

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2025.22.014  
文章编号: 1005-8982 (2025) 22-0087-08

临床研究·论著

## 允许性高碳酸血症对腹腔镜肝部分切除术 患者脑氧饱和度的影响\*

刘慧敏, 周流芳, 岑艳芳, 颜壹敏, 郑铭陟, 唐林

(中南大学湘雅医学院附属株洲医院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** **目的** 探讨允许性高碳酸血症 (PHC) 对控制性低中心静脉压腹腔镜肝部分切除术患者脑氧饱和度的影响。**方法** 选取2023年1月—2024年8月中南大学湘雅医学院附属株洲医院70例择期行腹腔镜肝部分切除术的患者, 按照随机数字表法将患者分为动脉血二氧化碳分压 ( $\text{PaCO}_2$ ) 正常范围组和PHC组, 各35例。气管插管后行机械通气,  $\text{PaCO}_2$ 正常范围组维持 $\text{PaCO}_2$ 在35~45 mmHg, PHC组维持 $\text{PaCO}_2$ 在50~60 mmHg。术中实施控制性低中心静脉压技术, 切肝结束前维持中心静脉压 (CVP) < 5 cmH<sub>2</sub>O。比较两组患者麻醉前 ( $T_0$ )、气腹前即刻 ( $T_1$ )、反Trendelenburg体位后5 min ( $T_2$ )、第一肝门阻断后5 min ( $T_3$ )、切肝结束后5 min ( $T_4$ )和术毕 ( $T_5$ )时的脑氧饱和度 ( $r\text{SO}_2$ )、脑电双频指数 (BIS)、血气分析指标及血流动力学指标 [呼气末二氧化碳 ( $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ )、中心静脉压 (CVP)、平均动脉压 (MAP)、心率 (HR) 及血氧饱和度 ( $\text{SpO}_2$ )] 变化情况; 比较两组患者术前1 d、术后3 d和术后7 d采用简易智能精神状态检查量表 (MMSE) 认知功能评分差异; 比较两组患者手术时间、术中出血量、总断肝时间、拔管时间、住院时间及并发症发生情况。**结果** PHC组拔管时间、住院时间均短于 $\text{PaCO}_2$ 正常范围组 ( $P < 0.05$ )。两组患者 $T_0 \sim T_5$ 时间点血流动力学指标比较, 结果: ①不同时间点的CVP、MAP、HR、 $\text{SpO}_2$ 、 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 、 $r\text{SO}_2$ 、BIS比较, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); ②两组患者 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 、 $r\text{SO}_2$ 比较, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); ③两组患者 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 、 $r\text{SO}_2$ 变化趋势比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。两组患者 $T_0 \sim T_5$ 时间点的动脉血气分析相关指标相比较, 结果: ①不同时间点的 $\text{PaCO}_2$ 、 $\text{PaO}_2$ 、Lac、Hb比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); ②两组患者 $\text{PaCO}_2$ 比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ ); ③两组患者 $\text{PaCO}_2$ 变化趋势比较, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。PHC组MMSE评分高于 $\text{PaCO}_2$ 正常范围组 ( $P < 0.05$ )。PHC组与 $\text{PaCO}_2$ 正常范围组中大出血、恶心呕吐率比较, 差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。**结论** PHC可提高低中心静脉压腹腔镜肝部分切除术患者的脑氧饱和度, 改善术后早期认知功能, 具有一定的脑保护作用。

**关键词:** 允许性高碳酸血症; 低中心静脉压; 腹腔镜肝部分切除; 脑氧饱和度

**中图分类号:** R614

**文献标识码:** A

## Impact of permissive hypercapnia on cerebral oxygen saturation in patients undergoing laparoscopic partial hepatectomy\*

Liu Hui-min, Zhou Liu-fang, Cen Yan-fang, Yan Yi-min, Zheng Ming-zhi, Tang Lin

(Zhuzhou Hospital Affiliated to Xiangya School of Medicine, Central South University, Zhuzhou, Hunan 412007, China)

**Abstract: Objective** To investigate the impact of permissive hypercapnia (PHC) on cerebral oxygen saturation in patients undergoing laparoscopic partial hepatectomy with controlled low central venous pressure (CVP). **Methods** Seventy cases of patients undergoing selective laparoscopic partial hepatectomy from January

收稿日期: 2025-05-05

\* 基金项目: 湖南省自然科学基金 (No: 2024JJ7664)

[通信作者] 唐林, E-mail: tanglin742919085@163.com; Tel: 13874825265

2023 to August 2024 in our hospital were selected and randomly divided into the Group C (normal PaCO<sub>2</sub>) and the Group H (permissive hypercapnia), each with 35 cases. After tracheal intubation and mechanical ventilation, PaCO<sub>2</sub> was maintained at 35-45 mmHg in the Group C and 50-60 mmHg in the Group H. Controlled low CVP technique was applied intraoperatively, maintaining CVP below 5 cmH<sub>2</sub>O until the completion of liver resection. The regional cerebral oxygen saturation (rSO<sub>2</sub>), bispectral index (BIS), blood gas parameters and hemodynamic indices (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>, CVP, MAP, HR and SpO<sub>2</sub>) of the two groups were compared before anesthesia (T<sub>0</sub>), immediately before pneumoperitoneum (T<sub>1</sub>), 5 min after reverse Trendelenburg position (T<sub>2</sub>), 5 min after the first hepatic hilum clamping (T<sub>3</sub>), 5 min after the end of hepatectomy (T<sub>4</sub>) and at the end of surgery (T<sub>5</sub>). The Mini-mental State Examination (MMSE) was used to compare the cognitive function between two groups at 1 day before surgery, 3 days after surgery and 7 days after surgery. The operative duration, intraoperative blood loss, total hepatic hilum clamping time, extubation time, length of hospital stays and complications of the two groups were compared. **Results** Group H exhibited significantly shorter extubation time and length of hospital stays compared to Group C ( $P < 0.05$ ). The hemodynamic parameters of the two groups were compared at time points T<sub>0</sub>-T<sub>5</sub>, which demonstrated differences in CVP, MAP, HR, SpO<sub>2</sub>, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>, rSO<sub>2</sub>, and BIS across the time points ( $P < 0.05$ ) and differences in PETCO<sub>2</sub> and rSO<sub>2</sub> between the two groups ( $P < 0.05$ ). The change trends of P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> and rSO<sub>2</sub> between the two groups were also significantly different ( $P < 0.05$ ). The comparison of arterial blood gas parameters at T<sub>0</sub>-T<sub>5</sub> showed that the PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>, and Lac and Hb levels were different across the time points ( $P < 0.05$ ) and that the PaCO<sub>2</sub> differed significantly between the two groups ( $P < 0.05$ ). The change trend of PaCO<sub>2</sub> was also different between the two groups ( $P < 0.05$ ). The MMSE score in the Group H was significantly higher than that in the Group C ( $P < 0.05$ ). No significant differences were found between the two groups in the incidence of intraoperative massive bleeding or postoperative nausea and vomiting ( $P > 0.05$ ). **Conclusion** PHC can increase cerebral oxygen saturation in patients undergoing laparoscopic partial hepatectomy with controlled low CVP, improve early postoperative cognitive function, and exert a certain neuroprotective effect.

**Keywords:** permissive hypercapnia; low central venous pressure; laparoscopic partial hepatectomy; cerebral oxygen saturation

腹腔镜肝部分切除术是治疗肝脏良恶性疾病的常用术式，该术式操作复杂，术中大出血风险高，可引起全身各脏器和组织的氧供需失衡，导致机体各器官功能损害等严重并发症。术中常施行控制性低中心静脉压（controlled low central venous pressure, CLCVP）技术联合入肝血流阻断，可减少肝静脉和肝血窦的出血，使肝离断面术野干净，便于外科医生辨清肝内脉管结构、游离及解剖肝静脉，减少术中出血量，改善患者的预后<sup>[1-3]</sup>。刘秀珍等<sup>[4]</sup>发现，实施CLCVP技术，可能增加气体静脉栓塞，心、脑和肾等重要器官低灌注的风险，加上腹腔镜肝部分切除术中需使用约30°头高脚低位，可进一步减少脑血供，增加患者术后并发症及认知功能障碍的可能。SAMANIDIS等<sup>[5]</sup>指出，围手术期脑氧饱和度（regional cerebral oxygen saturation, rSO<sub>2</sub>）连续监测，是反映脑低灌注的敏感指标，临床常用于评估高风险手术的神经系统并发症发生率。允许性高碳酸血症（permissive hypercapnia, PHC）通过在全身麻醉机械通气中实施小潮气量与低分钟通气量，允许动脉

血二氧化碳分压（partial pressure of carbon dioxide in arterial blood, PaCO<sub>2</sub>）适度升高，避免气压伤，被证实具有多器官保护作用<sup>[6-7]</sup>。但PaCO<sub>2</sub>变化导致的腹腔镜肝部分切除术中局部rSO<sub>2</sub>变化的相关研究很少，允许PaCO<sub>2</sub>适度升高，是否可有效改善CLCVP技术下行肝部分切除术患者的脑氧代谢仍有待研究。本研究选取70例采用CLCVP技术行腹腔镜肝部分切除术的患者，探讨PHC对患者rSO<sub>2</sub>及预后的影响。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取2023年1月—2024年8月中南大学湘雅医学院附属株洲医院70例择期行腹腔镜肝部分切除术的患者，按照随机数字表法将患者分为PaCO<sub>2</sub>正常范围组和PHC组，各35例。PaCO<sub>2</sub>正常范围组男性20例，女性15例；年龄（52.1 ± 3.6）岁；体质指数（body mass index, BMI）（23.4 ± 2.9）kg/m<sup>2</sup>；PHC组男性19例，女性16例；年龄（51.5 ± 3.8）岁；BMI（23.7 ± 2.5）kg/m<sup>2</sup>。纳入标准：①拟行肝部分

切除术; ②同意参与本研究并签署知情同意书; ③年龄 20 岁 ~ 75 岁, 性别不限; ④BMI 18 ~ 30 kg/m<sup>2</sup>; ⑤美国麻醉医生协会 (American Society of Anesthesiologists, ASA) 分级 II、III 级; ⑥术前肝功能 Child-Pugh 分级 A 级。排除标准: ①严重心、肺、肝、肾功能障碍; ②既往有精神疾病或接受抗抑郁治疗; ③认知功能障碍, 不能理解方案中测试评分表方法; ④严重未经控制的高血压、低血压或心率 ≤ 50 次/min 或有 III 度房室传导阻滞、严重心律失常; ⑤严重腹腔脏器粘连中转开腹; ⑥合并严重门静脉高压、门静脉癌栓等。本研究经医院伦理委员会审核批准 (No: 科研 ZZCHEC2022108-02)。

## 1.2 方法

### 1.2.1 麻醉与 CLCVP 技术的实施

常规术前准备, 患者检查前禁食禁饮 8 h, 入手术室后开放外周静脉通路, 常规面罩吸氧。持续监测生命体征, 局部麻醉下行桡动脉穿刺置管术, 持续监测平均动脉压 (mean arterial pressure, MAP), 局部麻醉下行右侧颈内静脉穿刺术, 置入双腔中心静脉导管, 连接压力传感器, 校正零点后实时监测中心静脉压 (central venous pressure, CVP), 采用脑电双频指数 (bispectral index, BIS) 麻醉深度监测仪 (美敦力德国公司) 监测 BIS 值, 采用 Covidien 5100C 型脑部与区域血氧检测仪 (美国 Covidien llc 公司) 监测 rSO<sub>2</sub>, 将电极分别置于前额两侧, 眉弓上缘约 1 cm, 术中持续监测呼气末二氧化碳 (partial pressure of end-tidal carbon dioxide, P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>)。麻醉诱导: 静脉给予咪唑安定 0.05 mg/kg、丙泊酚 1.5 mg/kg、舒芬太尼 0.5 μg/kg、顺式阿曲库铵 0.2 mg/kg, 建立经口气管插管, 接麻醉机机械通气。麻醉维持: 吸入七氟烷 2% ~ 3%, 静脉泵注瑞芬太尼 0.1 ~ 0.2 μg/(kg·h), 间断追加顺式阿曲库铵 0.02 mg/kg。建立气腹后, 手术体位由平卧位调整为反 Trendelenburg 体位, 约 30° 头高脚低位。术中气腹压 10 ~ 12 mmHg, 密切关注 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 数值变化及曲线改变以指导优化通气设置, 维持 BIS 值 40 ~ 60。

CLCVP 技术动态调整: 麻醉诱导过程中, 在维持患者血压的前提下, 避免液体的快速输注。在肝切除前期阶段, 严格控制液体输入量, 静脉输液速度维持在 1 mL/(kg·h), 并维持适宜的麻醉

深度。进入肝切除阶段, 静脉输液速度控制在 2 ~ 5 mL/(kg·h), 以减少循环血容量, 降低肝静脉系统压力, 维持 CVP < 5 cmH<sub>2</sub>O。若此阶段中, 患者尿量 < 20 mL/h 或收缩压 < 90 mmHg > 1 min, 应给予约 200 mL 液体快速冲击, 如果血压仍低, 给予去甲肾上腺素 8 μg。术中严密监测患者出血量和血气分析, 若出血量 > 1 000 mL 或血红蛋白 (Hemoglobin, Hb) < 80 g/L, 申请输注浓缩红细胞。若通过严格限制液体入量不能使 CVP < 5 cmH<sub>2</sub>O 时, 联合使用硝酸甘油, 静脉泵注初始剂量为 0.5 μg/(kg·min), 按照 0.1 μg/(kg·min) 的剂量加减调整, 将 CVP 控制在目标范围。硝酸甘油可通过扩张容量血管降低 CVP, 对于收缩压 < 90 mmHg 和 MAP < 60 mmHg 的患者联合使用去甲肾上腺素, 维持有效动脉灌注压。肝切除完毕后, 给予 1 000 ~ 1 500 mL/h 液体输注, 尽快恢复正常血容量, 使 CVP 恢复至 5 ~ 12 cmH<sub>2</sub>O, 以保证肝、肾、脑等重要脏器的良好灌注。CLCVP 技术实施阶段, 需严格评估患者对限制输液的耐受能力, 根据患者的动脉血压、基础合并症、肝切除量、尿量等, 动态调整 CVP。

### 1.2.2 气管插管后通气策略

PaCO<sub>2</sub> 正常范围组: 设定氧浓度 (fraction of inspired oxygen, FiO<sub>2</sub>) 为 60%, 吸呼比 1 : 2, 潮气量 8 ~ 10 mL/kg, 呼吸频率 15 ~ 18 次/min, 维持 PaCO<sub>2</sub> 在 35 ~ 45 mmHg, 动脉血氧分压 (partial pressure of arterial oxygen, PaO<sub>2</sub>) ≥ 120 mmHg, 血氧饱和度 (saturation of peripheral oxygen, SpO<sub>2</sub>) ≥ 95%。腹腔镜手术开始气腹时对个体化呼气末正压 (positive end-expiratory pressure, PEEP) 水平采用递增法进行滴定, 从 2 cmH<sub>2</sub>O 开始, 每次呼吸周期递增 2 cmH<sub>2</sub>O, 达到最低驱动压、最佳氧合获得个体化 PEEP 水平, 维持 PEEP 在 5 ~ 8 cmH<sub>2</sub>O。

PHC 组: 设置 FiO<sub>2</sub> 为 60%, 吸呼比 1 : 2, 潮气量 6 ~ 8 mL/kg, 呼吸频率 12 ~ 14 次/min, 维持 PaCO<sub>2</sub> 在 50 ~ 60 mmHg, PaO<sub>2</sub> ≥ 120 mmHg, SpO<sub>2</sub> ≥ 95%。采取同 PaCO<sub>2</sub> 正常范围组的方法对 PHC 组个体化 PEEP 水平进行滴定, 维持 PEEP 在 5 ~ 8 cmH<sub>2</sub>O。

## 1.3 观察指标

### 1.3.1 主要结局指标

①连续监测并比较两组患者在麻醉前 (T<sub>0</sub>)、气腹前即刻 (T<sub>1</sub>)、反

Trendelenburg体位后5 min ( $T_2$ )、第一肝门阻断后5 min ( $T_3$ )、切肝结束后5 min ( $T_4$ )和术毕( $T_5$ )的 $rSO_2$ ；②依据简易精神状态检查量表(mini-mental state examination, MMSE)，由同一医师于术前1 d、术后3 d和术后7 d对两组患者进行认知功能评分。MMSE评分包含定向力、记忆力、计算力、回忆及语言5项，总分30分。MMSE评分 $\leq 23$ 分者判定为认知功能障碍<sup>[8]</sup>。

**1.3.2 次要结局指标** ①于 $T_0 \sim T_5$ 采集桡动脉血，采用GEM 3500型血气分析仪(西班牙Werfen公司)分析，比较各时点血气分析指标，包括pH、 $PaO_2$ 、 $PaCO_2$ 、乳酸值(lactic acid, Lac)、Hb的差异；②记录两组患者手术时间、术中出血量、总断肝时间、拔管时间(开始复苏至拔除气管导管)、住院时间的差异；③记录两组患者术中及术后相关并发症发生情况，包括低氧血症( $SpO_2 < 90\%$ )、术中大出血(术中出血量 $\geq 1\ 000$  mL)、空气栓塞、胆漏、恶心呕吐、术后迟发出血情况；④记录两组患者血流动力学变化情况，包括各时点的 $rSO_2$ (取同一时刻双测 $rSO_2$ 的平均值)、 $P_{ET}CO_2$ 、CVP、MAP、心率(heart rate, HR)、BIS及 $SpO_2$ 的差异。

#### 1.4 统计学方法

数据分析采用SPSS 20.0统计软件。计数资料

以构成比或率(%)表示，比较用 $\chi^2$ 检验；计量资料以均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示，比较用 $t$ 检验或重复测量设计的方差分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 两组患者临床资料及手术指标比较

两组患者性别构成、年龄、BMI、主诊断构成、ASA分级、基础合并症构成、手术时间和术中出血量比较，经 $\chi^2/t$ 检验，差异均无统计学意义( $P > 0.05$ )。两组患者拔管时间、住院时间的比较，经 $t$ 检验，差异均有统计学意义( $P < 0.05$ )；PHC组拔管时间、住院时间均短于 $PaCO_2$ 正常范围组。见表1。

### 2.2 两组患者不同时间点血流动力学指标比较

两组患者 $T_0 \sim T_5$ 时间点血流动力学指标比较，经重复测量设计的方差分析，结果：①不同时间点的CVP、MAP、HR、 $SpO_2$ 、 $P_{ET}CO_2$ 、 $rSO_2$ 、BIS比较，差异均有统计学意义( $F = 237.167$ 、 $302.831$ 、 $97.498$ 、 $50.164$ 、 $168.067$ 、 $107.542$ 、 $2\ 331.579$ ，均 $P = 0.000$ )；②两组患者 $P_{ET}CO_2$ 、 $rSO_2$ 比较，差异均有统计学意义( $F = 857.937$ 、 $426.883$ ，均 $P = 0.000$ )，两组患者CVP、MAP、HR、 $SpO_2$ 、BIS比

表1 两组患者临床资料及手术指标比较 ( $n = 35$ )

组别	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$ )	BMI/(kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x} \pm s$ )	主诊断 例(%)			
				肝癌	肝血管瘤	肝内胆管结石	其他
PHC组	19/16	51.5 $\pm$ 3.8	23.7 $\pm$ 2.5	7(20.0)	6(17.1)	20(57.1)	2(5.7)
$PaCO_2$ 正常范围组	20/15	52.1 $\pm$ 3.6	23.4 $\pm$ 2.9	8(22.9)	8(22.9)	16(45.7)	3(8.6)
$\chi^2/t$ 值	0.058	0.678	0.464			0.997	
$P$ 值	0.810	0.499	0.644			0.802	

  

组别	ASA分级/例		基础合并症 例(%)				
	II	III	肝硬化	高血压	糖尿病	慢性肺部疾病	慢性肾功能不全
PHC组	28	7	10(28.6)	8(22.9)	6(17.1)	6(17.1)	3(8.6)
$PaCO_2$ 正常范围组	26	9	8(22.9)	9(25.7)	7(20.0)	4(11.4)	2(5.7)
$\chi^2/t$ 值	0.324				0.817		
$P$ 值	0.569				0.936		

  

组别	手术时间/(min, $\bar{x} \pm s$ )	术中出血量/(mL, $\bar{x} \pm s$ )	拔管时间/(min, $\bar{x} \pm s$ )	住院时间/(d, $\bar{x} \pm s$ )
PHC组	207.4 $\pm$ 10.9	241.5 $\pm$ 20.4	26.4 $\pm$ 2.7	7.4 $\pm$ 1.2
$PaCO_2$ 正常范围组	210.7 $\pm$ 11.2	238.3 $\pm$ 22.5	42.2 $\pm$ 3.9	9.9 $\pm$ 1.4
$\chi^2/t$ 值	1.249	0.623	19.706	8.021
$P$ 值	0.216	0.535	0.000	0.000

较, 差异无统计学意义 ( $F=0.006$ 、 $0.418$ 、 $0.077$ 、 $3.848$ 、 $0.012$ ,  $P=0.940$ 、 $0.520$ 、 $0.782$ 、 $0.054$ 、 $0.912$ ); ③两组患者  $P_{ET}CO_2$ 、 $rSO_2$  变化趋势比较, 差异有统计学意义 ( $F=76.753$ 、 $40.391$ , 均  $P=0.000$ ), 两组患者 CVP、MAP、HR、 $SpO_2$ 、BIS 变化趋势比较, 差异无统计学意义 ( $F=0.269$ 、 $0.499$ 、 $0.617$ 、 $3.781$ 、 $0.549$ ,  $P=0.930$ 、 $0.777$ 、 $0.687$ 、 $0.052$ 、 $0.739$ )。见表 2。

表 2 两组患者不同时间点血流动力学指标比较 ( $n=35, \bar{x} \pm s$ )

组别	CVP/cmH <sub>2</sub> O					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	8.4 ± 1.7	8.1 ± 1.4	4.3 ± 1.4	2.8 ± 0.4	6.4 ± 1.8	9.6 ± 1.4
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	8.2 ± 1.3	7.9 ± 1.5	4.4 ± 1.2	2.9 ± 0.5	6.6 ± 1.6	9.5 ± 1.5
组别	MAP/mmHg					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	86.2 ± 4.5	76.9 ± 3.6	71.1 ± 2.2	68.6 ± 4.0	72.0 ± 2.8	84.1 ± 3.9
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	86.7 ± 5.1	77.4 ± 3.5	70.4 ± 2.1	68.3 ± 3.8	72.6 ± 3.0	85.0 ± 4.1
组别	HR/(次/min)					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	72.1 ± 4.4	67.7 ± 1.2	66.5 ± 2.1	75.9 ± 3.4	71.6 ± 2.9	70.1 ± 2.2
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	71.6 ± 3.5	68.4 ± 1.6	66.3 ± 2.2	75.5 ± 3.1	72.0 ± 2.7	70.6 ± 2.4
组别	SpO <sub>2</sub> %					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	97.4 ± 1.6	99.2 ± 0.4	99.2 ± 0.7	99.5 ± 0.5	99.4 ± 0.5	99.2 ± 0.7
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	97.9 ± 1.9	99.5 ± 0.5	99.8 ± 0.4	99.1 ± 0.4	99.3 ± 0.5	99.4 ± 0.5
组别	P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> /mmHg					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	34.5 ± 1.4	37.5 ± 1.6 <sup>†</sup>	45.7 ± 2.3 <sup>†</sup>	46.5 ± 3.1 <sup>†</sup>	45.3 ± 2.4 <sup>†</sup>	45.2 ± 2.1 <sup>†</sup>
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	34.9 ± 1.3	35.3 ± 1.3	36.7 ± 1.9	37.6 ± 2.3	36.9 ± 1.8	36.6 ± 1.7
组别	rSO <sub>2</sub> %					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	61.3 ± 2.1	59.2 ± 1.5	58.9 ± 1.6 <sup>†</sup>	57.6 ± 1.1 <sup>†</sup>	58.4 ± 1.8 <sup>†</sup>	61.2 ± 2.0 <sup>†</sup>
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	60.9 ± 1.9	59.5 ± 1.4	55.1 ± 1.7	52.4 ± 1.5	53.6 ± 2.1	54.6 ± 2.4
组别	BIS					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	86.3 ± 2.6	46.4 ± 3.1	44.8 ± 4.7	45.5 ± 1.5	46.4 ± 1.1	51.5 ± 2.4
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	85.9 ± 2.7	45.8 ± 3.4	45.2 ± 4.2	45.1 ± 1.4	46.8 ± 1.2	52.0 ± 2.2

注: †与 PaCO<sub>2</sub>正常范围组比较,  $P < 0.05$ 。

### 2.3 两组患者不同时间点动脉血气分析结果比较

两组患者 T<sub>0</sub> ~ T<sub>5</sub> 时间点的动脉血气分析相关指标相比较, 经重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点的 PaCO<sub>2</sub>、PaO<sub>2</sub>、Lac、Hb 比较, 差异有统计学意义 ( $F=134.616$ 、 $56.581$ 、 $108.932$ 、 $597.586$ , 均  $P=0.000$ ), 不同时点的 pH 比较, 差异

无统计学意义 ( $F=0.268$ ,  $P=0.931$ ); ②两组患者 PaCO<sub>2</sub> 比较, 差异有统计学意义 ( $F=755.497$ ,  $P=0.000$ ), 两组患者 pH、PaO<sub>2</sub>、Lac、Hb 比较, 差异无统计学意义 ( $F=2.651$ 、 $2.010$ 、 $0.793$ 、 $2.276$ ,  $P=0.108$ 、 $0.161$ 、 $0.376$ 、 $0.136$ ); ③两组患者 PaCO<sub>2</sub> 变化趋势比较, 差异有统计学意义 ( $F=$

55.533,  $P=0.000$ ), 两组患者 pH、PaO<sub>2</sub>、Lac、Hb 0.172、0.654、0.489,  $P=0.989$ 、0.973、0.659、变化趋势比较, 差异无统计学意义 ( $F=0.115$ 、0.785)。见表 3。

表 3 两组患者不同时点动脉血气分析结果比较 ( $n=35, \bar{x} \pm s$ )

组别	pH					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	7.38 ± 0.51	7.27 ± 0.62	7.25 ± 0.70	7.23 ± 0.44	7.26 ± 0.42	7.27 ± 0.52
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	7.37 ± 0.48	7.36 ± 0.57	7.35 ± 0.45	7.32 ± 0.60	7.35 ± 0.58	7.36 ± 0.48
组别	PaCO <sub>2</sub> /mmHg					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	40.1 ± 2.2	42.9 ± 3.2 <sup>†</sup>	51.5 ± 1.4 <sup>†</sup>	52.4 ± 2.2 <sup>†</sup>	51.3 ± 1.2 <sup>†</sup>	51.2 ± 3.1 <sup>†</sup>
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	40.2 ± 2.4	40.5 ± 2.3	42.1 ± 2.7	43.4 ± 1.5	42.6 ± 2.2	42.1 ± 2.8
组别	PaO <sub>2</sub> /mmHg					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	147.2 ± 6.5	145.9 ± 4.4	138.2 ± 3.3	137.5 ± 4.5	143.2 ± 3.8	146.5 ± 4.9
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	146.7 ± 7.0	146.2 ± 4.7	137.7 ± 3.1	136.6 ± 3.6	142.4 ± 3.4	145.4 ± 5.6
组别	Lac/(mmol/L)					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	0.8 ± 0.1	0.9 ± 0.2	0.9 ± 0.2	1.8 ± 0.6	2.0 ± 0.5	1.0 ± 0.4
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	0.8 ± 0.2	0.8 ± 0.1	0.9 ± 0.3	1.9 ± 0.5	1.9 ± 0.8	0.9 ± 0.5
组别	Hb/(g/L)					
	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
PHC组	115.5 ± 4.7	120.3 ± 3.6	121.7 ± 4.2	111.6 ± 5.1	97.4 ± 2.6	101.3 ± 2.7
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	117.1 ± 4.5	121.9 ± 3.5	122.3 ± 4.3	112.0 ± 5.3	98.2 ± 3.1	101.6 ± 3.0

注: †与PaCO<sub>2</sub>正常范围组比较,  $P<0.05$ 。

#### 2.4 两组患者不同时间点 MMSE 评分比较

两组患者术前 1 d 的 MMSE 评分比较, 经  $t$  检验, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。两组患者术后 3、7 d 的 MMSE 评分比较, 经  $t$  检验, 差异均有统计学意义 ( $P<0.05$ ); PHC 组 MMSE 评分高于 PaCO<sub>2</sub> 正常范围组。见表 4。

#### 2.5 两组患者围手术期并发症比较

PHC 组患者术中大出血 2 例 (5.7%), 恶心呕吐 4 例 (11.4%); PaCO<sub>2</sub> 正常范围组患者术中大出

表 4 两组患者不同时间点 MMSE 评分比较

( $n=35, \bar{x} \pm s$ )

组别	术前 1 d	术后 3 d	术后 7 d
PHC组	27.7 ± 1.2	27.1 ± 1.1	27.8 ± 1.4
PaCO <sub>2</sub> 正常范围组	27.4 ± 1.3	24.5 ± 1.2	25.2 ± 1.6
$t$ 值	1.003	9.449	7.235
$P$ 值	0.319	0.000	0.000

血 1 例 (2.9%), 恶心呕吐 7 例 (20.0%)。两组患者均未发生其他并发症。两组患者术中大出血、恶心呕吐率比较, 经  $\chi^2$  检验, 差异均无统计学意义 ( $\chi^2=0.348$ 、0.971,  $P=0.555$ 、0.325)。

### 3 讨论

随着微创外科技术的不断发展, 应用 CLCVP 技术进行腹腔镜肝部分切除术应用广泛。CLCVP 技术是利用液体管理、体位管理 (反 Trendelenburg 位)、药物应用、低容量血液稀释、肝下腔技术阻断等麻醉技术, 降低静脉容量血管系统的压力, 将 CVP 控制于 0 ~ 5 cmH<sub>2</sub>O 水平, 维持舒张压 ≥ 90 mmHg 或 MAP > 60 mmHg 及适宜的心率, 同时不影响重要器官的灌注。腹腔镜肝部分切除术中使用 CLCVP 技术及反 Trendelenburg 体位, 会导致双侧大脑中动脉脑血流速度减慢, 使患者脑灌注压降

低,增加术后出现认知功能障碍的风险,且可能导致严重的空气栓塞的发生。二氧化碳栓塞取决于气腹和CVP的压力梯度,当肝静脉裂口较大时,腹腔内的气体易随压力差进入下腔静脉,导致空气静脉栓塞<sup>[9]</sup>。术中需密切监测 $P_{ET}CO_2$ 、 $SpO_2$ 及 $rSO_2$ ,适当降低气腹压力和肝静脉压力差,及早发现空气栓塞。CLCVP技术安全性之外,还需考虑全身各脏器和组织的氧供需平衡<sup>[10]</sup>。维持机体大脑稳定充足的脑血流灌注,是支持神经元活动及大脑高级功能必需的<sup>[11-13]</sup>。

国内外多项研究结果表明,PHC可减轻急性肺损伤及全身系统的缺血-再灌注损伤,通过抑制白细胞介素-6、白细胞介素-8及肿瘤坏死因子- $\alpha$ 等炎症因子的生成发挥抗炎作用,增加冠状动脉、脑血管的血流量和氧供,增加皮下组织及肠壁内氧张力,降低术后吻合口感染的发生率,具有多器官保护作用<sup>[14-16]</sup>。有研究表明,升高的 $PaCO_2$ 本身即对肺损伤具有独立的保护作用,提示在腹腔镜肝部分切除术的通气策略中,可以采取更为宽松的态度,允许 $PaCO_2$ 达到50~60 mmHg<sup>[17-19]</sup>。PEEP水平过低( $\leq 2$  cmH<sub>2</sub>O)或过高( $\geq 12$  cmH<sub>2</sub>O)均无益,本研究中采取个体化PEEP滴定以优化通气生理及肺功能。值得注意的是,临床医师需避免对存在高颅内压、脑血管病、休克状态、心功能严重受损、严重的代谢性酸中毒等高碳酸血症的禁忌证患者实行此类通气策略。

有临床研究指出,高碳酸血症还可通过提升大脑对葡萄糖的利用率,促进有氧代谢,抑制无氧酵解,减少乳酸生成量,并抑制细胞内呼吸,降低脑组织氧耗,改善脑氧代谢<sup>[20]</sup>。不同于脑血容量等稳态参数,脑血管二氧化碳反应性反映了脑血管随 $PaCO_2$ 变化而收缩、舒张的能力,易受诸多因素的影响,在不同的血压范围,其敏感性是不同的。本研究中,两组患者麻醉深度适宜,各时点BIS值比较无差异, $T_2 \sim T_5$ 时,PHC组 $rSO_2$ 明显优于 $PaCO_2$ 正常范围组,与STRAPAZZON等<sup>[21]</sup>研究结果一致,提示PHC可使 $rSO_2$ 维持在较高水平,可能与二氧化碳更易通过血-脑屏障进入血管周围,使局部pH降低,细胞膜超极化,扩张脑血管,增加脑血流量的作用相关。有研究数据表明, $rSO_2$ 下降超过16%~18%术后有并发神经系统并发症的

风险,通过监测 $rSO_2$ 并进行早期干预,可降低高风险手术术后神经系统并发症的可能<sup>[22]</sup>。 $T_0$ 时刻,两组患者血气分析指标组间具有可比性,两组患者 $T_1 \sim T_5$ 的 $PaO_2$ 、Lac及Hb、pH值比较无差异,PHC组在 $T_1 \sim T_5$ 不同时间或相同时点间pH值稍低于 $PaCO_2$ 正常范围组。动脉血乳酸浓度是反映机体氧饱和度及血液灌注的重要指标。KREFT等<sup>[23]</sup>研究指出在肝脏切除术中,恰当地应用PHC不会增加乳酸浓度,不会严重影响患者的组织灌注和氧供需平衡,具有一定的脑保护作用,与本研究结果一致。在切肝后期肝脏灌注循环阶段,需使血容量尽量恢复到术前水平,使组织灌注及氧合功能改善,可促进乳酸代谢,有效降低血乳酸浓度。两组患者在手术时间比较无差异,PHC组未明显增加术中出血量,PHC组术后3、7 d的MMSE评分显著高于 $PaCO_2$ 正常范围组,PHC组拔管时间、住院时间较 $PaCO_2$ 正常范围组明显缩短,两组患者术中及术后并发症发生率比较无差异。本研究中采用CLCVP目标值的动态管理,基于对个体病情特点、对低灌注的耐受程度、病变切除难度、出血风险等综合考量,兼顾CVP水平和组织灌注水平,动态控制CVP水平。PARK等<sup>[24]</sup>研究发现,在高风险手术中,PHC可以提高全身麻醉患者的 $rSO_2$ ,减少脑氧去饱和事件的发生,是降低脑氧代谢的关键机制。

然而,在低中心静脉压腹腔镜肝部分切除术中,维持PHC对 $rSO_2$ 的具体影响机制尚需进一步探讨,以明确其保护效应及其可能的潜在损害。此类通气策略是否能够改善患者术后长期认知功能,以及是否可能引发不可预测的不良事件,仍需通过临床随访和大规模数据分析来验证。

综上所述,在维持CVP水平的前提下,于腹腔镜肝部分切除术中采用PHC策略,并对PEEP进行个体化滴定以获得最低驱动压、最佳氧合的通气是安全且可行的。该策略有助于保持脑部氧饱和度处于较高水平,有效改善脑部氧代谢状态,并对术后患者的认知功能产生积极影响。此外,PHC并未导致乳酸浓度的增加,因此,该方法在临床实践中具有推广价值。

#### 参 考 文 献 :

[1] 郭锐,叶军明,许厚仁,等.控制性低中心静脉压对腹腔镜肝癌

- 切除术患者中心静脉血氧饱和度和乳酸的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2022, 38(5): 458-461.
- [2] 江振辉, 程斌, 周腾. 腹腔镜肝切除术治疗复杂性肝内胆管结石的疗效分析[J]. 中国现代医学杂志, 2023, 33(17): 89-93.
- [3] 张小强, 邓英, 李锐, 等. 经皮射频消融与手术切除治疗直径 $\leq 3$  cm 原发性小肝癌的疗效分析[J]. 中国现代医学杂志, 2023, 33(16): 8-12.
- [4] 刘秀珍, 李明颖, 任超楠, 等. 大部肝切除术中实现控制性低中心静脉压的具体措施[J]. 中华肝胆外科杂志, 2020, 26(6): 469-471.
- [5] SAMANIDIS G, KANAKIS M, PERREAS K. Can regional cerebral oxygen saturation monitoring during circulatory arrest time predict postoperative neurological dysfunction in patients undergoing surgical pulmonary thromboendarterectomy? Useful index for short- and long-term outcomes[J]. *J Card Surg*, 2022, 37(8): 2386-2388.
- [6] 徐峰, 李查兵. 肺保护性通气策略对腹腔镜手术患者顺式阿曲库铵作用时间的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2020, 36(3): 301-303.
- [7] 张静, 张婧, 韩霜, 等. 允许性高碳酸血症对老年糖尿病患者术后认知功能的影响[J]. 临床麻醉学杂志, 2024, 40(1): 30-35.
- [8] LI Z C, ZHU Y Z, QIN S Y, et al. Effects of permissive hypercapnia on intraoperative cerebral oxygenation and early postoperative cognitive function in older patients with non-acute fragile brain function undergoing laparoscopic colorectal surgery: protocol study[J]. *BMC Geriatr*, 2023, 23(1): 581.
- [9] MCCORMICK G, MOHR N M, ABLORDEPPEY E, et al. Partial pressure of carbon dioxide/pH interaction and its association with mortality among patients mechanically ventilated in the emergency department[J]. *Am J Emerg Med*, 2024, 79: 105-110.
- [10] LV H Y, XIONG C, WU B, et al. Effects of targeted mild hypercapnia versus normocapnia on cerebral oxygen saturation in patients undergoing laparoscopic hepatectomy under low central venous pressure: a prospective, randomized controlled study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2023, 23(1): 257.
- [11] 刘健欣, 李集源, 吴东妮, 等. 保留自主呼吸喉罩全身麻醉对胸科手术患者脑血管二氧化碳反应性及术后早期认知功能的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2024, 34(3): 84-90.
- [12] BHANDARI C, GANDHI H, PANWAR A, et al. Prospective randomized pilot trial on the effects of mild hypercapnia on cerebral oxygen saturation in patients undergoing off-pump coronary artery bypass grafting[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2024, 38(6): 1322-1327.
- [13] 武芳, 王迎斌, 张雪逸, 等. 七氟醚或丙泊酚对允许性高碳酸血症改善控制性降压肩关节镜手术患者脑氧饱和度作用的影响[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2022, 43(2): 140-145.
- [14] 崔芝红, 姚娜娜, 朱贤林. 允许性高碳酸对肺叶切除术老年患者炎症刺激和认知功能的影响[J]. 中南医学科学杂志, 2023, 51(6): 886-889.
- [15] TREGUB P, MOTIN Y, KULIKOV V, et al. Ultrastructural changes in hippocampal region CA1 neurons after exposure to permissive hypercapnia and/or normobaric hypoxia[J]. *Cell Mol Neurobiol*, 2023, 43(8): 4209-4217.
- [16] 王凌飞, 詹岳宁, 王丹, 等. 非插管麻醉的胸腔镜手术中对患者血流动力学及脑氧代谢的变化[J]. 中国医科大学学报, 2024, 53(12): 1111-1117.
- [17] 杨宝锋, 王婕, 李长生, 等. 允许性高碳酸血症对肠缺血再灌注大鼠脑损伤的影响[J]. 中华麻醉学杂志, 2020, 40(12): 1516-1519.
- [18] 李雅琴, 李昆, 韩金红. 高碳酸血症对脑卒中后肺炎感染程度及预后的影响[J]. 中华医院感染学杂志, 2022, 32(6): 871-874.
- [19] TRAVERS C P, CARLO W A, NAKHMANI A, et al. Late permissive hypercapnia and respiratory stability among very preterm infants: a pilot randomised trial[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2023, 108(5): 530-534.
- [20] ZHU L C, SHI H W, ZHU C, et al. Impact of permissive hypercapnia on regional cerebral oxygen saturation and postoperative cognitive function in patients undergoing cardiac valve replacement[J]. *Ann Palliat Med*, 2020, 9(6): 4066-4073.
- [21] STRAPAZZON G, GATTERER H, FALLA M, et al. Hypoxia and hypercapnia effects on cerebral oxygen saturation in avalanche burial: a pilot human experimental study[J]. *Resuscitation*, 2021, 158: 175-182.
- [22] YU J, ZHANG N, ZHANG Z Y, et al. Intraoperative partial pressure of arterial carbon dioxide levels and adverse outcomes in patients undergoing lung transplantation[J]. *Asian J Surg*, 2024, 47(1): 380-388.
- [23] KREFT B, TZSCHÄTZSCH H, SCHRANK F, et al. Time-resolved response of cerebral stiffness to hypercapnia in humans[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(4): 936-943.
- [24] PARK C G, JUNG W S, PARK H Y, et al. Comparison of the effects of normocapnia and mild hypercapnia on the optic nerve sheath diameter and regional cerebral oxygen saturation in patients undergoing gynecological laparoscopy with total intravenous anesthesia[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(20): 4707.

(李科 编辑)

**本文引用格式:** 刘慧敏, 周流芳, 岑艳芳, 等. 允许性高碳酸血症对腹腔镜肝部分切除术患者脑氧饱和度的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2025, 35(22): 87-94.

**Cite this article as:** LIU H M, ZHOU L F, CEN Y F, et al. Impact of permissive hypercapnia on cerebral oxygen saturation in patients undergoing laparoscopic partial hepatectomy[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2025, 35(22): 87-94.