

世界权威医学著作译丛

# 骨科生物力学



# 暨力学生物学

BASIC ORTHOPAEDIC  
BIOMECHANICS  
AND MECHANO-BIOLOGY

(第3版)

主 编 [美] VAN C.MOW [荷] RIK.HUISKES  
主 译 汤亭亭 裴国猷 李旭 白波  
主 审 戴尅戎 郑诚功



山东科学技术出版社  
www.lkj.com.cn



LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS  
A Wolters Kluwer Company

世界权威医学著作译丛

# 骨科生物力学



# 暨力学生物学

BASIC ORTHOPAEDIC  
BIOMECHANICS  
AND MECHANO-BIOLOGY

(第3版)

主 编 [美]VAN C. MOW [荷]RIK. HUISKES  
主 译 汤亭亭 裴国献 李旭 白波  
主 审 戴尅戎 郑诚功



山东科学技术出版社  
www.lkj.com.cn



LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS  
A Wolters Kluwer Company

图书在版编目 (CIP) 数据

骨科生物力学暨力学生物学/(美)毛昭宪著;汤亭亭等译. —济南:山东科学技术出版社,2009  
(世界权威医学著作译丛)  
ISBN 978-7-5331-5204-8

I. 骨... II. ①毛... ②汤... III. 运动生物力学  
IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 040237 号

世界权威医学著作译丛  
骨科生物力学暨力学生物学  
(第 3 版)

主 编 [美]VAN C. MOW  
[荷]RIK. HUISKES

主 译 汤亭亭 裴国献  
李 旭 白 波

主 审 戴尅戎 郑诚功

---

出版者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098088

网址:www.lkj.com.cn

电子邮件:sdkj@sdpress.com.cn

发行者:山东科学技术出版社

地址:济南市玉函路 16 号

邮编:250002 电话:(0531)82098071

印刷者:山东新华印刷厂德州厂

地址:德州市新华路 155 号

邮编:253006 电话:(0534)2671216

---

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:42.5

版次:2009年5月第1版第1次印刷

---

ISBN 978-7-5331-5204-8

定价:120.00 元

谨以此书献给我的优秀的富于创造精神的研究生们,以及博士后研究人员,我所有的学术成就与他们息息相关!

献给我的妻子——芭芭拉,许多年来,是她满腔的爱和鼓励,支撑着我历尽寒暑,不懈追求!

— Van C. Mow, 哥伦比亚大学

献给我的学生们,他们教会我的东西远胜于我所带给他们的。

—Rik Huiskes, 爱因霍芬科技大学

*Basic Orthopaedic Biomechanics & Mechano-biology*, 3/E by Van C. Mow, PhD., et. al. was first published by arrangement with Lippincott Williams & Wilkins, U. S. A. This book may not be sold outside the People's Republic of China.

Simplified Chinese translation copyright © 2009

By Shandong Science & Technology Press

ALL RIGHTS RESERVED

图字:15-2005-062

主 审	戴尅戎	郑诚功			
副主审	魏鸿文				
主 译	汤亭亭	裴国献	李 旭	白 波	
副主译	田联房	刘万军			
译 者	(排名不分先后)				
	程文俊	徐 谦	边振宇	于晓巍	严广斌
	董伟强	高向军	方元武	彭奕文	刘 屹
	冷祥彪	李 旭	黄国华	李 彬	何元烈
	杜启亮	刘 琦	陈 艺	朱春媚	徐海容
	王坤林	顾冬云	陈 滨	张洪涛	谢鑫辉
	刘万军	薛文东			

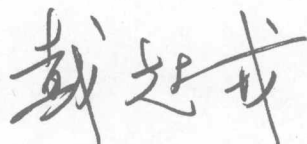
# 戴尅戎教授序

自 20 世纪 60 年代以来,在美国加州大学冯元桢教授的带领下和大力推动下,生物力学尤其是骨科生物力学最早在美国,随后在世界范围内飞速发展。至上世纪末,骨科生物力学研究已进入了计算机化和分子化水平,而力学生物学作为一门新兴学科也逐渐发展成熟,已经在组织与细胞的信号传导、力学刺激所引起的细胞代谢和分化等领域中广泛应用。

我国的生物力学研究起步较晚。1979 年,时任美国国家科学顾问、伦斯勒理工学院力学和生物医学实验室主任的毛昭宪教授作为美国首个生物医学工程代表团成员访华,通过学术交流和访问,对国内各大城市的生物力学和生物医学工程学的发展起到了重要的推动作用。

《Basic Orthopaedic Biomechanics and Mechano-Biology》一书自 1991 年出版至今已是第三版,每版均由毛昭宪教授担任第一主编。它的前两版早已享誉世界生物力学界。第三版由于第二主编 Rik Huiskes 教授的加盟,通过编著者的共同努力,在内容上又有了重要更新与补充。我非常高兴本书第三版的中译本能够面世,它必将对中国的骨科生物力学和力学生物学的发展起到重大推动作用。此书于 2005 年末首先由我院毕业的李旭博士首先着手翻译,随后我院汤亭亭教授、南方医科大学南方医院裴国献教授、广州医学院第一附属医院白波教授等主持了翻译,三十多位医学及工程学研究人員也相继加入本书的翻译工作。他们中有从事骨科生物力学研究多年的教授,有专攻生物医学工程的资深学者,还有分别具有骨科和理工科背景的研究生们。他们对本书的翻译和校对,付出了三年多的心血和大量劳动,在此向他们表示诚挚的敬意!

2009 年适逢毛昭宪先生七十华诞,译者们谨以此书的中文译本,作为一份薄礼赠与先生,祝愿他毕生的努力在故土生根、发芽,结满硕果!



2009 年 3 月于上海交通大学  
医学院附属第九人民医院

## 从第一、第二至第三版

第一版《基础骨科生物力学》(*Basic Orthopaedics Biomechanics*)问世于1991年。此书的创作缘于我与Wilson C. (Toby) Hays早于1986年在哈佛医学院他的办公室中的一次对话。出于对当时崭露头角的新兴领域——骨科生物力学的洞察和认识,我们均认为非常需要一本好的著作以反映其宗旨和理念。于1982年创刊的“*Journal of Orthopaedic Research*”(W. C. Hayes任主编,V. C. Mow任编辑顾问委员会主席),鉴于当时收到了大量的有关骨科生物力学研究的稿件,以及向美国骨科研究学会(American Orthopaedic Research Society,ORS)年会提交的有关骨科生物力学研究的摘要逐年增加,也认识到了一本骨科生物力学专著的必要性。而当时的研究生和骨科住院医师,亦失望于缺乏有关骨科生物力学良好的信息来源。1987年4月20~21日,正值哥伦比亚大学骨科研究室成立之际,一批出色的学者被邀请就其在各自骨科生物力学专业的相关领域,写出一个章节的简介和评价。这些受邀演讲者以及各章节的合作者,则由Hayes和我来判定其是否可成为各专业领域内的负责人选。由于以往的著作均缘于此种形式,很快我们就收到了各相关的章节,并将所有章节根据其一致性和连续性编辑后加入到了本书的第一版中。第一版最终问世于1991年,对感兴趣于矫形和肌、骨骼生物力学的学生而言,其很快成为了最重要的权威参考书之一。

第一版销售一空之后不久,本书第二

版于1997年问世了。第二版中包含了一个新的章节,即曾被第一版所遗漏的“全膝关节假体”。Toby和我均欣慰于由Peter Walker来撰写此章,Peter是全世界最早进行全膝关节设计和置换的专家之一。在上世纪90年代早期,定量解剖学方兴未艾,因此在第二版中又加入了由Gerard Ateshian和Louis Soslowky撰写的关于人体关节定量解剖学的单独一章。由于各个领域中的亚专业如雨后春笋般产生,新的内容也不断被加入到本书中。1988年1月,首届组织工程大会在加州的Squaw Valley举办。大会临近结束时,组织者们对于组织工程概念提出了一个宽泛的定义,并在此后不久即被美国国家科学基金会(NSF)所采用,NSF随之建立了一个基金资助计划。首届组织工程大会的论文汇编发表于1991年ASME(美国机械工程师学会)的会刊(*Journal of Biomechanical Engineering*)。令所有人吃惊的是,上述的努力迅速引发了在那个飞速发展的20世纪90年代中组织工程研究的热潮。许多大学和研究机构都建立了组织工程研究计划,并在全世界范围内产生了价值数以十亿计美元的新的商机。在1997年的第二版中,Hays和我又加入了一个章节,即由Farsh Guilak与其合作者撰写的关于“软骨代谢的物理调节”。Guilak现在与Rik Huijskes共同担任“*Journal of Biomechanics*”的主编。

自1991年第一版《基础骨科生物力学》出版,以及1997年的第二版出版之后,许多事情发生了改变。本书前两版的

主编是 Van C. Mow 和 Wilson C. (Toby) Hayes, 在第三版中, 最重要的变故就是需要寻找一位新的主编来接替 Toby 的位置。几年之前, Toby 便决定从哈佛医学院退休, 以安享晚年。Toby 从波士顿先后搬到了马萨诸塞、尤金和俄勒冈州, 离开了骨科基础研究这个他曾经为之奋斗了三十年, 付出了无数智慧和汗水的领域。我祝福他在未来的日子里好运长伴。

令我备感欣慰的是, 来自荷兰爱因霍芬科技大学生物医学工程学系的 Rik Huiskes 教授给予了我非常及时的帮助, 他愿意与我共同承担本书第三版主编的职责。Rik 同时也是本书第一和第二版中“髌关节假体”一章的主要作者, 他为我们带来了极丰富的骨科生物力学的经验, 尤其反映了欧洲在此领域的学术成就。欧

洲的骨科生物力学研究已经蓬勃发展了很多年, 这次 Rik 为我们带来了最优秀的欧洲生物力学家担任本书第三版的作者。此外, Rik 从 1980 年至今, 还一直担任“*Journal of Biomechanics*”的主编, 这本杂志是生物力学研究领域内的旗舰杂志之一。Rik 不仅把握住了欧洲生物力学发展的脉搏, 而且对全世界的生物力学研究进展了如指掌。因此, 第三版较之过去有一种不同寻常的风格和吸引力。

在过去的几年里, 我在全世界巡回授课, 开办了各种《基础骨科生物力学》所涵盖内容的讲座。我时常在我的接待者的书桌或书架上发现这本书第一版的或第二版。确实, 看到《基础骨科生物力学》在全世界广受欢迎而经久不衰, 我确实备感欣慰。

Van C. Mow, PhD

哥伦比亚大学

... 主编... 1997年第一版... 1997年第二版... 1997年第三版... 1997年第四版... 1997年第五版... 1997年第六版... 1997年第七版... 1997年第八版... 1997年第九版... 1997年第十版... 1997年第十一版... 1997年第十二版... 1997年第十三版... 1997年第十四版... 1997年第十五版... 1997年第十六版... 1997年第十七版... 1997年第十八版... 1997年第十九版... 1997年第二十版... 1997年第二十一版... 1997年第二十二版... 1997年第二十三版... 1997年第二十四版... 1997年第二十五版... 1997年第二十六版... 1997年第二十七版... 1997年第二十八版... 1997年第二十九版... 1997年第三十版... 1997年第三十一版... 1997年第三十二版... 1997年第三十三版... 1997年第三十四版... 1997年第三十五版... 1997年第三十六版... 1997年第三十七版... 1997年第三十八版... 1997年第三十九版... 1997年第四十版... 1997年第四十一版... 1997年第四十二版... 1997年第四十三版... 1997年第四十四版... 1997年第四十五版... 1997年第四十六版... 1997年第四十七版... 1997年第四十八版... 1997年第四十九版... 1997年第五十版... 1997年第五十一版... 1997年第五十二版... 1997年第五十三版... 1997年第五十四版... 1997年第五十五版... 1997年第五十六版... 1997年第五十七版... 1997年第五十八版... 1997年第五十九版... 1997年第六十版... 1997年第六十一版... 1997年第六十二版... 1997年第六十三版... 1997年第六十四版... 1997年第六十五版... 1997年第六十六版... 1997年第六十七版... 1997年第六十八版... 1997年第六十九版... 1997年第七十版... 1997年第七十一版... 1997年第七十二版... 1997年第七十三版... 1997年第七十四版... 1997年第七十五版... 1997年第七十六版... 1997年第七十七版... 1997年第七十八版... 1997年第七十九版... 1997年第八十版... 1997年第八十一版... 1997年第八十二版... 1997年第八十三版... 1997年第八十四版... 1997年第八十五版... 1997年第八十六版... 1997年第八十七版... 1997年第八十八版... 1997年第八十九版... 1997年第九十版... 1997年第九十一版... 1997年第九十二版... 1997年第九十三版... 1997年第九十四版... 1997年第九十五版... 1997年第九十六版... 1997年第九十七版... 1997年第九十八版... 1997年第九十九版... 1997年第一百版...

... 第一版... 第二版... 第三版... 第四版... 第五版... 第六版... 第七版... 第八版... 第九版... 第十版... 第十一版... 第十二版... 第十三版... 第十四版... 第十五版... 第十六版... 第十七版... 第十八版... 第十九版... 第二十版... 第二十一版... 第二十二版... 第二十三版... 第二十四版... 第二十五版... 第二十六版... 第二十七版... 第二十八版... 第二十九版... 第三十版... 第三十一版... 第三十二版... 第三十三版... 第三十四版... 第三十五版... 第三十六版... 第三十七版... 第三十八版... 第三十九版... 第四十版... 第四十一版... 第四十二版... 第四十三版... 第四十四版... 第四十五版... 第四十六版... 第四十七版... 第四十八版... 第四十九版... 第五十版... 第五十一版... 第五十二版... 第五十三版... 第五十四版... 第五十五版... 第五十六版... 第五十七版... 第五十八版... 第五十九版... 第六十版... 第六十一版... 第六十二版... 第六十三版... 第六十四版... 第六十五版... 第六十六版... 第六十七版... 第六十八版... 第六十九版... 第七十版... 第七十一版... 第七十二版... 第七十三版... 第七十四版... 第七十五版... 第七十六版... 第七十七版... 第七十八版... 第七十九版... 第八十版... 第八十一版... 第八十二版... 第八十三版... 第八十四版... 第八十五版... 第八十六版... 第八十七版... 第八十八版... 第八十九版... 第九十版... 第九十一版... 第九十二版... 第九十三版... 第九十四版... 第九十五版... 第九十六版... 第九十七版... 第九十八版... 第九十九版... 第一百版...



## 第三版前言

人类的任何努力都难以对其同时代发生事件的范围和重要性具备完整的感知和认识。美国骨科研究学会(American Orthopaedic Research Society, ORS) 成立迄今已 50 年了(也许是全世界最早成立的同类学会), 人工关节假体获得临床应用并成功发展到现在也已近 50 年, 骨科生物力学的发展史则已超过 50 年; 而骨科生物化学、组织工程、分子生物学、基因组学和各个亚专业的极大丰富和发展则是最近的事情。或许试图在一个章节中对骨科生物力学的发展史作一简短的梗概并非不合时宜, 但这项工作仍然令我们诚惶诚恐。对于任何学科, 试图写出其发展简史无疑都会有疏漏和对于基本理论的曲解。因此, 我们将目光一直回溯到亚里士多德——这位或许是最早从事生物力学研究的先驱。尽管如此各章节所覆盖内容有可能偏于浅显, 但读者可以通过此书对如何获取知识, 以及知识为何会阻碍科学的进步, 有一个概括的了解和较广泛的哲学认识。骨科生物力学的发展不仅仅作为科学的进步, 同时也是思想解放的里程碑。这里, 我们试图带领读者们穿越时空, 从古老的哲学家亚里士多德、名医盖仑、文艺复兴时期的科学家伽利略、启蒙时代的老师——数学家/物理学家牛顿以及医生/生理学家哈维, 到当代的骨科工程师和科学家们。

“骨科生物力学发展史”并非第三版中唯一的新增内容。第二章“肌和关节负荷分析”也由新的作者来撰写, Patrick J. Prendergast, Frans C. T. van der Helm

和 Georg N. Duda 是一个来自欧洲的研究小组, 他们为我们拓展了对这个题目的认识。第三章“肌—骨骼系统的动力学、运动和临床应用”, 主要作者仍是 Thomas P. Andriacchi, 另一位作者是 Todd S. Johnson。第四章“骨生物力学”, 是由 Rik Huiskes 与 Bert van Rietbergen 从 Toby Hayes 原来撰写的内容改编而来, 但是必须承认 Toby 原来的内容仍有部分完整保留了下来。第五章“关节软骨和半月板的结构和功能”由 Van C. Mow 撰写, 其合作者为 Wei Yong Gu 和 Faye Hui Chen。第六章“软骨代谢的物理调节”作者仍是 Farshid Guilak, 但是其却有了一位新的合作者 Clark T. Hung, 后者是一位年轻的生物医学工程学教授, 在哥伦比亚大学主攻组织工程。Savio L-Y. Woo 撰写的第七章“韧带和肌腱的结构和功能”内容有所更新, 合作者为 Thay Q. Lee, Steven D. Abramowitch 和 Thomas W. Gilbert。鉴于“骨和软骨组织工程、机械信号传导及控制的组织生长和调节机制”等内容的重要性, 本书又有了一个新的第八章, 题目为“软骨和骨组织工程的生物力学原则”, 由两位世界著名学者 Gordona Vunjak-Novakovic 和 Steven A. Goldstein 担任作者。事实上, 也正是由于上述内容的重要性, 本书第三版被重新命名为《骨科生物力学暨力学生物学》, 反映了在此领域内的最新进展。第九章“动关节软骨层面定量解剖学和影像研究”内容亦有更新, 作者为 Gerard A. Ateshian, 其新的合作者为来自奥地利的 Felix Eckstein, 他是

一位新型成像方法方面的专家。第十章“动关节和关节软骨的摩擦、润滑与磨损”内容被更新而且增加了,现在由 Gerard A. Ateshian 任第一作者而 Van C. Mow 担任第二作者。第十一章“生物材料”也是一个新的章节,作者是 Ahmed El-Ghannam 和 Paul Ducheyne。在我们看来,第十一章将近乎全部的相关的基础科学的内容都囊括在了本书之中。第十二章“脊柱生物力学”的新作者为 Ian A. F. Stokes 和 James C. Iatridis。第十三章“骨折固定和愈合的生物力学”是新的内容,两位作者分别是来自德国乌尔姆的 Lutz E. Claes 和瑞士达沃斯的 Keita Ito;在这一章中,他们从临床的角度阐述了骨科基础科学的内容。第十四章“人工关节的生物力学和临床前检测:髌”,作者是 Rik Huiskes,他的新合作者是 Jan Stolk。最后,第十五章“全膝关节置换假体设计的生物力学”,作者是 Peter S. Walker,这也是唯一的题目及作者均与第二版相同的章节。但是正如我们所期待的那样,富于创新精神的 Peter 对其中的内容作了很大的更新。总之,《骨科生物力学暨力学生

物学》可被视为一本全新的著作,使用了新的题目,反映了最新的进展。

由于种种原因,职业的、个人的逆境及一些意外的形势改变,包括工作的变换和健康问题等以及其他一些困难,本书第三版的出版历时多年。这里我们要感谢 Lippincott Williams & Wilkins 的出版人员,为了此书的出版,他们的耐心和努力几乎发挥到了极致,他们的支持和不懈的帮助始终在深深地鼓舞着我们。特别要提到并感谢的是 LW & W 的 Robert Hurley 先生和 Jenny Kim 女士。我们希望第三版无论对广大读者还是本书的出版者而言都具有更高的价值。本书在内容上较前两版也有了很大的增加,这或许可以反映出近年来骨科生物力学领域的巨大发展。此外,据我们的粗略统计,参加美国骨科研究学会年会的与会者,从 1991 年的约 900 人增加到了 2004 年的 3 600 人(此尚不包括那些远在海外,志在生物力学研究却不能参加美国 ORS 年会的学者们),这也足以反映出本领域近年来的巨大进步。我们确信,骨科生物力学将继续发展,永不停息。

Van C. Mow, 哥伦比亚大学

Rik Huiskes, 爱因霍芬科技大学

# 目 录

第一章	科学及骨科生物力学发展简史 .....	1
第二章	肌和关节负荷分析 .....	28
第三章	肌—骨骼系统的动力学、运动和临床应用 .....	85
第四章	骨生物力学 .....	114
第五章	关节软骨和半月板的结构和功能 .....	168
第六章	软骨代谢的物理调节 .....	243
第七章	韧带肌腱的结构和功能 .....	282
第八章	软骨与骨组织工程学的生物力学原则 .....	321
第九章	动关节软骨层面的定量解剖和影像研究 .....	386
第十章	动关节和关节软骨的摩擦、润滑与磨损 .....	423
第十一章	生物材料 .....	468
第十二章	脊柱生物力学 .....	500
第十三章	骨折固定和愈合的生物力学 .....	531
第十四章	人工关节的生物力学和临床前测试:髌 .....	552
第十五章	全膝关节置换假体设计的生物力学 .....	622

# 第一章 科学及骨科生物力学发展简史

VAN C. MOW

RIK HUISKES

1 引言/1	6 现代力学理论的应用:利用数学和计算机工具对关节软骨的研究/17
2 科学的早期历史/2	7 现代力学理论的应用:利用数学和计算机工具对骨的研究/18
3 文艺复兴时期的生物学及生物医学研究/8	8 概论/25
4 骨科学和生物力学/12	9 致谢/25
5 生物力学和骨科生物力学/16	

## 1 引言

要理解 21 世纪的基础骨科生物力学及力学生物学的发展现状,对知识本身的洞察至关重要。这种洞察包括如何获取知识,“知识”如何阻碍新发现的产生,以及各领域内的新知识如何发展以达到一个新的、更高的水平等。知识水平从低级阶段提升到新的水平通常需要一个认识飞跃(paradigm shift)的过程<sup>[37,59]</sup>。对初学者而言,明白对于知识的获取和积累必须经过几个基本的步骤,而且需要建立一个新的理论基础作为铺垫,这一点非常重要。诚然,如伟大的罗马医生 Galen(盖伦)在公元 2 世纪曾经写到,所有的知识都源自积累<sup>[6]</sup>。在那个时代它是一句真理,而现在其仍然成立。永远都存在着早期的知识,也永远都存在着新的发现。

首先,要获取新知识,我们必须从一个已被普遍接受的领域、已经积累的或早

期的知识,以及更先进的知识开始。早期的知识也就是我们在年幼时所学到的东西(日常信息),而更先进的知识(当然部分也来自日常接受的知识)即我们在大学里或毕业后曾经学习过的科学、数学和工程学的知识。的确,这种知识的积累决定了我们日后无论从事何种职业的思维方式、行为方式及工作方式<sup>[15]</sup>。绝大多数所积累的科学或工程学的知识,是通过常规实验和利用广为接受的理论分析而获得的,以已被接受的范例作为工作的原则构成了我们对于客观规律的理解。然而,随着知识的积累,冲突和矛盾也会相应增加,旧的理论越来越难以对新生事物作出解释和预测。新的精巧的实验和工具应运而生(例如伽利略的望远镜和虎克显微镜),用于获得数据或增进事物之间的相关性以解决矛盾,或对于某种特别的现象给出新的解释。一种新的理论大多需要不断地发展以解释某种现象。回顾整个历史,随着各种资料的积累,对于事物理

解(或范例)的现有框架中充满了各种矛盾,新的假说也不断产生。尽管大多数假说都最终被否定了,但仍有少数显示了其旺盛的生命力(如牛顿力学、达尔文进化论、爱因斯坦相对论、普朗克量子力学等),虽然达尔文(1809~1882)进化论今天仍未被普遍地接受为科学真理<sup>[7]</sup>。

每一个新的假说都需要经过反复的验证,而每一个新的范例在被科学家和工程师们以及大众接受和广泛使用之前,都必须在逻辑和理性方面替代一个已经存在的理论或范例。因此,无论创造、验证、驳斥已存在的理论、积累知识、建立新的工作范例、提出新的假说、发展新的理论、发明新的器具、设计新的实验方法以获得数据,以及最终形成一个观念的变革等,均在无休止的循环之中<sup>[37,49]</sup>。的确,知识领域是一个,也必须是一个动态的个体;其同时也必须是一片多产的土地,无论在这片土地上付出了多少努力,所有新的思想都会在其中萌芽,新的发现也不依赖于时间而存在。在发现的过程中,矛盾(科学的,政治的,宗教的,或者个人的)几乎始终贯穿于其中。从创造性的角度而言,矛盾可以逐步转化为知识创造和发展的催化剂及动力<sup>[15]</sup>;但从破坏性的角度而言,矛盾又会阻碍知识的发展并导致严重的个人悲剧<sup>[5]</sup>。因此,所有新的思想从其萌芽时起,就必须被置于知识的背景中接受检验。换言之,科学的发展史已经告诉我们,早期的所谓“知识”可以而且确实能够阻碍知识的发展<sup>[6]</sup>。从文明的发源开始,矛盾循环就成为一个最富智慧的人类文明史的吸收基,在本书中此观点亦将不断地被提及。这本著作将主要介绍在过去的50年中骨生物力学知识的进展,以及力学生物学这个新兴领域的产生和发展的进程。

在本章的后续部分中,我们将简要介

绍在科学和思想解放的发展史中,几个著名的、具有纪念意义的思想斗争的典范。从某种角度而言,这些思想和斗争(其中多数与宗教无关)也促成了本书的主题:基础骨生物力学及力学生物学。当然,今天要在区区一本专著中全面地覆盖一个如此广阔的知识领域显然并不可能。本书中所涵盖章节题目的确定,以及对各章节资深作者的选择,均已经过主编的慎重考虑。这些资深作者们在其各自的领域内都作出过卓越的贡献,并在学界享有广泛的声誉。多数情况下,他们在撰写时可以自由选择各自的合作者。

## 2 科学的早期历史

尽管从古代起,Aristotle(亚里士多德,公元前384~322年;图1-1)即被公认为世界上首位对生理学和动物行为进行了深入研究和阐述的人<sup>[6,25]</sup>。但要追溯科学规律发展的起源,如我们今天所了解的如生物力学,却已不再可能。亚里士多德对自然科学许多领域的问题也进行了阐述,包括物理学<sup>①</sup>、天文学、气象学、动物学、宇宙哲学,以及其他领域的许多论题,包括逻辑学、神学、心理学、政治学、经济学、论理学、修辞学及诗学等。亚里士多德的许多思想,包括动物、物理学及其他许多宽泛的科学论点,都为今天的生物学和物理学等奠定了广阔的基础,其历时2000年而从未被怀疑过,直到15世纪文艺复兴时期,这种坚硬的思想枷锁才逐渐被打破。诚然,亚里士多德致力于参悟人类的全部知识,而且其本身又是一个温和

<sup>①</sup> 亚里士多德时代的力学和物理学与我们今天所认识的并不相同。显然,牛顿和牛顿力学并没有成为另一个2000年的科学主宰。

而友好的人,几乎从不自负。他的主要目标就是把其积累的知识传授给他的学生们。遗憾的是,今天他的许多思想已被现代科学所摒弃<sup>[6]</sup>。

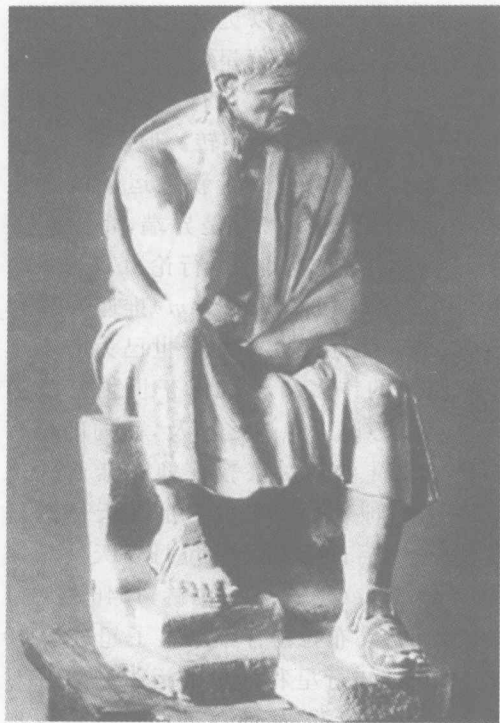


图 1-1 亚里士多德(公元前 384~322 年)雕像位于罗马的一个复制品,引自 Lyons 及 Petrucci<sup>[40]</sup>,图版 326

早在中世纪时期,亚里士多德的思想即已阻碍了科学的发展。而实际上, Galileo (伽利略, 1564~1642 年) 曾经的当务之急之一,便是克服当时被广为接受但却陈旧的亚里士多德思想以及基督教学派对于科学的封锁<sup>[51]</sup>。不过亚里士多德的许多思想、观察和法则,即使在今天仍然被证实为真理(例如,他相信地球是圆的,因为其观察到由于地球表面的曲度作用,船在驶远后桅杆会消失)。传授知识以及发现新知识的精神,同样也是本书的目标。

亚里士多德的地心说理论,后来由

Claudius Ptolemy(克劳迪亚斯·托勒密, 亚历山大, 埃及; 150 年)加以补充。这个学说后来被并进了基督学派并获得了进一步的强化,后者认为地球是平的并位于宇宙的中心。在文艺复兴之前, Aristotle-Ptolemaic (亚里士多德—托勒密)的宇宙观和科学观如僵硬的壁垒一般不可逾越,要克服其几乎绝无可能。确实,经典的“知识”太过于不证自明,甚至常识都成了新知识发现的强大障碍……要实现对科学认知的飞跃则因其太过背叛而几乎寸步难行<sup>[37]</sup>。但尽管宗教学派极力控制着人们的思想,许多对于地心说真实性的疑问仍然不断地被提出;随着对于瞻礼日计算的失误,无法对天文现象作出预测,甚至不能对行星的运行轨迹给出一个简单的解释等等,当时的历法所暴露问题逐渐增多,对于地心说怀疑的声音也日益强大起来。

Nicolaus Copernicus(尼古拉·哥白尼, 1473~1543 年; 图 1-2)诞生于那个科学和宗教信仰僵化,而各种知识萌动、交汇的年代。他从小就是一个聪明、早熟的孩子:9 岁时,他还只是 Krakow(克拉科夫, 波兰城市)的一个学生,便购买并学习了 Euclid 关于元素的 13 本数学著作<sup>①</sup>(图 1-3)。当时,这些著作构成了数学和几何学的权威(Euclid, 欧几里得, 亚历山大, 埃及, 公元前 325~265 年)。确实,这些著作也代表了古代学者在某些学术成就上的巅峰。哥白尼的父亲曾极力希望他学习医学,而他的叔父则怂恿他在教堂里谋一个职位,并在 Frauenberg 大教堂为他安排了一个从事教规工作的闲职。哥白尼因此去了 Bologna 大学,后来又去了 Padua,表面上学习医学和法律,但实际上却在从事数学和天文学

<sup>①</sup> 令人惊奇的是,哥白尼早年所购买的并有其本人的签名 Euclid 著作书籍,仍保存至今。



图 1-2 尼古拉·哥白尼(1473~1543年), 克拉科夫, 波兰, 正在描述天文学观察。引自 Glenn<sup>[25]</sup>, p22

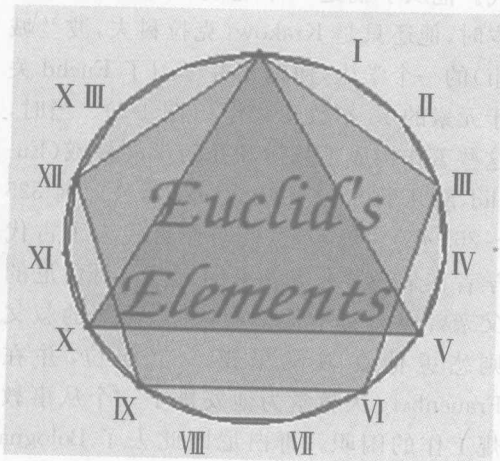


图 1-3 一张简图形象地阐述了欧几里得的数学 13 元素, Jaume Domenech Larraz 所绘(2005; www.euclides.org)。欧几里得元素已被全世界学习了近 2 500 年

的研究。对于天文学的研究促成了他关于行星运行七大定律的产生,并最终无情地宣告了地心说的破产和日心说的诞生。

日心说理论可以更容易和更令人信服地解释目前已知行星的绝大多数轨道现象,太阳位于中心,而行星则在周围圆形的轨道上围绕太阳旋转。但由于 15 世纪中叶天主教会正处于新教运动的高压之下,而日心说被认为是异端,哥白尼关于日心说的著作《天体运行论》(*De Revolutionibus Orbium Coelestium*)推迟至 1543 年才发表,而此时距离他辞世已为时不远了。当时的许多科学家由于惧怕宗教迫害也对日心说思想避之不及,而的确也有多位异教徒由于对宗教信仰不恭而被烧死在了火刑架上。幸运的是,《天体运行论》发表之后即得到了一位丹麦天文学家 Tycho Brahe(第谷·布拉赫,1546~1601 年)的拥护。布拉赫仔细观察了超过 1 000 颗恒星、已知行星和彗星的运行轨迹并对数据进行了归类,从而对哥白尼的假说提供了强有力的支持。为了更好地理解所观察到的现象,布拉赫请数学家 Johannes Kepler(约翰尼斯·开普勒)协助他对天体的运行轨迹进行了计算和解释。

约翰尼斯·开普勒(1571~1630 年)是一位杰出的数学家,他的主要贡献是提出了著名的行星运行三大定律,后者迄今仍是高等学校和大学物理课程中的重要内容(图 1-4)。在这些定律中,开普勒关于椭圆形行星运行轨道的概念最具革命性,并有助于对圆形轨道理论无法阐明的行星运行现象作出简洁、一致的解释<sup>[6]</sup>。这些定律也将成为牛顿万有引力定律的基础,并可解释行星在中心力场吸引力作用下发生的运行现象。

开普勒曾经是一位虔诚的教徒和神



图 1-4 约翰尼斯·开普勒(1571~1630 年), Steven J. Dick (2005); webmaster @ euler.ciencs. ucv. ve

秘主义者(图 1-4)。他在德国 Tübingen 大学接受教育,并在那里接触到“亚里士多德—托勒密”的天文学(地心说理论)。虽然信仰宗教,并在大学里接受了相关“知识”,但开普勒仍然逐渐对地心说产生了怀疑,这也导致他于 1612 年被逐出教会,并被终身禁止享有教徒的一切权利。开普勒的母亲也曾被教会指为女巫,所幸由于当时的法制混乱而被免于起诉,这就是那个糟糕的年代。地球是平的,位于宇宙的中央,这一思想桎梏绵延统治了千余年,更与基督教教义相得益彰,为科学思想的解放造成了难以逾越的障碍。然而,随着哥白尼拥有了布拉赫的数据和开普勒理论的支持,思想解放的进程已经为理解行星运行准备了必要的条件<sup>[37]</sup>。

伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642 年;图 1-5)诞生于哥白尼死后 21 年,与开普勒处于同一时代。在研究行星运行的

过程中,伽利略曾与开普勒通过信函<sup>[51]</sup>。在其私人信函中,伽利略曾秘密地称自己为“哥白尼派”。伽利略的成长过程也与哥白尼有许多相似之处:与哥白尼一样,伽利略的父亲也曾希望自己的儿子学医,以便将来能过更好的生活;但是伽利略对当时医学院里的所谓经典著作毫无兴趣,转而投向了应用数学。在 20 岁之前,伽利略也如哥白尼一样学习了欧几里得的 13 篇关于元素的数学著作,他同时还通读了 Archimedes(阿基米得)的著作。伽利略还是一个喜欢刨根问底的、执着的自由思想者,他曾坐在比萨大教堂里,并注意

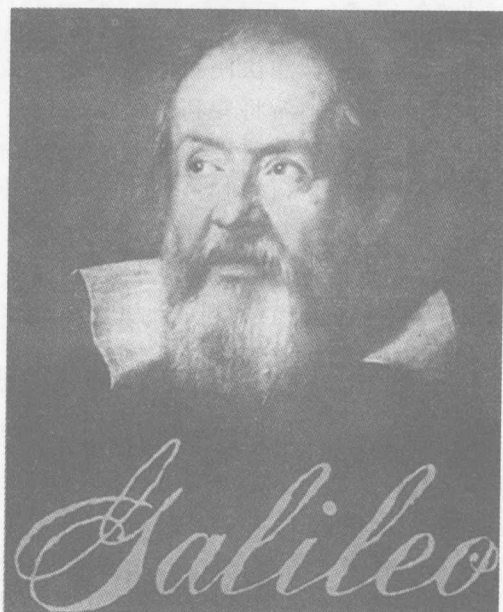


图 1-5 伽利略(Galileo Galilei, 1564~1642), 引自 Reston<sup>[51]</sup>

到无论钟摆的摆动幅度有多大,摆动周期与之却并无关系。我们现在知道在非线性效应变大之前存在一个极限,而当时伽利略年仅 19 岁。他根据自己的脉搏来计算钟摆的周期,而这一简单的物理现象也使得他对物理学和数学更充满了好奇。自由思想在任何时代都弥足珍贵,但在文艺复兴



早期其却是非常危险的。伽利略的自由思想和桀骜不驯最终惹怒了教会，他被罗马教廷逮捕后关押了九年并最终死去。

16世纪末，荷兰眼镜制造商人利伯希(Hans Lippershey)通过一个偶然的机，利用两块透镜制作出了世界上第一台望远镜。1608年，利伯希向荷兰政府递交了专利申请，他认为望远镜必将有助于荷兰政府在战争中获益，乃至风行整个欧洲。然而，鉴于利伯希的“反动发明家”称号，荷兰政府最终也没有批准他的申请。利伯希被迫远走意大利，并决定将其发明卖给富有的佛罗伦萨和威尼斯公国，以及其他一些互相竞争的城邦。在听到这个消息之后，伽利略即想法使利伯希留在了欧洲。这样，在利伯希将专利卖给意大利之前，伽利略即制造并改进了他自己的望远镜。而在1623年，伽利略还写下了“我们确信望远镜的第一个发明者是来自荷兰的一位普通眼镜制造商——汉斯·利伯希”<sup>[6]</sup>。这也证明了伽利略的坦荡，而非通过欺骗手段达到其目的。

伽利略将其望远镜改进之后，获得了接近10倍的放大率。当将望远镜转向天空时，伽利略看到了月亮上的山脉、木星的卫星<sup>①</sup>、土星的光环、太阳黑子、金星上类似月亮一般的月相，以及银河中的星团。这些发现使得伽利略更加坚信了日心说在太阳系中的正确性。上述发现后来被发表于“*Starry Messenger*”(《星际使者》)一书中(*Sidereus Nuncius*, 威尼斯, 1610)。

22年之后，伽利略以其大无畏甚至不计后果的精神，写了一本关于行星运行的小册子“*Dialogue concerning the Two Chief Systems of the World—Ptolemaic and Copernican*”(《关于宇宙两种学说的对话——托勒密学说与哥白尼学说》，佛罗伦萨，1632年2月)。这本小册

子主要描述了发生于三个人之间的对话，其中Salviati是一个拥护哥白尼学说的佛罗伦萨贵族，而Simplico则是亚里士多德—托勒密学说的信徒，Sagredo则担当中立的仲裁人。其实早在1616年时，教皇保罗五世便警告伽利略不得再发表或宣传有关哥白尼日心说的言论。而在后来的教皇Urban八世在位期间，伽利略却发表了“对话”，并以新的数据和明确的术语进一步强化了哥白尼的理论，这无疑是对Urban八世的一个辛辣的讽刺！之后不久的1633年2月，伽利略即被由佛罗伦萨押解到罗马接受审讯<sup>[6]</sup>。最终，伽利略被宣判为异端并被迫宣誓放弃哥白尼学说：我，伽利略，来自佛罗伦萨，在此宣誓放弃下述的谬论，即太阳位于世界的中心而地球围绕着太阳转动……

在遭此非难之后，伽利略即被教会软禁起来，先是在Siena，而后是在他临近佛罗伦萨的Arcetri的家里，直到9年之后他孤独地死去。在软禁期间，除非经审讯官同意，伽利略被禁止见任何人。尽管如此，伽利略仍然在几乎双目失明的情况下，写下了“*Discourses and Mathematical Demonstrations Concerning Two New Sciences*”(《关于两种新科学的讨论和数学证明》)一书。书稿被偷运出意大利并秘密送到荷兰的Leyden出版。这本书中涉及诸多新的科学，包括我们现在所知道的静力学、材料强度和动力学。例如，伽利略写道：物体在同一加速度下从静止开始移动的距离与所消耗的时间成正比。在今天，每一个物理学和工程学学生在学习地球万有引力下的自由落体时，都会明白这一定律。这一阶段

<sup>①</sup> 为了讨好Tuscany大公，伽利略以其名字Cosimo de Medici为木星的卫星命名，今天我们知道木星的卫星名为Medician卫星即由此而来。De Medici是伽利略的支持者。