

现代医学实用技术系列

XIANDAI YIXUE

SHIYONG JISHU

XILIE

**机械** JIXIE

TONGQI **通气**

主 编 朱 蕾 钮善福



上海科学技术出版社



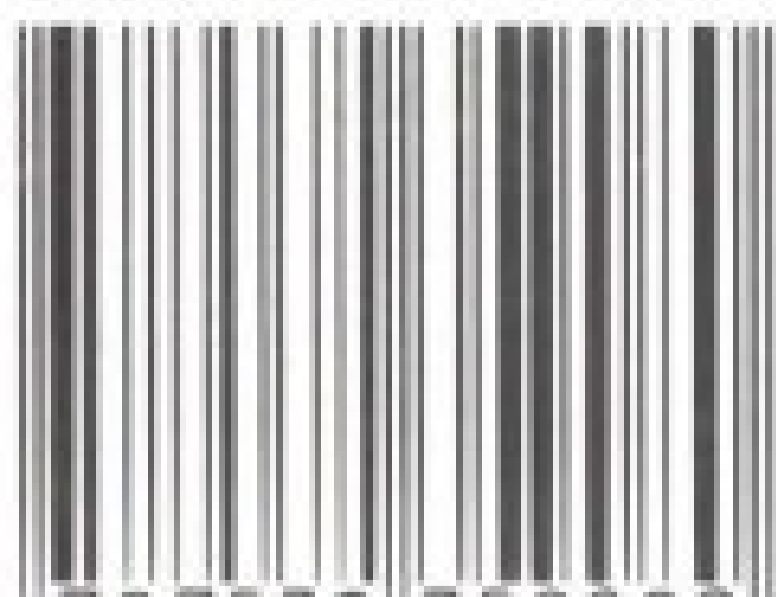
# 机械通气

*XIANDAI YIXUE  
SHIYONG JISHU  
XILIE*

现  
代  
医  
学  
实  
用  
技  
术  
系  
列

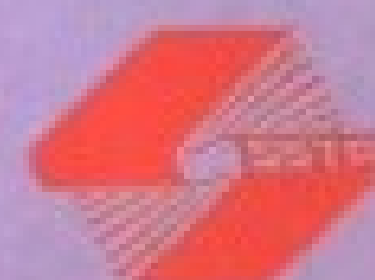
责任编辑 / 罗安妮  
封面设计 / 赵峻

ISBN 7-5323-5908-5



9 787532 359080 >

定价: 52.00 元



[www.stp.com.cn](http://www.stp.com.cn)

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

**图书在版编目 (C I P) 数据**

机械通气/朱蕾,钮善福主编. —上海:上海科学技术出版社,2001.5  
(现代医学实用技术系列)  
ISBN 7-5323-5908-5

I. 机... II. ①朱...②钮... III. 呼吸器-基本知识 IV. R459.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 07470 号

上海科学技术出版社出版发行

(上海瑞金二路 450 号 邮政编码 200120)

苏州市望电印刷厂印刷 新华书店上海发行所经销

2001 年 5 月第 1 版 2001 年 5 月第 1 次印刷

开本 787×1092 1/16 印张 24 插页 5 字数 572 000

印数 1—4 000 定价:52.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,  
请向本社出版科联系调换

## 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10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;大部分插图是临床和科研总结,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们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5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

2000年11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。1979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10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

2000年11月于上海



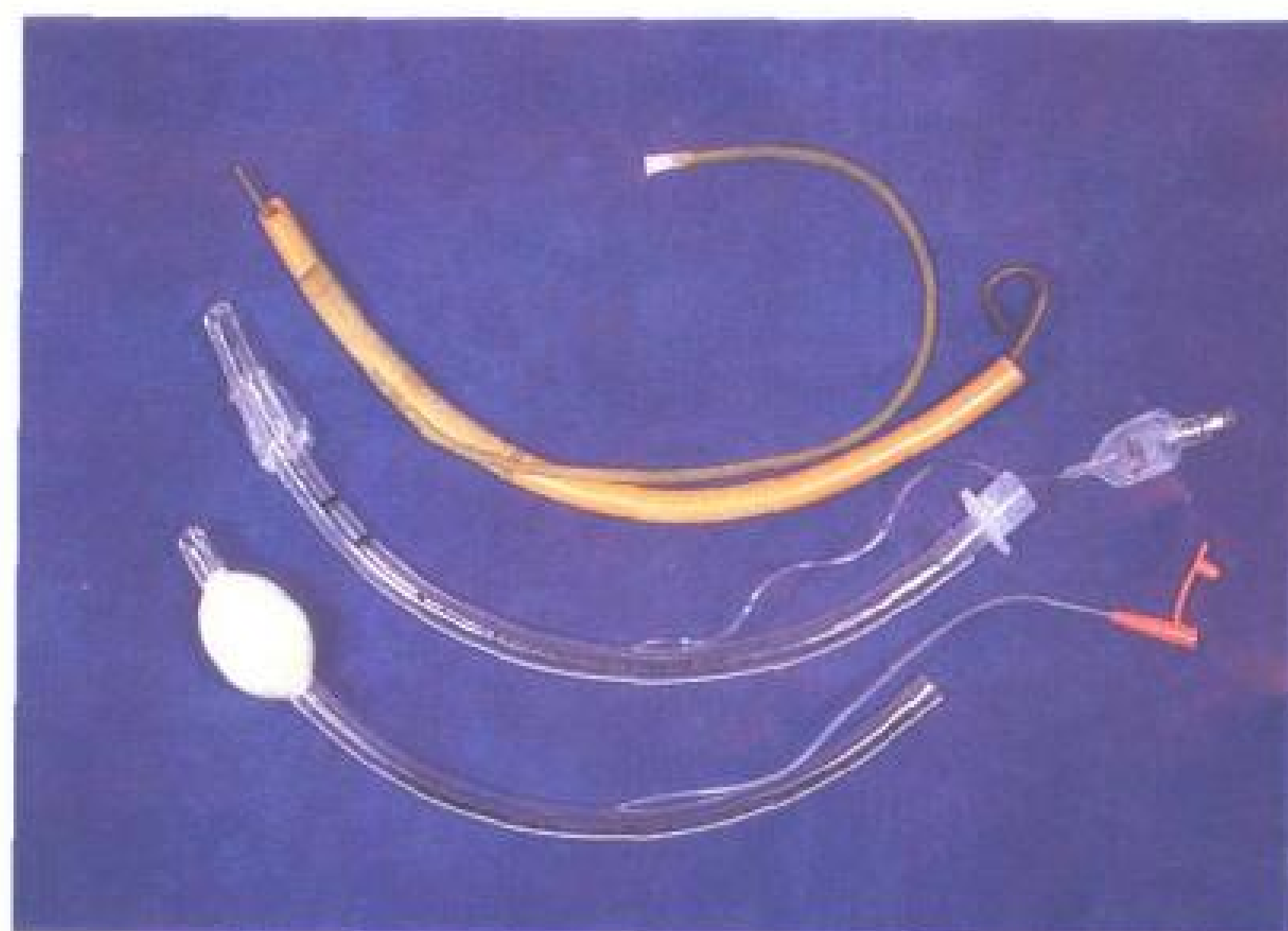
**图 8-1 常用通气面罩**  
 从左至右分别为橡胶面罩、塑料面罩、塑料面罩、  
 加特制双面粘胶布海绵面罩



**图 8-2 新型硅胶面膜型通气面罩**  
 (a) 自然状态



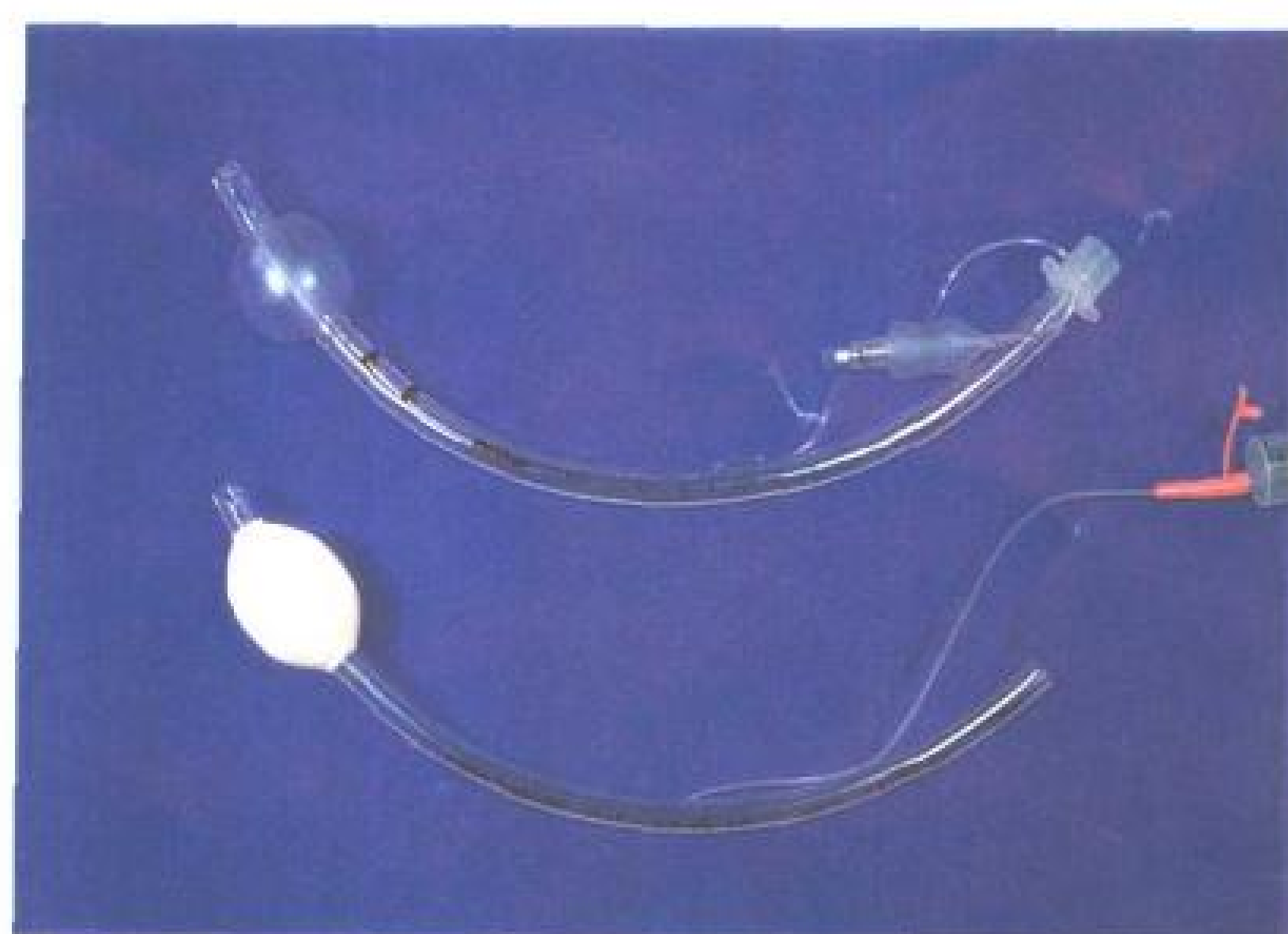
(b) 患者用新型硅胶面膜型通气面罩进行机  
 械通气



**图 8-3 常用气管插管导管**  
 (a) 自然状态



(b) 气囊充气量为 10ml 时的状态  
 左侧为高压低容气囊橡胶导管，气囊充气后呈半  
 球状，张力较大。中间为高容低压气囊塑料导管，  
 气囊充气后呈柱状。右侧为高容无压气囊塑料导  
 管，气囊自动充气后呈柱状，张力接近于零



(c) 气囊充气量为 20ml 时的状态，气囊呈球  
 状，张力非常大



图 8-4 常用气管切开导管



图 8-5 并联式湿化器  
(a)左为单纯并联式，右为改良式



(b) 改良式的内部结构

# 目 录

第一章 与机械通气有关的呼吸系统解剖	1
第一节 呼吸道结构特点与功能	1
第二节 肺与肺泡	5
第二章 呼吸生理	7
第一节 肺的容积划分及通气功能	7
第二节 肺的血液循环	15
第三节 气体在肺内的交换	20
第四节 呼吸的调节	22
第三章 动脉血气分析	25
第四章 呼吸衰竭	30
第五章 和机械通气有关的酸碱与电解质紊乱	37
第一节 酸碱与酸碱紊乱	37
第二节 机械通气相关性酸碱紊乱	46
第三节 机械通气相关性电解质紊乱	48
第六章 氧气疗法	51
第七章 机械通气的基础理论	62
第一节 呼吸机的基本结构	62
第二节 机械通气的基本特性	66
第三节 完成机械通气的基本要求	69
第四节 机械通气方式	69
第五节 机械通气的参数	75
第六节 机械通气的生理学效应和并发症	77
第七节 呼吸机的监测功能	98
第八节 机械通气的报警	99
第九节 机械通气装置对呼吸功的影响	99
第十节 呼吸机的临床分类	100
第八章 机械通气的联接	102
第一节 无创性经面(鼻)罩机械通气	102
第二节 机械通气时人工气道的建立和管理	109
第九章 常用机械通气模式	116
第一节 辅助/控制通气	116
第二节 间歇指令通气	121
第三节 压力支持通气	123
第四节 压力控制通气	128

第五节	气道压力释放通气	132
第六节	反比通气	134
第七节	指令分钟通气	137
第十章	呼吸机功能的完善	139
第一节	呼气触发与呼吸机同步	139
第二节	持续气流送气和按需阀送气	142
第三节	持续气流	142
第四节	流量触发	143
第五节	双水平持续气流和双水平气道正压	144
第六节	成比例通气的理论与技术	148
第七节	呼吸末气道正压	152
第八节	通气模式功能的完善	159
第十一章	机械通气的策略	160
第一节	肺保护性机械通气	160
第二节	自主性肺通气	169
第十二章	机械通气的应用技术	176
第一节	机械通气的适应证	176
第二节	机械通气的禁忌证	179
第三节	呼吸机的选择	180
第四节	通气模式的选择原则	182
第五节	通气参数的调节原则	183
第六节	初始机械通气	185
第七节	自主呼吸与机械通气的协调	186
第八节	机械通气的撤离	196
第九节	机械通气过程中各个环节的常见问题及处理	196
第十三章	机械通气的撤离技术	200
第十四章	机械通气的监测	214
第十五章	机械通气患者的营养支持	223
第一节	呼吸与营养	223
第二节	营养不良与机械通气患者	223
第三节	营养状态评价	227
第四节	主要营养物质对机械通气患者的影响	228
第五节	营养支持的总原则	230
第六节	撤离机械通气时患者的营养问题	235
第十六章	机械通气患者的护理	236
第一节	病情观察	236
第二节	机械通气患者的一般护理	237
第三节	面罩机械通气的护理	238
第四节	气管插管机械通气的护理	240

第五节	气管切开机械通气患者的护理	241
第六节	呼吸道湿化和吸痰的护理	242
第七节	机械通气治疗时的护理	243
第八节	撤离呼吸机的护理	244
第十七章	体外负压通气	246
第十八章	非常规机械通气及相关技术	251
第一节	高频通气	251
第二节	气管内吹气	257
第三节	肺表面活性物质及临床应用	260
第四节	一氧化氮吸入疗法	267
第五节	液体通气	271
第六节	氮-氧混合气辅助机械通气	275
第七节	体外氧合疗法	277
第八节	体位疗法	280
第十九章	呼吸重症监护室的管理	285
第二十章	呼吸机消毒、保养与维护	291
第一节	呼吸机的消毒	291
第二节	呼吸机的保养与维护	293
第二十一章	神经-肌肉疾病的机械通气治疗	296
第一节	中枢神经疾病	296
第二节	周围神经疾病或肌肉疾病	298
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	300
第二十三章	危重支气管哮喘患者的机械通气治疗	315
第二十四章	急性呼吸窘迫综合征的机械通气治疗	325
第二十五章	心源性肺水肿的机械通气治疗	334
第二十六章	单侧肺患者的机械通气治疗	340
第二十七章	机械通气在外科领域中的应用	342
第一节	机械通气在外科疾病患者中的使用适应证	342
第二节	机械通气在外科疾病患者中的实施	343
第三节	外科领域机械通气的一些相关问题	346
第四节	外科领域中常见疾病的机械通气	347
第二十八章	儿科中的呼吸支持方法及临床应用	349
第一节	小儿气管插管	349
第二节	儿科机械通气的应用	352
第三节	小儿呼吸衰竭治疗的一些新方法	359
第二十九章	镇静药、镇痛药和肌松药在监护室中的使用	362
第一节	常用镇静药、镇痛药和肌松药的药理	362
第二节	镇静药、镇痛药和肌松药在监护室中的使用	365
参考文献		368

# 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(nose)

鼻是呼吸系统的大门,由外鼻、鼻腔、鼻窦等组成。

1. 外鼻 是面部的组成部分,与机械通气关系不大,不赘述。

2. 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 20ml(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 160cm<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 80%。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 15 $\mu$ m 以上的微粒,95%~98%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。

3. 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(pharynx)

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6颈椎和食管的人口平面,成人全长12~14cm。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(larynx)

是呼吸与发声的重要器官。喉位于颈前正中部,在成人相当于第3~6颈椎部位,在咽的下方。

1. 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。

### 2. 喉的功能

(1) 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。

(2) 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,为保持气流通畅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。

(3) 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。

1. 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5~6胸椎之间分叉为左、右支气管。气管平均长 $10\sim 13\text{cm}$ ,直径 $18\sim 25\text{mm}$ ,一般气管插管导管的内径为 $7\sim 9\text{mm}$ ,故建立人工气道后阻力显著增加(至少增加16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 $16\sim 20$ 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。

2. 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。

(1) 右支气管:粗短而陡直,平均长 $1\sim 2.5\text{cm}$ ,与气管中轴延长线间的夹角一般为 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$ ,约于第5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。

(2) 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 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ,约在第5胸椎水平经左肺门进入左肺。

3. 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。

(1) 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。

(2) 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。

(3) 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4或5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。

5. 小气道的概念与特点 直径2mm以下的气道称为小气道,有如下特点。

(1) 管壁:管壁菲薄,炎症易波及气道全层及其周围组织。

(2) 管腔:管腔纤细,易因分泌物或渗出物等因素而致阻塞。

(3) 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。

(4) 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20%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。

(5) 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。

#### 6. 气管、支气管上皮细胞

(1) 纤毛柱状上皮细胞:大量分布于整个气道,呈高柱状,长约 $20\mu\text{m}$ ,宽约 $7\mu\text{m}$ ,基底部 $2\mu\text{m}$ 。每个细胞有纤毛300余根,发自细胞顶部的胞质内,纤毛长 $7\sim 10\mu\text{m}$ ,每秒钟向前摆动1000~1500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。

(2) 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。

(3) 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。

(4) K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。

(5) Clara 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。

(6) 神经上皮小体:由 15~50 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 5-羟色胺等物质,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。

1. 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 0.5mm 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 Clara 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。

2. 肺泡管 每个呼吸性细支气管可分支形成 2~11 个肺泡管,平均内径为 0.1mm 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。

3. 肺泡囊 是肺泡管的分支,一个肺泡管常分支形成 2~3 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,单层扁平上皮只有少量结缔组织。

4. 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 200~250 $\mu\text{m}$ ,可开口于肺泡囊、肺泡管和呼吸性细支气管,成人共有 3 亿~4 亿个肺泡,总面积为 70~80 $\text{m}^2$ 。肺泡的舒缩变化非常大,深呼气时的总面积仅为 30 $\text{m}^2$ ,深吸气时可达 100 $\text{m}^2$ 。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。

1. 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 1~2 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。