

重视经肛全直肠系膜切除术中的二氧化碳栓塞问题



扫码阅读电子版

刘鼎盛 张宏

中国医科大学附属盛京医院结直肠肿瘤外科, 沈阳 110004

通信作者: 张宏, Email: haojiubujian1203@sina.cn



张宏

【摘要】 二氧化碳(CO₂)栓塞是腹腔镜手术特有的并发症,在常规的腹腔镜结直肠手术中罕见报道,并未引起外科医生的足够认识。经肛全直肠系膜切除术是近些年逐渐兴起的低位直肠癌保肛手术,尽管全球范围内例数并不多,但是已经陆续有CO₂栓塞并发症的报道。

一旦发生严重的CO₂栓塞,病死率极高。经肛全直肠系膜切除术发生CO₂栓塞的主要相关因素包括经肛气腹压力过高、空间狭小、前列腺或阴道壁血运丰富以及头低体位等。预防及治疗的关键是重视相关危险因素的控制,识别发生CO₂栓塞的早期征象,采取积极有效的对症处理。降低经肛手术组的气腹灌注压力可减少CO₂栓塞的发生。经食管超声心动图是监测静脉内CO₂最敏感的方式,但很难在临床上常规开展。呼气末CO₂分压的突然下降是早期发现CO₂栓塞的重要征象。术中有可疑腔隙分辨不出是正常组织间隙还是血管腔时,可以减小或停止气腹,观察是否出现“泡沫征”,若有则说明CO₂进入静脉,应考虑静脉栓塞的风险。

【关键词】 直肠肿瘤; 经肛全直肠系膜切除术; 二氧化碳栓塞

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(20170540997)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2019.12.003

Problem of the carbon dioxide embolism during the procedure of transanal total mesorectal excision

Liu Dingsheng, Zhang Hong

Department of Colorectal Tumor Surgery, Shengjing Hospital, China Medical University, Shenyang 110004, China

Corresponding author: Zhang Hong, Email: haojiubujian1203@sina.cn

【Abstract】 Carbon dioxide embolization is a special complication of laparoscopic colorectal surgery. It is rarely reported in conventional laparoscopic colorectal surgery, and has not been well recognized by surgeons. Transanal total mesorectal excision (taTME) is an increasingly popular sphincter-preserving surgery for low rectal cancer in recent years. Although the number of cases worldwide is not large, carbon dioxide embolization after operation has been reported successively. Once serious carbon dioxide embolization occurs, the mortality is extremely high. The main related factors of carbon dioxide embolization in taTME include high pressure of pneumoperitoneum, narrow space, abundant blood supply of prostate and vaginal wall, Trendelenburg position, etc. The key of prevention and treatment is to pay attention to the control of related risk factors, identify the early signs of carbon dioxide embolism, and take active and effective symptomatic treatment. Reducing the pressure of pneumoperitoneum perfusion can reduce the occurrence of CO₂ embolism. Transesophageal echocardiography is the most sensitive way to monitor intravenously CO₂, but it is difficult to carry out in clinical practice. The sudden decrease of end expiratory CO₂ partial pressure is an important sign of early detection of CO₂ embolism. If there is a suspicious lacuna in the operation, it is possible to reduce or stop the pneumoperitoneum when it is unable to distinguish between normal tissue gap or vascular lumen. If the "bubble sign" is observed, CO₂ may enter the vein. The risk of venous embolism should be considered.

【Key words】 Rectal neoplasms; Transanal total mesorectal excision; Carbon dioxide embolism

Fund program: Liaoning Provincial Natural Science Foundation (20170540997)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2019.12.003

经肛全直肠系膜切除术(transanal total mesorectal excision, taTME)近年来在全球范围内逐

渐广泛开展。随着病例的不断增多,相关并发症也备受关注。在众多并发症当中,二氧化碳(CO₂)栓塞发生率虽然较低,但往往导致严重的后果。本文结合本中心 taTME 术中 CO₂ 栓塞 1 例的诊治经验,探讨其发生的相关机制,阐述该如何早期识别和预防 taTME 术中的 CO₂ 栓塞,一旦发生应如何应急处置,旨在引起外科医生、麻醉医生对这一并发症的重视。

一、气体栓塞

气体栓塞是指气体进入体静脉系统,随静脉血回流至右心房、右心室,并经肺动脉到肺组织,进而引起肺栓塞。气体栓塞的根本原因有两点:一是有血管损伤破口;二是血管内压力与气体压力之间存在压力差。临床常见的是空气栓塞和 CO₂ 栓塞。空气栓塞常发生在加压输液、严重创伤血容量不足伴静脉损伤、血管介入操作等。气体栓子可形成“气锁”,阻塞肺动脉,阻碍右心室射血,导致右心室和左心室衰竭,引起心律失常、肺动脉高压和体循环低血压。动物实验表明,6~8 ml/kg 空气进入静脉可导致狗死亡^[1]。推测成人的致死剂量为 200~300 ml^[2]。

近年来,随着微创外科的不断发展,腹腔镜手术已从新兴技术转变为常规手术。腹腔镜手术需借助气腹以获得足够的操作空间,CO₂ 是目前最常用的气腹气体。在气腹状态下,少量的 CO₂ 入血是很常见的现象,但因 CO₂ 血液溶解度高,少量进入静脉系统可以很快溶解,很少导致严重的 CO₂ 栓塞。CO₂ 栓塞早期诊断很困难,严重的 CO₂ 栓塞一旦发生,病死率极高。目前,对于 CO₂ 栓塞的严重程度并没有公认的分级。2002 年, Schmandra 等^[3] 根据经食管超声心动图下气泡的范围大小将其分为 5 个等级。然而,经食管超声心动图在绝大多数医疗单位并未常规使用,因此该分级局限性很大。为了便于描述,我们根据术中循环呼吸参数及临床症状,将 CO₂ 栓塞由轻到重分为以下 5 个等级。

I 级:术中观察到血管腔内有气体冒出,笔者将其命名为“泡沫征”(foam sign),但无呼吸循环系统及麻醉参数变化。

II 级:无循环系统功能变化,但呼气末 CO₂ 分压(ETCO₂)、血氧饱和度等麻醉监测参数有变化。

III 级:有循环系统功能改变,如血压下降等,需心肺复苏或应用血管活性药物抢救治疗,但无神经系统不可逆改变。

IV 级:经抢救治疗后有神经系统不可逆改变。

V 级:抢救无效死亡。

二、腔镜手术中的 CO₂ 栓塞

各类腔镜手术均有 CO₂ 栓塞的报道,气腹压力是导致 CO₂ 栓塞的主要原因。从文献回顾看,不同种类腔镜手术中 CO₂ 栓塞的发生率有差异^[4-13]。其中妇科手术特别是宫腔镜手术^[5,7]、泌尿外科前列腺手术^[6]和腔镜肝切除手术^[4]以及经口腔前庭入路腔镜甲状腺手术^[10-12]中,CO₂ 栓塞发生率较高。分析原因主要有以下几点:(1)手术操作空间相对狭小。空间狭小导致局部 CO₂ 压力高,一旦静脉破损,高压下 CO₂ 更容易进入静脉导致 CO₂ 栓塞的发生。(2)手术部位容易出血。如肝、肾、前列腺、子宫附件等器官血运丰富,术中极易出血,使 CO₂ 由静脉破损处进入循环,导致 CO₂ 栓塞。(3)头低体位。妇科腔镜手术、前列腺腔镜手术时一般采取头低体位,头低时手术区域高于心脏,使得术区静脉压力降低,CO₂ 更容易经静脉破损处进入^[6]。

三、taTME 术中的 CO₂ 栓塞

近年来,taTME 成为低位直肠癌外科治疗的焦点。2013 年,Rouanet 等^[14]首次报道了 taTME 手术在经肛操作期间发生 CO₂ 栓塞;随后 2016 年,Ratcliffe 等^[15]也报道了 1 例。Harnsberger 等^[16]的研究显示,80 例 taTME 手术发生 3 例(3.8%)CO₂ 栓塞,均发生在经肛门操作部分。2019 年,来自国际注册研究的资料显示,行 taTME 手术的 6 375 例患者中有 25 例(0.4%)出现 CO₂ 栓塞^[17]。我国的 2019 版《直肠癌经肛全直肠系膜切除中国专家共识及临床实践指南》^[18]和《中国经肛腔镜手术专家共识》^[19]中,在并发症这一章节都分别提到了 CO₂ 栓塞的内容。

taTME 术中经肛门操作的空间是靠充入 CO₂ 来维持的,这可能造成经肛操作过程中发生 CO₂ 栓塞^[20-21]。我们认为,其发生的主要相关因素为:(1)经肛气腹压力过高。taTME 术中经腹经肛两组同时在气腹下操作,腹腔内和腹膜外间隙的不同压力有互相影响,导致操作空间不稳定,手术平面不容易显露。设定同样的气腹压力,经肛组单独操作要比两组同时操作更易获得良好的暴露视野。为缩短手术时间,多数中心两组同时进行操作。为了获得更好的空间,一些中心会在术中增加经肛组的气腹压力,经腹组压力为 12~13 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa),经肛组常为 15~17 mmHg,这种高压状态可能导致经肛操作过程中 CO₂ 栓塞的高发。(2)经肛操作空间狭小。使得相同压力设定下,局部 CO₂ 压强过高,更

易导致 CO₂ 栓塞。这一点与妇科宫腔镜手术、经口腔前庭入路腔镜甲状腺手术中 CO₂ 栓塞高发相类似。经肛门内镜显微手术也是经肛门操作,但因 CO₂ 气体可向近端结肠腔内弥散,目前并没有 CO₂ 栓塞的报道。(3) 前列腺血运丰富,且其周围有静脉丛及双侧神经血管束。taTME 分离过程中,层面显露不清情况下前列腺周围静脉容易破损,导致 CO₂ 栓塞。这也可以解释 2019 年的国际注册研究报道的 25 例 CO₂ 栓塞患者有 19 例是男性的原因^[17]。同样对于女性而言,阴道壁血运丰富,周围富有静脉丛,也导致出血后栓塞风险增加。(4) 头低截石位,使得术区高于心脏,术区静脉压力降低,CO₂ 更容易进入破损静脉。(5) 我国绝大多数开展 taTME 手术的单位没有配备恒压和自动除烟雾的 AirSeal® 气腹机。AirSeal® 气腹机可以对腹内压力的微小变化立即作出反应,提供持续的压力传感和稳定的气腹,并能持续的排出烟雾。在缺乏 AirSeal® 气腹机的情况下,为了减小烟雾,手术中要用吸引装置持续吸引,为了抵消这种压力的损失,会人为将气腹压力及流速设定在较高水平,进而导致 CO₂ 栓塞的发生率增高。(6) 术前肠道准备,使得患者普遍液体量不足,中心静脉压低,发生血管损伤后更容易发生 CO₂ 栓塞。

四、发生 CO₂ 栓塞后的处理

术中可疑 CO₂ 栓塞时应首先立即解除气腹。将体位调整为 Durant 位,使气体远离右心室顶点的肺动脉口。吸入 100% 纯氧可以清除 CO₂,改善低氧血症。提高中心静脉压可减少 CO₂ 的继续进入,防止气泡体积进一步增大^[22]。对于较为严重的 CO₂ 栓塞,因循环系统内气泡较大,对患者立即进行胸外按压。有效的胸外按压可以将血液内较大的气泡击碎,变成较小的气泡,这样既可以解除“气锁”效应,又利于 CO₂ 的溶解吸收。需心肺复苏的严重 CO₂ 栓塞病例,应给予冰帽头部物理降温,降低脑部耗氧,防止脑损伤。Ⅲ级以上较为严重的 CO₂ 栓塞,建议术后转入 ICU 病房支持治疗。

五、本中心严重 CO₂ 栓塞(Ⅲ级)病例报道

男性,50 岁,体质指数:25.4 kg/m²,术前诊断:直肠癌,肿瘤下缘距离齿状线 3 cm。行 taTME 手术。患者取头低足高的改良截石位,腹部组与经肛组同时进行手术操作。腹部气腹压力设定为 13 mmHg。经肛组:Lonestar 拉钩牵开肛门,置入 Starport 单孔装置。镜下距离肿瘤下缘 1 cm 缝合荷包。在荷包下方 1 cm 处切开肠壁全层,自下而上游离。经肛组使

用常规气腹机,初始气腹压力设定为 13 mmHg。经肛组用电钩游离直肠前方间隙时,在前列腺表面有小的出血。因电钩烟雾影响操作,需同时吸引烟雾,导致气腔暴露不足,术中将经肛气腹压力调高为 15 mmHg。回顾手术录像时发现,此时前列腺表面已有静脉破口,因气腹压力的存在,破口并无出血,呈圆形腔隙改变。见图 1A。术者当时将其误以为是组织间隙。术中麻醉师发现呼气末 CO₂ 分压(ETCO₂)升高至 50 mmHg,测血气提示:pH:7.174,CO₂ 分压:82 mmHg。改为吸入纯氧,并手法排 CO₂,与术者沟通暂停了腹部组气腹及操作。因 ETCO₂ 下降不明显,麻醉师再次与术者沟通,暂停了经肛组气腹及操作。暂停经肛气腹后,术者发现经肛游离的创面出血较多,用纱布压迫止血。暂停气腹 10 min 后 ETCO₂ 下降至 40 mmHg,经肛组再次建立气腹。气腹建立后,腔镜探查发现创面出血明显好转,准备继续开始手术。此时麻醉师发现患者 ETCO₂ 突然下降至 5 mmHg,心率由 75 次/min 降至 36 次/min,血压由 125/85 mmHg 降至 105/70 mmHg。立即停止气腹,开始抢救。停气腹过程中,腔镜观察到血管破口处有大量气体冒出,呈泡沫状。见图 1B。此时意识到可能发生了 CO₂ 栓塞,立即与麻醉师沟通,将体位调至头低左倾位(Durant 体位),见图 1C。持续心外按压,肾上腺素 1 mg 间断静脉注射,5% 碳酸氢钠 250 ml 静脉滴注,甘露醇 500 ml 静脉滴注,冰袋头部物理降温,中心静脉抽气(无气体吸出)。患者很快出现室颤,给予 200 J 除颤 2 次。积极抢救 7 min 后患者恢复自主心律。稳定 30 min 后中转开腹,继续腹部及经肛操作,行超低前切除吻合,回肠保护性造口。术中探查见出血血管为前列腺表面静脉。术后患者带气管插管转入 ICU 病房。手术历时 5 h,术中失血量 200 ml。术后第 3 日患者脱机转回普通病房,患者脱机后曾出现一过性的神志恍惚、躁动等神经系统症状,经营养神经等对症治疗 2 d 后缓解。随访至目前术后 7 个月未出现神经系统后遗症。

六、taTME 术中 CO₂ 栓塞的预防

1. 降低气腹压力:降低经肛手术组的气腹灌注压力可减少 CO₂ 栓塞的发生^[11,23]。经肛操作时,切勿因空间不够而冒然调高气腹灌注压力。麻醉医师可提高中心静脉压力,并采用呼气末正压通气,可减少 CO₂ 进入的可能性。如果用经食管超声心动图来诊断,会发现无临床症状的 CO₂ 栓塞发生率极

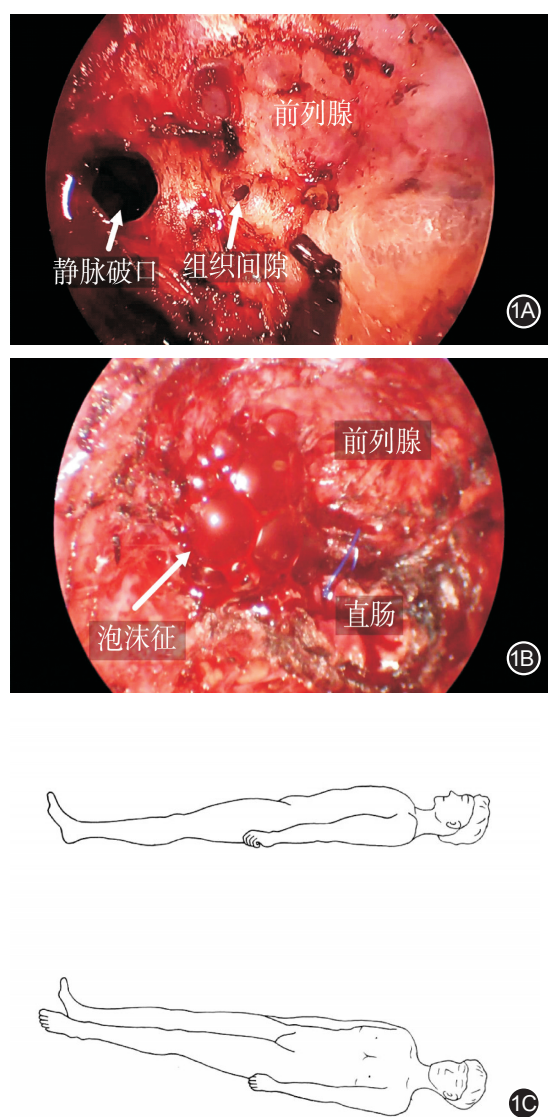


图1 患者手术录像图片及术中体位调整示意图 1A.前列腺表面静脉破口;1B.停止气腹时,静脉破口处大量气泡溢出,称为“泡沫征”;1C.Durant体位(头低左倾位,作者绘制)

高。本文所指的预防,特指预防严重的有临床症状的 CO_2 栓塞,早期还未对人体造成影响时认识到它的相关征象,并及时处理,这点极为重要。

2. 经食管超声心动图的监测:经食管超声心动图是监测静脉内 CO_2 最敏感的方式,被认为是诊断 CO_2 栓塞的金标准。经食管超声心动图可以检测下腔静脉、右心室和肺动脉中的气体。但其毕竟是有创监测手段,并且价格昂贵,技术复杂对操作者要求极高,很难在临床上常规开展。

3. 注意 ETCO_2 的动态变化: ETCO_2 的突然下降是早期发现 CO_2 栓塞的重要征象。但在此之前, ETCO_2 的缓慢上升也应该引起麻醉医师和外科医师

的足够重视。

4. 精准细致的手术操作:经肛操作时仔细分辨游离平面,避免出血,当肿瘤位置较低时,在前列腺尖部远端的位置切开直肠全层后,前壁间隙不容易寻找。我们遇到的这例 CO_2 栓塞就发生在这种状况下,直肠前壁游离时因未找到正确层面而损伤了前列腺周围的静脉。结合我们已发表的关于Hialal韧带的解剖研究^[24],我们认为在肿瘤位置较低时,切开直肠前壁全层后应该由1点钟和11点钟这两处进行层面的寻找。因为该两处Hialal韧带最薄弱甚至消失,有利于术者寻找到正确的间隙,也可有效避免尿道损伤^[25]。手术中的静脉出血,如未经确切止血操作,出血自发停止,应引起重视。很可能是 CO_2 气体因压力作用进入血管导致了止血效果。术中有可疑腔隙分辨不出是正常组织间隙还是血管腔时,可以减小或停止气腹,观察是否出现我们之前提到的“泡沫征”,若有则说明 CO_2 进入静脉,应考虑 CO_2 栓塞的风险,立即给予相关干预措施。

5. AirSeal®气腹机的使用:taTME手术时,尽量使用AirSeal®气腹机。若没有,最好经肛操作与经腹操作分开进行,若经腹经肛同时进行手术,最好经腹组气腹压力设定低于经肛组2 mmHg:例如,经腹组气腹压力设定为10 mmHg,经肛组气腹压力应设定为12 mmHg,是双方都可以接受的很好的平衡。

综上,taTME手术时应充分认识和重视 CO_2 栓塞。术中 CO_2 栓塞尽管罕见,但是却是致命性的。早期发现相关征象,及时给予对症处理,以免发生严重不良事件。

参 考 文 献

- [1] Dudney TM, Elliott CG. Pulmonary embolism from amniotic fluid, fat, and air[J]. Prog Cardiovasc Dis, 1994, 36(6):447-474. DOI:10.1016/s0033-0620(94)80053-7.
- [2] Yeakel AE. Lethal air embolism from plastic blood - storage container[J]. JAMA, 1968, 204(3):267-269.
- [3] Schmandra TC, Mierdl S, Bauer H, et al. Transoesophageal echocardiography shows high risk of gas embolism during laparoscopic hepatic resection under carbon dioxide pneumoperitoneum [J]. Br J Surg, 2002, 89(7):870-876. DOI:10.1046/j.1365-2168.2002.02123.x.
- [4] 段云飞,杨雨,施龙青,等.腹腔镜肝切除术中二氧化碳栓塞的原因与处理[J].中华肝胆外科杂志,2018,24(2):79-82. DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-8118.2018.02.002.

- [5] Groenman FA, Peters LW, Rademaker BM, et al. Embolism of air and gas in hysteroscopic procedures: pathophysiology and implication for daily practice [J]. *J Minim Invasive Gynecol*, 2008,15(2):241-247. DOI:10.1016/j.jmig.2007.10.010.
- [6] Hong JY, Kim JY, Choi YD, et al. Incidence of venous gas embolism during robotic - assisted laparoscopic radical prostatectomy is lower than that during radical retropubic prostatectomy [J]. *Br J Anaesth*, 2010, 105(6):777-781. DOI: 10.1093/bja/aeq247.
- [7] Kim CS, Kim JY, Kwon JY, et al. Venous air embolism during total laparoscopic hysterectomy [J]. *Anesthesiol*, 2009, 111(1): 50-54. DOI:10.1097/ALN.0b013e3181cb4846.
- [8] 刘芳芳,林宁,徐建国,等.腹腔镜术中严重二氧化碳气栓一例[J].*临床麻醉学杂志*,2010,26(1):48.
- [9] 俞欣,费悦,袁家麒,等.腹腔镜肾切除术中严重气栓成功救治一例[J].*中华急诊医学杂志*,2014,23(9):1054-1056. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2014.09.027.
- [10] Kim KN, Lee DW, Kim JY, et al. Carbon dioxide embolism during transoral robotic thyroidectomy: a case report [J]. *Head Neck*, 2018,40(3):E25-E28. DOI:10.1002/hed.25037.
- [11] Fu J, Luo Y, Chen Q, et al. Transoral endoscopic thyroidectomy: review of 81 cases in a single institute [J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2018,28(3):286-291. DOI:10.1089/lap.2017.0435.
- [12] 王平,吴国洋,田文,等.经口腔前庭入路腹腔镜甲状腺手术专家共识(2018版)[J].*中国实用外科杂志*,2018,38(10):1104-1107.
- [13] Hann A, Zizer E, Egger K, et al. Fatal outcome due to CO2 emboli during direct cholangioscopy [J]. *Gut*, 2018,67(8):1378-1379. DOI:10.1136/gutjnl-2017-313988.
- [14] Rouanet P, Mourregot A, Azar CC, et al. Transanal endoscopic proctectomy: an innovative procedure for difficult resection of rectal tumors in men with narrow pelvis [J]. *Dis Colon Rectum*, 2013,56(4):408-415. DOI:10.1097/DCR.0b013e3182756fa0.
- [15] Ratcliffe F, Hogan AM, Hompes R. CO2 embolus: an important complication of TaTME surgery [J]. *Tech Coloproctol*, 2017,21(1): 61-62. DOI:10.1007/s10151-016-1565-9.
- [16] Harnsberger CR, Alavi K, Davids JS, et al. CO2 embolism can complicate transanal total mesorectal excision [J]. *Tech Coloproctol*, 2018,22(11):881-885. DOI:10.1007/s10151-018-1897-8.
- [17] Dickson EA, Penna M, Cuning C, et al. Carbon dioxide embolism associated with total mesorectal excision surgery: a report from the international registries [J]. *Dis Colon Rectum*, 2019,62(7):1-12. DOI:10.1097/DCR.0000000000001410.
- [18] 中华医学会外科学分会结直肠外科学组,中华医学会外科学分会腹腔镜与内镜外科学组.直肠癌经肛全直肠系膜切除中国专家共识及临床实践指南(2019版)[J].*中国实用外科杂志*, 2019,39(11):1121-1128.
- [19] 中国医师协会外科医师分会经肛门全直肠系膜切除术专业委员会,中国医师协会外科医师分会结直肠外科医师委员会,中国经肛肠镜外科学院.中国经肛肠镜手术专家共识(2019版)[J].*中华胃肠外科杂志*,2019,22(6):501-506. DOI:10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2019.06.001
- [20] Atallah S, Gonzalez P, Chadi S, et al. Operative vectors, anatomic distortion, fluid dynamics and the inherent effects of pneumatic insufflation encountered during transanal total mesorectal excision [J]. *Tech Coloproctol*, 2017,21(10):783-794. DOI:10.1007/s10151-017-1693-x.
- [21] La Falce S, Novara G, Gandaglia G, et al. Low pressure robot-assisted radical prostatectomy with the Airseal system at OLV hospital: results from a prospective study [J]. *Clin Genitourin Cancer*, 2017, 15(6):e1029-e1037. DOI:10.1016/j.clgc.2017.05.027.
- [22] Sollazzi L, Perilli V, Punzo G, et al. Suspect carbon dioxide embolism during retroperitoneoscopic adrenalectomy [J]. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2011,15(12):1478-1482.
- [23] Makabe K, Nitta H, Takahara T, et al. Efficacy of occlusion of hepatic artery and risk of carbon dioxide gas embolism during laparoscopic hepatectomy in a pig model [J]. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*, 2014,21(8):592-598. DOI:10.1002/jhbp.103.
- [24] 丛进春,张宏. Hiatal 韧带解剖研究的临床意义和应用.[J]*中国实用外科杂志*,2019,39(7):746-750. DOI:10.19538/j.cjps.issn.1005-2208.2019.07.28.
- [25] 丛进春,张宏. 经肛全直肠系膜切除术尿道损伤的发生机制及预防措施.[J]*中华胃肠外科杂志*,2019,22(3):233-237. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-0274.2019.03.008.

(收稿日期:2019-09-24)

(本文编辑:王静)