

# ScvO<sub>2</sub>对老年患者机器人辅助肾部分切除术后急性肾损伤的预测价值

宋委洲<sup>1</sup>, 刘永哲<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>山西医科大学麻醉学院, 山西太原 030000; <sup>2</sup>解放军总医院第三医学中心麻醉科, 北京 100059

[中图分类号] R692.9 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.2519.2023.0510

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 宋委洲, 刘永哲. ScvO<sub>2</sub>对老年患者机器人辅助肾部分切除术后急性肾损伤的预测价值[J]. 解放军医学杂志, 2024, 49(8): 881-888.

[收稿日期] 2022-12-03 [录用日期] 2023-03-05 [上线日期] 2023-05-10

**[摘要]** **目的** 探究中心静脉血氧饱和度(ScvO<sub>2</sub>)对老年患者机器人辅助肾部分切除(RAPN)术后急性肾损伤(AKI)的预测价值。**方法** 回顾性收集2022年2—9月在解放军总医院第三医学中心泌尿外科接受RAPN的78例老年患者的临床资料。依据国际肾病改善全球预后标准诊断AKI, 根据术后是否发生AKI将患者分为AKI组( $n=22$ )与非AKI组( $n=56$ )。分别于中心静脉穿刺置管后( $T_0$ )、肾动脉阻断5 min后( $T_1$ )、肾动脉开放5 min后( $T_2$ )、手术结束后( $T_3$ )抽取动、静脉血进行血气分析, 分别记录血红蛋白(Hb)、动脉血乳酸(Lac)、动脉血氧分压(PaO<sub>2</sub>)、ScvO<sub>2</sub>, 计算氧摄取率(O<sub>2</sub>ER)。采用多因素logistic回归分析术后AKI的危险因素, 采用受试者工作特征(ROC)曲线分析ScvO<sub>2</sub>对老年患者RAPN术后AKI的预测价值。**结果** 与非AKI组比较, AKI组 $T_1$ — $T_2$ 时空腹血糖(FPG)水平均明显增高( $P<0.05$ )。与 $T_0$ 时比较, 两组 $T_1$ — $T_3$ 时FPG水平明显升高( $P<0.01$ ); 与 $T_1$ 时比较, 非AKI组 $T_3$ 时FPG水平明显升高( $P<0.01$ )。与非AKI组比较, AKI组 $T_1$ — $T_2$ 时ScvO<sub>2</sub>明显升高( $P<0.01$ ),  $T_2$ 时Lac水平明显升高( $P<0.05$ )。各时间点两组间O<sub>2</sub>ER比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。与 $T_0$ 时比较, 两组 $T_1$ — $T_3$ 时O<sub>2</sub>ER均明显下降( $P<0.01$ ), ScvO<sub>2</sub>均明显升高( $P<0.01$ ); 与 $T_1$ 时比较, 非AKI组 $T_2$ — $T_3$ 时ScvO<sub>2</sub>明显升高( $P<0.05$ 或 $P<0.01$ ); 与 $T_2$ 时比较, 非AKI组 $T_3$ 时ScvO<sub>2</sub>明显升高( $P<0.05$ )。多因素分析结果显示,  $T_1$  ScvO<sub>2</sub>(OR=1.127, 95%CI 1.006~1.263,  $P=0.039$ )为RAPN术后AKI的独立危险因素。ROC曲线分析结果显示,  $T_1$  ScvO<sub>2</sub>预测RAPN术后AKI的敏感度为77.3%, 特异度为71.4%, 截断值为81%, 曲线下面积(AUC)为0.761。**结论** ScvO<sub>2</sub>对于RAPN术后短期内AKI的发生具有一定的预测价值。

**[关键词]** 中心静脉血氧饱和度; 机器人; 肾部分切除术; 急性肾损伤; 预测价值

## Predictive value of ScvO<sub>2</sub> for acute kidney injury after robot-assisted partial nephrectomy in elderly patients

Song Wei-Zhou<sup>1</sup>, Liu Yong-Zhe<sup>1,2\*</sup><sup>1</sup>College of Anesthesiology, Shanxi Medical University, Taiyuan, Shanxi 030000, China<sup>2</sup>Department of Anesthesiology, the Third Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100059, China

\*Corresponding author, E-mail: lyzgao@163.com

**[Abstract]** **Objective** To investigate the predictive value of central venous oxygen saturation (ScvO<sub>2</sub>) in elderly patients with acute kidney injury (AKI) after robot-assisted partial nephrectomy (RAPN). **Methods** Seventy-eight elderly patients who underwent RAPN in the Department of Urology, the Third Medical Center of Chinese PLA General Hospital from February to September 2022 were selected. AKI was diagnosed according to the International Nephropathy Improving Global Prognosis Criteria, and the patients were divided into AKI group ( $n=22$ ) and non-AKI group ( $n=56$ ) according to whether AKI occurred after surgery. Blood gas analysis of venous blood was taken after central venous puncture ( $T_0$ ), 5 min after renal artery occlusion ( $T_1$ ), 5 min after renal artery opening ( $T_2$ ), and after surgery ( $T_3$ ). Hemoglobin (Hb), arterial blood lactic acid (Lac), arterial oxygen partial pressure

[作者简介] 宋委洲, 硕士研究生, 主要从事围手术期器官功能保护方面的研究

[通信作者] 刘永哲, E-mail: lyzgao@163.com

(PaO<sub>2</sub>), ScvO<sub>2</sub> were recorded respectively. Oxygen uptake rate (O<sub>2</sub>ER) were calculated. Multivariate logistic regression analysis was used to analyze the risk factors for postoperative AKI. Receiver operating characteristic (ROC) curve was used to analyze the predictive value of ScvO<sub>2</sub> for AKI in elderly patients after RAPN. **Results** Compared with non-AKI group, fasting plasma glucose (FPG) level in AKI group significantly increased at T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub> ( $P<0.05$ ). Compared with T<sub>0</sub>, FPG level in two groups obviously increased at T<sub>1</sub>-T<sub>3</sub> ( $P<0.01$ ). Compared with T<sub>1</sub>, the FPG level in T<sub>3</sub> significantly increased in non-AKI group ( $P<0.01$ ). Compared with non-AKI group, ScvO<sub>2</sub> in AKI group significantly increased at T<sub>1</sub>-T<sub>2</sub> ( $P<0.01$ ), Lac level at T<sub>2</sub> significantly increased ( $P<0.05$ ). There was no significant difference in O<sub>2</sub>ER between the two groups at each time point ( $P>0.05$ ). Compared with T<sub>0</sub>, O<sub>2</sub>ER in T<sub>1</sub>-T<sub>3</sub> significantly decreased ( $P<0.01$ ), and ScvO<sub>2</sub> in both groups significantly increased ( $P<0.01$ ). Compared with T<sub>1</sub>, ScvO<sub>2</sub> in non-AKI group significantly increased at T<sub>2</sub>-T<sub>3</sub> ( $P<0.05$  or  $P<0.01$ ). Compared with T<sub>2</sub>, ScvO<sub>2</sub> in non-AKI group significantly increased in T<sub>3</sub> ( $P<0.05$ ). Multiple-factor analysis showed that T<sub>1</sub> ScvO<sub>2</sub> (OR=1.127, 95%CI 1.006-1.263,  $P=0.039$ ) was an independent risk factor for AKI after RAPN. ROC curve analysis showed that T<sub>1</sub> ScvO<sub>2</sub> had a sensitivity of 77.3%, specificity of 71.4%, truncation value of 81%, and area under the curve (AUC) of 0.761 in predicting AKI after RAPN. **Conclusion** ScvO<sub>2</sub> has certain predictive value for the occurrence of short-term AKI after RAPN.

**[Key words]** central venous oxygen saturation; robot; partial nephrectomy; acute kidney injury; predictive value

肾部分切除术(partial nephrectomy, PN)是治疗肾脏小肿瘤(肿瘤直径<7 cm)的金标准,与肾癌根治术具有相同的远期治疗效果,同时可保留肾功能和提高总体生存率<sup>[1-2]</sup>。急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)是PN术后常见且严重的并发症<sup>[3]</sup>。即使在出院时肾功能明显恢复的情况下,肾小球滤过率相较术前也会呈持续下降的趋势,影响患者的远期肾功能<sup>[4]</sup>。由于老年患者各器官已处于衰退状态,肾单位切除后肾脏储备功能下降以及麻醉状态下血管舒张和心脏抑制作用引起的血压降低和肾脏灌注不足是引起术后AKI的主要原因。因此,术中维持良好的氧供需平衡和肾灌注是预防术后AKI的重要措施,在此类手术过程中进行精确的氧供需平衡监测显得尤为重要。理想的组织灌注参数应快速、无创且易于测量<sup>[5]</sup>,但目前尚缺乏直接测量肾脏灌注的方法,因此全身组织灌注参数是否可反映肾脏的氧供需平衡状态以及预测术后AKI尚未可知。反映全身组织灌注的指标如血压或尿量已被反复证实不够准确<sup>[6]</sup>,中心静脉血氧饱和度(central venous oxygen saturation, ScvO<sub>2</sub>)作为反映组织微循环氧代谢水平的良好指标,既往多用于预测脓毒症、严重创伤休克、心脏手术患者的预后<sup>[7-8]</sup>,可反映机体全身氧供与氧耗的关系<sup>[9]</sup>,但将其应用于预测机器人辅助肾部分切除术(robot-assisted partial nephrectomy, RAPN)后AKI发生的相关研究较少。因此,本研究以全麻下接受RAPN的老年患者为研究对象,通过观察患者术中ScvO<sub>2</sub>的变化,探讨ScvO<sub>2</sub>对术后AKI的预测价值,以期预防此类患者术后AKI提供依据。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 本研究获得解放军总医院第三医学中心医学伦理委员会批准(伦理号:KY2021-024;中国临床试验注册中心注册号:ChiCTR2100054825),

且患者或其监护人均签署知情同意书。回顾性选取2022年2—9月接受RAPN的78例老年患者为研究对象。纳入标准:(1)于本院全麻下接受RAPN;(2)年龄65~80岁;(3)性别不限;(4)美国麻醉医师协会(American Society of Anesthesiologists, ASA)分级I—III级;(5)术前肝、肾功能正常。排除标准:(1)孤立肾;(2)术前应用肾毒性药物;(3)肾二次手术病史;(4)术前有抢救病史;(5)术中及术后出现严重并发症。

**1.2 麻醉方法** 所有患者均无术前用药,入室后建立静脉通路,连接监护仪并常规监测血压、心率(heart rate, HR)、脉搏血氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO<sub>2</sub>)。麻醉诱导前局麻下桡动脉穿刺监测动脉压。麻醉诱导采用依托咪酯0.2 mg/kg、舒芬太尼0.3 μg/kg、顺式阿曲库铵0.2 mg/kg,气管插管后采用容量控制呼吸,调节呼吸机参数:新鲜气体流量2 L/min,潮气量6~8 ml/kg,呼吸频率12~15次/min,吸呼比1:2,吸入氧浓度60%,维持动脉血二氧化碳分压(arterial partial pressure of carbon dioxide, PaCO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>在35~45 mmHg。麻醉维持采用静-吸复合麻醉,吸入1%~2%七氟醚,静脉泵注丙泊酚15~20 ml/h、血浆靶浓度2~4 ng/ml靶控输注瑞芬太尼,维持脑电双频指数(bispectral index, BIS)在40~60。诱导后于超声引导下右侧颈内静脉穿刺并置入双腔中心静脉导管。术中补液首先以6~8 ml/(kg·h)输注乳酸钠林格液,按照晶胶比2:1输注羟乙基淀粉。所有患者术中血色素均未低于90 g/L,故均未输注浓缩红细胞。术中采用去氧肾上腺素、麻黄碱、地尔硫草、乌拉地尔等维持动脉压在基础值的±20%。

**1.3 AKI诊断标准** 根据KDIGO指南<sup>[10]</sup>诊断标准:术后48 h内肌酐上升≥0.3 mg/dl(≥26.5 μmol/L)或7 d内肌酐上升至基线值的1.5倍,或尿量<0.5 ml/(kg·h)持续6 h及以上即可诊断为AKI。按照术后是否发生

AKI将患者分为AKI组( $n=22$ )与非AKI组( $n=56$ )。

#### 1.4 观察指标

**1.4.1 一般资料及围手术期基线数据收集** 记录患者的年龄、性别、体重指数(body mass index, BMI)、左心室射血分数(left ventricular ejection fraction, LVEF)、肿瘤大小、去除肾实质大小、术前空腹血糖(fasting plasma glucose, FPG)、术前糖化血清蛋白(glycated serum protein, GSP)、术前血红蛋白(hemoglobin, Hb)、生活方式(吸烟、饮酒)、合并疾病(高血压、糖尿病、心血管疾病)、术中情况(肾动脉阻断时间、出血量、尿量、晶体液输注量、胶体液输注量、手术时间)、血管活性药物(苯肾上腺素、麻黄素、地尔硫草、乌拉地尔)使用量、术前和术后24 h C反应蛋白(C-reactive protein, CRP)水平、术后恶心呕吐(postoperativenausea and vomiting, PONV)发生率、术后3 h视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS)和住院时间。

**1.4.2 肾功能指标** 记录中心静脉穿刺置管后( $T_0$ )及术后48 h( $T_4$ )的血清肌酐(serum creatinine, Scr)、尿素氮(urea nitrogen, BUN)、胱抑素(cystatin C, Cys-C)、 $\beta_2$ 微球蛋白( $\beta_2$ -microglobulin,  $\beta_2$ -MG)、估算肾小球滤过率(estimated glomerular filtration rate, eGFR)、尿酸(uric acid, UA)等肾功能指标。

**1.4.3 全身氧灌注指标** 分别在桡动脉、中心静脉穿刺置管后( $T_0$ )、肾动脉阻断5 min后( $T_1$ )、肾动脉开放5 min后( $T_2$ )、以及手术结束后( $T_3$ )抽取动、静脉血进行血气分析,记录Hb、动脉血乳酸(lactic acid, Lac)、动脉血氧分压(arterial oxygen partial pressure,  $PaO_2$ )、 $ScvO_2$ 和氧摄取率(oxygen uptake rate,  $O_2ER$ )。 $O_2ER(\%) = \frac{\text{动静脉血氧含量差}(\text{difference between venous and arterial oxygen content, } Ca-vO_2)}{\text{动脉血氧含量}(\text{arterial oxygen content, } CaO_2)} \times 100\%$ ;其中 $Ca-vO_2 = CaO_2 - \text{静脉血氧含量}(\text{venous oxygen content, } CvO_2)$ ;  $CaO_2 = 1.34 \times Hb \times \text{动脉血氧饱和度}(\text{arterial oxygen saturation, } SaO_2) + 0.003 \times PaO_2$ ;  $CvO_2 = 1.34 \times Hb \times ScvO_2 + 0.003 \times PcvO_2$ 。

**1.4.4 老年患者RAPN术后AKI的危险因素分析** 将单因素分析中 $P < 0.05$ 的因素作为自变量,以术后是否发生AKI作为因变量,采用多因素logistic回归分析术后AKI的危险因素,结果以优势比(OR)和95%置信区间(CI)表示。

**1.4.5  $ScvO_2$ 对老年患者RAPN术后AKI的预测价值分析** 采用MedCalc软件绘制受试者工作特征(ROC)曲线,根据曲线下面积(AUC)分析 $ScvO_2$ 对老年患者RAPN术后AKI的预测价值。

**1.5 统计学处理** 应用SPSS 26.0和MedCalc 19.5.6软件进行统计分析。计数资料以例(%)表示,组间比较

采用 $\chi^2$ 检验或Fisher确切概率法;正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用两独立样本 $t$ 检验;非正态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比较采用两独立样本秩和检验,组内比较采用重复测量的方差分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两组一般情况比较** 两组一般资料及围手术期基线数据比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ,表1)。

**2.2 两组肾功能指标比较** 与非AKI组比较,AKI组 $T_4$ 时Scr、Cys-C、 $\beta_2$ -MG水平均明显增高( $P < 0.01$ )。与 $T_0$ 时比较, $T_4$ 时两组Scr、Cys-C水平均明显升高( $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ ),eGFR、UA水平均明显下降( $P < 0.01$ );与 $T_0$ 时比较, $T_4$ 时AKI组 $\beta_2$ -MG水平明显升高( $P < 0.01$ ) (表2)。

**2.3 两组FPG、 $PaO_2$ 、 $SpO_2$ 、HR、MAP、Hb、体温比较** 与非AKI组比较,AKI组 $T_1-T_2$ 时FPG水平均明显增高( $P < 0.05$ )。与 $T_0$ 时比较,两组 $T_1-T_3$ 时FPG水平明显升高( $P < 0.01$ );与 $T_1$ 时比较,非AKI组 $T_3$ 时FPG水平明显升高( $P < 0.01$ )。各时间点两组 $PaO_2$ 、 $SpO_2$ 、HR、MAP、Hb、体温组间组内比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ) (表3)。

**2.4 两组Lac、 $O_2ER$ 、 $ScvO_2$ 比较** 与非AKI组比较,AKI组 $T_1-T_2$ 时 $ScvO_2$ 明显升高( $P < 0.01$ ), $T_2$ 时Lac水平明显升高( $P < 0.05$ )。各时间点两组间 $O_2ER$ 比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。与 $T_0$ 时比较,两组 $T_1-T_3$ 时 $O_2ER$ 均明显下降( $P < 0.01$ ), $ScvO_2$ 均明显升高( $P < 0.01$ );与 $T_1$ 时比较,非AKI组 $T_2-T_3$ 时 $ScvO_2$ 明显升高( $P < 0.05$ 或 $P < 0.01$ );与 $T_2$ 时比较,非AKI组 $T_3$ 时 $ScvO_2$ 明显升高( $P < 0.05$ ) (表4)。

**2.5 RAPN术后AKI影响因素的二元logistic回归分析** 以术后是否发生AKI作为因变量,组间比较有统计学差异的5个指标( $T_1$  FPG、 $T_2$  FPG、 $T_2$  Lac、 $T_1$   $ScvO_2$ 、 $T_2$   $ScvO_2$ )作为自变量纳入二元logistic回归分析,结果显示, $T_1$   $ScvO_2$ (OR=1.127, 95%CI 1.006~1.263,  $P=0.039$ )为RAPN术后AKI的独立危险因素(表5)。

**2.6  $ScvO_2$ 对RAPN术后AKI的预测价值** ROC曲线分析结果显示, $T_1$   $ScvO_2$ 预测RAPN术后AKI的敏感度为77.3%,特异度为71.4%,截断值为81%,曲线下面积(AUC)为0.761(图1)。

## 3 讨论

RAPN因手术区域三维放大术野以及较高的灵活性和手术精度等优点逐渐取代腹腔镜下肾部分切除术(laparoscopic partial nephrectomy, LPN)<sup>[11]</sup>。RAPN可实现技术上具有挑战性的步骤,如PN期间的血管

表1 两组RAPN老年患者一般资料及围手术期基线数据比较

Tab.1 Comparison of the general and perioperative baseline data between the two groups of elderly patients underwent RAPN

指标	AKI组(n=22)	非AKI组(n=56)	t/ $\chi^2$ /Z	P
年龄[岁, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	68.0(66.0, 70.0)	68.0(67.0, 70.0)	-0.68	0.497
性别(男/女, 例)	15/7	35/21	0.22	0.638
BMI(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x}\pm s$ )	25.62±3.90	24.73±2.82	0.98	0.336
LVEF(% , $\bar{x}\pm s$ )	60.91±3.04	59.91±2.73	1.41	0.163
肿瘤大小[mm, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	31.01(26.55, 41.37)	30.87(12.77, 45.99)	0.48	0.633
去除肾实质大小[mm, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	73.66(60.71, 85.53)	71.18(43.72, 87.38)	0.47	0.641
术前FPG[mmol/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	5.24(4.67, 6.41)	5.40(5.00, 5.82)	0.26	0.798
术前GSP( $\mu$ mol/L, $\bar{x}\pm s$ )	160.09±15.36	156.63±18.25	0.79	0.434
术前Hb(g/dl, $\bar{x}\pm s$ )	141.00±13.50	136.25±18.57	1.09	0.279
生活方式[例(%)]				
饮酒	9(40.9)	17(30.4)	0.79	0.374
吸烟	10(45.5)	22(39.3)	0.25	0.618
合并疾病[例(%)]				
高血压	10(45.5)	32(57.1)	0.87	0.351
糖尿病	8(36.4)	18(32.1)	0.13	0.722
心血管疾病	7(31.8)	15(26.8)	0.20	0.657
术中因素				
肾动脉阻断时间(min, $\bar{x}\pm s$ )	21.73±5.17	20.38±7.87	0.74	0.459
出血量[ml, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	100.00(87.50, 200.00)	100.00(50.00, 200.00)	0.97	0.331
尿量[ml, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	150.00(100.00, 225.00)	100.00(100.00, 200.00)	0.57	0.566
晶液体液输注量[L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	1.50(1.00, 1.50)	1.13(1.00, 1.50)	1.47	0.143
胶液体液输注量[L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	0.50(0.50, 1.00)	0.50(0.50, 1.00)	0.14	0.891
苯肾上腺素/麻黄素[例(频率)]	9(14)	21(28)	0.08	0.781
地尔硫草/盐酸乌拉地尔[例(频率)]	7(7)	13(13)	0.61	0.434
手术时间(min, $\bar{x}\pm s$ )	147.73±23.34	141.79±23.36	1.01	0.315
CRP				
术前[mg/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	1.28(0.50, 2.25)	0.50(0.50, 2.11)	1.03	0.301
术后24 h[mg/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	18.85(14.43, 32.81)	19.83(14.09, 28.13)	0.20	0.844
预后				
PONV发生率[例(%)]	5(22.7)	14(25.0)	0.04	0.833
术后3 h VAS评分[分, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	2.50(2.00, 4.00)	2.50(2.00, 3.00)	1.52	0.129
住院时间[d, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	9.00(8.00, 11.00)	8.00(7.00, 10.00)	1.38	0.169

RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; BMI. 体重指数; LVEF. 左心室射血分数; FPG. 空腹血糖; GSP. 糖化血清蛋白; Hb. 血红蛋白; CRP. C反应蛋白; PONV. 术后恶心呕吐

表2 两组RAPN老年患者术前及术后48 h Scr、BUN、Cys-C、 $\beta_2$ -MG、eGFR、UA水平比较Tab.2 Comparison of levels of Scr, BUN, Cys-C,  $\beta_2$ -MG, eGFR, UA at before and 48 h after operation between the two groups of elderly patients underwent RAPN

指标	AKI组(n=22)		非AKI组(n=56)	
	T <sub>0</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>4</sub>
Scr( $\mu$ mol/L, $\bar{x}\pm s$ )	73.64±20.74	116.59±28.56 <sup>(2)(4)</sup>	68.09±15.16	80.13±16.76 <sup>(2)</sup>
BUN[mmol/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )或 $\bar{x}\pm s$ ]	6.07(4.81, 7.07)	7.10±1.56	5.59(4.83, 6.66)	6.45±1.88
Cys-C[mg/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	0.83(0.77, 0.91)	0.97(0.86, 1.25) <sup>(2)(4)</sup>	0.79(0.73, 0.91)	0.82(0.73, 0.98) <sup>(1)</sup>
$\beta_2$ -MG(mg/L, $\bar{x}\pm s$ )	1.84±0.40	2.15±0.45 <sup>(2)(4)</sup>	1.80±0.43	1.70±0.38
eGFR[ml/(min·1.73 m <sup>2</sup> ), $\bar{x}\pm s$ ]	100.44±11.47	72.76±21.87 <sup>(2)</sup>	101.53±12.89	81.38±28.86 <sup>(2)</sup>
UA( $\mu$ mol/L, $\bar{x}\pm s$ )	354.50±97.75	284.14±96.46 <sup>(2)</sup>	319.93±82.32	264.79±80.36 <sup>(2)</sup>

RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; Scr. 血清肌酐; BUN. 尿素氮; Cys-C. 胱抑素-C;  $\beta_2$ -MG.  $\beta_2$ 微球蛋白; eGFR. 估计肾小球滤过率; UA. 尿酸; T<sub>0</sub>. 中心静脉穿刺置管后; T<sub>4</sub>. 术后48 h; 与T<sub>0</sub>时比较, (1)P<0.05, (2)P<0.01; 与非AKI组比较, (3)P<0.05, (4)P<0.01

**表3** 两组 RAPN 老年患者 FPG、PaO<sub>2</sub>、SpO<sub>2</sub>、HR、MAP、Hb、体温比较  
**Tab.3** Comparison of levels of FPG, PO<sub>2</sub>, SpO<sub>2</sub>, HR, MAP, Hb, and T between the two groups of elderly patients underwent RAPN

指标	AKI组(n=22)						非AKI组(n=56)					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
FPG[mmol/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	5.35(5.03, 6.13)	6.95(6.10, 8.83) <sup>(1)(3)</sup>	7.55(6.35, 8.98) <sup>(1)(3)</sup>	6.90(6.38, 9.08) <sup>(1)</sup>	5.30(4.70, 5.98)	6.30(5.40, 7.15) <sup>(1)</sup>	6.40(5.73, 7.48) <sup>(1)</sup>	6.70(5.75, 7.85) <sup>(1)(2)</sup>	202.55±59.40	202.91±49.93	203.89±54.11	202.55±59.40
PaO <sub>2</sub> (mmHg, $\bar{x}\pm s$ )	196.77±49.39	201.41±47.51	203.82±41.40	203.95±63.50	195.34±54.39	202.91±49.93	203.89±54.11	202.55±59.40	99.50±0.51	99.36±0.66	99.41±0.50	99.64±0.48
SpO <sub>2</sub> (% , $\bar{x}\pm s$ )	99.50±0.51	99.36±0.66	99.41±0.50	99.59±0.50	99.46±0.63	97.73±13.31	99.64±0.48	99.64±0.48	60.00±5.64	59.86±8.07	58.20±7.66	59.04±4.14
HR(次/min, $\bar{x}\pm s$ )	84.77±9.51	81.77±10.93	83.18±10.72	82.68±6.91	83.16±8.15	80.95±8.84	81.00±8.82	81.68±8.79	141.00±13.50	140.32±13.27	137.91±17.40	140.98±16.92
MAP(mmHg, $\bar{x}\pm s$ )	36.53±0.17	36.54±0.17	36.53±0.12	36.54±0.16	36.54±0.18	36.54±0.16	36.52±0.18	36.54±0.17	36.53±0.17	36.53±0.17	36.52±0.18	36.54±0.17
Hb(g/L, $\bar{x}\pm s$ )	141.00±13.50	140.32±13.27	141.09±14.32	137.36±15.81	136.25±18.57	138.23±13.65	137.91±17.40	140.98±16.92	36.53±0.17	36.54±0.16	36.52±0.18	36.54±0.17
体温(°C, $\bar{x}\pm s$ )	36.53±0.17	36.54±0.17	36.53±0.12	36.54±0.16	36.54±0.18	36.54±0.16	36.52±0.18	36.54±0.17	RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; FPG. 空腹血糖; PaO <sub>2</sub> . 氧分压; SpO <sub>2</sub> . 血氧饱和度; HR. 心率; MAP. 平均动脉压; Hb. 血红蛋白; T <sub>0</sub> . 桡动脉、中心静脉穿刺置管后; T <sub>1</sub> . 肾动脉阻断5 min后; T <sub>2</sub> . 肾动脉开放5 min后; T <sub>3</sub> . 手术结束后; 与T <sub>0</sub> 时比较, (1)P<0.01; 与T <sub>1</sub> 时比较, (2)P<0.01; 与非AKI组比较, (3)P<0.05			

RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; FPG. 空腹血糖; PaO<sub>2</sub>. 氧分压; SpO<sub>2</sub>. 血氧饱和度; HR. 心率; MAP. 平均动脉压; Hb. 血红蛋白; T<sub>0</sub>. 桡动脉、中心静脉穿刺置管后; T<sub>1</sub>. 肾动脉阻断5 min后; T<sub>2</sub>. 肾动脉开放5 min后; T<sub>3</sub>. 手术结束后; 与T<sub>0</sub>时比较, (1)P<0.01; 与T<sub>1</sub>时比较, (2)P<0.01; 与非AKI组比较, (3)P<0.05

**表4** 两组 RAPN 老年患者 Lac 水平、O<sub>2</sub>ER、ScvO<sub>2</sub> 比较  
**Tab.4** Comparison of level of Lac, O<sub>2</sub>ER and ScvO<sub>2</sub> between the two groups of elderly patients underwent RAPN

指标	AKI组(n=22)						非AKI组(n=56)					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
Lac[mmol/L, M(Q <sub>1</sub> , Q <sub>3</sub> )]	1.00(0.88, 1.08)	1.00(0.80, 1.30)	1.15(0.95, 1.30) <sup>(5)</sup>	1.10(0.90, 1.40)	0.90(0.80, 1.20)	1.00(0.80, 1.10)	1.00(0.70, 1.20)	1.00(0.80, 1.20)	17.26±8.31 <sup>(1)</sup>	18.33±7.76 <sup>(1)</sup>	17.34±6.89 <sup>(1)</sup>	17.26±8.31 <sup>(1)</sup>
O <sub>2</sub> ER(% , $\bar{x}\pm s$ )	26.85±7.50	18.07±6.11 <sup>(1)</sup>	16.14±5.72 <sup>(1)(2)</sup>	18.76±8.05 <sup>(1)</sup>	24.99±9.68	18.33±7.76 <sup>(1)</sup>	17.34±6.89 <sup>(1)</sup>	17.26±8.31 <sup>(1)</sup>	72.77±6.58	84.18±5.62 <sup>(1)(6)</sup>	84.68±3.58 <sup>(1)(6)</sup>	82.46±7.85 <sup>(1)(3)(4)</sup>
ScvO <sub>2</sub> (% , $\bar{x}\pm s$ )	72.77±6.58	84.18±5.62 <sup>(1)(6)</sup>	84.68±3.58 <sup>(1)(6)</sup>	83.14±6.29 <sup>(1)</sup>	72.52±8.54	78.02±6.83 <sup>(1)</sup>	79.88±6.83 <sup>(1)(2)</sup>	82.46±7.85 <sup>(1)(3)(4)</sup>	RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; Lac. 乳酸; O <sub>2</sub> ER. 氧摄取率; ScvO <sub>2</sub> . 中心静脉血氧饱和度; T <sub>0</sub> . 桡动脉、中心静脉穿刺置管后; T <sub>1</sub> . 肾动脉阻断5 min后; T <sub>2</sub> . 肾动脉开放5 min后; T <sub>3</sub> . 手术结束后; 与T <sub>0</sub> 时比较, (1)P<0.01; 与T <sub>1</sub> 时比较, (2)P<0.05, (3)P<0.01; 与T <sub>2</sub> 时比较, (4)P<0.05; 与非AKI组比较, (5)P<0.05, (6)P<0.01			

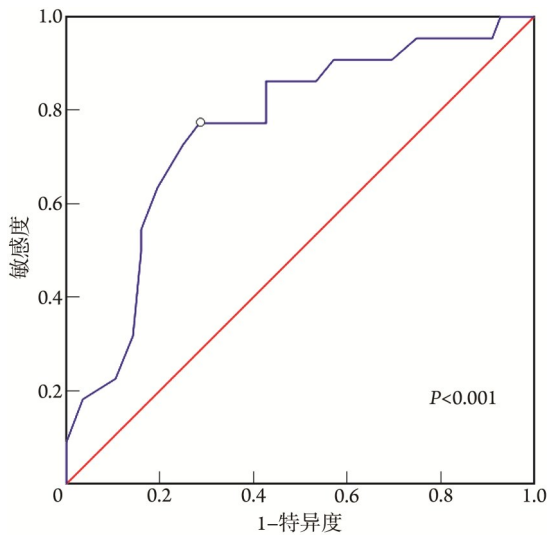
RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; Lac. 乳酸; O<sub>2</sub>ER. 氧摄取率; ScvO<sub>2</sub>. 中心静脉血氧饱和度; T<sub>0</sub>. 桡动脉、中心静脉穿刺置管后; T<sub>1</sub>. 肾动脉阻断5 min后; T<sub>2</sub>. 肾动脉开放5 min后; T<sub>3</sub>. 手术结束后; 与T<sub>0</sub>时比较, (1)P<0.01; 与T<sub>1</sub>时比较, (2)P<0.05, (3)P<0.01; 与T<sub>2</sub>时比较, (4)P<0.05; 与非AKI组比较, (5)P<0.05, (6)P<0.01

表5 RAPN术后AKI影响因素的二元logistic回归分析结果

Tab.5 Binary logistic regression analysis of risk factors AKI after RAPN

指标	单因素回归分析		多因素回归分析	
	OR(95%CI)	P	OR(95%CI)	P
T <sub>1</sub> FPG	1.475(1.057~2.058)	0.022	1.148(0.755~1.748)	0.518
T <sub>2</sub> FPG	1.432(1.061~1.932)	0.019	1.382(0.932~2.051)	0.108
T <sub>2</sub> Lac	3.708(0.843~16.316)	0.083	-	-
T <sub>1</sub> ScvO <sub>2</sub>	1.186(1.069~1.316)	0.001	1.127(1.006~1.263)	0.039
T <sub>2</sub> ScvO <sub>2</sub>	1.160(1.044~1.288)	0.006	1.096(0.968~1.239)	0.147

RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤; FPG. 空腹血糖; Lac. 乳酸; ScvO<sub>2</sub>. 中心静脉血氧饱和度; T<sub>1</sub>. 肾动脉阻断5 min后; T<sub>2</sub>. 肾动脉开放5 min后; “-” 示无数据



ScvO<sub>2</sub>. 中心静脉血氧饱和度; RAPN. 机器人辅助肾部分切除术; AKI. 急性肾损伤

图1 ROC曲线分析T<sub>1</sub> ScvO<sub>2</sub>对RAPN术后AKI的预测价值  
Fig.1 ROC curve analysis of T<sub>1</sub> ScvO<sub>2</sub> in predicting AKI after RAPN in elderly patients

准备、肿瘤切除和肾脏重建,可减少与肿瘤一并切除的肾实质的损失,并通过精确缝合来限制术后肾实质萎缩,因此可缩短住院时间和肾动脉阻断时间,并更好地保留肾功能<sup>[12]</sup>。既往研究发现,PN术后AKI的发生率为16.5%~42.0%<sup>[13]</sup>,本研究RAPN术后AKI发生率为28.2%(22/78)。研究表明,术后AKI发生的原因包括肾动脉阻断时间(一般不应超过25 min)<sup>[14]</sup>、肿瘤大小、术中肾实质体积减小和术中阻断肾血管引起的肾缺血再灌注损伤等<sup>[1]</sup>。本研究中,AKI与非AKI患者肿瘤大小、切除肾脏体积和肾动脉阻断时间(均未超过25 min)均无统计学差异。高龄也是术后AKI发生的重要原因。与其他年龄段人群相比,老年人更容易发生AKI且预后较差<sup>[15]</sup>。肾脏中典型的与年龄相关的结构变化包括肾实质质量的丧失、进行性肾小球硬化、肾小管疾病、间质纤维化和传入传出小动脉分流等;与年龄相关的功能变化包括eGFR降低、尿液浓缩能力丧失和中枢介导的水稳态

控制的变化等<sup>[16]</sup>。随着年龄增长,老年患者的肾脏结构和功能更易受缺血或药物等因素的影响,麻醉药物耐受性差和手术操作引起的血流动力学波动导致老年患者AKI发生率大幅提升<sup>[17]</sup>。与65岁以下患者相比,65岁以上患者AKI发病率增高10倍,且肾脏恢复率显著降低,透析风险更高<sup>[18]</sup>。本研究以65岁以上老年患者为研究对象,术后AKI发生率为28.2%。

既往多项研究发现患者基线数据如高血压、糖尿病、BMI等与术后AKI密切相关<sup>[19-20]</sup>,由于高血压患者血压长期升高引起肾脏小血管病变,肾脏进而出现缺血性改变,最终导致肾小动脉管壁增厚或eGFR下降为临床表现的肾脏缺血性损伤<sup>[13]</sup>。糖尿病患者则因高血糖加重机体氧化应激损伤而加重肾脏缺血/再灌注(ischemical/reperfusion, I/R)损伤<sup>[21]</sup>。亦有研究表明,心脏大手术和腹部手术后AKI发生率常随BMI升高而升高<sup>[22]</sup>,可能是因为肥胖可增加肾小球的循环和代谢负荷,导致患者功能性肾单位数量减少;肥胖还可引起如肾小球高灌注和高滤过的血流动力学变化,最终导致肾损伤<sup>[23]</sup>。但本研究尚未发现高血压、糖尿病、BMI与术后AKI相关,或与样本量较少有关。关于性别对术后AKI的影响,研究发现,与女性患者相比,男性患者更易出现术后AKI,原因可能是雌激素可通过激活一氧化氮合酶、抑制内皮素-1的产生以及减轻肾交感神经系统造成的肾脏I/R损伤而发挥肾保护作用<sup>[23]</sup>。本研究中性别虽然在AKI组与非AKI组间无统计学差异,但仍可发现术后发生AKI的男性患者数量为女性患者的一倍。

肾脏组织缺血缺氧被认为是多种形式AKI发生的关键原因<sup>[24]</sup>。有研究采用激光多普勒血流仪测量53例肾移植患者在器官表面肾脏再灌注后5 min和30 min的微循环肾灌注,发现在再灌注后5 min,死者移植物的微血管血流量明显低于活体供体,而这种差异在再灌注后30 min减弱<sup>[25]</sup>,因此本研究选取

了肾动脉阻断和开放 5 min 两个时间点代表肾脏较为稳定的阻断和开放后的内环境状态。除肾动脉阻断这个不可改变的因素外，术中全身的氧供需平衡状态和肾灌注也是影响术后 AKI 的重要原因，此类手术中进行精确的术中氧供需平衡监测显得尤为重要。临床常用的监测全身氧供需平衡的指标为动脉血 Lac，研究表明 Lac 在心脏手术、脓毒症以及危重患者中具有指导循环管理、评价全身氧供需平衡及预测不良预后的作用<sup>[26]</sup>。Lac 是无氧糖酵解的最终产物，在细胞缺氧或低外周灌注状态下，血清 Lac 水平升高，故被认为是细胞灌注的替代品<sup>[27]</sup>。本研究发现，AKI 患者在肾动脉开放 5 min 后动脉血 Lac 水平明显增高。组织氧合是否充足取决于氧供( $DO_2$ )与氧耗( $VO_2$ )之间的平衡。 $O_2ER$  是组织从血液中摄取氧的百分比，正常  $O_2ER$  值约为 25%<sup>[28]</sup>， $O_2ER=VO_2/DO_2$ ，其中  $DO_2 \approx SaO_2 \times Hb \times 1.34 \times CO$ ， $VO_2 \approx (SaO_2 - ScvO_2) \times (Hb \times 1.34 \times CO)$ ，因此  $O_2ER$  与  $ScvO_2$  的关系可简化为： $O_2ER = (SaO_2 - ScvO_2) / SaO_2$ 。由此可见， $ScvO_2$  越大， $O_2ER$  越小，本研究结果与之一致，但本研究的回归分析结果显示，Lac 不是术后 AKI 的危险因素，故其对于 AKI 不具有预测价值。

$ScvO_2$  与肾脏灌注之间存在一定相关性。肾多普勒阻力指数 (renal doppler resistive index, RDRI) 可反映肾血管灌注状态。RDRI 依赖于灌注压，并且在低血容量或正常血容量性贫血的情况下会因低血压而增高<sup>[29]</sup>。单因素分析发现，混合静脉血氧饱和度 (mixed venous blood oxygen saturation,  $SvO_2$ )、 $O_2ER$ 、左室每搏做功指数 (left ventricular stroke work index, LVSWI)、心脏指数与 RDRI 明显相关；多因素分析发现 RDRI 仅与  $SvO_2$  明显相关<sup>[30]</sup>，而  $ScvO_2$  可替代  $SvO_2$ <sup>[9]</sup>。 $ScvO_2$  作为组织微循环氧代谢水平的良好指标，反映了血液返回右心之前器官对氧气的摄取及机体全身  $DO_2$  与  $VO_2$  的关系，对于监测败血症、严重创伤、心脏术后等循环不稳定患者的血流动力学具有重要作用<sup>[7,9]</sup>。正常情况下  $ScvO_2$  在 70% 以上，但当患者处于休克或者呼吸困难时，由于贫血、血容量不足、心肌功能障碍所致的心力衰竭、缺氧和代谢需求增加而导致  $ScvO_2$  可能低于 70%<sup>[9,31]</sup>。研究表明，急诊剖腹手术后延长 ICU 住院时间的迟发性脓毒症患者的  $ScvO_2$  明显降低<sup>[32]</sup>。一项针对接受开腹结肠手术老年患者的研究发现， $ScvO_2$  与术后谵妄之间存在关联，并且谵妄患者存在术后  $ScvO_2$  降低的趋势<sup>[33]</sup>。择期心脏手术患者  $ScvO_2 < 70%$  与较高的心脏手术死亡率相关<sup>[31]</sup>。由此可见， $ScvO_2 < 70%$  时，机体的全身氧灌注已处于危机状态。但也有研究表明， $ScvO_2$  过高对机体未必有益，如一项纳入 619 例败血症患者的研究将  $ScvO_2$  值分为 3 个级别：低氧

( $< 70%$ )、常氧 (71%~89%) 和高氧 (90%~100%)，结果发现，与高氧组和低氧组比较，常氧组病死率明显降低，高氧与病死率的相关性最高 ( $OR=2.2$ , 95%CI 1.3~3.7)<sup>[34]</sup>。在早期目标导向治疗患者中，与初始  $ScvO_2$  显示常氧的患者相比，初始  $ScvO_2$  显示高氧的患者住院病死率增高<sup>[35]</sup>，原因可能是由于血管收缩<sup>[36]</sup>或线粒体功能障碍导致细胞无法提取氧气<sup>[9]</sup>，且高  $ScvO_2$  常伴随着全身炎症反应、高血糖和高乳酸<sup>[37]</sup>。由此可见， $ScvO_2$  过高并非代表全身的氧灌注水平更好，高  $ScvO_2$  可被认为是围手术期组织氧合受损的一个未被认识到的警告标志<sup>[6]</sup>。本研究结果与之相契合：65 岁以上老年患者 RALP 中，AKI 患者在肾动脉阻断 5 min 和开放 5 min 时  $ScvO_2$  均明显高于非 AKI 患者，且伴随着乳酸和血糖水平明显增高；多因素 logistic 回归分析结果显示，肾动脉阻断 5 min 的  $ScvO_2$  是术后 AKI 的危险因素。表明肾动脉阻断 5 min 时的  $ScvO_2$  对于 PARN 术后短期内 (48 h) AKI 的发生具有一定的预测价值，具体机制有待进一步研究。

本研究存在一定局限性：为单中心小样本量研究，未评估长期肾功能的变化，未能监测心功能等，未来应开展多中心大样本临床研究进一步验证。

总之， $ScvO_2$  可有效评估老年患者 RARN 术中的组织灌注状态，预测术后短期内 AKI 的发生，这为进一步开展机制性研究提供了临床依据。

#### 【参考文献】

- [1] Tachibana H, Kondo T, Yoshida K, *et al.* Lower incidence of postoperative acute kidney injury in robot-assisted partial nephrectomy than in open partial nephrectomy: a propensity score-matched study[J]. *J Endourol*, 2020, 34(7): 754-762.
- [2] 朱森强, 郝元元, 毕然, 等. 机器人辅助下肾部分切除术患者肾功能保留和三连胜结局的影响因素分析[J]. *吉林大学学报(医学版)*, 2023, 49(6): 1569-1577.
- [3] 范春玲, 刘永哲. 腹腔镜下肾部分切除术急性肾损伤的危险因素及其预测价值[J]. *解放军医学杂志*, 2022, 47(5): 493-499.
- [4] O'Connor ME, Kirwan CJ, Pearse RM, *et al.* Incidence and associations of acute kidney injury after major abdominal surgery [J]. *Intensive Care Med*, 2016, 42(4): 521-530.
- [5] Hasanin A, Mukhtar A, Nassar H. Perfusion indices revisited[J]. *J Intensive Care*, 2017, 5: 24.
- [6] Rivers EP, Yataco AC, Jaehne AK, *et al.* Oxygen extraction and perfusion markers in severe sepsis and septic shock: diagnostic, therapeutic and outcome implications[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2015, 21(5): 381-387.
- [7] Perz S, Uhlig T, Kohl M, *et al.* Low and "supranormal" central venous oxygen saturation and markers of tissue hypoxia in cardiac surgery patients: a prospective observational study[J]. *Intensive Care Med*, 2011, 37(1): 52-59.
- [8] Habicher M, von Heymann C, Spies CD, *et al.* Central venous-arterial  $pCO_2$  difference identifies microcirculatory hypoperfusion

- in cardiac surgical patients with normal central venous oxygen saturation: a retrospective analysis[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2015, 29(3): 646-655.
- [9] Peyrony O, Dumas G, Legay L, *et al*. Central venous oxygen saturation is not predictive of early complications in cancer patients presenting to the emergency department[J]. *Intern Emerg Med*, 2019, 14(2): 281-289.
- [10] Hori S, Tanaka N, Iida K, *et al*. Impact of radical nephrectomy and partial nephrectomy on actual estimated overall survival compared to life expectancy in patients with renal cell carcinoma[J]. *Res Rep Urol*, 2021, 13: 155-165.
- [11] Deng W, Li J, Liu X, *et al*. Robot-assisted *versus* laparoscopic partial nephrectomy for anatomically complex T1b renal tumors with a RENAL nephrometry score $\geq$ 7: a propensity score-based analysis[J]. *Cancer Med*, 2020, 9(2): 586-594.
- [12] Ohba K, Matsuo T, Mitsunari K, *et al*. Preservation of split renal function after laparoscopic and robot-assisted partial nephrectomy[J]. *Anticancer Res*, 2022, 42(6): 3055-3060.
- [13] 王玥瑶, 漆仲文, 冀楠, 等. 张军平教授分期辨治高血压肾损害临证经验[J]. *时珍国医国药*, 2021, 32(11): 2755-2756.
- [14] Kim NY, Chae D, Lee J, *et al*. Development of a risk scoring system for predicting acute kidney injury after minimally invasive partial and radical nephrectomy: a retrospective study[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(4): 1626-1635.
- [15] Liu JQ, Cai GY, Liang S, *et al*. Characteristics of and risk factors for death in elderly patients with acute kidney injury: a multicentre retrospective study in China[J]. *Postgrad Med J*, 2018, 94(1111): 249-253.
- [16] Wei Q, Liu H, Tu Y, *et al*. The characteristics and mortality risk factors for acute kidney injury in different age groups in China—a cross sectional study[J]. *Ren Fail*, 2016, 38(9): 1413-1417.
- [17] Gharaibeh KA, Hamadah AM, Sierra RJ, *et al*. The rate of acute kidney injury after total hip arthroplasty is low but increases significantly in patients with specific comorbidities[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2017, 99(21): 1819-1826.
- [18] Chao CT, Wu VC, Lai CF, *et al*. Advanced age affects the outcome-predictive power of RIFLE classification in geriatric patients with acute kidney injury[J]. *Kidney Int*, 2012, 82(8): 920-927.
- [19] Schmid M, Krishna N, Ravi P, *et al*. Trends of acute kidney injury after radical or partial nephrectomy for renal cell carcinoma[J]. *Urol Oncol*, 2016, 34(7): 293.e1-293.e10.
- [20] Kim NY, Lee HS, Park JH, *et al*. Influence of age on gender-related differences in acute kidney injury after minimally invasive radical or partial nephrectomy[J]. *Surg Endosc*, 2022, 36(5): 2962-2972.
- [21] Wang R, Zhang H, Zhu Y, *et al*. The impact of diabetes mellitus on acute kidney injury after coronary artery bypass grafting[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2020, 15(1): 289.
- [22] Billings FT, Pretorius M, Schildcrout JS, *et al*. Obesity and oxidative stress predict AKI after cardiac surgery[J]. *J Am Soc Nephrol*, 2012, 23(7): 1221-1228.
- [23] 范春玲, 刘永哲. 腹腔镜下肾部分切除术后急性肾损伤的危险因素及其预测价值[J]. *解放军医学杂志*, 2022, 47(5): 493-499.
- [24] Lankadeva YR, Okazaki N, Evans RG, *et al*. Renal medullary hypoxia: a new therapeutic target for septic acute kidney injury? [J]. *Semin Nephrol*, 2019, 39(6): 543-553.
- [25] Scheeren TWL, Martin K, Maruschke M, *et al*. Prognostic value of intraoperative renal tissue oxygenation measurement on early renal transplant function[J]. *Transpl Int*, 2011, 24(7): 687-696.
- [26] Desplanque L, Hamaude-Defrocourt F, Berkia I, *et al*. Lactate clearance in infants undergoing surgery for congenital heart disease [J]. *Artif Organs*, 2019, 43(1): 54-59.
- [27] Fuller BM, Dellinger RP. Lactate as a hemodynamic marker in the critically ill[J]. *Curr Opin Crit Care*, 2012, 18(3): 267-272.
- [28] Park JS, Kim SJ, Lee SW, *et al*. Initial low oxygen extraction ratio is related to severe organ dysfunction and high in-hospital mortality in severe sepsis and septic shock patients[J]. *J Emerg Med*, 2015, 49(3): 261-267.
- [29] Koma LM, Spotswood TC, Kirberger RM, *et al*. Influence of normovolemic anemia on Doppler characteristics of the abdominal aorta and splanchnic vessels in Beagles[J]. *Am J Vet Res*, 2005, 66(2): 187-195.
- [30] Corradi F, Brusasco C, Paparo F, *et al*. Renal Doppler resistive index as a marker of oxygen supply and demand mismatch in postoperative cardiac surgery patients[J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 763940.
- [31] Miranda CA, Meletti JFA, Lima LHN, *et al*. Perioperative central venous oxygen saturation and its correlation with mortality during cardiac surgery: an observational prospective study[J]. *Braz J Anesthesiol*, 2020, 70(5): 484-490.
- [32] Salem G, Abbas NI, Zakaria AY, *et al*. Central venous oxygen saturation/lactate ratio: a novel predictor of outcome following emergency open laparotomy[J]. *Eur J Trauma Emerg Surg*, 2021, 47(2): 353-363.
- [33] Tobar E, Abedrapo MA, Godoy JA, *et al*. Impact of hypotension and global hypoperfusion in postoperative delirium: a pilot study in older adults undergoing open colon surgery[J]. *Braz J Anesthesiol*, 2018, 68(2): 135-141.
- [34] Devia Jaramillo G, Castro Canoa J, Valverde Galván E. Approach of minimal invasive monitoring and initial treatment of the septic patient in emergency medicine[J]. *Open Access Emerg Med*, 2018, 10: 183-191.
- [35] Pope JV, Jones AE, Gaieski DF, *et al*. Multicenter study of central venous oxygen saturation (ScvO<sub>2</sub>) as a predictor of mortality in patients with sepsis[J]. *Ann Emerg Med*, 2010, 55(1): 40-46.e1.
- [36] Balzer F, Sander M, Simon M, *et al*. High central venous saturation after cardiac surgery is associated with increased organ failure and long-term mortality: an observational cross-sectional study[J]. *Crit Care*, 2015, 19(1): 168.
- [37] Textoris J, Fouché L, Wiramus S, *et al*. High central venous oxygen saturation in the latter stages of septic shock is associated with increased mortality[J]. *Crit Care*, 2011, 15(4): R176.