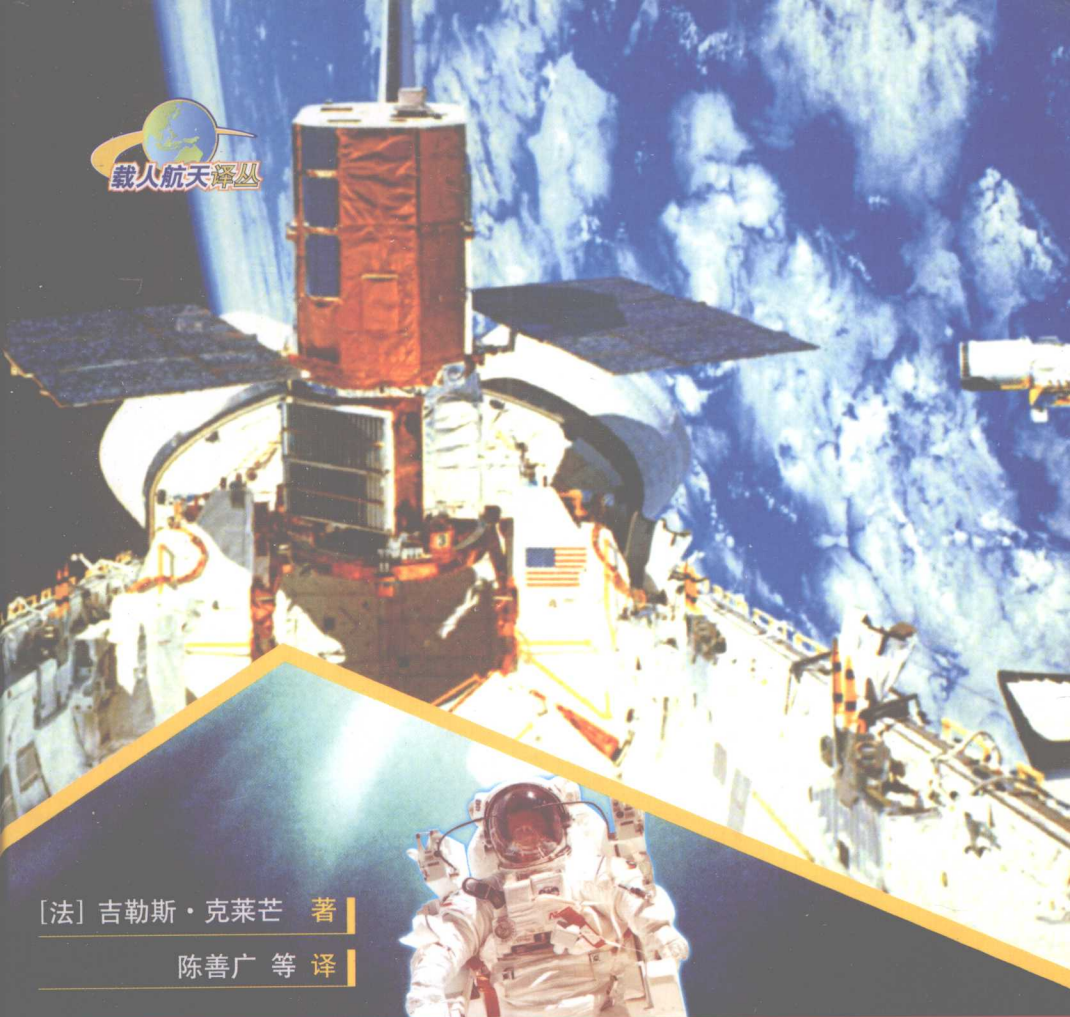




[法] 吉勒斯·克莱芒 著

陈善广 等 译

航天医学基础

FUNDAMENTALS OF SPACE MEDICINE



中国宇航出版社

载人航天译丛

航天医学基础

FUNDAMENTALS OF SPACE MEDICINE

[法] 吉勒斯·克莱芒 著
陈善广 等 译



中国宇航出版社

· 北京 ·

Translation from the English language edition:
Fundamentals of Space Medicine. Edited by G. Clément
Copyright © 2004 Kluwer Academic Publishers, The Netherlands
as a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved

本书中文简体字版由著作权人授权中国宇航出版社独家出版发行,未经出版者书面许可,不得以任何方式抄袭、复制或节录本书中的任何部分。

著作权合同登记号:图字:01-2007-1616号

版权所有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

航天医学基础/[法]克莱芒(Clément, G.)著;陈善广等译.
—北京:中国宇航出版社,2008.3

书名原文:Fundamentals of Space Medicine

ISBN 978-7-80218-309-4

I. 航... II. ①克... ②陈... III. 航空航天医学 IV. R85

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 030822 号

策划编辑 邓宁丰

装帧设计 03 王舍

责任编辑 张艳艳

责任校对 祝延萍

出版
发行

中国宇航出版社

社址 北京市阜成路 8 号
(010)68768548

邮编 100830

网址 www.caphbook.com/ www.caphbook.com.cn

经销 新华书店

发行部 (010)68371900

(010)88530478(传真)

(010)68768541

(010)68767294(传真)

零售店 读者服务部

北京宇航文苑

(010)68371105

(010)62529336

承印 北京智力达印刷有限公司

版次 2008 年 3 月第 1 版

2008 年 3 月第 1 次印刷

规格 880 × 1230

开本 1/32

印张 14.5

字数 363 千字

书号 ISBN 978-7-80218-309-4

定价 58.00 元

本书如有印装质量问题,可与发行部联系调换

译者序

“地球是人类的摇篮，但是人类不能永远生活在摇篮里……”。千百年来，人类对未知世界、对深邃神秘的无垠宇宙的探索从未停歇过。浩瀚宇宙中，地球是否是适于人类生存的唯一家园？人类能否在太空安全、健康地生活和工作？太空环境对机体究竟会产生什么样的影响？我们能采取怎样有效的医学防护措施来保障人在太空的生存？经历了40余年的载人航天实践后，这些问题正逐渐得到解答，与之相关的空间生命科学体系也逐渐建立并蓬勃发展起来。其中航天医学和航天生理学是空间生物科学的两个重要领域，航天医学以解答航天飞行任务中遇到的医学问题为目标，涉及对空间环境（微重力、辐射、温度和压力）的适应性改变和返回地球后不适应性变化及其有效医学应对措施；航天生理学则以解答人体生理系统对空间环境的反应为目标，特别是微重力导致的生理效应是航天医学必须的理论知识。

神舟五号、神舟六号载人飞船的成功发射，标志着我国载人航天事业进入一个崭新的发展阶段，也极大地推动了我国空间生命科学的发展。国内各高校、科研机构纷纷组建相关学科专业和实验室，科研人员对这方面的专业知识需求越来越强烈。遗憾的是，系统深入介绍该专业方向的书籍还很少。年初一个偶然的机，我接触到一本刚出版的英文专著《Fundamentals of Space Medicine》（即本书英文版），一读之下立即被其大量的数据来源、系统的知识结构、生动的亲历描述、积极的可操作性建议所吸引。说来有缘，该书作者吉勒斯还是一位老朋友，他是法国一位神经生理学家，从



1982 年就开始参加航天研究，曾在礼炮号 7 号空间站、和平号空间站以及 31 次航天飞机飞行中进行试验研究。我第一次认识他是在 1990 年加拿大约克大学（York University）。那时我在国际空间大学（ISU）（由约克大学承办）进修空间生命科学专业，他担任该专业的助教，我多次听过他的讲座。2007 年 5 月在北京举办的“人在太空”国际学术会议上我们再次重逢，寒暄之余我提出把他的新书翻译成中文介绍给中国同行，他欣然应允。

航天医学是一门正在迅速发展的学科，到目前为止参加过航天飞行的人数总计不超过 500 人，总累积飞行时间也只有 70 年左右，因此所获得的载人航天飞行数据和知识还很有限。吉勒斯汇集了他与其他乘组 20 多年来在太空和地面进行的研究和实践结果，编著出这样一本《航天医学基础》，用翔实而系统的知识解释了航天医学的生物医学问题，并且通过大量实例将空间生命科学与航天实施医学联系起来。

本书的主要信息来源于科学论文、技术报告和飞行任务回顾。包括从生物卫星上进行的实验中和来自不同国家的 450 名航天员参加的 240 次载人飞行中积累的大量关于太空环境对生命体各种影响的知识。作者搜集了大量植物、细胞生物学、人体生理学和心理学信息，首先介绍了空间生命科学的研究简史和航天飞行中带给人类的挑战，提出了微重力和辐射在细胞水平上对细菌、动物、植物和人体的影响的生物学问题，随后按照人体生理系统逐项描述了飞行过程中生理系统的主要功能变化及其生理学基础，进而提出由机体功能障碍引起的实施医学问题、地面研究和航天飞行研究结果及尚未解决的问题。更难得的是作者根据多年实践经验，提出了实用性和操作性很强的空间实验注意事项和建议，这对将来的空间生命科学实验将非常有价值。

将航天实施医学的问题以及这些复杂问题背后的科学问题（生



理学基础与细胞分子机制) 联系起来, 形成较为系统的知识结构是这本书的另一个特点。相对于成熟学科来说, 在研究论文中寻找获取关于航天飞行对人体影响的信息是困难的, 由于实验资源和条件的限制, 许多空间生命科学论文中的讨论与推测都远远超出实际获得的结论, 许多评述缺乏基本的人体生理学原理基础, 有些结果还常常自相矛盾。作者对这些问题进行了系统知识归纳, 在阐述已获得的研究结果的同时, 明确指出了尚未得到的数据, 即我们还不知道的知识。读完这本书, 你将了解到航天医学界是干什么的, 飞行医生和生命科学研究人员面临的真正挑战是什么。

该书也是为国际空间大学撰写的教科书。作为一本专业教材, 《航天医学基础》具有大量生动难得的空间活动照片, 不仅提供纸质载体, 每个专题还附有 CD-ROM 和专题讲座的 PowerPoint 版本 (英文原版图书附光盘), 这些 PowerPoint 还包括相关的彩色图片和视频片断, 可以帮助读者想象神秘的航天飞行过程, 感触微重力条件下的变换, 可谓是多层面、立体化的教材, 而这正是国内许多教材的“软肋”。

本书由中国航天员科研训练中心组织翻译, 参与本书翻译的包括我的同事: 李莹辉、万玉民、丁柏、曲丽娜、王林杰、杨芬、宋锦苹、王峻、刘跃、肖志军, 姜世忠、沈羨云主审了此稿, 他们都是从事航天医学研究的各方面专家, 在紧张繁重的科研实验和载人航天任务中利用业余时间完成译稿。特别感谢中国宇航出版社在本译著翻译出版过程中给予的大力支持。

由于时间仓促并限于译者水平, 本书的译校、统稿中难免有疏漏之处, 敬请同行专家和广大读者指正。

陈善广

中国航天员科研训练中心主任

中国载人航天工程航天员系统总指挥、总设计师

序 一

早在真正的航天飞行开始之前，人们就非常关心，进入极端的、迷人的太空环境后，人体究竟会发生什么样的变化。几十年来，生物卫星实验和来自不同国家的约 450 名航天员参加的 240 余次载人飞行，积累了大量关于太空环境对生命体各种影响的知识。本书介绍了其中的很多知识，从这些知识中所获得的结论极大地改变了我们对生理机制的看法。认知的进步总会引发出更多的问题，尽管一些基本的机理目前还不清楚，但空间生命科学领域已经足够成熟，可以在其基础研究层面增加将“航天”知识应用于地面人员的研究。在欧洲，开展（生理）空间生命科学研究的机构，传统上也大多从事在地面“正常”的生理或临床研究，“航天知识”的这种应用和转移一直是我们的工作内容的特色之一。

同时，与其他任何成熟的领域一样，空间生命科学研究的复杂程度会不断增加，专家会设计新的试验以获取更大进展。然而，也同样会越来越需要有各种生理系统及其相互作用和相互联系的“大画面”。本书恰好提供了这样的大视角。作者搜集了横跨植物细胞生物学、人体生理学和心理学的大量信息，这将为生命科学领域对航天和极端环境感兴趣的学生提供知识和动力的源泉。作者根据多年实践的亲身经验，提出了非常实用的进行航天试验准备的建议，这对将来的空间生命科学试验很有价值。

自 2000 年 10 月开始，国际空间站使得世界各国航天员可以在



太空长期驻留，我们手头具备了开展进一步研究的独特手段。关于未来的载人航天飞行，最令人兴奋的是星际飞行任务带来的挑战，它将会把人类送到我们的邻居——火星上。显然，我们目前积累的知识和理解将为火星任务的准备打下坚实的基础，但这样的飞行任务与地球低轨道经验将有本质区别。

针对行星间的辐射环境以及长期隔绝和封闭对心理的影响等因素，所需的对抗措施将与目前使用的航天飞行对抗措施有很大差别。因此，空间生命科学研究将不断扩展，现在已经达到了第三层，正在为人类在太空中的未来进行有针对性的准备。

迪迪尔·施米特 (Didier Schmitt)

医学博士、哲学博士

欧空局空间生命科学部主任

2003 年 5 月 28 日

序 二

我写这个序言是在2003年2月2日凌晨2点，因为我无法入睡。我7岁的女儿凯尔蒂（Keltie）正睡在我身边的沙发上，她不愿意上床睡。她知道今天伊恩·克拉克（Iain Clark）的妈妈劳蕾尔（Laurel）出了大事，并感觉到我心情非常烦乱。我不得不告诉她，“劳蕾尔女士”已经走了，她的同学伊恩将失去妈妈了。几天前，我还和劳蕾尔的丈夫乔恩（Jon）一起坐在NASA的任务控制中心的医监台前，他也是一名飞行医生。我们当时正在为航天飞机STS-107任务提供支持，在监视器上看到劳蕾尔的时候，我们还开玩笑逗乐。她所经历的太空体验，我和乔恩只有梦想的份儿。我记得，支持台的生物学工程师还在内部通信中开玩笑，说乔恩应当让飞行活动官员取消劳蕾尔的私人家庭视频通话，因为乔恩在上一班工作时间已经看了她12个小时了。感谢上帝，乔恩和伊恩与劳蕾尔一起度过了那段特殊的私人时间。

今天早些时候，当STS-107解体后，我在任务控制室协助执行应急程序。航天飞机的飞行和有效载荷控制人员处理着各项工作，就像我们以前曾经多次演练过的一样。我想让大家知道我为这些杰出的同事感到无比自豪，他们站在自己的控制台前，整整一天都保持镇静，非常专业。他们知道什么时候需要跑，什么时候需要走。这确实是给人留下深刻印象的场景。

我曾经是一家医院的主治医生，曾经体验过陪伴那些失去亲人



的患者家属走出医院时的精神折磨，但是当你转过身去，走向医院的病房，你必须以平静的态度面对你的医疗团队，用坚毅的双手从护理组的架子上取出下一名病人的病例。我们将永远痛失里克（Rick）、威利（Willie）、迈克（Mike）、KC、戴夫（Dave）、艾兰（Ilan）和劳蕾尔。航天学会的真正策略应该是在经受了如此挫折后我们如何重新站起来。

如果有人知道如何从工作台总结出科学，然后在太空中加以验证，那么这个人就是吉勒斯。他和乘员组在太空和地面开展了 20 多年的研究。他认识乔恩和劳蕾尔，因为他们参加过他的试验，而且乔恩是有执照的神经科医师，他和吉勒斯都热衷于航天旅行中有关神经方面的研究。我知道吉勒斯今天不仅失去了科学上的合作伙伴，还失去了最亲密的朋友。

我第一次认识吉勒斯是在 1992 年，当时我参加了在日本北九州市举办的国际空间大学夏季课程。他给我们讲授太空旅行神经学。自此，我们一直共同在夏季课程的空间生命科学系授课，从 1997 年开始直到现在（维也纳、休斯敦、克里夫兰、泰国呵叻府、瓦尔帕莱索、不莱梅及波莫纳）。在这期间，我使吉勒斯熟悉了航天医学的实施医学层面，他使我了解了像他这样的科研人员所面临的挑战。针对没有生命科学教育背景而又具有多种文化背景的听众，我们两个一起准备了一系列的空间生命科学讲座。国际空间大学的魅力在于它将这种教育学的方法应用于航天的所有领域。将如此复杂的航天问题传授给如此多元化的听众，需要吉勒斯和国际空间大学各个系的老师们具备教育者必备的教学能力。

这个悲剧事件发生后，我认为应当写一份文件，描述我们如何给 STS-107 的乘员组提供医疗支持以及他们所要完成的科研项目。很巧，几个星期前，吉勒斯用电子邮件将这本书的初稿给我发了过



来，并请我作序。因此我是在经历了一生最悲伤的日子后，在凌晨2点写下这篇序言。作为飞行医生和航天员，劳蕾尔和乔恩·克拉克所代表的是太空医疗支持的“矛的尖端”（前沿，译者注）。劳蕾尔是航天员医生，乔恩是医监医生。他们需要处理的医学问题以及这些复杂问题背后的科学问题在吉勒斯这本很棒的书里都十分明确地进行了叙述。我曾经阅读过大量的生理学和空间生命科学的著作和文章，但是没有一本能成功地将空间生命科学和医学实施联系起来。读完这本书，你将了解航天医学委员会是干什么的，飞行医生和生命科学研究人员面临的真正挑战是什么。

吉勒斯，感谢你撰写了本书，并让我也参与其中。

现在，我要把女儿抱上床，并和我的密友们说再见了。

道格拉斯·R·汉密尔顿

医学博士、哲学博士、电子工程理学硕士

工艺工程师、职业工程师

美国内科医学委员会会员

英国皇家内科医师学会会员

飞行医生、电子工程师

前 言

自 1989 年起，我就在国际空间大学的空间生命科学系授课，在备课过程中，我发现很难获取自己所需的关于航天飞行对人体影响的信息。从科技期刊发表的研究论文中寻找这些信息，找出要点，然后为学生（生物学知识背景常常是很有限）做授课准备，需要花费大量的时间和精力。有关这类问题的评述要么是写给专家的（Churchill, 1997; Colin, 1990; DeHart, 1985; Davis, 2002; Moore, et al., 1996），要么是写给门外汉的（Lujian and White, 1994; Nicogossian and Parker, 1982; Oser and Bartrick, 1989; Stine, 1977）。其他评述不是很难得到，就是内容过于陈旧（Clavin and Gazenko, 1975; Johnston and Dietlein, 1977; Link, 1965; Nicogossian, 1977; Nicogossian, et al., 1993; Parker and Jones, 1975）。最关键的是，这些评述都缺少基本人体生理学原理及适当的表述结构，不能直接作为授课教材。

因此，我决定为教授和在校大学生或者大学毕业生们撰写一本“航天医学基础”教科书。之所以选用这个书名是因为航天医学和航天生理学通常被看成是空间生物科学的两个领域，前者偏重于实施，后者偏重于研究。航天医学试图解决航天任务中遇到的医学问题，这些问题包括对环境（微重力、辐射、温度和压力）的适应性改变及一些返回地球后不适应的非病理性改变（例如，骨流失）；航天生理学试图了解人体对太空的反应，特别是对微重力的反应，它为航



天医学研究提供所需的知识，因此是“基础”。

我是一名神经生理学家，自 1982 年开始参加航天研究，在礼炮 7 号、和平号以及 31 次航天飞机的飞行任务中开展了试验研究。我知道如何在相对简单的太空试验中收集数据，并尝试从有限的、常常还是自相矛盾的结果中找出规律。许多空间生命科学论文包含的讨论都远远超出实际获得的结论。随着新数据的搜集，某位学者提出的假设可能有一天被证明是不正确的。在本教课书中，我也试图将这些科学事实编写进来，如果未能完整表述原作的意思，我在此谨向作者表示歉意。

现在国际空间站正处在装配阶段，因为乘员组的时间有限，在轨开展生物医学试验的机会减少了。在国际空间站完全运转前，是整理我们以前研究结果的好时机。本书反应了自 21 世纪开始以来，我们确切掌握的空间生命科学知识。同时指出了缺失的数据，也就是我们不知道的知识，以及人类大规模进入太空前（也就是与当前职业航天员相对应的太空游客）或者长期探索任务前应当掌握的知识。

本书从人体细胞到人的行为和认知，逐步总结在航天飞行期间人体主要功能的变化。

第 1 章首先介绍了航天飞行给人体带来的环境挑战，然后简要叙述空间生命科学的研究历史。

第 2 章介绍了微重力和辐射对细菌、动物、植物和人体在细胞级的影响，包括繁殖和发育问题。

接下来的每一章依次介绍了航天飞行对主要人体功能的影响：第 3 章，神经及感知功能（太空中的大脑）；第 4 章，心血管功能（太空中的心脏）；第 5 章，骨骼、肌肉功能（太空中的肌肉和骨骼）；第 6 章，心理及社会学问题（太空中的心理）。

但是，必须在整体考虑机体的情况下研究每个系统或过程。因



此第7章描述了上述变化在功能水平上对航天员健康的影响,即航天实施医学。

第8章是对所有研究的总结,同时介绍了如何在太空任务可用的资源及各种限制条件下提出和设计航天试验。

本书的每一章都对应国际空间大学空间生命科学系的一个核心讲座。这些讲座是在平等协作环境中,在世界各国许多人士的帮助下形成的。特别是航天飞行医学影响的相关内容主要是由道格·汉密尔顿贡献的。

对某些与太空相关的变化以及关于这些变化的解释,在本书中可能要比讲座中介绍得详细的多。因此,本书附带了1张光盘,里面有这些讲座的幻灯片文件,其要点均以实心圆点标注引出。这些文件还包括相关的彩色图片和视频片断。

参 考 文 献

- Churchill SE(ed) (1997) *Fundamentals of Space Life Sciences*, Volumes 1 and 2. Malabar, FL; Krieger
- Clavin M, Gazenko OG(eds) (1975) *Foundations of Space Biology and Medicine*, NASA SP - 374. Washington, DC; National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Office
- Colin J(ed) (1990) *Médecine Aérospatiale*, Paris, France: Expansion Scientifique Française
- DeHart RL(ed) (1985) *Fundamentals of Aerospace Medicine*, Philadelphia, PA; Lea and Febiger
- DeHart RL, Davis JR(eds) (2002) *Fundamentals of Aerospace Medicine*, Third edition, Philadelphia, PA; Lippincott Williams & Wilkins



- Johnston RS, Dietlein LF (eds) (1977) *Biomedical Results from Skylab*, NASA SP - 377. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Office
- Link MM (ed) (1965) *Space Medicine in Project Mercury*, NASA SP - 4003. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Office
- Lujan BF, White RJ (1994) *Human Physiology in Space*. Teacher's Manual. A Curriculum Supplement for Secondary Schools. Houston, TX: Universities Space Research Association
- Moore D, Bie P, Oser H (eds) (1996) *Biological and Medical Research in Space*, Berlin, Germany: Springer
- Nicogossian AE (ed) (1977) *The Apollo-Soyuz Test Project. Medical Report*, NASA SP - 411. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Office
- Nicogossian AE, Parker JF (1982) *Space Physiology and Medicine*, NASA SP - 447. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Branch
- Nicogossian AE, Huntoon CL, Pool SL (eds) (1993) *Space Physiology and Medicine*, 3rd edition. Philadelphia, PA: Lea and Febiger
- Oser H, Battrick B (eds) (1989) *Life Sciences Research in Space*, ESA SP - 1105. Noordwijk, The Netherlands: European Space Agency Publication Division
- Parker JF, Jones WL (eds) (1975) *Biomedical Results from Apollo*, NASA SP - 368. Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration Scientific and Technical Information Office
- Stine HG (1997) *Living in Space*. New York, NY: M. Evans & Co

致 谢

（坐在土星5号火箭的顶端）我永远感谢自己以前曾经进行过飞行，此时在火箭顶端的等待一点儿也不觉得新鲜。我这次一样的紧张，但紧张主要来自于对我们事业的风险的理解，而不是因为对情况的不熟悉。我远不能确定我们是否能如期完成这次飞行任务。我想我们会安全逃脱，或者至少我会安全逃脱，但是我认为成功地登月和返回完全是靠运气。有太多的东西可能出错。

——迈克·科林斯（Mike Collins），1969年7月16日
[Carrying the Fire: An Astronaut's Journeys. New York, NY: Farrar, Strauss, Giroux, 1989]

当我得知2003年2月1日的哥伦比亚号航天飞机事故和7名航天员牺牲的消息时，正是我即将完成本书的时候。STS-107任务是一次生命与材料科学任务，这无疑是人类载人航天史上的一次悲剧事件，尤其是对航天研究来说。

尽管我相信，航天研究正在和即将为我们的日常生活带来各种帮助，但是这些勇敢的男士和女士为科学献出生命，代价太高。我曾经结识过一位参加STS-107任务的航天员，当时，他非常爽快地志愿参加了我的一项试验，因此这次悲剧更加让我伤感。哥伦比亚号在我的记忆中占有特殊的位置。是它在1983年~1998年间，将天



空实验室送上太空。在这艘杰出的航天器上（IML-1，LMS 和最近的神经实验室）开展的几项飞行试验中，我是首席或共同研究人员。这架航天飞机不仅承载着我生命中的骄傲，多年来也是世界各地数百名科学家的骄傲。哥伦比亚号，你为我们提供了杰出的服务！

我要将本书献给美国和俄罗斯的航天员，没有他们，书中的这些报告就根本不可能完成。

我要衷心地感谢 73 名美国和俄罗斯的航天员，他们在礼炮 7 号空间站、和平号空间站和航天飞机上作为受试者参加了我的航天试验，也感谢数百名在地面参加相应对照试验的志愿者。

我还要借此机会，感谢我的航天导师（米勒德·雷施克（Millard Reschke）、弗朗西斯·莱斯蒂耶纳（Francis Lestienne）），我的老朋友和试验合作伙伴（斯科特·伍德（Scott Wood）、威廉·帕隆斯基（William Paloski）），以及我的学生（科里纳·莱森（Corinna Lathan）和克洛德·艾涅尔（Claude Haignere），后者现在是法国研究和高科技部部长），我和他们共享了太空探索激动人心的时刻。同时，感谢法国国家空间研究中心（CNES）、法国国家科学研究中心（CNRS）、欧洲航天局（ESA）和美国国家航空航天局（NASA）对我研究活动的持续支持。

正如前面所提到的，本书某些领域的知识主要是道格·汉密尔顿的贡献。他在 NASA 约翰逊航天中心的医学分支机构担任飞行医生（NASA 排名第二的好工作，最好的工作是航天员）的经历是无价的。多年来，作为我在国际空间大学的伙伴，道格拉斯帮助我将这些材料整理成易于检索的格式。他应当被看成是讲座的幻灯片教案中“航天中的心血管系统”及“航天实施医学”两部分的作者。

感谢很多人本书提供了资料，特别是埃莉萨·阿朗（Elisa Allen）、奥利弗·安热勒（Oliver Angerer）、奥列格·阿特科夫（Oleg