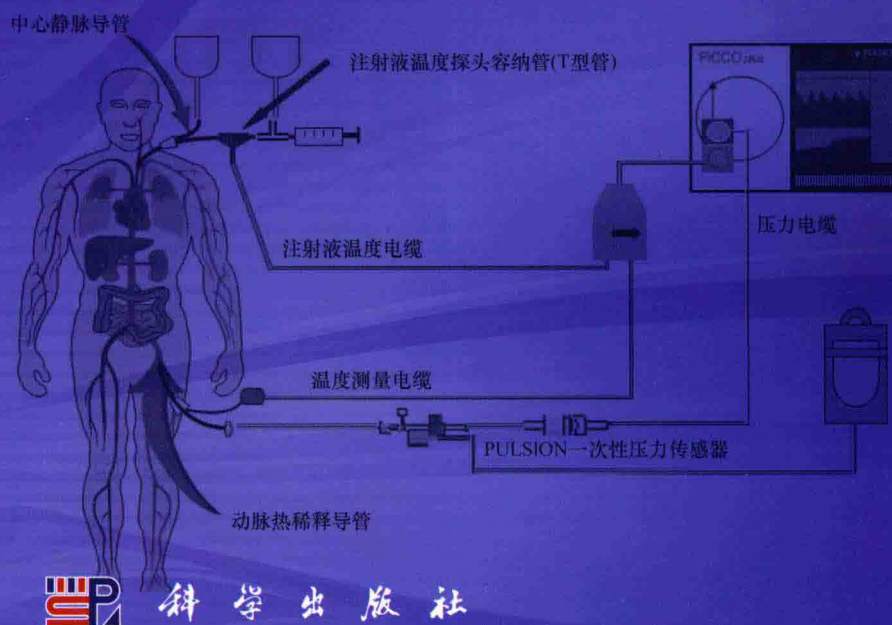


中国科学院教材建设专家委员会规划教材

全国高等医学院校规划教材

危重病医学实验教程

主编 葛颖 万勇



科学出版社

中国科学院教材建设专家委员会规划教材
全国高等医学院校规划教材

危重病医学实验教程

主 编 葛 颖 万 勇

副主编 黄晓波 金晓东 王大庆 苏晓林

编 者 (以姓氏笔画为序)

万 勇 川北医学院附属医院
王大庆 川北医学院附属医院
甘辞海 西南医科大学附属医院
苏晓林 川北医学院附属医院
肖 敏 川北医学院附属医院
张 丽 川北医学院附属医院
陈 静 川北医学院附属医院
赵 珂 川北医学院附属医院
黄晓波 四川省医学科学院·四
川省人民医院
葛 颖 川北医学院附属医院

王 波 四川大学华西医院
尹万红 四川大学华西医院
刘冰琪 川北医学院附属医院
杨 静 川北医学院附属医院
何 浩 川北医学院附属医院
张中伟 四川大学华西医院
金晓东 四川大学华西医院
钱志成 川北医学院附属医院
龚宗炼 川北医学院附属医院
雷贤英 西南医科大学附属医院

科学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是针对麻醉学专业本科学生的危重病医学实验教程。汇总多年从事危重病医学理论和实践教学经验,根据培养方案,在原两版内部教材的基础上,参考近年来学科的进展而编写。内容涉及ICU病房常用的监测和治疗技术,包括:机械通气、无创通气、机械通气的波形分析、P-V曲线的测定、呼吸治疗、气管插管、气管切开术、经皮气管导管置入术、环甲膜穿刺术、深静脉置管术、血流动力学监测、无创血流动力学监测、肺动脉导管置管监测技术、脉搏指示持续心输出量血流动力学监测、重症超声、心电图监测、电除颤与电复律、心肺复苏术、主动脉内球囊反搏术、体外膜氧合、血液净化、人工肝、颅内压监测、重症评分系统等。为学生进入ICU病房临床实习打下坚实的基础。可根据麻醉学专业本科学生的实际情况选取实验内容。

本实验教程不仅适用于麻醉专业的学生,也可以作为急诊医学等临床医学专业学生以及在ICU病房实习、规范化培训,进修医生的学习中查询参考。

图书在版编目(CIP)数据

危重病医学实验教程 / 葛颖, 万勇主编. —北京: 科学出版社, 2017.1

中国科学院教材建设专家委员会规划教材·全国高等医学院校规划教材

ISBN 978-7-03-047366-0

I. ①危… II. ①葛… ②万… III. ①险症-实验医学-医学院校-教材 IV. ①R459.7-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第031032号

责任编辑: 朱 华 / 责任校对: 李 影

责任印制: 赵 博 / 封面设计: 陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京市密东印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年1月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2017年1月第一次印刷 印张: 11 1/2

字数: 258 000

定价: 39.80 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)



前 言

危重病医学 (critical care medicine) 是一门综合运用现代医学的监测和治疗技术, 从整体出发对重症患者进行救治的临床学科, 特别关注全身器官系统之间的相互影响以及全身器官系统的功能支持, 为病因治疗赢得时间和机会, 要求重症医生熟练掌握 ICU 病房先进的监测和治疗技术。

目前我国医学本科生教学中仅有麻醉学专业设有“危重病医学”专业课程, 该课程是重要的主干课程之一, 但尚缺乏一本专门针对麻醉学专业本科学生的危重病医学实验教程。根据我们十几年从事危重病医学理论和实践教学的体会, 在前两版《危重病医学实验指导 (内部教材)》的基础上参考近年来学科的进展情况特编写本实验教程。内容涉及机械通气、无创通气、机械通气的波形分析、P-V 曲线的测定、呼吸治疗、气管插管、气管切开术、经皮气管导管置入术、环甲膜穿刺术、深静脉置管术、血流动力学监测、无创血流动力学监测、肺动脉导管置管监测技术、脉搏指示持续心输出量血流动力学监测、重症超声、心电图监测、电除颤与电复律、心肺复苏术、主动脉内球囊反搏术、体外膜氧合、血液净化、人工肝、颅内压监测、重症评分系统等。教学上要求提供充足的实验动物、教学人体模型、教学模特、相应的教学仪器设备及配套的教学软件系统, 通过教师讲解示教、观看教学视频资料、学生实际操作等方式进行实验教学, 为学生进入 ICU 病房临床实习打下坚实的基础。

由于课时安排设备条件等因素, 可根据麻醉学专业本科学生的实际情况选取实验内容。目前并不是所有本教程实验内容均能纳入实验教学, 但学生可以作为自学内容和临床实习的参考资料。预计随着危重病医学课程的发展, 将会增加并开放所有的实验项目。

本实验教程不仅适用于麻醉专业的学生, 也可以作为急诊医学等临床医学专业学生以及在 ICU 病房实习、规范化培训, 进修医生等的参考书。

危重病医学从基础理论到监测和治疗技术的进展更新较快, 由于编者学识水平有限, 本实验教程不妥或错误之处, 敬请相关专家、学者和广大师生批评指正。

编 者
2015 年 12 月

目 录

前言

实验一 机械通气	1
实验二 无创通气	7
实验三 机械通气的波形分析	11
实验四 P-V 曲线的测定	20
实验五 呼吸治疗 (一)	25
第一节 胸部物理治疗	25
第二节 氧疗	32
实验六 呼吸治疗 (二)	39
第一节 雾化吸入疗法	39
第二节 吸痰	42
实验七 气管插管	47
实验八 气管切开术	53
实验九 经皮气管导管置入术	58
实验十 环甲膜穿刺术	64
实验十一 深静脉置管术	68
实验十二 血流动力学监测 (一)	72
实验十三 血流动力学监测 (二)	76
实验十四 无创血流动力学监测	78
实验十五 肺动脉导管置管监测技术	81
实验十六 脉搏指示持续心输出量血流动力学监测	85
实验十七 重症超声	90
实验十八 心电图监测	108
实验十九 电除颤与电复律	118
实验二十 心肺复苏术	121
实验二十一 主动脉内球囊反搏术	132
实验二十二 体外膜氧合	141
实验二十三 血液净化	154
实验二十四 人工肝	164
实验二十五 颅内压监测	171
实验二十六 重症评分系统	175

实验一 机械通气

机械通气 (mechanical ventilation, MV) 是用呼吸机辅助或完全代替人体呼吸的一种治疗措施, 是一种肺脏功能支持的手段。在呼吸机的帮助下维持气道通畅、改善通气和氧合、防止机体缺氧和二氧化碳蓄积, 为使机体有可能度过基础疾病所致的呼吸功能衰竭, 为治疗基础疾病创造条件。机械通气适用于各种原因引起的呼吸功能衰竭, 包括中枢性和外周性原因。常见中枢性原因有脑部外伤、脑血管意外、脑疝形成等。常见外周性原因包括支气管、肺部疾患、神经肌肉疾病等。机械通气作为治疗呼吸衰竭的有效手段, 为抢救患者生命, 以下一些禁忌证是相对的, 包括肺大泡、肺囊肿、活动性大咯血等。通气机通气功能需要通气模式来实现, 通气模式由相关参数构成。机械通气可能引起气压性损伤、对循环功能抑制、呼吸道感染等并发症。在使用过程中加强监测及时发现并发症并积极处理。

【目的要求】

- (1) 掌握机械通气的实施方法, 熟悉呼吸机参数的调节。
- (2) 掌握常见机械通气模式的设置。
- (3) 掌握 ARDS 保护性肺部通气策略设置。
- (4) 了解机械通气过程中的注意事项及并发症的发现和治理。

【实验学时】

3 学时。

【实验方法】

- (1) 教师 PPT 讲解。
- (2) 观看机械通气教学录像。
- (3) 教师操作演示。
- (4) 学生实际操作。
- (5) 教师总结。

【实验材料】

- (1) 呼吸机、氧气瓶
- (2) 教学光碟、录像放映设备

【实验内容】

(一) 呼吸机的基本结构

1. 呼吸机主机 因呼吸机类型不同而不同, 可进行呼吸参数的调节和监测, 并设有报警系统, 呼气末压力调节活瓣可以进行 PEEP、CPAP 等形式的排气。

2. 呼吸机附件

- (1) 气源和空氧混合器: 呼吸机都有为患者提供合适的气体的气源, 如氧气、压缩空

气等。现代呼吸机都配置有精密的空氧混合器，可向患者提供不同氧浓度的气体。其可调范围为 21%~100%。空氧混合器一般由三部分构成：即平衡阀、配比阀、安全装置。当压缩空气和氧气进入平衡阀后，经一级和二级平衡后，气体压力均等，经过配比阀达到不同的氧浓度而输出。

(2) 加温湿化器：加热湿化是在水容器中放置加热板或加热丝加热产生水蒸气，调节加热温度使水蒸气的绝对湿度改变。这种湿化方法较为常用，其优点是患者吸入舒适，能保持患者体温。加热湿化目前有两种形式：一种是单伺服加热，即只有一个加热元件在容器中。另一种湿化器不但在容器中加热，而且在患者吸入管道中放置加热丝加热，利用容器和管道的温差来控制加热温度。双伺服型加湿器改进了单伺服型容易在管道中凝水的缺点。

(3) 其他：呼吸机管道，各种接头，雾化器（接在呼吸管道的吸气端起雾化治疗作用），热湿交换器（人工鼻）等。

(二) 机械通气的适应证和禁忌证

1. 机械通气的适应证 机械通气的目的是维持 PO_2 和 PCO_2 在适当的水平，并减少呼吸做功。总的来说，各种原因引起的急性呼吸衰竭或慢性呼吸衰竭急性加重，经保守治疗后效果不佳而且在继续发展者、呼吸停止及某些特殊治疗目的，均为机械通气的适应证。

常见的机械通气的适应证见表 1-1。

表1-1 机械通气的适应证

心肺复苏
通气功能异常
呼吸肌功能异常
呼吸肌疲劳
胸壁异常
神经肌肉病变
呼吸驱动力下降
气道阻力增加或气道阻塞
氧合异常
难治性低氧血症
呼吸做功明显增加

机械通气除上述适应证外，还可用于下列特殊的环境。如麻醉中保证镇静和肌松剂的安全使用；减少全身和心肌的氧耗；过度通气降低颅内压；促进肺泡复张、预防肺不张。

2. 禁忌证 目前一般认为，机械通气没有绝对的禁忌证，对于一些特殊疾病，可归结为其相对禁忌证，这类疾病主要包括：如气胸及纵隔气肿、肺大疱、低血容量性休克、大咯血、气管食管瘘等。针对这些疾病，积极处理原发病（如尽快行胸腔闭式引流、积极补充血容量等）同时不失时机地应用机械通气。

(三) 常用通气模式的设置

1. 机械控制呼吸（CMV）和机械辅助呼吸（AMV） CMV：是一种时间触发、容量限定/容量切换或压力限定/时间切换的通气方式，潮气量和频率完全由呼吸机产生。

AMV：是一种压力或流量触发、容量限定/容量切换或压力限定/时间切换的通气方式，可保持呼吸机与患者吸气同步。辅助/控制呼吸（A/C）则是两种模式的结合，已取代 CMV 及 AMV 模式，可自动转换，当患者自主呼吸触发呼吸机时，进行辅助呼吸；当患者无自主呼吸或自主呼吸微弱，不能触发呼吸机时，呼吸机自动转换到控制呼吸。辅助/控制呼吸通气方式适用于需完全呼吸支持的患者。

2. 同步间歇指令性通气（SIMV） 是自主呼吸与控制通气相结合的呼吸模式，在触发窗内患者可触发和自主呼吸同步的指令正压通气，若无触发，则由呼吸机给予预设的指令通气，在两次指令通气之间触发窗外允许患者自主呼吸，指令通气是以预设容量（容量控制 SIMV）或预设压力（压力控制 SIMV）的形式送气。

3. 压力支持通气 (PSV) 是一种患者触发、压力限定、流速切换的通气方式。自主呼吸期间,患者吸气相一开始,呼吸机即开始送气,使气道压力迅速上升到预定的压力值,并维持气道压在这一水平;当自主吸气流速降低到最高吸气流速的一定比例(如 25%)时,送气停止,患者开始呼气。优点:①自主呼吸的周期、流速及幅度不变;②减少膈肌的疲劳和呼吸做功;缺点:潮气量由吸气用力、预设 PSV 水平和呼吸回路的阻力及顺应性来决定,易致通气不足或通气过度,需监测潮气量。

4. 持续气道正压 (CPAP) CPAP 是患者在自主呼吸的基础上,于吸气期和呼气期由呼吸机向气道内输送一个恒定的新鲜正压气流,正压气流大于吸气气流,气道内保持持续正压,气流量和正压可按患者具体情况调节。它是 PEEP 在自主呼吸条件下的特殊应用,因此也具有 PEEP 的各种优缺点。由于 CPAP 不提供通气辅助功,CPAP 只适用于呼吸中枢功能正常、具有较强自主呼吸能力的患者。

5. 双相气道正压通气 (BIPAP) 双相气道正压通气 (biphasic positive airway pressure, BIPAP) 是指给予两种不同水平的气道正压,为高压水平 (P_{high}) 和低压水平 (P_{low}) 之间定时切换,且其高/低压时间、高/低压水平各自可调,从 P_{high} 转换至 P_{low} 时,增加呼出气量,改善肺泡通气。该模式允许患者在两种水平上自由呼吸,改善人机同步性。

(四) 常用呼吸参数的调节

1. 潮气量的设定 在容量控制通气模式下,潮气量的选择应保证足够的气体交换及患者的舒适性,通常依据体重选择 5~12 ml/kg,并结合呼吸系统的顺应性、阻力进行调整,避免气道平台压超过 30 cmH₂O。越来越多的证据证实不管是否有 ARDS,均应尽可能实施小潮气量通气已避免呼吸机相关性肺损伤。在压力控制通气模式时,潮气量主要由预设的压力、吸气时间、呼吸系统的阻力及顺应性决定;最终应根据动脉血气分析进行调整。

2. 呼吸频率的设定 呼吸频率的选择根据分钟通气量及目标 PCO₂ 水平,成人通常设定为 12~20 次/分,急/慢性限制性肺疾病时也可根据分钟通气量和目标 PCO₂ 水平超过 20 次/分,准确调整呼吸频率应依据动脉血气分析的变化综合调整 V_T 与 f 。

3. 流速调节 理想的峰流速应能满足患者吸气峰流速的需要,成人常用的流速设置在 40~60 L/min,根据分钟通气量和呼吸系统的阻力和肺的顺应性调整,流速波形在临床常用减速波或方波。压力控制通气时流速由选择的压力水平、气道阻力及受患者的吸气努力影响。

4. 吸气时间/I:E 设置 I:E 的选择是基于患者的自主呼吸水平、氧合状态及血流动力学,适当的设置能保持良好的人-机同步性,机械通气患者通常设置吸气时间为 0.8~1.2 秒或吸呼比为 1:1.5~2;控制通气患者,为抬高平均气道压改善氧合可适当延长吸气时间及吸呼比,但应注意患者的舒适度、监测 PEEP_I 及对心血管系统的影响。

5. 触发灵敏度调节 一般情况下,压力触发常为 -1.5~-0.5 cmH₂O,流速触发常为 2~5 L/min,合适的触发灵敏度设置将明显使患者更舒适,促进人机协调;一些研究表明流速触发较压力触发能明显减低患者呼吸功;若触发敏感度过高,会引起与患者用力无关的误触发,若设置触发敏感度过低,将显著增加患者的吸气负荷,消耗额外呼吸功。

6. 吸入氧浓度 (FiO_2) 机械通气初始阶段, 可给高 FiO_2 (100%) 以迅速纠正严重缺氧, 以后依据目标 PaO_2 、PEEP 水平和血流动力学状态, 酌情降低 FiO_2 至 50% 以下, 并设法维持 $\text{SaO}_2 > 90\%$, 若不能达上述目标, 即可加用 PEEP、增加平均气道压, 应用镇静剂或肌松剂; 若适当 PEEP 和 MAP 可以使 $\text{SaO}_2 > 90\%$, 应保持最低的 FiO_2 。

7. PEEP 的设定设置 PEEP 的作用是使萎陷的肺泡复张、维持肺泡开放、增加平均气道压、改善氧合, 同时影响回心血量, 及左室后负荷, 克服 PEEP_i 引起呼吸功的增加。PEEP 常应用于以 ARDS 为代表的 I 型呼吸衰竭, PEEP 的设置参照目标 PaO_2 和氧输送的基础上, 与 FiO_2 与 V_T 联合考虑, 虽然 PEEP 设置的上限没有共识, 但下限通常在 P-V 曲线的低拐点 (LIP) 或 LIP 之上 2 cmH_2O ; COPD 患者可根据 PEEP_i 指导 PEEP 的调节, 外源性 PEEP 水平大约为 PEEP_i 的 80%, 以不增加总 PEEP 为原则。

(五) ARDS 肺保护性通气策略

(1) 由于 ARDS 患者大量肺泡塌陷, 肺容积明显减少, 常规或大潮气量通气易导致肺泡过度膨胀和气道平台压过高, 加重肺及肺外器官损伤。小潮气量通气应设置潮气量为 6 ml/kg 。

(2) 气道平台压能够客观反映肺泡内压, 其过度升高可导致呼吸机相关性肺损伤 (VALI)。气道平台压应不超过 30 cmH_2O 。

(3) PEEP 的选择: 应根据 ARDS 的严重程度采用合适的 PEEP, 轻度 ARDS 一般采用较低水平 PEEP, 中重度 ARDS 可采用 10~15 cmH_2O 较高水平的 PEEP。ARDS 广泛肺泡塌陷不但可导致顽固性低氧血症, 而且部分可复张的肺泡周期性塌陷开放而产生剪切力会导致或加重 VALI。充分复张塌陷肺泡后应用适当水平 PEEP 防止呼气末肺泡塌陷, 改善低氧血症, 并避免剪切力, 防治 VALI。因此, ARDS 应采用能防止肺泡塌陷的最低 PEEP。有条件的情况下, 应该根据静态 P-V 曲线低位转折点压力+2 cmH_2O 来确定 PEEP。

(六) 常见机械通气过程中的并发症

1. 通气不足 管道漏气或阻塞均可造成潮气量下降, 肺部顺应性下降的患者, 如使用潮气量偏小, 可造成通气不足; 自主呼吸与呼吸机拮抗时, 通气量也下降。

2. 通气过度 潮气量过大、呼吸频率太快可造成通气过度, 短期内排出大量二氧化碳, 导致 PaCO_2 骤降和呼吸性碱中毒。

3. 低血压 机械通气时, 因心输出量的下降可发生低血压。对血压明显下降的患者, 除适当调节潮气量、吸/呼之比及选用最佳 PEEP 外, 还可选用下述措施: ①适当补充血容量, 使静脉回流量增加, 恢复正常的心输出量; ②应用增强心肌收缩药物, 选用氯化钙、多巴胺、多巴酚丁胺或洋地黄增强心肌收缩力。

4. 肺部气压伤 机械通气时, 如气道压力过高或潮气量过大, 或患者肺部顺应性差、原患肺气肿、肺大疱等, 易发生肺部气压伤。包括肺间质水肿、纵隔气肿、气胸等。为预防肺部气压伤, 可采用较低的吸气峰压。

5. 呼吸机相关肺炎 原有的肺部感染可加重或肺部继发感染。这与气管插管或切开后, 上呼吸道失去应用的防卫机制及与吸引导管、呼吸机和湿化器消毒不严有关, 应加强床头抬高、声门下吸引、浅镇静及每日脱机筛查等预防措施。

6. 胃肠道并发症 如气囊充气不足, 吸入气体可从气囊旁经口鼻逸出, 引起吞咽反射亢进, 导致胃肠充气。

7. 少尿 长期机械通气的患者，可影响肾功能，出现少尿与水、钠潴留。

(七) 机械通气的监护

1. 常规监护 定容型呼吸机，应观察输入压力的变化。在每分钟通气量不变情况下，如压力增加，表示呼吸道或管道阻塞或肺部病变加重；压力减低，表示有漏气或肺部病变好转。定压型呼吸机，需监测潮气量或每分钟通气量。

2. 临床观察

- (1) 一般情况：缺氧或二氧化碳潴留时，患者可有烦躁、意识障碍、惊厥等症状；
- (2) 肺部检查：机械通气时，两侧胸廓活动应对称，呼吸音应一致；
- (3) 循环系统：观察心率、心律、血压和心电图的变化。如病情恶化，表现为肢体潮冷、血压下降和尿量减少；呼吸机输入压力过高，血压也可下降；病情好转时则血压稳定、肢体温暖，尿量超过每小时 0.5ml/kg。

3. 肺功能监护

(1) 血气分析：机械通气开始后 30 min 应作首次血气分析，尽可能应用较低的吸氧浓度，而使 PaO_2 维持在 8.0 kPa (60 mmHg)； PaCO_2 为观察通气的指标，但不急于使 PaCO_2 恢复至正常，最好维持在 5.33~6.67 kPa (40~50 mmHg)。

(2) 呼出气监护：有些呼吸机有 CO_2 分析仪，可监测呼气末的二氧化碳浓度以间接了解体内的二氧化碳变化（正常人呼气末二氧化碳浓度约 5%）。

(3) 呼吸功能监护：机械时需监测潮气量、肺部顺应性、吸气峰压、气道阻力、吸氧浓度等，应用现代呼吸机可在床边迅速读出这些指标。

(4) 胸部 X 线片：可帮助确定插管位置、发现肺水肿及并发症（气胸、皮下气肿等）、发现肺部感染、肺不张等，胸部创伤性检查后，应常规摄胸部 X 线片。

(5) 血流动力学监测：测定心输出量以监护血容量及选择最佳 PEEP，并可测定肺动脉楔压。

(八) 呼吸机的使用流程

- (1) 连接电源、气源，连接呼吸机管路及湿化装置。
- (2) 开机，等待自检通过。
- (3) 选择患者（同一患者/新患者）。
- (4) 输入理想公斤体重并按继续键。
- (5) 选择模式（A/C）。
- (6) FiO_2 设置（100%）。
- (7) V_T 设置（8 ml/kg）。
- (8) 呼吸频率（15 次/分）。
- (9) 设置恒定流速。
- (10) 吸气流速 30 L/min。
- (11) 平台时间 0.2 s（吸气时间 1.2s，I : E=1 : 2.3）。
- (12) PEEP 设定（4 cmH₂O）。
- (13) 触发灵敏度（2 L/min）。
- (14) 气道峰压上限 40 cmH₂O。
- (15) 检查并设置合适的报警参数。
- (16) 确认连接模肺机器运转正常后连接患者。

(17) 监测并滴定式调节参数设置。

【思考题】

(1) 持续气道正压 (CPAP) 的概念。

(2) 呼吸机报警应对原则。

(3) 呼气末正压的概念和意义。

参 考 文 献

邓小明, 李文志. 2011. 危重病医学. 3 版. 北京: 人民卫生出版社: 147-151

赵嘉训. 2013. 麻醉设备学. 3 版. 北京: 人民卫生出版社: 245-248

(钱志成 编撰 王 波 审校)

实验二 无创通气

低氧血症在经过氧疗后仍难以纠正或呼吸困难等症状改善不明显时，无创机械通气（noninvasive mechanical ventilation, NIV）是一个较好的选择。在临床上应用较广泛的是采用正压方式的无创通气，通过面罩或鼻罩与患者连接而进行的人工通气方式。应用 NIV 可减轻呼吸肌负荷、改善呼吸形式、增加氧合以及促进二氧化碳的排出等。

目前的应用经验表明，NIV 应用于Ⅱ型呼衰及心源性肺水肿时较为有效，可以减少或避免气管插管有创机械通气，避免相关并发症（如呼吸机相关性肺炎、呼吸机相关性肺损害等）的发生，缩短住院时间、减少病死率。但对于Ⅰ型呼衰者，NIV 的应用则存在较大争议。目前的临床观察发现 NIV，也是治疗睡眠呼吸障碍的理想手段，对手术后出现的呼吸衰竭也有一定帮助。但其他的病因（如急性呼吸窘迫综合征）所引起者则疗效不佳，对预后的帮助不大。应用 NIV 时，患者的耐受性对疗效有很大的影响。耐受较差者，分泌物排出障碍、反流误吸的发生率高，反而会加重病情。NIV 的应用有其适应证和禁忌证。适应证包括：病情在短时间内能够逆转，以呼吸肌疲劳为主，中重度呼吸困难，矛盾呼吸运动或辅助呼吸肌参与；呼吸频率 >24 次/分， $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2<200$ 等。其禁忌证有：心跳呼吸骤停、严重血流动力学不稳定、意识障碍、误吸风险高、气道分泌物清除能力低、面部损伤或近期手术后、存在气道狭窄等；若患者不合作或不能耐受鼻、面罩时亦应谨慎应用。如果患者存在 NIV 的禁忌证或不能耐受，或者使用后疗效不佳时，应考虑尽早改为有创机械通气。

【目的要求】

- （1）掌握无创机械通气的适应证和禁忌证。
- （2）掌握无创机械通气的实施方法，熟悉呼吸机参数的调节。
- （3）掌握慢性阻塞性肺疾病（COPD）无创机械通气模式的设置。
- （4）了解无创机械通气过程中的监测及转换为有创通气的时机。

【实验学时】

3 学时。

【实验方法】

- （1）PPT 讲解。
- （2）观看无创机械通气教学录像。
- （3）教师操作示教。
- （4）学生实际操作。
- （5）教师总结。

【实验材料】

- （1）无创呼吸机、氧气瓶。

(2) 教学光碟、录像放映设备。

【实验内容】

(一) 无创呼吸机的工作原理

呼吸运动的驱动力是经肺压, 其为口腔压与胸膜腔压力的差值。通过增加口腔压或降低胸膜腔压, 均可增加经肺压, 起到辅助通气的效果。无创正压通气 (noninvasive positive pressure mechanical ventilation, NIPPV) 与有创通气相似, 可通过增加气道内正压、呼吸流量和容量而改变肺容量。胸外负压通气 (negative pressure ventilation, NPV) 则是通过胸腔外的负压, 降低胸膜腔的压力, 从而起到辅助通气的作用。无论是 NIPPV 或 NPV, 终极目标是: ①恢复适当的气体交换, 即维持较理想的通气和氧合水平, 避免人体重要器官的功能受损; ②减轻或代替过重的呼吸肌负荷, 让疲惫或衰竭的呼吸肌尽快恢复功能; ③维持心血管功能稳定。

(二) 无创呼吸机的基本结构

由主机、过滤膜、呼吸管路、加温湿化器、电池、电源适配器、电源线、细菌过滤器组成。

(三) NIV 的设备与方法

目前用于临床的无创人工通气方法有: 胸外负压通气、气道内正压通气、腹部按压通气和摇动床。由于腹部按压和摇动床仅可用于神经肌肉疾患 (肺本身是正常的) 引起的呼吸衰竭, 且辅助通气效果较差。所以, 临床上常用的为气道内正压通气和胸外负压通气。

1. 胸外负压通气 (NPV) NPV 用一个筒状或壳状外壳围绕胸腹部, 通过产生负压扩张胸廓产生吸气作用, 呼气过程可以是被动的 (外壳内压力回复为大气压) 或通过相应的胸外 (外壳内) 正压辅助呼气。其辅助呼吸的作用与应用负压的大小、波形、持续时间及作用的体表面积有关, 亦受患者呼吸系统有效顺应性的影响, 国内临床应用较少。

2. 无创正压通气 (NIPPV) NIPPV 是通过接口器、鼻罩或面罩等方式连接患者并给予正压通气, 希望达到与有创正压通气类似的效果。NIPPV 的应用已有 20 多年的历史。近 10 年由于慢性呼吸衰竭患者的增多, NIPPV 得到更多的重视。随着应用经验的积累、通气方式和连接方法的改进, 其已成为治疗早期和慢性呼吸衰竭的重要手段。

3. 无创呼吸机的连接方式 常用的连接呼吸机的方式有接口器、鼻罩和面罩等。连接的舒适性、紧密性和稳定性对疗效和患者的接受程度影响很大, 还要留意无效腔的大小 (增加的无效腔可引起 CO_2 的重复呼吸)、应用的简便性、安全性等问题。接口器连接简便, 无效腔小, 但需要患者用力咬住, 压力高时唇周和鼻孔处会漏气, 通常仅可用于清醒者, 睡眠过程中不宜应用。目前也有按患者唇齿外形做的个人专用接口器, 可增加其密封性和舒适性。鼻罩的连接方式效果较好。目前常用的自封式硅胶鼻罩连接简便舒适, 耐受性好。通常无效腔量 60ml, 且不影响咳嗽、吐痰或讲话。但多数患者进睡后无法保持口腔的密闭而漏气, 影响通气效果。全面罩能将口鼻罩住, 避免了因张口而漏气的问题。常用的气垫式面罩通过橡胶带或粘贴带连接, 应用方便舒适, 密封性良好, 辅助通气效果较好。但无效腔较大 (100ml 左右), 而且干扰患者的讲话或吐痰, 耐受性不如鼻罩好, 亦有可能增加胃胀气和误吸的机会。其他的连接方式尚有鼻孔连接囊管、唇封等。目前尚无法预测每位患者应用哪一种连接器好, 建议备用各种类型的连接器让患者试用。

（四）适应证和禁忌证

1. 适应证 患者出现较为严重的呼吸困难，动用辅助呼吸肌，常规氧疗方法（鼻导管和面罩）不能维持氧合或氧合障碍有恶化趋势时，应及时使用 NIPPV。但患者必须具备使用 NIPPV 的基本条件，即：较好的意识状态、咳痰能力、自主呼吸能力、血流动力学稳定和良好的配合 NIPPV 的能力。

2. 禁忌证 逐渐加深的意识障碍，呼吸微弱或停止，排痰无力，严重的器官功能不全（上消化道大出血、血流动力学不稳定等），未经引流的气胸或纵隔气肿，严重腹胀，上气道或颌面部损伤/术后/畸形，不能配合 NIPPV 或面罩不耐受等。

（五）无创通气模式与参数调节

持续气道正压（CPAP）和双水平正压通气（BiPAP）是最常用的两种通气模式，后者更为常用。双水平正压通气有两种工作方式：自主呼吸通气模式（S 模式，相当于 PSV+PEEP）和后备控制通气模式（T 模式，相当于 PCV+PEEP）。因此，BiPAP 的参数设置包括吸气压（IPAP），呼气压力（EPAP）及后备控制通气频率。当自主呼吸间隔时间低于设定值（由后备频率决定）时，即处 S 模式；自主呼吸间隔时间超过设定值时，即由 S 模式转向 T 模式，即启动时间切换的背景通气 PCV。在 COPD 患者首选 CPAP，如果存在高碳酸血症或呼吸困难不缓解可考虑换用 BiPAP。

BiPAP 参数调节原则：IPAP/EPAP 均从较低水平开始，患者耐受后再逐渐上调，直到达满意的通气和氧合水平，或调至患者可能耐受的水平。

（六）NIPPV 转换为有创机械通气（invasive mechanical ventilation, IMV）的时机

在应用 NIPPV 过程中如何及时、准确地判断 NIPPV 的效果，对于是继续应用 NIPPV，还是转换为 IMV 具有重要意义：一方面可以提高 NIPPV 的有效性，可避免延迟气管插管，从而提高 NIPPV 的安全性。对于能够成功应用 NIPPV 的患者的特征是：基础病情较轻，应用 NIPPV 后血气能快速明显改善，呼吸频率下降，症状改善。可能失败的相关因素为：较高的 APACHEII 评分，意识障碍或昏迷，对 NIPPV 的初始治疗反应不明显，胸片提示肺炎加重，呼吸道分泌物很多，高龄，满口缺齿，营养不良等。如果初始 1~2 小时内呼吸频率和心率下降，氧饱和度、pH、二氧化碳分压改善，腹式呼吸减少，一般意味着成功机率较高，如果缺乏这些表现，则需要调整，进一步检查面罩气密性，改善人机同步性，提高支持力度等，如果调整后数小时内仍未改善，就需要考虑无创通气失败，尽快插管改作有创通气，以免延误插管，增加患病率及死亡率。

（七）无创呼吸机的操作程序

因目前胸外负压通气的临床应用相对较少，着重阐述 NIPPV 的操作程序。NIPPV 的操作与有创通气相比有明显的不同，其更强调操作的规范性，并要与患者进行充分的交流，使患者尽快适应 NIPPV。临床上碰到的 NIPPV 治疗失败的病例中有相当一部分是由于没有进行规范操作。实际操作时应注意下列几方面问题。

1. 患者的教育 与插管通气不同，NIPPV 需要患者的合作和重视患者的舒适感，所以要向患者讲述治疗的目的（缓解症状、帮助康复）以及连接和拆除的方法。指导患者有规律地放松呼吸，消除恐惧心理，使之能够配合和适应；也有利于患者在紧急情况下（如咳嗽、吐痰或呕吐时）能够迅速拆除，提高患者的安全性和依从性。

2. 试用和适应连接方法 通常轻症者可先试用鼻罩、鼻囊管或接口器，比较严重的呼

吸衰竭者多数需要面罩通气。在吸氧状态下将罩或接口器连接稳固舒适后,再连接呼吸机管道。千万不能将呼吸机管道与罩或接口器连接后再连接患者,以免在连接过程中由于漏气而使患者感到明显的不适。

3. 辅助通气的适应和调节 辅助通气必须从持续气道内正压(CPAP)或低压力水平开始。通常吸气相压力从4~8 cmH₂O、呼气相压力从2~3 cmH₂O开始,经过5~20 min逐渐增加到合适的治疗水平。

4. 密切监测 通过密切的临床监测综合判定疗效,发现治疗过程中的问题并对可能出现的不良反应及时处理和调整。提高患者舒适性和配合度是无创通气顺利实施的重要保障。假如治疗1~2h后,患者症状改善,血气分析 PaCO₂下降>16%, pH>7.30, PaO₂>60 mmHg,提示初始治疗有效,建议继续 NIPPV 治疗。否则应尽快调整治疗方案或改为有创机械通气,以免延误治疗时机。

(八) 无创呼吸机的基本操作流程

- (1) 患者的评估:适应证和禁忌证。
- (2) 选择治疗场所和监护的强度。
- (3) 患者的教育。
- (4) 患者的体位:常用半卧位(30°~45°)。
- (5) 选择和试配带合适的连接器。
- (6) 选择呼吸机。
- (7) 开动呼吸机、参数的初始化和连接患者。
- (8) 逐渐增加辅助通气的压力和潮气量(适应过程)。
- (9) 密切的监护(漏气、咳痰等)。
- (10) 治疗1~4h后评估疗效。
- (11) 决定治疗的时间和疗程。
- (12) 监控和防治并发症和不良反应。
- (13) 辅助治疗(湿化,雾化等)。

【思考题】

- (1) 无创机械通气的适应证和禁忌证。
- (2) 辅助通气压力的调节方法。
- (3) 无创通气转换为有创机械通气的时机。

参 考 文 献

邱海波. 2013. ICU 主治医师手册. 2 版. 南京: 江苏科学技术出版社: 219

(钱志成 编撰 王 波 审校)

实验三 机械通气的波形分析

近年来随着计算机技术和相关软件的发展,现代呼吸机除可以提供各种监测参数外,同时还能在呼吸机上显示压力、流速和容积的变化曲线以及各种呼吸环路。这些机械通气波形使临床医护人员能直观地了解患者的呼吸力学和病理生理变化,准确地做出相应的呼吸机设置。在机械通气过程中,我们还可以根据呼吸波形变化,较快地发现机械通气过程中出现的各种问题,如通气模式是否合适、人机对抗、气道阻塞、呼吸回路有无漏气等,及时调节呼吸机的通气参数。呼吸机波形也用于评估呼吸治疗效果,确定患者撤机时机。因此,呼吸机波形的掌握对于以机械通气为主要治疗手段的ICU医护人员特别重要。

【目的要求】

- (1) 掌握机械通气常见的正常波形。
- (2) 了解气道阻力和顺应性改变时机械通气波形的变化。

【实验学时】

3 学时。

【实验方法】

- (1) PPT 讲解。
- (2) 教师操作示教。
- (3) 学生实际操作。
- (4) 教师总结。

【实验材料】

- (1) 带有波形显示或波形冻结的呼吸机。
- (2) 模拟肺或带有肺脏的人体模型。

【实验内容】

(一) 机械通气波形的基本概念

1. 机械通气的四个基本参数 即压力 P 、容积 V 、流速 F 和时间 t 。这四个变量是机械通气的核心。所谓的波形其实就是反映这四个变量之间关系的曲线,包括容量、压力、流量这三个变量的时间曲线以及压力-容量、流量-容量和压力-流量等三个环。其中以容量-时间曲线、压力-时间曲线、流量-时间曲线和压力-容量环最为常用。

下面介绍有关呼吸机的压力参数。

(1) 气道峰压 (peak inspiratory pressure, PIP 或 P_{peak}): 即呼吸机送气过程中的最高压力,是呼吸机对抗气道阻力和弹性阻力的综合结果。其决定因素有气道阻力、顺应性、吸气流速、吸气时间和潮气量等,一旦这些因素发生变化都会影响气道峰压。正常值: $9 \sim 16 \text{ cmH}_2\text{O}$ 。

(2) 平台压 (plateau pressure, Pplat): 吸气屏气末的压力。代表肺泡内压力。其决定因素主要是胸肺顺应性。正常值: 5~13 cmH₂O。

(3) 呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP): 是呼吸机在吸气相产生正压, 气体进入肺部, 在呼气末气道开放时, 气道压力仍保持高于大气压, 以防止肺泡萎缩塌陷。在治疗呼吸窘迫综合征 ARDS、非心源性肺水肿、肺出血时起重要作用。

2. 机械通气患者主要的病理变化 表现在呼吸力学参数的改变, 也就是说气道阻力和肺顺应性的变化。气道阻力是指气体在气道内活动时产生的摩擦阻力, 用单位流量所产生的压力差表示, 即流量为 1 L/s 时的压力差。机械通气时, 患者的气道阻力等于患者本身气道阻力、气管导管和呼吸机管道阻力的总和。正常值为 5 cmH₂O·秒/升。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, Cs) 和动态顺应性 (dynamic compliance, Cd)。Cs 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 Cd 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 Cd 的水平。动态顺应性正常值为 0.2 L/cmH₂O。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。

(二) 机械通气的两个主要通气模式

1. 容量控制通气 (VCV) 即传统意义上的控制通气。潮气量, 呼吸频率, 呼吸比完全由呼吸机控制。流量为恒定流速。压力值可随这些参数设置改变及患者气道阻力和顺应性改变而发生变化。其优点在于容量 (潮气量) 的保证, 缺点是压力改变容易导致气压伤。

2. 压力控制通气 (PCV) 气道压力, 呼吸频率, 呼吸比完全由呼吸机控制。流量为递减流速。潮气量可随这些参数设置改变及患者气道阻力和顺应性改变而发生变化。与 VCV 相反, 其优点是压力水平恒定, 不易导致气压伤, 缺点是容量 (潮气量) 的不稳定, 可能导致通气量不足而发生二氧化碳潴留。

(三) 机械通气的三种主要波形

1. 压力-时间曲线 反映了气道压力 (Paw) 的逐步变化, 横轴代表时间 (t), 单位是秒 (sec)。纵轴代表气道压力, 单位是 cmH₂O 或 mbar。基线压力为 0 cmH₂O, 横轴上正压, 横轴下为负压。曲线上任意一点的压力都是由呼吸机压力传感器测得的。压力时间曲线是临床上最常用的机械通气波形。

2. 流速-时间曲线 反映了吸气流速和呼气流速的动态变化, 横轴代表时间 (t), 单位是秒 (sec)。纵轴代表流速 (Flow), 单位是“升/分” (L/min 或 LPM)。曲线上任意一点的流量都是由流量传感器测得的。呼吸机送气时, 气流通过吸气端流量传感器, 此时流量曲线位于横轴上方。呼吸机送气停止, 如果此时有平台时间, 则流量时间曲线的这一段与横轴重合。开始呼气时, 送气阀关闭, 呼气阀打开, 气流通过呼气端流量传感器, 此时流量曲线位于横轴下方。呼吸机送气的容量就等于吸气曲线下的面积。吸气相流速的形态取决于呼吸机设置, 呼气相形态则可反映呼吸系统的顺应性和气道阻力变化。

3. 容积-时间曲线 在吸气相和呼气相中, 容积时间曲线反映呼吸机释放容量的平缓变化, 纵轴为容积, 单位是毫升 (ml)。横轴是时间, 以秒 (s) 为单位。