mechanism of insulin resistance in metabolic disease[J]. Front Endocrinol, 2023, 14: 1149239.
[9] PEI J L, WANG B C, WANG D Y. Current studies on molecular mechanisms of insulin resistance[J]. J Diabetes Res, 2022, 2022: 1863429.
[10] LE T K C, DAO X D, NGUYEN D V, et al. Insulin signaling and its application[J]. Front Endocrinol, 2023, 14: 1226655.
[11] KHALID M, ALKAABI J, KHAN M A B, et al. Insulin signal transduction perturbations in insulin resistance[J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(16): 8590.
[12] SZUKIEWICZ D. Molecular mechanisms for the vicious cycle between insulin resistance and the inflammatory response in obesity[J]. Int J Mol Sci, 2023, 24(12): 9818.
[13] JAHANDIDEH F, WU J P. A review on mechanisms of action of bioactive peptides against glucose intolerance and insulin resistance[J]. Food Sci Hum Wellness, 2022, 11(6): 1441-1454.
[14] ORTIZ M A, MIKHAILOVA T, LI X, et al. Src family kinases, adaptor proteins and the actin cytoskeleton in epithelial-to-mesenchymal transition[J]. Cell Commun Signal, 2021, 19(1): 67.
[15] YAN K Y. Recent advances in the effect of adipose tissue inflammation on insulin resistance[J]. Cell Signal, 2024, 120: 111229.
[16] GLAVIANO A, FOO A S C, LAM H Y, et al. PI3K/AKT/mTOR signaling transduction pathway and targeted therapies in cancer. Mol Cancer[J].2023,22(1):138.
[17] 洪燕青，胡琛亮. 糖尿病性肾病与高密度脂蛋白胆固醇、TyG 指数的相关性及危险因素分析[J]. 中华全科医学，2025,23(11): 1889-1891.

收稿日期：2025-09-09
（本文编辑：孙海儿）

HFNC 辅助用于成人无痛纤维支气管镜检查的低氧防治效果及影响因素分析

王明，徐蓉，盛诚，吴秋悦，吴友华，丁淼，曹云飞

【关键词】 纤维支气管镜检查；经鼻高流量氧疗；低氧血症；影响因素
doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2025.12.018
【中图分类号】 R614　**【文献标志码】** A　**【文章编号】** 1671-0800(2025)12-1281-04

纤维支气管镜（flexible bronchoscopy，FB）检查的气道刺激反应十分强烈，容易引起剧烈呛咳、恐惧不安、窒息濒死感等重度不适，并致低氧血症、循环超负荷、恶性心律失常等严重不良反应[1-2]。国内外的大多数指南或专家共识均建议 FB 检查期间应给予患者适度的镇静麻醉以提高其耐受性和满意度，并最大程度降低操作损伤和意外风险[2]。但常规的无痛技术（保留自主呼吸的轻至中度镇静方案）并不能有效抑制FB检查引起的强烈气道反应，而进一步增加镇静深度则会明显加重呼吸抑制并致低氧风险急剧上升[3-4]。经鼻高流量氧疗（high-flow nasal cannula oxygen therapy，HFNC）可通过专用的鼻导管提供流量高达 70 ～ 80 L/min 的加热加湿气体，以及可调节的氧气浓度（21%～ 100%），可有效纠正低氧血症、减少低氧性呼吸衰竭的发生及机械通气的需求[5]。笔者前期研究证实，25 ～ 65 L/min 流量的 HFNC 可降低深度镇静下成人FB检查的低氧发生率（2.7%～10.8%）[4]；即便是老年患者，辅助应用 45 L/min 流量的 HFNC，其深度镇静下FB检查的低氧风险也仅 8.3%～8.7%[6]。但缺乏有效通气功能的 HFNC 并不能完全消除深度镇静下FB检查的低氧风险，仍需在术中做好严密的监测和低氧防治预案[6-7]，且如果能有效识别低氧的术前决定因素，则可尽早启动预防干预措施。本文拟在前期研究基础上，进一步筛选 HFNC 辅助用于成人无痛 FB 检查的低氧防治效果及影响因素，现报道如下。

1　资料与方法

1.1　样本量估算　本研究根据前期研究结果，按照经验法估算，需要保证每个预测因子至少有 10 个目标事件，则至少需要 50 例（10×5）病例；目标事件发生的概率约为 8%，则总样本量至少为 625 例。考虑失访情况，以 10%失访率增加样本量计算并取整数，

基金项目： 浙江省医药卫生科技计划项目（2024XY036）
作者单位： 315211 宁波，宁波大学医学部（王明、盛诚）；宁波市北仑区人民医院（王明、徐蓉、盛诚、吴秋悦、吴友华、丁淼、曹云飞）
通信作者： 曹云飞，Email：caoyunfeicn@sina.com

共需要 690 例研究样本量。

1.2 一般资料 收集 2023 年 4 月至 2025 年 8 月宁波市北仑区人民医院收治的行无痛FB检查患者 690 例，纳入标准：(1)择期行无痛 FB 检查患者，性别不限；(2) 年龄 18 ～ 80 岁；(3) 美国麻醉医师协会(ASA)分级Ⅰ～Ⅲ级。排除标准：(1)静息基础状态下血氧饱和度(SpO_2)＜ 90%(吸空气时)者；(2)有哮喘史及酗酒史者；(3)近 1 个月使用过阿片类药物或镇静药物者；(4)合并其他严重疾病者，如睡眠呼吸暂停综合征、心肝肾功能障碍、神经系统疾病等。本研究获得宁波市北仑区人民医院伦理委员会批准[2023 科审第(12)号]，并在中国临床试验注册中心注册(ChiCTR2300072095)，所有研究对象均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

1.3 方法 所有患者术前常规禁食、禁饮。入气管镜室前，常规予雾化吸入 15 min，雾化液为 2%利多卡因注射液 5 ml 和硫酸特布他林雾化液 2 ml 的混合液。入室后常规监测心电图(ECG)、心率(HR)、无创血压(NIBP)及 SpO_2，主流式测定呼末二氧化碳($ETCO_2$)值。镇静诱导前 3 min 开始予 65 L/min 流量的 HFNC，设定温度 35 ℃，100%氧浓度。

镇静用药顺序：静脉推注咪达唑仑 0.05 mg/kg(65 岁以上 0.045 mg/kg)，2 min 后推注阿芬太尼 23 μg/kg(65 岁以上 18 μg/kg)，若未达到目标镇静深度，即改良的镇静评分(modified observers assessment of alertness/sedation，MOAA/S)≤1 分，则予丙泊酚滴定，直至达到目标镇静深度。采用经鼻途径行 FB 检查，操作开始后通过镜体内通道采用“随进随喷”注药技术，分别在声门前、通过声门进入主支气管、以及隆突上分叉处，喷洒 2%利多卡因 4 ml 行表面麻醉。本研究使用 EVISLU-CERABF-260 系列柔性纤维支气管镜，并按照国际指南由 2 名支气管镜操作经验丰富的呼吸科高年资医师完成操作。当收缩压(SBP)＞ 160 mmHg(1 mmHg≈0.133 kPa)，予乌拉地尔 1 ～ 2 mg；SBP ＜ 90 mmHg，予多巴胺 1 ～ 2 mg。当 SpO_2 ＜ 90%时，予托下颌打开气道；如氧合指数仍未改善，则行面罩加压辅助通气，如仍未能纠正，则由麻醉医师决定给予喉罩置入或气管插管。操作结束后常规予氟马西尼 5 μg/kg 和纳洛酮 3 μg/kg 进行拮抗，患者苏醒并生命体征稳定后转入复苏室观察。

1.4 观察指标 收集患者的检查前基线资料，包括性别、年龄、身高、体质量、ASA 分级、手术适应证、手术方式、手术时间，基础 SBP、舒张压(SDP)、HR、SpO_2、$ETCO_2$ 水平，以及习惯性打鼾情况(定义为每周超过 3 个晚上打鼾)等。

观察患者检查中低氧发生情况，定义为外周脉搏 SpO_2 ＜ 90%，且持续时间＞ 10 s；观察检查中高血压/低血压的发生情况，术中呛咳视觉模拟评分(VAS 评分)，检查后不良反应，以及接受再次检查的意愿。

1.5 统计方法 数据采用 SPSS 20.0 软件分析，符合正态分布的计量资料以均值±标准差表示，使用 t 检验；不符合正态分布，采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示，采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以例数表示，使用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。采用多因素二元 Logistic 回归分析探究影响因素。应用受试者工作特征(ROC)曲线评价预测指标的价值。P ＜ 0.05 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线特征 690 例患者中男 404 例，女 286 例；平均年龄(56.2±11.6)岁。FB 检查期间，术中出现低氧血症 39 例(5.65%，观察组)，均能通过托下颌或面罩加压通气得以纠正，无一例需喉罩插管或气管插管；术中未出现低氧血症 651 例(94.35%，对照组)。观察组体质量、BMI、咪达唑仑诱导用量、阿芬太尼诱导用量和习惯性打鼾占比明显高于对照组，基础 SpO_2 则低于对照组(均 P ＜ 0.05)，见表 1。

2.2 影响因素分析 多因素 Logistic 回归分析显示，BMI 和基础 SpO_2 均为无痛纤维支气管镜检查患者发生术中低氧血症的影响因素(均 P ＜ 0.05)，见表 2。

2.3 ROC 曲线分析 结果提示，BMI 和基础 SpO_2 对无痛 FB 检查患者的术中低氧血症预测 ROC 曲线下面积分别为 0.805(95%CI 为 0.733 ～ 0.878，P ＜ 0.05，特异度 77.3%，灵敏度为 76.9%)和 0.741(95%CI 为 0.657 ～ 0.824，P ＜ 0.05，特异度为 69.2%，灵敏度为 74.2%)，见图 1。

3 讨论

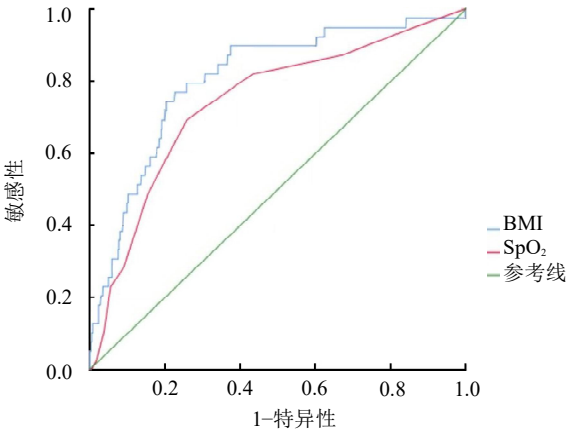
本研究结果显示，深度镇静下的成人无痛FB检

表 1　两组一般资料比较

指标	观察组（n=39）	对照组（n=651）	$t(\chi^2)$值	P 值
性别（男/女，例）	24/15	380/271	（0.15）	＞ 0.05
年龄（例）			（0.87）	＞ 0.05
18 ～ 44 岁	14	201		
45 ～ 64 岁	16	317		
65 ～ 80 岁	9	133		
体质量（kg）	73.49±12.75	62.09±11.52	5.96	＜ 0.05
身高（cm）	165.64±7.71	165.24±8.13	0.30	＞ 0.05
BMI（kg/m^2）	26.71±3.75	22.67±3.35	7.25	＜ 0.05
ASA 分级（I/II/III，例）	10/28/1	228/406/17	（1.45）	＞ 0.05
检查原因（例）			（2.50）	＞ 0.05
肺炎	25	385		
支气管扩张	6	66		
肺部阴影	3	89		
咯血	2	45		
其他	3	66		
术前基础生命体征				
收缩压（mmHg）	135.15±18.89	131.37±19.65	1.17	＞ 0.05
舒张压（mmHg）	79.87±8.95	80.00±10.70	0.07	＞ 0.05
心率（次/min）	81.44±15.82	78.23±14.89	1.30	＞ 0.05
MAP（mmHg）	95.36±11.02	94.14±12.71	0.58	＞ 0.05
SpO_2（%）	95.54±2.28	97.41±2.08	5.43	＜ 0.05
$ETCO_2$（%）	42.95±7.59	42.68±7.85	0.20	＞ 0.05
习惯性打鼾（例）	14	130	（5.65）	＜ 0.05
咪达唑仑用量（mg）	3.59±0.66	3.05±0.59	5.54	＜ 0.05
阿芬太尼用量（μg）	1 598.10±327.06	1 363.55±296.06	4.77	＜ 0.05
手术时间（min）	5.33±2.55	5.46±2.61	0.30	＞ 0.05
丙泊酚用量（例）			（0.78）	＞ 0.05
＜ 40 mg	20	301		
40 ～ 90 mg	14	280		
＞ 90 mg	5	70		

注：BMI 为体质量指数，ASA 为美国麻醉医师协会，MAP 为平均动脉压，SpO_2 为血氧饱和度，$ETCO_2$ 为呼末二氧化碳，1 mmHg≈0.133 kPa

查，辅助应用 65 L/min 流量的 HFNC 供氧新技术，术中仍有 5.65%的低氧血症发生率。相较与非低氧血症患者，低氧血症患者的体质量、BMI、咪达唑仑诱导剂量、阿芬太尼诱导剂量以及习惯性打鼾占比均显著高于非低氧血症患者（均 P ＜ 0.05），而基础 SpO_2 值则明显低于非低氧血症患者（P ＜ 0.05）。Logistic 回归分析显示，BMI 和基础 SpO_2 均为无痛纤维支气管镜检查患者发生术中低氧血症的影响因素（均 P ＜ 0.05）。通过术前的 BMI 和基础 SpO_2 值来预测术中的低氧风险，ROC 曲线下面积分别为 0.805 和 0.741。



注：BMI 为体质量指数，SpO_2 为血氧饱和度，FB 为纤维支气管镜

图 1　BMI 和基础 SpO_2 对无痛 FB 检查患者的术中低氧血症预测曲线

目前国内外有关无痛 FB 检查的相关指南和专家共识，多推荐采用非插管保留自主呼吸的镇静（无痛）技术，但术中并发低氧血症常见，且与镇静药物种类、镇静水平或深度、供氧技术、患者基础状态、操作者水平及手术操作种类等诸多因素密切相关[1-2,6]。如常规鼻导管吸氧下，轻至中度镇静下的低氧发生率为 25%～ 56%[6-8]，而深度镇静下则可高达惊人的 84%[3]，极大制约了无痛 FB 技术的开展。

HFNC 供氧新技术的辅助应用则可大幅降低无痛 FB 镇静期间的低氧风险，其具体机制包括提供恒定的高浓度氧浓度（FiO_2）、窒息氧合作用、减少鼻咽部解剖死腔量、呼气末正压（PEEP）效应、减少呼吸做功以及增强纤毛清除和气体交换等，这些机制可有效掩盖或消除与无痛 FB 技术相关的诸多低氧风险因素，并显著降低低氧发生率[9]。本研究采用统一的镇静诱导方案和同等的镇静深度（MOAA/S 评分≤1 分），结果也证实，对于深度镇静下的成人无痛

表 2　无痛纤维支气管镜检查患者术发生中低氧血症影响因素分析

因素	β值	SE 值	Waldχ^2 值	P 值	OR 值（95%CI）
体质量	0.012	0.060	0.04	＞ 0.05	1.012（0.900 ～ 1.139）
BMI	0.288	0.089	10.44	＜ 0.05	1.334（1.120 ～ 1.589）
基础 SpO_2	−0.303	0.076	16.04	＜ 0.05	0.739（0.637 ～ 0.857）
咪达唑仑诱导用量	0.638	1.496	0.18	＞ 0.05	1.892（0.101 ～ 9.925）
阿芬太尼诱导用量	−0.002	0.002	0.76	＞ 0.05	0.998（0.995 ～ 1.002）
习惯性打鼾	−0.152	0.404	0.14	＞ 0.05	0.859（0.389 ～ 1.897）

注：BMI 为体质量指数，SpO_2 为血氧饱和度

FB 检查，辅助应用 65 L/min 流量的 HFNC 供氧新技术，可使术中低氧风险大幅降至 5.65%左右。但由于 HFNC 缺乏有效的通气功能，因此并不能完全消除深度镇静所带来的 FB 检查期间的低氧风险。已有的文献报道，包括笔者前期研究均已证实了这一点[3-4, 10]。因此，在辅助应用 HFNC 供氧新技术的同时，也须筛选出相关的影响因素，并做好针对性的低氧防治预案。

本研究结果显示，BMI 和基础 SpO_2 均为无痛纤维支气管镜检查患者发生术中低氧血症的影响因素（均 $P < 0.05$）。高 BMI 的肥胖患者可发生气道解剖结构的改变，如舌体肥厚、咽喉部软组织堆积造成咽喉腔不同程度的狭窄、胸壁和腹部脂肪堆积造成胸壁顺应性降低、功能残气量减少导致氧储备受限[11-12]。且随着 BMI 的增加，动脉血氧分压下降，肺泡-动脉氧分压差增加，低氧风险也将明显上升。因此，对于高 BMI 肥胖患者，在接受无痛 FB 检查时，即便辅助使用 HFNC 供氧技术，也应高度警惕并做好防范低氧风险的准备。

术前基础 SpO_2 值也是无痛 FB 检查期间发生低氧血症的影响因素。接受无痛 FB 检查的患者群体，多患有各类呼吸系统疾病，并可影响其呼吸功能，甚至显著降低气体交换效率[13]。本研究入组患者主要为肺炎患者（占 59.3%），其次是支气管扩张、咯血和肺部阴影等。这些基础疾患并不是术中发生低氧风险的相关因素，而只有基础氧合状态（SpO_2 值）是导致无痛 FB 检查期间发生低氧血症的影响因素。推测呼吸系统疾病本身并不直接与术中低氧风险相关，而是其对机体氧合状态的影响程度，即基础氧合状态（SpO_2 值）才是术中低氧风险的决定性因素。各类呼吸疾病所引发的复杂病理生理改变，包括通气功能受损、气体弥散障碍、以及通气/血流比例失调等问题，只有在影响到机体的正常氧合及氧储备功能的情况下，才会明显增加低氧风险，且难以被流量高达 65 L/min 的 HFNC 供氧技术所带来的氧合增益作用所抵消。这也提示，辅助应用 HFNC 供氧新技术下实施无痛 FB 检查，基础氧合这一指标更有助于预测术中的低氧风险，而并非是具体的呼吸系统疾病种类。

综上所述，辅助应用高流量湿化氧疗（65 L/min）可大幅降低深度镇静下 FB 检查的低氧风险，但仍有 5.65%的术中低氧发生率，其中 BMI 和基础 SpO_2 值是术中低氧风险的影响因素，并可据此进行个体化的预测和针对性防治策略的制定。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

[1] WAHIDI M M, JAIN P, JANTZ M, et al. American College of Chest Physicians consensus statement on the use of topical anesthesia, analgesia, and sedation during flexible bronchoscopy in adult patients[J]. Chest, 2011, 140(5): 1342-1350.

[2] 王龙飞,周雪飞,张勇华,等.(支)气管镜诊疗镇静麻醉的国内外指南或专家共识比较[J].浙江医学,2023,45(13):1438-1442.

[3] WEI J, ZHANG X W, MIN K T, et al. Supraglottic jet oxygenation and ventilation to minimize hypoxia in patients receiving flexible bronchoscopy under deep sedation: A 3-arm randomized controlled trial[J]. Anesth Analg, 2024, 138(2): 456-464.

[4] STROHLEIT D, GALETIN T, KOSSE N, et al. Guidelines on analgosedation, monitoring, and recovery time for flexible bronchoscopy: A systematic review[J]. BMC Pulm Med, 2021, 21(1): 198.

[5] CORRAL-BLANCO M, SAYAS-CATALAN J, HERNANDEZ-VOTH A, et al. High-flow nasal Cannula therapy as an adjuvant therapy for respiratory support during endoscopic techniques: A narrative review[J]. J Clin Med, 2023, 13(1): 81.

[6] 徐蓉,周雪飞,王龙飞,等.不同流量经鼻高流量氧疗在纤维支气管镜检查中的比较[J].临床麻醉学杂志,2024,40(3):267-271.

[7] 黄宇光,左明章,鲍红光,等.经鼻高流量氧疗临床麻醉规范应用专家共识(2023 版)[J].临床麻醉学杂志,2023,39(8):881-887.

[8] HINKELBEIN J, LAMPERTI M, AKESON J, et al. European Society of Anaesthesiology and European Board of Anaesthesiology guidelines for procedural sedation and analgesia in adults[J]. Eur J Anaesthesiol, 2018, 35(1): 6-24.

[9] SPOLETINI G, ALOTAIBI M, BLASI F, et al. Heated humidified high-flow nasal oxygen in adults: Mechanisms of action and clinical implications[J]. Chest, 2015, 148(1): 253-261.

[10] WU Q Y, XU R, ZHOU X F, et al. Bolus administration of remimazolam was superior to midazolam for deep sedation in elderly patients undergoing diagnostic bronchoscopy: A randomized, double-blind, controlled trial[J]. Medicine, 2024, 103(12): e37215.

[11] LITTLETON S W, TULAIMAT A. The effects of obesity on lung volumes and oxygenation[J]. Respir Med, 2017, 124: 15-20.

[12] JONES R L, NZEKWU M U. The effects of body mass index on lung volumes[J]. Chest, 2006, 130(3): 827-833.

[13] MOHAN A, MADAN K, HADDA V, et al. Guidelines for diagnostic flexible bronchoscopy in adults: Joint Indian Chest Society/National College of chest physicians (I)/Indian association for bronchology recommendations[J]. Lung India, 2019, 36(Supplement): S37-S89.

收稿日期：2025-10-08

（本文编辑：钟美春）