

## 麻醉呼吸系统

每周麻醉教程辅导 333

2016 年 7 月 5 日

彼得·坚医生

英国切斯特皇家医院

艾伦·豪厄特森医生

英国诺丁汉大学 NHS 信托医院

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



## 问题

在继续下面辅导之前，尝试回答以下问题。这些问题可以在文末找到解答。请判断每个选项的对错。

1. 管理一位 70kg 自主呼吸患者时，以下新鲜气流足以防止重复吸入：

- A. 使用 Mapleson A 系统，6L/min
- B. 使用 Water's 系统，6L/min
- C. 使用 Bain 系统，12L/min
- D. 使用 Mapleson B 系统，9L/min
- E. 使用 Ree's T-piece，9L/min

2. 有关 Mapleson 呼吸系统：

- A. Bain 系统是一种共轴的 Mapleson A 系统
- B. Mapleson D 系统在通气的患者中最有效
- C. Mapleson C 系统没有可调节压力阀
- D. Mapleson E (Ree's T-Piece) 适用于体重达到 30kg 的患者
- E. 打开可调节压力阀，至少需 1cm H<sub>2</sub>O 的压力

3. 关于气体循环系统：

- A. 需初始设置高新鲜气体流量以平衡系统
- B. 碱石灰的主要成分是氢氧化钾
- C. 使用低流量时，可产生复合物 A
- D. 如果单向阀被卡住，会导致系统中死区空间增加
- E. 封闭式循环系统相比半封闭式，需要更低的新鲜气体流量

## 要点

- 麻醉医生有必要掌握麻醉呼吸系统知识。
- 不同的呼吸系统在自主呼吸和通气患者中效能不同。
- 使用者在了解个体化的呼吸系统效能后，可在向患者传送新鲜气体的同时，尽可能减少二氧化碳重复吸入。
- 评估一个呼吸系统的性能，需了解每个组件的位置，以及自主通气与控制通气过程中的压力变化。

## 引言

呼吸系统的功能是输送氧气和气体麻醉药给患者并清除二氧化碳。所有的呼吸系统由相似的组件构成，但装配不同。通用组件包括：新鲜气流、气流通过的管道，可调节的压力限制阀以控制系统内压力、清除残余气体，储气囊以储存气体辅助呼吸。

每个呼吸系统有三种来源的气体：新鲜气体，呼出的死腔样气体，呼出的肺泡气。系统内各种气体的比例受新鲜气体传送量影响最大。对于自主呼吸患者，吸气时气体以亚（负）大气压力传送，呼气时气体以大气压的压力传送。相反，机械通气患者在吸气时接受正压，呼气时为大气压。本期辅导中，我们将会探讨在常规操作中会使用到的不同组件和呼吸系统。

## 呼吸回路组件

一个完整的呼吸回路由连接患者与麻醉机的组件，以及部分或全部以下组件构成：

1. 可调式限压阀（APL） 通过单通道阀、弹簧阀允许麻醉系统内压力波动。当压力高于阀门开启压力时，系统允许气体控制性泄漏，以控制患者气道压。启动阀门的最小压力是  $1\text{cm H}_2\text{O}$ 。存在一个安全机制，以防止压力超过  $60\text{cm H}_2\text{O}$ ，但须警惕当压力低于它时也会导致气压伤。
2. 储气囊在呼气时允许新鲜气体进入，从而最大限度减少预防重复吸入所需的新鲜气体量。此外，它允许麻醉医生监测自主呼吸患者的呼吸模式。储气囊通常是塑料或橡胶，容量在 0.5 到 6 升之间。然而，在成人系统中最常用的容量是 2 升。根据拉普拉斯定律，压力等于半径的两倍再除以气囊的半径。因此，随着气囊增大，囊内压力减小。这是一项重要的安全措施，膨胀气囊

以适应系统内气体限压。

- 吸气管路为患者提供新鲜气体吸入，呼气管路传出患者呼出的气体。尽管呼气管路长度取决于所用系统，直径已标准化：成人 22mm，儿童 18mm。

## Mapleson 分类

1954 年，威廉 麦克森教授在英国麻醉学杂志发表论文首次描述了呼吸系统的 Mapleson 分类。尽管是以他的名字命名，分类中的五种半封闭系统是他的同事威廉 穆欣首次绘制的。

Mapleson 分类	示意图 FGF = 新鲜气流 RB = 储气囊 APL = 可调式限压阀 Pt = 患者	防止自主呼吸患者重复吸入的新鲜气流量 (multiples of MV)
<b>A</b> <i>Macgill Lack (coaxial)</i>		0.8 - 1.0
<b>B</b>		1.5 - 2.0
<b>C</b> <i>Water's</i>		1.5 - 2.0
<b>D</b> <i>Bain (coaxial)</i>		2.0 - 3.0
<b>E</b> <i>Ayer's T-piece</i>		2.0 - 3.0

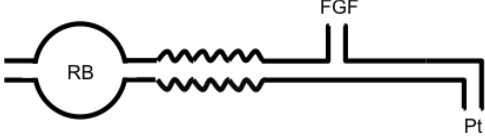
<p><b>F</b></p> <p><i>Ree's T-piece</i></p>		<p>2.0 - 3.0</p>
---	---	------------------

图 1 呼吸环路的 Mapleson 分类

## Mapleson A 系统

这种呼吸回路由麻醉机的贮气囊和靠近病人端的 APL 阀组成，两者由长度为 110-180cm 的螺纹管连接。

在第一次呼吸时，吸入的气体均为新鲜且不含任何呼出的气体。当病人开始呼气时，无效腔气体首先被呼出。因为无效腔气体未进行气体交换，所以其气体成分与患者吸入的气体成分相同。而这些气体进入螺纹管中。同时麻醉机产生的新鲜气流充满剩余的螺纹管和贮气囊中。当回路内压力增加后，患者继续呼气，经过气体交换的肺泡气通过 APL 阀被排出。当患者进行下一次呼吸时，前一次呼吸中的无效腔气首先被吸入，继而吸入来自贮气囊中的新鲜气流。

Mapleson A 回路用于自主呼吸的管理最为有效。给予与患者每分通气量相等容积的新鲜气流量能使其同时进入贮气囊和吸气支路（550ml）。但该系统不能用于控制通气，因为正压通气使新鲜气流先于呼出的肺泡气从 APL 阀排出，因此需要更高流量新鲜气体防止重复吸入。

考虑此回路部件排列，患者端的 APL 阀重量和位置可能不方便。同轴回路（Lack 回路）通过改进，将呼气支路位于吸气支路内侧，使 APL 阀与贮气囊置于患者远端，这种改进仍然属于 Mapleson A 回路。

## Mapleson B & C 回路

在 B 回路中，将可贮气的螺纹管置于贮气囊与新鲜气流量，除此之外 Mapleson B 和 C 两种回路部件排列很相似。当 APL 阀置于新鲜气流与病人之间，未参与气体交换的新鲜气体随着自主呼吸患者呼出的气体一同被排出。这一过程同样也出现在机械通气患者中。新鲜气流还未被患者吸入即通过 APL 阀被排出。两种回路对于管理自主呼吸或机械通气的患者效率很低，因为需要消耗 1.5 至 2 倍每分通气量的新鲜气流量才能预防气体重吸。

## Mapleson D 回路

Mapleson D 回路将新鲜气入口位于患者端,APL 阀与贮气囊位于回路远端,由长度为 180cm 的螺纹管连接患者。这种排列方式的优点是可将负重部件远离患者。

Mapleson D 回路在控制通气中效率最高,当控制呼吸时,患者吸入来自新鲜气流与贮气囊的气体。当患者呼气时,废气通过螺纹管经 APL 阀排出回路。当呼气暂停时,新鲜气流充满螺纹管继续讲废气经 APL 阀排出。在下次控制呼吸之前,新鲜气体再次充满螺纹管。在这种回路中,消耗相当于患者每分通气量的新鲜气流量即可预防复吸。

如果 Mapleson D 回路用于自主呼吸的患者,在回路内压力上升至打开 APL 阀之前,患者呼出的气体贮存在螺纹管与贮气囊中,可产生明显的重复吸入,除非消耗 2 至 3 倍每分通气量的新鲜气流量。

常使用的一种配置为共轴 Mapleson D 回路,又称 Bain 回路。即新鲜气流通过内管输送,废弃则通过外导管排出。这种设置减少麻醉机,然而内管可能出现扭曲,漏气或断开,最终导致术中地氧血症。这是所有共轴回路的缺点。

## Mapleson E & F 回路

Mapleson E 和 F 回路均无呼吸阀,通气阻力小,实用于体重不超过 30kg 的小儿麻醉。两种回路的新鲜气流均靠近患者端,同时与一开放管道相连。Mapleson F 回路在管道末端连接一个双端贮气囊。

在吸气时,患者吸入来自新鲜气入口和贮存在管道中的新鲜气体。肺泡气在患者无效腔气呼出后再被呼出。当呼气暂停时,新鲜气流产生的压力使所有呼出的气体通过开放的管道排出。在 Mapleson F 回路中,部分混合的气体贮存在贮气囊中,这种回路需要相当于 2 到 3 倍每分通气量的新鲜气流才能防止患者复吸。这两种回路有几种缺点,由于没有 APL 阀,不能清除废气,只能直接排放至外环境。同时,Mapleson E 系统不能产生正压,所以不能使用 CPAP 模式,加之没有贮气囊这一部件使手动通气变得更加困难。

## 回路系统

回路系统通过重复利用患者呼出气体,减少新鲜气流消耗从而提高麻醉气体

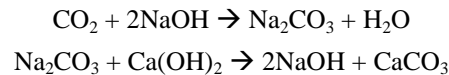
使用效率。

新鲜气流从麻醉机流出后在吸气时通过单向阀流向患者。呼气启动时，呼出的气体通过单向阀排入至 APL 阀，再到贮气囊（呼吸机）。呼出的气体在与新鲜气体混合排送至患者前，需要通过钠石灰吸收二氧化碳。最开始需要高流量新鲜气流达到理想混合浓度以及平衡系统压力，随后可使用最小 0.5L/m 的新鲜气流维持。

麻醉回路可分为半紧闭和紧闭式麻醉。半紧闭回路的 APL 阀是开放状态，允许多余的气体从系统内排出，从而减少气压伤的风险。然而，相对高的新鲜气流量需要使用回路外蒸发器，这将增加混合气体中麻醉气体的比例与浓度。

在紧闭式回路中，APL 阀是完全关闭的。尽管这种回路是麻醉回路中效率最高的，但新鲜气流量必须符合患者所需，同时钠石灰需要吸收呼出气体中所有的二氧化碳。而小流量只能使用麻醉回路内的蒸发器。本文对蒸发器不作详细描述。

钠石灰回路系统中重要的组件之一，由 80% 的氢氧化钙，4% 氢氧化钠与 16% 水混合。同时添加对 PH 敏感的指示剂，有助于判断钠石灰失效的时间。钠石灰颗粒一般 4-8 目，意味着这些颗粒能够通过每英寸四个开口的网格，但不能通过每英寸八个开口的网格。加热反应的公式如下：



回路系统的重要知识点：

1. 回路中的单向阀可能被水蒸气堵塞，从而增加无效腔量；
2. 单向阀增加回路的通气阻力；
3. 新鲜气流量越小，麻醉混合气体发生变化的时间越长；
4. 麻醉回路对气体组成成分的监测至关重要；
5. 使用小于 1L/m 低流量七氟醚与钠石灰有相互作用可产生复合物 A。此复合物在小鼠模型中能够产生肾毒性，但现无研究证实对人类有害；
6. 操作者必须熟悉不同制造商生产的 PH 指示剂在钠石灰失效时的颜色变化。

钠石灰颗粒在钠石灰罐中不均匀分布可导致气体不均匀流动，同时减少钠石灰吸收效率。

系统	优点	不足
<b>Mapleson A</b>	用于自主呼吸的患者效率高	用于控制通气的患者效率低 可调压力排气阀位于患者端，不利于操作
<b>Mapleson B</b>		用于自主呼吸患者和控制通气患者效率均低
<b>Mapleson C</b>	质量轻，结构紧凑	用于自主呼吸患者和控制通气患者效率均低
<b>Mapleson D</b>	用于机械通气患者效率高 重组件位于远离患者端 可接较长吸气管路：便于在 MRI 检查室使用	用于自主呼吸的患者效率低
<b>Mapleson E</b>	无可调压力排气阀，管路阻力低，适用于体重 30kg 以下患者	不利于清除废气，需要高流量的新鲜气体
<b>Mapleson F</b>	无可调压力排气阀，管路阻力低，适用于体重 30kg 以下患者；有出气囊，便于通气	不利于清除废气，需要高流量的新鲜气体
<b>Semi-closed circle</b>	适用于麻醉维持；新鲜气体流量相对较高，可使用环路外蒸发器	比紧闭式回路效率低
<b>Closed circle</b>	效率高，可使用低流量新鲜气体	新鲜气体流量须时刻与患者需求匹配

图 3: 多种通气系统的优点和不足总结

## 问题的答案

- 1) 管理一名体重 70kg 的自主呼吸患者，以下新鲜气流量足够避免重复吸入
  - a) 对 70kg 患者，潮气量为 7ml/kg，通气频率每分钟 12 次，其分钟通气量为 5.8L/min，Mapleson A 系统需要新鲜气流量与患者分钟通气量相等，以避免重复吸入。
  - b) 错 Water 系统是一种 Mapleson C 系统，其需要的新鲜气流量是患者分钟通气量的 1.5~2 倍，即 8.8L/min。
  - c) 对 Bain 系统是 Mapleson D 系统的一种共轴形式。
  - d) 对 Mapleson B 系统需要至少 9L/min 的新鲜气流量。
  - e) 错 Ree T 形管系统是一种 Mapleson F 系统，其需要的新鲜气流量是患者分钟通气量的 2~3 倍，以避免重复吸入。

## 2) 关于 Mapleson 系统:

- a) 错 Bain 系统是 Mapleson D 系统的一种共轴形式。Mapleson A 系统的一种共轴形式即为 Lack 系统。
- b) 对 Mapleson D 对控制通气患者效率最高。
- c) 错 Mapleson C 系统特点在于其在新鲜气流和患者之间存在一个可调压力排气阀。Mapleson D 和 E 系统是无阀系统。
- d) 错 Mapleson E 系统仅适用于体重 30kg 以下的患者，即 Ayre T 形管系统。Ree T 形管系统是一种 Mapleson F 系统。
- e) 对 可调节压力阀设置为需要 1cmH<sub>2</sub>O 压力开启。

## 3) 关于环路系统

- a) 对 开始时需要高流量新鲜气流以使系统平衡。
- b) 错 碱石灰的主要成分是氢氧化钙。
- c) 对 低流量时，七氟烷可与碱石灰反应产生复合物 A。
- d) 对 单向阀被卡住时，可引起系统内死腔量增加。
- e) 对 紧闭式环路系统需要的新鲜气流量低于半紧闭式系统。

重庆医科大学附属第一医院麻醉科

翻译 审校 魏珂

## 参考文献和拓展阅读

1. Jaul TK, Mittal G. Mapleson's Breathing Systems. Indian J Anaesth. 2013 Sep-Oct; 57(5): 507-515.
2. Mapleson W. The Elimination of Rebreathing in Various Semi-Closed Anaesthetic Systems. Brit J Anaesth. 1954; 26: 323.
3. Mapleson W. Editorial I: Fifty Years After – Reflection On “The Elimination of Rebreathing in Various Semi-Closed Anaesthetic Systems”. Brit J Anaesth. 2014;



93(3): 319-321.

4. Al-Shaikh B, Stacey S. Essentials of Anaesthetic Equipment. Elsevier. 2007, 3rd edition.
5. Davis P, Kenny G. Basic Physics & Measurement in Anaesthesia. Elsevier. 2003, 5th edition.
6. Spoons C, Kiff K. Training in Anaesthesia: The Essential Curriculum. Oxford University Press. 2010, 1st edition.