

体外循环手册

体外循环手册

体外循环手册

体外循环手册

体外循环手册

龙村 主编

1-52

体外循环手册

主编 龙 村
编者 郑 红 杨文宝 丁 坤
李 杰 李 毅 孙 毅 孙 毅
李 毅 李 毅 李 毅

人民卫生出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

体外循环手册/龙村主编. —北京: 人民卫生出版社,
1997

ISBN 7-117-02641-3

I. 体… II. 龙… III. 体外循环-心脏外科手术-手册
IV. R654. 1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 01230 号

体外循环手册

龙 村 主 编

人民卫生出版社出版发行
(100050 北京市崇文区天坛西里 10 号)

人民卫生出版社印刷厂印刷

新华书店经销

850×1168 32 开本 $9\frac{3}{8}$ 印张 258 千字

1997 年 6 月第 1 版 1997 年 6 月第 1 版第 1 次印刷
印数: 00 001—3 000

ISBN 7-117-02641-3/R·2642 定价: 14.00 元

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前 言

体外循环只有 40 多年的历史。在基础理论、临床实践、器材完善等方面都有日新月异的变化。近来我国心血管手术已越来越多地在基层医院开展，而有关体外循环的书籍缺乏。为此，我们结合大量临床实践和国外最新的技术动态编写了这本体外循环手册。手册以精炼、实用为特点，其内容涉及体外循环的各个方面。手册主要介绍体外循环的用品、方法、监测、管理、各种心脏病体外循环特点、体外循环中重要脏器的保护，并以表格的形式介绍体外循环常见意外和处理。本书适用于灌注师、有关心脏手术的麻醉医生、外科医生、ICU 医生阅读。

本书编写过程中得到了广大朋友支持、帮助，在出版后希望得到朋友们的关心、爱护、指正。

编 者

1996 年 10 月 29 日

目 录

第一章 体外循环装置	(1)
第一节 血泵.....	(1)
第二节 氧合器.....	(7)
第三节 管道和插管	(16)
第四节 滤器	(24)
第五节 辅助装置	(29)
第二章 体外循环灌注方法	(33)
第一节 基本灌注技术	(33)
第二节 急诊体外循环	(39)
第三节 搏动灌注	(43)
第四节 心室辅助	(47)
第五节 主动脉球囊反搏	(54)
第六节 体外循环膜肺氧合 (ECMO)	(59)
第三章 体外循环中监测及调节	(69)
第一节 体外循环中灌注指标与监测	(69)
第二节 体外循环中电解质紊乱和纠正	(79)
第三节 体外循环中水的紊乱和纠正	(87)
第四节 体外循环中酸碱平衡的紊乱和纠正	(96)
第五节 体外循环中的抗凝和拮抗.....	(106)
第四章 体外循环的管理	(117)
第一节 体外循环前的准备.....	(117)
第二节 体外循环预充和血液稀释.....	(122)
第三节 体外循环中的管理.....	(132)
第四节 体外循环中的用药.....	(148)
第五节 体外循环的意外和处理.....	(156)
第六节 体外循环后的处理.....	(166)

第七节	体外循环术后并发症和处理·····	(172)
第五章	体外循环管理各论·····	(184)
第一节	婴幼儿体外循环特点·····	(184)
第二节	瓣膜病体外循环特点·····	(193)
第三节	冠心病手术的体外循环特点·····	(196)
第四节	大血管手术的体外循环特点·····	(201)
第五节	心脏肿瘤手术的体外循环特点·····	(209)
第六章	体外循环中重要脏器的保护·····	(213)
第一节	心肌保护·····	(213)
第二节	肺保护·····	(224)
第三节	脑保护·····	(229)
第四节	肾保护·····	(238)
第五节	消化系统保护·····	(243)
第六节	血液保护·····	(249)
第七章	体外循环常用表格·····	(258)
第一节	体外循环常见的意外、问题及其处理·····	(258)
第二节	体外循环常用药物简表·····	(269)
第三节	体外循环常用用品技术参数·····	(278)
第四节	常用人体检查正常值和体外循环记录单·····	(286)

体外循环装置

第一节 血 泵

一、滚压泵

(一) 原理

1. 泵管 主要有硅胶、硅塑和塑料三种管道。硅胶管弹性好、耐压耐磨性强，但在滚压时易产生微栓脱落；塑料管不易产生微栓脱落，但弹性差、耐磨性差；硅塑管介于两者之间。

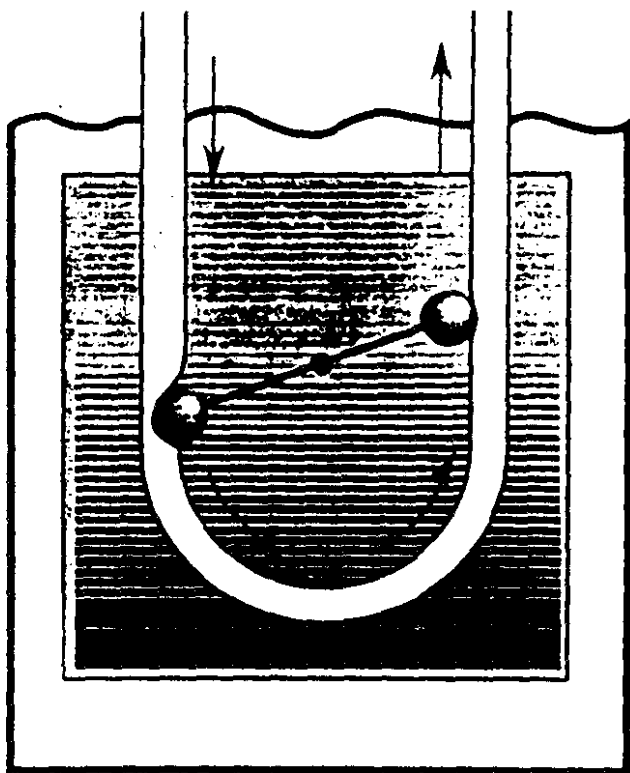


图 1-1-1 滚压泵工作原理示意图

2. 泵头 分滚压轴和泵槽两大部分（图 1-1-1）。泵管置于泵槽中，通过滚压轴对泵管外壁的滚动方向挤压，推动管内的液体向一定的方向流动，要求泵管有很好的弹性和抗挤压能力。在灌

注过程中滚压轴有可调性，即快速可达每分钟 250 转，慢则每分钟一转。

3. 泵的流量和泵的转速呈正比，转速太高时泵管不能恢复弹性则无此正比关系。泵槽半径越大，泵管内径越大，每圈滚压灌注的流量越多。

(二) 操作要点

目前 Sarns 和 Stockert-shiley 为国内的主流泵，下面主要针对这两种机型论述。

1. 在泵接通电源后如果状态正常，指示灯持续发亮，如有异常会闪亮或报警。

2. 在灌注的过程中要备好摇把，以防泵头突然停止。如果泵头突然停止，立即使用摇把，此时应注意摇的方向。Sarns 摇把有防止反转的装置。摇泵时要注意转速，避免流量过低或过高。

3. 停电时应注意将流量旋钮回零，否则在电源恢复时泵突然启动，一些泵（如 Jostra）在这方面有安全装置。

4. 泵管内径对流量有明显影响。一般说来大口径泵管适用于成人，小口径泵管适用于小儿。

5. 泵每分钟流量是泵管在滚压轴滚压一圈排出的血量乘以每分钟的转速，由于泵管内径不一样，在更换新的泵管时，需对流量进行校正。

6. 泵管在泵槽内放置应舒展，在泵槽进出口两端应固定牢靠，一般用专用垫片和特定锁装置固定。

7. 安装泵管时须注意方向，如果装反会产生严重后果。如主动泵管装反将使血液回抽，心内吸引泵装反将使气体输入心腔内。

8. 灌注中应注意避免流量突然的增减，因各泵在流量显示时有一定的延迟。

9. 滚动轴对泵管挤压的松紧度非常重要，过紧过松都可加重血液破坏，增加泵管微栓脱落，而泵管过松可使血液倒流。最佳挤压度是将泵管液平面调至距泵 1 米高，液平面下降速率为每分钟 1 厘米。

10. 泵的盖子在泵运转当中不要开启,以免异物进入泵槽,发生意外。现在新型体外循环机如 Sarns8000 和 Stockert-Shiley II 等在盖子掀开时泵自动停止。

11. 一些泵还装有一些辅助装置,如气泡监测、液平面监测、压力监测等,它们可以和主泵相连接。事先设定报警限,超过范围即报警,主泵停止转动。

12. 一些体外循环机为特殊灌注方法设计了特殊的转流方式,如搏动灌注(见有关章节),停跳液灌注(灌注量、转速、压力报警可预先放置),主副泵灌注等。

13. 一些体外循环机还附有静脉回流控制设备、温度控制系统、计时系统等。

14. 随着计算机技术的普及,新型体外循环机要求灌注师有良好的计算机知识,这样才能充分发挥其先进功能。它可帮助灌注师制定预充计划、自动记录灌注中的数据,通过各种传感器监测灌注中各种情况,保证体外循环的安全进行。

二、离心泵

(一) 原理和结构

1. 原理 物体在作同心圆运动时产生一向外的力,即离心力,其大小与转速和质量成正比,离心泵即是根据此原理设计的。在密闭圆形容器的(即泵头)的圆心和圆周部各开一孔,当其内圆锥部高速转动时,圆心部为负压,可将血液吸入,而圆周部为正压,可将血液泵出。

2. 结构

(1) 驱动部分 由电机和泵头组成。电机具有体积小、重量轻、噪音小、磨损小等优点。电机带动磁性转子高速旋转,转子磁力带动密封泵头内的磁性轴承及其上的圆锥部旋转产生离心力。较为早期的泵头为涡流剪切式,分层塔状锥体形设计,利用液体剪切应力使其产生流动。为了增加液体运动,减弱转速,减少产热,新型的离心泵头内设计有转子叶片,泵效高(图 1-1-2)。离心泵的转子与电机用导线连接,增加了活动性,可进行远距离

操作。泵头内采用了肝素结合技术，生物相容性好，可不用或少用肝素，更增加了离心泵的安全性。

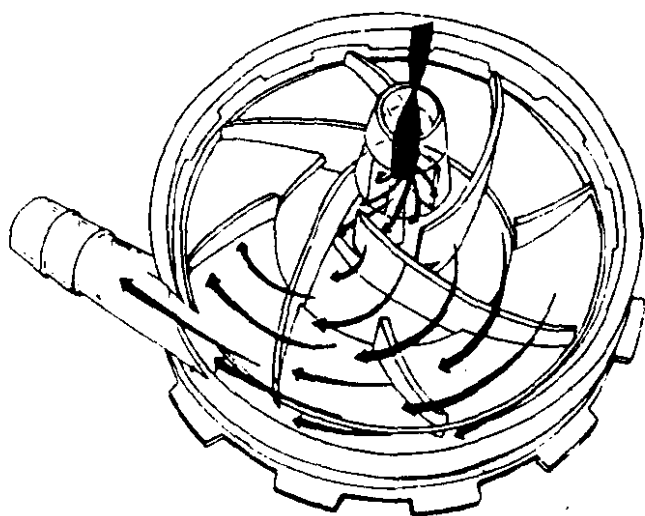


图 1-1-2 离心泵工作原理示意图

(2) 控制部分 要求操作简便、调节精确、观察全面。所有的离心泵均采用计算机技术以达到上述要求，可对自身状态进行自检，一旦出现问题，及时报警并出现提示符以利调整，且所有离心泵都有流量、转速两窗同时显示。为了预防意外断电，有些离心泵还备有内部电池，断交流电时能在 5.0L/min 流量下工作近 1 小时。为了使灌注更接近生理状态，靠微处理机控制电机在高速和低速交替运转而使血流形成脉冲，离心泵还可进行搏动灌注。每个离心泵配有一个流量传感器，分为电磁传感和超声多普勒两种类型。电磁流量传感器精确度高，干扰因素小，但需要一次性消毒特制探头；超声多普勒传感器不需要探头，可反复使用，但当血液稀释、用不同管道或温度变化时，测定的流量有变异，在转流开始时管道内流动的是晶体液，超声探头不敏感，此时要根据氧合器内液平面判断流量。

(3) 目前市场上主要有三种离心泵，Lifestream、Sarns 和 Biomedicus，表 1-1-1 概列其性能和特点。

(二) 离心泵和滚压泵的性能比较 见表 1-1-2。

1. 血液损伤小 离心泵尤其适用于需要长时间灌注的病人，如心脏辅助支持。

表 1-1-1 三种离心泵性能的比较

	Lifestream	Biomedicus	Sarns
预充容量 (ml)	60	50、80、154	48
转子类型	弯曲叶片	分层锥体	直线叶片
流量测定	电磁	电磁	超声
自动校正	可以	否	否
搏动灌注	否	否	可以
压力监测	有	有	无
温度监测	有	有	无
时钟显示	有	有	无
内部电源	有	有	无
泵头兼容	可以	否	否

表 1-1-2 离心泵与滚压泵的基本性能比较

	离心泵	滚压泵
流量	和转速、压力非线性正相关	和转速呈线性正相关
类型	开放、限压	闭合、限量
血液破坏	较轻	较重
微栓产生	不易	可以
意外排空	不能	可以
远端阻塞	管道压力增高有限	泵管压力增高至崩脱
长期灌注	适合	不合适
机动性能	良好	较差
血流倒流	转速不够时可发生	不会发生

2. 压力缓冲大 离心泵可视无瓣膜开放泵，泵的转速越高，产生压力越大，泵输出量就越高，而泵后阻力升高，流量会相应减少，即“转速-阻力依赖性”；如果泵后管道扭折闭合，因离心泵是开放性的，故不会在接头处崩脱。滚压泵可视为带瓣膜封闭式泵，其流量和转速、泵管内径成线性正相关，即“容量依赖性”；如泵后管道扭折闭合，管内压力会急剧增高至崩脱。

3. 安全性高

(1) 离心泵因中心为负压且气体质量小, 转流时泵头出口在最低处, 故不易将进入泵头内的气体泵入体内; 而滚压泵无此特点。

(2) 离心泵表面光滑、结构坚硬, 很少产生固体微栓, 而滚压泵的泵管在滚轴挤压时产生较大的摩擦, 泵管内可有微栓脱落。

(3) 泵后管道不会因扭折而破裂或崩脱。

(三) 离心泵操作时的注意事项

1. 由于它是开放性, 要求在 CPB 开始和停止前维持一定的转速 (1500rpm), 不能用滚压泵逐渐地加速和减速, 否则外周阻力高于泵压力, 易形成血液倒流。

2. 在灌注过程中, 外周阻力 (主要是 MAP) 不断变化, 转速相同时流量却会不断变化, 这就需要随时调整流量。为防止意外和停机后能精确地输血, 应在离心泵泵后管道串联一滚压泵泵管, 需要时应用。

3. 小体重病儿、深低温低流量的病人不宜使用离心泵, 因为它需要小流量的精细调节, 但有的灌注师在这方面提出不同的看法。

(四) 临床应用

1. 心血管常规体外循环 离心泵因安全性高、无阻塞、血液损伤轻、流量稳定等优点, 目前已广泛用于临床体外循环心脏手术。

2. 辅助循环支持 离心泵体积小、易操作、血液破坏小、适于长时间灌注, 尤其是其射血的压力依赖特性更适合于心室辅助。

3. 主动脉手术 用离心泵将左房的血液吸出, 从动脉阻断的远端注入, 保证机体的血流灌注, 避免腹腔脏器缺血和脊髓损伤, 和单纯阻断或深低温停循环相比, 它可减少死亡率和术后并发症。

4. 其它

(1) 用于肝脏移植手术。

(2) PTCA 中高危患者的辅助支持。

(龙村)

第二节 氧 合 器

一、氧合器的历史

心脏直视手术中体外循环任务之一就是將静脉血氧合成动脉血。这一过程是靠氧合器（人工肺）来完成。氧合器的发展经历了生物肺氧合、血膜式氧合、鼓泡式氧合、膜式氧合这四个发展阶段。

（一）生物肺氧合

在心血管手术中利用生物自体或异体的肺进行血液氧合，因操作复杂，安全系数差，从 50 年代末期就逐渐淘汰。

（二）血膜式氧合

将静脉血吹至金属网上形成薄血膜，然后对血膜吹纯氧，因操作复杂，预充量大，重复使用需反复清洗，60 年代末期就被鼓泡式氧合器取代。

（三）鼓泡式氧合器

Rygg 和 Kyvsggard 在 1958 年将氧合、祛泡、变温集中于一体，为鼓泡式氧合器的发展奠定了基础，其具有操作简单、气体交换能力强、预充量少、价格便宜、一次性使用等优点，为广大医院所采用。目前，仍然是第三世界国家医院应用的主要产品。

（四）膜式氧合器

自体外循环开展以来，人们一直力图使氧合器的功能接近于生理状态，膜式氧合器就是努力方向之一。其氧合方式与生物肺的呼吸方式相似，于 1965 年开始大量应用于临床，现已发展了许多品种，具有气体交换性能好、操作简单、血液破坏轻、可进行较长时间灌注等特点，成为当今世界最有发展前途和使用最广的氧合器。

二、气体交换和运输生理

呼吸气体的交换

肺泡和血液间气体交换以及血液与组织间的气体交换均遵循气体分压差原理，即单一气体从浓度较高一侧向浓度较低一侧扩散。由于二氧化碳和氧的分压不同，流经肺毛细血管的血液从肺泡内获得氧并释放出二氧化碳成为动脉血，而血液流经组织毛细血管时氧被组织摄取利用，并从组织取得二氧化碳成为静脉血。

表 1-2-1 动脉、静脉、组织气体分压

	PO ₂ (kPa)	(mmHg)	PCO ₂ (kPa)	(mmHg)
动脉血	13.3	(100)	5.3	(40)
静脉血	5.3	(40)	6.1	(46)
组织	4.0	(30)	6.7	(50)

影响气体扩散因素除上述的分压差外，还和其它因素有关，具体公式如下：

$$\text{扩散速度} \propto \frac{\text{分压差} \times \text{扩散面积} \times \text{温度} \times \text{气体溶解度}}{\text{扩散距离} \times \text{分子量}}$$

气体交换与肺泡的膜面积成正比。正常成年人肺泡约 3 亿多个，总面积达 60~100m²，安静时肺泡扩散面积约 40m²。气体扩散和肺泡通气膜厚度成反比，肺泡膜虽有六层结构，但总膜厚度不超过 1μm。正常成人安静时右心每搏输出量为 60ml，分布于肺泡膜广大面积上，通过肺泡的速度虽为 0.75 秒，但在 0.3 秒内可完成气体交换过程。气体交换还依赖于肺泡通气量和肺血量两者间的协调配合，通常安静时通气/血流比值 0.85。

三、气体在血液中的运输

(一) 氧的运输

正常动脉血溶解氧仅为 0.3ml，可忽略不计，血液中运输的氧主要是与血红蛋白以结合形式存在于红细胞内，每克血红蛋白可结合 1.34ml 氧。

1. 血红蛋白和氧结合的特征

- (1) 反应可逆，不需要任何酶的帮助。
- (2) 氧是结合在血红蛋白的铁离子上，铁离子必须是亚铁状

态 (Fe^{2+})。

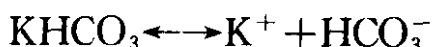
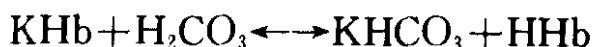
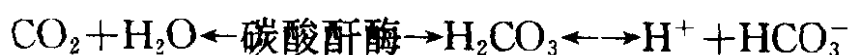
(3) 血红蛋白的珠蛋白是由两条 α 和 β 两条肽链构成, 每条肽链有一个含 Fe^{2+} 的血红蛋白分子。

(4) α 和 β 肽链和氧结合是相互作用, 其中任何一条肽链和氧结合或解离, 都将促进其它三条肽链与氧的结合或解离, 这是全血氧合血红蛋白解离曲线的物质基础。

2. 氧离曲线 其上段相当于 $8.0 \sim 13.3\text{kPa}$ ($60 \sim 100\text{mmHg}$) 之间, 氧饱和度变化小, 下段 PO_2 对氧饱和度影响较大。pH 降低和 PCO_2 增高使氧离曲线右移, 这种影响称之为 Bohr 效应; 温度增高可使氧离曲线右移, 如体温降低 10°C , PO_2 只要 4.0kPa (30mmHg) 就可使血液到达完全饱和程度; 2, 3-DPG 可与脱氧血红蛋白 β 链结合, 使之失去氧合能力, 使氧离曲线右移。

(二) 二氧化碳的运输

1. 血中二氧化碳的物理溶解形式占 6%, 约为 3.1ml , 化学形式占 94%, 其中碳酸盐形式为 87%, 氨基血红蛋白为 7%, 碳酸盐形成主要在红细胞内进行, 是一个酶促反应过程, 具体反应式为:



2. 生成的 HCO_3^- 向低浓度血浆内扩散, 同时血浆 Cl^- 则向红细胞内转移。二氧化碳能直接与血红蛋白氨基结合形成氨基血红蛋白, 这是无需酶催化的可逆性反应。具体反应式为:



3. 在肺部排出的 CO_2 却占 20%~30%。二氧化碳的运输量直接取决于二氧化碳分压。另外氧合血红蛋白结合可促使二氧化碳的释放, 这称为 Haldane 效应。

四、鼓泡式氧合器

(一) 工作原理

气体经发泡装置后, 和血液混合形成无数个微血泡, 同时进

行血液变温，再经祛泡装置成为含氧丰富的动脉血。普通的鼓泡式氧合器由氧合室、变温装置、祛泡室装置、储血室所组成。鼓泡式氧合器工作示意图见图 1-2-1。

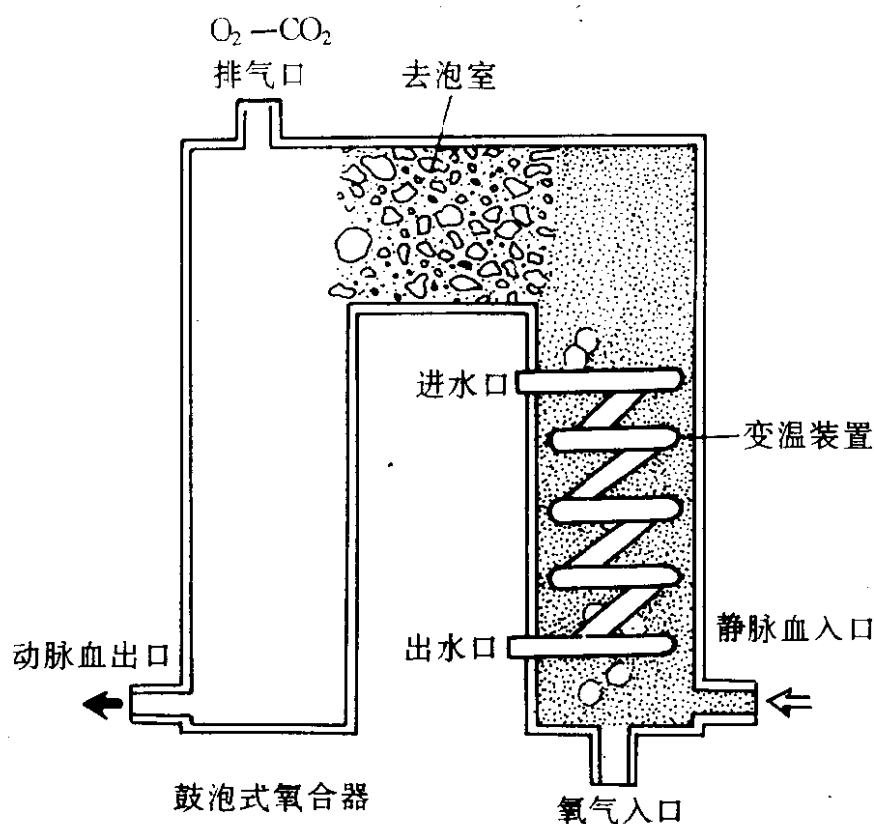


图 1-2-1 鼓泡式氧合器血气交换（血气直接接触）

（二）操作注意事项

1. 根据流量选用合适的氧合器 患者体重大，而氧合器有效容量低，可造成体外循环中的缺氧。
2. 体外循环前一定对氧合器的变温管进行水压试验 此法可避免变温管渗漏造成对血液的污染。
3. 预充时应注意发泡情况 如发泡不均匀，应立即更换氧合器。
4. 鼓泡式氧合器转流时间一般建议为 3 小时，如估计手术时间长应考虑选用膜肺。
5. 氧气流量 体外循环开始时，可将气血比调至 1 : 1；在降温时由于代谢率降低、氧利用减少，二氧化碳生成降低，气血比可降至 0.5 : 1；复温时由于代谢率增加，气血比可调至 1.2 : 1，有条件者应根据血气结果进行调节。

6. 二氧化碳排出 由于血红蛋白结合氧的特性,在很少的氧流量时血液就可达到最佳的氧合,但二氧化碳排除困难,此时决不能认为正常,因为高二氧化碳可导致肺血管收缩、脑血管扩张、呼吸性酸中毒、高钾血症等。此时应提高氧流量,降低 PCO_2 。

7. 氧分压 虽然 PO_2 比正常高出好多,但 3~5 小时高 PO_2 状态不会造成机体严重损伤,在氧合能力不佳时,可增加气流量,气血比可达 3:1,若大于此值仍氧合不佳应考虑更换氧合器,因为此时再增大气流可增加发泡板的气流阻力,生成气栓,不利微气泡形成。

8. 麻醉影响 使血液和大气相通,吸入麻醉药大量挥发,可导致麻醉减浅。有人在氧气中连接麻醉挥发罐,吸入麻醉药,但这要引起两方面注意,一是注意氧合器排出气的排放,避免污染手术室空气,二是吸入麻醉药如氟烷、氨氟醚等有很强的脂溶性,可造成氧合器塑料硬壳的开裂。

9. 吹入气体 鼓泡式氧合器的气源一定为纯氧。用气体混合器可将空气和氧气混合,可改变氧浓度,避免氧合器的氧分压过高。但这存在着大量微气栓的危险。空气中大部分为氮气,氮气为惰性气体,在机体内不为组织细胞所吸收。鼓泡式氧合器中的硅油网、动脉微栓滤器虽能滤泡,但大量研究表明在一些情况下仍然有一些微气泡不能消除。如果这些气泡是氧或二氧化碳对机体危害不大。因为氧可为机体所利用,二氧化碳有很高的溶解性和结合性。而氮气栓可能长期阻塞微循环某一部位。

五、膜式氧合器

(一) 工作原理

以人工高分子半透膜模拟人体气血屏障,其特点为气体可因膜两侧分压的不同而自由通过膜,液体却不能通过。将硅胶膜制成中空纤维,纤维内走气外走血。

(二) 种类

1. 按膜结构分

(1) 无孔型 主要由硅胶膜组成,代表产品有 Sei-Med, Jos-