

高频通气手术系统在咽喉气管手术中的应用

匡仕鑫¹ 卫旭东² 闫文军³

[摘要] **目的:**探讨高频通气手术系统在咽喉气管手术中应用的有效性及其安全性。**方法:**将符合美国麻醉医师协会分级标准 I ~ II 级,且拟在全身麻醉下行择期咽喉气管手术的 60 例患者随机分为高频喷射通气(HFJV)组和间歇正压通气(IPPV)组各 30 例。HFJV 组借助高频喷射呼吸机行 HFJV,IPPV 组通过小口径气管导管接麻醉机行 IPPV。在麻醉前(T0)、支撑喉镜放置成功后(T1)、通气 5 min 后(T2)及支撑喉镜取出 5 min 后(T3)各时间点记录血流动力学指标,在 T0、T2 和 T3 各时间点测量动脉血气指标,同时记录平均气道压、呼气末二氧化碳浓度、手术视野质量、总出血量、手术时间和苏醒时间,对比 2 组方案对上述指标的影响并记录不良事件发生情况。**结果:**HFJV 组的平均气道压、平均总出血量明显低于 IPPV 组($P < 0.01$),而且 HFJV 组的平均手术视野质量明显更好($P < 0.01$),但对血流动力学、动脉血气等指标的影响与 IPPV 组相比差异均无统计学意义($P > 0.05$)。2 组均未发生严重不良事件。**结论:**高频通气手术系统可有效地应用于咽喉气管手术,减少术中出血量,改善手术视野质量,且无明显不良反应。

[关键词] 高频喷射通气;咽喉气管手术;间歇正压通气

DOI:10.13201/j.issn.2096-7993.2021.10.007

[中图分类号] R767.91 **[文献标志码]** A

Application of high frequency jet ventilation system in laryngopharyngeal and tracheal surgery

KUANG Shixin¹ WEI Xudong² YAN Wenjun³

(¹Graduate student, Grade 2018, Ningxia Medical University, Lanzhou, 730000, China; ²Department of Otolaryngology Head and Neck Surgery, Gansu Provincial Hospital; ³Department of Anesthesiology, Gansu Provincial Hospital)

Corresponding author: WEI Xudong, E-mail: 1806799723@qq.com

Abstract Objective: The effectiveness and safety of high frequency ventilation system in laryngopharyngeal and tracheal surgery is discussed. **Methods:** According to The American Society of Anesthesiologists I - II level, 60 cases of selective throat and tracheal surgery undering general anesthesia were randomly divided into high frequency jet ventilation group (group HFJV) and intermittent positive pressure ventilation group (IPPV group), with 30 cases in each group. Group HFJV was treated with HFJV and group IPPV with a small caliber endotracheal tube connected to an anesthesia machine was treated with IPPV. Before anesthesia (T0), after the success of the laryngoscope placed (T1), 5 minutes after ventilation (T2) and 5 minutes after the laryngoscope removed (T3), hemodynamic parameters were recorded at each time point, in T0, T2 and T3 record, arterial blood gas index, the patient's airway pressure, end-expiratory carbon dioxide concentration, surgical field quality and total blood loss, operating time and awakening time were recorded and compared between the two groups. **Results:** The average airway pressure and intraoperative average total blood loss of group HFJV were significantly lower than that of group IPPV ($P < 0.01$), and the average operative field quality of group HFJV was significantly better ($P < 0.01$), but there was no statistical significance in the effects on hemodynamics, arterial blood gas and other indicators compared with group IPPV ($P > 0.05$). No serious adverse events occurred in 2 groups. **Conclusion:** HFJV system can be used effectively in laryngopharyngeal and tracheal surgery, reducing intraoperative blood loss and improving surgical field of vision without obvious adverse reactions.

Key words high-frequency jet ventilation; laryngopharyngeal and tracheal surgery; intermittent positive-pressure ventilation

在咽喉气管手术中,手术操作常与麻醉插管通用一个气道,甚至为了治疗,常在局部麻醉下进行气道手术,窒息和呼吸暂停等并发症时有发生

生,严重制约闭合性气道手术的开展。高频喷射通气(high frequency jet ventilation, HFJV)以较低气道压和较高通气频率对患者持续供气,已在儿童气管支气管异物手术中得到广泛应用,并被证明是一种高效、安全的麻醉方式^[1]。但在临床上尚缺乏设计良好的临床试验作为循证依据。因此,本研究通过采用静脉复合麻醉,将 HFJV 的辅助麻醉系统应

¹宁夏医科大学 2018 级硕士研究生(兰州,730000)

²甘肃省人民医院耳鼻咽喉头颈外科

³甘肃省人民医院麻醉科

通信作者:卫旭东, E-mail:1806799723@qq.com

用于咽喉气管手术,并与传统气管插管的间歇正压通气(intermittent positive pressure ventilation, IPPV)技术相比较,观察其在咽喉气管手术中的安全性和疗效。

1 资料与方法

1.1 临床资料

本研究是一项前瞻性、随机对照研究,选取 2019 年 9 月—2020 年 6 月在甘肃省人民医院择期行咽喉气管手术的患者 60 例,男 34 例,女 26 例;年龄 26~73 岁,平均(50.75±13.18)岁。切除肿物类型有声带息肉、会厌囊肿、喉肿瘤、气管异物等。本研究已通过医院伦理委员会的批准。

将符合美国麻醉医师协会分级标准 I~II 级的 60 例患者随机分为 HFJV 组和 IPPV 组各 30 例。2 组患者的年龄[分别为(50.40±14.75)岁和(51.10±11.76)岁]、BMI(分别为 24.59±4.39 和 22.67±4.29)等一般临床资料比较差异均无统计学意义($P>0.05$),具有同质性。

排除标准:糖尿病患者、高血压病患者、肥胖患者($BMI>30\text{ kg/m}^2$)、ASA 分级 \geq III、严重心血管疾病、凝血障碍(根据病史或所有参与者常规进行的凝血检查)、肺功能检查试验阳性伴有肺顺应性和/或抵抗力受损的慢性限制性和阻塞性肺疾病、抗血小板聚集和抗凝治疗(根据病史)。

2 组患者的疾病分类情况及手术方式见表 1。为控制人为因素的影响,本研究所有手术操作均由本科室同一组的同一医师完成。

表 1 2 组患者的疾病分类情况及手术方式

疾病分类	HFJV 组 (30 例)	IPPV 组 (30 例)	手术方式
声带息肉	15	13	支撑喉镜下息肉切除术
会厌囊肿	9	12	支撑喉镜下囊肿切除术
喉乳头状瘤	1	2	支撑喉镜下 CO ₂ 激光肿瘤切除术
喉恶性肿瘤	3	2	支撑喉镜下 CO ₂ 激光喉部分切除术
气管异物	2	1	气管异物取出术

1.2 研究方法

患者入手术室接多功能监护仪,在麻醉前(T0)、支撑喉镜放置成功后(T1)、通气 5 min 后(T2)及支撑喉镜取出 5 min 后(T3)各时间点测量平均动脉压(MAP)、心率(HR)及指脉氧饱和度(SpO₂),并在 T0、T2 和 T3 各时间点行桡动脉穿刺采血作血气分析,记录动脉血气指标,包括酸碱度(PH)、动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)、动脉血氧分压(PaO₂)和动脉血氧饱和度(SaO₂)。

2 组患者采用相同的平衡全麻方案:以咪达唑

仑 0.03~0.04 mg/kg、舒芬太尼 0.3~0.4 $\mu\text{g/kg}$ 、丙泊酚 2.0~2.5 mg/kg、罗库溴铵 0.8 mg/kg 经静脉注射后实施麻醉诱导,维持麻醉和镇痛的方法是术中泵入丙泊酚 3~5 mg/(kg·h),使脑电双频指数维持在 45~55 之间。麻醉诱导后给予患者 6 mg 地塞米松预防性治疗术后恶心呕吐。

HFJV 组在放置支撑喉镜成功后(图 1),使用 CARL REINER GmbH 生产的 TwinStream™ 呼吸机经支撑喉镜侧口行喷射通气(图 2)。呼吸机根据患者的体重进行计算并且自动预设参数,高频通气频率为 600 次/min,吸气/呼气比为 1:1.5,驱动压力为 0.8~1.2 kg/cm²,使 PaCO₂ 值维持在(40±5) mmHg(1 mmHg=0.133 kPa)范围内。通过高频喷射呼吸机通气每间隔 5 min 测量气道内的平均气道压(mean airway pressure, MAWP)和呼气末二氧化碳浓度(end-tidal CO₂, ETCO₂)。

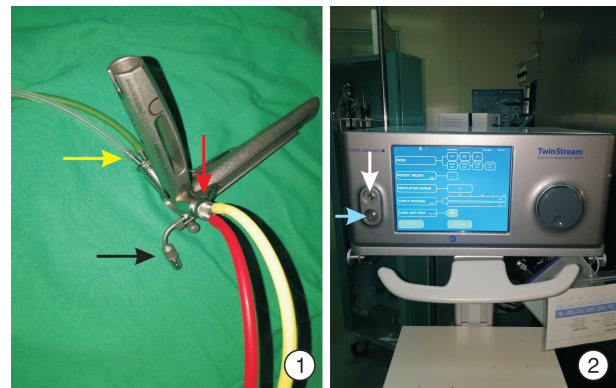


图 1 喷射内镜鞘连接管路 红色箭头示监测管路;黄色箭头示通气管路;黑色箭头示镜鞘光源;图 2 高频喷射呼吸机 白色箭头示气体监测入口;蓝色箭头示通气出口。

IPPV 组由口部将小口径气管导管插入(成人男性直径为 5.5 mm、女性为 5.0 mm),接多功能麻醉机行常规间歇正压控制呼吸,预置潮气量 6~8 mL/kg 气体,通气频率 10~12 次/min,此两个参数可以自由调节,确保充足的通风[PaCO₂ 值保持在(40±5) mmHg 范围内],吸气/呼气比为 1:2,再放置支撑喉镜。通过多功能麻醉机通气每间隔 5 min 测量气道内的 MAWP 和 ETCO₂。

根据 Boezaart 等^[2]的手术视野评估标准、出血情况和吸引器使用情况等作为评估条件,外科医生在手术过程中每 10 min 评估一次手术视野等级(0~5):无出血,评估术野等级为 0;大量出血(需要持续吸引器吸血),出血的速度比用吸引器吸血的速度快,手术视野受到严重威胁,手术操作通常不可能,评估术野等级为 5,并记录手术视野等级的平均值。

术毕取出支撑喉镜前吸尽气道及口咽部的分

分泌物,未插管患者如因麻醉过深而呼吸不佳时,用面罩加压给氧,必要时建立口咽通气道,在患者麻醉清醒后进行 10 min 的脱氧观察,基本生命体征指标稳定后护送至病房。术后患者在满足气管导管拔管标准后(意识清醒,自主呼吸频率正常,自主呼吸潮气量正常)尽快拔除气管。

手术结束时,根据吸引器收集的总出血量和咽拭子的重量来测量术中总出血量。记录手术时间(从支撑喉镜放入开始到支撑喉镜取出结束的时间)和术后苏醒时间(从停止给予麻醉药到患者唤醒睁眼的时间)。

1.3 观察指标

观察指标:①比较 2 组患者在 T0、T1、T2 及 T3 各时间点的 MAP、HR 及 SpO₂;②对比 2 组患者在 T0、T2 和 T3 各时间点的平均动脉血气指标,包括 PH、PaCO₂、PaO₂ 及 SaO₂;③比较 2 组患者的手术时间、术后苏醒时间、MAWP、ETCO₂、总出

血量和手术视野质量的平均值;④比较 2 组患者不良事件的发生情况。

1.4 统计方法

采用 SPSS 23.0 统计软件对数据进行分析。计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 *t* 检验;计数资料以率(%)表示,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验。*P* < 0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 血流动力学变化

2 组患者在 T0、T1、T2 和 T3 各时间点测定的 HR、MAP 和 SpO₂ 平均值比较均差异无统计学意义(*P* > 0.05),见表 2。

2.2 动脉血气变化

2 组患者在 T0、T2 和 T3 各时间点的平均动脉血气指标 PH、PaO₂、PaCO₂、SaO₂ 的平均值比较均差异无统计学意义(*P* > 0.05),见表 3。

表 2 2 组患者的 HR、MAP 及 SpO₂ 变化比较

$\bar{x} \pm s$

组别	T0	T1	T2	T3
HFJV 组(<i>n</i> = 30)				
HR/(次·min ⁻¹)	82.10 ± 13.04	87.30 ± 5.77	85.90 ± 10.84	85.30 ± 10.99
MAP/mmHg	92.05 ± 12.70	85.65 ± 11.14	95.85 ± 15.27	95.05 ± 17.24
SpO ₂ /%	94.20 ± 3.04	98.85 ± 2.23	98.25 ± 3.13	98.00 ± 2.97
IPPV 组(<i>n</i> = 30)				
HR/(次·min ⁻¹)	79.70 ± 7.06	91.85 ± 8.12	90.20 ± 6.74	87.80 ± 5.79
MAP/mmHg	89.90 ± 11.29	78.20 ± 15.75	86.70 ± 20.32	85.85 ± 18.84
SpO ₂ /%	94.65 ± 3.30	98.60 ± 1.27	99.10 ± 0.85	96.85 ± 9.21

表 3 2 组患者的平均动脉血气指标比较

$\bar{x} \pm s$

组别	T0	T2	T3
HFJV 组(<i>n</i> = 30)			
PH	7.42 ± 0.04	7.33 ± 0.14	7.36 ± 0.03
PaO ₂ /mmHg	82.56 ± 43.04	189.76 ± 84.74	117.08 ± 32.98
PaCO ₂ /mmHg	34.35 ± 4.92	40.23 ± 10.76	43.38 ± 9.27
SaO ₂ /%	94.38 ± 2.54	97.94 ± 2.32	97.40 ± 1.70
IPPV 组(<i>n</i> = 30)			
PH	7.43 ± 0.03	7.39 ± 0.04	7.38 ± 0.04
PaO ₂ /mmHg	71.08 ± 9.95	244.25 ± 79.11	128.22 ± 38.59
PaCO ₂ /mmHg	35.12 ± 4.36	38.21 ± 7.09	41.12 ± 6.36
SaO ₂ /%	93.78 ± 2.08	98.84 ± 0.78	97.46 ± 2.25

2.3 手术时间、苏醒时间、MAWP、ETCO₂、出血量和手术视野质量比较

HFJV 组的平均 MAWP 明显低于 IPPV 组(*P* < 0.01),平均总出血量明显低于 IPPV 组(*P* < 0.01);根据外科医生的评估,HFJV 组的手术视野质量明显更好,2 组手术视野根据 Boezaart 等评分的平均值分别为 1.29 ± 0.36 和 1.82 ± 0.49,差异

有统计学意义(*P* < 0.01);2 组患者的手术时间、苏醒时间和 ETCO₂ 的平均值差异均无统计学意义(*P* > 0.05)。见表 4。

2.4 不良事件发生情况

2 组患者均未出现 CO₂ 蓄积、术中声带振动、喉痉挛、拔管时躁动、呕吐以及窒息等不良反应。

表 4 2 组患者手术相关指标比较 $\bar{x} \pm s$

指标	HFJV 组	IPPV 组	P
	(n=30)	(n=30)	
平均手术时间/min	21.60±10.76	18.05±9.96	>0.05
平均苏醒时间/min	47.05±7.33	45.15±14.59	>0.05
平均 MAWP/mmHg	4.10±0.72	5.45±0.94	<0.01
平均 ETCO ₂ /mmHg	33.55±1.67	33.85±2.76	>0.05
平均总出血量/mL	1.50±0.61	2.85±1.09	<0.01
平均手术视野质量	1.29±0.36	1.82±0.49	<0.01

3 讨论

本研究旨在确定与 IPPV 的传统机械通气相比, HFJV 在咽喉气管手术中能否减少心肺动力学的负面影响和术中出血量以及改善手术视野。研究结果显示, HFJV 组的 MAWP 和平均总出血量均明显低于 IPPV 组, 根据外科医生评估的手术视野质量明显高于 IPPV 组, 表明通气方式是咽喉气管手术中出血减少和手术视野改善的主要因素。

在正常的自发呼吸中, 负吸气有助于静脉回流, 降低肺毛细血管压力, 促进血液回流, 而在 IPPV 应用过程中会产生相反的效果。IPPV 会引起整体血流动力学改变, 即心输出量减少, 中心静脉压增加, 静脉充血, 淋巴引流减少, 毛细血管内压升高, 对血流产生不利影响^[3]。本研究使用崭新的通气方式, 即 HFJV, 在咽喉气管手术中平均总出血量明显减少, 消除了 IPPV 导致的负面血流动力学影响。

传统机械通气的主要不良反应是在手术过程中右心回流的血液减少, 患者出现明显的静脉充血, 并有可能增加出血的风险^[4]。IPPV 通气过程中产生较高的胸腔内压力, 导致上腔静脉压力升高, 并使回流心脏的静脉血减少^[5]。HFJV 采用小容量通气, 可以在更低的气道压下保证充分的气体交换, 可以改善静脉回流和保护患者心血管功能^[6]。研究结果表明 HFJV 在手术中 MAWP 明显低于 IPPV 组。

HFJV 的应用一方面为外科医生和麻醉师提供了最佳的操作条件, 另一方面又为患者提供了充足的供氧和通气。HFJV 的作用机制突破了传统肺通气理论的束缚, 在潮气量小于解剖死腔容量的条件下使肺泡气体得到充分交换。通过高压动力源, 经过小口径喷口达到加速, 而来自高速气流的涡流有利于气体均匀分布, 可以强制气体弥散, 达到有效的通气^[7]。气管外喷射形成的开放式正压通气, 以其无创的通气方式, 减少了传统气管插管的痛苦, 易为患者所接受。本研究中无一例因使用 HFJV 而发生不良事件。

传统插管麻醉占用呼吸道或与手术共用呼吸道而使术野受限, 由于插管气囊遮盖, 传统全身麻

醉下手术几乎无法操作, 在手术区域, 外科医生的操作自由度受到传统气管导管的极大限制, 特别是在声门下介入治疗或喉后连合区域。高频通气手术系统可以克服这些不利因素, 保证氧气的供给, 避免麻醉插管占据手术操作空间或者麻醉插管遮挡手术部位, 实现了“手术路径和通气路径共享”, 对操作时间不长的手术则可完全替代气管插管麻醉, 操作方便, 安全性高, 尤其是对喉部较大的新生物, 如果肿物未超过声门截面 2/3, 则插管麻醉所致的视野过小现象少见。需要注意的是, 使用喷射呼吸机进行手术时, 喉部新生物超过声门截面 2/3、肿物血供丰富术中出血可能性大者, 是声门下操作的绝对禁忌证。在这一敏感区切除大肿瘤时需特别谨慎, 因为肿瘤供血血管损伤可能会导致严重出血。HFJV 辅助麻醉可以开放气道, 不要求封闭下呼吸道, 术中无充气气囊, 节约了手术空间。本研究根据外科医生的评估, HFJV 组的手术视野质量明显更好。高频通气手术系统有激光工作模式, 可以兼容激光、等离子等器械操作。激光手术使用激光模式, 无传统手术气道烧伤和爆破之虞。需要注意的是, TwinStream™ 高频喷射呼吸机的使用必须严格遵守激光操作说明, 在 CO₂ 激光应用前必须将喷射氧体积分数调至最低(≤30%)^[8]。

高频通气早期主要用于急救复苏和麻醉期间的呼吸管理, 如新生儿呼吸衰竭的治疗, 小儿呼吸窘迫综合征、重症肺炎、呼吸衰竭、哮喘等疾病, 后逐步扩展到内科、烧伤儿科、胸外、麻醉等综合科室的呼吸管理和治疗。Ross-Anderson 等^[9]认为, 在咽喉气管手术中, 因气道狭窄、病变或者广泛损伤造成的困难气道常常是麻醉医师面临的困境, 常规方法需要气管切开, 造成患者的二次损伤, 增加了术中术后并发症发生的概率, HFJV 通过声门或声门下径路, 在麻醉监护下是一种安全、高效的麻醉方式。Altun 等^[10]通过观察 222 例喉内手术, 认为手术视野最大程度的暴露以及术中气体充分交换是喉部手术成功的主要保障, HFJV 可以满足术者的以上要求, 是一种高效的人工通气方法, 对手术时间短、既往无喉部手术史的患者, 是一种安全性高、省时的麻醉方式^[11]。

外科住院患者术前出血情况评估(具有以下任何一项, 则为出血高风险或出血会导致严重后果的人群): ①活动性出血; ②既往大出血病史; ③已知或未治疗的出血性疾病; ④严重肝功能或肾功能衰竭; ⑤血小板减少症; ⑥未控制的高血压; ⑦同时使用抗凝、抗血小板治疗溶栓药物。术中出血情况评估: ①低血容量或出血性休克表现; ②手术视野质量差; ③手术时间延长。传统的气管插管全身麻醉手术要求气道封闭, HFJV 不要求气道紧闭, 开放式通气更有利于气道分泌物的引流, 也更易于与自

主呼吸协调,并且很少引起气压伤和阻碍循环回流等故障。由于气体流速快而产生拍击样振荡,有利于下呼吸道分泌物排出,也可防止术中出血流入下呼吸道,气管导管和气管切开套管不必带气囊,可以安全而彻底地吸痰而不引起血氧分压降低。Klain 等^[12]认为通过环甲膜穿刺置管进行 HFJV,由于气体流速快而产生拍击样振荡,可以振荡排痰,HFJV 既可保证充分的气体交换,又可保证分泌物连续彻底的吸引。

在 HFJV 期间,基本监测(如 HR、MAP 和 SpO₂)是至关重要的,并且无论是否有足够的氧饱和度,CO₂ 监测都必不可少。通过间断性地测量动脉血气 PaCO₂ 和 ET-CO₂ 等实现 CO₂ 的监测^[13]。HFJV 是一个开放的系统,喷射呼吸机在更深的几次呼吸中对气体进行采样,可以更准确地测量 ET-CO₂^[14-15]。当喉部较大肿物导致喷射通气路径受阻时,高频喷射呼吸机测量的气道内 ET-CO₂ 将超过预警值,同时引发高频喷射呼吸机报警。HFJV 期间加湿是必不可少的,如果加湿部件受损,则存在气管黏膜脱水和坏死的风险,现代 HFJV 呼吸机中均内置加湿系统^[16-17]。

综上所述,HFJV 是传统机械通气的一种有前景的替代方法,在改善气体交换和提高手术视野质量方面具有优势,在咽喉气管手术中,出血量少、手术视野宽敞,是外科医师优选的麻醉技术;其无创、减少了插管的痛苦,也易为患者所接受。但 HFJV 是一种非常规的通气技术,具有陡峭的学习曲线,要求经过培训的人员正确评估收益与风险,并通过适当的监控程序来使用,在激光手术中更需要严格操作程序^[18]。临床中,喉部肿物过大、手术出血风险较高、手术时间较长仍应充分评估风险,谨慎使用;恶性肿瘤则应严格遵循肿瘤外科切除原则,必要时开放手术;对于病态肥胖、颈部僵硬以及限制性和/或阻塞性肺部疾病患者目前仍是相对禁忌证^[19]。

参考文献

[1] Li S, Liu Y, Tan F, et al. Efficacy of manual jet ventilation using Manujet III for bronchoscopic airway foreign body removal in children[J]. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2010, 74(12):1401-1404.

[2] Boezaart AP, van der Merwe J, Coetzee A. Comparison of sodium nitroprusside and esmolol-induced controlled hypotension for functional endoscopic sinus surgery[J]. *Can J Anaesth*, 1995, 42(5 Pt 1):373-376.

[3] Soni N, Williams P. Positive pressure ventilation: what is the real cost? [J]. *Br J Anaesth*, 2008, 101(4):446-457.

[4] Dutton RP. Controlled hypotension for spinal surgery

[J]. *Eur Spine J*, 2004, 13 Suppl 1(Suppl 1):S66-71.

[5] Kubitz JC, Kemming GI, Schultheiss G, et al. The influence of PEEP and tidal volume on central blood volume[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2006, 23(11):954-961.

[6] Ihra G, Gockner G, Kashanipour A, et al. High-frequency jet ventilation in European and North American institutions: developments and clinical practice [J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2000, 17(7):418-430.

[7] 郭金洋, 吴太虎, 万振. 高频通气的现状与发展[J]. *医疗卫生装备*, 2008, 29(4):35-37.

[8] 付丹, 何颜霞. 高频通气的临床应用[J]. *中国实用儿科杂志*, 2010, 2(1):20-24.

[9] Ross-Anderson DJ, Ferguson C, Patel A. Transtracheal jet ventilation in 50 patients with severe airway compromise and stridor[J]. *Br J Anaesth*, 2011, 106(1):140-144.

[10] Altun D, Çamcı E, Orhan-Sungur M, et al. High frequency jet ventilation during endolaryngeal surgery: Risk factors for complications[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2018, 45(5):1047-1052.

[11] Biro P. Jet ventilation for surgical interventions in the upper airway[J]. *Anesthesiol Clin*, 2010, 28(3):397-409.

[12] Klain M, Keszler H. High-frequency jet ventilation [J]. *Surg Clin North Am*, 1985, 65(4):917-930.

[13] Berkenbosch JW, Tobias JD. Transcutaneous carbon dioxide monitoring during high-frequency oscillatory ventilation in infants and children[J]. *Crit Care Med*, 2002, 30(5):1024-1027.

[14] Evans KL, Keene MH, Bristow AS. High-frequency jet ventilation—a review of its role in laryngology[J]. *J Laryngol Otol*, 1994, 108(1):23-25.

[15] Guenard H, Cros AM, Boudey C. Variations in flow and intraalveolar pressure during jet ventilation: theoretical and experimental analysis[J]. *Respir Physiol*, 1989, 75(2):235-245.

[16] Dias NH, Martins RH, Braz JR, et al. Larynx and cervical trachea in humidification and heating of inhaled gases[J]. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 2005, 114(5):411-415.

[17] Doyle HJ, Napolitano AE, Lippman HR, et al. Different humidification systems for high-frequency jet ventilation[J]. *Crit Care Med*, 1984, 12(9):815-819.

[18] Galmén K, Harbut P, Freedman J, et al. The use of high-frequency ventilation during general anaesthesia: an update[J]. *F1000Res*, 2017, 6:756.

[19] Galmén K, Jakobsson JG, Freedman J, et al. Post-operative hypertension during early recovery following liver tumour ablation: A retrospective study[J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2021.

(收稿日期:2021-03-06)