

论 著

迭代重建结合超低剂量CT对肺结节的诊断价值*

王 龙¹ 郑树成² 张德江²
陈 颀³ 陈 星^{4,*}1.唐山市人民医院CT室
2.唐山市人民医院放射科
3.唐山市人民医院放疗中心
4.唐山市妇幼保健院超声科
(河北 唐山 063000)

【摘要】目的 通过分析迭代重建结合超低剂量CT技术(ULDCT)定性诊断肺结节,探讨迭代重建结合ULDCT技术在用于定性诊断肺结节工作中的应用价值,并进行对比分析。**方法** 在2022年8月至2023年5月期间,对100名肺结节患者进行了常规剂量CT、低剂量CT(LDCT)以及迭代重建结合ULDCT技术检查,并对比三种技术的检查结果。基于手术检查的病理结果,绘制受试者的工作特征(ROC)曲线来分析迭代重建结合ULDCT技术用以定性诊断肺结节的临床应用价值。**结果** 通过手术检查得知病理结果,显示100例肺结节患者中,良性结节有78例,恶性结节有22例。通过常规剂量CT技术检查的100例肺结节患者中,良性结节有75例,恶性结节有17例;通过低剂量CT技术检查的100例肺结节回诊患者中,良性结节有76例,恶性结节有15例;通过迭代重建结合ULDCT技术检查的100例肺结节回诊患者中,良性结节有77例,恶性结节有21例。ROC曲线分析结果显示,常规剂量CT、低剂量CT以及迭代重建结合ULDCT的敏感度分别为0.773、0.682、0.727,特异度分别为0.962、0.974、0.936,曲线下面积分别为0.867、0.828、0.832。**结论** 迭代重建结合ULDCT技术与常规剂量CT、低剂量CT技术相比较来说,检查结果较为精准。

【关键词】 迭代重建; 超低剂量CT;
肺结节; 定性诊断

【中图分类号】 R563

【文献标识码】 A

【基金项目】 河北省医学科学研究
重点课题计划(20231809)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.015

The Diagnostic Value of Iterative Reconstruction Combined with Ultra-Low Dose CT for Pulmonary Nodules*

WANG Long¹, ZHENG Shu-cheng², ZHANG De-jiang², CHEN Di³, CHEN Xing^{4,*}.

1. CT Room, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China

2. Department of Radiology, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China

3. Radiotherapy Center, Tangshan People's Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China

4. Department of Ultrasound, Tangshan Maternal and Children Health Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China

ABSTRACT

Objective To explore the application value of iterative reconstruction combined with ultra-low dose CT (ULDCT) in qualitative diagnosis of pulmonary nodules, and make a comparative analysis. **Methods** From August 2022 to May 2023, 100 patients with pulmonary nodules were examined by conventional dose CT, low dose CT and iterative reconstruction combined with CT(LDCT), and the results of the three techniques were compared. Based on the pathological results of surgical examination, the ROC curve of the subjects was drawn to analyze the clinical application value of iterative reconstruction combined with ULDCT technology in qualitative diagnosis of pulmonary nodules. **Results** Pathological results were obtained through surgical examination. Among 100 patients with pulmonary nodules, there were 78 cases of benign nodules and 22 cases of malignant nodules. Among 100 patients with pulmonary nodules examined by conventional dose CT, 75 were benign nodules and 17 were malignant nodules. Among 100 patients with pulmonary nodules examined by low-dose CT, 76 were benign nodules and 15 were malignant nodules. Among 100 patients with pulmonary nodules examined by iterative reconstruction combined with ULDCT, 77 were benign nodules and 21 were malignant nodules. The ROC curve analysis results show that the sensitivity of conventional dose CT, low dose CT and iterative reconstruction combined with ULDCT are 0.773, 0.682 and 0.727 respectively, the specificity is 0.962, 0.974 and 0.936 respectively, and the area under the curve is 0.867, 0.828 and 0.832 respectively. **Conclusion** Compared with conventional dose CT and low dose CT, iterative reconstruction combined with ULDCT is more accurate.

Keywords: Iterative Reconstruction; Ultra-Low Dose CT; Pulmonary Nodules; Qualitative Diagnosis

人体肺部所患有的大多数疾病都会导致结节的形成,按照肺部结节的基本疾病特性可将肺部结节的病因分为良性病变与恶性病变两种,良性居多^[1]。良性病变包括:肺结核球、肺曲菌病、细菌性肺脓肿等;恶性病变包括肺癌;转移性恶性肿瘤原发灶常来自乳腺癌、肝癌等。肺部结节一般无明显临床症状,患者一般不会有特殊不适感,尤其是小结节或微小结节阶段,患者可无任何症状,多由体检时的肺部CT检查发现。而恶性结节多具有侵袭性,随着结节增大可侵袭血管、神经组织或阻塞气道,使患者出现咯血、刺激性咳嗽和胸痛,也可继发呼吸道感染,晚期还可出现体重减轻、甚至营养不良导致的恶病质等表现^[2]。肺部结节为直径≤3cm的局灶性、类圆形、密度增高的实性或亚实性肺部阴影,可为孤立性或多发性,不伴肺不张、肺门淋巴结肿大和胸腔积液。2012年,世界卫生组织公布了有关肺癌的一组数据:全球每年有180万人被诊断为肺癌,每年有140万人死于肺癌。全球病死率最高、全球发生率最高的癌症类型是肺癌^[3]。在欧洲和北美,患者确诊为肺恶性肿瘤后,存活5年及以上的人数低至8%~16%。因此,如何对肺结节进行准确的定性诊断,对改善患者的预后至关重要。目前,有创的病理学检测、无创的影像学检查是肺癌诊断的主流方式。少数医院还可进行基因检测,但因为检查费用昂贵,在临床应用并不广泛。影像学检查是无创的肺结节和肺癌检查手段,包括:数字X线成(DR)、CT、磁共振显像(MRI)及正电子发射计算机断层显像(PET-CT)^[13]。胸部数字X线成像检查费用低、辐射剂量小、空间分辨率较高、能显示肺结节的整体外观形态,但无法获得断层图像,能检出的肺结节最小直径为6mm,容易漏诊直径10mm以内的肺小结节。而DR为组织重叠成像,密度较为淡薄的纯磨玻璃结节,肉眼不易辨别容易造成漏诊。因此,胸部平片用于肺结节检查具有很大的局限性,现在临床多将其应用于肺部疾病初级诊断或肺癌治疗后的疗效评估^[4]。胸部CT检查是目前肺结节和肺癌影像学检查的主流手段,可提供病灶的解剖学和形态学信息。但扫描所需辐射剂量较大,对于长期复查随访观察肺结节进展的患者,累计辐射剂量可能会有损身体健康。因此,胸部低剂量CT检查和超低剂量CT检查成为近年来的研究热点。越来越多的研究者,尝试不同程度降低管电压或管电流,对比不同管电压和管电流时,肺结节显示情况、图像质量和辐射暴露,评估出最合适的扫描条件。虽然降低扫描条件,使得图像噪声较大,但因肺部内含大量肺泡组织,当患者深吸气后,肺内天然组织对比度良好,肺结节病灶仍可清晰显示,且图像质量可满足临床医生和影像科医生的诊断要求。近年来,各大设备公司相继研发出多种迭代重建技术,可在较低辐射剂量下,获得较高质量的图像,图像噪声大大降低,图像质量得到明显提高。有研究表明,在采用低剂量CT筛查无症状肺癌高危人群

【第一作者】 王 龙,男,主治医师,主要研究方向:头颈部肿瘤诊断。E-mail: hicb8204@21cn.com

【通讯作者】 陈 星,女,副主任医师,主要研究方向:常见病超声诊断。E-mail: 549708700@qq.com

的发达国家,确诊为早期肺癌的患者占三分之二,早期肺癌患者手术切除后10年生存率大大提高^[5]。低剂量CT是采用降低管电压或降低管电流的手段,减少辐射暴露,图像虽有一定噪声,但不影响放射科医师诊断的一种影像新技术,然而进一步减低辐射剂量受到图像信噪比的制约。不过,随着近年来计算机硬件和软件条件的发展,各大医疗设备公司均研发出一些迭代重建技术,可以在较低辐射剂量下,获得噪声较小的图像,提高图像质量,允许一次扫描辐射剂量仅占常规CT十分之一的低剂量CT,应用于临床胸部检查。然而,一些研究报道低剂量CT联合迭代重建技术检测肺结节的敏感性高、特异性稍差。因此,本研究分析迭代重建结合ULDCT定性诊断肺结节,探讨迭代重建结合ULDCT技术在用于定性诊断肺结节工作中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料 搜集我院2022年8月至2023年5月期间肺结节患者100例进行常规剂量、低剂量以及迭代重建结合ULDCT技术检查。所有检查均在1周内进行。其中,男性52例(52.00%),女性48例(48.00%);年龄范围在33至59岁之间,平均年龄为(43.39±12.82)岁;19例合并肺结核;29例有高血压既往病史。此研究已通过我院伦理委员会批准(院科伦审:20220101)。

纳入标准: 有肺结节病史;患者自愿行CT检查;患者选择手术切除肺结节;患者或其家属均已签署CT同意书。**排除标准:** 常规CT发现肺结节后,行抗肿瘤治疗的患者;有精神类疾病难以沟通的患者。

1.2 方法 使用西门子SOMATOM Scope16排螺旋CT机。扫描步骤:①扫描前签署患者知情同意书,将金属物体从患者的身上取出,训练患者配合口令,深吸气末屏气曝光,告知患者扫描过程,以配合医生扫描工作。②符合条件的肺结节复查患者行胸部低剂量CT检查,扫描参数:管电压110kV,管电流16mAs,扫描层厚5.0mm,重建层厚0.625mm,螺距1.375。机架倾斜0度,双臂上举,扫描范围:上包胸廓入口,下包双侧肋膈角下缘。呼吸时象为深吸气末屏气曝光,选用图像空间迭代重建技术(IRIS)后处理重建图像。③憋气困难的肺下叶结节患者扫描时,采取脚先进,扫描方向从肺底扫至肺尖,其余患者采取头先进,扫描方向从肺尖扫至肺底;肺基底部结节患者扫描体位采取俯卧位,其余患者扫描体位采取仰卧位。所得影像数据作为试验组。④在PACS中,查阅患者基线常规胸部CT扫描影像数据,作为对照组,扫描参数:管电压130kV,管电流65mAs,扫描层厚5.0mm,重建层厚0.625mm,螺距1.375。机架倾斜0度;扫描体位采取仰卧位,患者头先进,双臂上举抱头,扫描方向从肺尖扫至肺底,使用滤波反投影(FBP)重建技术。

常规剂量CT(120KV、150mAs)判断结节良恶性的标准,包括:①结节的大小、形态和边缘:良性结节通常较小,形态规

则,边缘清晰;而恶性结节可能较大,形态不规则,边缘模糊或有分叶。②结节的密度:实性结节、部分实性结节和磨玻璃结节的恶性风险不同。③生长速度:定期复查CT,观察结节的生长速度,快速生长的结节可能更倾向于恶性。④周围结构:观察结节与周围组织的关系,如是否有胸膜牵拉、血管受累等。⑤钙化情况:钙化的形态和分布也可提供一定的线索。⑥多发性结节:多发性结节的性质判断更为复杂。

低剂量CT(120KV、80mAs)判断结节良恶性的标准,包括:①结节的形态:不规则形状、分叶状或有毛刺等特征可能提示恶性。②结节的大小:较大的结节恶性风险相对较高。③结节的密度:部分实性结节或实性结节的恶性可能性相对较高。④生长速度:随访期间结节增长较快可能提示恶性。⑤与周围组织的关系:如与胸膜粘连、牵拉等。

迭代重建结合ULDCT(120KV、40mAs)判断结节良恶性的标准,包括:①结节形态:不规则形、分叶状、毛刺征等可能提示恶性。②结节密度:实性、部分实性结节的恶性风险相对较高。③结节大小:结节越大,恶性可能性相对增加。④生长速度:定期随访中快速生长的结节恶性可能性大。⑤边缘特征:模糊、不规则等边缘表现可能提示恶性。⑥内部特征:如有空泡、钙化等。

1.4 统计学方法 运用SPSS 26.0统计软件,对采集到的数据进行处理与分析。其中, $P<0.05$ 差异具有统计学意义。通过运用受试者工作特征(ROC)曲线,分析了迭代重建结合ULDCT技术定性诊断肺结节的价值。

2 结果

2.1 手术检查的病理结果 通过手术检查得知病理结果,显示100例肺结节患者中,良性结节有78例,恶性结节有22例。

2.2 常规剂量CT技术检查的100例肺结节回诊患者中结节的情况 通过常规剂量CT技术检查的100例肺结节患者中,良性结节有75例,恶性结节有17例,见表1。

2.3 低剂量CT技术检查的100例肺结节回诊患者中结节的情况 通过低剂量CT技术检查的100例肺结节回诊患者中,良性结节有76例,恶性结节有15例,见表2。

2.4 迭代重建结合ULDCT技术检查的100例肺结节回诊患者中结节的情况 通过迭代重建结合ULDCT技术检查的100例肺结节回诊患者中,良性结节有77例,恶性结节有21例,见表3。

2.5 常规剂量CT、低剂量CT以及迭代重建结合ULDCT技术检查肺结节良恶性情况的ROC曲线分析 将手术检查的病理结果作为状态变量(恶性=1,良性=0),将通过常规剂量CT、低剂量CT以及迭代重建结合ULDCT技术检查肺结节良恶性情况的结果作为检验变量,绘制ROC曲线,见图1。结果显示,迭代重建结合ULDCT技术检查肺结节良恶性情况具有较高的诊断价值,见表4。

表1 常规剂量CT技术检查的100例肺结节回诊患者中结节的情况(例)

常规剂量CT	手术检查的病理结果		合计
	良性	恶性	
良性	75	5	80
恶性	3	17	20
合计	78	22	100

表2 低剂量CT技术检查的100例肺结节回诊患者中结节的情况(例)

低剂量CT	手术检查的病理结果		合计
	良性	恶性	
良性	76	7	83
恶性	2	15	17
合计	78	22	100

表3 迭代重建结合ULDCT技术检查的

100例肺结节回诊患者中结节的情况(例)

迭代重建结合ULDCT	手术检查的病理结果		合计
	良性	恶性	
良性	77	1	79
恶性	1	21	21
合计	78	22	100

表4 常规剂量CT、低剂量CT以及迭代重建结合

ULDCT技术检查肺结节良恶性情况的ROC曲线分析

组别	AUC	95%CI	P值	灵敏度	特异度	约登指数
常规剂量CT	0.867	0.760~0.975	0.000	0.773	0.962	0.735
低剂量CT	0.828	0.707~0.949	0.000	0.682	0.974	0.656
迭代重建结合ULDCT	0.832	0.716~0.948	0.000	0.727	0.936	0.663

2.6 病例图像 见图2。

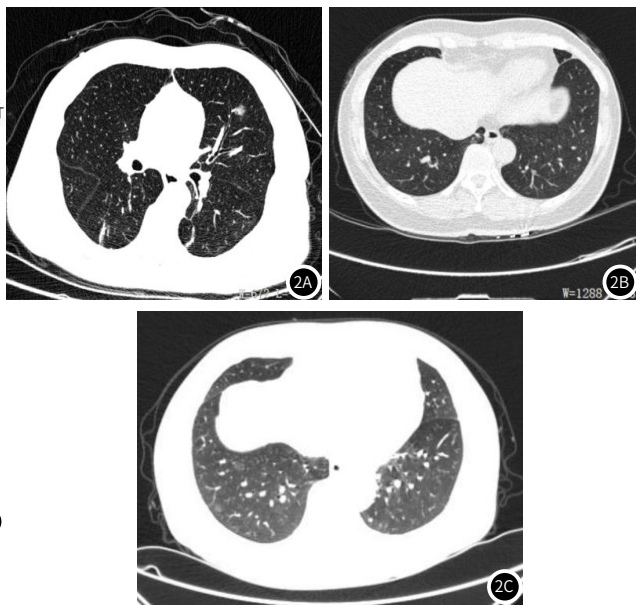
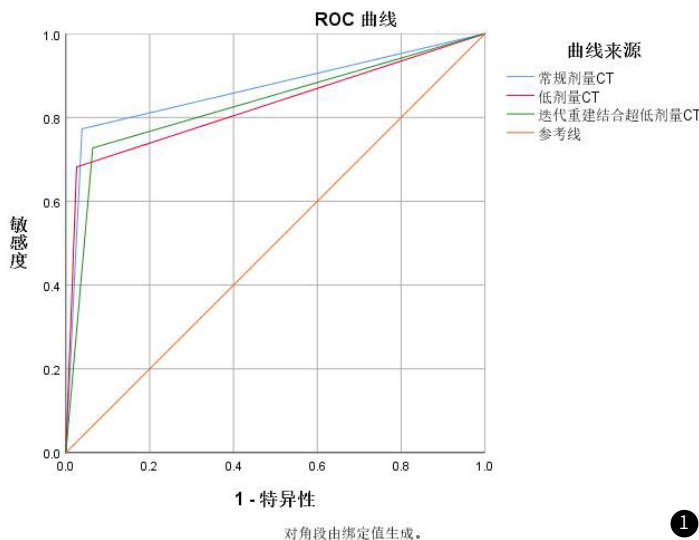


图1 100例肺结节回诊患者中，常规剂量CT、低剂量CT以及迭代重建结合ULDCT技术检查肺结节良恶性情况的ROC曲线分析。
图2A~图2C 不同剂量CT定性诊断肺结节的CT图像，其中2A、2B、2C分别为超低剂量、低剂量以及常规剂量。

3 讨论

当下，临床上针对肺结节的诊断方式主要涵盖如下几种：
①CT扫描：属常用之法，能够检测结节的大小、形态、密度等情况。
②定期随访：通过对结节生长变化的观察，助力判断其性质。
③PET-CT：用于了解结节的代谢活性。
④病理活检：明确结节的性质，乃诊断的金标准。
⑤实验室检查：诸如肿瘤标志物等，起辅助诊断作用。
⑥临床评估：包含患者的症状、病史、吸烟史等。

其中，这里的CT扫描主要是指常规剂量CT。在医学放射领域，伴随CT扫描技术的迅猛发展，特别是多排螺旋CT的进步，其在临床中的应用逐渐增多，在为临床提供更多价值的同时，也加重了患者所承受的辐射剂量。成年人一次胸部CT扫描的有效剂量大概为6mSv，而一次胸片的有效剂量约为0.02mSv。有调查研究显示，美国每年对15岁以下儿童进行约60万次腹部和头部CT检查，大约有500名扫描者最终可能因CT辐射而死于癌症^[6]。研究结果表明，CT辐射可能使儿童罹患癌症的风险提高^[7]。国际相

关研究机构在CT辐射照射中指出，CT辐射剂量相对较高，其剂量可逼近甚至超过已知的致使癌症概率上升的水平^[8]。相关研究表明，在近15年，全球范围内每年人均医疗辐射剂量增长了1倍，发达国家的情况更为显著^[9]。故而，需要探究在确保图像质量(满足临床需求)的前提下，降低CT扫描产生的辐射剂量，合理运用低剂量，此为当前国际研究的主要方向^[10]。

在早期，CT图像后处理重建算法采用的是解析重建(AR)算法。而迭代重建算法是近年来，计算机硬件和软件水平不断提升后，新型的CT图像后处理算法，可以弥补，滤波反投影算法上述的局限性^[11]。迭代重建算法以统计图像噪声为成像基础，并未忽略体素、X线焦点和探测器本身的几何形状和大小。对X线产生和作用的全过程，进行周密的数学计算，每次迭代计算结果与理想数据模型对比，识别出噪声和伪影信号，加以去除；而含有组织信息的信号则被保留。与传统常规滤波反投影重建算法相比，迭代重建算法的优势为，其对投影数据的完整性要求不高，可以在

较低的扫描条件下成像,并获得噪声较小的图像,可以减少患者胸部CT检查时所受辐射剂量。但是由于模型复杂,需要进行大量复杂而精密的数学计算,对计算机性能要求较高,后处理时间更长^[12]。得益于如今计算机性能的飞速发展,迭代重建技术在临床应用越来越广泛,并成为新的研究热点。

迭代重建结合ULDCT是一种具备特定功能的图像重建算法,这种算法在通常情况下会被运用在定性诊断肺结节的过程之中,而且它还有着进一步减少患者所接受的辐射剂量的作用^[13]。研究显示,迭代重建结合ULDCT技术在诊断肺结节方面具有一些优势和劣势:①降低辐射剂量:与传统CT相比,迭代重建结合ULDCT技术能够显著地降低辐射的剂量,进而降低了辐射对患者健康所带来的风险,减少了对患者的潜在危害^[14]。②成本效益良好:鉴于辐射剂量的降低,迭代重建结合ULDCT的扫描时间通常更为短暂,检查耗材少,利于减少医疗资源的占用,提升成本效益^[15]。③外科医生和放射科医生未接受辐射暴露。④结节检测能力较强:尽管辐射剂量有所降低,然而迭代技术能够借助优化图像质量以及重建算法,提升对肺结节的检测能力,有助于在早期阶段发觉肺结节,为医生提供更为丰富的信息以协助定性诊断,从而确定结节的性质(例如良性或恶性),进而及时展开诊断与治疗。但迭代重建结合ULDCT仍具有一定的劣势,具体包含以下几点:①图像质量存在限制:因为辐射剂量的降低,迭代重建与ULDCT的图像质量或许会受到一定程度的影响,无法清晰地呈现肺结节的特征,图像的细节可能会有所欠缺。在某些特定情况下,图像的细节显示可能不如常规剂量CT,有可能会对肺结节的精确评估和诊断造成影响^[16]。②诊断准确性存在局限:即便迭代技术能够提升图像质量与诊断准确性,但在某些特定情形下,超低剂量CT或许无法提供充足的信息来准确判断肺结节的性质及其恶性程度,可能会出现将非结节性病变错误判为结节的状况,从而致使假阳性结果的出现,故而可能需要进一步采取其他的检查或诊断方法来予以确定。③适用范围具有限制:迭代重建结合ULDCT技术可能并不适用于所有的肺结节患者,例如,对于体型较大或肺部结构较为复杂的患者,可能需要运用更高剂量的CT来获取更为准确的诊断结果。④技术要求较高:对于设备和技术人员有着较高的要求^[17-19]。本次研究中,迭代重建结合ULDCT技术检查的100例肺结节回诊患者中,良性结节有77例,恶性结节有21例;且经绘制ROC曲线,结果显示,迭代重建结合ULDCT技术检查肺结节良恶性的诊断价值为0.832,诊断价值较高,但低于常规剂量CT,这可能与迭代重建结合ULDCT技术的劣势有关。常规剂量CT虽然图像质量较高,但具有辐射量也较高,往往不适合需要多次做CT检查的患者^[20]。低剂量CT虽具有辐射量相较于常规剂量CT要低,但图像质量可能不如常规剂量CT,对于一些微小的特征显示也不够清晰。

综上所述,迭代重建结合ULDCT为肺结节的定性诊断供应了一种行之有效的方式方法,在诊断肺结节的领域具备一些优势所在,但同时也存在一些不足之处^[20]。在运用迭代重建结合ULDCT展开肺结节诊断的过程中,需要对其优缺点进行权衡考量,然而最终的诊断仍旧需要综合各种因素来进行判断,并且要依据患者的具体状况和实际需求来做出决策。

参考文献

- [1] Duan L, Shan W, Bo G, et al. Qualitative (and quantitative) values of the lung-RADS and computed tomography in diagnosing solitary pulmonary nodules [J]. *Diagnostics (Basel)*, 2022, 12 (11): 2699.
- [2] Shi L, Sheng M, Wei Z, et al. CT-based radiomics predicts the malignancy

- of pulmonary nodules: a systematic review and meta-analysis [J]. *Acad Radiol*, 2023, 30 (12): 3064-3075.
- [3] Cai J, Vonder M, Heuvelmans MA, et al. CT characteristics of solid pulmonary nodules of never smokers versus smokers: A population-based study [J]. *Eur J Radiol*, 2022, 154: 110410.
- [4] Mou X, Sun G, Shi Y, et al. Value of ddPCR in the Preoperative Diagnosis of Solitary Pulmonary Nodules Based on the Observation of Virtual Reality Images of Smart Medical Treatment [J]. *J Healthc Eng*, 2021, 2021: 9920617.
- [5] Xie X, Liu K, Luo K, et al. Value of dual-layer spectral detector computed tomography in the diagnosis of benign/malignant solid solitary pulmonary nodules and establishment of a prediction model [J]. *Front Oncol*, 2023, 13: 1147479.
- [6] Hu B, Ren W, Feng Z, et al. Correlation between CT imaging characteristics and pathological diagnosis for subcentimeter pulmonary nodules [J]. *Thorac Cancer*, 2022, 13 (7): 1067-1075.
- [7] Weir-McCall JR, Harris S, Miles KA, et al. SPUTNIK investigators. Impact of solitary pulmonary nodule size on qualitative and quantitative assessment using 18F-fluorodeoxyglucose PET/CT: the SPUTNIK trial [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2021, 48 (5): 1560-1569.
- [8] Su Z, Mao W, Li B, et al. [Clinical study of artificial intelligence-assisted diagnosis system in predicting the invasive subtypes of early-stage lung adenocarcinoma appearing as pulmonary nodules] [J]. *Zhongguo Fei Ai Za Zhi*, 2022, 25 (4): 245-252. Chinese.
- [9] Li X, Li B, Yin H, et al. An automatic random walker algorithm for segmentation of ground glass opacity pulmonary nodules [J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 6727957.
- [10] Corica F, De Feo MS, Stazza M, et al. Qualitative and semiquantitative parameters of 18F-FDG-PET/CT as predictors of malignancy in patients with solitary pulmonary nodule [J]. *Cancers (Basel)*, 2023, 15 (4): 1000.
- [11] Li X, Jin F, Zhou T, et al. Diagnostic accuracy of ct-guided percutaneous pulmonary biopsy for distinguishing benign and malignant solitary pulmonary nodules [J]. *Altern Ther Health Med*, 2023, 29 (8): 918-923.
- [12] Lohaus N, Enderlin F, Skawran S, et al. Impact of Bayesian penalized likelihood reconstruction on quantitative and qualitative aspects for pulmonary nodule detection in digital 2-[18F]FDG-PET/CT [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 8308.
- [13] Ma HF, Chen L. Application of multislice spiral CT imaging technology in the diagnosis of patients with chest sarcoidosis [J]. *J Healthc Eng*, 2021, 2021: 2887639.
- [14] Javed A, Ramasawmy R, O'Brien K, et al. Self-gated 3D stack-of-spirals UTE pulmonary imaging at 0.55T [J]. *Magn Reson Med*, 2022 Apr; 87 (4): 1784-1798.
- [15] Liu Z, Wang L, Du M, et al. Plasm metabolomics study in pulmonary metastatic carcinoma [J]. *J Oncol*, 2022, 2022: 9460019.
- [16] Gupta A, Kikano EG, Bera K, et al. Dual energy imaging in cardiothoracic pathologies: A primer for radiologists and clinicians [J]. *Eur J Radiol Open*, 2021, 8: 100324.
- [17] Takahashi AME, do Nascimento ABB, Barros AS, et al. COVID-19 infection in octagenarian patients: imaging aspects and clinical correlations [J]. *Gerontology*, 2022, 68 (3): 261-271.
- [18] Unger S, Golden SE, Melzer AC, et al. Study design for a proactive teachable moment tobacco treatment intervention among patients with pulmonary nodules [J]. *Contemp Clin Trials*, 2022, 121: 106908.
- [19] Fang J, Wang J, Li A, et al. Parameterized gompertz-guided morphological autoencoder for predicting pulmonary nodule growth [J]. *IEEE Trans Med Imaging*, 2023, 42 (12): 3602-3613.
- [20] Hu J, Liu M, Zhao W, et al. Value for combination of T1WI star-VIBE with TWIST-VIBE dynamic contrast-enhanced MRI in distinguishing lung nodules [J]. *Zhong Nan Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban*, 2023, 48 (4): 581-593.

(收稿日期: 2024-12-30)

(校对: 翁佳鸿 排版: 张鸿葵)