

# 气道火灾

**Patrick Ward 博士**

香港玛丽医院临床助理教授

编辑

**Dr. Clara Poon<sup>1</sup> and Dr. Maytinee Lilaonitkul<sup>2</sup>**

1 香港玛丽医院 麻醉顾问

2 加州大学旧金山分校助理教授

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



16<sup>th</sup> May 2017

## 问题

在继续阅读之前，请尝试回答以下问题。文后有答案，并附解释。请回答“是”或“否”：

1. 在进行气道手术时，使用以下操作可能会引起安全隐患：
  - a. 患者使用备用氧源
  - b. 笑气作为运载气体输送给患者
  - c. 氮气作为运载气体输送给患者
  - d. 输送气体的环路为开放式环路
  - e. 二氧化碳靠近患者或者外科操作区域
2. 立即处理气道火灾：
  - a. 第一步撤离手术室
  - b. 应该在手术区域进行人工施压灭火
  - c. 一旦火被熄灭，应该使用高流量的 100%纯氧进行输入，直到气道控制重新建立
  - d. 麻醉医生完全负责移除通气设备
  - e. 如果初次尝试灭火不成功，应尝试含水灭火器
3. 与气道火灾有关的发病率和死亡率：
  - a. 损伤仅限于直接手术区域和临近气道
  - b. 胸部 X 光检查是对所发生的损伤程度的评估方式
  - c. 尽管在气道火灾期间损伤严重，但死亡率较低
  - d. 建议维持患者气管插管和肺部机械通气，以便对重症监护室进行进一步评估
  - e. 激光气道手术期间使用专门设计的激光气管插管可防止气道火灾

## 要点

- 气道火灾很少发生，但后果极其严重
- 发生气道火灾最主要的原因是在喉或者气管内使用备用高浓度的氧源、电刀或激光
- 预防气道火灾取决于麻醉医生、外科医生和护理人员共同努力
- 有效的管理取决于角色明确之后的立即、协调行动和提前准备

## 介绍

气道火灾是在患者的气道内，或涉及气道装置或呼吸回路发生的火灾。

根据 2013 年 ASA 工作组，手术室的火灾（气道或非气道相关）是较罕见的事件，据报道，美国每年的发生率为 50 至 200 例<sup>1</sup>。由于停止使用以前的易燃麻醉药（醚和环丙烷 2）气道火灾并不常见，尽管它们的存在很短暂，但具有潜在造成患者严重的发病率和死亡率的风险<sup>3</sup>。

## 病原学

发生气道火灾，有三个基本要素：

1. 火源
2. 氧化剂
3. 助燃剂

## 火 源

包括耳鼻喉手术中使用的电刀和激光。其他潜在的来源是静电、加热探针、钻头和磨钻，氩气刀、纤维光源和电缆，以及除颤器垫和手柄。

## 氧化剂

通过闭合或半闭合呼吸回路输送的麻醉气体中使用备用氧气或笑气在患者呼吸道和呼吸器内产生富含氧化剂的环境。从而增加了燃烧的可能性和强度<sup>1</sup>。如果使用开放呼吸回路（如面罩或鼻插管）或者不适当地铺手术单导致氧气聚集并使其接近手术部位和潜在火源。在 18 例气管切开术的病例回顾中，全部与使用备用氧源有关。

## 助燃剂

气道火灾最常见燃料来源是气管内导管，其次是手术单<sup>4</sup>。其他来源包括替代气道装置、呼吸回路、废气管、吸引管、引流管、手术包、敷料、脱脂棉、海绵和纱布。

一些手术本质上就存在风险，因为三种致燃元素不可避免。比如手术气管切开术，一旦创建气管孔，外科手术区域变得富氧化<sup>5</sup>。从病例报告<sup>1</sup>总结具体危险因素包括高浓度氧吸入（重症监护病人维持足够的氧合）、使用电刀特别是切割气管<sup>5</sup>，以及存在深层软组织，如传热的脂肪组织会在足够热的情况下燃烧<sup>1</sup>。气道和声带激光手术也是特别危险的，因为有火源（激光）、富氧环境（输送给患者的空气—氧气混合物）和燃料（气管内管或呼吸回路）<sup>6</sup>。

## 发病率和死亡率

大多数气道火灾是短暂的，但对患者伤害很大，而且往往被低估。对上呼吸道粘膜直接损伤很常见，但是较低的气管支气管也可被广泛烧伤，特别是如果在气管切开术时气管孔通气，这种损伤易使患者：

- 感染
- 损失水分和电解质
- 热损失（与受影响组织的表面积相关）
- 气道阻塞威胁生命
- 燃烧材料（特别是塑料<sup>5</sup>）释放的毒素造成严重的吸入性损伤和广泛的肺浸润

气道火灾后患者预后取决于火灾和受伤的程度。这可能涉及微不足道的损害，也可需要重症监护，进一步需大量整形外科手术（例如气管和支气管分支狭窄），有时甚至导致直接或间接死亡。

## 预防气道火灾

关键是预防，因此麻醉、外科和护理队应该提高警惕、识别高风险诱因、立即采取的行动、制定合适的策略和尽量减少风险。

### 1. 去除火源

所有手术室人员必须警惕潜在的火源，并在设置电气设备时采用安全措施。所有光源电缆（如光纤）应在启动前固定，所有电气设备应在不使用或断开连接时处于待机模式。

#### 关于安全使用电刀：

- 除绝对必要时应尽可能使用最低有效电压<sup>8</sup>
- 电切模式会导致更高的风险，因其比电凝模式<sup>9</sup>产生更高的温度
- 由于单极电切漏电风险较大，因此双极优于单极电切。然而，由于存在电极—组织界面处的电弧，双极仍然可能着火<sup>10</sup>
- 气管切开术时应避免使用电刀—手术刀，剪刀或超声刀更安全<sup>11</sup>
- 避免吸入氧浓度高于 50%<sup>5</sup>
- 应由单人操作

#### 关于安全使用手术激光：

- 输出应在最低临床有效功率密度和脉冲持续时间
- 活动提示应为：
  - 随时可见
  - 激活远离支气管和气管
  - 从手术部位移除前停用
  - 不使用时，放置在远离患者的保护套中
- 手术器械和周围的表面应该是非反射的（无光泽的）以致力于以激光束最小化反射

### 2. 避免充满氧化剂的环境

#### 易燃气体

由于一氧化二氮像氧一样易燃，应避免使用<sup>1</sup>。

#### 辅助供氧

即使在手术室内维持安全的氧合水平，也应避免辅助供氧。当必须辅助供氧时（例如在大多数重症监护病人接受手术气管切开术），应使用最低吸入氧浓度，首先从 25% 开始，并根据需要合理上调<sup>6</sup>。较低的氧浓

度可延长点燃手术单的时间<sup>12</sup>。通常情况下，这可以通过调节吸入氧/空混合比来实现。与氮气相比，氦气可以降低任何给定氧气浓度的点燃风险<sup>13</sup>。

理想情况下，在使用电刀或激光之前至少要停止辅助供氧 1 分钟，这需要外科医生和麻醉医生之间进行良好沟通。使用金属吸引装置可以吸走口咽部的气体，需要高流量辅助供氧的患者的在术野可以充满二氧化碳。

## 气管插管与气囊

通过封闭或安全气道输送补充氧优于开放气道。据证实电刀引发的火灾与未应用气管插管而引起气体泄漏有关<sup>14</sup>，因此应尽量选择放置具有良好密封性的气管插管。

在大多数非气道手术中，气囊应充气至尽可能低的体积，以避免气体泄漏为宜。然而，在涉及使用电刀或激光治疗气道的高风险手术中，应谨慎确保气囊压力充足，防止氧气泄露至术野，特别是当吸气通气压力高时，这在危重病人需要气管切开术中并不罕见<sup>1</sup>。

还应努力避免气管切开术中激光束或手术刀不小心刺破气囊。这可以通过让气管插管气囊和声带之间保持足够距离来避免，使得气管插管尖端在气管中位置比通常放置更深入，同时保持与气管隆突的安全距离<sup>15</sup>。另外，气囊可以用生理盐水填充，以避免在气囊刺破后气体引燃<sup>16</sup>。

## 手术部位铺单

必须特别注意手术单，避免在手术部位附近氧气聚集。一种方法是使用特殊设计的贴面切口将切口部位与大气隔离开来。另一个方法是在病人的其余部分敞开放置术单，以减少氧气的聚集<sup>17</sup>。此外，空气可以分开输送（以每分钟 5 到 10 升的速度），以清除术单下聚集的氧气。

## 3. 清除潜在的燃料

人工气道装置是气道火灾的助燃剂，因此尽可能让患者在手术室内自主呼吸，或者使用替代的通气方法，例如声门上/声门喷射通气或间歇性呼吸暂停术（但是无人工气道通气也存在缺点）。

## 气管插管

虽然没有任何一种气管插管能彻底防止气道火灾<sup>18</sup>，但可以通过仔细选择插管来尽可能降低风险。聚氯乙烯（PVC）制成的插管比橡胶或硅胶更易于燃烧<sup>19</sup>。对于气道激光手术，有几种专门设计的激光防护管，包括双套管如 Mallinckrodt Laser-Flex™（其具有充满盐水的近端气囊，用亚甲基蓝着色提示外科医生破裂风险，以及第二个气囊以维持安全气道）和 Bivona Fome-Cuff®（其海绵气囊即使在破裂情况下也能保持密封）。替代这些特殊设计插管廉价方案是利用金属箔片包裹插管，例如。Sheridan Laser-Trach®气囊在这种情况下仍然很脆弱<sup>6</sup>。

## 其他措施

降低点燃风险的其他步骤包括：

- 擦净任何聚集或溅出的易燃溶剂

- 在铺单之前使用酒精溶剂消毒的皮肤应完全干燥
- 将水溶性凝胶应用于患者的面部毛发和头发
- 用水或生理盐水浸棉球，纱布和咽喉麻醉包
- 保持伤口引流，包装和敷料，吸引导管，呼吸回路，鼻插管和扫气管离术野越远越好。

## 管理

气道火灾的有效管理取决于麻醉师、外科医生和护理人员的即时协调行动。手术室人员应积极主动，尽到自己的职责，不要等他人采取行动。预先确定的行动顺序可防止对患者和工作人员造成重大伤害。有效的管理步骤包括：

### 1. 保持警惕

早期认识气道火灾至关重要。病例报告描述的早期迹象包括：火苗或电光，异常声音（噼啪声或咔嚓声），气味，烟雾或热气，通气回路和手术铺单的意外活动或变色，以及患者特殊活动<sup>1</sup>。

### 2. 立即协调应对

协调响应包括以下内容：

- 发现起火的人员必须立即大声通知
- 外科医生应立即停止手术（关掉激光和电刀），并清除任何气管插管或其他气道装置
- 麻醉医生应断开呼吸回路（暂时）停止气道通气
- 另一名医护人员应用无菌盐水或水扑灭明火（仪器台上盛放盐水或水以及浸湿棉球的容器必须始终提供）
- 外科医生应清除燃烧的气道装置或阴燃物
- 麻醉师最初通过自充气袋使用室内空气重新建立安全气道（或应用面罩通气），
- 如果火势尚未得到控制，手术室医护人员应立即使用二氧化碳灭火器，另一名队员触响火警
- 如果情况对病人或医护人员不安全，应疏散手术室内人员，并实施全面的灭火措施

### 3. 下一阶段的护理

在环境安全的情况下，应控制出血。对气道进行彻底检查以排除残留物质，评估热或烟雾吸入性损伤并进行适当治疗。在评估气道时，硬式支气管镜优于可弯曲式支气管镜<sup>1</sup>。

应坚持对所有气道装置和设备进行检查，并密切检查气管插管以确保患者气道内无异物存留。

如果火灾比较严重，建议维持患者气管插管状态和保持肺通气，并转移到重症监护室进行支气管镜检查、灌洗和呼吸功能评估，这是由于随后的48小时肺损伤可能加重。其他术后管理包括应用减少气道水肿的地塞米松和加湿氧气<sup>6</sup>。

### 4. 报告不良事件

应遵循本地要求报告不良事件。整个机构应该有一个清晰简明的消防安全议定书，并且放置在可能发生火灾的显眼位置。所有不同科室医护人员都应定期进行消防安全教育，包括消防演习和模拟<sup>1</sup>。

## 总结

- 火灾三要素共同导致气道火灾的发生：火源，氧化剂和助燃剂
- 支气管树热量和吸入性损伤的程度经常被低估，因此需要进行彻底的支气管镜评估，以便进行适当的治疗和随访
- 预防火灾有赖于所有手术室医护人员的高度警惕性以及事件发生时毫不犹豫协调一致应对
- 所有员工必须进行演练，并提前指定具体分工

## 问题回答

1. 在气道手术中使用以下可能会引起重大的安全隐患：

- a. 真：辅助供氧（特别是高浓度）常常与气道火灾有关，因为制造充满氧化剂的环境。
- b. 真：一氧化二氮像氧一样容易燃烧。
- c. 假：与氮气相比，氦气可以降低任何给定浓度氧燃烧的风险。
- d. 真：应尽量选择封闭气道，因为它们尽可能降低氧化剂富集导致泄漏至术野的风险。
- e. 假：二氧化碳灭火器建议用于气道火灾二线管理，也可在高氧浓度通气时喷射至术野。

2. 关于气道火灾应急处理：

- a. 假：气道火灾处理的第一步是大声通知
- b. 假：推荐的扑灭气道火灾的方法是用无菌水或盐水倾倒在燃烧部位
- c. 假：灭火后立即使用室内空气进行通气是最安全的，只有在需要维持充分氧合时作用才能提供辅助供氧（以减少进一步燃烧风险）
- d. 假：由于外科医生最靠近患者，所以他们是最可能移除气道装置的人员；如果发生火灾，必须毫不犹豫地清除气道装置
- e. 假：如果初步措施未能扑灭气道火灾，建议使用二氧化碳灭火器

3. 与气道火灾有关的发病率和死亡率：

- a. 假：对气道粘膜的直接热损伤是最显著的，但是也由于通气或烧伤物质毒素释放引起支气管的远端部分损伤
- b. 假：推荐使用硬式支气管镜检查评估支气管树的损伤情况；应该进行常规胸部 X 光片，尽管它在急性期不是很有用
- c. 真：死亡率极少，但发病率可能很大；为尽量减少二次伤害必须认真评估伤害的程度以指导处理方法

- d. 真：火灾发生时损伤情况往往被低估；如果火势很大，最安全的方法是保持病人气管插管和肺通气，以便在重症监护病房进行适当评估和进一步管理
- e. 假：即使正确使用抗激光气管插管，也不能完全消除气道火灾发生的风险

## REFERENCES AND FURTHER READING

1. Apfelbaum JL, Caplan RA, Barker SJ et al. Practice advisory for the prevention and management of operating room fires: an updated report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Operating Room Fires. *Anesthesiology* 2013;118(2):271-90
2. Rogers ML, Nickalls RW, Brackenbury ET, Salama FD, Beattie MG, Perks AG. Airway fire during tracheostomy: prevention strategies for surgeons and anaesthetists. *Ann R Coll Surg Engl* 2001; 83(6):376-80
3. Stouffer DJ. Fires during surgery: two fatal incidents in Los Angeles. *J Burn Care Rehabil* 1992;13:114-17
4. Smith LP, Roy S. Operating room fires in otolaryngology: risk factors and prevention. *Am J Otolaryngol* 2011;32:109-14
5. Myung-Su K, Jang-Hoon L, Dong-Hyup L, Young Uk L, Tae-Eun J. Electrocautery-ignited surgical field fire caused by a high oxygen level during tracheostomy. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 2014;47:491-93
6. Kitching AJ, Edge CJ. Lasers and surgery. *BJA CEPD Reviews* 2003; 3(5): 143-146
7. Awan MS, Ahmed I. Endotracheal tube fire during tracheostomy: a case report. *Ear Nose Throat J* 2002;81:90-92
8. Bailey MK, Bromley HR, Allison JG, Conroy JM, Krzyzaniak W. Electrocautery-induced airway fire during tracheostomy. *Anesth Analg* 1990;71:702-04
9. Bowdle TA, Glenn M, Colston H, Eisele D. Fire following use of electrocautery during emergency percutaneous transtracheal ventilation. *Anesthesiology* 1987;66:697-98
10. Lim HJ, Miller GM, Rainbird A. Airway fire during elective tracheostomy. *Anesth Intens Care* 1997;25:150-52
11. Coulson As, Bakhshay SA. Harmonic scalpel prevents tracheotomy fires. *Chest* 1998;114:349-50
12. Goldberg J. Brief laboratory report: Surgical drape flammability. *AANA J* 2006;74:352-54
13. Pashayan AG, Gravenstein JS, Cassisi NJ, McLaughlin G. The helium protocol for laryngotracheal operations with CO<sub>2</sub> laser: a retrospective review of 523 cases. *Anesthesiology* 1988;68:801-04
14. Kaddoum Rn, Chidiac EJ, Zestos MM, Ahmed Z. Electrocautery-induced fire during adenotonsillectomy: report of two cases. *J Clin Anesth* 2006;18:129-31
15. Wilson PTJ, Igbaseimokumo U, Martin J. Ignition of the tracheal tube during tracheostomy. *Anaesthesia* 1994;49:734-35
16. Sosis MB, Dillon FX. Saline-filled cuffs help prevent laser-induced polyvinylchloride endotracheal tube fires. *Anesth Analg* 1991;72:187-89
17. Greco RJ, Gonzalez R, Johnson P, Scolieri M, Rekhopf PG, Heckler F. Potential dangers of oxygen supplementation during facial surgery. *Plast Reconstr Surg* 1995;95:978-84
18. Gorphe P, Sarfati B, Janot F, Bourgain JL, Motamed C, Blot F, Temam S. Airway fire during tracheostomy: case report. *Eur Ann Otorhinolaryngol, Head Neck Dis* 2014;131:197-99
19. Wolf GL, Simpson JI. Flammability of endotracheal tubes in oxygen and nitrous oxide enriched atmosphere. *Anesthesiology* 1987;67:236-39



This work by WFSA is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International

License. To view this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

天津市第三中心医院  
翻译 审校 王海云