

## 婴幼儿和儿童的单肺通气技术

加达 菲茨杰拉德, 医学博士

临床麻醉专科培训医师, 波士顿儿童医院, 美国

法耶 埃文斯, 医学博士

围手术期麻醉助理, 波士顿儿童医院, 美国

编辑: 凯特 威尔逊博士和和安东尼 布拉德利博士

通讯邮箱: [atotw@wfsahq.org](mailto:atotw@wfsahq.org)



### 问题

在继续下面辅导之前, 试着回答下面的问题。这些问题可以在文章的末尾找到解答。判断每个选项的对错:

#### 1. 与年龄较大的儿童和成人相比, 关于侧卧位对婴幼儿的影响:

- 在婴幼儿侧卧位时, 无论是自主呼吸还是控制呼吸, 位于下侧的健侧肺均有最佳的V/Q比值。
- 婴儿有一个高度可压缩的胸腔, 因而可导致下侧肺的肺不张。
- 与成年人相比, 婴儿上侧肺和下侧肺之间静水压力梯度是升高的。
- 与成年人相比, 婴儿侧卧位发展为严重低氧血症的风险更大。

#### 2. 关于采用单腔气管内导管方法(经主支气管插管)以实现婴幼儿和儿童的肺隔离:

- 它可对术侧肺提供吸引和CPAP。
- 它可对术侧肺予以可视化支气管镜检查。
- 它不需要额外的特殊设备。
- 与支气管阻塞导管或双腔支气管导管相比, 它有更好的密封支气管功能。

#### 3. Regarding the use of bronchial blockers in pediatric patients:

- 支气管阻塞导管可以放置在气管导管的内部或外部。
- 支气管阻塞导管可以放置的最小导管是内径为5mm的气管内导管。
- 使用支气管阻塞导管, 转换回双肺通气是困难的。
- 支气管阻塞导管的移位是非常罕见的。

### 关键点

- 与传统的双肺通气相比, 肺隔离技术为胸外科手术提供了更好的手术条件。
- 由于生理差异, 与年龄较大的儿童和成人相比, 婴儿在侧卧位更易发生低氧血症。
- 小儿肺隔离可选方法有: 经主支气管插管, 支气管阻塞导管, Univent 管和双腔支气管导管。
- 单肺通气导致很大的肺内分流, 因此某种程度的低氧饱和度是可预料的。

### 介绍

在过去几十年中, 随着技术的发展和手术设备的进步, 婴幼儿和儿童的胸科手术取得显著进步, 尤其是在微创方法领域。

小儿气道设备也有相同的进展, 包括小儿相应尺寸的支气管阻塞导管、Univent 管、双腔管的出现和发展。它们为甚至小到足月新生儿的患儿提供了肺隔离的可能。尽管这个肺隔离技术能力正日益扩展, 但在临床应用上仍存在显著的地区差异, 一些中心可以为大多数的婴幼儿和儿童胸腔手术施行肺隔离技术, 而有些中心则很少实施肺隔离。尽管开放和微创胸科手术也可以在没有肺隔离技术下成功完成, 但患侧肺放气萎陷则能提供更好的手术条件和良好的胸部组织结构可视化。对任何施行这类患者手术的麻醉医生来说, 理解小儿患者不同肺隔离技术显得非常重要。

## 可能需要肺隔离手术的胸部疾病

### 新生儿和婴幼儿

新生儿时期可以出现众多的先天胸腔畸形，而且需要手术干预。例如包括气管狭窄、肺隔离症、先天性膈疝、食管气管痿、先天性大叶性肺气肿以及血管环畸形等。虽然大多数这些疾病可以通过产前超声诊断，但对没有进行产前检查护理的产妇来说，这些问题往往在分娩后变得明显，分娩出的新生儿呈现严重的呼吸窘迫。

### 儿童和青少年

与新生儿相反，儿童和青少年时期发生的胸部疾病通常伴有感染、恶变和肌肉骨骼畸形的出现。出现在这个年龄组中最令人担心的疾病之一是前纵隔肿块，因其存在全身麻醉后气道完全受压及心血管功能衰竭的潜在并发症。不管基础病理如何，了解病人的基本解剖以及由于肿块或畸形引发的结构变形如何影响呼吸和心脏生理功能，这对麻醉医师而言是至关重要的（参见 ATOTW 教程320：前纵隔肿块的小儿麻醉）

### 婴幼儿和儿童单肺通气和侧卧位的生理学

在直立位自主呼吸患者，由于重力因素，肺的下侧区域通气和灌注（V/Q）是最大的。其通气和灌注匹配良好，允许最大的氧合。然而，胸科手术期间，一些因素损害了这种关系，导致显著 V/Q 比值失调并容易引发低氧血症。这些因素包括：

1. 功能残气量（FRC）减少。例如全身麻醉、神经肌肉阻滞剂或机械通气。
2. 手术操作压缩或单肺通气，导致术侧肺塌陷。
3. 吸入麻醉药和其他麻醉药引起的缺氧性肺血管收缩（HPV）的削弱。

在婴儿、儿童和成人之间，开胸手术 V/Q 比值的这种改变是相似的。

### 侧卧位的影响

与年龄较大儿童和成人相比，婴儿（<12 月龄）侧卧位时发生的生理改变是显著不同的。对患有单侧肺疾病的年龄较大儿童和成人来说，当其“健康”侧肺处于下方位的侧卧位时，V/Q 比值是最优的。该理论适用于自主呼吸和控制通气。由于重力因素，这种体位导致“健康”的下方位侧肺的灌注增加；病变、上方位侧肺的灌注降低。由于病侧肺的基本通气功能已被削弱，这种倾斜分布使得血液从病侧肺流走，产生最佳的 V/Q 分配比值。

然而，侧卧位对婴儿的肺生理有显著不同的作用。对患有两肺不对称性病变（asymmetric lung disease）的婴儿来说，提供最佳氧合的体位是健侧肺在上方位。但不幸的是这与手术所需位置相反。对于这种婴儿与年龄较大儿童/成人间所观察到的肺生理差异，其原因主要有以下三个：

1. 婴幼儿有容易压缩的胸廓，不能完全支撑受压的下方侧肺。这一解剖学特征使得婴幼儿在正常潮式呼吸下有引发下方侧肺发生肺不张倾向。

2. 由于婴儿尺寸小，与年龄较大儿童和成人相比，他们下方侧和上方侧肺之间的流体静压梯度减小。因此，位于下方的通气侧肺的血流灌注优势被减小。

3. 在年龄较大儿童和成人中，下方侧的膈肌由于受到腹部静水压力的“负荷加载”而具有机械优势。而这种压力梯度在婴儿显著降低，因此使得下方侧膈肌的功能优势减少。

基于上述原因，与年龄较大儿童和成人相比，婴儿侧卧位手术中发生低氧血症的风险显著较高<sup>3, 6</sup>。

## 婴幼儿和儿童的肺隔离技术

### 人工手动压缩肺叶

由外科医生通过开胸术对术侧肺进行人工手动压缩肺叶，是婴幼儿行胸科手术时获得适当暴露的一种常用方法。这种方法允许使用标准气管内导管行常规双肺通气。人工手动压缩肺叶也可以在胸腔镜手术（Video Assisted Thoracoscopic Surgery, VATS）中使用，允许双肺通气。然而单肺通气是更理想的，因为它能获得更好的胸腔组织结构视野，为视频设备的安全放置提供更大的空间，并减少因使用拉钩而致肺损伤的发生率<sup>7</sup>。

### 单肺通气技术

#### 单腔气管内导管

使用单腔气管内导管（ETT），被视为是最简单的获得肺隔离的方法。它放置的技术非常简单，可以通过标准气管插管设备完成。利用这种技术，气管导管被推进到肺的主支气管，然后进行通气，直至术侧肺呼吸音消失。气管导管可以盲进，或可用纤维支气管镜引导或确认定位。右主支气管与气管的倾斜角度明显小于左侧（分别为 25 度与 45 度），使得右侧主支气管插管技术更容易。当尝试将 ETT 推进入左主支气管时，气管导管的斜角应向左旋转 90-180 度，病人的头部应该转向右侧，这有助于对齐气管和左主支气管。当使用带套囊气管导管时，导管的头端至近侧套囊的距离必须短于支气管的长度，以确保整个套囊在支气管内，同时上叶开口不被阻挡。

单腔气管内导管技术的优点	单腔气管内导管技术的缺点
无需其他特殊气道设备（纤支镜等）	难以获得足够的支气管密封，尤其是当如果使用较小无套囊气管内导管的时候。术侧肺可能保持部分膨胀，而非手术侧、正常肺则易受污染，如出血或感染
因其操作简单、易于建立，可作为紧急情况下的选择	无法为手术侧肺提供吸引或 CPAP
	上叶支气管可能被阻塞，特别是当施行较短的右主支气管插管时
	从单肺过渡到双肺通气时需要较为麻烦的操作，如果是在术中需要进行转换同时患者气道存在困难，则很具有挑战性

## 头端带套囊的支气管阻塞导管

有多种头端带套囊的支气管阻塞导管可供选择，包括 Arndt 支气管阻塞导管（图 1）、Fogarty 取栓导管、Cohen 支气管阻塞导管，Coopdech 支气管阻塞和 EZ 阻塞导管。尽管每种阻塞导管之间略有差异，但对于肺隔离的总体结构和技术是相似的。该阻塞导管被放置在单腔气管导管内或紧邻旁边，并在纤维支气管镜直视下向手术侧肺的主支气管推进。然后在直视下套囊充气以确保阻塞导管的合适位置及支气管的密封。

在美国，最常用于小儿患者的一种导管是 Arndt 支气管阻塞导管。其放置技术步骤描述如下：

1. 单腔气管内导管放置到气管中段位置。
2. 阻塞导管通过多端口适配器放置。
3. 纤维支气管镜通过多端口适配器放置，并通过阻塞导管引导线环前进。
4. 将纤维支气管镜和阻塞导管一同推进到被阻塞侧肺（A）。
5. 一旦进入一侧主支气管，退出支气管镜，并在直视下给套囊充气（B）。
6. 纤维支气管镜完全移除。
7. 撤回引导线环，以便有前端开口的阻塞导管可用于吸引或 CPAP。

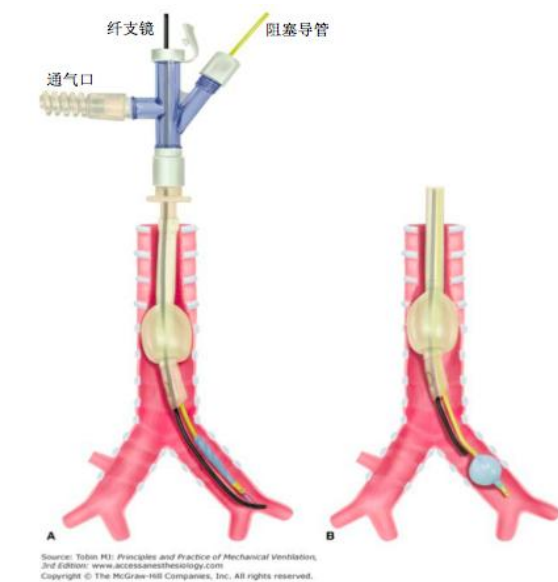


图 1: Arndt 支气管阻塞导管通过纤维支气管镜（A）放置的展示，随后在直视下给套囊充气（B）

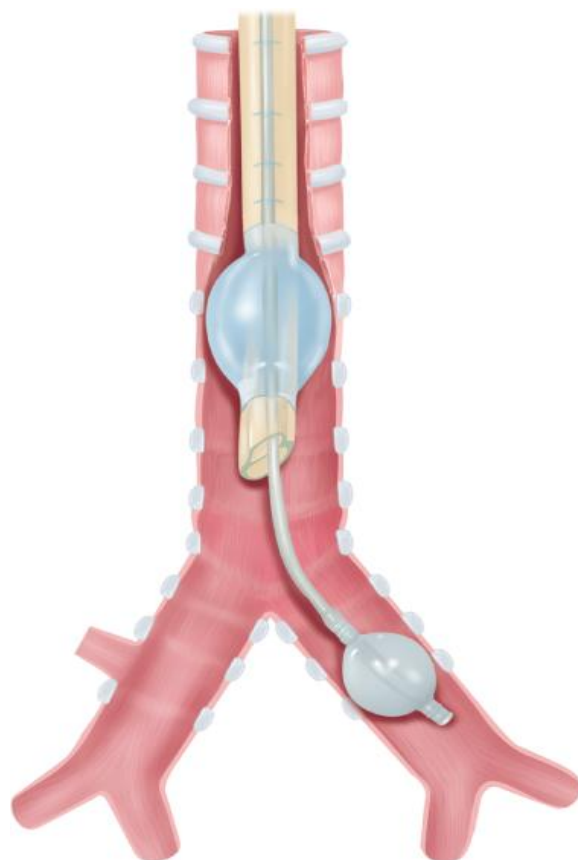
Arndt 支气管阻塞导管可用的最小型号是 5F，外径为 2.5mm。可用的最小的纤维支气管镜通常是 2.2mm 左右。因此通过该阻塞导管可以放置的最小气管内导管（ETT）为 ID 5mm。对于需要更小气管内导管的小儿患者，阻塞导管可以放在单腔 ETT 外部。

支气管阻塞导管的优点	支气管阻塞导管的缺点
与单腔气管内导管经主支气管插管相比，支气管堵塞导管可以完全密封支气管，提供更好的肺萎陷从单肺到双肺通气的过渡很简易	支气管阻塞导管可移位到气管，阻碍两肺的通气，造成急性低氧血症 许多阻塞导管“头端闭合”，不能对术侧肺进行吸引或 CPAP 对经验有限者，导管到位具有挑战性

## Univent 管

Univent 管采用了与支气管阻塞导管类似的肺隔离方法。然而其导管的结构略有不同。Univent 管由标准气管内导管与直接连接到它一侧的附加内腔组成（图 2）。该侧内腔可将一个尖头气囊导管推进到支气管内，并用作支气管阻塞导管。气管内导管的内径和整个 Univent 管总外径之间存在较大的差异（即：3.5mm 内径的 Univent 管，具有 7.5-8.0mm 的外部总横截面直径），这导致气流高阻力。

**图 2:** Univent 气管内导管及其支气管阻塞导管的位置示意图。注意 Univent 管的附加内腔，通过它可以 将尖头气囊的支气管阻塞导管推进。



Source: Tobin MJ: *Principles and Practice of Mechanical Ventilation, 3rd Edition*: www.accessanesthesiology.com  
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. All rights reserved.

Univent 导管的优点	Univent 导管的缺点
与标准支气管阻塞导管相比，Univent 管阻塞导管的定位更安全。因为它固定于主气管导管，因此，阻塞导管的移位较少见 大多数 Univent 阻塞导管末端有开口，允许术侧肺行吸引或 CPAP	Univent 导管的阻塞导管气囊属于低容高压特性，可导致粘膜损伤 阻塞导管通道占用较大的横截面面积，导致气流高阻力

## 双腔气管导管（DLTS）

双腔气管导管由两个不同长度的带套囊的导管组成一体（图 3）。较短导管的末端在气管内，而较长导管的末端可在任一支气管内。双腔管放置技术较为简单。当导管前端通过声带后，将管芯移除，然后将导管旋转 90 度，以到达适当的一侧，并进一步推进到支气管直到遇到阻力。通过听诊法和纤维支气管镜检查核实导管位置。近年来，已可获得更小尺寸的双腔管。目前最小的是 26F，可以在 8 岁以上患儿中使用。



**图 3:** 双腔气管导管 (DLT) 示例, 展示其气管内和支气管内套囊的充气, 附加展示连接器和吸引导管。

双腔气管导管的优点	双腔气管导管的缺点
左侧双腔管易于放置  术侧肺能够吸引并应用 CPAP 术侧肺可以直视	右侧双腔管较难放置以保证右肺上叶支气管无堵塞

如果术后需要机械通气, DLT 一般需更换为单腔气管导管。这对已知有困难气道或者因长时间手术而气道可能有水肿的患者来说是一个显著的缺点, 因为再次插管充满挑战。

## 单肺通气导管的型号

下表根据婴儿或儿童的年龄列举每个上述提及技术推荐的导管大小。然而, 如同所有的设备一样, 同龄患者之间选择的正确型号将会有所差异, 所以具有一定范围可选型号是不可避免的。

年龄 (yr)	气管内导管 (ID) *	支气管阻塞导管 (F)	Univent 管 <sup>1</sup>	双腔气管导管 (F)
0.5-1	3.5-4.0	2 <sup>‡</sup>		
1-2	4.0-4.5	3 <sup>‡</sup>		
2-4	4.5-5.0	5 <sup>§</sup>		
4-6	5.0-5.5	5 <sup>§</sup>		
6-8	5.5-6.0	5 <sup>§</sup>	3.5	

8-10	6.0 带套囊	5 <sup>§</sup>	3.5	26 <sup>  </sup>
10-12	6.5 带套囊	5 <sup>§</sup>	4.5	26-28 <sup>  </sup>
12-14	6.5-7.0 带套囊	5 <sup>§</sup>	4.5	32 <sup>  </sup>
14-16	7.0 带套囊	5, 7 <sup>§</sup>	6.0	35 <sup>  </sup>
16-18	7.0-8.0 带套囊	7, 9 <sup>§</sup>	7.0	35, 37 <sup>  </sup>

注: \* Sheridan 气管导管, 美国 Hudson RCI 公司, † 日本富士公司, ‡ 爱德华公司, §Cook 公司, || 柯惠公司。

引用自: Cote C, Lerman J, Anderson BJ. Chapter 13: Anesthesia for Thoracic Surgery. *A Practice of Anesthesia for Infants and Children 5th Edition*. Elsevier Saunders. 277-290. Philadelphia, PA. 2013.

## 单肺通气低氧血症的解决方案

单肺通气时, 由于非通气侧肺血流仍在灌注而无氧合, 引发大量的肺内分流。因此, 可以预见的是可能会发生某种程度的低氧饱和度。与两侧都是健康肺的患者相比, 手术侧肺患有慢性疾病的患者能耐受单肺通气的程度往往较好。对手术侧肺患有慢性疾病的患者来说, 灌注到病变肺的血流长期的减少, 优先地引导至健康肺。因此, 当启动单肺通气时, 产生的肺内分流比例较小。

在发生低氧血症的情况下, 应有有条不紊的评估寻求潜在的原因。以下几点是单肺通气期间用于评估和治疗低氧血症的基本步骤, 可以按顺序进行评估:

1. 给患者吸入 100% 纯氧。
2. 通过听诊呼吸音或通过纤维支气管镜检查 (如果有) 来评估导管或阻塞导管的位置。导管或阻塞导管的位置应在患者每次体位改变后再次进行验证。
3. 上方侧肺应用 CPAP。5-10mmHg 水平的 CPAP 通常不干扰手术操作, 将有助于减少分流。
4. 下方侧肺应用低水平的 PEEP。避免高水平 PEEP, 因增加胸腔内压力, 可使血流从下侧肺流出。
5. 通过软的吸痰管沿导管向下吸引, 以确保没有分泌物引起导管阻塞。
6. 最后, 如果采取了上述步骤后低氧血症仍存在, 应告知外科医生手术侧肺需要重新通气。

## 问题的答案

### 1.

- a) **错:** 在侧卧位时, 婴幼儿健侧肺位于上方侧位置时 V/Q 比值最佳。
- b) **对**
- c) **错:** 与成年人相比, 婴幼儿上侧肺和下侧肺之间静水压力梯度较低。
- d) **对**

### 2.

- a) **错:** 使用单腔气管内导管技术, 无法向术侧肺提供吸引和 CPAP。
- b) **错:** 使用单腔气管内导管技术, 无法向术侧肺提供可视化方法。
- c) **对**
- d) **错:** 与支气管阻塞导管或双腔支气管导管相比, 单腔气管内导管提供较差的密封支气管功能。尤其当使用更小号、无套囊的 ETT 时。

### 3.

- a) **对**
- b) **对**
- c) **错:** 对使用支气管阻塞导管者, 单肺通气过渡到双肺通气是简单的。将阻塞导管气囊放气, 阻塞导管轻松从气道里退出, 即可行双肺通气。
- d) **错:** 支气管阻塞导管放置后的移位状况较常见。如果它们向近侧移位, 可因充气的阻塞导管气囊堵塞气管导致无法通气, 造成完全的气道梗阻及通气障碍。

温州医学院附属第二医院  
翻译 审校: 潘丽娜 上官王宁

## 参考文献和拓展阅读

1. Bair AE, Doherty MJ, Harper R, Albertson TE. An Evaluation of a Blind Rotational Technique for Selective Mainstem Intubation; *Academy of Emergency Medicine*; 2004; Vol 11; 1105-1107.
2. Bird GT, Hall M, Nel L, Davies E, Ross O. Effectiveness of Arndt endobronchial blockers in pediatric scoliosis surgery: a case series, *Pediatric Anesthesia*; Vol 17; 289-294.
3. Cote C, Lerman J, Anderson BJ. *A Practice of Anesthesia for Infants and Children 5<sup>th</sup> Edition*. Elsevier Saunders. 277-290. Philadelphia, PA. 2013.
4. Cohen DE, McCloskey JJ, Motas D, Archer J, Flake AW. Fluoroscopic-assisted endobronchial intubation for single-lung ventilation in infants; *Pediatric Anesthesia*; 2011; Vol 21; 681-684.



5. Fabila TS, Menghraj SJ. One lung ventilation strategies for infants and children undergoing video assisted thoracoscopic surgery; *Indian Journal of Anaesthesia*; 2013; Vol 57 Issue 4; 339-344.
6. Hammer GB. Single-lung ventilation in infants and children. *Pediatric Anesthesia*; 2004; Vol 14; 98-102.
7. Hammer GB. Pediatric Thoracic Anesthesia. *Anesthesia & Analgesia*; 2001; Vol 92; Issue 6; 1449-1464.
8. Hammer GB, Fitzmaurice BG, Brodsky JB. Methods for Single-Lung Ventilation in Pediatric Patients. *Anesthesia and Analgesia*; 1999; Vol 89; 1426-1429.
9. Shah R, Reddy AS, Dhende NP. Video assisted thoracic surgery in children. *Journal of Minimal Access Surgery*; 2007; 3(4); 161-167.
10. Tobin, M. *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*. McGraw Hill. 2013.
11. Scrace B, McGregor K. Anterior mediastinal masses in paediatric anaesthesia. *Anaesthesia Tutorial of the Week*; Tutorial 320; 2015. Available at <http://www.wfsahq.org/resources/virtual-library>

Images in this tutorial have been reproduced with kind permissions from Smiths Medical ASD and McGraw-Hill Educational Materials



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>