

2017 RSNA 胸部影像学

周舒畅, 王玉锦, 胡琼洁, 胡玉娜, 杨朝霞, 张新平, 康诗超, 陈冲, 黄嘉, 夏黎明

【摘要】 RSNA2017 报道的胸部影像学的重点为机器深度学习、人工智能和影像组学, 机器深度学习和人工智能除了在肺结节检测方面获得较大的进步之外, 在肺结节良恶性鉴别方面也显示了初步诊断价值。随着胸部疾病的诊疗需要, 胸部放射介入诊疗技术的开展也逐渐增多, 包括肺结节标记、肺结节诊断、肺结节基因检测和肺转移瘤消融治疗。磁共振功能成像在肺结节诊断中应用越来越多, 尤其以 DWI 和 DCE-MRI 技术为主。在肺结节筛查方面, 机器辅助的人工智能系统开始崭露头角。一系列的技术进展为让胸部影像诊疗更加精准, 符合了今年大会的主题“探索、发明、转化”。

【关键词】 影像组学; 磁共振成像; 人工智能; 深度学习; 低剂量 CT

【中图分类号】 R814. 42; R445. 2; R814. 41; R734. 2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313 (2018)03-0229-09

DOI: 10. 13609/j. cnki. 1000-0313. 2018. 03. 002

2017 年 RSNA 的主题是“去探索, 去发明, 去转化”, 旨在将科研应用于临床, 更好的为临床服务, 深度学习/人工智能是今年 RSNA 的绝对热点, 影像组学也是今年的主题之一, 肺部磁共振成像仍处于探索阶段, 肺结节放射诊疗、肺结节筛查、低剂量、双能 CT 仍较为重要, 笔者将 2017 RSNA 胸部影像学内容综述如下。

深度学习/人工智能

在医学影像分析的深度学习研究中, 我们可以走多远是一个未知数。Tajbakhsh 等在局灶性病变(胸部 CT 中的肺结节和 CT 结肠成像中的结肠息肉)的检测和分类中研究了计算机辅助卷积神经网络(CNNs)的深度, 发现当在卷积层中使用 8 或 64 个滤波器时, 不同深度 CNN 之间没有显著统计学差异 ($P > 0.05$), 表明如果 CNNs 足够宽, 更深的架构不是有效的。具有 3 或 4 个卷积层的 CNNs 比较浅的架构更有效, 而使用更深的架构没有进一步增加性能。Lau 等利用卷积神经网络进行肺结节自动检测和分割, 发现自动化结节检测在保持较低的假阳性率的同时, 可以有很好的结节反馈与记忆学习。此外, 他们的结节分割方法提供准确和详细的三维结节分割, 以协助临床管理和后续更多方案的制定。深度学习在计算机视觉中的对象分类中取得了巨大的成功。Tajbakhsh 等探讨了从计算机视野领域导入卷积神经网络

(CNN)与医学成像领域提出的神经网络卷积(NNC)两种深度学习模型在肺结节检测和分类中的作用, 他们开发了 5 种代表性的 CNN 模型和 1 种 NNC 模型, 最终发现, NNC 模型比他们开发的 5 种 CNN 模型中最好的模型有更高的性能。

胸部 X 射线最常用于放射学的研究, 然而其解释具有挑战性。基于深度学习的计算机辅助检测(CAD)有很大的潜力, 但由于需要大量的放射科医生注释而受到限制。Withey 等研制了一种新的结节检测 CAD 系统, 将人工标注的图像与 750000 张报告的 X 线片相结合, 提高了结节检测和定位, 表明从“大数据”中学习的 CAD 系统可以帮助检测胸部 X 线片上的结节, 很有潜力成为全球医疗保健系统中具有成本效益的“第二阅片者”。

Nam 等使用基于深度学习的卷积神经网络自动检测胸片中的恶性肺结节, 检测其效能并与放射专家对比, 发现与大多数专家相比, 这种方法在检测胸片中恶性肺结节方面表现出更好的效能, 并在联合使用深度学习的自动检测算法(DLAD)时提高了专家的效率。Park 等开发了一种基于深度学习的自动检测算法, 用于在胸部 X 线片上发现恶性肺结节, 并使用大量的 X 线片对其诊断效能和结节发现率进行了评估。发现 DLAD 算法在区分恶性结节与正常 CR 结果方面表现出了很高的诊断价值, 同时, DLAD 在自动检测结节位置方面也显示了很有前景的结果。

肺结节体积测量是目前追踪小而不确定肺结节的首选方法, Ather 等评估了在鉴别良恶性结节中, 相对于容积法, CT 纹理分析的效果。他们发现相较于计算结节体积倍增时间, 肺结节周围量化纹理及其周围

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: 周舒畅(1983—), 女, 湖北孝感人, 博士, 主治医师, 主要从事胸部影像学研究工作。

通讯作者: 夏黎明, E-mail: cjr. xialiming@vip. 163. com

微环境的变化对于恶性肺结节分级可能是一个更准确的工具。因而采用 CT 纹理分析可能为一个有效的辅助随访手段。Ohno 等评价新开发的 3D 计算机辅助容积测定(CADv)结合肺结节成分评价在薄层 CT 上预测恶性肿瘤和术后复发的定量能力。发现薄层 CT 图像的新型 3D 计算机辅助容积测定具有较高的预测恶性和术后复发能力。现有的计算机辅助检测(CADe)系统还未达到足够高的敏感度以用作第一读取器。在计算机视觉领域,深度学习取得了巨大的成功,其性能远远高于现有的方法。根据 UICC 第 8 版肺癌的 TNM 分期,磨玻璃结节的 T 分期是根据肿瘤内的实性成分大小来调整的。Kamiya 等探讨了部分实性肺癌患者的预后与使用计算机辅助三维体积测量软件获得的实性成分大小的相关性,发现相对于横轴面图像上测量了部分实性结节上最大实性成分大小(2D-SS)和多平面重组图像上测量了部分实性结节上三维最大实性成分大小(3D-SS),用半自动体积测量软件测量了结节内三维实性体积(3D-SV)对肺癌患者预后更加准确。

Nagatani 等利用 AIDR 3D-CT 计算机辅助检测(CAD)活体内肺结节,发现无论是否应用 CAD,对于较大结节,ULDCT 与 LDCT 具有相当的结节检出率,而联合 CAD 的超低剂量 CT 可以提高较小实性结节的检出率,尽管与 LDCT 在较小结节的检出率上还有差距。提示了无论肺结节性质如何,ULDCT 对于较大肺结节检测是很有帮助的,并通过 CAD 提高了放射科医生对较小肺实性结节的检测敏感度。Yanagawa 等比较了三位放射科医师和深度学习系统(3D 卷积神经网络)对肺腺癌的病理侵袭性(PI)的影像预测结果。发现深度学习系统在预测肺癌的病理侵袭性上与放射科医师不相上下,深度学习系统诊断效能几乎和经验丰富的放射科医生一样,比年资浅的放射科医生尚高很多。

肺结节的早期检测对于肺癌的诊断和治疗是必不可少的。Zhang 等提出了一种从计算机断层摄影(CT)体积自动识别包含肺结节的层面的改进方法。该法结合了卷积神经网络(CNN)和可变长度双向长短期记忆网络(LSTM),基于监督学习方法,该方法只需要训练数据集上的弱标签,标签表明 CT 层面包含结节,但不是结节的确切位置。发现此种方法比现有计算机辅助诊断方法具有更高的敏感度。所提出的方法在减少放射科医师的 CT 读取时间方面具有很大的潜力,并且只需要训练数据上的弱标签,因而便于实施。准确预测肺结节的恶性风险对治疗和诊断决策具有重要的临床意义。已经建立了确定良性结节的成像特征,但中高风险结节的准确分层仍然具有挑战性。

Sohn 等采用基于改进网络架构的 3D 卷积神经网络对肺结节进行风险自动分层,发现这种 3D 深度学习算法,可以自动评估肺结节的恶性风险,可以解决恶性肿瘤中至高风险类别肺结节危险分层的重要需求。通过使用整个 NLST 队列和进行超参数优化,该算法仍然具有改进的能力。Ito 等通过使用深度学习模型(即 CNN,旧称 NNC),开发用于区分 CT 中良性和恶性肺结节的第一读者 CADe 系统。发现他们发明的 NNC 用于 CT 识别恶性结节的敏感度是 100%,假阳性率是 10%。本系统可以用作第一读者使得放射科医生只需检查我们的“筛检”系统所列结节。

Lakhani 等应用深度卷积神经网络在胸片上自动检测大量气胸,深度卷积神经网络以 94% 的敏感度识别大多数大量气胸(PTX),并且在将正常 X 线片识别为不具有大 PTX 方面完全准确(100%),可以减少识别和报告的时间。然而,在鉴别类似病如大泡性疾病上特异性降低,需要更多的训练。

影像组学

手术是早期非小细胞肺癌(NSCLC)的标准治疗方法,然而,经历手术切除的患者中,仍有 30%~55% 发生了复发。Qu 等研究了基于 CT 的影像组学特征对肺癌恶性鉴别的作用,发现基于 CT 的影像组学特征具有潜力,可为鉴别提供有用信息,且不会增加额外成本。D'Antonoli 等通过对术前 MDCT 图像应用放射组学分析来定义经手术治疗的早期 NSCLC 的复发预测因子,发现放射组学,特别是在术前 MDCT 图像上使用肿瘤总体积(GTV)和瘤周体积(PTV,肿瘤周围 2cm),有可能预测手术治疗的早期 NSCLC 患者的预后。提示使用放射组学和 MDCT 图像的 NSCLC 预后预测可能是一个有用的工具,可以更好地对不同的复发风险进行分级,并制定个性化的治疗方案。Yu 等使用双能谱 CT 分析不同 WHO 亚型胸腺上皮肿瘤(TET)的灌注和光谱的定量参数,分析一些常规 CT 特征。发现双能谱 CT 灌注成像的定量参数与一些常规 CT 成像特征相结合,对鉴别不同 TET 病理类型具有重要价值。Liu 等通过 CT 基于原发肿瘤的放射组学特征预测临床分期为 N0 的周围型肺腺癌中病理性淋巴结的累及情况,临床分期为 N0 的周围型肺腺癌的放射学特征与病理性淋巴结转移之间存在显著的相关性。前瞻性鉴定淋巴结受累的预测因子可能有助于选择合适的淋巴结清扫人群。表明表面特征和放射学特征的综合评估显著提高了对淋巴结恶性肿瘤风险的预测,并且由于其非侵入性,该模式可以容易地添加到临床使用中。肿瘤以促进生物学过程的体细胞突变为特征,其最终反映在肿瘤表型中。定量基因组学通过

使用大量的自动图像表征算法非侵入性地表征肿瘤表型。然而,体细胞突变影响放射学表型的精确的基因型-表型间的相互作用仍然大部分未知。Parmar 等提取了 763 肺腺癌患者体细胞突变检测和定量 CT 图像分析的四个独立数据集的综合分析。这些结果表明,某些体细胞突变驱动不同的放射学表型,可以使用基因组学预测。这种基于放射成像的测试可以无创地、重复地和低成本地应用,为精密医学应用提供了前所未有的机会,可在大量腺癌患者队列中建立体细胞突变和成像表型之间的联系。Nivolumab 是一种 PD-1 抑制剂,在非小细胞肺癌(NSCLC)患者中显示出临床疗效。已被批准用于化疗难治性晚期 NSCLC 患者的治疗。在明确免疫疗法药物的临床益处方面,当前评估肿瘤反应的标准临床方法是次优的。Orooji 等试图评估计算机是否提取基线 CT 扫描的结节纹理和形状的放射性特征,来预测对 nivolumab 基本免疫疗法的反应。发现在基线 CT 扫描中从结节提取的放射性特征可预测用免疫疗法治疗的 NSCLC 患者的反应。需要多位点验证来确定这些特征作为 NSCLC 患者免疫治疗反应的预测性生物标志物的作用。表明我们可以更好地确定哪些患者最有可能对免疫治疗有反应,并从中受益。从经济角度来看,确定不太可能对免疫疗法产生反应的患者,就不必使用这些昂贵的药物。Matsuhira 等研究了基于超曲率模型的影像组学特征与类风湿性关节炎相关性间质性肺疾病(RA-ILD)生存率的关系,发现肺部 CT 图像的超曲率(RHC)模型在预测总生存率方面比 GAP(性别、年龄、生理状况)模型表现出更高的性能,GAP 进一步提高了 RHC 的性能。因此,RHC 可以成为预测 RA-ILD 患者总生存率的有效影像学生物标记,根据肺部 CT 图像自动计算的放射超曲率特征,可以为 RA-ILD 患者的精确管理提供有效的预后影像学生物标记。

三维打印

Hernandez-Giron 等应用 3D 模型观察者来分析在不同剂量水平获得的 CT 图像中 3D 打印肺体模中肺结节的可检测性,发现对于 3D 模型观察者,病灶的可检测性随着 mAs 值的增加而增加。表明 3D 模型观察者可以成为测量 CT 临床图像质量的有用工具,特别适用于 3D 打印的肺体模中的肺结节检测任务。

剂量

Hardy 等使用蒙特卡洛模拟技术来检查胸部 CT 扫描中器官管电流调制(OBM)方案对肺和乳房剂量的影响,发现基于器官和基于衰减的调节的组合有时可以增加一些患者的肺部剂量和乳腺剂量。相对于其

他因素来考虑,这可能取决于腺体组织。说明基于器官和衰减的管电流调节确实降低了乳房剂量,但是一些患者可能仅通过基于衰减的调制而获得大量的剂量减少。他们同时在低剂量肺癌筛查中使用管电流调制(TCM)技术,并对这种筛查对象肺部和乳腺的剂量进行了评估,发现肺剂量与患者体型之间的关系似乎在男性和女性之间略有差异。Aberle 等比较了胸腹 CT 中四种 SSDE 算法,AAPM 报告 220 提出,如果均方根偏差相对于参考值小于 10%,则 SSDE 计算方法符合参考方法。按照这个标准,中心层厚方法和优化组队方法以及 Radimetrics 方法符合参考方法。Zucca 比较了四种不同的剂量监测系统,研究不同计算方法的选择如何影响不同身体区域 CT 扫描的 SSDE,得出不同的 RDIM 供应商实施不同的 SSDE 计算方法。当扫描区域随患者的解剖学扫描区域的高度变化(例如颈部+肩部),会有相关差异。比较不同评估软件的结果时,用户应该了解实施的计算方法及其限制。据报道,CT 扫描仪自动曝光控制(AEC)系统设置时应考虑患者的椭圆率,换句话说,两个相同水当量直径的患者,如果他们的椭圆率不同,接受的辐射剂量也不同。Szczykutowicz 等研究了头部,肩部和腹部患者 CT 检查中横轴面椭圆率的量化对 AEC 的影响,AEC 系统是复杂的,考虑到的不仅仅是患者的体型,同时也应该考虑患者的椭圆率。

Moloney 等评估改良后的基于模型的迭代重建(MBIR)方案的低剂量 CT 用于监测囊性纤维化(CF)患者的肺部改变的监测。发现这个 LD-MBIR 技术提供了肺的全容积成像,并且跟类似的辐射剂量胸片相比,它能够更早和更可靠的检测支气管扩张、粘液堵塞以及其它细微的征象,非常适合对慢性肺部疾病的年轻患者进行随访。Li 等采用器官剂量调制(ODM)评估两种不同探测器覆盖范围(80 mm 和 40 mm)对女性胸部 CT 图像质量和辐射剂量的影响。发现与使用 80 mm 准直和 ODM 螺旋扫描的胸部 CT 相比,使用 40 mm 准直和 ODM 螺旋扫描的胸部 CT 可确保良好的图像质量,并且可减少 25% 的辐射剂量。Aydin 等通过调整肺栓塞 CT 方案去减少卵巢的辐射暴露,从而更小的影响女性的生殖能力。发现第三代双源 CT(Somatom Force, Siemens Healthcare)上以单能模式自动进行管电压选择和管电流调节,进行胸部造影增强 CT 检查,对于缩小成像窗口的方案,可降低卵巢辐射暴露。Chen 等探讨 16 cm 宽探头连续三次轴位扫描在“三联”CT(TRO CT)检查中的价值,发现与传统的 TRO 扫描协议相比,在 16 cm 宽探测器 CT 上使用 3 个连续的“三联”(TRO)CTA 横轴面扫描减少了辐射剂量和暴露时间,同时保持了图像质量。

Emaminejad 等研究了在不同的辐射剂量水平、层厚与重建算法的组合中计算机辅助系统(CAD)对低剂量肺癌筛查的结节检出率。发现在使用中等的重建算法和 1 mm 或 0.6 mm 的切片厚度中,对于 Lung RAD4,受试者水平平均敏感度为 40%~80%,对于 Lung RAD3 为 27%~55%,对于 Lung RAD2 为 22%~50%,对于 Lung RAD1 为 10%~53%。在 Lung RAD3 和 Lung RAD4 类别(甚至下降至筛选剂量的 10%)的所有剂量水平下,敏感度都是稳定的。说明重建方式会产生多变的性能,但是 CAD 检测敏感度对于剂量、层厚和重建算法是稳定的。假阳性也异常地稳定,除非在非常高的噪音(低剂量、薄层、尖锐重建方式)条件下。

肺癌筛查

传统 CR 片应用最广泛,但是对放射科医师来说在 CR 片上检出小结节仍然是非常困难的。Lee 等评价深度卷积神经网络模型(深度学习模型,DLN)在用胸部 CR 片检出 T1 期肺癌中的表现。发现用于检出 CXR 上肺结节的深度学习模型在检出 T1 期肺癌中表现优异。White 等发现和 ACR Lung Rads 相比,在确定 NLST 的实性结节的恶性方面,Vancouver 风险模型展示出更高的敏感度、特异度和符合率。对于实性结节的恶性可能性的评估,Vancouver 风险计算器这样的风险模型,优于 ACR Lung Rads 分级系统。

Scholtz 等调查了 2017 年修订版 Fleischner 协会指南对疑似急性冠脉综合征患者的急诊冠状动脉 CT 血管成像中发现的实性肺结节的影响。发现肺结节按照 2017 年修订版 Fleischner 协会指南处理,将大大减少建议后续胸部 CT 的数量。Walter 等发现在 NSLT 中,DCT 肺癌筛查中确认的新发实性结节,超过一半是可吸收结节。首次随访,联合体积倍增时间(VDT) ≤ 590 天和体积 ≥ 200 mm³ 的阈值,可用于风险分层。基线扫描后新检出结节的出现,决定了筛查计划的成功。通过 VDT 和体积的合适的风险分层,能够避免延误癌症的诊断。

Petranovic 等追踪了在最初的肺癌筛查检查中 RADS 3 级和 4 级的结局。发现 3 级和 4 级患者最终诊断为恶性的比例,要比预计的要高。少数患者诊断为良性。并发症的发生率很低。得出 Lung-RADS 4 级诊断为恶性的比例较高,3 级诊断为恶性的比例较低,强调了在这些患者的处理中遵守指南的重要性。Milch 等调查了虽然 Lung-RADS 筛查起源于和回顾性地初步证实于 NLST 和 I-ELCAPA,它在主要为贫困、种群多样的人群中,依然表现良好,达到或超过了基准水平。在临床实践中, Lung-RADS 增加了

LDCT 的阳性预测值(PPV),为 16.6%(在 NLST 中为 3.8%),Lung-RADS 4a 的 PPV 为 43%,4b 为 83%,明显超过了 ACR 癌症诊断的基线(基线:4a 为 10%~15%,4b 为 $>15\%$)。

Wu 等发现了一个新奇的、用于肺结节自动检出的深度智能 CAD 系统,该系统检出了 83.0%的真实结节,明显优于放射医师。它的假阳性率显著减少,每个病例 23%。Schreuder 等研发了一个基于 CT 基线和临床信息的风险模型,用于计算通过在低危人群中省略一年一次的筛查来节省费用和延误的癌症诊断数量的利弊。发现基于临床和基线扫描的预测模型,可用于个性化肺癌筛查的随访时间间隔、减少辐射和费用。风险模型不同,结果也明显不同。提示在该模型中,通过挑选大量的每两年随访一次的受试者而只有非常少的患者延误了癌症的诊断,可用于改善肺癌筛查的效率。这能显著降低费用,减少辐射负荷和放射医师的工作量。

很多良性肺结节的患者进行了不必要的手术,因为没有能力在常规非增强 CT 图像上做出关于结节病理的自信的预言。有趣的是,很多恶性结节有淋巴细胞的渗滤,显示在结节周围,这样造成了结节内部和结节外部不同的质地表现。Alilou 等评价结节界面锐利度(NIS),一个新的放射特征,用于捕捉从结节内部到结节外周的纹理变化。发现最有信息价值的 NIS 特征是平均灰度的轮廓和边缘像素梯度的熵。SVM(Support Vector Machine)区分系统作为独立的确认系统,发现在非增强 CT 图像上,结节界面锐利度(NIS)的放射特征,捕获空间上从结节的内部到周围的密度的过渡,这样能够区分 CT 图像上的良恶性结节。Ohno 等发现薄层 CT 图像上,新发展的 3D 计算机辅助体积测量(CADv)具有定量能力来预测恶性和术后复发。Bakr 等将一种和大小不相关的放射组学(从影像学图像中高通量地提取大量的影像特征)模型用于 CT 图像上所见肺结节的分级,得出当结节大小相近的时候,在区分肺结节良恶性方面,纹理特征是最有价值的信息。

Godoy 等回顾性分析了 NLST 中引起死亡的肺外恶性肿瘤的 CT,发现肺癌 CT 筛查图像上最容易检出的肺外恶性肿瘤是食管癌(37.1%,13/35),乳腺癌(35.7%,5/14)和胰腺癌(3.1%,10/76),肺外恶性肿瘤是肺癌筛查人群的第三常见的死亡原因。在肺癌 CT 筛查图像上检出肺外恶性肿瘤,可能帮助降低高危人群的死亡率。

Kim 等探讨影响冠状动脉钙化(CAC)积分 CT 对肺癌患者诊断延误的因素,确定可预测死亡率的预后因素。在 CAC 积分 CT 上,对于肺癌的检测和解释错

误的担忧可能会减少延迟诊断。年龄较大和病变面积较大可能生存率较差,相反,亚实性病灶特征可能有较好的生存率。

肺癌的放射介入诊疗

Tselikas 等评估了癌症患者经皮图像引导下活检行基因组分析的并发症以确定术前危险因素,发现最常见并发症是气胸(61%)、出血(24%)和疼痛(7%),无1例并发症具有生命危险。单因素分析中发现肿瘤位置(肺)、肾功能、病变大小、深度和俯卧位置可作为并发症的预测因素。多因素分析发现在该人群样本中,只有肿瘤位置(肺或其他)和肺活检深度,是具有显著意义的危险因素。这证明经皮图像引导下的针芯活检对癌症患者的分子筛选是可行且安全的。已确定的不同危险因素不会增加死亡率或阻碍组织活检的成功率。这有助于癌症患者的靶向治疗的选择。Sridhar 等研究了气象条件(尤其是大气压和温度)与CT引导下经皮肺活检后气胸和胸腔置管的发生率。发现尽管气象因素可能影响自发性气胸的发生率,但这些因素与活检后气胸或胸腔置管的发生率却没有相关性。因此常规天气波动不会影响活检后气胸的发生率,也不会影响术后安排/计划。Oh 等评估了CT引导下,在肺部病变中由机器人辅助的立体定位细针穿刺的准确性和可行性。所开发的机器人系统包括5个轴向的机械臂,带有电动机控制器的移动平台,用于规划针穿刺路线的精细的工作站以及导航系统(PolarisSpectra, NDI, Canada)。它提供了一些有帮助的功能,例如针穿刺进入规划、呼吸监测、激光引导、细针自动定位和引导。共进行了21次针插入试验。针插入后使用CT图像来测量靶区与实际针尖之间的距离,并测量计划前与实际针穿刺路线之间的角度。发现与常规手术相比较,所研发的机器人系统提供了CT引导下的肺部病灶针穿刺的相当可观的准确性,且克服了非专家参与的障碍。

Hwang 等调查分析了4172例经皮肺穿刺活检后咯血的危险因素,发现肺动脉主干直径(mPAD)增大,联合同时伴有结节的亚实性和空洞,是术后咯血的相关危险因素。Ahn 等调查了I期非小细胞肺癌经皮穿刺活检术后胸膜复发的风险,确定经皮经胸穿刺活检(PTNB)是否增加在I期非小细胞肺癌(NSCLC)中孤立性胸膜复发和伴随胸膜和转移的风险。发现PTNB不增加早期NSCLC孤立性或伴发胸膜复发的风险。PTNB组并发胸膜肺炎的发生率较高,可能与周围型肺癌有关,可能伴有微小胸膜浸润。表明PTNB可用于早期肺癌的证实性诊断,而不增加孤立性或伴随性胸膜复发的风险。针对NSCLC的个性化靶向治

疗的基因组分析是新兴研究。2009年7月, Murphy 等的机构中引入了 BRAF、ERBB2、PIK3CA 和 ALK 易位以及 EGFR 和 KRAS 中的突变的系统测试,发现 CT 引导下经胸穿刺活检(TTNB)是一种可行、安全和有效的靶向治疗基因组谱分析技术,能够获取足够的组织用于基因突变分析。通过重复活检鉴定 T790M 抗性突变对于确定第三代表皮生长因子受体(EGFR)酪氨酸激酶抑制剂(TKI)的潜在候选患者的合格性是至关重要的。Chae 等探讨重复活检标本采集成功的预测因子,用于突变分析和 T790M 突变检测。发现重复活检时 T790M 突变的检测与较小的靶肿瘤大小和选择转移病灶作为活检靶有关。在作为第三代 EGFR TKI 候选物的重复活检(PTNB)患者中,活检靶的选择可以影响 T790M 突变的检测。EGFR-酪氨酸激酶抑制剂(TKI)治疗失败后再活检用于非小细胞肺癌(NSCLC) T790M 突变分析对进一步确定化疗方案是重要的。然而,关于 T790 突变患者的临床和影像学差异知之甚少。Koo 等总结了 T790M 突变患者的临床和 CT 特征。发现 T790M 突变可能与初始 TKI 失败和再活检之间的间隔有关。非小细胞肺癌 TKI 失败患者 T790M 突变阳性与原发肺癌旁胸膜回缩及 CT 胸膜转移密切相关。

在非结直肠癌肺转移的消融治疗上,Nour-Eldin 等对激光诱导间质热疗(LITT)、射频消融(RFA)和微波消融(MWA)后肿瘤反应进行回顾性分析后发现,经 LITT 治疗的患者在 1、2、3、4 年的总生存率分别为 93.8%、56.3%、50.0%和 31.3%,经 RFA 治疗的患者分别为 81.5%、50.0%、45.5%和 24.2%,经 MWA 治疗的患者分别为 97.6%、79.9%、62.3%和 45.4%。MWA 明显较 RFA 效果更好。无进展生存期最长,约 23.49 ± 0.62 个月,肿瘤复发率亦最低,约 7.7%。表明三种方法均为非结直肠癌肺转移患者提供了有效的治疗选择,而 MWA 在局部肿瘤控制和无进展生存率中更具优势。Aoun 等评估了CT引导下多个位置进行冷冻消融治疗转移性肺肿瘤的技术可行性,疗效和并发症发生率。发现无论肿瘤大小如何,经皮冷冻消融治疗转移性肺肿瘤疗效好且复发率低,且肿瘤的大小和位置并不显著影响并发症发生率。Wang 等进行了肿瘤消融与立体定向放射治疗(SBRT)治疗1期NSCLC患者的倾向评分匹配分析,比较了两种方法的治疗水平。发现在I期NSCLC患者中,热消融和SBRT使用倾向评分匹配分析显示疾病进展和总生存率相当。消融治疗局部肿瘤复发率更高,而SBRT治疗新的转移发生率更高。对于手术切除的pN2期NSCLC患者,辅助化疗继之以PORT是标准的治疗选择。但是,对于接受肺切除术的患者,使

用 PORT 的效果并没有明确的证据。Wang 等评估 PORT 对 Pn2 期 NSCLC 患者生存率的影响,发现对于肺癌术后辅助化疗的 pN2 期 NSCLC 患者,手术后放疗(PORT)可作为治疗的选择,因为安全,可改善癌症特异生存率(CSS),有助于改善总体生存率(OS)和无远处转移生存率(DMFS)。Deng 等评估了胸部放疗(TRT)对广泛期小细胞肺癌(SCLC)化疗后生存的影响。发现对于不同脑转移状态和化疗后反应不良的广泛期 SCLC 患者,TRT 可显著改善总体生存率(OS)和无进展生存期(PFS),并减少局部区域复发率。

Aoun 等报道了一种术前 CT 引导下进行肺结节标记的创新技术,该技术在电视胸腔镜手术和机器人电视胸腔镜手术前,于 CT 引导下将 4~6 mL 亚甲基蓝/胶原溶液注射到结节周围位置,随后进行 CT 扫描并将患者转入手术,发现所有结节均能形成周围凝固,94%的结节均很容易被胸外科医生观察到,病理标本证实这些结节均被充分切除,表明通过 CT 引导下的亚甲基蓝/胶原溶液注射的结节周围定位提供了一种低成本,高疗效且安全的技术。Sommer 等分析了三种不同类型的用于肺动脉栓塞的微球体,发现 250 μm 的 VISIBLE 微球体具有较高的 X 线下可见度,应用这种微球体进行肺动脉栓塞治疗具有潜在临床优势。Hu 等对比了微弹簧圈和钩线对小的肺结节术前定位的有效性和安全性,发现两种方法对小的肺结节在 CT 引导下经皮术前定位中均有效,但使用微弹簧圈比钩线的术后并发症更少,为术前定位的最佳方法。

肺结节磁共振成像

在目前的实践中,肺部磁共振成像(MRI)越来越被认为是有价值的辅助手段,甚至是计算机断层扫描(CT)的替代选择。形态学序列的优越软组织对比度和 MRI 的功能成像能力为肺恶性肿瘤的检测和评估开辟了新的视角。在筛选环境中,应用范围从作为首选筛选方式的肺部 MRI,到临床 CT 检查结果的临床特异性肺功能的多参数表征的详细评估。恶性肺部病变:癌、转移瘤、类癌和淋巴瘤通常在 T1 加权像上呈现非特异性低或中等信号强度,在 T₂WI 上呈现高信号强度。反转恢复(STIR)序列实现约 80%的敏感度和 60%的特异度。动态对比增强(DCE)MRI 是评估灌注后病灶的对比摄取。它具有 50%~95%的特异度和 50%~100%的敏感度,诊断符合率为 75%~94%,因此接近对比增强 MDCT 和 FDG PET/CT 的准确性。与动态增强 CT 相比,静脉对比剂应用后,实质性肺部病灶的 DCE MRI 在增强很低或增强缺失的情

况下,具有较高的阴性预测价值。最近,扩散加权成像(DWI)已被提倡评估局灶性肺部病变。DWI 对恶性肿瘤的敏感度为 70%~90%,特异度为 60%~95%。然而,DCE-MRI 和 DWI 仍然不能被认为是稳定的、高度标准化和简单的临床应用技术。应用的协议差异很大,呼吸运动的补偿和血液/组织信号与钆浓度的非线性等基本问题的解决方案仍有待研究。基于多参数 MRI 评估肿瘤生存力的其他方法在早期的实验水平上。

关于 DWI 在胸部疾病中的应用,已经报道了几个合适的参数,通常包括 5 点评分量表,病灶-脊髓比(LSR)和表观扩散系数(ADC)。Shen 等对多参数 DWI 对肺部病变的评估和特征诊断进行了 Meta 分析,发现根据视觉参数(5 分量表)、半定量参数(LSR)和定量参数(ADC),DWI 有助于区分恶性和良性肺部病变,其诊断性能无显著差异。Zhou 等比较体素非相干运动(IVIM)和动态增强磁共振成像(DCE-MRI)在鉴别肺癌(LC)和良性肺部病变的能力,发现基于 DWI 和 DCE-MRI 的 IVIM 模型均可用于鉴别恶性肺结节的良性病变,并可通过多种参数提供定量扩散和灌注信息。该研究认为联合 DCE-MRI 和 IVIM 可以为孤立性肺结节的微观结构特征提供更好的帮助。Kishida 等为了确定计算的 DWI 图是否能提高 MRI 中肺结节的诊断能力,发现计算的 cDWI400 和 cDWI600 的分辨率明显高于 cDWI1000,而 cDWI1500 明显低于 cDWI1000,实际 aDWI 和计算的 cDWI600 是诊断恶性肿瘤的显著预测因子,说明 DWI 的 b 值恰当的时候,DWI 技术有可能提高肺结节患者的诊断效能。Zhang 等探讨 MRI 对磨玻璃结节形式的浸润性肺腺癌(IPA)的鉴别诊断价值。发现结节最大直径、T₂ 信号强度和 ADC 值有助于侵袭性肺腺癌的鉴别诊断。Calandriello 等研究了 NSCLC 中,DWI 评估的原发癌的细胞密度和 PET/CT 评估的代谢参数是否能作为淋巴结转移的预测因子。发现治疗前全身 MRI 加 DWI (maxTD 和 ADCmean) 和 FDG PET/CT (MTV 和 TLG) 可以作为 NSCLC 患者淋巴结转移的预测因子。Ohno 等比较了通过定量评估的 DCE-MRI,FDG-PET/CT 和多参数方法在经放化疗的非小细胞肺癌(NSCLC)患者中两种模式的治疗反应预测能力。发现采用 DCE-MRI 和 PET/CT 多参数方法可以提高 NSCLC 患者保守治疗后各项治疗反应预测能力。

Ljmani 等在功能性肺成像中用傅立叶分解 MRI 分析不同的图像配准算法,发现用 FD-MRI 计算灌注和通气图像的强制性运动校正对于不同的图像配准算法是可能的,而且不会对运动校正的质量或计算的功

能肺值的变化产生显著影响。fMRI Lung 3.0(西门子子公司研究)提供了最快的运动校正方式。

Stroeder 等比较 Gd 增强 MR 血管造影和平扫 MR 成像技术在遗传性出血性毛细血管扩张症(HHT)患者中肺动静脉畸形(PAVMs)检出率。发现使用 SPACE 序列, HHT 患者临床相关的肺 AV 畸形的检测可以安全地在患有对比剂禁忌症的患者中进行(例如妊娠)。

Shan 等评估了 DWI 对兔肺 VX2 肿瘤射频消融后疗效监测的作用,发现 DKI 可用于评价 RFA 在术后第 1 天的疗效,ADC 值($b=0,500 \text{ s/mm}^2$)和 DKI 可用于术后第 3 天的评价,DKI 和 SEM-DWI 均可用于术后第 7 天和第 14 天的评价。提示 DKI 和 ADC 可用于早期评估 RFA 后的肺部肿瘤。

肺气肿/慢性阻塞性肺疾病

已证实肺气肿的类型与患者症状的损害程度相关,Lynch 等利用 Fleischner 分类系统对肺气肿进行肉眼观分型,并探讨了与吸烟者死亡率的关系,发现肺气肿分型与吸烟者死亡率是独立相关的,不依赖于用 CT 值低于 -950 HU 的低密度区百分比来测量的肺气肿严重度这个指标。性别对气道壁厚度有显著影响。男性的气道壁往往比女性气道壁厚。然而,在分析 CT 显示视野(DFOV)对 NIH 赞助的 COPD 研究(SPIROMICS)中的亚群和中间结果测量中气道壁厚度的作用时,Motahari 等发现这种气道壁度量的性别效应随着 DFOV 增加而变化,因而在测量中必须考虑性别因素。

Park 等调查了 258 例慢性阻塞性肺疾病(COPD)患者,在肺功能试验基础上进行 CT 检查,并随访 1 年。患者接受长效 β -激动剂和皮质类固醇的联合吸入。从容积 CT 数据中,使用全宽半最大值(FWHM)和基于积分的半频带(IBHB)方法获取肺气肿指数,气道捕获指数(ATI)和小气道参数(AWT-Pi10),发现通过 IBHB 方法准确测量 Pi10 可能有助于预测 1 年随访期间 COPD 的治疗结果。Ohno 等发现吸气/呼气氙增强区域检测器 CT(ADCT),可以对吸烟者的区域通气、肺功能丧失和临床阶段进行评估。Kim 等应用参数反应图(PRM)评价 COPD 患者肺气肿和局部空气滞留的分布和变化,发现用参数反应图对 COPD 患者进行横断面和纵向分析,可以提供功能性小气道疾病先于肺气肿的证据。

成像协议的多样化引起了关于所用度量的可靠性问题。Hoffman 等研究调查 CT 肺采集和重建参数对 CT 肺部筛查肺气肿评分的多因素影响。发现,随着 COPD 定量评估的增加和对降低 CT 剂量的不懈努

力,协议的改变方向比较相似。这表明,进一步的降低剂量(降低至 1 mGy)可以得到可靠的肺气肿定量评价。然而,须选用适当的重建参数,避免参数依赖的评分变化。

双能 CT

Hwang 等使用联合氙 V 和碘 Q 双能 CT(DECT)评估哮喘-慢性阻塞性肺病重叠综合征(ACOS)患者的局部通气(V)和灌注(Q)状态。发现 ACOS 患者最常见的结构改变是支气管壁增厚的肺气肿(52.1%),其次是支气管壁增厚(27.1%),在 ACOS 患者中比在 COPD 患者中更常见($P<0.001$)。因而,ACOS 患者联合 V 和 Q DECT 可评估 V、Q 和 V-Q 关系。ACOS 和 COPD 患者的区域结构异常和 V 和 Q 状态可能不同。ACOS 患者联合氙气通气和碘灌注 DECT 可同时评估局部结构异常、通气和灌注状态。Kay 等采用动态-首次灌注 CT(DynCT)作为金标准,探讨 DECT 增强评估急性肺损伤(ALI)模型区域灌注的能力。通过 DECT 和 DynCT 来评估是否由于俯卧位通气引起的肺灌注改变,发现 DECT-PBV 与 ALI 模型中的 DynCT-PBF 相关,并且能够证明肺灌注的区域差异。表明 DECT-PBV 可作为 ALI 区域肺灌注的替代指标。Xu 等评价了结合形态学 CT 特征的定量 DECT 碘增强指标在区分 SCLC 和 NSCLC 上的潜在临床效果,发现这种方法在 SCLC 和 NSCLC 的鉴别诊断上优于单独使用 CT。

肺弥漫性病变

特发性肺纤维化(IPF)是具有不均一自然进程的致命性肺部疾病。已经开发了一些预测性临床模型,但是很少纳入高分辨力 CT(HRCT)信息。Shi 等提出了一个由量子粒子群优化算法驱动的综合特征选择和模式识别算法,可以实现更好的预测性能。该算法具有广泛的可扩展性,在 IPF 患者及时治疗方面具有很大的潜力。有比例很小但很重要的肺纤维化患者的 CT 扫描不能用现行的指南进行分类。Chung 等评估了这些“不确定”病例相对于病理发现的 CT 诊断意义,发现在 IPF 中使用目前的 CT 指导原则,有很多案例无法准确地分类,这些病例通常被归类为可能的间质性肺炎,但是关于其病理 UIP 诊断,与高信度可能的 UIP 的病例不同。肺超声表面波弹性成像(LU-SWE)可能有助于评估间质性肺疾病(ILD),因为可以测量肺表面组织的性质。Bartholmai 等研究了 ILD 中的表面波速度,并将结果与肺功能和定量 CT 的实质特征进行了比较,发现 LUSWE 是一种安全且无创的技术,可能有助于评估 ILD 的存在,并与肺功能和

定量 CT 相关。Park 等采用配对完全吸气和呼气 CT 扫描图像配准的直方图分析,评估女性 ILD 患者肺活量水平的肺弹性。发现 ILD 患者肺活量水平,肺弹性在绝对值和异质性方面显著降低,提示 ILD 患者的肺弹性降低可以通过完全吸气和呼气 CT 扫描定量评估,并且可能是未来研究中 ILD 潜在的生物标志物。Occhipinti 等比较半定量分析(semi-QA)和定量分析(QA)在评价系统性硬化症(SS)合并 ILD 患者治疗反应中的作用。发现 Δ FVC 和 Δ DLco 反映疾病进展的不同方面,包括体积和扩散能力的损害。QA 可使两方面同时进行客观和可重复的评价,量化后续治疗过程中肺模式的变化,并且与 semi-QA 相比,与肺功能和肺动脉高压有更好的关联。QA 是评估 SS 患者治疗反应的一个有希望的成像生物标志物,加上 Δ FVC 和 Δ DLco,同样最近在 IPF 中被推荐。

慢性移植肺功能障碍(CLAD)及其亚型、闭塞性细支气管炎综合征(BOS)和限制性同种异体移植植物综合征(RAS)限制了肺移植后的长期存活(LTx)。早期诊断可能通过早期干预来改善最终的预后。MSc 等分析了定量胸部 CT 肺密度分析在 CLAD 的早期诊断中的意义,发现单侧和双侧肺移植患者的 CLAD、RAS、BOS 和 No-CLAD 之间都有统计学差异($P < 0.05$),单侧和双侧 No-CLAD 无统计学差异。说明从肺密度直方图得出的定量 CT 参数可能有助于单肺移植和双肺移植患者的 CLAD 的早期诊断。

Schiebler 等发现非增强 CT 上测出的椎旁肌肉萎缩症(PSMD)与 IL-6 密切相关, MetS 的存在与椎体骨密度(BMD)和 PSMD 呈负相关。没有发现使用吸入或口服类固醇与 MetS 或肝脏密度(LD)有关,因为可能没有可检测的剂量效应。从常规非增强 CT 胸部检查获得用于肌萎缩症的一个简单的成像生物标志物,它与 IL-6 呈负相关。这是证实肌内脂肪渐沉积对正常健康有害并且促进炎症细胞因子潜在增加的证据。

胸部(血管)

肺血管阻力(PVR)是肺动脉高压治疗中的重要参数,并且是评估在几种较新的靶向疗法疗效主要终点。目前,侵入性心导管是通过提供血流动力学指标如 PVR 和平均肺动脉压(mPAP)来准确评估肺动脉高压严重程度的金标准。目前尚未建立与 PVR 相关的 CT 参数。Baruah 等提出了一种新方法,推注常规 CTPA 对比剂后检测 CT 图像与 PVR 的关联。发现常规 CTPA 测量团注动力学信息(FWHM)是一种简单、可靠、易实现的非侵入性方法,与传统的 CTPA 参数相比,FWHM 与 mPAP 和 PVR/PVRI 具有很强的

相关性。Melzig 等评估基于肺 CT 血管造影的周围型肺血管全自动容积检测对肺动脉高压(PH)的无创诊断,发现基于 CTPA 的周围肺血管全自动容积检测显示,与无 PH 患者相比,RHC 确诊的 PH 患者的外周血管容量显著增大。肺周围 10mm 范围内的血管容积显示出最佳的诊断效能,并且以高的符合率诊断出 PH。

Moroni 等研究了 CT 肺动脉造影(CTPA)参数对急性肺栓塞(APE)的预后价值,发现右心室直径/左心室直径比(RVD/LVD) > 1.1 与 RVD 有显著的相关性,在 APE 中,RVD/LVD 在预测 RVD 方面与超声心动图一样好。冠状窦直径与短期不良事件的风险相关。Scholtz 等采用延迟期钆增强(LGE)和 T_1 映射技术定量评估肺动脉高压(PH)的严重程度。IP 和室间隔中的 pFV 和 ECV 值可能是与 PH 心肌病相关的其他标志物。随着 PAP 和 PVR 的增加,心肌纤维化区域倾向于扩大,而心肌纤维化程度并没有明显增加。慢性血栓栓塞性高血压(CTEPH)会产生体循环侧支供应。Sun 等评估使用经动脉注射对比剂确定从体动脉到肺血管系统的分流程度是否与 CTEPH 患者的临床严重程度相关。得出从全身动脉到肺血管的分流的定位是可行的。由分流评分衡量的全身侧支供应的程度可能归因于不能接受手术的 CTEPH 患者的临床严重程度。不能手术的 CTEPH 患者的气囊肺血管成形术(BPA)结果不一。为了更深入地了解这种变化,Zhai 等使用 CT 肺血管造影(CTPA)来可视化 and 量化肺灌注的变化。我们验证了这些在右心导管术期间测量的血流动力学变化。研究发现,比较成像可以观察 CTEPH 患者的 BPA 治疗效果的差异。这些灌注变化的量化可以非侵入反映血流动力学的变化,CTPA 可用于 CTEPH 患者 BPA 前后,显示血管和实质区域的密度变化,并推荐用于监测治疗效果。

Liu 等通过自由呼吸联合高阈值团注技术,研究了肺栓塞患者的肺周血管可视性。所有 CPTA 检查顺利,所有的分支到达 6 级或更远。在平均扫描时间方面,自由呼吸组和控制呼吸组两组之间无显著差异($P = 0.367$)。显示的 6、7、8 级末梢肺血管的数目之间没有显著差异。提示和屏气模式相比,16cm 宽的探头的自由呼吸模式 CPTA 有同样的能力来显示肺周血管。这说明自由呼吸 CPTA 可成功用于肺栓塞患者,对那些不能屏气的患者尤其有价值。

在(遗传性出血性毛细血管扩张症/奥斯勒病(HHT)患者中推荐的 PAVM 治疗方法是使用线圈进行导管栓塞或使用血管塞。虽然即刻介入后成像可能显示栓塞治疗的完全成功,但可能由于侧支血管开放或栓塞血管本身的再灌注而发生再灌注。Schneider

等评估时间分辨对比增强 MRA 检测再灌注 PAVM。发现高时间分辨对比增强 MRA 对于标准的高分辨力解剖成像是一个有用的辅助手段,它允许评估引流静脉的增强动力学作为 PAVM 再通的指标。与栓塞 PAVM 的 CT 成像相比,这是对比增强 MRA 的一个重要优势。

肺结节诊断相关/其他

通过空气空间传播(STAS)是一种最近被确认的肿瘤侵袭模式,据报道它是肺腺癌(ADCs)复发和存活的一个预测因子。然而,目前还没有对肺腺癌基于图像识别 STAS 进行详细的研究。Kim 等研究了肺腺癌中与通过空气空间传播(STAS)有关的影像特征,发现 STAS-阳性在实体肿瘤中更常见,而非部分实性结节和磨玻璃结节,还发现中心低衰减、肿瘤边缘模糊、实性成分百分比和 FDG 的摄取都与 STAS 有关。实性成分百分比是 STAS 存在的唯一独立预测因子。目前已知肺腺癌浸润性成分与 CT 下亚实性结节的实性成分之间密切相关。Garzelli 等通过对比 CT 上的实性成分的测量值和肺腺癌中表现为亚实性结节的病理上浸润性成分的测量值,来评估一种血管去除算法在亚实性结节分割中的价值,发现在亚实性结节软件分割中添加血管去除算法,可以提高肺腺癌侵袭性成分的预测。

Yamashiro 等使用由 320 排 CT 提供的 4 维(4D)动态通气扫描来评估周围型(胸膜下)肺癌的胸膜壁侵犯和粘连,发现软件辅助的 4D 动态通气 CT 图像相对于常规胸部 CT 实现了完美的诊断准确性(敏感度和特异度均为 100%),提示可作为一种新的成像方法,用于周围型肺癌胸膜侵袭/粘连的准确术前分析。Kim 等发现在肺癌患者中,肌萎缩症与老年、男性性

别、高级别分期、伴发病、低体重指数显著相关。然而,对于肌萎缩症,肺癌的组织学亚型并不是一个独立的因素。

肺结节的测量对于确定结节的早期恶性转化具有重要意义,恶性转化结节的诊断依赖于多次复查 CT 尺寸显著增加(增加 $>25\%$)和形态学改变。近年来,很多限制因素对结节测量的准确性影响已经被报道,如结节大小、位置、形态、呼吸和其他扫描参数。Penha 等发现在不同心脏扫描的时相里,肺结节的体积随心脏时相的变化具有显著的变异,从而确定了血流动力学因素对肺结节的体积测量的影响。

几十年来,肺错构瘤(PH)的 CT 诊断基于局限于 $<2.5\text{cm}$ 的光滑肺结节内的爆米花样钙化或脂肪密度($-40\sim-120\text{HU}$)的存在。选择这些严格的标准是为了避免将坏死性肿瘤归类为良性。少数肺错构瘤(PH)符合这些标准,这导致了不必要的手术切除。Eifer 等评估肺错构瘤(PH)中的 HU 值的分布范围,以及是否可以将脂肪含量阈值放宽,从而安全地实施这项标准以用于非侵入性诊断 PH,而不会将恶性病变误诊为良性病变,发现通过将 PH 中的脂肪阈值提高到 -20HU ,可以避免不必要的手术干预,而不会将癌症误诊为良性病变。

Soliman 等研究了黑色素瘤患者肺结节的随访时间线以确定结节的良恶性,并讨论了良恶性结节的特征。他们发现基线 CT 上的不确定肺结节极可能是良性的,监测达 6 个月即可以证实。新出现的结节的转移可能性很高,如有需要,随访 3 个月可以证实。良性结节的体积增加明显低于转移性结节。新发的叶间裂周围结节并不能排除转移性起源,磨玻璃密度和不规则边缘最可能为转移瘤。