

## • 指南与共识 •

# 锥形束电子计算机断层扫描引导下 肺结节诊断、定位及治疗技术专家共识

中国人体健康科技促进会呼吸介入专业委员会

**【摘要】** 锥形束电子计算机断层扫描（cone-beam computed tomography, CBCT）系统可以在术中便捷地实时生成目标区域的3D影像、透视图像，部分甚至可以提供增强透视与穿刺引导。近年来，CBCT系统在肺介入诊疗领域中的应用得到了较快发展，该技术在肺结节诊断、定位和治疗中的安全性和有效性的优势已得到众多临床证据的支持。为了优化和标准化CBCT系统技术操作规范，指导其在临床实践中的应用，由中国人体健康科技促进会呼吸介入专业委员会组织相关领域专家制订本共识。

**【关键词】** 肺结节；锥形束电子计算机断层扫描；诊断；定位；治疗

## 1 背景

随着低剂量螺旋电子计算机断层扫描（low-dose computed tomography, LDCT）检查的普及，越来越多的肺结节被检出<sup>[1]</sup>。肺结节是周围型肺癌的早期表现形式，由于存在一定的恶性概率，因此，肺结节的诊断和治疗已经成为临床医生关注的重点。传统支气管镜缺乏有效的导航、验证手段，因而难以快速、准确地对肺结节进行介入操作。而在传统的影像方式引导下进行经胸壁介入操作，出现

并发症的风险相对较高。随着技术的不断进步与发展，更多的辅助引导技术不断迭代更新<sup>[2, 3]</sup>，包括径向支气管内超声（radial endobronchial ultrasound, R-EBUS）<sup>[4-6]</sup>、电磁导航支气管镜（electromagnetic navigation bronchoscopy, ENB）<sup>[7-9]</sup>、电磁导航经胸壁穿刺<sup>[10, 11]</sup>、虚拟导航支气管镜（virtual bronchoscopic navigation, VBN）<sup>[12-14]</sup>、机器人支气管镜<sup>[15-17]</sup>、经胸壁介入机器人系统<sup>[18, 19]</sup>和锥形束电子计算机断层扫描（cone-beam computed tomography, CBCT）等<sup>[20-22]</sup>。如何合理利用辅助引导技术，实现在术中快速、准确到达肺结节位置，减少操作损伤，对病灶进行精准诊疗是临床医生面临的重要课题。

CBCT最早于1982年由梅奥生物动力研究室应用于临床，经过数十年的发展，其硬件与软件技术已取得了巨大的进步<sup>[23]</sup>。CBCT能通过将C臂绕患者旋转1次快速获取多达600张图像，并在配套工作站中生成类似传统电子计算机断层扫描（computed

### \*通讯作者：

孙加源，上海市胸科医院/上海交通大学医学院附属胸科医院，呼吸内镜中心，呼吸与危重症医学科，上海 200030，中国，E-mail: xkyjysun@163.com；

陈恩国，浙江大学医学院附属邵逸夫医院，呼吸与危重症医学科，杭州 310016，浙江，中国，Email: 3195024@edu.zju.cn

本专家共识同步投稿英文版于《Thoracic Cancer》，同步投稿经共识制定专家和双方杂志同意。

tomography, CT) 的 3D 影像, 帮助术者实时确认病变和器械位置, 以指导介入操作。目前, CBCT 作为一种较新的呼吸介入辅助技术已被应用于临床实践, 并进行了一些有益的尝试。Jin 等<sup>[24]</sup>率先在 2010 年发表了其团队在 71 例患者中应用 CBCT 引导经胸壁肺结节活检的经验。结果显示, 使用 CBCT 引导具有较高的诊断准确性 (98.4%) 及敏感性 (97.0%), 且较传统 CT 引导具有更短的穿刺针停留时间 ( $8.7 \pm 3.8 \text{ min}$  vs.  $10.9 \pm 8.2 \text{ min}$ )。Hohenforst-Schmidt 教授团队<sup>[20]</sup>于 2014 年首次提出在 CBCT 引导下进行支气管镜检查总体诊断率可达 70%, 对于 < 2 cm 的偶然性孤立性肺结节, CBCT 引导下活检诊断率约为传统支气管镜下活检诊断率的 2 倍。无论是经支气管, 还是经胸壁进行介入操作, 基于固定式或移动式 C 臂, CBCT 系统都能实现术中实时对目标病灶进行位置确认及介入器械确认在位, 并提供操作过程中的透视监视<sup>[25-27]</sup>。除辅助活检、定位外, CBCT 还可用于消融治疗术中的治疗监测与疗效确认<sup>[28-30]</sup>。部分 CBCT 系统还可利用增强透视功能协助引导工具至靶病灶<sup>[31-33]</sup>。基于固定式 CBCT 系统, 在完成扫描与重建后, 还可规划通向目标病灶的路径并进行实时引导辅助经胸壁介入操作<sup>[34]</sup>。相较于传统 CT 及透视, CBCT 可实时提供病灶区域的透视图像及 3D 图像, 对于传统透视下不可见的肺结节也具有更好的显像效果, 其在对肺结节进行介入操作的引导, 尤其是经支气管操作中具有更广泛的适用性。

CBCT 技术的应用与进展为肺结节在诊断、定位及治疗上的安全性和效能提高带来新的可能, 其临床应用近年来也日益广泛。然而, 使用这项新技术辅助对肺结节进行介入操作的相关流程和注意事项还没有得到标准化。因此, 由中国人体健康科技促进会呼吸介入专业委员会组织相关领域专家制订本技术共识。因现阶段尚缺乏关于 CBCT 技术在肺结节诊治中临床应用的高级别循证医学证据, 且本共识侧重 CBCT 在肺结节诊断、定位和治疗中操作技术, 因此, 本共识是在临床实践经验的基础上, 结合 CBCT 临床研究文献, 并参考其他相关指南和共识, 经讨论和综述而成, 仅代表专家组对一般建议的一致意见, 不设证据类别和推荐等级。随着未来更多

循证医学证据的出现, 本共识将进一步更新。

## 2 适应证及禁忌证

### 2.1 适应证

#### 2.1.1 CBCT 引导肺结节活检的适应证

(1) 直径 > 8 mm、性质不明、需行活检以明确病理学或病原学诊断的肺结节; (2) 对已明确诊断的肺结节, 治疗过程中根据病情需要, 对病变进行再次活检以指导后续治疗<sup>[35]</sup>。CBCT 可用于辅助经支气管镜肺结节活检, 其通过提供实时 3D 图像与透视, 来确认病灶与定位工具或者活检工具的位置关系, 从而对目标病灶进行准确活检。尤其适用于经传统支气管镜难以准确活检的肺结节, 特别是透视下不可见的肺结节, 以及经支气管针吸活检、冷冻活检、支气管镜下经肺实质肺结节抵达术 (bronchoscopic transparenchymal nodule access, BTPNA) 等特殊操作<sup>[21, 36, 37]</sup>。CBCT 也可用于引导经胸壁肺结节活检, 确认活检针针尖位置和操作并发症发生情况。尤其适用于操作风险较大的肺结节 (如临近肺大泡、叶间裂、血管等组织结构或穿刺路径在肺内较长的肺结节) 做进针引导, 以减少反复调整针尖位置引起并发症的风险<sup>[22]</sup>。

#### 2.1.2 CBCT 引导肺结节定位的适应证

倾向恶性、拟行胸腔镜下亚肺叶切除术的肺结节, 且满足以下条件之一: (1) 单发或多发结节, 直径 < 1.0 cm 或距离胸膜 > 1.5 cm; (2) 影像学表现为纯磨玻璃样结节或亚实性结节; (3) 术者评估术中直视或触摸定位困难<sup>[38, 39]</sup>。CBCT 可在定位操作过程中提供透视辅助与 3D 图像, 帮助术者确认放置的定位标志物位置。进行经胸壁肺结节定位时, CBCT 还可额外被用于引导并监视进针穿刺。尤其适合对操作风险较大的肺结节作进针引导。此外, 相较于传统 CT, CBCT 具有空间占用小的特点, 适合在手术室内对肺结节进行一站式定位-切除操作, 有助于减少术前等待时间与对患者的反复转运。

#### 2.1.3 CBCT 引导肺结节消融治疗的适应证

根治性消融术适用于最大径  $\leq 3 \text{ cm}$ 、单发或多发、尚无其他部位转移、不适合手术或拒绝手术、

初治或复治后局部进展的癌性肺结节。以及单肺病灶数 $\leq 3$ 个、双肺病灶数 $\leq 5$ 个的肺转移瘤<sup>[40]</sup>。姑息性消融其适应证可相对放宽，如病灶大小和数量超过根治性消融标准者<sup>[35]</sup>。在肺结节消融治疗中，CBCT可用于精准确认消融电极位置及其与拟消融病灶的关系，治疗过程中提供透视监视，并及时确认消融范围与并发症。CBCT在经支气管肺结节消融操作中可常规使用，以确保消融位置与消融范围满足治疗需要。进行经胸壁肺结节消融时，CBCT还可额外被用于引导消融针穿刺。尤其适合对操作风险较大的肺结节做进针引导。

## 2.2 禁忌证

### 2.2.1 经支气管肺结节活检的禁忌证

(1) 无法纠正的凝血功能障碍或血小板计数 $< 60 \times 10^9/L$ ；(2) 血流动力学不稳定；(3) 严重呼吸衰竭（经积极氧疗后动脉血氧分压仍低于60 mmHg）；(4) 急性心肌梗死后4周内；(5) 活动性大咯血；(6) 妊娠期间；(7) 合并有恶性心律失常、严重的心肺功能不全、颅内高压、严重的肺动脉高压、全身极度衰竭、严重的精神疾病等有较高风险出现并发症的情况<sup>[41]</sup>。

### 2.2.2 经胸壁肺结节活检的绝对禁忌证

(1) 穿刺路径上有明显的感染性病变、大血管或者重要脏器结构；(2) 严重的肺气肿、肺大疱、肺纤维化、仅存单侧肺（解剖上或功能上）或是第1秒最大呼气容积（forced expiratory volume in one second, FEV1）占预计值百分比 $\leq 35\%$ ；(3) 肺血管病变（肺动脉高压、肺动脉瘤、动静脉畸形等）；(4) 患者无法配合检查（保持体位与配合屏气）；(5) 患者一般情况差，存在明显的重要脏器功能不全；(6) 无法纠正的凝血功能障碍；(7) 使用机械通气<sup>[42]</sup>。

### 2.2.3 肺结节定位的禁忌证

肺结节定位操作本身无特殊禁忌证，除涉及经支气管、经胸壁介入操作禁忌证或是无法耐受后续手术操作的患者之外均适用。对碘过敏的患者不宜使用如吲哚菁绿（indocyaninegreen, ICG）等含碘剂定位。

### 2.2.4 肺结节消融治疗的禁忌证

(1) 存在难以纠正的凝血功能障碍、血小板计数 $< 50 \times 10^9/L$ 或抗凝药物或抗血小板药物停药未满足5-7 d；(2) 严重的心肺功能异常；(3) 恶性肿瘤广泛肺外转移者，预期生存期 $< 6$ 个月；(4) 美国东部肿瘤协作组（Eastern Cooperative Oncology Group, ECOG）评分 $> 3$ 分者；(5) 合并有严重感染、重要脏器严重功能不全或全身状况差、严重的精神疾病等有较高风险出现并发症，或是其他不宜行经支气管、经胸壁介入操作的情况<sup>[40,43]</sup>。此外，具有心脏起搏器、胸部金属植入物者不宜行射频消融。穿刺路径上存在难以避免的感染性病变、大血管或是重要脏器结构时不宜经胸壁进行消融。

## 3 设备和器械

### 3.1 CBCT系统

CBCT系统主要由X线发生装置（高压发生器，X线管）、数字成像系统（如平板探测器）、机械系统、计算机控制系统、图像处理系统以及辅助系统组成。通过锥形X线束围绕患者旋转照射近200度，CBCT系统可在3-30 s内以特定角度间隔获取多达600张图像，随后在图像处理工作站中基于Feldkamp算法将二维影像重建为类似传统多层螺旋CT的轴向三维容积影像<sup>[44]</sup>。CBCT成像扫描范围灵活、采集效率高，且可在术中实时获取，所得的三维影像可清晰显示相关部位结构的准确定位，从而在介入操作中帮助术者实时确认介入工具与病灶的相对位置。

CBCT系统按固定结构可分固定式和移动式，其中固定式中又可分为天花板悬吊式、落地式、双板式与机器人式（更适用于杂交手术室）。在固定式CBCT中，天花板悬吊式与机器人式CBCT系统所需占用的地面空间更小，便于气管镜术者在患者头侧进行操作，因此更常被用于呼吸介入操作<sup>[21]</sup>。

目前已有可提供三维CBCT成像的移动式CBCT（如Cios Spin, Siemens Healthineers; Vision RFD 3D, Ziehm Imaging）。与基座固定的CBCT相比，移动式CBCT成像范围相对更小，成像耗时更长（约30-60 s），且缺乏增强透视、自动进针规划辅助经

胸壁穿刺等功能,但仍然可以辅助进行绝大多数的肺结节诊疗操作。此外其具有可移动性、空间占用少、经济适用性好的独特优势,在条件受限的手术室中拥有更广泛的适用性<sup>[45]</sup>。

### 3.2 支气管镜

所有类型的支气管镜均可与CBCT配合使用。常用于肺结节诊疗的包括超细支气管镜(常见产品先端部外径2.8–3.0 mm,工作通道内径1.2–1.7 mm)、细支气管镜(常见产品先端部外径4.0–4.2 mm,工作通道内径2.0 mm)和治疗支气管镜(常见产品先端部外径5.9 mm,工作通道内径2.8–3.0 mm)<sup>[46]</sup>。

### 3.3 引导工具与设备

径向支气管内超声通过作圆周环形扫描,得到垂直于超声探头的横断面图像,可用于术中辅助确认病灶位置,并对病灶性质与毗邻组织结构关系作初步评估。常用外径1.4 mm、1.7 mm的R-EBUS探头。有条件者还可联用电磁支气管镜导航系统(electromagnetic navigation bronchoscopy, ENB)、虚拟支气管镜导航(virtual bronchoscopic navigation, VBN)或机器人支气管镜,帮助术者在复杂的支气管结构中快速准确地导向目标病灶,提高操作的成功率,缩短寻找病灶的时间,减少辐射暴露剂量。经胸壁进行操作时,可根据条件联合使用不同类型的导航系统或机器人辅助经胸壁穿刺系统以引导进针。

### 3.4 活检工具

操作者可根据病灶大小、恶性倾向、活检组织需求量适当选取不同活检工具。经支气管活检常用外径1.95 mm、2.55 mm引导鞘管套装(内含外径1.5 mm、1.9 mm的活检钳和外径1.4 mm、1.8 mm的细胞刷)。此外还可选用柔性冷冻探头(外径多为1.1–1.9 mm)与柔性活检针(18–22 G,外径多在1.5–2.0 mm左右)进行经支气管冷冻活检与针吸活检。

经胸壁肺结节活检可选用抽吸针与切割活检针。抽吸针多选择20–22 G的千叶(Chiba)针。切割针常选用18–20 G的半自动或全自动活检针及配套活检枪,多与较活检针略粗1 G的同轴定位针配合使用以减少操作损伤与针道种植的风险。

### 3.5 定位相关药物和器械

常用生物染料有碘油、亚甲基蓝和吡啶菁绿等,金属标记有Hookwire针、弹簧圈等。行吡啶菁绿定位时,应搭配使用近红外荧光胸腔镜。

### 3.6 治疗相关设备和器械

可选用硬质或柔性射频消融电极、微波消融电极、冷冻消融电极、复合式冷热消融电极(例如联合液氮冷冻和射频加热)及分别对应的治疗仪。

## 4 术前准备

### 4.1 场地与人员准备

配备CBCT的操作间的建设要求可以参考DSA介入手术室的标准<sup>[47]</sup>进行辐射屏蔽防护,并维持恒定室内温度湿度。操作间的辐射防护应满足《医用X射线诊断放射防护要求》建设,并具备可屏蔽辐射的控制室,在建设完成后由专业机构进行射线防护检测<sup>[48]</sup>。操作间的大小应保证操作者及助手有足够的操作空间,同时也为CBCT与其他设备(如消融治疗仪、麻醉机等)预留足够空间。因此,建议使用移动式CBCT的操作间面积不小于30 m<sup>2</sup>,并预留约2 m<sup>2</sup>为设备专用空间;推荐配备固定式CBCT的操作间具备不小于45 m<sup>2</sup>的洁净区面积<sup>[47]</sup>,将设备的C臂与检查床宜沿手术间长轴方向布置,可根据实际设备尺寸与结构活动范围适当调整操作间面积。操作间的净化级别及系统应满足拟开展医疗手术类型的要求,可参考《医院洁净手术部建筑技术规范》GB 50333<sup>[49]</sup>的要求进行设计。

需要使用CBCT作引导的经胸壁/经支气管诊疗技术通常属于三、四级诊疗技术。进行相关操作的团队人员应由接受过系统培训、具有相应资质并通过放射体检的术者、助手及放射技师组成。负责操作大型固定式CBCT系统的医师及放射技师应具备《大型医用设备上岗合格证》。对于行全身麻醉的患者,须配备麻醉医护人员。

### 4.2 术前评估

所有患者术前应完善血常规、凝血功能、血生化、传染病筛查、心电图等检查。对于高龄或合并有心、肺基础疾病的患者,可根据情况完善心脏超

声、肺功能检查。基础疾病严重者应请相关科室会诊, 权衡操作利弊。术前须完善胸部薄层增强CT扫描, 以明确靶病灶的位置、大小、形状, 以及和周围支气管、血管、脏器等组织结构的关系, 并初步规划操作路径和操作体位<sup>[41, 43, 50]</sup>。接受全身麻醉的患者, 应由麻醉医生进行麻醉评估; 拟于局麻下进行操作的患者, 需进行配合能力(如屏气呼吸、制动能力)评估。如果考虑在未明确病理的情况下进行消融治疗, 术前应由多学科(至少应包含内科、外科及影像科)共同讨论评估治疗方案, 并就相关风险和受益和患者充分沟通<sup>[51]</sup>。接受根治性消融治疗的患者, 术前应完善相关分期检查(如腹部B超及CT、全身骨扫描、浅表淋巴结B超、头颅增强磁共振检查等), 条件允许时建议完善正电子发射计算机断层扫描(positron emission tomography-computed tomography, PET-CT)检查排除远处转移。

#### 4.3 患者准备

(1) 充分向患者及家属告知操作目的、操作方法、操作费用及相应风险, 签署知情同意书; (2) 局麻下行支气管镜的患者应在术前4 h禁食, 术前2 h禁水; 全身麻醉的患者应在术前8 h禁食, 术前2 h禁水<sup>[41, 52]</sup>; (3) 停用抗凝药物与抗血小板药物5-7 d, 抗血管生成类药物应按药物半衰期酌情停药; (4) 建立静脉通道; (5) 对患者进行术前患者教育与心理疏导<sup>[40]</sup>。选择局麻下操作时, 术前应对患者进行屏气指导训练以保障CBCT采集影像时平稳清晰。

### 5 常规操作流程

#### 5.1 CBCT引导经支气管镜肺结节活检的操作过程

(1) CBCT引导的经支气管镜操作常于全麻及气管插管下进行。患者平卧于专用检查床上, 对位于下肺及背侧的病灶, 也可采用患侧适当垫高的体位, 以避免坠积效应及局部肺不张导致的肺结节不可见。呼吸机常选择容量控制模式, 按8-10 mL/kg(理想体重)的潮气量通气, 并维持8-15 cm H<sub>2</sub>O的呼气末正压(positive end expiratory pressure, PEEP)以保证操作过程中小气道充分开放。吸入氧浓度应在满足氧饱和度要求(> 94%)的前提下尽量降低。

建立人工气道后, 将C臂调整至靶病灶区位置, 选择高分辨率模式进行一次术前CBCT基线扫描, 通过生成的3D图像确认病灶位置, 并确保病灶在当前扫描位置及参数方案下可见。为了保证CBCT的成像质量, 在每一次CBCT扫描过程中须暂停呼吸机通气, 以避免呼吸运动对成像造成的干扰。同时, 通过调整麻醉机限压阀(APL阀门)来保持适当的气道内压(通常设为10-20 cm H<sub>2</sub>O), 避免图像采集过程中出现肺不张或膈肌上抬。

(2) 部分CBCT具有增强透视(augmented fluoroscopy, AF)功能, 操作者可在完成扫描后利用配套软件(iGuide toolbox, Siemens Healthineers; OncoSuite, Philips; ASSIST, GE Healthcare)在重建的3D影像中勾画、标记靶病灶的轮廓, 并将其投影至后续生成的透视影像中来引导操作。

(3) 清理气道分泌物并完成常规支气管镜检查后, 将支气管镜尽可能地沿各级支气管向病灶方向推进。可视情况使用电磁支气管镜导航系统、虚拟支气管镜导航、透视或增强透视等技术进行导航辅助。随后, 推荐使用R-EBUS探头以初步确认到达病灶位置, 探及最大病灶截面并观察病灶与毗邻支气管、血管等结构的位置关系。

(4) 经初步引导至病灶位置后, 利用气管镜固定架或自制简易台架妥善固定支气管镜与工作通道中的介入工具(可为活检工具、鞘管、定位导线或R-EBUS探头)并再次行CBCT扫描。通过生成的冠状面、轴面、矢状面三视角图像确认引导或活检工具与靶病灶的空间位置关系, 并根据扫描结果做适当调整, 必要时可在调整后重新通过CBCT作位置确认。经3次调整仍难以到达满意位置时, 应考虑更换引导方式或活检方式。推荐在确认到达满意位置后于呼气相截取透视图像, 在后续步骤中作参照使用。

(5) 确认工具正确在位(tool-in-lesion)后对肺结节进行活检。可选择参考之前截取的透视图像, 在透视下于呼气相对病灶进行活检。活检次数与活检工具的选择, 由术者根据操作安全性、活检效率、病灶特点等综合决定。可对获取的标本进行快速现场细胞学评价(rapid on-site evaluation,

ROSE)以评估活检样本的合格性,形成初步诊断并指导活检方案。

(6)完成活检后,可利用透视检查简单确认有无气胸出现。保留气管镜及鞘管在原位1 min以预防性压迫止血。若出现明显出血,可局部予冰生理盐水、止血药物处理,严重者应及时行球囊压迫、血管介入等治疗。确认无明显出血后撤出支气管镜,将患者转至病房或观察室继续观察。

### 5.2 CBCT引导经支气管肺结节定位的操作过程

(1)经支气管肺结节定位和电视辅助胸腔镜手术(video-assisted thoracic surgery, VATS)通常为一站式,在杂交手术室行全麻下气管插管进行。将患者置于平卧位,对靶病灶所在位置行术前CBCT预扫描,利用ENB等导航支气管镜技术,依据预设路径将定位导线或鞘管尽可能送至距病灶 $\leq 15$  mm位置或是所需的多点定位目标位置,通过CBCT扫描确认鞘管位置,如CBCT图像提示鞘管偏离靶病灶,则依据CBCT结果进行调整。依据病灶位置、CT支气管征及拟手术方式可行单点或多点定位。

(2)在确认鞘管到达预定位置后,行生物染料法或金属标记法定位肺结节。生物染料定位法:通过鞘管注入0.5–1.0 mL稀释后的亚甲蓝、吲哚菁绿等染料,随后注入约20 mL空气以排尽鞘管中的残留染料。留置鞘管1 min左右以观察染料返流情况。金属标记定位法:利用搭配的输送导丝或活检钳等器械将金属标记物完全推送出鞘管<sup>[35]</sup>。

(3)完成定位后再次行CBCT扫描以确认定位标记与病灶的相对位置关系,并观察有无出现气胸、出血等并发症。后续依据生物染料分布区域或金属标记物投射位置进行后续VATS手术。

### 5.3 CBCT引导经支气管肺结节消融的操作过程

(1)经支气管肺结节消融操作建议在全麻及气管插管下进行。完成术前CBCT基线扫描后,利用ENB或其他引导支气管镜工具将鞘管或支气管镜先端推进至病灶位置,具体方法可参考经支气管肺结节活检的步骤(1)–(3)。

(2)将软性消融电极沿鞘管或支气管镜工作通道送至病灶处。随后,利用气管镜固定架或自制简易台架将支气管镜、消融电极固定并进行CBCT扫

描,通过3D图像确认消融电极是否正确在位。

(3)在透视监视下,保持消融电极不动并单独将鞘管或支气管镜先端向后退出2–3 cm以避免消融过程中受损,确保支气管镜、鞘管、消融电极都已固定后开始对病灶进行消融。消融参数由消融治疗仪的类型、消融电极的型号、消融目的(根治或减瘤)、肿瘤大小及其与周围组织结构的关系决定,参考不同设备生产商的推荐参数并进行适当调整,以达到合适的消融范围。

(4)消融过程中需注意监测患者生命体征,局麻下操作时应留意观察患者的呼吸、疼痛、咳嗽、咯血等情况,必要时对症处理。在消融过程中可复查CBCT以监测消融电极位置、消融范围变化并观察有无术中并发症(如出血、气胸)。

(5)消融完成后,再次行CBCT扫描以初步评价消融疗效。为达到完全消融的目的,消融范围应包括靶病灶及其周围5–10 mm的正常肺组织,消融范围不理想时可视情况进行二次甚至多次消融。同时,应注意有无消融后气胸、出血等并发症。确认状态平稳,无需特殊处置的患者可转运至病房或观察室继续观察,并于1 d后复查胸部CT。

### 5.4 CBCT引导经胸壁肺结节活检的操作过程

(1)经胸壁肺结节活检常于局麻下进行。根据病灶位置将患者置于便于穿刺且易于保持的体位后,对病灶区域进行术前CBCT基线扫描,确认病灶位置并确保病灶在当前扫描范围及参数方案下可见。在CBCT扫描的过程中嘱患者配合保持屏气,避免图像受呼吸运动影响。

(2)操作者可以通过CBCT引导、人工定位或是其他引导穿刺技术(如电磁导航系统或经胸壁介入机器人系统<sup>[10,18]</sup>)确定体表穿刺点与进针方向。

CBCT引导法:部分CBCT可引导术者按规划路径进针穿刺,在完成术前CBCT扫描后,利用配套软件(如Needle Guidance, Siemens; XperGuide, Phillip)可以在重建的3D影像中通过手动标记体表穿刺进针点与靶病灶,规划出一条避开肩胛骨、肋骨、血管等组织结构的穿刺路径并确定进针深度。虚拟标记与规划路径会在随后被投影在增强透视图像中用于引导穿刺进针。随后,CBCT可根据规划的

进针路径自动调整C臂角度并指示术者适度调整检查床位置,使靶病灶、体表穿刺点与射线发射源成一直线,此时代表病灶与体表穿刺点的虚拟标记在增强透视中重叠形成牛眼图(bull's eye view)。当C臂到达正确角度后,通过向体表投射十字形激光束可帮助术者轻松定位体表穿刺点并确认进针方向。

(3) 消毒穿刺点周围区域并完成局部麻醉后,保持穿刺针针头与针尾均位于十字激光中心向靶病灶进针。进针与活检过程中应嘱患者配合保持平静、规则呼吸。进针过程中可通过旋转C臂,提供不同角度的透视图来帮助术者实时调整进针角度,确保准确沿规划路径进针至靶病灶。完成进针后再行CBCT扫描以确认针尖准确抵达目标结节。当针头位置不理想时可根据扫描图像作适当调整并在必要时再行CBCT扫描确认。

(4) 确认针尖到达满意位置后进行活检操作。可根据病灶的性质来选择活检取材的部位:病灶体积较大时,应避开中央缺血坏死区域;空洞性病变应在实性组织部位取材。建议使用同轴技术进行活检以减少反复穿刺造成的创伤及针道种植风险。对于切割活检针活检风险较高的小结节可视情况采用针吸活检<sup>[32]</sup>。

(5) 完成活检后再次行CBCT扫描,观察有无气胸、出血等并发症,必要时进行相应处理。平稳的患者可转运至病房或观察室继续观察。嘱患者尽可能避免任何增加胸腔压力的活动,如咳嗽、屏气、负重等。

### 5.5 CBCT引导经胸壁肺结节定位的操作过程

(1) 经胸壁肺结节定位常于局麻下进行,也可选择在全麻下进行一站式定位VATS手术。根据病灶位置将患者置于适当体位,行CBCT扫描并规划穿刺点及穿刺路线。定位体表穿刺点后沿预设穿刺角度和深度分步式进针,术中可联合透视和CBCT扫描校正穿刺路径,调整穿刺方向,将同轴定位针穿刺至距病灶 $\leq 10$  mm位置。具体方法可参考经胸壁肺结节活检的步骤(1)-(3)。

(2) 通过CBCT扫描确认同轴定位针到达预定位置后,行生物染料法或金属标记法定位肺结节。生物染料定位法:拔出针芯,使用注射器回抽以确

认定位针不在血管后,通过针孔缓慢注入稀释后的吲哚菁绿或亚甲基蓝等染料,退针至胸膜下约1 cm处再次注入染料。金属标记定位法:沿同轴定位针推送金属标记物,使用Hookwire定位时应将金属线尾紧贴皮肤后包扎固定,使用弹簧圈定位时可选择将弹簧圈尾固定于肺内或脏胸膜外<sup>[53]</sup>。

(3) 完成定位后,再次行CBCT扫描以确认定位标记与病灶的相对位置关系,并观察有无出现气胸、出血等并发症。后续依据生物染料分布区域或金属标记物投射位置进行后续VATS手术。

### 5.6 CBCT引导经胸壁肺结节消融的操作过程

(1) 经胸壁肺结节消融可选择在局麻下、清醒镇静联合镇痛药物下或是全身麻醉下进行。将患者置于方便穿刺进针且易于保持的体位,完成术前CBCT扫描并规划进针路径。为保证采集图像的画面质量,在CBCT扫描的过程中,对于采用全麻下操作的患者应暂停呼吸机通气并保持一定水平的持续气道压力,清醒患者应配合保持屏气。

(2) 完善术前CBCT扫描并规划进针路径。随后,通过CBCT引导、人工定位或是其他引导穿刺技术确定体表穿刺点与进针方向。向病灶穿刺消融针并再行CBCT扫描确认针尖与病灶的位置关系,具体方法可参考经胸壁肺结节活检的步骤(2)-(3)。在进针与后续消融的过程中患者应保持平静、规则呼吸,体位固定。

(3) 确认消融针正确在位后开始进行消融治疗。消融参数由消融治疗仪的类型、消融电极的型号、消融目的(根治或减瘤)、肿瘤大小及其与周围组织结构的关系决定,并参考不同设备生产商推荐的参数进行适当调整以达到合适的消融范围。

(4) 消融过程中需注意监测患者生命体征,局麻下操作时应留意观察患者的呼吸、疼痛、咳嗽、咯血等情况,必要时对症处理。在消融过程中可复查CBCT以监测消融电极位置、消融范围变化并观察有无术中并发症(如出血、气胸)。

(5) 完成消融后再次行CBCT扫描以观察消融效果并检查并发症。消融范围应包括靶病灶及其周围5-10 mm的正常肺组织。对于消融范围效果不理想的病灶,可视情况进行二次消融。同时检查有无消

融后气胸、出血并做相应处理。无需特殊处置的患者可转运至病房或观察室继续观察，并于1 d后复查胸部CT。

## 6 并发症及处理

### 6.1 气胸

气胸是常见的并发症，经支气管操作时气胸的发生率更低，部分经胸壁穿刺的患者还可出现皮下气肿<sup>[54]</sup>。大部分气胸在术后1 h内发生，但仍需注意部分患者可在术后24 h以上出现迟发型气胸<sup>[55]</sup>。少量气胸、无症状和稳定性气胸可予鼻导管吸氧后监护观察，一般无需特殊治疗。若气胸范围持续增大或范围大于30%，或患者气胸相关临床症状严重（如胸闷、气促、大汗淋漓、面色苍白、胸痛等），应在氧疗的基础上放置胸引管抽吸或行胸腔闭式引流。胸引管放置1-2 d后应复查胸片，如气胸吸收可拔除胸引管<sup>[56]</sup>。

### 6.2 出血和咯血

出血与咯血是常见并发症，一般具有自限性。少量咯血、肺实质内少量出血、针道出血等可自行随时间吸收，一般无需特殊处理<sup>[57]</sup>。在消融过程中出现的中等以上的出血，可以直接对出血点进行消融止血。咯血量较大且出血部位明确时，患者应及时采取患侧卧位，保持呼吸道通畅，必要时气管插管<sup>[58]</sup>。可予止血药物、输血等治疗，必要时行介入治疗或手术治疗<sup>[59]</sup>。血流量大时推荐胸腔穿刺引流，同时可加用抗生素预防继发感染。

### 6.3 胸膜反应

胸膜反应主要与胸腔穿刺过程中刺激支配壁层胸膜的迷走神经，部分患者精神高度紧张或麻醉不充分有关，主要表现为面色苍白、大汗淋漓、胸闷、心悸、头晕甚至晕厥等<sup>[60]</sup>。多数患者症状表现轻微，无需特殊处理即可自行缓解。严重者可表现为大汗淋漓、血压进行性下降，甚至休克、晕厥等，此时应立即一切停止操作，给予肾上腺素或葡萄糖溶液等对症处理，同时予以吸氧，密切监测患者血压、心率、氧饱和度等生命体征变化<sup>[61]</sup>。

### 6.4 消融后综合征

消融后综合征可见于约三分之一的患者<sup>[62]</sup>，主要是由坏死组织的吸收和炎性因子释放引起。一般持续3-5 d，主要症状为低热、乏力、全身不适、恶心、呕吐等。多数情况下对症处理即可，必要时可给予非甾体类抗炎药物与短疗程应用小剂量糖皮质激素。

### 6.5 肺部感染

对于老年及存在重度基础肺部疾病（如慢阻肺、间质性肺疾病等）的患者行消融术后继发肺部感染的机率更高。可在消融前1 d至消融后3 d预防性使用抗生素。若消融术后5 d体温仍然 $> 38.5^{\circ}\text{C}$ ，须首先考虑继发患肺部感染<sup>[43]</sup>。出现感染后，应根据血液、脓液、痰液或肺泡灌洗液培养等病原学与药敏试验结果调整抗感染方案。

### 6.6 其他不良反应

经胸壁介入操作引起系统性空气栓塞的诱因包括活检空洞性病变或咳嗽、正压通气等。虽然发生率较低，但动脉系统性空气栓塞可引起休克、心脏骤停、偏瘫等严重后果<sup>[34]</sup>，一旦发生，应积极予高浓度氧疗<sup>[63]</sup>甚至高压氧治疗<sup>[64]</sup>。其他罕见并发症包括针道种植转移、心包填塞、支气管胸膜瘘、周围神经损伤等，均应引起术者警惕重视<sup>[65]</sup>。

## 7 临床应用推荐

### 7.1 CBCT在经支气管肺结节介入操作中的价值

**推荐在经传统引导方式下难以到达的肺结节以及一些对精度要求高的特殊操作中可选择联合使用CBCT作为辅助。**

**推荐在经支气管肺结节消融中常规使用CBCT以确保消融电极位置及消融范围满足治疗需要。**

经支气管进行肺结节介入操作时，可利用CBCT系统的透视或增强透视功能引导支气管镜和介入工具至病灶位置，并通过扫描生成的3D图像确认介入工具是否正确在位。尽管目前已有ENB、VBN、R-EBUS、透视等多项技术可协助引导支气管镜至目标病灶，但能真正实时且有效确认病灶与工具位置关系的手段仍有限：R-EBUS易受出血、肺不张影响

而形成“假阳性”图像，误导术者对错误的位置进行介入操作<sup>[55]</sup>；在2D的普通透视中，有时也会出现透视图像提示“工具在位”，但实际上工具未到达病灶，而仅是在空间上与病灶重叠的情况。另外，体积较小的肺结节、纯磨玻璃结节、受骨性结构遮挡或是靠近纵隔和膈肌等组织结构的肺结节，往往在普通透视下不可见，这使得对这些结节进行支气管镜下操作更为困难。利用CBCT系统不但同样可以便捷地对靶区进行透视成像，对于普通透视下不可见的肺结节，部分CBCT系统可以利用增强透视功能将其标记并投射在透视画面中以引导介入操作。此外，CBCT还可在术中对病灶区进行实时扫描并生成3D图像，其对病灶的成像效果受肺结节密度或位置的影响较透视相对更小，且也较透视更易发现气胸、肺不张等操作并发症<sup>[55]</sup>。通过CBCT生成的多角度多层面图像，术者可以实时确认工具的位置，从而保证准确对结节进行介入操作。对于工具位置接近或偏离肺结节的情况，术者可参考CBCT图像，调整内镜与工具的走行路径以到达满意位置。Park等<sup>[66]</sup>的研究通过多因素回归分析发现，活检前由CBCT确认工具在位与高诊断率相关[调整后比值比（adjusted odds ratio, aOR）= 53.31,  $P = 0.001$ ]。2014年一项研究<sup>[20]</sup>显示，对于< 2 cm的偶然性孤立性肺结节，由CBCT确认工具位置后，进行经支气管活检的诊断率约为传统支气管镜的两倍。此外，在肺结节消融治疗中，利用CBCT可保证准确对病灶进行消融，并便捷地提供术中消融范围监测与并发症检查。Chan等<sup>[29]</sup>联合使用ENB与CBCT作引导对25例病灶< 3 cm的周围型肺癌患者进行经支气管消融治疗。所有消融均成功达到目标消融范围，且在为期1年的随访中没有病灶在经消融治疗后继续增大。

与普通透视、ENB、R-EBUS等其他引导支气管镜技术相比，应用CBCT会导致相对较大的辐射暴露剂量。我们推荐在通过传统引导支气管镜技术难以准确诊断和定位的肺结节，包括透视下不可见的肺结节，以及经支气管针吸活检、冷冻活检、BTPNA、术前定位等需要较高精准度的特殊操作中可选择联合使用CBCT作辅助<sup>[21, 36, 37]</sup>。此外，在经支气管肺结节消融中推荐常规使用CBCT，以确保消融

电极位置及消融范围满足治疗需要。

## 7.2 联合使用CBCT与其他引导支气管镜技术

### 推荐CBCT与其他引导支气管镜技术联合使用以保证操作效率和准确性。

经支气管诊治的难点在于如何在复杂的支气管迷路中准确、快速地使支气管镜和介入工具通向目标病灶，并确保介入工具正确在位。CBCT本质上是确认诊疗工具是否到达病变位置的工具，因此，需要和其他多种引导工具联用。目前，已有VBN、ENB、机器人支气管镜、超细支气管镜等多种引导支气管镜技术可协助术者高效地到达病灶位置。联合使用CBCT与其他引导支气管镜技术可充分进行优势互补，提高到位率与诊断率。一项前瞻性研究<sup>[67]</sup>使用VBN引导超细支气管镜至肺结节，并通过CBCT作位置确认，最终取得了90.0%的诊断率。Reisenauer等<sup>[25]</sup>在一项前瞻性研究中联合使用机器人支气管镜与CBCT，最终达成了96.7%的器械到位率与93.3%的诊断率。Verhoeven等<sup>[68]</sup>的前瞻性研究表明，单独使用CBCT和单独使用ENB引导支气管镜对肺外周病灶进行活检时，仅有76.3%和52.2%的导航成功率，而在联合使用CBCT与ENB后，两组的导航成功率最终分别提高到了89.9%与87.5%。

R-EBUS可获得垂直于超声探头的横断面图像以辅助确认病灶位置，是一种便捷且无辐射的辅助工具，目前已被广泛应用于经支气管介入操作中。利用R-EBUS可判断病灶与周围血管、支气管的毗邻的关系，显示病灶内包括血管、钙化、坏死等结构，并初步评估病灶良恶性<sup>[69]</sup>。然而，单独应用R-EBUS进行位置确认具有一定的局限性。R-EBUS无法实时确认工具位置，最终进行介入操作的位置可能与探头探及肺结节的位置存在一定偏差<sup>[67]</sup>。此外，R-EBUS更易受操作并发症的影响。当肺不张发生时R-EBUS下的成像表现与实性病变相似，而常用于过程监测的普通透视难以发现鉴别肺不张，可能会误导缺乏经验的操作者对错误的位置进行活检<sup>[55]</sup>。联合应用R-EBUS与CBCT有助于实现对肺结节更精准的介入操作。DiBardino等<sup>[70]</sup>的研究显示，与单独使用R-EBUS相比，将其与CBCT联合使用时诊断率显著提高（分别为42.4% vs. 70.4%， $P < 0.001$ ）。另一方面，

鞘管或镜头先端到达病灶后，利用R-EBUS作初步确认，有助于减少频繁调整位置后的重复CBCT扫描，降低辐射暴露剂量。术者还可通过R-EBUS评估病灶与支气管管腔关系，并对靶病灶进行初步的性质评估，根据情况制订适宜的活检方案<sup>[71]</sup>。因此，我们推荐联合使用CBCT与其他引导支气管镜技术（细镜/超细镜、VBN、ENB、R-EBUS等）联合使用，以保证操作效率和准确性。

### 7.3 CBCT在经胸壁肺结节介入操作中的价值

**推荐在经胸壁介入诊疗中可以应用CBCT作引导以提高操作效率与安全性。**

尽管CBCT在成像范围与密度分辨率上不如传统CT，但多数情况下足以适应引导进针及确认针尖、病灶位置的临床需求：使用CBCT引导经胸壁肺结节活检具有不逊于传统CT引导的恶性诊断准确率（94.9%–96.0% vs. 89.9%–95.3%）<sup>[72–74]</sup>的优势。与之相比，传统CT的桶架结构占用空间大且内部空间相对封闭，增加了操作难度。此外，频繁移动患者进出CT桶架以进行穿刺操作和扫描，也增加了器械位移、管线脱落的风险。CBCT的C臂结构相对灵活小巧，可直接悬停患者上方，便于随时进行环绕扫描或提供多角度的透视图像。部分固定式CBCT系统还可根据在配套软件中规划的穿刺路径，利用激光指示体表穿刺点，并提供实时增强透视引导来辅助操作者向靶病灶进针穿刺，使得对尺寸小、位置深、穿刺角度大的肺结节进行穿刺操作更加便捷、准确。Cazzato等<sup>[75]</sup>回顾分析了共40例经由CT或CBCT引导进行经胸壁消融治疗的患者，结果显示使用CBCT时调整消融针位置花费时间更短（2.5–4.5 min vs. 4.3–8.0 min），且需要调整针尖位置的比例也更少（27.8% vs. 45.4%）。另一方面，CBCT系统提供的实时透视图像与穿刺引导功能，也有助于减少反复调整穿刺针方向增加的并发症风险及调整后复查CT带来的辐射损害：Ren等<sup>[72]</sup>回顾分析了379例行经胸壁肺结节穿刺活检患者的临床信息发现，使用CT与CBCT引导进针具有相似的技术成功率（98.2% vs. 98.7%）；然而，当结节病灶较小（直径 $\leq 2$  cm）时，使用传统CT作引导会有更高的气胸发生率（66.7% vs. 31%， $P = 0.03$ ）和更多的辐射暴露（19.9

$\pm 8.4$  mSv vs.  $15.3 \pm 5$  mSv， $P = 0.04$ ）。因此，本共识推荐在经胸壁介入诊疗中可以应用CBCT作引导以提高操作效率与安全性；而当需要精细分辨病灶内部成分或辨别病灶与周围重要组织结构关系时，可视情况选择图像质量更好的传统CT作引导。

### 7.4 使用移动式CBCT的注意事项

**推荐结合现有设施条件、目标病灶大小、密度、麻醉方式、入路方式等因素视情况选用移动式CBCT。**

尽管移动式CBCT在扫描速度、成像质量与成像范围上较固定式CBCT具有劣势，但已足够胜任对大多数肺结节的介入诊疗操作。无论是在活检、定位，还是在消融操作中，使用移动式CBCT都可便捷地提供实时3D影像，帮助术者确认病灶与工具位置<sup>[25, 30, 76–78]</sup>。部分磨玻璃结节可能会由于周围存在金属标记物或针头等器械而导致结节显示不清<sup>[28]</sup>，应用CBCT系统中去金属伪影的图像后，处理功能可以在一定程度上改善成像效果。与基座固定式CBCT相比，移动式CBCT具有占地空间更小、可巡回使用于多个手术间和经济适用性好的优势而更易于被广泛接受。应用移动式CBCT时需注意搭配使用射线可穿透的介入手术床，以避免影响成像质量。目前，移动式CBCT缺乏增强透视功能，无法对病灶进行增强标记，因此，更依赖联合使用其他方式作引导（如ENB、R-EBUS、机器人支气管镜等）<sup>[25, 29, 78]</sup>。此外，在经胸壁穿刺操作中也无法自动按规划路径投射激光指引穿刺，导致操作相对不便，因而更常被用于经支气管介入操作中。缺少这些功能一定程度上限制了移动式CBCT的应用场景，但大多数情况下，其足以满足操作过程中透视监视、对病灶及工具进行位置确认、消融范围确认及并发症检查等临床关键需求。因此，我们推荐操作者可结合现有设施条件（如导航设备、操作区域空间），目标病灶大小、密度，麻醉方式，入路方式（经支气管或经胸壁）等因素视情况选用移动式CBCT。

### 7.5 操作间的布置

**推荐对操作间进行妥善布置以保证CBCT操作过程中患者及工作人员的安全。**

**推荐各中心结合自身情况建立和完善CBCT引导**

### 下各项操作的规程和设备故障应急预案。

CBCT需要将C形臂结构绕患者旋转近200°以完成扫描,因此,在患者的头胸部周围需预留较大空间,对手术室的设备布局有额外的要求。常见的做法是将麻醉机、气管镜主机塔、监护仪、输液泵等设备置于患者头侧呈扇形展开排布,使用机器人式CBCT时,则需额外预留头侧空间供机械臂活动。同时,将相应的呼吸机管路、监护仪电线、气管镜光缆等管路线束整理固定在确保不受C臂旋转牵拉的位置<sup>[21]</sup>。进行正式扫描前,应在有人近距离密切监视下绕病灶区域进行一次不发出射线的C臂试旋转,以确保扫描过程安全。为了减少辐射对工作人员的损害,手术室应配备有可屏蔽辐射的控制室或简易辐射屏障,以便操作人员在扫描过程中临时遮蔽。在经支气管操作中,术者应在确保气管镜及探头、消融电极等工具已被妥善固定后,再离开患者前往辐射遮蔽处,避免扫描过程中气管镜及其光缆受C臂牵拉或是固定不稳导致先端位置偏移。可选择专用于支气管镜固定的支架产品或是自制简易台架进行固定<sup>[29]</sup>。我们推荐对操作间进行妥善布置,以保证CBCT操作过程中患者及工作人员的安全,并由各中心结合自身设备配置及人员情况,建立和完善CBCT引导下各项呼吸介入操作的标准操作规程和设备故障处理应急预案。

### 7.6 CBCT的辐射暴露

**推荐联合使用CBCT与引导支气管镜技术/经胸壁穿刺引导技术以提高工具到位率,减少反复扫描带来的额外辐射暴露。**

使用术中CBCT辅助肺结节活检、定位和消融有其独特优势,而CBCT的辐射剂量也是一个重要的考量因素。Hohenforst-Schmidt等<sup>[79]</sup>的一项体模研究中显示,每次CBCT扫描的平均有效剂量在0.98–1.15 mSv。针对不同投影图像数,CBCT有效剂量分别为0.98 mSv (248幅)、1.33 mSv (312幅)和3.32 mSv (419幅)<sup>[79–81]</sup>。Pritchett等<sup>[33]</sup>联合CBCT与ENB对肺结节进行活检的研究中平均进行了1.5次CBCT扫描,透视相关辐射和辐射暴露的平均预估有效剂量分别为 $1.5 \pm 0.7$  mSv 和  $3.0 \pm 1.4$  mSv,单次CBCT扫描的预估有效剂量为2.0 mSv,与低剂量CT有效剂量(1.4–

1.6 mSv)相近<sup>[82]</sup>,比常规CT的有效剂量7 mSv (4–18 mSv)更低<sup>[83]</sup>。临床研究得到的结果与其一致,一项随机对照试验<sup>[84]</sup>结果显示,使用CBCT进行术前扫描的预估有效剂量较传统CT低49% ( $P = 0.081$ )。Ren等<sup>[72]</sup>的回顾性研究发现,尽管使用CBCT与CT引导对较大的肺结节(直径 $> 2$  cm)活检的平均辐射暴露剂量相似( $15.2 \pm 4.0$  mSv vs.  $16.8 \pm 6.1$  mSv),但当病灶为较小的肺结节时(直径 $\leq 2$  cm),使用CBCT引导造成的辐射暴露剂量更小( $15.3 \pm 5$  mSv vs.  $19.9 \pm 8.4$  mSv,  $P = 0.04$ ),这可能与更精准、便捷的进针引导有关。另外,一项体模研究<sup>[85]</sup>尝试将扫描范围聚焦于病灶区域(扫描范围在头足方向上的距离由18 cm缩减为6 cm),获得了不亚于传统方式下的画面质量与更低的辐射暴露剂量(95.5 mGy vs. 147.7 mGy),但该技术还有待进一步的临床研究证明其在肺结节患者中的价值。

CBCT单次扫描的辐射剂量较低,但总体辐射剂量还与扫描次数及扫描参数相关。此外,术者对于术式的熟练程度以及对于选择扫描时间更短的采集程序的经验,也可以进一步带来射线剂量的有效减少<sup>[86, 87]</sup>。推荐联合CBCT与引导支气管镜技术/经胸壁穿刺引导技术以提高工具到位率,减少反复位置调整后重新扫描带来的额外辐射暴露。

### 7.7 改善CBCT的成像质量的措施

**推荐在CBCT扫描过程中人为地暂停患者呼吸以保证成像质量。推荐应用合理的呼吸机通气参数以避免肺不张的发生。**

CBCT扫描耗时较长,更易受呼吸运动影响而产生运动伪影。因此,我们推荐在扫描过程中人为地暂停患者呼吸以保证成像质量。对于经支气管进行介入操作的患者,进行全身麻醉并配合适当的呼吸机控制可有效暂停呼吸运动,减少运动伪影的产生。为了在扫描与操作过程中保持气道开放、避免肺不张的发生,需要保持相对较高的气道压力,因此,更宜选择气管插管而非喉罩建立人工气道<sup>[88]</sup>。常选择容量控制模式,按8–10 mL/kg (理想体重)的潮气量与8–15 cm H<sub>2</sub>O的PEEP进行通气。对于肥胖患者或位于下肺的病灶,可在血流动力学允许的情况下适当升高PEEP<sup>[89]</sup>。在氧饱和度达标( $> 94\%$ )的

前提下, 尽量滴定降低吸入氧浓度并尽可能缩短操作时间, 也有助于减少肺不张的发生。在CBCT扫描的过程中, 推荐将呼吸机切换至手控模式从而暂停机械通气, 避免呼吸运动干扰成像。同时, 利用APL阀在暂停通气的时间内持续保持一定的气道压力(常选择10–20 cm H<sub>2</sub>O), 避免膈肌上抬或肺不张发生。位于下肺和背侧的病灶, 可采用适当垫高患侧的体位。经胸壁的肺结节介入操作因难度相对较低且患者耐受性相对较好, 常在局麻下完成, 因此, 需要患者在CBCT扫描过程中配合保持屏气以避免呼吸运动造成伪影。由于清醒患者在穿刺过程中易因紧张导致吸气量波动变化较大, 相应的肺膨胀程度也不一致。为减少不同次CBCT图像之间因吸气量差异导致的病灶位置变化, 我们推荐嘱患者在平静呼气后保持屏气, 若患者无法耐受或病灶显影效果不佳, 也可选择在吸气后屏气下进行扫描。术前可对患者进行相关指导和练习, 以保证患者能在术中顺利配合。

## 8 总结

CBCT系统可在术中提供透视甚至增强透视与实时3D影像, 帮助术者确认介入工具与病灶位置并监测操作区域, 从而准确、高效地进行肺结节诊断、定位及治疗。目前, CBCT已被广泛应用于临床中, 越来越多的循证医学证据证实其具有良好的可行性、安全性以及较高的临床应用价值。在呼吸介入技术快速发展的今天, 规范化的CBCT操作流程及指导对于提高诊疗成功率及降低不良事件发生率有着极为重要的意义, 故基于现有实践经验和相关临床研究成果制订本共识。未来随着这一新兴技术的临床应用规模进一步扩大, 设备功能不断进步, 更多高质量的循证医学证据出现, 本专家共识也将被进一步更新完善, 为本技术相关的临床工作者提供参考。

## 资金

本共识的撰写得到了国家重大疾病多学科合作

诊疗能力建设项目(2020NMDTP)、上海交通大学医学院高峰高原学科建设项目(20181815)的支持。

## 参考文献

1. National Lung Screening Trial Research T, Aberle DR, Adams AM, Berg CD, Black WC, Clapp JD, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med.* 2011;365(5):395-409.
2. Chaddha U, Kurman JS, Mahajan A, Hogarth DK. Lung nodule management: An interventional pulmonology perspective. *Semin Respir Crit Care Med.* 2018; 39(6): 661-6.
3. Nadig TR, Thomas N, Nietert PJ, Lozier J, Tanner NT, Wang Memoli JS, et al. Guided bronchoscopy for the evaluation of pulmonary lesions: An updated meta-analysis. *Chest.* 2023; 163(6):1589-98.
4. Ali MS, Trick W, Mba BI, Mohananey D, Sethi J, Musani AI. Radial endobronchial ultrasound for the diagnosis of peripheral pulmonary lesions: A systematic review and meta-analysis. *Respirology.* 2017;22(3):443-53.
5. Jiang S, Liu X, Chen J, Ma H, Xie F, Sun J. A pilot study of the ultrathin cryoprobe in the diagnosis of peripheral pulmonary ground-glass opacity lesions. *Transl Lung Cancer Res.* 2020;9(5):1963-73.
6. Zo S, Woo SY, Kim S, Lee JE, Jeong BH, Um SW, et al. Predicting the risk of malignancy of lung nodules diagnosed as indeterminate on radial endobronchial ultrasound-guided biopsy. *J Clin Med.* 2020;9(11):3652.
7. Folch EE, Labarca G, Ospina-Delgado D, Kheir F, Majid A, Khandhar SJ, et al. Sensitivity and safety of electromagnetic navigation bronchoscopy for lung cancer diagnosis: systematic review and meta-analysis. *Chest.* 2020;158(4):1753-69.
8. Folch EE, Bowling MR, Pritchett MA, Murgu SD, Nead MA, Flandes J, et al. NAVIGATE 24-month results: Electromagnetic navigation bronchoscopy for pulmonary lesions at 37 centers in europe and the united states. *J Thorac Oncol.* 2022;17(4):519-31.
9. Zheng X, Cao L, Zhang Y, Xie F, Yang H, Liu J, et al. A novel electromagnetic navigation bronchoscopy system for the diagnosis of peripheral pulmonary nodules: A randomized clinical trial. *Ann Am Thorac Soc.* 2022;19(10):1730-9.
10. Kickuth R, Reichling C, Bley T, Hahn D, Ritter C. C-arm cone-beam CT combined with a new electromagnetic navigation system for guidance of percutaneous needle biopsies: Initial

- clinical experience. *Rofo*. 2015;187(7):569-76.
11. Meyer BC, Peter O, Nagel M, Hoheisel M, Frericks BB, Wolf KJ, Wacker FK. Electromagnetic field-based navigation for percutaneous punctures on C-arm CT: experimental evaluation and clinical application. *Eur Radiol*. 2008;18(12):2855-64.
  12. Ikezawa Y, Shinagawa N, Sukoh N, Morimoto M, Kikuchi H, Watanabe M, et al. Usefulness of endobronchial ultrasonography with a guide sheath and virtual bronchoscopic navigation for ground-glass opacity lesions. *Ann Thorac Surg*. 2017; 103(2): 470-5.
  13. Zheng X, Zhong C, Xie F, Li S, Wang G, Zhang L, Sun J. Virtual bronchoscopic navigation and endobronchial ultrasound with a guide sheath without fluoroscopy for diagnosing peripheral pulmonary lesions with a bronchus leading to or adjacent to the lesion: A randomized non-inferiority trial. *Respirology*. 2023;28(4):389-98.
  14. Ishida T, Asano F, Yamazaki K, Shinagawa N, Oizumi S, Moriya H, et al. Virtual bronchoscopic navigation combined with endobronchial ultrasound to diagnose small peripheral pulmonary lesions: a randomised trial. *Thorax*. 2011; 66(12):1072-7.
  15. Fielding DIK, Bashirzadeh F, Son JH, Todman M, Chin A, Tan L, et al. First human use of a new robotic-assisted fiber optic sensing navigation system for small peripheral pulmonary nodules. *Respiration*. 2019;98(2):142-50.
  16. Rojas-Solano JR, Ugalde-Gamboa L, Machuzak M. Robotic bronchoscopy for diagnosis of suspected lung cancer: A feasibility study. *J Bronchology Interv Pulmonol*. 2018; 25(3): 168-75.
  17. Xie F, Wagh A, Wu R, Hogarth DK, Sun J. Robotic-assisted bronchoscopy in the diagnosis of peripheral pulmonary lesions. *Chinese Medical Journal Pulmonary and Critical Care Medicine*. 2023;1(1):30-5.
  18. Anzidei M, Argiro R, Porfiri A, Boni F, Anile M, Zaccagna F, et al. Preliminary clinical experience with a dedicated interventional robotic system for CT-guided biopsies of lung lesions: a comparison with the conventional manual technique. *Eur Radiol*. 2015;25(5):1310-6.
  19. Lanza C, Carriero S, Buijs EFM, Mortellaro S, Pizzi C, Sciacqua LV, et al. Robotics in interventional radiology: Review of current and future applications. *Technol Cancer Res Treat*. 2023; 22:1-15.
  20. Hohenforst-Schmidt W, Zarogoulidis P, Vogl T, Turner JF, Browning R, Linsmeier B, et al. Cone beam computertomography (CBCT) in interventional chest medicine-high feasibility for endobronchial realtime navigation. *J Cancer*. 2014; 5(3): 231-41.
  21. Setser R, Chintalapani G, Bhadra K, Casal RF. Cone beam CT imaging for bronchoscopy: A technical review. *J Thorac Dis*. 2020;12(12):7416-28.
  22. Lee SM, Park CM, Lee KH, Bahn YE, Kim JI, Goo JM. C-arm cone-beam CT-guided percutaneous transthoracic needle biopsy of lung nodules: clinical experience in 1108 patients. *Radiology*. 2014; 271(1):291-300.
  23. Cheng GZ, Liu L, Nobari M, Miller R, Wahidi M. Cone beam navigation bronchoscopy: the next frontier. *J Thorac Dis*. 2020; 12(6):3272-8.
  24. Jin KN, Park CM, Goo JM, Lee HJ, Lee Y, Kim JI, et al. Initial experience of percutaneous transthoracic needle biopsy of lung nodules using C-arm cone-beam CT systems. *Eur Radiol*. 2010;20(9):2108-15.
  25. Reisenauer J, Duke JD, Kern R, Fernandez-Bussy S, Edell E. Combining shape-sensing robotic bronchoscopy with mobile three-dimensional imaging to verify tool-in-lesion and overcome divergence: A pilot study. *Mayo Clin Proc Innov Qual Outcomes*. 2022; 6(3):177-85.
  26. Sadoughi A, Viridi S. Mobile 3D intraprocedural fluoroscopy in combination with ultrathin bronchoscopy for biopsy of peripheral lung nodules. *J Bronchology Interv Pulmonol*. 2021;28(1):76-80.
  27. Chen J, Pan X, Gu C, Zheng X, Yuan H, Yang J, Sun J. The feasibility of navigation bronchoscopy-guided pulmonary microcoil localization of small pulmonary nodules prior to thoracoscopic surgery. *Transl Lung Cancer Res*. 2020; 9(6):2380-90.
  28. Chan JWY, Lau RWH, Chu CM, Ng CSH. Expanding the scope of electromagnetic navigation bronchoscopy-guided transbronchial biopsy and ablation with mobile 3D C-arm machine cios spin-feasibility and challenges. *Transl Lung Cancer Res*. 2021; 10(10):4043-6.
  29. Chan JWY, Lau RWH, Ngai JCL, Tsoi C, Chu CM, Mok TSK, Ng CSH. Transbronchial microwave ablation of lung nodules with electromagnetic navigation bronchoscopy guidance-a novel technique and initial experience with 30 cases. *Transl Lung Cancer Res*. 2021; 10(4):1608-22.
  30. Chen J, Xie F, Zheng X, Li Y, Liu S, Ma KC, et al. Mobile 3-dimensional (3D) C-arm system-assisted transbronchial biopsy and ablation for ground-glass opacity pulmonary nodules: a case report. *Transl Lung Cancer Res*. 2021;

- 10(7):3312-9.
31. Ghosn M, Elsakka AS, Ridouani F, Doustaly R, Mingione L, Royalty K, et al. Augmented fluoroscopy guided transbronchial pulmonary microwave ablation using a steerable sheath. *Transl Lung Cancer Res.* 2022; 11(2):150-64.
  32. Hwang EJ, Kim H, Park CM, Yoon SH, Lim HJ, Goo JM. Cone beam computed tomography virtual navigation-guided transthoracic biopsy of small ( $\leq 1$  cm) pulmonary nodules: impact of nodule visibility during real-time fluoroscopy. *Br J Radiol.* 2018; 91(1087):20170805.
  33. Pritchett MA, Schampaert S, de Groot JAH, Schirmer CC, van der Bom I. Cone-beam ct with augmented fluoroscopy combined with electromagnetic navigation bronchoscopy for biopsy of pulmonary nodules. *J Bronchology Interv Pulmonol.* 2018; 25(4):274-82.
  34. Yan GW, Bhetuwal A, Yan GW, Sun QQ, Niu XK, Zhou Y, et al. A Systematic review and meta-analysis of C-arm cone-beam CT-guided percutaneous transthoracic needle biopsy of lung nodules. *Pol J Radiol.* 2017;82:152-60.
  35. Professional Committee on Respiratory Equipment Technology of Chinese Medical Equipment A, Expert Group on Technical of Domestic Electromagnetic Navigation B. [Expert consensus on technical specifications of domestic electromagnetic navigation bronchoscopy system in diagnosis, localization and treatment (2021 Edition)]. *Zhongguo Fei Ai Za Zhi.* 2021;24(8):529-37.
  36. Piro R, Fontana M, Casalini E, Taddei S, Bertolini M, Iori M, Facciolongo N. Cone beam CT augmented fluoroscopy allows safe and efficient diagnosis of a difficult lung nodule. *BMC Pulm Med.* 2021;21(1):327.
  37. Steinfort DP, D'Agostino RD, Vrijlic I, Einsiedel P, Prasad JD, Jennings BR, et al. CT-fluoroscopic guidance for performance of targeted transbronchial cryobiopsy: A preliminary report. *Respiration.* 2018;96(5):472-9.
  38. Ciriaco P, Negri G, Puglisi A, Nicoletti R, Del Maschio A, Zannini P. Video-assisted thoracoscopic surgery for pulmonary nodules: rationale for preoperative computed tomography-guided hookwire localization. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2004; 25(3):429-33.
  39. Liu B, Gu C. Expert consensus workshop report: Guidelines for preoperative assisted localization of small pulmonary nodules. *J Cancer Res Ther.* 2020; 16(5):967-73.
  40. Liu BD, Ye X, Fan WJ, Li XG, Feng WJ, Lu Q, et al. Expert consensus on image-guided radiofrequency ablation of pulmonary tumors: 2018 edition. *Thorac Cancer.* 2018; 9(9):1194-208.
  41. Interventional pulmonology group of the Chinese Thoracic Society CMA. [Guideline for diagnostic flexible bronchoscopy in adults (2019)]. *Zhonghua Jie He He Hu Xi Za Zhi.* 2019; 42(8):573-90.
  42. Nguyen ET, Bayanati H, Hurrell C, Aitken M, Cheung EM, Gupta A, et al. Canadian association of radiologists/canadian association for interventional radiology/canadian society of thoracic radiology guidelines on thoracic interventions. *Can Assoc Radiol J.* 2023; 74(2):272-87.
  43. Ye X, Fan W, Wang Z, Wang J, Wang H, Wang J, et al. Expert consensus on thermal ablation therapy of pulmonary subsolid nodules (2021 Edition). *J Cancer Res Ther.* 2021;17(5):1141-56.
  44. Orth RC, Wallace MJ, Kuo MD, Technology Assessment Committee of the Society of Interventional R. C-arm cone-beam CT: general principles and technical considerations for use in interventional radiology. *J Vasc Interv Radiol.* 2009; 20(7 Suppl):S538-44.
  45. Avsarala SK, Machuzak MS, Gildea TR. Multidimensional precision: Hybrid mobile 2D/3D C-arm assisted biopsy of peripheral lung nodules. *J Bronchology Interv Pulmonol.* 2020; 27(2):153-5.
  46. Oki M, Saka H. Diagnostic value of ultrathin bronchoscopy in peripheral pulmonary lesions: a narrative review. *J Thorac Dis.* 2020; 12(12):7675-82.
  47. T/CECA20023-2022, 数字一体化复合手术室技术标准[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2022.
  48. GBZ 130-2013, 医用X射线诊断放射防护要求. 国家卫生和计划生育委员会, 2013.
  49. GB 50333-2013, 医院洁净手术部建筑技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
  50. Xie F, Yang H, Huang R, Zheng X, Cao L, Liu J, et al. Chinese expert consensus on technical specifications of electromagnetic navigation bronchoscopy in diagnosing peripheral pulmonary lesions. *J Thorac Dis.* 2021;13(4):2087-98.
  51. Ettinger DS, Wood DE, Aisner DL, Akerley W, Bauman JR, Bharat A, et al. Non-small cell lung cancer, version 3.2022, NCCN clinical practice guidelines in oncology. *J Natl Compr Canc Netw.* 2022; 0(5):497-530.
  52. British Thoracic Society Bronchoscopy Guidelines Committee aSoSocCoBTS. British Thoracic Society guidelines on diagnostic flexible bronchoscopy. *Thorax.* 2001; 56 Suppl

- 1(Suppl 1):i1-21.
53. Mayo JR, Clifton JC, Powell TI, English JC, Evans KG, Yee J, et al. Lung nodules: CT-guided placement of microcoils to direct video-assisted thoracoscopic surgical resection. *Radiology*. 2009; 50(2):576-85.
54. Jiao de C, Li TF, Han XW, Wu G, Ma J, Fu MT, et al. Clinical applications of the C-arm cone-beam CT-based 3D needle guidance system in performing percutaneous transthoracic needle biopsy of pulmonary lesions. *Diagn Interv Radiol*. 2014;20(6):470-4.
55. Casal RF, Sarkiss M, Jones AK, Stewart J, Tam A, Grosu HB, et al. Cone beam computed tomography-guided thin/ultrathin bronchoscopy for diagnosis of peripheral lung nodules: a prospective pilot study. *J Thorac Dis*. 2018;10(12):6950-9.
56. Hiraki T, Mimura H, Gobara H, Shibamoto K, Inoue D, Matsui Y, Kanazawa S. Incidence of and risk factors for pneumothorax and chest tube placement after CT fluoroscopy-guided percutaneous lung biopsy: retrospective analysis of the procedures conducted over a 9-year period. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;194(3):809-14.
57. Manhire A, Charig M, Clelland C, Gleeson F, Miller R, Moss H, et al. Guidelines for radiologically guided lung biopsy. *Thorax*. 2003;58(11):920-36.
58. Lordan JL, Gascoigne A, Corris PA. The pulmonary physician in critical care \* Illustrative case 7: Assessment and management of massive haemoptysis. *Thorax*. 2003;58(9):814-9.
59. Grage RA, Naveed MA, Keogh S, Wang D. Efficacy of a dehydrated hydrogel plug to reduce complications associated with computed tomography-guided percutaneous transthoracic needle biopsy. *J Thorac Imaging*. 2017;32(1):57-62.
60. Lazguet Y, Maarouf R, Karrou M, Skiker I, Alloubi I. CT guided percutaneous needle biopsy of the chest: initial experience. *Pan Afr Med J*. 2016;23:211.
61. Wang S, Tu J, Dong K. Nomogram to predict postoperative PR in patients undergoing CT-guided transthoracic lung biopsy. *J Thorac Dis*. 2019;11(4):1705-13.
62. Zhu JC, Yan TD, Morris DL. A systematic review of radiofrequency ablation for lung tumors. *Ann Surg Oncol*. 2008;15(6):1765-74.
63. Muth CM, Shank ES. Gas embolism. *N Engl J Med*. 2000; 42(7):476-82.
64. Ziser A, Adir Y, Lavon H, Shupak A. Hyperbaric oxygen therapy for massive arterial air embolism during cardiac operations. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1999;117(4):818-21.
65. Zhou Q, Dong J, He J, Liu D, Tian DH, Gao S, et al. The society for translational medicine: indications and methods of percutaneous transthoracic needle biopsy for diagnosis of lung cancer. *J Thorac Dis*. 2018;10(9):5538-44.
66. Park SC, Kim CJ, Han CH, Lee SM. Factors associated with the diagnostic yield of computed tomography-guided transbronchial lung biopsy. *Thorac Cancer*. 2017;8(3):153-8.
67. Ali EAA, Takizawa H, Kawakita N, Sawada T, Tsuboi M, Toba H, et al. Transbronchial biopsy using an ultrathin bronchoscope guided by cone-beam computed tomography and virtual bronchoscopic navigation in the diagnosis of pulmonary nodules. *Respiration*. 2019;98(4):321-8.
68. Verhoeven RLJ, Futterer JJ, Hoefsloot W, van der Heijden E. Cone-beam CT image guidance with and without electromagnetic navigation bronchoscopy for biopsy of peripheral pulmonary lesions. *J Bronchology Interv Pulmonol*. 2021; 8(1):60-9.
69. Zheng X, Wang L, Chen J, Xie F, Jiang Y, Sun J. Diagnostic value of radial endobronchial ultrasonographic features in predominant solid peripheral pulmonary lesions. *J Thorac Dis*. 2020;12(12):7656-65.
70. DiBardino DM, Kim RY, Cao Y, Andronov M, Lanfranco AR, Haas AR, et al. Diagnostic yield of cone-beam-derived augmented fluoroscopy and ultrathin bronchoscopy versus conventional navigational bronchoscopy techniques. *J Bronchology Interv Pulmonol*. 2023;30(4):335-45
71. Verhoeven RLJ, Vos S, van der Heijden E. Multi-modal tissue sampling in cone beam CT guided navigation bronchoscopy: comparative accuracy of different sampling tools and rapid on-site evaluation of cytopathology. *J Thorac Dis*. 2021;13(7):4396-406.
72. Ren Q, Zhou Y, Yan M, Zheng C, Zhou G, Xia X. Imaging-guided percutaneous transthoracic needle biopsy of nodules in the lung base: fluoroscopy CT versus cone-beam CT. *Clin Radiol*. 2022;77(5):e394-e9.
73. Rotolo N, Floridi C, Imperatori A, Fontana F, Ierardi AM, Mangini M, et al. Comparison of cone-beam CT-guided and CT fluoroscopy-guided transthoracic needle biopsy of lung nodules. *Eur Radiol*. 2016; 6(2):381-9.
74. Akkkrisee S, Hongsakul K. Percutaneous transthoracic needle biopsy for pulmonary nodules: a retrospective study of a comparison between C-arm cone-beam computed tomography and conventional computed tomography guidance. *Pol J Radiol*. 2020; 5:e309-e15.

75. Cazzato RL, Battistuzzi JB, Catena V, Grasso RF, Zobel BB, Schena E, et al. Cone-beam computed tomography (CBCT) versus CT in lung ablation procedure: Which is faster? *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2015;38(5):1231-6.
76. Hsieh MJ, Chou PL, Fang HY, Wen CT, Chao YK. Single-step localization and excision of small pulmonary nodules using a mobile 3D C-arm. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2021;33(6):885-91.
77. Kalchiem-Dekel O, Fuentes P, Bott MJ, Beattie JA, Lee RP, Chawla M, Husta BC. Multiplanar 3D fluoroscopy redefines tool-lesion relationship during robotic-assisted bronchoscopy. *Respirology.* 2021;26(1):120-3.
78. Duke JD, Fernandez-Bussy S, Reisenauer J. Combined portable cone beam computed tomography and robotic-assisted bronchoscopy impacting diagnosis of a solitary pulmonary nodule: a case report. *AME Case Rep.* 2022;6:23.
79. Hohenforst-Schmidt W, Banckwitz R, Zarogoulidis P, Vogl T, Darwiche K, Goldberg E, et al. Radiation exposure of patients by cone beam CT during Endobronchial Navigation-Phantom Study. *J Cancer.* 2014;5(3):192-202.
80. Choi JW, Park CM, Goo JM, Park YK, Sung W, Lee HJ, et al. C-arm cone-beam CT-guided percutaneous transthoracic needle biopsy of small ( $\leq 20$  mm) lung nodules: diagnostic accuracy and complications in 161 patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2012; 99(3):W322-30.
81. Choo JY, Park CM, Lee NK, Lee SM, Lee HJ, Goo JM. Percutaneous transthoracic needle biopsy of small ( $\leq 1$  cm) lung nodules under C-arm cone-beam CT virtual navigation guidance. *Eur Radiol.* 2013;23(3):712-9.
82. Larke FJ, Kruger RL, Cagnon CH, Flynn MJ, McNitt-Gray MM, Wu X, et al. Estimated radiation dose associated with low-dose chest CT of average-size participants in the National Lung Screening Trial. *AJR Am J Roentgenol.* 2011; 97(5):1165-9.
83. Mettler FA, Jr., Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology.* 2008; 48(1):254-63.
84. Abi-Jaoudeh N, Fisher T, Jacobus J, Skopec M, Radaelli A, Van Der Bom IM, et al. Prospective randomized trial for image-guided biopsy using cone-beam CT navigation compared with conventional CT. *J Vasc Interv Radiol.* 2016; 7(9):1342-9.
85. Werncke T, von Falck C, Luepke M, Stamm G, Wacker FK, Meyer BC. Collimation and image quality of C-arm computed tomography: Potential of radiation dose reduction while maintaining equal image quality. *Invest Radiol.* 2015;50(8):514-21.
86. Yang SM, Yu KL, Lin KH, Liu YL, Sun SE, Meng LH, Ko HJ. Localization of small pulmonary nodules using augmented fluoroscopic bronchoscopy: Experience from 100 consecutive cases. *World J Surg.* 2020;44(7):2418-25.
87. Yang SM, Yu KL, Lin JH, Lin KH, Liu YL, Sun SE, et al. Cumulative experience of preoperative real-time augmented fluoroscopy-guided endobronchial dye marking for small pulmonary nodules: An analysis of 30 initial patients. *J Formos Med Assoc.* 2019;118(8):1232-8.
88. Pritchett MA, Bhadra K, Calcutt M, Folch E. Virtual or reality: divergence between preprocedural computed tomography scans and lung anatomy during guided bronchoscopy. *J Thorac Dis.* 2020;12(4):1595-611.
89. Katsis J, Roller L, Aboudara M, Pannu J, Chen H, Johnson J, et al. Diagnostic yield of digital tomosynthesis-assisted navigational bronchoscopy for indeterminate lung nodules. *J Bronchology Interv Pulmonol.* 2021; 8(4):255-61.

(收稿: 2024-01-02 接受: 2024-02-04 发表: 2024-03-09)

#### 执 笔

徐冬阳	上海市胸科医院
谢芳芳	上海市胸科医院
张冀松	浙江大学医学院附属邵逸夫医院
陈恩国	浙江大学医学院附属邵逸夫医院
孙加源	上海市胸科医院

#### 编 委

陈 宏	哈尔滨医科大学附属二院
陈众博	宁波大学附属第一医院
官振标	海军军医大学第一附属医院
侯 刚	中日友好医院
季 成	苏州大学附属第一医院
李海涛	河北医科大学第二医院
李满祥	西安交通大学第一附属医院
李 伟	蚌埠医学院第一附属医院
李 譞	上海市第十人民医院
李一诗	重庆医科大学附属第一医院
廉海容	江南大学附属医院
廖江荣	贵州航天医院

## 编委

刘丹	四川大学华西医院
罗壮	昆明医科大学第一附属医院
欧阳海峰	陕西省西安国际医学中心医院
申永春	四川大学华西医院
施熠炜	山西医科大学第一医院
唐纯丽	广州医科大学附属第一医院
万南生	天津医科大学总医院
汪涛	华中科技大学同济医学院附属同济医院
王虹	兰州大学第二医院
王华启	郑州大学第一附属医院
王娟	首都医科大学附属北京天坛医院
吴雪梅	厦门医学院附属第二医院
夏旸	浙江大学医学院附属第二医院
肖奎	中南大学湘雅二医院
胥武剑	同济大学附属东方医院
许飞	深圳市宝安区人民医院
杨会珍	河南省人民医院
杨俊勇	新疆维吾尔自治区传染病医院
叶涛生	深圳市第三人民医院
叶贤伟	贵州省人民医院
于鹏飞	烟台毓璜顶医院
张楠	应急总医院
张鹏	安徽省胸科医院
张群成	河南省人民医院
赵琪	南京鼓楼医院
郑筱轩	上海市胸科医院
邹俊	四川省医学科学院四川省人民医院

**Cite this article as:** 中国人体健康科技促进会呼吸介入专业委员会. 锥形束电子计算机断层扫描引导下肺结节诊断、定位及治疗技术专家共识. 癌症. 2024; 43(3): 89-105.