

· 临床研究 ·

二氧化碳人工气胸与支气管封堵器用于胸腹腔镜食管癌根治术的比较

齐正 刘洋 艾艳秋 杨建军 金峰 张春敬

【摘要】 目的 比较二氧化碳人工气胸双肺通气和支气管封堵器单肺通气对胸腹腔镜食管癌根治术患者的影响。方法 胸腹腔镜食管癌根治术患者 97 例,男 62 例,女 35 例,年龄 50~75 岁, BMI 18~29 kg/m², ASA I 或 II 级,随机分为两组:二氧化碳人工气胸双肺通气组(AP 组, n=50)和支气管封堵器单肺通气组(BB 组, n=47)。记录拔管时间和胸腔操作开始后 15 min 肺萎陷评分。记录胸腔操作前双肺通气时(T₀)、胸腔操作开始后 10 min(T₁)、30 min(T₂)、60 min(T₃)和胸腔操作结束后 10 min(T₄)的 MAP、CVP、气道峰压(P_{peak})、PaO₂、PaCO₂, 计算死腔率(V_D/V_T)和分流率(Q_s/Q_t),同时记录甲氧明推注例数和去甲肾上腺素泵注例数和新发心律失常例数。术中提取食管肌层组织 RNA 后检测一氧化氮合酶 3 基因(NOS3)的转录水平。记录术后并发症的发生情况。**结果** BB 组拔管时间明显短于 AP 组(P<0.05),肺萎陷评分明显低于 AP 组(P<0.05)。T₁—T₃ 时 AP 组 MAP 明显低于 BB 组(P<0.05),CVP 明显高于 BB 组(P<0.05)。T₂—T₄ 时 AP 组 PaCO₂ 明显高于 BB 组(P<0.05)。T₁—T₃ 时 AP 组 V_D/V_T 明显高于 BB 组(P<0.05)。AP 组甲氧明推注例数、去甲肾上腺素泵注例数明显多于 BB 组,新发心律失常发生率明显高于 BB 组(P<0.05)。BB 组 NOS3 的转录水平是 AP 组的 3.48 倍(P<0.05)。两组术后并发症发生率差异无统计学意义。**结论** 与二氧化碳人工气胸双肺通气比较,支气管封堵器单肺通气更有利于早期拔管和术野暴露,不失为胸腹腔镜食管癌根治术患者更好的术中气道管理方案。

【关键词】 食管癌;单肺通气;支气管封堵器;二氧化碳人工气胸

Comparison between carbon-dioxide artificial pneumothorax and endobronchial blocker in thoracoscopic esophagectomy QI Zheng, LIU Yang, AI Yanqiu, YANG Jianjun, JIN Feng, ZHANG Chunyang. Department of Anesthesiology, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Corresponding author: AI Yanqiu, Email: aiyanqiu82@163.com

【Abstract】 Objective To compare the effect of carbon-dioxide artificial pneumothorax two-lung-ventilation and endobronchial blocker one-lung-ventilation on patients undergoing thoracoscopic esophagectomy. **Methods** Ninety-seven patients undergoing thoracoscopic esophagectomy, 62 males and 35 females, aged 50–75 years, BMI 18–29 kg/m², falling into ASA physical status I or II, were recruited and randomly divided into two groups: carbon-dioxide artificial pneumothorax two-lung-ventilation group (group AP, n = 50) and endobronchial blocker one-lung-ventilation group (group BB, n = 47). The time of extubation and the score of pulmonary collapse 15 min after the beginning of thorax operation were recorded. MAP, CVP, airway peak pressure (P_{peak}), PaO₂, PaCO₂, dead space rate (V_D/V_T) and lung blood shunt rate (Q_s/Q_t) were recorded while two lung ventilation was administered before thoracoscopic operation (T₀), 10 min (T₁), 30 min (T₂) and 60 min (T₃) after thoracoscopic operation started and 10 min (T₄) after thoracoscopic operation finished. The methoxamine consumption, the case numbers of noradrenaline administration and newly occurred arrhythmias were recorded. Total RNA was taken from the esophageal muscular tissue and transcription level of nitric oxide synthase 3 gene (NOS3) was calculated by relative quantification. Postoperative complications were also recorded. **Results** The extubation time of group BB was shorter than that of group AP (P < 0.05), while the lung collapse score was lower in group BB than in group AP (P < 0.05). MAP in group AP was significantly lower and CVP was significantly higher than that in group BB at T₁–T₃ (P < 0.05). PaCO₂ in group AP was higher than that in group BB at T₂–T₄ (P < 0.05). V_D/V_T in group AP was higher than that in group BB at T₁–T₃ (P < 0.05). The case numbers of methoxamine and noradrenaline administration and newly occurred arrhythmias in group AP were

DOI:10.12089/jca.2019.10.005

作者单位:450052 郑州大学第一附属医院麻醉科(齐正、刘洋、艾艳秋、杨建军、金峰),胸外科(张春敬)

通信作者:艾艳秋,Email: aiyanqiu82@163.com

more than those in group BB ($P < 0.05$). The transcription of NOS3 in group BB was 3.48 times, which was higher than that in group AP ($P < 0.05$). There was no statistically different in the case number of postoperative complications between the two groups. **Conclusion** Compared with the carbon-dioxide artificial pneumothorax two-lung-ventilation, endobronchial blocker one-lung-ventilation is more beneficial in early extubation and surgical field exposure and may well be a better choice of intraoperative airway management for the patients undergoing thoracoscopic esophagectomy.

【Key words】 Esophageal cancer; One lung ventilation; Bronchial blocker; Carbon-dioxide artificial pneumothorax

胸腹腔镜食管癌根治术中气道管理方式有三种,即双腔气管插管单肺通气、支气管封堵器(bronchial blocker, BB)单肺通气和二氧化碳人工气胸(artificial pneumothorax, AP)单腔气管插管双肺通气。双腔气管插管尽管能够提供完善的肺隔离和肺萎陷,但胸腹腔镜食管癌根治术全程 70% 的过程无需单肺通气。此外,较粗的双腔管径带来的声门损伤和气管牵拉困难不容忽视,单腔气管插管可避免这种损伤和困难,其中二氧化碳 AP 单腔气管插管双肺通气的可行性和安全性近年来为文献所证实^[1-2],但采用二氧化碳 AP 在气道管理等方面的潜在风险不容忽视,同为单腔气管插管,BB 单肺通气是否存在相关风险,是否有一定的优势,有待研究和报道。本研究比较二氧化碳 AP 双肺通气和 BB 单肺通气对胸腹腔镜食管癌根治术患者的影响,为该患者麻醉的气道管理方案提供参考。

资料与方法

一般资料 本研究经医院伦理委员会通过,患者签署知情同意书。选择郑州大学第一附属医院 2018 年 5—10 月择期行胸腹腔镜食管癌根治术患者,性别不限,年龄 50~75 岁, BMI 18~29 kg/m², ASA I 或 II 级,无心肺基础疾病,无可预计困难气道,既往无胸腹部手术史。

分组与处理 采用随机数字法将患者分为两组:AP 组和 BB 组。BB 组纤维支气管镜引导下将封堵管(TCB Univent 管)经单腔气管导管插入右主支气管内,胶布固定气管插管。胸腔操作开始后,AP 组设定二氧化碳 AP 压力 6~8 mmHg,流量 8~10 L/min, BB 组右主支气管封堵左肺通气。两组用药和气道循环管理方案除 BB 组的封堵操作和 AP 组的二氧化碳 AP,其余处理均设定一致。

麻醉方法 术前 30 min 盐酸戊乙奎醚 0.01 mg/kg 静注,超声引导下 T₄ 和 T₆ 水平椎旁神经阻滞并双侧肋缘下腹横筋膜阻滞,0.25% 罗哌卡因总量 40 ml。入室监测 SpO₂、ECG、BIS。局麻下行右颈内静脉穿刺置管测压 CVP 和左桡动脉穿刺置管测有

创 BP,鼻导管吸氧,FiO₂ 30%,10 min 后测动脉血气。麻醉诱导:血浆 TCI 丙泊酚 4 μg/ml 和瑞芬太尼 2 ng/ml 持续至插管结束,当 BIS 下降至 60 时推注罗库溴铵 0.6 mg/kg,2 min 后气管插管。可视喉镜引导下经口插入内径 7.5 mm 单腔气管导管。麻醉维持:血浆靶控输注丙泊酚 2 μg/ml 和瑞芬太尼 0.5 ng/ml,维持 MAP 65~90 mmHg,HR 50~85 次/分,BIS 40~60,术中预判刺激强度并根据实时 BIS 间断推注舒芬太尼和罗库溴铵。术中 MAP 下降幅度超过诱导前 30% 时推注甲氧明 1 mg,推注超过 5 次时改为去甲肾上腺素 0.05~0.1 μg·kg⁻¹·min⁻¹泵注,MAP 回升至 65~90 mmHg 停用血管活性药物。设定双肺通气 V_T 8~10 ml/kg,RR 10~12 次/分,PEEP 5 cmH₂O,FiO₂ 75%。设定胸腔操作时 V_T 6 ml/kg,RR 14 次/分,PEEP 6 cmH₂O,FiO₂ 100%。胸腔操作结束连接胸瓶后患者均给予膨肺,手控均匀挤压气囊使 P_{peak} 达到 30 cmH₂O 持续 10 s 后快速呼气,重复 5 次。术毕带气管插管返 PACU,安全苏醒后送回病房。

荧光定量 PCR 检测 食管离体后立即切取距离肿瘤 5~10 cm 远的食管肌层组织 1~1.5 g,冲洗血渍并切小块后保存在 RNA store 内冻存于 -80 °C。批量处理组织,研磨组织匀浆提取总 RNA,超微量分光光度计(Thermo Nanodrop 2000)测得 RNA 浓度和纯度合格,反转录 RNA 为 cDNA 后配置荧光定量 PCR 反应体系[含一氧化氮合酶 3 基因(nitric oxide synthase 3, NOS3)引物],上荧光定量 PCR 仪扩增,每个反转录产物平行扩增 3 份,内参选用 β-actin。计算两组基因转录水平相对倍数 2^{-ΔΔCT},其中 ΔΔCT = BB 组 ΔCT_{NOS3} - AP 组 ΔCT_{NOS3}, ΔCT_{NOS3} = CT_{NOS3} - CT_{actin}}。}}

观察指标 记录拔管时间,即从停麻药到自主呼吸恢复至 V_T>6 ml/kg 且 RR 8~25 次/分的时间;根据鼻导管吸氧时的动脉血气计算氧合指数(oxygen index, OI);记录胸腔操作后 15 min 肺萎陷评分,参照 Campos 肺萎陷和手术野的评估方法^[3-4]:1 分,术侧肺基本萎陷,不经过干预后手术野

暴露满意,不影响手术操作;2分,术侧肺部分萎陷,经过干预后手术野暴露可,但不影响手术操作;3分,术侧肺萎陷差,经过干预后仍严重影响手术野暴露和手术操作。侧卧位摆放后,记录胸腔操作开始前双肺通气时(T_0)、胸腔操作开始后10 min(T_1)、30 min(T_2)、60 min(T_3)和胸腔操作结束后10 min(T_4)的MAP、CVP、气道峰压(P_{peak})、 PaO_2 、 $PaCO_2$,计算死腔率(V_D/V_T)和分流率(Q_s/Q_t);胸腔操作时甲氧明推注例数、去甲肾上腺素泵注例数和新发心律失常例数;记录NOS3在食管肌肉层的转录水平;记录术后并发症,如二次气管插管、声音嘶哑、肺部感染、吻合口瘘、乳糜胸等。

统计分析 根据预试验NOS3基因荧光定量PCR的 ΔCT_{NOS3} (AP组 16.3 ± 1.6 ,BB组 15.3 ± 1.6),检验水准设为 $\alpha = 0.05$,检验效能 $1 - \beta = 0.8$,带入PASS软件计算最低样本量每组42例,预计脱漏10%,每组拟纳入50例。采用SPSS 22.0软件行数据处理。正态分布计量资料以均数 \pm 标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用成组 t 检验;非正态分布计量资料以中位数(M)和四分位数间距(IQR)表示,组间比较采用Mann-Whitney U 检验。计数资料以例(%)表示,采用 χ^2 检验或Fisher确切概率检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本研究无一例排除,共纳入97例患者。两组患者性别、年龄、BMI差异无统计学意义(表1)。

表1 两组患者一般资料的比较

| 组别 | 例数 | 男/女(例) | 年龄(岁) | BMI (kg/m^2) |
|-----|----|--------|----------------|------------------|
| AP组 | 50 | 32/18 | 65.8 \pm 5.7 | 23.9 \pm 2.3 |
| BB组 | 47 | 30/17 | 66.1 \pm 5.8 | 23.6 \pm 2.0 |

两组手术时间、胸腔操作时间差异无统计学意义。BB组拔管时间明显早于AP组($P < 0.05$)。胸腔操作后15 min BB组肺萎陷评分明显低于AP组

表2 两组患者手术时间、胸腔操作时间、拔管时间和肺萎陷评分的比较

| 组别 | 例数 | 手术时间(min) | 胸腔操作时间(min) | 拔管时间(min) | 肺萎陷评分(分) |
|-----|----|------------------|------------------|------------------------------|---------------------|
| AP组 | 50 | 307.7 \pm 12.6 | 104.2 \pm 8.9 | 127.4 \pm 36.4 | 2(2~3) |
| BB组 | 47 | 310.9 \pm 15.3 | 103.9 \pm 11.1 | 75.4 \pm 23.7 ^a | 1(1~2) ^a |

注:与AP组比较,^a $P < 0.05$

($P < 0.05$)(表2)。

T_0 时两组循环和呼吸参数差异无统计学意义。 T_1 — T_3 时AP组MAP明显低于BB组($P < 0.05$),CVP明显高于BB组($P < 0.05$)。两组不同时点 P_{peak} 、 PaO_2 和 Q_s/Q_t 差异无统计学意义。 T_2 — T_4 时AP组 $PaCO_2$ 明显高于BB组($P < 0.05$), T_1 — T_3 时AP组 V_D/V_T 明显高于BB组($P < 0.05$)(表3)。

BB组食管肌层NOS3转录水平是AP组的3.48倍,明显高于AP组($P < 0.05$)。

BB组甲氧明推注率明显低于AP组($P < 0.05$),胸腔操作过程中新发心律失常发生率明显低于AP组($P < 0.05$)。AP组有3例发生术后并发症,分别为乳糜胸、严重肺部感染致ARDS行二次气管插管呼吸机支持和吻合口瘘各1例;BB组有4例发生术后并发症,分别为喉返神经损伤、乳糜胸、严重肺炎和胸膜炎各1例,两组并发症发生率差异无统计学意义(表4)。

讨 论

随着胸腹腔镜食管癌根治术微创操作的开展和围术期加速康复外科理念的推广,麻醉科医师也在寻求优化的管理方案,涉及气道保护、循环稳定、预后改善和经济获益等方面^[5-7]。拔管时间作为本研究的主要指标,是呼吸肌力和肺功能恢复的体现,在确保用药和手术麻醉方案一致的前提下,气道管理方式的差异成为影响呼吸肌和肺功能恢复主要因素,BB单肺通气的患者由于无二氧化碳的吸收和气胸的压迫,胸壁框架中的膈肌和肋间肌结构和功能较为稳定,利于呼吸恢复。此外,组织保护性和损伤性相关因子的水平改变亦有可能对肺功能恢复产生一定影响。从气道保护角度,本研究所有患者均使用单腔气管插管,术侧肺萎陷分别通过二氧化碳气流压迫和支气管封堵,肺萎陷评分表明,支气管封堵较AP外压性气流比使术野暴露更充分,但封堵管的缺陷在于,若患者存在解剖变异,如右上肺叶开口距离隆突过近的情况下,封堵套囊堵塞右上肺开口,造成右上肺单叶萎陷不良,可能

表 3 两组患者胸腔操作阶段循环和呼吸参数的比较 ($\bar{x} \pm s$)

| 指标 | 组别 | 例数 | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ |
|---------------------------------------|------|----|----------------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| MAP (mmHg) | AP 组 | 50 | 103.2±9.8 | 75.2±4.2 | 82.4±6.9 | 79.5±6.1 | 112.9±11.4 |
| | BB 组 | 47 | 110.3±10.2 | 100.6±3.8 ^a | 98.2±4.7 ^a | 101.3±11.2 ^a | 116.5±8.8 |
| CVP (cmH ₂ O) | AP 组 | 50 | 4.7±1.2 | 9.7±1.3 | 10.4±2.6 | 9.5±1.8 | 5.1±1.6 |
| | BB 组 | 47 | 4.5±2.0 | 4.0±1.4 ^a | 3.8±1.3 ^a | 4.8±1.9 ^a | 4.5±1.5 |
| Ppeak (cmH ₂ O) | AP 组 | 50 | 14.7±2.3 | 24.0±1.9 | 25.1±2.4 | 26.7±2.1 | 16.5±2.1 |
| | BB 组 | 47 | 15.3±1.6 | 23.7±2.3 | 24.9±1.8 | 25.6±1.7 | 15.6±1.4 |
| PaO ₂ (mmHg) | AP 组 | 50 | 433.7±19.6 | 163.1±13.4 | 138.9±14.0 | 127.3±12.2 | 156.0±18.5 |
| | BB 组 | 47 | 441.0±16.1 | 158.6±15.7 | 143.3±15.1 | 132.0±14.3 | 163.2±20.3 |
| PaCO ₂ (mmHg) | AP 组 | 50 | 39.9±6.2 | 49.1±3.0 | 59.2±3.3 | 67.1±2.5 | 46.8±2.4 |
| | BB 组 | 47 | 43.6±4.6 | 51.2±1.7 | 50.3±2.7 ^a | 52.7±1.7 ^a | 38.8±4.7 ^a |
| V _D /V _T (%) | AP 组 | 50 | 14.8±3.2 | 29.8±2.9 | 33.0±2.6 | 40.7±2.8 | 15.1±3.1 |
| | BB 组 | 47 | 15.3±4.0 | 24.3±2.2 ^a | 25.7±3.1 ^a | 22.4±3.4 ^a | 15.0±3.0 |
| Qs/Qt (%) | AP 组 | 50 | 4.7±2.0 | 35.7±5.3 | 45.7±6.0 | 49.4±6.2 | 38.7±7.1 |
| | BB 组 | 47 | 5.1±1.7 | 36.5±4.4 | 47.0±5.2 | 50.7±4.5 | 41.4±4.5 |

注:与 AP 组比较,^aP<0.05

表 4 两组患者追加药物情况、新发心律失常及术后并发症的比较 [例 (%)]

| 组别 | 例数 | 甲氧明 推注 | 去甲肾上 腺素泵注 | 新发心律 失常 | 术后 并发症 |
|------|----|-----------|---------------------|-------------------|-----------|
| AP 组 | 50 | 50(100) | 23(46) | 15(30) | 4(8) |
| BB 组 | 47 | 36(77) | 11(23) ^a | 4(8) ^a | 3(6) |

注:与 AP 组比较,^aP<0.05

会影响上段食管的游离和喉返神经的显露。循环参数显示,胸腔操作开始后的前期 MAP 较操作开始前下降幅度最大,随后机体的减压反射启动,临床观察到 MAP 逐渐回升。有研究表明胸腔容量性大血管受 AP 压迫,外压性 CVP 升高,但实际回心血量下降,此外,术侧肺萎陷欠佳时术者不得不压迫心脏及大血管,引起 MAP 波动显著^[8],一过性或持续性低血压和继发心律失常,消耗更多的血管活性药物,因此 BB 单肺通气从循环稳定和药品节约的角度不失为一种优化的气道管理方案。

Cai 等^[9]将 147 例半俯卧位食管癌根治术患者分为双腔气管插管单肺通气组和单腔气管插管 AP 双肺通气组,通过比较插管准备时间、胸腔镜操作

时间、术期血气指标、住院时间和术后并发症,得出 AP 双肺通气在简化插管、减少胸腔操作时间、改善氧合和缩短住院时间方面优于单肺通气。与其相同的分组设计,本研究结果并未得到相似结果,相反的,AP 双肺通气患者由于 CO₂ 的吸收和小气道的受压,造成较高的血 CO₂ 蓄积和较为严重的无效腔的产生,气胸解除后早期,内环境的恢复如 PaCO₂ 的回落仍难以在短时间内达到,这种血气指标的紊乱和对呼吸系统的干扰弱化了 AP 双肺通气在其他方面优势的体现。

NOS3 是人类一氧化氮合酶的重要类型,提高该酶基因 NOS3 的表达可提高血清 NO 水平,NO 水平的增高降低肺血管张力和减轻肺损伤,后者的作用是通过降低内皮素水平而实现^[10]。NO 和内皮素的血清水平对肺血管张力起着对立的抗衡作用,对猪的机械通气研究表明^[11],单肺通气过程中,NO 代谢产物亚硝酸盐浓度降低,间接提示 NO 的低水平,NO 作为舒血管物质,其持续降低在单肺通气时起着低氧性肺血管收缩的保护作用,减少肺内分流,如果延续至单肺通气结束可造成不必要的肺血管收缩,引发 ALI 乃至 ARDS,食管手术的患者术中单肺通气的肺血管收缩机制亦是 NO 低表达所致。本研究在胸腔镜操作结束后获取肺组织旁的标本,此

时的 NOS3 临近组织表达的高水平有利于肺血管的舒张和肺保护,较低水平提示受 AP 影响的肺组织损伤的可能,从分子水平对肺功能恢复机制提供佐证,并间接解释 AP 影响后的患者术后带管时间较长的结果。

近年来,全腔镜的术式已将传统的开放食管癌手术后并发症发生率从 20%~30% 降至 1.2%~8.6%^[12],一方面归功于胸壁框架的稳定性在微创操作中破坏轻微,利于自主呼吸恢复,另一方面在于围术期优化的气道管理方式和镇痛方案,利于咳嗽排痰,降低肺部感染^[13]。本研究两组均出现的乳糜胸和 AP 组的吻合口瘘推测原因可能是胸导管牵拉断裂和食管吻合张力过高。两组术后均出现胸肺部感染病例,分析原因可能涉及多因素,如过度镇静、镇痛不足、排痰受限、单肺通气、纤维支气管镜对位和吸痰管带入外界感染源等^[14]。

本研究设计中尚存在一定的局限性。提取 RNA 的组织受伦理要求未能精确到肺血管或肺组织标本,只做到同样受气胸影响的食管组织的取样;由于研磨机对黏膜组织的匀浆效果差,故未能对受气胸影响最大的食管外膜层进行采样,食管外膜下肌层是本研究所能近似的最大程度;对 NOS3 基因的表达只做到相对定量的转录水平,无表达水平的下游实验和对 NO 调节的功能研究,血清学指标的缺失使得对临床问题的诠释力度稍显薄弱。AP 组较多的心律失常病例不能排除因缩血管升压药物导致,因此研究设计上欠缺交互分析。限于数据收集的完善性,封堵组右上肺叶开口存在解剖变异的患者并未给予分层分析。

综上所述,支气管封堵器单肺通气,尽管在术中动脉血氧分压、气道峰压和肺血分流率方面无优势,但较二氧化碳人工气胸双肺通气相比更有利于患者早期拔管、术野暴露、循环和内环境的稳定,从加速康复外科的围术期管理理念角度出发,不失为食管癌根治术患者更具优势的术中气道管理方案。

参 考 文 献

[1] Singh M, Uppal R, Chaudhary K, et al. Use of single-lumen tube for minimally invasive and hybrid esophagectomies with prone thoracoscopic dissection; case series. *J Clin Anesth*, 2016,

33: 450-455.

- [2] Bai Y, Zhou Y, Lu XH. Single-lumen tracheal ventilation for minimally invasive esophagectomy in patients with esophageal cancer. *J Cancer Res Ther*, 2016, 12 (Supplement): C277-C280.
- [3] Ko R, McRae K, Darling G, et al. The use of air in the inspired gas mixture during two-lung ventilation delays lung collapse during one-lung ventilation. *Anesth Analg*, 2009, 108 (4): 1092-1096.
- [4] Campos JH, Hallam EA, Ueda K. Lung isolation in the morbidly obese patient: a comparison of a left-sided double-lumen tracheal tube with the Arndt® wire-guided blocker. *Br J Anaesth*, 2012, 109(4): 630-635.
- [5] Takeuchi H, Miyata H, Ozawa S, et al. Comparison of short-term outcomes between open and minimally invasive esophagectomy for esophageal cancer using a nationwide database in Japan. *Ann Surg Oncol*, 2017, 24(7): 1821-1827.
- [6] Yerokun BA, Sun Z, Yang CJ, et al. Minimally invasive versus open esophagectomy for esophageal cancer: a population-based analysis. *Ann Thorac Surg*, 2016, 102(2): 416-423.
- [7] 陈先凯, 李印, 刘先本, 等. 加速康复外科在胸腹腔镜食管癌术中的临床应用. *中华消化外科杂志*, 2015, 14 (12): 987-992.
- [8] Saikawa D, Okushiba S, Kawata M, et al. Efficacy and safety of artificial pneumothorax under two-lung ventilation in thoracoscopic esophagectomy for esophageal cancer in the prone position. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2014, 62(3): 163-170.
- [9] Cai L, Li Y, Yang XW, et al. Better perioperative outcomes in thoracoscopic-esophagectomy with two-lung ventilation in semi-prone position. *J Thorac Dis*, 2017, 9(1): 117-122.
- [10] Ware LB, Summar M. Understanding the role of NOS-3 in ventilator-induced lung injury: don't take NO for an answer. *Am J Physiol Lung Cell Mol Physiol*, 2010, 299(2): L147-L149.
- [11] Lund M, Ny L, Malmström RE, et al. Nitric oxide and endothelin-1 release after one-lung ventilation during thoracoabdominal esophagectomy. *Dis Esophagus*, 2013, 26(8): 853-858.
- [12] Sihag S, Kosinski AS, Gaissert HA, et al. Minimally invasive versus open esophagectomy for esophageal cancer: a comparison of early surgical outcomes from the society of thoracic surgeons national database. *Ann Thorac Surg*, 2016, 101(4): 1281-1288.
- [13] Lambertz R, Drinhaus H, Schedler D, et al. Perioperative management of transthoracic oesophagectomies: Fundamentals of interdisciplinary care and new approaches to accelerated recovery after surgery. *Anaesthesist*, 2016, 65(6): 458-466.
- [14] 王亚群, 王玲. 食管癌患者术后肺部感染的围术期影响因素分析. *临床麻醉学杂志*, 2017, 33(6): 550-553.

(收稿日期:2018-11-28)