

小儿机器人辅助腹腔镜肾盂成形术中动脉血二氧化碳分压对局部脑氧饱和度的影响

史素慧^{1,2}, 范春玲³, 刘永哲⁴, 吴安石^{1*}

¹首都医科大学附属北京朝阳医院麻醉科, 北京 100020; ²解放军总医院第七医学中心麻醉科, 北京 100700; ³北京大学首钢医院麻醉科, 北京 100144; ⁴解放军总医院第三医学中心麻醉科, 北京 100039

[中图分类号] R726.9

[文献标志码] A

[DOI]

10.11855/j.issn.0577-7402.2022.10.1020

[声明]

本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文]

史素慧, 范春玲, 刘永哲, 等. 小儿机器人辅助腹腔镜肾盂成形术中动脉血二氧化碳分压对局部脑氧饱和度的影响[J]. 解放军医学杂志, 2022, 47(10): 1020-1025.

[收稿日期] 2021-11-17

[录用日期] 2022-02-25

[上线日期] 2022-06-29

[摘要] 目的 探讨小儿机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(RALP)中动脉血二氧化碳分压(PaCO₂)对患儿局部脑氧饱和度(rScO₂)的影响。方法 选择2019年2月—2020年2月于解放军总医院第七医学中心小儿泌尿外科行RALP的45例患儿为研究对象, 通过调节潮气量和呼吸频率将术中PaCO₂分别维持在35~45 mmHg(N组)、30~34 mmHg(M组)与25~29 mmHg(L组), 每组15例。分别于麻醉前(T₀)、气管插管后10 min (T₁)、侧卧位手术开始前(T₂)、气腹后30 min (T₃)、气腹结束后10 min (T₄)、手术结束恢复平卧位后10 min (T₅), 记录患侧rScO₂、经皮脉搏氧饱和度(SpO₂)、心率(HR)、平均动脉压(MAP)、咽温(T)、pH值及血红蛋白(Hb)水平, 并抽取动脉血进行血气分析, 记录PaCO₂水平, 术毕记录手术时间。结果 与T₀时比较, 三组患儿T₁时rScO₂均明显升高, L组T₃时rScO₂明显降低(P<0.05); 与T₂时比较, L组患儿T₃时rScO₂明显降低(P<0.05); 与T₃时比较, L组患儿T₄、T₅时rScO₂明显升高(P<0.05)。与N组比较, L组患儿T₃时rScO₂明显下降(P<0.05)。双因素方差分析结果显示, 三组患儿在T₂与T₃、T₃与T₄时组别和气腹之间均无交互关系(P>0.05); 与T₂时比较, L组患儿T₃时rScO₂明显降低(P<0.05); 与T₃时比较, L组患儿T₄时rScO₂明显升高(P<0.05)。三组T₀—T₅各时间点的SpO₂、HR、MAP、T、pH、Hb组间和组内比较, 差异均无统计学意义(P>0.05)。结论 在小儿RALP术中, PaCO₂在25~29 mmHg时, 气腹可导致手术侧rScO₂明显下降, 大脑氧供需失衡的风险增加。

[关键词] 脑氧饱和度; 动脉血二氧化碳分压; 小儿; 腹腔镜肾盂成形术; 机器人辅助手术

Effects of PaCO₂ on regional cerebral oxygen saturation during robot assisted laparoscopic pyeloplasty in children

Shi Su-Hui^{1,2}, Fan Chun-Ling³, Liu Yong-Zhe⁴, Wu An-Shi^{1*}

¹Department of Anesthesiology, Beijing Chao-yang Hospital, Capital Medical University, Beijing 100020, China

²Department of Anesthesiology, the Seventh Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100700, China

³Department of Anesthesiology, Peking University Shougang Hospital, Beijing 100144, China

⁴Department of Anesthesiology, the Third Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100039, China

*Corresponding author, Email: wuanshi88@163.com

[Abstract] **Objective** To investigate the effects of different arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO₂) on regional cerebral oxygen saturation (rScO₂) in robot assisted laparoscopic pyeloplasty (RALP) in children. **Methods** Forty-five children who received RALP in Pediatric Urology Department of the Seventh Medical Center of Chinese PLA General Hospital from February 2019 to February 2020 were selected as the study subjects, by adjusting tidal volume and respiratory rate maintained

[作者简介] 史素慧, 主治医师, 主要从事小儿麻醉方面的研究

[通信作者] 吴安石, E-mail: wuanshi88@163.com

PaCO₂ at 35-45 mmHg (group N), 30-34 mmHg (group M) and 25-29 mmHg (group L) with 15 patients in each group. Before anesthesia (T₀), 10 min after endotracheal intubation (T₁), before lateral decubitus surgery (T₂), 30 min after pneumoperitoneum (T₃), 10 min after pneumoperitoneum (T₄), and 10 min after recumbent position (T₅), rScO₂ of affected side, percutaneous pulse oxygen saturation (SpO₂), heart rate (HR), mean arterial pressure (MAP), pharyngeal temperature (T), pH and hemoglobin (Hb) were recorded respectively. Arterial blood was extracted for blood gas analysis, and PaCO₂ was recorded, operation time was recorded after operation. **Results** Compared with T₀, rScO₂ in the three groups was increased significantly at T₁, and decreased significantly at T₃ in group L ($P<0.05$); compared with T₂, rScO₂ in group L at T₃ was significantly lower ($P<0.05$); compared with T₃, rScO₂ in group L was increased significantly at T₄ and T₅ ($P<0.05$). Compared with group N, rScO₂ in group L was decreased significantly at T₃ ($P<0.05$). Two-factor ANOVA showed that there was no interaction between group and pneumoperitoneum at T₂ and T₃, T₃ and T₄ in the three groups ($P>0.05$); compared with T₂, rScO₂ at T₃ in group L was significantly lower ($P<0.05$); compared with T₃, rScO₂ at T₄ in group L was significantly increased ($P<0.05$). There were no significant differences in SpO₂, HR, MAP, T, pH and Hb among the three groups at each time point of T₀-T₅. **Conclusion** Pneumoperitoneum resulted in a significant decrease in rScO₂ on the affected side when PaCO₂ was within 25-29 mmHg during pediatric RALP and the risk of the cerebral oxygen supply-demand unbalance increased.

[Key words] regional cerebral oxygen saturation; arterial partial pressure of carbon dioxide; children; laparoscope pyeloplasty; robot assisted surgery

先天性肾盂输尿管连接部梗阻(ureteropelvic junction obstruction, UPJO)是小儿肾积水最常见的病因之一^[1], 机器人辅助腹腔镜肾盂成形术(robot assisted laparoscopic pyeloplasty, RALP)具有失血量少、手术时间短及并发症少等优点, 已逐渐应用于小儿UPJO的治疗^[2-5]。此类手术所需的CO₂气腹常导致动脉血二氧化碳分压(arterial carbon dioxide partial pressure, PaCO₂)发生变化。PaCO₂是脑血流量(cerebral blood flow, CBF)的主要调节剂^[6], 当PaCO₂为20~80 mmHg时, CBF与PaCO₂呈正相关, PaCO₂每变化1 mmHg, CBF即增加或减少2%~4%^[7]。小儿脑血流调节速度较成人快, 但其脑血管弹性自动调节范围较窄^[8], 因此, 维持合适的PaCO₂对于维持小儿脑组织氧供需平衡至关重要。局部脑氧饱和度(regional cerebral oxygen saturation, rScO₂)可无创、实时、连续反映局部脑组织氧供需状态^[8-10], 对及时发现患儿围手术期脑功能异常及减少术后神经系统并发症具有重要意义^[11]。研究发现, rScO₂随PaCO₂的增高而增加, 并随PaCO₂的降低而降低^[12], 通过对rScO₂进行监测, 可快速准确地判断脑组织的氧供需平衡状态。本研究探讨了PaCO₂对小儿RALP术中rScO₂的影响, 以明确此类患儿术中PaCO₂的安全范围, 为临床应用提供依据。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为前瞻性研究。选择2019年2月—2020年2月于解放军总医院第七医学中心小儿泌尿外科行RALP的45例患儿为研究对象。纳入标准: (1)美国麻醉医师协会(ASA)分级 I—II级; (2)性别不限; (3)年龄≤2岁; (4)体重≥3.5 kg; (5)无重要脏器严重疾病。排除标准: (1)早产儿(孕龄

<38周); (2)术前有腹部手术史; (3)合并穿孔、梗阻、严重感染、中重度脱水、重度营养不良、高热等; (4)严重心、肝、肾功能异常及恶性肿瘤; (5)术中出现重大并发症, 如心跳骤停、肺栓塞、死亡等。根据既往研究结果^[13]进行分组, 将患儿按照就诊顺序编号, 依据术中PaCO₂范围区间分为N组(PaCO₂ 35~45 mmHg)、M组(PaCO₂ 30~34 mmHg)与L组(PaCO₂ 25~29 mmHg), 每组15例。本研究经解放军总医院第七医学中心医学伦理委员会批准(2021-12), 患儿家属均签署知情同意书。

1.2 麻醉方法 患儿入室前建立外周静脉通路, 静脉注射咪达唑仑0.1 mg/kg、长托宁0.02 mg/kg、甲泼尼龙1 mg/kg; 待患儿入睡后入室, 常规监测心电图(electrocardiogram, ECG)、无创血压(non-invasive blood pressure, NIBP)、心率(heart rate, HR)、经脉搏氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO₂)及脑电双频指数(bispectral index, BIS)。麻醉诱导: 静脉注射丙泊酚3 mg/kg、芬太尼4 μg/kg、罗库溴铵1 mg/kg, 诱导后行气管插管, 采用容量控制呼吸, 调节呼吸机参数为新鲜气体流量2 L/min, 潮气量(tidal volume, VT) 8~10 ml/kg, 吸呼比1:1.5, 吸入氧浓度(fraction of inspired oxygen, FiO₂) 50%~70%。麻醉后行桡动脉或股动脉穿刺动脉测压。吸入2%~4%七氟醚维持麻醉, 手术开始前和结束前分别追加芬太尼2 μg/kg和1 μg/kg, 根据手术需要间断静脉注射罗库溴铵, 维持BIS在40~60。术中气腹压维持在6~8 mmHg, 采用麻黄素维持平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)在基础值的±20%。术中补液采用复方醋酸钠林格液8~10 ml/(kg·h)。术后采用静脉自控镇痛泵: 芬太尼20 μg/kg, 昂丹司琼1 mg/kg, 加入生理盐水至100 ml, 背景剂

量为2 ml/h, 自控给药单次剂量0.5 ml, 锁定时间15 min。术中根据呼气末CO₂分压(end-tidal carbon dioxide pressure, P_{ET}CO₂)及间断动脉血气分析, 通过调节VT和呼吸频率使患儿PaCO₂维持在相应范围。当rScO₂下降超过基础值的20%或绝对值低于50时即刻停止干预措施, 将PaCO₂调节至正常水平, 患儿退出本研究。

1.3 rScO₂监测 使用酒精棉球擦拭患儿额头, 将rScO₂监测组织血氧探头放置于额头手术侧, 连接近红外组织血氧参数无损监测仪(EGOS-600A, 苏州爱琴生物医疗电子有限公司), 持续监测rScO₂。每隔1 min记录1次, 连续记录3次, 取平均值作为该时间点的rScO₂值。

1.4 观察指标 记录患儿性别、年龄、体重、气腹压力、手术时间。记录麻醉前(T₀)小儿患侧rScO₂、SpO₂、HR; 动脉穿刺成功后, 在气管插管后10 min (T₁)、侧卧位手术开始前(T₂)、气腹后30 min (T₃)、气腹结束后10 min (T₄)、手术结束恢

复平卧位后10 min (T₅)分别记录患侧rScO₂、SpO₂、HR、MAP、咽温(pharyngeal temperature, T)、pH值、PaCO₂及血红蛋白(hemoglobin, Hb)水平。

1.5 统计学处理 应用SPSS 25.0软件进行统计分析。定性资料以例(%)表示, 组间比较采用Pearson χ^2 检验或Fisher确切概率法; 符合正态分布的定量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示, 多组间比较采用方差分析, 进一步两两比较采用重复测量的方差分析; 非正态分布的定量资料以M(Q₁, Q₃)表示, 组间比较采用克鲁斯卡尔-沃利斯检验(Kruskal-Wallis test)。P<0.05为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 三组患儿一般情况比较 三组均未出现由于rScO₂下降超过基础值20%或绝对值低于50而退出研究者。三组患儿性别、年龄、体重、气腹压力、手术时间、手术体位比较差异均无统计学意义(P>0.05, 表1)。

表1 三组患儿一般情况比较(n=15)

Tab.1 Comparison of the general information in three groups of children (n=15)

项目	N组	M组	L组	P
男/女(例)	8/7	10/5	11/4	0.507
年龄(月, $\bar{x}\pm s$)	8.20 \pm 7.16	11.00 \pm 8.41	11.00 \pm 3.16	0.581
体重(kg, $\bar{x}\pm s$)	7.97 \pm 3.23	9.28 \pm 2.66	7.67 \pm 3.61	0.542
气腹压力[mmHg, M(Q ₁ , Q ₃)]	8 (7.50, 8.00)	8 (7.50, 8.00)	8 (7.75, 8.00)	0.951
手术时间(min, $\bar{x}\pm s$)	199.62 \pm 15.47	198.33 \pm 15.00	207.50 \pm 19.69	0.532
左/右侧卧位(例)	5/10	4/11	3/12	0.912

N. PaCO₂ 35~45 mmHg; M. PaCO₂ 30~34 mmHg; L. PaCO₂ 25~29 mmHg

2.2 三组患儿各时间点相关指标比较 三组患儿T₀—T₅各时间点SpO₂、HR、MAP、T、pH值、Hb组间及组内比较差异均无统计学意义(P>0.05, 表2)。

2.3 三组患儿不同时间点rScO₂比较 与T₀时比较, N组、M组、L组患儿T₁时rScO₂均明显升高, L组患儿T₃时rScO₂明显降低(P<0.05); 与T₂时比较, L组患儿T₃时rScO₂明显降低(P<0.05); 与T₃时比较, L组患儿T₄、T₅时rScO₂明显升高(P<0.05)。与N组比较, L组患儿T₃时rScO₂明显下降(P<0.05)(表3)。

双因素方差分析结果显示, 三组患儿T₁与T₂、T₄与T₅时组别和体位之间均无交互关系(P>0.05); 与T₁时比较, 三组患儿T₂时rScO₂无明显变化(P>0.05), 与T₄时比较, 三组患儿T₃时rScO₂无明显变化(P>0.05)。三组患儿T₂与T₃、T₃与T₄时组别和气腹之间均无交互关系(P>0.05); 与T₂时比较, L组患儿T₃时rScO₂明显降低(P<0.05), 与T₃时比较, L

组患儿T₄时rScO₂明显升高(P<0.05)(表3)。

3 讨 论

本研究结果显示, RALP术中患儿PaCO₂为25~29 mmHg时, 气腹可导致术侧rScO₂明显下降。成人血压在50~170 mmHg范围内波动时大脑可通过自动调节来维持CBF稳定^[6], 而小儿CBF及脑血管的结构、形态与成人差别较大, 脑血流调节速度虽然较成人快, 但脑血管自动调节范围较窄^[8]。2岁以下小儿基础血压较低, 发生脑缺血的风险增加。有研究发现, rScO₂在12~36个月儿童组中最高, 在6个月以下儿童组中最低^[14], 监测rScO₂可及时反映CBF降低、脑灌注不足以及脑氧供需失衡^[15-16], 有助于临床采取相应干预措施以降低围手术期神经认知障碍风险, 减少术后认知功能障碍的发生^[9,14]。

研究发现, 体位会对脑血流产生影响。当患者行肩关节手术时, 全麻下沙滩椅位可引起大脑血供下降并易导致低血压事件, rScO₂明显降低^[17]。

表2 三组患儿各时间点相关指标比较($\bar{x}\pm s, n=15$)Tab.2 Comparison of related indicators at each time point in the three groups of children ($\bar{x}\pm s, n=15$)

指标	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
SpO ₂ (%)						
N组	99.00 ± 1.00	99.08 ± 0.62	99.38 ± 0.65	99.33 ± 0.78	99.15 ± 1.14	99.31 ± 0.95
M组	98.78 ± 0.97	99.33 ± 0.42	99.78 ± 0.44	99.75 ± 0.46	99.56 ± 0.73	99.44 ± 0.73
L组	99.00 ± 1.15	99.50 ± 0.58	98.00 ± 0.90	98.50 ± 0.58	98.50 ± 0.58	98.50 ± 0.58
HR(次/min)						
N组	127.67 ± 6.41	130.92 ± 13.40	132.00 ± 16.37	127.83 ± 15.53	133.25 ± 20.08	131.50 ± 6.60
M组	127.00 ± 9.70	123.89 ± 14.22	125.78 ± 15.36	123.89 ± 10.55	129.11 ± 16.50	127.56 ± 11.22
L组	120.50 ± 13.03	128.50 ± 9.54	122.75 ± 17.02	122.25 ± 16.07	122.75 ± 17.23	120.75 ± 19.41
MAP(mmHg)						
N组	-	66.17 ± 10.79	66.25 ± 6.37	69.00 ± 10.12	70.75 ± 11.45	66.75 ± 11.64
M组	-	70.67 ± 10.26	69.56 ± 11.93	67.89 ± 13.96	71.78 ± 8.51	73.11 ± 10.23
L组	-	63.50 ± 14.01	68.25 ± 7.09	59.75 ± 13.70	66.50 ± 2.89	65.75 ± 8.14
T(°C)						
N组	-	36.66 ± 0.46	36.56 ± 0.62	36.45 ± 0.47	36.57 ± 0.48	36.55 ± 0.54
M组	-	36.68 ± 0.50	36.63 ± 0.54	36.67 ± 0.55	36.74 ± 0.31	36.53 ± 0.35
L组	-	36.55 ± 0.58	36.50 ± 0.50	36.45 ± 0.58	36.50 ± 0.63	36.65 ± 0.39
pH值						
N组	-	7.35 ± 0.03	7.32 ± 0.04	7.40 ± 0.01	7.31 ± 0.03	7.34 ± 0.03
M组	-	7.38 ± 0.03	7.36 ± 0.01	7.38 ± 0.02	7.35 ± 0.01	7.36 ± 0.01
L组	-	7.35 ± 0.02	7.35 ± 0.03	7.35 ± 0.03	7.33 ± 0.01	7.33 ± 0.03
Hb(g/L)						
N组	-	101.80 ± 2.10	102.25 ± 1.91	101.74 ± 2.91	105.12 ± 0.03	101.90 ± 3.00
M组	-	100.50 ± 2.94	102.50 ± 1.82	101.50 ± 3.74	103.50 ± 2.04	104.10 ± 1.05
L组	-	100.00 ± 3.31	101.50 ± 2.74	102.00 ± 1.96	100.25 ± 3.06	104.00 ± 1.77

SpO₂. 经皮脉搏氧饱和度; HR. 心率; MAP. 平均动脉压; T. 咽温; Hb. 血红蛋白; N. PaCO₂ 35~45 mmHg; M. PaCO₂ 30~34 mmHg; L. PaCO₂ 25~29 mmHg

表3 三组患儿不同时间点rScO₂比较(% , $\bar{x}\pm s, n=15$)Tab.3 Comparison of the rScO₂ in the three groups of children at different time points (% , $\bar{x}\pm s, n=15$)

组别	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
N组	64.16 ± 5.87	67.20 ± 5.32 ⁽¹⁾	65.14 ± 3.46	65.86 ± 2.55	66.03 ± 6.93	66.25 ± 5.59
M组	64.03 ± 2.72	67.02 ± 2.24 ⁽¹⁾	65.36 ± 4.94	65.04 ± 3.71	66.22 ± 4.82	66.41 ± 5.66
L组	64.13 ± 3.56	66.70 ± 2.47 ⁽¹⁾⁽³⁾	66.58 ± 2.39	62.00 ± 3.44 ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾	66.39 ± 2.42 ⁽³⁾	67.20 ± 1.62 ⁽³⁾

rScO₂. 局部脑氧饱和度; N. PaCO₂ 35~45 mmHg; M. PaCO₂ 30~34 mmHg; L. PaCO₂ 25~29 mmHg; T₀、T₁、T₃时为平卧位, 无气腹; T₂、T₄时为侧卧位, 无气腹; T₃时为侧卧位, 气腹; 与T₀时比较, (1) $P<0.05$; 与T₂时比较, (2) $P<0.05$; 与T₃时比较, (3) $P<0.05$; 与N组比较, (4) $P<0.05$

在非麻醉的志愿者中, 坐位与仰卧位时rScO₂没有明显差异, 但患者麻醉后坐位时的rScO₂明显低于仰卧位, 原因可能为全身麻醉削弱了包括外周血液循环调节和大脑自动调节在内的代偿机制^[18]。由此可见, 体位与rScO₂关系密切。本研究发现, 由平卧位转换至侧卧位时(即由T₁至T₂时), 三组患儿rScO₂均略有下降, 但差异无统计学意义, 当手术结束患儿由侧卧转为平卧位时(即由T₄至T₅时), rScO₂略有升高, 但差异亦无统计学意义, 表明单纯侧卧位变化并未对患儿术侧rScO₂造成明显影响。

手术所需的CO₂气腹可影响脑灌注, 气腹导致静脉回流减少, 中心静脉压(central venous pressure, CVP)和颅内压(intracranial pressure, ICP)增高^[12]。脑灌注压为MAP与CVP或ICP的差值, 所以除非MAP改变, 气腹所致的CVP或ICP增加可使脑灌注压下降。本研究结果显示, 患儿MAP在气腹前后的变化并不明显, 存在脑灌注压降低的风险, 因此腹腔镜手术中监测rScO₂非常有必要。CO₂也具有影响血管平滑肌张力、调节微循环的作用, 高碳酸血症已被证实对脑血管有舒张作用^[19]。低碳

酸血症可导致脑血管收缩,诱发性低碳酸血症常被用于治疗脑损伤患者的高ICP^[20]。研究发现,rScO₂与PaCO₂呈明显正相关^[12]。室间隔缺损患儿在麻醉诱导阶段,当P_{ET}CO₂维持在30~45 mmHg范围内时,rScO₂随着P_{ET}CO₂的升高而升高,≥6个月患儿的rScO₂明显高于<6个月患儿,表明年龄较小的患儿因脑血管储备功能有限,脑氧合受P_{ET}CO₂波动的影响更大^[21]。本研究中,在平卧位、无气腹的T₀、T₁、T₃时间点,三组患儿的rScO₂仅在气管插管后T₁时明显增高,表明即使PaCO₂维持在低于正常值的25~34 mmHg范围内,rScO₂并未出现明显下降,这可能与麻醉诱导时吸入氧浓度增加及脑血管的调节作用有关。但L组患儿侧卧位气腹后的rScO₂明显低于基础值以及同一时间点的N组,虽然本研究并未直接监测脑灌注压,但此时rScO₂降低表明患儿脑灌注欠佳,因此应密切关注PaCO₂的变化并及时干预;当气腹解除后rScO₂明显回升,表明当PaCO₂在25~29 mmHg时,体位与气腹的双重作用具有致使患儿脑灌注不足的风险,提示在侧卧气腹状态下,为防止rScO₂过低而导致脑灌注不足,PaCO₂不宜过低,30~45 mmHg为安全范围。此外,当PaCO₂在25~29 mmHg时,虽然气腹后rScO₂明显降低,但均未低于基础值的20%,在研究过程中未发生患儿因rScO₂过低(低于基础值20%)而退出的情况。

小儿RALP术中,体位、气腹与低PaCO₂三者叠加可对患儿脑血流或脑灌注造成一定影响,其中体位和气腹是手术所必须的条件,提示术中应维持合适的PaCO₂以预防脑氧供需失衡的发生,减少术后神经系统并发症,改善预后。

本研究具有以下创新之处:(1)既往体位与rScO₂关系的研究大多侧重于沙滩椅位和Trendelenburg体位,侧卧位相关报道极少。(2)目前关于小儿腹腔镜手术对rScO₂影响的报道较多,但大多集中在3岁以上儿童,对于3岁以下的小儿尤其是1岁以内幼儿的研究较少。本研究的局限之处为虽然根据既往研究结果,通过调节VT和呼吸频率并间断进行血气分析以维持患儿术中PaCO₂在相应水平,但并未记录每组患儿术中P_{ET}CO₂水平。

综上所述,在小儿RALP术中,PaCO₂在25~29 mmHg时,气腹会导致术侧rScO₂明显下降,虽然下降幅度未超过基础值的20%,但发生脑氧供需失衡的风险增加,故建议将PaCO₂维持在30~45 mmHg内;此外,术中若伴有体位变化,更需密切监测PaCO₂。

【参考文献】

- [1] Li Y, Song HC, He YZ, *et al.* Short-term changes in renal function after operations for congenital ureteropelvic junction obstruction[J]. *J Clin Pediatr Surg*, 2021, 20(4): 312-318. [李怡, 宋宏程, 何雨竹, 等. 儿童先天性肾盂输尿管连接部梗阻性肾积水手术后肾功能变化的短期随访研究[J]. *临床小儿外科杂志*, 2021, 20(4): 312-318.]
- [2] Mantica G, Ambrosini F, Parodi S, *et al.* Comparison of safety, efficacy and outcomes of robot assisted laparoscopic pyeloplasty vs conventional laparoscopy[J]. *Res Rep Urol*, 2020, 12: 555-562.
- [3] Kohno M, Ogawa T, Kojima Y, *et al.* Pediatric congenital hydronephrosis (ureteropelvic junction obstruction): Medical management guide[J]. *Int J Urol*, 2020, 27(5): 369-376.
- [4] Zhu H, Wang J, Deng Y, *et al.* Use of double-J ureteric stents post-laparoscopic pyeloplasty to treat ureteropelvic junction obstruction in hydronephrosis for pediatric patients: A single-center experience[J]. *J Int Med Res*, 2020, 48(4): 300060520918781.
- [5] Roh HF, Nam SH, Kim JM. Robot-assisted laparoscopic surgery versus conventional laparoscopic surgery in randomized controlled trials: A systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0191628.
- [6] Minhas JS, Panerai RB, Robinson TG. Sex differences in cerebral haemodynamics across the physiological range of PaCO₂[J]. *Physiol Meas*, 2018, 39(10): 105009.
- [7] Klein KU, Glaser M, Reisch R, *et al.* The effects of arterial carbon dioxide partial pressure and sevoflurane on capillary venous cerebral blood flow and oxygen saturation during craniotomy[J]. *Anesth Analg*, 2009, 109(1): 199-204.
- [8] Jiang L, Guo Y. Cerebral vascular development and disease classification in children[J]. *Chin J Pract Pediatr*, 2005, 20(3): 129-131. [蒋莉, 郭艺. 小儿脑血管的发育特点与疾病分类[J]. *中国实用儿科杂志*, 2005, 20(3): 129-131.]
- [9] Ding L, Chen DX, Li Q. Effects of electroencephalography and regional cerebral oxygen saturation monitoring on perioperative neurocognitive disorders: A systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Anesthesiol*, 2020, 20(1): 254.
- [10] Yan LJ, Li CW, Wang GN, *et al.* Effects of controlled hypotension on postoperative delirium in elderly patients with hypertension under cerebral oxygen saturation monitorin[J]. *J Clin Anesthesiol*, 2020, 36(9): 857-860. [闫龙剑, 李春伟, 王冠男, 等. 脑氧饱和度监测下控制性降压对老年高血压患者术后谵妄的影响[J]. *临床麻醉学杂志*, 2020, 36(9): 857-860.]
- [11] Lewis C, Parulkar SD, Bebawy J, *et al.* Cerebral neuromonitoring during cardiac surgery: A critical appraisal with an emphasis on near-infrared spectroscopy[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2018, 32(5): 2313-2322.
- [12] Matsuoka T, Ishiyama T, Shintani N, *et al.* Changes of cerebral regional oxygen saturation during pneumoperitoneum and Trendelenburg position under propofol anesthesia: A prospective observational study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2019, 19(1): 72.
- [13] Gouvea Bogossian E, Peluso L, Creteur J, *et al.* Hyperventilation in adult TBI patients: How to approach it?[J]. *Front Neurol*, 2021, 11: 580859.
- [14] Cui B, Ou-Yang C, Xie S, *et al.* Age-related cerebrovascular carbon dioxide reactivity in children with ventricular septal defect younger than 3 years[J]. *Paediatr Anaesth*, 2020, 30(9): 977-983.
- [15] Tran NN, Tran M, Elgabalawy E, *et al.* The use of near-infrared

- spectroscopy (NIRS) to measure cerebral oxygen saturation during body position changes on infants less than one year old[J]. *J Pediatr Nurs*, 2020, 55: 155-164.
- [16] Chen K, Wang L, Wang Q, *et al.* Effects of pneumoperitoneum and steep Trendelenburg position on cerebral hemodynamics during robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy: A randomized controlled study[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2019, 98(21): e15794.
- [17] Haršanji Drenjančević I, Drenjančević D, Davidović-Cvetko E, *et al.* Does the anesthesia technique affect arterial pressure and regional cerebral oxygen saturation during shoulder arthroscopy in the beach chair position?[J]. *Acta Clin Croat*, 2018, 57(3): 473-479.
- [18] Lee JH, Min KT, Chun YM, *et al.* Effects of beach-chair position and induced hypotension on cerebral oxygen saturation in patients undergoing arthroscopic shoulder surgery[J]. *Arthroscopy*, 2011, 27: 889-894.
- [19] Komori M, Takada K, Tomizawa Y, *et al.* Permissive range of hypercapnia for improved peripheral microcirculation and cardiac output in rabbits[J]. *Crit Care Med*, 2007, 35(9): 2171-2175.
- [20] Roberts BW, Karagiannis P, Coletta M, *et al.* Effects of PaCO₂ derangements on clinical outcomes after cerebral injury: A systematic review[J]. *Resuscitation*, 2015, 91: 32-41.
- [21] Wang XN, Han D, Yang YW, *et al.* Effect of end-tidal carbon dioxide partial pressure on cerebral oxygen saturation and hemodynamics during anesthesia induction in children undergoing ventricular septal defect repair[J]. *China Med*, 2018, 12(4): 495-498. [汪晓南, 韩丁, 杨彦伟, 等. 不同年龄室间隔缺损修补术患儿麻醉诱导期间不同潮气末二氧化碳分压对局部脑氧饱和度和血流动力学的影响[J]. *中国医药*, 2018, 13(4): 495-498.]

(责任编辑: 纪方方)