

doi: 10.3969/j.issn.1674-1242.2026.02.016

迷你体外循环技术在高龄患者心脏手术中的临床应用研究

赵 贇¹, 王家兴¹, 王春生², 魏 来², 赵达君^{2*}

(1.上海市老年医学中心 心脏外科, 上海 201104; 2.复旦大学附属中山医院 心脏外科, 上海 200032)

【摘要】目的 探究迷你体外循环(minimally invasive extracorporeal circulation, MiECC)技术与常规体外循环(conventional extracorporeal circulation, CECC)技术在高龄患者心脏手术中临床应用效果的差异。**方法** 选取94名70岁及以上在上海市老年医学中心接受心脏瓣膜和/或冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG)的高龄患者,将其随机分为MiECC组和CECC组,开展前瞻性研究。收集两组患者的基本情况、围术期指标及临床结局,对比分析MiECC技术和CECC技术的临床应用效果差异。**结果** 两组患者术后均无死亡,两组间体外循环时间、升主动脉阻断时间、机械通气时间、重症监护室(intensive care unit, ICU)滞留时间及术后相关并发症[心律失常、引流量、脑卒中、急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)]发生率均无显著统计学差异(均 $P > 0.05$)。MiECC组术中血红蛋白(hemoglobin, Hb)浓度显著更高($P < 0.01$),术中Hb浓度下降百分比也显著更低($P < 0.05$);术后24 h MiECC组Hb浓度显著高于CECC组($P < 0.05$)。MiECC组术后肺部渗出也显著低于CECC组($P < 0.05$)。**结论** 在高龄患者心脏手术中MiECC技术具有优于CECC技术的临床效果,在维持术中及术后短期内Hb浓度稳定、减少术后肺部渗出等方面具有一定优势,具有很好的安全性和实用性。

【关键词】 迷你体外循环; 常规体外循环; 高龄患者; 心脏手术**【中图分类号】** R654.2**【文献标志码】** A

文章编号: 1674-1242 (2026) 02-0077-06

A prospective study of the clinical application of minimally invasive extracorporeal circulation technique in cardiac surgery for elderly patients

ZHAO Yun¹, WANG Jiaying¹, WANG Chunsheng², WEI Lai², ZHAO Dajun^{2*}

(1. Department of Cardiac Surgery, Shanghai Geriatric Medical Center, Shanghai 201104, China;

2. Department of Cardiac Surgery, ZhongShan Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China)

【Abstract】Objective To explore the differences in clinical application effects between minimally invasive extracorporeal circulation (MiECC) technology and conventional extracorporeal circulation (CECC) technology in cardiac surgery for elderly patients. **Methods** A total of 94 elderly patients aged 70 years and above who underwent cardiac valve and/or coronary artery bypass grafting surgery (CABG) at the Shanghai Geriatric Medical Center were selected and randomly divided into the MiECC group and the CECC group for a prospective study. Basic information, perioperative indicators, and clinical outcomes of the two groups were collected, and the differences in clinical application effects between MiECC technology and CECC technology were compared and analyzed. **Results** There were no postoperative deaths in either group. No significant statistical differences were observed between the two groups in terms of extracorporeal circulation time, ascending aortic occlusion time, mechanical ventilation time, intensive care unit (ICU) stay duration, and the incidence of postoperative related complications (arrhythmia, drainage volume, stroke, acute kidney injury (AKI)) (all $P > 0.05$). The intraoperative hemoglobin (Hb) concentration was significantly higher in the MiECC group ($P < 0.01$), and the percentage decrease in intraoperative Hb concentration was also significantly lower ($P < 0.05$). The Hb concentration at 24 hours postoperatively was significantly higher in the MiECC group than in the CECC group ($P < 0.05$). Postoperative pulmonary exudation was also significantly lower in the MiECC group than in the CECC group ($P < 0.05$). **Conclusion** MiECC technology demonstrates superior clinical effects compared to CECC technology in cardiac surgery for elderly patients, showing certain advantages in maintaining intraoperative Hb concentration and reducing postoperative pulmonary exudation, with good safety and practicality.

收稿日期: 2025-09-24。

基金项目: 上海市卫健委临床研究专项 (202140138)。

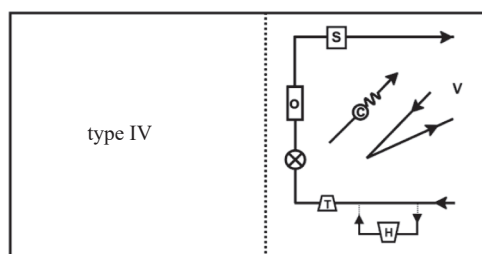
作者简介: 赵 贇, 硕士研究生, 副主任医师, 研究方向: 心外科体外循环研究。E-mail: zhao.yun@zsgmc.sh.cn。

通信作者: 赵达君, 博士研究生, 主治医师, 研究方向: 心外科疾病研究。E-mail: zhao.dajun@zs-hospital.sh.cn。

【Key words】 Minimally invasive extracorporeal circulation; Conventional extracorporeal circulation; Elderly patients; Cardiac surgery

在过去的几十年里,常规体外循环(conventional extracorporeal circulation, CECC)为心脏外科手术的发展作出了重要贡献,奠定了现代心脏外科手术的基础。然而,随着外科理念向“微创化、精准化、个体化”方向演进,其固有的技术局限性日益凸显:开放式管道系统、非生理性血液接触界面及血液稀释,易诱发全身炎症反应、凝血功能障碍和器官灌注损伤^[1-2],难以满足当代心脏外科对更小侵入性、更快术后康复的临床需求^[3]。

在此背景下,迷你体外循环(minimally invasive extracorporeal circulation, MiECC)开始受到广泛研究并应用于临床。Anastasiadis Kyriakos等参照闭式CECC技术通过增加旁路改进出IV型MiECC技术(图1),其可靠性与安全性已在国外得到验证,并在国外心脏外科手术中逐步得到应用^[4-6]。



注:⊗, 泵;⊖, 氧合器;⊠, 气泡捕集/空气去除装置;V, 排气管路(主动脉/肺);⊡, 软壳储血罐;⊞, 硬质储血罐。

图1 IV型MiECC示意图

注: MiECC: 迷你体外循环。

在国外多项临床研究中, MiECC技术均表现出显著的优越性, 例如减少血液稀释、降低患者输血需求、减轻术后炎症反应及减少患者术后并发症等^[2-9]。但国内对 MiECC技术的相关研究及应用极少, 更缺乏针对特定人群的临床研究。基于此, 本研究旨在通过将 MiECC技术与 CECC技术的临床应用结果对比, 探讨其在高龄患者心脏手术中应用的有效性和安全性。

1 资料和方法

1.1 研究对象

本研究为一项前瞻性研究, 纳入了2023年11月至2024年10月期间, 在上海市老年医学中心择期行心脏手术的高龄患者共94例。纳入标准: ①患者年

龄 ≥ 70 岁; ②行体外循环停跳下心脏瓣膜和/或冠状动脉旁路移植术(coronary artery bypass grafting, CABG); ③首次心内直视手术。排除标准: ①无法耐受手术; ②入组前14 d内发生急性心肌梗死(acute myocardial infarction, AMI); ③正在接受机械循环支持治疗; ④患有血液系统疾病; ⑤术前合并重要脏器功能损伤(如脑血管病史伴未矫正的颈动脉狭窄、心力衰竭、中度及以上肝肾功能不全等); ⑥合并精神疾病、心理问题或认知功能障碍, 无法配合治疗; ⑦近3个月内参与其他涉及研究性药物或器械的临床试验。本研究纳入统计患者共计94名, 采用密封信封法随机分配, 由不参与招募和治疗的独立人员, 依专业统计软件生成的随机序列, 将分配信息封入不透明信封并编号后由专人保管。患者满足入组条件且签订知情同意后, 招募人员按入组顺序开对应编号信封, 依内部分配信息将患者分至不同组别。最终, CECC组48例, MiECC组46例。CECC组采用CECC技术, 即普通膜式氧合器、常规管道连接方式; MiECC组采用MiECC技术, 即采用集成动脉微栓滤器膜式氧合器、微量预充、负压辅助静脉引流控制器(vacuum-assist venous drainage, VAVD)装置。本研究方案已通过上海市老年医学中心伦理委员会审查(批件号: B2023-008), 并在中国临床研究试验注册中心完成注册(注册号: ChiCTR2300077205)。

1.2 麻醉及体外循环方式

两组患者均采用静吸复合全身麻醉, 双腔气管内置管及间歇正压通气(intermittent positive pressure ventilation, IPPV)。体外循环模式采用浅低温-鼻咽温($32 \sim 35$ °C), 流量控制在 $2.2 \sim 2.6$ L/(min·m²); 心肌保护采用Del Nido液(晶: 血 = 4: 1)灌注, 首次以 10 °C低温灌注1000 ml, 后续根据手术情况复灌。常规使用超滤技术, 体外循环停机后, 以硫酸鱼精蛋白中和肝素。

CECC组使用CECC连接方式, 即静脉插管-储血罐-滚压泵-氧合器-微栓过滤器-动脉插管; MiECC组采用基于第四代微创体外循环连接方式, 其基础连接顺序为: 静脉插管-微栓过滤器-储血罐-滚压泵-氧合器-动脉插管。在此基础上, 增设一条管路, 将微栓过滤器出口端直接与氧合器进口端连

接,可使血流绕过储血罐和滚压泵,从微栓过滤器直接进入氧合器,从而实现封闭式体外循环。另外,在微栓过滤器上方出口处增加一条由滚压泵控制的管路,该管路连接至储血罐,用于控制性排气(图2)。

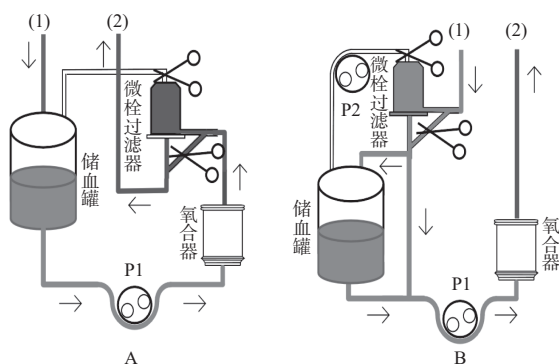


图2 CECC组与MiECC组结构示意图

注:CECC:常规体外循环;MiECC:迷你体外循环;A:常规体外循环组结构示意图;B:迷你体外循环组结构示意图;(1):静脉插管端;(2):动脉插管端;P1、P2:滚压泵。

CECC组采用复方电解质注射液1 000 ml,琥珀酰明胶注射液1 000 ml,人血白蛋白(20%,50 ml)100 ml作为预充液。体外循环开始,打开静脉插管开启引流,依次经过储血罐、氧合器和微栓过滤器,最后通过动脉插管灌注到患者体内;若引流不佳时,可采用VAVD辅助引流。

MiECC组采用复方电解质注射液500 ml,琥珀酰明胶注射液500 ml,人血白蛋白(20%,50 ml)100 ml作为预充液。开始体外循环后,打开静脉插管开启引流,开启VAVD辅助引流,依次经过微栓过滤器、储血罐和氧合器,最后通过动脉插管灌注到病人体内。心脏停搏液灌注完成后,待体外循环达到平稳状态,可通过调整管路将储血罐短接,进而开展封闭式体外循环。其余操作与常规组无差异。

1.3 观察指标

(1)患者基本信息

年龄、性别、身高、体重、体质指数(body mass index, BMI)、术前血红蛋白(hemoglobin, Hb)浓度(g/L)及手术方式。(2)术中及术后基本信息 体外循环时间(min)、升主动脉阻断时间(min)、机械通气时间(d)、重症监护室(intensive care unit, ICU)滞留时间(d)、术后住院时间(d)、术中及术后红细胞输注量(U)。(3)主要研究终点 围手术期Hb浓度及Hb浓度下降比(Hb浓度下降比=(术前Hb浓度-目标Hb浓度)/术前Hb浓度×100%)。(4)次要研究终点术后死

亡率,术后7 d内并发症指标[心律失常、引流量、脑卒中、急性肾损伤(acute kidney injury, AKI)]及术后肺部渗出发生率。其中,肺部渗出评价标准为:胸片显示边缘模糊的斑片状高密度影,面积占比≥单侧肺野25%或密度计算机断层扫描(computed tomography, CT)值>-300 HU,伴或不伴肋膈角变钝(胸腔积液深度≥3 cm)。

1.4 统计学方法

记录患者的围手术期指标及术后恢复情况,采用SPSS 17.0软件进行统计学处理。计量资料若符合正态分布,则采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示;计数资料采用例(%)表示。组间比较采用 χ^2 检验、*t*检验或非参数检验。 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本信息

两组患者在年龄、性别、身高、体重、BMI、术前Hb浓度与手术方式[二尖瓣置换术(mitral valve replacement, MVR)、二尖瓣成形术(mitral valve plasty, MVP)、三尖瓣成形术(tricuspid valve plasty, TVP)、主动脉瓣置换术(aortic valve replacement, AVR)]等方面无显著统计学差异(均 $P > 0.05$),见表1。

表1 94例患者基本信息[例(%), $\bar{x}\pm s$]

项目	CECC组 (n=48)	MiECC组 (n=46)	P
年龄(岁)	73.25±2.20	73.13±2.73	0.849
男性[例(%)]	23(47.92)	23(50.00)	0.839
身高(cm)	164.25±6.88	161.76±7.63	0.126
体重(kg)	64.39±9.68	61.04±10.12	0.190
BMI	23.81±2.99	23.25±3.12	0.374
术前Hb浓度(g/L)	129.92±14.70	130.50±13.42	0.841
手术方式			0.117
MVR[例(%)]	10(20.83)	10(21.73)	
MVP[例(%)]	6(12.50)	10(21.73)	
TVP[例(%)]	0(0)	2(4.34)	
MVR+TVP[例(%)]	7(14.58)	5(10.87)	
MVP+TVP[例(%)]	5(10.41)	8(17.39)	
MVP+CABG[例(%)]	0(0)	1(2.17)	
MVR+TVP+CABG[例(%)]	1(2.08)	1(2.17)	
AVR[例(%)]	9(18.75)	5(10.87)	
AVR+TVP[例(%)]	0(0)	1(2.17)	
AVR+MVR+TVP[例(%)]	0(0)	1(2.17)	
AVR+MVP+TVP[例(%)]	0(0)	1(2.17)	
AVR+CABG[例(%)]	1(2.08)	1(2.17)	
CABG[例(%)]	9(18.75)	0(0)	

注:CECC:常规体外循环;MiECC:迷你体外循环;BMI:体质指数;Hb:血红蛋白;MVR:二尖瓣置换术;MVP:二尖瓣成形术;TVP:三尖瓣成形术;AVR:主动脉瓣置换术;CABG:冠状动脉旁路移植术。

2.2 术中及术后基本信息

两组患者在体外循环时间(d)、升主动脉阻断时间(d)、机械通气时间(d)、ICU滞留时间(d)、术后住院时间(d)与术中及术后红细胞输注量(U)等方面均无显著的统计学差异(均 $P > 0.05$),详见表2。

表2 94例患者术中及术后基本情况对比($\bar{x} \pm s$)

项目	CECC组 (n=48)	MiECC组 (n=46)	P
体外循环时间 (min)	111.42±35.99	103.72±40.14	0.330
升主动脉阻断时间 (min)	65.23±23.59	56.52±28.74	0.113
机械通气时间 (d)	1.56±1.79	1.41±1.05	0.620
ICU滞留时间 (d)	2.94±2.86	2.83±2.23	0.980
术后住院时间 (d)	9.75±4.44	10.72±3.12	0.223
术中及术后红细胞输注量 (U)	0.67±1.74	0.59±1.65	0.820

注: CECC: 常规体外循环; MiECC: 迷你体外循环; ICU: 重症监护室。

2.3 主要研究终点

本研究采集了术前、术中、术后24h及术后48h的Hb浓度,并统计出术中、术后24h及术后48h相较于术前Hb浓度下降百分比数据。术前MiECC组患者Hb浓度与CECC组并无显著性统计学差异($P > 0.05$);术中MiECC组Hb浓度显著高于CECC组($P < 0.001$),MiECC组Hb浓度下降百分比也显著低于CECC组($P < 0.001$);术后24h内MiECC组Hb浓度显著高于CECC组($P < 0.05$),而MiECC组Hb浓度下降百分比虽低于CECC组,但无显著统计学差异($P > 0.05$);术后48h内MiECC组Hb浓度与CECC组无显著统计学差异($P > 0.05$),MiECC组Hb浓度下降百分比CECC组也无显著统计学差异($P > 0.05$),详见表3。

表3 术前、术中、术后24h及术后48h的Hb浓度及Hb浓度下降百分比($\bar{x} \pm s$)

项目	术中			术后24h		术后48h	
	术前 Hb浓度 (g/L)	Hb浓度 (g/L)	Hb浓度下降 百分比 (%)	Hb浓度 (g/L)	Hb浓度下降百 分比 (%)	Hb浓度 (g/L)	Hb浓度下降 百分比 (%)
CECC组	129.92±14.70	79.88±13.69	38.24±9.97	88.44±14.57	31.07±13.84	93.6±16.15	26.78±16.77
MiECC组	130.50±13.42	93.20±19.53	27.77±17.15	94.96±14.14	26.61±12.34	91.11±14.82	29.29±14.39
P	0.841	< 0.001	< 0.001	0.029	0.103	0.437	0.439

注: Hb: 血红蛋白; CECC: 常规体外循环; MiECC: 迷你体外循环。

2.4 次要研究终点

本研究采集了患者术后7d内并发症指标, MiECC组术后心律失常、引流量、脑卒中、AKI等并发症发生率与CECC组并无统计学差异(均 $P > 0.05$),但MiECC组术后肺部渗出发生率显著低于CECC组($P = 0.024$)。两组患者均无死亡病例,详见表4。

表4 患者术后7d内并发症及术后死亡率比较

项目	CECC组 (n=48)	MiECC组 (n=46)	P
术后心律失常 [例 (%)]	5 (10.42)	3 (6.52)	0.715
术后引流量 (ml, $\bar{x} \pm s$)	546.56±262.31	606.20±292.31	0.310
术后脑卒中 [例 (%)]	2 (4.16)	0 (0)	0.495
术后AKI [例 (%)]	11 (22.92)	10 (21.74)	1.000
术后肺部渗出 [例 (%)]	22 (45.8)	10 (21.7)	0.024
死亡患者 [例 (%)]	0 (0)	0 (0)	1.000

注: CECC: 常规体外循环; MiECC: 迷你体外循环; AKI: 急性肾损伤。

3 讨论

在进行心脏外科手术时,高龄患者更易发生术前病理基础较差的问题。很多高龄患者术前就会出现贫血、水肿或者器官衰竭的情况,术后并发症也与

此息息相关^[9-11]。CECC技术存在显著的局限性:因其预充量较大,易导致严重的血液稀释;同时,血液直接与空气接触会加重血液破坏,二者综合作用更易引起高龄患者出现器官组织水肿、氧供不足、引流量增多等相关并发症^[9,12-13]。此外,血液与异物管路接触后,易促进炎症因子释放,增加肺部异常发生率,导致肺部发生渗出^[14-15]。MiECC技术作为一种更优选的灌注方式,可有效降低患者的灌注风险^[4-8];其采用的闭式循环模式,能避免血液与空气直接接触,从而有效减少血细胞破坏,降低心脏手术带来的患者风险^[8,12,16-17]。基于此,本研究将其应用到高龄患者的心脏手术中,探究其在高龄患者中的临床应用效果。同时,本研究进一步对国外的管路设计进行了改进,MiECC组预充量仅为CECC组的一半,进一步减轻体外循环对高龄患者血液的稀释作用,维持高龄患者术中Hb浓度稳定,确保术中重要器官的有效灌注。

本研究对比了MiECC技术与CECC技术2种灌注方式在高龄患者心脏手术的临床应用效果, MiECC技术与CECC技术的体外循环时间、升主动脉

阻断时间、机械通气时间、ICU滞留时间方面、术后住院时间及术后相关并发症发生率(心律失常、引流量、脑卒中、AKI)并无统计学差异,说明MiECC技术不额外增加高龄患者的手术风险。本研究通过对高龄患者围手术期指标分析,表明MiECC技术在减轻高龄患者血液稀释、输血需求和肺部渗出方面具有一定的优势。

在Sten Ellam等人的临床研究中,MiECC技术可显著降低患者术中及术后Hb浓度下降百分比,降低患者输血量^[18]。本研究中,MiECC组患者术中Hb浓度显著高于CECC组,Hb浓度下降百分比显著低于CECC组,术后24 h Hb浓度同样显著高于常规组,术后48 h时这种优势则消失。此外,MiECC组的术后肺渗出率显著低于CECC组。以上结果表明,MiECC技术可在术中及术后短期内改善因血液稀释、术中出血等因素造成的高龄患者Hb浓度的降低,同时减少高龄患者术后因血液接触异物管路造成的肺部组织渗出^[14-22]。

Anastasiadis Kyriakos 等人在应用IV型MiECC技术时明确指出,该技术存在进气风险。为满足手术安全性要求、避免空气栓塞发生,其建议使用具备空气过滤功能的氧合器,并配备软质储血袋以方便排气。但在进行封闭式体外循环时,受软质出血袋容量限制,其排气能力具有局限性,当发生静脉大量进气时,需立即转换为开放式体外循环,以确保患者安全。此外,术中出血需经过血液回收装置进行清洗后,方可输入到体外循环系统;还需同时搭配真空储血袋和软质储血袋,才能实现体外循环过程中的容量控制^[4-5,23]。

本研究中的MiECC技术在国外使用的IV型MiECC技术的基础上进行了创新和改进,我们调整了微栓过滤器的位置,并在微栓过滤器气泡出口端增设了滚压泵,以便随时排气。该改进方案可有效应对静脉引流时大量进气的情况,进一步提升MiECC的安全性。同时,该改进不仅简化了排气流程,也更利于体外循环过程中的容量控制;无需额外增加软质储血袋等部件,仅使用硬质储血罐即可满足使用需要,既进一步简化了管路,又降低了管路预充量,符合高龄患者对体外循环微创、低损伤的要求。

然而,本研究仍存在一定局限性:受限于单中心

设计与短期随访,尚未能完全揭示MiECC对高龄患者远期预后的影响;对各种预后指标尚缺乏更加详尽的收集和更加深入的分析,但其现有数据已充分支持其在高龄患者体外循环中的临床应用优势。未来,我们计划通过多中心研究结合长期随访,进一步验证其在降低高龄患者术后并发症及提升患者术后康复方面的潜力。在本研究中,MiECC技术的临床应用场景被严格限定于心脏瓣膜手术及(或)CABG。研究样本方面,患者总数较少,且MiECC组中未纳入单纯行CABG的患者,这在一定程度上影响了研究结果的全面性与普适性。鉴于此,后续研究需进一步扩充患者样本规模,同时拓宽该技术的临床术式应用范畴,系统探究其在各类心脏大血管手术中的临床应用指征,为其临床实践提供更具科学性和可靠性的依据。

综上所述,MiECC技术在高龄心脏手术患者中的临床应用有着一定的优势。本研究通过随机对照试验,对比了MiECC技术与CECC技术在高龄心脏手术患者中的应用效果。MiECC技术在维持术中和术后短期内Hb浓度稳定,降低术后肺部渗出发生率方面表现出一定优势,术后并发症(心律失常、出血量、脑卒中、AKI)及死亡率等手术临床结局与CECC无差异,通过改进管路设计,降低了进气风险,提高了安全性和实用性。

参考文献

- [1] BHIROWO Y P, RAKSAWARDANA Y K, SETIANTO B Y, *et al.* Hemolysis and cardiopulmonary bypass: meta-analysis and systematic review of contributing factors[J]. *J Cardiothorac Surg*, 2023, 18(1):291.
- [2] RIPOLL J G, BITTNER E A, ZAREMBA S, *et al.* Analysis of 2024 EACTS/EACTAIC/EBCP Guidelines on Cardiopulmonary Bypass in Adult Cardiac Surgery[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2025, 39(7):1853-1865.
- [3] MAJ G, REGESTA T, CAMPANELLA A, *et al.* Optimal Management of Patients Treated With Minimally Invasive Cardiac Surgery in the Era of Enhanced Recovery After Surgery and Fast-Track Protocols: A Narrative Review[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2022,36(3):766-775.
- [4] CONDELLO I. Advocating MiECC: Proven benefits for high-risk cardiac surgery patients based on COMICS trial evidence[J]. *JTCVS Open*, 2025, 24:269.
- [5] ANASTASIADIS K, ANTONITSIS P, ASTERIOU C, *et al.* Modular minimally invasive extracorporeal circulation ensures perfusion safety and technical feasibility in cardiac surgery; a systematic review of the literature[J]. *Perfusion*, 2022, 37(8):

- 852-862.
- [6] ANASTASIADIS K, ANTONITSIS P, ASTERIOU C, *et al.* 2021 MiECTiS focused update on the 2016 position paper for the use of minimal invasive extracorporeal circulation in cardiac surgery[J]. *Perfusion*, 2023, 38(7):1360-1383.
- [7] CAROZZA R, FAZZI D, PIETRINI A, *et al.* Minimally invasive aortic valve replacement: extracorporeal circulation optimization and minimally invasive extracorporeal circulation system evolution[J]. *Perfusion*, 2020, 35(8):865-869.
- [8] 张明敏, 陈鑫, 郑明秀, 等. 改良迷你体外循环联合微量停搏液在成人低体重患者心脏手术中的应用效果[J]. *中国体外循环杂志*, 2023, 21 (01): 14-19.
- [9] VERWIJMEREN L, NOORDZIJ P G, DAETER E J, *et al.* Preoperative frailty and one-year functional recovery in elderly cardiac surgery patients[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2023, 166(3):870-878. e6.
- [10] 贾王平, 刘少华, 王盛书, 等. 社区高龄老人贫血患病率的系统综述与 Meta 分析[J]. *中华保健医学杂志*, 2021, 23 (5): 441-444.
- [11] MARCELLO M, VIRZÌ G M, MUCIÑO-BERMEJO M J, *et al.* Subclinical AKI and Clinical Outcomes in Elderly Patients Undergoing Cardiac Surgery: Diagnostic Utility of NGAL versus Standard Creatinine Increase Criteria[J]. *Cardiorenal Med*, 2022, 12(3): 94-105.
- [12] 杨勇, 魏东明, 陈亚武. 闭式体外循环下微创主动脉瓣膜置换术治疗主动脉瓣病变疗效观察[J]. *新乡医学院学报*, 2021, 38 (10): 970-976.
- [13] BEAIRSTO B, SERRICK C, FERNANDEZ A, *et al.* Platelet preservation in cardiac surgery using minimally invasive extracorporeal circulation versus optimized cardiopulmonary bypass[J]. *Perfusion*, 2023, 38(8):1705-1713.
- [14] 彭婷婷, 邓琦, 张山. 体外循环心脏术后肺部感染的危险因素及其预测模型[J]. *中华医院感染学杂志*, 2024, 34 (3): 390-394.
- [15] ZHENG X M, YANG Z, YANG G L, *et al.* Lung injury after cardiopulmonary bypass: Alternative treatment prospects[J]. *World J Clin Cases*, 2022, 10(3):753-761.
- [16] BLANCO M J, VIVES M. Con: Is Minimal Invasive Extracorporeal Circulation Superior to Conventional Cardiopulmonary Bypass in Cardiac Surgery?[J]. *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 2024, 38(11):2836-2839.
- [17] RÄSÄNEN J, ELLAM S, HARTIKAINEN J, *et al.* Impact of perfusion method on perioperative red blood cell transfusions and new-onset postoperative atrial fibrillation in mitral valve surgery patients[J]. *Perfusion*, 2023, 38(8):1600-1608.
- [18] ELLAM S, BJURSTEN H, RÅDEGRAN G, *et al.* Impact of minimal invasive extracorporeal circulation on perioperative intravenous fluid management in coronary artery bypass surgery[J]. *Perfusion*, 2023, 38(1):135-141.
- [19] NGUYEN T D, MORJAN M, ALI K, *et al.* Influence of minimal invasive extracorporeal circuits on dialysis-dependent patients undergoing cardiac surgery[J]. *Perfusion*, 2024, 39(8): 1708-1714.
- [20] ANGELINI G D, BENEDETTO U, FORTUNA D, *et al.* Conventional versus minimally invasive extra-corporeal circulation in patients undergoing cardiac surgery: A randomized controlled trial (COMICS)[J]. *Perfusion*, 2025, 40(3):730-741.
- [21] MOTAWEA K R, IBRAHIM M, AMER A E, *et al.* Comparison of post-operative inflammatory biomarkers between minimal invasive extracorporeal circulation and conventional extracorporeal circulation in cardiac surgery: A meta-analysis of 15 randomized control trials[J]. *Perfusion*, 2025:2676591251385872.
- [22] ANASTASIADIS K, ANTONITSIS P, VOUCARAS C, *et al.* Minimal invasive extracorporeal circulation versus conventional cardiopulmonary bypass in cardiac surgery: a contemporary systematic review and meta-analysis[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2025,67(4):ezafl12.
- [23] ANASTASIADIS K, ANTONITSIS P, EL-ESSAWI A, *et al.* MiECC should not be restricted to selected patients and experienced teams. A MiECTiS rebuttal to 2024 EACTS/ EACTAIC/EBCP guidelines on patient blood management[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2025, 67(5):ezafl065.