



MECHANICAL
VENTILATION

第 4 版

机械通气

主编 朱 蕾 主审 钮善福



上海科学技术出版社

第 4 版

机械通气

主编 朱 蕾 主审 钮善福



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

机械通气 / 朱蕾主编. —4 版. —上海: 上海科学技术出版社, 2017. 1

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3266 - 0

I. ①机… II. ①朱… III. ①呼吸器—基本知识
IV. ①R459. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 230138 号

机械通气(第 4 版)

主编 朱 蕾

上海世纪出版股份有限公司 出版
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行
200001 上海福建中路 193 号 www.ewen.co

上海中华商务联合印刷有限公司印刷

开本 889×1194 1/16 印张 33

字数 950 千字

2001 年 5 月第 1 版

2017 年 1 月第 4 版 2017 年 1 月第 10 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 3266 - 0/R · 1235

定价: 148.00 元

内 容 提 要

《机械通气》自 2001 年出版至今,已经修订 3 次,受到广大读者的欢迎和好评,已成为我国机械通气和危重症领域的经典作品。本次修订,是在第 3 版的基础上,对章节和内容进行了大幅度调整,包括优化章节设置,删除陈旧内容,增绘大量插图,更新机械通气领域的最新观点和研究进展等。

本书全面系统地介绍了机械通气的相关理论和技术,以及机械通气在不同疾病中的应用与管理等;同时阐述了常用通气模式的衍变和现代通气模式的特点、波形图变化及其临床意义,以及机械通气在不同情况下的应用方法、常见问题和处理对策;并在附录部分收录了复旦大学附属中山医院机械通气相关的操作规范,方便读者查阅和借鉴。

本书主编朱蕾是复旦大学附属中山医院呼吸科教授,是我国呼吸生理和危重症领域的著名专家;其他编写人员皆为临床一线工作人员,并有从事相关科研工作的经历,具有丰富的临床经验和扎实的理论知识,可以说本书是编者们临床实践经验和科研成果的总结。本书在写作方法上,强调根据生理学和物理学知识解释机械通气技术及解决临床问题,避免空洞的理论阐述和单纯的指南堆积,突出实用性和指导性,并通过大量配图和典型病例分析增加可读性;在内容组织上,强调机械通气的生命支持作用与治疗作用相结合,重点突出机械通气和危重症治疗的基本知识,对临床上较少应用的技术和知识点则简要介绍,便于读者理解和掌握。

本书文字精炼,权威性强,指导性强,是呼吸科、重症医学科和急救医学科临床医师必备的工具书,也是其他临床科室工作人员深入学习和研修机械通气技术的指导性参考书,还可作为国内呼吸治疗师的培训教材。

编写者

主 编
朱 蕾

主 审
钮善福

编写者

(按姓氏拼音排序)

顾宇彤	复旦大学附属中山医院
胡莉娟	复旦大学附属中山医院
蒋进军	复旦大学附属中山医院
金美玲	复旦大学附属中山医院
李善群	复旦大学附属中山医院
钮善福	复旦大学附属中山医院
任卫英	复旦大学附属中山医院
沈勤军	复旦大学附属中山医院
王燕英	复旦大学附属中山医院
张 静	复旦大学附属中山医院
郑 峥	复旦大学附属中山医院
朱 蕾	复旦大学附属中山医院

序

一本优秀的文学著作可流传上千年，一首动听的歌曲可被几代人共欣赏，作为一部科技专著能在十几年内数次修订，仍受读者由衷地欢迎，实属不多见，由朱蕾教授主编的《机械通气》就是其中之一。

在由“铁肺”式的负压通气转变为正压通气以来的数十年间，机械通气在技术上日臻完善，已在国内外临床应用中拯救了无数的生命，至今仍在不断地发展与进步。然而，若想深入、全面、熟练地掌握该技术，并能准确地应用于临床，却绝非易事，更非一日之功，需要多读书，多实践，长期不懈地努力。呼吸生理是机械通气的基础和根本，不懂呼吸生理就不可能掌握机械通气的精髓。

朱蕾教授的工作重点与我 20 年前的工作很相似，主要致力于临床呼吸生理（也可称为肺功能）与机械通气。复旦大学附属中山医院在此领域一直有着厚重的沉积与优秀的传承。吴绍青教授、李华德教授等都是呼吸学界人的榜样。当我先后从日本（专攻呼吸生理）和美国（以机械通气为重点）留学归来后，于 1990 年编写出版我国首部较系统论述机械通气的著作——《机械通气与临床》时，就曾参考过吴绍青教授（肺功能方面）与李华德教授（机械通气方面）的专著——当时仅有的两本中文参考书。朱蕾教授继承了复旦大学附属中山医院的传统并将其发扬光大。

我与朱蕾教授有过多年的合作。作为一名优秀的呼吸病专家，他的踏实、认真、执着、不辞辛苦的品质与精神给我留下了深刻的印象。时下，没有几个人愿意坐下来踏踏实实写点什么，也没有几个人愿意去做些“无利”的事。朱蕾教授长期以来，辛勤笔耕，在呼吸生理、机械通气、水与电解质平衡等领域，密切结合自己多年来积累的临床实践经验，已主编了 6 部专著，并不断再版更新，不能不令人佩服。

《机械通气》第4版,是在第3版的基础上,由主编朱蕾教授本人完成修订,既保持了著作的完整性与连贯性,也及时补充并更新了该领域的新观点、新知识和新技术。在祝贺朱蕾教授成功修订本书的同时,我也希望广大读者能从本书中吸取“正能量”,并成功、准确地将其应用到临床中去。

刘又宁

2016年春

前 言

《机械通气》自第1版出版至今已历时15年,第3版至今也已4年,并多次重印。鉴于第3版的内容仍有较多不足之处,出版不久即考虑下一步的修订工作,一年前开始正式修订,今终于完成,有如释重负之感,也感忐忑不安。

第4版总体框架未变,但章节和内容进行了较大幅度调整,全书由第3版的30章调整为43章,删除了“儿科应用”和“呼吸监护室建立”两章;将“负压通气”一章并入“非常规呼吸支持技术”,并进行了大幅度删减;对原有的章节内容重新进行优化,增加了大量新内容,如PEEP的作用及合理应用、BiPAP呼吸机的应用、肺大疱和低血压患者的机械通气策略、重症肺炎的机械通气治疗、呼吸机相关性肺炎等;即使有些章节的标题未作修改,内容也都进行了重新编写;对与临床关系不大的理论内容进行大幅度删减,明显增加了对机械通气技术的阐述、图形解读和病例分析;对第3版有欠缺和错误的内容进行了深入解析和修正,使可读性及实用性更强。

第一篇仍为机械通气相关基础知识,内容变化较少。第二篇为机械通气理论与技术,由第3版的10章增加至24章,是本书改动最大的部分。第三篇为机械通气在不同疾病中的应用,进行了较大幅度的修改。第四篇为机械通气相关综合治疗与管理,也有一定幅度改动。为方便读者查阅和应用,附录部分收录了复旦大学附属中山医院机械通气相关的7个操作规范。

本人独立完成了全书内容的修订,并请相关作者帮助修改,前后对照收获极大,建议读者能结合第4版和第3版对照阅读,从而更好地为临床服务。

由于笔者水平有限,不足之处难免,望同道指正。

复旦大学附属中山医院 朱 蕾

2016年5月于上海

缩写词英汉对照

AB	actual bicarbonate	实际碳酸氢盐
ABE	actual bases excess	实际碱剩余
A/C+ autoflow	flow adapted volume control ventilation	流量适应容积控制通气
ACPE	acute cardiogenic pulmonary edema	急性心源性肺水肿
AHF	acute heart failure	急性心力衰竭
AMP	amplitude	振幅
APRV	airway pressure release ventilation	气道压力释放通气
AS	aspiration syndrome	吸入性综合征
ASV	adaptive support ventilation	适应性支持通气
ATC	automatic tube compensation	自动导管补偿
AV	assist ventilation	辅助通气
BAL	bronchial alveolar lavage	支气管肺泡灌洗
BALT	bronchus associated lymphoid tissue	支气管相关淋巴组织
BB	buffer bases	缓冲碱
BBS	blinded bronchial sampling	盲式支气管采样
BIPAP	biphasic positive airway pressure	双相气道正压
BIS	bispectral index	脑电双频指数
BPSB	blinded sampling with PSB	盲式 PSB 采样
CaO ₂	oxygen content of arterial blood	动脉血氧含量
C	compliance	顺应性
C _{eff}	effective compliance	有效顺应性
CHF	chronic heart failure	慢性心力衰竭
CMV	continous mandatory ventilation	指令通气
CNEP	continuous negative external pressure	胸廓外持续负压
CNPV	continous negative pressure ventilation	持续负压通气
CPAP	continuous positive airway pressure	持续气道内正压
CPIS	clinical pulmonary infection score	临床肺部感染评分

CPPV	continous positive pressure ventilation	持续正压通气
C_{sp}	specific compliance	比顺应性
CV	control ventilation	控制通气
CVP	central venous pressure	中心静脉压
CVTP	central veinous transmural pressure	中心静脉跨壁压
DH	dynamic pulmonary hyperinflation	动态肺过度充气
ECMO	extracorporeal membrane oxygenation	膜式氧合器
Edi	electrical activity of the diaphragm	膈肌电活动
E	elastance	弹性阻力
EELV	end-expiratory lung volume	呼气末肺容积
EMGdi	diaphragmatic electromyogram	膈肌肌电图
EN	enteral nutrition	肠内营养
EPAP	expiratory positive airway pressure	呼气相压力
ERV	expiratory reserve volume	补呼气容积
ETC	esophageal-tracheal combitube	食管-气管联合导气管
F_c	centroid frequency	中位频率
FPS	faces pain scale	面部表情评分法
FRC	function residual capacity	功能残气量
FRC/TLC	ratio of functional residual volume to total lung capacity	功能残气量肺总量百分比
G_{aw}	airway conductance	气道传导率
HAP	hospital acquired pneumonia	医院获得性肺炎
HFCWO	high frequency chestwall oscillation	高频胸壁振荡
HFJV	high frequency jet ventilation	高频喷射通气
HFOV	high frequency oscillation ventilation	高频振荡通气
HFPPV	high frequency positive pressure ventilation	高频正压通气
HFV	high frequency ventilation	高频通气
HME	heat and moisture exchanger	湿热交换器
HPV	hypoxic pulmonary vasoconstriction	缺氧性肺血管收缩
IC	inspiratory capacity	深吸气量
IMV	intermittent mandatory ventilation	间歇指令通气
INPV	intermittent negative pressure ventilation	间歇负压通气
IPAP	inspiratory positive airway pressure	吸气相压力
IPPV	intermittent positive pressure ventilation	间歇正压通气
IRV	inspiratory reserve volume	补吸气容积
IRV	inverse ratio ventilation	反比通气
LIP	lower inflexion point	低位拐点
LMA	laryngeal mask airway	喉罩
LV	liquid ventilation	液体通气
MAAS	motor activity assessment scale	运动活动评分量表
MDR	multidrug resistance	多重耐药
MEP	maximal expiratory pressure	最大呼气压
MIP	maximal inspiratory pressure	最大吸气压
MLT	minimal leak technique	最小漏气技术

MMV	mandatory minute ventilation	指令分钟通气
MOP	mouth occlusion pressure	口腔闭合压
MOV	minimal occlusive volume	最小闭合容积
MV	mechanical ventilation	机械通气
NAVA	neurally adjusted ventilatory assist	神经调节辅助通气
NEEP	negative end expiratory pressure	呼气末负压
NIPV	non-invasive positive ventilation	无创正压通气
NIV	non-invasive mechanical ventilation	无创机械通气
NPO	noninvasive pulse oximetry	无创脉搏氧饱和度法
NPV	negative pressure ventilation	负压通气
NRS	numeric rating scale	数字评分法
OR	oxygen radicals	氧自由基
PA	pressure augmentation	压力放大通气
PAV	pressure assist ventilation	压力辅助通气
PAV	proportional assist ventilation	成比例辅助通气
PCV	pressure control ventilation	压力控制通气
Pdi	transdiaphragmatic pressure	跨膈压
Pdi _{max}	maximum transdiaphragmatic pressure	最大跨膈压
PDR	pan-drug resistance	泛耐药
PDT	percutaneous dilational tracheostomy	经皮扩张气管造口术
PEEP	positive end expiratory pressure	呼气末正压
P _{es}	esophageal pressure	食管内压
PHC	permissive hypercapnia	允许性高碳酸血症
P-IMV	pressure-controlled intermittent mandatory ventilation	压力控制间歇指令通气
Pin	pulmonary interstitial pressure	肺间质压
PLV	pressure limited ventilation	压力限制通气
PN	parenteral nutrition	肠外营养
PPHN	persistent pulmonary hypertension of the new born	新生儿持续性肺动脉高压
Ppl	intrapleural pressure	胸腔内压
PRVCV	pressure regulated volume control ventilation	压力调节容积控制通气
PSB	protected specimen brush	防污染样本刷
P-SIMV	pressure-controlled synchronized intermittent mandatory ventilation	压力控制同步间歇指令通气
PS	pulmonary surfactant	肺表面活性物质
PSV	pressure support ventilation	压力支持通气
PTV	pressure targeted ventilation	定压通气
PVR	pulmonary vasculare resistance	肺循环阻力
R _{aw}	airway resistance	气道阻力
Re	reynold	雷诺数
RR	respiratory rate	呼吸频率
RV	residual volume	残气容积
RV/TLC	ratio of residual volume to total lung capacity	残总气量百分比
SAS	sedation-agitation scale	Riker 镇静躁动评分

SBD	sleep related breathing disorder	睡眠呼吸障碍
SBE	standard bases excess	标准碱剩余
SB	standard bicarbonate	标准碳酸盐
SBT	spontaneous breathing trial	自主呼吸试验
SH	static pulmonary hyperinflation	静态肺过度充气
SIMV	synchronized intermittent mandatory ventilation	同步间歇指令通气
SIMV + autoflow	flow adapted intermittent mandatory ventilation	流量适应间歇指令控制通气
SP	pulmonary surfactant proteins	PS 特异性蛋白
SV	stroke volume	振动量
T_e	expiratory time	呼气时间
TGI	intratracheal gas insufflation	气管内吹气
T_i	inspiratory time	吸气时间
TLC	total lung capacity	肺总量
T_{tot}	respiratory cycle, total cycle time	呼吸周期
UIP	upper inflexion point	高位拐点
VALI	ventilator associated lung injury	呼吸机相关性肺损伤
\dot{V}_A	minute alveolar ventilation at rest	每分钟静息肺泡通气量
VAP	ventilation associated pneumonia	呼吸机相关性肺炎
VAPS	volume assured pressure support	容积保障压力支持通气
VAS	visual analogue scale	视觉模拟法
VAV 或 AV	volume assist ventilation	容积辅助通气
VC	vital capacity	肺活量
VCV	volume control ventilation	容积控制通气
V_D	physiological dead space	生理无效腔
V_{ei}	end inspiratory volume	吸气末肺容积
V_E	minute ventilation volume at rest	每分钟静息通气量
\dot{V}/\dot{Q}	ventilation perfusion ratio	通气血流比值
VRS	verbal rating scale	语言评分法
V - SIMV	volume-controlled synchronized intermittent mandatory ventilation	容积控制同步间歇指令通气
VSV	volume support ventilation	容积支持通气
V_T	tidal volume	潮气容积

目 录

第一篇

机械通气相关基础知识

1

第一章 机械通气相关的呼吸系统解剖 / 2

第一节 呼吸道的结构特点与功能 / 2

第二节 肺与肺泡 / 6

第二章 呼吸生理 / 7

第一节 肺容积和通气功能 / 7

第二节 肺通气的动力和阻力 / 9

第三节 肺的血液循环 / 16

第四节 气体在肺内的交换 / 19

第五节 呼吸的调节 / 21

第三章 动脉血气分析 / 23

第四章 呼吸衰竭 / 27

第一节 呼吸衰竭的基本知识 / 27

第二节 不同类型呼吸衰竭的特点 / 31

第五章 机械通气相关性酸碱平衡失调与电解质紊乱 / 33

第一节 酸碱与酸碱平衡失调 / 33

第二节 机械通气相关性酸碱平衡失调 / 35

第三节 机械通气相关性电解质紊乱 / 37

第六章 氧气疗法 / 39

- 第一节 低氧血症和缺氧 / 39
- 第二节 氧气疗法的临床应用 / 40

第二篇

机械通气理论与技术 49

第七章 机械通气的基础理论 / 50

- 第一节 呼吸机的基本结构 / 50
- 第二节 机械通气的基本概念 / 55
- 第三节 机械通气的基本特性 / 59
- 第四节 完成机械通气的基本要求 / 62
- 第五节 机械通气模式 / 63
- 第六节 客观评价新型机械通气模式 / 70
- 第七节 机械通气的参数 / 73
- 第八节 呼吸机的监测 / 75
- 第九节 呼吸机的报警 / 76
- 第十节 呼吸机的临床分类 / 76

第八章 机械通气的生理学效应 / 77

- 第一节 机械通气对气体交换功能的影响 / 77
- 第二节 呼吸机相关性肺损伤 / 80
- 第三节 机械通气对呼吸肌的影响 / 85
- 第四节 机械通气对循环功能的影响 / 85
- 第五节 机械通气对胸腔外脏器功能的影响 / 91
- 第六节 机械通气对其他呼吸功能的影响 / 91

第九章 机械通气装置对呼吸功的影响 / 93

第十章 呼吸机相关性肺炎 / 95

- 第一节 基本概况和问题 / 95
- 第二节 发病机制和危险因素 / 96
- 第三节 传统呼吸机相关性肺炎诊断中的问题 / 97
- 第四节 呼吸机相关性肺炎的合理诊断 / 104
- 第五节 治疗策略 / 107
- 第六节 典型病例分析 / 109

第十一章 基础机械通气模式 / 124

- 第一节 容积辅助/控制通气 / 124

- 第二节 定容型同步间歇指令通气 / 136
- 第三节 压力支持通气 / 140
- 第四节 同步间歇指令通气加压力支持通气 / 148
- 第五节 压力辅助/控制通气 / 152
- 第六节 压力控制间歇指令通气 / 159
- 第七节 反比通气 / 160
- 第八节 貌似正比的反比通气 / 162
- 第九节 指令分钟通气 / 163

第十二章 呼吸机功能和性能的完善 / 165

- 第一节 吸气触发与呼吸机同步 / 165
- 第二节 持续气流、可变气流、按需阀和伺服阀送气 / 170
- 第三节 持续气流 / 171
- 第四节 流量触发 / 172
- 第五节 双水平气道正压和双相气道正压 / 173
- 第六节 成比例通气的理论与技术 / 177
- 第七节 神经调节辅助通气 / 181

第十三章 内源性呼气末正压 / 185

- 第一节 内源性 PEEP 测定 / 185
- 第二节 内源性 PEEP 的发生机制及产生原因 / 186
- 第三节 内源性 PEEP 的临床意义 / 187
- 第四节 肺过度充气的判断 / 188
- 第五节 内源性 PEEP 和肺过度充气的处理 / 189

第十四章 PEEP 的作用及合理应用 / 190

- 第一节 CPAP/PEEP 阀和 PEEP 的基本概念 / 190
- 第二节 PEEP 的效应 / 190
- 第三节 PEEP 在急性呼吸窘迫综合征的应用 / 191
- 第四节 PEEP 在肺水肿所致低氧血症患者中的应用 / 194
- 第五节 PEEP 治疗低氧血症患者时容易忽视的问题 / 194
- 第六节 PEEP 对抗 PEEPi 的特点及要求 / 195
- 第七节 经常被忽视的 PEEP 作用 / 196
- 第八节 PEEP 的不良反应 / 196

第十五章 机械通气的呼吸生理学基础与策略 / 198

- 第一节 机械通气与组织供氧 / 198
- 第二节 与机械通气有关的力学概念 / 200
- 第三节 压力-容积曲线及其临床应用 / 202
- 第四节 吸气相压力-容积曲线与机械通气策略的选择 / 209

- 第五节 流量-容积曲线与呼吸形式的调节 / 213
- 第六节 允许性高碳酸血症 / 214
- 第七节 自主性通气 / 219

第十六章 机械通气的适应证和禁忌证 / 226

- 第一节 机械通气的适应证 / 226
- 第二节 机械通气的禁忌证 / 229

第十七章 肺大疱和低血压患者的机械通气策略 / 231

- 第一节 机械通气对肺大疱的影响和通气策略的选择 / 231
- 第二节 机械通气对低血压的影响和通气策略的选择 / 232

第十八章 机械通气的应用技术 / 235

- 第一节 呼吸机的选择 / 235
- 第二节 通气模式的选择原则 / 237
- 第三节 通气参数的调节原则 / 238
- 第四节 初始机械通气 / 240
- 第五节 自主呼吸与机械通气的同步 / 241
- 第六节 机械通气的撤离 / 250
- 第七节 机械通气各个环节的常见问题及处理对策 / 251

第十九章 镇静剂、镇痛剂和肌松剂在 ICU 的应用 / 255

- 第一节 镇静剂、镇痛剂和肌松剂的应用概述 / 255
- 第二节 镇静剂、镇痛剂、肌松剂及其临床评价 / 255
- 第三节 镇静剂、镇痛剂和肌松剂在机械通气中的合理选用 / 260

第二十章 机械通气的连接 / 263

- 第一节 机械通气连接概论 / 263
- 第二节 机械通气连接的基本概念 / 263

第二十一章 无创正压通气 / 268

- 第一节 经面(鼻)罩机械通气的基本知识 / 268
- 第二节 经面(鼻)罩机械通气的同步 / 269
- 第三节 影响经面(鼻)罩机械通气的因素 / 271
- 第四节 经面(鼻)罩机械通气的优点、问题和处理对策 / 274

第二十二章 经面(鼻)罩机械通气在 COPD 患者的应用 / 276

- 第一节 COPD 患者的病理生理特点适合无创正压通气 / 276
- 第二节 影响 COPD 患者无创通气疗效的因素和机械通气的调节 / 277
- 第三节 COPD 患者无创通气的其他问题及处理对策 / 278

- 第二十三章 非COPD所致呼吸衰竭的无创通气治疗 / 280**
- 第一节 常见疾病的无创正压通气 / 280
 - 第二节 无创正压通气的扩展 / 283
- 第二十四章 BiPAP呼吸机的特点及无创通气时的操作要点 / 285**
- 第一节 BiPAP呼吸机的特点 / 285
 - 第二节 BiPAP呼吸机的使用要求 / 286
- 第二十五章 人工气道的建立和管理 / 290**
- 第一节 人工气道的类型 / 290
 - 第二节 人工气道的管理 / 293
 - 第三节 撤机和拔管 / 296
- 第二十六章 人工气道机械通气的临床应用 / 297**
- 第二十七章 有创-无创“序贯”机械通气 / 299**
- 第二十八章 机械通气患者的监测 / 301**
- 第一节 危重症监测概论 / 301
 - 第二节 机械通气模式和参数的基本监测 / 302
 - 第三节 生命体征的监测 / 305
 - 第四节 循环功能的监测 / 306
 - 第五节 中心静脉压监测的误区及处理对策 / 309
 - 第六节 呼吸形式的监测 / 310
 - 第七节 血气的监测 / 311
 - 第八节 非常规呼吸功能指标的监测 / 317
 - 第九节 机械通气时呼吸波形图的监测 / 320
 - 第十节 食管内压的监测及临床意义 / 325
- 第二十九章 机械通气的撤离技术 / 327**
- 第一节 影响机械通气撤机的因素 / 327
 - 第二节 机械通气的撤离方法 / 330
 - 第三节 自主呼吸试验 / 335
 - 第四节 撤离呼吸机的问题、失败原因及处理对策 / 338
 - 第五节 停机时气囊的管理 / 342
 - 第六节 拔管及拔管后的管理 / 344
- 第三十章 非常规呼吸支持技术 / 346**
- 第一节 负压通气 / 346
 - 第二节 高频通气 / 348