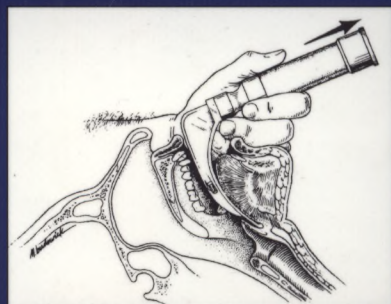
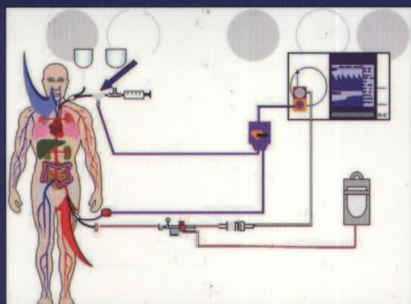
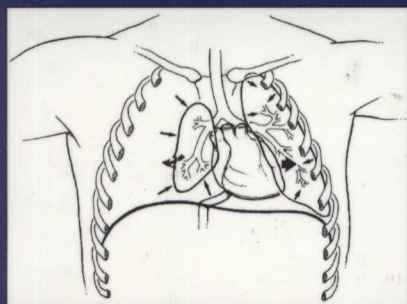


机械通气临床实践

Clinical Practice of Mechanical Ventilation

编著 俞森洋



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

机械通气临床实践

Clinical Practice of Mechanical Ventilation

俞森洋 编著

 人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北京

图书在版编目(CIP)数据

机械通气临床实践/俞森洋编著. —北京:人民军医出版社,2008.9
ISBN 978-7-5091-2053-8

I 机… II. 俞… III. 呼吸器—基本知识 IV. R459.6 R318.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 135557 号

策划编辑:郭伟疆 姚 磊 文字编辑:于晓红 责任审读:黄栩兵

出 版 人:齐学进

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927270;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927272

网址:www.pmp.com.cn

印刷:三河市春园印刷有限公司 装订:春园装订厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:63.25 字数:1565千字

版、印次:2008年9月第1版第1次印刷

印数:0001~3000

定价:298.00元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

作者简介



俞森洋 男，1947年1月生，浙江永康人。1970年毕业于中国协和医科大学。1980~1983年为中国人民解放军军医进修学院研究生。1990~1991年在罗马Gemelli大学医院研修。现为解放军总医院南楼呼吸科主任、教授、博士生导师。从事呼吸系统疾病和危重病学的医疗保健工作30多年，尤其在呼吸危重病、呼吸衰竭和多脏器功能不全、老年呼吸病和感染性疾病诊治及机械通气方面具有丰富的经验。已发表论文158篇，获全军医疗成果一等奖1项，二、三等奖6项。获第七届“吴阶平医学研究奖—保罗·杨森药学研究奖”二等奖。因在医疗保健工作中做出积极贡献，先后多次荣获中央保健委员会颁发的奖状或荣誉证书、“全军干部保健工作特殊贡献奖”，两次荣立三等功。被评为解放军总后勤部优秀教师。获国务院特殊津贴。主编的长篇专著有《当代呼吸疗法》、《危重病监护治疗学》、《呼吸内科主治医师410问》、《现代机械通气的理论和实践》、《现代机械通气的监护和临床应用》、《现代呼吸治疗学》、《呼吸危重病学》7部，另参编专著16部。现任中央和军队保健会诊专家、10余种杂志的编委或副主编、中国老年学会老年医学委员会副主任委员等8种学术职务，承担国家和军队重大科研课题5项。被中华医学会和北京医学会分别聘为医疗事故技术鉴定专家库成员。多次担任优秀科技图书奖、国家图书奖、中国出版政府奖（图书奖）评委。

内容提要

SUMMARY

书中编者系统、全面、深入地阐述了机械通气的相关知识。本书具有以下特点:①内容丰富,重点突出。全书分8篇共94章,重点讲述机械通气的方法和技术、机械通气患者的监护、机械通气在不同疾病和临床情况的应用。如人工气道的建立和管理,机械通气参数的设置和调整,各种通气模式,无创性正压通气,机械通气在ARDS、AECOPD、危重型哮喘、外科手术后、多发性创伤,以及在新生儿和儿童、老年人中的应用等。凡临床上较少应用的,如负压通气、液体通气、气管内吹气、体外或肺外气体交换技术等,即简明扼要,做一般性介绍。②密切结合临床,注重实践应用。③知识新颖,紧跟现代进展。对近年来研究的热点问题和发展趋势,如通气新模式、呼吸机相关肺损伤和肺保护通气新策略、撤机新指南、auto-PEEP、呼吸波形和环的监测等给予了评价和展望。④普及与提高相结合。本书既适用于初学者,也适用于有相当呼吸机应用经验的临床医生,以提高他们的机械通气水平为目的。

书中每章开头有提要,结尾有该章重点和关键问题,并附有思考题或讨论题,适合呼吸内科医师、ICU医护人员阅读,也可供临床从事危重病救治的医护人员、研究生和医学生阅读参考。

序一

FOREWORD 1

当代科学技术的迅猛发展,促进了呼吸机的不断更新换代。新一代呼吸机联合应用了电脑(微处理机)、高精度微传感器、快速反应的活瓣(阀门)系统这3项技术,使呼吸机的性能在自动调控、自动监测、安全性和无创伤性诸方面已有了长足的进步。通气模式不断增多,机械通气临床应用策略的深入研究,人-机协调技术的改进,以及监测和报警技术的完善,促进了机械通气技术的全面发展。如何将这些技术及时应用于临床,使广大患者受益,则有赖于临床医生对新知识的了解,并在不断的医疗实践中总结提高。

由俞森洋教授编著的《机械通气临床实践》一书共8篇94章,重点讲述了机械通气的方法和技术、机械通气患者的监护、机械通气在不同疾病和临床状况的应用等方面的知识。对临床上应用多,近年发展快、技术复杂的内容进行了深入的阐述,如人工气道的建立和管理,机械通气参数的设置和调整,各种通气模式,无创性正压通气,非常规通气技术的特点及适应证,机械通气在ARDS、AECOPD、危重型哮喘、外科手术后、多发性创伤,以及在不同年龄患者中的应用等。全书内容丰富,重点突出;密切结合临床,注重实践应用;知识新颖,紧跟时代进展;兼顾普及与提高。

俞森洋教授从医40余年,长期从事呼吸系统疾病和危重病学的医疗保健、教学和科研工作,尤其在呼吸危重病、老年呼吸病和机械通气方面积累了丰富经验。俞教授学术专著甚丰,笔耕不辍,8年前他主编的两本机械通气专著在国内有广泛的影响,深受临床医生的欢迎。如今他又编著了本书,更难能可贵的是,该书全部由俞教授本人重新撰稿。其专注学术,辛勤工作的精神可嘉。我们在祝贺本书出版的同时,也向作者表示感谢。本书的出版将为临床医师提供有用的指导,希望更多的读者从本书中受益。

中华医学会会长 钟南山
中国工程院院士

2008年6月19日

序二

FOREWORD 2

对于一名从事呼吸系统疾病或重症医学的临床工作者来说,对急性或慢性呼吸衰竭的诊断和处理是否及时、得当常会成为患者“生或死”的关键性因素,同时也是对医师专业水平的重要考核。机械通气则被看作关键中的关键。这大概也是俞森洋教授主编的《现代机械通气的理论和实践》和《现代机械通气的监护和临床应用》两本专著出版8年来备受国内同道欢迎的原因。

8年来,机械通气领域发生了较大的变化,新技术、新方法、新通气模式、新的理念纷纷出现在临床第一线。森洋教授基于上述现状,再加上他和他的团队有着丰富的临床实践经验,结合广大读者和同道们的要求,他在百忙之中编写了这部《机械通气临床实践》,这绝非上述两书的缩编,而是他的新作。全书分8篇94章,读来颇有特点,其一是重点突出,因为他着重讲述了机械通气的方法和技术、机械通气患者的监护、机械通气在不同疾病和临床状况的应用等重要又实用的课题。其二是实用性强,书中对近来发展快、应用多、技术复杂的机械通气内容加以详述,如人工气道的建立和管理、机械通气参数的设置和调整、各种新通气模式等,介绍机械通气在不同疾病、不同人群中的应用特点等,因此面对临床实际,读之即能有用。第三,本书内容新颖,图文并茂也是非常吸引人的地方。

现在我们幸逢信息时代,各种理论和技术日新月异。唯有迅速及时地更新我们的知识,才能赶上时代前进的步伐,才能更好地为患者服务。因此,系统的、科学的、易懂的参考书必然受到读者的欢迎。森洋教授的这本书正是适应了大家的需求。

森洋教授多年来专注学术,笔耕不辍,刻苦钻研,不辞辛劳,这些精神实在值得我们学习。

时值本书出版之际,特书此序向他祝贺。相信本书的出版将为临床工作者在机械通气方面提供有用的指导,也希望更多的同道从此书中受益。

清华大学 北京协和医学院 朱元珏
北京协和医院 呼吸科

2008年5月8日

前 言

PREFACE

2000年出版的由我主编的《现代机械通气的理论和实践》和《现代机械通气的监护和临床应用》两部专著,受到国内呼吸医学界和危重病学界专家和医生们的赞许和高度评价,使我深受鼓舞。同时,也有不少医生希望我写一本简单实用、提纲挈领式的有关“机械通气”的书,以供临床医生和初学者阅读。因为那两本专著对他们来说,内容太多且太深。由于临床医疗保健工作的紧张忙碌,加上当时早已排满撰写其他书稿的计划,所以我没能马上接受这些医生的建议。时间一晃已过去了8年,这些年来在机械通气领域又发生了许多变化,有不少新技术、新方法、新通气模式和新通气策略应用于临床。2003年严重急性呼吸综合征(SARS)在我国某些地区暴发流行,也迫使和促进了以机械通气为主的呼吸支持技术在我国各级医院的普及和提高。我科连续6年举办了“全国机械通气的进展和临床应用”学习班,并与大家一起交流、总结机械通气临床应用体会,积累了丰富的经验。基于这些情况,我决定撰写本书。

本书并不是前两部机械通气专著的缩编本,全部内容由我本人重新撰写,并力求达到内容新颖、临床实用、提纲挈领和图文并茂四大目标。为此,对一些理论性强,属研究性、探索性或颇有争论性的机械通气相关问题不得不舍弃;对一些临床实用技术和方法,则予以重点介绍。既介绍了机械通气的基础知识、基本概念,也反映了机械通气的新知识、新进展和新成果。在编写过程中,查阅了大量的国内外相关文献和近几年出版的有关机械通气和呼吸危重病方面的专著,尤其关注,并尽量收入世界各国经多中心前瞻性研究证明,以循证医学为依据制定的各种指南。每章正文前有“提要”,正文后有“重点和关键问题”及问答题(参考答案见附录G)和思考题或讨论题(参考答案在正文中)。本书布局统一,重点突出,内容连贯、简练,体例、编排等风格一致。

由于本人学识和经验有限,错误和不当之处敬请读者批评指正。

本书在撰写过程中,曾蒙张文娟、夏文俊、王立万、张晓军、李洪霞、邹琳、李文兵、刘庆辉、姜辉、石敏、安莉等同志的帮助,他们在查阅文献、准备资料、打印和校对文稿等方面做了大量的工作,同时得到人民军医出版社的大力支持,在此一并致谢。

俞森洋

2008年5月于北京

目 录

CONTENTS

第一篇 机械通气的基础知识

第 1 章	正压通气对人体生理功能的影响	(1)
第 2 章	急性呼吸衰竭	(10)
第 3 章	血气分析	(20)
第 4 章	酸碱失衡	(34)
第 5 章	水和电解质紊乱	(43)

第二篇 机械通气的常规方法和技术

第 6 章	通气治疗的目的、适应证和禁忌证	(60)
第 7 章	人工气道的建立和管理	(73)
第 8 章	呼吸机参数的设置和调整	(87)
第 9 章	机械通气的模式:传统通气模式	(96)
第 10 章	机械通气的模式:自主呼吸辅助模式	(110)
第 11 章	机械通气的模式:双重控制模式	(118)
第 12 章	机械通气的模式:闭环通气模式	(125)
第 13 章	通气模式的比较和选择	(134)
第 14 章	定压型通气和定容型通气	(144)
第 15 章	流速、波形和吸/呼比	(156)
第 16 章	机械通气时氧合的处理(FiO_2 、PEEP 和平均气道压)	(167)
第 17 章	确定机械通气的适当生理学目标	(186)
第 18 章	肺保护通气策略和允许高碳酸血症	(190)
第 19 章	“开放肺”策略	(197)
第 20 章	分隔肺通气	(208)
第 21 章	反比通气	(220)
第 22 章	机械通气的并发症及其处理	(225)
第 23 章	人工气道的并发症	(242)
第 24 章	呼吸机相关肺损伤	(251)
第 25 章	呼吸机相关肺炎	(257)

第 26 章	机械通气导致的膈肌功能障碍	(272)
第 27 章	机械通气患者发生呼吸窘迫的原因及其处理	(276)
第 28 章	撤机和拔管	(286)
第 29 章	无创性正压通气	(301)

第三篇 机械通气的非常规方法和技术

第 30 章	高频通气	(321)
第 31 章	手工通气技术	(337)
第 32 章	负压通气	(344)
第 33 章	液体通气	(350)
第 34 章	气管内吹气	(356)
第 35 章	体外或肺外气体交换技术	(362)
第 36 章	机械通气时患者的体位和姿势	(369)

第四篇 机械通气患者的辅助治疗

第 37 章	表面活性物质替代治疗	(375)
第 38 章	氮-氧混合气和一氧化氮吸入疗法	(381)
第 39 章	机械通气时气道分泌物的清除	(387)
第 40 章	机械通气患者的雾化吸入治疗	(401)
第 41 章	气道湿化疗法	(410)
第 42 章	机械通气时镇静药和镇痛药的临床应用	(422)
第 43 章	机械通气患者的营养支持	(429)
第 44 章	肺的康复医疗	(439)
第 45 章	机械通气患者的心理问题	(447)
第 46 章	机械通气患者的语言和非语言交流问题	(451)
第 47 章	机械通气患者的睡眠问题	(458)

第五篇 机械通气患者的监护

第 48 章	机械通气监护的目的、项目和临床选择	(463)
第 49 章	患者的床旁检查和临床评价	(470)
第 50 章	机械通气患者的影像学检查	(475)
第 51 章	气体交换和呼吸气量的监测	(485)
第 52 章	机械通气时呼吸力学的监测	(496)
第 53 章	机械通气时自动呼气末正压的监测	(506)
第 54 章	机械通气时的呼吸波形和环的分析	(516)
第 55 章	人工气道气囊压力的监测和处理	(530)

第 56 章	撤机时的呼吸功能监测	(541)
第 57 章	机械通气患者的心脏血管功能的无创监测	(551)
第 58 章	血流动力学监测	(560)
第 59 章	呼吸危重患者的各重要脏器功能监测	(571)
第一节	神经系统功能监测	(571)
第二节	肝脏和胃肠道功能监测	(576)
第三节	肾功能监测	(579)
第四节	多系统器官衰竭的监测指标和诊断标准	(582)

第六篇 机械通气在不同疾病和临床情况的应用

第 60 章	急性呼吸窘迫综合征	(586)
第 61 章	慢性阻塞性肺病急性加重的机械通气	(602)
第 62 章	危重型哮喘	(620)
第 63 章	急性心源性肺水肿和心力衰竭	(634)
第 64 章	休克	(644)
第 65 章	神经肌肉疾病	(656)
第 66 章	单侧肺疾病	(669)
第 67 章	外科手术后患者	(675)
第 68 章	多发性创伤后的机械通气	(684)
第 69 章	胸部创伤	(693)
第 70 章	头颅和脊髓损伤	(703)
第 71 章	烧伤和吸入性损伤	(713)
第 72 章	气胸和支气管胸膜瘘	(721)
第 73 章	药物过量	(738)
第 74 章	院外急救和复苏期间的机械通气	(742)
第 75 章	新生儿和儿童的机械通气	(753)
第一节	新生儿的机械通气	(753)
第二节	儿童的机械通气	(771)
第 76 章	机械通气在老年呼吸衰竭中的应用	(778)
第 77 章	长期机械通气	(787)
第 78 章	机械通气患者的运输	(793)
第 79 章	睡眠呼吸暂停综合征	(801)
第 80 章	重症 SARS 的机械通气	(815)
第 81 章	机械通气在其他方面的应用	(823)
第一节	心肌缺血和充血性心力衰竭	(823)
第二节	限制性肺疾病	(824)
第三节	免疫抑制患者的机械通气	(826)

第七篇 呼吸机相关的知识和技术

第 82 章	呼吸机的工作原理及组成	(828)
第 83 章	呼吸机系统的概述和分类	(837)
第 84 章	呼吸机管路	(842)
第 85 章	呼吸机的报警、常见故障和排除	(847)
第 86 章	呼吸机的消毒	(855)
第 87 章	当代高品质呼吸机的某些功能上的改进	(862)
第 88 章	自动导管补偿	(871)

第八篇 常用呼吸机介绍

第 89 章	迈柯唯(MAQUET)Servo 系列呼吸机	(876)
第一节	迈柯唯(MAQUET)Servoi 呼吸机	(876)
第二节	Servos 呼吸机	(879)
第 90 章	瑞士夏美顿、拉斐尔系列呼吸机	(882)
第一节	瑞士夏美顿伽俐略金型呼吸机	(882)
第二节	拉斐尔 XTC(Raphael XTC)呼吸机	(885)
第三节	夏美顿 G5 呼吸机(HAMILTON-G5)	(888)
第 91 章	伟亚医疗(VIASYS HELTHCARE)系列呼吸机	(892)
第一节	AVEA 呼吸机	(892)
第二节	Vela 呼吸机	(899)
第三节	3100 系列高频振荡呼吸机(HFOV)	(902)
第四节	LTV900/950/1000/1200 系列呼吸机	(905)
第 92 章	Puritan Bennett 系列呼吸机	(908)
第一节	Puritan Bennett 840 呼吸机	(908)
第二节	SMARTAIR [®] ST 呼吸机	(912)
第 93 章	瑞思迈(ResMed)系列呼吸机及面罩系列	(918)
第一节	VS 系列呼吸机简介	(918)
第二节	Elisee 系列呼吸机简介	(918)
第三节	VPAP III 系列呼吸机简介	(920)
第四节	Autoset CS2 呼吸机简介	(921)
第五节	瑞思迈面罩系列简介	(921)
第 94 章	Engstrom Carestation 呼吸治疗工作站	(922)
附录 A	机械通气常用缩略语	(925)
附录 B	疾病危重程度评分系统	(940)
附录 C	呼吸治疗中的常用计算	(953)
附录 D	体表面积计算图	(967)

附录 E 压力换算	(968)
附录 F French(Fr)与毫米(mm)的换算	(969)
附录 G 各章问答题答案	(970)
索引	(990)

第 1 章 正压通气对人体生理功能的影响

● 提 要

1. 正压通气时影响平均气道压的因素。
2. 正压通气对分流和无效腔的影响。
3. 肺泡过度扩张和萎陷对呼吸机相关肺损伤的作用。
4. 呼吸机相关肺炎的影响因素。
5. 正压通气对心脏的影响。
6. 正压通气对肺、心、肾、胃和神经系统的影响。
7. 可用于减轻正压通气不良影响的方法。

在危重病的救治中常应用机械通气,目前临床上最常用的是正压通气。正压通气的原理遵循运动等式的规律,即让肺充气扩张所需要的压力取决于阻力、顺应性、潮气量和吸气流量(图 1-1)。机械通气的好处得益于压力,机械通气的不良作用也与压力有关。机械通气的正确应用,需要我们对其有益的和不良的生理学影响均有较全面的了解。由于肺和其他器官系统之间保持内环境稳定的关系,机械通气可以影响机体的几乎每一个器官系统。本章讨论机械通气对机体有益的和不良的生理学影响。

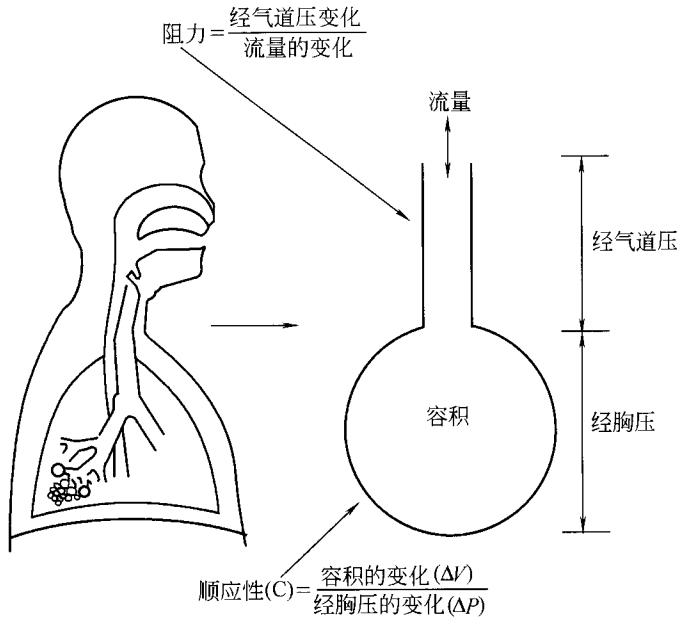


图 1-1 运动等式

注:通气时所需要的压力取决于阻力、顺应性、吸气流速和潮气量
(引自: Chatburn RL. Classification of mechanical ventilators. *Respir Care*, 1992:1009-1025)

一、平均气道压

在正常的自主呼吸期间,胸膜腔内压在整个呼吸周期均是负压。胸膜腔内压的变化从呼气时的大约 $-5\text{cmH}_2\text{O}$ (注: $1\text{cmH}_2\text{O}=0.098\text{kPa}$)到吸气时的 $-8\text{cmH}_2\text{O}$ 。肺泡压的波动从呼气时的 $+1\text{cmH}_2\text{O}$ 到吸气时的 $-1\text{cmH}_2\text{O}$ 。吸气时胸膜腔内压的降低有利于肺充气和静脉血回流。在自主吸气时可产生的最大静态经肺压大约是 $35\text{cmH}_2\text{O}$ (经肺压是肺泡内压与胸膜腔内压两者之差)。

在正压通气时,胸膜腔内压的变化与自主呼吸时正相反。在正压通气期间,平均胸膜腔内压总是正值,加用呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)时尤其明显。胸内压在吸气时增加,呼气时减低,因此静脉血回流在呼气时是最大的。如果呼气时间太短或呼气时肺泡压太高,静脉血回流即会减少。

与机械通气相关的许多有益的作用和不良的影响都与平均气道压相关。平均气道压是整个通气周期中施加于气道的平均压力,因此它是与所施加的压力的大小和时间相关的,许多因素可以影响平均气道压的大小。

1. 吸气压力水平 吸气峰压的增加使平均气道压增加。定容通气时,吸气峰压的大小是由潮气量、吸气流速、气道阻力、呼吸系统顺应性和 PEEP 决定的。定压通气时吸气峰压是预设的。

2. 呼气压力水平 呼气时的气道压是由设置的 PEEP 决定的。

3. 吸:呼比(I:E) 吸气时间相对于呼气时间越长,平均气道压就越高。平均气道压是特

别受反比通气影响的。反比通气时吸气时间比呼气时间长。吸气末屏气(吸气暂停)延长吸气时间,增加平均气道压。呼吸频率增加时,如果预设吸:呼比保持不变,而实际吸:呼比的改变就会使吸气时间相对延长,也将增加平均气道压。

4. 吸气压力波形 产生吸气相时压力直角波形的通气技术比产生上行(逐渐增高)压力波的通气技术有较高的平均气道压。

二、对肺的作用

1. 分流 分流是指有血流灌注而没有通气(图 1-2)。当血流从右心流到左心,没有气体交换参与时即发生了分流。分流的结果是低氧血症。分流可分为毛细血管分流和解剖分流。当血流通过没有通气的肺泡时导致毛细血管分流。临床上常见的毛细血管分流发生于肺不张、肺炎、肺水肿和急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)。当血流从右心流到左心,完全不经过肺时即发生解剖分流,这发生于先天性心脏缺陷。总分流是毛细血管分流和解剖分流的总和。

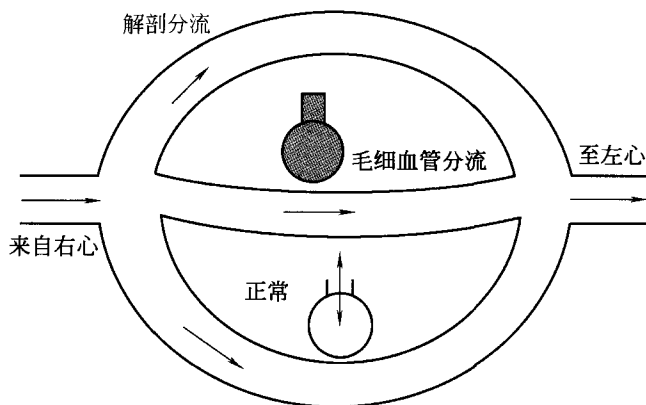


图 1-2 解剖分流和毛细血管分流模式

正压通气通常减少分流,改善动脉血氧合。吸气压超过肺泡开放压可使萎陷的肺泡扩张,呼气压大于肺泡闭合压可防止它的萎陷。以恰当的呼气压设置来维持肺泡的复张,可改善动脉血氧合。然而,如果正压通气产生某些肺单位的过度扩张,即可导致肺血流重新分布到没有通气的肺区(图 1-3)。遇此情况,正压通气不仅不改善氧合,反而引起低氧血症。

虽然正压通气可改善毛细血管分流,但它也可以加重解剖分流。肺泡压的增加可增加肺血管阻力,这可导致通过解剖分流的血流增加,而减少了通过肺的血流,使低氧血症加重。因此,如果存在右至左的解剖分流,那么应尽可能保持低的气道压。

通气分布不良,如气道疾病所致,可发生相对的分流作用。通气分布不良的情况还可以发生于某些肺泡相对于灌注来说通气低下(分流样作用或低通气/灌注比例),而另一些肺泡过度通气(无效腔样作用或高通气/灌注比例)。正压通气可以改善通气的分布,尤其是改善原来通气低下肺区的通气。

2. 通气 通气是指气体进出肺的移动。潮气量(V_T)是指单次呼吸所吸入或呼出的气量。分钟通气量(\dot{V}_E)是一分钟呼吸的气量。分钟通气量等于潮气量与呼吸频率(f)的乘积: $\dot{V}_E = V_T \times f$ 。

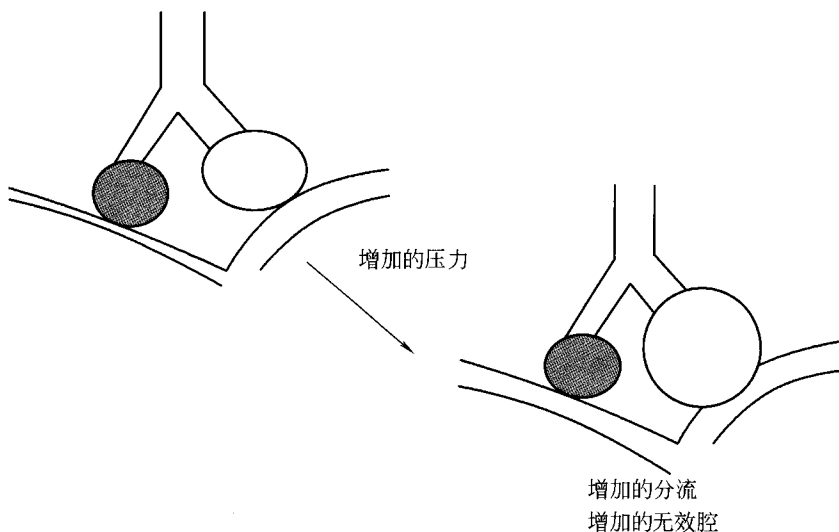


图 1-3 肺泡过度扩张,引起肺血流重新分布到无通气肺单位,结果增加分流

通气可以是无效腔通气(V_D)或肺泡通气(\dot{V}_A)。分钟通气量是无效腔通气量和肺泡通气量之和: $\dot{V}_E = V_D + \dot{V}_A$ 。

肺泡通气参与气体交换,而无效腔通气不参与气体交换(图 1-4)。换句话说,无效腔是没有血流灌注的通气。解剖无效腔是肺传导气道的容积,正常成年人约 150ml。肺泡无效腔是指没有灌注但有通气的那部分肺泡,减少肺血流的任何情况均增加肺泡无效腔。总生理无效腔分数(V_D/V_T)通常约为 \dot{V}_E 的 1/3。机械无效腔是指呼吸机管路重复呼吸的容积,其作用就像解剖无效腔的扩大。由于解剖无效腔是固定的,潮气量的降低就会增加无效腔分数,减少肺泡通气量。无效腔分数的增加将需要增加分钟通气量来维持肺泡通气(和 $PaCO_2$)。

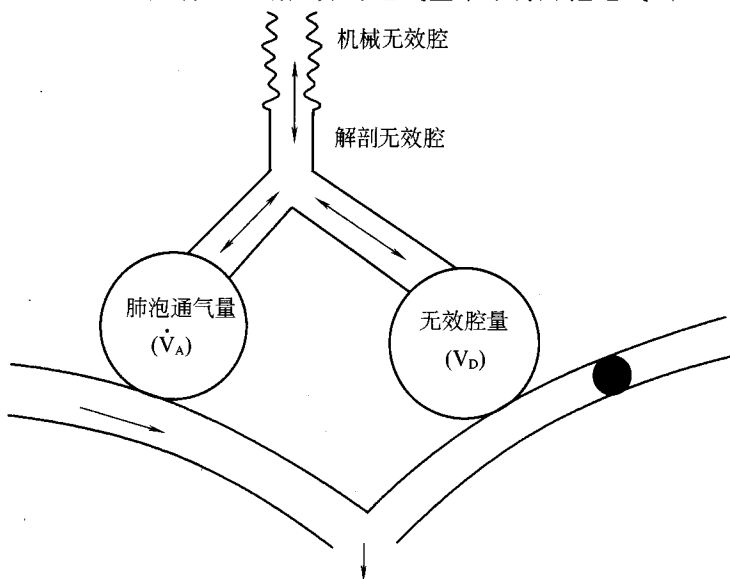


图 1-4 肺泡通气参与气体交换,而无效腔通气不参与气体交换