

呼吸机通气模式分类与应用

鲍俊成, 陈绵康, 左长山

(十堰市太和医院, 湖北 442000)

摘要 种类繁多的呼吸机的通气模式给医护人员和医学工程人员正确使用、维修带来了很多困难。文章按照传统的分类方法, 将通气模式分为了三类, 并对每种模式的原理和特点进行了阐述, 以为医护人员和医学工程人员提供理论参考。

关键词 通气模式; 分类; 应用

The Classification and Application of Respirator's ventilation Modes

BAO Jun-cheng, CHENG Mian-kang, ZUO Chang-shan

(Taihe hospital, Shiyan 442000, Hubei, China)

Abstract Various kinds of respirator's ventilation modes bring difficulty to the medical staff and the medical engineer for correct application and maintenance. Along with the traditional classification method, this paper divides the ventilation modes into three kinds, and described the principle and characteristics of each kind, in order to provide theory reference for the medical staff and the medical engineer.

Key words ventilation modes; classification; application

1. 引言

作为一种重要的生命支持设备, 呼吸机在呼吸衰竭病人的救治中得到了广泛的应用, 然而种类繁多的通气模式常常让使用者感到困惑, 不同厂家对同一种模式的命名不尽相同, 也在一定程度上增加了操作的困难。对于医院的工程师和刚刚接触呼吸机的医护人员来说, 如果能对呼吸机各种通气方式的特点和临床应用有全面的认识和充分理解, 将会对正确的使用呼吸机以及做好呼吸机技术保障工作起到积极的作用。

传统的分类将通气模式分为压力切换型和容量切换型, 二十世纪后期, 随着控制技术及传感器技术的飞速发展, 各种新的呼吸模式层出不穷, 使得确切的分类变得比较困难。在下文中, 按照从传统分类方法到新通气模式的顺序进行阐述。

2. 压力切换型通气模式

用该通气模式时, 当气道压力达到预设数值后, 气流即终止。其潮气量受气道阻力及肺顺应性影响较大, 但结构简单、同步性好, 适用于有一定自主呼吸, 病情较轻的患者。

2.1 压力控制通气 (pressure controlled ventilation, PCV)

在该模式下, 气道压力始终控制在预设压力值范围之内, 吸气开始后, 呼吸机提供的气流很快使气道压达到预置水平, 之后送气速度减慢以维持在预定压力直至吸气结束, 呼气开始。

PCV 的优点: 峰压较低, 较少出现气压伤; 吸气流速根据系统顺应性和粘性阻力的变化而改变; 有利于时间常数大的肺泡单位充气, 改善通气血流比值; 可联合其他通气模式进行工作, 如 A/C、SIMV、PSV 等, 基本保证预设潮气量的供给。

PCV 的缺点: 由于潮气量受系统顺应性及粘性阻力以及吸气时间的影响, 较难以保持恒定, 因此需要不断调节压力控制水平, 以保证适当水平的潮气量。

2.2 压力支持通气 (pressure support ventilation, PSV)

有的呼吸机上称之为吸气压力支持 (inspiratory pressure support, IPS), 而在 Drager EVita 4 型呼吸机中则称之为辅助自主呼吸 (assisted spontaneous breathing, ASB)。该通气模式用于存在自主呼吸的患者, 患者触发后迅速启动机器送气, 使气道压迅速升高至预设值, 并维持此压力到吸气流速降至峰值流速的一定百分比, 患者由吸气转为呼吸。PSV 主要适用于脱机过程中, 作为自主呼吸的锻炼, 多用较低的压力 0.49~0.98KPa。也可用于呼吸较好的呼吸衰竭的治疗, 所用压力较高, 但不能超过 2.94KPa。

PSV 的优点: 人机较协调, 减少呼吸功的消耗, 同时也减少了镇静剂、肌松剂的用量; 患者完全自主呼吸, 呼吸频率和吸呼比均由患者决定, 患者感觉舒适, 有利于脱机; 潮气量的大小取决于压力支持水平的高低和胸肺

呼吸力学特性（气道阻力和肺顺应性）以及自主吸气的强度。一般 $PS < 1.96\text{kPa}$ 时，潮气量多数由患者自主呼吸获得； $PS > 2.94\text{kPa}$ 时，潮气量多由呼吸机提供；PSV 能有效克服呼吸机管道回路产生的阻力，减少患者额外做工，有利于呼吸机疲劳的恢复。

PSV 的缺点：自主呼吸能力较差或呼吸节律不稳定者，易发生触发失败和通气不足；压力支持水平设置不当，可发生通气不足或通气过度；由于实际潮气量随患者吸气力量而变化，故预置适宜的压力支持水平较困难，对于呼吸中枢、呼吸运动或肺功能不稳定者不宜单独使用。

2.3 持续气道正压通气 (continuous positive airway pressure, CPAP)

CPAP 是指在自主呼吸条件下,患者应有稳定的呼吸驱动力和适当潮气量,在整个呼吸周期内人为地施以一定程度的气道内正压,从而有利于防止气道萎陷,增加功能残气量,改善肺顺应性,并提高氧合作用。就这些来说,CPAP 的生理作用等于 PEEP。CPAP 与 PEEP 的区别在于,CPAP 是患者自主呼吸的情况下基础压力升高的一种通气模式,与是否应用通气机无关,在通气时通气机不给予强制通气或其他通气支持,因而患者需完成全部的呼吸功;PEEP 也是基础压力升高的一种通气,但是患者同时应有其他方式的呼吸支持,即 PEEP 需与另一种通气模式共同应用。CPAP 一般压力为 $0.5 \sim 1.0\text{kPa}$ 。目前认为 CPAP 可对抗慢性肺内源性 PEEP 从而减少呼吸功,主要用于 ARDS 的早期治疗。

3. 容量切换型通气模式

容量切换型通气模式能提供设定的潮气量,通气量稳定,受气道阻力及肺顺应性影响小,适用于气道阻力大,经常变动或无自主呼吸的危重患者。

3.1 容积控制通气 (volume controlled ventilation, VCV)

在这种模式下,呼吸机按照设定的呼吸频率、呼吸时间,以设定的潮气量向病人提供恒定的气流。

VCV 的优点:保证潮气量的供给,完全替代自主呼吸,利于呼吸肌的休息。

VCV 的缺点:吸气峰压往往较高,易导致气压伤;易导致人机对抗,患者舒适性较差;若有泄漏时,可产生通气不足;不利于呼吸肌锻炼。

3.2 间歇指令通气 (intermittent mandatory ventilation, IMV)

IMV 是控制呼吸与自主呼吸相结合的一种通气方式。呼吸机以预设的频率和潮气量进行有规律的控制通气,在两次机械呼吸周期之间允许患者进行完全的自主呼吸。

IMV 的优点:根据患者的需要可提供不同水平的通气支持,降低了气道压力;减少了患者自主呼吸与呼吸机的对抗;能减少撤机时的呼吸困难;改善通气/血流比例;减少呼吸对心血管的影响;防止呼吸肌萎缩与运动失调;能防止呼吸性碱中毒的发生。

IMV 的缺点:由于有自主呼吸的存在,如果呼吸机的按需活瓣功能不良可显著增加患者的呼吸功;自主呼吸与指令通气不同步时可出现人机对抗。

3.3 同步间歇指令通气 (synchronized intermittent mandatory ventilation, SIMV)

SIMV 是在 IMV 基础上的一种改进型通气模式,有的呼吸机上称为间歇按需通气 (intermittent demand ventilation, IDV),还有的呼吸机上称为间歇辅助通气 (intermittent assisted ventilation, IAV)。应用 SIMV 时,自主呼吸的频率与潮气量均由患者控制,呼吸机间隔一定的时间输送指令通气。若在等待触发时期内自主呼吸达到触发灵敏度,呼吸机则同步输送一次指令通气,若无自主呼吸或自主呼吸较弱不能触发时,在触发窗结束后呼吸机自动给予一次指令通气,这样可避免人机对抗。

SIMV 的优点:自主呼吸易于呼吸机协调,减少镇静剂的需要,减少患者呼吸做功;临床上根据患者自主呼吸的变化,适当调节指令通气支持水平,有利于呼吸肌的锻炼,SIMV 已成为脱机必用的模式之一。

SIMV 的缺点:患者自主呼吸较弱时,因压力、吸气时间和潮气量均为设定值,因此易造成过度通气或者因机械通气的总呼吸次数不足,造成通气不足。

3.4 指令（最小）分钟通气（mandatory/minimum minute volume ventilation, MMV）

MMV 是 SIMV 的一种改进。此种通气模式的指令通气不是有节律的进行。若自主呼吸低于预设每分钟通气量时，呼吸机予以补足；自主呼吸达到预置分钟通气量时，则无指令通气；患者无自主呼吸时，呼吸机按照预置 MV 值和 IMV 频率全部予以指令通气。

MMV 的优点：（1）无论患者处于何种呼吸状态均能保证每分钟通气量；（2）利于呼吸肌的锻炼，亦可避免撤机过程中因通气不足导致发生意外；（3）减少了人工监测和调节呼吸机工作参数的次数，节省了人力；（4）能保证麻醉中恢复患者从机械通气平衡过度到自主呼吸。

MMV 的缺点：（1）当肺顺应性降低或呼吸肌力量不足时，患者会出现浅快的自主呼吸，因为自主呼吸潮气量过小，仅能满足死腔通气，此时呼吸机也将这部分死腔通气计算在内，这样使肺泡通气不足，但由于自主呼吸频率过快，自主呼吸分钟通气量仍可能大于等于预设分钟通气量，致使呼吸机不能提供强制通气，从而出现严重的肺通气不足；（2）自主呼吸时呼吸机仅提供按需气流，患者所作呼吸功增加，当呼吸机按需活瓣功能不良时，患者所作呼吸功显著增加；患者突然出现呼吸暂停时，如果之前实际通气量已超过预设分钟通气水平，则在此后相当长一段时间内呼吸机不启动通气支持，而造成窒息。

3.5 辅助控制通气（assist-controlled ventilation, A/C）

该模式下，患者一方面能够通过自主吸气触发呼吸机送气，从而确定呼吸频率；另一方面呼吸机又可将预设潮气量、频率和呼吸时间比等参数作为备用。当有患者自主吸气触发时，呼吸机以高于预设频率的任何频率进行通气，呈 AV 模式；如患者自主呼吸频率低于预设频率或者无力触发时，呼吸机即以预置频率取代，提供不低于预置水平的通气量，呈 CMV 模式，从而保证患者的通气安全。

ACMV 的优点：具有 CMV 的优点，提高了人机协调性。

ACMV 的缺点：有可能出现通气过度。

4. 复合型通气技术

近几十年以来，随着对呼吸生理学认识的提高，以及物理学、电子学、传感器技术、单片机技术和快速反应的活瓣技术的飞速发展，机械通气模式也在不断改进与更新，要求通气方式更符合生理性、低压、低创、高响应速度、低病人呼吸功等，使人机协调性得到进一步提高，一批新的通气模式应运而生。

4.1 压力调节容量控制（pressure regulated volume control, PRVC） 和容量支持（volume support ventilation, VS）

PRVC 是西门子 300/300A 呼吸机所采用的一种通气模式，在 Hamilton 伽利略呼吸机中称为适应性压力通气（adaptive pressure ventilation, APV），在 Drager Evita 4 呼吸机中称为自动流量（auto-flow），在美国 PB 840 呼吸机中称为容量控制（volume control）。PRVC 本身不是一种独立的通气模式，而是容量控制呼吸模式的一种功能扩展，其特点是呼吸机连续测定呼吸系统顺应性，自动调整压力切换水平，保证 V_T 。呼吸机首次送气压力为 $5\text{cm H}_2\text{O}$ ，呼吸机自动计算该压力下获得的通气量。在随后的 3 次通气中，呼吸机逐步调整压力水平，达到预设 V_T 的 75%，此后呼吸机根据前一次通气计算出的顺应性，自动调节吸气压力以便达到预定肺容积。每次通气之间的压力差不超过 $3\text{cm H}_2\text{O}$ ，最大压力差不超过预定压力上限下 $5\text{cm H}_2\text{O}$ 。

PRVC 可用于控制性通气，适用于自主呼吸功能不良的患者。PRVC 调节主要应设定压力切换水平，压力水平过低则达不到预设 V_T ；压力水平过高则安全性差。

VS 是一种压力控制，压力或流量触发，压力限制，流速、时间或容量切换的通气模式，在心肺有限公司 Venturi 呼吸机中称为可变量压力支持（variable pressure support）。其工作方式类似于 PSV，不同之处是操作者可以设定目标通气量，即具有 PSV 的特点并保证 V_T 恒定。可看做是 PRVC 和 PSV 的结合，呼吸机随顺应性和气道阻力的变化，自动调整 PSV 水平以保证 V_T 。当患者自主呼吸消失时，VS 自动转为 PRVC。VSV 主要用于自主呼吸功能良好的患者。

PRVC 和 VS 具有以下共同的优点：（1）减少镇静剂和肌松剂的用量。（2）患者感觉舒适。（3）保持较低的气道峰压。（4）缩短撤机时间，减少住 ICU 时间。（7）减少肺气压伤等机械通气并发症。

4.2 适应性支持通气模式 (adaptive support ventilation, ASV)

ASV 是瑞士 GALLEO (伽利略) 呼吸机所采用的通气模式, 在 Toema Ceser 呼吸机中称为指令频率通气 (mandatory rate ventilation, MRV) 或可变吸气辅助通气 (variable inspiratory aids ventilation, VIAV)。ASV 是一种能适应患者通气需求的自动模式。ASV 的调节方法简单, 应用时首先输入 ASV 通气参数: (1) 压力值, 在报警窗内设置压力上限值 (一般为 $45\text{cm H}_2\text{O}$), 则 ASV 时最大吸气压力为预定压力下限 $10\text{cm H}_2\text{O}$ 。(2) 体重, 输入患者的理想体重 (KG)。(3) 分钟通气百分数 (%M inVol), 然后选择触发方式和触发灵敏度, 并根据临床需求设置 PEEP/CPAP 水平, 即可对绝大多数患者进行通气治疗。

ASV 的主要原理和优点有: (1) ASV 可自动调节来适应患者的通气需求, 可用于自主及指令性通气, 当患者自主呼吸停止时, ASV 自动进入指令性通气; 而当自主呼吸恢复时, ASV 自动进入支持通气阶段。总之, 该模式以最低的气道压、最低的呼吸频率来满足患者的通气需要。(2) ASV 是一个自动撤机支持系统, 从开始工作的瞬间状态就自动引导患者走向脱机。(3) ASV 能提供安全的最低分钟通气量。(4) ASV 自动维持最佳通气方式, 能持续监测患者每一次呼吸的肺顺应性、气道阻力及自主呼吸状况, 根据测得的数据重新计算最佳气道压力和通气频率, 以达到最佳通气状态, 并始终引导患者进入脱机状态。

4.3 双向气道正压通气 (biphasic positive airway pressure, BIPAP)

和 气道压力释放通气 (airway pressure release ventilation, APRV)

BiPAP 是 Drager EVita 4 呼吸机所采用的一种通气模式, 在西门子 Sero300/300A 呼吸机中称为 Bivent, 在美国 PB-8400 呼吸机中称为 Bilevel, 有的也称为 DUOPAP。此种方式下, 控制通气或自主呼吸时, 呼吸机交替给予两个不同水平的气道正压, 且这两个压力均采用压力控制方式, 吸入气流呈指数递减波形。

BIPAP 的优点: (1) 采用递减流速波形和主动呼气阀, 保证气道压恒定在预设值水平, 避免发生容积伤。(2) 采用压力 / 流速触发机制, 与患者自主呼吸同步, 减少人机对抗。(3) 可模拟出多种通气模式, 临床应用范围广。(4) 该通气方式可防止肺泡萎缩, 更好地改善肺顺应性。

APRV 是在 BiPAP 基础上, 通过间歇释放气道内压力来实现肺泡通气的一种新的通气模式。压力释放水平和时间长短可调。在压力释放期间, 肺部将被动地排气, 相当于呼气, 这样可以排出更多的 CO_2 。当短暂的压力释放结束后, 气道压力又恢复到原有 CPAP 水平, 这相当于吸气过程。因此, APRV 较 CPAP 增加了肺泡通气, 而与 CMV+PEEP 相比, APRV 显著降低了气道峰压。

APRV 通气适合于除慢性阻塞性肺疾病以外的所有急性呼吸衰竭患者的治疗, 特别是对 AL I/ARDS 患者可能效果更好。因为 APRV 是一种新的通气模式, 临床应用时间尚短, 需经大规模前瞻性对照研究结果出来后才能客观评价其疗效。

4.4 容量保障压力支持 (volume assured pressure support, VAPS)

VAPS 是 Bird 8400Sti 和 Tbird 所采用的一种通气模式, 该模式采用的是在一次通气内双重控制的原理, 呼吸机内有两个流量系统并联工作, 一个为恒流 (CF) 输送系统 (高阻抗流量输送系统), 即不管气道压力如何变化, 呼吸机在吸气相始终提供恒定的供气流量 ($10\sim 120\text{L}/\text{min}$); 另一个为按需流量输送系统 (低阻抗流量系统), 其工作目的是维持气道压力恒定在预设水平, 在吸气相可提供瞬时峰流量达 $180\sim 200\text{L}/\text{min}$ 的可变吸气流量。VAPS 将 VCV 得恒定潮气量与 PSV 时的可变吸气流量有效结合在一起, 通过应用负反馈控制原理, 使得呼吸机能实时根据患者吸气需求而提供相应的流量, 并能在保持较低气道压力的情况下完成预设 V_T 。此种模式包含了容量控制呼吸及压力控制呼吸的优点, 减少了患者的呼吸做功, 通过匹配患者与呼吸机的流速及维持整个呼气间期的峰压来维持氧的供应。

VAPS 的目的是保障 PSV 通气时的 V_T 恒定, 也可以理解为具有容量保证特点的 PSV。当患者自主呼吸驱动减弱时, 单用 PSV 或 PSV+CPAP 无法保证有效通气量, 易造成通气不足, VAPS 就是针对此问题设计的。VAPS 虽然解决了 V_T 不足的问题, 但因其没有对呼吸频率的备用支持, 因此患者仍然有发生窒息的危险。

4.5 压力扩增通气模式 (pressure augmentation, PA)

PA 是 Bear 1000 呼吸机所采用的一种通气模式, 与 4.4 中介绍的 VAPS 相同。

4.6 成比例辅助通气模式 (proportional assist ventilation, PAV)

PAV 是近年发展起来的一种新的通气模式, 在 Drager EVita4 呼吸机中称为成比例压力支持 (roportional

pressure support, PPS), 在 Stephanie 呼吸机中称为复阻抗呼吸辅助 (negative-impedance respiratory assistance)。PAV 是呼吸生理和计算机技术结合的产物。它能够按照患者瞬间吸气努力的大小,成比例地提供同步压力辅助,使患者舒适地获得由自身支配的呼吸形式和通气程度。其绝大部分特点与 PSV 一致,不同之处在于施加的气道压力水平也是由患者自己调节。因此 PAV 能更好地协调人机关系,减少呼吸功,使机械通气支持更接近于正常生理呼吸。

PAV 的基本工作原理是呼吸机根据测得的 R_{aw} 和 E_{rs} 指标,结合从呼吸机管路中的压力、流速和容量感受器中反馈回来的信息,由 2 个控制开关(阻力获得控制和弹性获得控制)自动调整 PSV 水平。从理论上讲, PAV 是一种十分优越的通气模式,但在实际应用过程中存在以下问题: (1) PAV 需要实时地从呼吸管路的 Y 型管处获得压力、流速和容量信息,任何一项信息的缺失或改变都可能对患者造成危险。(2)需要准确测量 R_{aw} 和 E_{rs} ,而测定这些指标时多需要应用镇静剂或肌松剂。(3)当 R_{aw} 和 E_{rs} 发生改变后,还得相应地调节 PSV 水平。(4)患者必须有自主呼吸,没有自主呼吸时, PAV 模式无法工作。(5)存在“脱逸”现象(run2away),当呼吸机管路漏气时,呼吸机以很高的流量送气以补偿漏气,此时并非患者努力的结果。(6) PAV 模式不能控制 V_T 和呼吸频率,严格地说不能真正控制患者的呼吸方式。鉴于上述原因, PAV 在急性呼吸衰竭中的作用有待进一步证实。

5. 结束语

传统通气模式在多年的医疗的实践中得到了广泛的应用,其临床经验的积累已经非常丰富,其工程特点的剖析也非常的透彻,只要应用恰当,同样可以减少人机对抗,起到良好的生命支持效果。基于传统模式发展起来的新模式,理论上更加符合患者自主呼吸的需要,更能保障患者对通气的需求和降低呼吸功,但是由于新通气模式的工作方式均依赖于对呼吸力学参数的传感和反馈,反馈调节回路上任何一个环节发生问题就会影响通气参数的准确性和临床疗效,因此,无论何等智能化的呼吸机都不能替代医护人员的密切观察和根据患者生理特征、呼吸力学改变而对呼吸机的精确调节。

参考文献

- [1]方玲,仪垂杰,等.呼吸机通气模式综述[J].医疗装备,2006,19(6):1-4
- [2]张波.机械通气模式的发展与临床应用评价[J].中国实用内科杂志,2007,27(5):326-328
- [3]李振华,郑欲知.呼吸机通气模式名称辨析[J].中国医疗器械杂志,2004,28(3):219-220