

不同麻醉通气方法在胸外科微创手术培训中的应用与比较

刘意抒¹, 赵善民², 蔡丽萍³

(1. 海军军医大学第三附属医院医学模拟中心, 上海 200438; 2. 海军军医大学基础医学院实验动物学教研室, 上海 200433; 3. 海军军医大学第一附属医院临床教育中心, 上海 200433)

[摘要] **目的** 对比单肺通气和小潮气量双肺通气麻醉方法在实验猪胸外科微创手术培训中的应用效果和安全性。**方法** 将40例接受手术机器人胸外科手术的实验猪随机分为双肺通气组 ($n=20$) 和单肺通气组 ($n=20$)。双肺通气组施行单腔气管插管, 术中使用小潮气量快呼吸频率联合二氧化碳气胸的麻醉通气方法。单肺通气组在纤维支气管镜引导下放置双腔支气管导管进行单肺通气。比较两组动物的麻醉实施指标, 包括术中心率 (heart rate, HR)、无创平均血压 (mean blood pressure, MAP)、呼气末二氧化碳 (end-tidal carbon dioxide, ETCO₂) 和血氧饱和度 (oxygen saturation, SpO₂) 等生命体征数值以及手术培训考核情况。**结果** 两组动物的插管成功率均为100%, 术中均无动物死亡。双肺通气组插管完成时间短于单肺通气组 ($P<0.001$)。组内比较中, 双肺通气组在胸科手术开始后30 min (T_1) 和手术完成时 (T_3) 的SpO₂含量显著高于手术开始60 min (T_2) ($P<0.05$), T_2 和 T_3 的ETCO₂、HR和MAP显著高于 T_1 ($P<0.05$); 单肺通气组中, T_1 和 T_3 的SpO₂含量显著高于 T_2 ($P<0.05$), ETCO₂含量随时间逐渐上升 ($P<0.05$)。在同一时间点的组间比较中, 双肺通气组的SpO₂含量在所有时间点 (T_1 、 T_2 、 T_3) 均显著高于单肺通气组 ($P<0.05$)。**结论** 单肺通气和双肺通气的麻醉方法都具有对术中动物生命体征的影响可控且对手术操作培训的影响较小的优点, 皆可满足胸外科手术机器人培训需求。单肺通气在肺叶切除术中体验感更好, 而使用小潮气量双肺通气的麻醉方法较单肺通气具有实施简便、无需额外购置设备的优点, 可作为实验猪胸腔镜手术时的一种麻醉补充选择。

[关键词] 实验猪; 麻醉; 胸腔镜手术; 气道管理; 手术机器人培训

[中图分类号] R-332 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5817(2024)01-0097-08



Application and Comparison of Different Anesthetic Ventilation Methods in Minimally Invasive Thoracic Surgery Training

LIU Yishu¹, ZHAO Shanmin², CAI Liping³

(1. Medical Simulation Center of the Third Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200438, China; 2. Department of Laboratory Animal Science, College of Basic Medical Sciences, Naval Medical University, Shanghai 200433, China; 3. Clinical Education Center of the First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China)

Correspondence to: CAI Liping (ORCID: 0009-0003-5485-5506), E-mail: ccg9115@126.com

[ABSTRACT] **Objective** To compare the effectiveness and safety of one-lung ventilation and small tidal volume two-lung ventilation anesthesia methods in the training of minimally invasive thoracic surgery on experimental pigs. **Methods** Forty experimental pigs undergoing robotic thoracic surgery were randomly divided into two groups: two-lung ventilation group ($n=20$) and one-lung ventilation group ($n=20$). The two-lung ventilation group underwent single-lumen tracheal intubation, utilizing a small tidal volume with a fast respiratory rate combined with carbon dioxide pneumothorax for anesthesia ventilation during the operation. The one-lung ventilation group received one-lung ventilation using a double-lumen bronchial catheter placed under fiberoptic bronchoscopic guidance. The anesthesia implementation indexes from

[第一作者] 刘意抒(1988—), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 医学模拟教育、院校教育。E-mail: yishu1128@163.com。ORCID: 0009-0002-2989-4557

[通信作者] 蔡丽萍(1983—), 女, 硕士, 主管技师, 研究方向: 实验动物应用研究、医学模拟教育。E-mail: ccg9115@126.com。ORCID: 0009-0003-5485-5506

the two groups were compared, including the values of vital signs such as operative heart rate (HR), noninvasive mean blood pressure (MAP), end-tidal carbon dioxide (ETCO₂), and oxygen saturation (SpO₂), as well as the assessment of surgical training performance. **Results** The intubation success rate for animals in both groups was 100%, with no intraoperative deaths. The intubation completion time was significantly shorter in the two-lung ventilation group compared to the one-lung ventilation group ($P < 0.001$). Within each group, SpO₂ levels were significantly higher in the two-lung ventilation group at 30 minutes after the start of thoracic surgery (T₁) and at surgery completion (T₃) compared to 60 minutes after the start of surgery (T₂) ($P < 0.05$). ETCO₂, HR, and MAP were significantly higher at T₂ and T₃ compared to T₁ ($P < 0.05$). In the one-lung ventilation group, SpO₂ levels were significantly higher at T₁ and T₃ compared to T₂ ($P < 0.05$), while ETCO₂ levels gradually increasing over time ($P < 0.05$). In the between-group comparisons at the same time points, SpO₂ levels of the two-lung ventilation group were significantly higher than those of the one-lung ventilation group at all time points (T₁, T₂, T₃) ($P < 0.05$). **Conclusion** Both one-lung ventilation and two-lung ventilation anesthesia methods are effective and safe for use in surgical training, with controllable effects on intraoperative animal vital signs and minimal impact on surgical operation training, meeting the needs of robotic thoracic surgery training. One-lung ventilation provides a better experience during pneumonectomy procedures, while small tidal volume two-lung ventilation is easier to implement and does not require additional equipment purchase, making it a feasible supplemental anesthesia option for thoracoscopic surgery on experimental pigs.

[Key words] Experimental pig; Anesthesia; Thoracoscopy surgery; Airway management; Surgical robot training

达芬奇手术机器人凭借对肺癌、食管癌、纵隔肿瘤等手术治疗的显著优势^[1],在胸外科手术领域日益被广泛应用。因此,外科医生使用手术机器人的培训需求也逐年攀升。在进行胸外科专项训练时,通常使用实验猪模拟患者,进行机器人胸腔镜下肺叶切除术、淋巴清扫等操作。按照培训要求,兽医需迅速确定适用于胸腔镜的麻醉方案,维持培训过程中动物生命体征稳定,同时要确保手术视野。2017年国内首个达芬奇手术机器人国际培训中心在海军军医大学第一附属医院正式投入使用^[2],这是国内第一家使用实验猪进行达芬奇手术机器人标准化培训的平台。然而如何选择符合机器人胸腔镜下动物麻醉培训需求的麻醉方法,尚无可供参考的资料。为了填补这一领域的空白,本研究选取了40例手术机器人胸外科专项培训用猪,探讨人体临床上应用的单肺通气和双肺通气麻醉模式^[3-6]在实验猪胸腔镜手术中的应用效果,以期寻求更适合实验猪胸腔镜手术的麻醉策略,从而提高实验猪胸腔镜手术的安全性和动物福利水平。

1 材料与方法

1.1 实验动物

雌性实验用长白猪40头,3月龄,体质量为

(28±3) kg,购自上海甲干生物科技有限公司[SCXK(沪)2020-0006],饲养与实验均在海军军医大学实验动物中心普通级实验室[SYXK(沪)2022-0011]进行。所有动物健康状态良好,适应性饲养14 d且检疫合格后施行胸腔镜手术培训。按照数字表法随机将动物分为双肺通气组和单肺通气组,每组各20例。实验时两组动物体重分别为(29.55±0.80) kg和(29.70±0.72) kg,组间无明显差异($P > 0.05$)。本研究通过长海医院医学伦理委员会实验动物伦理审查并批准[CHEC(A.E)2023-012]。

1.2 实验药品与设备

舒泰50(注射用盐酸替来他明盐酸唑拉西泮)规格为替来他明125 mg+唑拉西泮125 mg(批号BN8KM7A,法国Virbac公司);硫酸阿托品注射液规格为2 mL:1 mg(批号20220312,上海全宇生物科技驻马店动物药业有限公司);兽用异氟烷规格为100 mL(批号20211101,江苏恒丰强生物技术有限公司);托芬那酸注射液规格为50 mL:2 g(批号202209161,山东信得科技股份有限公司);氯化钾注射液规格为10 mL:1 g(批号20220504,吉林省华牧动物保健品有限公司)。实验设备包括动物专用呼吸麻醉机(迈瑞EX20-Vet);生命体征监护仪(迈瑞BeneView T5);气

腹机系统（德国STORZ公司，26430520-1）；支气管镜（日本Olympus公司，cv-290）；单腔气管导管（柯惠医疗，6.5号，批号2230444FED）；双腔气管导管（柯惠医疗，32Fr/Ch-10.7mm，批号202106317X）；听诊器及达芬奇手术机器人Si系统（美国Intuitive Surgical公司，Da Vinci Si IS3000型）。

1.3 麻醉药品、用量及实验方法

两组实验猪术前禁食12 h，禁水4 h。麻醉实施前20 min经肌内注射0.04 mg/kg阿托品注射液。颈后肌内注射0.4 mg/kg舒泰进行镇定和麻醉诱导，待动物失去抵抗力后采取仰卧位固定于动物用手术床。开放耳缘静脉通路，肌内注射8 mg/kg托芬那酸注射液施行镇痛，经尿道放置导尿管。持续监护动物的心率（heart rate，HR）、无创平均血压（mean blood pressure，MAP）、呼气末二氧化碳（end-tidal carbon dioxide，ETCO₂）和血氧饱和度（oxygen saturation，SpO₂）等生命体征数值。手术结束后，调节异氟烷浓度至最高6%至少5 min，待动物进入深度麻醉后静脉注射1 g/kg氯化钾注射液实施安乐死。所有动物尸体按规定进行无害化处理。

1.3.1 双肺通气组

实验猪经口插入单腔气管导管，门齿深度24~26 cm，使用听诊器确定导管置入肺内位置，连接动物麻醉机进行麻醉维持。胸科手术操作前使用常规双肺通气，设置潮气量10~15 mL/kg，通气频率12~15次/min，呼吸比1:2。胸科手术时先暂停机械通气，开放气道后注入压力设定值为4~6 mmHg（1 mmHg=0.133 kPa）的CO₂实现人工气胸，待右侧肺塌陷后与呼吸麻醉机连接，调整为小潮气量双肺通气模式，设置潮气量4~6 mL/kg，呼吸频率20~22次/min，呼吸比1:2，异氟烷浓度2%~3%。

1.3.2 单肺通气组

实验猪经口插入左侧双腔支气管导管，利用纤维支气管镜引导确定左双腔支气管导管球囊的位置，于侧管开口处能够看到气管隆嵴及部分支气管内套囊标注为插管成功。胸科手术时开放右侧气道，注入压力设定值为4~6 mmHg的CO₂，待右侧肺完全塌陷后，封堵右侧肺通气，施行左侧肺通气模式，潮气量设置为7~9 mL/kg，频率15~18次/min，呼吸比1:2，2%~3%异氟烷进行麻醉维持。

1.4 观察指标

比较两组动物麻醉插管完成时间（min）、插管成

功率（%）、人工气胸建立后15 min（T₁）、30 min（T₂）及手术完成（T₃）时的HR、MAP、ETCO₂和SpO₂等生命体征数值，以及手术过程中机械臂碰撞次数（次）、术中出血量（mL）、手术完成时间（min）、动物死亡率（%）和中转开胸率（%）等手术操作指标。

1.5 统计学方法

采用SPSS 26.0统计学软件进行数据分析，计量资料用平均数±标准差（ $\bar{x} \pm s$ ）表示。两组间比较采用独立样本 t 检验，两组内不同时间比较采用重复测量方差分析，组间比较采用Duncan检验，以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组动物麻醉实施效果比较

双肺通气组和单肺通气组各20只动物的体重差异无统计学意义，动物体型基本一致。2组动物的插管成功率均为100%（表1）。双肺通气组使用喉镜将气管导管经声门放入气管内，无需借助额外设备即可完成气管插管术，操作简便。因此，与使用纤维支气管镜定位的单肺通气组相比，双肺通气组的插管时间更短。统计学分析显示，两组之间的插管时间存在极显著差异（ $P < 0.001$ ）。

2.2 两组动物生命体征指标比较

在双肺通气组内不同时间下，人工气胸建立后15 min（T₁）和手术完成（T₃）的SpO₂含量显著高于人工气胸建立后30 min（T₂）（ $P < 0.05$ ）；T₂和T₃的ETCO₂含量、HR和MAP均显著高于T₁（ $P < 0.05$ ），但T₂和T₃之间差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。在单肺通气组内不同时间下，T₁和T₃的SpO₂含量显著高于T₂（ $P < 0.05$ ），但T₁和T₂之间差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）；ETCO₂含量随时间变化逐渐上升，各时间之间相比差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ）；但HR和MAP在不同时间下差异无统计学意义（ $P > 0.05$ ）（图1）。

在同一时间下，除双肺通气组的SpO₂含量在所有时间（T₁、T₂、T₃）均显著高于单肺通气组外（ $P < 0.05$ ），双肺通气组和单肺通气组之间的ETCO₂含量、HR、MAP差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）。

2.3 两组动物手术培训考核情况比较

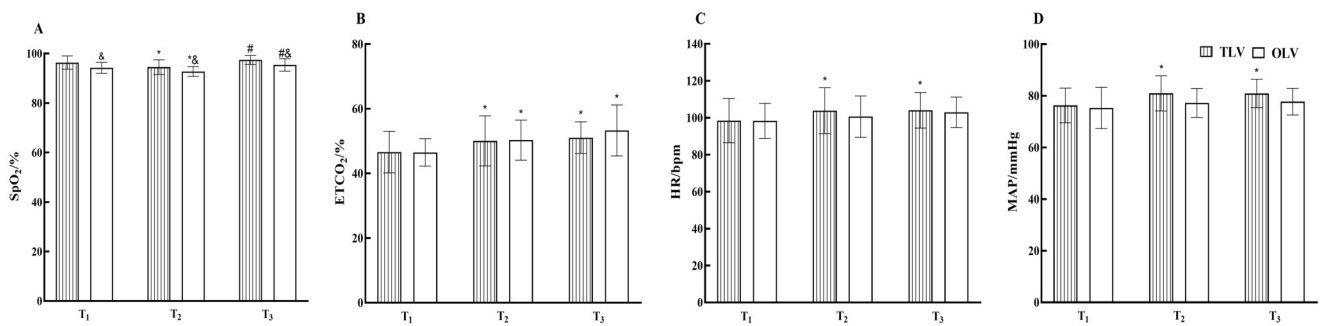
双肺通气组和单肺通气组的机械臂碰撞次数、手术时间、出血量差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）；2组间的死亡率和转开放手术率均为0%，差异也均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）（图2）。达芬奇手术机器人在操作过

表1 两组动物麻醉实施指标比较

Table 1 Comparison of anesthesia implementation indexes between two groups of animals

($\bar{x} \pm s$)

指标 Indexes	双肺通气组 (n=20) Two-lung ventilation group	单肺通气组 (n=20) One-lung ventilation group	t值	P值
动物体质量/kg Animal body weight/kg	29.55±0.80	29.70±0.72	0.625	0.535
插管用时/min Intubation time/min	5.25±1.30	14.35±3.27	-11.557	<0.001
插管成功率/% Intubation success rate/%	100±0	100±0	-	-



注：A~D，人工气胸建立后15 min (T₁)、30 min (T₂) 及手术完成 (T₃) 时的血氧饱和度 (SpO₂)、呼气末二氧化碳 (ETCO₂)、心率 (HR)、平均血压 (MAP) 数值结果。TLV为双肺通气组 (n=20)，OLV为单肺通气组 (n=20)。与T₁比较，*P<0.05；与T₂比较，#P<0.05；与TLV比较，&P<0.05。

Note: A-D, the numerical values of blood oxygen saturation (SpO₂), end-expiratory carbon dioxide (ETCO₂), heart rate (HR), and mean blood pressure (MAP) at 15 minutes (T₁), 30 minutes (T₂) after the establishment of artificial pneumothorax, and completion of surgery (T₃). TLV represents the two-lung ventilation group (n=20), while OLV represents the one-lung ventilation group (n=20). Compared with T₁, *P<0.05; Compared with T₂, #P<0.05; Compared with the TLV group, &P<0.05.

图1 两组动物的生命体征指标比较

Figure 1 Comparison of vital signs indices between two groups of animals

程中，由于视野受阻或操作空间狭小，机械臂碰撞的风险会增加，从而导致机器损坏或手术风险增加，甚至可能导致术中严重出血，迫使转为开放手术。本研究两组机械臂碰撞数据均较低且无明显差异，术中出血量和手术时间也未出现明显差异，表明两种麻醉通气方法均能提供良好的手术视野和操作空间。另外，两组动物的死亡率和术中转开放率均为0%，说明两种麻醉通气方法都能提供培训所需的操作空间。

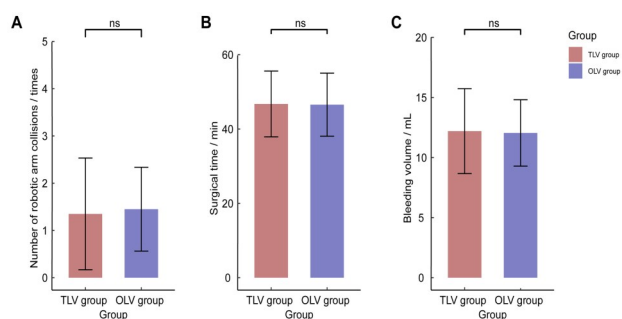
2.4 两组动物胸腔镜下手术视野比较

根据达芬奇手术机器人培训实施要求，动物在进行胸腔镜手术时应选择适当的麻醉通气方式，以确保手术视野充分暴露，并避免因视野被阻挡或操作空间狭小而增加机械臂碰撞次数或术中出血量。研究结果显示，两组机械臂碰撞数据均较低且无统计学意义的

差异，表明两种麻醉通气方法均能提供良好的手术视野和操作空间，对分离、切除等培训操作没有影响。具体视野如图3所示。在单肺通气中，由于完全封堵术侧肺通气，仅向对侧肺脏进行通气，因此术中术野不受通气因素的影响，能保持相对静止。而在双肺通气时，术侧肺脏采用小潮气持续通气模式，术侧肺脏虽未完全萎陷和静止，但未对手术操作造成不良影响。

2.5 手术机器人培训的实验猪麻醉策略与方法

两组动物手术数据对比证实了单肺通气或小潮气量双肺通气联合CO₂气胸模式都可满足培训麻醉需求，我们据此制定了适用于手术机器人培训的实验猪麻醉策略与方法，见图4。在完成动物麻醉诱导后，可以根据培训内容选择适合的动物麻醉通气方式。对于食管

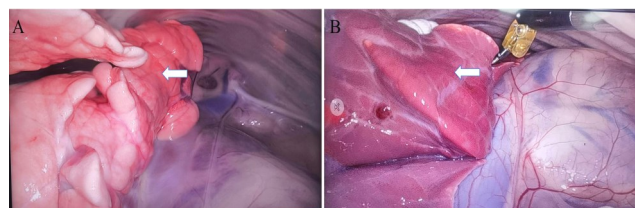


注：A~C，手术过程中机械臂碰撞次数（次）、手术时间（min）和出血量（mL）数值结果比较。TLV为双肺通气组（ $n=20$ ），OLV为单肺通气组（ $n=20$ ）。与双肺通气组相比， $^{ns}P>0.05$ 。

Note: A-C, the number of robotic arm collisions (times), surgical time (min), and blood loss (mL) during the surgical procedure. TLV represents the two-lung ventilation group ($n=20$), while OLV represents the one-lung ventilation group ($n=20$). $^{ns}P>0.05$, vs TLV group.

图2 两组动物手术培训考核情况比较

Figure 2 Comparison of surgical training assessment between the two groups of animal surgeries



注：A为双肺通气组胸腔镜下视野，其中白色箭头指示小潮气量通气模式下的肺叶。B为单肺通气组胸腔镜下视野，其中白色箭头指示已塌陷的肺叶。

Note: Figure A shows the view under thoracoscopy of the two-lung ventilation group, with the white arrow indicating the lung lobe under low tidal volume ventilation mode. Figure B shows the view under thoracoscopy of the one-lung ventilation group, with the white arrow indicating the collapsed lung lobe.

图3 两组动物胸腔镜下手术视野比较

Figure 3 Comparison of the thoracoscopic surgical field between the two groups of animals

切除术、纵隔淋巴清扫等对术侧肺塌陷和视野静止度要求不高的术式，可以选择双肺通气，并插入6.5号单腔气管导管。而对于部分肺叶切除术，可选择单肺通气，并插入32 Fr/Ch双腔支气管导管至左肺支气管，以获得术中相对静止稳定的视野。在进行胸腔手术前，两组都需要先暂停常规双肺通气，开放气道后实施二氧化碳气胸使术侧肺脏塌陷。双肺组调整通气方式，术中持续实施小潮气量快呼吸频率联合二氧化碳的麻醉通气方法。单肺通气组封堵右肺通气，实施左肺通气模式。术中持续监测动物的生命体征。完成培训后，调整异氟烷浓度至6%，持续至少5 min后，通过静脉

注射1 g/kg氯化钾实施安乐死术，统一采取无害化处理。

3 讨论

作为微创外科最先进的技术，以达芬奇机器人手术为代表的机器人辅助胸科手术凭借其高清立体的手术视野、高度灵活的机械臂和仿真手腕、有效滤除人手自然颤动等优势，在外科领域逐渐被认可并广泛应用^[7-9]。达芬奇手术机器人是目前国际上应用最广泛的手术机器人系统。该系统已在全世界范围内广泛应用于肺、食管、纵隔等胸外科常规手术，特别是在一些空间相对狭小的胸外科手术场景中可能优于传统胸科手术^[10]。手术机器人培训中心用实验猪模拟临床手术环境^[11]，对兽医麻醉操作时间、动物术中状态，以及充分暴露目标脏器提供手术视野等有一定要求。目前国内外对适用于手术机器人培训的实验动物麻醉方法和策略，尤其是胸腔镜下实验猪的麻醉，尚无可参考的文献或实施建议。

人体临床上的胸腔镜手术中一般采用双腔支气管插管的方式实现健侧单肺通气及术侧肺脏塌陷的麻醉方法，让手术视野暴露更充分，方便手术操作^[12-14]。但支气管导管定位不准确易造成患者术中出现低氧血症、气道压升高、CO₂蓄积等并发症^[15]，且双腔支气管插管的管体粗、放置位置深，必须使用纤维支气管镜辅助定位。该方法操作繁琐、耗时长，若无纤维支气管镜设备则成功率更低。另外在手术过程中因体位翻转可能导致导管移位，影响麻醉管理，严重时甚至影响手术治疗效果^[16-17]。近年来有文献报告，在胸腔镜手术中使用小潮气量双肺通气联合CO₂气胸的麻醉方法也可提供安全有效的气道管理。

本研究显示，双肺通气组和单肺通气组虽然插管成功率都是100%，但是双肺通气组只需要将单腔气管插管置入气管内，无需额外借助纤维支气管镜定位，操作较单肺通气组简便、用时短，两组间插管时间具有极显著统计学差异（ $P<0.001$ ）。在麻醉诱导过程中，迅速建立气管通道可满足培训要求，对于应对动物突发性呼吸骤停也具有重要作用，其能有效降低动物意外死亡率，保证动物福利。如图1所示，建立气管通道时间对SpO₂含量、ETCO₂含量、HR、MAP的影响明显（ $P<0.001$ ）；SpO₂含量在两组间比较差异明显（ $P<0.005$ ）；时间×组别的交互作用则对ETCO₂含量、HR、MAP的影响不明显（ $P>0.05$ ）。

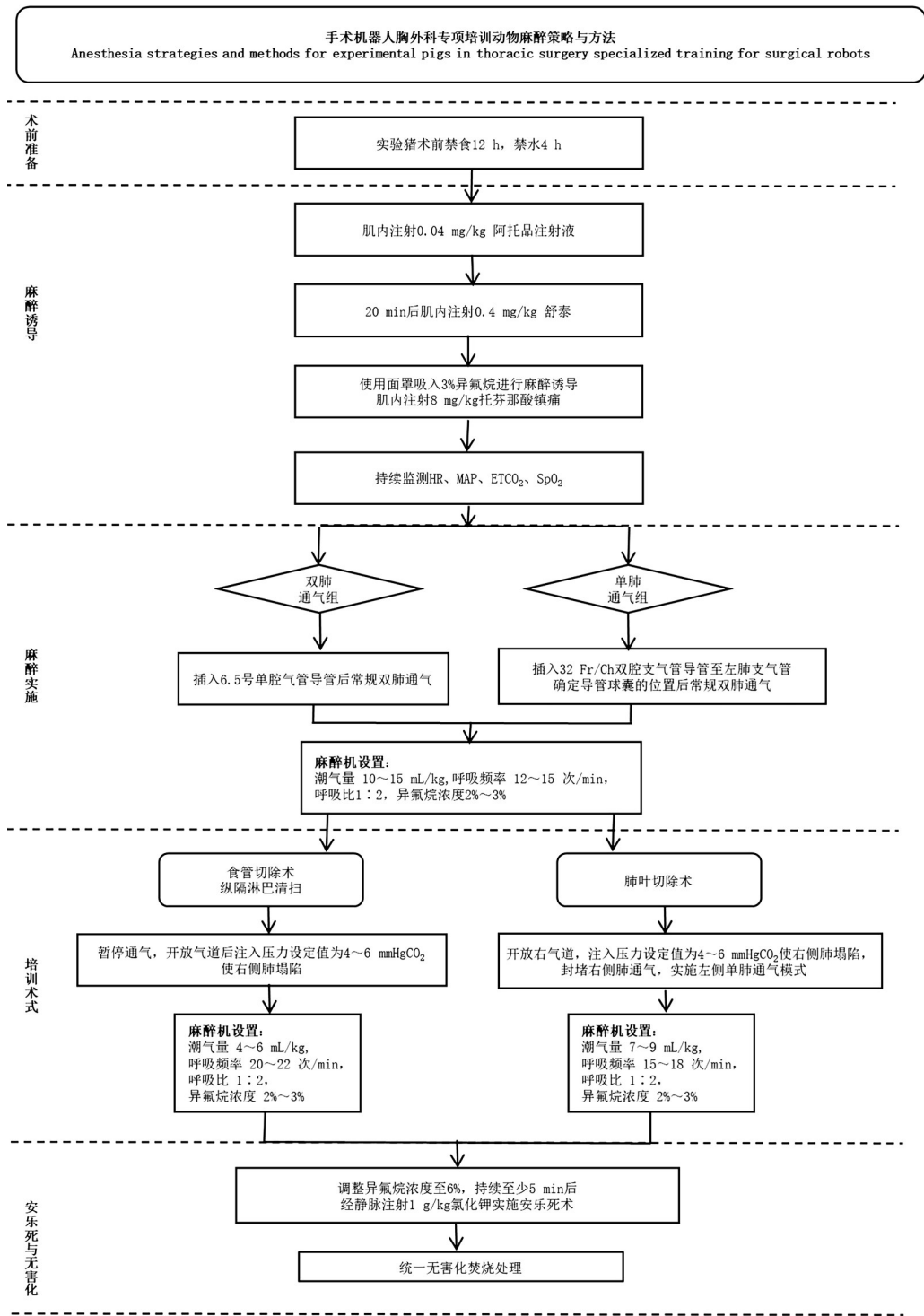


图4 手术机器人胸外科专项培训中实验猪的麻醉策略与方法

Figure 4 Anesthesia strategies and methods for experimental pigs in specialized training for robotic thoracic surgery

手术中两组动物的SpO₂都在人工气胸建立后30 min (T₂) 时下降 (P<0.05), 双肺通气组的SpO₂含量在所有时间段 (T₁、T₂、T₃) 均显著高于单肺通气组 (P<0.05)。SpO₂是血液中氧含量的估计值, 通过监护仪等设备采用非侵入性方法可方便持续估测氧血红蛋白

白相对于血液中血红蛋白总量的百分比值, 这是评估呼吸系统功能的重要指标。T₂时因部分肺组织切除造成肺功能受损, 机体处于高应激状态下, 释放大量的血管活性物质导致肺泡上皮和血管内皮通透性增高, 诱发大量炎症因子, 刺激呼吸中枢导致缺血缺氧^[18]。

本研究显示 T_2 时 SpO_2 值虽显著下降,但仍在安全范围内。双肺通气组因术侧部分仍有机械通气和血流供氧,较单肺通气组降低了低氧血症的发生率,因此双肺通气组同时时间段的 SpO_2 值高于单肺通气组。

两组动物的 $ETCO_2$ 值均随着时间变化逐渐上升,人工气胸建立后30 min (T_1)和手术完成(T_3)高于人工气胸建立后15 min (T_1) ($P<0.05$)。 $ETCO_2$ 作为一种新型的无创监测技术,被广泛应用于术中监护,通过监测能够直观地显示出患者的肺血流及通气状况,降低了不良事件的发生概率^[19]。手术中向胸腔内注入 CO_2 气体促使术侧肺脏塌陷,提供手术操作空间,在一定程度上会降低肺的顺应性,增加气道阻力和无效腔的气体量,从而导致通气障碍的发生^[20]。手术过程中胸腔内注入的 CO_2 经肺部创面吸收导致 $ETCO_2$ 值升高。两组动物的HR和MAP数值在同组的不同时间段内随着时间延长而增加 ($P<0.01$ 和 $P<0.05$),提示在术中动物出现了血流动力学指标的波动,其原因可能是胸腔压力的增加使心脏搏动产生压迫,继而出现HR代偿性增加。但总体分析,无论是HR还是MAP,都在正常可接受范围内,未引起循环障碍。由此可知,两组动物在术中的生命体征都符合培训要求。

两组动物的死亡率和术中转开放率都为0,说明两种麻醉通气方法是安全可行的。术中出血量和手术时间也未有明显差异,提示无论是双肺通气组还是单肺通气组都符合胸外科手术机器人培训的实施要求。

综上所述,实施单肺通气时,因术侧肺脏被封堵,术中未产生通气,因此在整个手术过程中得到清晰且相对静止的手术视野,且完全塌陷后的术侧肺脏体积小,占据术中视野较少,对于切除肺脏术的操作干扰较小,术者体验感更好,可作为肺叶切除术的首选麻醉方法。实施双肺通气时,使用单腔气管插管具有操作简单、完成插管耗时短、技术易掌握、无需添置额外纤维支气管镜设备等优势。术中持续通气的方法虽然可以提升动物的 SpO_2 ,但无法做到术侧肺脏相对静止,术者的体验感会比单侧通气组降低。在食管切除术或纵隔淋巴清扫等手术中,双肺通气方法对手术目标脏器的感官体验感影响不大且操作方便,可作为首选麻醉方法。

[医学伦理声明 Medical Ethics Statement]

本研究涉及的所有动物实验均已通过上海长海医院伦理委员会审查批准[CHec(A.E)2023-012]。所有实验过程均遵照中国实验动物相关法律法规条例要求进行。

All experimental animal protocols in this study were reviewed and approved by the Shanghai Changhai Hospital Ethics Committee[No.CHEC(A.E)2023-012]. All experimental procedures were performed in accordance with the requirements of laws and regulations in China related to experimental animals.

[作者贡献 Author Contribution]

刘意抒负责论文撰写、投稿及修稿;
赵善民负责实验方案构思与设计、数据分析与统计;
蔡丽萍负责实验实施与相关指标检测、论文中结果图的制作与修改、修稿。

[利益声明 Declaration of Interest]

所有作者均声明本文不存在利益冲突。

[参考文献 References]

- [1] 方学森,李少军,陈平,等. 机器人手术在胸外科的应用进展[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(3):235-239. DOI:10.12180/j.issn.2096-7721.2022.03.012.
FANG X S, LI S J, CHEN P, et al. Application progress of surgical robot in thoracic surgery[J]. Chin J Rob Surg, 2022, 3(3):235-239. DOI:10.12180/j.issn.2096-7721.2022.03.012.
- [2] 李建萍,刘意抒,蔡丽萍,等. 达芬奇手术机器人国际培训中心建设[J]. 解放军医院管理杂志, 2017, 24(12):1156-1158. DOI:10.16770/j.cnki.1008-9985.2017.12.016.
LI J P, LIU Y S, CAI L P, et al. Construction of the da vinci surgical robot international training center[J]. Hosp Adm J Chin People's Liberation Army, 2017, 24(12):1156-1158. DOI:10.16770/j.cnki.1008-9985.2017.12.016.
- [3] 张维峰,殷国平,邓友明,等. 小潮气量肺保护性通气策略在胸腔镜下行肺结核纤维板剥脱术患者的应用价值[J]. 江苏医药, 2022, 48(9): 935-938. DOI: 10.19460/j. cnki. 0253-3685.2022.09.017.
ZHANG W F, YIN G P, DENG Y M, et al. Application value of protective strategy of low tidal volume lung ventilation in patients undergoing pulmonary tuberculosis fiberboard exfoliation under thoracoscopy[J]. Jiangsu Med J, 2022, 48(9): 935-938. DOI:10.19460/j.cnki.0253-3685.2022.09.017.
- [4] 张幸. 胸腔镜食管癌根治术采用小潮气量快频率双肺通气联合右美托咪定效果观察[J]. 辽宁医学杂志, 2022, 36(2):12-15.
ZHANG X. Thoracic mirror esophageal cancer cure using low tide gas volume fast frequency double lung ventilation combined right metometomoto effect observation[J]. Med J Liaoning, 2022, 36(2): 12-15.
- [5] 孙清超,程虎,宗亮,等. 双肺通气联合 CO_2 气胸对胸腹腔镜食管癌根治术患者血气分析及血流动力学的影响[J]. 实用临床医药杂志, 2022, 26(1): 67-70. DOI: 10.7619/jcmp.20213678.
SUN Q C, CHENG H, ZONG L, et al. Influence of bipulmonary ventilation combined with CO_2 pneumothorax on blood gas analysis and hemodynamics in patients with thoracoscopic radical resection for esophageal cancer [J]. J Clin Med Pract, 2022, 26(1): 67-70. DOI: 10.7619/jcmp.20213678.
- [6] 张梦,刘妹女,张焕焕,等. 肺开放通气策略对胸腔镜肺癌根治术

- 老年患者术后认知功能的影响[J]. 中国医药, 2023, 18(3): 360-364. DOI: 10.3760/j.issn.1673-4777.2023.03.009.
- ZHANG M, LIU M N, ZHANG H H, et al. The effect of open-lung approach on postoperative cognitive function in elderly patients undergoing thoracoscopic lung cancer radical surgery[J]. China Med, 2023, 18(3): 360-364. DOI: 10.3760/j.issn.1673-4777.2023.03.009.
- [7] 贾昱欣, 张亚杰, 李鹤成. 机器人手术在胸外科的应用现状与进展[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(5):367-375. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2022.05.003.
- JIA Y X, ZHANG Y J, LI H C. Applications and advances of robotic surgical system in thoracic surgery[J]. Chin J Rob Surg, 2022, 3(5): 367-375. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2022.05.003.
- [8] 李艳君, 谭祥秀. 机器人辅助胸腔镜手术在胸外科的应用现状及展望[J]. 中国医学创新, 2023, 20(15): 170-174. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4985.2023.15.041.
- LI Y J, TAN X X. Application status and prospect of robot-assisted thoracoscopic surgery in thoracic surgery[J]. Med Innov China, 2023, 20(15): 170-174. DOI: 10.3969/j.issn.1674-4985.2023.15.041.
- [9] 陈康, 阿布都买拉木·阿布都吾甫尔, 马金山, 等. 机器人与胸腔镜手术治疗早期肺癌的疗效对比[J]. 新疆医学, 2022(10):1139-1144, 1174.
- CHEN K, ABUDUMAILAMU A, MA J S, et al. Comparison about efficacy between Robot-assisted and thoracoscopic radical operation of early stage lung cancer[J]. Xinjiang Medical Journal, 2022(10):1139-1144, 1174.
- [10] 马洪海, 胡坚. 发展前进中的胸外科手术机器人[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2022, 3(1):1-3, 85. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2022.01.001.
- MA H H, HU J. Advancing thoracic surgical robot[J]. Chin J Rob Surg, 2022, 3(1): 1-3, 85. DOI: 10.12180/j.issn.2096-7721.2022.01.001.
- [11] 刘意抒, 蔡丽萍, 李建萍, 等. 达芬奇手术机器人培训开展情况分析[J]. 解放军医院管理杂志, 2018, 25(7):652-654. DOI: 10.16770/j.cnki.1008-9985.2018.07.016.
- LIU Y S, CAI L P, LI J P, et al. Analysis and thinking on the development of da vinci surgical robot training project[J]. Hosp Adm J Chin People's Liberation Army, 2018, 25(7):652-654. DOI: 10.16770/j.cnki.1008-9985.2018.07.016.
- [12] 吕艳辉. 纤维支气管镜引导下双腔支气管导管插管在胸外科手术麻醉中的应用效果[J]. 中国医药指南, 2021, 19(15):55-56. DOI: 10.15912/j.cnki.gocm.2021.15.022.
- LYU Y H. Application effect of double-cavity bronchial catheter intubation guided by fiberoptic bronchoscopy in thoracic surgical anesthesia[J]. Guide China Med, 2021, 19(15): 55-56. DOI: 10.15912/j.cnki.gocm.2021.15.022.
- [13] 买买提艾力·阿不都哈得尔. 双腔支气管插管在胸外科手术麻醉中的应用价值分析[J]. 临床合理用药杂志, 2020, 13(23):165-167. DOI: 10.15887/j.cnki.13-1389/r.2020.23.079.
- MAIMAITIALI A. Application value analysis of double-lumen bronchial intubation in thoracic surgery anesthesia[J]. Chin J Clin Ration Drug Use, 2020, 13(23): 165-167. DOI: 10.15887/j.cnki.13-1389/r.2020.23.079.
- [14] MARCHANT B E, MILLER S A, ROYSTER R L. Cerebral desaturation and one-lung ventilation[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2021, 35(2):551-554. DOI: 10.1053/j.jvca.2020.09.098.
- [15] 杜素贞, 王茜, 马洪涛, 等. 胸腔镜手术中可视双腔支气管导管插管学习曲线的建立[J]. 中国现代医药杂志, 2021, 23(5):58-60.
- DU S Z, WANG Q, MA H T, et al. Establishment of learning curve for intubation of visual double-lumen bronchial catheter in thoracoscopic surgery[J]. Mod Med J China, 2021, 23(5):58-60.
- [16] 史志国, 韩毅, 高广阔, 等. 可视双腔支气管导管在肥胖患者单肺通气中的应用效果观察[J]. 实用临床医药杂志, 2021, 25(10):37-39, 44. DOI:10.7619/jcmp.20211361.
- SHI G Z, HAN Y, GAO G K, et al. Observation on effect of visual double-lumen bronchial catheter in one-lung ventilation of obese patients[J]. J Clin Med Prac 2021, 25(10): 37-39, 44. DOI:10.7619/jcmp.20211361.
- [17] 王植, 李汝泓, 杨雷. 全麻诱导期机械通气不同吸呼比对氧储备的影响[J]. 世界复合医学, 2022, 8(10): 98-101. DOI: 10.11966/j.issn.2095-994X.2022.08.10.25.
- WANG Z, LI R H, YANG L. Effects of different breathing ratios of mechanical ventilation on oxygen reserve during induction of general anesthesia[J]. World J Complex Med, 2022, 8(10): 98-101. DOI: 10.11966/j.issn.2095-994X.2022.08.10.25.
- [18] 鲍巧珍, 姜宁宁, 黄麟英. ICU 脑梗死患者合并肺部感染的独立危险因素分析[J]. 中国公共卫生管理, 2022, 38(5):695-698. DOI: 10.19568/j.cnki.23-1318.2022.05.0032.
- BAO Q Z, JIANG N N, HUANG G Y. Analysis of independent risk factors of pulmonary infection in patients with cerebral infarction in ICU[J]. Chin J Public Health Manag, 2022, 38(5): 695-698. DOI: 10.19568/j.cnki.23-1318.2022.05.0032.
- [19] 丁丽红. 临床麻醉中呼气末二氧化碳分压监测的临床应用及意义[J]. 中国现代药物应用, 2018, 12(16):69-70. DOI: 10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2018.16.040.
- DING L H. Clinical application and significance of monitoring end-expiratory carbon dioxide partial pressure in clinical anesthesia[J]. Chin J Mod Drug Appl, 2018, 12(16):69-70. DOI: 10.14164/j.cnki.cn11-5581/r.2018.16.040.
- [20] RIJKENHUIZEN A B M, LICHTENBERG D, WEITKAMP K. Cystic intra-abdominal testicles: standing laparoscopic removal in two colts[J]. Equine Vet Educ, 2020, 32(8): e130-e135. DOI: 10.1111/eve.13030.
- (收稿日期:2023-09-27 修回日期:2023-12-04)
(本文编辑:张俊彦, 富群华, 丁宇菁, 周烁)
- [引用本文]**
刘意抒, 赵善民, 蔡丽萍. 不同麻醉通气方法在胸外科微创手术培训中的应用与比较[J]. 实验动物与比较医学, 2024, 44(1): 97-104. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2023.135.
- LIU Y S, ZHAO S M, CAI L P. Application and comparison of different anesthetic ventilation methods in minimally invasive thoracic surgery training[J]. Lab Anim Comp Med, 2024, 44(1): 97-104. DOI: 10.12300/j.issn.1674-5817.2023.135.