

晶体和胶体溶液用于麻醉诱导后容量负荷治疗效果的比较

何飞燕^a, 李玉红^{a,b*}, 丁倩男^b, 茹国美^b (绍兴市人民医院, a.麻醉科, b.医学研究中心, 浙江 绍兴 312000)

摘要: 目的 探讨乳酸林格氏液和羟乙基淀粉 130/0.4 容量负荷治疗的效果。方法 本研究为双盲前瞻性研究。选择 2011 年 7 月—2013 年 3 月择期胃肠外科肿瘤手术患者 81 例, 美国麻醉医生分级 I~II, 分成 2 组: I 组(羟乙基淀粉 130/0.4 容量负荷组, $n=56$)和 II 组(乳酸林格氏液容量负荷组, $n=25$)。麻醉诱导后予以 3 次容量负荷, 每次 $3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ 羟乙基淀粉 130/0.4 或者乳酸林格氏液, 7 min 输毕。麻醉前后、每次容量负荷后稳定 5 min, 记录平均动脉压(MAP)、每搏心脏输出量指数(SVI)、血容量扩张效率和氧供(DO_2)。结果 麻醉诱导期间 SVI 和 MAP 均降低, 两组相当; I 组和 II 组患者对 3 次容量负荷的反应性分别为 64%对 20%($P<0.001$)、43%对 13%($P<0.001$)和 23%对 14%($P=0.101$); 而第 1 或 2 次容量负荷后 I 组患者达到容量最优化的累计比例低于 II 组(25%对 74%, $P<0.001$; 46%对 81%, $P<0.001$), 第 3 次 2 组差异无统计学意义(88%对 89%, $P=0.825$)。3 次容量负荷后 SVI 上升的幅度 I 组(基础值 86%)高于 II 组(基础值 68%)($P<0.001$), 而 MAP 变化 2 组差异无统计学意义。第 1 次负荷后 2 种液体的血容量扩张效率相当, 第 2 次和第 3 次负荷 I 组高于 II 组。麻醉诱导和血液稀释均导致氧供下降, 2 种液体之间没有区别。结论 容量优化治疗中胶体液的容量治疗效果优于晶体液, 建议采用胶体液进行容量负荷治疗。

关键词: 乳酸林格氏液; 羟乙基淀粉 130/0.4; 容量负荷; 每搏心脏输出量指数; 血容量扩张效率

中图分类号: R969.4

文献标志码: B

文章编号: 1007-7693(2017)02-0276-05

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2017.02.027

Treatment Outcome of Crystalloids Versus Colloids for Optimization After Induction of General Anesthesia

HE Feiyan^a, LI Yuhong^{a,b*}, DING Qiannan^b, RU Guomei^b (Shaoxing People's Hospital, a. Department of Anesthesiology, b. Medical Research Center, Shaoxing 312000, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To evaluate the therapeutic effects for volume optimization between Ringer's lactate and hydroxyethyl starch 130/0.4 after induction of general anesthesia. **METHODS** It was a prospective double-blinded study. Between July 2011 and March 2013, 81 patients with American Society of Anesthesiologist physical status I – II scheduled for gastrointestinal cancer surgery were divided into 2 groups: Group I (Bolus with hydroxyethyl starch 130/0.4, $n=56$) and Group II (Bolus with Ringer's lactate, $n=25$). Three boluses of fluid infusion was with $3 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ either hydroxyethyl starch 130/0.4 or Ringer's lactate over 7 min for each bolus. Mean arterial blood pressure (MAP), stroke volume index (SVI), blood volume expansion efficiency, and oxygen delivery (DO_2) were recorded pre-and-post induction of anesthesia, 5 min after each bolus infusion. **RESULTS** Induction of anesthesia decreased the SVI and MAP, which was comparable between the two groups. Responsiveness to three fluid boluses was 64% vs 20% ($P<0.001$), 43% vs 13% ($P<0.001$) and 23% vs 14% ($P=0.101$) respectively for patients in Group I and II. At the same time, the cumulative percent of volume optimized post 1st or 2nd bolus in Group I was lower than in Group II (25% vs 74%, $P<0.001$ and 46% vs 81%, $P<0.001$), while post 3rd bolus it was similar between the two groups (88% vs 89%, $P=0.825$). Compared with the patients in Group II (68% of baseline), SVI rose bigger in Group I (86% of baseline) ($P<0.001$) after three boluses, but the changes of MAP were comparable. Blood volume expansion efficiency in response to starch (Group I) exceeded to Ringer's solution (Group II) after the 2nd or 3rd bolus, while after the 1st it was the same. DO_2 decreased both in response to the induction of general anesthesia and following the fluid induced plasma dilution, there was no difference between the two groups. **CONCLUSION** Colloid has an advantage over crystalloids for treatment of volume optimization, which suggests that colloid be used for volume optimization.

KEY WORDS: Ringer's lactate solution; hydroxyethyl starch 130/0.4; fluid optimization; stroke volume index; blood volume expansion efficiency

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目(2016KYB297); 绍兴市科技计划项目(2015B70058)

作者简介: 何飞燕, 女, 副主任护师 Tel: (0575) 88229212 E-mail: 1152305176@qq.com *通信作者: 李玉红, 女, 博士, 主任医师 Tel: (0575)88228600 E-mail: yuh_li@qq.com

临床医师在手术室或重症监护病房(intensive care unit, ICU)通过监测心脏每搏量(stroke volume, SV)对患者实施个体化容量治疗方案^[1-2]。根据 Frank-Starling 定律,当患者的容量状态处于心脏 Frank-Starling 曲线上上升段,输入液体后患者的 SV 相应增加,表明患者容量不足,对容量治疗有反应;若容量状态处于心脏 Frank-Starling 曲线顶部,输入液体后 SV 不再增加,表明患者容量处于优化状态,对容量治疗无反应。研究显示术前有 70% 的患者对输液有反应(即容量不足),即使手术开始前还有部分患者处于容量欠缺状态^[3]。输入胶体液主要留在血管内,扩容效果持续时间长;而晶体液很快分布至组织间隙,扩容效果持续时间短。因此,很多学者主张使用胶体液进行容量负荷治疗达到优化容量治疗的目标^[4-5],对于胶体液或晶体液作为容量负荷治疗的效果,目前尚未见报道。基于既往研究,笔者提出假设:胶体液或晶体液对容量负荷治疗具有不同的效果,胶体液更适合容量负荷治疗。为验证此设想,本研究选择择期胃肠外科肿瘤手术患者,术前在 SV 监护下,连续 3 次输注羟乙基淀粉 130/0.4 或者乳酸林格氏液容量负荷,探索 2 种液体负荷的反应性以评价容量负荷的效果,为临床容量负荷治疗选择液体种类提供依据。

1 资料和方法

1.1 一般资料

选择本院 2011 年 7 月—2013 年 3 月择期在静吸复合全身麻醉下行胃肠外科肿瘤手术患者 81 例,性别不限,年龄 25~65 岁,美国麻醉医师协会(ASA)分级 I~II 级。体质量指数(BMI)18~25。排除肾脏疾病、凝血功能障碍、慢性阻塞性肺疾病以及房颤患者。本研究方案经过笔者所在医院伦理委员会讨论通过(伦理编号:080186)。并通过临床试验注册(网站:<http://www.chictr.org/en>, 注册号码:ChiCTR-TNRC-14004479)。每位患者了解试验过程,签署知情同意后参加本试验。

1.2 方法

1.2.1 试验设计和分组 本研究为盲法前瞻性研究。盲法实施:由对用药方案不知情的观察者测试并记录实验数据,根据容量优化输入液体种类,将所有患者分成 2 组,其中 I 组:容量负荷输入羟乙基淀粉 130/0.4($n=56$);II 组:容量负荷输入乳酸林格氏液体($n=25$)。

1.2.2 麻醉和监护 所有患者术前禁食,不用术

前药,安排在早晨第一台手术。患者 7:30 入手术室,面罩吸氧($2\sim 4\text{ L}\cdot\text{h}^{-1}$),静脉置管用于输注液体和静脉给药,桡动脉置管用于血流动力学监测和采集血液标本。8:00 开始麻醉诱导:利多卡因 $0.1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、芬太尼(湖北宜昌人福药业有限公司,批号:XF20000322,规格: 0.1 mg) $3\sim 5\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、丙泊酚(丙泊酚注射液,意大利阿斯利康制药有限公司,批号:H20100646,规格: 500 mg)由微量泵 Graseby 3 500(内含 Marsh 药代动力学参数,英国 Grasby 公司)靶控输注,选择血浆靶浓度 $3\sim 4\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、肌松药笨磺顺阿曲库铵(江苏恒瑞医药股份有限公司,批号:H200620869,规格: 40 mg) $0.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 缓慢静脉注射,诱导 5 min 后置入气管导管。机控呼吸参数:潮气量 $8\text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ 、呼气末正压(PEEP) $3\text{ cmH}_2\text{O}$ 、呼吸频率 12 bpm、吸呼比 1:2、维持呼气末二氧化碳分压(PetCO₂)于 $36\sim 44\text{ mmHg}$ 。麻醉维持药物以 1%~2%七氟烷、丙泊酚靶控输注 $2\sim 3\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 、芬太尼 $0.10\sim 0.20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$,肌松药根据需要间断静脉注射,麻醉深度维持 BIS 值 40~60。试验期间维持体温 $35.5\sim 36.5\text{ }^\circ\text{C}$ 。

1.2.3 容量负荷试验 麻醉诱导前和诱导期间无液体输注,麻醉诱导和气管插管后稳定 10 min 开始第 1 次容量负荷,本研究方案规定每位患者实施 3 次容量负荷,每次 7 min 内恒速输入羟乙基淀粉 130/0.4 氯化钠注射液(北京费森尤斯卡比有限公司,批号:J20090065,规格: 500 mL)或乳酸林格氏液(上海百特医疗用品有限公司,规格: 500 mL) $3\text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。容量负荷试验期间患者保持平卧位,不进行任何操作,除了输注麻醉药物,无其它液体输注。试验期间,若收缩压 $<65\text{ mmHg}$,予静脉注射麻黄碱 $5\sim 10\text{ mg}$;心率每分钟 <50 次,给予静脉注射阿托品。试验结束后外科手术才开始。

1.2.4 监测指标 采用 FloTracTM/Vigileo 监护仪(软件版本 3.6,美国加利福尼亚爱德华公司)持续监测心输出量(cardiac output, CO)、心脏指数(cardiac index, CI)、SV、每搏输出量指数(stroke volume index, SVI);采用麻醉工作站持续监测心电图、心率(HR)、脉搏氧饱和度(pulse oxygen saturation, SpO₂)、平均动脉压(mean arterial pressure, MAP)、PetCO₂;采用 Aspect-XP BIS 监护仪(A-2000TM,美国 Aspect Medical System)连续监测麻醉深度。分别在麻醉诱导前、麻醉诱导后即刻、诱导后 10 min、每次容量负荷结束后 5 min

记录监测指标,同时采集动脉血 1 mL 检测血红蛋白(hemoglobin, Hb)、血氧饱和度(saturation oxygen, SO₂)和氧分压(partial pressure of oxygen, PO₂),通过血气分析数据计算容量负荷后血容量、容量扩张效率以及氧供(oxygen delivery, DO₂)变化。

1.2.5 参数计算 基础血容量(blood volume, BV)根据人体测量学回归方程计算^[6]:

$$BV(L, \text{女})=0.033\ 08 \times \text{体质量}(\text{kg})+0.356\ 1 \times \text{身高}^3(\text{m})+0.183\ 3;$$

$$BV(L, \text{男})=0.032\ 19 \times \text{体质量}(\text{kg})+0.366\ 9 \times \text{身高}^3(\text{m})+0.604\ 1。$$

容量负荷治疗后血容量扩张通过液体输注前后 2 个时间点的 Hb 浓度计算^[6]:

$$\Delta BV_{2-1}=BV_1(Hb_1/Hb_2)-BV_1。$$

BV₁ 为输液后任一时间点血浆容量; ΔBV_{2-1} 为输液后任意 2 个时间点血浆容量的差值,即容量扩张的量。

血容量扩容效率计算公式如下:

$$\text{血容量扩容效率(比值)}=\Delta BV_{2-1}/\text{输入液体量}。$$

DO₂ 计算公式:

$$DO_2=CO \times (1.39Hb_2 \times SO_2+0.003 \times PO_2)$$

容量负荷前后 SVI 增加 $\geq 10\%$,表明机体容量未达到优化状态^[7-8],如果 SVI 增加 $< 10\%$,此时的 SVI 为最佳 SVI。如果 3 次液体负荷治疗后,SVI 增加依然 $\geq 10\%$,那么根据本研究方案将最后一次 SVI 规定为最佳 SVI。

1.3 统计学处理

采用 IBM SPSS 10.5 和微软 Excel 等统计软件进行统计学分析。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 *t* 检验,非正态分布的计量资料以中位数(四分位间距)表示,组间比较采用 Mann Whitney U 检验;计数资料采用 χ^2 检验;参数之间的相关性采用简单线性回归法。检验水准(α)为 0.05。由 G*Power3.0.10 软件估算试验例数,Post hoc 分析以 $\alpha=0.05$, $1-\beta=0.93$,能检测出容量反应性(主要指标)下降 50%所需要的最低例数为 25 例,而临床试验 $1-\beta$ 往往选择 0.85,因此本研究最低例数 25 例符合统计学要求。

2 结果

2.1 一般资料

纳入患者均完成试验,无一例出现严重并发症退出试验。麻醉诱导期间发生低血压患者 8 例,予以麻黄碱(6 mg),6 例患者出现心动过缓,给予

阿托品(0.5 mg)。2 组一般资料差异无统计学意义,两组的 CI、SVI、MAP 和 BV 基础值相似,见表 1。

2.2 2 种液体的容量负荷效果的比较

麻醉诱导引起 SVI 下降,2 组下降趋势一致,但是 3 次容量负荷后 SVI 上升的幅度 I 组明显高于 II 组($P=0.001$)。I 组和 II 组患者对 3 次容量负荷有反应性比例分别为 64%对 20%($P<0.001$)、43%对 13%($P<0.001$)和 23%对 14%($P=0.101$)。对容量负荷没有反应性的患者被认为容量到达最优化,I 组和 II 组患者 3 次容量负荷后到达容量最优化患者累计比例分别为 25%对 74%($P<0.001$)、46%对 81%($P<0.001$)和 88%对 89%($P=0.825$),具体见表 1 和图 1。

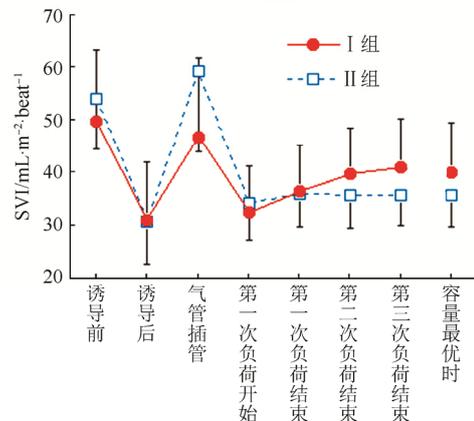


图 1 2 组麻醉诱导期间和 3 次容量负荷后的心脏每搏输出量指数变化趋势

Fig. 1 SVI in patients before general anesthesia and after three successive bolus infusions of two groups

2.3 2 种液体容量负荷后 MAP 和容量扩张效率的比较

麻醉诱导引起所有患者 MAP 下降($P=0.001$),平均下降 26%左右;3 次容量负荷后 MAP 几乎没有回升,仍然只有基础值的 73%左右,结果见图 2。2 组患者 MAP 的基础值、麻醉诱导后以及 3 次容量负荷后相当。线性回归显示麻醉诱导和气管插管过程中,SVI 相对变化和 MAP 相对变化呈正比关系(其关系式为 $y=0.97x^2$, $R^2=0.66$, $P<0.001$,见图 3)。2 种液体 3 次容量负荷后引起血容量扩张,其中第 1 次容量负荷的容量扩张效率最高,2 组第 1 次血容量扩张率相似,第 2 次和第 3 次容量负荷 I 组明显高于 II 组($P<0.05$)。见表 1 和图 2。

2.4 2 种液体容量负荷后对 DO₂ 的影响

DO₂ 的基础值为 $1\ 220\ \text{mL} \cdot \text{min}^{-1}$,麻醉诱导后以及容量负荷后 DO₂ 均下降($P<0.01$),第 1, 2, 3

次容量负荷后的 DO_2 分别是 671(210)、635(203) 和 594(188) $mL \cdot min^{-1}$ 。 DO_2 的下降依赖于对容量负荷的反应性：麻醉诱导后达到优化状态需要容量负荷为 0, 1, 2, 3 次, 那么 DO_2 下降分别为 15%, 10%, 7%, 0(ANOVA $P < 0.05$)。2 种液体容量负荷对氧供的影响没有区别。

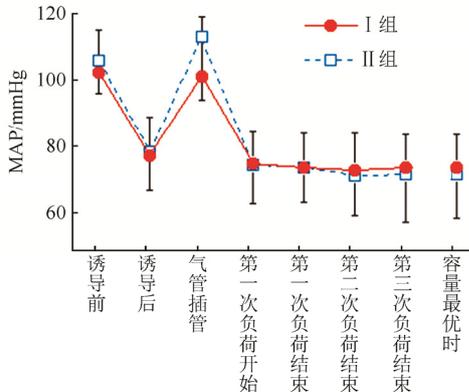


图 2 2 组患者麻醉诱导期间和 3 次液体负荷以及容量优化时的 MAP 变化趋势

Fig. 2 MAP in patients before general anesthesia and after three successive bolus infusions of two groups

表 1 2 组患者的一般资料、血流动力学变化、容量反应性以及容量扩张率的比较

Tab. 1 Comparison of baseline characters of the patients, hemodynamics and blood volume expansion efficiency between the two groups

参数	I 组 (n=56)	II 组 (n=25)	T 检验/ χ^2 检验 P 值
基础值			
年龄/岁	56±12	61±9	0.051
体质量/kg	60±8	57±9	0.100
身高/cm	162±23	163±9	0.957
男性/%	29	28	0.876
CI/ $L \cdot min^{-1} \cdot m^{-2}$	3.8±1.0	3.9±0.8	0.905
SVI/ $mL \cdot m^{-2} \cdot beat^{-1}$	50±16	54±9	0.203
MAP/mmHg	103±12	108±10	0.071
BV/L	4.4±0.7	4.1±0.8	0.125
容量负荷期间			
SVI 第 1 次容量负荷前/基础值(比值)	0.67±0.14	0.65±0.15	0.431
SVI 第 3 次容量负荷后/基础值(比值)	0.86±0.22	0.68±0.15	0.001
MAP 第 1 次容量负荷前/基础值(比值)	0.73±0.11	0.69±0.11	0.532
MAP 第 3 次容量负荷后/基础值(比值)	0.74±0.12	0.73±0.14	0.841
容量负荷剂量/mL	181±24	170±27	0.100
容量反应性/%			
第 1 次容量负荷	64	20	<0.001
第 2 次容量负荷	43	13	<0.001
第 3 次容量负荷	23	14	0.101
容量最优化(累计)%			
第 1 次容量负荷后	25	74	<0.001
第 2 次容量负荷后	46	81	<0.001
第 3 次容量负荷后	88	89	0.825
SVI 增加/%			
第 1 次容量负荷	15±15	5±9	0.006
第 2 次容量负荷	10±12	1±7	0.003
第 3 次容量负荷	2±9	3±10	0.305
血容量扩张效率(比值)			
第 1 次容量负荷	3.9±1.3	3.4±1.4	0.201
第 2 次容量负荷	1.8±1.1	1.1±0.8	0.012
第 3 次容量负荷	1.6±1.5	0.9±1.1	0.031

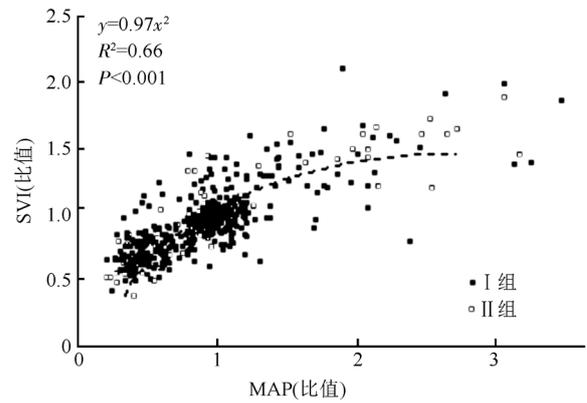


图 3 2 组患者麻醉诱导期间和气管插管期间 MAP 变化与 SVI 变化关系

Fig. 3 The relationship between changes in SVI and MAP in patients of two groups before and after induction of general anesthesia and intubation

3 讨论

麻醉诱导引起血管扩张或者心肌抑制, 使 SVI 和 CI 均降低。此时容量负荷治疗的目的是为了对抗麻醉诱导引起的 SVI 下降。本研究采用胶体液(羟乙基淀粉 130/0.4)和晶体液(乳酸林格氏液)对每位患者进行 3 次容量负荷, 结果发现有 2/3 的患者对羟乙基淀粉 130/0.4 容量负荷有反应性, 与既往报道一致^[9], 比清醒患者比例高^[10]。而乳酸林格氏液体容量负荷优化效率低, 第 1 次容量负荷后, 尽管输入乳酸林格氏液与羟乙基淀粉 130/0.4 容量扩张效率相当, 但只有 1/5 患者对乳酸林格氏液体容量有反应, 而对容量负荷没有反应的患者被认为是血容量已经达到优化状态。根据本研究推测采用林格氏液体负荷, 部分患者可能难以达到 Frank-Starling 曲线的顶部。因此林格氏液体容量负荷时仅仅通过容量负荷是否有反应性来判断容量状态是否达到优化状态可能导致错误的判断。因为本研究对每一例患者实施 3 次容量负荷, 发现 23% 的患者在达到容量优化状态后还能对容量负荷表现有反应性, 其可能的原因有: ①测量误差; ②输入液体引起交感神经张力的改变; ③输入液体引起血液流变学的改变。对于大多数患者, 麻醉诱导后进行容量负荷治疗, 最优 SVI 远远小于麻醉诱导前的 SVI(图 1), 可能是因为麻醉药物抑制交感神经引起心肌收缩力下降, Frank-Starling 曲线下调的缘故^[11-12]。

麻醉诱导后的循环抑制是容量负荷后血容量扩充效率剧增的主要原因。既往研究显示^[13]: 低血压患者, 输入晶体液分布到血管外的作用被抑

制。而突发低血压, 即当 MAP 下降 20% 时, 输入晶体液分布到血管外的过程暂时停止, 血容量扩充效率达到 100%^[13]。可能是因为机体在低血压状态时输注液体, 触发毛细血管再充盈; 而没有液体输注的情况下, 毛细血管再充盈程度削弱, 血浆稀释度只有 4%~7%^[14-15]。本研究发现在动脉低血压发生时, 羟乙基淀粉 130/0.4 的扩容效果也增加, 既往未见报道。血容量正常的自愿者, 羟乙基淀粉 130/0.4 的血容量扩张效率是 1.0^[16]。但本研究中, 低血压时羟乙基淀粉 130/0.4 血容量扩张效率增加至 1.5~1.8, 并且第 1 次容量负荷后扩容效率增加尤其显著。

扩容效率增加也会导致不利的结果, 因为液体扩容增加 CO 的同时引起血液稀释, Hb 降低, 抵消了 CO 增加引起的 DO₂ 增加。麻醉诱导抑制 CO, 加重 DO₂ 下降。本研究发现在液体负荷无反应的患者中, 容量负荷使 DO₂ 进一步降低, 达到 15%; 而在对液体负荷有反应的患者 DO₂ 保持不变。提示液体负荷并不是提高 DO₂ 最有效的方法, 液体负荷后, CO 增加的幅度可能等于或者小于 Hb 降低的幅度, 因此 Shoemaker^[8] 提出必要时需要应用拟肾上腺素药物提升 DO₂ 达到 65%, 达到理想的氧供指数(DO₂I)水平, 即 600 mL·min⁻¹·m⁻²。因此, 麻醉诱导后液体输注的扩容效率与 CO 增加相匹配可以维持 DO₂; 当 CO 不再增加, 正如患者对容量负荷无反应, 此时 DO₂ 开始下降。这一点正是术中无 SVI 监测下液体治疗存在的风险。

本研究也存在不足之处, 只探索单一的晶体液或者胶体液进行容量负荷治疗效果。是否可以使用晶体液和胶体液联合进行容量负荷治疗? 先胶体后晶体或者相反, 容量负荷治疗的效果是否一致, 哪种方案更合理? 需要进一步研究证实。

综上所述, 液体优化治疗中采用胶体液容量负荷治疗的反应性高于晶体液。胶体液的扩容效果也优于晶体液。而麻醉药物抑制 CO, 降低氧供; 容量负荷治疗可以提高氧供, 但到达容量最优化时继续输液, 氧供下降。根据本研究结果建议麻醉医师采用胶体液进行容量负荷治疗, 另外提示不能单纯利用液体治疗维持氧供。

REFERENCES

[1] CECCONI M, CORREDOR C, ARULKUMARAN N, et al. Clinical review: goal-directed fluid therapy-what is the

evidence in surgical patients? The effect on different risk groups [J]. *Crit Care*, 2013, 17(2): 209. doi: 10.1186/cc11823

- [2] GURGEL S T, NASCIMENTO P. Maintaining tissue perfusion in high-risk surgical patients: a systematic review of randomized clinical trials [J]. *Anesth Analg*, 2011, 112(6): 1384-1391.
- [3] BUNDGAARD-NIELSEN M, JÖRGENSEN C C, SECHER N H, et al. Functional intravascular volume deficit in patients before surgery [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2010, 54(4): 464-469.
- [4] WAKELING H G, MCFALL M R, JENKINS C S, et al. Intraoperative oesophageal Doppler guided fluid management shortens postoperative hospital stay after major bowel surgery [J]. *Br J Anaesth*, 2005, 95(5): 634-642.
- [5] OZCIFTCI S, GAMLI M, ORNEK D, et al. An evaluation of the effects of perioperatively administered fluids on ischemia/reperfusion injury [J]. *Pak J Med Sci*, 2015, 31(6): 1349-1354.
- [6] EL-SAYED M S, ALI N, OMAR A A. Effects of posture and ergometer-specific exercise modality on plasma viscosity and plasma fibrinogen: the role of plasma volume changes [J]. *Clin Hemorheol Microcirc*, 2011, 47(3): 219-228.
- [7] MILLER T E, GAN T J. *Clinical Fluid Therapy in the Perioperative Setting* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2011: 127-136.
- [8] SHOEMAKER W C, APPEL P L, KRAM H B, et al. Comparison of hemodynamic and oxygen transport effects of dopamine and dobutamine in critically ill surgical patients [J]. *Chest*, 1989, 96(1): 120-126.
- [9] BUNDGAARD-NIELSEN M, JÖRGENSEN C C, SECHER N H, et al. Functional intravascular volume deficit in patients before surgery [J]. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2010, 54(4): 464-469.
- [10] BARTHA E, ARFWEDSON C, IMNELL A, et al. Randomized controlled trial of goal-directed haemodynamic treatment in patients with proximal femoral fracture [J]. *Br J Anaesth*, 2013, 110(4): 545-553.
- [11] ABBASIVASH R, AGHDASHI M M, SINAEI B, et al. The effects of propofol-midazolam-ketamine co-induction on hemodynamic changes and catecholamine response [J]. *J Clin Anesth*, 2014, 26(8): 628-633.
- [12] ANJUM N, TABISH H, DEBDAS S, et al. Effects of dexmedetomidine and clonidine as propofol adjuvants on intra-operative hemodynamics and recovery profiles in patients undergoing laparoscopic cholecystectomy: A prospective randomized comparative study [J]. *Avicenna J Med*, 2015, 5(3): 67-73.
- [13] HAHN R G. Volume kinetics for infusion fluids [J]. *Anesthesiology*, 2010, 113(2): 470-481.
- [14] EWALDSSON C A, HAHN R G. Kinetics and extravascular retention of acetated Ringer's solution during isoflurane and propofol anaesthesia for thyroid surgery [J]. *Anesthesiology*, 2005, 103(3): 460-469.
- [15] OLSSON J, SVENSÉN C H, HAHN R G. The volume kinetics of acetated Ringer's solution during laparoscopic cholecystectomy [J]. *Anesth Analg*, 2004, 99(6): 1854-1860.
- [16] HAHN R G, BERGEK C, GEBÄCK T, et al. Interactions between the volume effects of hydroxyethyl starch 130/0.4 and Ringer's acetate [J]. *Crit Care*, 2013, 17(3): R104.

收稿日期: 2016-04-06