

# 机械通气学

## 生理学与临床应用

Pilbeam's Mechanical Ventilation:  
Physiological and Clinical Applications

第5版

原著 J.M.CAIRO

主译 卞金俊 邓小明



# 机械通气学:

## 生理学与临床应用

Pilbeam's Mechanical Ventilation:  
Physiological and Clinical Applications

第5版

原 著 J.M.CAIRO

主 译 卞金俊 邓小明

副主译 万小健 韩文军

译 者 (按姓氏汉语拼音排序)

卞金俊 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
薄禄龙 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
邓小明 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
董宇超 第二军医大学附属长海医院呼吸内科  
韩文军 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
江 来 上海交通大学附属新华医院麻醉与重症医学科  
季 锋 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
金 魁 安徽省立医院危重病医学科  
金培培 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
李双双 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
刘前进 美国华盛顿大学医学院 Barnes Jewish 医院麻醉科  
倪文文 第二军医大学附属长海医院麻醉科

彭志勇 美国匹兹堡大学医学中心重症医学系  
钱小春 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
王启星 上海同济大学附属第十人民医院重症医学科  
万小健 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
王嘉锋 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
魏 玮 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
文平山 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
项明琼 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
张 冉 第二军医大学附属长海医院麻醉科  
张 伟 第二军医大学附属长海医院呼吸内科  
朱科明 第二军医大学附属长海医院麻醉科

Pilbeam's Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications

J.M.CAIRO

ISBN: 978-0-323-07207-6

Copyright © 2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation from English language edition published by the Proprietor.

Copyright © 2014 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

**Elsevier (Singapore) Pte Ltd.**

3 Killiney Road

#08-01 Winsland House I

Singapore 239519

Tel: (65) 6349-0200

Fax: (65) 6733-1817

First Published 2014

2014年初版

Printed in China by People's Medical Publishing House under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授权人民卫生出版社在中国大陆境内独家发行。本版仅限在中国境内(不包括香港特别行政区及台湾)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

#### 敬告

本书的作者、译者及出版者已尽力使书中的知识符合出版当时国内普遍接受的标准。但医学在不断地发展,随着科学研究的不断探索,各种诊断分析程序和临床治疗方案以及药物使用方法都在不断更新。强烈建议读者在使用本书涉及的诊疗仪器或药物时,认真研读使用说明,尤其对于新的产品更应如此。出版者拒绝对因参照本书任何内容而直接或间接导致的事件与损失负责。

需要特别声明的是,本书中提及的一些产品名称(包括注册的专利产品)仅仅是叙述的需要,并不代表作者推荐或倾向于使用这些产品;而对于那些未提及的产品,也仅仅是因为限于篇幅不能一一列举。

本着忠实于原著的精神,译者在翻译时尽量不对原著内容做删节。然而由于著者所在国与我国的国情不同,因此一些问题的处理原则与方法,尤其是涉及宗教信仰、民族政策、伦理道德或法律法规时,仅供读者了解,不能作为法律依据。读者在遇到实际问题时应根据国内相关法律法规和医疗标准进行适当处理。

图字: 01-2012-4842

#### 图书在版编目(CIP)数据

机械通气学: 生理学与临床应用 / (美) 凯罗 (Cairo, J.M.) 主编;  
卞金俊, 邓小明译. —北京: 人民卫生出版社, 2014

ISBN 978-7-117-19688-8

I. ①机… II. ①凯…②卞…③邓… III. ①呼吸器—基本知识 IV. ①R459.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第224299号

|       |                                                  |                                 |
|-------|--------------------------------------------------|---------------------------------|
| 人卫社官网 | <a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>   | 出版物查询, 在线购书                     |
| 人卫医学网 | <a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a> | 医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯 |

版权所有, 侵权必究!

#### 机械通气学: 生理学与临床应用

主 译: 卞金俊 邓小明

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里19号

邮 编: 100021

E-mail: [pmph@pmph.com](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京汇林印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 印张: 32

字 数: 1358千字

版 次: 2015年1月第1版 2015年1月第1版第1次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-19688-8/R·19689

定 价: 189.00元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)



# 译者序

《不列颠医学杂志》(BMJ)2013年六月刊登了一篇“为什么我们不能相信临床指南”的文章(Lenzer J. Why we can't trust clinical guidelines. BMJ, 2013 Jun 14; 346: f3830.)。这对我们一些在临床工作而言必称“指南”的医师提了个醒,尽信书不如无书,读书要做到“知其然,知其所以然”。医学科学本身就是在不断发展、充实与修正的过程中,特别是在近几十年中,随着生命科学与医疗技术的进展,医学科学更是突飞猛进。现代意义上的危重病医学由麻醉学家 Peter Safar 创建于上世纪 50 年代,提出了“高级生命支持”的概念,呼吸支持是 ICU 生命支持中的重要生命支持中的重要一项。《机械通气学:生理学与临床应用》(*Pilbeam's Mechanical Ventilation: Physiological and Clinical Applications*)一书详细描述了有关呼吸支持的基本理论与现代技术。该书最早出版于上世纪 80 年代,经过 30 年不断修正、补充再版,该书成为了呼吸治疗师、危重病医师和医学生的重要医学经典参考书。

这一版《机械通气学:生理学与临床应用》最大的特点是

将基础理论与临床实践相结合,各个章节之间相互关联。在理论知识叙述中将重点内容提出,文中有病例分析、临床场景再现、重症治疗概念,并在各节中简洁地指出要点。另外在每个章节后还附有测试题,从而更好地让读者掌握每章节的内容。充分掌握这些知识要点,才能更好地理解与调控当代不断更新的呼吸机。同时,该书也更新了目前临床在尝试使用的、仍没有定论的一些新型呼吸机通气模式及监控方法,为读者学习拓展留有空间。

本书的译者和审校人员包括美国华盛顿大学医学院、美国匹兹堡大学医学中心(UPMC)以及多位曾经留学欧美的临床医师和呼吸治疗师。但因个人能力、文化差异等多方面影响,本书在翻译方面必然会存在各种不足,敬请读者谅解并提出宝贵意见。

卞金俊

2014.9.10



# 原版序

机械通气患者的管理是ICU医师最具挑战性的任务之一。在这本《机械通气学：生理学与临床应用》第5版，J.M. Cairo延续了长期以来的传统，从基本原理到最先进的概念，为读者提供机械通气的概述信息。与最初动机一样，本书的叙述和结构仍反映了学习者的需要以及阅读和学习过本书早期版本的读者的反馈信息。第五版的内容包含了最近的医学证据和与机械通气有关的常规做法，包括适应证、禁忌证及与其使用相关的并发症。

《机械通气学》的历史可以追溯到20世纪80年代第一章“机械通气的历史”在打字机上产生时。第1版花费了5年时间完成，不仅是由于没有个人电脑，也因为没有互联网，医学期刊只能存在于成堆的医学图书馆中。三十年后，这本教材经受了时间的考验，仍然是学生学习机械通气的科学和艺术的一个主要来源。

尽管我已经不是第一作者，但是我仍继续和Jim一起工作，他从事更新、出版及文本重排的工作。我的任务是帮助编辑，并为探讨目前机械通气的临床实践中的某些部分存在的优缺点提供参考。我也协助了几章的编写。

Dr. Cairo和我认为，第5版的读者毫无疑问将会经历前几代的学生初次认识机械通气时遇到的尝试和成功。成为一个成功的临床医生，特别是在危重症医学，需要恪守成为一个终生学习者的承诺。正如以前版本的《机械通气学》，我相信，本书将会为那些治疗机械通气患者的从业人员提供必要的资源。

SUSAN P. PILBEAM, MS, RRT, FAARC  
编辑 Emeritus

# 致 谢

很多人参与了这一项目应该在这里一并致谢。对于 Sue Pilbeam 对整个项目长久的支持和她在呼吸治疗专业的多年工作,在此我谨致以衷心的感谢。她对机械通气的科学和艺术的贡献持续了 40 年。我很荣幸跟她一起工作了几个项目,并对她在我们这一职业的洞察力和奉献精神印象深刻。

我也要感谢无创正压通气和长期机械通气章节的作者 Theresa Gramlich, MS, RRT; 新生儿和儿童机械通气的作者 Rob Diblasi, BS, RRT; 以及 Sindee Karpel, BS, RRT, Sandra thinski, MS, RRT-NPS 和 Jim Sills, PhD, RRT, 他们是本文附录的作者。感谢所有在第 5 版《机械通气学》的编辑和撰写过程中提供了宝贵建议和意见的呼吸治疗教育工作者和学生。特别要感谢所有在新奥尔良市的路易斯安那州立大学健康

科学中心和巴吞鲁日的圣母湖学院的评论家和同事: Michael Levitzky 博士, John Zamjahn 博士, RRT, Tim Cordes, MHS, RRT, Terry Forrette, MHS, RRT, Sue Davis, MEd, RRT, Shantelle Graves, BS, RRT, 和 Martha Baul。

我特别要感谢在整个项目中提供指导的 Elsevier 的全体员工,尤其是高级开发编辑 Kathleen Sartori, 主编 Billie Sharp, 高级项目经理 Andrea Campbell, 出版服务经理 Julie Eddy, 以及编辑助理 Andrea Hunolt。他们的贡献对该项目有极大的帮助,我很荣幸能有机会与如此专业的团队一起工作。

没有我的妻子 Rhonda 的爱和支持,这一版本的《机械通气学》不会完成。



与 Susan Pilbeam 一起工作超过 15 年是一件很愉快的事情。Sue 和我一直认为写这类文章的目标是以精确和简洁的方式来呈现主题。本书应该反映循证实践，并成为服务临床的资源。在筹备该版本的整个过程中，我们已经就如何确保这一目标的实现进行了多次讨论。正如以前的版本，本书旨在为管理机械通气患者做出临床决策时提供强有力的生理学基础。

呼吸治疗师是许多患者的治疗方案中必不可少的一部分，这一点现在比以往更为重要。他们负责患者治疗过程中的至关重要的部分。他们的专业知识是危重症医学不可或缺的资源，通气支持往往对患者的健康至关重要，因而使对呼吸治疗师的培训变得绝对必要。要想成功，学生和教师需要明确和实用的学习工具，让学生获得并运用必要的知识和技能。本书及其相关资源即为满足上述需求。

自 1985 年出版的第 1 版以来，重症医学的实践操作已经发生了重大的变化，文章的根本思想仍然相同——传授必要的安全、合适的知识，同情照顾需要通气支持的患者。现在，第 5 版《机械通气学》以简洁的方式写就以说明患者呼吸机管理的复杂问题。从最基本的概念开始，扩展到最先进的概念，通过基本的概念和思想引导读者，在阅读本书的过程中逐渐积累知识。

很明显，这本书尤其适用于呼吸治疗教育项目的学生，它也可以在其他许多方面作为参考。将机械通气原理应用于患者治疗是呼吸治疗应用中最复杂的领域，因此经常对相关知识进行回顾可有帮助。《机械通气学》强调的循证实践，可对所有重症治疗的从业者有用，包括执业呼吸治疗师、重症治疗的住院医师和重症治疗的护理人员。

### （一）结构

和以前一样，这一版本按逻辑顺序排列章节，当读者通读本书会发现它们相互关联。初始章节着重讨论应用和启动机械通气所需的核心知识和技能，而中间和最后的章节包含机械通气患者治疗的细节以及机械通气的特殊和长期应用。所包含的一些有用的附录进一步帮助读者理解复杂的资料和涵盖在章节中定义关键词组的快捷术语。

### （二）特征

我希望本书中有价值的学习辅助工具对教育工作者和学生来说都是有用的工具。每一章开头都有明确的定义，学生可以通过使用章节概述、关键词和学习目标来准备材料。

随着大量明确标记的图片和信息表格的使用，每一章节还包含：

- 病例分析：小的病例分析，列举了相关的评估数据，给读者提出一个判断性思考的问题来测试他们对所学内容的理解。答案在附录 A 中可找到。
- 重症治疗概念：简短的问题让读者运用复杂概念的知识。

- 临床场景：为更全面的患者场景涵盖患者临床表现、评估数据和一些治疗方法。这些场景专为班级或小组讨论准备。

- 要点：强调重要信息，作为核心概念讨论。

每一章包括：

- 一个项目符号标记的章节小结，便于回顾章节内容。
- 章节复习题（答案见于附录 A）。
- 为那些想要学习更多关于本文中的一些特定主题的学生，在每章末尾列举了较全面的参考文献。

本书的最后还包含几个附录。异常生理过程的回顾包括肺通气血流失调、机械性死腔和低氧。图形练习题的特殊附录为学生在理解机械通气患者的流速、容积、压力和时间之间的内在关系提供了更多练习。病例分析的答案和重症治疗概念贯穿全书，每章末尾的复习题可以帮助学生理解本章内容。

### （三）该版本新颖之处

这一版本的《机械通气学》已经得到详细的更新，以反映呼吸治疗中新的设备和技术，以确保其与当前的治疗模式步调一致。为突出这一新的信息，对每一章节添加了更多病例分析、临床场景和重症治疗概念。新章节“呼吸机相关肺炎”（第十四章）讲述了呼吸机相关和医院获得性肺炎，并提供了风险因素、早期诊断和预防措施。“新生儿和儿童机械通气”（第二十二章）该章节被著名的研究员 Robert M. DiBlasi 进行了大幅度修改。它包括新生儿和儿童呼吸支持、无创通气支持和辅助支持形式的目标有关的重要信息。

### （四）学习帮助

#### 练习作业

《机械通气学》的练习作业是一本好用的指南，旨在帮助学生专注于本书中呈现的最重要的信息。该练习作业的特征与出现在每一章开头的教学目标直接相关。为学生提供需要

的巩固和练习,该练习作业有如关键词的纵横字谜填写、判断性思维问题、病例分析、波形分析以及 NBRC 型多项选择题等的特征练习。

### (五) 对于教师

---

使用《机械通气学》网站的教师有权使用与本文配套和辅助教学这一主题有关的一系列资源。教师可以使用网站资源来安排上课时间和课程,补充课堂讲座,或建立并完成学

生测验。这些网站资源提供:

- 在题库中有超过 800 道 NBRC 型多项选择题
- 一个新的演示文稿,含有超过 650 张带有关键信息和有用图像的幻灯片
- 本书中出现的数据的汇总图像

更新的、全面的、各种各样的补充材料都使《机械通气学:生理学与临床应用》成为一本优势力作。

**Paul Barraza, RCP, RRT**

Education Coordinator  
Respiratory Care Services  
Santa Clara Valley Medical Center  
San Jose, California

**Robert M. DiBlasi, RRT-NPS, FAARC**

Respiratory Research Coordinator  
Respiratory Therapy Department, Center for Developmental  
Therapeutics  
Seattle Children's Hospital and Research Institute  
Seattle, Washington

**Theresa A. Gramlich, MS, RRT**

Assistant Professor of Respiratory Care  
University of Arkansas for Medical Sciences  
Central Arkansas Veterans Health System  
Department of Respiratory and Surgical Technologies  
Little Rock, Arkansas

**Susan P. Pilbeam, MS, RRT, FAARC**

**Editor Emeritus**  
Respiratory Care Educational Consultant  
St. Augustine, Florida

## ANCILLARY CONTRIBUTORS

---

**Sandra Hinski, MS, RRT-NPS**

Faculty, Respiratory Care Division  
Gateway Community College  
Phoenix, Arizona

**Sindee K. Karpel, MPA, RRT**

Clinical Coordinator  
Respiratory Care Program  
Edison State College  
Fort Myers, Florida

**James R. Sills, MEd, CPFT, RRT**

Professor Emeritus  
Former Director, Respiratory Care Program  
Rock Valley College  
Rockford, Illinois

## REVIEWERS

---

**Allen W. Barbaro, MS, RRT**

Department Chairman, Respiratory Care Education  
St. Lukes College  
Sioux City, Iowa

**Georgine Bills, MBA/HSA, RRT**

Program Director  
Respiratory Therapy  
Dixie State College of Utah  
St. George, Utah

**Craig Black, PhD, RRT-NPS, FAARC**

Director, Respiratory Care Program  
The University of Toledo  
Toledo, Ohio

**Margaret-Ann Carno, PhD, MBA, CPNP, D, ABSM, FNAP**

Assistant Professor of Clinical Nursing and Pediatrics  
School of Nursing  
University of Rochester  
Rochester, New York

**Laurie A. Freshwater, MA, RCP, RRT, RPFT**

Division Director, Health Sciences  
Carteret Community College  
Morehead City, North Carolina

**Charlie Harrison, BS, RRT**

Instructor of Respiratory Therapy  
School of Nursing and Allied Health  
Dixie State College  
St. George, Utah

**J. Kenneth Le Jeune MS, RRT, CPFT**

Program Director Respiratory Education  
University of Arkansas Community College at Hope  
Hope, Arkansas

**Ronald P. Mlcak, PhD, RRT, FAARC**

Director of Respiratory Care Services  
Shriners Hospitals for Children  
Galveston, Texas

**Suzette R. Musick-Hicks, BAAS Ed, RRT-CPFT**

Director Respiratory Care Program  
Black River Technical College  
Pocahontas, Arkansas

**Joshua J. Neumiller, Pharm D, CDE, CGP, FASCP**

Assistant Professor of Pharmacotherapy  
Washington State University  
College of Pharmacy  
Spokane, Washington



**Bernie R. Olin, PharmD**

Associate Clinical Professor  
Director of Drug Information  
Harrison School of Pharmacy  
Auburn University  
Auburn, Alabama

**Tim Op't Holt, EdD, RRT, AE-C, FAARC**

Professor  
University of South Alabama  
Mobile, Alabama

**Robin L. Ross, MS, RRT, RCP**

Instructional Coordinator  
Director of Clinical Education  
CVCC School of Health Services  
Catawba Valley Community College Respiratory Therapy Program  
Hickory, North Carolina

**Paula Denise Silver, MS Bio., MEd, Pharm D**

Medical Instructor  
Medical Careers Institute  
School of Health Science of ECPI University  
Newport News, Virginia

**Shawna L. Strickland, PhD, RRT-NPS, AE-C**

Clinical Assistant Professor  
University of Missouri  
Columbia, Missouri

**Robert J. Tralongo, MBA, RT, RRT-NPS, AE-C**

Respiratory Care Program Director  
Molloy College  
Rockville Centre, New York

**Stephen F. Wehrman, RRT, RPFT, AE-C**

Professor,  
University of Hawaii;  
Program Director  
Kapi'olani Community College  
Honolulu, Hawaii

**Richard Wettstein, MMed, RRT**

Director of Clinical Education  
University of Texas Health Science Center at San Antonio  
San Antonio, Texas

**Mary-Rose Wiesner, BS, RCP, RRT**

Program Director  
Department Chair  
Mt. San Antonio College  
Walnut, California

**Kenneth A. Wyka, MS, RRT, AE-C, FAARC**

Center Manager and Respiratory Care Patient Coordinator  
Anthem Health Services  
Queensbury, New York

## 第一部分 机械通气的基本概念和核心知识

### 第一章 机械通气的基本术语与概念 2

#### 一、机械通气相关的生理名词和概念 3

- (一) 自主通气时的正常力学 3
- (二) 肺的特性 5
- (三) 时间常数 7

#### 二、呼吸机的类型和机械通气时使用的名词 9

- (一) 机械通气的类型 9
- (二) 正压通气时的压力定义 10

### 第二章 呼吸机工作原理 15

- (一) 呼吸机分类的历史回顾 15
- (二) 内部功能 16
- (三) 动力源或输入动力 16
- (四) 控制系统和回路 18
- (五) 动力传输和转换系统 21

### 第三章 呼吸的输送 25

- (一) 吸气时肺通气的基本模式 26
- (二) 吸气时的控制和测定参数 27
- (三) 吸气波形控制的概述 27
- (四) 呼吸的四个阶段和阶段变量 29
- (五) 呼吸的类型 37

## 第二部分 启动通气

### 第四章 机械通气指征 42

- (一) 急性呼吸衰竭 42
- (二) 患者病史和诊断 44
- (三) 急性呼吸衰竭的生理学检查 46
- (四) 机械通气标准总论 48
- (五) 有创通气可能的可行替代方法 49

### 第五章 呼吸机及其模式选择 55

- (一) 无创和有创正压通气: 患者接口选择 56
- (二) 部分和完全呼吸支持 57
- (三) 通气模式及类型 57
- (四) 通气输送和通气模式 59
- (五) 双水平正压通气 67
- (六) 机械通气的其他模式 67

### 第六章 呼吸机初步设定 74

#### 一、容量控制呼吸时的初步设定 74

- (一) 分钟通气量的设置 75
- (二) 分钟通气量的特殊考虑 82
- (三) 容量通气时的吸气停顿 82

#### 二、压力通气时呼吸机的初步设定 83

- (一) 基础压力设定 - 生理性 PEEP 83
- (二) 伴容量目标的压力通气模式的初始设定 85

### 第七章 完善呼吸机设定 89

#### 一、呼吸机附加参数的选择和最终设定 90

- (一) 选择吸入氧浓度( $F_{I}O_2$ ) 90
- (二) 触发灵敏度的设定 90
- (三) 报警 93
- (四) 周期性肺复张/叹息通气 94
- (五) 呼吸机的设备安装的最终考虑 95

#### 二、选择合适的呼吸机 96

呼吸机性能的评估 96

#### 三、特定患者类型的呼吸机初始设置 96

- (一) 慢性阻塞性肺疾病 96
- (二) 神经肌肉病变 98
- (三) 哮喘 99
- (四) 闭合性颅脑外伤 100
- (五) 急性呼吸窘迫综合征 101
- (六) 急性心源性肺水肿和充血性心力衰竭 103

## 第三部分 机械通气的监测

### 第八章 患者初步评估 108

- (一) 患者 - 呼吸机系统的记录 109
- (二) 初始 30 分钟 110
- (三) 气道压力监测 113
- (四) 生命体征, 血压和胸部体检 116
- (五) 气管内导管和气管造口切开导管套囊的管理 118
- (六) 顺应性和气道阻力监测 121
- (七) 呼吸机流程表的评价备注栏 124

### 第九章 呼吸机波形图 127

- 一、容量、流速、压力和时间的相互关系 128
- 二、恒定流速的容量控制通气 128

|                                              |                                                                            |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| (一) 呼吸机波形的产生 129                             | (五) 代谢增强及 $\text{CO}_2$ 产生增加 195                                           |
| (二) 计算 129                                   | (六) 医源性过度通气 195                                                            |
| (三) 详解容量控制持续指令通气中流速-时间<br>标量图 129            | (七) 允许性高碳酸血症 196                                                           |
| (四) 压力-时间曲线变化 133                            | 二、机械通气过程中气道清理 197                                                          |
| (五) 容量坐标 134                                 | (一) 人工气道分泌物的清除 197                                                         |
| (六) 容量控制通气图形要点 134                           | (二) 机械通气患者的雾化治疗 201                                                        |
| 三、压力控制通气 135                                 | (三) 体位性引流和胸部震动排痰治疗 205                                                     |
| (一) 恒定压力波形的压力控制通气 135                        | (四) 纤维支气管镜检查及治疗 206                                                        |
| (二) 压力控制通气图形要点 139                           | 三、机械通气患者的其他治疗和管理技术 208                                                     |
| 四、压力支持通气 139                                 | (一) 患者体位和正压通气的重要性 208                                                      |
| (一) 压力支持通气时压力-时间波形详解 139                     | (二) 上呼吸道感染和痰液 210                                                          |
| (二) 压力支持通气时的流速切换 140                         | (三) 体液平衡 211                                                               |
| (三) 自动调节流速切换的标准 142                          | (四) 心理和睡眠状态 211                                                            |
| 五、SIMV 中使用压力支持通气 142                         | (五) 患者的安全性和舒适性 212                                                         |
| (一) 压力-容量环 142                               | (六) 急救机构内机械通气患者的转运 213                                                     |
| (二) 压力容量环和呼吸功 145                            |                                                                            |
| (三) 压力-容量环故障排除 145                           | 第十三章 改善氧合和急性呼吸窘迫综合征的治疗 219                                                 |
| 六、机械通气中流速-容量环组成 146                          | 一、应用 $\text{F}_{\text{I}}\text{O}_2$ 、PEEP 分析和压力容量曲线的氧合基础<br>确定最适 PEEP 220 |
| (一) 指令通气中流速-容量环组成 146                        | (一) 组织氧输送的基础知识 220                                                         |
| (二) 机械通气时流速-容量环排除故障 146                      | (二) 呼吸末正压和持续气道正压的简介 223                                                    |
|                                              | (三) PEEP 的范围 224                                                           |
| 第十章 呼吸功能的评估 151                              | (四) PEEP 和 CPAP 的适应证 225                                                   |
| 一、无创血气监测 152                                 | (五) 启动 PEEP 治疗 225                                                         |
| (一) 脉搏血氧饱和度仪 152                             | (六) 选择合适的 PEEP/CPAP 水平(最适 PEEP) 225                                        |
| (二) 二氧化碳描记图(二氧化碳监护仪) 155                     | (七) 应用肺血管压力监测 PEEP 230                                                     |
| (三) 呼出一氧化氮的监测 161                            | (八) PEEP 的禁忌证和生理效应 231                                                     |
| (四) 经皮监测 161                                 | (九) PEEP 的撤离 233                                                           |
| 二、间接热量和代谢测量 162                              | 二、急性呼吸窘迫综合征 234                                                            |
| 间接热量测定的概述 162                                | (一) 病理生理学 234                                                              |
| 三、呼吸系统力学评估 164                               | (二) ARDS 的 CT 影像学改变 234                                                    |
| 测量 165                                       | (三) ARDS 中的炎症反应过程 236                                                      |
| 第十一章 血流动力学监测 172                             | (四) ARDS 中的 PEEP 与垂直梯度 237                                                 |
| (一) 心血管理论回顾 173                              | (五) 肺保护策略: ARDS 潮气量和压力的设置 237                                              |
| (二) 血流动力学测量 173                              | (六) ARDS 患者的长期随访 238                                                       |
| (三) 血流动力学指标诠释 179                            | (七) 为 ARDS 患者设定 PEEP 时的压力-容量环和复张<br>手法 238                                 |
| (四) 临床应用 184                                 | (八) ARDS 患者复张手法的小结 243                                                     |
| 第四部分 治疗性干预措施——呼吸机参数的调整                       | 第五部分 机械通气的影响和并发症                                                           |
| 第十二章 人机管理中改善通气的策略 190                        | 第十四章 呼吸机相关性肺炎 252                                                          |
| 一、纠正通气异常 191                                 | (一) 流行病学 253                                                               |
| (一) 根据 $\text{PaCO}_2$ 和 pH 值调整机械通气的常用方法 191 | (二) 呼吸机相关性肺炎的病理机制 254                                                      |
| (二) 代谢性酸中毒和碱中毒 194                           | (三) 呼吸机相关性肺炎的诊断 254                                                        |
| (三) 混合性酸碱平衡失常 194                            | (四) 呼吸机相关性肺炎的治疗 256                                                        |
| (四) 肺生理死腔量增加 195                             | (五) 呼吸机相关性肺炎的预防策略 257                                                      |



**第十五章 镇静、镇痛和肌松药物 263**

- (一) 镇静、镇痛药 264
- (二) 肌松药 267

**第十六章 机械通气的肺外效应 271**

- 一、正压通气对心脏及胸腔内血管的影响 271
  - (一) 正压通气对心血管系统的不良影响 271
  - (二) 正压通气心血管效应的影响因素 273
  - (三) 正压通气对左室功能障碍患者的有利影响 273
  - (四) 减小机械通气相关的生理学影响和并发症 273
- 二、机械通气对颅内压、肾脏、肝脏及胃肠道功能的影响 276
  - (一) 机械通气对颅内压和脑灌注的影响 276
  - (二) 机械通气对肾脏功能的影响 276
  - (三) 机械通气对肝脏和胃肠道功能的影响 277
  - (四) 机械通气时的营养并发症 277

**第十七章 正压通气对呼吸系统的影响 280**

- (一) 机械通气相关的肺损伤 281
- (二) 机械通气对肺内气体分布和肺血流的影响 285
- (三) 机械通气状态下的呼吸性和代谢性酸碱状态 286
- (四) 气体陷闭(内源性 PEEP) 288
- (五) 机械通气进行氧疗的危害 290
- (六) 增加呼吸功 291
- (七) 呼吸机机械性原因和操作造成的损害 295
- (八) 人工气道的并发症 296

**第十八章 故障排除及问题解决 302**

- (一) 术语“问题”的定义 303
- (二) 保护患者 303
- (三) 患者突发呼吸窘迫的识别 304
- (四) 患者相关问题 305
- (五) 呼吸机相关问题 306
- (六) 常见的报警情况 308
- (七) 运用图形来识别通气问题 315
- (八) 意外的呼吸机应答 316

**第六部分 无创正压通气****第十九章 无创正压通气的基本概念 322**

- (一) 无创通气技术的类型 323
- (二) 无创正压通气的目标和适应证 324
- (三) NIV 的其他适应证 326
- (四) 患者选择标准 326
- (五) NIV 的设备选择 327
- (六) NIV 的设置和准备 334
- (七) NIV 的监测和调整 335

- (八) NIV 的雾化给药系统 336
- (九) NIV 的并发症 336
- (十) NIV 的脱机和停止 337
- (十一) 关于患者医疗团队 338

**第七部分 通气和长期通气的中止****第二十章 机械通气脱机 344**

- 一、脱机技术 345
  - (一) 脱机过程中呼吸机定量支持方法 345
  - (二) 闭环控制脱机模式 348
- 二、脱机的循证推荐 350
  - (一) 临床脱机标准的评估 350
  - (二) 脱机失败因素 356
  - (三) 其他推荐 359

**第二十一章 长期机械通气 366**

- (一) 长期机械通气的目标 367
- (二) 呼吸机依赖患者的治疗场所 367
- (三) 患者的选择 368
- (四) 出院回家前的准备 370
- (五) 随访和评估 372
- (六) 家庭机械通气的设备选择 372
- (七) 长期正压通气的并发症 376
- (八) 家庭有创通气以外的选择 377
- (九) 呼气肌辅助和分泌物清除 381
- (十) 气管切开套管、发声阀和气管扣 382
- (十一) 家庭机械通气的辅助设备和设备清洁 386

**第八部分 新生儿及小儿的呼吸支持****第二十二章 新生儿及小儿的机械通气 394**

- (一) 识别机械通气支持的必要性 395
- (二) 新生儿和小儿机械通气支持的目标 396
- (三) 无创呼吸支持 396
- (四) 常规机械通气 401
- (五) 高频通气 415
- (六) 撤机和拔管 420
- (七) 辅助形式的呼吸支持 423

**第九部分 通气支持中的特殊应用****第二十三章 机械通气中的特殊技术 432**

- 一、气道压力释放通气 433
  - (一) 别称 433
  - (二) APRV 与常规通气模式相比的优点 434
  - (三) 缺点 434

|                           |     |                        |     |
|---------------------------|-----|------------------------|-----|
| (四) 初始设置                  | 435 | (四) 向自主呼吸患者输送氮氧混合气的装置  | 443 |
| (五) 调整通气和氧合               | 436 | (五) 市售氮氧混合气输送系统        | 444 |
| (六) APRV 模式的脱机            | 436 | (六) 机械通气中的氮氧混合气输送及雾化吸入 | 445 |
| 二、成人高频振荡通气                | 437 | 四、膈肌电活动监测及神经调节通气辅助模式   | 447 |
| (一) 技术层面                  | 437 | (一) 神经系统对呼吸的控制         | 447 |
| (二) 初始设置                  | 437 | (二) 膈肌电活动监测            | 447 |
| (三) 适应证和排除标准              | 439 | (三) 神经调节通气辅助模式         | 451 |
| (四) 监护、评估和调整              | 439 | 附录 A 答案                | 458 |
| (五) 调整设置维持动脉血气指标          | 440 | 附录 B 异常生理过程回顾          | 475 |
| (六) 恢复常规通气模式              | 441 | 附录 C 图形练习题             | 479 |
| 三、氮氧混合气治疗和机械通气            | 442 | 词汇表                    | 484 |
| (一) 气道中混合气气流              | 442 | 缩略词                    | 490 |
| (二) 氮氧混合气用于避免插管及在机械通气中的作用 | 442 | 索引                     | 494 |
| (三) 拔管后喘鸣                 | 443 |                        |     |

# 第一部分

## 机械通气的基本概念 和核心知识



# 第一章

## 机械通气的基本术语与概念

### 提纲

#### 一、机械通气相关的生理名词和概念

##### (一) 自主通气时的正常力学

1. 通气和呼吸
2. 通气时的气流和压力梯度
3. 压力单位
4. 肺内压力和梯度的定义

##### (二) 肺的特性

1. 顺应性
2. 阻力

##### (三) 时间常数

#### 二、呼吸机的类型和机械通气时使用的名词

##### (一) 机械通气的类型

1. 负压通气
2. 正压通气
3. 高频通气

##### (二) 正压通气时的压力定义

1. 基础压力
2. 峰压
3. 平台压
4. 呼气末压力

##### 小结

### 关键词

- 腺泡
- 气道开放压
- 气道压
- 肺泡膨胀压
- 腹水
- 自动 PEEP
- 支气管胸膜瘘
- 顺应性
- 临界开放压
- 弹回性
- 食管压
- 外呼吸
- 外源性 PEEP
- 功能残气量
- 异质性
- 高频喷气通气
- 高频振荡通气
- 高频正压通气
- 均质性
- 内源性 PEEP
- 内呼吸
- 面罩压力
- 口腔压力
- 气道峰压
- 吸气峰压
- 峰压
- 平台压
- 呼气末正压通气
- 压力梯度
- 气道近端压力
- 阻力
- 呼吸
- 静态顺应性 / 静态有效顺应性
- 时间常数
- 跨气道压
- 跨肺压
- 跨呼吸压
- 跨胸腔压
- 上气道压力
- 通气

### 学习目的 本章结束时, 读者应当掌握以下内容:

1. 了解通气、外呼吸和内呼吸的定义。
2. 可以图示在自主通气和正压呼吸时胸膜内压和肺泡压(跨肺压)的变化情况。
3. 了解以下名词定义: 跨肺压、跨呼吸压、跨气道压、跨胸腔压、弹回性、顺应性和阻力。
4. 了解正常静息呼吸时呼气和吸气时跨肺泡压的压力值。
5. 写出计算顺应性和阻力的公式。
6. 能够解释机械通气时肺顺应性的改变对吸气峰压测量值的影响。
7. 描述可导致气道阻力增加的气道状况。
8. 根据吸气峰压、平台压和流速计算气道阻力。
9. 根据顺应性或气道阻力的异常图形来判断哪一部分肺单元可更快充盈或容量更大。



10. 比较几个时间常数, 解释在吸气时不同的时间常数对容量分布的影响。

11. 分别给出在 1 个、2 个、3 个和 5 个时间常数时被动充盈(或排空)时的百分比。

12. 简单讨论负压、正压和高频机械呼吸机的工作原理。

13. 了解吸气峰压、基础压、呼吸末气道正压和平台压的定义。

14. 描述平台压的测定。

## 一、机械通气相关的生理名词和概念

本章旨在回顾呼吸生理的基本概念, 简要介绍发生在呼吸周期中的压力、容量和流速事件。另外还讨论了肺特性(如顺应性和阻力)的变化对通气力学的影响。

### (一) 自主通气时的正常力学

#### 1. 通气和呼吸

自主呼吸或自主通气, 是指空气进出肺的简单运动。自主通气时, 吸气肌收缩, 胸或胸腔膨胀。静息吸气时, 膈肌下降, 胸腔纵向面积增大, 同时肋间外肌使肋骨轻度上移, 从而增加胸围。膈肌和肋间外肌收缩可提供空气进入肺内的能量, 因此代表了吸气所需要做的“功”。在最大自主吸气时, 呼吸辅助肌肉参与呼吸用来增加胸腔容量。

正常的静息呼气为一被动过程, 不需要任何做功。在正常的静息呼气过程中, 吸气肌处于松弛状态, 膈肌上抬, 肋骨回复至静息位置。胸腔容量缩小, 空气被挤出肺泡。为达到

最大呼气(超出呼气末的水平), 呼气辅助肌必须参与以挤压胸腔。框 1-1 为呼吸时的各种辅助肌肉列表。

呼吸是指机体与其环境间氧气和二氧化碳的交换。呼吸通常分为两个部分: 外呼吸和内呼吸。外呼吸是指肺泡和肺毛细血管间的氧和二氧化碳的交换。内呼吸则发生在细胞水平, 是指氧从全身血液进入细胞内, 用于氧化可利用的底物(如碳水化合物和脂肪)以产生能量。二氧化碳作为有氧代谢的主要产物, 也在体细胞和全身毛细血管间进行交换。

框 1-1 呼吸辅助肌

#### 吸气

斜角肌(前、中和后)

胸锁乳突肌

胸大肌和胸小肌

斜方肌

#### 呼气

腹直肌

外斜肌

内斜肌

腹横肌

前锯肌和后锯肌

背阔肌

表 1-1 呼吸系统的术语、缩写以及压力梯度

| 缩写                | 名称                                                             |
|-------------------|----------------------------------------------------------------|
| C                 | 顺应性                                                            |
| R                 | 阻力                                                             |
| Raw               | 气道阻力                                                           |
| $P_M$             | 口腔压力(与 $P_{awo}$ 相同)                                           |
| $P_{aw}$          | 气道压力(常指上气道)                                                    |
| $P_{awo}$         | 气道开放时的压力; 口腔压力; 面罩压力                                           |
| $P_{bs}$          | 体表压力                                                           |
| $P_{alv}$         | 肺泡压力(同 $P_A$ )                                                 |
| $P_{pl}$          | 胸膜腔内压力                                                         |
| $C_{st}$          | 静态顺应性                                                          |
| $C_{dyn}$         | 动态顺应性                                                          |
| <b>压力梯度</b>       |                                                                |
| 跨气道压力( $P_{ta}$ ) | 气道压 - 肺泡压 $P_{ta} = P_{aw} - P_{alv}$                          |
| 跨胸腔压力( $P_w$ )    | 肺泡压 - 体表压 $P_w$ (或 $P_{TT}$ ) = $P_{alv} - P_{bs}$             |
| 跨肺压( $P_L$ )      | 肺泡压 - 胸膜腔内压力(亦称跨肺泡压力) $P_L$ (或 $P_{TP}$ ) = $P_{alv} - P_{pl}$ |
| 跨呼吸压( $P_{tr}$ )  | 气道开放压 - 体表压 $P_{tr} = P_{awo} - P_{bs}$                        |

#### 2. 通气时的气流和压力梯度

气流是理解通气如何发生的重要概念。空气流经导管或气道时, 必然存在压力梯度(即导管一端的压力必然高于另一端的压力)。空气始终由压力较高的一侧流向压力偏低的一侧。

正常静息呼吸时, 开放的气道和肺泡间的压力梯度发生变化, 气流进出气道, 使得肺容量随之改变。在自主吸气时, 肺泡内的压力低于开放的气道压(即口和鼻), 气体进入肺内。相反, 由于呼气时肺泡内的压力高于开放气道的压力, 因而气体呼出肺外。在呼气末时, 开放气道的压力和肺泡内的压力相同, 沿着气道传导的压力也相等(即无压力梯度), 因而气体不发生流动。

#### 3. 压力单位

通气压力常以  $\text{cmH}_2\text{O}$  来计量。该压力以大气压力作为参考, 基础值为 0。换句话说, 虽然在海平面水平的大气压力为 760mmHg 或 1034cmH<sub>2</sub>O (1mmHg = 1.36cmH<sub>2</sub>O), 但是这个压力常被指定为 0cmH<sub>2</sub>O。例如, 正压呼吸时当气道压增加 +20cmH<sub>2</sub>O 时, 实际压力值是从 1034cmH<sub>2</sub>O 增加至 1054cmH<sub>2</sub>O。其他应用日益广泛的气压(如动脉氧分压)计量单位为托([torr]; 1torr = 1mmHg)和千帕([kPa];