

气腹对机器人辅助腹腔镜下肾移植术后移植肾功能的影响

谭顺成 崔建春 孙洵 李永峰 宋永琳 李树欣 马寅锐 马兴永 张亚飞

【摘要】 目的 探讨机器人辅助腹腔镜下肾移植术(RAKT)气腹压力对移植肾功能的影响。方法 回顾性分析243例肾移植受者资料,分为开放肾移植术(OKT)组105例,RAKT组138例,RAKT组再根据气腹压分为13 mmHg组(67例)和7 mmHg组(71例)。对比3组间供者资料、受者术前一般资料、术中数据和术后恢复情况。分析RAKT组受者腹腔镜下超声测量的移植肾门动脉、段动脉、叶间动脉和静脉流速。结果 各组供者类型差异有统计学意义($P<0.05$),其余供者资料及受者术前一般资料差异均无统计学意义(均为 $P>0.05$)。各组受者术后30 d、1年血清肌酐和并发症差异均无统计学意义(均为 $P>0.05$)。OKT组、7 mmHg组术中尿量多于13 mmHg组;RAKT两组术中失血量、住院时间少于OKT组,手术时间长于OKT组(均为 $P<0.05$)。RAKT两组间手术时间、术中失血量、住院时间差异无统计学意义(均为 $P>0.05$)。13 mmHg气腹压力时移植肾血管流速比7 mmHg气腹压力均有下降,但差异无统计学意义(均为 $P>0.05$)。结论 可控的气腹压力对移植肾的血管流速影响有限,RAKT在适当的气腹压力下是一种安全、有效的手术方式,选择较低的气腹压力更有利于术后早期肾功能的恢复。

【关键词】 肾移植;机器人;腹腔镜;气腹;血清肌酐;肾血流量;二氧化碳;并发症

【中图分类号】 R617, R692 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-7445(2025)02-0015-07

Effect of pneumoperitoneum on renal function after robotic-assisted laparoscopic kidney transplantation Tan Shuncheng*,

Cui Jianchun, Sun Xun, Li Yongfeng, Song Yonglin, Li Shuxin, Ma Yinrui, Ma Xingyong, Zhang Yafei. *Department of Urology, the First People's Hospital of Kunming, Kunming 650011, China

Corresponding author: Sun Xun, Email: 769602063@qq.com

【Abstract】 Objective To investigate the effect of pneumoperitoneum pressure during robotic-assisted kidney transplantation (RAKT) on the function of the transplant kidney. **Methods** The data of 243 kidney transplant recipients were retrospectively analyzed and divided into open kidney transplantation (OKT) group ($n=105$) and RAKT group ($n=138$). The RAKT group was further divided into 13 mmHg group ($n=67$) and 7 mmHg group ($n=71$) based on pneumoperitoneum pressure. The donor information, recipient's preoperative general data, intraoperative data, and postoperative recovery of the three groups were compared. In the RAKT group, the renal artery, segmental artery, interlobar artery, and venous flow velocity of the transplant kidney were measured using laparoscopic ultrasound. **Results** There was a statistically significant difference in donor types among the groups ($P<0.05$), while other donor information and recipient's preoperative general data showed no statistically significant differences (all $P>0.05$). There were no statistically significant differences in serum creatinine and complications at 30 days and 1 year postoperatively among the groups (all $P>0.05$). The OKT group and 7 mmHg group had more intraoperative urine output than the 13 mmHg group. Both RAKT groups had less intraoperative blood loss and shorter hospital stays than the OKT group, and longer operation times than the OKT group (all $P<0.05$). There were no statistically significant differences in operation

DOI: 10.12464/j.issn.1674-7445.2024233

基金项目: 云南省科技厅重大科技专项计划项目(202302AA310018); 昆明市卫生健康委员会科研项目(2022-04-05-003)

作者单位: 650011 昆明, 昆明市第一人民医院泌尿外科(谭顺成、崔建春、孙洵、宋永琳、李树欣、马寅锐、马兴永、张亚飞), 超声科(李永峰)

作者简介: 谭顺成 (ORCID 0009-0000-2263-837X), 医学硕士, 主治医师, 研究方向为泌尿外科及肾移植, Email: 95340287@qq.com

通信作者: 孙洵 (ORCID 0009-0003-1994-1695), 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向为泌尿外科及肾移植, Email: 769602063@qq.com

time, intraoperative blood loss, and hospital stay between the two RAKT groups (all $P>0.05$). The vascular flow velocity of the transplant kidney decreased at 13 mmHg compared to 7 mmHg pneumoperitoneum pressure, but the differences were not statistically significant (all $P>0.05$). **Conclusions** Controllable pneumoperitoneum pressure has a limited impact on the vascular flow velocity of the transplanted kidney. RAKT is a safe and effective surgical method under appropriate pneumoperitoneum pressure, and choosing a lower pneumoperitoneum pressure is more conducive to the early recovery of renal function postoperatively.

【 Key words 】 Kidney transplantation; Robotics; Laparoscopy; Pneumoperitoneum; Serum creatinine; Renal blood flow; Carbon dioxide; Complication

机器人辅助技术的迅速发展为复杂外科手术提供了更为精细、安全、高效的选择^[1-3]，随着这一技术的日益普及和广泛应用，我们也必须面对它所带来的一系列潜在风险和挑战。气腹作为腹腔镜术中不可或缺的步骤，术中持续注入二氧化碳会导致腹内压的升高、血流动力学的改变^[4]，气腹压力的变化可能对肾功能受损的患者造成影响^[5]。文献报道在 8~10 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa) 与 12~14 mmHg 气腹压力下腹腔镜供肾切取围手术期肾功能无差异^[6]，证实气腹状态下获取供肾是安全可行的^[7-8]，而关于在气腹状态下实施机器人辅助肾移植术 (robotic-assisted kidney transplantation, RAKT) 对移植肾功能影响的研究文献较少，本研究旨在通过对比不同气腹压力下 RAKT 与开放肾移植术 (open kidney transplantation, OKT) 的数据，为临床安全开展 RAKT 提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象

选取昆明市第一人民医院泌尿外科 2019 年 2 月至 2024 年 6 月共 243 例肾移植受者作为研究对象，其中公民逝世后器官捐献肾移植 214 例，亲属活体肾移植 29 例。OKT 组 105 例，RAKT 组 138 例，根据术中气腹压力不同分为 13 mmHg 组 67 例、7 mmHg 组 71 例。本研究经昆明市第一人民医院伦理委员会伦理审核批准 (批号: YLS2022-43)，患者及家属均签署知情同意书。

纳入标准: (1) 各种原因导致的终末期肾病患者; (2) 行 OKT 或 RAKT。OKT 组排除标准: (1) 存在肾移植手术禁忌证; (2) 临床资料缺失。RAKT 组排除标准除 OKT 标准外, 还包括: (1) 既往多次腹部手术史, 高度怀疑腹腔严重粘连的患者; (2) 3 支及以上动脉变异, 且无腹主动脉祥共同开口的供肾; (3) 体质量 < 20 kg 的儿童; (4) 髂血管严重动脉粥样硬化; (5) 同时进行双器官或多器官

移植; (6) 中转 OKT。

1.2 手术方法

OKT 组手术方法参考《肾移植手术技术规范 (2019 版)》实施^[9]，RAKT 组手术方法参考昆明市第一人民医院手术经验实施^[10]。RAKT 组手术开始时气腹压力均为 13 mmHg，移植肾血管开放后，13 mmHg 组继续维持 13 mmHg 气腹压力，7 mmHg 组将气腹压力调低至 7 mmHg 进行手术。

1.3 免疫抑制方案

免疫低风险患者使用巴利昔单抗免疫诱导，免疫高风险患者使用抗胸腺细胞球蛋白免疫诱导。血管开放前给予糖皮质激素预防排斥反应，开放血管后予呋塞米利尿。术后采用钙调磷酸酶抑制剂、霉酚酸酯、糖皮质激素联用的免疫抑制方案。

1.4 研究内容

对比分析各组供者资料，受者术前、术中及术后资料，每例受者对应的供者独立统计。对于 RAKT 组受者，使用腹腔镜探头在移植肾背侧观察并调节超声影像使移植肾血管呈“树枝状”分布，分别测量移植肾门动脉、段动脉、叶间动脉和静脉流速，对比术中血管流速。

1.5 统计学方法

采用 SPSS 26.0 软件进行统计学分析。计数资料以率表示，组间比较采用 χ^2 检验；符合正态分布的计量资料用均数±标准差表示，组间比较采用方差分析，有差异的组之间采用最小显著差异法 (least significant difference, LSD) 比较；不符合正态分布的计量资料用中位数 (下四分位数, 上四分位数) 表示，组间比较采用 Wilcoxon 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 供者及受者术前一般资料比较

3 组供者类型差异有统计学意义 ($P<0.05$)，供者死亡原因、性别、年龄、体质量指数 (body mass

index, BMI)、血清肌酐、热缺血时间、冷缺血时间、血管活性药物类型和剂量, 受者性别、年龄、BMI、腹部手术史、透析类型、透析时间和术前血清肌酐差异均无统计学意义(均为 $P>0.05$, 表 1)。

表 1 供者和受者术前一般资料比较

Table 1 Comparison of preoperative general information of donors and recipients

指标	OKT组 (n=105)	RAKT组		统计值	P值
		13 mmHg组 (n=67)	7 mmHg组 (n=71)		
供者资料					
供者类型[n (%)]				126.608	0.010
心脏死亡器官捐献	73 (69.5)	12 (17.9)	0		
脑死亡器官捐献	32 (30.5)	50 (74.6)	47 (66.2)		
亲属活体器官捐献	0	5 (7.5)	24 (33.8)		
死亡原因[n (%)]				3.929	0.686
脑外伤	70 (66.7)	36 (58.1)	27 (57.5)		
脑卒中	28 (26.7)	20 (32.3)	18 (38.3)		
低氧性脑损伤	5 (4.8)	3 (4.8)	1 (2.1)		
脑肿瘤	2 (1.9)	3 (4.8)	1 (2.1)		
性别[n (%)]				1.680	0.186
男	73 (69.5)	47 (70.1)	44 (61.2)		
女	32 (30.5)	20 (29.9)	27 (30.8)		
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	38±13	40±14	42±13	2.287	0.104
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	22.5±3.2	22.8±3.2	23.1±3.0	0.805	0.449
血清肌酐 ($\bar{x} \pm s$, μmol/L)	122±34	128±28	125±38	0.432	0.334
热缺血时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	2.9±0.8	3.1±0.8	3.1±1.4	1.136	0.820
冷缺血时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	335±48	428±37	434±37	1.476	0.521
血管活性药物类型[n (%)]				2.545	0.960
去甲肾上腺素	40 (38.1)	23 (34.3)	28 (39.4)		
间羟胺	12 (11.4)	8 (11.9)	10 (14.1)		
多巴酚丁胺	1 (1.0)	1 (1.5)	1 (1.4)		
多巴胺	1 (1.0)	0	0		
未使用	51 (48.6)	35 (52.2)	32 (45.1)		
血管活性药物剂量 [$\bar{x} \pm s$, μg/(kg·min)]	0.32±0.18	0.31±0.17	0.25±0.17	0.530	0.232
受者资料					
性别[n (%)]				1.650	0.194
男	74 (70.5)	43 (64.2)	43 (60.6)		
女	31 (29.5)	24 (35.8)	28 (39.4)		
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	41±11	38±9	39±8	0.977	0.378
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	21.8±3.2	22.1±3.5	20.8±3.0	2.625	0.075
透析类型[n (%)]				1.324	0.268
血液透析	93 (88.6)	65 (97.0)	66 (93.0)		
腹膜透析	10 (9.5)	2 (3.0)	3 (4.2)		
未透析	2 (1.9)	0	2 (2.8)		
腹部手术史[n (%)]				0.887	0.413
无	90 (85.7)	54 (80.6)	57 (80.3)		
有	15 (14.3)	13 (19.4)	14 (19.7)		
透析时间 ($\bar{x} \pm s$, 月)	44±27	40±20	40±31	0.399	0.671
血清肌酐 ($\bar{x} \pm s$, μmol/L)	989±166	973±194	985±143	0.351	0.635

2.2 各组受者术中资料比较

各组间术中输血量差异无统计学意义, RAKT 两组手术时间、术中失血量、住院时间差异无统计学意义(均为 $P>0.05$); OKT 组、7 mmHg 组术中尿量多于 13 mmHg 组; 13 mmHg 组、7 mmHg 组术中失血量少于 OKT 组, 手术时间长于 OKT 组, 住院时间短于 OKT 组(均为 $P<0.05$, 表 2)。

2.3 各组受者术后血清肌酐及并发症比较

各组间术后 30 d、1 年血清肌酐, 并发症发生情况差异无统计学意义, RAKT 两组术后 1 d、7 d 血清肌酐差异无统计学意义(均为 $P>0.05$); OKT 组、7 mmHg 组术后 1 d、7 d 血清肌酐低于 13 mmHg 组

(均为 $P<0.05$, 表 2)。

2.4 不同气腹压力的 RAKT 组受者移植肾血管流速对比

对比 RAKT 组在不同气腹压力下的移植肾血管流速, 结果显示随着气腹压力增高, 移植肾血管流速均有不同程度下降, 但差异无统计学意义(均为 $P>0.05$, 表 3)。

3 讨论

2009 年 Antonio Rosales 成功实施了首例腹腔镜肾移植术^[11], 这一创新标志着肾移植领域正式迈入了微创时代。Giulianotti 在 2010 年完成了第 1 例气腹状

表 2 各组受者术中和术后资料比较

Table 2 Comparison of intraoperative and postoperative data among different groups of recipients

指标	OKT组 (n=105)	RAKT组		统计值	P值
		13 mmHg组 (n=67)	7 mmHg组 (n=71)		
术中输血量 ($\bar{x} \pm s$, mL)	2 121±747	2 128±599	1 910±644	3.440	0.085
术中尿量 ($\bar{x} \pm s$, mL)	53±19	44±18 ^a	51±4 ^b	3.354	0.037
术中失血量 ($\bar{x} \pm s$, mL)	102±75	65±57 ^a	65±57 ^a	9.341	<0.001
手术时间 ($\bar{x} \pm s$, min)	167±39	191±37 ^a	176±36 ^a	7.727	0.001
住院时间 ($\bar{x} \pm s$, d)	21±9	15±6 ^a	16±5 ^a	8.383	<0.001
血清肌酐 ($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)					
术后 1 d ($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	680±360	951±294 ^a	684±352 ^b	12.678	<0.001
术后 7 d ($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	231±24	320±34 ^a	273±29 ^b	4.498	0.012
术后 30 d [$M(P_{25}, P_{75})$, $\mu\text{mol/L}$]	119 (95,149)	125 (99,158)	117 (93,147)	1.876	0.391
术后 1 年 ($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	116±22	118±28	123±23	1.670	0.191
并发症类型[n (%)]				22.648	0.422
出血	2 (1.9)	1 (1.5)	2 (2.8)		
淋巴漏	1 (1.0)	2 (2.9)	0		
漏尿	1 (1.0)	1 (1.5)	1 (1.4)		
切口感染	5 (4.8)	2 (2.9)	0		
切口疝	1 (1.0)	0	0		
移植肾动脉瘤	0	0	1 (1.4)		
移植肾动脉狭窄	1 (1.0)	2 (2.9)	2 (2.8)		
移植肾静脉血栓	1 (1.0)	1 (1.5)	0		
移植输尿管狭窄	1 (1.0)	1 (1.5)	1 (1.4)		
未发生	92 (87.6)	57 (85.1)	64 (90.1)		

注: 与OKT组比较, ^a $P<0.05$; 与13 mmHg组比较, ^b $P<0.05$ 。

表3 RAKT组受者移植肾血管流速比较

Table 3 Comparison of transplanted renal blood flow velocity of recipients in RAKT groups [$M(P_{25}, P_{75})$, cm/s]

移植肾血管流速	13 mmHg (n=67)	7 mmHg (n=71)	统计值	P值
肾门动脉	59 (40, 119)	74 (55, 138)	1.744	0.083
肾静脉	22 (13, 37)	27 (13, 40)	0.816	0.416
肾段动脉	26 (18, 41)	29 (24, 41)	0.679	0.498
肾叶间动脉	21 (16, 27)	24 (20, 28)	0.948	0.345

态下 RAKT^[12], 为肾脏手术领域带来了新的突破, 自此以后, RAKT 技术因其独特的优势, 如减少术后疼痛、加速恢复等, 被广泛应用于临床实践, 并取得了显著的治疗效果^[13-15]。二氧化碳具有无毒、不可燃、在血液和组织中的溶解性高、容易通过肺部消除以及成本效益使其成为气腹时气体首选^[16-17], 手术中持续注入二氧化碳气体和气腹压力升高可能导致急性肾损伤^[18-19], 更有移植肾因腹内压升高导致肾脏灌注不足而使移植肾切除的病例^[20]。因此, RAKT 术中气腹压力对移植肾的影响进行深入研究显得尤为重要。

在多个动物实验研究中均表明气腹压力会对肾脏血流量及尿量造成影响^[21-23], 气腹对肾脏的影响机制为: (1) 腹内压升高导致肾血流量减少和灌注不足; (2) 肾素-血管紧张素系统激活; (3) 缺血-再灌注损伤^[24-27]。因此我们在进行腹腔镜手术时需要谨慎控制气腹压力, 以避免对肾脏造成不利影响。

当气腹压力超过 10 mmHg 时, 肾脏血流量减少而导致肾功能障碍和暂时性少尿^[28-30]。在一项随机对照试验中也证实了尽管气腹会显著减少术中的尿量, 但未发现对术后肾功能有长期的负面影响^[31]。在肾移植手术中, 尿量是评估移植肾功能的重要指标之一, 应尽可能降低气腹压力减少对移植肾血流的影响。多项研究已经证明, 在低气腹压力下进行机器人腹腔镜手术, 不仅在失血量、手术时间和肿瘤切缘阳性率方面无差异, 还能显著降低术后疼痛、肠梗阻的发生率^[32-35], 并且对心血管影响也较小^[36]。Modi 等^[37]在腹腔镜肾移植术中血管开放后气腹压力降至 8 mmHg, 以改善移植肾的血流灌注, 但在血管缝合时间、手术时间和出血量均明显多于开放肾移植组。本项研究探索了气腹压力对 RAKT 的影响, 在移植肾血管开放后将气腹压力调低至 7 mmHg, 术中的尿量相较于持

续维持 13 mmHg 气腹压力的对照组有显著增加。这一结果说明降低气腹压力有助于改善移植肾的灌注情况, 进而增加尿量。尽管我们降低了气腹压力, 但手术的持续时间和手术过程中的失血量并未因此增加, 这一结果进一步验证了 7 mmHg 作为 RAKT 术中合适的气腹压力值的可行性, 它不仅能够保障手术的顺利进行, 同时也有助于减少手术对移植肾的不良影响, 为患者的术后恢复提供了更好的条件。因此, RAKT 术中血管开放后将气腹压力降低为 7 mmHg 是安全且有效的选择。

在腹腔镜肾移植建立气腹时和变更 Trendelenburg 体位后, 平均动脉压和中心静脉压也表现出了明显的增高, 但这些变化并未影响移植肾的早期功能^[38]。本研究虽然供者类型差异有统计学意义, 但在血清肌酐、血管活性药物使用及冷、热缺血时间等关键指标差异均无统计学意义。本研究在采用 7 mmHg 气腹压进行 RAKT 的患者中, 术后 1 d 和 7 d 的血清肌酐水平相对 13 mmHg 组低, 说明较低的气腹压力可能对早期肾功能有一定的保护作用。而在长期随访中, 3 组间血清肌酐水平差异并无统计学意义, 说明气腹压力并不影响移植肾的远期功能。本研究还观察到气腹压力的升高与移植肾血管流速降低之间存在趋势性关联, 但这种差异并未达到统计学意义, 表明在可控范围内气腹压力对移植肾血管流速的影响较为有限。特别在移植肾血管开放后, 将气腹压力下调至 7 mmHg 被证实有利于移植肾的早期功能恢复, 且此调整并未导致手术时间的延长或失血量的增加。长期随访结果显示, OKT 组、气腹压力为 13 mmHg 及 7 mmHg 的 RAKT 组间移植肾功能无统计学差异。RAKT 相比 OKT 具有潜在的优势, 包括更少的失血量、较短的住院时间。然而, 对于 RAKT 的最佳气腹压力设置, 仍需进一步的研究明确。

本研究证实了 RAKT 在适当的气腹压力下是一种安全且有效的肾移植手术方式, 特别是在选择 7 mmHg 的低气腹压力时有助于术后早期肾功能的恢复。同时, 相比传统的开放手术, RAKT 在减少失血量、缩短住院时间及加速术后恢复方面展现出了明显优势。这些发现为临床实践中优化 RAKT 的气腹压力设置、提高手术效果提供了有价值的参考。

参考文献:

- [1] BRAVI C A, BALESTRAZZI E, DE LOOF M, et al. Robot-assisted radical prostatectomy performed with

- different robotic platforms: first comparative evidence between da vinci and HUGO robot-assisted surgery robots[J]. *Eur Urol Focus*, 2024, 10(1): 107-114. DOI: 10.1016/j.euf.2023.08.001.
- [2] ADHIKARI K, PENMETS A G K, KRISHNAPPA D, et al. Revolutionizing urology: the advancements and applications of robotic platforms[J]. *J Rob Surg*, 2024, 18(1): 106. DOI: 10.1007/s11701-023-01758-w.
- [3] 刘荣, 张修平, 于泽涛. 机器人肝胆胰手术研究进展[J]. *中华普通外科杂志*, 2024, 39(1): 19-23. DOI: 10.3760/cma.j.cn113855-20231122-00347.
- LIU R, ZHANG X P, YU Z T. Research progress of robotic hepatobiliary and pancreatic surgery[J]. *Chin J Gen Surg*, 2024, 39(1): 19-23. DOI: 10.3760/cma.j.cn113855-20231122-00347.
- [4] 伍江华, 胡海涛, 付昕尧. 气腹压在腹腔镜胆囊切除术中的变化及对心脏循环效率的影响研究[J]. *山西医药杂志*, 2024, 53(4): 243-247. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9926.2024.04.001.
- WU J H, HU H T, FU X Y. Changes of pneumoperitoneum pressure in laparoscopic cholecystectomy and its influence on cardiac circulation efficiency[J]. *Shanxi Med J*, 2024, 53(4): 243-247. DOI: 10.3969/j.issn.0253-9926.2024.04.001.
- [5] GANDHI K A, JASSAL R S, SAHNI N, et al. Effect of duration of pneumoperitoneum on renal function in patients undergoing laparoscopic surgeries: a prospective observational study[J]. *J Robot Surg*, 2023, 17(5): 2253-2258. DOI: 10.1007/s11701-023-01644-5.
- [6] CIKO P, WIDIA F, HAMID A R A H, et al. Effect of pneumoperitoneum on renal resistive index and renal function in patients who have undergone laparoscopic living donor nephrectomy: a pilot study[J]. *Transplant Proc*, 2019, 51(6): 1727-1731. DOI: 10.1016/j.transproceed.2019.04.045.
- [7] VAN DE GEIJN E F, JANKI S, DE VRIES D K, et al. Effective and safe implementation of robot-assisted donor nephrectomy by experienced laparoscopic surgeons[J]. *World J Surg*, 2024, 48(8): 1958-1966. DOI: 10.1002/wjgs.12249.
- [8] KĘDZIERSKA-KAPUZA K, ŁOPUSZYŃSKA I, MIZERSKA A, et al. Robotic-assisted nephrectomy for living kidney donation—single center initial experience (case series) and review of the literature[J]. *J Clin Med*, 2024, 13(13): 3754. DOI: 10.3390/jcm13133754.
- [9] 中华医学会器官移植学分会. 肾移植手术技术规范(2019版)[J]. *器官移植*, 2019, 10(5): 483-488, 504. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.05.004.
- Branch of Organ Transplantation of Chinese Medical Association. Technical operation specification for renal transplantation (2019 edition)[J]. *Organ Transplant*, 2019, 10(5): 483-488, 504. DOI: 10.3969/j.issn.1674-7445.2019.05.004.
- [10] 谭顺成, 崔建春, 宋永琳, 等. 机器人辅助腹腔镜肾移植术初步经验(附 22 例报告)[J]. *微创泌尿外科杂志*, 2021, 10(3): 157-162. DOI: 10.19558/j.cnki.10-1020/r.2021.03.003.
- TAN S C, CUI J C, SONG Y L, et al. Preliminary experience of robot-assisted laparoscopic kidney transplantation (report of 22 cases)[J]. *J Minim Invasive Urol*, 2021, 10(3): 157-162. DOI: 10.19558/j.cnki.10-1020/r.2021.03.003.
- [11] ROSALES A, SALVADOR J T, URDANETA G, et al. Laparoscopic kidney transplantation[J]. *Eur Urol*, 2010, 57(1): 164-167. DOI: 10.1016/j.eururo.2009.06.035.
- [12] GIULIANOTTI P, GORODNER V, SBRANA F, et al. Robotic transabdominal kidney transplantation in a morbidly obese patient[J]. *Am J Transplant*, 2010, 10(6): 1478-1482. DOI: 10.1111/j.1600-6143.2010.03116.x.
- [13] TERRITO A, BAJEOT A S, MESNARD B, et al. Open versus robotic-assisted kidney transplantation: a systematic review by the European Association of Urology (EAU) - Young Academic Urologists (YAU) Kidney Transplant Working Group[J]. *Actas Urol Esp*, 2023, 47(8): 474-487. DOI: 10.1016/j.acuroe.2023.03.003.
- [14] CAMPI R, PECORARO A, LI MARZI V, et al. Robotic versus open kidney transplantation from deceased donors: a prospective observational study[J]. *Eur Urol Open Sci*, 2022, 39: 36-46. DOI: 10.1016/j.euro.2022.03.007.
- [15] KISHORE T A, KURIAKOSE M J, PATHROSE G, et al. Robotic assisted kidney transplantation in grafts with multiple vessels: single center experience[J]. *Int Urol Nephrol*, 2020, 52(2): 247-252. DOI: 10.1007/s11255-019-02305-z.
- [16] YANG X, CHENG Y, CHENG N, et al. Gases for establishing pneumoperitoneum during laparoscopic abdominal surgery[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2022, 3(3): CD009569. DOI: 10.1002/14651858.CD009569.pub4.
- [17] XU P, LI Y, REN J. Meta-analysis and systematic review of influence of different humidified carbon dioxide on intraoperative and postoperative gynaecological laparoscopic surgery[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(7): 7992-8002. DOI: 10.21037/apm-21-1517.
- [18] VINODH M, MOHANKUMAR V, GANPULE A, et al. Does carbon dioxide pneumoperitoneum affect the renal function in donors following laparoscopic donor nephrectomy? a prospective study[J]. *J Minim Access Surg*, 2017, 13(3): 200-204. DOI: 10.4103/jmas.JMAS_117_16.
- [19] NAITO A, TAGUCHI S, SUZUKI M, et al. Transient acute kidney injury observed immediately after robot-assisted radical prostatectomy but not after open radical prostatectomy[J]. *Mol Clin Oncol*, 2020, 13(3): 18. DOI: 10.3892/mco.2020.2087.
- [20] NAKACHE R, SZOLD A, MERHAV H, et al. Kidney graft loss after laparoscopic live donor nephrectomy[J]. *Transplant Proc*, 2000, 32(4): 683. DOI: 10.1016/s0041-1345(00)00936-2.
- [21] ABBOUD W, BISHARA B, NATIV O, et al. Impact of pneumoperitoneum on the development of acute kidney injury: comparison between normal and diabetic rats[J]. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*, 2020, 31(2): 136-141. DOI: 10.1097/SLE.0000000000000859.
- [22] WISE R, RODSETH R, PÁRRAGA-ROS E, et al. The pathophysiological impact of intra-abdominal hypertension in pigs[J]. *PLoS One*, 2023, 18(8): e0290451. DOI: 10.1371/journal.pone.0290451.
- [23] DE FREITAS JUNIOR S, BUSTORFF-SILVA J M,

- RAMOS C D, et al. Scintigraphic evaluation of the impact of pneumoperitoneum on renal blood flow: a rabbit model[J]. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A*, 2019, 29(10): 1271-1275. DOI: 10.1089/lap.2019.0194.
- [24] KOPITKÓ C, MEDVE L, GONDOS T, et al. Mediators of regional kidney perfusion during surgical pneumoperitoneum creation and the risk of acute kidney injury—a review of basic physiology[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(10): 2728. DOI: 10.3390/jcm11102728.
- [25] KOPITKÓ C, ROSIVALL L, MEDVE L, et al. Pneumoperitoneum and acute kidney injury—an integrative clinical concept review[J]. *ASAIO J*, 2023, 69(2): e54-e65. DOI: 10.1097/MAT.0000000000001866.
- [26] MAKHIJA N, MAGOON R, DAS D, et al. Haemodynamic predisposition to acute kidney injury: shadow and light! [J]. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2022, 38(3): 353-359. DOI: 10.4103/joacp.JOACP_547_20.
- [27] ADELSDORFER C, TAURA P, IBARZABAL A, et al. Effect of transgastric natural orifice transluminal endoscopic surgery peritoneoscopy on abdominal organ microcirculation: an experimental controlled study[J]. *Gastrointest Endosc*, 2016, 83(2): 427-433. DOI: 10.1016/j.gie.2015.06.055.
- [28] VILLA G, FIORENTINO M, CAPPELLINI E, et al. Renal implications of pneumoperitoneum in laparoscopic surgery: mechanisms, risk factors, and preventive strategies[J]. *Korean J Anesthesiol*, 2024, 77(6):575-586. DOI: 10.4097/kja.24011.
- [29] ALHUSSEINAWI H, SANDER L, HANDBERG A, et al. Impact of low pneumoperitoneum on renal function and acute kidney injury biomarkers during robot-assisted radical prostatectomy (RARP): a randomised clinical trial[J]. *J Robot Surg*, 2024, 18(1): 31. DOI: 10.1007/s11701-023-01744-2.
- [30] SCHUKFEH N, HUBER D, METZELDER M L, et al. Impact of capnoperitoneum on renal perfusion and urine production in infant and adolescent pigs: crystalloid versus colloid fluid resuscitation[J]. *Eur J Pediatr Surg*, 2019, 29(6): 539-544. DOI: 10.1055/s-0038-1677486.
- [31] NGUYEN N T, PEREZ R V, FLEMING N, et al. Effect of prolonged pneumoperitoneum on intraoperative urine output during laparoscopic gastric bypass[J]. *J Am Coll Surg*, 2002, 195(4): 476-483. DOI: 10.1016/s1072-7515(02)01321-2.
- [32] ROHLOFF M, PEIFER G, SHAKURI-RAD J, et al. The impact of low pressure pneumoperitoneum in robotic assisted radical prostatectomy: a prospective, randomized, double blinded trial[J]. *World J Urol*, 2021, 39(7): 2469-2474. DOI: 10.1007/s00345-020-03486-4.
- [33] PARK S E, HONG T H. Effects of extremely low-pressure pneumoperitoneum on postoperative recovery after single site robot-assisted cholecystectomy: a randomized controlled trial[J]. *Langenbeck's Arch Surg*, 2023, 408(1): 242. DOI: 10.1007/s00423-023-02988-0.
- [34] 赵玉军, 钱军, 樊建平, 等. 低气腹压对腹腔镜胃癌根治术的影响研究[J]. *浙江创伤外科*, 2024, 29(5): 902-904. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7147.2024.05.036.
- ZHAO Y J, QIAN J, FAN J P, et al. Study on the effect of low pneumoperitoneum pressure on laparoscopic radical gastrectomy of gastric cancer[J]. *Zhejiang J Traumatic Surg*, 2024, 29(5): 902-904. DOI: 10.3969/j.issn.1009-7147.2024.05.036.
- [35] 于海洋, 魏维, 单凯, 等. 不同 CO₂ 气腹压对胆囊结石腹腔镜胆囊切除术患者的影响分析[J]. *中国社区医师*, 2024, 40(20): 43-45. DOI: 10.3969/j.issn.1007-614x.2024.20.015.
- YU H Y, WEI W, SHAN K, et al. Analysis on influence of different CO₂ pneumoperitoneum pressures on patients with cholecystolithiasis undergoing laparoscopic cholecystectomy[J]. *Chin Community Dr*, 2024, 40(20): 43-45. DOI: 10.3969/j.issn.1007-614x.2024.20.015.
- [36] SAWAY J P, MCCAUL M, MULEKAR M S, et al. Review of outcomes of low versus standard pressure pneumoperitoneum in laparoscopic surgery[J]. *Am Surg*, 2022, 88(8): 1832-1837. DOI: 10.1177/00031348221084956.
- [37] MODI P, RIZVI J, PAL B, et al. Laparoscopic kidney transplantation: an initial experience[J]. *Am J Transplant*, 2011, 11(6): 1320-1324. DOI: 10.1111/j.1600-6143.2011.03512.x.
- [38] PARIKH B K, SHAH V R, MODI P R, et al. Anaesthesia for laparoscopic kidney transplantation: Influence of Trendelenburg position and CO₂ pneumoperitoneum on cardiovascular, respiratory and renal function[J]. *Indian J Anaesth*, 2013, 57(3): 253-258. DOI: 10.4103/0019-5049.115607.

(收稿日期: 2024-11-03)

(本文编辑: 方引超 吴秋玲)