

doi: 10.7499/j.issn.1008-8830.2309027

论著·临床研究

改良T组合复苏器与鼻导管吸氧用于婴儿电子支气管镜检查的安全性比较：一项前瞻性随机对照研究

宁俊杰¹ 左智惠¹ 喻志东¹ 李雪梅¹ 乔莉娜^{2,3,4}

(1. 自贡市第一人民医院儿科, 四川自贡 643000; 2. 四川大学华西第二医院儿童重症医学科, 四川成都 610041; 3. 国家卫生健康委员会时间生物学重点实验室(四川大学), 四川成都 610041; 4. 出生缺陷与相关妇儿疾病教育部重点实验室, 四川成都 610041)

[摘要] **目的** 优化肺部疾病婴儿接受支气管镜检查时的氧疗方案。**方法** 该研究是一项前瞻性随机、对照的单中心临床试验。前瞻性选择2019年7月—2021年7月42例接受电子支气管镜检查的婴儿为研究对象。按照随机数字表法分为鼻导管吸氧(nasal cannula oxygen, NC)组及改良T组合复苏器(T-piece resuscitator, TPR)组。记录两组术中最低血氧饱和度结果作为主要指标, 术中心率及呼吸结果作为次要指标。**结果** 改良TPR组术中最低血氧饱和度高于NC组, 低氧血症发生率低于NC组($P<0.05$); 改良TPR组术中有6例患儿轻度低氧、2例中度低氧及1例重度低氧, NC组分别有3、5和9例, 差异有统计学意义($P<0.05$)。改良TPR组术中呼吸节律异常发生率低于NC组($P<0.05$), 两组心律失常发生率差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论** 改良TPR可以显著减少肺部疾病婴儿接受电子支气管镜时发生低氧血症的风险; 与传统NC相比, TPR可明显改善低氧血症的严重程度, 且减少呼吸节律异常的发生率。 [中国当代儿科杂志, 2024, 26(1): 37-41]

[关键词] T组合复苏器; 鼻导管吸氧; 电子支气管镜; 临床效果; 婴儿

Safety of modified T-piece resuscitator versus nasal cannula oxygen in electronic bronchoscopy for infants: a prospective randomized controlled study

NING Jun-Jie, ZUO Zhi-Hui, YU Zhi-Dong, LI Xue-Mei, QIAO Li-Na. Pediatric Intensive Care Unit, West China Second University Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; National Health Commission Key Laboratory of Chronobiology (Sichuan University), Chengdu 610041, China; Key Laboratory of Birth Defects and Related Diseases of Women and Children, Chengdu 610041, China (Qiao L-N, Email: qiaolina@scu.edu.cn)

Abstract: Objective To optimize the oxygen therapy regimens for infants with pulmonary diseases during bronchoscopy. **Methods** A prospective randomized, controlled, and single-center clinical trial was conducted on 42 infants who underwent electronic bronchoscopy from July 2019 to July 2021. These infants were divided into a nasal cannula (NC) group and a modified T-piece resuscitator (TPR) group using a random number table. The lowest intraoperative blood oxygen saturation was recorded as the primary outcome, and intraoperative heart rate and respiratory results were recorded as the secondary outcomes. **Results** Compared with the NC group, the modified TPR group had a significantly higher level of minimum oxygen saturation during surgery and a significantly lower incidence rate of hypoxemia ($P<0.05$). In the modified TPR group, there were 6 infants with mild hypoxemia, 2 with moderate hypoxemia, and 1 with severe hypoxemia, while in the NC group, there were 3 infants with mild hypoxemia, 5 with moderate hypoxemia, and 9 with severe hypoxemia ($P<0.05$). The modified TPR group had a significantly lower incidence rate of intraoperative respiratory rhythm abnormalities than the NC group ($P<0.05$), but there was no significant difference in the incidence rate of arrhythmias between the two groups ($P>0.05$). **Conclusions** Modified TPR can significantly reduce the risk of hypoxemia in infants with pulmonary diseases during electronic bronchoscopy,

[收稿日期] 2023-09-07; [接受日期] 2023-12-04

[基金项目] 国家重点研发计划(2021YFC2701700, 2021YFC2701704)。

[作者简介] 宁俊杰, 男, 硕士, 主治医师。

[通信作者] 乔莉娜, 女, 主任医师。Email: qiaolina@scu.edu.cn。

and TPR significantly decreases the severity of hypoxemia and the incidence of respiratory rhythm abnormalities compared with traditional NC. [Chinese Journal of Contemporary Pediatrics, 2024, 26(1): 37-41]

Key words: T-piece resuscitator; Nasal cannula oxygen; Electronic bronchoscopy; Clinical efficacy; Infant

可弯曲支气管镜 (flexible bronchoscope, FB) 检查是目前诊断儿童呼吸道相关疾病的重要辅助手段, 低氧血症是其最常见的并发症^[1], 特别是在年龄较小的婴儿中动脉血氧饱和度的波动可能更加明显^[2]。研究表明, 在执行支气管镜检查时, 将支气管镜置于气管中部、进行利多卡因喷洒或使用0.9%氯化钠溶液进行支气管肺泡灌洗等操作可能会导致急性低氧血症^[3], 术者通常使用鼻导管吸氧 (nasal cannula oxygen, NC) 来预防或纠正低氧血症, 但严重及难治性低氧血症往往会中断FB操作, 影响诊断准确性或导致治疗效果不佳。T组合复苏器 (T-piece resuscitator, TPR) 通过提供恒定一致的目标吸气峰压 (peak inspiratory pressure, PIP) 和呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP), 可以迅速获得功能残气量, 从而提高肺顺应性和氧合, 降低肺损伤发生率, 已被推荐用于体重 ≤ 10 kg 婴儿的呼吸支持^[4-5]。目前国内外均无相关研究证实婴儿FB术中TPR供氧的安全性和有效性, 本研究旨在评估与NC相比, TPR在择期FB检查的婴儿中预防缺氧发作的作用。现报告如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究是一项前瞻性随机、对照的单中心临床试验。前瞻性纳入2019年7月—2021年7月于自贡市第一人民医院儿科行电子支气管镜检查的患儿42例为研究对象, 其中男26例, 女16例, 年龄1月龄至1岁, 平均年龄 (0.51 ± 0.26) 岁。本研究由自贡市第一人民医院伦理委员会批准 [伦理(研)2019年第53号]; 研究对象入组前, 家属均签署知情同意书, 且在研究期间, 研究方案无任何变化。

1.2 纳入及排除标准

纳入标准: (1) 年龄1个月至1岁, 体重 ≤ 10 kg; (2) 适应证参照《中国儿科可弯曲支气管镜术指南(2018年版)》^[6]执行; (3) 术前完善血常规、凝血功能、术前检查、肝肾功能、胸部CT或胸部X线检查等, 无操作禁忌证; (4) 美国麻醉医师学会 (American Society of Anesthesiologists,

ASA) 全身状况分级为I级或II级^[7]。

排除标准: (1) FB前需要氧疗或呼吸支持, 包括无创通气或有创机械通气; (2) 急诊行FB; (3) 术前评估考虑患儿系上气道病变为主; (4) 术前临床判断FB术中需要呼吸支持; (5) 不愿签署知情同意书。

1.3 分组方法

将患儿按照随机数字表法分为改良TPR组、NC组, 每组各21例。临床研究负责人、资料收集人员及资料分析人员均不知晓随机表分配序列情况; 疗效判定由不知晓分组情况的研究者进行统计分析。

1.4 资料收集

收集以下临床资料: 性别、体重、年龄、呼吸频率、血氧饱和度 (oxygen saturation, SpO₂)、心率、支气管镜术操作时间、基础呼吸系统疾病、ASA全身状况分级、临床肺部感染评分。

1.5 观察指标

记录两组最低SpO₂结果作为主要指标。定义SpO₂<90%, 持续时间>30 s为低氧血症, 其中85% \leq SpO₂<90%为轻度低氧, 80% \leq SpO₂<85%为中度低氧, SpO₂<80%为重度低氧。同时记录术中心率及呼吸结果作为次要指标, 判断标准: 心动过缓指心率低于同年龄段儿童正常心率下限 (第5百分位数); 心动过速指心率高于同年龄段儿童正常心率上限 (第95百分位数); 呼吸过缓指呼吸频率低于同年龄段儿童正常呼吸频率下限 (第5百分位数); 呼吸暂停指呼吸停止时间超过20 s; 呼吸急促指呼吸频率超过同年龄段儿童正常呼吸频率上限 (第95百分位数)^[8]。以上结果由心电监护仪全程记录。

1.6 仪器设备

选用奥林巴斯支气管镜BF-XP290, 插入管外径2.8 mm, 器械通道1.2 mm; 选用费雪派克T组合复苏器RD900AZU; 选用英华融泰高科技发展有限公司一次性使用吸氧管。

1.7 支气管镜操作步骤

采用静脉麻醉复合表面麻醉的方式, 维持自主呼吸, 由一名熟练掌握支气管镜操作的医师经鼻孔轻柔送入 (必要时通过口咽通气管送入气道)。改良TPR组具体步骤: (1) TPR连接空氧混

合仪，设定氧浓度为 29%；初始流量分别为 5 L/min、6 L/min，对应体重范围分别为 4~8 kg、8~10 kg；设定 PEEP 为 5 cmH₂O，PIP 为 20 cmH₂O。改良方法为 T 形三通管一端开口与面罩连通；相对的开口为检查孔，用于支气管镜插入部通过（孔径略大于支气管镜直径，有效避免漏气）；侧孔与 TPR 通气管连接（图 1）。操作前术者先持支气管镜前端部插入鼻腔或口咽通气管，最后覆盖面罩予以 TPR 通气。NC 组具体步骤：术中予鼻前庭 NC，鼻导管插入长度约 1.0 cm，氧流量为 2 L/min。

孔与 TPR 通气管连接（图 1）。操作前术者先持支气管镜前端部插入鼻腔或口咽通气管，最后覆盖面罩予以 TPR 通气。NC 组具体步骤：术中予鼻前庭 NC，鼻导管插入长度约 1.0 cm，氧流量为 2 L/min。

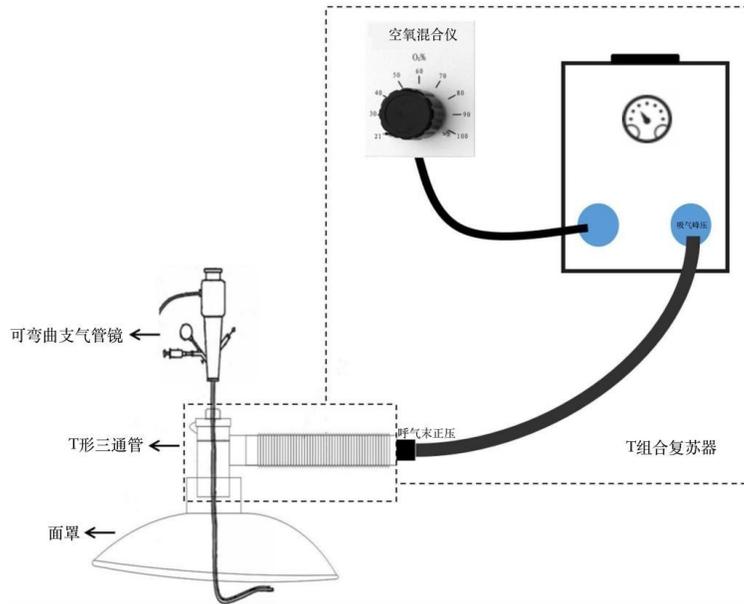


图 1 改良 TPR 示意图 T 形三通管一端开口与面罩连通；相对的开口为检查孔，用于支气管镜插入部通过（孔径略大于支气管镜直径，有效避免漏气）；侧孔与 TPR 通气管连接。

两组均采用 0.9% 氯化钠溶液（每次 1 mL/kg）行支气管肺泡灌洗术，轻轻抽吸，重复 3 次。所有常规临床护理程序均根据本机构内部制定并得到批准的临床操作标准和流程执行。当出现低氧血症时，暂停操作，将支气管镜退至隆突上方及声门下方，直至 SpO₂ 达到 90% 以上。如 SpO₂ 持续下降（SpO₂<80%，>30 s），改良 TPR 组给予 PIP（20 cmH₂O）加压（30 次/min），并提高氧浓度；NC 组则提高氧流量，最大流量设定为 5 L/min。待外周 SpO₂ 恢复正常后继续进行支气管镜操作。支气管镜术操作时间控制在 10 min 以内。

1.8 统计学分析

采用 SPSS 22.0 统计软件进行数据分析。正态分布计量资料采用均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示，组间比较采用两样本 *t* 检验；非正态分布计量资料采用中位数（四分位数间距）[*M* (*P*₂₅, *P*₇₅)] 表示，组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料采用例数和构成比 (%) 表示，组间比较采用卡方检验；等级资料比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。

以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患儿基线特征比较

两组患儿性别、年龄、体重、基础呼吸系统疾病、临床肺部感染评分、未吸氧下 SpO₂、术前心率、术前呼吸频率、支气管镜术操作时间等比较差异均无统计学意义 (*P*>0.05)，见表 1。

2.2 两组患儿主要指标比较

改良 TPR 组术中最低 SpO₂ 高于 NC 组 (*P*<0.001)，低氧血症发生率低于 NC 组 (*P*<0.05)。改良 TPR 组术中有 6 例患儿轻度低氧、2 例中度低氧及 1 例重度低氧，而 NC 组分别有 3 例、5 例和 9 例，差异有统计学意义 (*P*<0.05)。见表 2。

2.3 两组患儿次要指标比较

改良 TPR 组术中呼吸节律异常发生率低于 NC 组 (*P*<0.05)。NC 组心律失常发生率虽然高于改良 TPR 组，但差异无统计学意义 (*P*>0.05)。见表 3。

表 1 两组患儿基线特征比较

项目	NC组 (n=21)	改良 TPR 组 (n=21)	t/ χ^2 /Z 值	P 值
男性 [例(%)]	12(57)	14(67)	0.70	0.404
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 月)	6.6 \pm 3.0	5.0 \pm 2.6	1.85	0.071
体重 [$M(P_{25}, P_{75})$, kg]	6.1(4.4, 7.8)	5.7(4.3, 6.8)	0.42	0.837
术前呼吸频率 ($\bar{x} \pm s$, 次/min)	42 \pm 7	39 \pm 6	1.61	0.116
未吸氧下 SpO ₂ ($\bar{x} \pm s$, %)	96.9 \pm 2.0	96.8 \pm 1.4	0.18	0.861
术前心率 [$M(P_{25}, P_{75})$, 次/min]	135(128, 139)	134(126, 144)	0.29	0.668
支气管镜术操作时间 [$M(P_{25}, P_{75})$, min]	6(4, 8)	6(5, 8)	-0.71	0.540
基础呼吸系统疾病 [例(%)]				
肺部感染性疾病	10(48)	8(38)		
慢性咳嗽	6(29)	7(33)	0.39	0.823
喘鸣原因待诊	5(24)	6(29)		
ASA 全身状况分级 (I / II 级, 例)	9/12	11/10	0.61	0.542
CPIS ($\bar{x} \pm s$, 分)	5.7 \pm 0.9	6.0 \pm 1.2	0.81	0.424

注: [NC] 鼻导管吸氧; [TPR] T 组合复苏器; [SpO₂] 血氧饱和度; [ASA] 美国麻醉医师学会; [CPIS] 临床肺部感染评分。

表 2 两组患儿主要指标比较

项目	NC组 (n=21)	改良 TPR 组 (n=21)	t/ χ^2 值	P 值
最低 SpO ₂ ($\bar{x} \pm s$, %)	81 \pm 9	91 \pm 6	4.58	<0.001
低氧血症 [例(%)]	17(81)	9(43)	6.46	0.011
轻度低氧	3(18)	6(67)		
中度低氧	5(29)	2(22)	2.52	0.012
重度低氧	9(53)	1(11)		

注: [NC] 鼻导管吸氧; [TPR] T 组合复苏器; [SpO₂] 血氧饱和度。

表 3 两组患儿次要指标比较 [例 (%)]

组别	例数	心律失常	呼吸节律异常
NC 组	21	6(29)	12(57)
改良 TPR 组	21	1(5)	3(14)
χ^2 值		2.74	6.64
P 值		0.098	0.010

注: [NC] 鼻导管吸氧; [TPR] T 组合复苏器。

3 讨论

研究显示, 在使用鼻导管、喉罩或气管导管进行氧气补充的情况下, 依然有 5%~10% 的儿童在接受支气管镜检查时出现低氧血症^[9-10]。产生这一现象的主要原因包括麻醉引起的上气道阻塞, 以及检查器械通过鼻腔、声门及其下方空间时造成的气道阻塞。此外, FB 引起的局部气道阻塞可能导致通气与血液灌注不匹配, 气体通过 FB 吸入可能导致部分肺叶肺不张。肺泡内的麻醉溶液或灌洗液也可能诱发低氧血症发生^[8]。特别是婴儿

气道存在纤细、黏膜娇嫩等特点, 在接受支气管镜检查时更容易出现黏膜水肿和气道狭窄。使用镇静剂或麻醉药物可能会进一步抑制呼吸功能。根据 Abulebda 等^[11] 的研究, 婴儿在支气管镜检查中出现短暂性低氧血症的比例为 46%, 这一比例明显高于幼儿 (6%) 和儿童 (7%)。本研究中, 婴儿在检查过程中低氧血症的发生率高达 62%。目前对于支气管镜相关低氧血症的发生率和严重程度报告存在不一致, 这些差异可能源于对低氧血症的定义、测量方式、持续时间的差异, 不同的数据收集方法, 以及患儿群体之间的差异。

TPR 通过提供恒定且精确的 PEEP, 有助于在呼气阶段维持肺部的开放状态, 避免肺萎陷。此外, TPR 通过建立功能残气量并调节可控的 PIP, 有效避免肺损伤。因此, 相较于传统的 NC 方法, TPR 提供了更高级别的呼吸支持, 并进一步保护肺部。目前, TPR 主要应用于早产儿及新生儿的正压人工呼吸中, 但其使用说明已明确指出, 该技术适用于体重 450 g 至 10 kg 的婴儿^[4]。本研究对 42 例接受 FB 检查的婴儿进行随机对照试验。结果发现, 在 FB 检查过程中, 使用 TPR 的婴儿术中最低 SpO₂ 明显高于使用传统 NC 的婴儿, 且重度低氧血症发生率显著降低, 表明 TPR 可有效减少低氧血症的发生并改善缺氧严重程度。另一方面, 改良 TPR 组术中呼吸节律异常发生率也显著低于 NC 组, 因此, 我们推测低氧血症可能是导致支气管镜检查过程中呼吸节律异常的重要原因。

在 FB 检查中如何有效地运用氧合技术目前仍

存在争议。有学者认为, 预防内窥镜检查中低氧血症的关键可能在于吸入气体的氧含量, 而非气体流速^[12]。然而, 本研究发现, 尽管两组婴儿接受的氧浓度相同, 使用高流量的改良 TPR 组低氧血症的发生率远低于 NC 组, 表明气体流速在预防低氧血症中起着至关重要的作用。虽然有创机械通气辅助支气管镜检查及喉罩连接麻醉机已在临床中使用, 但这些操作不仅耗时且技术要求高, 需要经验丰富的医护人员进行操作和监护, 通常不会直接用于非危重患儿。相比之下, TPR 技术在操作上没有增加额外的复杂性和检查难度。因此, 由于其良好的耐受性、易操作性和安全性, TPR 在 FB 检查中显示出更高的实用性。

综上, 本研究发现在支气管镜检查期间, 使用 TPR 的婴儿术中 SpO₂ 明显改善。TPR 不仅在 FB 检查过程中提供了更优化的氧合效果, 而且还展示了良好的耐受性和易用性。因此, TPR 可以被考虑用于婴儿支气管镜检查中。但本研究仍存在一些局限性。首先, 目前对于婴儿低氧血症的定义并不统一, 需要更大样本量的试验来确认 TPR 在改善低氧血症方面的效果。其次, 关于儿童支气管镜检查期间最安全的镇静药物仍存在不确定性, 不同的镇静镇痛方案也可能对 SpO₂ 产生影响。再次, 本研究未能监测除 SpO₂、心率、呼吸以外的其他生理指标, 如动脉血二氧化碳分压或潮气量, 因此 TPR 对这些参数的影响尚不清楚。最后, 本研究的观察仅限于接受支气管肺泡灌洗婴儿的低氧血症发作, 未能在其他类型的支气管镜操作中评估 TPR 的潜在益处。

作者贡献声明: 宁俊杰负责设计试验、分析/解释数据、撰写论文, 左智慧、喻志东、李雪梅负责实施研究及采集数据, 乔莉娜负责对文章的知识性内容作批判性审阅、指导。

利益冲突声明: 所有作者声明无利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Arwas N, Goldbart A, Aviram M, et al. Flexible bronchoscopy in pediatric patients with Down syndrome: a case-control study of the indications, findings, and complications[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2023, 58(6): 1658-1664. PMID: 36811243. DOI: 10.1002/ppul.26371.
- [2] Schnapf BM. Oxygen desaturation during fiberoptic bronchoscopy in pediatric patients[J]. *Chest*, 1991, 99(3): 591-594. PMID: 1995213. DOI: 10.1378/chest.99.3.591.
- [3] Patolia S, Farhat R, Subramaniyam R. Bronchoscopy in intubated and non-intubated intensive care unit patients with respiratory failure[J]. *J Thorac Dis*, 2021, 13(8): 5125-5134. PMID: 34527353. PMCID: PMC8411155. DOI: 10.21037/jtd-19-3709.
- [4] Hinder M, Tracy M. Newborn resuscitation devices: the known unknowns and the unknown unknowns[J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2021, 26(2): 101233. PMID: 33773952. DOI: 10.1016/j.siny.2021.101233.
- [5] Drevhammar T, Falk M, Donaldsson S, et al. Neonatal resuscitation with T-piece systems: risk of inadvertent PEEP related to mechanical properties[J]. *Front Pediatr*, 2021, 9: 663249. PMID: 34164358. PMCID: PMC8215339. DOI: 10.3389/fped.2021.663249.
- [6] 国家卫生健康委员会人才交流服务中心儿科呼吸内镜诊疗技术专家组, 中国医师协会儿科医师分会内镜专业委员会, 中国医师协会内镜医师分会儿科呼吸内镜专业委员会, 等. 中国儿科可弯曲支气管镜术指南(2018年版)[J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2018, 33(13): 983-989. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-428X.2018.13.006.
- [7] Takzare A, Ariana P, Malekianzadeh B, et al. Comparing topical administration of lidocaine alone and in combination with alfentanil in children undergoing bronchoscopy[J]. *J Family Med Prim Care*, 2021, 10(3): 1332-1335. PMID: 34041174. PMCID: PMC8140266. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_1719_20.
- [8] Sharluyan A, Osona B, Frontera G, et al. High flow nasal cannula versus standard low flow nasal oxygen during flexible bronchoscopy in children: a randomized controlled trial[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2021, 56(12): 4001-4010. PMID: 34506689. DOI: 10.1002/ppul.25655.
- [9] Carlens J, Fuge J, Price T, et al. Complications and risk factors in pediatric bronchoscopy in a tertiary pediatric respiratory center[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2018, 53(5): 619-627. PMID: 29393584. DOI: 10.1002/ppul.23957.
- [10] DeBoer EM, Prager JD, Kerby GS, et al. Measuring pediatric bronchoscopy outcomes using an electronic medical record[J]. *Ann Am Thorac Soc*, 2016, 13(5): 678-683. PMID: 26816220. PMCID: PMC6137899. DOI: 10.1513/AnnalsATS.201509-576OC.
- [11] Abulebda K, Abu-Sultaneh S, Ahmed SS, et al. Intensivist-based deep sedation using propofol for pediatric outpatient flexible bronchoscopy[J]. *World J Crit Care Med*, 2017, 6(4): 179-184. PMID: 29152464. PMCID: PMC5680344. DOI: 10.5492/wjccm.v6.i4.179.
- [12] Li J, Scott JB, Lee JH. Defining the optimal role of high-flow nasal cannula in pediatric procedural sedation[J]. *Pediatr Pulmonol*, 2020, 55(12): 3225-3227. PMID: 33048458. DOI: 10.1002/ppul.25105.

(本文编辑: 王颖)

(版权所有©2023 中国当代儿科杂志)