

基于心脏 CT 成像的影像组学在心脏疾病中的应用及进展

张新伟, 吴月, 栗岩, 李杉, 邢艳

【摘要】 随着影像组学的发展,其在心脏领域的研究也不断增多,许多最新的研究表明影像组学模型在心血管疾病的诊断、风险预测等方面展现出诸多价值,并优于传统影像特征模型。在精准医疗背景下,影像组学的应用为患者接受更个性化的治疗提供了理论依据。本文基于心脏 CT 成像的影像组学在心脏疾病中的临床应用及研究进展进行综述,探讨目前的不足及未来的发展方向。

【关键词】 影像组学;体层摄影术,X 线计算机;心脏病;冠心病;冠状动脉粥样硬化

【中图分类号】 R814.42;R541;R-05 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2024)02-0278-05

DOI:10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.02.022

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



冠心病(coronary heart disease, CHD)是指冠状动脉粥样硬化导致冠状动脉管腔狭窄、闭塞的疾病^[1],冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)作为一种非侵入性的检查手段,目前广泛应用于 CHD 的筛查^[2]。临床工作中,尽管后处理软件可以在一定程度上帮助判断冠状动脉狭窄程度、斑块成分等,但最终诊断仍然依靠临床医生的主观经验。随着多学科交叉发展,Lambin 等^[3]于 2012 年提出影像组学的概念,影像组学方法可以通过计算机提取数千种肉眼无法观察的特征信息,最终建立患者影像组学模型。在精准医疗的背景下,影像组学诸多特征无疑为临床决策提供了有力的证据,建立起了一座医学影像与临床的桥梁^[4]。心脏疾病包括缺血性心肌病(ischemic cardiomyopathy, ICM)、非缺血性心肌病及心脏其他病变,目前心脏 CT 影像组学在上述疾病的应用主要是围绕冠状动脉斑块、冠状动脉周围脂肪组织(pericoronary adipose tissue, PCAT)及心肌组织展开的,本文就影像组学在心脏 CT 成像的临床应用及研究进展进行综述。

缺血性心肌病

1. 缺血性心肌病的诊断

缺血性心肌病是冠心病的晚期阶段或特殊类型,评价心肌缺血的金标准为有创血流储备分数(fractional flow reserve, FFR)^[5],随着影像组学研究兴起,研究者尝试从更多角度去寻找能够诊断心肌缺血的新手段。冠状动脉周围脂肪(pericoronary adipose tis-

sue, PCAT)是有特殊功能的脂肪组织聚集物,毗邻血管外膜,病理条件下,PCAT 分泌诸多炎症因子,在动脉粥样硬化进展中发挥重要作用^[6],根据这一病理基础,研究者尝试探究 PCAT 影像组学模型能否预测心肌缺血。Wen 等^[7]纳入 92 名疑似冠心病行冠状动脉 CT 血管成像(coronary computed tomography angiography, CCTA)、有创冠状动脉造影(invasive coronary angiography, ICA)和 FFR 的患者,提取 PCAT 影像组学特征,以 FFR 结果为金标准,结果显示 PCAT 影像组学模型与传统指标(管腔狭窄率等)诊断缺血性病变效果相似,但联合模型诊断效果优于单独应用管腔狭窄率(AUC: 0.81 vs. 0.60)。徐子良等^[8]和 Feng 等^[9]得出和上述研究不同的结论,认为 PCAT 影像组学模型预测心肌缺血优于管腔狭窄率(AUC: 0.82 vs. 0.72)。Yu 等^[10]的研究认为 PCAT 影像组学模型与 CT-FFR 模型诊断心肌缺血性能一致(AUC: 0.80 vs. 0.77)。上述研究提示 PCAT 影像组学模型能够在一定程度上预测心肌缺血,但是该模型是否优于管腔狭窄率及 CT-FFR 等指标存在争议,未来尚需进一步验证。

除了 PCAT 影像组学模型,对导致心肌缺血的罪犯病变直接进行影像组学分析和对梗死心肌组织进行纹理分析也能够诊断心肌缺血,Mannil 等^[11]纳入了急性心肌梗死患者,用不同算法建模,结果提示纹理分析能很好地区分缺血的心肌组织(AUC=0.78),同时纹理分析能够识别人眼所不能识别的病变。Hu 等^[11]提取罪犯病变的影像组学特征,以 FFR 结果为金标准,结果提示罪犯病变影像组学模型对比传统模型,区分缺血性病变和非缺血性病变能力更强(AUC: 0.67 vs. 0.59)。由此可见,基于 CT 的影像组学在心肌缺血的诊断过程中提供了重要价值,为心肌疾病的无创

作者单位:830011 乌鲁木齐,新疆医科大学第一附属医院影像中心

作者简介:张新伟(1998-),男,新疆乌鲁木齐人,硕士研究生,主要从事医学影像学研究。

通讯作者:邢艳, E-mail: xingyanzwb@sina.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(82160334)

检查提供了一种新的方法。

2. 缺血性心肌病的风险预测

冠心病的病变基础是冠状动脉斑块,高危斑块(high-risk plaque, HRP)破裂会引起严重的心血管不良事件事件^[13](major adverse cardiovascular event, MACE),一些冠心病患者冠脉管腔未见明显狭窄,但存在 HRP,依然有潜在的 MACE 风险^[14,15],所以准确地识别高危斑块,对 CHD 患者的危险分层及风险预测起决定性的作用。Kolossváry 等^[16]纳入了 30 名有“餐巾环征”的患者,提取斑块的影像组学特征,结果显示 20.6%的影像组学特征对识别“餐巾环征”有良好的效能,远超传统影像学特征(平均 AUC: 0.80 vs. 0.625),结果还表明高阶特征比一阶特征有更好的预测价值。Chen 等^[17]和 Kolossváry 等^[18,19]的其他研究也表明基于 CCTA 的影像组学特征能很好地诊断冠状动脉粥样硬化和高危斑块。Lin 等^[20]从另一角度进行了罪犯斑块的研究,提取了急性心肌梗死患者中罪犯斑块的影像组学特征,通过不同的机器学习算法建模,结果显示传统影像学模型联合影像组学特征时,诊断罪犯斑块的能力得到了提升(AUC 值由 0.76 上升至 0.86),其中最具有诊断价值的是高阶影像组学特征(纹理特征和几何特征),这和 Kolossváry 等^[18,19]的研究结果相同。Kwiecinski 等^[21]的研究提示罪犯斑块影像组学特征是预测心肌梗死的独立因素。上述研究提示影像组学特征能更精准地识别冠状动脉斑块,与传统影像学特征相互补充,这进一步提升了 CCTA 诊断高危及罪犯斑块的价值,改善了冠心病风险分层的能力,给临床提供更多的信息。

PCAT 在病理基础上与冠脉炎症相关,所以为了验证 PCAT 影像组学特征能否预测 MACE, Oikonomou 等^[22]开发了脂肪影像组学(fat radiomic profile, FRP)模型,筛选出 MACE 患者的 PCAT 高危影像组学特征,结果显示 FRP 为 MACE 独立的预测因子,预测能力超过传统危险因素。Kotaniadis 等^[23]进一步用 FRP 模型评估了冠状动脉钙化积分 ≤ 100 的低危患者,进一步验证了 PCAT 影像组学模型发现潜在 MACE 的能力。Si 等^[24]和 Lin 等^[25]的研究同样证实 PCAT 影像组学模型预测 MACE 能力优于冠脉周围脂肪衰减指数(fat attenuation index, FAI)及传统模型。Shang 等^[26]研究显示罪犯斑块的 PCAT 影像组学模型诊断急性冠脉综合征(acute coronary syndrome, ACS)效果良好(AUC 为 0.84)。上述研究展示了影像组学在 PCAT 领域预测 MACE 的能力,为冠心病患者提供了更准确的危险分层,需要指出的是,上述实验 PCAT 影像组学特征的提取标准并不统一,但是结果均提示基于 PCAT 的影像组学模型预测

MACE 能力更强,将该技术广泛应用于临床,能早期发现潜在 MACE 风险,使高危患者能更早得到临床治疗,减少晚期并发症及痛苦。

3. 缺血性心肌病的疗效评估

Antonopoulos 等^[27]基于 CCTA 开发了 FAI,该研究指出 PCAT 的 CT 值是反映冠状动脉炎症的生物标记物,FAI 数值与冠状动脉炎症相关,后续多项研究^[28-30]说明在在他汀类药物治疗冠心病或生物制剂治疗中重度银屑病病时,FAI 数值会降低,意味着治疗后冠状动脉炎症减轻,FAI 的测定来源于 PCAT。所以有研究^[22]尝试探究 PCAT 影像组学特征能否评估冠心病的治疗疗效,但在患者发生急性心肌梗死 6 个月后复查 CCTA,提取 PCAT 影像组学特征后,发现特征并未产生明显变化,这提示 PCAT 影像组学特征是否能反应冠心病疗效尚不确定,一方面可能影像组学特征在冠脉炎症发生后是恒定不变的,另一方面可能研究者们随访时间不足或因为技术原因未能观察到这种变化。使用 PCAT 影像组学特征随访治疗疗效是一种很好的思路,但目前尚未证实它的价值。

非缺血性心肌病

目前对非缺血性心肌病的研究主要依靠 MRI 和超声检查,CT 影像组学在非缺血性心肌病中有一定应用,但是应用范围较窄,主要应用于非缺血性心肌病的诊断,对于该类疾病的风险预测和疗效评估鲜有报道。患者存在心肌炎、肥厚性心肌病等疾病时,纹理分析能发现病变心肌与正常心肌的影像组学特征差异。Kay 等^[31]在肥厚性心肌病患者的 CT 平扫图像中提取左心室心肌的影像组学特征建模,结果显示影像组学模型诊断左室肥厚的 AUC 达 0.73~0.76。Qin 等^[32]同样纳入肥厚性心肌病患者,在 CCTA 图像中提取左心室影像组学特征,结果同样显示左心室的影像组学模型能很好诊断肥厚性心肌病,尤其是伴心肌纤维化时诊断效果最好(AUC=0.94),这有助于更好地判断疾病严重程度。影像组学在心肌组织的应用可以帮助患者行 CCTA 后得到“一站式”全面的评估。

部分研究者也指出了影像组学在非缺血性心肌病应用中的新方向。房颤患者存在普遍的心肌纤维化和变性,从而心肌收缩功能障碍,导致血栓形成,影响预后,田欣等^[33]分割出左心房与左心耳之间的心肌组织,成功用 Lasso 法提取影像组学特征,提供了一种影像组学分析思路,未来有待于进一步对房颤患者的预后进行评估。苏铭等^[34]在 CCTA 扫描中使用心电门控 4D 强化扫描技术,提取了左心室心肌组织在 20 个时相内的影像组学特征,找到随心动周期变化而变化的特征,这可能和心肌内毛细血管压力不同有关,证明

了影像组学特征动态观察左心室灌注、评估左心室心肌功能的可行性。这些研究从不同的角度指出影像组学在非缺血性心肌病的应用前景,可能会对疾病的诊断、风险预测、治疗起到一定作用,但是多数研究都停留于起步阶段,未来有待于深入探索。

其他病变

心脏病变除了缺血性心肌病和非缺血性心肌病,还包括一些其他病变,如心脏肿瘤、心内血栓、循环淤血等,影像组学在上述疾病的诊断中发挥了较大价值。血栓和心脏循环淤血均可导致脑卒中的发生,对二者进行鉴别诊断,明确病因并对症治疗,对围手术期预防并发症的预防有重要意义,普通 CCTA 可以较好地诊断左心耳血栓,但一般要进行双对比剂(早期、晚期)的扫描,患者接受辐射较多。Chun 等^[35]在 CCTA 图像中提取充盈缺损部位的影像组学特征,筛选出诊断血栓的 wavelet_LHL 特征,结果显示影像组学模型能很好地鉴别左心耳血栓和体循环淤血(AUC 为 0.78),与医生主观诊断准确率相似,并且避免了额外辐射。Qian 等^[36]用影像组学模型鉴别心脏粘液瘤和心脏血栓,结果显示 AUC 约为 0.95,超过医师主观诊断的能力。Ebrahimian 等^[37]提取影像组学特征区分心脏血栓和混合伪影,虽然二者的 CT 值存在较大差异,再结合影像医生的临床经验,不难对疾病做出鉴别诊断(AUC=0.80),但影像组学模型仍然展现了更高的诊断准确率(AUC=0.85)。上述研究提示影像组学对于心内病变的区分有较大价值,应用于临床诊断时,有助于降低患者误诊率,降低患者检查的辐射剂量。

不足与展望

1. 图像数据的标准化

影像组学特征提取缺乏严格的标准化流程,对于同一病灶,因为机器不同、扫描协议不同、对比剂剂量不同,得到的图像数据也不同。有研究指出^[38],专家与非专家之间图像分割存在差异,与软件自动勾画的病灶相比,图像差异更大。人员培训缺乏标准化,自动分割的准确性不足等问题,会影响影像组学的普适性和重复性,未来更为先进的机器分割算法可能会解决这一现象^[39],因为计算机总会得出相同的结论。Ibrahim 等^[40,41]初步尝试建立影像定量测量评分,揭示定量参数对成像的影响,如机型、管电流、曝光时间等,也可能解决图像参数不同导致组学特征不一致的问题,但这一方法有待在长久的实践中进一步验证。

2. 多中心、多学科合作

目前影像组学在 CCTA 中的应用多局限于单中心、小样本、回顾性研究,缺乏长期随访的研究队列,未

来有待于多个中心联合,进行长队列的前瞻性研究,进行外部验证,进一步证明影像组学在心脏领域的作用。计算机领域的繁荣同时推动影像组学的发展,但带来的是知识壁垒的增加,这就更需要不同专业人士的紧密配合,互相协作,填补不熟悉领域的空白,使多学科交叉发展成为趋势,最终使患者受益。

3. 影像组学在平扫中的应用

有研究^[42]指出基于 CT 平扫的 PCAT 影像组学征象能提示非钙化斑块的存在,特别是对于对比剂过敏或肾功能不全的患者,平扫对于心脏疾病的诊断是一种优势,如该技术能应用于心脏疾病初筛,使患者早于 CCTA 行 CT 平扫检查,患者受到的辐射剂量会更少,同时又节约公共医疗资源,从这个角度看来,影像组学在心脏 CT 平扫中有广阔的应用前景,值得继续探索。

4. 人工智能与影像组学的联系

机器学习作为人工智能的核心技术,在影像组学领域展现了巨大潜力,研究者借助机器学习作为计算工具,完成图像分割、回归、建模等任务,减轻了图像处理的工作量,同时减少了人为主观因素的干扰,增加客观性和可靠性。深度学习技术的发展,也为影像组学模型的建立提供了一种新手段,部分研究者^[43,44]将深度学习算法(如卷积神经网络)应用在上述步骤中,降低了对图像分割的精准度要求,影像组学模型的诊断性能也得到了较大提升。目前,机器学习已经成为医学影像学分析的主要工具,为影像组学的研究提供了诸多便利,值得广泛推广。

总之,影像组学在心脏 CT 成像中的临床应用已涉及许多方面,尤其是在冠心病领域具有重要价值,超过了以往对疾病的传统认知。虽然目前影像组学技术仍存在一定不足,但随着计算机领域和医学影像领域的发展,两者相辅相成,一定会让影像组学技术得以高质量发展,使医生能更准确地诊断、预测、评估患者疾病,使患者能得到更精准的治疗。

参考文献:

- [1] 中国心血管病风险评估和管理指南编写联合委员会.中国心血管病风险评估和管理指南[J].中国循环杂志,2019,34(1):4-28.
- [2] 张晓浩,刘军波,范丽娟.人工智能技术应用于冠状动脉 CTA 图像后处理的可行性[J].放射学实践,2021,36(8):994-999.
- [3] 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.
- [4] Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine[J]. Nat Rev Clin Oncol, 2017, 14(12): 749-762.
- [5] Chen J, Wetzel LH, Pope KL, et al. FFRCT: Current status[J]. Am J Roentgenol, 2021, 216(3): 640-648.
- [6] 韩婷婷,穆玥,洪叶,等.冠状动脉周围脂肪组织与动脉粥样硬化的

- 关系:生物学到影像学进展[J].放射学实践,2021,36(5):684-688.
- [7] Wen D, Xu Z, An R, et al. Predicting haemodynamic significance of coronary stenosis with radiomics-based pericoronary adipose tissue characteristics[J]. Clin Radiol, 2022, 77(2): e154-e161.
 - [8] 徐子良, 文娣娣, 赵宏亮, 等. 基于冠状动脉周围脂肪组织影像组学特征及神经网络模型预测冠状动脉狭窄血流动力学严重程度[J]. 国际医学放射学杂志, 2021, 44(5): 511-515.
 - [9] Feng Y, Xu Z, Zhang L, et al. Machine-learning-derived radiomics signature of pericoronary tissue in coronary CT angiography associates with functional ischemia[J]. Front Physiol, 2022; 2063.
 - [10] Yu L, Chen X, Ling R, et al. Radiomics features of pericoronary adipose tissue improve CT-FFR performance in predicting hemodynamically significant coronary artery stenosis[J]. Eur Radiol, 2022; 1-11.
 - [11] Mannil M, von Spiczak J, Manka R, et al. Texture analysis and machine learning for detecting myocardial infarction in noncontrast low-dose computed tomography: unveiling the invisible[J]. Invest Radiol, 2018, 53(6): 338-343.
 - [12] Hu W, Wu X, Dong D, et al. Novel radiomics features from CCTA images for the functional evaluation of significant ischaemic lesions based on the coronary fractional flow reserve score[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2020, 36: 2039-2050.
 - [13] 中国医师协会放射医师分会. 冠状动脉 CT 血管成像斑块分析和应用中国专家建议[J]. 中华放射学杂志, 2022, 56(6): 595-607.
 - [14] Dawson LP, Layland J. High-risk coronary plaque features: a narrative review[J]. Cardiol Ther, 2022, 11(3): 319-335.
 - [15] Ferraro RA, van Rosendael AR, Lu Y, et al. Non-obstructive high-risk plaques increase the risk of future culprit lesions comparable to obstructive plaques without high-risk features: the I-CONIC study[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2020, 21(9): 973-980.
 - [16] Kolossváry M, Karády J, Szilveszter B, et al. Radiomic features are superior to conventional quantitative computed tomographic metrics to identify coronary plaques with napkin-ring sign[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2017, 10(12): e006843.
 - [17] Chen Q, Pan T, Yin X, et al. CT texture analysis of vulnerable plaques on optical coherence tomography[J]. Eur J Radiol, 2021, 136: 109551.
 - [18] Kolossváry M, Park J, Bang JJ, et al. Identification of invasive and radionuclide imaging markers of coronary plaque vulnerability using radiomic analysis of coronary computed tomography angiography[J]. Eur Heart J Cardiovasc Imaging, 2019, 20(11): 1250-1258.
 - [19] Kolossváry M, Karády J, Kikuchi Y, et al. Radiomics versus visual and histogram-based assessment to identify atheromatous lesions at coronary CT angiography: an ex vivo study[J]. Radiology, 2019, 293(1): 89-96.
 - [20] Lin A, Kolossváry M, Cadet S, et al. Radiomics-based precision phenotyping identifies unstable coronary plaques from computed tomography angiography[J]. Cardiovasc Imaging, 2022, 15(5): 859-871.
 - [21] Kwiecinski J, Kolossvary M, Tzolos E, et al. ¹⁸F-sodium fluoride positron emission tomography and coronary plaque radiomics derived from computed tomography angiography for prediction of myocardial infarction[J]. Eur Heart J, 2022, 43 (Suppl 2): eha544.212.
 - [22] Oikonomou EK, Williams MC, Kotanidis CP, et al. A novel machine learning-derived radiotranscriptomic signature of perivascular fat improves cardiac risk prediction using coronary CT angiography[J]. Eur Heart J, 2019, 40(43): 3529-3543.
 - [23] Kotanidis CP, Oikonomou EK, Williams MC, et al. Pericoronary fat radiomic profile (FRP) predicts long-term cardiac risk in individuals with calcium score below 100 on coronary computed tomography angiography[J]. Eur Heart J, 2020, 41 (Suppl 2): ehaa946.0181.
 - [24] Si N, Shi K, Li N, et al. Identification of patients with acute myocardial infarction based on coronary CT angiography: the value of pericoronary adipose tissue radiomics[J]. Eur Radiol, 2022; 1-10.
 - [25] Lin A, Kolossváry M, Yuvaraj J, et al. Myocardial infarction associates with a distinct pericoronary adipose tissue radiomic phenotype: a prospective case-control study[J]. Cardiovasc Imaging, 2020, 13(11): 2371-2383.
 - [26] Shang J, Ma S, Guo Y, et al. Prediction of acute coronary syndrome within 3 years using radiomics signature of pericoronary adipose tissue based on coronary computed tomography angiography[J]. Eur Radiol, 2022, 32(2): 1256-1266.
 - [27] Antonopoulos AS, Sanna F, Sabharwal N, et al. Detecting human coronary inflammation by imaging perivascular fat[J]. Sci Transl Med, 2017, 9(398): eaal2658.
 - [28] Dai X, Yu L, Lu Z, et al. Serial change of perivascular fat attenuation index after statin treatment: Insights from a coronary CT angiography follow-up study[J]. Int J Cardiol, 2020, 319: 144-149.
 - [29] Elnabawi YA, Oikonomou EK, Dey AK, et al. Association of biologic therapy with coronary inflammation in patients with psoriasis as assessed by perivascular fat attenuation index[J]. JAMA Cardiol, 2019, 4(9): 885-891.
 - [30] Piros ÉA, Szilveszter B, Vattay B, et al. Novel anti-inflammatory therapies to reduce cardiovascular burden of psoriasis[J]. Dermatol Ther, 2021, 34(1): e14721.
 - [31] Kay FU, Abbata S, Joshi PH, et al. Identification of high-risk left ventricular hypertrophy on calcium scoring cardiac computed tomography scans: validation in the DHS[J]. Circ Cardiovasc Imaging, 2020, 13(2): e009678.
 - [32] Qin L, Chen C, Gu S, et al. A radiomic approach to predict myocardial fibrosis on coronary CT angiography in hypertrophic cardiomyopathy[J]. Int J Cardiol, 2021, 337: 113-118.
 - [33] 田欣, 朱芳华, 宋鹏, 等. 影像组学对房颤患者左心房与左心耳连接处心肌的特征分析[J]. 河北医药, 2020, 42(11): 1716-1718, 1722.
 - [34] 苏铭, 尹勇, 韩柱君, 等. 左心室肌 CT 影像组学特征在心跳周期中动态变化的量化分析[J]. 中华放射医学与防护杂志, 2020, 40(8): 636-641.
 - [35] Chun SH, Suh YJ, Han K, et al. Differentiation of left atrial appendage thrombus from circulatory stasis using cardiac CT radiomics in patients with valvular heart disease[J]. Eur Radiol, 2021, 31(2): 1130-1139.
 - [36] Qian W, Jiang Y, Liu X, et al. Distinguishing cardiac myxomas from cardiac thrombi by a radiomics signature based on cardio-

- vascular contrast-enhanced computed tomography images[J]. BMC Cardiovasc Disord, 2021, 21(1):1-10.
- [37] Ebrahimian S, Digumarthy SR, Homayounieh F, et al. Use of radiomics to differentiate left atrial appendage thrombi and mixing artifacts on single-phase CT angiography[J]. Int J Cardiovasc Imaging, 2021, 37(6):2071-2078.
- [38] Kolossváry M, Jávorszky N, Karády J, et al. Effect of vessel wall segmentation on volumetric and radiomic parameters of coronary plaques with adverse characteristics[J]. J Cardiovasc Comput Tomogr, 2021, 15(2):137-145.
- [39] Chen C, Qin C, Qiu H, et al. Deep learning for cardiac image segmentation: A review[J]. Front Cardiovasc Med, 2020, 7:25.
- [40] Ibrahim A, Barufaldi B, Refaee T, et al. MaasPenn radiomics reproducibility score: a novel quantitative measure for evaluating the reproducibility of CT-based handcrafted radiomic features [J]. Cancers, 2022, 14(7):1599.
- [41] Ibrahim A, Primakov S, Beuque M, et al. Radiomics for precision medicine: current challenges, future prospects, and the proposal of a new framework[J]. Methods, 2021, 188:20-29.
- [42] 陶青, 王胜, 徐峰, 等. 基于 CT 平扫冠状动脉周围脂肪影像组学诊断非钙化斑块的可行性[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(7):458-463.
- [43] Wu W, Liao S, Lu Z. White blood cells image classification based on radiomics and deep learning [J]. IEEE Access, 2022, 10: 124036-124052.
- [44] Tian Y, Komolafe TE, Zheng J, et al. Assessing PD-L1 expression level via preoperative MRI in HCC based on integrating deep learning and Radiomics features[J]. Diagnostics, 2021, 11(10): 1875.

(收稿日期:2022-12-07 修回日期:2023-08-02)

《放射学实践》杂志微信公众平台开通啦!

遵照同行评议、价值导向、等效应用原则,国内各大学会、协会、组织机构通过科技工作者推荐、专家评议、结果公示等规定程序,《放射学实践》杂志入选中国科协发布 10 大领域《我国高质量科技期刊分级目录》业内认可的较高水平期刊。《放射学实践》杂志入选 2020 年版北京大学和北京高校图书馆期刊工作研究会共同主持的国家社会科学基金项目“学术期刊评价及文献计量学研究”研究成果——《中国核心期刊要目总览》。

《放射学实践》杂志微信公众平台立足于准确地传递医学影像领域的最新信息,致力于为关注医学影像领域的广大人士服务。欢迎大家通过微信平台,以文字、图片、音频和视频等形式与我们互动,分享交流最新的医学影像资讯。您还可以通过微信平台免费阅读及搜索本刊所有发表过的论文,投稿作者可以查询稿件状态等。

您可以通过以下方式关注《放射学实践》杂志微信公众平台:

1. 打开微信,通过“添加朋友”,在搜索栏里直接输入“放射学实践”进行搜索。
2. 在“查找微信公众号”栏里输入“放射学实践”即可找到微信公众号,点击“关注”,添加到通讯录。
3. 打开微信,点击“扫一扫”,手机镜头对准下面的二维码,扫出后点击关注即可。



关注有惊喜!