



小儿体外循环学

主 编 丁文祥 苏肇伉 朱德明
副主编 王 伟

CARDIOPULMONARY BYPASS
IN INFANTS
AND CHILDREN

世界图书出版公司

现代医学高级参考系列



小儿体外循环学

主 编 丁文祥 苏肇伉
朱德明
副主编 王 伟

CARDIOPULMONARY BYPASS
IN INFANTS
AND CHILDREN

世界图书出版公司
上海 · 西安 · 北京 · 广州

新华书店
PDG

图书在版编目(CIP)数据

小儿体外循环学/丁文祥,苏肇伉,朱德明主编. —上海:上海世界图书出版公司,2009. 1

(现代医学高级参考系列)

ISBN 978-7-5062-8571-1

I. 小... II. ①丁...②苏...③朱... III. 小儿疾病—心脏外科手术—体外循环—研究 IV. R726.541

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 027491 号

小儿体外循环学

丁文祥 苏肇伉 朱德明 主编 王 伟 副主编

上海世界图书出版公司出版发行

上海市尚文路 185 号 B 楼

邮政编码 200010

上海市印刷七厂有限公司印刷

如发现印装质量问题,请与印刷厂联系

(质检科电话:021-59110729)

各地新华书店经销

开本:787×1092 1/16 印张:32 字数:680 000

2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5062-8571-1/R·189

定价:190.00 元

<http://www.wpcsh.com.cn>

主 编 丁文祥 苏肇伉 朱德明

副主编 王 伟

编 委(按姓氏笔画排序)

Craig Volcelka University of Washington Medical Center, Seattle, WA

Marcia L Zucker International Technidyne Corporation, Edison, New
Jersey

丁文祥 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

王 伟 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

王顺民 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

龙 村 北京协和医科大学附属阜外心血管病医院

史珍英 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

朱德明 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

刘锦纷 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

严 勤 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

苏肇伉 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

李佳春 中国人民解放军总医院

张 蔚 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

张海波 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

陈 玲 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

陈 虹 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

陈会文 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

陈 煜 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

青木满 东京女子医科大学

林 茹 浙江大学医学院附属儿童医院

周燕萍 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

周成斌 广东省人民医院广东省心血管病研究所

郑景浩 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

柯文哲 台湾大学医学院附属医院

徐志伟 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

徐卓明 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

徐新根 上海交通大学医学院附属胸科医院

黄惠民	上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心
龚庆成	首都医科大学附属安贞医院
常德华	东京女子医科大学
章晓华	广东省人民医院广东省心血管病研究所
董培青	首都医科大学附属安贞医院
韩幼奇	University of Mississippi Medical Center, University Hospital
傅惟定	上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心

主 编 简 介



丁文祥教授 上海交通大学医学院终身教授,博士生导师,主任医师。曾任上海市小儿先心病研究所所长,上海小儿心血管诊治中心主任,上海第二医科大学附属新华医院和上海儿童医学中心院长。曾兼任 5 个全国和市级学术团体正、副主任委员,系国家有突出贡献的科技专家。1974 年丁文祥教授率先在我国建立了小儿心胸外科,首次为先心病婴儿在体外循环下行室间隔缺损修补术获得成功,是我国婴幼儿先心病外科的开拓者。长期从事小儿外科临床、科研和教学,围绕儿科先心病诊治展开临床和基础研究工作,并将小儿外科与生物工程相结合,设计研制了多种国产化医疗设备和医用修补材料,如小儿体外循环机、膜式氧合器及成套小儿心胸手术器械、先心病修复材料等,并在国内推广,是我国医工结合的典范。先后获卫生部、国家医药局、国家科委教委、国家科技进步奖等多项奖励;曾获卫生部十杰医师、上海市劳动模范、上海市第三届医学荣誉奖等光荣称号。曾多次出国访问考察,引进先进技术,推进我国小儿先心病发展。发表论文 90 余篇,主编《小儿心脏外科学》,参编《心脏血管外科学》、《胸心外科手术学》、《黄家驷外科学》等专著。



苏肇伉教授 上海交通大学医学院教授、博士生导师,主任医师。现任上海市小儿先心病研究所副所长,曾兼任全国和市级学术团体副主任委员、理事和常委。从医 40 多年来,以其高超的手术技术先后为数千名患有先心病的儿童解除了病痛,挽救了生命。他参与创建了我国第一个小儿心胸外科专业;为攻克婴幼儿、新生儿复杂先心病手术的难点,他长期进行深低温停循环和深低温低流量体外循环技术的系列研究,并在国内首先将此技术应用于临床;他在国内率先提出了先心病急诊手术的新思路,并为此进行了一系列相关的配套研究,最终建立了新生儿、幼婴儿急诊手术的规范和运作机

制,大大降低了新生儿和婴幼儿体外循环手术后的并发症和死亡率,其成果在全国 19 省市推广应用。主持和参与了多项国家级和上海市的科研项目,先后获得国家科技进步奖、上海市科技进步奖、国家教委科技奖等多项奖励。曾获上海市十佳医师、上海市劳动模范、首届全国百名优秀医师、全国“五一”劳动奖章和全国卫生系统先进工作者等荣誉称号。发表论文 290 余篇,主编《小儿心脏外科学》等专著。



朱德明教授 主任医师,硕士生导师。20 世纪 80 年代始专职从事体外循环工作,相继开展了深低温转流技术,不用血和少用血的体外循环血液稀释法,新生儿体外循环灌注,急诊体外循环,超滤技术在小儿体外循环中的应用,深低温脑保护等颇有影响的研究及临床实践工作。为全国 20 多家儿童医院培养了体外循环专业骨干。曾参与《小儿心脏外科学》,《兰锡纯心脏外科学》,《现代心脏外科治疗学》,《新生儿外科学》,《体外循环与人工心肺机》,《体外循环学》,《体外循环临床实践》等专著的编写。先后在国内杂志发表学术论文 20 余篇(包括 SCI 杂志 2 篇)。参加了国产氧合器及其他体外循环装备的研制,并作为主要参与人分别获得全国高校科技进步一等

奖、上海市科技进步三等奖和国家教委科技进步三等奖。曾先后多次赴欧美及中国台湾参加学术交流和学习。

现兼任中国体外循环学会等多个学术团体的主任、副主任委员、副组长、常务理事及美国体外循环技术学会国际会员。并担任《中国体外循环杂志》等杂志的副总编辑、编委、学术论文评审专家。



王伟副主任医师 博士研究生。1997 年硕士毕业以来专职从事小儿体外循环工作,在国内率先使用并报道改良超滤法的使用,并在此基础上进行各种超滤方法的研究。此后相继开展了婴幼儿轴流泵的研制工作,参与转流中神经系统保护,肺功能保护,含血心肌保护液使用,组织工程等多项研究,近年又在国内首先采用并推广勃脉力 A 替代乳酸林格进行转流预充。曾参与 *Heart Failure in Children and Young Adults*,《体外循环学》,《小儿心脏病学进展》,《心脏辅助循环》等多本专业书籍的编写。先后在国内杂志上发表论文 20 余篇,其中用英语发表 4 篇,3 篇被 SCI 收录,获国家发明专利和实用新型专利各一项。现任上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心党委副书记,并兼任数本国内外杂志学术论文评审专家。

序(一)

纵观 50 余年医学发展史,体外循环的诞生及其装置和灌注技术不断完善,心血管外科从心外和闭式手术跨入心内直视手术时代,特别是近 20 余年来,心内直视手术年龄从儿童和成人过渡到新生儿和婴幼儿,从简单先心病发展到复杂先心病手术,并取得满意的近远期效果。所以说心血管外科的发展与体外循环的改进是密切联系的,也是心血管外科、麻醉科和体外循环互相协作,共同研究的结晶。丁文祥、苏肇伉、朱德明三位著名专家主编的《小儿体外循环学》的出版,是当前我国小儿心脏外科渴望已久的盛事,必将推动该领域事业的蓬勃发展,并与国际先进技术接轨,造福于人民。

《小儿体外循环学》是我国第一部儿童,特别是新生儿和婴幼儿先心病外科的人工心肺灌注技术的专著,是以上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心心脏外科专家为主,并邀请国内外知名灌注专家编写而成。上海儿童医学中心小儿心脏外科是国内外知名的单位。30 多年来共施行小儿体外循环 1 万余例,最小年龄为 7 小时。2006 年手术数量上升到 2030 例,其中 2 岁以内占 61.5%;6 个月以内的占 23.1%,总的手术死亡率 2.4%;6 个月以内的死亡率为 4.3%。复杂先心病占全组的 50.6%。同时开展大动脉转位和 Tausig-Bing 综合征的大动脉调转术 100 余例,手术成功率在 90% 以上;还开展了 Nikaidoh 和心下型全肺静脉异位连接以及先天性矫正性大动脉转位双调转等高难度手术,效果满意,达到国内领先和国际水平。丁文祥教授是我国小儿心脏外科创始人和开拓者,与苏肇伉、朱德明教授一道白手起家、艰苦奋斗、土洋并举,以及医、教、研结合创办首家小儿心脏外科专业,对我国小儿心脏外科的发展和培养大批人才作出巨大贡献。

本书重点阐述小儿器官发育的解剖和生理变化与体外循环转流的影响,如低温、预充和血液稀释、低流量灌注、停循环等对主要器官的侵袭,尽可能地结合小儿器官发育生理而论及转流造成的病理变化以及防治措施。总结 30 余年上海儿童医学中心体外循环的丰富经验,提出有关新生儿和婴幼儿体外循环运作模式,供读者学习和参考。

《小儿体外循环学》是一部具有广博的灌注基础知识和全面的小儿体外循环灌注经验的好教材,是该领域权威专著。读者应从粗读到精读,经过细致咀嚼、消化和吸收,获得理论和实践相结合的悟性,才能有所发现,有所创造。

汪曾

沈阳军区总医院心血管外科
2008 年 8 月

序(二)

20 世纪 50 年代我国的心胸外科工作者和工程技术人员研制了我国人工心肺机,开始了真正意义的中国心内直视手术。1974 年原上海第二医学院附属新华医院在国内首先开创了婴幼儿先天性心脏畸形的矫治,成为我国心脏外科史上的又一个里程碑。

今天,上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心继新华医院发展成为新生儿婴幼儿危重复杂先天性心脏病的诊治中心,每年手术量已超过 2000 余例,手术成功率已达 97% 以上。该中心的心胸外科至今已积累了 2 万余例的体外循环的经验。

丁文祥、苏肇伉、朱德明三位教授一直是我学习与钦佩对象,因为我们谊属同校,数十年来我有幸亲自见证了他们在小儿心胸外科方面孜孜不倦的探索及锲而不舍的敬业精神。他们确是个非常好的团队,充分发挥各自优点,又融合成一体,形成目前的规模。无疑,他们是我国小儿心胸外科的开拓者。

由他们三位教授为主编,并由王伟博士为副主编的《小儿体外循环学》将问世。他们总结了大量的心肺转流的临床经验,并邀请国内外知名的专业技术人员撰写本专著。专著的出版不仅有助于我国小儿体外循环临床技术的发展推广,也将对小儿体外循环的科学研究起到良好的促进。

预祝《小儿体外循环学》早日问世。



上海交通大学医学院附属仁济医院

2008 年 8 月

前 言

19 世纪 70 年代,小儿先天性心脏病(先心病)外科走向专业化已被各国心脏外科前辈所重视,推动了小儿先心病外科治疗的发展,促使小儿先心病外科治疗的年龄不断提前,病种范围不断扩大,手术成功率不断提高。目前,小儿先心病手术已不受小年龄、低体重的限制,可进行矫治各种复杂的心内外发育畸形。能取得如此高质量的快速发展,除了与术前诊断技术、手术技巧以及术后监护水平的提高有关外,还与小儿体外循环的灌注技术和器材质量的不断进步有着十分密切的关系,使手术的安全性得到保证,降低了术后并发症的发生率。

小儿体外循环是小儿心脏外科的重要组成部分,多年来一直为各国小儿心脏外科专家们所关注和重视。美国波士顿儿童医院心外科主任 Dr. R. A Jonas 和英国伦敦小儿病院心外科主任 Dr. M. J Elliott 于 1994 年邀请世界其他国家的知名专家合作出版了世界第一部专著《婴幼儿体外循环学》,为小儿体外循环增添了理论认识和技术指导,进一步推动新生儿、婴幼儿心脏外科的发展。

原上海第二医学院附属新华医院自从 1974 年正式建立小儿心脏外科专业以来已施行小儿体外循环 1 万多例,最小年龄为出生后 7 小时。近年来小于 3 岁患儿占 50%,小于 2 岁患儿占 40%。20 世纪 80 年代开始开展了深低温暂停循环或低流量转流以及多种超滤技术,并从事小儿体外循环的研究开发工作,先后研制成小儿人工心肺机、辅助心泵、小儿转碟式、鼓泡式以及国内首创聚丙烯中空纤维膜式氧合器(与复旦大学、第一肺科医院合作)、聚丙烯腈小儿超滤器(与华东纺织工学院合作)、动脉血路滤血器等。招收研究生协同研究体外循环血小板保护、未成熟心肌保护、小儿心肌保护、深低温脑保护、深低温低流量等,分别立项进行临床基础研究工作,共发表论文 131 篇,促进了小儿体外循环专业的发展,推动了向小年龄、复杂化心脏手术的迈进。

关于成人体外循环的著作较多见,但小儿体外循环专著却少见。小儿不是简单的小成人,小儿出生后各器官逐渐迅速发育,但每个器官的发育速度也不相同。体外循环对发育中的器官会造成较大的侵袭,受侵袭后的反应也与成人的表现不一样,如微血管的渗漏反应就比成人明显。在脑发育与退化两种过程中,体外循环对脑神经的影响结果也不相同。

本书针对小儿器官发育的生理变化与对体外循环转流的影响,如低温、血液稀释、

低流量灌注、停循环等对器官的侵袭反应,尽可能结合小儿器官发育生理阐述转流造成的病理变化,总结多年来上海儿童医学中心的体外循环实践经验,提出有关新生儿、婴幼儿体外循环运作模式,供同道参考。

值得提到的是,近些年来,各国小儿心脏外科学者逐步注意到先心病患儿矫治术后远期生活质量问题。体外循环与远期生活质量也有着十分密切的关系,虽然欲达到体外循环对患儿安全无损尚需时日,但通过实践和研究会不断有所发现、有所认识、有所改进、有所提高。这是发展总趋势,在同道共同努力下将会达到更加理想的目的。

为了尽可能地让读者得到更全面的小儿体外循环灌注经验及更广博的灌注基础知识,我们除了邀请到境内多位灌注专家:北京阜外医院龙村教授,安贞医院龚庆成、董培青教授,301医院李佳春主任,广东省心研所陈伟达主任、章晓华主任,浙江大学儿童医院林茹主任外,还特别邀请到境外知名专家:台湾大学医院柯文哲主任,美国密西西比州立大学医院韩幼奇主任,ITC 临床研究室主任 Zucker 教授,前美国体外循环学会主席 Craig K Vocelka 教授,日本东京女子医科大学医院青木满教授及常德华博士参加编写本书,大大丰富了内容。对他们的大力支持,表示衷心感谢。

小儿先天性心血管外科治疗在我国发展尚不平衡,还处于起步阶段,大多数从事心脏外科工作者对小儿未成熟器官的生理特点缺乏了解,不少单位是按成人体外循环灌注模式减少预充量来施行小儿灌注,因而发现术后并发症多、监护困难。另外,对灌注师教育尚不规范,在培训工作中缺乏教材等。基于此点,我们大胆组织编写本书,以解燃眉之急。由于组织经验有限,存在很多缺点,恳请同道给予指正,并希望能引起同道重视体外循环对发育器官的侵害的影响。

近 10 年来,国内在学习国外小儿体外循环的先进经验,尤其是在婴幼儿体外循环方面有了初步基础。我国体外循环界拥有较多的高学位灌注师,这是国外所不能相比的,能有力地推动研究工作的进展,已经发表了很多有价值的临床总结及基础研究论文。我们深信随着我国小儿先心病外科的快速发展,小儿体外循环技术及理论一定会同步前进,我们的灌注水平一定能走在世界前列。

本专著由上海世界图书出版公司陆琦总编辑、顾泓编辑等编辑班组人员精心编排修改,承上海交通大学医学院附属新华医院和上海儿童医学中心的党政领导高度重视,以及上海儿童医学中心王伟博士组织和参加主校对,使本专著能尽早与读者见面,在此一并致谢。对强瑞春教授倡导上海世界图书出版公司组织撰写小儿心血管外科系列专著深表怀念。

丁文祥 苏肇伉 朱德明 王 伟

2008 年 8 月

目 录

第一章 小儿体外循环发展史	1
第二章 体外循环对机体的影响	5
第一节 体外循环对神经系统的影响	5
一、脑的发育、成熟和生理特点	5
二、先天性心脏病和脑发育	9
三、体外循环对脑的干扰和损害	10
第二节 体外循环对肺的影响	21
一、肺的发育、成熟和生理特点	21
二、先天性心脏病和肺发育	29
三、体外循环对肺的干扰和损害	32
第三节 体外循环对心血管的影响	42
一、心脏的初期发生	42
二、胎儿血液循环及其出生后的变化	43
三、体外循环对心血管的干扰和损害	45
四、心肌缺血中的一些特殊问题	48
第四节 体外循环对肾脏的影响	53
一、肾脏的胚胎发育	53
二、肾脏的功能发育	54
三、先天性心脏病与肾功能	57
四、体外循环对肾脏的干扰和损害	60
五、体外循环期间对肾功能的保护	64
第五节 体外循环对消化系统的影响	65
一、消化系统的发育、成熟及其生理特点	65
二、先天性心脏病和消化系统发育	68

三、体外循环对消化系统的干扰和损害	69
第六节 体外循环对血液系统的影响	74
一、血液系统的发育、成熟及其生理特点	74
二、先天性心脏病血液系统的特点	76
三、体外循环对血液系统的干扰和损害	76
第七节 体外循环对内分泌、代谢和电解质的影响	85
一、内分泌系统的发育、成熟及其生理特点	85
二、体外循环对内分泌系统和代谢的干扰和影响	93
第八节 体外循环对免疫系统的影响	103
一、正常免疫系统	103
二、免疫系统的发育	104
三、体外循环与免疫	106
四、体外循环诱发全身炎症反应综合征的防治	112
第九节 体外循环与全身炎症反应	114
一、全身炎症反应的发生	115
二、体液级联扩大系统在体外循环炎症反应中的作用	116
三、细胞在体外循环炎症反应中的作用	118
四、细胞因子在体外循环炎症反应中的作用	121
五、其他因素在体外循环炎症反应中的作用	123
第三章 体外循环几个基本技术的原理和研究进展	127
第一节 血液稀释和儿童体外循环	127
一、患者的年龄和管道的选择	127
二、预充液	128
三、预充液中的血液	129
四、紫绀型病例的血液稀释	129
五、讨论	130
第二节 温度与体外循环	132
一、体温调节的生理基础	132
二、低温与心脏直视手术	133
三、低温的病理生理学改变	134
四、不同温度条件下的体外循环	137
五、体外循环温度调节治疗在其他领域的应用	145
第三节 儿科患者的抗凝处理	146

一、药理学	147
二、抗凝血的开始阶段	147
三、抗凝监测	148
四、目标时间	149
五、体外循环中抗凝	150
六、肝素中和	150
七、结论	152
第四节 心肌保护技术	154
一、心肌保护策略	155
二、婴幼儿心脏手术中心肌保护的具体措施	161
三、缺血预处理和热休克	165
四、结语	167
第五节 体外循环的脑保护技术	169
一、体外循环预充与脑保护	170
二、深低温体外循环的脑保护	172
三、常温体外循环的脑保护	180
四、搏动灌注与脑保护	181
五、脑保护液	182
六、药物脑保护	184
第六节 肺保护技术	192
一、术后肺功能损伤的各方面表现	192
二、以往对肺功能损伤因素和机制的认识	196
三、肺功能损伤机制的研究与实施	197
四、心脏手术围术期肺功能损伤防治进展	201
五、结语	206
第七节 血液系统保护	209
一、血液系统生理	209
二、体外循环对血液系统的影响	210
三、体外循环的血液保护	212
第八节 消化系统的保护技术	217
一、消化系统的解剖和生理	217
二、体外循环对消化系统的影响	220
第九节 肾脏的保护	228
一、肾脏生理	228

二、早期肾功能检查	230
三、体外循环相关性急性肾功能不全	231
四、体外循环相关性急性肾功能不全的预防	233
五、体外循环相关性急性肾功能不全的治疗原则	234
第十节 减轻全身炎症反应技术	238
一、体外循环技术和材料的改进	238
二、防止和减轻炎症反应药物的应用	241
第十一节 减轻全身应激反应	244
一、概述	245
二、体外循环中的应激反应	249
三、减轻体外循环中的应激反应的方法	253

第四章 体外循环的设备

第一节 概况 体外循环的组成

一、体外循环硬件部分	258
二、体外循环软件部分	258
三、体外循环耗材部分	259

第二节 人工心(血泵)

一、滚柱泵	260
二、离心泵	263
三、轴流泵	269

第三节 人工肺(氧合器)

一、简史	272
二、气体交换和运输生理	273
三、鼓泡式氧合器	275
四、膜式氧合器	277
五、人工肺的综合评估	280
六、鼓泡式氧合器和膜式氧合器的比较	282

第四节 血液过滤器

一、发展史	286
二、微栓的来源	286
三、过滤机制	287
四、多孔滤器结构所用的材料	289
五、微孔滤器阻滞气栓的机制	289

六、动脉端过滤器的排气孔	290
七、过滤和小儿心脏外科	291
第五节 血液变温器和变温水箱	292
一、简史	292
二、原理	292
三、材料与结构及种类	294
四、体外循环与变温	295
五、其他变温装置	297
第六节 贮血器	299
第七节 血液浓缩器和自体血回输机	302
一、血液浓缩器	302
二、自体血回输装置	307
第八节 体外循环管道和接头	312
一、管道材料	312
二、体外循环管道的口径	314
三、体外循环接头	316
第九节 体外循环监测系统	317
一、温度监测	317
二、压力监测	318
三、血气、电解质监测	318
四、血细胞比容监测	319
五、气泡监测	320
六、血平面监测	320
第十节 体外循环中的微机应用	321
一、体外循环设备设计和性能测试	322
二、实时监测和药物控制系统	323
三、智能化转流设备	323
四、数据管理和质量控制	325
第五章 体外循环灌注技术	328
第一节 插管和插管技术	328
一、插管的基本技术	329
二、特殊情况	335
三、总结	339

第二节 预充液及其配制	340
一、预充和血液稀释	340
二、预充液的选择	342
三、预充的实施	346
第三节 体外循环灌注方法	349
一、标准体外循环	349
二、深低温停循环方法	356
三、深低温低流量方法	366
四、深低温停循环与深低温低流量体外循环的交替应用	369
五、体外循环操作程序和注意点	370
六、体外循环用药	376
第四节 特殊体外循环技术	379
一、离心泵与小儿体外循环	379
二、左心转流技术	383
三、体外膜肺氧合技术	385
四、心室辅助技术	394
五、自身转流技术	400
六、超滤技术	404
七、胎儿体外循环进展	411
第六章 体外循环中常见问题和偶见问题及其对策	425
第一节 特殊情况体外循环	425
一、主动脉弓中断手术的体外循环	425
二、二次手术的体外循环	426
三、急症体外循环	426
第二节 体外循环意外及处理	427
一、凝血意外	428
二、仪器设备故障	429
三、药物反应	431
四、操作意外	432
第七章 围体外循环的麻醉处理	437
第一节 术前评估与处理	437
一、术前评估	437