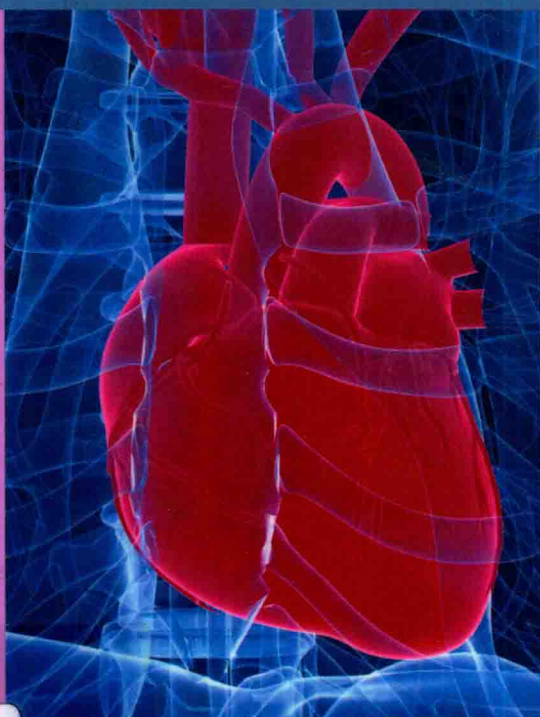


实用心血管麻醉学

A Practical Approach to
Cardiac Anesthesia

第5版



主编 Frederick A. Hensley, Jr.
Donald E. Martin
Glenn P. Gravlee

主译 王 铨 王 晟 黄佳鹏 彭勇刚

主审 黄佳鹏 彭勇刚

实用心血管麻醉学

A Practical Approach to Cardiac Anesthesia

第 5 版

主编 Frederick A. Hensley, Jr.
Donald E. Martin
Glenn P. Gravlee

主译 王 铨 王 晟
黄佳鹏 彭勇刚

主审 黄佳鹏 彭勇刚

人民卫生出版社

Frederick A. Hensley, Jr., etc: A Practical Approach to Cardiac Anesthesia, 5th ed, ISBN: 978-1-4511-3744-6

© 20013 by Lippincott Williams and Wilkins, a Wolters Kluwer business. All rights reserved.

This is a Simplified Chinese translation published by arrangement with Lippincott Williams & Wilkins/Wolters Kluwer Health, Inc., USA

Not for resale outside People's Republic of China (including not for resale in the Special Administrative Region of Hong Kong and Macau, and Taiwan.)

本书限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾)销售。

本书贴有 Wolters Kluwer Health 激光防伪标签,无标签者不得销售。

本书提供了药物的适应证、副作用和剂量疗程,可能根据实际情况进行调整。读者须阅读药品包括盒内的使用说明书,并遵照医嘱使用。本书的作者、编辑、出版者或发行者对因使用本书信息所造成的错误、疏忽或任何后果不承担责任,对出版物的内容不做明示的或隐含的保证。作者、编辑、出版者或发行者对由本书引起的任何人身伤害或财产损害不承担任何责任。

图书在版编目(CIP)数据

实用心血管麻醉学/(美)小弗雷德里克·A. 汉斯莱
(Frederick A. Hensley)主编;王锸等主译. —北京:人民卫生出版社,2017

ISBN 978-7-117-24710-8

I. ①实… II. ①小…②王… III. ①心脏血管疾病-
外科手术-麻醉 IV. ①R654②R614

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 145941 号

人卫智网	www.ipmph.com	医学教育、学术、考试、健康, 购书智慧智能综合服务平台
人卫官网	www.pmph.com	人卫官方资讯发布平台

版权所有,侵权必究!

图字:01-2016-0303

实用心血管麻醉学

主 译:王 锸 王 晟 黄佳鹏 彭勇刚

出版发行:人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址:北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编:100021

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线:010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷:北京顶佳世纪印刷有限公司

经 销:新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:46

字 数:1457 千字

版 次:2017 年 8 月第 1 版 2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号:ISBN 978-7-117-24710-8/R·24711

定 价:280.00 元

打击盗版举报电话:010-59787491 E-mail: WQ@pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

译者名单

中方(按翻译章节先后排序)

中文姓名 (Name in Chinese)	英文姓名 (Name in English)	单位 (Affiliation)
王 愕	Wang E	中南大学湘雅医院
叶晓东	Ye Xiaodong	广东省人民医院
何 毅	He Yi	广东省人民医院
潘韞丹	Pan Yundan	中南大学湘雅医院
叶 治	Ye Zhi	中南大学湘雅医院
郭晓刚	Guo Xiaogang	广东省人民医院
刘 晓	Liu Xiao	中南大学湘雅医院
张 帆	Zhang Fan	中南大学湘雅医院
邹望远	Zou Wangyuan	中南大学湘雅医院
张 重	Zhang Zhong	中南大学湘雅医院
李龙艳	Li Longyan	中南大学湘雅医院
王瑞珂	Wang Ruike	中南大学湘雅医院
段 彬	Duan Bin	中南大学湘雅医院
王 晟	Wang Sheng	广东省人民医院
薛 瑛	Xue Ying	广东省人民医院
柴云飞	Chai Yunfei	广东省人民医院
雷 迁	Lei Qian	广东省人民医院
鲁 超	Lu Chao	广东省人民医院
罗 慧	Luo Hui	中南大学湘雅医院
白念岳	Bai Nianyue	中南大学湘雅医院
谢咏秋	Xie Yongqiu	中南大学湘雅医院
翁莹琪	Weng Yingqi	中南大学湘雅医院
张登文	Zhang Dengwen	广东省人民医院
朱茂恩	Zhu Maoen	中南大学湘雅医院

美方(按翻译章节先后排序)

中文姓名 (Name in Chinese)	英文姓名 (Name in English)	单位 (Affiliation)
高卫东	Weidong Gao, MD, PhD	Associate Professor, Department of Anesthesiology/Critical Care Medicine, The Johns Hopkins University School of Medicine, Baltimore, MD, USA
屈振声	Zhensheng Qu, MD	Assistant Professor of Anesthesia, Massachusetts General Hospital, Harvard University, Boston, MA, USA
刘虹	Hong Liu, MD	Professor of Anesthesiology, Acting Vice Chair, Director of Clinical Anesthesia Research, University of California Davis, Sacramento, CA, USA
汪红	Hong Wang, MD, PhD	Professor and Vice Chair of Clinical Operations, Department of Anesthesiology, West Virginia University, Morgantown, WV, USA
范亮	Liang Fan, MD	Clinical Assistant Professor, University of Buffalo, State University of New York, Buffalo, NY, USA
洪涛	Tao Hong, MD	Associate Professor, Department of Anesthesiology, University of Mississippi, Jackson, MS, USA
黄佳鹏	Jiapeng Huang, MD, PhD	Clinical Professor of Anesthesiology & Perioperative Medicine, University of Louisville, Louisville, KY, USA
刘欣	Xin Liu, MD	Attending Cardiothoracic Anesthesiologist, St. Francis Medical Center, Trenton, NJ, USA
潘伟	Wei Pan, MD	Associate Professor, Director of Research, Division of Cardiovascular Anesthesiology, Texas Heart Institute at CHI Baylor St. Luke's Medical Center, Houston, Texas, USA
彭勇刚	Yonggang Peng, MD, PhD	Professor of Anesthesiology, Chief, Cardiothoracic Anesthesia, University of Florida, College of Medicine, Gainesville, FL, USA
杨钊	Zhao Yang, MD, PhD	Attending Cardiothoracic Anesthesiologist, Fairfax Anesthesiology Associates, Falls Church, VA, USA
唐越	Yue Tang, MD	Attending Cardiothoracic Anesthesiologist, Mercey General Hospital, Sacramento, CA, USA
刘恒意	Henry Liu, MD, PhD	Professor and Vice Chair, Department of Anesthesiology Drexel University College of Medicine Philadelphia, Pennsylvania
周少凤	Shaofeng Zhou, MD	Associate Professor, Cardiovascular and Thoracic Anesthesia, Department of Anesthesiology, University of Texas Medical School at Houston, Houston, TX, USA
张勤	Qin Zhang, MD	Attending Cardiothoracic Anesthesiologist, Allegheny General Hospital, Pittsburgh, PA, USA

作者名单

Percy Boateng, MD
Assistant Professor
Department of CT Surgery
Drexel University College of Medicine
Attending Surgeon
Department of CT Surgery
Hahnemann Hospital
Philadelphia, Pennsylvania

John F. Butterworth, IV, MD
Professor and Chairman
Department of Anesthesiology
Virginia Commonwealth University
Virginia Commonwealth University Health System
Richmond, Virginia

Charles E. Chambers, MD
Professor of Medicine & Radiology
Penn State University
Director
Cardiac Catheterization Laboratory
Heart & Vascular Institute
Hershey Medical Center
Hershey, Pennsylvania

Joseph C. Cleveland, Jr., MD
Professor of Surgery
Surgical Director, Cardiac Transplantation and MCS
University of Colorado Anschutz Medical Center
Aurora, Colorado

Charles D. Collard, MD, MS
Professor and Vice Chairman
Department of Anesthesiology
Baylor College of Medicine
Anesthesiologist in Chief
Department of Anesthesiology
Texas Heart Institute
St. Luke's Episcopal Hospital
Houston, Texas

John R. Cooper, Jr., MD
Professor
Department of Anesthesiology
Baylor College of Medicine
Attending Anesthesiologist
Department of Cardiovascular Anesthesia
Texas Heart Institute
St. Luke's Episcopal Hospital
Houston, Texas

Jack H. Crawford MD, PhD
Assistant Professor
Department of Anesthesiology
University of Alabama at Birmingham
Birmingham, Alabama

Laurie K. Davies, MD
Associate Professor
Department of Anesthesiology & Surgery
University of Florida
Gainesville, Florida

Kishan Dwarakanath, MD
Assistant Professor
Department of Anesthesiology
Baylor College of Medicine
Attending Anesthesiologist
Cardiovascular Anesthesia
Texas Heart Institute
St. Luke's Episcopal Hospital
Houston, Texas

John W.C. Entwistle, III, MD, PhD
Associate Professor
Department of Cardiothoracic Surgery
Drexel University College of Medicine
Director of Heart Transplantation
Department of Cardiothoracic Surgery
Hahnemann University Hospital
Philadelphia, Pennsylvania

Amanda A. Fox, MD, MPH
Assistant Professor
Department of Anesthesiology
Harvard Medical School
Attending Anesthesiologist
Department of Anesthesiology
Perioperative & Pain Medicine
Brigham and Women's Hospital
Boston, Massachusetts

Thomas E.J. Gayeski, MD, PhD
Professor of Anesthesiology
Director of Cardiac Anesthesiology
Department of Anesthesiology
University of Alabama at Birmingham
Birmingham, Alabama

Mark A. Gerhardt, MD, PhD
Associate Professor
Department of Anesthesiology
The Ohio State University
The Ohio State University Medical Center
Columbus, Ohio

Joseph N. Ghansah

Neville M. Gibbs, MD, FANZCA
Clinical Professor
School of Medicine and Pharmacology
University of Western Australia
Head
Department of Anaesthesia
Sir Charles Gairdner Hospital
Nedlands, Australia

Glenn P. Gravlee, MD
Professor
Department of Anesthesiology
University of Colorado at Denver
and Health Sciences Center
Denver, Colorado

Michael S. Green, DO
Assistant Professor
Department of Anesthesiology
Drexel University College of Medicine
Program Director
Department of Anesthesiology
Hahnemann University Hospital
Philadelphia, Pennsylvania

Robert C. Groom, MS, CCP
Associate Vice President
Cardiac Services
Maine Medical Center
Portland, Maine

Ronald L. Harter, MD
Professor and Chair
Department of Anesthesiology
Wexner Medical Center at The Ohio State University
Columbus, Ohio

Eugene A. Hessel, II, MD
Professor
Department of Anesthesiology
University of Kentucky College of Medicine
Staff Anesthesiologist
Department of Anesthesiology
A.B. Chandler/University of Kentucky Medical Center
Lexington, Kentucky

Jay C. Horrow, MD, MS
Professor
Department of Anesthesiology & Perioperative Medicine
Drexel University College of Medicine
Hahnemann University Hospital
Philadelphia, Pennsylvania

Michael B. Howie, MD
Professor
Department of Anesthesiology
The Ohio State University
Columbus, Ohio

S. Adil Husain, MD
Associate Professor
Department of CT Surgery
Chief
Division of Pediatric CT Surgery
The University of Texas Health Sciences Center
Chairman
Department of Surgery
Christus Santa Rosa Children's Hospital
San Antonio, Texas

James Y. Kim, MD
Chief Fellow
Department of Anesthesiology
Emory University School of Medicine
Emory University Hospital
Atlanta, Georgia

Colleen G. Koch, MD, MS, MBA
Professor of Anesthesiology
Cleveland Clinic Lerner College of Medicine
Case Western Reserve University
Vice Chair
Research and Education
Department of Cardiothoracic Anesthesia
Cardiothoracic Anesthesia and Quality and Patient
Safety Institute
Cleveland Clinic
Cleveland, Ohio

David R. Larach, MD, PhD
Chief (Retired)
Division of Cardiac Anesthesiology
The Heart Institute
St. Joseph Medical Center
Towson, Maryland

Michael G. Licina, MD
Vice Chair of Operations
Department of Cardiothoracic Anesthesia
Cleveland Clinic
Cleveland, Ohio

Jerry C. Luck, Jr., MD
Clinical Professor of Medicine
Penn State Hershey Medical Center
Cardiologist Cardiac Consultants, P.C.
Lancaster, Pennsylvania

S. Nini Malayaman, MD
Assistant Professor
Department of Anesthesiology
Drexel University College of Medicine
Attending Anesthesiologist
Department of Anesthesiology
Hahnemann University Hospital
Philadelphia, Pennsylvania

Donald E. Martin, MD
Professor of Anesthesiology
Associate Dean for Administration
Penn State University College of Medicine
Penn State Hershey Medical Center
Hershey, Pennsylvania

Thomas M. McLoughlin, Jr., MD
Professor of Surgery
Division of Surgical Anesthesiology
University of South Florida College of Medicine
Tampa, Florida
Chair
Department of Anesthesiology
Lehigh Valley Health Network
Allentown, Pennsylvania

Anand R. Mehta, MBBS
Medical College of Georgia
Department of Anesthesiology & Perioperative Medicine
Augusta, Georgia

Benjamin N. Morris, MD
Assistant Professor
Department of Anesthesiology
Wake Forest University
Winston-Salem, North Carolina

John M. Murkin, MD, FRCPC
Senate Professor of Anesthesiology
Department of Anesthesiology and Perioperative
Medicine
Schulich School of Medicine
The University of Western Ontario
Director
Cardiac Anesthesiology Research
Department of Anesthesiology and Perioperative
Medicine
University Hospital
London Health Sciences Center, London
Ontario, Canada

Glenn S. Murphy, MD
Clinical Associate Professor
Department of Anesthesiology
Pritzker School of Medicine
University of Chicago
Chicago, Illinois
Director
Cardiac Anesthesia
Department of Anesthesiology
North Shore University Health System
Evanston, Illinois

Gary S. Okum, MD
Associate Professor
Department of Anesthesiology and Surgery
Drexel University College of Medicine
Attending Physician
Department of Anesthesiology
Hahnemann University Hospital
Philadelphia, Pennsylvania

Ferenc Puskas, MD, PhD
Associate Professor
Department of Anesthesiology
University of Colorado Denver
Aurora, Colorado

James G. Ramsay, MD
Professor
Department of Anesthesiology
Emory University School of Medicine
Medical Director, CV ICU
Emory University Hospital
Atlanta, Georgia

Mark E. Romanoff, MD
Staff Anesthesiologist
American Anesthesiology
Carolinas Medical Center
Charlotte, North Carolina

Anne L. Rother, MBBS, FANZCA
Staff Anesthesiologist
Department of Anesthesia
Monash Medical Centre
Clayton, Australia

Roger L. Royster, MD
Professor
Department of Anesthesiology
Wake Forest University
Executive Vice Chair
Department of Anesthesiology
Wake Forest Baptist Medical Center
Winston-Salem, North Carolina

Soraya M. Samii, MD
Associate Professor
Department of Medicine
Clinical Electrophysiology
Department of Cardiology
Penn State Hershey
Hershey, Pennsylvania

Jack S. Shanewise, MD
 Professor of Clinical Anesthesiology
 Department of Anesthesiology
 Columbia University
 Director
 Division of Cardiothoracic Anesthesiology
 Department of Anesthesiology
 Columbia University Medical Center
 New York, New York

Michael L. Shelton, MD
 Cardiothoracic Anesthesiology Fellow
 Department of Anesthesiology
 University of Alabama
 Birmingham, Alabama

Linda Shore-Lesserson, MD
 Division of Anesthesiology
 Montefiore Medical Center
 Bronx, New York

Peter Slinger, MD, FRCPC
 Professor
 Department of Anesthesia
 University of Toronto
 Staff Anesthesiologist
 Department of Anesthesia
 Toronto General Hospital
 Toronto, Ontario

Mark Stafford-Smith, MD
 Professor
 Department of Anesthesiology
 Duke University
 Attending Anesthesiologist
 Department of Anesthesiology
 Duke University Medical Center
 Durham, North Carolina

Brad L. Steenwyk, MD
 Associate Professor of Anesthesiology
 University of Alabama at Birmingham School of Medicine
 Birmingham, Alabama

Erin A. Sullivan, MD
 Associate Professor of Anesthesiology, Director
 Division of Cardiothoracic Anesthesiology
 University of Pittsburgh
 Physician
 Department of Anesthesiology
 University of Pittsburgh Medical Center
 Pittsburgh, Pennsylvania

Breandan Sullivan, MD
 Assistant Professor
 Department of Anesthesiology
 Section on Critical Care Medicine
 University of Colorado School of Medicine
 Aurora, Colorado

Benjamin C. Sun, MD
 Chair, Cardiac, Thoracic and Transplant Surgery
 Minneapolis Heart Institute
 Allina Health Systems
 Minneapolis, Minnesota

Matthew M. Townsley, MD
 Assistant Professor
 Department of Anesthesiology
 University of Alabama
 Birmingham School of Medicine
 Attending Anesthesiologist
 Department of Anesthesiology
 UAB Hospital
 Birmingham, Alabama

Michael H. Wall, MD, FCCM
 Professor of Anesthesiology and Cardiothoracic Surgery
 Department of Anesthesiology
 Washington University in St. Louis
 Clinical Chief of Anesthesiology
 Department of Anesthesiology
 Barnes-Jewish Hospital
 St. Louis, Missouri

Katarzyna M. Walosik-Arenall, MD
 Cardiothoracic Anesthesia Fellow
 Department of Anesthesiology
 University of Alabama
 Birmingham, Alabama

Andrew S. Wechsler, MD, BA
 Stanley K. Brockman Professor and Chairman
 Department of Cardiothoracic Surgery
 Drexel University College of Medicine
 Philadelphia, Pennsylvania

Nathael S. Weitzel, MD
 Assistant Professor
 Department of Anesthesiology
 University of Colorado
 Denver, Colorado
 Anesthesiologist
 University of Colorado Hospital
 Aurora, Colorado

序

心血管系统病变是临床麻醉中影响患者安全的重要因素,而针对心血管疾病所实施的心血管手术麻醉在麻醉学科中是较为复杂和有其特殊性的亚专科。近年来,随着心血管外科微创介入技术及新型术式的发展,心血管麻醉在可视化影像技术、血流动力学监测手段、药理学进展,以及各种脏器保护方法的改进都推动着麻醉学科的发展。中国罹患心血管疾病的人群巨大,需要接受心血管外科手术治疗的近千万。复杂的心血管外科手术对于心血管麻醉提出了更高要求以保障患者的围术期安全和术后顺利康复。一本实用、严谨、系统的临床心血管麻醉实践方面的指导用书对于我国心血管麻醉学科的规范化、标准化培训和循证理念的提高具有重要意义。

《实用心血管麻醉学》(*A Practical Approach to Cardiac Anesthesia*)一书是美国麻醉医生尤其是心血管麻醉专科领域使用最广泛的教材。以黄佳鹏教授和彭勇刚教授为主审的美国华人心血管麻醉专家团队,受人民卫生出版社委托,联合中南大学湘雅医院王锬教授和广东省人民医院王晟教授等一批具有丰富实践经验并在国内临床一线工作多年的新生代心血管麻醉医生,共同翻译了该书第5版。该书通过中美心血管麻醉学者团队的共同努力,即体现了美国华人心血管麻醉医生对原著的充分理解,又尊重了国内心血管麻醉医生对于语言阅读的习惯,精益求精,信息互补,反复推敲,是中美麻醉医生完美团队合作的典范。本译著真实地呈现了美国心血管麻醉专业教科书的精髓,为读者全面系统掌握心血管麻醉理论知识提供很好的专业工具,也为指导国内临床一线的麻醉,外科和体外循环医生开展心血管麻醉工作,保障心血管患者的围术期安全,改善术后生活质量,提供了有重要价值的参考资料。

当前,麻醉学正在向围术期医学变革,麻醉学科面临着新的机遇和挑战。相信本译著的出版将有助于规范培训临床心血管麻醉医生,坚持循证医学的科学理念,保障围术期的麻醉质量与安全,着力于改善患者的预后和远期转归,提高心血管麻醉及围术期管理水平。

我谨代表中华医学会麻醉学分会感谢译者团队的辛勤劳动!

熊利泽

中华医学会麻醉学分会主任委员

2016年10月于西安

目录

第一篇 心血管生理学和药理学

第1章 心血管生理学:入门	1
第2章 心血管药物	22

第二篇 心脏手术的麻醉管理

第3章 心脏手术患者	89
第4章 心脏手术患者的监测	114
第5章 经食管超声心动图	149
第6章 麻醉诱导	169
第7章 体外循环前的麻醉处理	180
第8章 体外循环期间的麻醉处理	201
第9章 体外循环后阶段:从脱机到 ICU 转运	220
第10章 心脏手术患者的术后管理	245

第三篇 特定心脏疾病的麻醉管理

第11章 心肌再血管化的麻醉管理	269
第12章 心脏瓣膜病外科治疗的麻醉管理	291
第13章 体外循环或非体外循环心脏手术的替代术式	328
第14章 小儿先天性心脏病的麻醉管理	354
第15章 成人先天性心脏病的麻醉管理	412
第16章 心脏移植手术的麻醉管理	439
第17章 心律失常、起搏器/除颤器装置以及导管和外科消融方法	461
第18章 输血	485
第19章 体外循环期间和之后的凝血功能管理	498
第20章 心包疾病患者的麻醉管理	519

第四篇 辅助循环

第21章 体外循环:设备、环路和病理生理	533
第22章 心脏支持及替换装置	571
第23章 术中心肌保护	587
第24章 心脏手术中的脑保护	603

第五篇 胸部麻醉和疼痛管理

第25章 胸主动脉瘤和夹层的麻醉管理	627
第26章 肺和纵隔手术的麻醉管理	662
第27章 心胸外科手术的疼痛管理	704
索引	717

第一篇 心血管生理学和药理学

第1章 心血管生理学:入门

原著:Thomas E. J. Gayeski, Brad L. Steenwyk, Jack H. Crawford

翻译:叶晓东 高卫东

I. 心脏的胚胎发育 2	F. Starling 曲线 8
II. 电传导 2	G. 心肌耗氧量 8
III. 心肌细胞 4	VII. 控制系统 9
A. 肌节 4	VIII. 心血管系统的组成 10
IV. 心肌细胞的组织化 4	IX. 牵张感受器:血压感受器 11
V. 长度-张力关系 4	X. 心房压力感受器 12
A. 设想这样一个思维实验 4	XI. 动脉压力感受器 13
B. 顺应性 5	XII. 效应器和生理储备 14
C. 收缩力 5	XIII. 心血管系统整合 16
D. 细胞内钙离子浓度 5	XIV. 麻醉医生及药理学对心血管系统的影响 17
E. 耗氧量 6	A. 手术患者 17
VI. 心腔和外功 6	B. 麻醉抉择 17
A. 心腔壁 6	C. 治疗病因 18
B. 心房 6	XV. 临床案例 18
C. 心室 6	A. 胃肠道手术:特殊案例? 18
D. 前负荷和顺应性 6	XVI. 液体管理的重要性:两个案例 18
E. 心室做功 7	

要点

1. 心脏有一个纤维骨架,为每一个瓣膜环提供一个插入点。该纤维结构还负责连接心肌细胞,使得“牵拉”或前负荷可引起肌节延长而非细胞间的滑动。
2. 在收缩期,收缩性能随着心肌胞质钙离子浓度的改变而改变。
3. 收缩后的舒张是一个主动过程,需要消耗 ATP 来将钙离子泵入肌浆网和泵出心肌细胞膜外。
4. 产生张力的基础单位是肌节。
5. 心内膜只在收缩期接受灌注,而心外膜在整个心动周期接受灌注。因此,心室壁更易发生心内膜梗阻。
6. 心室做的每搏输出量外功是为了将每搏输出量的压力从心室舒张末期压力(右或左)提高到平均动脉压(分别为肺循环或体循环)。
7. 氧或 ATP 消耗发生在肌动蛋白-肌球蛋白结合体的解体过程中。心肌耗氧量的主要决定因素为心率、收缩性能和心室壁张力。
8. 心血管系统调节血压,它是负反馈调节系统的典型例子。心血管系统遍布牵张感受器。
9. 生理储备是允许心血管系统维持血压的所有扩展机制。这些储备主要是心率(3 倍范围)、收缩性能、体循环血管阻力(15 倍范围)和外周静脉容量(约 1.5 倍范围)。
10. 利用外周静脉容量储备并不会影响心肌耗氧量。

生理学基础知识应用于心脏麻醉学,本章以简洁为特色,并充满选择性(或各方观点)!心脏解剖学、生理学、病理学和基因组学经历了数十年变化,并且还在持续发展,著作累累。我们只着重于展现那些对于术中临床管理重要的生理学要点。对于心脏生理学详细的描述和讨论可在本章参考文献1中找到。如果能够熟记并正确应用这些生理概念,患者将从风险矫正中受益。如能充分理解,你可将它们应用到术中的动态病理学中,并且这也将为你奠定成为心脏麻醉学专科医师的生理学基础。

I. 心脏的胚胎发育

- A. 心血管系统在胚胎第3周时开始发育,起源于中胚层的内皮细胞管形成了原始血管系统。最终在胚胎第4周,来源于成对心内心管的双侧生心索融合成一根单心管(原始心)。该次融合产生了前向血流,并且也是心脏传送功能的起始点。
- B. 原始心进而发展成四个腔室:心球、心室、原始心房和静脉窦,最终形成球室襻并且在胚胎21~22天时开始有收缩,使得在第4周产生单向血流。
- C. 从第4周到第7周心脏的发育进入一个关键期,开始分裂形成四腔心,这也是胎儿循环的基础。
- D. 心脏的构架是一个由纤维蛋白和弹性蛋白组成的纤维骨架,形成包绕四片瓣膜的四个环以及心肌细胞间的连接。
- E. 纤维骨架:
 1. 可以作为瓣叶插入的锚点
 2. 可以预防瓣环的过度膨大(预防关闭不全)
 3. 为心室的肌束提供固定的插入点
 4. 在心室充盈和收缩过程中将心肌细胞间滑动最小化

II. 电传导

- A. 通过阻断心房心肌细胞间的冲动传导,纤维骨架阻断了从心房到心室的直接电传导。
- B. 由于心房心肌细胞到心室心肌细胞的传导被阻断,由房室结/浦肯野系统促成心房和心室之间的协同收缩。
- C. 兴奋-收缩耦合
 1. 浦肯野纤维的动作电位引起一个心肌细胞的协同收缩。动作电位可分为五个阶段,包含了钠、钾及钙离子整合又复杂的传导和离子流动变化。
 2. 兴奋-收缩耦合始发于动作电位通过钙离子通道(兰尼碱受体通道)促使钙离子跨心肌细胞膜。心肌细胞上横小管系统显著增加了细胞外的钙离子流入的表面积,缩短跨膜离子流的时间。同时,肌质网池确保心肌细胞胞浆内钙离子浓度迅速增加(图1.1)。

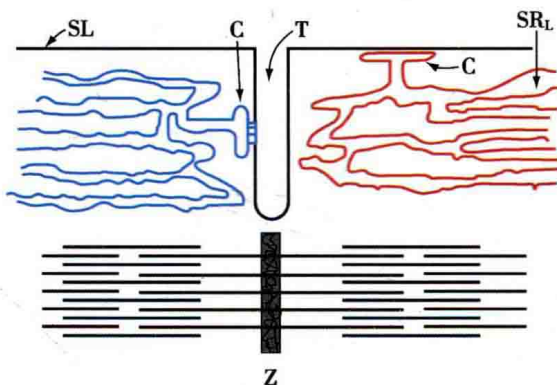


图1.1 心肌细胞肌浆内质网和表面膜以及肌纤维的关系。SR_L和C在肌丝的上层;为了方便阐述而分开陈列。SL,心肌细胞膜;C,池;T,横小管;SR_L,纵行肌浆内质网;Z,Z盘

3. 跨过心肌细胞膜流入的钙离子数量仅仅为收缩所需钙离子数量的1%。但是,这些钙离子可促使肌质网释放足量的钙离子而满足张力产生的要求。
4. 肌质网是一个复杂的细胞器,负责每次心跳钙离子的高效循环。从外部跨过心肌细胞膜流入的钙离子可以促使肌质网分级释放钙离子。从释放到收缩,细胞内钙离子浓度发生大约100倍的变化。
5. 肌质网内三种非常重要的蛋白质负责钙离子的流通:钙离子释放通道、肌浆网ATP酶(SERCA-2)和SERCA-2调节蛋白(受磷蛋白)。受磷蛋白内部改变现在是研究热点,可能在心衰和心肌病的发展中起到重要作用(MacLennan, Nature Reviews Molecular Cell Biology 4,566-577 [July 2003])。
6. 钙离子的分级释放,由跨膜钙离子流信号传导、肌质网池强化,依赖于肌质网储存的钙离子、交感张力(心肌细胞膜钙离子传导)以及细胞外钙离子。钙离子储存增加导致释放增加,从而在一定肌节长度下产生更大的张力,即更强的收缩性能。
7. 任何通过药物引起的收缩性能增强都是收缩期肌浆钙离子浓度增加的结果! 钙离子结合肌钙蛋白,引起原肌球蛋白的构象变化,使得肌动蛋白和肌球蛋白相互作用,引起肌节缩短(图1.2)。

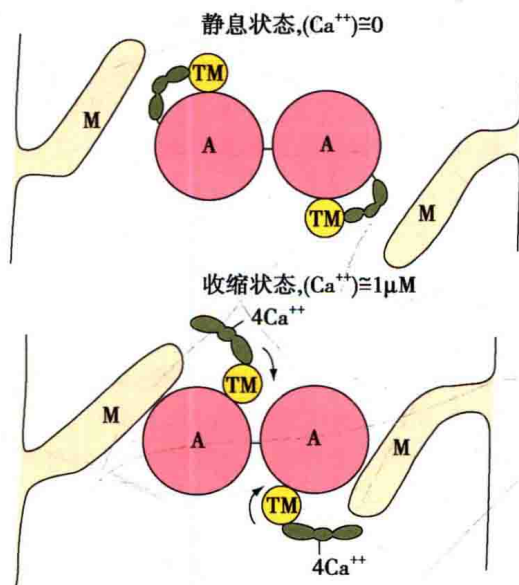


图 1.2 图解肌动蛋白-肌球蛋白依赖于钙离子-肌钙蛋白结合而产生张力。A, 肌动蛋白; M, 肌球蛋白; TM, 原肌球蛋白 (From Honig C. Modern Cardiovascular Physiology. Boston/Toronto: Little, Brown and Company; 1981)

8. 与其相似,收缩性能减弱是收缩期和肌钙蛋白结合的钙离子数量降低的结果。原因是由于收缩期肌浆钙离子浓度降低或和肌钙蛋白结合的钙离子减少。肌浆钙离子浓度受到吸入麻醉剂和诱导药物的影响。钙离子和肌钙蛋白亲和力降低的常见临床原因是细胞内酸中毒。
9. 最后,为了让收缩终止,钙离子必须被移除出肌浆,钙离子被主动泵入肌质网或通过心肌细胞膜而泵出。取决于各自位点钙离子的传导性,肌质网内的钙离子浓度会相应升高或降低。

III. 心肌细胞

A. 肌节

1. 产生张力的基本单位是肌节。肌节由肌球蛋白、原肌球蛋白-肌动蛋白-肌钙蛋白复合体和 Z 盘组成。
2. 每一个肌动蛋白分子包含一个肌球蛋白结合位点以及原肌球蛋白-肌钙蛋白链结合位点。两个肌动蛋白分子链相互缠绕形成肌动蛋白聚合体。原肌球蛋白-肌钙蛋白复合体在凹槽中和肌动蛋白聚合体链结合,形成细肌丝,长约 $2\mu\text{m}$ 。
3. Z 盘将细肌丝以一种规范模式固定,如下图所示。这是一个由坚固的丝网形成的条带,锁定相互交织的细肌丝。
4. 肌球蛋白分子自发地聚集形成粗肌丝,长约 $1.6\mu\text{m}$ 。粗肌丝被 M 肌丝在适当的位置固定住,并与细肌丝相交织。每一条粗肌丝的中央是一块不含肌球蛋白头的区域,这也解释了为什么肌节过度牵张可引起张力减低。每一个肌球蛋白头都含有 ATP 酶和肌动蛋白结合位点。
5. 肌钙蛋白、原肌球蛋白和钙离子的结合共同作为调节蛋白,促使肌动蛋白和肌球蛋白相互作用而导致肌节缩短。
6. 每一次肌动蛋白暴露于肌球蛋白都引起肌节的缩短。为了达到多条肌节缩短,肌动蛋白-肌球蛋白的结合是非耦合的。消耗 ATP 是发生在舒张期,因为 ATP 酶是结合在肌球蛋白上的。该能量依赖步骤消耗氧气,在整个心动周期中发生多次。
7. 依赖于前负荷,肌节的长度或 Z 盘之间的距离为 $1.8 \sim 2.2\mu\text{m}$ 。

IV. 心肌细胞的组织化

- A. 一个心肌细胞大约长 $12\mu\text{m}$ 。因此,每个心肌细胞只有几个(约 6 个)首尾相连的肌节。
- B. 正如胚胎学中所提到的,胶原纤维将心肌细胞相互连接起来。这些胶原纤维将相邻的心肌细胞连接起来,将每个心肌细胞的收缩集成整个心室的协调收缩。
- C. 该胶原纤维结构同时也限制心肌细胞的过度牵张,从而减少毁坏心肌细胞的风险,限制由于过度牵张而引起的肌动蛋白-肌球蛋白的暴露[1, p. 9]。
- D. 格外复杂的一点是,从心外膜到心内膜,心肌细胞的纵向对齐是分层的,因此,每一层的缩短导致层与层间的扭曲。
- E. 扭曲导致了起源于表面血管的为内层心肌供血的穿支动脉的部分闭塞。
- F. 从而,心内膜相比于心外膜更容易发生缺血,因为心内膜的血供主要在收缩期而心外膜的血供贯穿整个心动周期。

V. 长度-张力关系

- A. 设想这样一个思维实验。假设有一个理想的单个心肌细胞, $12\mu\text{m}$ 长,共含有 6 个首尾相连的肌节。所有 Z 盘间的距离(肌节长度)相等($12\mu\text{m} = 6 \times 2\mu\text{m}$)。随着心肌细胞长度改变,每个肌节的长度也成比例地改变。现将该个心肌细胞悬挂起来,用测力仪来测量心肌细胞在静息和收缩时候产生的张力。
 1. 该假设的理想心肌细胞被固定在两个点间牵张。
 2. 测量肌肉静息时和收缩时产生的张力。
 3. 静息时肌肉被拉长(牵张)幅度为 $10.8 \sim 16.2\mu\text{m}$ 。结果是,在收缩时,肌节长度在 $1.8 \sim 2.7\mu\text{m}$ 之间改变。
 4. 在每一个肌节长度,有两个固定的肌浆钙离子浓度:零(静息时)和一个已知值(收缩期)。
 5. 测量对应于这两个钙离子浓度时的心肌细胞张力。
 6. 描绘静息时张力与长度的关系,就勾画出长度-张力曲线。

7. 记录心肌细胞长度和峰张力的函数关系,便描绘出在某固定钙离子浓度下的长度-张力曲线,如图 1.3 所示。

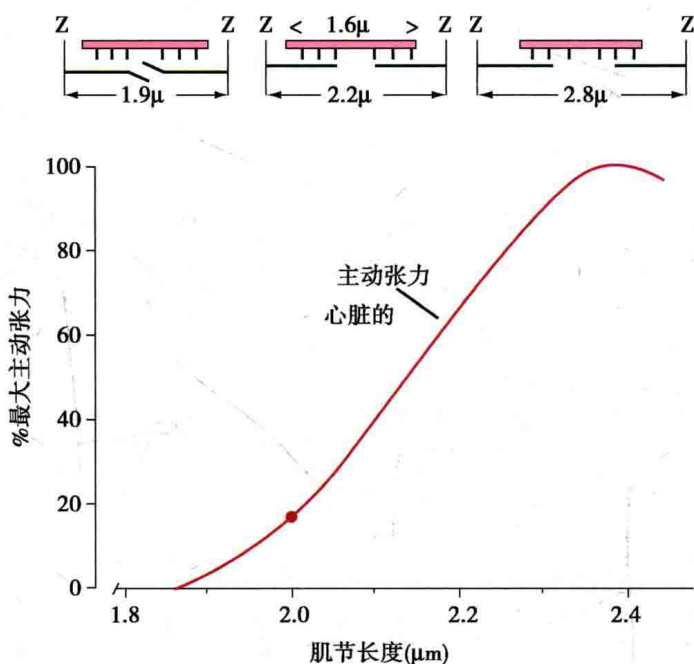


图 1.3 最上三张示意图分别代表了在 1.9、2.2 和 2.8 μm 三种不同肌节长度下肌动蛋白(穿透 Z 盘的粗肌丝)和肌球蛋白(在 Z 盘间形成束的细肌丝)。底下表代表了不同心肌条肌节长度所对应的最大张力的百分比。注意心肌纤维骨架抑制了肌节牵张至 2.8 μm(修改自 Honig C. *Modern Cardiovascular Physiology*. Boston/Toronto: Little, Brown and Company; 1981)

B. 顺应性

1. 在我们的理想心肌细胞模型中,将肌节牵长到 1.9 ~ 2.6 μm 需要一定量的张力。如果我们描绘这种肌节被动拉长而产生的被动张力,只需要微乎其微的被动张力即可牵拉肌节直至其达到大约 2.2 μm。当肌节牵长至超过 2.2 μm 时,纤维骨架限制了肌节被进一步的拉长,从而导致压力急速变化而容量却改变轻微(顺应性非常低)。
2. 这种静息状态下长度和张力之间的关系等同于如下要讨论的心室的顺应性。

C. 收缩力

1. 在一定的钙离子浓度下,一定比例的肌钙蛋白分子会和钙离子结合。
2. 钙离子和每一个肌钙蛋白结合导致相应地一个原肌球蛋白构象的变化,促使一个肌动蛋白和一个肌球蛋白上的两个相反指向并且受原肌球蛋白分子调节的头部相互接触。
3. 除了这个构象变化之外,肌动蛋白和肌球蛋白上的两个相反指向的头部(相互接触)的比例还取决于肌节的长度。
4. 如果以不同的钙离子浓度重复上述实验,将会得到一条新的长度-张力曲线。
5. 在一定范围内的钙离子浓度下,一个心肌细胞将会有一系列的长度-张力曲线。
6. 只有收缩期肌浆钙离子浓度发生改变才能引起收缩性能的改变。

D. 细胞内钙离子浓度

1. 收缩时肌浆钙离子浓度取决于收缩初始跨过心肌细胞膜的钙离子流动和由肌质网释放的钙离子。

2. 通过心肌细胞膜而流入的钙离子仅仅为收缩时钙离子的1%。但是,这1%钙的变化也能引起肌质网释放钙离子的变化。
3. 肌质网的反应是分级的。通过心肌细胞膜流入的钙离子越多,肌质网释放的钙离子也就越多。
4. 提高心肌细胞膜钙离子流入量的例子:包括提高肾上腺素水平和提高细胞外钙离子浓度(如注射 CaCl_2)。
5. 增加跨心肌细胞膜流入的钙离子以及心率,可增加肌质网钙离子贮备量。

E. 耗氧量

1. 肌动蛋白和肌球蛋白的每次相互作用导致肌节亚微米级别的缩短。为了肌节能够缩短15%,需要很多肌动蛋白-肌球蛋白的相互作用。
2. 因此,肌节缩短需要肌动蛋白-肌球蛋白复合体的重复相互作用。
3. 每一次相互作用都需要消耗ATP来释放肌动蛋白-肌球蛋白头,这个肌动蛋白-肌球蛋白解体过程需要消耗能量和氧气。
4. 记住:单位时间内越多的肌动蛋白-肌球蛋白循环结合,耗氧量越大。

VI. 心腔和外功

A. 心腔壁

1. 单独的心肌细胞通过胶原纤维蛋白束连接起来而形成心室。这种心肌细胞的连接是沿着一个特定的方向而非首尾相连,使得一层肌肉上的心肌细胞朝向相似的轴。
2. 数个如此的肌肉层形成了心室壁,这些肌肉层附着在瓣环上。
3. 由于信号电传导通过浦肯野系统,这些肌肉层同步收缩,致使肌肉层的缩短和心腔容量的减小。

B. 心房

1. 在一个正常的心脏,心房收缩大约贡献了20%的心室充盈量,当左心室舒张末期压力升高时可贡献更多。除去充盈量本身,心房收缩引起的快速心室容量增加也可能在心室肌节延长中起到重要作用。

C. 心室

1. 对于给定的收缩性能(肌浆钙离子浓度)而言,肌节长度决定了心室可达到的张力。肌肉层心肌细胞中的肌节一起缩短产生的张力致使血液喷射进入主动脉和肺动脉。
2. 肌节活跃在 $1.9 \sim 2.2\mu\text{m}$ 范围内或在自身长度的15%以内。在心室空腔是,肌节长度低于 $1.8\mu\text{m}$ 时,一个空腔的心室不能泵血。胶原纤维网络结构限制肌节的牵张不超过 $2.2\mu\text{m}$ 。该结构和功能的整合对于生存至关重要。如果没有纤维骨架,过度牵张可导致心脏排空能力减弱,从而进一步加剧过度牵张,最终无心排出量。

D. 前负荷和顺应性

1. 前负荷
 - a. 临床医生说的前负荷就是肌肉生理学家所说的肌节长度。临床医生用舒张末期心室容量而非心室压力代表肌节初始长度。
 - b. 如上所述,在给定肌浆钙离子浓度的情况下,肌节长度决定了在那一刻肌动蛋白-肌球蛋白头部相互作用的数量。
 - c. 临床上测量肌节长度几乎是不可能的。临床上可以测量心腔舒张期的腔内压作为一种间接估测肌节长度的代表方法,测量腔内压力就如上述的测量心肌细胞张力。
 - d. 另一种更为直接的估测肌节长度的代表方法是测量心腔容量。由于心动超声技术的普及,直接估测前负荷等同于估测心室容量,摒弃了用心室压来估测前负荷时对于顺应性的考虑。
 - e. 描绘心腔压力和容量的关系将得到一条类似于静息时的心肌细胞长度-张力关系的