

呼吸, 浸润深度:10.1159/000551026 收

到:2026 年 1 月 19 日

接受日期:2026 年 1 月 27 日

在线发布:2026 年 2 月 16 日

世界专家共识 形状感应机器人辅助支气管镜 (ssRAB) 诊断 周围肺部病变的建议

Brock JM、Fernandez-Bussy S、Yu Lee A、Chadha RM、Oberg C、Ng CSH、Chen E、Folch E、Zhang H、Reisenauer JS、Bhadra K、Pritchett MA、Shah PL、Li S、Patel P、Majid A、Herth FJF、Sun J

ISSN:0025-7931(印刷版), eISSN:1423-0356(在线版)

<https://www.karger.com/RES>

呼吸

免责声明:

已接受、未编辑的文章尚未分配给该问题。本出版物中包含的声明、意见和数据仅属于个别作者和贡献者,而不是出版商和编辑。出版商和编辑对因任何引用内容的思想、方法、说明或产品而造成的人身或财产伤害不承担任何责任。

版权所有:

© 2026 年 S. Karger AG, 巴塞尔

世界 专家共识 形状感应机器人辅助支气管镜 (ssRAB) 诊断周围肺部病变的建议

作者

Judith Maria Brock、Sebastian Fernandez-Bussy、Alejandra Yu Lee、Ryan M Chadha、Catherine Oberg、Calvin SH Ng、Enguo Chen、Erik Folch、Hao Zhang、Janani S Reisenauer、Krish Bhadra、Michael A Pritchett、Pallav L Shah、Shiyue Li、Pranjal Patel、Adnan Majid、Felix JF Herth、Jiayuan Sun^{1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16}

德国海德堡海德堡大学海德堡胸科医院肺科和重症监护医学系以及德国肺部疾病中心 (DZL) 海德堡转化肺研究中心 (TLRC)，德国海德堡¹

佛罗里达州杰克逊维尔梅奥诊所肺部、过敏和睡眠医学科，美国²

麻醉科和围手术期医学科，佛罗里达州杰克逊维尔梅奥诊所，美国³

医学科介入肺科，纪念斯隆凯特琳癌症中心（美国），纽约州纽约市 美国⁴

香港中文大学威尔斯亲王医院外科，香港，中国⁵

浙江大学邵润生医院，杭州，中国⁶

内科肺部和重症监护医学科，南加利福尼亚大学，CA 洛杉矶，美国⁷

徐州医科大学附属医院胸外科，xuzhou，中国⁸

胸外科，梅奥诊所，明尼苏达州罗彻斯特，美国⁹

CHI 纪念医院，田纳西州查塔努加，美国¹⁰

第一健康卡罗莱纳斯和皮恩赫斯特医疗诊所，北卡罗来纳州皮恩赫斯特，美国¹¹

英国伦敦皇家布朗普顿医院和英国伦敦帝国理工学院国家心肺研究所¹²

广州医科大学附属第一医院，广州，中国¹³

斯坦福大学医学院肺部、过敏和重症监护医学科，加利福尼亚州斯坦福，美国¹⁴

介入肺科，贝丝以色列女执事医疗中心，哈佛医学院，马萨诸塞州波士顿¹⁵

上海胸科医院，上海交通大学医学院附属仁济医院，上海，中国¹⁶

简要标题:ssRAB 全球共识

通讯作者:

朱迪思·玛丽亚·布洛克，医学博士、哲学博士
海德堡大学肺科和重症监护医学胸科诊所
罗氏街。1.

69126 德国海德堡

电子邮件:judith.brock@med.uni-heidelberg.de

Jiayuan Sun, MD, PhD

呼吸内窥镜科、呼吸和重症监护医学科 上海胸科医院，上海交通大学医学院附属仁济医院

西怀海路241号，
上海200030，中国

电子邮件:xkyiysun@163.com

关键词:形状感知机器人辅助支气管镜检查、机器人辅助支气管镜检查、共识、临床实践、建议、周围型肺结节、肺癌

摘要

形状感应机器人辅助支气管镜检查 (ssRAB) 代表了支气管镜评估可疑恶性肿瘤肺结节的重大进展。它的用途已扩展到多个国家和医疗保健系统;然而, 目前尚无指导临床实践或解决不确定性领域的全球共识。这份第一个世界专家共识是由 18 名介入性肺病学和 ssRAB 专家组成的国际小组制定的, 代表了三大洲的 13 家医院。该过程包括系统文献综述, 随后进行多轮结构化问卷调查、临床经验分享和知情讨论, 以确定关键领域并建立共识声明。在 ssRAB 的适应症和禁忌症、程序设置、实际工作流程、麻醉考虑、诊断工具、培训、报告标准和安全实践等多个领域总共生成了 38 条建议。经过三轮投票和广泛讨论, 所有 38 项声明均达成完全共识(100% 同意)。这第一个国际专家共识为形状感应机器人辅助支气管镜检查的临床使用提供了全面的、有证据的指导。它还强调了持续不确定的领域, 并可以作为这个快速发展的领域未来研究、教育和指南开发的基础。

简介

肺癌仍然是全球重大健康挑战，并且仍然是全球癌症相关死亡的主要原因之一[1]。采用低剂量计算机断层扫描(计算机断层扫描)进行肺癌筛查，大大增加了对小而通常无症状的周围性肺结节(PPN)的检出率，其中许多可能代表早期分期肺癌。随着发现的肺结节(PN)数量不断增加，特别是位于周围肺区的肺结节[2]，对安全、有效和微创诊断方法的需求越来越大。

机器人辅助支气管镜检查(RAB)代表了支气管镜技术在取样小型、解剖学上具有挑战性的肺部病变方面的重大进步[3]。这些系统将传统导航支气管镜检查的特征与高精度机器人技术和数字集成相结合。需要时，导航可以辅以三维(3D)术中成像，包括集成锥形束计算机断层扫描(CBCT)，以增强目标确认。

在这种不断发展的格局中，感知形状的机器人辅助支气管镜检查(ssRAB)已成为一项特别有前途的技术[4]。ssRAB使用嵌入超薄支气管镜导管的光纤传感器来连续检测其配置，提供有关导管形状、方向和气道树3D位置的精确实时信息。IONTM Endoluminal System(Intuitive Surgical Inc., CA, 美国)是一个广泛使用的商业ssRAB平台。ssRAB系统目前在4个大陆(北美、欧洲、亚洲、澳大利亚)使用，全球有超过950个ssRAB系统在使用。这种全球传播既反映了ssRAB的技术吸引力，也反映了改善周围肺部病变诊断方法的临床需求尚未得到满足。

荟萃分析表明，ssRAB具有极好的安全性，出血和气胸发生率分别为0.01-0.5%和0.6-2.3%[5-8]——均低于传统支气管镜检查报告的风险，并且明显低于经胸针吸入(TTNA)[9]。

当代ssRAB研究还报告诊断率为80.4%至84%[5-8]，超过传统支气管镜技术所达到的诊断率[10]。

尽管ssRAB的国际采用广泛且不断增长，但机构、医疗保健系统和运营商经验水平的ssRAB实践模式差异很大。适应症、手术设置、手术技术和诊断辅助手段的使用存在差异。为了解决这种差异性，制定了本共识声明，为ssRAB程序实践建立标准化、基于证据的框架。

在对文献进行全面回顾后，介入性肺病(IP)和ssRAB国际专家小组确定了关键的临床问题，制定了基于共识的建议，并确定了研究差距以指导未来的研究。

方法

本文件是结构化、多层次国际共识过程的结果。工作流程由三个阶段组成：

1. 专家轮

- A由五名专家组成的核心小组通过内部审查制定了第一组共识问题。
- 该小组的三名成员进行了系统文献检索(截至2025年11月的数据，pubmed MEDLINE)，并根据确定的证据起草了初步共识声明。
- 问题和初步陈述在核心小组之间循环，并组装了初步共识手稿。

2. 国际专家小组

- A选择了由18名具有机器人辅助支气管镜检查经验的介入性肺病国际专家组成的更广泛的小组，以反映地理、医疗保健系统和临床实践的多样性。
- 在共识会议之前，向所有小组成员发送了一份在线问卷，以确定临床实践中达成一致、分歧和未解决的主题的领域。
- 初步共识文件已提前提供给所有小组成员审查和评论。

3. 共识手稿的最终确定

- 该共识是在2025年12月在上海举行的国际机器人支气管镜会议上最终达成的中国。

- 对所有共识问题进行了第一轮电子投票，并记录结果。
- 专家组成员介绍了文献综述中的关键数据以指导讨论。
- 所有共识问题和陈述均在必要时进行讨论和修改，特别关注尚未达成共识的话题。
- A 第二轮投票已经完成，以完善声明并解决分歧领域。
- 更新的共识问题和声明已分发给所有专家进行审查。
- A 会议期间进行了第三轮投票，要求所有小组成员对所有共识声明进行最终调整并达成一致。
- 最终共识手稿再次发送给专家小组的所有成员，要求他们同意并提出任何建议的修改。

该共识的主要方法学特征包括：

- 匿名问卷回复(第一轮和第二轮投票)，以尽量减少个人或等级影响。
- 通过受控反馈进行迭代投票，总结先前的反应，允许专家修改他们的判断。
- 接受任何建议或陈述的先验共识阈值 $\geq 80\%$ 。
- 一旦达成稳定或共识，就汇总反应并终止该过程。所有共识问题按以下顺序提出：
- **共识问题:**定义正在考虑的主题。
- **共识声明:**总结专家组的建议。
- **理由和证据:**综合专家小组的文献综述和常见临床实践。
- **共识协议:**报告协议级别。
- **备注:**为批评评论、异议观点或发现研究差距提供空间。

结果

我们提出了共识建议以及基本原理和可用的支持文献。

第一轮投票后，6个问题未达成共识，10个问题的同意水平为 $80\% \leq 100\%$ ，其余问题达成100%同意。在提交文献综述和讨论所有陈述后，第二轮投票确认所有共识问题的一致性水平 $\geq 80\%$ ，其中九个问题处于 $80\% \leq 100\%$ 范围内，所有其余问题均达到100%的一致性。会议期间举行的第三轮投票结果显示，所有共识问题均达成100%一致。

文献综述揭示了11项前瞻性研究，其中3项没有明确的纳入和排除标准，以及4项荟萃分析，见表1a和1b。

我们列出了表2中所有共识声明的摘要。

适应症和禁忌症

1. ssRAB 的适应症是什么？

1.a ssRAB 的适应症是什么？

共识声明: **ssRAB** 适用于肺结节取样，定义为完全被肺实质包围或位于胸膜的 $\leq 3\text{cm}$ 病变。

共识一致: 声明1a达成100%共识。

备注: 在没有报销 **ssRAB** 的国家，适应症可能更加严格，而在有报销的国家则更加灵活 [11]。

1.b ssRAB 是否适用于周围肺结节采样？共识声明: 是的，ssRAB 适用

于 PPN 采样。共识一致: 声明1b达成100%共识。

1.c ssRAB 是否适用于中区肺结节采样？

共识声明: 是的，**ssRAB** 适用于取样中区病变。

共识一致: 声明1c达成100%共识。

备注: 尚未满足研究确定哪些中区病变最能从 **ssRAB** 指导中受益的需求。

1.d ssRAB 是否适用于中心肺结节采样？

共识声明: 如果无法通过线性支气管内超声 (EBUS) 或传统技术获取中心肺结节，则可以对中心肺结节进行 **ssRAB** 采样。

共识一致: 声明1d达成100%共识。

备注: 本声明使用 **NELSON**(荷兰-鲁汶长癌症筛查研究) 试验

[2] 中央、中部和周围肺区的定义。

1.e ssRAB 是否适用于肺部病变 $> 3\text{cm}$ 的取样？

共识声明: 当特定的解剖考虑限制传统支气管镜检查的有效性时，**ssRAB** 可能适用于取样 $> 3\text{cm}$ 的肺部病变。

共识一致: 声明1e达成100%共识。

理由和证据: 肺结节定义为被肺实质包围的 $\leq 3\text{cm}$ 病变。直径 > 3 厘米的肺部病变通常可以通过传统的支气管镜检查来发现。多项研究和荟萃分析表明，“常规”方法包括径向支气管内超声 (rEBUS)、引导鞘 (GS) 技术、透视和(超)薄支气管镜检查，在病变 $> 2\text{cm}$ 、恶性病变和存在支气管征时可获得更高的诊断率 [12-14]。rEBUS 引导活检的荟萃分析 [12] 显示，与 $\leq 2\text{cm}$ 的病变相比， $> 2\text{cm}$ 的病变的诊断率有所提高(75.7% vs. 60.5%， $p < 0.001$)，并且 $> 3\text{cm}$ 病变与 $\leq 3\text{cm}$ 病变的产量有改善的趋势(68.4% vs. 58.7%， $p = 0.107$)。因此，从 **ssRAB** 中获益最多的病变是那些 $< 2\text{-}3\text{cm}$ 、缺乏支气管征或位于传统工具性能降低的肺部周围区域的病变 [11]。

ssRAB 的研究报告成功采样了非常外周的结节，包括胸膜病变 [15]，以及中区和内区病变，这些病变已被证明可以预测更高的诊断率 [16]。三项前瞻性 **ssRAB** 研究 [17-19] 报告称，对于 $> 3\text{cm}$ 的病变，诊断率为 100%，证明了技术可行性，尽管这些病变通常可以通过非机器人方法有效采样。**RAB** 的荟萃分析 [5] 显示病变大小 $< 2\text{cm}$ ，而 $> 2\text{cm}$ 影响诊断率；然而，正如中国第一项多中心试验所示，并非所有研究都发现了一致的规模效应 [20]。

专家小组一致认为，**ssRAB** 对于 $\leq 3\text{cm}$ 的周围和中区肺部病变提供了最大的益处，特别是当不存在支气管征或解剖学限制限制传统支气管镜检查的有效性时。

相比之下，支气管内病变或邻近中央气道的病变不需要机器人引导，可以通过 EBUS 或传统技术进行取样。在某些涉及角度困难、缺乏中心气道接触、针对囊性或亚实性病变的特定区域或在解剖学上具有挑战性的位置(例如，邻近心脏或胸膜等关键结构)的病例中，中心病变或病变 $> 3\text{cm}$ 可能需要机器人辅助。

备注: 肺部分为区域(周围区、中部区、中央区)尚未标准化 [21]，并且存在多种评估 计算机断层扫描肺内病变位置的策略 [22]。为了达成这一共识，我们使用了 **NELSON** 试验的定义 [2]，将肺分为中央(肺门肋径的内三分之一)，

中区(肺门-肋骨直径的中三分之一)和外周区(肺门-肋骨直径的外三分之一)。

2. ssRAB 可以用于胸膜和裂隙结节吗, 并且安全吗?

共识声明:ssRAB 可用于胸膜附近的结节、胸膜内或沿裂隙的结节。在某些情况下, 可能需要经支气管通路才能到达非常外围的目标。建议使用谨慎的技术来最大限度地降低气胸风险。冷冻活检在这些部位是可行的。

理由与证据:Fernandez-Bussy 等人评估了 182 个位于纵隔、肋骨或膈胸膜 3 cm 内或肺裂内的结节, 报告了总体诊断率为 80.2%, 安全性良好, 包括气胸发生率为 2.8% 和 1 例 3 级纳什维尔出血事件 [15]。与镊子或细针抽吸相比, 冷冻活检显示出更好的诊断率(细针穿刺活检)(87.4% vs.65% vs.60%)。上叶位置是诊断成功的唯一预测因素。

Chan 等人进行的一项前瞻性研究纳入了 60 个胸膜周围(5mm 内)和裂隙周围结节, 诊断准确率为 93.3% (56/60) [23]。

此外, 一项关于 ssRAB 的早期前瞻性多中心安全性研究包括 67 个结节, 其与胸膜的中位距离为 4 毫米, 其中 31% 与胸膜或裂隙接触[24]。未观察到气胸或大出血事件。其他几项 ssRAB 研究 [18, 20, 25] 包括胸膜中位距离小于 1-2 cm 的结节 [9, 16, 18], 进一步证明在已发表的试验中一致对靠近胸膜的结节进行了采样。

共识一致:声明2达成100%共识。

备注:对于极端胸膜下结节, TTNA 仍然是一种有效的替代方法。尽管临床医生可能会质疑通过支气管镜取样胸膜结节时气胸风险是否较高, 但 ssRAB 研究报告的气胸总体发生率极低。鉴于这种并发症的罕见性, 对胸膜炎气胸发生率进行比较研究。非胸膜结节不太可能有用或改变当前的做法。

3. ssRAB 可以用于测量 2-3 cm、1-2 cm、<1 cm 的结节吗?

3.a ssRAB 可以用于 2-3cm 结节的取样吗?

共识声明:是的, ssRAB 可用于对测量 2-3 cm 的结节进行采样。

共识一致:声明3a达成100%共识。

3.b ssRAB 可以用于对 1-2cm 的结节进行采样吗?

共识声明:是的, ssRAB 可用于对测量 1-2cm 的结节进行采样。

共识一致:声明3b达成100%共识。

3.c ssRAB 可以用于对测量 <1cm 的结节进行采样吗?

共识声明:是的, ssRAB 可用于样本 <1cm 的结节。

共识一致:声明3c达成100%共识。

3a-3c:活检结节的指征应考虑恶性的可能性、影像学中的生长行为以及患者的治疗后果。

理由和证据:已发表了十一项前瞻性 ssRAB 研究。其中八个[4、16、18、20、23-26]提供了有关结节大小的严格纳入和排除标准。5 项研究 [4、16、18、25、26] 仅包括 1-3 cm 的结节, 一项研究包括 1-3.5 cm 的结节 [24], 一项研究 [20] 包括 0.8-3 cm 的结节, 一项研究包括 0.6-3.0 cm 的结节 [23]。这可能是由于放射学指南通常建议对测量值≤0.8-1cm的病变进行主要影像学随访。三项研究 [17, 19, 27](其中两项是前瞻性收集但回顾性分析)没有定义纳入或排除标准。

A 总共四项前瞻性研究 [16, 17, 19, 23] 按病变大小对诊断率进行了分类, 结果表明, 随着病变大小的增加, 诊断率部分增加。例如, Kalchiem-Dekel 等人报告称, <1cm 病变的诊断率为 66.6%, 而 1-2cm 病变的诊断率为 70.4%, 2-3cm 病变的诊断率为 92.9%, >3cm 病变的诊断率为 100% [19]。在英国一项招募了 200 名患者的前瞻性研究 [23] 中, 根据结节大小的诊断率(和诊断准确性)为 77.1% 的结节

>1.5cm(分别为86.1%), >2.0cm结节为79%(准确率88.2%), 2.0至3.0 cm结节为88.2%(准确率96.6%), 全球严格诊断率为85%。结节大小也是单变量和多变量分析中诊断率的重要阳性预测因子。

中国 [20] 的一项前瞻性多中心试验并未确定病变大小≤2cm 与>2cm 作为诊断率的预测因子。Reisenaue r 等人报告了根据病变大小的诊断率, 但只有 30 个结节, 只有 3 个测量值 <1cm, 差异并不显著[18]。没有前瞻性研究纳入尺寸 <6mm 的 PN。

Brownlee 等人 [27] 前瞻性收集并回顾性分析了 1121 个通过 ssRAB 活检的结节的数据。平均结节大小为 2.1cm，总体诊断率为 86.1%。诊断性病变显著大于非诊断性病变(2.2 cm 与 1.6 cm, $p=0.001$)。较大的病变大小、支气管征和 rEBUS 确认独立预测较高的诊断率，病变大小每增加 1 cm，诊断率就越高。

Abia-Tujillo 等人报告了 23 个实性成分 $\leq 6\text{mm}$ 、平均病变大小为 $1.8 \times 1.21\text{cm}$ 的结节的回顾性数据。诊断率为 87% [28]。同一小组还公布了比较 TTNA 与 ssRAB 包括中位最大目标尺寸为 1.5cm 的结节。ssRAB 的诊断率为 85.7%，TTNA 的诊断率为 88.5%，无统计学显著差异[9]。

虽然对测量 $\leq 3\text{cm}$ 的结节进行取样的可行性和安全性已得到充分证实，但大多数研究报告称，与较大的结节相比，较小的结节的诊断率较低。很少有前瞻性研究评估 $< 8\text{mm}$ 结节的诊断率。欧洲胸部影像学会的放射学指南[29]建议，当尺寸阈值达到 500mm^3 (或平均直径 10mm)或存在额外的形态恶性肿瘤标准时，以及当看到大量体积增长时，则在 250mm^3 (或平均直径 8mm)时对实性结节进行取样。在决定是否对 $< 8\text{mm}$ 的结节进行活检时，应考虑患者特征、影像学随访以及对治疗、生存和潜在过度诊断的影响等其他因素。专家小组一致认为，这些考虑因素不仅适用于 < 8 毫米的结节，而且适用于所有肺部病变。

备注:应进一步进行前瞻性研究，以评估恶性肿瘤的发生率和 $< 8\text{mm}$ 结节的诊断率。

4. ssRAB 每次手术可以取样多少个结节?

共识声明:ssRAB 可用于在单次手术中对多个肺结节进行采样。虽然总手术时间和肺不张的发展可能会限制可采样的结节数量，但在一次麻醉事件期间没有严格的上限。

理由和证据:多项研究报告称，在一次麻醉发作下对多个肺结节进行了 ssRAB 采样;然而，只有两项研究专门评估了这一点作为其主要目标。

Fernandez-Bussy 等人 [30] 在一项单中心回顾性研究中描述了使用 ssRAB 对 22 名患者进行多发结节(每名患者 2 个)取样的可行性和安全性。导航成功率为 91.3%，总体诊断率为 86.9%。一名患者出现气胸，需要放置胸管，一名患者出现 2 级出血。

同一组随后进行的多中心回顾性分析 [31] 包括 189 名患者，其中 393 个结节在单次治疗中接受多结节 ssRAB 取样。大多数患者 (92.6%) 采样了两个结节;6.8% 的人有三个，一个人有四个。每次诊断率为 86.2%，每结节诊断率为 70.5%。采样顺序、胸壁距离和病变大小对结果没有显著影响。上叶取样和冷冻活检的使用与更高的诊断率相关。总体并发症发生率为 5.8%，其中气胸需放置胸管的发生率为 3.7%，3 级出血率为 0.5%，入院率为 4.7%。

其他系列 [19, 23, 32–34] 报告了其队列子集中的多结节采样(分别为 12.6%、11.5%、19%、12.3% 和 31.5%)，尽管这些亚组的结果没有单独分析。

专家小组报告称，一次手术中最多可采样 5 个结节，并同意一次手术中采样 PN 不应有上限。

共识一致:声明4达成100%共识。

5. 对侧结节可以用ssRAB取样吗?

共识声明:ssRAB 可用于在单次手术期间活检对侧结节。在进行对侧取样之前，应使用透视或 CBCT 来排除最初活检侧的气胸。

理由和证据:从历史上看，由于担心累积并发症风险，支气管镜医师在一次麻醉发作期间对多次结节尤其是对侧病变进行采样持谨慎态度。尽管几项 ssRAB 研究报告称每次手术采样超过一个结节，但只有两项研究明确报告了对侧采样。

Chan 等人 [23] 报告称对 11 个对侧结节进行了取样(占队列的 5.5%)。接受双侧采样的受试者没有报告不良事件。该研究仅报告了 1 例气胸 (0.5%)

200 名接受手术的患者中，一个受试者的结节位于膈胸膜附近。

Fernandez-Bussy 等人 [31] 对 189 例涉及 393 个结节的 ssRAB 手术进行了多中心回顾性分析。在这个队列中，23% 的病例包括对侧结节取样。虽然作者注意到这些结节是恶性的，但与对侧活检相关的特定并发症发生率并未单独报告，这限制了对对侧靶标的不同安全性或诊断性能得出明确结论的能力。鉴于缺乏对侧采样的具体并发症数据，专家小组强调在进行对侧肺部之前使用透视或 CBCT 排除第一采样侧的气胸的实际重要性。所有专家都一致认为，根据他们的临床经验，从对侧取样是安全的。

共识一致:声明5达成100%共识。

备注:已发表的专门评估使用 ssRAB 对侧肺结节活检的证据仍然有限。尽管如此，专家组指出，在现实世界中，对侧采样越来越多地进行，并且有传闻安全。然而，需要专门的研究来支持更强有力的建议。

6. 磨玻璃结节可以用ssRAB取样吗?

共识声明:ssRAB 可用于样本亚实性结节 (SSN)，包括部分实性结节 (PSN) 和磨玻璃结节 (GGN)。活检工具的选择，特别是冷冻活检的使用，可能会影响诊断结果。

理由和证据:亚实性结节，包括 PSN 和 GGN，历史上与实性结节相比，诊断率较低 [35, 36]。由于荧光镜和 rEBUS 上的可视化有限以及其异质内部结构，这些病变带来了技术挑战。尽管许多 ssRAB 研究在其队列中包括 SSN 和 GGN，但只有少数研究直接评估该亚组的结果。前瞻性研究中亚实性结节的百分比范围为 2.3%-30% [4, 16, 17, 19, 20, 24-26]。Abia-Trujillo 等人 [28] 对 23 个 SSN 病变进行了单中心回顾性分析，其中 52.2% 的实体成分 <6 mm，47.8% 为纯 GGN。总体诊断率为 87%，无手术并发症。Fernandez-Bussy 等人 [9] 对 SSN 进行计算机断层扫描引导活检和 ssRAB 进行了多中心回顾性比较。66 个结节中(37 个 PSN，29 个 GGN)，中位固体成分大小为 5 毫米。PSN 和 GGN 诊断率均为 85.7%，2 例患者出现气胸。

Abia-Trujillo 等人 [33] 进一步探讨了 ssRAB 期间活检工具选择的影响，对 324 个结节进行了冷冻活检与针吸取的评估，其中包括 25.3% 的 SSN (7.4% GGN) 和 7.4% 的混合病变。与细针抽吸(SSN 为 76%; 混合病变为 78%)，而冷冻活检对混合病变的诊断率达到 100%。

其他几项 ssRAB 研究报告了抽样 SSN 和 GGN，但没有提供特定亚组的结果 [32, 37-39]。

现有证据虽然有限，但支持 ssRAB 作为 PSN 和 GGN 采样的可行方法。鉴于亚实体病变的固有挑战，专家组认识到，工具的选择，特别是冷冻活检的使用，可能会显着提高诊断率。

共识一致:声明6达成100%共识。

备注:需要更多的前瞻性或 SSN 重点研究来指导更明确的建议。

7. ssRAB 可以用于无支气管征的结节吗?

共识声明:ssRAB 可用于无支气管征的结节。

理由和证据:支气管征被认为是支气管镜活检诊断成功的预测指标 [5, 6, 23]。例如，Brownlee 等人 [27] 分析了 1121 个通过 ssRAB 进行活检的结节，发现除了病变尺寸更大和 rEBUS 的使用外，支气管征的存在与更高的诊断率相关。与非诊断病例(6.4%， $p=0.05$)相比，诊断性病变更常出现支气管征(11.8%)。然而，大多数前瞻性 ssRAB 研究 [16-20, 24-27] 包括很大比例的无支气管征的结节 (24.4%-88.9%)，表明这些病变在现实世界和试验环境中常规采样。机器人辅助支气管镜检查的荟萃分析(包括回顾性和前瞻性研究)同样报告了结节的产量

没有支气管征，虽然稍低，但临床上仍然可以接受。Ali 等人 [5] 报告称，无支气管征的结节诊断率为 76.7%，而有支气管征的结节诊断率为 83.1%；Zhang 等人 [6] 观察到诊断率为 71.9%，而诊断率为 71.9%。分别为82.9%。

Chan 等人 [23] 招募了 73.2% 没有支气管征阳性的受试者，报告总体诊断准确率为 92%。

专家小组一致认为，使用 ssRAB 可以成功取样没有支气管征的结节，并且没有支气管征不应被视为进行机器人辅助活检的禁忌症。

共识一致:声明7达成100%共识。

8. 淋巴结可以用ssRAB取样吗

共识声明:可以使用 ssRAB 对主动脉肺(第 5 站)和主动脉旁(第 6 站)淋巴结进行取样。也可以使用 ssRAB 对 12、13 和 14 等外围站点进行采样。支气管内超声仍然是中心淋巴结取样的标准方法(站 2, 4, 7, 10, 11)。

理由和证据:已发表的文献包含四份 ssRAB 引导下主动脉下淋巴结(第 5 站)成功取样的病例报告 [40-43]，以及另外四份主动脉旁淋巴结(第 6 站)取样的报告 [40]。在这 8 例病例中，没有报告并发症，并且 8 例手术中有 7 例是诊断性的。为了刺穿这些淋巴结，机器人导管被放置在左上叶。尽管包括专家小组成员在内的程序学家尝试使用 ssRAB 对中央淋巴结进行采样，但这些努力基本上没有成功。在上海举行的 2025 年国际机器人支气管镜会议上发表的一项德国前瞻性研究 (DRKS00038615 [44]) 的初步数据支持了这一观察结果。由于 ssRAB 是为外周气道开发的，因此中央气道中缺乏周围支气管壁的阻力，限制了采集中央淋巴结样本的能力。EBUS 仍然是取样位置 2、4、7、10、11 淋巴结的金标准。

专家组进一步认为，根据临床经验，在第12、13、14站取外周淋巴结是可行的。

共识一致:声明8达成100%共识。

备注:虽然目前肺癌系统分期很少需要对淋巴结站5和6以及外周淋巴结站进行取样，但肺部病变有时在计算机断层扫描扫描上与淋巴结无法区分。这使得对这些病变进行取样成为必要，并且 ssRAB 的可用性拓宽了这些情况下的诊断能力。

9. 通过 ssRAB 在手术前放置信贷标记是否可行?

共识声明:ssRAB 是手术前放置基于荧光或染料的标记的可行方法。

理由和证据:在手术前放置标记的支气管镜定位技术很有前途，并且已被广泛研究[45]。ssRAB 与术中成像的可用性

特别是 CBCT 可以使更多病变能够被接触并以更高的精度进行标记。信托标记是位于目标病变内或邻近目标病变的放射学不透明工具，有助于在手术过程中定位它。此外，亚甲蓝或吲哚菁绿(ICG)可用于荧光标记。Sawaadam 等人[46]报道了四名患者，他们使用 ICG 浸泡的可靠线圈通过 ssRAB 标记了周围病变，从而能够通过荧光成像系统在术中观察病变。没有并发症的报告。

Benn 等人 [47] 对来自四个机构的 54 个结节进行了回顾性审查，这些结节在切除前已用 ICG-F 标记，并将其与 63 个未标记的结节进行了比较。标记组的结节明显小于未标记的结节。所有标记病变均可在手术期间使用照明检测到，手术发生在标记后 0 至 13 天之间。切除的标本明显比未标记的病变浅，这可能有助于进行保肺手术。

Shahoud 等人 [48] 回顾性评估了 30 名接受 ICG 或亚甲蓝标记目标病变的患者，病变中位大小为 9mm，距胸膜的中位距离为 5mm。八个病变为实性病变，21 个为亚实性病变，1 个为磨玻璃样混浊。成功率为83.3%。三例染料不可见，两例外渗。然而，在微创切除过程中仍然可以识别目标结节。没有报告与 ssRAB 手术相关的并发症。

Dixon 等人 [49] 描述了在双侧楔形切除术和肺叶切除术之前对两个毛玻璃病变进行支气管镜染料标记, 而 Guarize 等人 [50] 报道了在机器人手术前对 10 名患者成功放置放射性标记(99mTc-MAA 和非离子碘造影剂), 同样没有出现并发症。

专家小组报告了通过 ssRAB 进行 ICG 浸泡线圈标记和其他术前定位标记类型的广泛第一手经验。与手术同事定期咨询至关重要, 以便共同选择和讨论标记的放置。

共识一致: 声明9达成100%共识。

备注: 来自病例报告和小系列的初步数据证明了 ssRAB 放置标记的可行性和安全性。需要更大规模的前瞻性研究来验证这些发现并确定最佳技术和患者选择。

10. ssRAB 有特定的禁忌症吗?

共识声明: ssRAB 对于大多数患有周围性肺部病变的成年人被认为是安全的, 但对于无法纠正的凝血功能障碍或抗凝治疗无法中断、严重呼吸衰竭、血流动力学不稳定、不稳定的心血管疾病、妊娠或无法耐受全身麻醉的患者应谨慎使用。与传统的柔性或刚性支气管镜检查相比, ssRAB 没有其他绝对禁忌症 [51]。

理由和证据: 本声明基于专家小组的临床经验, 因为没有可用的研究来解决这个问题。

Huang 等人 [51] 进行了系统评价, 回顾了 11 项国际柔性支气管镜检查指南的禁忌症。绝对或相对禁忌症包括四周内急性心肌梗死、活动性咯血、血小板计数 $<20 \times 10^9/L$ 、未纠正的凝血功能障碍、血流动力学不稳定、严重呼吸衰竭和妊娠。⁹

考虑到传统支气管镜检查具有共同的手术和生理风险, 专家组一致认为这些禁忌症也适用于 ssRAB。

讨论了全身麻醉的禁忌症必须与 ssRAB 的禁忌症区分开来。专家小组还报告说, 患有慢性阻塞性肺疾病(COPD)、间质性肺疾病(ILD)和慢性呼吸衰竭等肺部疾病以及冠状动脉疾病和心律失常等心脏合并症的患者, 只要基础疾病稳定, 接受 ssRAB 治疗就没有并发症。共识一致: 声明10达成100%共识。

ssRAB 设置和要求

11. ssRAB 是否需要对内窥镜套房进行具体的规划和设计?

共识声明: 内窥镜套件不需要特定的设计。然而, ssRAB 需要足够的空间来容纳患者桌子、机器人平台、麻醉设备以及足够的人员移动空间。尚未确定最小房间尺寸。当使用标准支气管镜设备、EBUS、CBCT 或冷冻活检系统等其他工具时, 空间需求会增加。还必须支持机器人支气管镜再处理, 无论是在邻近区域还是中央处理设施。

理由和证据: 几本实用指南描述了支气管镜检查套件的设置, 包括机器人支气管镜检查的具体注意事项。Guance 和 Kapp [52] 最近发表了一篇关于支气管镜室中机器人平台部署的综述, 强调需要足够的空间来容纳机器人系统、辅助成像方式(例如 rEBUS 或 CBCT)以及相关的程序人员。他们指出, 狭窄或组织不良的房间可能会导致工作流程效率低下、人体工程学挑战和程序困难。尽管有这些建议, 但尚未发布的指南明确指定了确切的最小房间尺寸, 并且机构经常根据可用空间和工作流程需求采用不同的配置。使用额外的工具, 例如标准支气管镜、EBUS、CBCT 或冷冻探头, 进一步扩大了空间需求。还必须规划机器人范围的再处理, 机构根据基础设施选择配套相邻处理或集中净化。

共识一致: 声明11达成100%共识。

备注: 虽然 ssRAB 可以在各种内窥镜套房布局中成功进行, 但房间必须可靠地容纳所有所需的设备、成像平台和人员

令人沮丧的安全或工作流程。专家组一致认为，只要保持足够的空间和人体工程学考虑，配置灵活性是可以接受的。

12. ssRAB 需要特定的重新处理吗？

共识声明:ssRAB 使用的耗材需要特定的再处理材料和技术。国际上和机构之间的再处理标准可能有所不同。

理由和证据:可重复使用的支气管镜在 Spaulding 系统中被归类为半临界装置，这意味着它们接触粘膜或不完整的皮肤，因此至少需要高水平消毒 (HLD)[53]。美国 FDA(食品和药物管理局)将 HLD 定义为使用灭菌剂来缩短接触时间，足以实现适当分枝杆菌物种的 6-log₁₀ 减少。一些作者主张从 HLD 过渡到完全灭菌，以加强质量保证并降低污染风险 [54]。

可重复使用的支气管镜的标准再处理步骤包括：

1. 预清洁:通过工作通道吸入酶性洗涤剂，并用浸有洗涤剂的布擦拭外表面。
2. 渗漏测试:淹没支气管镜以评估缺陷。
3. 手动清洁:用适当的化学试剂机械清洁内部通道和外部表面。
4. 目视检查:评估设备是否有碎片、缺陷或损坏。
5. 末端再处理:进行高水平消毒。
6. 冲洗:重新处理后用水冲洗。
7. 干燥:酒精冲洗，然后用力气道干燥。

美国 FDA 还清理了自动清洁流程，并减少了提交 K212048 下的 ssRAB 支气管镜的冲洗要求 [55]。目前美国 FDA 和 CDC(疾病控制与预防中心)的建议至少要求对可重复使用的支气管镜进行标准再处理步骤后的高水平消毒。

此外，Intuitive Surgical 为 IonTM 系统提供了设备特异性重新处理说明，应仔细审查这些制造商发布的方案，以确保符合监管和安全标准。

该声明反映了来自现实世界 ssRAB 临床实践的专家共识，其中重新处理方案可能会根据机构政策而有所不同。

专家小组报告说，必须在其机构中实施与 ssRAB 相关的重新处理工作流程。

共识一致:声明12达成100%共识。

互补技术

13. rEBUS 可以与 ssRAB 联合使用吗？

共识声明:外径<2.0mm的rEBUS探头可以通过ssRAB工作通道推进以确认目标位置。在某些情况下，rEBUS 还可以通过将探针沿着针形成的管道推进来识别位于气道外的病变。

理由和证据:rEBUS 已用于 20 多年的常规支气管镜检查期间辅助取样周围肺结节。可用探针的外径为 1.7 毫米或 1.4 毫米，可与具有 2.0 毫米内工作通道的 ssRAB 导管兼容。rEBUS 提供有关病变位置、靠近胸膜或血管结构以及出血或肺不张等手术变化的实时信息。多项 ssRAB 研究报告了 rEBUS 的联合使用。Fielding 等人 [26] 最早的人类 ssRAB 研究纳入了 rEBUS，并证明导航成功率为 96.6%。Brock 等人 [16] 报道了在 CBCT 未与 ssRAB 整合的情况下使用 rEBUS。随后的几项大型回顾性研究也在大多数情况下使用了 rEBUS，无论是否使用辅助 CBCT [32, 33, 37]。Kalchiem-Dekel 等人[19]评估了 159 个结节并通过 rEBUS 视图分层诊断率;获得同心视图时的产量为 93%，获得偏心视图时的产量为 78.8%。

并非所有 ssRAB 研究都包含 rEBUS(例如，17, 25, 56)，特别是当 CBCT 用于确认时。然而，由于其成本效益、可移植性和广泛可用性，rEBUS 仍然是 ssRAB 引导的外周肺活检中常用的配对成像辅助手段。

共识一致:声明13达成100%共识。

备注:rEBUS 与 ssRAB 广泛兼容, 并可提供病变位置的宝贵确认, 尽管其使用情况因机构而异, 并且在可用 CBCT 时使用频率可能较低。

14. CBCT 可以与 ssRAB 联合使用吗?

共识声明:任何 CBCT 系统都可以与 ssRAB 联合使用。ssRAB 平台与西门子 Healthineers 和 GE Healthcare 移动 CBCT 系统集成, 并允许术中目标更新。

理由和证据:近年来, 由于人们对 计算机断层扫描 - 体 (CTBD) 差异的认识不断提高以及实时病变确认的价值, 术中成像的使用大大增加。多项研究评估了 CBCT 与 ssRAB 的组合。

在一项大型单中心回顾性队列中, Styrvoky 等人 [37] 使用 ssRAB 结合 rEBUS 和 CBCT 对 209 个结节进行了采样, 报告诊断率为 91.4%。Abia-Trujillo 等人 [38] 进行了一项多中心回顾性研究, 评估了使用 ssRAB 采样的 <2cm 结节, 无论是否使用集成移动 CBCT (mCBCT)。在 192 个结节中, 117 个通过 mCBCT 进行活检, 其余的通过 2D(二维)透视进行活检。mCBCT 的诊断率为 83.8%, 而 2D 透视的诊断率为 88%。mCBCT 组的磨玻璃结节数量确实较高。Fernandez-Bussy 及其同事 [31] 报告了他们在一次麻醉发作期间使用 ssRAB 与 rEBUS 和 mCBCT 进行多结节取样的多中心经验。189 例手术中, 诊断率为 86.2%。在评估囊性和空洞病变的相关报告[57]中, 总体诊断率为83%, 并且mCBCT的使用并没有显着改变诊断率。Husta 等人 [32] 研究了添加 mCBCT 是否可以提高病灶内病变 (TIL) 率。他们回顾性分析了 436 个 CBCT 扫描 0-1 的结节和 102 个 ≥2 个扫描的结节。

尽管≥2-spin 组的病变明显较小, 但各组之间的 TIL 率相似。

共识一致:声明14达成100%共识。

15. 对于 ssRAB, 首选固定 CBCT 还是移动 CBCT?

共识声明:固定和移动 CBCT 系统均可与 ssRAB 结合使用。固定 CBCT 系统目前尚未与 ssRAB 平台集成, 因此无法支持术中目标更新。选定的移动 CBCT 系统允许实时集成以确认目标。固定 CBCT 和移动 CBCT 之间的选择取决于当地工作流程、成像基础设施以及术中更新的需求。

理由和证据:尽管没有已发表的研究直接比较固定 CBCT 和移动 CBCT 与 ssRAB 使用时的情况, 但多份报告描述了每种方式的结果。移动 CBCT 是 ssRAB 工作流程中研究最广泛的, 很大程度上是因为它可以与平台集成并提供实时目标更新。Abia-Trujillo 及其同事 [38] 在评估 2 厘米以下结节的多中心经验中发现, mCBCT 的收率为 83.8%, 而使用 2D 透视的收率为 88%。Fernandez-Bussy 及其合作者的其他多中心工作 [31] 证明, 使用 ssRAB、rEBUS 和 mCBCT 进行的 189 例多结节手术的产量为 86.2%;在一项专门针对囊性和空洞病变的单独系列研究中 [57], 他们报告的总体有效率为 83%, 使用或不使用 CBCT 进行的病例之间没有显著差异。Husta 等人 [32] 进一步评估了增加 mCBCT 旋转次数是否可以提高 TIL 率, 发现各组之间存在相似的结果, 尽管≥2 旋转队列包括明显较小的病变。

固定 CBCT 系统虽然未与 ssRAB 集成, 但也已成功应用于混合手术室工作流程, 并因其高图像质量和快速图像采集而受到重视。在 Styrvoky 等人 [37] 报告的大型单中心队列中, ssRAB 联合 rEBUS 和固定 CBCT 对 209 个结节的诊断率达到 91.4%。Abdelhani 及其同事 [34] 描述了使用固定 CBCT 协助对 111 个结节进行活检, 诊断率达到 89.2%。

总而言之, 现有文献支持使用固定或移动 CBCT 与 ssRAB 的可行性。mCBCT 独特地允许集成、实时的目标更新, 而固定 CBCT 则提供最高的图像质量、更快的扫描速度和增强的现实功能。具体使用哪种类型的 CBCT 取决于每个中心的情况和使用者的习惯。没有研究表明一种方法比另一种方法具有诊断优势。

专家小组报告了 mCBCT 和固定 CBCT 的成功使用, 并指出一些中心可以访问多个系统。

共识一致:声明15达成100%共识。

培训

16. ssRAB 是否需要介入医师进行特定培训?

共识声明:ssRAB 需要对干预主义者进行专门的培训。培训应包括离体模型或猪肺,然后是直视病例。指导内容应涵盖患者选择、麻醉注意事项、安全措施和随访。建议至少20例即可达到基本熟练程度。人们认识到,ssRAB 程序员的个体学习曲线显示出显着的操作者间变异性,受先前的支气管镜检查经验和结节特征的影响。基本的程序能力通常可以很快实现,经过几个案例后程序时间就会减少。监测一个人的诊断率直至持续高是更好地评估能力。确切的阈值取决于局部恶性肿瘤患病率和可用的补充技术,应基于前瞻性研究和荟萃分析的结果。

理由和证据:来自中国、意大利、德国和美国的四项研究[58-61]调查了ssRAB支气管镜检查的学习曲线。这些单操作者和多操作者研究的累积总和(CUSUM)分析表明,诊断率和程序熟练程度在大约25-45例病例后达到稳定,一些操作者最早在8例病例证实TIL的技术熟练程度,而另一些操作者则需要高达45例病例才能达到一致的诊断率。病例 6-40 后手术时间减少。

Xie 等人[61]报道了一位医生使用快速现场评估(ROSE)对 30 个直径为 8-30 毫米的结节进行了 ssRAB 活检的学习曲线。病例 9 后立即达到能力并获得熟练程度,病例 18 后手术时间(平均 40.7 ± 18.0 分钟)有所改善。

1 个月时的中期诊断率为 90%。Bott 等人 [58] 分析了 9 名程序学家采样的 551 个病变(平均病变大小为 19 毫米)。病例 10 后中位手术时间(1-3 个病变 52 分钟)有所减少,病例 40 后有统计学上的显著改善。5 名操作员在案例 25 后达到熟练程度,1 名操作员在案例 50 后达到熟练程度(平均 CUSUM 案例 24),2 名操作员从未达到熟练程度,1 名操作员在初始学习后表现出表现恶化。中间诊断率为72%。

Brock 等人 [59] 提出了两名研究人员的学习曲线,其中病例 6 后的手术时间以及病例 8 后的立即能力和 TIL 确认熟练程度呈下降趋势;TIL 为 97.5%。Guarize 等人

[60] 显示,单一操作者 45 例后,性能改善达到平台(中位病变大小 12.9mm),病例 40 的手术时间显著缩短,147 个结节的诊断率为 87.7%。此外,一项针对 700 例 RAB 病例(中位病变大小 19mm)的大型观察性研究 [62] 显示,随着时间的推移,手术时间不断减少:中位持续时间从前 175 例的 52 分钟下降到最后 174 例的 36 分钟。尽管未进行 CUSUM 分析,但总手术室时间从第一四分位患者的 105 分钟减少到最后一四分位患者的 84 分钟。

尽管 ssRAB 特异性培训文献有限,但采用先进支气管镜技术的一般原则是适用的。多篇出版物概述了 ssRAB 的实际要求和绩效考虑因素 [52, 63]。美国胸科医师学会[64]建议新技术的培训计划应整合教学教育、数字资源、基于案例的审查和实际实践,并将模拟纳入课程以优化技能获得和患者安全。该技术的学习曲线分析表明,即使是经验丰富的支气管镜医师也经历了机器人支气管镜检查所特有的一段时间技能习得,熟练程度通常会在一系列具有操作者依赖性学习模式变异的病例中得到提高。

此外,这一共识声明得到了专家小组的临床经验的支持,专家小组强调初始培训应在模型而不是患者身上进行,以实现技术能力。

专家小组还讨论了“学习”一词很难解释,程序员的学习曲线因以前的 IP 经验和个人能力而异。关于是否应指定特定的诊断产量阈值作为学习结果,如果是,应使用哪个阈值和哪个产量定义,进行了广泛的讨论。讨论了 75-80% 严格诊断率的阈值。最终,专家组一致认为,预期的诊断率取决于恶性肿瘤的患病率、结节大小和位置以及所使用的补充技术,因此不能普遍定义单一阈值。相反,操作者应将其绩效与具有类似患者选择的前瞻性研究和荟萃分析进行基准分析。例如,Ali 等人 [5] 报告中等诊断率为 84.3%,Li 等人 [8] 报告严格诊断率为 69.6%,Zhang 等人

[6] 报告中等收率为 80.4%,Pyarali 等人 [7] 报告严格收率为 81.9%。

共识一致:声明16达成100%共识。

17. 内窥镜工作人员需要接受特定的培训吗?

共识声明:内窥镜工作人员需要对 ssRAB 系统的设置和拆卸提供专门的指导。使用 CBCT 时需要进行额外的培训。建议与介入医师进行联合培训,以确保协调的工作流程并熟悉完整的 ssRAB 路径。

理由和证据:目前尚无关于 ssRAB 内窥镜工作人员培训的文献。根据专家小组的临床经验,内窥镜工作人员需要接受手术的所有组织和技术方面的培训,包括设备准备、故障解决和术中支持。

内窥镜团队表现出与介入医师相似的学习曲线,反映在系统设置效率和总体手术时间的改进中,如 ssRAB 实施的学习曲线分析所示 [59, 62]。

共识一致:声明17达成100%共识。

18. 麻醉需要特殊训练吗?

共识声明:不需要正式培训,但麻醉团队应熟悉导航支气管镜检查的生理和程序注意事项,包括肺不张的风险和发作、预防肺不张的干预措施、通气策略、血流动力学监测和缺氧管理。随着 ssRAB 经验和熟练程度的增加,应制定针对中心的麻醉方案。理由和证据:本声明基于专家小组的临床经验,强调了麻醉师在确保手术成功方面的重要作用。导航支气管镜检查(包括 ssRAB)具有独特的麻醉考虑因素 [65],如声明 22 和先前有关高级支气管镜检查的文献中所述。对这些因素的认识使麻醉师能够优化通气,减少术中肺不张,并支持安全有效的 ssRAB 执行。除此之外,ssRAB 麻醉不需要标准全身麻醉实践之外的额外 ssRAB 特异性训练。

共识一致:声明18达成100%共识。

ssRAB 规划

19. ssRAB 是否需要特定的 计算机断层扫描 -协议?

共识声明:PlanPointTM 软件要求胸部 计算机断层扫描 最小切片厚度为 0.51.0mm。

理由和证据:IonTM 腔内系统使用 PlanPointTM 软件平台,根据高分辨率的术前胸部 计算机断层扫描 创建具有清晰解剖边界的气道 3D 虚拟重建。首选 计算机断层扫描 方案是最近的连续薄层胸部 计算机断层扫描 扫描, 0.5-

切片厚度 1.0 毫米,切片间隔 0.5-0.8 毫米,图像分辨率为 512 x 512 像素,采用医学数字成像和通信 (DICOM) 标准格式 [66, 67]。

关于术前成像的时间没有具体的指南,这很大程度上取决于每个机构的实践和可用性。

大多数专家报告使用高分辨率 计算机断层扫描 (风险比 - 计算机断层扫描) 来规划该程序。切片厚度、间隔、解剖覆盖范围以及使用 PET- 计算机断层扫描(正电子发射断层扫描计算机断层扫描)或对比增强 计算机断层扫描 造影剂的使用差异可能会限制完整的气道重建和/或规划功能。

共识一致:声明19达成100%共识。

备注:根据切片厚度, PET- 计算机断层扫描 和对比增强 计算机断层扫描 扫描可用于生成 3D 虚拟气道重建。在这种情况下,建议进行早期术中 CBCT 扫描,以便实时目标验证和纠正 CTBD 差异。

20. ssRAB 之前需要进行哪些准备和计划?

共识声明:准备包括将胸部 计算机断层扫描 上传到PlanPointTM软件中,标记一个或多个目标,并创建一个或多个导航路径。解剖边界和血管可以根据操作者的判断突出显示。

理由和证据:关于 ssRAB 实施的临床实践出版物 [52, 67, 68] 以及回顾性和前瞻性研究 [9, 17, 24, 26] 描述了准备和规划 ssRAB 程序的工作流程。在最初获得薄胸 计算机断层扫描 并上传到 PlanPointTM 软件平台后,

生成 3D 气道树，支气管镜医师标记单个或多个目标，PlanPoint™ 自动分割气道并标记病变，然后创建针对目标的最佳虚拟导航路径。该系统允许创建针对每个目标的额外替代导航路径。

当气道解剖结构扭曲或针对具有挑战性的位置时，可以手动分割。勾画胸膜和裂隙边界以及病变周围的脉管系统，并能够根据支气管镜医师的判断，根据目标的接近程度调整这些解剖边界的区域、混浊和范围。最终的 3D 虚拟气道重建和导航规划被导出到机器人平台，用于 ssRAB 程序期间的注册和实时引导。

共识一致:声明20达成100%共识。

21. ssRAB 是否需要患者的具体知情同意？

共识声明:应告知患者 ssRAB 正在用于诊断。

理由和证据:根据标准临床实践和支气管镜检查的主要社会建议，接受 ssRAB 的患者应了解该手术的目的和适应症、描述、益处、相关风险和潜在并发症、替代方案和自愿参与 [67, 69, 70]。这些规范与传统支气管镜检查的通常知情同意没有差异，并且不需要对 ssRAB 提出具体要求。在诊断性 ssRAB 的情况下，应让患者意识到该手术仅用于获取诊断目的样本，无论活检结果如何，都不是治疗性的。应描述 ssRAB 手术，包括麻醉需求、使用的整体设备以及术后期望。

应清楚解释与支气管镜检查和/或麻醉使用直接相关的禁忌症、相关风险和潜在并发症以及替代管理方案。最后，应告知患者同意 ssRAB 是自愿的，并且可以在开始手术前任何时候退出。

共识一致:声明21达成100%共识。

备注:专家小组的一些成员报告称，他们更新了 ssRAB 的知情同意书，其中包含有关可能出现空气栓塞作为罕见并发症的信息(在 [23] 和 [71] 中报道)。

麻醉

22. ssRAB 期间是否有特定的麻醉注意事项？

共识声明:ssRAB 期间存在特定的麻醉注意事项。

该手术应在全身静脉麻醉(TIVA)全身麻醉下进行，神经肌肉阻滞，并使用大气管插管(根据当地人群≥8.0-8.5mm)快速插管。插管后和手术过程中，复张操作可由手术医生和麻醉师自行决定。我们建议使用灌注器施用药物，因为手术时间通常超过 30 分钟。应根据潜在的血流动力学不稳定情况，准备血管加压药，无论是连续输注还是根据需要。应使用高 PEEP 方案来最大限度地减少肺不张，并根据病变位置进行调整(例如，上叶结节为 8-10 cmH₂O，中叶结节为 10 cmH₂O，下叶结节为 10-14 cmH₂O)。根据患者体重、病变位置以及心脏或肺部疾病，可能需要进行调整，特别是 PEEP 水平

合并症。在 3D 成像过程中，应暂停通气(“屏气”)，以减轻肺不张并减少呼吸运动。我们建议建立一个针对中心的专门麻醉方案，反映当地患者特征、支气管镜检查工作流程和机构标准。

理由和证据:ssRAB 在针对小和周围病变时面临的主要挑战是 CT 与身体的分歧、肺不张的发展和大肺运动区域，这阻碍了精确的活检。因此，已经制定了具体的麻醉方案和建议[72]。

首先，由于存在电路泄漏的风险，通过 TIVA 进行全身麻醉优于单独使用挥发性麻醉气体 [65]。

VESPA(预防肺不张通气策略)试验[73]是一项多中心随机对照试验，结果表明，与标准通气相比，结构化通气方案显着减少肺不张。VESPA 组患者的任何肺不张发生率均显着较低(28.9% vs.84.2%)，双边参与较少(7.9% vs.与 PEEP 为 0 的对照组相比，71.1%)的肺不张支气管段较少。通气策略包括气管插管、潮气量为 6-8ml/kg 理想体重、FiO₂(吸入氧分数)<100%，尽量低滴定，

PEEP 8-10 cmH₂O, 插管后连续呼吸 10 次进行复张操作(平台压 40 cmH₂O, PEEP 20 cmH₂O)。尽管 VESPA 组中有 28.9% 的患者出现需要血管加压药的短暂性低血压, 并且一名患者在招募操作期间出现心动过缓, 但两组之间的并发症没有差异。

同样, Bhadra 等人 [74] 在 50 名和 100 名患者的队列中评估了肺导航通气方案 (LNVP), 以减轻 PN 支气管镜活检中的肺不张。使用 8.5mm 气管插管、非去极化神经肌肉阻滞、插管后可耐受的最低 FiO₂、TIVA、高潮气量(10-12ml/kg理想体重)、最多 4 次 PEEP 募集操作以及根据病变部位调整的 PEEP(上中叶病变 10-15cmH₂O, 下叶病变 15-20cmH₂O), LNVP 显著减少肺不张。只有 28% 和随后 17% [74] 的患者出现肺不张, 目标模糊很少见 (0-3%)。

Pritchett 等人 [76] 根据系统文献综述和临床经验, 制定了高级引导支气管镜检查期间麻醉的建议。建议包括 FiO₂ 0.6-

0.8(最低耐受水平), 使用较大的气管插管快速插管, 非去极化肌肉松弛剂, PEEP 为 10-12 cmH₂O, 潮气量增加, 术中成像期间屏气。Dai 等人 [77] 对 10 名患者进行了 ICNVA(术中计算机断层扫描引导通气策略治疗肺不张)电磁导航 (EMN) 支气管镜检查的方法的回顾性评估。他们在插管前使用尽可能最低的氧合浓度(通常 FiO₂ <60%)、非去极化肌肉松弛剂深部全身麻醉、使用 8.5mm 管插管气管、压力控制通气(PCV)模式和逐步增加 PEEP, 然后降低至 5cmH₂O。然后将上叶和中叶的 PEEP 水平保持在 6-8 cmH₂O, 将下叶病变的 PEEP 水平保持在 10-12 cmH₂O。使用急性早幼粒细胞白血病(可调节限压)阀进行屏气以维持 PEEP

气道压力 ≤ 35 cmH₂O。该策略使所有仅出现单例肺内出血作为唯一并发症的患者都能成功进入病灶。

Chen 等人 [78] 描述了在局部麻醉和轻度静脉镇静下使用喉气道面罩进行的七种 EMN-RAB 手术。没有患者需要转为气管插管, 手术也顺利进行。然而, 没有使用术中成像, 也没有数据支持使用该技术进行 ssRAB。

专家小组一致认为, 维持低 FiO₂ 和使用潮气量高的容积控制通气对于 ssRAB 的成功不太重要。此外, 快速插管并不等于快速序列诱导。因此, 议定书中提出的建议得到了讨论并同意在上述概述的声明中。

共识一致: 声明 22 达成 100% 共识。

备注: 应注意, 不同国家的平均身高不同, 因此可能需要不同尺寸的气管插管。

23. ssRAB 期间何时以及多长时间应进行屏气, 这是否安全? 共识声明: 建议在术中成像(例如 CBC T、数字断层扫描)期间屏气(“呼吸暂停氧合”), 以减少预氧合后运动并提高图像质量(增加 FiO₂ 和/或流速)。根据氧饱和度, 屏气时间可延长数分钟。当将活检工具导航或放置在肺部运动显著的区域时, 屏气非常有用。ssRAB 期间可以安全地进行和耐受 PEEP 和屏气。根据患者合并症进行适当的患者选择至关重要。

理由和证据: 30-60 秒的短暂屏气动作是明确规定的, 并且需要在术中 3D 成像期间消除呼吸运动。持续屏气动作是在采样肺结节期间抑制呼吸运动的新策略。在此操作过程中, 机械通气暂停, 同时保持持续的氧气输送和气道压力。由于压力梯度将氧气从肺泡输送到血液中, 气道含有足够的氧气储存库。相比之下, 二氧化碳在组织中更容易溶解, 因此扩散得更快。总之, 长期呼吸暂停期间可以持续氧合, 呼吸暂停期间二氧化碳积累增加的速度减慢。高碳酸血症有引起急性血流动力学不稳定的风险, 而认知障碍和其他后遗症等长期影响在很大程度上尚未被探索。因此, 建议进行血流动力学监测和随访, 包括神经学观察, 以及根据合并症适当选择患者 [79]。

进行屏气的技术并不标准化, 并且也取决于呼吸机

用过的。

Pritchett 等人 [76] 建议在自动或手动实现的吸气峰值时进行屏气——将急性早幼粒细胞白血病 阀设置为指定的 PEEP。应在开始屏气后 5-10 秒开始进行影像学检查，观察患者的血流动力学不稳定情况。在他们对 25 名患者的研究中，他们观察到肺不张显着减少，被肺不张掩盖的病变比例较小;发生 1 例气胸。

Bhadra 等人 [74] 描述了 100 名患者潮式呼吸吸气阶段(不是吸气储备量或肺活量)的屏气技术，并在气道压力平台期间获得的成像。在病灶的导航和活检过程中，进行呼吸暂停(2-10 L/min 流量，急性早幼粒细胞白血病 阀设置为 PEEP)，并延长呼吸暂停时间，同时允许患者在持续呼气末二氧化碳(CO₂) 监测下，呼吸暂停每 4 至 6 分钟至少 30 秒。并发症包括 1 例纵隔气肿(自行解决)和 1 例 COPD 恶化伴呼吸衰竭;67% 的患者需要血管加压药支持。

一项针对 108 名患者的回顾性研究 [80] 显示，每次手术的中位呼吸暂停氧合时间为 23 分钟(范围 6-45 分钟)，中位呼气末 CO₂ 为 59 mmHg。急性早幼粒细胞白血病 阀设置为 20 cmH₂O(肥胖时为 25 cmH₂O)，PEEP 水平设置为 10 cmH₂O(肥胖时为 12 cmH₂O)，FiO₂ 设置为 4 L/min。65% 的患者需要使用血管加压药，其中 3 名患者在呼吸暂停期间经历了缺氧(其中 2 名患者伴有低血压)。总体不良事件发生率为 4.6%，包括 2 例大出血事件，尽管存在大量合并症(38 例 COPD 患者和 31 例冠状动脉疾病患者或充血性心力衰竭)。

专家小组的所有成员在 3D 成像过程中都会进行屏气。5/18 在导航过程中还进行屏气，7/18 在肺部运动较大的区域进行活检。三名小组成员报告使用了 5-10 分钟的长时间屏气，三名小组成员报告了超过 20 分钟的屏气。临床经验表明，只要程序员和麻醉师之间有良好的沟通，并且患者耐受屏气，这是可以安全完成的。此外，仔细的患者选择至关重要，特别是在脆弱的患者群体中，包括慢性呼吸衰竭、慢性阻塞性肺病、颅内病理和肺动脉高压的患者。

共识一致:声明23达成100%共识。

备注:需要进一步的前瞻性数据来确认长时间屏气的安全性、耐受性和必要性。

24. 如何预防 ssRAB 期间的肺不张?

共识声明:ssRAB 期间的肺不张预防依赖于结构化通气策略，例如快速插管、复张操作、PEEP 和患者定位。这些技术可减少肺不张形成并改善病变可见度，而不会增加并发症。肺不张在结节靶向手术(例如 ssRAB)期间很常见，特别是在手术时间延长和 BMI 增加的情况下，并且很容易在 CBCT 上观察到。

理由和证据:肺不张是 CTBD 的主要原因，并影响周围肺部病变靶向的准确性。其在支气管镜检查期间的发展有详细记录。

I-LOCATE(全身麻醉下支气管镜检查期间肺不张的发生率和位置)试验 [81] 是一项评估外周支气管镜检查期间肺不张的前瞻性观察研究。从麻醉诱导到评估中位 33 分钟后，89% 的患者在八个受访肺段中至少一个出现肺不张。下叶节段最常受到影响，50-55% 的患者表现出依赖节段塌陷。较高的 BMI 和较长的评估时间均与较多的肺不张节段独立相关。

由于膈肌移位、功能残气量减少和重力压迫，肺不张优先在依赖性肺区域形成，尤其是在下叶。多篇出版物证实了这种分布模式:

Khan 等人 [82] 描述了肺不张的系统分级，并强调了其对依赖区的优势。该小组随后回顾了麻醉期间肺不张形成的机制以及预防策略如何减少虚脱 [83]。Chen 等人 [84] 证明了充分吸气和呼气末扫描之间的目标位置平均有 17.66 毫米的偏移，强调了肺容量变化对病变位置的深远影响。

肺不张对 CTBD 有很大影响。Reisenauer 等人 [18] 报告称，上叶的平均 CTBD 值约为 10mm，下叶的平均 CTBD 值约为 21mm，说明了支气管镜检查期间可能发生的解剖学移位程度以及对依赖区域的影响过大。

多项研究证明了通气调节可以逆转或预防肺不张的能力:Senyei 等人 [85] 表明，在支气管镜检查期间增加 PEEP 可以有效地重新扩张肺不张节段。使用招募操作、10-15 cmH₂O PEEP、高潮气量和较低 F_iO₂ 的 VESA 型方案与改善通气、减少肺不张形成以及改善 CBCT 病变可视化有关 [73]。

这些策略越来越多地纳入 ssRAB 实践中，特别是当手术时间延长或下叶目标增加肺不张风险时。

肺不张在 CBCT 上很容易识别，通常出现在早期术中成像中，并随着手术时间的延长而进展。它在 CBCT 上的识别提供了通过通气调整或重新定位进行实时校正的机会。

共识一致:声明24达成100%共识。

25. ssRAB 需要哪个患者体位?

共识声明:仰卧位是 ssRAB 的标准，并得到制造商的方案和已发表的通过透视、rEBUS 和 CBCT 进行的机器人支气管镜检查研究的支持。当气道方向或 CTBD 可能受益于重力辅助肺扩张时，侧卧位或俯卧位等替代位置可能对特定解剖情况有用，包括下叶或后部病变。

理由和证据:已发表文献中描述的大多数 ssRAB 手术均在患者仰卧位时进行，这是机器人支气管镜平台程序工作流程指南中推荐的标准，并且一直应用于使用 rEBUS、透视或 CBCT 的研究(例如，[26, 73, 37])。这些研究一致描述了仰卧位作为导航、图像采集和安全使用辅助模式的常规设置的一部分。

虽然 ssRAB 特异性替代定位数据有限，但在高级支气管镜检查 and CBCT 辅助手术中已经描述了针对选定病变位置的非仰卧位患者定位。当气道轨迹、CTBD 或工具对准可能受益于重力依赖性肺部改变时，侧卧位或俯卧位可以通过改变肺扩张或减少膈肌干扰来优化进入后叶或下叶目标。Lin 等人 [86] 报道了对 11 名后目标患者使用侧卧位定位。根据 mCBCT 评估，没有患者在目标区域出现肺不张。Bhadra 等人 [87] 描述了一名患者在仰卧位进行的初次手术中发现肺不张的第二次手术俯卧位。俯卧位消除了任何肺不张。

总而言之，现有证据支持仰卧位作为 ssRAB 的标准，并根据支气管镜检查 and 图像引导活检实践中已经详细描述的原则，在解剖学上具有挑战性的病例中选择性使用非仰卧位。

专家小组报告使用仰卧、侧卧、俯卧、楔形和反向 T 姿势进行 ssRAB，而大多数小组成员更喜欢仰卧位。

共识一致:声明25达成100%共识。

ssRAB 程序

26. ssRAB 之前是否应该进行支气管镜检查检查?

共识声明:ssRAB 之前应进行标准柔性支气管镜检查，以检查气道，确认解剖结构适合进行机器人导航，并清除气道分泌物。

理由和证据:多篇临床实践出版物 [52, 68] 以及回顾性和前瞻性研究 [9, 18, 19, 24, 37, 88] 描述了在 ssRAB 之前进行标准柔性支气管镜检查以进行气道检查。气道检查的目的是清除分泌物，识别支气管内病变和/或先前胸部未明显的解剖异常，并确保气道足够进行 ssRAB。

专家小组成员报告说，他们在 ssRAB 之前进行了支气管镜检查

大多数情况下。

共识一致:声明26达成100%共识。

27. ssRAB 的部分注册是否足够?

共识声明:如果目标区域已充分注册, ssRAB 的部分注册是可以接受的。然而, 首选完整配准, 特别是在采样多个或对侧结节时。

理由和证据:四肺象限的注册是ssRAB的关键步骤, 通过匹配主脊的虚拟和活体支气管镜视图, 并将机器人导管推进到左右支气管树中以照明指定的象限来实现。完整的配准确保导航的最佳解剖对齐。

然而, 在气道解剖结构改变的情况下, 例如肺叶切除术后或支气管镜或手术肺容量减少, 如果目标病变象限已充分登记, 则可以接受部分登记。Brock 等人在他们的前瞻性研究中报告称, 9.3% 的患者成功进行了部分登记 [16], 并且临床实践指南 [67] 描述了当解剖结构扭曲时, 可以通过部分登记安全有效地进行 ssRAB。一项针对 201 名患者的回顾性研究 [89] 发现, 129 例患者使用了部分登记, 使组合登记和导航时间减少了 2.7 分钟, 且不影响诊断率或 CTBD。然而, 如果解决多个结节, 这种方法可能不可行。

专家小组建议使用完整注册。部分登记仅适用于气道解剖学无法完全登记的情况。

共识一致:声明27达成100%共识。

28. ssRAB 应该如何进行导航?

共识声明:ssRAB 的导航应遵循虚拟路径, 使用系统控制器并整合虚拟和实时成像视图, 引导机器人导管朝向目标病变。一旦到达目标或接近目标的位置, rEBUS 和/或 CBCT 可用于验证准确定位。

理由和证据:注册成功后, PlanPoint™ 软件中生成的第一个选定导航路径应自动出现在屏幕上。使用机器人控制器, 支气管镜医师根据虚拟和实时视图沿计划路径推进导管。当怀疑有明显的 CTBD 时, 在导航阶段到达目标之前进行早期 CBCT 扫描可能有助于执行目标更新。

一旦达到虚拟目标(通常定义为病变 30 毫米内), 即可移除视力探头并引入 rEBUS, 以根据同心、偏心或缺失的超声视图确认目标位置。在没有支气管征象的情况下, rEBUS 可能没有用, 因为预计不会得到阳性 rEBUS 确认。在这些情况下, 应使用 CBCT 来确认病变位置并更新目标位置。

如果机器人导管距离目标不够, 通过影像学验证, 则可能需要重新插入导管后重新导航, 并且可能需要额外的 CBCT 扫描。根据病变大小和 rEBUS 图像质量, 单独 rEBUS 确认可能就足够了。适当确认导管位置后, 进行活检。

共识一致:声明28达成100%共识。

29. 我们如何克服 计算机断层扫描 - 与身体的分歧?

共识声明:计算机断层扫描 与身体的差异是周围支气管镜检查中的一个常见挑战, 并可能严重影响精确采样。当临床耐受时, 应常规使用尽量减少CTBD的技术, 包括优化患者定位、抗肺不张通气策略和术中成像, 特别是在下叶目标或当长时间手术增加肺不张风险时。

理由和证据:CTBD 是指术前 计算机断层扫描 扫描中目标病变的位置与术中条件下实际位置之间的差异。ssRAB导航基于在接近肺总量的静态吸气峰值时获得的薄层 计算机断层扫描, 而支气管镜检查是在全身麻醉下进行的, 通常患者在接近功能残气量时接受镇静、麻痹和机械通气。肺容量的这种根本不匹配, 加上动态术中变化, 例如肺不张、气道塌陷和与患者体位相关的变化, 导致了 CTBD [90]。

肺不张是一个特别重要的驱动因素，尤其是下叶，并且可能因手术时间延长、氧气浓度和通气参数而加剧。其他因素，包括胸腔积液、粘液堵塞、气道扭曲、出血或实质变形，也会改变局部解剖结构并导致预期病变位置与真实病变位置之间存在分歧。这些复杂性强调了为什么 CTBD 被广泛认为是外周支气管镜检查中 TIL 成功的主要决定因素。

几种技术可以减轻 CTBD。正如先进的支气管镜实践中所述，抗肺不张通气策略(例如较高的 PEEP、较低的 FiO₂、复张操作和保护性肺通气)有助于保持通气并减少与重力相关的塌陷。患者定位也可能通过改变肺扩张或隔膜移位来影响结节的可及性。实时术中成像可以直接可视化目标位置，从而减少对术前计算机断层扫描的依赖。固定和移动 CBCT 系统均已与 ssRAB 配对，以便实时识别目标并相应调整轨迹或工具定位。对于某些 mCBCT 系统，与 ssRAB 平台集成可提供实时目标更新，在检测到 CTBD 时可动态校正导航计划。

总之，这些策略代表了一种不断发展的工具包，用于管理 CTBD 并提高 ssRAB 手术期间外周肺结节采样的准确性。

共识一致:声明29达成100%共识。

30. ssRAB 应使用哪些活检工具?

共识声明:活检针、镊子、刷子和1.1mm冷冻探头可与ssRAB一起使用。冷冻活检在获得诊断结果方面更优越。

理由和证据:ssRAB 取样可以使用 FlexisionTM 活检针、替代针、镊子、刷子或 1.1mm 冷冻探针进行。最初的 ssRAB 研究报告了标准经支气管针吸活检 (TBNA)、镊子活检，以及较少见的刷子取样，诊断率范围为 72% 至 81.7%，尽管没有报告通过工具区分的产量 [19, 26, 58]。多项前瞻性研究不包括冷冻活检，因为该工具尚未与 ssRAB 兼容 [4, 16, 17, 26]。

Brock 等人 [16] 报告称，与 TBNA 相比，镊子获得的诊断率更高。最近的研究表明，1.1mm 冷冻探针的诊断率、组织样本面积和分子充足性方面优于 TBNA 和镊子。Oberge 等人的一项针对 112 名患者的回顾性研究中首次报告称，使用 TBNA、镊子和/或 1.1 mm 冷冻探针的总体诊断率为 90%，其中 TBNA 诊断率为 31.5%，镊子诊断率为 77.8%，冷冻活检诊断率为 97%，并且仅通过冷冻活检即可达到 18% 的诊断 [91]。Odeh 等人和 Abia-Trujillo 等人回顾性比较了

1.1mm 冷冻探针与 TBNA，描述冷冻活检的诊断性能分别为 84-92% 与 TBNA 的诊断性能分别为 59.670.4% [33, 92]。最后，两项大规模回顾性研究分析并比较了 TBNA、镊子和 1.1mm 冷冻探针，报告诊断率范围为 TBNA 的 42.3-86%、镊子的 57.786% 和冷冻活检的 76.9-96% [93, 94]。冷冻活检的改进性能超出了诊断率，因为 Oberge 等人、Odeh 等人和 Meng 等人也描述了与 TBNA 和镊子相比，样本充分性、组织表面积和分子分析充分性更高 [91-93]。

尽管总体安全性良好，但冷冻活检仍存在独特的风险。病例系列报告称，12 名患者在机器人冷冻活检后出现早期气肿，没有人需要干预 [95]。较大的冷冻探针，例如 1.7 毫米装置，在机器人辅助支气管镜使用之外的活检过程中与纵隔气肿、气胸和其他并发症有关 [95, 96]。

应谨慎接近胸膜或主要血管结构等关键结构附近的病变，以避免冷冻活检期间胸膜破裂和血管损伤。

专家小组报告使用所有活检工具，包括刷子、镊子、针头和冷冻探针，并优先考虑冷冻活检[冷冻活检 (n=15) > 镊子(n=2) > 针头(n=1)]，因为其组织采集效果更好，诊断率更高。

共识一致:声明30达成100%共识。

31. ROSE 可以用于 ssRAB 吗?

共识声明:ROSE 可能有助于在 ssRAB 期间评估样本质量、提供初步诊断并指导后续活检步骤，特别是当病变进入不确定或使用 ROSE 时

云活检技术。

理由和证据:目前尚无可供比较使用 ROSE 与不使用 ROSE 进行的 ssRAB 手术的研究;因此,该建议是基于专家临床经验。ROSE 在一些中心常规使用,而在其他中心则不使用。ROSE 的优势包括现场确认诊断材料,这可以减少所需活检的数量并缩短手术时间。然而,这一假设并未得到前瞻性研究的支持。

六名小组成员报告定期使用 ROSE,六名小组成员不定期使用 ROSE,六名小组成员没有使用 ROSE 进行 ssRAB。

共识一致:声明31达成100%共识。

备注:需要进一步的前瞻性试验来明确 ROSE 是否应在 ssRAB 期间常规使用。

32. ssRAB 程序中可以增加 EBUS、支气管内活检、BAL 和/或冷冻活检(例如 ILD)吗?按什么顺序添加?

共识声明:除了 ssRAB 之外,还可以进行 EBUS、支气管内活检、支气管肺泡灌洗 (BAL) 和/或冷冻活检。EBUS 镜和标准支气管镜在移除机器人导管后均可通过旋转连接器推进。这些额外程序最好在 ssRAB 后进行,因为肺不张可能会发生并阻碍足够的 PPN 采样。PPN 取样后应使用透视检查排除气胸,然后再进行 ILD 冷冻活检。**理由和证据:**在同一麻醉事件内可以安全地同时进行 PPN 采样与 ssRAB 和使用线性 EBUS 进行纵隔分期。多项研究报告称,36.6%-100% 的病例使用线性 EBUS 进行肺门和纵隔分期,通常是在 ssRAB 之后,以避免肺不张相关限制 [15, 19、31、37、97、98]。一项前瞻性临床试验 (NCT06676956) 正在进行中,以评估 ssRAB 和 EBUS 的程序顺序是否影响 PPN 采样结果。

专家小组成员报告称,在选定的病例中成功进行了 BAL、ILD 冷冻活检以及 EBUS 以及 ssRAB。

共识一致:声明32达成100%共识。

备注:支持在 ssRAB 期间使用 BAL 或冷冻活检治疗除 PN 采样(例如 ILD)以外的适应症的证据仅源自日常临床实践中的专家共识。BAL 在前瞻性 ssRAB 研究中报道甚少。同样,在 PPN 采样之外进行 ssRAB 引导的冷冻活检仍由程序学家自行决定,需要进一步研究。

33. ssRAB 期间出血如何处理?

共识声明:通过将机器人导管留在原处填塞气道段,通常可以控制轻微出血。如果出血更严重,可以移除机器人导管并引入传统的支气管镜。可以进行血管收缩剂、拭子、球囊闭塞或其他先进技术进行滴注。

理由和证据:ssRAB 期间术中出血的处理取决于严重程度。在最近四项机器人辅助支气管镜检查的荟萃分析中,需要干预的出血率较低,范围<0.01-0.5% [5, 7, 8, 10]。

预防和轻微出血策略包括在活检完成后将机器人导管保留在楔形位置一分钟以允许填塞[67]。轻度出血通常可以通过抽吸来控制,而中度出血可能需要导管楔形或冷盐水滴注。对于更严重的出血,可以移除机器人导管以进行更具侵入性的技术,例如在出血段插入拭子、引入常规支气管镜进行球囊闭塞或升级护理,包括选择性插管、终止手术和/或根据指示进行复苏措施[99]。

Fernandez-Bussy 等人描述了通过 ssRAB 灵活支气管镜联合手术治疗的两例严重出血病例。在第一种情况下,通过机器人导管进行抽吸,同时将柔性支气管镜(外径 4 毫米,工作通道 2 毫米)平行于机器人镜和气管插管鼻内引入。气管插管套囊部分放气后,将柔性支气管镜推进到远端气管和左主支气管,在楔形机器人支气管镜周围可以看到左上叶的出血。将冰盐水和肾上腺素滴入支气管段,止血后收回机器人镜。然后使用柔性支气管镜进行抽吸和气道清除。ssRAB 手术继续进行,没有出现进一步的并发症。在随后的案例中,也是如此

预防性操作，通过口腔插入柔性支气管镜，并在右上叶使用 5-French Fogarty 导管进行球囊闭塞，以减轻任何潜在出血 [100, 101]。

共识一致:声明33达成100%共识。

34. 紧急情况下能否轻松接触患者？

共识声明:紧急情况下可以轻松接触患者。机器人导管可以在几秒钟内移除。

理由和证据:在紧急情况下，可以轻松接近患者。在 ssRAB 手术期间，患者通常位于支气管镜检查或手术室的中心，使临床团队能够360度畅通无阻地进入。如果发生紧急情况，机器人导管通常可以在几秒钟内快速拔出，从而立即进入气道。支气管镜套房应配备挽救生命的干预措施，包括先进的气道管理、出血控制和心肺复苏。介入性肺科医生、肺科医生、胸外科医生、呼吸治疗师、麻醉人员和其他医疗提供者接受过及时应对这些情况的培训。

共识一致:声明34达成100%共识。

后续

35. ssRAB 后需要进行哪些后续治疗？

共识声明:ssRAB 后的术后评估应包括胸部影像学检查，通常是胸片，以评估气胸和其他并发症，特别是在已进行经支气管活检或患者有症状时。应按照护理标准安排进一步随访。

理由和证据:该建议主要基于专家共识，但得到了更广泛的支气管镜检查文献的支持。气胸是经支气管活检后公认的并发症，历史实践倾向于常规术后胸部X光检查以检测临床隐匿事件。几系列介入支气管镜检查报告气胸发生率约为 2-3%。Centonze 等人 [102] 在一项针对 1.443 例门诊介入支气管镜检查的大型回顾性研究中发现气胸并不常见 (2.9%)，并且通常在临床上无关紧要，并认为对有症状的患者进行选择性成像可能在低风险环境中是足够的。Boskovic 等人 [103] 对经支气管活检后气胸的回顾指出，大多数具有临床意义的气胸可以在活检后约一小时获得的胸部 X 光检查中检测到，尽管有报道延迟事件超过数小时。

总之，这些数据支持警惕胸部影像学术后评估，特别是在进行活检时，同时认识到一些中心可能会采用症状触发的成像方案。

ssRAB 后的下游管理取决于诊断结果。对于恶性或特定良性诊断，应遵循基于疾病的标准管理。对于非诊断性或非恶性支气管镜结果，多项研究强调了假阴性的风险和结构化随访的必要性。Venkatram 等人 [104] 表明，非诊断性支气管镜检查后的结果很大程度上取决于后续的影像学检查;只有当记录至少六个月的放射学稳定性或消退时，活检才被认为是真正的良性。Avendéngo 及其同事 [105] 最近进行了评估

支气管镜活检后非恶性肺结节随访的现实世界实践发现了巨大的差异;根据他们的发现，他们提出了一种工作流程，强调正在进行的成像(通常长达两年)以及当临床怀疑仍然很高时重复组织取样或替代方式。

这些观察结果反映了更广泛的结节指南。美国胸科医师学会 (ACCP)、英国胸科学会和基于 Fleischner 的建议都强调，当结节尚未明确表征时，应进行数月至数年的连续 计算机断层扫描 监测，间隔时间根据大小、形态和临床风险进行 [106]。最近的美国胸科学会(ATS)德尔菲诊断率共识进一步强调，无论12-24个月随访情况如何，“非特异性”支气管镜结果都应被归类为非诊断性，这强化了术后仔细决策的必要性，而不是假设结果是良性的[107]。

当没有得到明确的诊断时，通常建议至少进行六个月的影像学随访，许多指南支持更长时间的监测(通常长达 2 年)或根据结节风险、影像学演变和患者合并症重复组织取样。然而，随访还取决于支气管镜检查的结果、患者的依从性和当地标准。

共识一致:声明35达成100%共识。

36. ssRAB患者可以门诊吗?

共识声明:鉴于其良好的安全性，ssRAB 可以在门诊进行。设置选择是由当地医疗保健系统、物流和患者特定因素驱动的，而不是内在的安全考虑。住院治疗通常保留给患有严重合并症、复杂联合手术或术后并发症的患者。

理由和证据:Prado 等人 [108] 指出，RAB 通常在门诊进行，许多中心在手术后约一小时出院，反映了其微创性质和快速恢复时间。

多个 ssRAB 和更广泛的 RAB 系列一致报告与当天出院相一致的低并发症发生率。一项针对机器人辅助导航支气管镜检查的大型荟萃分析[7]发现，合并诊断率为 81.9%，气胸发生率极低(~1.2%)和临床显著出血率(~0.04%)。Ali 等人 [5] 同样报告了合并气胸、放置胸管和显著出血率分别为 2.3%、1.2% 和 0.5%，证实其并发症特征与其他引导支气管镜技术相当或更好。

现实世界系列进一步支持高危人群的门诊可行性。Jakubowski 等人 [109] 报道了接受血管扩张剂治疗的肺动脉高压患者的 ssRAB，没有出现气胸、出血、呼吸衰竭或护理升级，所有患者均于同一天出院。一个概念验证案例证明，在中度镇静下成功进行 ssRAB，没有立即出现并发症，这强化了该手术可以在长期住院环境之外安全地进行 [110]。

来自主要组织(例如美国肺脏协会)的患者面对面材料也将 RAB 描述为大多数患者的当天手术 [111]。

总而言之，这些数据支持专家组的观点，即 ssRAB 本质上适合门诊实践，并且入院患者的决定通常是由合并症、并发手术的复杂性或机构途径驱动的，而不是由对 ssRAB 本身的安全担忧。例如，Krist 等人 [112] 报告了德国需要住院支气管镜检查的背景因素清单。

虽然专家小组的四名成员报告标准是他们所在医院的住院环境，十名成员报告标准是门诊环境，四名成员报告这两种环境都是他们所在医院的标准。

共识一致:声明36达成100%共识。

37. ssRAB 是一种安全的程序吗?

共识声明:ssRAB 是一种安全的手术，气胸和出血率较低。理由和证据:在机器人支气管镜检查文献中，ssRAB 始终显示出较低的并发症发生率，特别是与 TTNA 相比。Pyrali 等人 [7] 最近进行的一项荟萃分析包括 23 项机器人支气管镜检查研究，报告汇总气胸发生率为 0.6%(95% CI 0.11-1.35%)，大出血发生率 <0.01%。Ali 等人 [5] 的系统评价和荟萃分析(20 项研究，1779 个结节)，气胸、胸管置入和严重出血的总体发生率分别为 2.3%、1.2% 和 0.5%，证实了 RAB 系统的安全性非常良好。

Chan 等人 [23] 的前瞻性研究报告称，严重不良事件发生率为 2%，包括 2 例需要球囊填塞的术中出血事件、1 例气胸和 1 例疑似空气栓塞。Assaad 等人报告了另一例罕见的空气栓塞病例 [71]。

大型单中心 ssRAB 系列报告的事件发生率同样较低。Kalchiem-Dekel 等人 [19] 在 159 个病变队列中，总体并发症发生率为 3.0%，气胸发生率为 1.5%，没有手术相关死亡。

与 TTNA 的比较数据特别有信息。Yu Lee-Mateus 等人 [88] 对 225 名患者进行了 RAB 与 TTNA 的比较，发现 RAB 的诊断率相似，但并发症发生率显著降低(4.4% vs 17%; $p=0.002$)。在一项针对亚实性结节的相关研究中，Fernandez-Bussy 等人 [9] 报告称，ssRAB 和 TTNA 的诊断率同样高，但 ssRAB 的相关性较少

并发症并允许在相同的手术中进行纵隔分期。

这些发现与更广泛的 TTNA 文献一致，其中气胸是最常见的并发症。计算机断层扫描 引导的肺活检的大型系列和荟萃分析报告称，总体气胸发生率约为 15-30%，大约 2-6% 的病例需要胸管 [113]。

总而言之，这些数据表明，气胸和大出血在 ssRAB 和其他 RAB 系统中并不常见，并且发生率远低于 TTNA 报告的发生率，支持 ssRAB 是一种高度安全的外周肺结节采样方式的结论。

根据数千例 ssRAB 手术的综合临床经验，专家小组报告了其医院发生的以下罕见重大紧急情况：三例疑似空气栓塞病例(其中一例已发表[23])、ST段抬高、低血压、心脏传导阻滞、严重低氧血症、心动过缓停搏、心律失常、三例严重出血病例以及需要术中插入胸管的重大气胸。

共识一致：声明37达成100%共识。

科学检查

38. 哪些参数应该用于描述 ssRAB 的“成功”？

共识声明：为了适当描述 ssRAB 手术的成功，我们建议报告严格的恶性肿瘤诊断率和敏感性作为主要结果。中/自由度诊断率和诊断准确性也可在临床随访后报告。

理由和证据：早期的 ssRAB 研究在目标可达性和采样可行性方面定义了程序成功。随着该领域的成熟，诊断率已成为一个关键的性能指标。

然而，“诊断率”的多种定义已在各个研究中应用，导致报告结果的变化高达 20%，具体取决于非典型或非特异性良性结果是否被视为诊断[114]。

最近，ACCP/ATS 关于诊断产量的共识建议仅根据手术当天结果使用严格的定义[107]。仅当确定特定的恶性或良性发现时，样本才被视为诊断性的。无论随访时是否诊断为良性，非典型或反应性细胞、非特异性良性发现，如炎症或纤维化、血液、坏死、支气管组织和正常肺实质都被认为是非诊断性的。对诊断产量采用严格的定义将标准化结果报告并支持研究和技术之间的可靠比较。对恶性肿瘤的敏感性是第二个重要参数，需要对恶性肿瘤病例进行随访以识别假阴性或非诊断结果。诊断率的中等和自由定义可以为更长期的诊断性能和非特异性结果的临床相关性提供额外的见解。

虽然严格的诊断率提高了报告的一致性，但也应谨慎解释，因为非特异性良性诊断(按定义分类为非诊断性)是可能的，并且仍然反映了真正的良性疾病[16]。

共识一致：声明38达成100%共识。

备注：工具损伤率可能是判断机器人系统达到目标性能的更好终点。

讨论

该共识代表了国际上第一个针对形状感知机器人辅助支气管镜检查的临床建议集。随着 ssRAB 的采用在全球医疗保健系统中不断扩大，缺乏标准化指导导致患者选择、程序工作流程和报告实践的差异。通过由文献系统审查提供信息并通过多轮投票和知情讨论进行的结构化、迭代共识过程，本声明为 ssRAB 实践的整个连续体提供了实用建议。尽管存在地理和制度差异，但所有领域都达成了高度共识，这表明标准化最佳实践趋同。通过结构化流程制定了总共38个问题和共识声明，所有声明最终达成100%的一致。

尽管ssRAB被广泛采用，但在报销结构、患者选择、恶性肿瘤和结节结构患病率以及麻醉实践和辅助成像技术的使用方面，全世界存在着巨大的异质性。这些差异反映在共识所涉及的主题中，该共识包含ssRAB实践的所有主要方面，包括适应症和禁忌症、训练和学习曲线、程序设置和要求、导航和规划策略、互补技术的整合、麻醉考虑、程序安全、随访和结果报告。通过涵盖整个程序路径，这些建议旨在支持现有和新开发的 ssRAB 计划。

关于 ssRAB 的现有证据包括 11 项前瞻性研究 [4, 16–20, 23–27]、四项荟萃分析 [5–8] 以及大量回顾性研究和病例系列。这些研究证明了令人鼓舞的诊断率和良好的安全性。

这一共识的一个关键发现是所有领域都达成了高水平的一致性，反映了 ssRAB 临床经验的日益趋同。讨论最多的主题是>3cm和<1cm结节采样指征、中心型结节采样指征、ssRAB淋巴结采样、程序员培训要求和学习成功定义。其他正在讨论的话题包括麻醉设置和屏气动作。

关于 ssRAB 适应症的讨论反映了世界各地不同的报销结构。例如，虽然 RAB 在美国进行再融资，但欧洲目前还没有通过医疗保健系统建立的报销结构 [11]。这意味着欧洲用户目前在设置机器人辅助支气管镜检查的适应症时采取了更严格的行动。

关于 ssRAB 中心病变采样的必要性的争论主要是由于肺部分为中央区、中部区和周围区缺乏标准化[21]。这种标准化对于能够比较未来的研究结果至关重要。

关于使用 ssRAB 取样淋巴结的可能性，工作重点主要是仔细调整共识声明的措辞。虽然假设 ssRAB 可用于穿刺更多位于外周的淋巴结是合理的，但该声明旨在避免任何误解，即这是肺癌系统分期的要求 [115]。然而，ssRAB 确实提供了诊断 计算机断层扫描 扫描中发现的不明确病变的潜力，特别是通过选择收集双侧和多发性结节，从而更好地地区分淋巴结、原发性癌和继发性癌。

学习支气管镜检查始终涉及个体学习曲线。CUMS 分析说明了 ssRAB 的学习曲线 [58-61]，纯粹基于设置不同的统计变量 [116, 117]。因此，本共识中推荐的培训计划和学习目标的制定是关于学习和学习成功进行的长时间讨论的结果。

麻醉环境对于 ssRAB 手术的成功至关重要。然而，麻醉方案在不同机构之间可能存在显著差异，通气参数取决于麻醉师的偏好和患者的个人病史。由于缺乏随机对照研究，特别是关于呼吸保持的研究 [79]，该共识中的建议主要基于专家小组的集体临床经验。

意见的差异反映了当地实践、技术可用性和运营商经验的差异，以及目前缺乏某些主题的高质量比较数据。这些领域并不是代表缺陷，而是强调了未来研究和临床试验的重要优先事项。

A 其余议题达成了强烈共识，讨论主要集中在声明的措辞以及由此产生的影响和后果上。

应该承认这一共识的几个局限性。尽管根据系统文献综述提供信息，但由于 **ssRAB** 相对新颖且随机或比较研究的可用性有限，许多建议都是基于专家意见。专家小组虽然是国际化的、多学科的，但可能无法完全捕捉所有全球实践观点。此外，**ssRAB** 技术正在迅速发展，未来的平台增强可能需要对这些建议进行细化。

共识的局限性还包括这样一个事实:这不是标准化的共识方法，例如正式的德尔菲流程。开发的时间跨度较短，德尔菲以外的共识方法也没有统一标准化。然而，该过程融入了强有力共识制定的关键要素，包括系统文献研究审查、初始轮匿名回应、广泛的温和讨论以及多轮结构化投票。出于这些原因，共识被故意设计为一个活生生的文件。

结论

总之，本共识声明为 **ssRAB** 的临床使用提供了全面的、国际化的知识框架。通过解决患者选择、程序工作流程、诊断工具和安全实践的关键方面，旨在促进标准化、高质量的护理，同时适应资源和实践的区域差异。持续的证据生成、比较研究和定期更新对于确保这些建议保持相关并反映技术和临床知识的进步至关重要。

缩写

2D	二维的
3D三-	维度
ACCP	美国胸科医师学会 急性早幼粒细
胞白血病	可调节压力限制
ATS	美国胸科学会
BAL	支气管肺泡灌洗
BMI	体重指数
CBCT	锥形束 计算机断层扫描
CDC	疾病预防控制中心 CO2 二氧化碳
慢性阻塞性肺病	慢性阻塞性肺疾病 计算机断层
扫描	计算机断层扫描
CTBD	计算机断层扫描 -to-body-divergence
CTTB	计算机断层扫描 - 引导经胸活检
库苏姆	累积总和
DICOM	医学数字成像和通信 EBUS 支气管内超声
电子磁共振	电磁导航
FDA	食品和药物管理
FiO2	吸入氧气的分数
细针穿刺活检	细针抽吸
GGN	磨玻璃结节
GS	导鞘
高密度脂蛋白	高层消毒
风险比 - 计算机断层扫描	高分辨率计算机断层扫描
描 IBW	理想体重
ICG	吲哚菁绿
ICNVA	术中计算机断层扫描引导导航并采用肺不张通气策略
国际劳工	间质性肺疾病
IP介入	肺病学
LNVP肺	导航通气协议
I-定位	全身麻醉下支气管镜检查期间肺不张的发生率和位置
mCBCT	移动锥形束 计算机断层扫描
内尔森	荷兰-鲁汶斯长癌症筛查研究 PCV 压力控制通气
PEEP 积极	呼气末压力
PET- 计算机断层扫描	正电子发射断层扫描计算机断层扫描
PN	肺结节
公共政策	周围肺结节
PSN	部分实性结节
拉巴	机器人辅助支气管镜检查 rEB
US	径向支气管内超声 ROSE 快
速现场评估	
SSN	亚实性结节
ssRAB 形状感知	机器人辅助支气管镜检查 TBNA
	经支气管针吸活检
TIL	刀入病灶
TIVA总数	静脉麻醉
TTNA	经胸针吸入 VESPA 预防肺不张
的通气策略	

声明

利益冲突声明

JMB 已收到勃林格殷格翰、阿斯利康、流传!、Intuitive Surgical Inc、柏林化学、奥林巴斯和肺科的酬金和咨询费。她获得了海德堡 Thoraxstiftung、Beatrice von Hardenberg Stiftung、Günther Labes 和 Hele ne Heim Stiftung 的研究支持。

该手稿不存在利益冲突。

SFB 是 Intuitive Surgical 和 Siemens Healthineers 在提交工作之外的顾问。

CO 报告了 Intuitive Surgical、Cook Medical 和 Olympus 提交的工作之外的咨询费。CSHN 已从强生公司、美敦力、阿斯利康、百时美施贵宝、默克夏普和多姆、罗氏、Intuitive Surgical Inc、诺亚医疗、Broncus、Galvanize-Energenx、奥林巴斯和库克医疗收取酬金、差旅费和咨询费。该手稿不存在利益冲突。JSR 在提交的工作之外获得了 Intuitive surgical Inc 的研究资助。KB 报告了诺亚医疗、Intuitive Surgical、Medtronic 和 Bodyvision 提交的作品之外的酬金。PP 报告强生公司的咨询费，在提交的工作之外。AM 报告称，他为 Intuitive Surgical 担任教育顾问，并担任 Intuitive 赞助的 PRECISE 临床试验的现场主要研究员。射血分数 已从波士顿科学公司、美敦力、库克、Intuitive Surgical、Zidan 和奥林巴斯收取咨询费。

SFB、PLS 和 FJFH 是该期刊提交时编辑委员会的成员。

AYL、放射性龋齿、EC、MP、PLS、SL、FJFH、JS:作者没有利益冲突需要声明。

所有作者均确认与本手稿不存在利益冲突。资金来源:本专家共识未获得资金。

作者贡献:

JMB:概念化、文献研究、项目管理、形式分析、结果解释、写作——原稿、写作——审阅和编辑

SFB:概念化、文献研究、项目管理、形式分析、结果解释、写作——审查和编辑

AYL:概念化、文献研究、项目管理、形式分析、结果解释、写作——原稿、写作——审查和编辑

RMS:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。

CO:概念化、文献研究、项目管理、形式分析、结果解释、写作——原稿、写作——审查和编辑

CSHN:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。

EC:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。射血分数:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。HZ:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。

JSR:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。

KB:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。MP:正式分析、

结果解释、写作——审查和编辑。PLS:正式分析、结果解释、写作——

审查和编辑。SL:正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。PP:

正式分析、结果解释、写作——审查和编辑。AM:正式分析、结果解

释、写作——审查和编辑。

FJFH:概念化、文献研究、项目管理、形式分析、结果解释、写作——审查和编辑

JS:概念化、文献研究、项目管理、形式分析、结果解释、写作——审查和编辑

参考

- 1 American Cancer Society: Cancer Statistics Center 2024. <https://cancerstatisticscenter.cancer.org/>.
- 2 Horeweg N, van der Aalst, Carlijn M, Thunnissen E, Nackaerts K, Weenink C, Groen HJM, et al.: Characteristics of lung cancers detected by computer tomography screening in the randomized NELSON trial. *Am J Respir Crit Care Med* 2013;187:848–854.
- 3 Diddams MJ, Lee HJ: Robotic Bronchoscopy: Review of Three Systems. *Life (Basel)* 2023;13.
- 4 Reisenauer J, Simoff MJ, Pritchett MA, Ost DE, Majid A, Keyes C, et al.: Ion: Technology and Techniques for Shape-sensing Robotic-assisted Bronchoscopy. *Ann Thorac Surg* 2022;113:308–315.
- 5 Ali MS, Ghorri UK, Wayne MT, Shostak E, Cardenas J de: Diagnostic Performance and Safety Profile of Robotic-assisted Bronchoscopy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Am Thorac Soc* 2023;20:1801–1812.
- 6 Zhang C, Xie F, Li R, Cui N, Herth FJF, Sun J: Robotic-assisted bronchoscopy for the diagnosis of peripheral pulmonary lesions: A systematic review and meta-analysis. *Thorac Cancer* 2024;15:505–512.
- 7 Pyrali FF, Hakami-Majid N, Sabbahi W, Chaux G: Robotic-assisted Navigation Bronchoscopy: A Meta-Analysis of Diagnostic Yield and Complications. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2024;31:70–81.
- 8 Li X, Bai J, Zhou X, Wang T, Zhang Y, Hu Y: Diagnostic performance and safety for robotic-assisted bronchoscopy in pulmonary nodules: a systematic review and meta-analysis. *Int J Surg* 2025;111:4020–4032.
- 9 Fernandez-Bussy S, Yu Lee-Mateus A, Reisenauer J, Balasubramanian P, Barrios-Ruiz A, Garza-Salas A, et al.: Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy versus Computed Tomography-Guided Transthoracic Biopsy for the Evaluation of Subsolid Pulmonary Nodules. *Respiration* 2024;103:280–288.
- 10 Balasubramanian P, Abia-Trujillo D, Barrios-Ruiz A, Garza-Salas A, Koratala A, Chandra NC, et al.: Diagnostic yield and safety of diagnostic techniques for pulmonary lesions: systematic review, meta-analysis and network meta-analysis. *Eur Respir Rev* 2024;33.
- 11 Brock JM, Shah PL, van der Heijden, Erik H F M, Rosell A, Herth FJF: Letter to the editor: What is the target nodule for robotic-assisted bronchoscopy? *Lung Cancer* 2025;209:108765.
- 12 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;22:443–453.
- 13 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;163:1589–1598.
- 14 Okachi S, Imai N, Imaizumi K, Iwano S, Ando M, Hase T, et al.: Factors Affecting the Diagnostic Yield of Transbronchial Biopsy Using Endobronchial Ultrasonography with a Guide Sheath in Peripheral Lung Cancer. *Intern Med* 2016;55:1705–1712.
- 15 Fernandez-Bussy S, Yu Lee-Mateus A, Barrios-Ruiz A, Valdes-Camacho S, Lin K, Ibrahim MI, et al.: Diagnostic performance of shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy for pleural-based and fissure-based pulmonary lesions. *Thorax* 2025;80:150–158.
- 16 Brock JM, Dittrich AS, Kontogianni K, Heussel C-P, Klotz LV, Winter H, et al.: First European Results of Shape-Sensing Robotic-assisted bronchoscopy. *Respiration* 2025;1–20.
- 17 Benn BS, Romero AO, Lum M, Krishna G: Robotic-Assisted Navigation Bronchoscopy as a Paradigm Shift in Peripheral Lung Access. *Lung* 2021;199:177–186.
- 18 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;6:177–185.
- 19 Kalchiem-Dekel O, Connolly JG, Lin I-H, Husta BC, Adusumilli PS, Beattie JA, et al.: Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy in the Diagnosis of Pulmonary Parenchymal Lesions. *Chest* 2022;161:572–582.
- 20 Xie F, Zhang Q, Mu C, Zhang Q, Yang H, Mao J, et al.: Shape-sensing Robotic-assisted Bronchoscopy (SS-RAB) in Sampling Peripheral Pulmonary Nodules: A Prospective, Multicenter Clinical Feasibility Study in China. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2024;31.
- 21 Casal RF, Vial MR, Miller R, Mudambi L, Grosu HB, Eapen GA, et al.: What Exactly Is a Centrally Located Lung Tumor? Results of an Online Survey. *Ann Am Thorac Soc* 2017;14:118–123.
- 22 Aroumougame VY, Silvestri GA, Ward RC, Ferguson TL, Gilbert CR: Comparison of Multiple Strategies to Assess CT Lesion Location Within the Lung. *Chest* DOI: 10.1016/j.chest.2025.06.017.

- 23 Chan LT, Lau KKW, Orton CM, Temov K, Tana A, Baboolal I, et al.: Tool in lesion verification of shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy with cone beam CT in sampling peripheral pulmonary nodules. *Thorax* DOI: 10.1136/thorax-2025-223631.
- 24 Simoff MJ, Pritchett MA, Reisenauer JS, Ost DE, Majid A, Keyes C, et al.: Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy for pulmonary nodules: initial multicenter experience using the Ion™ Endoluminal System. *BMC Pulm Med* 2021;21:322.
- 25 Bashour SI, Khan A, Song J, Chintalapani G, Kleinszig G, Sabath BF, et al.: Improving Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy Outcomes with Mobile Cone-Beam Computed Tomography Guidance. *Diagnostics (Basel)* 2024;14.
- 26 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;98:142–150.
- 27 Brownlee AR, Perez C, Weiser L, Yu W, Bolster D, Knabe K, et al.: 1121 Shape-sensing Robotic-assisted Bronchoscopic Biopsies: Diagnostic Yield and Surgical Implications. *Ann Thorac Surg* 2025;120:928–936.
- 28 Abia-Trujillo D, Chandra NC, Koratala A, Yu Lee-Mateus A, Garza-Salas A, Barrios-Ruiz A, et al.: Diagnostic Yield of Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy for Ground-Glass Nodules and Subsolid Nodules with a Solid Component Less than 6 mm. *Respiration* 2023;102:899–904.
- 29 Prokop M, Schaefer-Prokop C, Jacobs C, Snoeckx A, Biederer J, Frauenfelder T, et al.: Aggressiveness-guided nodule management for lung cancer screening in Europe-justification for follow-up intervals and definition of growth. *Eur Radiol* DOI: 10.1007/s00330-025-11647-5.
- 30 Fernandez-Bussy S, Garza-Salas A, Barrios-Ruiz A, Balasubramanian P, Yu Lee-Mateus A, Koirala T, et al.: Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy in the Multiple Pulmonary Nodule Diagnosis during a Single Anesthetic Event. *Respiration* 2024;103:397–405.
- 31 Fernandez-Bussy S, Valdes-Camacho S, Barrios-Ruiz A, Vaca-Cartagena BF, Yu Lee-Mateus A, Hazelett BN, et al.: Streamlining Lung Cancer Diagnosis: One Procedure for Multi-Site Biopsy Using Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy. *Respiration* 2025;1–10.
- 32 Husta BC, Menon A, Bergemann R, Lin I-H, Schmitz J, Rakočević R, et al.: The incremental contribution of mobile cone-beam computed tomography to the tool-lesion relationship during shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy. *ERJ Open Res* 2024;10.
- 33 Abia-Trujillo D, Funes-Ferrada R, Yu Lee-Mateus A, Barrios-Ruiz A, Koor A, Patel NM, et al.: Cryobiopsy versus fine-needle aspiration for shape-sensing robotic-assisted sampling of small lung nodules. *Lung Cancer* 2024;196:107967.
- 34 Abdelghani R, Espinoza D, Uribe JP, Becnel D, Herr R, Villalobos R, et al.: Cone-beam computed tomography-guided shape-sensing robotic bronchoscopy vs. electromagnetic navigation bronchoscopy for pulmonary nodules. *J Thorac Dis* 2024;16:5529–5538.
- 35 Shimizu K, Ikeda N, Tsuboi M, Hirano T, Kato H: Percutaneous CT-guided fine needle aspiration for lung cancer smaller than 2 cm and revealed by ground-glass opacity at CT. *Lung Cancer* 2006;51:173–179.
- 36 Yamagami T, Yoshimatsu R, Miura H, Yamada K, Takahata A, Matsumoto T, et al.: Diagnostic performance of percutaneous lung biopsy using automated biopsy needles under CT-fluoroscopic guidance for ground-glass opacity lesions. *Br J Radiol* 2013;86:20120447.
- 37 Styrvoky K, Schwalk A, Pham D, Chiu HT, Rudkovskaia A, Madsen K, et al.: Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy with Concurrent use of Radial Endobronchial Ultrasound and Cone Beam Computed Tomography in the Evaluation of Pulmonary Lesions. *Lung* 2022;200:755–761.
- 38 Abia-Trujillo D, Folch EE, Yu Lee-Mateus A, Balasubramanian P, Kheir F, Keyes CM, et al.: Mobile cone-beam computed tomography complementing shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy in the small pulmonary nodule sampling: A multicentre experience. *Respirology* 2024;29:324–332.
- 39 Zhang Q, Wen F, Wu X, Yang H, Li X, Luo P, et al.: Shape sensing robotic assisted bronchoscopy versus virtual bronchoscopic navigation in the diagnosis of peripheral pulmonary nodules. *Sci Rep* 2025;15:23950.
- 40 Abouzgheib W, Ambrogi C, Chai M: Unlocking the potential of robotic-assisted bronchoscopy: overcoming challenging anatomy and locations. *Ther Adv Respir Dis* 2024;18:17534666241259369.
- 41 David M Wisa, Sidra Raoof, Bryan C Husta, Robert P. Lee, Matthew Bott, R Kacchiem-Dekel, Mohit Chawla: Accessing aortopulmonary lymph nodes via robotic-assisted bronchoscopy: a new "window" of

- opportunity, Vol 164. Chest, 2023, A5238-A5239. [https://journal.chestnet.org/article/S0012-3692\(23\)04435-5/fulltext](https://journal.chestnet.org/article/S0012-3692(23)04435-5/fulltext) (accessed November 16, 2025).
- 42 Vaca-Cartagena BF, Valdes-Camacho S, Ibrahim MI, Barrios-Ruiz A, Yu Lee-Mateus A, Funes-Ferrada R, et al.: Staging Aortopulmonary Lymph Nodes With Robotic-Assisted Bronchoscopy: A Case Report and Literature Review. *Respirol Case Rep* 2025;13:e70109.
- 43 Anjali Sachdeva JS: Successful biopsy of aortopulmonary window lymph node with robotic-assisted bronchoscopy: Session Tales in Bronchoscopy. Nashville, 2022. https://www.researchgate.net/profile/Anjali_Sachdeva3/publication/364385090_SUCCESSFUL_BIOPSY_OF_AORTOPULMONARY_WINDOW_LYMPH_NODE_WITH_ROBOTIC-ASSISTED_BRONCHOSCOPY/links/6350cdf96e0d367d91ac239d/SUCCESSFUL-BIOPSY-OF-AORTOPULMONARY-WINDOW-LYMPH-NODE-WITH-ROBOTIC-ASSISTED-BRONCHOSCOPY.pdf (accessed November 16, 2025).
- 44 Judith Brock: Robotisch-assistierte Bronchoskopie - ein Durchbruch in der Diagnostik des Lungenkarzinoms: DRKS - Deutsches Register Klinischer Studien, 2025. <https://www.drks.de/search/de/trial/DRKS00038615/details>.
- 45 Velasquez R, Martin A, Abu Hishmeh M, DeLorenzo L, Dhillon SS, Harris K: Placement of markers to assist minimally invasive resection of peripheral lung lesions. *Ann Transl Med* 2019;7:360.
- 46 Bawaadam H, Benn BS, Colwell EM, Oka T, Krishna G: Lung Nodule Marking With ICG Dye-Soaked Coil Facilitates Localization and Delayed Surgical Resection. *Ann Thorac Surg Short Rep* 2023;1:221–225.
- 47 Benn BS, Bawaadam H, Colwell EM, Peterson MD, Tisol WB, Niroula A, et al.: Spot On: Indocyanine Green-Soaked Fiducial Markers for Lung Nodules Prior to Thoracic Surgery. *CHEST pulmonary* 2025;3:100131. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949789224000977>.
- 48 Shahoud J, Weksler B, Ghosh S, Ganesh A, Fernando H: Robot-Assisted Bronchoscopy for Identification of Lung Nodules During Minimally Invasive Pulmonary Resection. *Innovations (Phila)* 2024;19:263–267.
- 49 Dixon B, Cohler S, DeGrauw J, Hafen R: Using a Double-Sided Bronchial Blocker for Differential Lung Ventilation for Robotic Bronchoscopy-Guided Marking and Subsequent Bilateral Lung Wedge Resections and Lobectomy. *Cureus* 2024;16:e70824.
- 50 Guarize J, Bertolaccini L, Spaggiari L: Fast Track Pathway for Lung Cancer: The Integration of ION Robotic-Assisted Bronchoscopy With Robotic Thoracic Surgical Resection. *Surg Innov* 2025;15533506251375786.
- 51 Huang W, Wu F, Tian L, Xu C, Wang H: Clinical practice guidelines in adult diagnostic flexible bronchoscopy: systematic review of the literature and quality appraisal with AGREE II. *J Thorac Dis* 2024;16:7111–7122.
- 52 Riestra Guance I, Kapp C: Development and deployment of robots in a bronchoscopy suite. *Breathe (Sheff)* 2025;21:240247.
- 53 Chhabria MS, Maldonado F, Mehta AC: Infection control in the bronchoscopy suite: effective reprocessing and disinfection of reusable bronchoscopes. *Curr Opin Pulm Med* 2023;29:21–28.
- 54 Klacik SG: Transitioning from High-Level Disinfection to Sterilization for Semicritical Devices. *Biomed Instrum Technol* 2019;53:23–31.
- 55 US Food and Drug Administration: Ion Endoluminal System, 2021. https://www.accessdata.fda.gov/cdrh_docs/pdf21/K212048.pdf (accessed December 3, 2025).
- 56 Chambers J, Knox D, Leclair T: O-arm CT for Confirmation of Successful Navigation During Robotic Assisted Bronchoscopy. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2023;30:155–162.
- 57 Fernandez-Bussy S, Funes-Ferrada R, Yu Lee-Mateus A, Vaca-Cartagena BF, Barrios-Ruiz A, Valdes-Camacho S, et al.: Diagnostic performance of Shape-Sensing Robotic-Assisted bronchoscopy with mobile Cone-Beam CT for cystic and cavitary pulmonary lesions. *Lung Cancer* 2024;198:108029.
- 58 Bott MJ, Toumbacaris N, Tan KS, Husta BC, Medina BD, Adusumilli PS, et al.: Characterizing a learning curve for robotic-assisted bronchoscopy: Analysis of skills acquisition in a high-volume academic center. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2025;169:269–278.e6.
- 59 Brock JM, Dittrich AS, Kontogianni K, Heussel C-P, Klotz LV, Winter H, et al.: First European Experience of Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy: Learning Curve Analysis. *Respiration* 2025:1–14.

- 60 Guarize J, Bertolaccini L, Bardoni C, Donghi SM, Spaggiari L: Characterizing the Learning Curve of ION Robotic Bronchoscopy: A CUSUM-Based Analysis of Diagnostic Yield. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2026;33.
- 61 Xie F, Zhang Q, Liu S, Yan L, Zhou Y, Sun J: Learning curve of a robotic-assisted bronchoscopy system in sampling peripheral pulmonary nodules. *Chin Med J (Engl)* 2022;135:2753–2755.
- 62 Styrvoky K, Schwalk A, Pham D, Madsen K, Chiu H, Abu-Hijleh M: Procedural times with robotic-assisted bronchoscopy: a high volume single-center study. *Ther Adv Respir Dis* 2024;18:17534666241277668.
- 63 Ho E, Hedstrom G, Murgu S: Robotic bronchoscopy in diagnosing lung cancer-the evidence, tips and tricks: a clinical practice review. *Ann Transl Med* 2023;11:359.
- 64 Ernst A, Wahidi MM, Read CA, Buckley JD, Addrizzo-Harris DJ, Shah PL, et al.: Adult Bronchoscopy Training: Current State and Suggestions for the Future: CHEST Expert Panel Report. *Chest* 2015;148:321–332.
- 65 Ifeanyi IC, Heir JS, Idowu O: Robotic bronchoscopy: Evolution of advanced diagnostic technologies for pulmonary lesions. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2024;38:38–46.
- 66 Abdelghani R, Espinoza D, Uribe JP, Becnel D, Herr R, Villalobos R, et al.: Cone-beam computed tomography-guided shape-sensing robotic bronchoscopy vs. electromagnetic navigation bronchoscopy for pulmonary nodules. *J Thorac Dis* 2024;16:5529–5538.
- 67 Xie F, Zhang C, Li C, Liu D, Zhang Q, Mu C, et al.: Chinese expert consensus on shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy (ssRAB) in the management of peripheral pulmonary lesions. *Translational Lung Cancer Research* 2025;14:1500–1515.
- 68 Pham D, Styrvoky K: Robotic-assisted Bronchoscopy Combined with Multimodal Imaging for Targeted Lung Cryobiopsies. *J Vis Exp* DOI: 10.3791/66868.
- 69 Wahidi MM, Jain P, Jantz M, Lee P, Mackensen GB, Barbour SY, et al.: American College of Chest Physicians consensus statement on the use of topical anesthesia, analgesia, and sedation during flexible bronchoscopy in adult patients. *Chest* 2011;140:1342–1350.
- 70 Du Rand IA, Blaikley J, Booton R, Chaudhuri N, Gupta V, Khalid S, et al.: British Thoracic Society guideline for diagnostic flexible bronchoscopy in adults: accredited by NICE. *Thorax* 2013;68 Suppl 1:i1-i44.
- 71 Assaad M, Kollipara V, Abi Hatem N: Cerebral arterial air embolism complicating robotic guided lung biopsy: A call for vigilance. *Respir Med Case Rep* 2025;58:102320.
- 72 Saddawi-Konefka D, Alfille PH, Folch EE, Bao X: Anesthetic Care of Interventional Pulmonology Patients. *Anesthesiology* DOI: 10.1097/ALN.0000000000005604.
- 73 Salahuddin M, Sarkiss M, Sagar A-ES, Vlahos I, Chang CH, Shah A, et al.: Ventilatory Strategy to Prevent Atelectasis During Bronchoscopy Under General Anesthesia: A Multicenter Randomized Controlled Trial (Ventilatory Strategy to Prevent Atelectasis -VESPA- Trial). *Chest* 2022;162:1393–1401.
- 74 Bhadra K, Baleeiro C, Patel S, Condra W, Bader BA, Setser RM, et al.: High Tidal Volume, High Positive End Expiratory Pressure and Apneic Breath Hold Strategies (Lung Navigation Ventilation Protocol) With Cone Beam Computed Tomography Bronchoscopic Biopsy of Peripheral Lung Lesions: Results in 100 Patients. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2024;31:105–116.
- 75 Bhadra K, Setser RM, Condra W, Pritchett MA: Lung Navigation Ventilation Protocol to Optimize Biopsy of Peripheral Lung Lesions. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2022;29:7–17.
- 76 Pritchett MA, Lau K, Skibo S, Phillips KA, Bhadra K: Anesthesia considerations to reduce motion and atelectasis during advanced guided bronchoscopy. *BMC Pulm Med* 2021;21:240.
- 77 Dai S, Xu G, Chen Z, Tang J: Intraprocedural computed tomography-guided navigation with ventilatory strategy for atelectasis (ICNVA): a modified electromagnetic navigation bronchoscopy. *J Thorac Dis* 2024;16:2736–2744.
- 78 Chen J, Mo Z, Deng H, Ng CSH, Zhang Z, Li S, et al.: A case series of nonintubated robotic-assisted bronchoscopy: a feasible alternative to intubated techniques. *Translational Lung Cancer Research* 2025;14:4051–4056.
- 79 Ratwani AP, Duke JD, Paez R, Bridwell G, Shojaee S, Lentz RJ, et al.: Sustained breath-holds in bronchoscopy: a pause worth taking?-a narrative review. *J Thorac Dis* 2025;17:10541–10550.
- 80 Styrvoky K, Levine AL, Nguyen AD, Vollenweider M, Jiwani AZ: Apneic oxygenation during robotic-assisted bronchoscopy: a retrospective study on safety and diagnostic yield. *J Thorac Dis* 2025;17:7473–7486.

- 81 Sagar A-ES, Sabath BF, Eapen GA, Song J, Marcoux M, Sarkiss M, et al.: Incidence and Location of Atelectasis Developed During Bronchoscopy Under General Anesthesia: The I-LOCATE Trial. *Chest* 2020;158:2658–2666.
- 82 Khan A, Bashour S, Sabath B, Lin J, Sarkiss M, Song J, et al.: Severity of Atelectasis during Bronchoscopy: Descriptions of a New Grading System (AtelectasisSeverity Scoring System-"ASSESS") and At-Risk-Lung Zones. *Diagnostics (Basel)* 2024;14.
- 83 Khan A, Bashour SI, Casal RF: Preventing atelectasis during bronchoscopy under general anesthesia. *J Thorac Dis* 2023;15:3443–3452.
- 84 Chen A, Pastis N, Furukawa B, Silvestri GA: The effect of respiratory motion on pulmonary nodule location during electromagnetic navigation bronchoscopy. *Chest* 2015;147:1275–1281.
- 85 Senyei GD, Sagar AES, Tran B, Shah A, Miller R, Patel N, et al.: Incremental Application of Positive End-Expiratory Pressure for the Evaluation of Atelectasis During RP-EBUS and Bronchoscopy (I-APPEAR). *J Bronchology Interv Pulmonol* 2024;31.
- 86 Lin J, Sabath BF, Sarkiss M, Jimenez CA, Casal RF: Lateral Decubitus Positioning for Mobile CT-guided Robotic Bronchoscopy: A Novel Technique to Prevent Atelectasis. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2022;29:220–223.
- 87 Bhadra K, Condra W, Setser RM: Out of the Box Thinking: Prone Bronchoscopy to Reduce Atelectasis. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2022;29:e57–e60.
- 88 Yu Lee-Mateus A, Reisenauer J, Garcia-Saucedo JC, Abia-Trujillo D, Buckarma EH, Edell ES, et al.: Robotic-assisted bronchoscopy versus CT-guided transthoracic biopsy for diagnosis of pulmonary nodules. *Respirology* 2023;28:66–73.
- 89 Chrissian AA, Khosa J, Duchman B, Ho E, Cheng G: Airway Registration Approach and Other Determinants of Procedure Efficiency During Shape-Sensing Robotic-Assisted Bronchoscopy. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2025;32.
- 90 Fernandez-Bussy S, Chandra NC, Koratala A, Yu Lee-Mateus A, Barrios-Ruiz A, Garza-Salas A, et al.: Robotic-assisted bronchoscopy: a narrative review of systems. *J Thorac Dis* 2024;16:5422–5434.
- 91 Oberg CL, Lau RP, Folch EE, He T, Ronaghi R, Susanto I, et al.: Novel Robotic-Assisted Cryobiopsy for Peripheral Pulmonary Lesions. *Lung* 2022;200:737–745.
- 92 Odeh T, Pitts L, Reid M, Carroll M, Postigo M: Robotic-Assisted Bronchoscopy-Guided Transbronchial Cryobiopsy Versus Transbronchial Needle Aspiration in Peripheral Pulmonary Lesions. *J Bronchology Interv Pulmonol* 2025;32.
- 93 Meng WD, Lum M, Yu E, Krishna G: Performance of Biopsy Tools in Procurement of Lung Tissue in Robot-Assisted Peripheral Navigation: A Comparison. *Respiration* 2023;102:1007–1015.
- 94 Kalchiem-Dekel O, Rakočević R, Toumbacaris N, Tan KS, Nadig TR, Adusumilli PS, et al.: Robotic-assisted bronchoscopy for histopathologic subtyping of primary lung adenocarcinoma. *Lung Cancer* 2025;207:108681.
- 95 Balavenkataraman A, Garza Salas A, Barrios Ruiz A, Balasubramanian P, Fernandez-Bussy S, Abia Trujillo D: Early Pneumatocele Identification Post-Robotic Assisted Bronchoscopy Cryobiopsy: A Case Series Experience. *Respiration* 2024;103:275–279.
- 96 DiBardino DM, Haas AR, Lanfranco AR, Litzky LA, Sterman D, Bessich JL: High Complication Rate after Introduction of Transbronchial Cryobiopsy into Clinical Practice at an Academic Medical Center. *Ann Am Thorac Soc* 2017;14:851–857.
- 97 Styrvoky K, Schwalk A, Pham D, Madsen K, Chiu HT, Abu-Hijleh M: Radiation dose of cone beam CT combined with shape sensing robotic assisted bronchoscopy for the evaluation of pulmonary lesions: an observational single center study. *J Thorac Dis* 2023;15:4836–4848.
- 98 Fernandez-Bussy S, Funes-Ferrada R, Yu Lee-Mateus A, Vaca-Cartagena BF, Barrios-Ruiz A, Valdes-Camacho S, et al.: Transforming lung cancer diagnosis: the role of robotic-assisted bronchoscopy in early detection and staging. *Lung Cancer* 2025;206:108646.
- 99 Folch EE, Mahajan AK, Oberg CL, Maldonado F, Toloza E, Krimsky WS, et al.: Standardized Definitions of Bleeding After Transbronchial Lung Biopsy: A Delphi Consensus Statement From the Nashville Working Group. *Chest* 2020;158:393–400.
- 100 Fernandez-Bussy S, Abia-Trujillo D, Patel NM, Pascual JM, Majid A, Folch EE, et al.: Precautionary strategy for high-risk airway bleeding cases during robotic-assisted bronchoscopy. *Respirol Case Rep* 2021;9:e00794.

- 101 Fernandez-Bussy S, Abia-Trujillo D, Majid A, Folch EE, Patel NM, Herth FJF, et al.: Management of Significant Airway Bleeding during Robotic Assisted Bronchoscopy: A Tailored Approach. *Respiration* 2021;100:547–550.
- 102 Centonze CP, Davenport MS, White ES, Kazerooni EA: Routine Chest Radiography for the Evaluation of Pneumothorax Following Bronchoscopy. *Acad Radiol* 2019;26:585–590.
- 103 Boskovic T, Stojanovic M, Stanic J, Pena Karan S, Vujasinovic G, Dragisic D, et al.: Pneumothorax after transbronchial needle biopsy. *J Thorac Dis* 2014;6:S427-34.
- 104 Venkatram S, Pena D, Bajantri B, Diaz-Fuentes G: Outcomes of patients with non-diagnostic bronchoscopy: A clinico-radiological comparison of patients with diagnostic and non-diagnostic bronchoscopy. *Medicine (Baltimore)* 2019;98:e15585.
- 105 Camilo A. Avendano, Luis O. Gerena-Montano, Jason A. Beattie, Mihir S. Parikh, Kai E. Swenson, Adnan Majid, Chenchen Zhang: Outcomes and Clinical Practices in Follow-Up of Nonmalignant Pulmonary Nodules After Bronchoscopic Biopsy. *CHEST pulmonary* 2024.
<https://scholars.mssm.edu/en/publications/outcomes-and-clinical-practices-in-follow-up-of-nonmalignant-pulm/>.
- 106 Gould MK, Donington J, Lynch WR, Mazzone PJ, Midthun DE, Naidich DP, et al.: Evaluation of individuals with pulmonary nodules: when is it lung cancer? Diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2013;143:e93S-e120S.
- 107 Gonzalez AV, Silvestri GA, Korevaar DA, Gesthalter YB, Almeida ND, Chen A, et al.: Assessment of Advanced Diagnostic Bronchoscopy Outcomes for Peripheral Lung Lesions: A Delphi Consensus Definition of Diagnostic Yield and Recommendations for Patient-centered Study Designs. An Official American Thoracic Society/American College of Chest Physicians Research Statement. *Am J Respir Crit Care Med* 2024;209:634–646.
- 108 Prado RMG, Cicienia J, Almeida FA: Robotic-Assisted Bronchoscopy: A Comprehensive Review of System Functions and Analysis of Outcome Data. *Diagnostics (Basel)* 2024;14.
- 109 Jakubowski B, Yager A, Madsen K, Schwalk A, Shah T, Pham D, et al.: Safety of Robotic-Assisted Bronchoscopy for Pulmonary Lesions in Patients With Pulmonary Hypertension on Vasodilator Therapy: A Single-Centre Experience. *Respirol Case Rep* 2025;13:e70205.
- 110 Donna E, Wu S, Arias S: Proof of concept: Shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy performed under moderate sedation. *Respir Med Case Rep* 2023;41:101787.
- 111 American Lung Association: Robotic-Assisted bronchoscopy. <https://www.lung.org/lung-health-diseases/lung-procedures-and-tests/rab> (accessed December 2, 2025).
- 112 Krist J, Hagmeyer L, Schoenfeld N, Darwiche K, Brock JM, Piening A, et al.: Context factors for performing endoscopic examinations as an inpatient service in adults. *Pneumologie* 2025;79:327–328.
- 113 Maalouf N, Abou Mrad M, Lavric D, Vasileva L, Mahnken AH, Apitzsch J: Safe Zone to Avoid Pneumothorax in a CT-Guided Lung Biopsy. *J Clin Med* 2023;12.
- 114 Vachani A, Maldonado F, Laxmanan B, Kalsekar I, Murgu S: The Impact of Alternative Approaches to Diagnostic Yield Calculation in Studies of Bronchoscopy. *Chest* 2022;161:1426–1428.
- 115 Brock JM, Herth FJF: Revisiting Lymph Node Staging in the 9th TNM Classification for Lung Cancer: A Bronchoscopic Perspective. *Respiration* 2025:1–11.
- 116 Lin P-L, Zheng F, Shin M, Liu X, Oh D, D'Attilio D: CUSUM learning curves: what they can and can't tell us. *Surg Endosc* 2023;37:7991–7999.
- 117 Bolsin S, Colson M: The use of the Cusum technique in the assessment of trainee competence in new procedures. *Int J Qual Health Care* 2000;12:433–438.

Table 1a. Literature overview – prospective studies on ssRAB

作者	纳入标准 结节大小	结节数量	诊断率	并发症发生率 (总体)	气胸	出血
Fielding 等人, 2019 [26]	1-3厘米	29	79.3%严格 96.6%中间的	6.9%	0	0
Benn 等人。2021 [17]	无	59	86%中间的	3.8%	3.8%	0
Simoff 等人。2021 年 [24]	1-3.5厘米	67	无	3.4%	0	0
Reisenauer 等人, 2022 年 [18]	1-3厘米	30	93.3%严格	6.25%	0	0
Reisenauer 等人, 2022 年 [4]克莱肯或小费你在这里, 嗯文字赋予。	1-3厘米	270	无	4.5%	3.3%	0.8% (纳什维尔纳州)
KalchiemDekel 等人。2022 [19]	前瞻性收集, 回顾性分析	159	81.7%	3%	1.5%	0
Bashour 等人 2024 年 [25] 点击或点赞此处, 嗯文本赋予。	1-3厘米	67	86.6%严格	0	0	0
谢等人 2024 [20]	8-30mm	90	87.8%中间的	3.3%	1.1%	0
Brock 等人 2024 年 [16]点击或小费你在这里, 嗯文字赋予。	1-3厘米	43	67.4%	7.0%	0	7.0% (纳什维尔 <3)
Brownlee 等人。2025 [27]	前瞻性收集、回顾性分析	1121	86.1%	4.8%	3.3%	1% (纳什维尔纳州)
Chan 等人。2025 年 [23]点击或小费你在这里, 嗯文字赋予。	6-30毫米	200	85%	3%	0.5%	1% (纳什维尔≥3)

Abbreviation: ssRAB, shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy

Table 1b. Literature overview – meta-analyses on ssRAB

作者	研究数量	结节数量	结节大小	拉巴系统	诊断率	合并症发生率	气胸	出血
Ali 等人。2023 [5]	25	1779	无	IONTM, 君主	84.3% 中间的	3%	2.3%	0.5%
李等。2025 年 [8]	27	2463	12.0-26.0毫米	IONTM, 君主, 银河	69.6%严格, 86.6% 中间的		2%	0.1%
张等人。2024 年 [6]	10	725	12.2-23.2毫米	IONTM, 君主	80.4% 中间的	3%	1.8%	无
Pyarali 等人。2024 年 [7]	23	1541	5.9-25.0毫米	IONTM, 君主	81.9%严格		0.6%	<0.01%

Abbreviation: RAB, robotic-assisted bronchoscopy; ssRAB, shape-sensing robotic-assisted bronchoscopy

Table 2. Summary of Consensus statements

兴趣区域	共识问题	共识声明
适应症和禁忌症	1a:ssRAB 的适应症是什么？	ssRAB 适用于肺结节 (PN) 的取样，定义为病变≤3cm，完全被肺实质包围或基于胸膜。
	1b:ssRAB 是否用于取外周肺结节？	是的，ssRAB 用于采样 PPN。
	1c:ssRAB 是否适用于中区肺结节采样？	是的，ssRAB 适用于取样中区病变。
	1d:ssRAB 是否适用于中心肺结节采样？	如果无法通过线性支气管内超声 (EBUS) 或传统技术获取中央肺结节，则可使用 ssRAB 进行中心肺结节采样。
	1e:ssRAB 是否适用于肺部病变采样 >3厘米？	当特定的解剖考虑限制了肺部病变的有效性时，ssRAB 可能适用于取样 >3cm 的肺部病变 传统的支气管镜检查。
	2:ssRAB 可以用于胸膜和裂隙结节吗，并且安全吗？	ssRAB 可用于邻近胸膜、胸膜内或沿裂隙的结节。在某些情况下，可能需要经支气管通路才能到达非常外围的目标。建议使用谨慎的技术来最大限度地降低气胸风险。冷冻活检是可行的在这些地点。
	3:ssRAB 可以用于吗 结节尺寸为 2-3 厘米、1-2 厘米、<1 厘米？	
	3a:ssRAB 可以用于对 2-3cm 的结节进行采样吗？	是的，ssRAB 可用于对测量 2-3 cm 的结节进行采样。
	3b:ssRAB 可以用于对 1-2cm 的结节进行采样吗？	是的，ssRAB 可用于对测量 1-2 cm 的结节进行采样。
	3c:ssRAB 是否可用于对结节进行采样测量 <1厘米？	是的，ssRAB 可用于样本 <1 cm 的结节。
	3a-3c:活检结节的指征应考虑恶性的可能性、影像学中的生长行为以及患者的治疗后果。	
	4:ssRAB 每次手术可以取多少个结节？	ssRAB 可用于在单次手术中对多个肺结节进行采样。虽然总手术时间和肺不张的发展可能会限制可采样的结节数量，一次麻醉事件期间没有严格的上限。
	5: ssRAB 可以对对侧结节进行取样吗？	ssRAB 可用于在单次手术期间活检对侧结节。应使用透视或 CBCT 来排除 在进行对侧取样之前，最初活检的一侧出现气胸。
	6: ssRAB 可以对磨玻璃结节进行采样吗？	ssRAB 可用于取样亚实性结节 (SSN)，包括部分实性结节 (PSN) 和磨玻璃结节 (GGN)。活检工具的选择，特别是冷冻活检的使用，可能会产生影响 诊断结果。
	7:ssRAB 可以用于无支气管征的结节吗？	ssRAB 可用于无支气管征象的结节。
	8: 淋巴结可以用 ssRAB 进行取样吗？	可以使用 ssRAB 对淋巴结进行采样，例如主动脉肺(第 5 站)和主动脉旁(第 6 站)淋巴结。也可以使用 ssRAB 对 12、13 和 14 等外围站点进行采样。支气管内超声仍然是中心的标准方法 淋巴结取样(站 2, 4, 7, 10, 11)。
	9:是否可行在之前放置信任标记 ssRAB 手术？	ssRAB 是手术前放置基于荧光或染料的标记的可行方法。
	10:ssRAB 有特定的禁忌症吗？	ssRAB被认为对大多数患有周围性肺部病变的成年人是安全的，但对于无法纠正的凝血功能障碍或抗凝治疗无法中断、严重呼吸衰竭、血流动力学不稳定、不稳定的心血管疾病、妊娠或无法耐受全身麻醉的患者应谨慎使用。ssRAB 没有额外的绝对值 与传统的柔性或刚性支气管镜检查相比，存在禁忌症。
ssRAB 设置和要求	11:ssRAB 是否需要对内窥镜套房进行具体规划和设计？	内窥镜套房不需要特定的设计。然而，ssRAB 需要足够的空间来容纳患者桌子、机器人平台、麻醉设备以及足够的人员移动空间。尚未确定最小房间尺寸。当使用标准支气管镜设备、EBUS、CBCT 或冷冻活检系统等其他工具时，空间需求会增加。还必须支持机器人支气管镜再处理，无论是在邻近区域还是中心处理设施。
	12:ssRAB 需要特定的重新处理吗？	用于 ssRAB 的耗材需要特定的再处理材料和技术。再处理标准可能有所不同 国际上和机构之间。

互补技术	13:rEBUS 可以与 ssRAB 联合使用吗?	外径<2mm的rEBUS探针可以通过ssRAB工作通道推进以确认目标位置。在某些情况下, rEBUS 还可以通过将探针沿着针形成的管道推进来识别位于气道外的病变。
	14:CBCT 可以与 ssRAB 联合使用吗?	任何 CBCT 系统都可以与 ssRAB 结合使用。ssRAB 平台与西门子 Healthineers 和 GE 集成 医疗保健移动 CBCT 系统并允许术中目标更新。
	15: ssRAB 首选固定 CBCT 还是移动 CBCT?	固定和移动 CBCT 系统都可以与 ssRAB 结合使用。固定 CBCT 系统目前尚未与 ssRAB 平台集成, 因此无法支持术中目标更新。选定的移动 CBCT 系统允许实时集成以确认目标。固定 CBCT 和移动 CBCT 之间的选择取决于本地工作流程、成像基础设施和需要进行术中更新。
培训	16:ssRAB 是否需要对接入医师进行特定的培训?	ssRAB 需要对介入医师进行专门的培训。培训应包括离体模型或猪肺, 然后是直视病例。指导内容应涵盖患者选择、麻醉注意事项、安全措施和随访。建议至少20例即可达到基本熟练程度。人们认识到, ssRAB 程序员的个体学习曲线显示出显著的操作者间变异性, 受先前的支气管镜检查经验和结节特征的影响。基本的程序能力通常可以很快实现, 经过几个案例后程序时间就会减少。监测一个人的诊断率直至持续高是更好地评估能力。确切的阈值取决于局部恶性肿瘤 患病率和可用的补充技术, 应基于前瞻性研究和荟萃分析。
	17:内窥镜工作人员需要特定的培训吗?	内窥镜工作人员需要关于 ssRAB 系统的设置和拆卸的专门指导。使用 CBCT 时需要进行额外的培训。建议与介入医师进行联合培训, 以确保协调的工作流程和熟悉程度 具有完整的 ssRAB 通路。
	18:麻醉需要特定的训练吗?	不需要正式培训, 但麻醉团队应熟悉导航支气管镜检查的生理和程序注意事项, 包括肺不张的风险和发作、预防肺不张的干预措施、通气策略、血流动力学监测和缺氧管理。一个中心- 随着 ssRAB 经验和熟练程度的增加, 应制定特定的麻醉方案。
ssRAB 规划	19:ssRAB 是否需要特定的计算机断层扫描 -协议?	PlanPointTM 软件需要胸部 计算机断层扫描, 最小切片厚度为 0.5-1.0 mm。
	20:ssRAB 之前需要进行哪些准备和计划?	准备包括将胸部 计算机断层扫描 上传到PlanPointTM软件中, 标记一个或多个目标, 并创建一个或多个目标 导航路径。解剖边界和血管可以根据操作者的判断突出显示。
	21:ssRAB 是否需要患者的具体知情同意?	应告知患者 ssRAB 正在用于诊断。
麻醉	22:ssRAB 期间是否有特定的麻醉注意事项?	ssRAB 期间存在特定的麻醉注意事项。该手术应在全静脉麻醉(TIVA) 全身麻醉下进行, 神经肌肉阻滞, 并使用大气管插管(根据当地人群≥ 8.0-8.5mm)快速插管。插管后和手术过程中, 复张操作可由手术医生和麻醉师自行决定。我们建议使用灌注器施用药物, 因为手术时间通常超过 30 分钟。应根据潜在的血流动力学不稳定情况, 准备血管加压药, 无论是连续输注还是根据需要。应使用高 PEEP 方案来最大限度地减少肺不张, 并根据病变位置进行调整(例如, 上叶结节为 8-10 cmH2O, 中叶结节为 10 cmH2O, 下叶结节为 10-14 cmH2O)。根据患者体重、病变位置以及心脏或肺部合并症, 可能需要进行调整, 特别是 PEEP 水平。在 3D 成像过程中, 应暂停通气(“屏气”), 以减轻肺不张并减少呼吸运动。我们建议建立一个针对中心的专门麻醉方案, 反映当地患者特征、支气管镜检查工作流程和机构 标准。
	23:ssRAB 期间何时以及持续多长时间应进行屏气这安全吗?	建议在术中成像(例如 CBCT、数字断层扫描)期间保持呼吸(“呼吸暂停氧合”), 以减少预氧合后的运动并提高图像质量 (增加 FiO2 和/或流速)。根据氧饱和度,
		屏气可以延长数分钟。当将活检工具导航或放置在肺部运动显著的区域时, 屏气非常有用。ssRAB 期间可以安全地进行和耐受 PEEP 和屏气。适当的患者 根据患者合并症进行选择至关重要。
	24:如何预防 ssRAB 期间的肺不张?	ssRAB 期间的肺不张预防依赖于结构化通气策略, 例如快速插管、复张操作、PEEP 和患者定位。这些技术可减少肺不张形成并改善病变可见度, 而不会增加并发症。肺不张在结节靶向手术(例如 ssRAB)期间很常见, 特别是在手术时间较长的患者中 倍和 BMI 增加, 这在 CBCT 上很容易观察到。
	25:ssRAB 需要哪个患者位置?	仰卧位是 ssRAB 的标准, 并得到制造商的方案和已发表的通过透视、rEBUS 和 CBCT 进行的机器人支气管镜检查研究的支持。当气道方向或 CTBD 可能受益时, 侧卧位或俯卧位等替代位置可能对特定解剖情况有用, 包括下叶或后部病变 重力辅助肺扩张。
ssRAB 程序	26:应该检查一下 ssRAB 之前进行支气管镜检查吗?	A 应在此之前进行标准柔性支气管镜检查 ssRAB检查气道, 确认解剖结构适合进行机器人导航, 并清除气道分泌物。
	27:部分注册是否足以满足 ss	如果目标区域已充分注册, 则 ssRAB 可以部分注册。然而, 首选完

	RAB 的要求?	整配准，特别是在采样多个或对侧结节时。
	28:ssRAB 应该如何进行导航?	ssRAB 的导航应遵循虚拟路径，使用系统控制器并集成虚拟和实时成像视图，引导机器人导管朝向目标病变。一旦到达目标或接近目标的位置，rEBUS 和/或 CBCT 可用于验证准确定位。
	29:我们如何克服 计算机断层扫描 - 与身体的分歧?	计算机断层扫描 与身体的差异是周围支气管镜检查中常见的挑战，并可能严重影响精确采样。当临床耐受时，应常规使用尽量减少 CTBD 的技术，包括优化患者定位、抗肺不张通气策略和术中成像，特别是在下叶目标或延长手术时增加肺不张的风险。
	30:ssRAB 应使用哪些活检工具?	可使用活检针、镊子、刷子和1.1mm冷冻探头与 ssRAB 一起使用。冷冻活检在获得诊断结果方面更优越。
	31:ROSE 可以用于 ssRAB 吗?	ROSE 可能有助于在 ssRAB 期间评估样本质量、提供初步诊断并指导后续活检步骤，特别是当病变进入不确定或使用云时活检技术。
	32:EBUS, 支气管内活检、BAL 和/或冷冻活检(例如 ILD)应按何种顺序添加到 ssRAB 程序中?	除了 ssRAB 之外，还可以进行 EBUS、支气管内活检、BAL 和/或冷冻活检。EBUS 镜和标准支气管镜在移除机器人导管后均可通过旋转连接器推进。这些额外程序最好在 ssRAB 后进行，因为肺不张可能会发生并阻碍足够的 PPN 采样。透视在进行 ILD 冷冻活检之前，应使用 PPN 取样后排除气胸。
	33:ssRAB期间出血如何处理?	通过将机器人导管留在原处填塞气道段，通常可以控制轻微出血。如果出血更严重，可以移除机器人导管并引入传统的支气管镜。滴注血管收缩剂、拭子、球囊封堵或其他可以进行先进的技术。
	34:病人可以吗? 紧急情况下可以轻松访问?	如果有紧急情况，可以轻松接触患者。机器人导管可以在几秒钟内移除。
后续	35:ssRAB 后需要进行哪些后续治疗?	ssRAB 后的术后评估应包括胸部影像学检查，通常是胸片，以评估气胸和其他并发症，特别是当经支气管活检出现时已进行或患者有症状。应按照护理标准安排进一步随访。
	36:ssRAB 患者可以门诊吗?	鉴于其良好的安全性，ssRAB 可以在门诊进行。设置选择是由当地医疗保健系统、物流和患者特定因素驱动的，而不是内在的安全考虑。住院治疗一般仅限于患有以下疾病的患者重要的合并症、复杂的联合手术或术后并发症。
	37:ssRAB 是一个安全的程序吗?	ssRAB 是一种安全的手术，气胸和出血率较低。
科学检查	38:应该使用哪些参数来描述 ssRAB 的“成功”?	为了适当描述 ssRAB 手术的成功，我们建议报告严格的恶性肿瘤诊断率和敏感性作为主要结果。中/自由度诊断率和诊断准确性也可在临床后报告后续行动。

