

· 临床研究 ·

二氧化碳气腹手术回收自体血的临床价值

韩侨宇 冯艺 梁汉生

【摘要】 目的 探讨 CO₂ 气腹在腹腔镜手术中对术野回收自体血携氧功能和电解质的影响, 评价其临床应用价值, 为日后腹腔镜手术中自体血回收、回输提供参考性依据。**方法** 选取 2016 年 5 月至 2017 年 8 月择期行 CO₂ 气腹手术(CP 组, 腹腔镜肝血管瘤手术)和非 CO₂ 气腹手术(NCP 组, 脊柱手术)的患者各 20 例, 男 18 例, 女 22 例, 年龄 27~79 岁, BMI 21.64~24.46 kg/m², ASA I 或 II 级。两组患者均采用全身麻醉, 术中监测 HR、NBP、IBP、SpO₂、ECG、P_{ET}CO₂、CVP、BIS 和 T, 应用自体血液回收机进行术野血回收、回输。分别检测两组患者储血器过滤前 1 min(过滤前 1 min)、储血器过滤后 1 min(过滤后 1 min)、回输洗涤血前 10 min(回输前 10 min)和回输洗涤血后 10 min(回输后 10 min)各血样的 pH、PCO₂、PO₂、SO₂、Hct、Hb、Lac 和 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Cl⁻、Mg²⁺ 等电解质浓度, 并记录患者手术时间、血液离体时间、出血总量、回收和回输血液总量。**结果** 与过滤前 1 min 和过滤后 1 min 比较, CP 组回输前 10 min 和回输后 10 min pH、PO₂、SO₂ 明显升高($P<0.05$); NCP 组回输前 10 min 和回输后 10 min pH 明显降低($P<0.05$), PCO₂ 和 PO₂ 明显升高($P<0.05$)。与 NCP 组比较, CP 组过滤前 1 min 和过滤后 1 min pH、PO₂ 和 SO₂ 明显降低, PCO₂ 明显升高($P<0.05$); 与过滤后 1 min 比较, CP 组过滤前 1 min、回输前 10 min 和回输后 10 min Na⁺ 和 Cl⁻ 浓度明显降低, K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 浓度明显升高($P<0.05$); NCP 组回输前 10 min 和回输后 10 min Na⁺ 和 Cl⁻ 浓度明显降低, K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 浓度明显升高($P<0.05$)。各时点两组电解质指标差异均无统计学意义。**结论** CO₂ 气腹手术回收自体血过酸, 携氧较低, 回输后改变患者酸碱平衡, 增加酸中毒风险, 临床应用价值有待进一步探讨。

【关键词】 二氧化碳气腹; 腹腔镜手术; 自体血回收; 血气分析; 肝血管瘤

Clinical value of autologous blood salvage in laparoscopic surgery HAN Qiaoyu, FENG Yi, LIANG Hansheng. Department of Anesthesiology, Peking University People's Hospital, Beijing 100044, China

Corresponding author: LIANG Hansheng, Email: doctorlianghsh@sina.com

【Abstract】 Objective To investigate the effect of carbon dioxide pneumoperitoneum on the oxygen carrying capacity and electrolyte levels in the salvaged autologous blood undergoing laparoscopic surgery. To evaluate the clinical application value and to provide guidance for the salvage and transfusion of autologous blood in laparoscopic surgery. **Methods** Twenty cases who underwent laparoscopic surgery (group CP, laparoscopic hepatic hemangioma surgery) and twenty cases who underwent open surgery (group NCP, spinal surgery), including eighteen males and twenty-two females, aged 27-79, BMI 21.64-24.46 kg/m², ASA I-II, were selected from Peking University People's Hospital from May 2016 to August 2017. Cases in both groups underwent general anesthesia. NBP, IBP, ECG, HR, SpO₂, P_{ET}CO₂, CVP, BIS and T were monitored and autologous blood salvage and transfusion were used during the operation. Arterial blood samples were collected from patients 10 min before and after autologous blood transfusion, salvaged blood samples were collected 1 min before and after filtration. Blood gas analysis, including the level of pH, PCO₂, PO₂, SO₂, Hct, Hb, Lac and the concentrations of Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻, Mg²⁺, were performed on all blood samples. Recording operation time and blood in vitro time, blood loss volume intraoperative, total blood volume of salvage and transfusion. **Results** In group CP, pH, PO₂ and SO₂ of autologous blood 1 min before and after filtration were significantly lower than those of arterial blood 10 min before and after autologous blood transfusion ($P<0.05$). In group NCP, pH of autologous blood 1 min before and after filtration was

DOI:10.12089/jca.2018.03.012

作者单位: 100044 北京大学人民医院麻醉科

通信作者: 梁汉生, Email: doctorlianghsh@sina.com

significantly higher than that of arterial blood 10 min before and after autologous blood transfusion, while PCO_2 and PO_2 were significantly lower than the latter ($P < 0.05$). PH , PO_2 and SO_2 of autologous blood in group CP were significantly lower while PCO_2 was significantly higher than group NCP ($P < 0.05$). PH of arterial blood 10 min after autologous blood transfusion was significantly lower while PCO_2 was significantly higher than group NCP ($P < 0.05$). In group CP, the concentration of Na^+ and Cl^- in autologous blood 1 min after filtration were significantly higher than those before filtration and the arterial blood 10 min before and after autologous blood transfusion. The concentration of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} in autologous blood 1 min after filtration were significantly lower than the latter three blood samples ($P < 0.05$). In group NCP, the concentrations of Na^+ and Cl^- in autologous blood 1 min after filtration were significantly higher than those in arterial blood 10 min before and after autologous blood transfusion. The concentrations of K^+ , Ca^{2+} and Mg^{2+} were significantly lower than those in the latter two blood samples ($P < 0.05$). There were no significant differences in electrolyte concentration of all blood samples between two groups. **Conclusion** The salvaged blood in laparoscopic surgery is superacid and carrying less oxygen. After transfusion, may change patients' acid-base balance and increase the risk of acidosis. Its clinical application value need more further explorations.

【Key words】 Carbon dioxide pneumoperitoneum; Laparoscopic surgery; Autologous blood salvage; Blood gas analysis; Hepatic hemangioma

自体血回收最早于 1874 年提出^[1], 不仅可减少库存血用量, 缓解血源紧张, 减轻患者负担, 及时救治危重患者, 还可避免异体输血导致的感染、免疫、输血反应和血源性疾病传播等不良反应。近年来已大量应用于心血管、脊柱、关节置换、腹部外科等手术。肝血管瘤手术由于手术时间长、创面大、术中大出血风险高, 既往多开腹进行。近年来随着腹腔镜技术的逐渐成熟, 也开始应用于这类手术, 但术中大出血仍是值得关注的问题, 因此自体血回收回输也被应用到腹腔镜手术中。

腹腔镜术中应用自体血回收回输虽然有上述优点, 但也存在着一定的问题: 腹腔镜手术的术野回收血较开腹手术颜色明显变黑, 两种手术的最大区别就是腹腔镜手术应用了 CO_2 气腹技术而开腹手术没有。那么, 回收血变黑是否与 CO_2 气腹相关? 变黑的回收血究竟有何改变? 回输后是否会导致酸碱失衡和内环境紊乱? 本研究通过对 CO_2 气腹和非 CO_2 气腹手术患者术野回收血的血气结果进行分析对比, 从而对其临床应用价值进行初步评估。

资料与方法

一般资料 选择医院 2016 年 5 月至 2017 年 8 月择期行腹腔镜肝部分切除术的肝血管瘤患者 20 例(CO_2 气腹手术组, CP 组); 选择同期行脊柱手术的患者 20 例, 包括行腰椎减压融合内固定术的腰椎管狭窄患者和行颈椎单开门椎管减压术的颈椎病患者各 10 例(非 CO_2 气腹手术组, NCP 组)。患者性别不限, 年龄 27~79 岁, ASA I 或 II 级。排

除标准: 自体血回输禁忌证(如败血症、恶性肿瘤、血液被肠内容物或细菌严重污染等^[2, 3])的患者; 肾功能不全、凝血功能异常的患者; 血液、免疫和内分泌系统疾病的患者。

麻醉方法 患者入室后常规监测 HR、NBP、IBP、 SpO_2 、ECG、 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 、CVP、BIS 和 T, 吸氧(FiO_2 100%, 流量 5 L/min), 开放外周静脉。予咪达唑仑 0.03 mg/kg 入壶。局麻下行桡动脉穿刺置管监测有创动脉压(IBP)。予丙泊酚 2.5 mg/kg、舒芬太尼 0.3 $\mu\text{g/kg}$ 、罗库溴铵 0.6 mg/kg 进行全麻诱导, 待肌松完全和循环稳定后行气管插管, 插管后进行机械通气, 调整呼吸参数为 V_T 6~8 ml/kg, RR 12 次/分, I:E 1:2, FiO_2 70%。行右侧颈内静脉置管, 监测 CVP, 并根据 CVP 值调整术中补液量。吸入 1% 七氟醚(氧气流量 2 L/min)、持续泵入 1% 丙泊酚维持麻醉, 控制 BIS 40~60 维持麻醉深度, 并根据手术情况间断追加舒芬太尼和罗库溴铵。术中监测 $\text{P}_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 和鼻咽温度。

术野血回收方法 采用国产自体-3000P 型血液回收机(112643P)。两组术中均采用自体血回收回输。采用负压吸引, 将手术创面的血吸入储血器的同时, 将抗凝剂(0.9% NaCl 500 ml + 肝素 25 000 IU)注入吸血管道内与回收血液混合, 吸血前在贮存器内预冲抗凝剂 50~100 ml, 吸血时调整滴速为 20 滴/分, 保证抗凝剂量与吸血量之比为 1:5。血液在储血器内经多层过滤, 然后进入血液回收罐内经分离、洗涤、净化处理, 即可得到浓缩血细胞。细胞碎片、游离血红蛋白、抗凝剂和血小板等分流到废液袋内, 浓缩血细胞则保留在血液浓缩袋

内,在术中回输给患者。

观察指标 分别检测两组患者储血器过滤前 1 min(过滤前 1 min)、储血器过滤后 1 min(过滤后 1 min)、回输洗涤血前 10 min(回输前 10 min)和回输洗涤血后 10 min(回输后 10 min)的血气分析,其中过滤前后 1 min 为术野回收自体血,回输前后 10 min 为患者自身动脉血。检测四份血样的 pH、PCO₂、PO₂、SO₂、Hct、Hb、Lac 和 Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Cl⁻、Mg²⁺ 等电解质浓度,并记录患者手术时间、血液离体时间、出血总量、回收血液总量和回输血液总量。

统计分析 采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析。正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用两独立样本 *t* 检验,组内比较采用重复测量数据方差分析。计数资料比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

本研究共纳入 40 例患者,CP 组行全麻下腹腔镜肝部分切除术 20 例,NCP 组行全麻下腰椎减压融合内固定术和颈椎单开门椎管减压术各 10 例。两组术中均行自体血回收回输。两组患者性别、年龄、BMI、ASA 分级差异无统计学意义(表 1)。

表 1 两组患者一般资料比较

组别	例数	男/女 (例)	年龄 (岁)	BMI (kg/m ²)	ASA I / II 级(例)
CP 组	20	8/12	53.80±14.87	22.48±1.03	7/13
NCP 组	20	10/10	60.33±7.60	23.08±0.98	6/14

CP 组过滤后 1 min PCO₂ 明显低于过滤前 1 min,PO₂ 明显高于过滤前 1 min ($P < 0.05$);与过滤前 1 min 和过滤后 1 min 比较,回输前 10 min 和回输后 10 min pH、PO₂、SO₂ 明显升高;回输前 10 min 和回输后 10 min PCO₂ 明显低于过滤前 1 min,高于过滤后 1 min($P < 0.05$)(表 2)。

与过滤前 1 min 和过滤后 1 min 比较,NCP 组回输前 10 min 和回输后 10 min pH 明显降低($P < 0.05$),PCO₂ 和 PO₂ 明显升高($P < 0.05$);过滤后 1 min Lac 明显低于过滤前 1 min、回输前 10 min 和回输后 10 min($P < 0.05$)(表 2)。

与 NCP 组比较,CP 组过滤前 1 min 和过滤后 1 min pH、PO₂ 和 SO₂ 明显降低,PCO₂ 明显升高($P < 0.05$);过滤后 1 min Lac 明显升高($P <$

0.05);回输后 10 min pH 明显升高,PCO₂ 明显降低($P < 0.05$)(表 2)。

与过滤后 1 min 比较,CP 组过滤前 1 min、回输前 10 min 和回输后 10 min Na⁺ 和 Cl⁻ 浓度明显降低,K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 浓度明显升高($P < 0.05$);NCP 组回输前 10 min 和回输后 10 min Na⁺ 和 Cl⁻ 浓度明显降低,K⁺、Ca²⁺ 和 Mg²⁺ 浓度明显升高($P < 0.05$)。两组各时点电解质指标差异均无统计学意义(表 3)。

CP 组手术持续时间和血液离体时间明显长于 NCP 组,出血总量和回收回输血总量明显大于 NCP 组($P < 0.01$)(表 4)。

讨 论

既往已有多项研究显示,与库存血比较,术野自体回收血由于储存和离体时间更短,因此得到的红细胞质量更佳。例如:2,3-DPG 作为红细胞内有助于氧释放的分子,在自体血中含量处于正常范围,而在储存了 25 d 的库存血中可下降 90%^[4],从而使氧解离曲线左移,影响氧的组织利用。并且自体回收血中红细胞的变形性与贮存短于 21 d 的新鲜血液相近,明显好于贮存长于 21 d 的库存血^[5,6]。另外,溶血可产生过多的游离血红蛋白,导致肾损伤。库存血的溶血比率通常要求控制在 1% 以内,而术野血回收时,当其吸引负压在 100 mm Hg,溶血率仅为 0.27%^[7]。此外,目前报道的自体血回收红细胞回收率可达 95% 以上,且典型的回输自体血 Hct 在 55%~70%,并不逊于血库库存血^[8]。除上述优点之外,自体回收血还具有快速、安全、经济等明显优势,但既往关于其在腹腔镜手术中的应用研究甚少,因此对于其在腹腔镜下肝血管瘤肝切除术中的临床应用价值更值得探讨。

肝血管瘤肝切除手术由于创面大、出血迅速、出血量大等特点,易引起术中急性低血容量性休克,需及时、大量输血补液,维持有效循环血量。由于出血迅速,常使血源供应不及时,术野自体血回收可以解决这一突发事件,且肝血管瘤不属于恶性肿瘤,回输自体血不存在争议。

本研究最理想的对照组为开腹肝血管瘤肝切除术患者,但由于目前临床上肝血管瘤优先选择腹腔镜手术,行开腹手术患者数量很少,而脊柱手术不仅麻醉方式相同,常规应用自体血回收回输技术,而且患者数量多,便于选择在身高、体重等一般情况相近的患者,因此选择脊柱手术患者作为对

表 2 两组患者不同时点血标本的酸碱平衡和携氧功能指标比较($\bar{x} \pm s$)

指标	组别	例数	过滤前 1 min	过滤后 1 min	回输前 10 min	回输后 10 min
pH	CP 组	20	6.61±0.08	6.65±0.15	7.38±0.48 ^{ab}	7.22±0.47 ^{ab}
	NCP 组	20	7.78±0.18 ^c	7.70±0.09 ^c	7.40±0.68 ^{ab}	7.44±0.08 ^{abc}
PCO ₂	CP 组	20	160.61±30.96	12.26±1.63 ^a	37.11±7.31 ^{ab}	42.28±7.12 ^{ab}
(mm Hg)	NCP 组	20	4.37±0.90 ^c	2.10±0.01 ^c	33.46±4.66 ^{ab}	32.80±4.27 ^{abc}
PO ₂	CP 组	20	47.63±18.31	119.96±58.43 ^a	290.58±94.36 ^{ab}	280.31±85.46 ^{ab}
(mm Hg)	NCP 组	20	193.20±3.39 ^c	217.72±5.40 ^c	306.14±87.81 ^{ab}	305.80±87.56 ^{ab}
SO ₂	CP 组	20	42.31±15.30	61.56±17.74	99.33±1.14 ^{ab}	99.16±1.29 ^{ab}
(%)	NCP 组	20	99.45±0.64 ^c	94.48±10.01 ^c	99.90±0.01	99.88±0.04
Hct	CP 组	20	27.40±8.36	28.00±11.52	30.78±6.48	31.11±5.67
(%)	NCP 组	20	31.50±2.12	29.33±8.21	33.20±6.30	33.08±6.22
Hb	CP 组	20	8.75±2.95	9.41±3.66	10.29±2.19	11.14±2.07
(g/dL)	NCP 组	20	10.40±0.71	9.73±2.71	11.10±2.09	11.52±2.13
Lac	CP 组	20	1.16±0.67	1.00±0.34	1.52±1.13	1.62±1.33
(mmol/L)	NCP 组	20	1.60±0.50	0.60±0.17 ^{ac}	1.10±0.39 ^b	1.08±0.38 ^b

注:与过滤前 1 min 比较,^a $P<0.05$;与过滤后 1 min 比较,^b $P<0.05$;与 CP 组比较,^c $P<0.05$ 表 3 两组患者不同时点血标本的电解质指标比较($\bar{x} \pm s$)

指标	组别	例数	过滤前 1 min	过滤后 1 min	回输前 10 min	回输后 10 min
Na ⁺	CP 组	20	143.20±6.35	148.86±0.84 ^a	139.47±2.39 ^b	141.87±2.43 ^b
(mmol/L)	NCP 组	20	142.47±6.93	147.48±0.49	138.72±2.10 ^b	139.92±2.24 ^b
K ⁺	CP 组	20	6.41±4.30	1.26±0.42 ^a	3.69±0.32 ^b	3.59±0.27 ^{ab}
(mmol/L)	NCP 组	20	9.08±6.31	1.34±0.51 ^a	4.02±0.68 ^b	3.96±0.65 ^b
Cl ⁻	CP 组	20	115.51±9.22	133.51±6.10 ^a	110.92±2.11 ^b	112.61±1.69 ^b
(mmol/L)	NCP 组	20	129.90±9.90	135.45±1.30	109.28±1.06 ^b	111.40±1.52 ^b
Ca ²⁺	CP 组	20	0.87±0.25	0.29±0.12 ^a	1.13±0.07 ^b	1.08±0.61 ^{ab}
(mmol/L)	NCP 组	20	0.60±0.20	0.26±0.09	1.19±0.03 ^b	1.15±0.03 ^b
Mg ²⁺	CP 组	20	0.50±0.25	0.26±0.13 ^a	0.43±0.04 ^b	0.40±0.03 ^{ab}
(mmol/L)	NCP 组	20	0.35±0.12	0.18±0.03	0.50±0.07 ^b	0.47±0.06 ^b

注:与过滤前 1 min 比较,^a $P<0.05$;与过滤后 1 min 比较,^b $P<0.05$ 表 4 两组患者手术和血液回收回输情况比较($\bar{x} \pm s$)

组别	例数	手术持续时间(min)	血液离体时间(min)	出血总量(ml)	回收血总量(ml)	回输血总量(ml)
CP 组	20	343.0±44.3	251.0±25.7	1 460.0±310.2	1 320.0±309.4	750.0±159.5
NCP 组	20	185.8±19.5 ^a	148.3±15.4 ^a	375.0±81.3 ^a	341.7±73.6 ^a	275.0±39.3 ^a

注:与 CP 组比较,^a $P<0.01$

照组。

回收血变黑与 CO₂ 气腹相关,CO₂ 作为气腹常用的气体,具有高弥散性,可直接弥散入术野血液中,影响回收血的携氧功能。回收血中 PCO₂ 的升高和 pH 的下降使血红蛋白(Hb)对 O₂ 的亲合力

下降,氧解离曲线右移,从而使氧合血红蛋白(HbO₂)解离释放 O₂,导致血液中 HbO₂ 减少,而去氧 Hb 增加^[9]。当去氧 Hb 含量达到 50 g/L 以上时^[10],血液颜色加深,变为紫黑色。

关于回收血液的酸碱度和携氧功能,本研究结

果显示: CP 组患者由于术野血直接暴露于气腹环境中, 吸收了大量的 CO_2 , 因此无论是过滤前还是过滤后的术野血, PCO_2 均明显高于 NCP 组, 而 pH 、 PO_2 和 SO_2 均明显低于后者。同时, 与自身动脉血比较, 过滤前的术野血中 PCO_2 也明显升高, 从而引起 pH 、 PO_2 和 SO_2 明显降低。虽然经过血液回收机的过滤、洗涤等步骤后, 回输给患者的自体血中 PCO_2 明显下降, pH 、 PO_2 和 SO_2 有所回升, 但 pH 依然在 6.65 ± 0.15 , 血液过酸会导致氧解离曲线右移, 从而使 Hb 与氧气的亲和力降低, 影响红细胞的携氧功能。在回输给患者 10 min 后, 患者动脉血 pH 下降, 呈酸中毒。虽然机体体内存在缓冲系统, 可在一定程度上缓冲酸性血液, 但肝血管瘤手术通常出血量大, 相应回收回输的血量也多, 若术中大量输注过酸的血液, 也极易引起患者酸碱平衡失调, 造成内环境紊乱。而对于 NCP 组, 研究显示患者术野回收自体血的 PCO_2 明显低于自身动脉血, 而 pH 明显高于自身动脉血, 这可能是由于脊柱手术在开放性环境下进行, 术野血中的 CO_2 大量挥发所致。洗涤血回输给患者后, 并未引起患者动脉血明显变化。两组患者自体血 Hct 和 Hb 水平较自身动脉血相比基本相近, 仅略有下降, 差异并无统计学意义。

关于回收血液的电解质浓度, 本研究结果显示, 两组患者过滤前的术野回收自体血中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子浓度均明显升高, 可能与负压吸引等过程中机械外力对红细胞产生一定的损伤, 发生一定程度的溶血相关。但经过自体血回收机的多层过滤, 两组患者过滤后的术野回收自体血中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子浓度明显低于过滤前血和动脉血。回收血中 Na^+ 、 Cl^- 浓度均明显高于动脉血, 可能与本研究将生理盐水作为自体血回收机的清洗液有关。两组患者回输洗涤血后, 动脉血中 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 浓度均有下降趋势, 因此术中大量输注自体血时应注意低钾血症的发生, 并及时补充钙剂和镁剂。

本研究存在的问题: (1) 腹腔镜肝血管瘤术手术时间普遍较长, 术野血离体时间明显长于对照组, 离体的血液可能发生一定的变化, 从而可能对结果产生一定的影响。另外, 脊柱手术出血量明显少于肝血管瘤手术, 因此回收的术野血量偏少, 可能会影响自体血中红细胞的浓度和质量; (2) 本研

究只对术中血标本的红细胞携氧功能和电解质情况进行了分析, 其他指标如: 红细胞形态、红细胞免疫功能等及患者的术后转归和远期预后有待进一步研究; (3) 由于腹腔镜下肝血管瘤手术病例较少, 因此本研究样本量较小, 今后尚需进一步大样本量研究。

综上所述, 术野回收自体血应用于腹腔镜肝血管瘤手术, 虽然可缓解血源紧张、减少库存血用量、避免异体输血并发症的发生, 存在一定的益处, 但由于血液过酸, 携氧较低, 对于大量输注时是否会对患者加速术后康复(ERAS)产生影响, 还需进一步细化研究探讨。

参 考 文 献

- [1] Highmore W, M. R. C. S. Practical remarks on an overlooked source of blood supply for transfusion in post-partum haemorrhage suggested by a recent fatal case. *Lancet*, 1874, 103 (2629): 89-90.
- [2] Waters JH. Indications and contraindications of cell salvage. *Transfusion*, 2004, 44(12 Suppl): 40S-44S.
- [3] 赖福才, 王梁平, 汪传喜. 试论自体输血在我国的应用与推广策略. *中国输血杂志*, 2013, 26(8): 687-689.
- [4] Scott AV, Nagababu E, Johnson DJ, et al. 2, 3-Diphosphoglycerate concentrations in autologous salvaged versus stored red blood cells and in surgical patients after transfusion. *Anesth Analg*, 2016, 122(3): 616-623.
- [5] Frank SM, Abazyan B, Ono M, et al. Decreased erythrocyte deformability after transfusion and the effects of erythrocyte storage duration. *Anesth Analg*, 2013, 116(5): 975-981.
- [6] Gu YJ, Vermeijden WJ, de Vries AJ, et al. Influence of mechanical cell salvage on red blood cell aggregation, deformability, and 2, 3-diphosphoglycerate in patients undergoing cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg*, 2008, 86(5): 1570-1575.
- [7] Waters JH, Williams B, Yazer MH, et al. Modification of suction-induced hemolysis during cell salvage. *Anesth Analg*, 2007, 104(3): 684-687.
- [8] Ashworth A, Klein AA. Cell salvage as part of a blood conservation strategy in anaesthesia. *Br J Anaesth*, 2010, 105 (4): 401-416.
- [9] Opdahl H, Strømme TA, Jørgensen L, et al. The acidosis-induced right shift of the HbO_2 dissociation curve is maintained during erythrocyte storage. *Scand J Clin Lab Invest*, 2011, 71(4): 314-321.
- [10] 孟宪军, 史志旭, 徐怀善, 等. 贮存血液颜色变暗紫色原因分析. *中国输血杂志*, 2003, 16(6): 411-412.

(收稿日期: 2017-10-16)