

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2018.29.011  
文章编号: 1005-8982 (2018) 29-0058-06

## 高压氧联合远程缺血预适应对 心脏术后的脑保护作用研究\*

陈亮, 孙小琴, 任玲, 古小平, 古学东, 钟祖凌, 巩固  
(成都军区总医院 麻醉科, 四川 成都 610083)

**摘要: 目的** 探讨高压氧联合远程缺血预处理对心脏瓣膜置换术后患者神经认知功能、炎症因子水平及患者恢复状况的影响。**方法** 选取 2013 年 1 月-2015 年 12 月于成都军区总医院心血管外科行心脏瓣膜置换术的 72 例患者, 根据治疗方案的不同将患者分为高压氧组 (HBO 组) 和高压氧+远程缺血预处理 (RIPC) 组 (HBO+RIPC 组), 比较两组患者术后神经认知功能、炎症因子水平及恢复情况。**结果** 两组患者围手术期临床资料比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。两组患者围手术期相关指标比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。HBO+RIPC 组患者术后血清 NSE 水平和 S100B 水平低于 HBO 组 ( $P<0.05$ ), 两组患者术后 2 和 7 d 的 MMSE 评分及 POCD 发生率比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。两组患者 IL-6 水平比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ ), 两组患者 TNF- $\alpha$  水平比较, 差异有统计学意义 ( $P<0.05$ )。两组患者低心排综合征、肾功能不全、ICU 时间、术后住院时间及呼吸支持时间比较, 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ )。**结论** 与 HBO 组相比, HBO+RIPC 组对心脏瓣膜置换术后患者认知功能和恢复情况无明显改善作用。

**关键词:** 心脏瓣膜置换术; 体外循环; 高压氧; 远程缺血预处理; 认知功能; 炎症反应

**中图分类号:** R614

**文献标识码:** A

## Protective effect of combined preconditioning with hyperbaric oxygen and remote ischemia on brain after cardiac valve replacement surgeries\*

Liang Chen, Xiao-qin Sun, Ling Ren, Xiao-ping Gu, Xue-dong Gu, Zu-ling Zhong, Gu Gong  
(Department of Anesthesiology, Chengdu Military General Hospital, Chengdu, Sichuan 610083, China)

**Abstract: Objective** To evaluate the impacts of hyperbaric oxygen (HBO) combined with remote ischemic preconditioning (RIPC) on cognitive function, levels of inflammatory factors and recovery of the patients after cardiac valve replacement surgeries. **Methods** Seventy-two patients undergoing cardiac valve replacement surgeries were prospectively enrolled in the Department of Cardiovascular Surgery in Chengdu Military General Hospital from January 2013 to December 2015, and divided into a sole HBO treatment group and a HBO+RIPC group according to their treatment regimens (36 in each group). The cognitive function, levels of inflammatory factors and recovery of the patients after operation were compared. **Results** There were no statistical differences in the perioperative clinical characteristics or related indexes in the patients of the two groups ( $P>0.05$ ). The HBO+RIPC group had significantly decreased cerebral injury markers of plasma S100B and NSE than the HBO group after surgery. However, there was no significant difference in MMSE score or incidence of postoperative cognitive dysfunction between the two

收稿日期: 2018-02-17

\* 基金项目: 2016 年军队后勤科研项目 (No: CCD16J001); 2013 年成都军区总医院院管课题 (No: 2013YG-A010)

[通信作者] 巩固, E-mail: gugongcd@163.com

groups 2 and 7 d after surgery ( $P > 0.05$ ). Plasma inflammatory marker IL-6 showed no significant change between the two groups ( $P > 0.05$ ), while TNF- $\alpha$  was significantly decreased in response to the additional treatment with RIPC ( $P < 0.05$ ). There was no significant difference in low cardiac output syndrome, renal dysfunction, ICU stay, postoperative hospital stay or mechanic ventilation time between the two groups ( $P > 0.05$ ). **Conclusions** In comparison with the sole HBO preconditioning group, the HBO+RIPC regimen has no significant improvement on cognitive function or recovery of the patients after cardiac valve replacement.

**Keywords:** cardiac valve replacement; cardiopulmonary bypass; hyperbaric oxygen; remote ischemic preconditioning, cognitive function, inflammatory response

随着心脏手术和麻醉技术的改进, 体外循环 (cardiopulmonary bypass, CPB) 下心脏手术的成功率日渐升高, 但术后脑部并发症发生率却居高不下。据报道, 心脏术后早期认知功能障碍高达 50% ~ 70%, 而瓣膜置换术后中枢神经损伤的风险更大<sup>[1]</sup>。高压氧 (hyperbaric oxygen, HBO) 和远程缺血预处理 (remote ischemic preconditioning, RIPC) 可诱导心脑缺血耐受, 降低致残率, 具有临床价值, 但单独使用这 2 种预处理措施保护作用有限, 且远期效果不理想<sup>[2-3]</sup>。本研究旨在评估术前 HBO 联合 RIPC 对 CPB 心脏手术患者围手术期的脑保护效果。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2013 年 1 月 -2015 年 12 月于成都军区总医院心脏外科住院首次接受 CPB 择期行二尖瓣置换术 (mitral valve replacement, MVR) 或主动脉瓣置换术 (aortic valve replacement, AVR) 的心功能  $\geq$  II 级心脏瓣膜病患者 72 例。根据随机数字表法将患者分为高压氧预处理组 (HBO 组) 和高压氧预处理联合远程缺血预处理组 (HBO+RIPC 组), 各 36 例。术前检测和记录各组基本临床资料, 包括患者年龄、体重指数 (body mass index, BMI)、左心室射血分数 (left ventricular ejection fraction, LVEF)、术前合并糖尿病及高血压等。排除年龄  $>75$  岁、LVEF  $<35\%$ 、有脑血管疾病史、神经系统疾病、高压氧不耐受、幽闭恐惧症、视觉障碍及听力损伤、急危重症及 CPB 手术中二次转流或再次急诊的患者。研究者和受试者了解实验内容, 其他参与手术过程、术后护理及生化指标检测的医师均不知患者实验内容和分组情况。本临床研究通过医院伦理委员会批准, 患者均在实验前了解本课题研究内容及潜在风险并签署知情同意书。

### 1.2 HBO 预处理

两组患者术前行 HBO 预处理 1 次/d, 连续 5 d。

从手术日前 5 d 起, 由笔者于每日上午陪同受试者前往高压氧治疗中心, 进入高压氧舱 (YC32105/0.3 ~ 201 V, 烟台冰轮氧舱集团), 进入预处理程序: 舱内气压在 20 min 内缓慢升高至 2.0 ata, 此时受试者开始佩戴透明吸氧面罩。间断吸氧 2 次, 30 min/次, 1 次/d, 连续 5 d。最后 1 次 HBO 治疗结束后 24 h, 患者在 CPB 下行瓣膜置换心脏手术。

### 1.3 远程缺血预处理

HBO+RIPC 组采用国际标准的自动气压止血带仪缺血方案: 对右上肢实施 3 次缺血, 5 min/次 (充气压力 200 mmHg) 并行 5 min 再灌注, 脉搏血氧饱和度监测仪显示波形消失即表示缺血预适应成功。远程预处理方案在麻醉诱导后和手术开始前实施完成。

### 1.4 麻醉及手术方法

术前连接脑电双频指数 (bispectral index, BIS) 监测仪 (美国 Vista Aspect 公司) 并将 BIS 电极片贴于相对患者前额部, 5 min 后常规静吸诱导复合全身麻醉 (咪唑啉仑、丙泊酚、芬太尼及顺式阿曲库铵等诱导麻醉, 术中丙泊酚、咪唑啉仑及顺式阿曲库铵间断注射, 必要时七氟醚间断吸入维持麻醉), 静注肝素, 使活化凝血时间维持在  $>480$  s, 建立 CPB, 维持流量在 1.8 ~ 2.2 L/(min  $\cdot$  m<sup>2</sup>)。浅低温降温措施维持 31 ~ 33 $^{\circ}$ C 后阻断主动脉, 4 $^{\circ}$ C 血液与高钾停搏液按体积比 4 : 1 经主动脉冷灌插管或主动脉切口注入冠状动脉, 流率 300 ~ 330 ml/min, 灌注 4 min。心脏停搏后进行 MVR 或 AVR, 并且每 30 min 以 10 ~ 20 ml/kg 输入停搏液维持心脏停搏。术中维持 BIS 值在 40 ~ 60。置换术完成后复温, 开放主动脉, 心脏复跳, 停 CPB, 按 1 : 1 ~ 1 : 1.5 给予鱼精蛋白中和肝素。

### 1.5 术后认知功能障碍评估

分别于术前 6 d 及术后 7 d 采用简易智力状态量表 (mini-mental state examination, MMSE) 评估两组患者的术后认知功能的变化。评估项目包括定向能力、记忆注意力、计算能力、语言表达能力及图形描画能

力等, 总分 30 分。术后认知功能障碍 (postoperative cognitive dysfunction, POCD) 判断标准参照李扬等<sup>[4-5]</sup>的方法, 计算术前各测验项目所有受试者测试值的标准差 (standard deviation, SD)。受试者术后测验值与术前值比较其差值降低 >1 个 SD, 即认为该项目出现术后功能障碍; 若受试者术后有  $\geq 2$  个项目出现功能障碍则认为该患者发生 POCD。

### 1.6 血清标志物测定

分别在术前和术后 6、12、24 及 48 h 从中心静脉管抽取 2 ml 血液注入 EDTA 抗凝管, 4℃ 放置 30 min, 3 000 r/min 离心 15 min, 将所得血清转移至 -80℃ 冰箱冻存备用。利用单抗夹心 ELISA 测定血清神经保护因子 S100B 和神经元特异性烯醇化酶 (neuron-specific enolase, NSE)、TNF- $\alpha$  及 IL-6 浓度。

### 1.7 统计学方法

数据分析采用 SPSS 22.0 统计学软件, 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; 计数资料以构成比或率 (%) 表示, 比较用  $\chi^2$  检验,  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 患者术前临床资料比较

两组患者术前的性别、年龄、LVEF、高血压、糖尿病及 MMSE 比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 具有可比性。见表 1。

表 1 两组患者术前临床资料比较 ( $n = 36$ )

组别	男 / 女 / 例	年龄 / (岁, $\bar{x} \pm s$ )	LVEF / (% , $\bar{x} \pm s$ )	高血压例 (%)	糖尿病例 (%)	MMSE / (分, $\bar{x} \pm s$ )
HBO 组	14/22	42.6 $\pm$ 10.7	48 $\pm$ 6	6 (16.7)	5 (13.9)	28.6 $\pm$ 1.3
HBO+RIPC 组	15/21	41.7 $\pm$ 11.5	47 $\pm$ 5	5 (13.9)	4 (11.1)	28.1 $\pm$ 1.5
$t/\chi^2$ 值	0.058	0.680	0.325	0.107	0.127	0.854
$P$ 值	0.818	0.426	0.459	0.743	0.722	0.126

表 2 两组患者围手术期指标比较 ( $n = 36$ )

组别	手术类别 例			手术时间 / (min, $\bar{x} \pm s$ )	CPB 时间 / (min, $\bar{x} \pm s$ )	主动脉阻闭时间 / (min, $\bar{x} \pm s$ )	心脏自动复跳 / %	心脏术中 BIS / ( $\bar{x} \pm s$ )	心指数 / ( $\bar{x} \pm s$ )
	MVR	AVR	MVR+AVR						
HBO 组	21	4	11	231.35 $\pm$ 47.51	98.22 $\pm$ 15.25	59.36 $\pm$ 11.31	72.2	47.3 $\pm$ 4.2	2.52 $\pm$ 0.35
HBO+RIPC 组	18	6	12	233.56 $\pm$ 51.23	97.87 $\pm$ 13.21	60.12 $\pm$ 9.56	77.8	45.6 $\pm$ 4.9	2.59 $\pm$ 0.54
$t/\chi^2$ 值	0.674			1.268	0.856	1.429	0.302	0.754	0.688
$P$ 值	0.714			0.252	0.341	0.657	0.268	0.129	0.459

### 2.2 两组患者围手术期指标比较

两组患者手术类别、手术时间、CPB 时间、主动脉阻闭时间、心脏自动复跳、心脏术中 BIS 及心指数比较, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。见表 2。

### 2.3 两组患者神经功能和神经因子比较

HBO 组患者术后发生 POCD 4 例, HBO+RIPC 组 1 例, 经  $\chi^2$  检验, 差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 0.727$ ,  $P = 0.394$ )。HBO 组患者术后 2 和 7 d 的 MMSE 评分分别为 (24.62  $\pm$  2.01) 和 (27.26  $\pm$  1.59) 分, HBO+RIPC 组分别为 (25.12  $\pm$  1.89) 和 (28.69  $\pm$  1.26) 分, 经  $\chi^2$  检验, 差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 1.122$  和 1.675,  $P = 0.569$  和 0.086)。两组患者术前, 以及术后 6、12、24 和 48 h 的血清 NSE、S100B 水平比较, 采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点间的 NSE 和 S100B 水平比较, 差异有统计学意义 ( $F = 4.940$  和 7.038,  $P = 0.008$  和 0.001); ②两组患者 NSE 和 S100B 比较, 差异有统计学意义 ( $F = 3.687$  和 6.377,  $P = 0.046$  和 0.001); ③两组患者 NSE 和 S100B 的变化趋势比较, 差异有统计学意义 ( $F = 4.256$  和 6.325,  $P = 0.015$  和 0.002)。见表 3 和图 1。

### 2.4 两组患者炎症因子水平比较

两组患者术前以及术后 6、12、24 和 48 h 的血清 IL-6、TNF- $\alpha$  水平比较, 采用重复测量设计的方差分析, 结果: ①不同时间点的 IL-6 和 TNF- $\alpha$  水平比较, 差异有统计学意义 ( $F = 9.163$  和 3.508,

表 3 两组患者不同时间点神经损伤相关分子表达水平比较 (n=36, μg/ml,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	NSE					S100B				
	术前	术后 6 h	术后 12 h	术后 24 h	术后 48 h	术前	术后 6 h	术后 12 h	术后 24 h	术后 48 h
HBO 组	10.32 ± 2.13	33.32 ± 5.03	22.56 ± 4.11	17.54 ± 2.63	15.36 ± 3.64	16.12 ± 3.87	120.87 ± 10.56	85.65 ± 11.23	76.24 ± 5.67	39.51 ± 6.35
HBO+RIPC 组	9.46 ± 3.05	31.42 ± 2.76	19.27 ± 4.65	13.21 ± 3.98	10.23 ± 2.69	14.56 ± 4.38	101.21 ± 8.64	60.55 ± 9.98	42.56 ± 6.87	29.36 ± 5.65

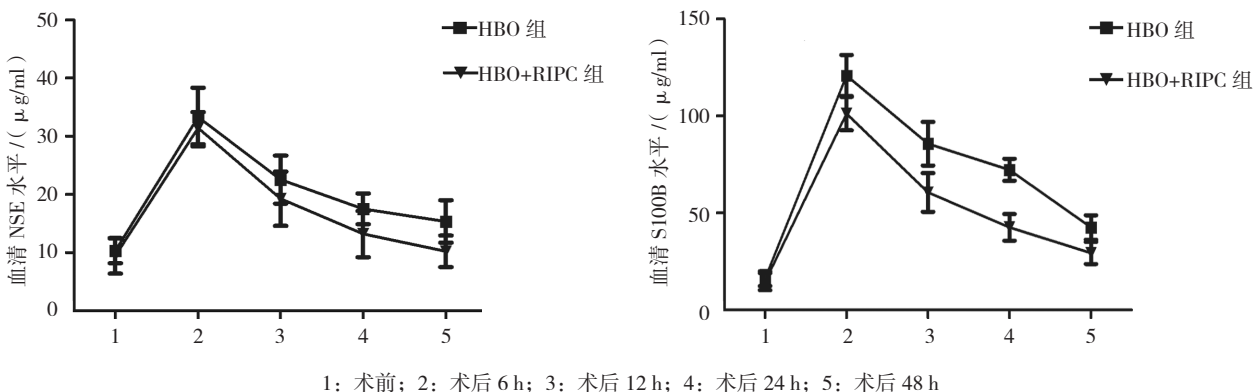


图 1 两组患者心脏神经损伤相关分子变化趋势比较

P=0.005 和 0.009); ②两组患者 IL-6 水平比较, 差异无统计学意义 (F=2.473, P=0.064); 两组患者 TNF-α 水平比较, 差异有统计学意义 (F=6.305, P=0.001); ③两组患者 IL-6 的变化趋势比较, 差异无统计学意义 (F=1.854, P=0.338); 两组患者 TNF-α 的变化趋势比较, 差异有统计学意义 (F=5.041,

P=0.035)。见表 4 和图 2。

### 2.5 两组患者术后恢复情况比较

两组患者低心排综合征、肾功能不全、ICU 时间、术后住院时间及呼吸支持时间比较, 经  $\chi^2$  检验, 差异无统计学意义 (P>0.05)。患者住院期间无手术相关死亡。见表 5。

表 4 两组患者不同时间点炎症因子表达水平比较 (n=36,  $\bar{x} \pm s$ )

组别	IL-6/ (pg/ml)					TNF-α/ (ng/ml)				
	术前	术后 6 h	术后 12 h	术后 24 h	术后 48 h	术前	术后 6 h	术后 12 h	术后 24 h	术后 48 h
HBO 组	22.63 ± 3.31	71.66 ± 7.68	113.39 ± 9.21	138.34 ± 12.10	62.55 ± 4.32	0.11 ± 0.09	0.78 ± 0.13	0.84 ± 0.24	1.09 ± 0.14	0.50 ± 0.09
HBO+RIPC 组	19.82 ± 2.88	70.49 ± 6.51	109.04 ± 9.37	113.65 ± 10.40	40.75 ± 4.26	0.13 ± 0.09	0.56 ± 0.08	0.71 ± 0.10	0.81 ± 0.11	0.41 ± 0.08

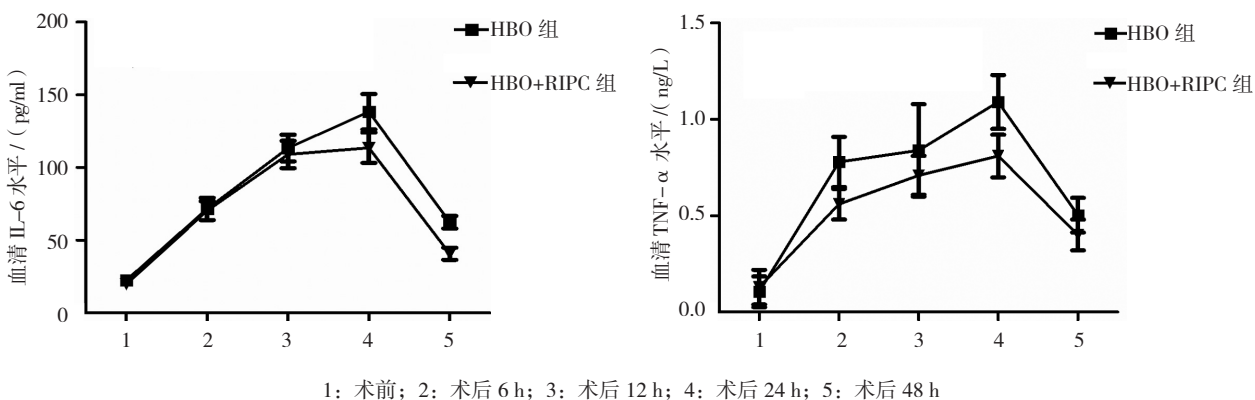


图 2 两组患者炎症因子变化趋势比较

表 5 两组患者术后恢复情况比较 (n=36)

组别	低心排综合征例	肾功能不全例	ICU 时间 / (h, $\bar{x} \pm s$ )	术后住院时间 / (d, $\bar{x} \pm s$ )	呼吸支持时间 / (h, $\bar{x} \pm s$ )
HBO 组	2	3	62.2 ± 5.1	9.6 ± 3.9	15.6 ± 3.6
HBO+RIPC 组	0	1	58.2 ± 5.6	9.4 ± 3.5	13.1 ± 4.3
t/ $\chi^2$ 值	2.057	1.059	1.230	0.650	1.393
P 值	0.151	0.303	0.125	0.220	0.089

### 3 讨论

心脏瓣膜置换手术是常规心脏外科手术,其成功率逐年升高,但术后脑损伤和 POCD 的发生风险却居高不下。心脏瓣膜置换术后近 20% 的患者出现焦虑、抑郁及语言表达理解能力降低等神经损伤,肝损伤、肾功能不全和炎症应激等不良反应,严重影响患者的康复和生活质量<sup>[6]</sup>。CPB 过程是心脏手术血栓和气栓的主要来源,CPB 时间越长对各重要脏器损害越严重。CPB 过程及术中血液残片样物质及气栓都可引起肺部以及肾小管栓塞,损伤肺功能,引起急性肾功能衰竭。而微栓子也会阻塞脑部血管,导致脑部缺血再灌注损伤,引起患者神经功能障碍和精神性疾病。同时,栓塞颗粒还可能激发颅内炎性应激反应,加剧脑部损伤。因此,术前预防心脏手术导致的脑损伤将极大地改善患者预后和提高生活质量。本研究探讨了术前 HBO 及 HBO+RIPC 对心脏瓣膜置换术患者术后神经功能的保护作用以及患者恢复差异。

高压氧治疗是在高压环境下吸入 100% 氧气从而提高机体血氧含量、血氧张力,增加血氧弥散距离,改善缺氧区受损脑细胞功能、促进侧支循环建立以及改善脑缺血状况的辅助治疗方法,不仅可以改善缺氧的脑细胞能量代谢,减轻脑水肿,降低颅内压,还可以强烈兴奋网状上行激活系统,有利于昏迷患者苏醒和生命机能活动的维持<sup>[7]</sup>。近年来一些临床研究证实,高压氧预适应可降低患者冠状动脉旁路移植术 (coronary artery bypass grafting, CABG) 术后血清中 S100B, NSE 以及肌钙蛋白 I 的水平而对心脏和脑部产生保护作用<sup>[8]</sup>。吴帆等<sup>[9]</sup>的研究证明术前 HBO 预适应对心脏瓣膜置换术后患者能起到较好的脑保护作用。动物实验也表明,长期高压氧治疗可以促进脑外伤大鼠神经髓鞘的再生以及感觉运动神经功能及脑损伤后认知功能的恢复<sup>[10-11]</sup>。但是单独使用 HBO 预处理措施对心脑保护作用有限且远期效果不理想<sup>[12]</sup>。

RIPC 对靶器官的保护作用被认为来源于其他

器官短暂缺血再灌注而使远离的靶器官产生耐受性。RIPC 方法无创伤且操作简便,为临床应用提供了可行性,具有潜在的临床实用价值。因此,本研究探讨了术前 HBO 联合 RIPC 是否可协同地进一步改善瓣膜置换术患者术后脑保护效果。本研究结果表明, HBO+RIPC 组比 HBO 组血清 NSE 和 S100B 水平降低,但是术后 2、7 d 的 MMSE 评分及 POCD 的发生率并未显著改善。同时,与 HBO 组相比, HBO+RIPC 组并未对患者术后并发症发生率以及恢复情况产生显著的影响。目前, RIPC 对心脏术后的保护作用仍存在诸多争议。有研究指出 RIPC 预处理具有 CABG 术后心脏保护作用,而未发现其具有肾脏和肺部保护作用<sup>[13-14]</sup>。HUDETZ 等<sup>[15]</sup>的研究发现与未处理组相比, RIPC 可在短期内阻止心脏术后患者神经功能的恶化。本文中 RIPC 预处理组脑损伤相关分子 NSE 和 S100B 也均在术后短期内发生下降,然而其脑保护作用有限,可能是因为脑损伤修复过程是多种机制参与的复杂生理过程,其中神经修复或营养因子的作用也不容忽视,因此,需要更多样本来进一步研究其他修复机制的综合影响。有研究证实, RIPC 并未改善 CABG 或瓣膜置换术后患者临床治疗效果<sup>[16-17]</sup>。此外,笔者也发现与 HBO 组比较, HBO+RIPC 组对患者术后炎性因子 IL-6 无显著影响。PRASAD 等<sup>[18]</sup>证实了心脏介入手术 PCI 前行 RIPC 对患者术后 C 反应蛋白以及内皮细胞的数目未产生影响。

综上所述,本研究显示与单 HBO 组比较, HBO+RIPC 组并未进一步改善患者瓣膜置换术后神经功能评分以及 POCD 的发生率,但可以降低术后 24 h 内神经损伤标志分子的水平。同时 HBO+RIPC 对术后恢复状态也未产生显著影响。不足的是,本研究结论仍有待后续大样本及多中心临床试验加以验证。

#### 参考文献:

- [1] INDJA B, SECO M, SEAMARK R, et al. Neurocognitive and psychiatric issues post cardiac surgery[J]. Heart Lung Circ, 2017,

- S1443-9506(17): 30030-30036.
- [2] MEYBOHM P, BEIN B, BROSTEANU O, et al. A Multicenter trial of remote ischemic preconditioning for heart surgery[J]. *N Engl J Med*, 2015, 373(15): 1397-1407.
- [3] ALLEN M W, GOLEMBE E, GORENSTEIN S, et al. Protective effects of hyperbaric oxygen therapy (HBO2) in cardiac care-A proposal to conduct a study into the effects of hyperbaric preconditioning in elective coronary artery bypass graft surgery (CABG)[J]. *Undersea Hyperb Med*, 2015, 42(2): 107-114.
- [4] 李扬, 杨博, 陈敏, 等. 高压氧预处理对冠状动脉搭桥手术患者术后早期认知功能的影响 [J]. *陕西医学杂志*, 2011, 40(5): 551-554.
- [5] 李扬. 重复高压氧预处理用于 CABG 手术病人的心脑保护作用研究 [D]. 西安: 第四军医大学, 2009: 30-32.
- [6] 罗世官, 陈宏明, 谭荣邦, 等. 高压氧预适应联合依达拉奉对心脏瓣膜置换术后患者神经认知功能, 生活质量及炎症因子水平的影响 [J]. *中国医药导报*, 2016, 13(8): 29-32.
- [7] FIGUEROA X A, WRIGHT J K. Hyperbaric oxygen: B-level evidence in mild traumatic brain injury clinical trials[J]. *Neurology*, 2016, 87(13): 1400-1406.
- [8] LI Y, DONG H, CHEN M, et al. Preconditioning with repeated hyperbaric oxygen induces myocardial and cerebral protection in patients undergoing coronary artery bypass graft surgery: a prospective, randomized, controlled clinical trial[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2011, 25(6): 908-916.
- [9] 吴帆, 周凯, 高峰, 等. 高压氧预适应对心脏瓣膜置换术后的脑保护作用 [J]. *中国体外循环杂志*, 2015, 2015(2): 90-93.
- [10] KRAITSY K, UECAL M, GROSSAUER S, et al. Repetitive long-term hyperbaric oxygen treatment (HBOT) administered after experimental traumatic brain injury in rats induces significant remyelination and a recovery of sensorimotor function[J]. *PLoS One*, 2014, 9(5): DOI: 10.1371/journal.pone.0097750.
- [11] SUN L, XIE K, ZHANG C, et al. Hyperbaric oxygen preconditioning attenuates postoperative cognitive impairment in aged rats[J]. *Neuroreport*, 2014, 25(9): 718-724.
- [12] WEIXLER V, ZIRNGAST B, YATES A, et al. HBO Therapy in patients with neurological deficits after cardiac surgeries[J]. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2016, 64(98): 619-624.
- [13] HAJI MOHD YASIN N A, HERBISON P, SAXENA P, et al. The role of remote ischemic preconditioning in organ protection after cardiac surgery: a meta-analysis[J]. *J Surg Res*, 2014, 186(1): 207-216.
- [14] THIELMANN M, KOTTENBERG E, KLEINBONGARD P, et al. Cardioprotective and prognostic effects of remote ischaemic preconditioning in patients undergoing coronary artery bypass surgery: a single-centre randomised, double-blind, controlled trial[J]. *Lancet*, 2013, 382(9892): 597-604.
- [15] HUDETZ J A, PATTERSON K M, IQBAL Z, et al. Remote ischemic preconditioning prevents deterioration of short-term postoperative cognitive function after cardiac surgery using cardiopulmonary bypass: results of a pilot investigation[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2015, 29(2): 382-388.
- [16] HONG D M, LEE E H, KIM H J, et al. Does remote ischaemic preconditioning with postconditioning improve clinical outcomes of patients undergoing cardiac surgery? remote ischaemic preconditioning with postconditioning outcome trial[J]. *Eur Heart J*, 2014, 35(3): 176-183.
- [17] HAUSENLOY D J, CANDILIO L, EVANS R, et al. Remote ischemic preconditioning and outcomes of cardiac surgery[J]. *N Engl J Med*, 2015, 373(15): 1408-1417.
- [18] PRASAD A, GOSSL M, HOYT J, et al. Remote ischemic preconditioning immediately before percutaneous coronary intervention does not impact myocardial necrosis, inflammatory response, and circulating endothelial progenitor cell counts: a single center randomized sham controlled trial[J]. *Catheter Cardiovasc Interv*, 2013, 81(6): 930-936.

(李科 编辑)