

# 腹腔镜手术中二氧化碳气腹对小儿呼吸循环的影响<sup>▲</sup>

郑剑秋 综述 冯继峰 审校

(广西壮族自治区妇幼保健院、儿童医院麻醉科,南宁市 530003)

【关键词】 二氧化碳;气腹;小儿;高碳酸血症;呼吸;循环

【中图分类号】 R 726.1 【文献标识码】 A 【文章编号】 1673-6575(2013)04-0488-04

腹腔镜手术(laparoscopic operation, LO)具有局部创伤小、全身应激反应轻、机体扰乱少、住院时间短等优点而在成年患者中广泛应用,在幼小儿童中的应用尚未普及。由于腹腔镜手术需要建立人工气腹和手术体位特殊,可导致呼吸、循环、神经内分泌等一系列生理改变,加之小儿的解剖和生理特点,各器官发育尚不成熟,给术中管理带来许多困难。目前,人工气腹首选的气体是二氧化碳(CO<sub>2</sub>),气腹可致动脉血二氧化碳分压(PaCO<sub>2</sub>)增加(高碳酸血症)和腹内压(intraabdominal pressure, IAP)增高,由此可导致一系列生理改变,本文就围术期CO<sub>2</sub>气腹对小儿呼吸循环的影响作一综述。

## 1 概述

腹腔镜外科起步于20世纪70年代,美国Gans和Berci用其诊断胆道闭锁和性腺发育异常<sup>[1]</sup>。1987年, Mouret完成了世界首例腹腔镜胆囊切除术后,电视腹腔镜便在成人外科广泛开展。目前,自动气腹机的电子测压、数字报警、脉冲补气、自调式气流过滤、高压自动排气及电灼-气体切换开关等高科技设置的配备,加上镜下分离、结扎、缝合等技术的成熟和高频电刀或超声刀的应用,使腹腔镜技术在小儿外科快速开展,多数小儿开腹手术已能安全地借助腹腔镜完成。又由于微型腹腔镜器械的不断出现和完善,其在新生儿和婴儿外科的应用也渐增多,腹腔镜技术正在改变新生儿外科疾病的传统观念及治疗方案,例如先天性巨结肠症和高位肛门直肠畸形已从传统的多次分阶段开腹手术变为在新生儿期腹腔镜一次完成手术。气腹是腹腔镜手术的必需环节,绝大多数情况下充入的气体是二氧化碳(CO<sub>2</sub>)。

## 2 小儿二氧化碳气腹的适应证和禁忌证

小儿腹腔镜手术的成功受许多因素的影响,如外科医师和麻醉医师的经验技术、手术器械的优劣、病变的复杂程度、麻醉监测及病儿的耐受性等。新生儿和婴幼儿

儿器官发育未成熟,解剖生理特点与年长儿不同,组织器官耐受力差,因此行腹腔镜手术首先要考虑患儿是否能耐受CO<sub>2</sub>气腹。

适于腹腔镜手术的病种术式有:幽门环肌切开术,胆囊切除术,胆总管扩张根治术,阑尾切除术, Meckel憩室切除术,脾切除术,肠套复位术,精索静脉曲张切除术,疝囊高位结扎术,胃底折叠术,苗勒氏囊肿切除术,肾盂成形术,肾切除术,肾上腺手术,巨结肠根治术,卵巢囊肿切除术,子宫切除术,肝、脾、肠和肿瘤活检术,胆管造影术。

有先天性心脏病的患儿,尤其伴有肺动脉高压者、凝血功能障碍者、肠梗阻、腹部巨大肿块、严重脊柱畸形、慢性阻塞性肺病及有颅内占位性病变者禁忌行腹腔镜手术。

## 3 CO<sub>2</sub>蓄积的影响

CO<sub>2</sub>不爆炸,不助燃,在血中溶解度高,很少发生栓塞,常用于建立人工气腹。研究发现<sup>[2]</sup>,在腹腔镜手术气腹过程中,CO<sub>2</sub>扩散到腹腔后经腹膜表面通过血流弥散入血液。小儿气腹初期30 min,肺内CO<sub>2</sub>量增加30%。Pervin等<sup>[3]</sup>报道2~14岁门脉高压者腹腔镜手术气腹30 min时PaCO<sub>2</sub>上升36.8%,而下腹部手术气腹30 min时PaCO<sub>2</sub>只上升17.8%。国内学者研究表明,2~10岁小儿气腹30min时PaCO<sub>2</sub>平均上升18.7%<sup>[4]</sup>。CO<sub>2</sub>的吸收与小儿年龄的大小、体重有一定的关系。年龄越小越易吸收,因为年龄越小尤其新生儿、婴儿的腹膜表面积相对于体重的比例更大<sup>[5,6]</sup>。Pennant<sup>[7]</sup>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,吸收CO<sub>2</sub>更充分。马海峰等<sup>[8]</sup>研究表明,CO<sub>2</sub>气腹对婴儿的影响大于对幼儿的影响。Mchoney等<sup>[9]</sup>发现,年龄越小、体重越轻的小儿对CO<sub>2</sub>的吸收越多。机体吸收CO<sub>2</sub>的途径除腹膜外,还有腹腔脏器的浆膜、大网膜、腹膜外组织;另外气腹针反复穿刺,气体可经扩大的腹膜破口漏入腹膜前间隙而被大量吸收。因此,CO<sub>2</sub>人工气腹时,CO<sub>2</sub>的吸收不可避免,关键是如何减少吸收,增加排出,以确保安全。

▲基金项目:广西医疗卫生重点科研课题(编号:2011061)

新生儿和婴幼儿的腹腔容量小,胃呈水平向横跨于上腹部,麻醉前哭闹或诱导面罩给氧等原因易致胃腔积气,加上膀胱常从盆腔伸至下腹部,因此腹腔镜操作时应特别小心。为最大限度地利用有限空间,可于术前置入胃管和尿管,排出气体和尿液,缩小胃和膀胱的体积。新生儿和小婴儿腹壁肌肉薄而松弛,术中 $\text{CO}_2$ 充盈压控制在6~8 mmHg,辅以使用肌松剂、腹壁缝线牵引、提吊等,可大大增加腹腔操作空间。

#### 4 气腹对呼吸功能的影响

腹腔镜手术时,人工 $\text{CO}_2$ 气腹对呼吸功能的影响多为肺顺应性及呼吸道压力的变化。小儿尤其新生儿和婴儿的解剖生理特殊,胸廓接近圆形,呼吸肌不发达,肋骨几成水平位,与脊柱成直角,呼吸运动主要靠膈肌升降维持,多呈腹式呼吸。人工气腹造成的腹内高压,加上腹腔脏器推挤,导致膈肌上移,腹式呼吸受限,肺容量减少,肺顺应性降低约30%~50%,气道阻力明显增加。Carolyn等<sup>[10]</sup>对婴儿腹腔镜手术呼吸力学的研究显示,气腹压控制在12~15 mmHg时吸气峰压升高18%,肺顺应性降低48%,潮气量降低33%,90%的患儿需调整通气参数使VT和 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 回到基础值水平,但当气腹压降至5 mmHg时,所有参数均不需要调整,表明 $\text{CO}_2$ 气腹造成腹内压增高对婴儿肺机械学的影响非常明显,是影响新生儿腹腔镜手术开展的一个重要因素。

腹腔镜手术的特殊体位也会影响患儿的呼吸功能,头高位时功能余气量和肺总量增加,有利于改善气体交换和氧合;而头低位时腹腔内容物的重力作用使膈肌上抬致肺顺应性降低,肺总量减少,不利于气体交换和氧合。总之,从理论上讲脚高头低位对呼吸功能的影响要比脚低头高位的影响大。Manner等<sup>[11]</sup>观察1~15岁小儿气管插管全麻机械通气,头低脚高位者吸气峰压增加19%,肺顺应性下降17%;当 $\text{CO}_2$ 气腹使腹内压达到12 mmHg时,吸气峰压增加32%,肺顺应性下降27%,小于3岁的小儿下降更低。国内学者<sup>[12]</sup>研究也发现,平卧位时气道峰压和平台压与气腹压呈正相关。相同气腹压时,头高位气道压较平卧位下降,而头低位时显著升高,这可能与头低位时腹腔脏器上移压迫膈肌有关。腹膜内或腹膜外 $\text{CO}_2$ 气腹可使膈肌移动性和呼吸有效性下降、呼气末二氧化碳(endtidal  $\text{CO}_2$ ,  $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ )增高。Halachmi等<sup>[13]</sup>研究发现,腹膜外气腹左侧卧位的 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 较右侧卧位明显增高,原因可能与左侧卧位时肝脏压迫膈肌和膈脾之间 $\text{CO}_2$ 储存袋形成有关。

#### 5 气腹对循环功能的影响

$\text{CO}_2$ 气腹对循环功能的影响主要表现在:①挤压心

脏,妨碍心脏舒缩;②胸腔内压升高,静脉回流降低,心输出量减少;③压迫腹主动脉及交感神经,血管收缩,末梢血管阻力增加;④腹内压升高,迷走神经反射引起心率减慢;⑤呼吸性酸中毒、缺氧、交感神经受刺激导致心律不齐。气腹对循环功能的影响主要是由于高碳酸血症和腹内压的增高,还与患儿的体位、手术时间、注气速率、注气容量、年龄和心血管状态有关<sup>[14]</sup>。

$\text{CO}_2$ 气腹可引起机体交感神经兴奋性的变化,从而导致血流动力学的改变。O'leary等<sup>[15]</sup>研究表明,腹内压增高及膈肌上抬引起胸内压增高,静脉回流受阻,回心血量减少,心输出量(cardiac output, CO)减少,可反射性引起交感神经兴奋性增高,心率增快。腹内压升高使肾血管受压,肾灌注减少,刺激肾素-血管紧张素-醛固酮系统分泌血管加压素,使平均动脉压、外周血管阻力升高<sup>[16]</sup>。

由于小儿的解剖生理特点, $\text{CO}_2$ 气腹时小儿的安全范围较窄,术中心率、血压变化明显。Sakka等<sup>[17]</sup>用食道超声心电图对8例2~6岁行腹腔镜下疝修补术的小儿进行血流动力学研究发现, $\text{CO}_2$ 气腹使腹内压上升到12 mmHg时,平均动脉压增高,心率和心指数降低,腹内压降至6 mmHg时,心指数可恢复到气腹前水平,说明心指数的改变与腹内压的大小有关。

小儿的心输出量与心率密切相关,心率降低将导致心输出量明显下降,这是因为小儿心肌的顺应性差,心脏代偿能力差,易因内脏刺激、缺氧等因素而发生心动过缓,进而降低心输出量。腹内压>10 mmHg时,下腔静脉和内脏血管受压,腹部及下肢的静脉回流减少,心排出量也减少;小儿血容量的变化可明显影响循环功能,因小儿心率较快,血容量不足时以加快心率来提高心输出量很困难,故术中维持血容量相当重要,气腹前应适当输注一定量的液体(10~20 ml/kg)来预防血流动力学发生剧烈变化<sup>[18]</sup>。

#### 6 气腹与高碳酸血症

6.1 引起高碳酸血症的原因 腹腔镜手术时 $\text{CO}_2$ 气腹引起高碳酸血症的主要原因是腹膜对 $\text{CO}_2$ 的吸收和机体代谢产生的 $\text{CO}_2$ 多于肺对 $\text{CO}_2$ 的排出量,是吸收与排出不平衡的结果。正常情况下,机体的 $\text{CO}_2$ 生成和排出处于动态平衡之中,血液和组织中的 $\text{CO}_2$ 含量相对恒定,即处于所谓的 $\text{CO}_2$ 稳态。 $\text{CO}_2$ 溶解度高,气腹时可经腹膜大量吸收入血,同时由于腹内压升高,影响膈肌的运动,潮气量减少, $\text{CO}_2$ 排出减少致使血中 $\text{CO}_2$ 浓度显著增高。当 $\text{PaCO}_2 > 5.99$  kPa(45 mmHg)时,即可发生高碳酸血症及酸中毒。Shout等<sup>[19]</sup>分别用 $\text{CO}_2$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 两种气体对猪进行气腹实验,血气分析发现,前者

PaCO<sub>2</sub> 增高,后者 PaCO<sub>2</sub> 不变。Ho 等<sup>[20]</sup>发现 CO<sub>2</sub> 气腹时,CO<sub>2</sub> 呼出量明显增加,但机体氧耗量并未发生改变,表明气腹时 CO<sub>2</sub> 排出量增加并非机体产生增多所致。Lister 等<sup>[21]</sup>在猪的实验中发现,当腹内压 < 10 mmHg 时,肺的 CO<sub>2</sub> 排出量随着腹内压的增高而增加,当腹内压 > 10 mmHg 时,PaCO<sub>2</sub> 的增加不再是由于腹膜对 CO<sub>2</sub> 的吸收增加引起,而是由于死腔通气增加所致。

6.2 高碳酸血症对机体的影响 高碳酸血症可降低心肌收缩力,增强交感神经的兴奋性,从而引起心律失常。高碳酸血症伴低氧血症使肺血管收缩、肺循环阻力增加、心脏射血分数降低,严重的高碳酸血症可直接抑制心血管中枢和扩张血管,导致血压下降、心肌收缩力下降、心率失常。高碳酸血症性酸中毒可引起脑血管扩张、脑水肿,致颅内压升高,尤其是存在颅内病变(颅内损伤、出血、占位性病变及脑血管病)时,病情更加严重。伴有组织低氧、细胞内酸中毒时可增加脑代谢率,血管内皮通透性增高,导致脑间质水肿。急性高碳酸血症还可降低肌张力,若膈肌的收缩力降低,可使患者的脱机时间延长<sup>[22]</sup>。

近年来,随着对呼吸系统病理生理了解的日益加深和重症监护技术的不断发展,人们逐渐认识到容许性高碳酸血症(permissive hypercapnia,PHY)这一概念。PHY 是指在用机械通气方法治疗呼吸衰竭患儿过程中,容许 PaCO<sub>2</sub> 有一定程度升高以避免大潮气量、高气道压过度通气引起的肺损伤。这种通气策略在临床上的应用已被广泛认可。Amato 等<sup>[23]</sup>报道,应用这种保护性通气策略产生的呼吸性酸中毒可以有效治疗成人呼吸窘迫综合征(ARDS),提高患者的存活率。

小儿腹腔镜手术中应用 CO<sub>2</sub> 气腹时,由于腹内压增高和体位改变对肺通气功能的影响,加之腹膜大量吸收 CO<sub>2</sub>,若仍维持常规呼吸机参数通气,可能就会引起高碳酸血症。此时的呼吸管理或选择增大分钟通气量,提高气道峰压,将 PaCO<sub>2</sub> 调至正常范围,或维持正常参数通气不变,容许一定时间、一定程度的高碳酸血症存在。Goldstein 等<sup>[24]</sup>报道 5 例高碳酸血症儿童,PaCO<sub>2</sub> 升至 155 ~ 269 mmHg, pH 值 6.76 ~ 7.10,连续 2 d 未出现低氧血症,仅有短暂神经抑制,表现为反应迟钝或意识淡漠。

腹腔镜手术 CO<sub>2</sub> 气腹对呼吸的影响较大,心肺功能正常的成人尚能很好地耐受腹内压增高、体位改变和高碳酸血症所引起的呼吸循环改变,其对小儿尤其婴幼儿的呼吸循环功能影响更明显,因此如何调整呼吸机参数,保证患儿手术安全,仍是学者们孜孜追求的目标。

## 参 考 文 献

- [1] Gans S, Berci G. Advances in endoscopy of infants and children [J]. *Pediatr Surg*, 1971, 6(3): 199.
- [2] Kazama T, Ikeda K, Kato T, et al. Carbon dioxide output in laparoscopic cholecystectomy [J]. *Br J Anaesth*, 1996, 76(7): 530 - 535.
- [3] Pervin B, Guner K, Yuksel Y, et al. Arterial carbon dioxide markedly increases during diagnostic laparoscopy in portal hypertensive children [J]. *Anesth Analg*, 2002, 95(10): 1236 - 1240.
- [4] 杜怀清, 许幸, 宋琳琳, 等. 二氧化碳气腹对不同年龄腹腔镜手术小儿血流动力学及通气的影响 [J]. *中华麻醉学杂志*, 2005, 25(11): 863 - 864.
- [5] Andrew JG, Dennis WJ, Keith JB, et al. Effects of intra-abdominal CO<sub>2</sub> insufflation in the piglet [J]. *Pediatr Surg*, 1994, 29(12): 1276 - 1280.
- [6] Hsing CH, Hseu SS, Tsai SK, et al. Physiological effects of CO<sub>2</sub> pneumoperitoneum in pediatric laparoscopy [J]. *Acta Anaesthesiol Sin*, 1995, 33(1): 1 - 6.
- [7] Pennant JH. Anesthesia for laparoscopy in the pediatric patient [J]. *Anesthesiol Clin North Am*, 2001, 19(1): 69 - 88.
- [8] 马海峰, 许芝林, 安群, 等. 二氧化碳气腹对小儿呼吸和循环的影响 [J]. *中国现代普通外科进展*, 2004, 7(12): 365 - 367.
- [9] Mchoney M, Corizia L, Eaton S, et al. Carbon dioxide elimination during laparoscopy in children is age dependent [J]. *Pediatr Surg*, 2003, 38(2): 105 - 110.
- [10] Carolyn FB, Keith KB, Mark W. The effect of insufflation pressure on pulmonary mechanics in infants during laparoscopic surgical procedures [J]. *Paediatr Anaesth*, 2003, 13(8): 785 - 789.
- [11] Manner T, Aantaa R, Alanen M. Lung compliance during laparoscopic surgery paediatric patients [J]. *Paediatr Anaesth*, 1998, 8(1): 25 - 29.
- [12] 张溪英, 屈权权. 婴幼儿腹腔镜手术不同体位对气道压影响的观察 [J]. *临床麻醉学杂志*, 2003, 19(8): 495.
- [13] Halachmi S, Ghoneimi AE, Bruno B, et al. Hemodynamic and respiratory effect of pediatric urological laparoscopic surgery: a retrospective study [J]. *J Urol*, 2003, 170(11): 1651 - 1654.
- [14] 曹月敏, 常迎斌, 王秋生, 等. *腹腔镜外科学* [M]. 石家庄: 河北科学技术出版社, 1999: 84.
- [15] O'leary E, Hubbard K, Torney W, et al. Laparoscopic cholecystectomy: haemodynamic and neuroendocrine responses after pneumoperitoneum and changes in position [J]. *Br J Anaesth*, 1996, 76(7): 640 - 644.

(下转第 496 页)

症的发生率较高,手术切口长、瘢痕明显,手术创伤较大,往往住院时间较长,患者卧床时间也较长。而经脐单孔腹腔镜阑尾切除术则很好地克服了这些缺点。通过 35 例患者的手术及术后观察,笔者认为经脐单孔腹腔镜阑尾切除术有如下优点:①手术切口选择在脐孔,长约 2.5 cm,没有肌肉层损伤,皮下脂肪少,缝合几无张力,伤口易愈合,术后感染发生率低,手术瘢痕小,可被脐孔掩盖,术后几乎看不见瘢痕,美容效果很好,易为广大患者接受,尤其对肥胖患者经脐手术更有优势。②手术操作与传统腹腔镜手术大致相同,手术野未受到明显影响,操作未受到明显限制,具有安全、微创的特点,手术风险小,术后伤口疼痛不明显,术后一般不需要用镇痛药物;患者术后恢复快,下床活动早,进食时间也早,较传统手术住院时间明显缩短,住院费用明显减少。③切口感染、切口疝等并发症发生率低。④可应用传统腹腔镜器械,必要时可中转为传统三孔法手术。本组 35 例患者术后恢复好,无严重并发症,住院时间短,体现了经脐单孔腹腔镜阑尾切除术的优点。Kang 等<sup>[4]</sup>对 25 例行传统腹腔镜手术切除的阑尾炎患者与 15 例经脐单孔腹腔镜阑尾切除术的患者进行对比研究,结果显示经脐单孔腹腔镜阑尾切除术安全可行,术后疼痛更轻微,美容效果更好。有报道 75 例经脐单孔腹腔镜阑尾切除术患者<sup>[5]</sup>,平均发病时间 1.29 d,平均住院时间为 1.68 d,无严重的手术并发症,较传统手术的住院时间明显缩短。

近年来有学者提出经潜在腔道如经阴道-输卵管行腹腔镜阑尾切除术,但相比较而言,经脐单孔腹腔镜阑尾切除术更安全、操作更简单,也不需要特殊手术器械。较传统腹腔镜阑尾切除术,经脐单孔腹腔镜阑尾切除术要求较高,更具挑战性,学习曲线更长。由于所有

器械均经脐部单孔进入腹腔,容易出现器械“打架”现象,但随着操作技术日益熟练,这种情况可克服。Byron 等<sup>[6]</sup>指出,专门经过单孔腹腔镜操作培训的术者,在经脐单孔腹腔镜阑尾切除术方面要比仅有传统腹腔镜手术经验的术者做得更好。

综上所述,经脐单孔腹腔镜阑尾切除术安全、创伤小、美容效果好、疗效好,手术并发症少,随着手术经验的积累,手术操作难度下降,手术时间缩短,值得临床推广应用。

### 参 考 文 献

- [1] 李 锋,张 兴,林建军,等. 免气腹单孔法迷你腹腔镜阑尾切除术的临床研究[J]. 中国内镜杂志, 2008, 14(3): 330-331.
- [2] Navarra G, Pozza E, Occhionorelli S, et al. One-wound laparoscopic cholecystectomy [J]. Br J Surg, 1997, 84(11): 1626.
- [3] 郑明伟,秦鸣放,赵宏志. 经脐单孔腹腔镜阑尾切除术 47 例[J]. 中国内镜杂志, 2011, 17(5): 535-537.
- [4] Kang KC, Lee SY, Kang DB, et al. Application of single incision laparoscopic surgery for appendectomies in patients with complicated appendicitis [J]. Journal of the Korean Society of Coloproctology, 2010, 26(6): 388-394.
- [5] Lee JA, Sung KY, Lee JH, et al. Laparoscopic appendectomy with a single incision in a single institute [J]. J Korean Soc Coloproctol, 2010, 26(4): 260-264.
- [6] Santos BF, Enter D, Soper NJ, et al. Single-incision laparoscopic surgery (SILS™) versus standard laparoscopic surgery: a comparison of performance using a surgical simulator [J]. Surg Endosc, 2011, 25(2): 483-490.

( 收稿日期: 2012-04-11 修回日期: 2012-06-03)

( 上接第 490 页)

- [16] Mann C, Boccarda G, Pouzeratte Y, et al. The relationship among carbon dioxide pneumoperitoneum, vasopressin release and hemodynamic changes [J]. Anesth Analg, 1999, 89(4): 278-283.
- [17] Sakka SG, Huettemann E, Petrat G, et al. Transoesophageal echocardiographic assessment of haemodynamic changes during laparoscopic herniorrhaphy in small children [J]. British Journal of Anaesthesia, 2000, 84(4): 330-334.
- [18] 张溪英,童易如. 婴幼儿腹腔镜手术的麻醉处理[J]. 中华医学杂志, 2001, 21(2): 240.
- [19] Shout K, Kitano S, Yoshida T, et al. Hemodynamic arterial blood gas changes during carbon dioxide helium pneumoperitoneum in pigs [J]. Surg Endosc, 1995, 9(3): 1173-1178.
- [20] Ho H, Gunther RA, Wilfe BM. Intraperitoneal carbon dioxide insufflation and cardiopulmonary functions. Laparoscopic

- cholecystectomy in pigs [J]. Arch Surg, 1992, 117(11): 928-932.
- [21] Lister DR, Rudston-Brown B, Warriner CB, et al. Carbon dioxide insufflation pressure in pigs [J]. Anesthesiology, 1994, 80(3): 129-136.
- [22] Feihl F, Perret C. Permissive hypercapnia. How permissive should we be? [J]. Am J Respir Crit Care Med, 1994, 150(6): 1722.
- [23] Amato MB, Barbas CS, Medeiros DM, et al. Effect of a protective-ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome [J]. N Engl J Med, 1998, 338(4): 347-354.
- [24] Goldstein B, Shannon DC, Todres ID. Supercarbia in children: clinical course and outcome [J]. Crit Care Med, 1990, 18(2): 166-168.

( 收稿日期: 2013-04-12 修回日期: 2013-05-30)