

呼气末正压递增法肺复张对左胸微创冠状动脉旁路移植术患者血流动力学及呼吸力学的影响*

钱 敏 傅元豪^① 凌云鹏^① 徐 懋**

(北京大学第三医院麻醉科, 北京 100191)

【摘要】 目的 探讨呼气末正压(positive end-expiratory pressure, PEEP)递增法肺复张(alveolar recruitment maneuver, ARM)对左胸微创冠状动脉旁路移植术(minimally invasive direct coronary artery bypass grafting, MIDCABG)患者的血流动力学及呼吸力学的影响。**方法** 选取2019年1月~2020年12月我院择期MIDCABG 20例,术中采用肺保护性通气策略,在双肺通气(two-lung ventilation, TLV)和单肺通气(one-lung ventilation, OLV)时分别实施 PEEP 递增法 ARM, 观察 ARM 前后血流动力学、呼吸力学和氧合水平的变化。**结果** TLV 时, ARM 10 min 后患者氧分压及氧合指数较 ARM 前明显升高($t = 15.983, P = 0.000; t = 15.983, P = 0.000$), 混合静脉血氧饱和度明显升高($t = 14.606, P = 0.000$), 肺动态顺应性及静态顺应性显著增加($t = 8.452, P = 0.000; t = 3.612, P = 0.002$), 肺驱动压显著下降($t = 4.055, P = 0.001$)。TLV 时, ARM 过程中平均动脉压显著下降($F = 71.011, P = 0.000$), 并持续到 ARM 结束后 5 min($P = 0.004$); 心脏指数显著下降($P = 0.001$), 中心静脉压、平均肺动脉压、肺动脉楔压、肺循环阻力指数显著增加($P < 0.05$), ARM 结束后均逐渐恢复至基础水平($P > 0.05$)。OLV 时, ARM 10 min 后患者氧分压及氧合指数较 ARM 前明显升高($t = 11.535, P = 0.000; t = 11.535, P = 0.000$), 混合静脉血氧饱和度明显升高($t = 6.216, P = 0.000$), 肺动态顺应性及静态顺应性显著增加($t = 10.697, P = 0.000; t = 6.447, P = 0.000$), 肺驱动压显著下降($t = 8.556, P = 0.000$)。OLV 时, ARM 可引起平均动脉压显著下降($F = 75.692, P = 0.000$), 并持续到 ARM 结束后 5 min($P = 0.000$); ARM 过程中中心静脉压、平均肺动脉压、肺动脉楔压、肺循环阻力指数显著增加($P < 0.05$), 但 ARM 结束后 5 min 内均恢复至基础水平($P > 0.05$); OLV 时 ARM 对心脏指数无明显影响($F = 2.817, P = 0.069$)。**结论** MIDCAB 术中间断行 PEEP 递增法 ARM 可提高患者氧合水平, 改善组织缺氧, 增加肺顺应性, 对血流动力学影响短暂, 对肺复张安全有效。

【关键词】 肺复张; 肺保护通气; 微创冠状动脉旁路移植术

文献标识: A 文章编号: 1009-6604(2021)08-0710-06

doi: 10.3969/j.issn.1009-6604.2021.08.008

Effects of Alveolar Recruitment Maneuver With Incremental Positive End-expiratory Pressure on Hemodynamics and Respiratory Mechanics in Patients Undergoing Minimally Invasive Coronary Artery Bypass Grafting via Left Thoracotomy
Qian Min*, Fu Yuanhao, Ling Yunpeng, et al. * Department of Anesthesiology, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, China

Corresponding author: Xu Mao, E-mail: anae@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the effects of alveolar recruitment maneuver (ARM) with incremental positive end-expiratory pressure (PEEP) on hemodynamics and respiratory mechanics in patients undergoing minimally invasive coronary artery bypass grafting (MIDCABG) via left thoracotomy. **Methods** A total of 20 patients undergoing MIDCABG from January 2019 to December 2020 in our hospital were selected. Protective lung ventilation strategy was adopted during surgery, and ARM with incremental PEEP was implemented during both two-lung ventilation (TLV) and one-lung ventilation (OLV). Hemodynamics, respiratory mechanics and oxygenation levels before and after ARM were compared, respectively. **Results** During TLV, the oxygen

* 基金项目: 北京大学第三医院临床重点项目·培育探索项目(BYSY2016004)

** 通讯作者, E-mail: anae@163.com

① 心外科

partial pressure (PaO_2) ($t = 15.983$, $P = 0.000$), oxygenation index (OI) ($t = 15.983$, $P = 0.000$) and mixed venous oxygen saturation (SvO_2) ($t = 14.606$, $P = 0.000$) increased significantly 10 minutes after ARM; the pulmonary dynamic compliance (Cdyn) ($t = 8.452$, $P = 0.000$) and static compliance (Csta) ($t = 3.612$, $P = 0.002$) also increased significantly; the lung driving pressure (DP) decreased significantly ($t = 4.055$, $P = 0.001$). The mean arterial pressure (MAP) dropped during ARM ($F = 71.011$, $P = 0.000$) and remained decreased 5 minutes after ARM ($P = 0.004$). During ARM, the cardiac index (CI) decreased significantly ($P = 0.001$) and central venous pressure (CVP), mean pulmonary artery pressure (MPAP), pulmonary artery wedge pressure (PCWP), and pulmonary circulatory resistance index (PVRI) increased significantly ($P < 0.05$). All the above hemodynamic parameters returned to baseline values within 5 minutes after ARM ($P > 0.05$). During OLV, the PaO_2 ($t = 11.535$, $P = 0.000$), OI ($t = 11.535$, $P = 0.000$) and SvO_2 ($t = 6.216$, $P = 0.000$) increased significantly 10 minutes after ARM; the Cdyn ($t = 10.697$, $P = 0.000$) and Csta ($t = 6.447$, $P = 0.000$) also increased; the DP decreased significantly 10 minutes after ARM ($t = 8.556$, $P = 0.000$). The MAP decreased significantly with ARM ($F = 75.692$, $P = 0.000$) and remained decreased 5 minutes after ARM ($P = 0.000$). The CVP, MPAP, PCWP and PVRI increased significantly during ARM ($P < 0.05$) and returned to baseline values within 5 minutes after ARM ($P > 0.05$). The CI remained stable during OLV with the application of ARM ($F = 2.817$, $P = 0.069$). **Conclusions** ARM with incremental PEEP during MIDCAB increases patients' oxygenation levels and lung compliance, with a short-term impact on hemodynamics. ARM with incremental PEEP is safe and effective during MIDCAB.

【Key Words】 Alveolar recruitment maneuver; Protective lung ventilation; Minimally invasive coronary artery bypass grafting

术后肺部并发症 (postoperative pulmonary complications, PPCs) 是心脏手术预后不良的重要危险因素^[1]。随着微创技术的发展,微创冠状动脉旁路移植术 (minimally invasive direct coronary artery bypass grafting, MIDCABG) 在临床应用日益广泛^[2]。MIDCABG 术中需要采用单肺通气 (one-lung ventilation, OLV) 使左肺塌陷, 进一步增加围术期低氧血症和肺不张等 PPCs 的风险。以肺复张 (alveolar recruitment maneuver, ARM) 为重要干预措施的肺保护通气 (protective lung ventilation, PLV) 策略可以促进萎陷的肺泡复张, 改善氧合, 提高肺顺应性^[3], 但 Bautin 等^[4]报道 ARM 会引起心脏手术患者的血流动力学波动。如何实施 ARM, 目前尚无统一标准, 常见的方式包括压力控制性肺膨胀法、压力控制法和呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 递增法^[5]。PEEP 递增法 ARM 通过阶梯式增加气道压力, 可避免潮气量突然增大所致的容积伤^[6], 减少 ARM 过程中血流动力学波动^[7], 但其能否安全应用于行 MIDCAB 患者, 尚需临床研究证实。本研究旨在探讨 PEEP 递增法 ARM 对 MIDCABG 患者血流动力学及呼吸力学的影响, 评价其临床应用的安全性和有效性。

1 临床资料与方法

1.1 一般资料

本研究获得北京大学第三医院医学科学研究伦

理委员会审查批准 (批文号: 2016 医伦审第 291-01 号), 患者均签署知情同意书。病例选择标准: 择期行 MIDCABG 患者; 年龄 18 岁以上; 美国麻醉医师协会 (American Society of Anesthesiologists, ASA) 分级 II ~ III 级; 纽约心脏病学会 (New York Heart Association, NYHA) 心功能分级 I ~ III 级。排除标准: 体重指数 (body mass index, BMI) > 40.0 ; 有肺部手术史或呼吸功能不全、肺部感染、活动性哮喘; 术中更改手术方式; 严重肝肾功能不全; 术前或术中出现严重心律失常或严重血流动力学不稳定者; 急诊手术或休克患者; 进行性神经肌肉疾病; 术后二次手术者。根据预实验, ARM 可使双肺通气 (two-lung ventilation, TLV) 时 PaO_2 增加 40 mm Hg, 标准差为 55 mm Hg, 设双侧 $\alpha = 0.05$, 把握度为 90%, 失访率为 20%, 采用 PASS 软件计算样本量为 22 例。选取 2019 年 1 月 ~ 2020 年 12 月我院择期 22 例 MIDCABG 为研究对象, 1 例因麻醉诱导后出现过敏性休克、1 例因术后出血二次手术退出本研究, 共 20 例纳入本研究。男 13 例, 女 7 例。4 例前降支狭窄, 1 例前降支、对角支/中间支狭窄, 2 例前降支、回旋支狭窄, 5 例前降支、对角支/中间支、回旋支狭窄, 4 例前降支、回旋支、右冠状动脉狭窄, 3 例前降支、对角支/中间支、右冠状动脉狭窄, 1 例前降支、对角支/中间支、回旋支、右冠状动脉狭窄, 病变血管狭窄均 $> 70\%$ 。年龄 (60.7 ± 9.6) 岁。术前用力肺活量占预计值 $(86.6 \pm 12.5)\%$, 左心室射血分数

(68.86 ± 9.18)%。术前欧洲心脏手术危险评估系统低危 9 例,中危 8 例,高危 3 例。合并糖尿病 6 例,原发性高血压 10 例,脑血管疾病 4 例。既往陈旧性心肌梗死 7 例。

1.2 方法

采用标准化方案进行麻醉。患者入手术间后,开放外周静脉通道,常规监测脉搏氧饱和度、心率(heart rate,HR)。局麻下行桡动脉穿刺置管,监测有创动脉压。诱导前患者面罩吸入 100% 氧气 3 min,流量 6 L/min。麻醉诱导:静脉注射舒芬太尼 0.5 ~ 1.0 μg/kg,依托咪酯 0.15 ~ 0.3 mg/kg,丙泊酚 1 ~ 2.0 mg/kg,罗库溴铵 0.6 ~ 0.9 mg/kg。行左侧双腔气管导管插管,使用纤维支气管镜定位后行双肺机械通气(Drager Anestiva 4, Datex-Ohmeda Inc,美国)。经右颈内静脉或锁骨下静脉置入中心静脉导管(Arrow International Inc,美国)。经颈内静脉置入 Swan-Ganz 导管,采用 Vigilance II 监测仪(Edwards Lifesciences, Irvine, 美国)连续监测心脏指数(cardiac index, CI)。麻醉维持:吸入七氟烷 1.0% ~ 2.0%,维持脑电双频指数 40 ~ 60,间断给予舒芬太尼 0.3 μg/kg,罗库溴铵 0.4 mg/kg,根据术中情况增减剂量。在双肺和单肺通气期间采用容量控制通气,TLV 时潮气量(tidal volume, VT)设为 8 ml/kg, OLV 时 VT 设为 6 ml/kg(根据预计体重设置);PEEP 设为 5 ~ 6 cm H₂O,吸入氧浓度(fraction of inspiratory oxygen, FiO₂)为 60%,吸呼比为 1:2,吸气末暂停为 10%,调节呼吸频率维持呼气末二氧化碳分压在 35 ~ 45 mm Hg^[5]。术中采用血液回收系统进行自体血液回收,根据血压、心率和漂浮导管监测数据及吻合冠脉情况合理使用血管活性药物(包括硝酸甘油、去甲肾上腺素、去氧肾上腺素、多巴胺等),维持术中心率血压波动于术前基础值 ± 30% 内。单肺通气结束后采用手法膨肺。手术结束后,更换双腔气管导管为单腔气管导管,转入 ICU 继续机械通气治疗。

气管插管 10 min 后 TLV 时、OLV 10 min 后实施 ARM:首先将通气模式改为压力控制,调整吸气压至 VT 达到容量控制模式时的 VT,将 PEEP 从 6 cm H₂O 调整到 10 cm H₂O,机械通气 2 min 评估血流动力学情况,如果平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、HR 或 CI 较上调 PEEP 前的基础值下降 20% 以上,暂不行 ARM,补充 3 ml/kg 乳酸林格氏液。血流动力学稳定后,在原有 PEEP 水平上每 5

次呼吸增加 5 cm H₂O,直到峰压达 40 ~ 45 cm H₂O,维持通气 10 次呼吸^[8]。ARM 结束后逐渐降低 PEEP 恢复至原通气方案。ARM 期间,通过漂浮导管及桡动脉置管连续监测血流动力学参数。进行 ARM 时,如果收缩压(systolic blood pressure, SBP)低于 90 mm Hg 或 MAP 较基础值下降 20% 以上,可给予去甲肾上腺素或去氧肾上腺素,并记录。

1.3 观察指标

ARM 前、ARM 时、ARM 结束后 5 min MAP、HR、中心静脉压(central venous pressure, CVP)、平均肺动脉压(mean pulmonary arterial pressure, MPAP)、肺动脉楔压(pulmonary capillary wedge pressure, PCWP)、CI。计算肺循环阻力指数(pulmonary vascular resistance index, PVRI)、体循环阻力指数(systemic vascular resistance index, SVRI):PVRI = 80 × (MPAP - PCWP)/CI, SVRI = 80 × (MAP - CVP)/CI。记录 ARM 时低血压(SBP < 90 mm Hg 或 MAP 较基础值下降 20% 以上)和血管活性药物应用情况。

记录 ARM 前、ARM 10 min 后 VT、气道峰压(maximum pressure, Pmax)和平台压(plateau pressure, Pplat),计算静态肺顺应性(static lung compliance, Csta)、动态肺顺应性(dynamic lung compliance, Cdyn)和驱动压(driving pressure, DP):Csta = VT/(Pplat - PEEP), Cdyn = VT/(Pmax - PEEP), DP = Pplat - PEEP。ARM 前、ARM 10 min 后分别抽取动脉血、肺动脉血检测肺动脉氧分压(partial pressure of oxygen, PaO₂)、混合静脉血氧饱和度(mixed venous oxygen saturation, SvO₂),计算氧合指数(oxygen index, OI), OI = PaO₂/FiO₂。

1.4 统计学处理

应用 SPSS18.0 统计学软件。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组内 2 个时点比较采用配对 *t* 检验,3 个时间点比较采用重复测量的方差分析, Bonferonni 法进行两两比较。P < 0.05 差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术情况

麻醉时间(348.0 ± 79.2)min, OLV 时间(168.9 ± 62.3)min,手术时间(230.7 ± 77.5)min。吻合血管桥(2.5 ± 1.3)支,出血量(326.7 ± 203.5)ml。2 例 ARM 期间因 SBP 低于 90 mm Hg,使用去氧肾上腺素 40 μg。术后机械通气时间(10.6 ± 5.0)h,术后监护病房时间(23.5 ± 11.8)h,总住院时间(16.0 ±

3.7)d。围术期均未发生急性呼吸窘迫综合征、新发心律失常及严重血流动力学不稳。

2.2 ARM 对呼吸力学和氧合水平的影响

在 TLV、OLV 时,相较于 ARM 前,ARM 10 min

后 PaO₂、OI 和 SvO₂ 显著升高 ($P < 0.05$),Pmax、Pplat、DP 显著下降 ($P < 0.05$),Cdyn、Csta 显著升高 ($P < 0.05$),见表 1、2。

表 1 ARM 在 TLV 时对呼吸力学和氧合水平的影响($\bar{x} \pm s, n = 20$)

时间	Pmax (mm Hg)	Pplat (mm Hg)	DP (mm Hg)	PaO ₂ (mm Hg)	OI (mm Hg)	SvO ₂ (mm Hg)	Cdyn (ml/cm H ₂ O)	Csta (ml/cm H ₂ O)
ARM 前	21.1 ± 3.1	18.5 ± 3.6	12.5 ± 3.6	241.6 ± 57.8	402.7 ± 96.2	76.4 ± 3.7	31.5 ± 6.9	39.0 ± 10.8
ARM 10 min 后	19.6 ± 2.8	16.9 ± 2.3	10.9 ± 2.3	274.8 ± 56.7	458.0 ± 94.5	78.7 ± 3.7	34.8 ± 7.4	43.7 ± 10.4
<i>t</i> 值	8.000	4.055	4.055	15.983	15.983	14.606	8.452	3.612
<i>P</i> 值	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002

表 2 ARM 在 OLV 时对呼吸力学和氧合水平的影响($\bar{x} \pm s, n = 20$)

时间	Pmax (mm Hg)	Pplat (mm Hg)	DP (mm Hg)	PaO ₂ (mm Hg)	OI (mm Hg)	SvO ₂ (mm Hg)	Cdyn (ml/cm H ₂ O)	Csta (ml/cm H ₂ O)
ARM 前	25.1 ± 2.9	22.2 ± 2.4	16.2 ± 2.4	107.9 ± 20.4	179.8 ± 33.9	72.9 ± 2.5	18.7 ± 4.1	22.0 ± 4.4
ARM 10 min 后	23.4 ± 2.6	20.5 ± 2.5	14.5 ± 2.5	125.8 ± 24.7	209.6 ± 41.2	74.4 ± 2.3	20.6 ± 4.5	24.9 ± 5.8
<i>t</i> 值	12.921	8.556	8.556	11.535	11.535	6.216	10.697	6.447
<i>P</i> 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

2.3 ARM 对血流动力学的影响

TLV 时 ARM 对 HR 无显著影响 ($P > 0.05$)。ARM 过程中 MAP 明显下降 ($P < 0.001$),ARM 结束后 5 min 有所回升,但仍低于 ARM 前的基础水平 ($P < 0.05$);CI、SVRI 显著下降 ($P < 0.05$),ARM 结束后 5 min 内恢复至基础水平 ($P > 0.05$);MPAP、CVP、PCWP 及 PVRI 显著增加 ($P < 0.05$),ARM 结束后逐渐恢复至基础水平 ($P > 0.05$)。

OLV 时,ARM 对 HR、CI 无显著影响 ($P > 0.05$)。ARM 过程中 MAP、SVRI 明显下降 ($P < 0.001$),ARM 结束后 5 min 仍低于基础水平 ($P < 0.05$);MPAP、CVP、PCWP 及 PVRI 显著增加 ($P < 0.05$),ARM 结束后逐渐恢复至基础水平 ($P > 0.05$)。ARM 在 TLV、OLV 期间对血流动力学的影响见表 3、4。

表 3 ARM 在 TLV 时对血流动力学的影响($\bar{x} \pm s, n = 20$)

时间	HR (次/min)	MAP (mm Hg)	MPAP (mm Hg)	CVP (mm Hg)	PCWP (mm Hg)	CI (L · min ⁻¹ · m ⁻²)	SVRI (dyn · sec · cm ⁻⁵ · m ⁻²)	PVRI (dyn · sec · cm ⁻⁵ · m ⁻²)
ARM 前①	60.6 ± 12.2	81.8 ± 11.7	17.1 ± 3.3	7.3 ± 1.6	10.4 ± 2.7	2.5 ± 0.3	2426.1 ± 464.5	220.0 ± 60.3
ARM 中②	61.3 ± 12.5	69.8 ± 9.4	22.1 ± 3.4	9.5 ± 1.8	13.9 ± 2.2	2.4 ± 0.3	2043.6 ± 386.8	278.0 ± 81.1
ARM 结束后 5 min③	62.2 ± 12.0	78.0 ± 9.2	17.9 ± 3.3	7.4 ± 1.6	10.8 ± 2.4	2.5 ± 0.3	2310.8 ± 367.1	236.5 ± 65.7
<i>F</i> 值	0.839	71.011	75.739	88.732	74.689	13.049	41.525	12.832
<i>P</i> 值	0.440	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
<i>P</i> ₁₋₂ 值	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002
<i>P</i> ₁₋₃ 值	0.406	0.004	0.121	1.000	0.357	0.249	0.062	0.362
<i>P</i> ₂₋₃ 值	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.080	0.000	0.057

3 讨论

MIDCABG 术后肺部并发症发生率高 达 21.9%,是患者住院时间延长,医疗费用增加甚至死

亡率增加的危险因素^[9,10]。围术期多重打击可诱发 PPCs,包括全身麻醉后出现的肺不张、机械通气所致的气压伤和容积伤、OLV 后非通气肺的塌陷和再复张损伤以及外科创伤,病生理改变包括肺内分流、

表 4 ARM 在 OLV 时对血流动力学的影响($\bar{x} \pm s, n = 20$)

时间	HR	MAP	MPAP	CVP	PCWP	CI	SVRI	PVRI
	(次/min)	(mm Hg)	(mm Hg)	(mm Hg)	(mm Hg)	(L · min ⁻¹ · m ⁻²)	(dyn · sec · cm ⁻⁵ · m ⁻²)	(dyn · sec · cm ⁻⁵ · m ⁻²)
ARM 前①	64.9 ± 7.3	77.9 ± 6.8	19.8 ± 3.0	7.8 ± 1.8	12.9 ± 2.1	2.4 ± 0.3	2408.8 ± 292.4	239.1 ± 58.8
ARM 中②	64.3 ± 6.9	71.1 ± 6.3	22.0 ± 3.2	9.4 ± 1.8	14.1 ± 2.1	2.3 ± 0.3	2142.4 ± 284.9	272.6 ± 64.5
ARM 结束后 5 min③	66.1 ± 8.2	75.6 ± 6.4	19.4 ± 2.5	7.7 ± 1.6	12.3 ± 2.0	2.3 ± 0.3	2328.6 ± 256.2	244.0 ± 60.3
F 值	4.322	75.692	68.509	35.082	20.059	2.871	78.148	4.151
P 值	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.000	0.023
P ₁₋₂ 值	0.956	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.007
P ₁₋₃ 值	0.281	0.000	0.347	1.000	0.183		0.003	1.000
P ₂₋₃ 值	0.074	0.000	0.000	0.000	0.000		0.000	0.098

通气血流比失调、缺血再灌注损伤、局部和全身应激反应及炎性细胞因子释放等,最终导致肺部或全身并发症^[10,11]。在胸腔手术中及心脏手术后实施以 ARM 为主要干预手段的 PLV,可改善低氧血症,减少 PPCs 的发生率^[1,7,8,12,13]。ARM 通过暂时给予高于常规气道压力,使萎陷的肺泡复张,再配合适当的 PEEP,保持肺泡持续开放。ARM 对心血管功能的影响也给心脏手术中的麻醉管理带来挑战^[14]。因此,探究 ARM 对 MIDCABG 患者心肺功能的影响,对选择适宜 PLV 策略、改善患者预后具有积极意义。

控制性膨肺法、压力控制法和 PEEP 递增法等常见的 ARM 均可以有效复张肺泡,改善心脏术后患者的氧合水平和肺顺应性^[1,7,15]。PEEP 递增法操作过程中吸气压力不变,潮气量基本恒定,通过逐步增加 PEEP 来提高气道压力,可避免肺泡过度膨胀,减少肺泡损伤所致的炎性反应^[16],改善肺泡均一性^[14,17]。本研究结果显示,PEEP 递增法 ARM 联合中度 PEEP 能显著提高 TLV、OLV 时 PaO₂、OI 和 SvO₂ 水平,说明 ARM 能有效纠正低氧血症,提高机体氧输送,改善全身组织缺氧。此外,ARM 后肺部平台压与和驱动压显著降低,肺顺应性显著增加。驱动压为 VT 与呼吸系统顺应性的比值,代表肺泡应力。针对 TLV 和 OLV 的随机对照研究均证实,DP 降低与 PPCs 的减少显著相关^[13,18]。因此,对 MIDCABG 患者联合应用 ARM 和中等 PEEP,可以显著改善肺顺应性,避免肺过度膨胀或肺不张。

血流动力学波动是 ARM 的常见并发症^[14]。ARM 过程中,气道压显著增加,导致胸内压增加,通过压力传导,引起右房压力、肺循环阻力增加,静脉回流减少,从而导致心输出量(cardiac output, CO)下降。心脏手术患者心脏储备功能降低,术中压迫

心脏、钳夹主动脉等操作会加重肺循环淤血进一步引起 CO 下降。对心脏术后患者的研究显示,常见的 ARM 均可以引起 CO 显著下降,但 PEEP 递增法对血流动力学影响较小^[1,7,15]。MIDCAB 中应用 OLV 会增加低氧血症及高碳酸血症的风险,可导致 CO 进一步下降^[5]。因此,本研究采用对循环影响较小的 PEEP 递增法^[7],在 ARM 前将 PEEP 增加到 10 cm H₂O,观察其对血压的影响,并进行循环容量的优化。本研究结果显示 MAP 在 ARM 期间显著下降,ARM 结束后慢慢回升,但 5 min 后仍低于 ARM 前的基础水平。值得注意的是,TLV 时 ARM 可引起 CI 短暂下降,5 min 内恢复至基础水平;在 OLV 时 ARM 对 CI 无明显影响,与之前 ARM 可引起 OLV 期间 CI 下降的报道并不一致^[12,19]。可能的原因包括:①OLV 时 ARM 对胸内压的影响仅能通过非手术侧的胸膜传导到肺血管和右心房,对 CI 的影响较为轻微且短暂,之前的研究采用经食道超声或 Flotrac 系统,可实时监测 SV 值并据此计算即时的 CI 值,本研究中采用的热稀释法需要数分钟才能测量出 CI,因此,热稀释法未能及时反映出 ARM 时 CI 的动态变化;②热稀释法是测定 CO 的金标准,相对于其他 2 种方法的准确性更高^[20,21]。

肺循环阻力是右室后负荷的主要决定因素。肺不张肺泡压迫肺泡外血管,肺泡过度膨胀压迫肺泡内血管,均导致 PVRI 增加,引起右心功能障碍^[8]。一项对心脏 CABG 患者的随机对照试验显示,术后行 ARM 可以减少肺不张发生率,ARM 后即刻行经食道超声检查发现 PVRI 下降,右室射血分数显著增加^[8]。Celebi 等^[7]研究显示 ARM 可减少心脏术后的肺不张,但 ARM 15 min 后 PVRI 较前无明显改变。ARM 结束后 5 min, PVRI 较复张前无显著变化,说明 ARM 对 PVRI 的影响较为短暂,但 ARM

30 min 后患者的肺顺应性仍显著增加,提示 ARM 可以通过减少肺泡萎陷,在一定程度上减轻心脏手术后的右心功能损伤。

本研究存在一些局限性。首先,本研究通过前后自身对照研究,证实在 MIDCAB 术中实施 ARM 的有效性和安全性,但需要随机对照研究明确 ARM 是否可以减少 MIDCAB 患者 PPCs 发生率,不同的 ARM 对围术期肺部并发症和血流动力学的影响。此外,本研究采用固定的 PEEP 值,Belda 等^[13]研究显示通过滴定法获得个体化的最佳 PEEP 并联合 ARM,有利于实现最佳肺顺应性。因此,ARM 联合个体化滴定 PEEP 对 MIDCAB 患者肺顺应性的影响仍有待探索。

综上所述,MIDCAB 术中采取 PEEP 递增法 ARM 对改善患者氧合、提高肺顺应性具有显著效果,ARM 对血流动力学影响短暂,患者耐受性良好。实施 ARM 前进行血流动力学评估及优化,有利于保护循环功能,维持血流动力学稳定。

参考文献

- Costa Leme A, Hajjar LA, Volpe MS, et al. Effect of intensive vs moderate alveolar recruitment strategies added to lung-protective ventilation on postoperative pulmonary complications: A randomized clinical trial. *JAMA*,2017,317(14):1422-1432.
- 宫一宸,凌云鹏,张鲁锋,等.左胸小切口多支冠状动脉旁路移植术 244 例临床分析. *中华外科杂志*,2020,58(5):363-368.
- O' Gara B, Talmor D. Perioperative lung protective ventilation. *BMJ*,2018,362:k3030.
- Bautin AE, Mazurok VA, Osovskikh VV, et al. Hemodynamic effects of the alveolar recruitment maneuver in cardiosurgical patients with left ventricular systolic dysfunction. *Anesteziol Reanimatol*, 2014,59(6):43-48.
- Kidane B, Choi S, Fortin D, et al. Use of lung-protective strategies during one-lung ventilation surgery: a multi-institutional survey. *Ann Transl Med*,2018,6(13):269.
- Tusman G, Böhm SH, Warner DO, et al. Atelectasis and perioperative pulmonary complications in high-risk patients. *Curr Opin Anaesthesiol*,2012,25(1):1-10.
- Celebi S, Köner O, Menda F, et al. The pulmonary and hemodynamic effects of two different recruitment maneuvers after cardiac surgery. *Anesth Analg*,2007,104(2):384-390.
- Longo S, Siri J, Acosta C, et al. Lung recruitment improves right ventricular performance after cardiopulmonary bypass: A randomised controlled trial. *Eur J Anaesthesiol*,2017,34(2):66-74.
- Raja SG, Garg S, Rochon M, et al. Short-term clinical outcomes and long-term survival of minimally invasive direct coronary artery

- bypass grafting. *Ann Cardiothorac Surg*,2018,7(5):621-627.
- Hsu H, Lai HC, Liu TJ. Factors causing prolonged mechanical ventilation and peri-operative morbidity after robot-assisted coronary artery bypass graft surgery. *Heart Vessels*,2019,34(1):44-51.
- Rogers CA, Pike K, Angelini GD, et al. An open randomized controlled trial of median sternotomy versus anterolateral left thoracotomy on morbidity and health care resource use in patients having off-pump coronary artery bypass surgery: the Sternotomy Versus Thoracotomy (STET) trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*,2013,146(2):306-316. e301-e309.
- Rauseo M, Mirabella L, Grasso S, et al. Peep titration based on the open lung approach during one lung ventilation in thoracic surgery: a physiological study. *BMC Anesthesiol*,2018,18(1):156.
- Belda J, Ferrando C, Garutti I. The effects of an open-lung approach during one-lung ventilation on postoperative pulmonary complications and driving pressure: a descriptive, multicenter national study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*,2018,32(6):2665-2672.
- Young CC, Harris EM, Vacchiano C, et al. Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *Br J Anaesth*,2019,123(6):898-913.
- Nielsen J, Østergaard M, Kjaergaard J, et al. Lung recruitment maneuver depresses central hemodynamics in patients following cardiac surgery. *Intensive Care Med*,2005,31(9):1189-1194.
- Kim HJ, Seo JH, Park KU, et al. Effect of combining a recruitment maneuver with protective ventilation on inflammatory responses in video-assisted thoracoscopic lobectomy: a randomized controlled trial. *Surg Endosc*,2019,33(5):1403-1411.
- Xia F, Pan C, Wang L, et al. Physiological effects of different recruitment maneuvers in a pig model of ARDS. *BMC Anesthesiol*, 2020,20(1):266.
- Park M, Ahn HJ, Kim JA, et al. Driving pressure during thoracic surgery: A randomized clinical trial. *Anesthesiology*, 2019, 130(3):385-393.
- Cinnella G, Grasso S, Natale C, et al. Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand*,2008,52(6):766-775.
- Suehiro K, Tanaka K, Yamada T, et al. The ability of the Vigileo-FloTrac system to measure cardiac output and track cardiac output changes during one-lung ventilation. *J Clin Monit Comput*,2015,29(3):333-339.
- Estagnasié P, Djedaini K, Mier L, et al. Measurement of cardiac output by transesophageal echocardiography in mechanically ventilated patients. Comparison with thermodilution. *Intensive Care Med*,1997,23(7):753-759.

(收稿日期:2021-02-09)

(修回日期:2021-06-01)

(责任编辑:李贺琼)