



中国胸心血管外科临床杂志

Chinese Journal of Clinical Thoracic and Cardiovascular Surgery

ISSN 1007-4848, CN 51-1492/R

《中国胸心血管外科临床杂志》网络首发论文

题目：成人心血管外科手术体外循环患者血液管理指南
作者：杜磊，周成斌，吉冰洋
收稿日期：2024-08-21
网络首发日期：2024-09-19
引用格式：杜磊，周成斌，吉冰洋. 成人心血管外科手术体外循环患者血液管理指南[J/OL]. 中国胸心血管外科临床杂志.
<https://link.cnki.net/urlid/51.1492.R.20240919.0942.008>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

成人心血管外科手术体外循环患者血液管理指南



杜磊¹, 周成斌², 吉冰洋³, 国家心血管系统疾病医疗质量控制中心体外循环与体外生命支持质控工作组

1. 四川大学华西医院 麻醉科 (成都 610041)
2. 南方医科大学广东省人民医院 体外循环科 (广州 510100)
3. 中国医学科学院北京协和医学院 国家心血管病中心 阜外医院 体外循环中心 (北京 100037)

【摘要】 为了指导成人心血管外科手术体外循环患者血液管理的规范化开展, 减少血资源的浪费、改善患者结局, 国家心血管系统疾病医疗质量控制中心体外循环与体外生命支持质控工作组牵头, 组织国内 48 位专家共同制定《成人心血管外科手术体外循环患者血液管理指南》。指南制定专家组基于调研和 PICO (患者, 干预措施, 对照, 结果) 原则遴选 4 个方面 13 个临床问题, 包括体外循环预充及液体管理、体外循环抗凝和监测、围体外循环期血液制品输注和自体血液回输; 通过文献检索形成循证医学证据; 采用推荐分级的评估、制定与评价 (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation, GRADE) 分级系统起草指南推荐意见; 2023—2024 年召开 5 次专家讨论会, 最终形成 19 条推荐意见。

【关键词】 患者血液管理; 体外循环; 成人; 心血管外科; 指南

Guidelines on patient blood management for adult cardiovascular surgery under cardiopulmonary bypass

DU Lei¹, ZHOU Chengbin², JI Bingyang³, Working Group on Extracorporeal Life Support, National Center for Cardiovascular Quality Improvement

1. Department of Anesthesiology, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu, 610041, P. R. China
 2. Department of Cardiopulmonary Bypass, Guangdong Provincial People's Hospital of Southern Medical University, Guangzhou, 510100, P. R. China
 3. Department of Cardiopulmonary Bypass, Fuwai Hospital, National Center of Cardiovascular Disease, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Beijing, 100037, P. R. China
- Corresponding authors: DU Lei, Email: dulei@scu.edu.cn; ZHOU Chengbin, Email: zcbwww@163.com; JI Bingyang, Email: jibingyang@fuwai.com

【Abstract】 Working Group on Extracorporeal Life Support, National Center for Cardiovascular Quality Improvement developed guidelines on patient blood management for adult cardiovascular surgery under cardiopulmonary bypass, aiming to standardize patient blood management in adult cardiovascular surgery under cardiopulmonary bypass, reduce blood resource consumption, and improve patients outcomes. Forty-eight domestic experts participated in the development of the guidelines. Based on prior investigation and the PICO (patient, intervention, control, outcome) principles, thirteen clinical questions from four aspects were selected, including priming and fluid management during cardiopulmonary bypass, anticoagulation and monitoring during cardiopulmonary bypass, peri-cardiopulmonary bypass blood product infusion, and autologous blood infusion. Systemic reviews to the thirteen questions were performed through literature search. Recommendations were drafted using the GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) system. After five rounds of experts discussions between 2023 and 2024, 19 recommendations were finally formed.

DOI: 10.7507/1007-4848.202408050

基金项目: 国家重点研发计划 (2023YFC2410305); 四川大学华西医院 1-3-5 卓越发展计划 (2017-120); 中国心胸血管麻醉学会无输血手术专项行动; 国家临床重点专科建设项目
通信作者: 杜磊, Email: dulei@scu.edu.cn; 周成斌, Email: zcbwww@163.com; 吉冰洋, Email: jibingyang@fuwai.com

【Key words】 Patient blood management; cardiopulmonary bypass; adult; cardiovascular surgery; guidelines

Foundation items: National Key Research and Development Program of China (2023YFC2410305); the 1-3-5 Outstanding Development Program of West China Hospital of Sichuan University (2017-120); Chinese Society of Cardiothoracic and Vascular Anesthesiology Transfusion-Free Program; National Clinical Key Specialty Construction Project;

我国每年接受心血管外科手术患者例数超过20万^[1]。心血管手术围术期异体输血率居外科手术之首。中国心血管外科注册登记系统的数据显示：单纯冠状动脉旁路移植术异体输血率约为42.3%，单纯二尖瓣置换或修复手术异体输血率为55.5%^[1]。异体输血不仅增加血源传播性疾病和输血相关不良反应等风险，还提高了心血管手术患者死亡率和并发症发生率。我国血资源紧缺，心血管手术大量用血会加剧血资源供需不平衡。心血管外科手术围术期实施患者血液管理可减少血资源的大量消耗、改善患者预后。

体外循环是心血管手术围术期患者异体输血的主要原因之一。体外循环可引起血液稀释、血液破坏、血液激活，导致血液中血红蛋白(hemoglobin, Hb)水平下降、凝血因子和血小板消耗、纤溶亢进，从而增加围术期贫血、失血和异体输血风险。针对上述体外循环非生理过程，制定体外循环相关患者血液管理措施，是心血管外科围术期患者血液管理中至关重要的一环^[2]。国家心血管系统疾病医疗质量控制中心将心血管外科手术体外循环患者血液管理作为质控工作的重要部分，中国心胸血管麻醉学会等学术团体长期积极推广患者血液管理工作。

2007年，美国胸心血管外科协会、美国心血管麻醉医师协会、美国体外循环学会联合发布《成人心血管手术患者血液管理指南》^[3]，并于2011年^[4]和2021年^[5]进行更新完善。欧洲心血管麻醉学会于2017年发布了《成人心血管手术围术期患者血液管理指南》^[6]。但欧美指南不能直接照搬应用于中国患者。中国人群和欧美人群在血容量、凝血功能等多个方面存在差异。另外，欧美指南推荐的一些体外循环产品和技术(如涂层的体外循环管路、密闭的体外循环系统)尚未能在国内广泛应用。2018年，中国心胸血管麻醉学会血液管理分会发布了《心血管手术患者血液管理专家共识》^[7]，纳入了体外循环患者血液管理的部分内容。2018年以后，随着TRICS III^[8-9]和OPTIMAL^[10]结果发表，以及国内几个大中心启动了体外循环患者血液

管理领域有了证据更新和策略升级，如最新的美国血液与生物治疗促进协会(Association for the Advancement of Blood & Biotherapies, AABB)推荐心血管外科手术围术期红细胞输注阈值为7.5 g/dL^[11]。

国内从事体外循环的人员背景多样、归属不同专业且部分为兼职灌注师，在心血管外科围术期患者血液管理的认识水平、患者血液管理措施的实施上存在较大差异^[12]，小型中心落后于大型中心，少部分中心体外循环期间的异体红细胞输注率接近100%。为指导成人心血管外科手术体外循环患者血液管理的规范化开展，以减少血资源的浪费、改善患者结局，国家心血管系统疾病医疗质量控制中心体外循环与体外生命支持质控工作组牵头，组织国内48位专家共同制定《成人心血管外科手术体外循环患者血液管理指南》(以下简称“本指南”)。

1 制定方法

本指南制订遵循世界卫生组织(WHO)编写的《世界卫生组织指南制订手册》(第二版)^[13]和中华医学会发布的《制订/修订〈临床诊疗指南〉的基本方法及程序》^[14]，并成立指南指导委员会、指南制定工作组和指南讨论审查专家组。通过调研临床一线体外循环医师、心血管外科医师、麻醉医师等相关专家，基于PICO(患者，干预措施，对照，结果)原则遴选4个方面的13个临床问题，包括体外循环预充及液体管理、体外循环抗凝和监测、体外循环血液制品输注和自体血液回输。检索Medline、EMbase、Web of Science、Cochrane Library、中国生物医学文献数据库、万方数据库和中国知网，形成指南撰写的循证医学证据。采用推荐分级的评估、制定与评价(Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation, GRADE)分级系统^[15](表1)制定推荐意见，并采用专家一致性原则确定推荐意见，存在不同专家意见时，采用投票超过2/3的专家意见。最终形成19条推荐意见。

本指南编写委员会声明，在指南起草及修订过程中承诺不在有关企业兼职取酬，未将企业诉求纳

表 1 GRADE 证据水平界定及推荐强度

证据水平	具体描述	推荐级别	具体描述
高 (A)	非常有把握: 观察值接近真实值	强 (1)	明确显示干预措施利大于弊或弊大于利
中 (B)	对观察值有中等把握: 观察值有可能接近真实值, 但亦有可能差别很大	弱 (2)	利弊不确定或无论质量高低的证据均显示利弊相当
低 (C)	对观察值的把握有限: 观察值可能与真实值有较大差别		
极低 (D)	对观察值几乎无把握: 观察值与真实值可能有极大差别		

人考量内容, 内容正式发布前未透露给有关厂商。2023—2024 年召开 5 次专家讨论会, 进行修改和定稿, 共同编制了本指南。

2 体外循环预充及液体管理

问题 1: 预充量管理。

推荐意见 1: 减少体外循环预充量以减轻血液稀释是有效的患者血液管理措施之一 (1 A)。

推荐意见 2: 逆行自体血预充技术可减少成人心血管手术围术期异体输血 (1 B)。

体外循环预充液总量决定血液稀释程度, 体外循环预充量与患者估计血容量的比值越大, 预充量相对于患者体表面积比值越大, 输血风险越高^[16-17]。

为减少体外循环预充量, 可通过缩短管道长度、负压辅助静脉引流技术、集成动脉微栓滤器氧合器、无静脉储血罐离心泵驱动静脉引流等技术实现^[18-24]。例如: 改良低预充体外循环系统 (FUWAI-SAVE) 较传统体外循环系统减少了约 40% 的预充量^[19-21]; 欧洲应用较多的微创体外循环 (minimal invasive extracorporeal circulation, MiECC) 系统^[18] 在体外循环系统迷你化基础上还涵盖了密闭管路、离心泵、生物相容性管路涂层、心外吸引隔离等理念。上述系统均可减少出血风险、降低输血率、改善患者预后^[18-24]。还可以采用逆行自体血液预充 (retrograde autologous priming, RAP) 的方式来预充体外循环管路以减少预充量。RAP 技术是在体外循环插管后和转流开始前, 将患者血液引入体外循环系统中, 以替换预充液体, 尤其适用于体表面积较小的患者^[25]。一项纳入 12 个小型随机对照试验 (RCT) 和 17 个观察性研究的 Meta 分析^[26] 结果显示, RAP 可减少围术期血液制品输注。应用 RAP 技术时需体外循环开始前或开始即刻从患者体内引流血液, 需注意维持患者循环稳定。

问题 2: 预充液选择。

推荐意见 3: 推荐预充液中的晶体成分采用全平衡晶体溶液, 而不用 0.9% 生理盐水 (1 A)。

推荐意见 4: 术前低白蛋白血症患者可以考虑

在预充液中加入人血白蛋白, 纠正低白蛋白血症 (2 C)。

推荐意见 5: 不推荐采用羟乙基淀粉类溶液预充, 其可能增加输血和肾损伤风险 (1 A)。预充液中可以考虑使用明胶类溶液 (2 D)。

体外循环预充液有晶体和胶体液, 晶体液包括生理盐水和平衡晶体溶液, 胶体液包括人血白蛋白和人工合成胶体溶液 (如羟乙基淀粉和明胶类)。不同中心在预充液的选择方案上存在较大差异^[27]。

在非心血管手术患者人群中, 与平衡晶体液相比, 0.9% 生理盐水可能与输血需求增加有关^[28]。一项纳入 18 个 RCT 的 Cochrane 系统评价^[29] 发现, 相比于平衡晶体溶液, 外科手术围术期应用生理盐水可能增加高氯性酸中毒风险。基于以上研究, 预充液推荐应用平衡晶体溶液。

大量研究^[30-35] 比较了单纯晶体、人血白蛋白和人工胶体的预充策略对围术期血液制品输注和术后出血的影响, 但尚未得到统一结论。不同纳入标准、发表时间、比较方法和研究终点的 Meta 分析也未得到一致结论。

尽管重症医学领域的临床研究^[36-37] 指出应用人血白蛋白与良好预后相关, 且白蛋白具有潜在的保护血管内皮糖萼层的作用^[38], 但其在体外循环心血管手术中的作用效果尚不明确。最近一项纳入 1 407 例体外循环心血管手术成人患者的单中心、双盲 RCT^[39-40] 比较了 4% 人血白蛋白溶液与醋酸林格溶液作为预充液和围术期液体治疗对术后主要并发症的影响, 发现人血白蛋白组出血事件和围术期血液制品输注高于醋酸林格组, 两组围术期不良事件发生率差异无统计学意义。受该研究影响, 最新网状 Meta 分析^[32] 显示人血白蛋白预充策略较晶体预充策略可能会增加患者红细胞输注风险。另有 Meta 分析^[35] 也显示心血管手术中输注人血白蛋白不能降低患者围术期死亡率。基于以上研究, 且人血白蛋白价格昂贵, 因此不推荐在体外循环预充液中常规应用人血白蛋白。然而, 对于术前低白蛋白血症患者, 在预充液中应用人血白蛋白可能有

益, 因为有证据^[41-42]表明围术期低白蛋白血症与心脏术后患者的预后不良独立相关。

羟乙基淀粉类溶液是一种非离子型淀粉衍生物, 多个研究^[43-47]显示, 其与围术期出血、凝血功能损伤、血液制品输注增加及肾损伤有关。基于上述风险, 国家药品监督管理局于2022年发布了关于修订羟乙基淀粉类注射剂说明书的公告^[48], 不推荐在体外循环心脏直视手术患者中使用羟乙基淀粉。美国和欧洲也发布了临床应用羟乙基淀粉的警告说明^[49]。

明胶溶液是动物源性胶体溶液。在羟乙基淀粉类溶液被警告后, 明胶溶液目前是国内预充液中应用较多的人工胶体。但关于明胶的研究数量少且质量较低, 目前研究^[50]未显示其存在出血、肾损伤、延长ICU时间的风险。应用明胶溶液时, 需小心其易引发过敏反应^[51], 多表现为血压降低。

总之, 随着对内皮糖萼结构、修正的Starling定律的理解以及预充量的减少, 胶体在体外循环液体治疗中的权重下移。尤其是最近研究发现白蛋白增加输血风险, 驱使我们重新思考预充液中是否需要胶体液。

问题3: 超滤的应用。

推荐意见6: 对预充量大、血容量多、预计剩余机血较多的患者, 应考虑使用超滤技术作为体外循环患者血液管理措施(1B)。

体外循环中应用的超滤方式包括常规超滤、零平衡超滤、改良超滤。2006年的一项纳入10个RCT、1 004例患者的Meta分析^[52]显示, 成人心血管手术体外循环中应用超滤技术可减少围术期血液制品使用量和术后出血量, 但该研究并未区分超滤形式。2024年一项Meta分析^[53]分别研究了常规超滤(2个观察性研究, $n=47\ 007$)和改良超滤(7个RCT, $n=92$, 其中样本量最大的研究 $n=573$ ^[54]), 显示改良超滤可降低术中红细胞输注量, 而常规超滤并未降低术中红细胞输注量。该Meta分析纳入的2篇观察性研究^[55-56]均为多中心回顾性研究, 多中心输血阈值的差异可能会影响对常规超滤血液保护效果的评价。改良超滤过去多用于低体重儿童, 近来逐渐拓展至成人患者。其他Meta分析^[57]也认可成人心血管手术中应用改良超滤可提高患者术后Hb水平、减少胸腔引流量和减少输血量。但以上研究的年代较早, 且研究中预充量较大(1 500~2 000 mL)。超滤在低预充量成人体外循环中血液管理的价值还有待进一步研究。对预充量大、血容量多、预计剩余机血较多的患者, 应

考虑使用超滤技术作为体外循环患者血液管理措施。但有研究^[58-59]显示心脏手术中超滤量过大可能增加术后急性肾损伤风险。以减少围术期过多液体负荷为目的时, 相比于使用超滤技术, 专家组更推荐减少预充量。

3 体外循环抗凝和监测

问题4: 肝素抗凝和鱼精蛋白中和。

推荐意见7: 体外循环期间常规使用肝素抗凝(1A)。针对肝素抵抗患者, 如体外循环前应用总量600 U/kg肝素后激活凝血时间(ACT)值仍不达标, 可输注新鲜冰冻血浆或抗凝血酶III浓缩物(1B)。

推荐意见8: 体外循环结束后采用鱼精蛋白中和肝素的抗凝作用(1A)。从鱼精蛋白给药开始到术后6 h内, 随时评估是否存在肝素的残余作用, 及时补充鱼精蛋白(2B)。

普通肝素是体外循环首选的抗凝药物, 其主要作用机制是通过戊糖序列与体内抗凝血酶III(antithrombin, AT III)结合、改变其分子构象, 以增强AT III对凝血因子的抑制作用^[60]。

肝素抵抗指使用足够剂量的普通肝素后未能达到预期的抗凝效果。体外循环中肝素抵抗尚无明确定义。2024年, 国际血栓与止血学会科学标准委员会的综述^[61]建议将体外循环中肝素抵抗定义为: 肝素剂量达500 U/kg后未能达到480 s的目标ACT。本指南专家建议当体外循环前肝素应用总量600 U/kg后ACT值仍不达标480 s时, 可输注新鲜冰冻血浆补充AT III、纠正肝素抵抗。每1 mL新鲜冰冻血浆中含有1 IU AT III, 建议补充5~15 mL/kg新鲜冰冻血浆。但是输注新鲜冰冻血浆存在输血相关风险^[62]。前瞻性研究和病例报道^[63-66]提示补充AT III浓缩物可预防或纠正肝素抵抗, 推荐剂量为500~1 000 IU。

体外循环后, 采用鱼精蛋白中和肝素的抗凝作用。鱼精蛋白通过静电结合的方式将其阳离子精氨酸基团与阴离子肝素1:1结合, 形成无抗凝活性复合物, 经网状内皮系统清除^[66]。鱼精蛋白剂量不足会导致肝素抗凝作用残留, 鱼精蛋白过量反而损伤凝血功能。由于难以估计体内肝素浓度, 鱼精蛋白剂量的最优策略存在争议。传统方法是根据初始或总肝素剂量以1:1左右的比例给予鱼精蛋白。然而有研究^[67]发现体外循环后以鱼精蛋白与初始肝素剂量1:1的比例中和时, 可能会导致鱼精蛋白过量, 使凝血系统受损, 增加凝血因子和其

他血液制品的需求。另一种策略是基于肝素浓度确定鱼精蛋白剂量,包括止血管理系统(hemostasis management system, HMS)滴定法^[68-70]、基于 ACT 模型^[71]、数学模型^[72]或药代动力学模型^[73]计算肝素浓度和所需鱼精蛋白剂量。然而,以上 4 种方法目前仅获得一些小型研究^[74]支持,且这些研究的研究对象多为非出血高危的或非长时间体外循环患者。还有待更多研究^[75]以开发出更准确、成本效益更好、适合于高危出血患者的肝素浓度检测方法或计算模型。

使用足量鱼精蛋白中和肝素后,一段时间后仍可在血液检测到肝素,称为肝素反跳。一项研究^[76]表明,10%~15%的患者接受常规剂量鱼精蛋白治疗后,在鱼精蛋白中和 2 h 后仍能检测到肝素残留;一项纳入 300 例患者的 RCT 显示,在最初的鱼精蛋白中和后,持续输注鱼精蛋白(25 mg/h,持续 6 h)可消除肝素反跳,一定程度上减少胸腔引流流量,但未减少输血需求^[77]。建议术后早期 6 h 内通过肝素浓度监测、ACT、血液粘弹性检测等手段监测残余肝素抗凝作用,并追加鱼精蛋白。

问题 5: 体外循环中肝素抗凝监测。

推荐意见 9: 体外循环期间应维持 ACT 480 s (硅藻土法)以上(1B)。可根据不同 ACT 检测仪 ACT 值的检测原理,确定合适的体外循环 ACT 目标值(1C)。

推荐意见 10: 体外循环中定时监测 ACT 值(每隔 30~60 min),根据 ACT 值追加相应剂量的肝素(1C)。

ACT 是体外循环抗凝监测的金标准。体外循环 ACT 安全阈值的设置是基于早期学者对体外循环管路是否有纤维蛋白产生的观察,他们认为 ACT 维持 480 s 以上是足够安全的阈值,并沿用至今。虽然 ACT 维持 480 s 以上的安全阈值设置证据不足,却是国际和国内的体外循环标准、指南、教材公认的阈值^[66,78]。400 U/kg 肝素的半衰期是(152±5) min^[79],建议体外循环期间每 30~60 min 定期监测 ACT 值,根据 ACT 值追加肝素。对于术前血浆抗凝血酶 III 水平低、肝素抵抗、术中大量超滤或尿量多的患者,建议缩短 ACT 监测间隔时间。

目前,多个商业化检测仪器可全自动化检测 ACT 值。早期 ACT 检测仪的激活剂是硅藻土,而目前 ACT 监测设备还可能使用白陶土、磷脂等激活剂。因激活剂的不同,这些设备所检测的 ACT 值略有差异^[80-81]。对于不同 ACT 检测仪,可根据其与传统硅藻土 ACT 检测仪的检测值差异,确

定合适的体外循环 ACT 阈值。

问题 6: 血液粘弹性监测。

推荐意见 11: 对于凝血功能紊乱患者,推荐采用血栓弹力图/旋转式血栓弹性测定法指导体外循环后出血管管理和血液制品输注(1A)。

血栓弹力图(thromboelastogram, TEG)和旋转式血栓弹性测定法(rotational thromboelastometry, ROTEM)是目前常用的心血管手术围术期凝血功能的即时检测方法,两者均属于全血凝固的血液粘弹性检测^[82-83],参数指标相似^[84],反映了血液凝固到纤溶的全过程。多个研究^[85-90]显示成人体外循环心血管手术中 TEG/ROTEM 监测可减少血液制品输注并减少出血,可能降低患者急性肾损伤^[89]发生率和死亡率^[90]。其中样本量(n=7 402)最大的一项多中心 RCT 显示,于体外循环复温及止血困难时行 TEG/ROTEM 监测并指导血液制品输注可减少红细胞输注、血小板输注和心血管手术后的大出血^[86]。该技术得到欧洲心血管外科患者血液管理指南及其他出血诊治指南或专家共识^[6,91-92]的推荐。一些中心制定了体外循环中和体外循环后基于 TEG/ROTEM 指导血液制品输注的流程^[86,90],但目前最优的检测时机及处理流程还需进一步研究。

问题 7: 抗纤溶治疗。

推荐意见 12: 推荐体外循环心血管外科手术开始前即预防性应用氨甲环酸抗纤溶治疗(1A)。

外科操作和体外循环会引起纤溶亢进,是导致围术期出血的原因之一。氨甲环酸是一种人工合成的赖氨酸类似物,因其安全性和高抗纤溶效能,目前是心血管手术中最常用的抗纤溶治疗药物^[93]。研究^[94-95]表明氨甲环酸能有效减少心血管外科手术围术期的出血量并降低输血率,且不增加术后深静脉血栓栓塞症的发生风险和死亡率。氨甲环酸的应用剂量既往存在较大争议,一系列研究^[10,96-98]比较了不同剂量氨甲环酸对患者结局的影响。尽管大剂量氨甲环酸更能减少失血和感染,但有研究^[97]显示大剂量氨甲环酸增加癫痫发作风险。2022 年,一项纳入 3 079 例体外循环心血管手术的中国成人患者的多中心 RCT (Optimal 研究)^[10]显示,高剂量氨甲环酸[负荷剂量 30 mg/kg,维持剂量 16 mg/(kg·h),体外循环预充剂量 2 mg/kg]较低剂量氨甲环酸[负荷剂量 10 mg/kg,维持剂量 2 mg/(kg·h),体外循环预充剂量 1 mg/kg]明显降低围术期异体红细胞输注率,且前者在安全性方面不劣于后者。

ϵ -氨基己酸也是一种赖氨酸类似物。一些研究^[99-101]对比了 ϵ -氨基己酸和氨甲环酸降低围术期血液制品使用率和减少出血的效果,发现两者无明显差异。但关于 ϵ -氨基己酸的研究较少,未来还有待更大规模的研究证明其效果和安全性。

4 围体外循环期血液制品输注

问题 8: 红细胞输注。

推荐意见 13: 建议采用限制性输血策略 (1A)。体外循环期间, Hb 的目标值应维持在 $Hb \geq 7$ g/dL; 体外循环后, Hb 的目标值应维持在 $Hb \geq 8$ g/dL (1B)。建议参考氧供氧耗指数个体化管理 Hb 目标值 (2B)。

体外循环手术中, 由于血液稀释、血液破坏、出血的影响, 患者 Hb 水平降低。最近的多个 RCT、系统评价和 Meta 分析的最佳证据表明: 心血管手术围术期采取限制性输血策略能够降低围术期红细胞输注, 而不增加死亡或其他主要临床不良事件发生风险。TRICS III 研究^[8-9]是多中心 RCT, 纳入 5 243 例接受体外循环心血管手术、EuroSCORE ≥ 6 分的成人患者。该研究发现限制性输血策略 ($Hb < 7.5$ g/dL 时输注红细胞) 相比于开放性输血策略 (在手术室或 ICU 期间 $Hb < 9.5$ g/dL; 或在病房期间 $Hb < 8.5$ g/dL 时输注红细胞) 明显降低输血率而不增加患者住院和术后 6 个月不良结局风险。基于 TRICS III 研究, AABB 的 2023 年红细胞输注指南^[11] 和美国心血管麻醉医师学会 2019 年指南^[102] 均建议心血管手术围术期红细胞输注阈值为 7.5 g/dL。考虑到体外循环期间的低温与麻醉状态使患者氧耗降低, 体外循环期间红细胞输注的阈值可以较 7.5 g/dL 更低。国内大型回顾性研究^[21] 显示, 体外循环期间 ≥ 7 g/dL 的目标值是安全的。术后 Hb 阈值尚存争议。一个国内纳入 8 206 例患者的双中心回顾性研究^[103] 显示, 成人心血管外科手术后最低 $Hb < 7$ g/dL 时, 院内死亡风险明显增加。国内大中心采用的术后 8 g/dL 的输血阈值^[7, 21] 获得了良好的患者结局。基于上述研究, 本指南建议体外循环后, Hb 的目标值应维持在 $Hb \geq 8$ g/dL。

此外, 固定的 Hb 阈值并不适合所有情况, 还应考虑患者性别、年龄、基础疾病、体温、氧供氧耗、体外循环流量等因素的综合影响。比如, 一项回顾性研究^[104] 表明, 在体外循环期间当静脉血氧饱和度 (SvO_2) $< 68\%$ 和/或氧摄取率 (O_2ER) $> 39\%$ 时输注红细胞有利于患者结局。另外, 以 DO_2 为目标导向的灌注策略在多个指南^[105] 已得到推荐, Hb 的

目标值还应结合 DO_2 和当前所能达到的体外循环流量或心排量而定。

问题 9: 其他血液制品输注。

推荐意见 14: 体外循环后严重出血且存在凝血因子缺乏时, 可使用凝血酶原复合物 (2C)。

推荐意见 15: 体外循环后严重出血且存在低纤维蛋白原水平时, 可考虑补充纤维蛋白原, 其疗效不劣于冷沉淀 (1B)。

体外循环心血管手术中不常规输注新鲜冰冻血浆和凝血酶原复合物 (prothrombin complex concentrate, PCC), 除非体外循环后出血或凝血因子缺乏。两项体外循环后输注新鲜冰冻血浆与预后关系的回顾性研究^[106-107] 结论不一致: 一项研究^[106] ($n=12\ 043$) 发现新鲜冰冻血浆输注未增加院内死亡、感染及急性肾损伤等风险; 而另一项研究^[107] ($n=119\ 138$) 则发现新鲜冰冻血浆输注增加术后 30 d 死亡风险。PROPHESY 研究 ($n=50$)^[108] 发现体外循环后出血患者, 输注新鲜冰冻血浆与 PCC 对凝血因子水平的提高差异无统计学意义。但一项 Meta 分析^[109] 纳入 8 项研究、1 500 例心血管手术患者, 发现输注 PCC 可显著减少术后 24 h 胸腔引流量和输血量。因此, 当体外循环后严重出血且存在凝血因子缺乏时, 可考虑使用 PCC。

冷沉淀和人纤维蛋白原都可以用于体外循环后纤维蛋白原缺乏治疗。此外, 冷沉淀还可以补充 VIII 因子、XIII 因子和血管性血友病因子 (vWF 因子)。1 U/10 kg (约 15 mL) 冷沉淀物可使血浆纤维蛋白原增加 0.5 g/L^[110]。目前仅有一项针对体外循环心血管手术中冷沉淀的小样本前瞻性研究^[111] ($n=13$) 发现: 在深低温停循环主动脉手术患者输注冷沉淀可提高纤维蛋白原水平和纤维蛋白参与的血凝块强度。另 1 项 RCT^[112] ($n=48$) 发现, 冠状动脉旁路移植术患者术前补充人纤维蛋白原可以增加术中和术后纤维蛋白原浓度, 但并不减少术后出血。Bilecen 等^[113] 的 RCT 也有相似发现。还有研究^[114] 发现主动脉手术患者接受纤维蛋白原治疗将增加输注异体血液制品的风险。因此, 不建议预防性使用人纤维蛋白原以降低术后出血和输血风险。但当患者合并低纤维蛋白原血症时, 输注人纤维蛋白原补充纤维蛋白原的效果不劣于冷沉淀^[115-116], 同时, 两组血栓栓塞事件相似^[117]。鉴于人纤维蛋白原易于处理、成本较低且纯度高、提升纤维蛋白原水平效果好, 体外循环后合并低纤维蛋白原血症时可考虑优先输注人纤维蛋白原。

目前缺乏关于心血管手术围术期血小板输注

的大样本研究。一项回顾性研究^[118]纳入 12 043 例心血管手术患者发现：血小板输注与感染风险减少、ICU 和住院时间缩短相关。另一项回顾性研究^[119]纳入 40 个中心 119 132 例心血管手术患者，发现血小板输注与院内和 90 d 死亡风险、深部伤口感染和急性肾损伤的风险降低相关。然而一项研究^[120]发现：体外循环后大出血患者，4 个单采血小板序贯输注后，可增加血小板数量，但并不改善血小板的聚集功能和出血。因此，对于围术期血小板输注与止血和预后的关系，还需要更多高质量的研究提供更加高级别的证据。

5 自体血液回输

问题 10：自体血液回收技术。

推荐意见 16：心血管手术中推荐使用自体血液回收技术（1A）。

自体血液回收技术是将患者术中的失血收集起来，经过抗凝、过滤、离心分离、洗涤等步骤清除血液中的血浆成分、血小板、细胞碎屑，游离 Hb 和激活的凝血炎性产物^[121]后回输给患者。研究^[122-124]表明心脏术中使用血液回收技术能减少异体输血用量，降低输血传染病传播风险，且能减少住院费用^[124]。Meta 分析^[125]提示血液回收机的使用降低了异体输血率，同时未增加血浆或血小板的使用量。因此推荐常规应用自体血液回收技术。

问题 11：体外循环前自体血小板分离技术。

推荐意见 17：高危出血风险患者在术前病情稳定、血小板数量和功能正常的情况下可使用自体血小板分离技术（1B）。

体外循环会导致血小板数量和功能受损，尤其是深低温停循环大血管手术。在体外循环前分离和收集自体血小板或富血小板血浆并在体外循环后回输，可保护血小板免受体外循环损伤。对于常规手术，van der Wal 等^[126]证明了该技术既不能减少围术期输血，也不能减少失血量。Triulzi 等^[127]发现虽然减少了术后失血量，但围术期异体输血没有明显减少，同时，为了获得足够的血小板而收集的血量约为总血容量的 20%~30%，可能导致循环不稳定，并加重液体过载导致的血液稀释。因此不支持在低风险心血管手术中应用。对于主动脉手术等出血高危手术，多个研究^[128-131]显示自体血小板分离回输可以改善患者凝血功能，降低术后出血量，降低肺部和肾脏并发症发生率。因此在大血管手术或高危出血风险的手术中，在病情稳定、血小板数量和功能正常的情况下可使用自体血小板分离

技术。

问题 12：急性等容血液稀释。

推荐意见 18：对于预期手术体外循环时间长或出血风险高的病情稳定患者，可在密切监测血流动力学、心功能和 Hb 水平的前提下应用急性等容血液稀释技术（1B）。

急性等容血液稀释（acute normovolemic hemodilution, ANH）是在麻醉诱导后、患者全身肝素化前，采集患者一定量的自体血液，进行抗凝处理后保存备用，同时输入平衡晶体溶液或胶体液补充血容量使血液适度稀释。在体外循环结束后、或当体外循环期间监测 Hb 低于输血阈值时，将自体血液回输给患者。ANH 可减轻体外循环对患者血液的激活和破坏。一项 2017 年的纳入 29 个 RCTs、3 439 例患者的 Meta 分析^[132]显示，ANH 可减少成人外科手术围术期异体红细胞输注率，减少术后出血量。2020 年一项专门纳入 ANH 用于冠状动脉旁路移植术研究的 Meta 分析^[133]也得到类似结论。ANH 实施的关键问题之一是放血量。有研究^[134-135]显示，大容量 ANH（12~15 mL/kg 或 ≥800 mL）降低术后出血和围术期血液制品使用的效果更好。而另一方面，大容量 ANH 增加放血过程中血流动力学不稳定的风险，增加体外循环中 Hb 过低的风险，并增加术中额外晶体和胶体液的输注。此外，标准的放血操作需在患者全身肝素化前，操作耗时且需要持续血流动力学监测。这也是 ANH 目前未能广泛开展的原因。ANH 的适合人群尚无统一共识，可能更适合预期体外循环时间长、出血风险高危且病情稳定的患者。在 ANH 实施过程中需密切监测血流动力学、Hb 水平和超声心动图^[136]。

问题 13：剩余机血回输。

推荐意见 19：体外循环结束后，应将体外循环系统的剩余机血回输给患者（1A）。

剩余机血指体外循环结束后体外循环管路内的剩余血液。有小型队列研究^[137]显示，输注剩余机血可提高患者 Hb 水平、血小板计数、纤维蛋白原，改善患者 TEG 的 R 值、 α 角和 MA 值。剩余机血可直接回输、经超滤浓缩处理后回输和经血液回收洗涤处理后回输。如剩余机血量过多，直接回输会增加患者液体负荷；超滤浓缩处理回输可减少剩余机血液体负荷，但增加剩余机血内游离 Hb；经自体血液回收技术洗涤处理回输可减少剩余机血液体负荷，清除炎性因子和游离 Hb，但会导致血浆成分和血小板损失。一些研究^[138-142]比较了 3 种方法对异体输血、凝血功能的影响，未得到一致的

结论。

6 小结与展望

心血管外科手术体外循环的患者血液管理不仅可减少血资源的浪费,还可改善患者预后。本指南重点涵盖了体外循环相关、国内易开展的患者血液管理措施,旨在推动成人心血管外科体外循环患者血液管理在各级心血管外科中心的规范化开展,为心血管外科手术患者提供更优质的医疗服务。本指南的推荐基于既往国内外临床研究结果和专家意见而制订,部分患者血液管理措施存在争议,需要我国专家学者行动起来,推进高质量多中心临床研究。随着更多国内研究发表,本指南将进行定期更新。需要强调的是,本指南不具备强制性,不作为医疗事故鉴定和医学责任认定依据,仅供相关医护人员参考。

利益冲突:无。

专家组成员

负责人:杜磊(四川大学华西医院)、周成斌(广东省人民医院)、吉冰洋(中国医学科学院阜外医院)

第一执笔人:闫姝洁(中国医学科学院阜外医院)

共同执笔人:刘刚(中国医学科学院阜外医院)、滕媛(中国医学科学院阜外医院)、周莉(四川大学华西医院)、陈尘(广东省人民医院)

讨论专家(按照姓氏笔画排序):王伟(上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心)、王钊(昆明市延安医院)、王京玉(西安交通大学第一附属医院)、王试福(天津泰达国际心血管病医院)、叶建熙(厦门大学附属心血管病医院)、叶家欣(南京鼓楼医院)、田仁斌(遵义医科大学附属医院)、刘宇(北部战区总医院)、刘凯(山东大学齐鲁医院)、刘燕(武汉亚洲心脏病医院)、刘建华(河南省胸科医院)、刘晋萍(中国医学科学院阜外医院)、许崇恩(山东省立医院)、宋怡(云南省阜外心血管病医院)、李平(华中科技大学同济医学院附属协和医院)、李军(郑州大学第一附属医院)、李欣(复旦大学附属中山医院)、杜磊(四川大学华西医院)、杨雷一(阜外华中心血管病医院)、汪源(华中医科大学同济医学院附属同济医院)、肖娟(陆军军医大学第二附属医院)、肖立琼(南京市第一医院)、林茹(浙江大学医学院附属儿童医院)、武婷(天津市胸科医院)、金振晓(空军军医大学第一附属医院)、姜福清(中国医学科学院阜外医院深圳医院)、施丽萍(浙江大学附属第一医院)、荣健(中山大学附属第一医院)、赵明霞(中国

医学科学院阜外医院)、啜俊波(哈尔滨医科大学附属第二医院)、梁永年(江苏省人民医院)、郭震(上海交通大学附属胸科医院)、程光存(中国科学技术大学附属第一医院)、蒋璇(中国医科大学附属第一医院)、熊瑶瑶(中南大学湘雅第二医院)

定稿专家:纪宏文(中国医学科学院阜外医院)、黑飞龙(首都医科大学附属北京安贞医院)、王晟(首都医科大学附属北京安贞医院)、王古岩(首都医科大学附属北京同仁医院)、敖虎山(中国医学科学院阜外医院)

参考文献

- 1 国家心血管病医疗质量控制中心,国家心血管病专家委员会. 2022年国家医疗服务与质量安全报告. 心血管病专业分册. 北京:中国协和医科大学出版社, 2023: 2. National Center for Cardiovascular Quality Improvement, National Expert Commission for Cardiovascular Diseases. 2022 Report on National Medical Service and Quality Safety: Cardiovascular Disease Specialty Volume. Peking Union Medical College Press. 2023. 2.
- 2 吉冰洋. 体外循环医师在心血管手术血液管理中的重要角色. 中国体外循环杂志, 2022, 20(1): 1-2. Ji BY. The key role of perfusionists in patient blood management in cardiovascular surgery. Chin J ECC, 2022, 20(1): 1-2.
- 3 Society of Thoracic Surgeons Blood Conservation Guideline Task Force, Ferraris VA, Ferraris SP, *et al.* Perioperative blood transfusion and blood conservation in cardiac surgery: The Society of Thoracic Surgeons and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists clinical practice guideline. Ann Thorac Surg, 2007, 83(5 Suppl): S27-S86.
- 4 Society of Thoracic Surgeons Blood Conservation Guideline Task Force, Ferraris VA, Brown JR, *et al.* 2011 update to the Society of Thoracic Surgeons and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists blood conservation clinical practice guidelines. Ann Thorac Surg, 2011, 91(3): 944-982.
- 5 Tibi P, McClure RS, Huang J, *et al.* STS/SCA/AmSECT/SABM update to the clinical practice guidelines on patient blood management. Ann Thorac Surg, 2021, 112(3): 981-1004.
- 6 Task Force on Patient Blood Management for Adult Cardiac Surgery of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the European Association of Cardiothoracic Anaesthesiology (EACTA), Boer C, Meesters MI, *et al.* 2017 EACTS/EACTA guidelines on patient blood management for adult cardiac surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2018, 32(1): 88-120.
- 7 胡盛寿,纪宏文,孙寒松,等. 心血管手术患者血液管理专家共识. 中国输血杂志, 2018, 31(4): 321-325. Hu SS, Ji HW, Sun HS, *et al.* Chinese experts consensus statement on patient blood management in patients undergoing cardiovascular surgery. Chin J Blood Transfusion, 2018, 31(4): 321-325.
- 8 Mazer CD, Whitlock RP, Fergusson DA, *et al.* Restrictive or liberal redcell transfusion for cardiac surgery. N Engl J Med, 2017, 377: 2133-2144.
- 9 Mazer CD, Whitlock RP, Fergusson DA, *et al.* Six-month outcomes after restrictive or liberal transfusion for cardiac

- surgery. *N Engl J Med*, 2018, 379(13): 1224-1233.
- 10 Shi J, Zhou C, Pan W, *et al*. Effect of high- vs low-dose tranexamic acid infusion on need for red blood cell transfusion and adverse events in patients undergoing cardiac surgery: The OPTIMAL randomized clinical trial. *JAMA*, 2022, 328(4): 336-347.
 - 11 Carson JL, Stanworth SJ, Guyatt G, *et al*. Red blood cell transfusion: 2023 AABB international guidelines. *JAMA*, 2023, 330(19): 1892-1902.
 - 12 闫姝洁, 章晓华, 侯晓彤, 等. 全国体外循环血液管理问卷调查研究. *中国体外循环杂志*, 2022, 20(5): 261-266.
Yan SJ, Zhang XH, Hou XT, *et al*. Questionnaire survey on cardiopulmonary bypass blood management in China. *Chin J ECC*, 2022, 20(5): 261-266.
 - 13 World Health Organization. WHO handbook for guideline development, 2nd ed (2014). URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/145714>. Accessed on 2022-06-20.
 - 14 陈耀龙, 杨克虎, 王小钦, 等. 中国制订/修订临床诊疗指南的指导原则 (2022). *中华医学杂志*, 2022, 102(10): 697-703.
Chen YL, Yang KH, Wang XQ, *et al*. Principles for developing/revising clinical diagnosis and treatment guidelines in China (2022). *Nat Med J Chin*, 2022, 102(10): 697-703.
 - 15 Guyatt GH, Thorlund K, Oxman AD, *et al*. GRADE guidelines: 13. Preparing summary of findings tables and evidence profiles-continuous outcomes. *J Clin Epidemiol*, 2013, 66(2): 173-183.
 - 16 Sun BC, Dickinson TA, Tesdahl EA, *et al*. The unintended consequences of over-reducing cardiopulmonary bypass circuit prime volume. *Ann Thorac Surg*, 2017, 103(6): 1842-1848.
 - 17 Dickinson TA, Wu X, Sturmer DL, *et al*. Net prime volume is associated with increased odds of blood transfusion. *J Extra Corpor Technol*, 2019, 51(4): 195-200.
 - 18 Berretta P, Cefarelli M, Montecchiani L, *et al*. Minimally invasive versus standard extracorporeal circulation system in minimally invasive aortic valve surgery: A propensity score-matched study. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(4): 717-723.
 - 19 Gao S, Li Y, Diao X, *et al*. Vacuum-assisted venous drainage in adult cardiac surgery: A propensity-matched study. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020, 30(2): 236-242.
 - 20 刘刚, 曾庆东, 郑哲, 等. 迷你化心肺转流和传统心肺转流的临床应用比较. *中华外科杂志*, 2016, 54(8): 613-616.
Liu G, Zeng QD, Zheng Z, *et al*. Clinical application of modified minimally cardiopulmonary bypass: compared with conventional cardiopulmonary bypass. *Chin J Surg*, 2016, 54(8): 613-616.
 - 21 Zhang Q, Zhao W, Gao S, *et al*. Quality management of a comprehensive blood conservation program during cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg*, 2022, 114(1): 142-150.
 - 22 刘侠丽, 谭赵霞, 秦臻, 等. 华西综合血液管理策略减少体外循环患者异体血需要. *中国体外循环杂志*, 2022, 20(4): 200-206, 225.
Liu XL, Tan ZX, Qin Z, *et al*. Huaxi integrated blood management reduces the requirements of allogenic blood for patients undergoing cardiopulmonary bypass. *Chin J ECC*, 2022, 20(4): 200-206, 225.
 - 23 孟擎擎, 徐建军, 周成斌, 等. 改装密闭式体外循环套包在复杂先天性心脏病手术中的应用. *中国体外循环杂志*, 2014, 12(4): 234-236, 244.
Meng QQ, Xu JJ, Zhou CB, *et al*. Application of modified closed extracorporeal circulation circuits in the complex congenital heart disease. *Chin J ECC*, 2014, 12(4): 234-236, 244.
 - 24 刘小清, 陈寄梅, 周成斌, 等. 微小化管道技术对新生儿先天性心脏病围术期病死率的影响. *中华胸心血管外科杂志*, 2018, 34(11): 6.
Liu XQ, Chen JM, Zhou CB, *et al*. Effect of minimized cardiopulmonary bypass circuit on perioperative mortality in neonates with congenital heart disease. *Chin J Thorac Cardiovasc Surg*, 2018, 34(11): 6.
 - 25 Hou X, Yang F, Liu R, *et al*. Retrograde autologous priming of the cardiopulmonary bypass circuit reduces blood transfusion in small adults: A prospective, randomized trial. *Eur J Anaesthesiol*, 2009, 26(12): 1061-1066.
 - 26 Gupta S, McEwen C, Basha A, *et al*. Retrograde autologous priming in cardiac surgery: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2021, 60(6): 1245-1256.
 - 27 Miles LF, Coulson TG, Galhardo C, *et al*. Pump priming practices and anticoagulation in cardiac surgery: Results from the global cardiopulmonary bypass survey. *Anesth Analg*, 2017, 125(6): 1871-1877.
 - 28 Shaw AD, Bagshaw SM, Goldstein SL, *et al*. Major complications, mortality, and resource utilization after open abdominal surgery: 0.9% saline compared to Plasma-Lyte. *Ann Surg*, 2012, 255: 821-829.
 - 29 Bampoe S, Odor PM, Dushianthan A, *et al*. Perioperative administration of buffered versus non-buffered crystalloid intravenous fluid to improve outcomes following adult surgical procedures. *Cochrane Database Syst Rev*, 2017, 9(9): CD004089.
 - 30 Beukers AM, de Ruijter JAC, Loer SA, *et al*. Effects of crystalloid and colloid priming strategies for cardiopulmonary bypass on colloid oncotic pressure and haemostasis: A meta-analysis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2022, 35(3): ivac127.
 - 31 Xian-Yu CY, Xu JB, Ma YT, *et al*. Management of priming fluids in cardiopulmonary bypass for adult cardiac surgery: Network meta-analysis. *Ann Med*, 2023, 55(2): 2246996.
 - 32 Wang T, Wang J, Zhang M, *et al*. Effects of albumin and crystalloid priming strategies on red blood cell transfusions in on-pump cardiac surgery: A network meta-analysis. *BMC Anesthesiol*, 2024, 24(1): 26.
 - 33 Yin J, Sun M, Zeng Y, *et al*. Safety and efficacy of albumin for pump priming in cardiac surgery: A meta-analysis. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2024, 38(2): 517-525.
 - 34 Wei L, Li D, Sun L. The comparison of albumin and 6% hydroxyethyl starches (130/0.4) in cardiac surgery: A meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *BMC Surg*, 2021, 21(1): 342.
 - 35 Skubas NJ, Callum J, Bathla A, *et al*. Intravenous albumin in cardiac and vascular surgery: A systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth*, 2024, 132(2): 237-250.
 - 36 Finfer S, Bellomo R, Boyce N, *et al*. SAFE Study Investigators. A comparison of albumin and saline for fluid resuscitation in the intensive care unit. *N Engl J Med*, 2004, 350: 2247-2256.
 - 37 Caironi P, Tognoni G, Masson S, *et al*. ALBIOS study investigators. Albumin replacement in patients with severe sepsis or septic shock. *N Engl J Med*, 2014, 370: 1412-1421.
 - 38 Aldecoa C, Llau JV, Nuvials X, *et al*. Role of albumin in the preservation of endothelial glycocalyx integrity and the microcirculation: A review. *Ann Intensive Care*, 2020, 10(1): 85.
 - 39 Pesonen E, Vlasov H, Suojaranta R, *et al*. Effect of 4% albumin

- solution vs ringer acetate on major adverse events in patients undergoing cardiac surgery with cardiopulmonary bypass: A randomized clinical trial. *JAMA*, 2022, 328(3): 251-258.
- 40 Talvasto A, Ilmakunnas M, Raivio P, *et al.* Albumin infusion and blood loss after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg*, 2023, 116(2): 392-399.
- 41 Berbel-Franco D, Lopez-Delgado JC, Putzu A, *et al.* The influence of postoperative albumin levels on the outcome of cardiac surgery. *J Cardiothorac Surg*, 2020, 15(1): 78.
- 42 Padkins M, Breen T, Anavekar N, *et al.* Association between albumin level and mortality among cardiac intensive care unit patients. *J Intensive Care Med*, 2021, 36(12): 1475-1482.
- 43 Navickis RJ, Haynes GR, Wilkes MM. Effect of hydroxyethyl starch on bleeding after cardiopulmonary bypass: A meta-analysis of randomized trials. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 144(1): 223-230.
- 44 Sheikhi B, Rezaei Y, Baghaei Vaji F, *et al.* Comparison of six percent hydroxyethyl starch 130/0.4 and ringer's lactate as priming solutions in patients undergoing isolated open heart valve surgery: A double-blind randomized controlled trial. *Perfusion*, 2023, Online ahead of print.
- 45 Skhirtladze K, Base EM, Lassnigg A, *et al.* Comparison of the effects of albumin 5%, hydroxyethyl starch 130/0.46%, and Ringer's lactate on blood loss and coagulation after cardiac surgery. *Br J Anaesth*, 2014, 112(2): 255-264.
- 46 Lagny MG, Roediger L, Koch JN, *et al.* Hydroxyethyl starch 130/0.4 and the risk of acute kidney injury after cardiopulmonary bypass: A single-center retrospective study. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2016, 30(4): 869-875.
- 47 Hans GA, Ledoux D, Roediger L, *et al.* The effect of intraoperative 6% balanced hydroxyethyl starch (130/0.4) during cardiac surgery on transfusion requirements. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2015, 29(2): 328-332.
- 48 关于修订羟乙基淀粉类注射剂说明书的公告. URL: <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/ggtg/ypggtg/ypshmsxdgg/20220906104548135.html>. Accessed on 2024-06-21
- Announcement on the Revision of the Instructions for Hydroxyethyl Starch Products by CFDA. <https://www.nmpa.gov.cn/xxgk/ggtg/ypggtg/ypshmsxdgg/20220906104548135.htm>.
- 49 U. S. Food and Drug Administration. Labeling changes on mortality, kidney injury, and excess bleeding with hydroxyethyl starch products. URL: https://www.fda.gov/vaccines-blood-biologics/safety-availability-biologics/labeling-changes-mortality-kidney-injury-and-excess-bleeding-hydroxyethyl-starch-products?_refluxos=a10. Accessed on 2023-12-04.
- 50 Ghijssels I, Himpe D, Rex S. Safety of gelatin solutions for the priming of cardiopulmonary bypass in cardiac surgery: A systematic review and meta-analysis. *Perfusion*, 2017, 32(5): 350-362.
- 51 Ford SA, Kam PC, Baldo BA, *et al.* Anaphylactic or anaphylactoid reactions in patients undergoing cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2001, 15(6): 684-688.
- 52 Boodhwani M, Williams K, Babaev A, *et al.* Ultrafiltration reduces blood transfusions following cardiac surgery: A meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006, 30(6): 892-897.
- 53 Hensley NB, Colao JA, Zorrilla-Vaca A, *et al.* Ultrafiltration in cardiac surgery: Results of a systematic review and meta-analysis. *Perfusion*, 2024, 39(4): 743-751.
- 54 Luciani GB, Menon T, Vecchi B, *et al.* Modified ultrafiltration reduces morbidity after adult cardiac operations: A prospective, randomized clinical trial. *Circulation*, 2001, 104: I253-I259.
- 55 Paugh TA, Dickinson TA, Martin JR, *et al.* Impact of ultrafiltration on kidney injury after cardiac surgery: The Michigan experience. *Ann Thorac Surg*, 2015, 100: 1683-1688.
- 56 Mongero L, Stammers A, Tesdahl E, *et al.* The effect of ultrafiltration on end-cardiopulmonary bypass hematocrit during cardiac surgery. *Perfusion*, 2018, 33(5): 367-374.
- 57 Low ZK, Gao F, Sin KYK, *et al.* Modified ultrafiltration reduces postoperative blood loss and transfusions in adult cardiac surgery: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Interact CardioVasc Thorac Surg*, 2021, 32: 671-682.
- 58 Manning MW, Li YJ, Linder D, *et al.* Conventional ultrafiltration during elective cardiac surgery and postoperative acute kidney injury. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35(5): 1310-1318.
- 59 Gerami H, Sajedianfard J, Ghasemzadeh B, *et al.* Is ultrafiltration volume a predictor of postoperative acute kidney injury in patients undergoing cardiopulmonary bypass?. *Perfusion*, 2024, Published online ahead.
- 60 Tanaka K A, Levy JH. Regulation of thrombin activity—Pharmacologic and structural aspects. *Hematol/Oncol Clin North America*, 2007, 21(1): 33-50.
- 61 Levy JH, Sniecinski RM, Maier CL, *et al.* Finding a common definition of heparin resistance in adult cardiac surgery: Communication from the ISTH SSC subcommittee on perioperative and critical care thrombosis and hemostasis. *J Thromb Haemost*, 2024, 22(4): 1249-1257.
- 62 Beattie GW, Jeffrey RR. Is there evidence that fresh frozen plasma is superior to antithrombin administration to treat heparin resistance in cardiac surgery?. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2014, 18(1): 117-120.
- 63 Ranucci M, Baryshnikova E, Crapelli GB, *et al.* Preoperative antithrombin supplementation in cardiac surgery: A randomized controlled trial. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 145(5): 1393-1399.
- 64 Levy JH, Sniecinski RM, Welsby IJ, *et al.* Antithrombin: Anti-inflammatory properties and clinical applications. *Thromb Haemost*, 2016, 115(4): 712-728.
- 65 Sniecinski RM, Bennett-Guerrero E, Shore-Lesserson L. Anticoagulation management and heparin resistance during cardiopulmonary bypass: A survey of Society of Cardiovascular Anesthesiologists members. *Anesth Analg*, 2019, 129(2): e41-e44.
- 66 Shore-Lesserson L, Baker RA, Ferraris VA, *et al.* The Society of Thoracic Surgeons, The Society of Cardiovascular Anesthesiologists, and The American Society of ExtraCorporeal Technology: Clinical practice guidelines-anticoagulation during cardiopulmonary bypass. *Anesth Analg*, 2018, 126(2): 413-424.
- 67 Koster A, Börgermann J, Gummert J, *et al.* Protamine overdose and its impact on coagulation, bleeding, and transfusions after cardiopulmonary bypass: Results of a randomized double-blind controlled pilot study. *Clin Appl Thromb Hemost*, 2014, 20(3): 290-295.
- 68 Wang J, Ma HP, Zheng H. Blood loss after cardiopulmonary bypass, standard vs titrated protamine: A meta-analysis. *Neth J Med*, 2013, 71: 123-127.
- 69 唐佳丽, 秦臻, 杜磊. 滴定法预测肝素-鱼精蛋白量减少体外循环术后出血. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2013, 20(6): 723-724.

- Tang JL, Qin Z, Du L. Titration method for protamine dosage reduces postoperative bleeding after cardiopulmonary bypass. *Chin J Clin Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 20(6): 723-724.
- 70 Guo Y, Tang J, Du L, *et al.* Protamine dosage based on two titrations reduces blood loss after valve replacement surgery: A prospective, double-blinded, randomized study. *Can J Cardiol*, 2012, 28(5): 547-552.
- 71 Suarez Cuenca J, Gayoso Diz P, Gude Sampedro F, *et al.* Method to calculate the protamine dose necessary for reversal of heparin as a function of activated clotting time in patients undergoing cardiac surgery. *J Extra Corpor Technol*, 2013, 45: 235-241.
- 72 Hallgren O, Svenmarker S, Appelblad M. Implementing a statistical model for protamine titration: Effects on coagulation in cardiac surgical patient. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2017, 31: 516-521.
- 73 Meesters MI, Veerhoek D, de Jong JR, *et al.* A pharmacokinetic model for protamine dosing after cardiopulmonary bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2016, 30: 1190-1195.
- 74 Raner G, Hu Y, Trowbridge C, *et al.* Comparison of blood concentration and weight-based heparin and protamine dosing strategies for cardiopulmonary bypass: A systematic review and meta-analysis. *Cureus*, 2024, 16(2): e54144.
- 75 Hecht P, Besser M, Falter F. Are we able to dose protamine accurately yet? A review of the protamine conundrum. *J Extra Corpor Technol*, 2020, 52(1): 63-70.
- 76 Martin P, Horkay F, Gupta NK, *et al.* Heparin rebound phenomenon--much ado about nothing?. *Blood Coagul Fibrinolysis*, 1992, 3(2): 187-191.
- 77 Teoh KH, Young E, Blackall MH, *et al.* Can extra protamine eliminate heparin rebound following cardiopulmonary bypass surgery?. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2004, 128(2): 211-219.
- 78 中国体外循环专业技术标准 (2021 版). *中国体外循环杂志*, 2021, 19(2): 67-72.
Technology standards of extracorporeal circulation in China (2021). *Chin J ECC*, 2021, 19(2): 67-72.
- 79 Olsson P, Lagergren H, Ek S. The elimination from plasma of intravenous heparin. An experimental study on dogs and humans. *Acta Med Scand*, 1963, 173: 619-630.
- 80 Li H, Serrick C, Rao V, *et al.* A comparative analysis of four activated clotting time measurement devices in cardiac surgery with cardiopulmonary bypass. *Perfusion*, 2021, 36(6): 610-619.
- 81 Solís Clavijo D, Cotano AO, Peña NA, *et al.* Variability of three activated clotting time point-of-care systems in cardiac surgery: Reinforcing available evidence. *Perfusion*, 2022, 37(7): 711-714.
- 82 Othman M, Kaur H. Thromboelastography (TEG). *Methods Mol Biol*, 2017, 1646: 533-543.
- 83 Schmidt AE, Israel AK, Refaai MA. The utility of thromboelastography to guide blood product transfusion. *Am J Clin Pathol*, 2019, 152(4): 407-422.
- 84 Venema LF, Post WJ, Hendriks HG, *et al.* An assessment of clinical interchangeability of TEG and RoTEM thromboelastographic variables in cardiac surgical patients. *Anesth Analg*, 2010, 111(2): 339-344.
- 85 Tanaka KA, Bolliger D, Vadlamudi R, *et al.* Rotational thromboelastometry (ROTEM)-based coagulation management in cardiac surgery and major trauma. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2012, 26(6): 1083-1093.
- 86 Karkouti K, Callum J, Wijeyesundera DN, *et al.* Point-of-care hemostatic testing in cardiac surgery: A stepped-wedge clustered randomized controlled trial. *Circulation*, 2016, 134(16): 1152-1162.
- 87 Serraino GF, Murphy GJ. Routine use of viscoelastic blood tests for diagnosis and treatment of coagulopathic bleeding in cardiac surgery: Updated systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth*, 2017, 118(6): 823-833.
- 88 Whiting P, Al M, Westwood M, *et al.* Viscoelastic point-of-care testing to assist with the diagnosis, management and monitoring of haemostasis: A systematic review and cost-effectiveness analysis. *Health Technol Assess*, 2015, 19(58): 1-228.
- 89 Deppe AC, Weber C, Zimmermann J, *et al.* Point-of-care thromboelastography/thromboelastometry-based coagulation management in cardiac surgery: A meta-analysis of 8 332 patients. *J Surg Res*, 2016, 203(2): 424-433.
- 90 Redfern RE, Fleming K, March RL, *et al.* Thromboelastography-directed transfusion in cardiac surgery: Impact on postoperative outcomes. *Ann Thorac Surg*, 2019, 107(5): 1313-1318.
- 91 Curry NS, Davenport R, Pavord S, *et al.* The use of viscoelastic haemostatic assays in the management of major bleeding: A British Society for Haematology guideline. *Br J Haematol*, 2018, 182(6): 789-806.
- 92 Kozek-Langenecker SA, Afshari A, Albaladejo P, *et al.* Management of severe perioperative bleeding: Guidelines from the European Society of Anaesthesiology. *Eur J Anaesthesiol*, 2013, 30(6): 270-382.
- 93 Akhtar MI, Gautel L, Lomivorotov V, *et al.* Multicenter international survey on cardiopulmonary bypass perfusion practices in adult cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2021, 35(4): 1115-1124.
- 94 Mazer CD. Blood conservation in cardiac surgery: Guidelines and controversies. *Transfus Apher Sci*, 2014, 50(1): 20-25.
- 95 Ngaage DL, Bland JM. Lessons from aprotinin: Is the routine use and inconsistent dosing of tranexamic acid prudent? Meta-analysis of randomised and large matched observational studies. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2010, 37(6): 1375-1383.
- 96 Zhou ZF, Zhai W, Yu LN, *et al.* Comparison of the *in-vivo* effect of two tranexamic acid doses on fibrinolysis parameters in adults undergoing valvular cardiac surgery with cardiopulmonary bypass —A pilot investigation. *BMC Anesthesiol*, 2021, 21(1): 33.
- 97 Zufferey PJ, Lanoiselée J, Graouch B, *et al.* Exposure-response relationship of tranexamic acid in cardiac surgery. *Anesthesiology*, 2021, 134(2): 165-178.
- 98 Jiménez JJ, Iribarren JL, Brouard M, *et al.* Safety and effectiveness of two treatment regimes with tranexamic acid to minimize inflammatory response in elective cardiopulmonary bypass patients: A randomized double-blind, dose-dependent, phase IV clinical trial. *J Cardiothorac Surg*, 2011, 6: 138.
- 99 Broadwin M, Grant PE, Robich MP, *et al.* Comparison of intraoperative tranexamic acid and epsilon-aminocaproic acid in cardiopulmonary bypass patients. *JTCVS Open*, 2020, 3: 114-125.
- 100 Makhija N, Sarupria A, Kumar Choudhary S, *et al.* Comparison of epsilon aminocaproic acid and tranexamic acid in thoracic aortic surgery: Clinical efficacy and safety. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2013, 27(6): 1201-1207.
- 101 Leff J, Rhee A, Nair S, *et al.* A randomized, double-blinded trial comparing the effectiveness of tranexamic acid and epsilon-



- aminocaproic acid in reducing bleeding and transfusion in cardiac surgery. *Ann Card Anaesth*, 2019, 22(3): 265-272.
- 102 Raphael J, Mazer CD, Subramani S, *et al.* Society of Cardiovascular Anesthesiologists clinical practice improvement advisory for management of perioperative bleeding and hemostasis in cardiac surgery patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2019, 33(11): 2887-2899.
- 103 Zhou L, Liu X, Yan M, *et al.* Postoperative nadir hemoglobin and adverse outcomes in patients undergoing on-pump cardiac operation. *Ann Thorac Surg*, 2021, 112(3): 708-716.
- 104 Ranucci M, Castelvécchio S, Ditta A, *et al.* Transfusions during cardiopulmonary bypass: Better when triggered by venous oxygen saturation and oxygen extraction rate. *Perfusion*, 2011, 26: 327-333.
- 105 Wahba A, Milojevic M, Boer C, *et al.* 2019 EACTS/EACTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2020, 57(2): 210-251.
- 106 Fletcher CM, Hinton JV, Xing Z, *et al.* Fresh frozen plasma transfusion after cardiac surgery. *Perfusion*, 2023, 12: 2676591231221715.
- 107 Hinton JV, Xing Z, Fletcher C, *et al.* Association of perioperative transfusion of fresh frozen plasma and outcomes after cardiac surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*, 2024: 11.
- 108 Green L, Roberts N, Cooper J, *et al.* Prothrombin complex concentrate vs. fresh frozen plasma in adult patients undergoing heart surgery—A pilot randomised controlled trial (PROPHECY trial). *Anaesthesia*, 2021, 76(7): 892-901.
- 109 Viana P, Relvas JH, Persson M, *et al.* Prothrombin complex concentrate versus fresh frozen plasma in adult patients undergoing cardiac surgery: A systematic review and meta-analysis. *Chest Surg*, 2024, 57(1): 25-35.
- 110 Bolliger D, Görlinger K, Tanaka KA. Pathophysiology and treatment of coagulopathy in massive hemorrhage and hemodilution. *Anesthesiol*, 2010, 113(5): 1205-1219.
- 111 Lee SH, Lee SM, Kim CS, *et al.* Fibrinogen recovery and changes in fibrin-based clot firmness after cryoprecipitate administration in patients undergoing aortic surgery involving deep hypothermic circulatory arrest. *Transfusion*, 2014, 54(5): 1379-1387.
- 112 Jeppsson A, Waldén K, Roman-Emanuel C, *et al.* Preoperative supplementation with fibrinogen concentrate in cardiac surgery: A randomized controlled study. *Br J Anaesth*, 2016, 116(2): 208-214.
- 113 Bilecen S, de Groot JA, Kalkman CJ, *et al.* Effect of fibrinogen concentrate on intraoperative blood loss among patients with intraoperative bleeding during high-risk cardiac surgery: A randomized clinical trial. *JAMA*, 2017, 317(7): 738-747.
- 114 Rahe-Meyer N, Levy JH, Mazer CD, *et al.* Randomized evaluation of fibrinogen vs placebo in complex cardiovascular surgery (REPLACE): A double-blind phase III study of haemostatic therapy. *Br J Anaesth*, 2016, 117(1): 41-51.
- 115 Ayaganov D, Kuanyshbek A, Vakhrushev I, *et al.* Prospective, randomized study of fibrinogen concentrate versus cryoprecipitate for correcting hypofibrinogenemia in cardiac surgery patients. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2024, 38(1): 80-85.
- 116 Bartoszko J, Martinez-Perez S, Callum J, *et al.* Impact of cardiopulmonary bypass duration on efficacy of fibrinogen replacement with cryoprecipitate compared with fibrinogen concentrate: A post hoc analysis of the Fibrinogen Replenishment in Surgery (FIBRES) randomised controlled trial. *Br J Anaesth*, 2022, 129(3): 294-307.
- 117 Wikkelso A, Lunde J, Johansen M, *et al.* Fibrinogen concentrate in bleeding patients. *Cochrane Database Syst Rev*, 2013, 2013(8): CD008864.
- 118 Fletcher CM, Hinton JV, Xing Z, *et al.* Platelet transfusion after cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2023, 37(4): 528-538.
- 119 Fletcher CM, Hinton JV, Xing Z, *et al.* Platelet transfusion in cardiac surgery: An entropy-balanced, weighted, multicenter analysis. *Anesth Analg*, 2024, 138(3): 542-551.
- 120 Blath L, Martens J, Rahe-Meyer N. Efficacy of platelet transfusion in cardiac surgery. *Platelets*, 2022, 33(7): 987-997.
- 121 Paparella D, Whitlock R. Safety of salvaged blood and risk of coagulopathy in cardiac surgery. *Sem Throm Hem*, 2016, 42(2): 166-171.
- 122 Murphy GJ, Allen SM, Unsworth-White J, *et al.* Safety and efficacy of perioperative cell salvage and autotransfusion after coronary artery bypass grafting: A randomized trial. *Ann Thorac Surg*, 2004, 77(5): 1553-1559.
- 123 Niranjan G, Asimakopoulos G, Karagounis A, *et al.* Effects of cell saver autologous blood transfusion on blood loss and homologous blood transfusion requirements in patients undergoing cardiac surgery on- versus off-cardiopulmonary bypass: A randomised trial. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2006, 30(2): 271-277.
- 124 Côté CL, Yip AM, MacLeod JB, *et al.* Efficacy of intraoperative cell salvage in decreasing perioperative blood transfusion rates in first-time cardiac surgery patients: A retrospective study. *Can J Surg*, 2016, 59(5): 330-336.
- 125 Wang G, Bainbridge D, Martin J, *et al.* The efficacy of an intraoperative cell saver during cardiac surgery: A meta-analysis of randomized trials. *Anesth Analg*, 2009, 109(2): 320-330.
- 126 van der Wal MT, Boks RH, Wijers-Hille MJ, *et al.* The effect of pre-operative blood withdrawal, with or without sequestration, on allogeneic blood product requirements. *Perfusion*, 2015, 30(8): 643-649.
- 127 Triulzi DJ, Gilmor GD, Ness PM, *et al.* Efficacy of autologous fresh whole blood or platelet-rich plasma in adult cardiac surgery. *Transfusion*, 1995, 35(8): 627-634.
- 128 Duan L, Wang E, Hu GH, *et al.* Preoperative autologous platelet pheresis reduces allogeneic platelet use and improves the postoperative PaO₂/FiO₂ ratio in complex aortic surgery: A retrospective analysis. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020, 31(6): 820-826.
- 129 Zhou SF, Estrera AL, Loubser P, *et al.* Autologous platelet-rich plasma reduces transfusions during ascending aortic arch repair: A prospective, randomized, controlled trial. *Ann Thorac Surg*, 2015, 99(4): 1282-1290.
- 130 Zhou SF, Estrera AL, Miller CC 3rd, *et al.* Analysis of autologous platelet-rich plasma during ascending and transverse aortic arch surgery. *Ann Thorac Surg*, 2013, 95(5): 1525-1530.
- 131 Zhai Q, Wang Y, Yuan Z, *et al.* Effects of platelet-rich plasmapheresis during cardiovascular surgery: A meta-analysis of randomized controlled clinical trials. *J Clin Anesth*, 2019, 56: 88-97.
- 132 Barile L, Fominskiy E, Di Tomasso N, *et al.* Acute normovolemic hemodilution reduces allogeneic red blood cell transfusion in cardiac surgery: A systematic review and meta-analysis of

- randomized trials. *Anesth Analg*, 2017, 124(3): 743-752.
- 133 Li S, Liu Y, Zhu Y. Effect of acute normovolemic hemodilution on coronary artery bypass grafting: A systematic review and meta-analysis of 22 randomized trials. *Int J Surg*, 2020, 83: 131-139.
- 134 Ming Y, Zhang F, Yao Y, *et al*. Large volume acute normovolemic hemodilution in patients undergoing cardiac surgery with intermediate-high risk of transfusion: A randomized controlled trial. *J Clin Anesth*, 2023, 87: 111082.
- 135 Goldberg J, Paugh TA, Dickinson TA, *et al*. Greater volume of acute normovolemic hemodilution may aid in reducing blood transfusions after cardiac surgery. *Ann Thorac Surg*, 2015, 100(5): 1581-1587.
- 136 Shander A, Brown J, Licker M, *et al*. Standards and best practice for acute normovolemic hemodilution: Evidence-based consensus recommendations. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2020, 34(7): 1755-1760.
- 137 Iyer YL, Hayward P, McNicol L, *et al*. The effects on coagulation of the reinfusion of unprocessed residual blood from the cardiopulmonary bypass. *BMC Res Notes*, 2016, 9: 61.
- 138 Eichert I, Isgro F, Kiessling AH, *et al*. Cell saver, ultrafiltration and direct transfusion: comparative study of three blood processing techniques. *Thorac Cardiovasc Surg*, 2001, 49: 149-152.
- 139 Daane CR, Golab HD, Meeder JH, *et al*. Processing and transfusion of residual cardiopulmonary bypass volume: Effects on haemostasis, complement activation, postoperative blood loss and transfusion volume. *Perfusion*, 2003, 18(2): 115-121.
- 140 Campbell J, Holland C, Richens D, *et al*. Impact of cell salvage during cardiac surgery on the thrombelastometric coagulation profile: A pilot study. *Perfusion*, 2012, 27(3): 221-224.
- 141 Whitlock R, Mathew J, Eikelboom J, *et al*. Processed residual pump blood in cardiac surgery: The processed residual blood in cardiac surgery trial. *Transfusion*, 2013, 53: 1487-1492.
- 142 Yan S, Zhao Y, Lou S. Ultrafiltration and reinfusion of residual cardiopulmonary bypass pump blood: A prospective non-randomized controlled study. *Artif Organs*, 2019, 43(7): 641-646.

收稿日期: 2024-08-21 修回日期: 2024-09-03
本文编辑: 刘雪梅