

# 允许性高碳酸血症对颈动脉内膜剥脱术术后认知功能的影响

李丽伟 耿璐璐 马春宇 马艳丽 李冰清

郑州大学第一附属医院麻醉科与围术期医学部 450052

通信作者:李丽伟,Email: clearlily76@163.com

**【摘要】** 目的 观察允许性高碳酸血症(permissive hypercapnia, PH)对颈动脉内膜剥脱术(carotid endarterectomy, CEA)患者术后认知功能的影响。方法 择期拟行单侧 CEA 患者 40 例,年龄 40~70 岁,ASA 分级 II、III 级,性别不限,采用随机数字表法分为两组:常规通气组(R 组)和 PH 组(H 组),每组 20 例。R 组机械通气参数设置,潮气量(tidal volume,  $V_T$ )8~10 ml/kg,呼吸频率(respiratory rate, RR)12~16 次/min,  $PaCO_2$  35~45 mmHg(1 mmHg=0.133 kPa);H 组机械通气参数设置,  $V_T$  6~8 ml/kg, RR 12~14 次/min,  $PaCO_2$  46~55 mmHg。记录手术时间、颈动脉阻断时间、拔管时间、PACU 停留时间等基础指标。采用近红外光谱仪监测脑氧饱和度(cerebral oxygen saturation,  $rSO_2$ ),分别记录术前( $T_0$ )、麻醉诱导后即刻( $T_1$ )、麻醉诱导后 10 min( $T_2$ )、颈动脉阻断前即刻( $T_3$ )、颈动脉阻断后即刻( $T_4$ )、术毕( $T_5$ )6 个时间点的 SBP、DBP、MAP、心率、 $SpO_2$  及  $P_{ET}CO_2$  和  $rSO_2$  值。于  $T_0$ 、术后 24 h、术后 48 h、术后 3 d、术后 7 d 时采用简易精神状态检查量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)评分评估患者的术后认知功能。结果 两组在手术时间、颈动脉阻断时间、拔管时间、PACU 停留时间等基础指标的差异无统计学意义( $P>0.05$ )。与 R 组比较,H 组在  $T_2$ ~ $T_5$  时间点  $P_{ET}CO_2$  升高,  $rSO_2$  升高, 术后 24 h、术后 48 h 的 MMSE 评分升高, 减少了术后认知功能障碍(postoperative cognitive dysfunction, POCD)的发生,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。与  $T_0$  比较,两组  $T_2$ ~ $T_5$  时间点的  $rSO_2$  降低,术后 24 h、术后 48 h、术后 3 d、术后 7 d 的 MMSE 评分降低,差异有统计学意义( $P<0.05$ )。结论 PH 通气可改善 CEA 患者的脑氧代谢,减少 POCD 发生。

**【关键词】** 高碳酸血症; 颈动脉内膜剥脱术; 术后认知功能; 脑氧饱和度

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.11.011

## Effect of permissible hypercapnia on cognitive function after carotid endarterectomy

Li Liwei, Geng Lulu, Ma Chunyu, Ma Yanli, Li Bingqing

Department of Anesthesiology and Peri-operative Medicine, the First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450052, China

Corresponding author: Li Liwei, Email: clearly76@163.com

**【Abstract】** **Objective** To observe the effect of permissive hypercapnia (PH) on postoperative cognitive function in patients with carotid endarterectomy (CEA). **Methods** Forty patients who were selected for unilateral CEA were divided into two groups, aged 40~70 y, sex unlimited, American Society of Anesthesiologists (ASA) grade II-III. The patients were divided into two groups by random numerical table method:conventional ventilation group (group R) and PH group (group H). The parameters of mechanical ventilation in group R with hypercapnia ventilation were as follows: tidal volume ( $V_T$ ) was 8-10 ml/kg, respiratory rate (RR) was 12-16 bpm, arterial partial pressure of carbon dioxide ( $PaCO_2$ ) was 35-45 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa), the parameters of mechanical ventilation in group H were set as follows:  $V_T$  was 6-8 ml/kg, RR was 12-14 bpm,  $PaCO_2$  was 46-55 mmHg. The basic indexes such as operation time, carotid artery occlusion time, extubation time and post-anesthesia care unit (PACU) stay time were recorded. Cerebral oxygen saturation ( $rSO_2$ ) was monitored by near infrared spectroscopy (NIR). The systolic blood pressure (SBP), diastolic blood pressure (DBP), mean arterial pressure (MAP), heart rate, saturation of pulse oximetry ( $SpO_2$ ), end-tidal carbon dioxide partial pressure ( $P_{ET}CO_2$ ) and  $rSO_2$  were recorded before operation ( $T_0$ ), immediately after anesthesia induction ( $T_1$ ), 10 min after anesthesia induction( $T_2$ ), immediately before carotid artery occlusion ( $T_3$ ), immediately after carotid artery occlusion ( $T_4$ ), and at the end of operation ( $T_5$ ). The cognitive function of the patients was evaluated by Mini-Mental State Examination (MMSE) scores at  $T_0$ , 24 h, 48 h, 3 d and 7 d after operation. **Results** There were no significant difference in operation time, carotid artery occlusion

time, extubation time and PACU residence time between the two groups ( $P>0.05$ ). Compared with group R,  $P_{ET}CO_2$ ,  $rSO_2$  and MMSE score increased in group H at the time point of  $T_2$ - $T_3$ , the MMSE score increased at 24 h, 48 h after operation, which alleviated the occurrence of postoperative cognitive dysfunction (POCD) in cognitive impairment after operation ( $P<0.05$ ). Compared with  $T_0$ , the  $rSO_2$  at  $T_2$ - $T_5$  time point in two groups was lower ( $P<0.05$ ), MMSE scores decreased significantly at 24 h, 48 h, 3 d and 7 d after operation ( $P<0.05$ ). **Conclusions** PH ventilation can improve cerebral oxygen metabolism and reduce the occurrence of POCD after operation.

**[Key words]** Hypercapnia; Carotid endarterectomy; Cognitive function; Brain oxygen

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.11.011

颈动脉内膜剥脱术 (carotid endarterectomy, CEA) 是治疗动脉硬化性颈动脉狭窄, 预防缺血性脑卒中的有效方法<sup>[1]</sup>, 然而围手术期并发症发生率及卒中率高达 5%<sup>[2]</sup>。过去追求各种机械通气参数处于正常范围, 尽量避免出现高碳酸血症, 但是近年来提出的基于肺保护性通气策略而施行的小潮气量、快频率的通气模式已经被证实对患者有益<sup>[3]</sup>, 但其不可避免地会引起高碳酸血症的发生。本研究拟评价允许性高碳酸血症 (permissive hypercapnia, PH) 对 CEA 患者术后认知功能的影响, 为临床提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 一般资料

本研究已获郑州大学第一附属医院伦理委员会批准 (2018-KY-120), 与患者签署知情同意书。选择 2018 年 6 月至 2019 年 3 月全身麻醉下行 CEA 的患者 40 例, ASA 分级 II、III 级, 性别不限, 年龄 40~70 岁。排除标准: 年龄 <40 岁或 >70 岁, 未接受过教育, 有脑梗死、脑出血病史, 有精神病、神经病病史, 合并肝、肾严重疾病, 严重心肺功能疾病, 严重听力及视觉障碍。按随机数字表法分为两组: PH 组 (H 组) 和常规通气组 (R 组), 每组 20 例。

### 1.2 麻醉方法

入室后开放外周静脉通道, 局部麻醉下行桡动脉穿刺置管, 使用多功能监护仪 (型号: M8005A, Philips 公司, 德国) 监测有创动脉压、ECG、心率、 $SpO_2$ , 麻醉诱导后根据手术需要行右侧颈内静脉或右侧锁骨下动脉穿刺并置管。麻醉前 10 min 静脉给予盐酸戊乙奎醚 (生产批号: 20180105, 成都力斯特制药股份有限公司) 0.5 mg。两组诱导均为舒芬太尼 (生产批号: 81A11101, 宜昌人福药业有限责任公司) 0.5  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、咪达唑仑 (生产批号: 2018114, 江苏恩华

药业有限公司) 2 mg、依托咪酯 (生产批号: 20180614, 江苏恩华药业有限公司) 0.2 mg/kg、顺苯磺酸阿曲库铵 (生产批号: 181225, 江苏恒瑞医药有限公司) 0.2 mg/kg。气管插管后行机械通气, 调节呼吸参数: H 组吸呼比 1:2, 呼吸频率 (respiratory rate, RR) 12~14 次/min, 潮气量 (tidal volume,  $V_T$ ) 6~8 ml/kg,  $P_{ET}CO_2$  维持 46~55 mmHg (1 mmHg=0.133 kPa); R 组吸呼比 1:2, RR 12~16 次/min,  $V_T$  8~10 ml/kg,  $P_{ET}CO_2$  维持 35~45 mmHg; 通过调节 RR 或  $V_T$  (优先调节 RR) 以保证  $P_{ET}CO_2$  在规定范围内。术中维持采用静吸复合麻醉, 盐酸瑞芬太尼 (生产批号: 80A09081, 宜昌人福药业有限责任公司) 0.1~0.5  $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ 、丙泊酚 (生产批号: X10189B, 阿斯利康制药有限公司) 1~4  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$  复合吸入 0.6%~1.0% 七氟醚 (生产批号: 20171209, 江苏恒瑞医药有限公司), 每间隔 40 min 给予顺苯磺酸阿曲库铵维持肌肉松弛 (肌松), 追加量为首次剂量的 1/5~1/3, 通过调节丙泊酚输注速度维持血压、心率波动幅度不超过基础值的  $\pm 20\%$ , 术中 BIS 维持 40~60。手术结束前 20 min 两组均行术后镇痛, 丙帕他莫 (生产批号: 1806251, 山西振东泰盛制药有限公司) 2 g, 地佐辛 (生产批号: 20170908, 扬子江药业有限公司) 10 mg, 多拉司琼 (生产批号: 171102, 辽宁海思科制药有限公司) 12.5 mg。

采用近红外光谱仪监测脑氧饱和度 (cerebral oxygen saturation,  $rSO_2$ ), 分别将电极置于前额两侧, 眉弓上缘 1.0~1.5 cm, 阻断颈动脉时, 维持 MAP 升高幅度为基础值的 10%~20%, 以保证脑组织低灌注; 开放颈动脉时, 维持 MAP 降低幅度为基础值的 10%~20%, 以防止脑组织高灌注。术中 R 组或 H 组  $rSO_2$  值降低幅度达到基础值的 20% 以上时, 给予麻黄碱 (生产批号: 180603-1, 东北制药集团沈阳第一制药有限公司) 6 mg 或重石去甲肾上腺素注射液 (生产批号: 180713, 远大医药有限公司) 8  $\mu\text{g}$  静

脉注射,以防止rSO<sub>2</sub>过低引起严重的术后并发症。术中R组或H组rSO<sub>2</sub>值升高幅度达到基础值的20%以上时,给予乌拉地尔(生产批号:1802111,西安利君制药有限公司)10 mg或尼卡地平(生产批号:18037G1,安斯泰来制药有限公司)0.3 mg。手术结束前10 min停止泵注丙泊酚和瑞芬太尼,手术结束前30 min停止输注肌松药和七氟醚。

### 1.3 观察指标

观察并记录患者术前(T<sub>0</sub>)、麻醉诱导后即刻(T<sub>1</sub>)、麻醉诱导后10 min(T<sub>2</sub>)、颈动脉阻断前即刻(T<sub>3</sub>)、颈动脉阻断后即刻(T<sub>4</sub>)、术毕(T<sub>5</sub>)6个时间点的SBP、DBP、MAP、心率、SpO<sub>2</sub>及P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>和rSO<sub>2</sub>值,记录拔管时间及PACU停留时间。于T<sub>0</sub>、术后24 h、术后48 h、术后3 d、术后7 d时采用简易精神状态检查量表(Mini-Mental State Examination, MMSE)评分评估患者的术后认知功能,MMSE评分≤23分且较基础值降低超过2分者判定为术后认知功能障碍(postoperative cognitive dysfunction, POCD)<sup>[4]</sup>。

### 1.4 统计学分析

应用SPSS21.0统计学软件进行数据分析。符合正态分布的计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,两组一般情况比较采用独立样本t检验或Wilcoxon秩和检验;组间比较采用t检验,组内比较采用重复测量方差分析。计数资料以例表示,两组比较采用χ<sup>2</sup>检验或Fisher确切概率法。P<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 一般资料比较

两组患者年龄、体重、性别比、颈动脉阻断时

间以及手术时间比较差异无统计学意义(P>0.05,表1)。

### 2.2 组内比较

与T<sub>0</sub>比较,两组患者术后24 h、术后48 h、术后3 d、术后7 d的MMSE评分降低,差异有统计学意义(P<0.05,表2)。与T<sub>0</sub>比较,两组患者T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>时间点的rSO<sub>2</sub>值变小,差异有统计学意义(P<0.05,表3)。

### 2.3 组间比较

与R组比较,H组在术后24 h、术后48 h的MMSE评分升高,差异有统计学意义(P<0.05,表2);H组在T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub>时间点的rSO<sub>2</sub>值变大,差异有统计学意义(P<0.05,表3)。

## 3 讨论

CEA术后容易发生神经功能损伤事件,手术侧脑灌注不足或脑循环微栓子脱落是造成卒中的主要危险因素<sup>[5]</sup>。分析其原因可能还与其他因素有关:颈动脉狭窄的患者多为老年患者,由于其基础疾病较多使术后发生心脑血管事件的风险增加;术中暂时性地夹闭颈动脉会引起短暂性脑缺血,一段时间后颈动脉的再次开放,会继发脑缺血/再灌注性损伤。CEA术后脑高灌注综合征(cerebral hyperperfusion syndrome, CHS)的发生率一般为1%~2%,可导致颅内出血等死亡事件<sup>[6]</sup>。CHS常表现为头痛、谵妄、局灶性神经功能缺损等临床症状<sup>[7]</sup>。为了避免术后高灌注和CHS的发生,在围手术期应严格控制血压,因此在本研究中阻断颈动脉时,维持MAP升高幅度为基础值的10%~20%,以保证脑组织低灌注;开放颈动脉时,维持MAP降低幅度为基

表1 两组患者年龄、体重、性别比及部分手术指标比较

组别	例数(例)	年龄(岁, $\bar{x} \pm s$ )	体重(kg, $\bar{x} \pm s$ )	性别比(例,男/女)	手术时间(min, $\bar{x} \pm s$ )	颈动脉阻断时间(min, $\bar{x} \pm s$ )	拔管时间(min, $\bar{x} \pm s$ )	PACU停留时间(min, $\bar{x} \pm s$ )
H组	20	62±6	62±10	11/9	88±7	18.8±3.4	23±7	44±8
R组	20	60±7	63±8	12/8	85±11	19.3±2.2	25±7	44±7

注:H组:PH组;R组:常规通气组;PH:允许性高碳酸血症

表2 两组患者术后各时间点MMSE评分比较(分,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	例数(例)	T <sub>0</sub>	术后24 h	术后48 h	术后3 d	术后7 d
H组	20	27.7±0.7	25.7±0.9 <sup>ab</sup>	26.0±0.8 <sup>ab</sup>	26.1±0.7 <sup>b</sup>	26.3±0.6 <sup>b</sup>
R组	20	27.8±0.6	25.0±0.7 <sup>b</sup>	25.1±0.7 <sup>b</sup>	26.1±0.9 <sup>b</sup>	26.5±0.8 <sup>b</sup>

注:与R组比较,<sup>a</sup>P<0.05;与T<sub>0</sub>比较,<sup>b</sup>P<0.05;H组:PH组;R组:常规通气组;T<sub>0</sub>:术前;PH:允许性高碳酸血症;MMSE:简易精神状态检查量表

表 3 两组患者各时间点 SBP、DBP、MAP、心率、SpO<sub>2</sub>、rSO<sub>2</sub>、P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 比较( $\bar{x}\pm s$ )

指标	组别	例数(例)	T <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>
SBP(mmHg)	H 组	20	128±9	115±10	113±9	139±11	113±9	120±6
	R 组	20	135±8	114±11	113±9	140±10	113±8	127±5
DBP(mmHg)	H 组	20	82±4	69±8	67±7	105±9	82±6	72±4
	R 组	20	83±6	68±9	67±7	87±9	67±6	76±4
MAP(mmHg)	H 组	20	97±7	84±8	82±7	105±9	82±6	88±5
	R 组	20	100±7	83±9	82±7	104±9	82±6	93±3
心率(次/min)	H 组	20	74.0±5.8	62.0±3.2	61.0±3.5	75.0±2.9	74.0±5.1	69.0±5.0
	R 组	20	76.0±4.5	61.0±4.2	62.0±4.3	72.0±4.2	70.0±4.5	66.0±3.7
SpO <sub>2</sub> (%)	H 组	20	98.0±1.5	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
	R 组	20	99.0±0.9	100±0	100±0	100±0	100±0	100±0
rSO <sub>2</sub> (%)	H 组	20	73.1±2.6	73.5±2.7	71.4±1.6 <sup>ab</sup>	69.8±1.6 <sup>ab</sup>	69.6±1.0 <sup>ab</sup>	71.0±3.3 <sup>ab</sup>
	R 组	20	73.6±2.5	72.7±2.5	70.1±1.4 <sup>b</sup>	68.6±2.0 <sup>b</sup>	68.1±2.0 <sup>b</sup>	68.4±2.0 <sup>b</sup>
P <sub>ET</sub> CO <sub>2</sub> (mmHg)	H 组	20	-	38.5±1.8	47.2±0.9 <sup>a</sup>	47.2±0.8 <sup>a</sup>	47.0±0.6 <sup>a</sup>	47.5±0.8 <sup>a</sup>
	R 组	20	-	38.7±1.7	37.0±1.0	36.6±0.9	36.8±0.7	36.8±0.8

注:与 R 组比较,<sup>a</sup> $P<0.05$ ;与 T<sub>0</sub> 时比较,<sup>b</sup> $P<0.05$ ;H 组:PH 组;R 组:常规通气组;T<sub>0</sub>:术前;T<sub>1</sub>:麻醉诱导后即刻;T<sub>2</sub>:麻醉诱导后 10 min;T<sub>3</sub>:颈动脉阻断前即刻;T<sub>4</sub>:颈动脉阻断后即刻;T<sub>5</sub>:术毕;rSO<sub>2</sub>:脑氧饱和度;PH:允许性高碳酸血症;“-”:无数据

础值的 10%~20%,以防止脑组织高灌注。在高灌注期间持续给予镇静,通过单次静脉推注丙泊酚 30~50 mg 或者增加丙泊酚的泵注速度,维持 MAP 在目标范围内,直到颅内压恢复正常。

全身麻醉手术后出现 POCD 并不罕见,老年患者更易发生。POCD 的临床特征为认知能力下降、注意力障碍及意识障碍,可导致患者术后并发症增多、住院时间延长、生活质量降低及医疗费用增加,甚至增加患者的病死率。本研究的结果显示,与 T<sub>0</sub> 比较,术后 24 h、术后 48 h、术后 3 d、术后 7 d 的 MMSE 评分降低。术后精神障碍常常是多种因素协同作用的结果,麻醉药、麻醉深度、手术类型等都是易发因素。CEA 的患者大多为老年患者,术中由于短暂阻断颈动脉不可避免地造成脑组织低灌注,都是该类手术术后容易引起 POCD 的原因。为了避免发生神经功能并发症,本研究采用 PH 的通气策略,术中严格控制血压。

本研究的结果显示,与 T<sub>0</sub> 比较,T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub> 时间点的 rSO<sub>2</sub> 值变小,因此对于行 CEA 的患者,术中颈动脉阻断后进行脑功能监测是有效预防和及时处理脑缺血的关键。根据 rSO<sub>2</sub> 值及时发现脑灌注的变化,两组均视情况给予升压药物麻黄碱 6 mg 或去甲肾上腺素 8 μg,控制性降压时给予乌拉地尔 10 mg 或尼卡地平 0.3 mg,以防止脑组织低灌注或 CHS。rSO<sub>2</sub> 的信号 80%来自静脉血,故几乎不受低温、低灌注

引起的动脉血管收缩的影响,对脑缺氧较敏感<sup>[8]</sup>。除此之外,rSO<sub>2</sub> 下降与术后认知功能的关系已经在很多不同类型的手术中得到研究<sup>[9]</sup>。近红外光谱仪实时监测 rSO<sub>2</sub> 作为一种非侵入性技术,提供对局部 rSO<sub>2</sub> 的连续性监测,而且与有创监测颈静脉窦氧饱和度间存在较好的相关性,经常用于有神经功能并发症高风险的患者中评估脑的氧供需平衡情况<sup>[10]</sup>。

本研究的结果显示,与 R 组比较,H 组在 T<sub>2</sub>~T<sub>5</sub> 时间点的 rSO<sub>2</sub> 值变大。可能由于 CO<sub>2</sub> 是脑血管张力的一种强有力的调节因子,随着通气的改变而影响脑血流量,动脉血中的 CO<sub>2</sub> 是决定神经并发症的主要因素<sup>[11]</sup>。除此之外,由于 pH 值的降低有利于氧的释放,因此在实施 PH 通气的过程中会造成 PaCO<sub>2</sub> 升高、脑动脉血 pH 降低,从而达到增加脑组织氧供的作用。在临床上常用肺泡 CO<sub>2</sub> 分压代替 PaCO<sub>2</sub>,由于 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 与 PaCO<sub>2</sub> 的相关性较高且 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 监测具有直观、无创、简便、快速的特点,因此本研究利用 P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> 来反映 PaCO<sub>2</sub>。

PH 是指为了避免呼吸相关性肺损伤,可采取减少潮气量或呼吸频率的方式通气,允许 PaCO<sub>2</sub> 在一定程度上升高,而不必强求 PaCO<sub>2</sub> 降至正常水平。就 CEA 手术的特点而言,CEA 术中需暂时夹闭颈动脉近端和远端,切开颈动脉,清除斑块,此操作相当于造成人为缺血,因此本研究着重探讨 PH 通

气方式是否能够减轻此类手术的缺血情况, 预防 POCD 等术后神经系统并发症。本研究得出的结论是在 CEA 患者中实施 PH 通气可以减轻患者术后 POCD 的发生, 可能是由于 PH 时 PaCO<sub>2</sub> 升高, 不仅扩张脑血管, 增加脑血流, 还能降低基础代谢率<sup>[12]</sup>, 从而增加脑组织氧供。有研究显示, PH 通气方式存在争议, 由于 PaCO<sub>2</sub> 升高会通过扩张脑血管进而增加颅内压, 加重或诱发脑缺血<sup>[13]</sup>。因此本研究强调充分镇静, 即术中保持合适的麻醉深度, 防止因为手术刺激而引起血压的剧烈波动。而且术前有明显颅内高压的患者禁止采用 PH 通气方式。

除此之外, 本研究还存在一定的局限性, 例如实验的样本量太少, 观察比较中没有体温、出血量、尿量等监护, 没有对比各组各个时间点血气分析结果, 术前常规应用了盐酸戊乙奎醚(该类药物对术后谵妄的争议较大)等, 都可能会对结果产生一定的影响。因此, PH 通气用于行 CEA 患者是否能有效预防术后 POCD 的发生还需要更多的研究。

本研究结果表明, PH 通气可以增加 CEA 患者的 rSO<sub>2</sub>, 增加脑血流改善脑氧代谢, 减少 POCD 的发生。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参考文献

- [1] 葛亚丽, 龙丰云, 郭芳, 等. 右美托咪定对颈动脉内膜剥脱术老年患者术后认知功能的影响[J]. 中华麻醉学杂志, 2014, 34(11): 1303-1305. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1416.2014.11.004.
- [2] 刘燕, 任建军, 梁伟民, 等. 颈动脉内膜剥脱术中不同监测的应用特点及进展 [J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2018, 39 (5): 496-499. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2018.05.024.
- [3] Kavanagh BP, Laffey JG. Hypercapnia: permissive and therapeutic[J]. *Minerva Anesthesiol*, 2006, 72(6): 567-576. DOI:10.1016/j.jclinane.2006.05.001.
- [4] Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician[J]. *J Psychiatr Res*, 1975, 12(3): 189-198. DOI:10.1016/0022-3956(75)90026-6.
- [5] 金星, 刘海洋, 何颖, 等. 体感与运动诱发电位用于颈动脉内膜剥脱术中脑缺血监测的比较[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2017, 38(3): 212-216. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2017.03.005.
- [6] Ishiguro T, Yoneyama T, Ishikawa T, et al. Perioperative and long-term outcomes of carotid endarterectomy for Japanese asymptomatic cervical carotid artery stenosis: a single institution study[J]. *Neurol Med Chir (Tokyo)*, 2015, 55(11): 830-837. DOI: 10.2176/nmc.oa.2014-0398.
- [7] 赵春美, 谢思宁, 安立新. 针刺调节缺血性脑血管病围手术期脑血流量和脑神经功能的研究进展 [J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2017, 38 (7): 642-646. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2017.07.016.
- [8] 于斌, 王云珍, 乔慧, 等. 不同方法监测颈动脉内膜剥脱术患者脑缺血的准确性: SSEPs、MEPs、rSO<sub>2</sub> 及多模式监测的比较[J]. 中华麻醉学杂志, 2017, 37 (11): 1322-1325. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1416.2017.11.011.
- [9] 童朝阳, 黄成娅, 朱宏伟, 等. 老年患者围手术期脑功能评估与术后认知功能障碍的研究现状 [J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2019, 40 (1): 67-71. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4378.2019.01.014.
- [10] Jeong H, Jeong S, Lim HJ, et al. Cerebral oxygen saturation measured by near-infrared spectroscopy and jugular venous bulb oxygen saturation during arthroscopic shoulder surgery in beach chair position under sevoflurane-nitrous oxide or propofol-remifentanyl anesthesia[J]. *Anesthesiology*, 2012, 116(5): 1047-1056. DOI:10.1097/ALN.0b013e31825154d2.
- [11] Parry T, Martin TW, Siddiqui S. Moyamoya disease: a review of the disease and anesthetic management [J]. *J Neurosurg Anesthesiol*, 2011, 23 (2): 100-109. DOI:10.1097/ANA.0b013e3181f84fac.
- [12] Xu F, Uh J, Brier MR, et al. The influence of carbon dioxide on brain activity and metabolism in conscious humans [J]. *J Cereb Blood Flow Metab*, 2011, 31 (1): 58-67. DOI:10.1038/jcbfm.2010.153.
- [13] Borsellino B, Schultz MJ, Gama de Abreu M, et al. Mechanical ventilation in neurocritical care patients: a systematic literature review [J]. *Expert Rev Respir Med*, 2016, 10 (10): 1123-1132. DOI:10.1080/17476348.2017.1235976.

(本文编辑: 华云)