

# 腹腔镜手术二氧化碳气腹的生理效应和肺功能保护的研究进展

冯继峰(综述)

基金项目: 广西壮族自治区卫生厅自筹经费科研课题(编号:Z2010104)

作者单位: 530003 南宁, 广西妇幼保健院麻醉科

作者简介: 冯继峰(1968-), 女, 硕士研究生, 副主任医师, 研究方向: 小儿及妇产科麻醉。E-mail: fengma98@yahoo.com.cn

**[摘要]** 二氧化碳气腹能改善腹腔镜手术的显露, 减少术中损伤, 但气腹会对身体诸多器官系统产生影响, 甚至带来严重后果。该文综述了腹腔镜手术中二氧化碳气腹的生理效应及围术期的肺功能保护的研究进展。

**[关键词]** 气腹; 生理效应; 肺功能保护

**[中图分类号]** R 616 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1674-3806(2011)04-0387-04

doi:10.3969/j.issn.1674-3806.2011.04.38

**The physiological effects of carbon dioxide pneumoperitoneum during laparoscopic surgery and lung function protection** FENG Ji-feng, Department of Anesthesiology, Guangxi Maternity and Child Health Care Hospital, Nanning 530003, China

**[Abstract]** Carbon dioxide pneumoperitoneum can distend the peritoneal space and reduce risk of intraoperative injuries of abdominal viscera. Its disadvantage is that it would have an impact on many organ systems of the body, and even lead to serious consequences. This article reviews the physiological effects of carbon dioxide pneumoperitoneum during laparoscopic surgery and lung protective measures during perioperative period.

**[Key words]** Pneumoperitoneum; Physiologic effect; Lung function protection

自 1987 年法国人 Mouret 完成第 1 例腹腔镜胆囊切除术以来, 腔镜技术因其手术效果好、术后患者疼痛少、康复快等优点, 在普外、泌尿外和妇科得到广泛应用。为改善显露和减少术中损伤, 腹腔镜手术中需建立气腹。CO<sub>2</sub> 气体不爆炸、不助燃、在血中溶解度高成为临床上常用的充气介质。但腹腔内充入 CO<sub>2</sub> 气体后, 会产生呼吸、循环及内分泌的改变, 了解这些改变对保证腹腔镜手术期间病人的安全有重要意义。

## 1 二氧化碳气腹对生理功能的影响

**1.1 CO<sub>2</sub> 气腹对呼吸功能的影响** CO<sub>2</sub> 气腹对呼吸功能的影响主要包括对通气功能、动脉血氧合和机体内环境的影响。

**1.1.1 对通气功能的影响** CO<sub>2</sub> 气腹建立后, 腹内压(IAP)的增高引起膈肌上移, 加上腹腔内脏器的推压, 导致膈肌上移固定且运动受限, 胸廓扩张受限, 肺容量减少, 功能残气量下降, 肺顺应性下降, 气

道压力显著增加, 影响通气功能, 导致低氧血症和高碳酸血症的发生。在小儿, 由于肺容量低, 肺组织弹性纤维少, 使得闭合容量相对较大; 气道口径小、气道阻力大且分布不一致, 容易引起高气道压, 并造成气道阻力高的部分肺通气不足, 阻力低的部分肺通气过度, 使得气腹对小儿通气的影响更明显。CO<sub>2</sub> 气腹造成的 IAP 不同对呼吸功能的影响也不相同。Bannister 等<sup>[1]</sup>对年龄 < 1 岁的婴儿腹腔镜手术时进行肺动力学的研究发现, 小儿体重 < 5 kg 的气腹压控制在 12 mmHg, 体重 > 5 kg 的气腹压控制在 15 mmHg, 潮气量设定为 10 ~ 15 ml/kg, 结果显示, 气腹后最大吸气压(PIP)平均上升 18%, 肺顺应性(PC)平均下降 48%, 潮气量(V<sub>T</sub>)平均下降 33%, 90% 的患儿至少需要 1 次调整通气参数以便让 V<sub>T</sub> 和呼气末二氧化碳分压(P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>)回到基础值水平, 但当气腹压为 5 mmHg 时, 所有参数与基础值相比无明显的临床变化, 表明 CO<sub>2</sub> 气腹对小儿肺机械学的影响

非常明显,这种变化与气腹造成腹内压增高直接相关。腹腔镜手术所采取的特殊体位也会影响通气功能。平卧位时,肺功能正常患者功能残气量(FRC)下降,胸肺顺应性( $C_{TOT}$ )可显著下降30%~50%<sup>[2]</sup>;头低位时顺应性降低达到最大值,使肺底部易发生微小的肺不张,死腔量增加,影响通气功能,导致高碳酸血症和低氧血症。

**1.1.2 对氧合的影响** 气腹通过干扰肺内气体分布和通气/血流比例而影响机体氧合。一般情况下,肺顺应性和气道阻力决定了肺内的气体分布是否均匀,顺应性越高或气道阻力越低则气体的分布越均匀。气腹时IAP增高,肺底部发生的微小肺不张,使气体主要分布于血流较少的上肺,从而造成通气/血流比值(V:Q)失调。Halachmi<sup>[3]</sup>等观察到在小儿气腹压为12 mmHg时,气腹后动脉血氧分压( $PaO_2$ )、动脉血氧饱和度( $SaO_2$ )及经皮血氧饱和度( $SpO_2$ )低于气腹前。但大多数的研究报道,心肺功能正常者,气腹前后 $PaO_2$ 和 $SaO_2$ 虽有波动,但差异无统计学意义。Nguyen<sup>[2]</sup>报道,对氧合功能正常者,气腹的影响并不明显,但氧合功能障碍的患者,仍具有缺氧的危险。如果术中低氧血症难以纠正,建议中转开腹完成手术。

**1.1.3 对动脉血气和酸碱平衡的影响**  $CO_2$ 气腹建立后,腹膜对 $CO_2$ 的吸收是导致体内 $CO_2$ 水平急剧改变的主要原因。腹腔首次充入 $CO_2$ 后, $CO_2$ 经腹膜吸收入血,吸收率30 min达70 ml/min,30~70 min达90 ml/min<sup>[4]</sup>,受 $CO_2$ 分压差、弥散性能、与腹膜接触面积和腹膜血流灌注等因素影响。绝大部分 $CO_2$ 溶解和存储在血液里, $PaCO_2$ 进行性升高<sup>[5]</sup>,在建立气腹后15~30 min达到高峰并维持下去。动物实验表明, $CO_2$ 的吸收量与腹膜对 $CO_2$ 的接触面积相关,当腹内压低于1.33 kPa时, $CO_2$ 吸收量与腹内压成正比;高于1.33 kPa则线性关系消失,吸收量不再继续增加而至平台,这是由于此时腹膜对 $CO_2$ 的接触面积已达最大限度,腹内压继续增高,接触面积不会因此而再扩大。在小儿,腹膜面积相对于成人较大, $CO_2$ 的吸收更快,更容易导致婴幼儿体内 $CO_2$ 的潴留<sup>[6]</sup>。Pennant<sup>[7]</sup>研究认为,小儿毛细血管和腹膜之间的距离很小,腹膜吸收的区域大,使 $CO_2$ 吸收较多,且与体重有关系。 $CO_2$ 气腹引起的高碳酸血症主要是由于 $CO_2$ 的可溶性、腹腔和血液之间 $CO_2$ 的压力梯度使腹膜对 $CO_2$ 的吸收迅速增加,加上机体代谢产生的 $CO_2$ 多于肺对 $CO_2$ 的排出,造成了吸收与排除的不平衡。在小儿, $CO_2$ 的腹

膜吸收明显增多,加上高腹内压对呼吸功能的影响,使得高碳酸血症更为明显。另外,气腹可发生气胸、皮下气肿和气体栓塞等并发症。这些因素一旦发生将严重影响呼吸功能,必要时应终止气腹转为开腹手术或终止手术。

**1.2  $CO_2$ 气腹对循环功能的影响** 气腹对循环的影响表现为影响外周血管阻力(后负荷)、静脉回流(前负荷)、心脏功能等方面,从而引起血流动力学的改变。一般有下列改变<sup>[8]</sup>:平均动脉压和心率增加、外周血管阻力增加、左室收缩末室壁压和左室充盈压升高、心指数和每搏量下降。气腹时IAP增加,静脉血管壁受压,静脉阻力上升,从而影响静脉回流,使体循环阻力增加,血压增高,心脏后负荷增大;膈肌的上抬引起胸内压的升高,静脉回流受阻,回心血量减少,心输出量减少,反射性引起交感活性增加,造成平均动脉压及心率增加。气腹引起的高碳酸血症间接刺激颈动脉体、主动脉化学感受器,使血浆中儿茶酚胺、去甲肾上腺素、皮质醇、多巴胺、抗利尿激素及血管加压素都明显升高<sup>[9]</sup>,引起外周血管收缩,兴奋心血管系统。由于解剖生理特点,小儿的循环功能储备差,手术中血压心率变化明显,尤其是婴幼儿,心肌顺应性较成人差,Frank-starling机制不明显,维持心输出量的有效途径是增加心率,麻醉偏浅容易造成心率加快,甚至有室上速等心率失常的可能。 $CO_2$ 气腹时小儿的安全范围较窄,心肺对增加的前、后负荷的反应能力较弱<sup>[10]</sup>。气腹对小儿循环的影响主要是因高碳酸血症和腹内压的增高,还与患儿的年龄、注气速率、注气容量、手术体位和心血管状态有关<sup>[11]</sup>。心肺功能及血容量也会影响体内 $CO_2$ 水平。有研究<sup>[12]</sup>将心肺功能不同的患者分组观察 $PaCO_2$ 及pH值变化,结果心肺功能正常病人气腹前后比较无明显差别,而心肺功能有损害者 $PaCO_2$ 明显上升。低血容量病人,在心输出量降低的基础上,增高的腹内压可使心输出量进一步下降,从而影响体内 $CO_2$ 向肺的输送,影响 $CO_2$ 的排除。

**1.3  $CO_2$ 气腹对应激反应的影响** 应激反应的强弱与年龄、手术范围、创伤程度有关,以下丘脑-垂体-靶腺的改变为主。腹腔镜手术能缩短应激反应的时间,组织损伤程度轻,降低代谢反应,更好的保护氮平衡和机体的免疫功能。在 $CO_2$ 气腹期间,由于腹内压增加,气道压力升高及 $CO_2$ 吸收入血,激发神经系统、内分泌系统和心血管系统反应<sup>[13]</sup>,通过中枢神经系统介导,经下丘脑-垂体-肾上腺系统启动肾上腺皮质反应,引起神经内分泌激素的释放;

高碳酸血症可导致神经系统兴奋,儿茶酚胺等缩血管物质释放,使外周血管收缩,造成血流动力学改变。儿茶酚胺还能使肺动脉压升高,增加肺毛细血管通透性和肺泡-动脉血氧分压,影响通气/血流比值,出现通气和换气功能障碍。目前大多数的研究认为,与传统开腹手术相比腹腔镜手术应激反应较轻<sup>[14]</sup>。

## 2 腹腔镜围术期发生肺损伤的相关因素

**2.1 围术期肺损伤的因素** 机械通气、内源及外源性刺激物和炎性介质<sup>[15]</sup>、缺血缺氧、高浓度氧吸入、输血等因素均可造成围术期的肺损伤。机械通气性肺损伤,也称呼吸机所致肺损伤(VLI),是围术期最常见且研究得最多的肺损伤因素。VLI可分为容积伤、压力伤、不张伤和生物性损伤。容积伤是通气容量过大导致的肺泡的过度扩张,影响肺泡表面活性物质、增加肺泡气液面的表面张力,是机械通气诱导肺损伤的直接原因;气压伤主要见于高气道压机械通气导致的张力性气胸、纵膈气肿,平台压是气压伤的正相关压力,低于30 cmH<sub>2</sub>O时气压伤发生率极低,高于35 cmH<sub>2</sub>O时气压伤的发生率明显增高<sup>[16]</sup>;不张伤是由反复的末梢呼吸道开放和闭合产生的剪切力造成的损伤;生物伤是由以上不适当的机械通气,肺泡内炎症细胞募集、活化并释放炎性介质和细胞因子引起的肺损伤。

**2.2 腹腔镜围术期发生肺损伤** 气腹对肺容量、功能残气量、肺顺应性和气道阻力的进一步影响在理论上不利于肺功能的保护,是影响呼吸功能基础上的机械通气所造成。为了及时排出体内过多的CO<sub>2</sub>,需维持足够的通气量,降低呼吸末二氧化碳,减轻气腹及高碳酸血症对机体的影响,多采用机械通气控制呼吸,尤其是小儿。CO<sub>2</sub>气腹期间,腹内压的增高可造成膈肌上抬、肺功能残气量减少,使本已在正压通气的气道压增加一倍达22~31 mmHg,这种超高压状态下的机械通气使得生理状态负压吸气的肺组织增加了气压伤、容积伤等肺损伤的可能性<sup>[17]</sup>。在机械通气期间,每次正压通气使肺泡开放,潮气量越大其开放趋势越明显,而送气停止则肺泡回缩,肺泡萎陷越明显则呼气与吸气的容量差越大,剪切力越大。肺功能残气量(FRC)的生理意义除了维持呼气时气体交换,还有避免呼吸时吸气与呼气之间因肺泡容积相差过大以及因不同肺区域之间顺应性的显著差别所致的剪切力,而剪切力是VLI的主要机理之一。VLI病理改变决定了在实施机械通气时采用正常或较高水平的通气容量或通气

压力,将无法避免高肺泡压或高肺泡容量,从而引起肺泡外出现气体以及弥漫性肺损伤和肺泡-毛细血管膜通透性增加所致的渗透性肺水肿<sup>[18]</sup>。

## 3 腹腔镜围术期肺保护策略

围术期各种因素导致肺损伤的方式不同,但肺损伤的病理生理改变和发生机理相似,即机械性和生物学性肺损伤,因此减少机械性和生物学性肺损伤成为肺保护的主要手段<sup>[19]</sup>。

**3.1 机械通气肺保护策略** 限制潮气量、降低气道压力、增加呼气末正压通气(PEEP)及容许性高碳酸血症等都可能对肺保护作用。在腹腔镜手术期间,由于CO<sub>2</sub>气腹常致PaCO<sub>2</sub>升高,为消除高二氧化碳血症对呼吸循环的影响,需要适当增加通气量。公式 $MV = V_T \times f$ 告诉我们,可以通过增加潮气量和(或)增加呼吸频率来提高通气量。文献报道<sup>[20]</sup>,潮气量过大,气道压过高,可致气管支气管损伤,术后将引起肺呼吸功能不全。Gattinoni等<sup>[21]</sup>建议使用8~10 ml/kg的潮气量。王宏宇等<sup>[22]</sup>的研究认为气腹期间可采用恒定的低潮气量和较快的呼吸频率通气,以保护肺功能。不同的通气方式会产生不同的气道压力。有研究<sup>[23]</sup>对压力控制通气(PCV)与容量控制通气(VCV)进行比较,PCV时平台时间长,相同的呼吸频率和吸气时间,控制相同的 $P_{ET}CO_2$ 前者有更低的气道峰压就能满足通气。当 $V_T$ 不变时,VCV和PCV的不同之处就在于峰流速和气流模式。PCV采取的是减速气流,在吸气初期气体流速较高,随着肺泡内压力的上升,气流呈指数递减,至吸气末期,肺泡内压(Palv)与气道内压达到平衡,气流停止,从而使气道压不会超过预设水平。PCV可防止局部肺泡过度充气,使肺泡内压不致过高,从而减少肺损伤的发生<sup>[24]</sup>。PEEP可保持肺在呼气末的开放,使肺泡在较高的功能残气量开始扩张,从而避免肺在吸气和呼气间大幅度的张缩以及减少两个相邻不同肺顺应性的肺区之间因吸呼大幅度变化的影响,减小剪切力,使肺得到保护。适当的高碳酸血症对肺有保护作用,使其损伤减轻,其机理可能与肺组织抗氧化能力增强,脂质过氧化物损伤减轻等因素有关<sup>[25]</sup>。

**3.2 生物学性肺损伤的肺保护策略** 采取药物为主的干预和防止措施,限制或调整炎症反应,避免生物性损伤。在临床工作中,许多医师采用糖皮质激素来预防或减轻肺损伤,这已被证明有一定的临床有效性。其原因是激素通过抑制相关基因的转录,减少炎性细胞因子产生,减轻炎症反应。利多卡因

能作用于中性粒细胞,参与炎症反应的多个环节,抑制中性粒细胞向受伤组织迁移、代谢和与内皮细胞粘附<sup>[26]</sup>,减轻急性炎症反应和多种原因引起的肺损伤<sup>[27]</sup>。另外,抑肽酶、乌司他丁、西维来司钠等药物能抑制炎症因子的产生或分泌,减轻或避免炎性介质导致的肺损伤。

## 参考文献

- Bannister CF, Brosius KK, Wulkan M. The effect of insufflation pressure on pulmonary mechanics in infants during laparoscopic surgical procedures [J]. Paediatr Anaesth, 2003, 13(9): 785 - 789.
- Nguyen NT, Wolfe BM. The physiologic effects of pneumoperitoneum in the morbidly obese [J]. Ann Surg, 2005, 241(2): 219 - 226.
- Halachmi S, El-Ghoneimi A, Bissonnette B, et al. Hemodynamic and respiratory effect of pediatric urological laparoscopic surgery: a retrospective study [J]. J Urol, 2003, 170(4 Pt 2): 1651 - 1654.
- 艾登斌. 简明麻醉学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 267 - 290.
- 余守章, 主编. 微创手术麻醉学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 19 - 22.
- 庄心良, 曾因明, 陈伯奎. 现代麻醉学[M]. 第3版. 北京: 人民卫生出版社, 2003: 1360 - 1365.
- Pennant JH. Anesthesia for laparoscopy in the pediatric patient [J]. Anesthesiol Clin North America, 2001, 19(1): 69 - 88.
- De Waal EE, Kalkman CJ. Haemodynamic changes during low-pressure carbon dioxide pneumoperitoneum in young children [J]. Paediatr J Anaesth, 2003, 13(1): 18 - 25.
- O'Leary E, Hubbard K, Tormey W, et al. Laparoscopic cholecystectomy: haemodynamic and neuroendocrine responses after pneumoperitoneum and changes on position [J]. Br J Anaesth, 1996, 76(5): 640 - 644.
- Wedgewood J, Doyle E. Anaesthesia and laparoscopic surgery in children [J]. Paediatr Anaesth, 2001, 11(4): 391 - 399.
- 曹月敏, 常迎斌, 王秋生, 等. 腹腔镜外科学[M]. 石家庄: 河北科技出版社, 1999: 84.
- Wittgen CM, Naunheim KS, Andrus CH, et al. Preoperative pulmonary function evaluation for laparoscopic cholecystectomy [J]. Arch Surg, 1993, 128(8): 880 - 885.
- Mikami O, Kawakita S, Fujise K, et al. Catecholamine release caused by carbon dioxide insufflation during laparoscopic surgery [J]. J Urol, 1996, 155(4): 1368 - 1371.
- Streich B, Decailliot F, Perney C, et al. Increased carbon dioxide absorption during retroperitoneal laparoscopy [J]. Br J Anaesth, 2003, 91(6): 793 - 796.
- Yoshimura S, Nishimura Y, Nishiuma T, et al. Overexpression of nitric oxide synthase by the endothelium attenuates bleomycin - induced lung fibrosis and impairs MMP - 9/TIMP - 1 balance [J]. Respirology, 2006, 11(5): 546 - 556.
- 韩春姿, 席修明. 肺保护策略机械通气的再评价 [J]. 医学与哲学(临床决策论坛版), 2007, 28(2): 16 - 18, 56.
- 李占芳, 姜波, 吴一鸣, 等. 三因素三水平呼吸参数在腹腔镜手术全麻中的选用 [J]. 中国微创外科杂志, 2008, 8(2): 113 - 115.
- Pelosi P, Caironi P, Gattinoni L, et al. Pulmonary and extrapulmonary forms of acute respiratory distress syndrome [J]. Semin Respir Crit Care Med, 2001, 22(3): 259 - 268.
- 姚尚龙. 围手术期肺保护的基础与临床研究进展 [J]. 中华医学杂志, 2007, 87(19): 1304 - 1307.
- Nakashima O, Kojiro M. Recurrence of hepatocellular carcinoma: multicentric occurrence or intrahepatic metastasis? A viewpoint in terms of pathology [J]. J Hepatobiliary Pancreat Surg, 2001, 8(5): 404 - 409.
- Gattinoni L, Tognoni G, Pesenti A, et al. Effect of prone positioning on the survival of patients with acute respiratory failure [J]. N Engl J Med, 2001, 345(8): 568 - 573.
- 王宏宇, 史宏伟, 徐磊. 气腹时恒定潮气量通气对手术患者呼吸动态参数的影响 [J]. 山东医药, 2008, 48(28): 49 - 50.
- 周春波, 王霞民, 严海雅. 小儿腹腔镜手术对呼吸、循环及血气的影响 [J]. 现代实用医学, 2006, 18(1): 59 - 60.
- 叶振海. 定容和定压通气在急性肺损伤中的应用研究 [J]. 中国医师进修杂志, 2006, 29(34): 42 - 44, 46.
- Singleton KD, Serkova N, Beckey VE, et al. Glutamine attenuates lung injury and improves survival after sepsis: role of enhanced heat shock protein expression [J]. Crit Care Med, 2005, 33(6): 1206 - 1213.
- 梁继河, 朱云喜, 尹文, 等. 利多卡因对创伤性急性肺损伤时促炎性介质基因的调控和治疗作用 [J]. 中华实验外科杂志, 2000, 17(5): 448 - 450.
- Huang TK, Uyehara CF, Balaraman V, et al. Surfactant lavage with lidocaine improves pulmonary function in piglets after HCl-induced acute lung injury [J]. Lung, 2004, 182(1): 15 - 25.

[收稿日期 2010 - 10 - 12][本文编辑 谭毅 黄晓红]

## 《中国临床新医学》杂志编辑部启事

为了加强与市、县医疗单位的交流与合作,提高广大业务技术人员医学论文的写作水平,《中国临床新医学》杂志编辑部的有关专家将分期分批赴各市、县医疗卫生单位进行《医学论文写作》、《医学文献检索》和《医学统计学基本应用》等有关方面的学术讲课。各医疗卫生单位如有这方面的需求,敬请与编辑部联系。联系电话:0771 - 2186013。

· 本刊编辑部 ·