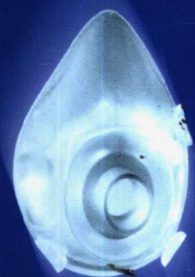


□张波 高和/主编

# 实用机械通气 治疗手册



SHIYONG  
JIXIE  
TONGQI  
ZHILIAO  
SHOUCE



 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PUBLISHER

# 实用机械通气治疗手册

SHIYONG JIXIE TONGQI ZHILIAO SHOUCHE

主 编 张 波 高 和

主 审 刘 又 宁



人 民 军 医 出 版 社

People's Military Medical Publisher

北 京

图书在版编目(CIP)数据

实用机械通气治疗手册/张波,高和主编. —北京:人民军医出版社,2002.10

ISBN 7-80157-644-6

I. 实… II. ①张…②高… III. ①呼吸器-手册②呼吸器-临床应用-手册 IV. ①R459.6-62②R318.13-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 065228 号

人民军医出版社出版

(北京市复兴路 22 号甲 3 号)

(邮政编码:100842 电话:68222916)

潮河印刷厂印刷

春园装订厂装订

新华书店总店北京发行所发行

\*

开本:850×1168mm 1/32·印张:11.625 字数:292 千字

2002 年 10 月第 1 版(北京)第 1 次印刷

印数:0001~4500 定价:25.00 元

(购买本社图书,凡有缺、损、倒、脱页者,本社负责调换)

## 内 容 提 要

本书是全面介绍机械通气技术的实用手册,共分 21 章。第一章至第五章介绍机械通气基础知识,包括呼吸力学、气体分布和交换、呼吸衰竭、酸碱失衡、人工气道的建立和管理以及呼吸机工作原理,第六章至第二十章介绍了机械通气临床应用方面的知识,包括通气模式的选择与调节,并发症处理、监测、评价及营养支持等。

本书简明扼要,实用性强,在叙述基础理论的同时介绍了近年来机械通气的新理论及新进展,适合于麻醉科、呼吸科、重症监护及急救室医师及其他相关专业人员参考阅读。

责任编辑 郭 威 于 哲

## 编著者名单

主 编 张 波 高 和

主 审 刘又宁

编著者(以姓氏笔画为序)

于 红	王岳松	王肇源	刘庆峰	刘 丽
孙家骧	纪树国	李玉柱	宋建平	宋艳红
罗志红	张劲夫	张 波	张建鹏	赵卫国
赵建忠	贾艳红	高 和	黄俊梅	崔俊昌
彭 渤	曾泽戎	解立新		

# 目 录

<b>第一章 机械通气的基本问题</b> .....	(1)
第一节 呼吸力学 .....	(1)
第二节 气体分布和交换 .....	(14)
<b>第二章 呼吸衰竭</b> .....	(19)
第一节 急性低氧性呼吸衰竭 .....	(19)
第二节 急性高碳酸血症性呼吸衰竭 .....	(23)
第三节 慢性高碳酸血症性呼吸衰竭 .....	(24)
第四节 诊断呼吸衰竭需注意的几个问题 .....	(26)
第五节 呼吸衰竭的治疗 .....	(27)
<b>第三章 酸碱失衡</b> .....	(37)
第一节 酸碱失衡的判断指标及其争议 .....	(38)
第二节 复合型酸碱失衡的类型及其争议 .....	(39)
第三节 酸碱失衡预计代偿公式的应用 .....	(41)
第四节 酸碱失衡类型及判断 .....	(47)
第五节 动脉血气分析的质量控制 .....	(53)
<b>第四章 人工气道的建立与管理</b> .....	(54)
第一节 人工气道建立的适应证 .....	(54)
第二节 插管的设备及所需材料 .....	(55)
第三节 气管插管方法 .....	(58)
第四节 气管插管与气管切开的管理 .....	(61)
第五节 气管插管并发症及处理 .....	(64)
第六节 口(鼻)面罩的应用 .....	(65)

<b>第五章 常规呼吸机的工作原理</b> .....	(68)
第一节 常用呼吸机的基本组成.....	(68)
第二节 呼吸机切换原理.....	(69)
第三节 常见呼吸机的切换方式.....	(71)
第四节 不同通气模式下呼吸机的切换方式.....	(72)
第五节 呼吸机的触发机制.....	(73)
<b>第六章 机械通气模式及其临床应用</b> .....	(75)
第一节 持续控制通气.....	(76)
第二节 辅助/控制通气.....	(77)
第三节 间歇指令通气和同步间歇指令通气.....	(79)
第四节 压力支持通气.....	(81)
第五节 双水平正压通气.....	(83)
第六节 其他通气模式.....	(84)
第七节 通气模式的初步选择.....	(97)
<b>第七章 机械通气模式的选择和参数的调节</b> .....	(99)
第一节 通气模式的选择.....	(99)
第二节 通气参数的设置.....	(100)
第三节 不同疾病状态下机械通气模式的选择和参数的调节.....	(104)
第四节 机械通气参数的评估和进一步调节.....	(107)
<b>第八章 机械通气的并发症及其处理</b> .....	(114)
第一节 机械通气相关肺损伤.....	(114)
第二节 机械通气时的气道并发症.....	(120)
第三节 呼吸机相关性肺炎.....	(123)
<b>第九章 机械通气期间呼吸和循环功能监护</b> .....	(143)
第一节 脉搏血氧饱和度监测.....	(144)
第二节 呼出气二氧化碳监测.....	(146)
第三节 肺功能监测.....	(147)
第四节 血流动力学监测.....	(148)

第五节	组织氧运输功能监测 .....	(154)
第六节	组织氧合监测 .....	(155)
第七节	呼吸力学曲线的监测 .....	(157)
<b>第十章</b>	<b>撤机技术及其评价 .....</b>	<b>(165)</b>
第一节	影响撤机的因素 .....	(165)
第二节	撤机的预测指标 .....	(167)
第三节	撤机技术 .....	(169)
<b>第十一章</b>	<b>无创通气在急性呼吸衰竭患者中的应用 .....</b>	<b>(172)</b>
第一节	适应证和禁忌证 .....	(172)
第二节	NIV的实施方法 .....	(174)
第三节	NIV的原理和临床应用评价 .....	(177)
<b>第十二章</b>	<b>家庭机械通气 .....</b>	<b>(183)</b>
第一节	家庭机械通气的适应证 .....	(183)
第二节	家庭机械通气治疗的方法和原理 .....	(186)
第三节	家庭机械通气治疗时通气机的选择、调节和监测 .....	(188)
第四节	家庭机械通气的疗效 .....	(189)
第五节	家庭机械通气经常发生的问题及解决方法 .....	(190)
<b>第十三章</b>	<b>机械通气的辅助措施及其评价 .....</b>	<b>(192)</b>
第一节	气管内吹气 .....	(192)
第二节	俯卧位机械通气 .....	(196)
第三节	体外膜肺 .....	(197)
第四节	血管内氧合器 .....	(208)
第五节	氮-氧混合气 .....	(211)
第六节	一氧化氮吸入疗法 .....	(215)
<b>第十四章</b>	<b>机械通气期间的用药问题 .....</b>	<b>(219)</b>
第一节	镇静剂、止痛剂和肌松剂的应用 .....	(219)
第二节	糖皮质激素的应用 .....	(226)



第三节	抗菌药物的应用 .....	(233)
第四节	支气管扩张剂的应用 .....	(244)
<b>第十五章</b>	<b>机械通气与呼吸肌疲劳 .....</b>	<b>(250)</b>
第一节	呼吸肌的生理 .....	(251)
第二节	不同疾病的呼吸肌功能 .....	(254)
第三节	呼吸肌疲劳的预防和治疗 .....	(259)
<b>第十六章</b>	<b>机械通气期间的营养支持 .....</b>	<b>(263)</b>
第一节	呼吸衰竭患者的营养状态 .....	(263)
第二节	营养状态的评价 .....	(265)
第三节	呼吸衰竭患者营养治疗 .....	(267)
<b>第十七章</b>	<b>机械通气与多脏器功能不全综合征 .....</b>	<b>(270)</b>
第一节	对 MODS 的新认识 .....	(270)
第二节	MODS 的诊断和评价 .....	(271)
第三节	MODS 的治疗 .....	(272)
<b>第十八章</b>	<b>新生儿及婴幼儿机械通气 .....</b>	<b>(280)</b>
<b>第十九章</b>	<b>常见疾病机械通气应用举例 .....</b>	<b>(285)</b>
<b>第二十章</b>	<b>常用进口及国产呼吸机的性能特点 .....</b>	<b>(297)</b>
第一节	西门子司服系列呼吸机 .....	(297)
第二节	熊牌系列呼吸机 .....	(298)
第三节	鸟牌系列呼吸机 .....	(300)
第四节	Drager Evita 系列呼吸机 .....	(300)
第五节	纽邦系列呼吸机 .....	(302)
第六节	Puritan-Bennett 系列呼吸机 .....	(303)
第七节	夏美顿牌呼吸机 .....	(304)
第八节	法国 Taema 呼吸机 .....	(306)
第九节	其他品牌呼吸机 .....	(307)

第二十一章 麻醉呼吸机 .....	(311)
附录 A 常用计算公式及临床意义 .....	(318)
一、氧合公式 .....	(318)
二、动脉血气计算公式 .....	(320)
三、呼吸力学计算公式 .....	(322)
附录 B 压力转换系数 .....	(325)
附录 C ALI/ARDS 诊断标准及病情严重程度评分 .....	(326)
附录 D APACHE II 评分标准 .....	(328)
附录 E 多脏器功能衰竭综合征的评分标准 .....	(331)
附录 F 气管插管和气管切开的选择 .....	(332)
附录 G 正确的吸痰方法和吸痰时的并发症 .....	(334)
附录 H 全静脉营养处方的实施方法 .....	(336)
附录 I 机械通气期间的治疗药物监测 .....	(338)
附录 J 呼吸机管路顺应性的测量方法 .....	(339)
附录 K 根据身高估计理想体重 .....	(340)
附录 L 重要呼吸生理指标正常值 .....	(341)
附录 M 机械通经常用词英汉对照 .....	(344)

# 第一章

## 机械通气的基本问题

### 第一节 呼吸力学

呼吸力学是机械通气理论的重要组成部分之一,正常人胸腔内不同位置的力学特征存在着一定的差异,这种不均一性在损伤不均匀的肺部病变中表现的更为突出,可以对气体交换产生极大的影响,并使发生机械通气相关肺损伤的概率明显增加,因此熟知不同疾病状态下的呼吸力学特征对指导正确使用机械通气技术十分有帮助。与机械通气相关的重要呼吸力学指标详见表 1-1。

表 1-1 与机械通气相关的重要呼吸力学指标

指标	测定方法	指标	测定方法
压力		容量	
峰压力	呼吸机自动显示	吸气潮气量	呼吸机显示
平台压	吸气末阻断法	呼气潮气量	呼吸机显示
平均气道压	呼吸机显示或计算	可压缩气量	通过计算得出
胸膜腔内压	测定食管内压	呼气末肺容积	通过计算得出
autoPEEP	呼气末阻断法		
阻力		流速	呼吸机显示或计算

(续 表)

指标	测定方法	指标	测定方法
吸气阻力	呼吸机显示	最大吸气压力	呼吸机显示
呼气阻力	呼吸机显示	呼吸功	呼吸机显示或计算
弹性阻力 顺应性	计算得出		
静态顺应性	吸气末阻断法测定	压力-容积曲线	呼吸机显示或描绘
动态顺应性	呼吸机显示或测定		
呼吸系统顺应性	呼吸机显示或测定	P0.1	呼吸机显示

## 一、气道压力

跨肺压( $\Delta P_L$ ) = 气道开口压( $P_{ao}$ ) - 胸膜腔内压( $P_{pl}$ ) (1)

跨肺泡压( $\Delta P_{alv}$ ) = 肺泡内压( $P_{alv}$ ) - 胸膜腔内压( $P_{pl}$ ) (2)

跨气道压( $\Delta P_{aw}$ ) = 气道开口压( $P_{ao}$ ) - 肺泡内压( $P_{alv}$ ) (3)

气道峰压( $PIP$ ) = 气道阻力压( $P_{R_{aw}}$ ) + 平台压( $P_{pla}$ ) (4)

平台压( $P_{pla}$ ) 近似等于平均肺泡内压( $P_{alv}$ )。

平均气道压( $\bar{P}_{aw}$ ) =  $[(PIP - PEEP) \times T_i / TOT] + PEEP$  (恒压通气时) (5)

$\bar{P}_{aw} = [0.5 \times (PIP - PEEP) \times T_i / TOT] + PEEP$  (恒流通气) (6)

食管内压( $P_{es}$ ) 近似等于胸膜腔内压( $P_{pl}$ )。 (7)

平均肺泡压( $\bar{P}_{alv}$ ) =  $P_{aw} + (R_E - R_I) \times (V_E / 60)$  (8)

临床上最常用的气道压力  $PIP$ 、 $P_{pla}$  和  $P_{aw}$ ， $PIP$  是克服气道阻力(非弹性阻力)和弹性阻力产生潮气量所需的压力。当潮气量

固定时, PIP 增高提示气道阻力和(或)肺、胸廓的弹性回缩力增加。Ppl<sub>a</sub> 是在无气流时维持肺脏充气所需的压力。多数气道内压力很容易在呼吸机面板或辅助监测系统上观察到, 但应注意, 如果不结合食管内压力测定, 其临床意义变小。因为目前尚没有直接测定胸膜腔内压的很好方法, 多用食管内压(Pes)代替胸腔内压, 如不测定 Pes, 则在自主呼吸状态下测得的肺顺应性、中心静脉压等重要生理参数均不准确。所以, 食管内压或胸膜腔内压的测定, 对机械通气患者的呼吸和循环功能的判断及进行治疗, 都有重要意义。应注意, 在机械通气连接管路上的不同部位测得压力所代表的意义不同(表 1-2)。

表 1-2 不同通气方式下在不同部位测得压力的含义

测压部位和通气方式	所克服的阻力	P-V 曲线的斜率
自主呼吸时的食管内压	肺吸气和呼气阻力	肺顺应性
机械通气时的食管内压	胸壁的吸气和呼气阻力	胸壁顺应性
自主呼吸时隆凸上气管插管内压力	整个呼吸装置(气管插管、呼吸管路、呼吸机)	整个呼吸设备的顺应性
机械通气时隆凸上气管插管内压力	肺和胸壁的吸气和呼气阻力	呼吸系统的顺应性
自主呼吸时气道开口处(Y型管接口处)	呼吸管路和呼吸机的吸气和呼气阻力	呼吸管路的顺应性
机械通气时气道开口处	肺和胸壁阻力加气管插管阻力	呼吸系统顺应性

Paw 对血流动力学、气体交换的影响更为明显, 并与气压伤的发生密切相关。因此, 监测 Paw 十分重要。在机械通气期间, 应尽量保持峰压力  $< 3.92 \text{ kPa} (40 \text{ cmH}_2\text{O})$ , 测定时按吸气末按钮

才能使结果准确。平台压应保持在  $3.43\text{kPa}(35\text{cmH}_2\text{O})$  以内,若高于此值发生气压伤的危险性明显增高。由公式(5)可看出,要减少  $P_{aw}$ ,可通过调整吸气时间(当潮气量和呼吸频率固定时,调节吸气流速)、减少 PEEP 水平、降低呼吸阻力和通气水平来实现。从公式(8)可以看出,当  $R_E$  明显高于  $R_I$  时,可使得平均肺泡压高于平均气道压,多发生在高分钟通气量和呼气阻力相对大的情况下。哮喘患者存在严重的气道阻塞,呼气阻力可明显高于吸气阻力,在通气量过大时平均肺泡压高于平均气道压,如没有考虑这一差异,容易低估肺泡内的压力。

床旁监测 PIP、 $P_{pla}$  对判断呼吸功能恶化的原因,指导治疗具有重要意义。

1. 当峰压力增高而平台压无改变时,提示气道阻力增高,应检查气管插管是否被分泌物阻塞,有无支气管痉挛等。采取相应措施,如:及时吸痰和雾化吸入支气管扩张剂等措施可取得明显效果。

2. 当峰压力和平台压同时升高时,提示肺和胸壁扩张受限,应注意观察有无下述情况:①明显的腹胀;②肺不张;③气胸;④肺水肿、ARDS 及严重的肺炎;⑤内源性 PEEP;⑥人-机呼吸抵抗等。

3. 当气道峰压降低时,应考虑有无管路漏气,检查管路连接是否松动脱落、气囊处是否有漏气。此外,患者存在过度通气时胸内负压过高也可导致峰压力降低。

4. 气道峰压无改变并不意味着呼吸力学无异常,因为通过气道峰压力改变检测呼吸力学异常的敏感性至今尚不清楚,需继续评估患者的各种情况。

## 二、气道阻力

气道阻力是气体在气道中受到的阻塞程度,可分为吸气阻力和呼气阻力。

$$\text{吸气阻力}(R_I) = (PIP - P_{pla}) / \text{吸气末流速} \quad (9)$$

$$\text{呼气阻力}(R_E) = (P_{pla} - PEEP) / \text{最大呼气流速} \quad (10)$$

跨气道压是气体进入肺泡的动力,正压机械通气时,气道峰压力(PIP)需克服气道阻力和肺的弹性阻力和呼气末肺内压力(PEEP),公式(4)还可表示为:  $PIP = RV + V/C + PEEP$

机械通气时气管插管产生的阻力在总的呼吸阻力中占很大比例,与管腔内径关系最大,其次流速和气管插管长度也对阻力有一定的影响。根据流体力学的理论,改变吸入气体的性质,如采用低密度、高黏滞性的氮-氧混合气也可减低吸气阻力,减少呼吸功。气道阻力越大,在气体运动过程中消耗在气道上压力越多,传送到肺泡内的压力和气体都减少。因此,要保证有效的气体交换就必须提高压力和流速。在 COPD 和哮喘患者采用高压力和高流速通气时肺泡内压不会有很大的升高。在选择气管插管时在允许范围内尽可能选择大直径的气管插管,特别是对 COPD 和哮喘患者。正常人当吸气流速为 500ml/s 时,呼吸阻力大约为 0.6 ~ 2.4cmH<sub>2</sub>O/(L·s),气管插管后阻力一般为每秒 6cmH<sub>2</sub>O/L 或稍高。清醒未插管的肺气肿和哮喘患者阻力一般在 13 ~ 18cmH<sub>2</sub>O/(L·s)范围内。(注:1cmH<sub>2</sub>O=0.098kPa)

### 三、压力、容量、阻力和流速之间的关系

压力( $\Delta P$ )、阻力(R)、流量( $\dot{V}$ )的关系可用公式表示为:

$$\Delta P = R \times \dot{V} \quad (11)$$

流量对时间积分就可得到容量(V)。

P、R 和  $\dot{V}$  被称为呼吸力学的三要素,其相互关系如公式(11)所示,其中某一因素固定后,分析另外两个因素之间的关系,可帮助我们理解病理情况下肺的力学变化特点,更好地调节好呼吸机。例如:当压力固定后,阻力与流速呈反比,阻力越大则流速越慢,对慢性阻塞性肺病患者用压力控制通气时,潮气量主要由吸气时间和流速决定( $V_T = T_i \times \dot{V}$ ),为缩短吸气时间需提高流速,采用高流

速可延长呼气时间,有效克服内源性 PEEP(PEEP<sub>i</sub>),减少呼吸功耗。当采用压力支持通气(PSV)时,如果存在着严重的气道痉挛,吸气过程中因阻力相对固定,故流速大致是恒定的。因此,可能发生在病人吸气努力结束很长时间后,气体流速并没有降低到机器预设的切换标准(一般在最大吸气流速的 25%),病人需被迫收缩呼气肌来减慢流速,以触发下一次呼吸,这时可增加呼吸功,对这类患者最好不选用 PSV。压力和流速是临床医生可以调节和控制的 因素,熟悉和掌握了呼吸力学原理后可根据肺部疾病的不同病理生理改变进行灵活运用。

气道阻力增加意味着呼吸功的增加,临床上导致呼吸功增加最常见的原因是气道阻力增加。在  $\Delta P$  不变的情况下,R 增加将意味着流速降低,并进一步导致分钟通气量的降低,发生通气衰竭。在心肺衰竭的基础上,呼吸功增加可进一步加重氧合衰竭。

#### 四、顺应性

肺顺应性是指每单位压力变化导致肺容量(使肺扩张)的变化。用公式表示为: $C = \Delta V / \Delta P$ 。顺应性可分为静态顺应性(static compliance,  $C_s$ )和动态顺应性(dynamic compliance,  $C_d$ )。 $C_s$  反映肺和胸壁的弹性(弹性阻力)特征,在测量时于吸气末阻断气流,压力变化用平台压-PEEP 来计算,因此排除了气道阻力成分。而  $C_d$  反映气道的阻力(非弹性阻力)和呼吸系统弹性(弹性阻力)特征,在测量时有气流存在,压力变化用峰压力-PEEP 来计算,因此气道阻力可明显影响  $C_d$  的水平。顺应性测定的方法总结如表 1-3。

1. 顺应性降低 意味着肺脏“变硬”,单位压力引起的肺容积变化减小,呼吸功增加。低顺应性相关的呼吸生理改变主要包括功能残气量降低、限制性通气功能障碍、低肺容积和低分钟通气量、呼吸频率代偿性加快等,临床上肺顺应性减低多导致顽固性低氧血症。导致顺应性降低的常见情况如表 1-4 所示。



表 1-3 静态和动态顺应性测定方法

1. 计算校正的呼气潮气量(=呼气潮气量-管路压缩气量)
2. 按吸气末暂停钮或在吸气末阻断呼吸机排气口得到平台压
3. 得到峰压力值
4. 获取 PEEP 和 PEEP <sub>i</sub> 值
5. 计算: $C_s = \text{校正的潮气量} / (\text{平台压} - \text{PEEP})$ $C_d = \text{校正的潮气量} / (\text{峰压力} - \text{PEEP})$
6. 如有 PEEP <sub>i</sub> 存在, 计算时应减去(即平台压-PEEP-PEEP <sub>i</sub> )
7. 正常值: $C_s$ 50~80ml/cmH <sub>2</sub> O, $C_d$ 30~40ml/cmH <sub>2</sub> O, 插管后降低

2. 顺应性增高 意味着单位压力引起肺容积变化增大, 当顺应性显著增高时, 由于肺弹性回缩力的降低往往导致呼气不完全、功能残气量显著增加、阻塞性通气功能障碍及气体交换障碍。

表 1-4 导致顺应性降低的常见临床情况

静态顺应性降低	动态顺应性降低
肺不张	支气管痉挛
ARDS	气管插管扭曲
张力性气胸	气道阻塞
肥胖	
肺纤维化	
胸廓畸形	
肺水肿	

一般情况下, 导致静态顺应性变化的各种疾病多同时影响动态顺应性产生同样的改变。如肺不张时可同时降低肺静态和动态