

第 30 章 高频通气

● 提 要

1. 高频通气的概念和类型。
2. 高频喷射通气的适应证、实施技术和副作用。
3. 高频振荡通气(HFOV)的适应证、实施技术和副作用。
4. HFOV 在婴幼儿和成人急性呼吸衰竭中的应用。

一、高频通气的概念和类型

所谓高频通气(high frequency ventilation, HFV),是一种高频率低潮气量的通气方式。目前较公认的概念是通气频率至少为人或动物正常呼吸频率的 4 倍,而潮气量近于或少于解剖无效腔。如成年人通气频率在 60/min 以上,有高达 3 600/min 者。HFV 通常分为 3 型。

(一)高频正压通气

高频正压通气(high-frequency positive pressure ventilation, HFPPV)于 1969 年由 Oberg 和 Sjostrand 首先描述。早期的 HFPPV 采用导管法(图 30-1),将一口径细小的塑料导管插入气管内导管直接吹气,呼气口设置锥形阀以避免吸气时周围空气卷吸。后来 HFPPV 采用气阀法(图 30-2),以气动阀高频且定时地控制气流,将已混合湿化的新鲜气体从气动阀接头的侧管送入,侧管以一定角度和主管连接,从侧管吹入的气体改变流向后沿主管流向患者,呼气口通常是开放的,向侧管吹气时为吸气,停止吹气时为呼气。常用通气频率为 60~150/min(1~2.5Hz),潮气量 3~5ml/kg,吸呼时比 <0.3 。它最常用于喉镜、支气管镜检查 and 上呼吸道的外科手术中。

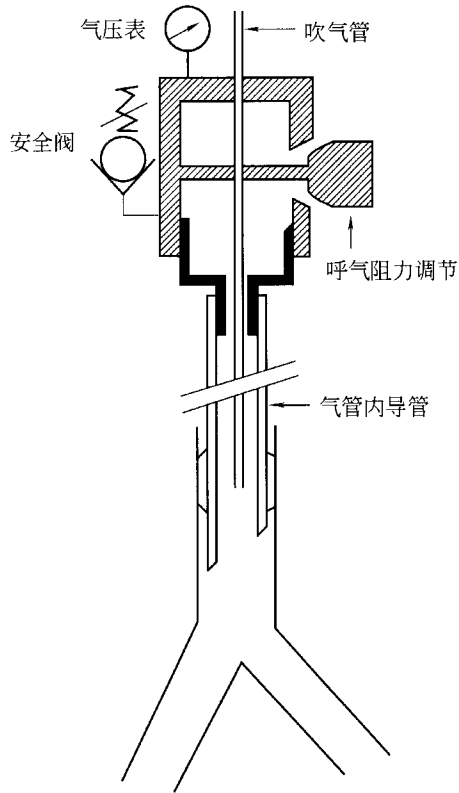


图 30-1 导管法 HFPPV 装置示意图

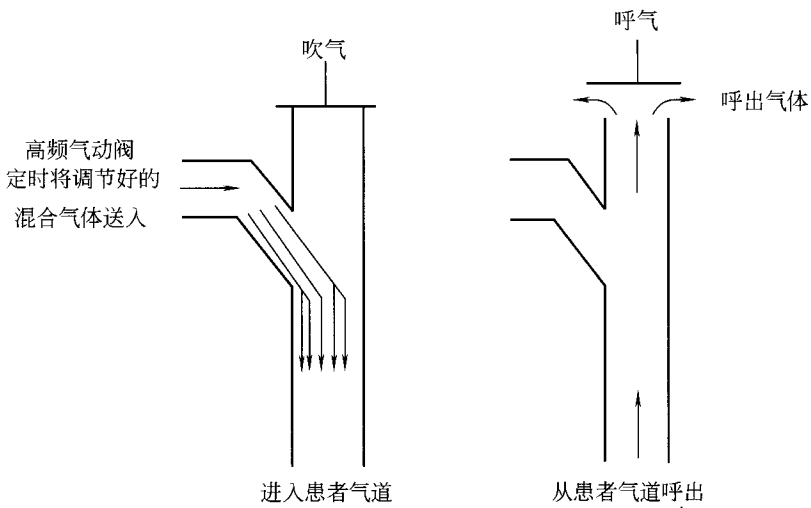


图 30-2 气阀法 HFPPV 装置示意图

(二) 高频喷射通气

高频喷射通气(high-frequency jet ventilation, HFJV)的概念于1967年由 Sanders 最初介绍,现常用的 HFJV 机采用高压气源,通过一细孔导管以喷射的气流形式注入气道,通气频率 120~600/min(2~10Hz),潮气量 2~5ml/kg,气源压力为 103.4~344.7kPa(15~50 磅/寸²)。它和 HFPPV 的主要区别不是频率的高低,而是采用了喷射装置,所以它的潮气量除喷射容量外,还有一部分根据 Venturi 原理卷吸带入的气体(图 30-3)。

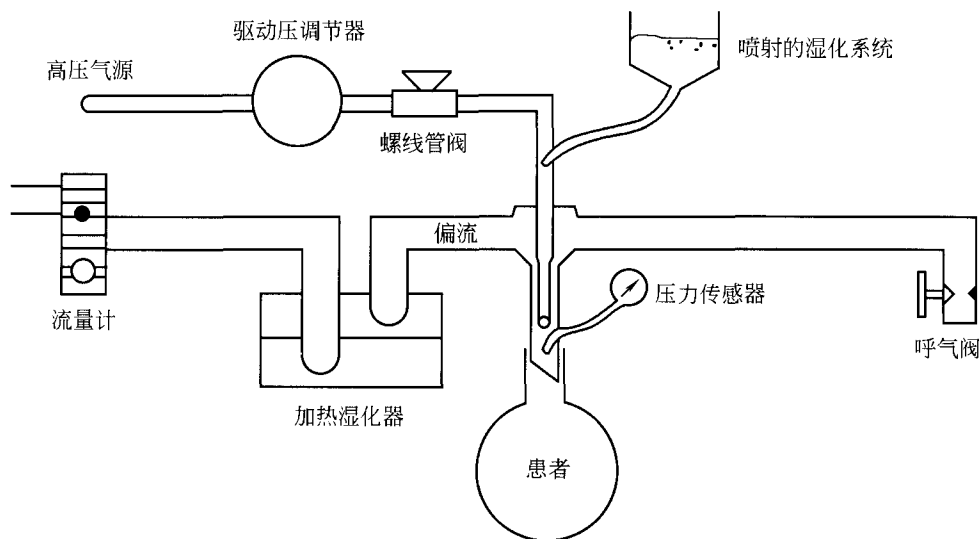


图 30-3 HFJV 装置示意图

(引自: Bancalari E, 等)

(三) 高频振荡通气

高频振荡通气(high-frequency oscillation ventilation, HFOV)由 Lunkenheimer 等 1972 年首先报道,它采用往复运动的活塞泵将气体驱入或吸出气道,或采用扬声器隔膜,或旋转球方式产生震动波,使气管导管内的气体产生高频往返运动(图 30-4)。震动频率很高,达 300~3 600/min(5~60Hz),潮气量 1~3ml/kg,但 HFOV 与 HFPPV、HFJV 的主要差别,不仅是频率高,而且是产生正弦波震动形式。HFOV 呼吸机示意图见图 30-5。

以上 3 种高频呼吸机的特点见表 30-1。临床上最常用的是 HFJV 和 HFOV,它们的优缺点比较见表 30-2。除以上基本形式外,文献中还有很多通气方式,如高频断流(high-frequency flow interrupter, HFFI)即是 HFJV 和 HFOV 特点的结合。高频胸壁震动(high-frequency chest wall oscillation, HFCWO)系用一改良的血压计套袖置于胸壁上,套袖内压力范围为 30~230cmH₂O(3~23kPa),以 3~20Hz 频率在胸壁上加压震动。高频体表震动(high-frequency body surface oscillation, HFBSO)即置患者于密封舱内,气道通向大气,于全身表面快速加压震动。HFCWO 和 HFBSO 均为 HFOV 在体外的应用。高频联合通气(superimposed or combined HFV)即是常频通气与 HFV 的联合。为简化分类, Froese 等建议,正如将常规正压

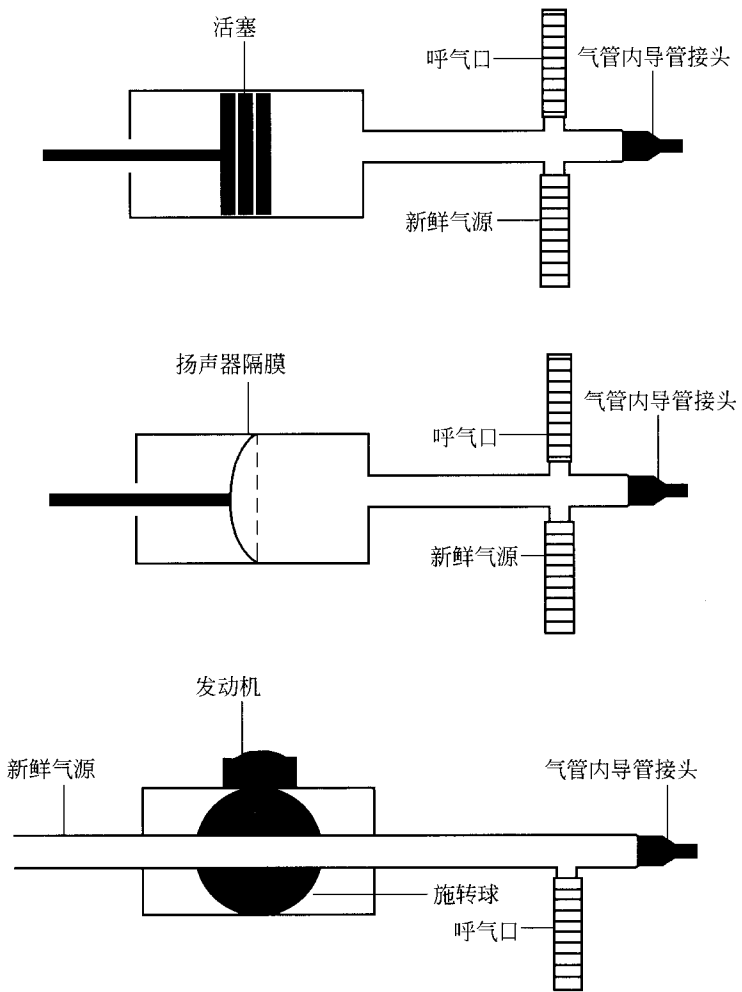


图 30-4 高频振荡器的 3 种方式:活塞泵、扬声器隔膜和旋转球

呼吸机分为定压型和定容型一样,也可将 HFV 机分为两大类:HFV-A 型,该型机提供主动的吸气流和呼气流,如 HFOV;HFV-P 型,采用该型机者吸气流是主动的,但呼气流是靠胸廓和肺的弹性回缩力被动产生的,如 HFPPV、HFJV。区别这两者的意义在于,应用 HFV 来治疗急性呼吸窘迫综合征(ARDS)等疾病时,可用很小的潮气量而维持较高的连续气道正压通气,这对充分氧合和排出 CO₂ 十分有利,但潜在着可能发生气体陷闭(air trapping)和过高的内源性呼气末正压(intrinsic positive end-expiratory pressure, PEEPi)的危险,此与应用 HFV 机类型有关,主要发生于 HFV-P 型机,应用 HFV-A 型机者很少发生。

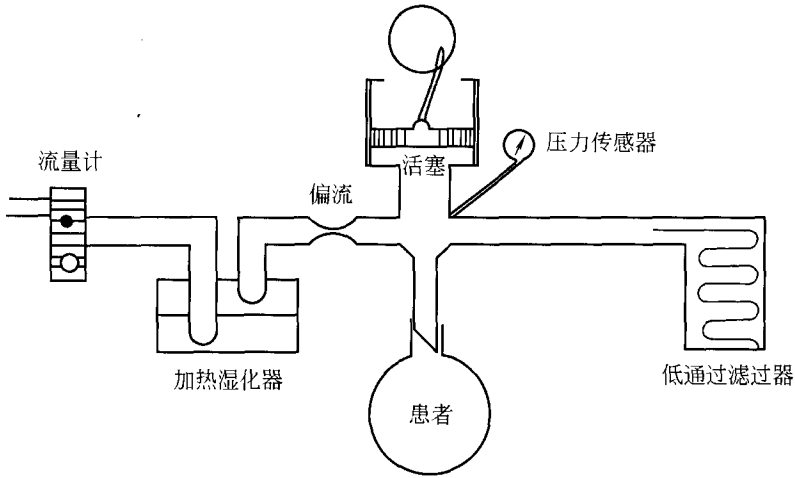


图 30-5 高频振荡呼吸机示意图

(引自: Bancalari E, 等)

表 30-1 高频呼吸机的特点

输送系统	频率 (/min)	潮气量	呼气	吸-呼气比例	特制的气管内导管	第 2 个呼吸机	气道峰压 (与 PPV 比较)	平均气道压 (与 PPV 比较)
HFPPV 螺线管	60~150	$>V_D$	被动	可变	不需要	不需要	↓	↓
HFJV 螺线管	120~600	$\leq V_D$	被动	可变	需要	需要	↓	↓
HFOV 活塞或隔膜	300~3 600	$<V_D$	主动	可变或固定 (常 1:1)	不需要	不需要	↓	↓

注: PPV 为正压通气; V_D 为无效腔气量

表 30-2 HFJV 与 HFOV 的优缺点比较

	优点	缺点
HFJV	与 PPV 比较, 气道压 (PIP/ \bar{P}_{aw}) ↓ 与 PPV 比较, 如果 \bar{P}_{aw} ↓, 血流动力学改善 气压伤危险 ↓	需要封闭气道的气管内导管和另外的呼吸机
HFOV	与 PPV 比较, ΔP ↓, FiO_2 ↓, 气压伤危险 ↓ 仅需单个呼吸机 新生儿和儿童的应用, 在美国已得到 FDA 的批准, 近年 FDA 又批准了成年型 HFOV 机的临床应用	\bar{P}_{aw} ↑ 高气道阻力时气体陷闭 患者的体位

注: \bar{P}_{aw} 为平均气道压; PIP 为气道峰压; PPV 为正压通气; ΔP 为峰压-呼气末压; FiO_2 为吸氧浓度; FDA 为美国食品和药品管理委员会

二、高频喷射通气

(一) 临床试验

结果已经表明, HFJV 比常规通气能在较低的吸气峰压和较低的平均气道压情况下改善气体交换。尤其是能在较低峰压情况下更有效排出 CO₂, 因此理论上, HFJV 可为患有严重新生儿肺疾病的婴儿提供一较安全的治疗方法。但至今并没有证明 HFJV 能明显降低通气后慢性肺损伤的发生率, 虽然肺气体漏出的发生率似乎因 HFJV 的应用而减少。此外, 常规机械通气疗效不佳的婴儿经常在应用 HFJV 时病情会得到改善。对患持续肺高压的新生儿实施过度通气也可以通过应用 HFJV 来进行。

(二) 临床适应证

对存在气道高压和通常对气道压敏感的患者应考虑应用 HFJV(表 30-3), 对常规通气, 尽管已达到高气道峰压仍效果不佳的新生儿也是 HFJV 的适应证。这些患者常包括婴儿呼吸窘迫综合征、气压伤(尤其是肺间质气肿)和顽固性肺动脉高压患者。在新生儿, 当需要 $\geq 15 \sim 20$ mmHg 的平均气道压, 或当存在明显的气体漏出时, 应考虑应用 HFJV。

表 30-3 HFJV 和 HFOV 的临床应用

	证明有效的	效果尚不确切的
HFJV	呼吸窘迫综合征 气压伤 支气管胸膜瘘	肺高压 胸外科手术期间
HFOV	婴儿呼吸窘迫综合征 气压伤 支气管胸膜瘘	先天性膈疝 肺高压

(三) 实施 HFJV 的技术

Life Pulse 呼吸机是专门与常规呼吸机联用的, 为了达到同步性, 需要将特制的气管内导管插入婴儿的气道, 这种气管内导管称之为 Hi-Lo 管(mallinckrodt), 在行 HFJV 之前必须放置, 这种导管是一种三腔管, 主腔的孔与常规呼吸机相连, 其余两个孔, 一个是测压孔, 位于靠近气管内导管的尖端, 另一个孔为喷射输送孔, 位于导管的中部(图 30-6 上图)。气管远端的压力通过测压孔被连续测定, 以便在治疗过程中及时调整吸气峰压(PIP)。以前也曾经应用喷射套管(图 30-6 下图), 但这种套管不能测压, 不能与常规呼吸机连接, 现已很少应用。喷射震动靠塑料管上的螺线管阀的开放和关闭来输送, 这种气流的断续输送在气道内产生“鞋钉”样喷射气流, 引起喷射通气。

如果患者确有肺气体漏出而用 HFJV 来治疗, 那么开始时就单独用 HFJV, PEEP 通过主孔与常规机械呼吸机相连来提供。对于患呼吸窘迫综合征(respiratory distress syndrome, RDS)的婴儿, HFJV 开始时的 PIP 一般是常规机械通气时所用 PIP 的 80%。对于患其他疾病的婴儿(不是 RDS), 或如果肺高压是患儿疾病的主要成分, 开始 HFJV 时也可用相同的 PIP。以 Life Pulse 呼吸机通气时, 开始常用频率为 420/min, 经验性观察和动物实验也表明,

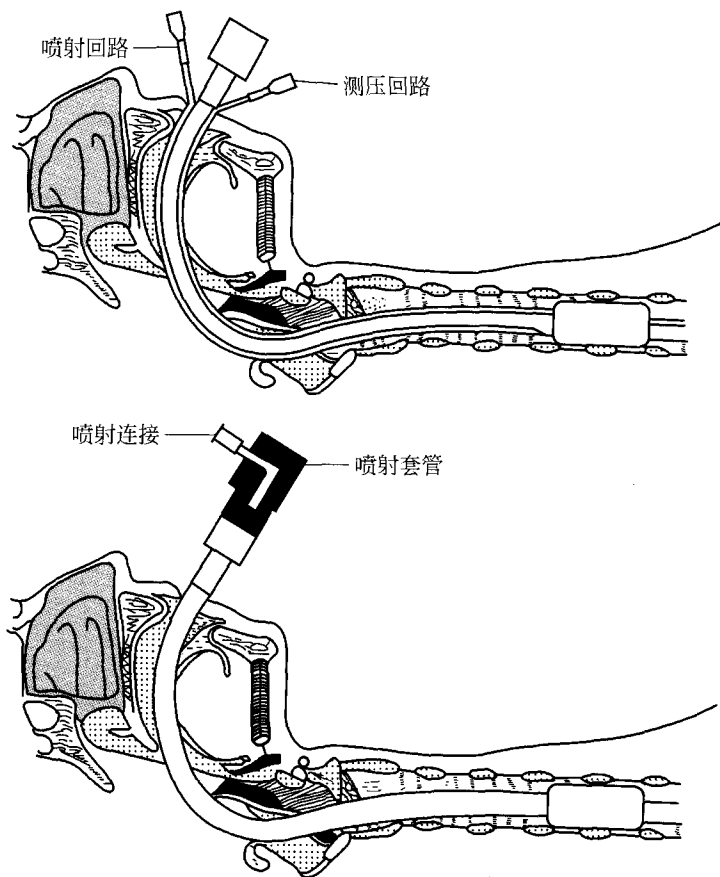


图 30-6 高频喷射用气管内导管(上)和喷射套管(下)示意图

400~500/min 的频率对于短时间常数的新生儿是理想的。在存在漏气情况时,可先单独应用 HFJV 6~24h, 然后再加上常规呼吸机进行背景通气。

在新生儿, HFJV 的常见并发症之一是肺不张。因为存在限制性肺疾病和非常高的胸壁顺应性, HFJV 时潮气量的减少常导致进行性肺不张。因此, 如果在 HFJV 期间不能提供一些正压常规通气, 就会导致婴儿状况的恶化。Life Pulse 呼吸机有传感机制, 如果测出的压力大于选定的气道压, 就会切断压力的输送。以常规机械通气进行的背景通气通常以低于喷射呼吸机 $5\text{cmH}_2\text{O}$ 的压力来输送。然而, 这种方法现在已改变, 已允许压力等于喷射呼吸机的压力, 这就进一步改善了氧合。常规通气的频率通常是 5~10/min, 此技术改善了氧合, 减少了 HFJV 期间肺不张的发生, 以这种方法也可使压力迅速消散, 以避免气道压力过高。

为了“按时”喷射, 喷射活瓣设置于 0.02s 的喷射时间, 这是可能达到的最短喷射时间, 等于吸气时间。应用短的“喷射”时间可使 HFJV 更有效。延长 HFJV 的吸气时间并不改善氧合。HFJV 期间改善氧合的主要方法是: ①增加 FiO_2 ; ②靠增加 PEEP 来增加平均气道压; ③增加背景叹气至 15~20/min。

HFJV 期间 CO_2 的排出是非常有效的, HFJV 期间 PaCO_2 水平降至 20~35mmHg 范围是

比较常见的,一旦达到适当氧合,进一步排出 CO_2 常无必要。因此,实际上,比较常见的是要设法升高 PaCO_2 ,因为过低的 PaCO_2 可妨碍脑血流的自动调节和引起缺血性神经损伤,可用以下方法增加 PaCO_2 : ①增加 PEEP; ②减少背景叹气频率; ③减低背景叹气压力。如果 PaCO_2 太低,在有些情况下,延长背景叹气时间是有价值的。在这种情况下 PIP 的降低常导致氧饱和度的明显降低,又一次表明 HFJV 时 CO_2 排出的有效性增加。所以为了达到理想的动脉血气值,有时以常规通气时不可能应用的低压力水平来为婴儿通气,同时在既定 PIP 的情况下应用较高的 PEEP。减少喷射呼吸机的频率可能增加 PaCO_2 ,然而,它也减少氧合,因为呼吸机的有效性降低,因此并不推荐将它作为初始处理方法。

撤除 HFJV 时仍要关注如何减少可能导致支气管肺发育不全的主要相关因素。 FiO_2 和 PIP 是与之相关的两个重要指标,当氧合改善时,可减少 FiO_2 ; PaCO_2 降低时,可降低 PIP。在撤离 HFJV 过程中医生必须非常小心, HFJV 期间最常见的错误是撤机太快,导致“突然改变”(flip-flop)和为了达到原水平的动脉血气结果,需要增加高于原水平的条件。这种撤机错误是经常难以及时发现的,因为它发生于改变通气支持已数小时之后。这似乎是由于减少 HFJV 的压力导致逐渐的、进行性的肺不张,这在数小时内不一定能反映在动脉血气值的改变上。为了使肺重新充气,需要增加压力。因此,撤机应该小心谨慎地处理,参数改变不要过于频繁,至少每 1~2h 才能做一次改变。

(四) 副作用

HFJV 的主要副作用有: ①坏死性气管支气管炎。这是由于高流速的气体冲击气管黏膜所致。坏死性气管支气管炎是引起显著并发症发生率和病死率的重要原因,尤其是早产儿,具有更大的危险性,因为早产儿的气管管径小,黏膜结构比较娇嫩。已有研究表明,应用所有通气方式均可发生坏死性气管支气管炎,如今所用的高频喷射呼吸机发生此并发症已少见得多。早期所用的 Life Pulse 呼吸机湿化气体的方法效果较差,以至于气道损伤的发生不仅是由于对气道的剪切力,而且也是由于气道的干燥,新一代 HFJV 系统在湿化方面的改善明显地减少了此问题的发生。②HFJV 期间大面积肺不张的发生。在 HFJV 期间产生低气道压,因而肺泡内压力也降低,导致肺泡萎陷的倾向,这可引起氧合的恶化和增加通气需要。维持适当的 PEEP 水平和应用足以使肺泡复张(输送 10~15ml/kg 的潮气量)的叹气呼吸可预防肺不张的发生。③拔管的危险或重新插入三腔管时病情的不稳定。

三、高频振荡通气及其在婴幼儿急性呼吸衰竭中的应用

对原来异常的肺(如婴幼儿呼吸窘迫综合征或 ARDS)应用常规正压通气时,为避免呼吸机相关肺损伤,常需实施“允许高碳酸血症”通气策略,此策略对成人是较容易耐受的,但应禁用或慎用婴幼儿,因为在婴幼儿,酸中毒对肺血管阻力有重要影响。

HFOV 可代替以上通气策略,因为 HFOV 时,吸气峰压是低的,潮气量很小,而 PEEP 比较高,对 PaCO_2 也有很好的控制。HFOV 在技术应用和生理学作用方面不同于 HFJV(参见表 30-1、30-2)。HFOV 应用的是以电为动力的活塞或隔膜来改变气道内的正压和负压。HFOV 时的潮气量通常为 1~3ml/kg,频率为 180~3 000/min, HFOV 与其他通气模式的重要区别是,在 HFOV 期间吸气和呼气均是主动的,其气道压在平均气道压上下不大的范围内波动(图 30-7), HFOV 超过 HFJV 的好处是只需要用一个呼吸机和并不需要特殊的气管内导管(或接头)。HFOV 期间通气的调节是通过改变偏流(这是调节平均气道压的)、震动幅度

(经过功率的改变)、吸气时间和通气频率等参数来进行的。

SensorMedics 3100A 系统是一种高频振荡呼吸机,已得到美国食物和药品管理委员会(Food and Drug Administration, FDA)的批准在 540g 至 4.6kg 的婴幼儿中应用。HFO 期间呼吸机并没有供应任何新鲜气体,湿化的混合气体是通过偏流供应的,气流量可高达 40L/min。平均气道压靠调整平均气道压控制活瓣的阻力,或更经常用的是靠改变偏流来控制的。平均气道压值的可调范围为 10~45cmH₂O。震动幅度或 ΔP (吸气峰压-呼气末峰压)是靠改变功率来改变的。功率是用于驱动活塞来回运动的能量,功率可调范围从 0%~100%。吸气时间决定活塞在吸气位的百分比,它的可调范围为 33%~50%。最后调节频率,在 SensorMedics 3100A 上频率可调范围为 180~900/min(3~15Hz)。

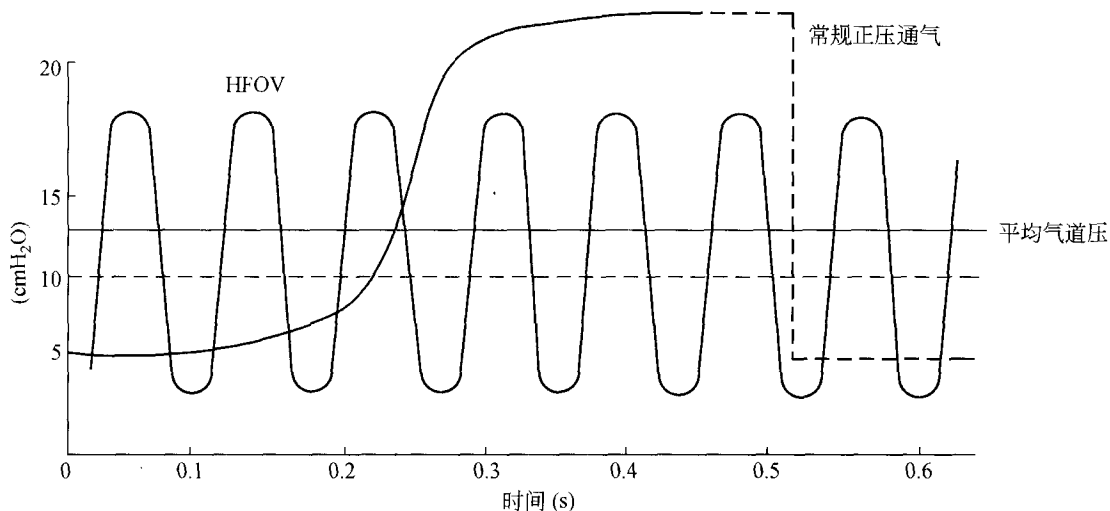


图 30-7 常规正压通气(浅淡-虚线)和 高频振荡通气(黑实线)的压力曲线图

注: HFOV 期间,吸气和呼气均是主动的,气道压在平均气道压水平上下不大的范围内波动。作为主动吸气和呼气的结果, HFOV 时的平均气道压(黑实线)是高于常规正压通气时的平均气道压(浅虚线)的。 HFOV 时的振幅是吸气峰压和呼气末峰压两者之差

(一) 临床试验

已经对 HFOV 的应用进行了临床试验,结果显示 HFOV 对患有某些疾病的新生儿是有好处的,这些疾病包括婴儿呼吸窘迫综合征、肺动脉高压和先天性膈疝。但是在应用 HFOV 治疗早产儿和婴儿呼吸窘迫综合征的临床试验中,未发现其有超过常规正压通气的好处,而且还注意到,患儿应用 HFOV 后,颅内出血发生率增加。但此研究已受到批评,因为该研究为了降低气道压,肺容量被维持在较低的范围,这种处理可能妨碍 HFOV 期间肺泡的复张,导致较低的氧合。如今,在婴幼儿试用 HFOV 时,已推荐应用增加肺容量和肺泡复张的策略。所谓肺复张策略,是指实施 HFOV 时,必须通过合适的平均气道压使肺泡始终保持开放,使 HFOV 能在较高的肺容量水平进行。应用这种方法,与常规正压通气比较,可减低慢性肺疾病(如支气管肺发育不全)的发生率。研究结果提示,在某些新生儿疾病中应用 HFOV 时,对提供和维持高肺容量可能是有用的。

(二) 临床适应证

对于氧合障碍或已发生气压伤的患者应考虑应用 HFOV(参见表 30-3)。新生儿应用 HFOV 的适应证有: 婴儿呼吸窘迫综合征、气压伤、顽固性肺动脉高压、气体漏出和膈疝。儿童患者应用 HFOV 的主要适应证有: 尽管给予高水平支持[氧合指数 > 30 ; 氧合指数 = $(\text{FiO}_2 \times \text{平均气道压}) / \text{PaO}_2 \times 100$], 氧合情况仍明显降低的呼吸窘迫综合征患儿, 或已发生明显气压伤的患儿。试验研究表明, 应用 HFOV 时实行肺复张策略对减轻肺损伤是非常有效的。也已证明它可减少白细胞的脱颗粒分离和炎性介质的产生, 有利于保留肺表面活性物质的功能。组织学检查发现, HFOV 几乎不发生上皮细胞的损伤, 并能限制透明膜形成, 然而值得注意的是, 在表面活性物质缺乏的新生儿, 机械通气引起的上皮损伤的发生非常迅速。在动物模型机械通气 4h 后, 就有严重的肺损伤, 此时再以 HFOV 来复张肺容量是很困难的。在许多临床研究中, 因为此理由或另外的原因, 这已经是一个大问题, 因为 HFOV 通常在常规机械通气许多小时后才应用。成年患者应用 HFOV 的适应证还有待确定, 应用 HFOV 可能有好处的情況包括急性呼吸窘迫综合征(ARDS), ARDS 的病理生理学改变与婴儿呼吸窘迫综合征有类似之处。已有气道损伤和气管内已行手术治疗的成年患者也可能从 HFOV 中获益。在漏气、支气管胸膜瘘或两者均存在时, 在有选择病例已显示 HFOV 可有助于漏气的解决。这些患者应用 HFOV 可维持更恒定的肺容量, 使吸气峰压降低, 气道压力摆动减小。外科手术后发生肺炎或存在误吸高度危险的患者也可从 HFOV 中获益, 因为 HFOV 时, 远端气道的黏液廓清增加, 气道压力和容量波动减小, 并可减少误吸的危险。

(三) HFOV 的实施

患者开始 HFOV 时, FiO_2 可用 1.0, 平均气道压可用比常规正压通气高 $1 \sim 6 \text{cmH}_2\text{O}$, 频率 $600 \sim 900 / \text{min}$ ($10 \sim 15 \text{Hz}$), 年龄较大的患者, 频率可减至 $300 \sim 420 / \text{min}$ ($5 \sim 7 \text{Hz}$), 调整振幅以达到胸壁适当的动度。当急性肺损伤、婴儿 RDS 或 ARDS 患者应用 HFOV 时应实施肺复张策略, 实施方法有两种:

1. 持续肺充气(sustained inflation, SI)法 此法在动物实验中应用较多, 具体做法是: 先将平均气道压(\bar{P}_{aw})调至比常规通气时的 \bar{P}_{aw} 高 $1 \sim 2 \text{cmH}_2\text{O}$, 然后将 \bar{P}_{aw} 快速升高 $30 \text{cmH}_2\text{O}$, 一般持续 15s 后恢复到 SI 前的 \bar{P}_{aw} 水平, 每隔 20min 或更长时间进行 1 次。在进行 SI 时没有振荡, 待 \bar{P}_{aw} 降至 SI 前水平时再开始振荡, SI 的目的是使萎陷的肺泡扩张开, 肺泡扩张后再以适当的 \bar{P}_{aw} 保持其开放。SI 的复张效果取决于肺实质疾病的严重性、SI 前的肺容量、SI 的持续时间及频率、SI 后所用的 \bar{P}_{aw} , 以及是否合并有漏气或气体滞留等因素。

2. 渐增 \bar{P}_{aw} 法 此法在临床上应用较多, 具体做法是: 先将 \bar{P}_{aw} 调至比常规通气时的 \bar{P}_{aw} 高 $1 \sim 2 \text{cmH}_2\text{O}$, 然后逐渐增加 \bar{P}_{aw} , 每次增加 $1 \sim 2 \text{cmH}_2\text{O}$ 直至达充分肺复张。由于患者年龄、肺病变性质的差异, 为达到肺充分复张的 \bar{P}_{aw} 水平也不一样。可用以下方法判断肺复张的程度和评估肺容量的恰当与否: ①肺氧合情况。通常以 $\text{FiO}_2 \leq 0.6$, $\text{SaO}_2 > 90\%$ 时为宜。②胸片透亮度及膈肌位置。一般以膈肌在第 8~9 后肋水平为宜, 如胸片显示有明显肺充气过度(肺透亮度过高, 膈面低于第 9 后肋, 壁层胸膜膨出), 或伴明显心血管功能抑制, 应降低 \bar{P}_{aw} 。

在实施肺复张策略, 患者氧合状况改善后, 可先降低过高的吸氧浓度, 直至 FiO_2 达无毒水平尚能维持适当的 PaO_2 时再逐渐降低 \bar{P}_{aw} , 在实施肺复张策略期间, 凡遇患者与 HFOV 机脱

离情况,在再次进行 HFOV 时都需重新实施肺复张方法。

(四)副作用

HFOV 时呼气相是主动的,因此,当呼气相延长或对呼气有阻塞时可导致肺区域的过度扩张,此情况可诱发气压伤。因此,在发生气道阻塞情况时,不推荐应用 HFOV,因为它可增加患者气压伤的危险。HFOV 的另一缺陷是,因为 HFOV 回路结构的僵硬性质,患者的体位需要相对固定,当应用 HFOV 过长时间时,可引起压疮的发生。在 HFOV 期间,气道吸引也是困难的,因为吸引时会丧失平均气道压。HFOV 期间,平均肺容量和气道压是保持相对恒定的。而进行吸引时,患者需要断离呼吸机;气道压的丧失可引起大块肺不张,为了减少发生肺不张的危险,需要减少吸引次数到最少的程度,有学者主张 24h 仅进行一次吸引。

(五)HFOV 当前的状况

在欧洲、日本和美国已有大量的早产儿呼吸窘迫综合征应用 HFOV 的研究,结果一般是较好的,没有明显的副作用。已表明各种原因引起的儿童呼吸衰竭,因应用 HFOV 而需要应用体外膜氧合器(extrocorporeal membrane oxygenator, ECMO)的情况已明显减少。当前的震动器都有小型置换泵,但大型置换泵已经出现,成人用震动器也已应用于临床。

四、HFOV 在成人急性呼吸衰竭中的应用

(一)技术方面

如美国产的 Sensor Medics 3100B 高频振荡呼吸机(Sensor Medics, a division of VIASYS Healthcare, Yorba Linda, Calif)是成人专用的。2001 年经美国 FDA 批准投放市场。其高频振荡是由往复运动的活塞产生的,产生的波形为正弦波,吸气相时气道为正压,呼气相时气道为负压。呼吸机所用的隔膜式活塞是由磁力驱动的,很像立体声扬声器,隔膜的前后运动震动气体,波的振幅靠能量控制的设置,并决定活塞前后运动的振幅偏移。低顺应性的塑料管道输送湿化的偏流气体给予患者。

(二)成人 HFOV 时初始控制参数的设置

成年人高频振荡呼吸机的初始参数设置方法如下。在高频振荡呼吸机上需要设置的参数有:①mPaw(mean airway pressur,平均气道压)(类似于常规通气中的 \bar{P}_{aw})。②能量(power)。活塞运动产生的波峰至波谷的压力差。③频率(以赫兹表示)。④吸气时间百分比。⑤流量(偏流)。

1. mPaw mPaw 靠改变肺容量来直接影响 PaO_2 , mPaw 初始设置于常规通气时 \bar{P}_{aw} 以上 3~5cmH₂O,通常为 25~30cmH₂O(最大 45~60cmH₂O),随着 mPaw 增加,肺内容量增加,患者的膈肌下移。例如,在新生儿人群, mPaw 的目标是使膈肌的位置处于胸片上的第 8 至第 9 胸椎位置。此位置通常与良好的肺扩张和可接受的 PaO_2 相符合。在成人,它也可能与适当的肺扩张相符合,在胸片上可见锁骨中线膈以上第 9 后肋。在第 1 个 24h, mPaw 不应该降低,以便有尽可能多的肺单位被复张恰当的时间,例外的情况是初始的 mPaw 设置得太高。如果监测血流动力学,在测定平均动脉血压以外,应进一步测定在持续胸内高压情况下右心充盈的能力。在通气时 mPaw 值的大幅度波动表明系统内漏气、呼气管路内存水或患者正在做自主呼吸用力。

建立 HFOV 期间适当的 mPaw 已经在动物模型中进行了研究,结果显示,将 mPaw 设置于静态 P-V 曲线低拐点的 2 倍值对于重建肺损伤前的 PaO_2 是足够的。

2. 振幅 振幅是靠能量控制来调整的,它主要影响通气(PaCO_2)。能量控制活塞移动的幅度决定振动波的幅度大小。随着振幅的增大,压力梯度(ΔP)增加, V_T 增加(在 HFOV, 决定通气量的等式不是 $f \times V_T$, 而是 $f \times V_T^2$)。调整能量控制可改变活塞运动能量的大小,从而改变活塞前-后往复运动的大小。活塞的运动影响受活塞偏移(振动)产生的 ΔP , 控制面板上该参数可设置的范围是 1~10, 可在面板上位于振幅读数附近的控制屏上调整。开始时, 成人常用 6~7 的能量, 能量设置是否恰当可根据对胸壁运动的观察或“胸部摆动因子”(chest wiggle factor, CWF)来判断。CWF 应该从锁骨至大腿中部的水平可以看见(肥胖患者难以测定 CWF)。将一枝铅笔或舌状压板放在大腿中部的腿上可提供在大腿水平摆动的可直视指示器。在实践中, 有些医生已经发现, 设置的 mPaw 参数可使 ΔP 达到 60~70cmH₂O 是一个很好的起始点, 直至动脉血气取得结果。另有些医生应用的振幅所推荐的开始点是 HFOV 之前测定的 PaCO_2 和此值加上 20。例如, 在常规通气时 PaCO_2 是 60mmHg, 那么开始的振幅是 80。

除了实际的能量设置, 能影响振幅的其他因素包括气管内导管(ET)大小、气道阻力(airway resistance, Raw)和肺顺应性(lung compliance, C_L)。Raw 和 C_L 的任何改变都将影响振幅的输送。例如, 在特定的能量参数设定, Raw 的增加或 C_L 的降低可引起测出的振幅增加。在气道处测出的振幅是显著高于输送给肺的压力的。输送的压力被 ET, 支气管树的分叉和距活塞的距离增加而减小。

3. 频率 频率的设置控制活塞前后往返运动所允许的时间。这是对通气的第 2 个控制。可应用的范围是 180~900/min(3~15Hz), 减小频率引起较大的容量移动, 即较大的 V_T 和 \dot{V}_E 。相反, 增加频率导致较小的容量移动, 因此 V_T 和 \dot{V}_E 也较小。频率初始的设置, 在成人常为 300~360/min(5~6Hz)。降低 PaCO_2 的处理方法是减低频率的设置, 但设置的频率低于 3Hz(180/min)是很少的。一般说来, 一旦决定频率, 在治疗过程中通常是不变的。偶然的, 有些医生为了改变患者的 \dot{V}_E , 在改变了振幅以后, 也可能改变频率(低频率倾向于增加 \dot{V}_E , 高频率倾向于降低 \dot{V}_E)。

4. 吸气时间百分比 吸气时间百分比($Ti\%$)代表在呼吸周期中活塞消耗在向前运动的那部分时间, 初始设置为 33%(I:E 比 1:2)对成人通常是恰当的。 $Ti\%$ 的控制也能辅助 CO_2 的排出, 但比振幅和频率的影响程度要小。对于有些患者, $Ti\%$ 设置于 50%有可能改善通气(CO_2 的排出)和肺的复张, 一旦该参数设定, 也通常是不改变的。

5. 偏流(bias flow) 偏流控制在开始 HFOV 时通常是首先设置的参数, 在成人, 一般设置范围为 25~40L/min(例如, 30L/min)。改变偏流影响 mPaw。如果流量不恰当, 设置的 mPaw 不能达到。低流量可能引起呼出气排出 CO_2 不足, 导致 PaCO_2 的增高。如果设置的偏流过高, 它可能阻抑主动呼气而妨碍 CO_2 的排出。主动呼气主要靠活塞的向后运动(在 HFOV 时, 呼气相活塞的向后运动主动地将气体移出通气系统)。应用高偏流时, 活塞只能将管路的气体移出。这就可能增加 PaCO_2 和导致 auto-PEEP 的产生。

6. HFOV 时的其他参数设置 开始时通常将 FiO_2 设置于 1.0, 然后逐渐降低, 每次降低 0.05~0.10, 如患者能忍受, 逐渐降低 PaO_2 或 SpO_2 于目标值, FiO_2 也可以与常规通气时类似的方法来设置, 根据动脉血气和 SpO_2 来调整。在任何一次改变 mPaw、振幅或频率后 30~60min 应检测动脉血气。

在将常规通气转换为 HFOV 之前,可将 FiO_2 增加至 1.0,在转换为 HFOV 以后,推荐应用肺复张动作(recruitment maneuver, RM)(表 30-4),因为患者短暂断开了呼吸机。任何时候,只要患者中断呼吸机,都应该重复应用 RM。如果为维持氧合, FiO_2 需超过 0.4,有些医院主张定期(如每 12h)做 RM。只要患者在 RM 后氧合能改善,就是恰当的。

在应用 HFOV 数小时后,应摄 X 线胸片以确定 mPaw 的设置是否恰当。应该在应用 HFOV 时(而不是停用 HFOV 时)摄胸片,因为我们需要了解的是,在现设呼吸机条件下,能否使肺很好地复张。如果显示超过第 11 后肋,就应缓慢减小 mPaw,每次减小 $2\text{cmH}_2\text{O}$,直至达适当的充气点。

(三)成人 HFOV 的适应证和排除标准

体重 $\geq 35\text{kg}$ 和对常规正压通气无反应的 ARDS 患者是 HFOV 的适用者。失败的定义是严重的无反应的低氧血症($FiO_2 > 0.6$, $PEEP \geq 10\text{cmH}_2\text{O}$, 而 $PaO_2 \leq 65\text{mmHg}$)或明显的呼吸机相关肺损伤的危险。HFOV 的适应证取决于各医院对 HFOV 的熟悉程度和应用习惯。常见的适应证如下:

- (1)患者的漏气。
- (2)早期干预以复张肺。
- (3)临床工作者熟悉这类呼吸机的应用。

表 30-4 在 HFOV 期间应用肺复张操作(RM)

为进行 RM
1. 增加 FiO_2 至 1.0
2. 停止活塞(除了增加复张操作期间 mPaw 的设置以外,来自活塞振荡的压力可以传送到周围的肺)
3. 增加 mPaw 至 $40\text{cmH}_2\text{O}$ 持续 40~60s,或从已经建立的 mPaw 再增加 $10\text{cmH}_2\text{O}$,同时停止活塞运动
4. 如果患者发生低氧血症($SpO_2 < 85\%$)或血流动力学受损(平均血压 $< 60\text{mmHg}$,或血压从基线降低 $> 20\text{mmHg}$,心率增加至 $> 140/\text{min}$ 或降低至 $< 60/\text{min}$,或发生新的心律失常)
5. 在操作动作完成后,将 mPaw 调整回适当的初始水平,或返回到原来的参数设置

SensorMedics 3100B HFO 的使用标准见表 30-5。有一排除应用的标准是需要雾化治疗的患者。应用小容量超声雾化器可能解决 HFOV 期间输送气溶胶的问题,关于此问题还需要进一步研究。

表 30-5 SensorMedics 3100B HFOV 的适应证和注意事项

适应证:体重 $\geq 35\text{kg}$,已应用机械通气的急性呼吸衰竭患者具有应用 SensorMedics 3100B 的适应证
禁忌证:应用 SensorMedics 3100B 没有特别的禁忌证
谨慎应用:有以下情况者应慎用 SensorMedics 3100B
1. 心血管状况不稳定
2. 急性支气管痉挛
3. 严重的酸中毒(SensorMedics 3100B HFOV 呼吸机主要是为了纠正氧合而不是通气)
4. 妊娠
5. 需要雾化吸入支气管舒张药的 COPD 或哮喘患者

(四)HFOV 的监护、测定和调整

使用前,振动器应按照制造者的推荐进行校正。因为患者需要定期吸引(至少每 12h 吸引 1 次),在患者管路上安置了闭合式导管吸引系统。闭合式吸引导管通常安置于管路内的右角,这可能影响振动压力波形。因此,在回路内放置导管吸引系统以后应评价胸部的动度。吸引管对于维持气道的通畅是需要的。有些医生还在管路内安放氧分析仪来连续监测输送的 FiO_2 。

3100B 应用标准的加热型湿化器并附有密闭的自动加水系统来维持恒定的注水量,提供恰当的湿化。自动加水系统需要加压以保证水流入湿化器。当冷凝水出现在吸气管路的远端时,应核实湿化程度。管路中应保持没有水积留,因为可能发生冷凝,故应经常检查管路。

从常规通气转换为 HFOV 时,可能需要应用镇静药或安定药,因为在 HFOV 期间应避免强有力的自主呼吸用力,故患者需要镇静。强烈的自主吸气可降低管路内的压力低于 $5\text{cmH}_2\text{O}$,这可导致患者 PaO_2 的降低。如果压力降低过大还将触发脱节报警,关闭振动活塞,因此此理由,通常给予患者苯二氮草类(如咪达唑仑)和镇痛药(芬太尼)两者联用。有时还可能应用肌松药,如潘库溴铵、顺式阿曲库铵、维库溴铵等。尤其是应用 HFOV 的最初 30min 或操作时。当应用肌松药的时候,推荐行 train-of-four 监测(参看第 42 章),以减少延长肌肉阻滞的危险。

开始 HFOV 前,医生应听诊患者两肺的呼吸音是否相等。呼吸音强度的减低可能是气胸或气管内导管的移位。一旦 HFOV 开始,呼吸音和心音也许难以听见,因此,应该采用其他的评估方法(如 C_L 的测定)。为了检查心音,活塞必须短暂停止,同时维持 CPAP 水平,如果断离 HFOV,可引起肺的去复张,故不推荐应用。

CWF 也应每小时检查,CWF 可因 ET 阻塞、右主支气管插管、气胸或意外拔管而改变。应用 HFOV 时比应用常规通气时患者的转动要困难,必须小心谨慎地实施,以避免患者与 HFOV 呼吸机脱节或引起意外拔管,脱节伴随着压力的丧失将引起振荡器停止,因此此理由,附有 PEEP 活瓣的手控复苏器应保留在患者床旁(回路脱节可以发生在呼气阀导管与回路连接处),持续地侧位转动可使用特殊的病床来安全地完成。

(五)为维持血气目标对呼吸机参数的调整

HFOV 期间的氧合主要靠维持 mPaw 在足以获得理想肺充气的水平来达到。在设定的振幅水平,增加 mPaw 导致肺容量的增加和可利用的肺泡表面积的增加,只要对心输出量没有不良影响,氧合就改善。相反,降低 mPaw ,如果肺去复张发生,氧合就降低。

在 ARDS 患者,氧合的总目标是 PaO_2 达 $55\sim 80\text{mmHg}$, SpO_2 达 $88\%\sim 95\%$ 。为维持此目标,如果需要 $\text{FiO}_2 > 0.6$,那么可增加 mPaw $2\sim 3\text{cmH}_2\text{O}$ (最高达 $45\text{cmH}_2\text{O}$),直至 FiO_2 可降至 0.6 以下。改变应缓慢地进行(每次调整间歇 30min),以便有时间来确定是否已发生肺泡复张以及 SpO_2 和 PaO_2 的改善(在新生儿,肺泡复张可能需要 25min,在成人,尚不清楚需要多少时间)。在这些改变之前,推荐先应用肺复张(RM)操作(参见表 30-4)。除非已发生气胸或漏气(胸部已放置引流系统)。如果严重的低氧血症持续,可考虑吸入一氧化氮,或行俯卧位。

为了降低 PaO_2 可降低 FiO_2 ,每次降低 0.05~0.10,直至 FiO_2 达 0.6。当 FiO_2 已达 ≤ 0.6 后,如果要再降低,可以降低 mPaw 来代替,每次降低 $2\sim 3\text{cmH}_2\text{O}$ 。撤离 mPaw 也应该小心和缓慢地进行,直至达到最低的 $20\sim 24\text{cmH}_2\text{O}$ 和 $\text{FiO}_2 < 0.5$ 。

用 HFOV 时要维持适当的通气(pH 和 PaCO_2)比常规通气时要困难。在 HFOV 期间, \dot{V}_E 和 V_T 的输送受多种因素的影响,包括振荡的压力波动幅度、频率、ET 大小、ET 的气囊漏气量以及肺的顺应性(C_L)和气道阻力(R_{aw})。

ET 管可以阻断输送到下气道的部分压力(容量),ET 管越小,压力的衰减就越大,所用的 ET 管越大,输送到肺的压力(容量)就越大,提供的通气也越好。

随着活塞的运动,它施加周期性的高于或低于设置 mPaw 的压力。当增加输入能量的设置时, ΔP 增加, V_T 和 \dot{V}_E 也增加。这可以改善 CO_2 的排出,降低 PaCO_2 。在大多数患者仅靠改变振幅以减少 ΔP 一般就可以完成 PaCO_2 的降低。也可以增加能量的设置,每次增加 $0.5 \sim 1.0$ 直至达到最大的设置值(在 3100B 高频呼吸机,最大设置值是 10)。能量设置可以凭观察 CWF 的改变来评价。

在有些病例,为改变 PaCO_2 ,也许需要改变频率。减低频率(Hz)增加了活塞移动的时间。此外,随着频率的减低,波的信号通过 ET 的衰减是减小的,大的 ΔP 发生(频率上调导致 PaCO_2 增加,而频率下调导致 PaCO_2 降低)。这增加了 V_T 和 ΔP 向远端输送到肺,因此增加通气。减少频率一般每次减少 $1 \sim 2\text{Hz}$,直至达最小值(3Hz)。以下例子说明改变 HFOV 振幅和频率所起的作用,例如,初始的振幅产生 $50\text{cmH}_2\text{O}$ 的 ΔP ,频率设置于 5Hz , $\text{Ti}\%$ 为 33% 。如果增加振幅,致使 ΔP 增加至 $60\text{cmH}_2\text{O}$,这就可导致 V_T 的增加; V_T 的同样改变,也可用以下方法来完成:保持振幅不变,而将频率从 8Hz 减少到 4Hz 。

相反,若增加频率,会导致 V_T 的减少,降低 CO_2 的排出,导致 PaCO_2 的增加。HFOV 时,若增加频率太多,实际上会导致气体陷闭和 PaCO_2 的增高。因此,调整频率应谨慎。“适当”的通气,应可使 PaCO_2 适当增高,保持 $\text{pH} > 7.20$,即允许高碳酸血症。

如果尽管改变振幅和频率, PaCO_2 仍持续增高,可将 $\text{Ti}\%$ 从初始的 33% 增至 50% ,从而增加 V_T 。但需要注意,这也可增加 mPaw 和气体陷闭的危险。

当振幅、频率和 $\text{Ti}\%$ 已调至理想水平, CO_2 仍保持增高时,故意地气囊漏气可能增加气体通过和围绕 ET 的气流,增加 CO_2 的排出。为了设置气囊漏气,呼吸治疗师可能从气囊中抽出一些气体,直至 mPaw 轻度降低。气囊漏气保持在此水平,靠增加偏流,使 mPaw 恢复到原来的水平。为了证实气囊漏气,可以挤捏指示气囊来观察监测的 mPaw ,挤捏指示气囊可引起 mPaw 升高约 $5\text{cmH}_2\text{O}$ 。在气囊漏气调整 $15 \sim 30\text{min}$ 后应测定动脉血气来证实漏气对降低 PaCO_2 是否有效。表 30-6 总结了在 HFOV 期间为降低 PaCO_2 对呼吸机进行的调整。

表 30-6 HFOV 期间为降低 PaCO_2 所采取的步骤

1. 逐渐增加振幅(ΔP)
2. 如果高碳酸血症持续和振幅(能量设置)已达最大,就减少频率 $1\text{Hz}/\text{次}$,直至最低 3Hz
3. 如果高碳酸血症持续,增加 $\text{Ti}\%$ 至 50%
4. 如果高碳酸血症仍持续,试增加气囊漏气

如果要增加 PaCO_2 ,即可采取与以上调整相反的步骤。如果增加频率(Hz),即可使 mPaw 降低。

如果突然发生 PaCO_2 严重增高,呼吸治疗师应马上用手控通气和将吸引管插入 ET 管来

评估患者的 ET 管或气道是否已阻塞,并检查呼吸机管路,看是否有阻塞或扭结。

(六)从 HFOV 转换为常规通气

在 $mPaw$ 于 $20\sim 24\text{cmH}_2\text{O}$, $FiO_2 < 0.5$ 情况下,获 $SpO_2 \geq 88\%$ 并稳定,可对患者准备转换回常规通气进行检查评估。评估方法是,观察初始的肺损伤问题是否已解决,对吸引能否耐受(即没有发生明显的低氧血症),对手控通气的耐受性(在 $FiO_2 50\%$, $PEEP \geq 10\text{cmH}_2\text{O}$ 情况下, $SpO_2 > 90\%$),如果患者对这些操作耐受良好,那么患者可转换回常规通气。

有些治疗师愿意转换为 PC-CMV 通气模式,设置小 V_T (6ml/kg 理想体重)和高 PEEP ($10\sim 15\text{cmH}_2\text{O}$)。而另有些治疗师喜欢换用为 APRV(气道压力释放通气),让 APRV 时的气道压与 HFOV 时的 $mPaw$ 基本相同。

HFOV 的临床应用已有一段时间,但只是近年来才将其作为治疗 ALI/ARDS 患者的可行性选择。应用的时机是重要的,HFOV 应该早期就开始应用,以避免与常规通气相关的 VALI。虽然美国 FDA 已经批准 3100B HFOV 可用于成人,但在成人 ARDS 通气支持中,HFOV 的地位仍是具有争议的,尚需要前瞻性的随机对照研究来证明。

有些学者认为,HFOV 临床应用的结果并不如动物实验所见到的那么好。部分原因可能是由于开始应用 HFOV 的时间太迟,或肺复张方法实施不恰当。也可能是由于动物模型的简单性和人类疾病复杂性之间的差别所致。

重点和关键问题

1. 所谓高频通气(HFV),目前较公认的概念是通气频率至少为人或动物正常呼吸频率的 4 倍,而潮气量近于或少于解剖无效腔。如成年人正常通气频率为 $15/\text{min}$,高频通气的通气频率需在 $60/\text{min}$ 以上,有高达 $3\ 600/\text{min}$ 者。

2. HFV 通常分为 3 型:高频正压通气(HFPPV)、高频喷射通气(HFJV)和 高频振荡通气(HFOV)。临床上最常用的是 HFJV 和 HFOV。

3. 可将 HFV 机分为两大类:HFV-A 型,该型机提供主动的吸气流和呼气流,如 HFOV; HFV-P 型,采用该型机者吸气流是主动的,但呼气流是靠胸廓和肺的弹性回缩力被动产生的,如 HFPPV、HFJV。

4. HFJV 的临床应用,被证明有效的:呼吸窘迫综合征、气压伤和支气管胸膜瘘。效果尚不确切的:肺高压和胸外科手术期间。

5. HFOV 的临床应用,被证明有效的:婴儿呼吸窘迫综合征、气压伤和支气管胸膜瘘。效果尚不确切的:先天性膈疝和肺高压。

6. 了解实施 HFJV 的技术、副作用。

7. 了解 HFOV 的临床适应证、实施技术和副作用。

思考题

1. 何谓“高频通气”? 高频通气通常分为哪 3 型? 各有什么不同特点?

2. 试述 HFOV 在婴幼儿和成人急性呼吸衰竭中的应用。

第 31 章 手工通气技术

提 要

1. 呼气通气技术。
2. 气囊-活瓣通气技术。
3. 口对面罩通气装置和气囊-活瓣通气装置。

紧急通气时可应用几种技术,这些技术包括呼气通气技术(口对口、口对面罩通气)、气囊活瓣复苏器(bag-valve resuscitators)和氧动力复苏器(oxygen-powered resuscitators)。这些方法简便实用,适用于现场紧急抢救。

一、呼气通气技术

呼气通气技术是一种利用急救者呼出的气体为患者通气的技术,可用口对口或口对面罩的通气技术来进行。

(一)口对口通气

口对口通气是紧急通气时为患者输送适当潮气量的最可靠方法。自 1974 年以来,美国心脏学会(American Heart Association, AHA)在其制定的基础心脏生命支持(BCLS)的指导原则中就一直推荐口对口通气作为心肺复苏(cardiopulmonary resuscitation, CPR)的重要手段。口对口通气的正确方法为:在清理呼吸道、将患者下颌上抬、头部后仰,打开气道以后,营救者用手指捏紧患者鼻孔,大口深吸气,然后用双唇包绕患者的嘴唇,用力吹气,然后将口移开,同时放松患者鼻孔,深吸气后再进行第 2 次,如此反复进行。在成年患者,每分钟进行 12~16 次,每次吹入气量 800~1 200ml,正确操作口对口通气时应能观察到患者胸廓在每次吹气时上抬,吹气后应有气体自患者口鼻呼出,若已建立血液循环,患者在接受数次口对口通气后唇色应由发绀变红。

与口对口通气相关的问题之一是胃充气,当施加高咽部压力时,胃充气的危险性增加。咽部高压是与高气道阻力(例如阻塞气道)、低肺顺应性、短吸气时间(产生高吸气流量)和呼吸“堆积”(两次呼吸之间没有适当的肺排气时间)相关的。Sellick 动作(对环状软骨施加固定压力)可用以降低口对口通气时胃充气的危险。

在呼出气通气期间,输送的氧浓度约为 16%,CO₂浓度约为 5%。如果营救者呼吸补充氧气,那么口对口面罩通气时可以增加输送的氧浓度。

与应用口对口通气相关的值得关注的主要问题是营救者感染疾病,例如感染 B 型肝炎或获得性免疫缺陷综合征(acquired immunodeficiency syndrome, AIDS)的危险。1987 年美国对 728 位非专业、正在参加心肺复苏训练课学习的人员进行调查,97%的人报告他们将对不认识