

RSNA2022 胸部影像学

唐媛媛, 谢开, 孙希子, 周文, 陈冲, 赵廷洁, 周舒畅, 夏黎明

【摘要】 2022 年 RSNA 年会的主题是“赋能以人为本”, 强调从患者的角度出发, 医患携手共同改善健康问题。新型冠状病毒肺炎(COVID-19)、人工智能和深度学习依然是今年的研究热点, 肺结节、肺癌、慢性阻塞性肺疾病和间质性肺疾病等常见病依然占据着主要地位, 胸部 MRI 和能量 CT 等成像新技术在临床中的应用也逐渐增多。本文针对上述内容进行较全面的综述。

【关键词】 新型冠状病毒肺炎; 人工智能; 深度学习; 慢性阻塞性肺疾病; 间质性肺疾病; 肺癌筛查; 磁共振成像; 能量 CT

【中图分类号】 R-05; R814.42; R816.4 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2023)03-0242-09

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2023.03.001

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



2022 年第 108 届北美放射学会(Radiological Society of North America, RSNA)年会于 2022 年 11 月 27 日至 12 月 1 日在美国芝加哥举行, 主题为“赋能以人为本”(Empowering Patients and Partners in Care), 强调从患者的角度出发, 医患携手共同改善健康问题。在胸部影像学方面, 2022 年 RSNA 年会主要聚焦于: ①人工智能/深度学习及影像组学在新型冠状病毒肺炎(COVID-19)、肺结节、肺癌、慢性阻塞性肺疾病和间质性肺疾病等常见病中的应用; ②胸部 MRI 和能量 CT 等成像新技术的额外临床应用价值。本文针对上述内容进行较全面的综述。

新型冠状病毒肺炎

Sahn 等纳入了 6355 例胸部 CT 图像验证 COVID-19 报告和数据库(CO-RADS)在预测胸部 CT 中存在 COVID-19 的可行性及诊断效能, 其中确诊的 COVID-19 患者 1286 例, 结果显示 AUC 为 0.859 (0.844~0.874), 提示 CO-RADS 能对胸部 CT 诊断 COVID-19 提供可靠的结果。未来的病毒突变可能会使快速抗原测试无效, 而 CO-RADS 的广泛使用或许能填补这一空缺, 但不同变异株引起的 COVID-19 表现可能略有不同, 需要临床及放射科医生共同加强认知和识别。Inui 等回顾性纳入了 392 例 COVID-19 患者, 其中包含野生型 118 例、Alpha 变异株 137 例及 Delta 变异株 137 例, 发现其影像学表现均以磨玻璃影(GGO)伴实变和修复性改变最常见, 而 Delta 变异株

的肺炎早期进展可能比其他两种更迅速和严重。Lee 等发现在 CT 严重程度相当的住院患者中, 相对于 Delta 变异株, Omicron 变异株以非典型 COVID-19 CT 表现和更少的肺血管受累为特征。肺移植患者(LTR)的 COVID-19 CT 表现与普通人群也存在差别, Altmayer 等发现在 LTR 中以实变最常见, 其次是 GGO 混合实变, 而普通人群中以 GGO 占优势。

COVID-19 患者的随访 CT 结构异常可持续存在, 但大多随时间推移而改善, 且与肺功能之间存在相关性。Rodriguez 等发现膜弥散量(DMCO)与肺毛细血管血容量(V_c)的比值是 COVID-19 患者随访 CT 上发现磨玻璃影最相关的功能参数。Yokoo 等对轻至重度 COVID-19 幸存者的随访胸部 CT 和肺功能试验结果进行了回顾性研究, 结果显示 33%(33/101)的患者有持续症状, 恢复期胸部 CT 中存在网状影、支气管扩张和结构扭曲以及肺异常程度与肺功能损害有关。Mercanzin 等前瞻性分析了 71 例重症 COVID-19 患者探究出院后 3~12 个月的病情演变以及功能检查和影像学检查结果之间的关系, 发现大部分出院后 12 个月肺功能正常, 受损肺体积较出院后 3 个月也明显缩小(12.3% vs. 14.4%, $P < 0.001$), 此外胸部 CT 结构异常持续存在与 D-二聚体值较高相关。Remy-Jardin 等收集 79 例初次感染 COVID-19 后 6 个月以上仍有症状并进行了双能 CT(dual-source CT, DECT)血管造影检查的患者, 发现 69 例存在肺灌注异常, 且一氧化碳弥散量(DLCO)与灌注正常者相比有降低趋势(74.8%±16.7% vs. 85.0%±8.1%), 提示了 COVID-19 患者急性期广泛微血管病未解决或后遗症的存在。

胸部影像学检查对 COVID-19 患者的预后评估也提供了附加价值。Hosch 等使用全自动人体成分分

作者单位: 430030 武汉, 华中科技大学同济医学院附属同济医院放射科

作者简介: 唐媛媛(1998-), 女, 四川资阳人, 硕士研究生, 主要从事胸部及心血管影像诊断工作。

通讯作者: 夏黎明, E-mail: xialiming2017@outlook.com

析深度学习网络处理 CT 胸部扫描结果,提取多个脂肪组织、肌肉和骨体积并组合成生物标志物,分析其与 COVID-19 患者的疾病严重程度和死亡率之间的关系,多因素 logistic 回归分析显示肌肉减少症标志物较低和心肌标志物较高的患者发生严重疾病或死亡的风险较高。Boulogne 等发现 CORADS-AI 系统除了常规用于 COVID-19 感染存在和严重程度的自动评分以外,也能基于 CT 图像预测 COVID-19 阳性患者一个月后的死亡或插管的可能。Monti 等基于增强 CT 检查回顾性分析了 94 例 COVID-19 患者的心肌细胞外容积(ECV),其中 28 例合并肺栓塞(PE),发现合并 PE 的患者 ECV 中位数显著高于无 PE 的患者(34%, IQR 29%~38% vs. 30%, IQR 25%~34%; $P=0.010$),提示 CT 获取的心肌 ECV 值可作为 COVID-19 患者心血管受累的生物标志物,可能与 PE 继发肺动脉高压导致的心室超负荷有关。

Stanco 等评估了急诊入院时胸部 X 线(chest X-ray, CXR)、序贯器官衰竭估计评分(SOFA)和无创通气(NIV)对经机械通气的 COVID-19 患者发生气压伤的预测价值并探讨气压伤在胸部 CT 上的分布特点, CXR 由 1 名有经验的放射科医师采用 Brixia 评分进行评估。结果显示,气压伤组较非气压伤组 Brixia 评分更高(12.05 vs. 9.38, $P=0.0041$)、NIV 时间更长(4.20 d vs. 2.75 d, $P=0.0075$)。Brixia 评分、SOFA 评分和 NIV 天数是预测气压伤发生的最佳模型。Ekenel 等使用实验室构建的分割和后处理算法对胸部 CT 图像进行了肺血管和气道的光密度分析及气道弯曲度分析,发现急性 COVID-19 后综合征患者的第 3~6 级支气管气道半径减少($>4\%$),提示其发生可能与肺气道和血管的解剖结构有关,这可能对急性 COVID-19 后综合征的早期预测具有重要作用。

Vicini 等评估了疫苗接种对 COVID-19 发病率和严重程度的影响,并比较了 mRNA 和腺病毒载体疫苗的效果,该研究回顾性纳入了 467 名 COVID-19 患者,其中 216 名未接种疫苗,215 例完全接种,发现与未接种疫苗的患者相比,完全接种了 mRNA 或腺病毒载体疫苗并感染的患者往往显示出较低的 COVID-19 发生率且肺实质改变相对较轻。同时,疫苗接种状态是 COVID-19 患者入住 ICU 病房的重要预测因素。Rizzetto 等也得出了类似的结论,发现与未接种疫苗的患者相比,COVID-19 疫苗接种周期完整的患者影像学表现相对较轻。

人工智能/深度学习和影像组学

人工智能的应用逐步落脚于临床,旨在提升医师的工作效率及诊断效能。Lure 等开发了一种集成

Mask R-CNN 深度学习和决策融合网络的多任务、最优推荐和最大预测分类和分割(MOM ClaSeg)模型,该模型可自动检测出 CXR 中 65 种不同异常并通过交叉梯度增强决策树生成具有最佳推荐的多病种检测报告,与单病种检测结果进行比较,新模型的敏感度从 75.3% 提高到 90.3%,并将每幅图像的假阳性率从 0.64 降低到 0.28,有助于提高放射科医师的诊断准确性和效率。Yoon 等采用半监督法开发了一种基于 U-net、用于自动诊断胸部异常(实变和气胸)的深度学习算法,发现对于实变/气胸病例,该模型的 Dice 系数、Dice 校正的敏感度、特异度和 ROC-AUC 分别达到了 0.691/0.798、0.933/0.956、0.948/0.996 和 0.960/0.978,提示该模型对 CXR 实变和气胸检出具有较高的诊断性能和像素级分割分数。

近年来的大多数研究都集中在开发新的方法来提高深度学习模型的准确性,然而大多数模型缺乏预测结果可靠程度的评价。Faghani 等使用深度证据学习(EDL)来量化深度学习模型的不确定性,通过用 Dirichlet 密度分布参数替换 softmax 函数,实现模型在学习识别训练期间对性能有效贡献数据实例的同时,提供不确定性估计,在测试集中,EDL 模型为普通和典型 COVID-19 胸部 X 线片提供的不确定性评分中位数分别为 0.25 和 0.07,与正确分类样本相比,错误分类样本具有更高的不确定性水平,证明了 EDL 在疾病检测中的适用性。

Brendlin 等采用加权滤波反投影(wFBP)、迭代重建(ADMIRE 2)和人工智能(AI)去噪(PixelShine)重建了 100 例连续的小儿胸部超低剂量 CT(ultra-low-dose CT, ULDC)图像,发现 PixelShine 的图像噪声最低且主观图像质量最高,在评分者之间的一致性良好,诊断时间也最短,提示 AI 去噪能够显著提高儿童胸部 ULDC 的图像质量,而不影响诊断置信度,并减少了诊断时间。

Guo 等基于 two-stage 目标检测算法开发了一个深度学习系统,可用于检测胸部 CT 中增大的淋巴结(LN)并根据检测结果将其分为需随访 LN、无需随访 LN(如有坏死、钙化和短轴直径小于 1 cm),以及非 LN 三类,再手动添加未检测到的 LN。该算法在未过滤疾病的随机内部 CT、食管癌、肺癌和 COVID-19 队列中的检测灵敏度分别为 93.1%、82.7%、82.9% 和 73.1%,显示出良好的准确性和通用性,但在有严重病理改变的图像上还有待改进。

CT 引导下穿刺活检技术(CT-CNB)是肺部病变诊断工作的主要组成部分。医源性气胸(PTX)是其最常见的并发症。Lindqwister 等回顾性分析 502 例经 CT-CNB 的患者,利用深度神经网络使用的 12 个

特征中的 6 个参数(年龄、性别、肺气肿、针道投影长度、肺部病灶最大尺寸、肺叶)建立了需要胸腔插管的 PTX 预测模型。结果显示,该模型在 2000 次模拟及外部数据集中的 ROC-AUC 分别为 0.961 和 0.886。在调整插入胸管的发生率后,灵敏度和特异度分别为 0.879 和 0.924,提示神经网络和其他数据驱动的方法可能有助于预测肺部 CT-CNB 术后不良并发症的发生。

CT 空间分辨率对机器学习预测模型的诊断效能有一定的影响,Yanagawa 等评估了 CT 空间分辨率对新开发的肺腺癌病理侵袭性预测机器学习影像组学软件的影响,并比较了软件与放射科医生之间诊断的一致性,研究发现,该软件使用超高分辨率(SHR)数据(矩阵 2048×2048 ,层厚 0.25 mm)对侵袭性肺腺癌的诊断效能(AUC:0.78,95%CI:0.59~0.96, $P=0.006$)及一致性(AUC:0.80,0.68~0.90)显著高于使用正常分辨率(NR)数据(矩阵 512×512 ,层厚 0.5 mm),提示高空间分辨率 CT 的 SHR 数据可能显著改善机器学习影像组学软件对肺腺癌病理侵袭性的预测。该团队还进一步收集了 37 名接受 DECT 扫描的浸润性肺腺癌患者并获得 180 s 晚期增强图像,计算了 ECV 并通过每个结节进行纹理分析获得了 7 个纹理特征。多因素 logistics 回归显示偏度 ≤ -2.28 (OR = 7.11, 95%CI: 1.11 ~ 45.6, $P=0.039$) 和 $ECV > 21.23\%$ (OR:6.57,95%CI:1.12~38.4, $P=0.037$) 是 PD-L1 强阳性的独立危险因素,两者联合诊断的敏感度和特异度分别为 64% 和 86%,AUC 为 0.83,说明 180 s 晚期增强 DECT 图像的偏度和 ECV 可预测侵袭性肺腺癌中 PD-L1 的高表达,DECT 或许能够作为一种非侵入性方法帮助制定浸润性肺腺癌的免疫检查点抑制剂治疗等化疗策略。

Laqua 等纳入了 100 例进行了常规胸部增强 CT 的肺癌患者并对其所有胸部淋巴结进行分割,通过惩罚 logistic 回归模型以预测淋巴结在随后的正电子发射计算机断层显像(Positron emission tomography, PET)扫描中是否显示 ^{18}F -FDG 的摄取,建立一个预测来自传统增强 CT 的 PET 结果的分类模型,并测试不同的特征提取策略。结果显示,与 PET 相比,在增强 CT 上使用影像组学和机器学习技术预测胸部淋巴结状态可以提供非常好的分类性能。在无可用的 PET 的情况下,本研究提供的方法是肺癌无创淋巴结分期的很好选择。

慢性阻塞性肺疾病

Nadeem 等提出了一种基于 CT 的区域气道功能变化自动量化新方法,研究表明在调整性别、吸烟史和

慢性阻塞性肺疾病(COPD)严重程度后,气管、节段前和节段水平的气道功能 5 年下降率分别为 3.19、3.32 和 2.74% ($P < 0.05$),并且节段前水平气道功能的 5 年下降率随着 COPD 的严重程度增加而增加,证明了气道功能与衰老和 COPD 严重程度的关系,这可能有助于 COPD 的早期诊断和疾病进展的评估。

Xu 等收集了 53 名疑似 COPD 的患者,所有患者进行多排螺旋 CT 检查并获得了动态通气重建数据,并利用动态通气 CT 数据和计算流体动力学分析软件(Micro Vec V3.6.2)进行了应变测量,结果显示应变相关参数与一秒率(FEV1/FVC)、最大呼气中期流量、呼气峰值流量显著相关,且 COPD 患者应变较低。此外,不同程度气流受限患者的应变参数差异具有统计学意义,提示基于动态通气 CT 数据的应变参数与 COPD 肺功能损伤有关,在一定程度上反映了气流受限的严重程度,为监测 COPD 进展提供了一种良好的定量方法。

Lee A 等基于 3D 残差注意力网络和卷积神经网络实现了仅通过输入吸气相 CT 图像就能对 COPD 进行分期的优化流程,吸气相图像可在一次扫描内对 COPD 的严重程度进行准确分期,准确度与使用吸气相和呼气相图像的同类方法相当。Lee EJ 等从 KOLD 队列研究中筛选了 58 例使用相同的 CT 设备、采集方案获得初始和 6 年随访吸气相 CT 的 COPD 患者,经非刚性自动配准系统对 CT 图像进行配准后,通过 Aview 软件(Coreline Soft)评估肺泡大小及其变化,肺功能结果差或高肺气肿指数(EI)的患者表现出更多的肺气肿肺泡大小变化。因此,在 COPD 患者随访中仅通过吸气相 CT 分析肺气肿肺泡大小和 EI 的变化也可用于正确诊断 COPD 患者的疾病状态和表型。呼气相 CT 也有一定的价值,评估呼气相肺囊性病灶的大小变化有利于缩小肺囊性病变的鉴别诊断范围,Zanon 等发现在呼气相 CT 扫描中,肺朗格汉斯细胞组织增生症和蜂窝样纤维化的吸烟患者肺囊肿会变小,而间隔旁型肺气肿和肺大泡产生的囊性病变的大小在呼吸时保持不变。

肺弥漫性疾病

俯卧位 CT 可作为间质性肺疾病(ILD)肺功能评估的新图像指标。Park 等纳入了 122 例在同机构接受仰卧位和俯卧位全吸气相胸部 CT 扫描的间质性肺异常或疾病的患者,基于深度神经网络(DNNs)的可变形图像配准 LungReg 对仰卧和俯卧 CT 图像进行了配准并定量计算了肺部像素移动。结果显示俯卧位图像中双肺下叶体积显著增加,而右肺上中叶体积减少,且肺纤维化限制了俯卧位的肺体积扩张。此外,俯

卧位导致的肺下叶扩张与 FVC 相关。

Kim 等开发了一个基于深度学习的全自动多维模型,并在包括特发性肺纤维化(IPF)队列在内的三个独立回顾性队列中进行了验证,该模型可以准确并可重复地从正位胸片和人口学变量(性别、年龄和生理变量等)中估计肺总量(TLC),并预测 IPF 的生存率。在 IPF 患者中,较高的 TLC 预测值与较低的死亡风险相关(2 年总生存期的校正 HR=0.51,95%CI:0.32~0.81, $P=0.04$)。Lee 等开发和验证了一种使用 CXR 对 IPF 患者进行生存预测的深度学习算法(DLSP),并进一步用 DLSP 替代 DLCO 提出了改良的 GAP 指数(GAP-CXR),发现 DLSP 均可作为预后评价的独立预测因子,且其预测能力优于用力肺活量(FVC),改良后 GAP 指数的性能也与原始 GAP 指数相当甚至更优,CXR 在临床上更易于获取,能够通过更便捷的方式实现对患者的个性化管理。Nam 等发现基于胸部 CT 的深度学习算法计算出的正常肺体积比例(CT-norm%)和纤维化肺体积比例(CT-fib%)是 IPF 患者整体生存率的独立预测因子。此外,CT-norm%或 CT-fib%替代 DLCO 的改良 GAP 指数的生存预测性能也与原始 GAP 指数相当,提示基于深度学习的自动 CT 量化可为 IPF 患者提供额外的预后信息。

Debray 回顾性分析了 67 例多中心系统性红斑狼疮相关间质性肺疾病(SLE-ILD)患者的初始和随访 CT 特征,SLE-ILD 最常表现为不确定或非特异性间质性肺炎模式,在中位随访时间 78 个月,2/3 患者的胸部 CT 表现为纤维化征象增加。Fukuda 等收集了 29 例经手术肺活检诊断为系统性硬化相关间质性肺炎(SSc-ILD)的患者分析其 CT 影像学表现与病理改变特征及二者之间的相关性,发现模糊无定形影(FAC)可能是 SSc-ILD 的早期 CT 表现,即在距胸膜 1 cm 范围内的无定形毛玻璃影上存在小的模糊结节叠加,病理上表现为支气管周围化生、腺泡中心黏滞或腺泡周围肺泡间隔纤维化。

Park 等发现亚洲健康筛查人群中中间质性肺异常(ILA)的患病率约为 3%,多因素 Cox 回归分析显示,ILA 是 10 年随访期内疾病进展(HR=10.3,95%CI:6.4~16.4, $P<0.001$)、肺癌发展(HR=4.4,95%CI:2.1~9.1, $P<0.001$)和全因死亡率(HR=2.5,95%CI:1.6~3.8, $P<0.001$)的独立危险因素。Park 等评估健康筛查人群长期死亡率和 CT 偶发异常之间的相关性亦发现 ILA 是与死亡风险增加相关最常见的胸部 CT 筛查的偶然异常。Choe 等进一步发现胸膜下纤维化亚型(HR=1.62, $P=0.01$)和蜂窝样病变(HR=1.88, $P=0.02$)是 ILA 进展的危险因素,蜂窝样病变和总 ILA 的最大范围是进展为普通型间质性肺炎

(HR=4.19, $P=0.003$;HR=1.04, $P=0.001$)和死亡(HR=4.54, $P=0.01$;HR=1.04, $P=0.004$)的危险因素。用于预测死亡率的总 ILA 最大范围阈值为 12.5%。对于初次检出的 ILA,每 3 年一次的 CT 随访可能足以发现 ILA 进展,ILA 的亚型、蜂窝样病变和定量程度可能有助于预测 ILA 的临床结局和确定随访策略。

ILA 在肺癌患者中的发病率及其对临床结局的影响目前已得到验证,但在其他胸部恶性肿瘤中的研究较少。Hata 等回顾性分析 494 例食管癌患者并对其治疗前胸部 CT 中的 ILA 进行了评分。多因素 Cox 比例风险模型显示,ILA 是总生存率(OS)的独立影响因素(HR=1.65,95%CI:1.08~2.50, $P=0.02$),尤其在晚期(IV 期)患者中更显著(HR=2.66,95%CI:1.44~4.91, $P=0.002$)。此外,虽然有和无 ILA 的患者因食管癌死亡的患病率相似,但有 ILA 的患者因肺炎/呼吸衰竭死亡的发生率高于无 ILA 的患者,提示 ILA 可能是食管癌患者的预后影响因素之一。Tseng 等纳入了 208 例确定接受放疗的局部晚期食管癌患者,分析治疗前胸部 CT 的 ILA 发生率并确定 ILA 与临床特征和 OS 之间的关系,发现有 7%的局部晚期食管癌患者存在 ILA,年龄较大、吸烟量较多和 TNM 分期为 T4 期是其危险因素。此外,治疗前 CT 上的 ILA 与放疗后未进行手术切除有关,表明 ILA 对这些患者的治疗选择有影响,可在更大的前瞻性队列中研究验证。

Bao 等分析了 189 例继发于肝脏原发灶的泡型棘球蚴病(PAE)患者的 CT 影像学表现,发现 PAE 多表现为外周分布、直径为 2~9 cm 的多发结节,以下叶为主。CT 影像学特征可分为实性小结节(≤ 1 cm)、实性大结节(> 1 cm)、实性结节伴空洞和钙化结节 4 种类型,以中间两种类型较为多见,PAE 的 CT 形态学分类有助于明确疾病的进展,为早期干预和治疗方案的选择提供依据。

淋巴管肌瘤病是一种涉及多个器官和系统的自身免疫性疾病,HRCT 和淋巴管造影后 CT(post lymphangiographic CT,PLCT)可以显示胸部、腹部和盆腔的异常以及异常淋巴管的位置、分布和范围。Li 等回顾性纳入了 56 例被诊断为淋巴管肌瘤病并接受 HRCT 检查的患者,其中 45 名患者接受了 PLCT 检查。结果显示,所有患者均表现为双肺弥漫分布的大小不等的薄壁空洞,部分还存在磨玻璃密度灶、肺结节、肺不张、支气管血管束增粗、小叶间隔增厚等。在 PLCT 上可见不同部位的对比剂分布异常,最常见的部位是腹盆腔和双侧髂骨。

气道病变

基于深度学习和图像配准的气道测量可用于评估胸部 CT 上区域气道的变化。Jeong 等前瞻性纳入 7 例接受了基线与药物治疗三个月后氩通气双能 CT 扫描的 COPD 患者,基于深度学习和图像配准进行了气道测量,分析了共 234 个亚段以评价相匹配节段气道壁厚度变化及其与目测评估的氩通气异常变化之间的相关性,结果显示其中 62.4%(146/234)的气道亚段没有变化,31.2%(73/234)通气缺陷改善,6.4%(15/234)通气缺陷恶化。通气缺陷改善的气道亚段多为新节段[49.3%(36/73)]或壁厚变薄[45.2%(33/73)],且气道变化与氩通气变化之间存在显著相关性($P < 0.001$)。

Kaviani 等回顾性分析了 201 例接受胸部低剂量 CT 进行肺结节随访的成年患者,基于气道分割和定量分析的机器学习(ML)原型评估了不同性别和年龄患者的正常支气管尺寸变化,发现男性较女性患者支气管尺寸大 20.95%($P < 0.001$),不同年龄组间基于全肺体积和各叶的所有参数均有显著差异($P < 0.001$)。了解正常支气管的变化趋势和尺寸,有助于区分不同年龄和性别组的正常或异常气道尺寸。

支气管炎和支气管扩张是类风湿关节炎(RA)患者肺部受累的重要特征。Iwasawa 等利用超高分辨率 CT(ultra-high-resolution CT, U-HRCT)对 RA 患者的支气管扩张进行了定量评估,结果显示右下叶容积比值($AWV\%rl = \text{右下肺气道容积}/\text{右下叶体积} \times 100$)与 FVC、DLCO 呈负相关,而与纤维化病变程度呈正相关,说明 $AWV\%rl$ 能够有效评估 RA 气道疾病, U-HRCT 能够实现外周支气管的提取和 $AWVrl\%$ 测量,易于支气管内面积和壁厚的测量。

Triphuridet 等基于包括肺气肿在内的胸部低剂量 CT(low-dose CT, LDCT)结果和报告中的合并症,预测支气管扩张症患者首次 LDCT 后 2 年内的加重情况。结果显示,在纳入的 300 例支气管扩张症患者中,84 例(28.0%)在首次 LDCT 筛查后 2 年内出现支气管扩张加重,早期肺癌行动计划(ELCAP)支气管扩张评分($OR = 1.12, P < 0.01$)、COPD ($OR = 2.69, P < 0.001$)和哮喘($OR = 2.47, P = 0.006$)是未来支气管扩张症急性恶化的重要预测因素。Cai 等回顾性分析了 534 例基线 LDCT 筛查后随访时间 ≥ 5 年的 40~90 岁吸烟者基线和最后一次随访 LDCT 之间 ELCAP 支气管扩张评分的变化,也发现约 1/5 患者的支气管扩张有进一步发展,ELCAP 支气管扩张评分的增加范围为 1~8 分。此外,支气管扩张严重程度的进展与基线年龄($P = 0.006$)、自我报告的卒中($P = 0.01$)、支气

管扩张的范围进展($P = 0.01$),支气管壁厚($P = 0.04$)和粘液阻塞($P < 0.0001$)等多种因素相关,了解这些信息有利于支气管扩张症患者预防管理方案的制定。

肺结节与肺癌筛查

AI 可以增强肺结节的检出,在肺癌筛查、评估偶发肺结节和转移性疾病中均起到重要作用。Horst 等研究表明半自动影像决策支持工具(SAR-DCS)联合计算机辅助诊断系统(CAD)基于 LDCT 肺癌筛查自动生成的管理建议与放射科医生报告的结果和建议几乎一致。在肺癌筛查中仅使用 CAD 联合阅片能够提高报告和管理建议的准确性并显著缩短阅片时间。Ahn 等发现基于无监督深度学习的肺自动配准与简单的仿射配准相比,在胸部 CT 图像上精确匹配肺结节的能力有显著改善,并且无需人工标注,有助于减少放射科医生的日常工作负担。Jeud 等发现 AI 辅助肺结节检测也能够显著提高放射科医师检出和测量肺结节的准确性和效率至少三倍,优于目前人工肺结节检测和测量方法。

Berk 等通过人工智能肺结节检测算法(CIRRUS Lung Nodule AI)分析了 870 例在急诊科接受了 UL-DCT 检查的疑似非创伤性肺部疾病患者。结果显示使用 AI 检测出的肺结节数是人工的 4 倍,而假阳性率高达 50 倍,提示 AI 能够提高 UL-DCT 中临床相关的偶发肺结节的检出率,但较高的假阳性率限制了其临床应用。

深度学习重建图像还可进一步减少肺结节评估所需的辐射剂量。Jo 等发现仅使用 1/4 辐射剂量并通过深度学习算法重建(QLD-DLIR)获取的胸部 CT 图像与使用全剂量迭代重建(LD-IR)的主观图像质量及肺结节检出率相当,前者空间分辨率较好且辐射剂量低。

研究显示肺癌 CT 表现是否为实性成分是生存率的重要预测因素之一。Henschke 等评估了国际早期肺癌行动计划(I-ELCAP)参与者的肺癌 20 年特异性生存率(LCS)。在符合纳入标准的 1285 名患者的 20 年 LCS 为 80%(95%CI:77%~83%),CT 表现为实变的患者的 LCS 明显低于非实变和部分实变的患者(73% vs. 100%),但无论肺部实变情况如何,临床及病理分期为 IA 期患者的 LCS 均高于 85%。He 等回顾性分析了 132 例患者的 149 个亚实性结节(SSNs)以明确 SSNs 长期随访策略和影响其形态及生长的危险影响,中位随访时间 1313(376~4703)天,多因素 Cox 回归分析显示,空泡征($HR = 1.646, P = 0.048$)、初始体积($HR = 0.999, P = 0.041$)和初始质量($HR = 1.002, P = 0.022$)是 SSN 生长的独立危险因素,在随

访过程中观察这些特征的变化,对指导临床和合理处理肺结节具有重要价值,Lim 等发现在常规临床实践中,对不确定的实性肺结节进行体积分析也可以提高诊断和早期识别恶性结节的敏感性。

肺结节生长评估也是肺癌预后判断的重要指标之一。Yip 等利用 I-ELCAP 数据库探讨了进行结节生长评估所需的延迟诊断时间对早期肺癌预后的影响,发现延迟诊断时间也会引起治愈率(定义为特定大小肺癌患者的 10 年 Kaplan-Meier 生存率)下降。Wang 等以 U-Net 结构为基础训练了一个条件生成对抗网络模型并命名为 GAN 结节,该模型能够预测肺结节生长模式,联合该团队之前开发的用于判断结节良恶性的辐射强化学习(RRL)模型能够实现肺结节的“虚拟随访”,结果显示 GAN 结节联合 RRL(G-RRL)模型进行“虚拟随访”得到的结果与原始 RRL 模型预测真实随访 CT 的结果相似(AUC: 0.891 ± 0.018 vs. 0.908 ± 0.016 , $P > 0.05$)。在初次筛查时进行“虚拟随访”或许能够对肺癌进行早期诊断并能减少结节生长评估所需的延迟诊断时间对患者预后的不良影响。

LDCT 筛查可以检测早期肺癌并能有效改善患者预后,Zanon 等发现 ULDCT 的平均有效辐射剂量(ERD)虽低于 LDCT,但二者对磨玻璃影的诊断一致性较差($k = 0.37$),因此 ULDCT 方案或许尚且不能取代 LDCT 用于肺癌筛查。肺部影像报告和数据库系统(Lung-RADS)是目前公认用于 LDCT 肺癌筛查结果随访和管理的决策标准,目前最新的是 Lung-RADS 1.1 版本。Lin 等发现在进行肺癌筛查及随访管理时将 Lung-RADS 评分变化纳入考虑可能会有利于提高患者的依从性。此外,一项荟萃分析比较了 Lung-RADS 1.0 版本与 1.1 版本的诊断性能,并探讨 Lung-RADS 用于全球范围肺癌筛查的适用性,发现在 LDCT 肺癌筛查中,1.1 版本的敏感度高于 1.0 版本,但特异度相对较低。人群类型、地理区域和肺癌患病率是纳入的 Lung-RADS 1.0 版本研究之间的显著异质性因素,Lung-RADS 1.0 可能更适用于非亚洲地区的高危人群,对于亚洲地区的一般人群,可能需要专门定制的 Lung-RADS 分级。Braman 等构建了一个肺癌标注、测量和深度表型诊断(AMPD)的单击深度学习模型并进行了外部验证,评估该模型对恶性肿瘤的预测价值及其与放射科医生之间的诊断一致性,在经过额外的前瞻性多位点验证后提示 AMPD 系统既可以简化传统的肺部筛查协议(如 Lung-RADS 1.1),也可以更快地识别恶性肿瘤。

胸部恶性肿瘤

Zhao 等采用全自动深度学习方法定量分析非对

比 CT(NCCT)上以磨玻璃结节(GGNs)为表现的肺腺癌结节内血管与肿瘤侵袭性之间的相关性,回顾性收集 719 例患者的 741 例经病理证实的 GGNs,发现不同侵袭性 GGNs 内血管的出现有显著差异,其内血管百分比增加的 GGN 具有更高的肿瘤侵袭性可能。

肿瘤通过气腔播散(STAS)是目前肺腺癌的一种新型侵袭模式,不仅对其病理组织浸润程度判定有影响,而且对肺腺癌患者外科治疗方式的选择和评估以及患者预后有重要影响。Qin 研究了经 STAS 的浸润性肺腺癌的临床病理和影像组学特征,发现 STAS 多见于乳头状、微乳头状及实性肿瘤($P < 0.01$),且 STAS 与多种侵袭性临床病理及影像组学特征显著相关,肿瘤实性成分最大径是 STAS 的独立预测因子($OR = 2.505$, 95% CI: $1.886 \sim 3.329$),当截断值为 1.18 cm 时,敏感度和特异度分别为 73.9% 和 69.1%,有助于术前 CT 鉴别 STAS 阳性的肺腺癌。

Torres 等收集了 1728 例非小细胞肺癌(NSCLC)患者的预处理 CT 图像及 CT 检查前后 3 个月以内的预处理肺功能结果,基于深度卷积神经网络建立了一个全自动成像的 FEV1(ibFEV1)预测模型并评估其区分肺叶切除可接受阈值($FEV1 > 1.5L$)的能力,结果显示,ibFEV1 能够正确地区分 88% 的 $FEV1 > 1.5L$ 患者,且 AUC 为 0.82,提示深度学习的应用有利于自动化 NSCLC 患者的 FEV1 值,能够减少肺功能检测需求,加快治疗进度。

化学交换饱和转移(CEST)成像已被建议用于预测少数肿瘤患者的化疗、放疗或放化疗(CRT)治疗效果。Ohno 等前瞻性地比较 CEST、扩散加权成像(DWI)和 FDG-PET/CT 在预测 CRT 对 III 期 NSCLC 患者治疗效果方面的能力,该研究纳入了 84 例 III 期 NSCLC 患者并根据实体肿瘤临床疗效评价标准(RECIST)将所有患者分为应答组($n = 65$)和无应答组($n = 19$),通过 ROI 分别测量非对称性磁化转移率(MTR_{asym})、表观弥散系数(ADC)和最大标准化摄取值(SUV_{max})三个指标并确定区分组间无进展生存期(PFS)和 OS 的阈值,结果显示 MTR_{asym} (3.5 ppm)和 SUV_{max} 是 PFS 的显著预测因子($HR = 0.70$, $P = 0.002$; $HR = 1.41$, $P = 0.0004$), MTR_{asym} (3.5 ppm)和肿瘤分期是 OS 的重要预测因子($HR = 0.76$, $P = 0.04$; $HR = 0.57$, $P = 0.02$),提示在预测 III 期 NSCLC 患者 CRT 的疗效方面,CEST 成像与 DWI 和 FDG-PET/CT 同样甚至更有用。

综合基因组分析(CGP)为确定肺癌治疗药物提供了有效信息,利于实现精准医疗,然而高成本和需侵入性组织取样限制了其临床应用。CT 作为一种无创且成本相对较低的检查手段在预测基因组信息方面发挥

着一定作用。Yamazaki 等回顾性分析了 93 例接受手术并进行了 CGP 的 NSCLC 患者,根据术前 CT 图像的放射特征,采用无监督 k 均值聚类方法将所有患者分为聚类 1 和聚类 2 两组,聚类 1 在 CT 图像上更易表现为分叶状,较少伴磨玻璃影、“空气支气管征”、空腔和空泡等征象,且显示出更高比例的 TP53 和 CDKN2B 基因突变、高肿瘤突变负担(≥ 20 个突变/mb)和低 5 年无复发生存率。术前 CT 聚类分组与 CGP 数据和患者预后具有显著相关性,可能有助于预测 NSCLC 的基因组信息。

Joskowicz 等使用了一种新型同步多通道 3D U-Net 模型开发了全自动端到端管道,用于分析进行了连续且成对胸部 CT 扫描的肺转移患者,该模型基于患者成对扫描图像进行训练,发现与经相同 CT 图像训练的独立模型(对每次扫描图像进行单独分析)相比,虽然前者的精度小幅下降了 3.6%,但召回率、Dice 评分及平均对称表面距离分别提高了 9.4%、2.4% 和 15.4%,提示同时分析两次胸部 CT 检查图像可以提高对肺部受累情况和疾病状态评估的准确性。

Liu 等分析了 15 例接受嵌合抗原受体 T 细胞(CART)疗法、伴有肺转移的消化系统恶性肿瘤患者治疗前后的胸部 CT 平扫,发现 CART 治疗后观察到 4 种反应类型:转移结节免疫富集(IE-MN)、正常肺组织免疫富集(IE-NL)、正常肺组织无免疫富集(nIE-NL)及免疫富集性淋巴管癌(IE-LC),出现前两种类型提示治疗有效。与免疫检查点抑制剂(ICIs)相比,CART 的有效率更高(60% vs. 12.6%)且反应更快(13d vs. 84 d)。对实体肿瘤 CART 治疗后胸部反应的影像学进行分类,能够阐明生物学机制并根据不同的胸部反应判断整体疗效。

血管疾病

Karout 等评估了基于非心电图门控 LDCT 的冠状动脉钙化(CAC)评分使用具有三个 HU 阈值(90、110、130 HU)的 DL 模型(Riverain Tech)能否预测心电图门控冠状动脉钙化评分 CT(CCS-CT)上放射科医生的主观分级和 Agatston 评分。结果显示,LDCT 的 DL-CAC 与 CCS-CT 的 Agatston 评分之间具有很强的线性相关性($r=0.939, P<0.001$),并且 DL-CAC 能很好地区分轻度、中度和重度主观 CAC 分级(AUC = 0.82, $P<0.001$)。DL-CAC 可以取代主观性的 CAC 分级,并减少进行胸部 LDCT 检查的患者进一步行 CCS-CT 的需求。

CT 肺动脉血管成像(CT Pulmonary Angiography, CTPA)是目前诊断 PE 的影像学金标准,但 MRI 在疑似急性 PE 和具有 CTPA 禁忌症的患者中也有一

定的诊断价值。Medson 等前瞻性纳入了 107 名临床上疑似 PE 的患者,并在患者进行 CTPA 检查前后 36 小时内进行 MRI 检查,对比 CTPA 与其内部开发的非增强 MRI PE 序列的诊断价值。由两名放射科医生独立分析了 MRI 结果,PE 诊断的敏感度分别为 89.4% 和 87.6%,特异度均为 100%,一致性高达 0.99,证实了 MRI 的诊断性能。通过 AI 提高 PE 的检出也是目前的研究热点之一。Rothenberg 等基于经 FDA 批准的 AI 检测和分型系统(CADt),比较了真实世界中放射科医生使用标准流程与该系统辅助诊断和分诊急性 PE 的准确性和效率,发现二者在 PE 的诊断准确性、漏诊率及检查和报告周转时间中并无显著差异,但 AI 能够提高偶发肺栓塞(iPE)的检出率。Jo 等通过 AI 对 iPE 进行了回顾性筛选及临床结局评估,发现在进行了 CTPA 的患者中,iPE 的患病率为 2.3%(65/2792),AI 检出率为 44.4%(20/45),与原始报告相比,AI 能够提高 iPE 的检出率,这对有血栓栓塞事件复发风险患者的及时处理具有重要意义。Topff 等发现目前市售的 AI 工具在检测肿瘤患者胸部 CT 上的 iPE 方面也有很高的诊断效能,敏感度和特异度分别达到了 91.6% 和 99.7%。此外,与常规的临床工作流程相比,AI 辅助的工作列表优先排序能够有效减少 iPE 病例的诊断时间,便于临床进行积极处理。

Buk 等收集了 20 名接受 PE 治疗并在治疗前后 72h 内进行 CTPA 检查的患者,通过改良版 Miller 评分(MMS)、更新的精炼 Miller 评分(RMS)和血栓面积总和(SAT)定量评估治疗后总血栓负荷(TTL)降低程度。初次与随访 CTPA 之间 MMS、RMS 及相应 SAT 的平均降低率分别为 16.59%、17.73% 和 30.49%。与 SAT 相比,MMS 和 RMS 评估的部分 TTL 降低率均较低,SAT 可能是更精确定量评估 TTL 的方法。

Gertz 等回顾性纳入了 122 例经右心导管(RHC)确诊为肺动脉高压的患者,评估外周肺动脉和肺静脉形态与其预后的关系,并根据欧洲心脏病学会/欧洲呼吸学会(ESC/ERS)风险评分将患者分为低、中、高死亡风险,比较了不同风险患者的血管形态学参数,发现中等大小(直径 2~10 mm)的肺动脉与静脉数量比随着风险评分增加而增加,提示自动量化中等大小肺动脉与静脉数量比的增加有望成为 CTPA 评估肺动脉高压的预后参数之一。

胸部 MRI

Breit 等对肺部受累的结节病患者进行了常规胸部 CT 和 0.55T MRI 检查,并基于自由呼吸 3D 半径向双回波平衡式稳态自由进动序列(bSTAR)获得了

肺形态和功能的成像,发现尽管淋巴管周围结节的分辨率较低,但形态学 MRI 中的所有发现均可划分区域,且与功能 MRI 图像显示灌注和通气减少的受影响区域一致,0.55T MRI 相较于 CT 可以额外提供关于肺灌注和通气的功能信息,肺部 MRI 可能是 CT 诊断和随访肺结节病的一种有力替代方法。

Dang 等通过 T_2 对比度(T_2 CR,定义为肺结节/肿块的 T_2 信号强度与菱形肌的信号强度比值)和 ADC 值评价 T_2 WI 联合 DWI 对周围型肺癌(PLC)和局灶性肺炎(FOP)的鉴别诊断效果,结果显示 FOP 的 T_2 CR 和 ADC 值明显大于 PLC($P < 0.001$),截断值分别为 2.29 和 $1048 \times 10^{-6} \text{ mm}^2/\text{s}$ 。 T_2 CR 与 ADC 值联合的特异度和准确率较单一指标高,提示 T_2 WI 和 DWI 结合可用于 FOP 和 PLC 的定量区分。

Pohler 等应用相位分辨功能性肺(PREFUL)MRI(Spoiled gradient echo 序列,矩阵 128×128 , 15 mm)测量了 23 例 COPD 患者基线与 14 天后的肺动脉脉搏波速度,并与主肺动脉扩张性进行比较。PREFUL MRI 的脉搏波速度在两次扫描中具有良好的可重复性,并且随着主肺动脉僵硬度的增加而增加,为 COPD 患者提供了一种无需对比剂的监测肺动脉扩张性的工具。

伪连续动脉自旋标记磁共振成像(PCASL-MRI)能够可靠地检测出 PE 引起的肺灌注不足,可以作为一种可供选择的、无辐射且无对比剂的方法用于 PE 的个体诊断。Seith 等采用 PCASL-MRI 对 PE 患者进行了评价,前瞻性纳入了 97 例疑诊为 PE 且在 72 h 内进行了 CTPA 检查、血液动力学稳定的成年患者,结果显示,PCASL-MRI 的敏感度和特异度分别为 0.92 和 0.95,且 MRI 和 CTPA 之间存在高度互换性,个体等效指数为 2.58%。

超短回波时间磁共振(UTE MRI)肺成像技术能够无辐射、清晰地显示肺部结构并评价肺功能,Heidenreich 等通过磁共振 3D UTE VIBE 序列的肺功能成像基于深度学习计算了接受三联疗法 Trikafta 治疗患者的通气不均匀度(IQR)。在接受治疗的患者中,IQR 显著降低且与衡量肺功能的肺清除指数具有强相关性($r = 0.90, P < 0.01$),为根据影像学分析评估 Trikafta 治疗的临床疗效提供了理论基础。UTE ^1H -MRI 可以通过检测呼吸周期中肺部的结构变化来无创测量肺通气量,Mihailescu 等纳入了 15 例经三联疗法 Trikafta 治疗的囊性纤维化症患者,在治疗前后进行了 ^{19}F -MRI 和 ^1H -MRI 的扫描并比较了二者获得的通气参数,以了解 ^1H -MRI 评估肺通气的潜力。结果显示, ^{19}F -MRI 与 ^1H -MRI 测定的通气缺陷百分比(VDP)在中重度肺部疾病患者中具有较高的相关

性, ^1H -MRI 测定的 VDP 可作为中重度肺部疾病患者功能评估的有用指标, ^{19}F -MRI 是目前用于评估肺通气的可靠方法,但价格昂贵,并不适合所有人群, ^1H -MRI 或许可以成为一种有效的替代检查。UTE MRI 在婴幼儿中也有潜在诊断价值。Chen 等利用 UTE MRI 探究足月儿和早产儿的肺部组织结构,发现早产儿和足月儿的平均肺实质信号强度有明显差异(282.4 ± 87.1 vs. $341.8 \pm 28.8, P = 0.038$),肺信号强度在婴儿期与年龄呈正相关($r = 0.319, P = 0.013$)。

能量 CT

光子计数 CT(photon-counting detector CT, PCD-CT)在高分辨率胸部 CT 中具有与传统 CT 相同、甚至更佳的图像质量,并可在实施最佳临床方案的同时降低患者的辐射暴露,可用于气道、血管、肺实质及肿瘤的评估。Schwartz 评估 PCD-CT 在更低的辐射剂量下对 HRCT 的采集性能及图像质量的影响,与基于传统能量积分探测器 CT(energy-integrating-detector CT, EID-CT)相比,PCD-CT 的亚节段壁清晰度(85 ± 7 vs. 74 ± 12)和整体图像质量(83 ± 8 vs. 78 ± 7)评分均显著优于 EID-CT($P < 0.001$)。Dunning 等发现超高分辨率(UHR)PCD-CT 较 EID-CT 和标准分辨率 PCD-CT 而言能够实现更准确的气道壁厚度评估,可以实现对肺部疾病如 COPD 或囊性纤维化的可靠诊断。Pannenbecker 等比较了 PCD-CT 与的第三代 EID-CT 图像质量,二者分别使用了超低对比剂高螺距光谱扫描方案和标准双能量 CTPA 扫描方案,发现 PCD-CT 的主观图像质量较好,且有效辐射剂量明显低于 EID 组,允许高速扫描的临床 PCD-CT 肺血管频谱评估有利于经常表现为呼吸困难的疑似急性 PE 患者,同时能够大幅减少对比剂和辐射剂量。此外,Inoue 等发现 PCD-CT 在低剂量肺癌筛查中对肺气肿和肺结节的评估也较 EID-CT 表现出了更佳的图像质量。

Walder 等在肿瘤队列中比较了第一代 PCD-CT(120 kVp, QuantumPlus 模式)和第二代双源 CT(dual-source CT, DSCT)双能量成像(100 kVp/140 kVp)获取的对比增强胸部 CT 的图像质量和辐射剂量,结果显示,PCD-CT 相较 DSCT 能够大幅降低胸部 CT 剂量,其平均特定尺寸剂量估计值(SSDE)可以减少 43%,同时能够保持与第二代 DSCT 双能量成像类似的图像质量。Remy-Jardin 等对比了 PCD-CT 和第三代 DSCT 胸部 CT 血管成像图像质量也得出了相似的结论,该团队还连续性纳入了 112 例稳定的 ILD 患者比较基于 PCD-CT 的 UHR 模式与基于第三代 DSCT 高分辨率(HR)模式的肺实质情况,结果显示 ILD 患

者在 UHR 模式下的所有 CT 特征可视化评分均显著优于对照组 ($P < 0.05$), 此外平均辐射剂量也显著低于对照组, 容积 CT 剂量指数 (CTDIvol) 和 CT 辐射剂量诊断参考水平 (DLP) 的平均降低率分别为 $77.7\% \pm 0.3\%$ 和 $72.0\% \pm 0.3\%$ 。

Strotzer 等收集了 62 名符合肺减容手术标准的肺气肿患者, 所有患者均接受了单光子发射计算机断层成像 (Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT) 扫描和单/双源 DECT 检查, 并基于三物质分解算法重建了肺灌注碘图, 用于比较单/双源 DECT 评估患者肺灌注的能力。结果显示, 单/双源 DECT 均能评估肺叶的灌注, 但双源 DECT 与 SPECT 结果之间显示出了更高的相关性和一致性。

双源 DECT 能够通过一次检查实现肺结构及肺灌注功能的双重评估, 有利于减少患者所受辐射剂量并优化临床诊疗流程。

Zheng 等回顾性收集了 345 名接受双层探测器光谱 CT (dual-layer detector spectral CT, DLCT) 胸部增强扫描且经病理证实为肺部疾病的患者, 将其分为肺原发性恶性肿瘤组、慢性炎症组和结核组, 建立了常规 CT 诊断模型、光谱 CT 参数诊断模型和联合诊断模型, 结果显示联合诊断模型诊断上述三种疾病类型的效能最佳, AUC 分别为 0.929、0.889 和 0.942, 提示光谱 CT 参数与常规 CT 征象相结合, 可以提高肺部恶性肿瘤、慢性炎症和肺结核的鉴别诊断效能。

(收稿日期: 2023-02-11)

《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!