

现代医学实用技术系列

# 机 械 通 气

主 编 朱 蕾 钮善福

编写者(按姓氏笔画为序)

朱 蕾 李燕芹 李善群 陆铸今

钮善福 诸杜明 颜美琼

上海科学技术出版社

## 内 容 提 要

本书介绍了机械通气的基本知识、特性、模式和效应,重点介绍机械通气的应用技术,包括呼吸机的联接方法和机械通气的临床应用。非常规机械通气方式以及机械通气在儿科的应用特点、呼吸监护室机械通气患者的护理和营养在本书中亦有详细论述。

本书编写人员皆为临床第一线工作人员,并有从事重大科研课题的经历,皆有丰富的临床经验和理论基础;内容主要是临床实践和科学实验的总结;理论和临床相结合,从根本上阐述机械通气,使学习者不仅会用,而且明白使用原理,从呼吸力学基础介绍近 50 年机械通气的进展和今后的发展方向;紧密结合临床,解释和解决临床问题;大部分插图 of 临床和科研总结,准确性高。

# 序

在刚刚过去的半个世纪中,临床医学对呼吸衰竭认识的提高,和高科技的结合使呼吸衰竭的诊断治疗水平有了长足的进展,尤其是适宜的机械通气使许多危重病患者的生命得以挽救存活。这些都是大众瞩目的医学进展。面对即将来临的新世纪,回顾过去的成绩,提出存在的问题,努力将呼吸病学中这一课题推向新的阶段将是我們从事呼吸系病专业工作者无法推托的责任。

复旦大学附属中山医院朱蕾、钮善福教授及时撰写成功《机械通气》一书,把他们丰富的临床经验,在扎实的理论基础上加以归纳提高,因此这本书适应了广大医务工作者迫切希望获得呼吸衰竭机械通气新知识的需要,同时也为今后进一步提高这一领域的水平打下良好基础。

我本人有幸先睹此书,读后感到收益颇著,此书具有知识性、实用性的特点,因为它用了缘章多的篇幅介绍呼吸衰竭相关的基础理论,而以其余章节详尽地介绍了呼吸衰竭机械通气治疗的各个侧面以及不同疾病应用机械通气的特点,内容翔实全面。更为突出的特点是实用性,诸如通气机的结构特性、装置联接、不同通气模式、应用中常见问题和处理,等等,均是可借鉴应用的临床经验。另一值得推荐的方面是他们介绍了近年来十分被重视的通气策略的调整、保护性通气和自主性通气的重要性,以及如何避免机械通气的负面作用等问题,此外他们也注意到各种非常规通气技术和手段以及它们已经和可能发挥的作用。由之,也可以反映出在呼吸衰竭的治疗上还有许多值得研究和提高的重要课题。

读后深感作者们在极繁忙的临床医疗工作的压力之下,完成如此沉重的撰写任务,付出了十分辛勤的劳动,特此向他们表示深深的敬意和由衷的感谢。得一本好书是不容易的。希望在呼吸病学的专业领域中,好书能层出不穷,则是我们大家的幸事。

北京协和医院呼吸科 朱元珩

二〇〇四年 八月

# 前 言

20世纪 50年代后期,上海中山医院肺科在吴绍青教授、李华德教授等前辈带领下建立了呼吸监护室,并将机械通气应用于临床。1958年出版的《机械呼吸器的临床应用》一书,对推动机械通气的应用发挥了很大的作用。

近 50年来,机械通气的理论和技术发生了巨大变化,呼吸机的性能不断提高,功能日趋增多,机械通气的策略也进一步调整,如强调保护性通气和自主性通气,其他辅助机械通气技术,如液体通气、体外膜肺、表面活性物质吸入疗法也逐渐成熟。机械通气及相关技术作为通气功能的替代手段和积极的治疗措施越来越广泛地应用于各种呼吸衰竭,包括心功能不全的治疗,手术前后的预防和呼吸支持,慢性呼吸功能不全的康复。我们出版此书希望能更好地满足广大医务人员对现代机械通气知识的需求。

基础物理学、机械工程的基本原理和呼吸生理学是掌握和应用呼吸机及机械通气的基础,本书力求在讲清道理的基础上结合临床实践对机械通气的有关方面进行阐述,希望对读者有所启迪和帮助。

由于机械通气技术的发展非常迅速,加上笔者水平有限,时间仓促,不足及错误之处难免,望同道指正。

复旦大学附属中山医院 朱 蕾 钮善福

1999年 8月于上海

# 目 录

第一章 与机械通气有关的呼吸系统解剖.....	员
第一节 呼吸道结构特点与功能.....	员
第二节 肺与肺泡.....	缘
第二章 呼吸生理.....	苑
第一节 肺的容积划分及通气功能.....	苑
第二节 肺的血液循环.....	员缘
第三节 气体在肺内的交换.....	圆园
第四节 呼吸的调节.....	圆圆
第三章 动脉血气分析.....	圆缘
第四章 呼吸衰竭.....	猿园
第五章 和机械通气有关的酸碱与电解质紊乱.....	猿苑
第一节 酸碱与酸碱紊乱.....	猿苑
第二节 机械通气相关性酸碱紊乱.....	源
第三节 机械通气相关性电解质紊乱.....	源
第六章 氧气疗法.....	缘
第七章 机械通气的基础理论.....	圆
第一节 呼吸机的基本结构.....	圆
第二节 机械通气的基本特性.....	远
第三节 完成机械通气的基本要求.....	远
第四节 机械通气方式.....	远
第五节 机械通气的参数.....	缘
第六节 机械通气的生理学效应和并发症.....	苑
第七节 呼吸机的监测功能.....	愿
第八节 机械通气的报警.....	愿
第九节 机械通气装置对呼吸功的影响.....	愿
第十节 呼吸机的临床分类.....	员圆
第八章 机械通气的联接.....	员圆
第一节 无创性经面(鼻)罩机械通气.....	员圆
第二节 机械通气时人工气道的建立和管理.....	员怨
第九章 常用机械通气模式.....	员远
第一节 辅助控制通气.....	员远
第二节 间歇指令通气.....	员员
第三节 压力支持通气.....	员猿
第四节 压力控制通气.....	员愿

第五节	气道压力释放通气 .....	圆
第六节	反比通气 .....	圆
第七节	指令分钟通气 .....	圆
第十章	呼吸机功能的完善 .....	圆
第一节	呼气触发与呼吸机同步 .....	圆
第二节	持续气流送气和按需阀送气 .....	圆
第三节	持续气流 .....	圆
第四节	流量触发 .....	圆
第五节	双水平持续气流和双水平气道正压 .....	圆
第六节	成比例通气的理论与技术 .....	圆
第七节	呼吸末气道正压 .....	圆
第八节	通气模式功能的完善 .....	圆
第十一章	机械通气的策略 .....	圆
第一节	肺保护性机械通气 .....	圆
第二节	自主性肺通气 .....	圆
第十二章	机械通气的应用技术 .....	圆
第一节	机械通气的适应证 .....	圆
第二节	机械通气的禁忌证 .....	圆
第三节	呼吸机的选择 .....	圆
第四节	通气模式的选择原则 .....	圆
第五节	通气参数的调节原则 .....	圆
第六节	初始机械通气 .....	圆
第七节	自主呼吸与机械通气的协调 .....	圆
第八节	机械通气的撤离 .....	圆
第九节	机械通气过程中各个环节的常见问题及处理 .....	圆
第十三章	机械通气的撤离技术 .....	圆
第十四章	机械通气的监测 .....	圆
第十五章	机械通气患者的营养支持 .....	圆
第一节	呼吸与营养 .....	圆
第二节	营养不良与机械通气患者 .....	圆
第三节	营养状态评价 .....	圆
第四节	主要营养物质对机械通气患者的影响 .....	圆
第五节	营养支持的总原则 .....	圆
第六节	撤离机械通气时患者的营养问题 .....	圆
第十六章	机械通气患者的护理 .....	圆
第一节	病情观察 .....	圆
第二节	机械通气患者的一般护理 .....	圆
第三节	面罩机械通气的护理 .....	圆
第四节	气管插管机械通气的护理 .....	圆

第五节	气管切开机械通气患者的护理 .....	猿园
第六节	呼吸道湿化和吸痰的护理 .....	猿园
第七节	机械通气治疗时的护理 .....	猿猿
第八节	撤离呼吸机的护理 .....	猿源
第十七章	体外负压通气 .....	猿远
第十八章	非常规机械通气及相关技术 .....	猿缘
第一节	高频通气 .....	猿缘
第二节	气管内吹气 .....	猿苑
第三节	肺表面活性物质及临床应用 .....	猿园
第四节	一氧化氮吸入疗法 .....	猿苑
第五节	液体通气 .....	猿员
第六节	氦氧混合气辅助机械通气 .....	猿缘
第七节	体外氧合疗法 .....	猿苑
第八节	体位疗法 .....	猿园
第十九章	呼吸重症监护室的管理 .....	猿缘
第二十章	呼吸机消毒、保养与维护 .....	猿员
第一节	呼吸机的消毒 .....	猿员
第二节	呼吸机的保养与维护 .....	猿猿
第二十一章	神经肌肉疾病的机械通气治疗 .....	猿远
第一节	中枢神经疾病 .....	猿远
第二节	周围神经疾病或肌肉疾病 .....	猿愿
第二十二章	慢性阻塞性肺病呼吸衰竭患者的机械通气治疗 .....	猿园
第二十三章	危重支气管哮喘患者的机械通气治疗 .....	猿缘
第二十四章	急性呼吸窘迫综合征的机械通气治疗 .....	猿缘
第二十五章	心源性肺水肿的机械通气治疗 .....	猿源
第二十六章	单侧肺患者的机械通气治疗 .....	猿园
第二十七章	机械通气在外科领域中的应用 .....	猿园
第一节	机械通气在外科疾病患者中的使用适应证 .....	猿园
第二节	机械通气在外科疾病患者中的实施 .....	猿猿
第三节	外科领域机械通气的一些相关问题 .....	猿远
第四节	外科领域中常见疾病的机械通气 .....	猿苑
第二十八章	儿科中的呼吸支持方法及临床应用 .....	猿怨
第一节	小儿气管插管 .....	猿怨
第二节	儿科机械通气的应用 .....	猿园
第三节	小儿呼吸衰竭治疗的一些新方法 .....	猿怨
第二十九章	镇静药、镇痛药和肌松药在监护室中的使用 .....	猿园
第一节	常用镇静药、镇痛药和肌松药的药理 .....	猿园
第二节	镇静药、镇痛药和肌松药在监护室中的使用 .....	猿缘
参考文献	.....	猿愿

# 第一章 与机械通气有关的呼吸系统解剖

## 第一节 呼吸道结构特点与功能

呼吸系统包括鼻、咽喉、气管、支气管和肺等器官。通常称喉以上的部分为上呼吸道,喉以下的部分为下呼吸道。从气管到肺内的肺泡是一连续而反复分支的管道,只有肺泡能完成吸入空气与血液之间氧气和二氧化碳的交换功能(即呼吸功能)。自鼻至肺内的终末细支气管属导气部,自呼吸性细支气管至肺泡属呼吸部。呼吸系统除了主要行使呼吸功能外,也有重要的防御功能,鼻腔的嗅黏膜是嗅觉感受器,喉是发声器官,肺还有内分泌、激活和灭活某些生物活性物质等重要功能。

### 一、上呼吸道

上呼吸道由鼻、咽、喉组成,是气体进入肺内的门户。主要功能除传导气体外,尚有加温、湿化、净化空气,吞咽,嗅觉及发声等功能。

#### (一) 鼻(嗅器)

鼻是呼吸系统的大门,由外鼻、鼻腔、鼻窦等组成。

外鼻 是面部的组成部分,与机械通气关系不大,不赘述。

鼻腔 是呼吸系统的重要器官,分鼻前庭和固有鼻腔两部分。鼻前庭为前鼻孔与固有鼻腔之间的空腔。鼻前庭表面覆有皮肤与皮下组织,并和软骨紧密连接。鼻前庭内膜上有粗短的鼻毛和皮脂腺,两者对尘埃和异物有一定的防御作用,是保持呼吸道和人体健康的重要条件。固有鼻腔也简称为鼻腔,鼻腔的容积只有 100ml(成人),鼻腔内有三个突出的鼻甲,以位置的高低分别称为上鼻甲、中鼻甲和下鼻甲,三个鼻甲上曲折的黏膜,使鼻腔的表面积明显增加,约为 150m<sup>2</sup>,可以保障吸入气与鼻黏膜的充分接触;鼻腔黏膜以下、中鼻甲游离缘、前后端及接近鼻中隔处黏膜最厚,并具有丰富的静脉丛构成的海绵状组织,易于扩张和收缩,是调节吸入气体温度和湿度的重要因素。这些解剖学结构的特点,均为鼻腔完成对吸入气体的加温和湿化创造了有利的条件。吸入的冷空气经过上呼吸道后,温度可接近体温,抵达咽部的气体,相对湿度可达 100%。现代呼吸机也参考这一特点设置加温、湿化装置,增加吸入气与湿化液的接触面积,保障湿化和温化的效果。中鼻甲下缘以下部分黏膜为假复层柱状纤毛上皮,纤毛的运动主要由前向后朝鼻咽部运动,黏膜中含有丰富的黏液腺、浆液腺、混合型腺体和杯状细胞,能产生大量分泌物,使黏膜表面覆以一层黏液毯,随纤毛不断移动。鼻腔内还有鼻毛,它们能共同阻止异物及尘埃等吸入。另外,鼻腔内狭窄而凹凸不平的结构特点也使气体进入鼻腔后形成湍流,能增加异物或尘埃在鼻腔内沉落的机会,有助于截留吸入气体内的异物,进一步增强了鼻腔对气体净化的作用。直径在 5μm 以上的微粒,99% 可在鼻腔内被清除。

鼻腔黏膜的血供丰富,有利于迅速地将吸入的气体湿润和加温,但经鼻气管插管时,也很容易被损伤而出血,所以必须引起足够的重视。当鼻腔有炎症时,鼻腔黏膜充血、肿胀,为

建立人工气道带来很多不便,因此经鼻气管插管时应首先了解患者有无鼻炎;麻醉时适当加入麻黄素等缩血管药物,一方面可增加鼻腔的内径,也有利于防止出血;插管操作必须轻柔。鼻腔顶壁呈狭小的拱形,前部为额骨鼻部及鼻骨的背侧面,中部是分隔颅前窝和鼻腔的筛板,此板极薄,易骨折。底壁将鼻腔与口腔隔开,宽而平,且前部高、后部低。顶、底壁是保持鼻腔和口腔完整性的主要结构。颅脑和颌面外伤时,鼻、口腔完整性遭到破坏,同样会给人工气道的建立带来不便。

总之,鼻腔固有的解剖学特点,是人体呼吸道重要的非特异性防御系统,它所起的作用是不容忽视的。接受人工气道机械通气治疗的患者,无法维持这种保护机制,是并发呼吸道感染的重要原因之一。

**鼻窦** 是鼻腔周围颅骨中含气的空腔,均开口于鼻腔,若开口引流不畅,可导致鼻窦感染,经鼻气管插管易堵塞鼻窦开口。

(二)咽( ~~颈咽部~~ )

咽是呼吸道与消化道的共同通道,上部起自颅底,下达环状软骨的下缘,相当于第 远颈椎和食管的人口平面,成人全长 ~~12cm~~。咽腔一般可分为鼻咽部、口咽部和喉咽部三个部分。鼻咽部通过咽鼓管咽口与左、右中耳相连。咽鼓管咽口周围有丰富的淋巴组织,故经鼻气管插管的患者有时会出现耳部不适和炎症。口咽部是呼吸道与消化道的共同入口,故气管插管时容易进入食管,而插胃管也可能进入气管。保障气体与食物分别进入呼吸道与消化道的重要结构是会厌。自会厌软骨上缘水平,至环状软骨下缘间为喉咽部,向后为食管,前方为喉,故气管插管时将会厌向上挑开即容易进入喉部,向后则容易进入食管。在两侧杓状会厌皱襞的外下方各有一深窝,为梨状窝,此窝前壁黏膜下有喉上神经内支进入喉,气管插管操作不当容易进入该隐窝,导致严重损伤。

(三)喉( ~~颈咽部~~ )

是呼吸与发声的重要器官。喉位于颈前正中部位,在成人相当于第 ~~6~~ 颈椎部位,在咽的下方。

**喉的结构** 喉由一组软骨、韧带、喉肌及喉黏膜构成,呈漏斗状,上部呈三角形,开口于喉咽部,并形成咽喉前壁;下部稍呈圆柱形,连接气管。喉包括三部分:① 声门上区:与喉咽部相通,呈三角形喉口。② 声门区:声门上区向下为声门区,两声带之间的空隙为声门。成人的声门为一等腰三角形,是喉室中最狭窄的部分,同样也是气管插管最难通过的部分,而狭窄的声门与人工气道不断摩擦,容易导致声门损伤,故拔管后所有患者皆会出现声音嘶哑,甚至失声。③ 声门下区:是声带下缘至环状软骨下缘间的喉腔,上部较扁狭,向下逐渐扩大成圆锥形,并移行至气管。

**喉的功能**

(员)发声:喉的主要功能是发声,声音是通过气流振动声带而产生,声带的长度变化影响音调的高低,通过声带的气流量影响声音的大小。

(圆)呼吸的通道:喉是维持呼吸功能的重要器官。喉的中部有左、右声带构成的声门,声门的活动度直接影响着呼吸功能。正常情况下,吸气时声门开放,呼气时声门缩小,故气管插管时一般在吸气期插入。当喉部病变致声门狭窄,气流不能顺利通过时,常可危及患者生命。喉底部的环状软骨血供较少,是紧急气管穿刺或气管切开放置导管的部位。在严重喉痉挛、水肿,或痰堵窒息的紧急情况下,为保持气流畅通或排除呼吸道分泌物,可直接在此

处穿刺或置管,以利通气、排痰或吸引。

(猿)咳嗽:咳嗽反射是呼吸道重要的保护机制。咳嗽时的声门关闭,能明显增加胸内压,然后声门突然开放,气流喷出,能提高咳嗽和排除分泌物的作用。人工气道建立后,声门无法关闭,咳嗽的作用将会明显减弱,甚至丧失,因此在临床上若单纯为引流分泌物而建立人工气道时,仅适合昏迷或一般情况极差的患者,一旦患者的咳嗽能力恢复,应尽早拔管。

不仅声门的开放和关闭影响呼吸的通畅与否,头部的位罝也可影响气道的弯曲程度和通畅程度。正常直立位时,口腔或鼻腔与气管形成大约 $90^\circ$ 的夹角,头部向前弯曲时,该夹角小于 $90^\circ$ ,使呼吸与气管插管变得困难;只有当头部充分后仰,口腔或鼻腔与气道形成一条直线,使呼吸、异物清除及气管插管更容易进行。

## 二、下呼吸道

### (一)下呼吸道组成

下呼吸道主要由气管、支气管、支气管树及肺泡等组成。根据功能不同,又分传导气道和呼吸区。

(圆)气管 是个管状结构,上端起始于环状软骨,通过颈部向下延伸入胸内,在胸骨上、中 $1/3$ 处或相当于第 $4$ 胸椎之间分叉为左、右支气管。气管平均长 $12\text{cm}$ ,直径 $2.5\text{cm}$ ,一般气管插管导管的内径为 $2\text{cm}$ ,故建立人工气道后阻力显著增加(至少增加 $2$ 倍以上)。气管的上部直接邻近其后方的食管;在胸腔内,主动脉弓使气管略向右移。气管由前侧的软骨部和背侧的膜部组成,其中软骨部由 $10$ 个软骨环构成,软骨环呈马蹄形,开口部向背面,由富于弹性纤维的结缔组织连接,形成膜部,膜部还含有平滑肌纤维,使气管成一管状,该结构有助于保持气道开放;在吸气、呼气及咳嗽时,还能通过平滑肌的活动,调节管径的大小。

(圆)支气管 气管下端分左、右支气管。支气管自纵隔进入肺处称肺门,通常由支气管、血管、神经、淋巴管等组成。支气管壁的结构与气管类似,也由软骨部和膜部构成。

(员)右支气管 粗短而陡直,平均长 $5\text{cm}$ ,与气管中轴延长线间的夹角一般为 $45^\circ$ 约于第 $4$ 胸椎水平经右肺门进入右肺。由于右支气管的形态特点,异物坠入右支气管的机会较多,吸入性病变也以右侧发病率高,尤以右下叶多见。

(圆)左支气管 较右支气管细,长度 $5\text{cm}$ ,与气管中轴延长线间的夹角一般为 $60^\circ$ 约在第 $4$ 胸椎水平经左肺门进入左肺。

(猿)支气管树 左、右支气管经肺门进入肺内后反复分支,分别为叶、段、亚段、细支气管、终末细支气管、呼吸性细支气管、肺泡管、肺泡等,共约 $23$ 级。终末细支气管以上不参与气体交换,为传导气道;呼吸性细支气管以下是气体交换的主要场所,为呼吸区。

### (二)气管与支气管、支气管树的组织构造

气管与支气管相似,均由黏膜、黏膜下层和外膜组成。

(员)黏膜上皮:为假复层柱状纤毛上皮,其间散在分布杯状细胞,能分泌黏液。支气管分支越细,杯状细胞数目越少,到细支气管部位黏膜仅为一层纤毛上皮和极少的杯状细胞。在靠近分叉部分还可见到大圆形淡浆细胞,可能是感受器。黏膜上常见到纵形皱襞,皱襞厚度由支气管肌肉的张力所决定。

(圆)黏膜下层:为疏松的结缔组织层,紧附于上皮基底膜处有毛细血管网,有丰富的黏

液腺和浆液腺,还有沿黏膜皱襞分布的纵行弹力纤维束,并与黏膜以及纤维软骨层中的软骨和环形弹力纤维相连接。在细支气管中,弹力纤维向外与肺泡的弹力纤维相连。与较大气道的软骨支架不同,弹力纤维网是维持小气道结构的主要成分。一旦破坏,容易发生气道陷闭,如肺气肿。

(猿)外膜:由透明软骨和纤维组织构成。气管软骨呈马蹄形,缺口位于背侧,由平滑肌束和结缔组织连接,构成膜壁。平滑肌束以横行肌纤维为主,还有大量斜行和纵行的肌纤维。平滑肌收缩时,气管管径变小。在源或缘级以下的小支气管中,软骨由不规则的软骨片所代替。随支气管树越伸向边缘部分,支气管树中的软骨片越小,达细支气管时,壁内已不再有软骨。软骨的消失是细支气管的标志,无软骨包绕的细支气管,其外膜平滑肌渐呈纵行排列如螺旋状,当平滑肌收缩时,支气管变细变短。与支气管管壁相比,细支气管的平滑肌纤维最多,易受外源性和内源性因素的刺激而收缩。支气管外周围绕着疏松的结缔组织,并与肺动脉和大静脉周围组织相连,其中有支气管动、静脉,神经,淋巴管,淋巴组织和脂肪组织。

纒小气道的概念与特点 直径 圆皂以下的气道称为小气道,有如下特点。

(员)管壁:管壁菲薄,炎症易波及气道全层及其周围组织。

(圆)管腔:管腔纤细,易因分泌物或渗出物等因素而致阻塞。

(猿)纤毛:纤毛减少或消失,微生物、尘埃等易沉积在黏膜上,导致黏膜损伤。

(源)横截面积:总横截面积非常大,一方面使气道阻力减小,小气道阻力仅占整个气道阻力的 圆%以下;也使气流速度缓慢,以层流为主,有利于吸入气体在肺内的均匀分布。

(缘)软骨:软骨缺如,平滑肌相对较丰富,在神经、体液因素作用下,通过小气道平滑肌的舒缩,改变小气道口径,控制进入和呼出肺泡内的气体流量,有利于通气与血流灌注比例的调节。

测定小气道阻力的常用方法有:流速容积曲线测定,方便易行,可重复性高,已经得到了广泛的应用。闭合气量测定,因其生理意义不完全清楚,误差较大,重复性低等原因,在临床上的应用日趋减少。动态顺应性,常用于机械通气患者。震荡式肺功能仪,是将来的发展方向。

远气管、支气管上皮细胞

(员)纤毛柱状上皮细胞:大量分布于整个气道,呈高柱状,长约 圆皂,宽约 苑皂,基底部 圆皂,每个细胞有纤毛 猿至 源根,发自细胞顶部的胞质内,纤毛长 苑皂,每秒钟向前摆动 员至 圆次。由于纤毛的摆动,可推动黏液层向上运动。

纤毛对外界环境的变化甚为敏感,机械通气时湿化不良、湿化温度过高和过低以及各种有害气体的刺激,或细菌、病毒感染等,都可使纤毛功能受到影响。

(圆)黏液细胞:也称为杯状细胞,夹杂在纤毛柱状上皮细胞之间,其数目随支气管分级增加而逐渐减少。与黏液腺和浆液腺的分泌物共同调节气道表面的液体量及分布。

(猿)基底细胞:为锥形或多角形,位于上皮基膜上。细胞核大,位于中央部,胞质内线粒体少。与附近细胞以桥粒相连接。基底细胞分化能力很强,纤毛柱状上皮细胞、黏液细胞由基底细胞分裂补充。

(源)运细胞:又称嗜银细胞,存在于气管及各级支气管中,参与肺循环及支气管平滑肌张力的调节,其本身也是一种化学感受器。

(缘) 悦器细胞 :呈柱状或立方形 ,分布于细支气管以下 ,能合成、分泌表面活性物质 ,维持末梢气道的稳定性。

(远) 神经上皮小体 :由 员个细胞组成 ,呈菱形或卵圆形 ,以细支气管分叉处为最多见。细胞内含有 缘色胶等物质 ,具有调节支气管及肺血管口径的作用。小体为具有内分泌功能的神经感受器 ,可能受中枢神经的调节。神经上皮小体的功能与颈动脉体相似 ,是肺内氧气含量的化学感受器。

### 三、气道的呼吸部和肺泡

肺的呼吸部包括呼吸性细支气管、肺泡管、肺泡囊和肺泡。它们均含有肺泡 ,能进行气体交换 ,故称为呼吸部。

呼吸性细支气管 呼吸性细支气管是导气部向呼吸部过渡的管道 ,其起始部内径在 园皂以下 ,管壁因有肺泡开口而不完整 ,与终末细支气管相续处的上皮为单层柱状纤毛上皮 ,由纤毛细胞和 悦器细胞组成 ,近肺泡开口处为单层立方上皮 ,与肺泡上皮相续。立方上皮细胞的胞质内可见多泡体和板层小体 ,它是 II 型肺泡细胞的前身。上皮细胞下方为薄层结缔组织和分散的平滑肌束。管壁上的肺泡常沿着肺动脉分支分布。

肺泡管 每个呼吸性细支气管可分支形成 园个肺泡管 ,平均内径为 园皂左右。由于其管壁上密布肺泡开口 ,因而其自身的管壁仅为相邻肺泡囊或肺泡之间的结节状膨大。管壁上皮细胞为单层立方上皮细胞 ,上皮细胞下方有薄层结缔组织和少量平滑肌 ,其中弹性纤维和平滑肌呈螺旋状环绕于肺泡开口处。肺泡管是肺内最后具有平滑肌的管道 ,肌纤维的舒缩可改变肺泡口的直径 ,以调节进出肺泡的气量。

肺泡囊 是肺泡管的分支 ,一个肺泡管常分支形成 园个肺泡囊。肺泡囊是多个肺泡的共同开口 ,切面上常呈梅花形 ,其结构与肺泡管相似 ,但肺泡开口间无结节状膨大 ,也不含平滑肌 ,单层扁平上皮下只有少量结缔组织。

肺泡 是支气管树的终末部分 ,为圆形或多边形的薄壁囊泡。平均直径 园皂 ,可开口于肺泡囊、肺泡管和呼吸性细支气管 ,成人共有 猿亿 耀原亿个肺泡 ,总面积为 苑园耀皂<sup>圆</sup>。肺泡的舒缩变化非常大 ,深呼气时的总面积仅为 猿皂<sup>圆</sup> ,深吸气时可达 员皂<sup>圆</sup>。肺泡是肺内惟一能进行气体交换的结构 ,壁很薄 ,表面衬以单层上皮。

## 第二节 肺与肺泡

肺是具有弹性的海绵状器官 ,类似圆锥形。上端称肺尖 ,下端为肺底 ,内侧称纵隔面 ,外侧称肋面。

终末呼吸单位 为终末细支气管以下的单位。每一终末呼吸单位包括两根呼吸性细支气管 ,每根再分三级 ,最后形成肺泡管、肺泡囊和肺泡。终末呼吸单位是进行气体交换的惟一场所。

相邻肺泡间的结构为肺泡隔 ,肺泡隔很薄。每一肺泡有 员个肺泡孔与相邻肺泡相通。此外 ,远端细支气管与邻近肺泡之间尚有由上皮细胞覆盖的小交通道 ,起到侧支通气的作用 ,故无论自然平静呼吸 ,用力过度充气 ,还是正压通气 ,肺泡之间的压力很容易达到平衡 ,不容易发生肺泡破裂。

**Ⅰ型肺泡细胞** 占上皮细胞总数的  $95\%$  ,但它覆盖了肺泡  $97\%$  的表面积,Ⅰ型肺泡细胞为扁平型,胞质薄而宽,成为血气屏障的主要成分。Ⅰ型肺泡细胞间的连接为绝对不可渗型,因而既限制肺泡间质中的液体和蛋白质样物质渗入肺泡腔,同时也防止肺泡腔内的液体和其他物质进入间质内。Ⅰ型肺泡细胞在致病因素作用下,容易损伤脱落,如机械通气时过高的通气压力或容量皆容易导致肺泡细胞的损伤。Ⅰ型肺泡细胞分化程度高,无增生能力,受损后主要由Ⅱ型肺泡细胞增生、分化后,形成Ⅰ型肺泡细胞。

**Ⅱ型肺泡细胞** 又称分泌细胞。胞体较小,呈立方形,散布于Ⅰ型肺泡细胞之间,突向肺泡腔。核圆形,位于细胞中央;胞质着色浅,常有空泡。电镜下观察,可见游离面有较短的微绒毛,尤以细胞周边部为多,胞质中富含线粒体、粗面内质网、游离核蛋白体、高尔基复合体(较发达),核上区的胞质中还可可见嗜锇板层小体和多泡体。嗜锇板层小体内含以磷脂酰胆碱为主要成分的表面活性物质。Ⅱ型肺泡细胞合成、分泌表面活性物质的过程为:首先在粗面内质网上合成蛋白质前体,然后在高尔基复合体中糖基化成为糖蛋白,再经多泡体,最终在板层小体内与脂质结合成表面活性物质。板层小体在微丝的作用下渐渐移近游离面,其界膜逐渐与细胞膜合并。表面活性物质以胞吐的方式出胞,在Ⅰ型肺泡细胞表面形成一层薄膜。表面活性物质可降低肺泡的表面张力,防止肺泡萎陷,稳定肺泡直径。

**肺泡隔与气血屏障** 相邻肺泡间的结构称为肺泡隔。由密集的毛细血管网和薄层结缔组织构成。毛细血管为连续型,内皮甚薄,厚度仅为  $0.1\mu\text{m}$  ,相邻内皮细胞间为紧密连接,内皮下基膜完整。由于毛细血管紧贴肺泡细胞,致使内皮的基膜多与肺泡细胞的基膜融合,形成厚为  $0.2\mu\text{m}$  的一层膜。少数部位两层基膜间尚夹有少量结缔组织。肺泡腔与毛细血管腔之间的结构,是气体交换必经的结构,组织学上称为气血屏障,厚度为  $0.5\mu\text{m}$  。肺泡隔毛细血管网间的结缔组织称为肺的基质,含有胶原纤维、网状纤维和弹性纤维。这些纤维常呈网络状或薄板状排列,作为肺泡和毛细血管的支架。老年人因弹性纤维退化,肺泡回缩能力减弱,易发生肺气肿。结缔组织中还含有成纤维细胞、巨噬细胞、肥大细胞和浆细胞等。

(朱 蕾)

## 第二章 呼吸生理

呼吸系统的主要功能是吸入新鲜空气,并将代谢产生的二氧化碳呼出体外,称为气体交换。气体交换的完成包括肺通气、肺的血液循环和两者之间的良好配合。

### 第一节 肺的容积划分及通气功能

#### 一、肺的容积

根据呼吸运动及其幅度的变化,可将肺的容积划分成若干部分,各部分容积均可用肺量计直接描绘或间接计算出来。肺容积的动态变化就产生通气。肺各基本容积的划分如下。

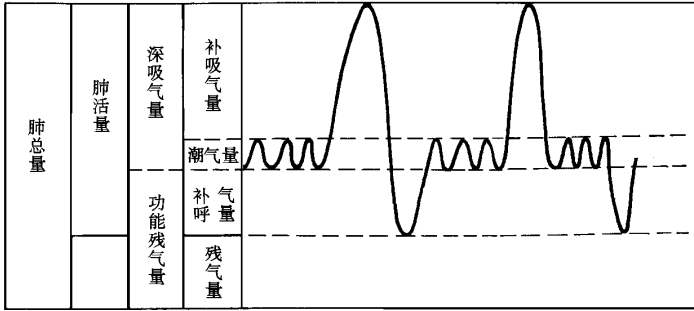
**潮气量** 在静息呼吸时每次吸入或呼出的气量称为潮气量(潮气量)。因呼吸气体交换率(二氧化碳排出量与氧摄入量之比)小于1,故吸入气量都大于呼出气量,但其差别很小。但在氧耗量突然减小和二氧化碳排出量增加的情况下,如剧烈运动后、刚接受机械通气时,呼气潮气量也可大于吸气潮气量。在安静状态下,潮气量大致是稳定的,但每间隔一定时间会有一次不自主的深吸气,也称叹气动作,其通气量约为潮气量的两倍。呼吸机设置中的叹气样呼吸即由此而来。

**功能残气量** 平静呼吸时,每次呼气末肺内残留气量是相对稳定的,称为功能残气量(功能残气量)。功能残气量的存在有重要的生理意义。倘若不存在功能残气量,肺泡气氧分压在呼气末将会减低到静脉血水平,而在吸气时会接近于空气中的氧分压,结果动脉血的氧分压、氧含量就要随每次呼吸而发生较大波动,发生间歇性分流,这在临床上主要见于急性肺损伤和肺水肿的陷闭肺泡区。相反,如果功能残气量大,则吸入的新鲜气体被其过度稀释,从而减少肺泡毛细血管膜两侧的气体分压差,也不利于气体交换;但若吸入高浓度氧气使氮气被稀释,尽管通气量可能不足,但氧的交换将顺利进行,因此过度充气时非常容易纠正低氧血症。功能残气量的大小主要取决于肺的弹性回缩力、气道阻力和呼气时间,如肺气肿时,小气道阻力增加,肺弹性减弱,功能残气量增大,肺纤维化时,肺弹性增强,功能残气量减少,机械通气时人工气道可增加气道阻力,呼气时间很难与自主呼吸完全一致,从而引起功能残气量的增大和过度充气的发生。

**肺活量** 尽量深吸气后作深呼气,所能呼出的最大气量称为肺活量(肺活量)。因其测定方法简便易行,可重复性良好,是评价肺功能的常用指标。肺活量的大小受呼吸肌力,肺、胸廓的弹性及气道阻力等因素的综合影响。也有人把肺活量分为吸气肺活量及呼气肺活量,上述方法测得的气量为呼气肺活量;而尽量深呼气后,做最大吸气,所吸入的气量为吸气肺活量。正常人两者相等,严重阻塞性肺疾患,因呼气阻力增高,呼气肺活量可小于吸气肺活量。

**残气量及总肺容量** 用力呼气后残存在肺内的气体量称为残气量(残气量)。最大深吸气后肺内总含气量为总肺容量(总肺容量)。残气量为残气量与潮气量之和。

死腔及死腔可由肺量计直接测出,死腔需经气体稀释法或体积描记法来测定。已知死腔死腔,即可计算出死腔死腔,各参数之间的关系见图死腔



图死腔 肺容量的组成及其关系示意图

### 二、肺泡通气及无效腔

每次呼吸吸入气道的新鲜气体,仅有一部分参与气体交换。从气体交换角度来讲,终末细支气管以上部分气道仅起到气体通道作用,这一部分的总容积,正常成人为死腔死腔,造称为解剖无效腔(或解剖死腔)。每次呼吸进、出终末呼吸单位的气量称为肺泡通气量(死腔死腔),与普通所说肺通气量不同,两者分别用下列公式表示:

死腔死腔(死腔死腔)越潮气量伊呼吸频率

死腔死腔越潮气量原无效腔)伊呼吸频率

从以上两式可知,在相同死腔的前提下,肺泡通气量在慢而深的呼吸时要大于浅而快的呼吸,因而对气体交换来说,前者是高效率的。

即使进入终末呼吸单位的气体,因通气、血流不均等原因,仍还有一部分不能参加气体交换,称为肺泡无效腔。肺泡无效腔与解剖无效腔之和,称为生理无效腔。行气管切开或气管插管,可起到减少解剖无效腔的作用。反之,不适当地增加联接管道或面罩通气则增加解剖无效腔。

机械通气时正确调节通气量是非常重要的问题,肺泡通气不足,将导致缺氧及二氧化碳的潴留;肺泡通气过度,则因二氧化碳排出过多而致呼吸性碱中毒。

### 三、阻塞性与限制性通气障碍的区别

根据通气障碍的原因不同,可分为阻塞性与限制性通气障碍。阻塞性通气障碍,指主要由气道口径变化、阻力增高而引起的通气障碍,如慢性支气管炎、支气管哮喘等。而限制性通气障碍,则系肺容积减少,或肺、胸廓顺应性下降,呼吸神经肌肉病变等所致呼吸运动受限而引起,如急性肺损伤、肺纤维化、胸廓畸形、重症肌无力等。重症阻塞性肺疾病多影响顺应性,如肺组织原发性或继发性弹力纤维破坏,顺应性增加,见于肺气肿,但更多情况则是超过压力容积曲线的高位拐点,致顺应性减退,因此重度阻塞性通气障碍多合并一定程度的限制性通气障碍。因呼吸功的消耗方式不同,阻塞性通气障碍的患者需采取慢而深的呼吸;限制性通气障碍的患者则需采取浅而快的呼吸;而严重阻塞性通气障碍的患者应采取浅而慢的呼吸,但患者多无法独立完成,必须采用机械通气。在应用机械通气治疗不同种类的患

者时,应区分通气功能受限的情况,采用不同的呼吸频率与潮气量搭配。

#### 四、与呼吸运动有关的压力

呼吸运动时,胸膜腔、肺泡及呼吸道中发生周期性的压力变化,成为肺通气的动力。如图 10-10 所示,各种压力有特定的部位。正确理解这些有关压力的概念和意义,是进一步掌握呼吸动力学知识的前提。

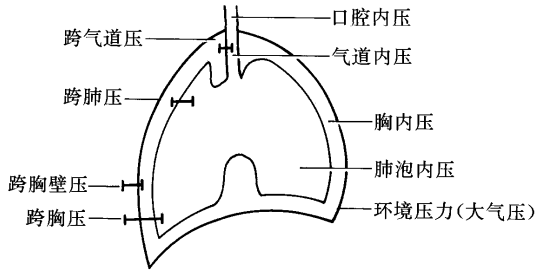


图 10-10 与呼吸器官有关的压力

**1. 胸内压** 也称为胸腔内压或胸膜腔内压,一般为负压,正常功能残气压为原线(平静呼吸末)的负压。胸内压直接受呼吸肌活动的影响,吸气时负压增加,呼气时减少。胸腔负压使壁薄的大静脉扩张,有利于静脉血液回流。因重力的作用,直立位时胸腔负压从肺尖部到肺底部逐渐减少,肺底部接近于零。受心脏相对固定的影响,心包周围的负压要比同水平肺脏周围的负压大。胸内压可直接测定,也可用测定食管内压的方法来测得。

**2. 肺泡内压** 肺泡内压取决于胸膜腔内压与肺的弹性回缩压之差。吸气时,胸膜腔负压增加,超过肺弹性收缩压,使肺泡内压低于大气压,气体进入肺内,直至肺泡压与大气压相平衡,气流停止。呼气时,胸膜腔负压减少而低于肺弹性收缩压,产生呼气,直至肺泡内压与大气压相平衡,呼气气流停止。

**3. 气道内压** 在吸气或呼气末,气流停止时,从肺泡到鼻、口腔、气道各处的压力相等。吸气时从口、鼻腔到肺泡的压力递减,呼气时则递增。在呼吸运动中,气道内任意两点间的压力差,取决于其间气道阻力的大小、气流速度、气流形态(层流或湍流)。

**4. 跨肺压** 肺泡内压与胸膜腔内压或肺间质内压之差,是扩张或收缩肺的压力。跨肺压的大小,主要与肺顺应性有关,肺顺应性减低时跨肺压增大。

**5. 跨胸壁压** 胸膜腔内压与胸廓外大气压之差,是扩张或压缩胸壁的压力,其大小决定于胸壁的顺应性。

**6. 跨胸压** 肺泡与胸廓外大气压的差,是扩张或压缩胸廓、肺脏的总压力。控制性机械通气时的跨胸压,即为呼吸机驱动呼吸的总压力。

**7. 跨气道压** 气道内、外压力之差,由于肺间质负压与胸腔负压相同,胸腔内气道的跨气道压也等于胸膜腔内压与气道内压之差。机械通气时,可通过增加呼气末压力的方法来增加呼气时的气道内压,减少跨气道压,防止气道陷闭。

上述压力皆受气道阻力的影响。气道阻力增加时,气流不能迅速进入肺内,胸腔和间质负压显著增加,并可能发生肺水肿。

## 五、肺通气的动力

气体进出肺脏取决于两方面因素的相互作用：一是推动气体流动的动力；二是阻止其流动的阻力。前者超过后者，方能实现通气。

**呼吸肌** 是产生呼吸运动的原动力。产生吸气动作的是吸气肌，主要有膈肌和肋间外肌；产生呼气动作的是呼气肌，主要有肋间内肌和腹壁肌。此外，还有一些辅助呼吸肌，如斜角肌、胸锁乳突肌和胸背部的其他肌肉等，这些肌肉只在用力呼吸时才参与呼吸运动。

**吸气运动** 只有吸气肌收缩时，才会发生吸气，所以吸气总是主动过程。膈位于胸腔底部，呈穹窿状向上隆起，肌纤维从顶部中央的中心腱向四周呈辐射状排列，静止时向上隆起。当膈肌收缩时，穹窿部下降，从而使胸腔上、下径增大，肺亦随之扩张，产生吸气。膈下移的距离视其收缩程度而异，平静吸气时，下移约 2cm，深吸气时，下移可达 4cm。由于胸腔呈圆锥形，下部面积比上部大得多，其中横膈面积约 1.2m<sup>2</sup>，因此，横膈稍下降就可使胸腔和肺的容积显著增大。据估计，平静呼吸时因膈肌收缩而增大的胸腔容积约 1.5L，相当于总通气量的 25%，所以膈肌的舒缩在肺通气中起主要作用。横膈因收缩而下移时，腹腔内的器官因受压迫而使腹壁突出，膈肌舒张时，腹腔内脏恢复原位。因为膈肌舒缩引起的呼吸运动伴有腹壁的起伏，所以这种形式的呼吸称为腹式呼吸。肋间外肌的肌纤维起自上一肋骨的近脊椎端的下缘，斜向前下方走行，止于下一肋骨近胸骨端的上缘。由于脊椎的位置是固定的，而胸骨可以上、下移动，故当其收缩时，肋骨前端与胸骨上举，并使肋弓稍外展，尤以下位肋骨外展较显著，从而使胸腔前后、左右径增大，胸腔容积与肺容积增大，产生吸气。由肋间肌舒缩产生的呼吸运动称为胸式呼吸，临床上，胃肠道胀气或严重腹水的患者，多呈胸式呼吸；胸部有病变的患者，常呈腹式呼吸。婴儿因胸廓尚未发育好，肋骨较为垂直，不易提起，也以腹式呼吸为主。正常成人的呼吸大多是以腹式呼吸为主的混合式呼吸。

**呼气运动** 平静呼气时，呼气运动不是由呼气肌收缩所引起，而是因膈肌和肋间外肌舒张，肺依靠本身的回缩力量而回位，并牵引胸廓缩小，恢复其吸气开始前的位置，产生呼气，所以平静呼吸时，呼气是被动的。用力呼吸时，呼气肌才参与收缩，使胸廓进一步缩小，呼气也有了主动的成分。肋间内肌走行方向与肋间外肌相反，收缩时使肋骨和胸骨下移，肋骨还向内侧旋转，使胸腔前后、左右径缩小，产生呼气；腹壁肌的收缩，一方面压迫腹腔器官，推动横膈上移，另一方面也牵拉下部的肋骨向下、向内移位，两者都使胸腔容积缩小，协助产生呼气。

**平静呼吸和用力呼吸** 机体在安静时平稳而均匀的自然呼吸，称为平静呼吸。每分钟呼吸频率 12~16 次，平静呼吸主要是由吸气肌有节律地收缩与舒张所造成。当膈肌与肋间外肌收缩时，胸腔负压与肺容积扩大，肺内压低于大气压，大气流入肺内，形成吸气；膈肌与肋间外肌舒张时，腹腔内脏回位使膈穹窿上移，同时肋骨与胸骨下降回位，使胸腔负压与肺容积缩小，肺内压高于大气压，肺内气体外流，形成呼气。可见，平静呼吸时，吸气是由吸气肌群收缩（作功）所造成，是主动过程；呼气则是由吸气肌群舒张所致（未作功），呼气肌并不参与活动，所以是被动过程。

机体活动、吸入气中二氧化碳含量增加或氧含量减少、肺组织或气道的病变，将导致呼吸加深、加快，称为深呼吸或用力呼吸。这时除膈肌与肋间外肌加强收缩外，辅助吸气肌也参与收缩，胸腔负压与肺容积更为扩大，肺内压比平静吸气时更低，吸入的气体也就更多。