氟-脱氧葡萄糖正电子发射成像/电子计算机断层扫描(F-18-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography/Computed Tomography, 18F-FDG PET/CT)能显示PC患者的胰腺组织和胰腺组织外病变,在诊断PC的病理特征方面提供更具体的信息(图1d)^[25]。18F-FDG PET/CT主要通过糖代谢功能、CT的解剖结构显像的多模态影像来评估病变,因为全身显像可提供有关细胞代谢活动的信息,对于肿瘤病灶的代谢活性及PC诊断的灵敏度有较高的评估效能^[25-27]。PET不能清晰地显示血管,无法直接评估血管侵犯,因此,PET与CT的结合(PET/CT)有一定价值^[28]。有研究对101名PC患者行PET/CT、增强CT扫描发现,PET/CT在评估PC转移方面有一定价值,相比对血管侵犯的敏感性较增强CT扫描低,而二者结合评估PC血管侵犯的敏感性、特异性分别为83.3%和100.0%,因此,多层螺旋CT结合PET的使用,可能使血管的可视化效果更好^[25]。在鉴别疾病良恶性方面,PET的敏感性为85%~100%,特异性为67%~99%,通常高于CT^[29]。此外,Heinrich等^[28]对59名PC患者行PET/CT检查表明,检测PC的敏感性为93%,特异性为69%,其特异性显著高于单独CT(21%),这表明PET/CT在PC诊断方面有相对较好的检测效能。

总之,PET对于疾病隐匿性转移的检测效能高,而在评估PC血管侵犯上存在一定局限性,其评估效能较增强扫描CT低,故通过PET/CT与增强CT二者相结合或许使血管的可视化效果更好、评估血管侵犯的效能更高,为PC患者的临床治疗提供更完善的方案,以期获得更优化的临床诊治。

5 影像组学在PC胰周血管侵犯中的研究进展

近年来,随着影像技术的不断发展及精进,人工

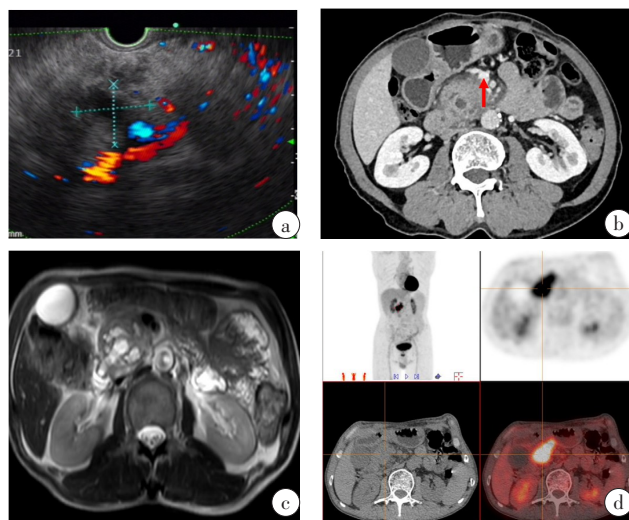


图1 男性,58岁,胰头部胰腺癌

Figure 1 A 58-years-old male diagnosed with pancreatic carcinoma in the head of the pancreas

a: 超声内镜检查,于胰头部可见囊实性病变,大小约4.3 cm×3.3 cm,周边见血管包绕;b: 静脉期CT图像胰头部囊实性混杂密度,病灶与肠系膜上静脉分界不清(箭头);c: T₂WI MRI图像胰头部类圆形占位;d: PET/CT图像,胰头部病灶摄取增高

智能技术愈来愈成熟,在医学领域中的应用越来越广泛。影像组学(Radiomics)属于人工智能的一个重要分支,源于计算机辅助诊断(Computer Aided Diagnosis, CAD)^[30],本质是通过使用计算机软件提取肉眼无法识别的高通量影像特征^[31-32],根据融合影像、临床及病理信息量化肿瘤微环境,早期定量肿瘤异质性,构建出合适的模型,用验证集分别对构建出的模型效能进行评估,选取评估效能最佳的模型,从而对疾病进行全面分析、评估,并预测其生物学行为,是目前PC影像领域的热点研究方向^[33-34]。影像组学的研究流程包括样本收集、ROI勾画、图像分割、特征提取和筛选以及回归模型性能的评估。目前,影像组学已被用于区分肿瘤复发和炎症,并确定PC的特定分子模式^[35-36]。

Rigoli等^[37]在纳入194例PC患者的研究中发现,由CT放射特征构建的模型检测肠系膜上动脉受累的敏感性、特异性分别为62%和77%,因此,可通过影像组学方法提取肿瘤和血管周围CT影像特征来提高血管受累的检出率。Chen等^[38]通过对54例患者构建CT纹理分析模型来预测肠系膜上静脉-门静脉的侵犯,该模型的准确性、敏感性及特异性分别为83%、74%、90%,阳性、阴性预测值为85%、83%,这可能有助于患者避免不可切除的手术治疗。此外,对于可切除的PC患者,Eilaghi等^[39]对30例PC患者进行CT纹理分析发现,PC组织纹理特征中的差异性及其归一化逆差值显著高于邻近正常胰腺实质,相较

于肿瘤其它特征而言,纹理特征对于总生存率的预测效能更高,因此,纹理特征中的差异性和归一化逆差值与生存率显著相关。

总之,影像组学在评估PC胰周血管侵犯方面的研究较少,需要更深层次的研究及验证,CT纹理分析模型在评估肿瘤血管侵犯方面有较好的效能。传统的影像学检查手段对PC术后生存率及血管侵犯的评估作用较为局限,而影像组学可以探索到更多的影像特征,分析肿瘤的异质性及肿瘤微环境,构建出稳定且适当的模型,此外,除了提取影像特征、临床信息特征外,影像组学还应该结合相关基因组学、蛋白质组学来评估患者远期生存率及血管侵犯程度。

6 总结

术前评估胰周血管的侵犯状态是影响PC患者远期预后的重要因素,传统影像学手段通过观察肿瘤与血管的关系,从而确定胰周血管的侵犯状态,然而,这种传统影像学评估手段存在主观和经验主义的短板。相反,近年来新起的影像组学方法通过肿瘤和瘤周组织纹理特征构建的血管侵犯预测模型,具有主观、定量和可重复的优势,为PC血管侵犯的状态和程度提供了一种新的评价方式。因此,综合影像检查技术的优势,未来术前精确评估PC胰周血管侵犯的状态将成为可能。

【参考文献】

- [1] Okada KI, Hirono S, Kawai M, et al. Value of apparent diffusion coefficient prior to neoadjuvant therapy is a predictor of histologic response in patients with borderline resectable pancreatic carcinoma [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*, 2017, 24(3): 161-168.
- [2] Mayer P, Giannakis A, Klaus M, et al. Radiological evaluation of pancreatic cancer: what is the significance of arterial encasement >180 degrees after neoadjuvant treatment? [J]. *Eur J Radiol*, 2021, 137: 109603.
- [3] 何铭,薛华丹,金征宇.影像组学在胰腺癌的应用及研究进展[J].*中华放射学杂志*, 2020, 54(10): 1029-1032.
He M, Xue HD, Jin ZY. Application and research progress of radiomics in pancreatic cancer [J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2020, 54(10): 1029-1032.
- [4] Park W, Chawla A, O'reilly EM. Pancreatic cancer: a review [J]. *JAMA*, 2021, 326(9): 851-862.
- [5] Arslan A, Buanes T, Geitung JT. Pancreatic carcinoma: MR, MR angiography and dynamic helical CT in the evaluation of vascular invasion [J]. *Eur J Radiol*, 2001, 38(2): 151-159.
- [6] Murakami Y, Uemura K, Sudo T, et al. Benefit of portal or superior mesenteric vein resection with adjuvant chemotherapy for patients with pancreatic head carcinoma [J]. *J Surg Oncol*, 2013, 107(4): 414-421.
- [7] Weber GF, Kersting S, Haller F, et al. R1 resection for pancreatic carcinoma [J]. *Chirurg*, 2017, 88(9): 764-770.
- [8] Gillen S, Schuster T, Meyer Zum Buschenfelde C, et al. Preoperative/neoadjuvant therapy in pancreatic cancer: a systematic review and meta-analysis of response and resection percentages [J]. *PLoS Med*, 2010, 7(4): e1000267.
- [9] Toomey P, Hernandez J, Morton C, et al. Resection of portovenous structures to obtain microscopically negative margins during pancreaticoduodenectomy for pancreatic adenocarcinoma is worthwhile [J]. *Am Surg*, 2009, 75(9): 804-809.
- [10] Kato K, Yamada S, Sugimoto H, et al. Prognostic factors for survival after extended pancreatectomy for pancreatic head cancer: influence of resection margin status on survival [J]. *Pancreas*, 2009, 38(6): 605-612.
- [11] Lapshyn H, Schulte T, Sondermann S, et al. Radiological prediction of portal vein infiltration in patients with pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. *Pancreatology*, 2021, 21(1): 155-162.
- [12] Hamada Y, Nakayama Y. Aggressive venous invasion in the area of carcinoma correlates with liver metastasis as an index of metastasis for invasive ductal carcinoma of the pancreas [J]. *Pancreatology*, 2017, 17(6): 951-955.
- [13] Wang J, Lyu SC, Zhou L, et al. Prognostic analysis of pancreatic carcinoma with portal system invasion following curative resection [J]. *Gland Surg*, 2021, 10(1): 35-49.
- [14] Angeli E, Venturini M, Vanzulli A, et al. Color Doppler imaging in the assessment of vascular involvement by pancreatic carcinoma [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1997, 168(1): 193-197.
- [15] Ishida H, Konno K, Hamashima Y, et al. Assessment of resectability of pancreatic carcinoma by color Doppler sonography [J]. *Abdom Imaging*, 1999, 24(3): 295-298.
- [16] Sugiyama M, Hagi H, Atomi Y. Reappraisal of intraoperative ultrasonography for pancreatobiliary carcinomas: assessment of malignant portal venous invasion [J]. *Surgery*, 1999, 125(2): 160-165.
- [17] Kim M, Kang TW, Cha DI, et al. Prediction and clinical implications of portal vein/superior mesenteric vein invasion in patients with resected pancreatic head cancer: the significance of preoperative CT parameters [J]. *Clin Radiol*, 2018, 73(6): 564-573.
- [18] Phoa SS, Reeders JW, Stoker J, et al. CT criteria for venous invasion in patients with pancreatic head carcinoma [J]. *Br J Radiol*, 2000, 73 (875): 1159-1164.
- [19] Lu DS, Reber HA, Krasny RM, et al. Local staging of pancreatic cancer: criteria for unresectability of major vessels as revealed by pancreatic-phase, thin-section helical CT [J]. *AJR Am J Roentgenol*, 1997, 168(6): 1439-1443.
- [20] 李方元,张迎云,吴飞,等. MDCT能谱成像在胰腺癌术前分期的临床应用价值 [J]. *医学影像学杂志*, 2018, 28(10): 1691-1694.
Li FY, Zhang YY, Wu F, et al. Clinical application value of MDCT spectral imaging in preoperative staging of pancreatic cancer [J]. *Journal of Medical Imaging*, 2018, 28(10): 1691-1694.
- [21] 张蕴,苻志洁,赵婷婷,等. 64层螺旋CT血管造影对胰腺恶性肿瘤血管受侵与可切除性的评估价值 [J]. *中华医学杂志*, 2013, 19: 1450-1453.
Zhang Y, Jie ZJ, Zhao TT, et al. The value of 64-slice spiral CT angiography in evaluating vascular invasion and resectability of pancreatic malignant tumors [J]. *Chinese Medical Journal*, 2013, 19: 1450-1453.
- [22] 王冬青,曾蒙苏,靳大勇,等. 应用MRI评价胰腺癌胰周血管侵犯预测胰腺癌的可切除性 [J]. *中华肿瘤杂志*, 2007, 29(11): 846-849.
Wang DQ, Zeng MS, Jin DY, et al. Evaluation of peripancreatic vascular invasion of pancreatic cancer by MRI to predict the resectability of pancreatic cancer [J]. *Chinese Journal of Oncology*, 2007, 29(11): 846-849.
- [23] De Robertis R, Beleu A, Cardobi N, et al. Correlation of MR features and histogram-derived parameters with aggressiveness and outcomes after resection in pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. *Abdom Radiol (NY)*, 2020, 45(11): 3809-3818.
- [24] Fischer U, Vosschenrich R, Horstmann O, et al. Preoperative local MRI-staging of patients with a suspected pancreatic mass [J]. *Eur Radiol*, 2002, 12(2): 296-303.
- [25] 贾维,印隆林,季冰,等. ~(18)F-FDG PET/CT显像与增强CT评估胰腺癌分期、血管侵犯、远处转移和手术指征的比较 [J]. *中国普通外科杂志*, 2019, 28(3): 360-365.
Jia W, Yin LL, Ji B, et al. Comparison of ~(18) F-FDG PET/CT imaging and contrast-enhanced CT in evaluating pancreatic cancer staging, vascular invasion, distant metastasis and surgical indications [J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2019, 28(3): 360-365.
- [26] 梁夏宜,刘军杰,王奎. 胰腺导管腺癌的治疗研究进展 [J]. *中国普通外科杂志*, 2018, 27(9): 1173-1179.
Liang XY, Liu JJ, Wang D. Research progress of treatment for pancreatic ductal adenocarcinoma [J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2018, 27(9): 1173-1179.

- [27] Houghton JL, Zeglis BM, Abdel-Atti D, et al. Pretargeted immuno-PET of pancreatic cancer: overcoming circulating antigen and internalized antibody to reduce radiation doses[J]. *J Nucl Med*, 2016, 57(3): 453-459.
- [28] Heinrich S, Goerres GW, Schafer M, et al. Positron emission tomography/computed tomography influences on the management of resectable pancreatic cancer and its cost-effectiveness[J]. *Ann Surg*, 2005, 242(2): 235-243.
- [29] Delbeke D, Pinson CW. Pancreatic tumors: role of imaging in the diagnosis, staging, and treatment[J]. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*, 2004, 11(1): 4-10.
- [30] Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis[J]. *Eur J Cancer*, 2012, 48(4): 441-446.
- [31] Aerts HJ, Velazquez ER, Leijenaar RT, et al. Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach[J]. *Nat Commun*, 2014, 5: 4006.
- [32] Hwang IP, Park CM, Park SJ, et al. Persistent pure ground-glass nodules larger than 5 mm: differentiation of invasive pulmonary adenocarcinomas from preinvasive lesions or minimally invasive adenocarcinomas using texture analysis[J]. *Invest Radiol*, 2015, 50(11): 798-804.
- [33] Liu Z, Wang S, Dong D, et al. The applications of radiomics in precision diagnosis and treatment of oncology: opportunities and challenges[J]. *Theranostics*, 2019, 9(5): 1303-1322.
- [34] 杨采薇, 蒋涵羽, 刘曦娇, 等. 影像组学在胰腺肿瘤病变影像学评估中的研究进展[J]. *放射学实践*, 2019, 34(9): 963-968.
Yang CW, Jiang HY, Liu XJ, et al. Research progress of radiomics in imaging assessment of pancreatic tumor lesions[J]. *Radiology Practice*, 2019, 34(9): 963-968.
- [35] Koay EJ, Lee Y, Cristini V, et al. A visually apparent and quantifiable ct imaging feature identifies biophysical subtypes of pancreatic ductal adenocarcinoma[J]. *Clin Cancer Res*, 2018, 24(23): 5883-5894.
- [36] Du D, Feng H, Lü W, et al. Machine learning methods for optimal radiomics-based differentiation between recurrence and inflammation: application to nasopharyngeal carcinoma post-therapy PET/CT images[J]. *Mol Imaging Biol*, 2020, 22(3): 730-738.
- [37] Rigioli F, Hoyer J, Lerebours R, et al. CT radiomic features of superior mesenteric artery involvement in pancreatic ductal adenocarcinoma: a pilot study[J]. *Radiology*, 2021, 301(3): 610-622.
- [38] Chen F, Zhou Y, Qi X, et al. CT texture analysis for the presurgical prediction of superior mesenteric-portal vein invasion in pancreatic ductal adenocarcinoma: comparison with CT imaging features[J]. *Clin Radiol*, 2021, 76(5): 358-366.
- [39] Eilaghi A, Baig S, Zhang Y, et al. CT texture features are associated with overall survival in pancreatic ductal adenocarcinoma-a quantitative analysis[J]. *BMC Med Imaging*, 2017, 17(1): 38.

(编辑:谭斯允)