



国际信息工程先进技术译丛



生物医学工程学概论

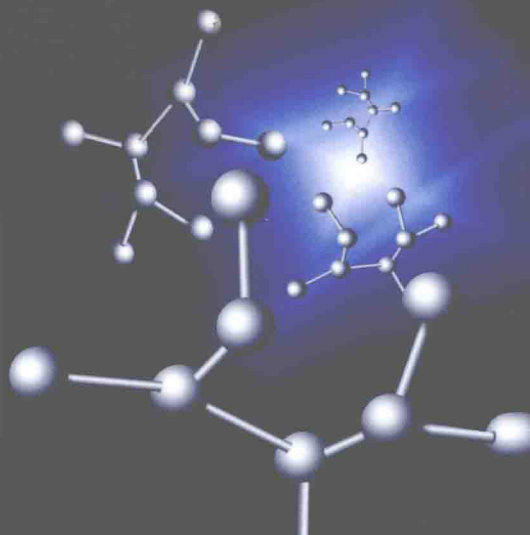
(原书第3版)

Introduction to Biomedical Engineering
(Third Edition)

(美) John D.Enderle 著
Joseph D.Bronzino
封洲燕 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



国际信息工程先进技术译丛

生物医学工程学概论

(原书第3版)

(美) John D. Enderle 著
Joseph D. Bronzino
封洲燕 译



机械工业出版社

本书是一部全面介绍生物医学工程学的教科书, 主要内容包括: 生物医学工程学发展的历史背景以及职业状况, 生物医学工程技术所涉及的伦理道德问题, 解剖学和生理学基础知识, 以及生物力学、生物材料、组织工程、仿真建模、生物仪器、传感器、信号处理、生物电、生物传输、医学成像、光学与激光在生物医学中的应用等。此外, 书中的附录还介绍了计算机软件 MATLAB 和 Simulink 的使用方法。书中各章都包含了例题、习题和参考文献目录, 有利于读者深入理解和掌握基本知识, 提高应用理论知识解决实际问题的能力。

本书不仅是生物医学工程专业难得的一部好教材, 而且对于生物学、医学和其他工程专业的学生也是一本很有价值的参考书。此外, 它对于致力于生物医学工程技术工作和管理工作的从业人员也是一本值得常备的工具书。

Introduction to Biomedical Engineering, 3rd ed/By John D. Enderle, Joseph D. Bronzino

ISBN: 9780123749796

Copyright © 2012 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

Copyright © 2014 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd and China Machine Press.

All rights reserved.

Published in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 授予机械工业出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口, 视为违反著作权法, 将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签, 无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字 01-2012-3118 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生物医学工程学概论: 原书第 3 版/(美) 安德勒 (Enderle, J. D.), (美) 布龙齐诺 (Bronzino, J. D.) 著; 封洲燕译. —北京: 机械工业出版社, 2014. 4

(国际信息工程先进技术译丛)

书名原文: Introduction to biomedical engineering, 3rd ed

ISBN 978-7-111-45878-4

I. ①生… II. ①安…②布…③封… III. ①生物工程-医学工程-概论
IV. ①R318

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 030266 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 朱林 责任编辑: 朱林 版式设计: 霍永明

责任校对: 陈延翔 封面设计: 马精明 责任印制: 李洋

三河市宏达印刷有限公司印刷

2014 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 60 印张 · 1330 千字

0001—2000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-45878-4

定价: 168.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294

机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649

机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203

封面无防伪标均为盗版



译者序

生物医学工程学是工程技术与生物学和医学高度结合所产生的一门新兴交叉学科，旨在运用工程技术的手段解决生命科学研究以及医学诊断和治疗中存在的问题，提高人类防治疾病的能力，保障人类健康。国际上，美国在第二次世界大战之后的 20 世纪 50 年代最早建立了生物医学工程学科；在我国，浙江大学于 1977 年最早创建了生物医学工程专业。近年来，随着我国科学技术水平的不断提高和经济建设的飞速发展，人们对于自身健康水平和生活质量的要求越来越高，生物医学工程行业也迅速发展起来。为了适应该领域的人才需求，国内越来越多的高校相继开设了生物医学工程专业。但是，生物医学工程学包罗万象，几乎涉及所有工程学科以及生物学和医学，因而目前能够全面而系统地讲述该专业的理论知识和技术应用的导论性教材比较缺乏。

本书英文版由 20 多位学者撰写，是目前涵盖生物医学工程主要领域的最全面的一部教材，在国际上受到广泛的认可。书的信息量相当大，理论与应用紧密结合。开篇首先介绍本学科的发展历史、伦理道德问题以及基础生物医学知识；然后讲述本学科的核心理论和应用技术，包括：生物力学、生物材料、组织工程、仿真建模、生物仪器、传感器、信号处理、生物电、生物传输、医学成像和激光生物医学等。全书将严谨的理论知识与深入浅出的例题和习题相结合，向读者展现了生物医学工程丰富多彩、引人入胜的专业景象。正如原作者在前言中所述，即便如此，本书仍然没能囊括生物医学工程现有的所有领域，并且，科学技术的进步还将不断地给该学科增添新的内容。

希望本书的翻译能够给生物医学工程专业的学生和从业人员提供一部有价值的专业著作。新的第 3 版删除了第 2 版的康复工程与辅助技术、基因组学和生物信息学、计算生物学等几章内容。对这些内容感兴趣的读者可以查阅 2010 年出版的第 2 版中译本。

翻译过程中，译者对原书某些明显的笔误或印刷错误已做了更正，为保持译著的简洁流畅，没有加以标注。同时为尽量保持原书特色，书中部分图形和文字符号并未按照国家标准修改，请读者注意。

余颖、胡振华、陈白璐、曹嘉悦、吴蕴蕴、肖乾江等同学参与了本书第 3 版的部分翻译工作，在此深表谢意。译者还要特别感谢参与了本书第 2 版翻译工作的同学们，他们是郑晓静、吴丹、汪洋、杨彭举、田聪、毛盾、徐白露、李林森、蓝义昫、李迎等。

本书内容所涉及的研究领域极其广泛，限于译者的水平，翻译过程中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。译者电子信箱：fengzhouyan@139.com。

封洲燕

浙江大学 生物医学工程与仪器科学学院

2013 年 10 月

前 言

本书第3版的目标与第1、2版相同，就是全面地概述生物医学工程学科。新版有许多章改动很大，各章末尾的习题也有更新。其中有几章被全部删除，另外新增了几章反映该学科最新发展的内容。

在过去的50多年发展历程中，生物医学工程学已经清楚地展现出多种多样、包罗万象的特性。它包括生物电、生物信息学、生物材料学、生物力学、生物仪器、生物传感器、生物信号处理、生物技术、计算生物学和复杂性、基因组学、医学成像、光学与激光、放射成像、组织工程、道德与伦理问题等领域。显然，本书不可能囊括生物医学工程学科的所有研究领域，但是，我们尽可能包含了其大部分主要领域。

本书主要面向已经学过微积分和基础力学的工程专业学生，大学二年级和三年级的学生都应该已经具备学习本书内容的基础知识，生物学、医学和护士专业的学生如果掌握了所需的数学基础知识，也可以读懂本书。

虽然在本书的论述和证明过程中我们都力求严谨，但我们的最终目标是帮助学生掌握生物医学工程学的本质；因此，为了便于理解，必要时我们偶尔会在数学的严谨上做出让步。为了解释基本概念、培养学生解决问题的能力，书中列举了大量例题，并使用计算机软件MATLAB和Simulink作为工具，帮助解题。Simulink是MATLAB的一个工具箱，可用于仿真动态系统。本书的附录介绍了MATLAB和Simulink的基本使用方法，该软件工具是Mathworks公司的产品，该公司联系方式如下：

The Mathworks, Inc.

24 Prime Park Way

Natick, Massachusetts 01760

Phone: (508) 647-7000

Email: info@mathworks.com

WWW: <http://www.mathworks.com>

本书各章的内容分别包含了生物医学工程某个特定领域的主要发展历史，以及该领域生物医学工程设计、分析和建模过程的基本原理，并且，举例介绍该领域所遇到的问题及其解决方法。此外，按照正文内容的顺序在各章末尾列出了一些习题，难易皆有。

根据教师的需要和兴趣，本书可以安排为半学年、一学年或者四分之三学年的课程。书中第1章介绍生物医学工程学发展的历史背景和职业状况；第2章介绍有

目 录

译者序

前言

原书第 3 版作者名单

原书第 2 版作者名单

原书第 1 版作者名单

第 1 章 生物医学工程学的发展历史	1
1.1 现代医疗保健体系的建立	2
1.2 现代医疗保健体系的特点	7
1.3 什么是生物医学工程学	13
1.4 生物医学工程师的职能	17
1.5 生物医学工程的新进展	18
1.6 生物医学工程的专业状况	22
1.7 生物医学工程专业学会	24
1.8 习题	25
第 2 章 道德问题与伦理问题	27
2.1 道德和伦理的定义	28
2.2 两条基本道德原则——行善与不伤害	34
2.3 死亡的新定义	35
2.4 晚期病人与安乐死	38
2.5 医疗决策权	41
2.6 人体试验	42
2.7 人体试验的定义和目的	43
2.8 知情同意	45
2.9 医疗器械产品开发的管理	49
2.10 医疗器械的上市	51
2.11 可行性研究中的伦理道德问题	52
2.12 紧急使用的伦理道德问题	53
2.13 治疗使用的伦理道德问题	56
2.14 FDA 认证过程中生物医学工程师的职责	56
2.15 习题	57
第 3 章 解剖学与生理学	59
3.1 绪论	59
3.2 细胞的结构	61

3.3	组织	72
3.4	人体主要器官系统	73
3.5	内环境的自身平衡	99
3.6	习题	101
第4章	生物力学	104
4.1	绪论	104
4.2	基础力学	108
4.3	材料力学	124
4.4	黏弹性	131
4.5	软骨、韧带、肌腱与肌肉	135
4.6	临床步态分析	138
4.7	心血管动力学	152
4.8	习题	171
第5章	生物材料学	175
5.1	医用材料——从修复到再生	175
5.2	生物材料的种类、特性和应用	177
5.3	生物材料设计和选择中的仿生学	187
5.4	生物材料与组织之间的相互作用	190
5.5	诱导组织修复和再生的生物材料处理技术	198
5.6	生物材料的安全性测试与管理	205
5.7	生物材料应用举例	209
5.8	习题	215
第6章	组织工程学	217
6.1	组织工程的定义	217
6.2	生物学问题	229
6.3	物理学问题	252
6.4	体外培养的工程学问题	266
6.5	组织工程化产品的临床应用问题	269
6.6	未来的发展方向——功能性组织工程	271
6.7	总结	273
6.8	习题	273
第7章	房室模型	281
7.1	绪论	281
7.2	溶质、房室和体积	282
7.3	两个房室之间的跨膜物质传输	284
7.4	建立房室模型的基本方法	297
7.5	单室模型	299
7.6	双室模型	307
7.7	三室模型	316

7.8 多室模型	330
7.9 习题	341
第 8 章 生化反应和酶动力学	355
8.1 化学反应	356
8.2 酶动力学	365
8.3 利用准稳态近似值的其他模型	372
8.4 扩散、生化反应和酶动力学	377
8.5 细胞呼吸：葡萄糖代谢和 ATP 的生成	387
8.6 酶的抑制、变构调节和协同反应	398
8.7 习题	406
第 9 章 生物医学仪器	410
9.1 绪论	410
9.2 基本生物医学仪器系统	412
9.3 电荷、电流、电压、电功率和电能量	414
9.4 电阻	418
9.5 线性电路网络分析法	425
9.6 线性特性与叠加原理	430
9.7 戴维南定理	432
9.8 电感	434
9.9 电容	436
9.10 电阻、电容和电感组成电路的通用求解方法	438
9.11 运算放大器	444
9.12 时变信号	452
9.13 有源模拟滤波器	456
9.14 生物医学仪器的设计	464
9.15 习题	466
第 10 章 生物医学传感器	479
10.1 绪论	479
10.2 生物电的测量	484
10.3 物理量的测量	487
10.4 血气传感器	500
10.5 生物分析传感器	505
10.6 光学传感器	507
10.7 习题	515
第 11 章 生物信号处理	519
11.1 绪论	519
11.2 生物信号的生理基础	520
11.3 生物信号的特性	522
11.4 信号采集	524

11.5	生物信号的频域表示	528
11.6	线性系统	544
11.7	信号平均	561
11.8	小波变换和短时傅里叶变换	566
11.9	人工智能技术	572
11.10	习题	578
第12章 生物电现象		582
12.1	绪论	582
12.2	生物电的发现历史	583
12.3	神经元	590
12.4	生物物理学基本定律和方程	594
12.5	细胞膜的等效电路模型	603
12.6	动作电位的 Hodgkin-Huxley 模型	611
12.7	神经元整体模型	623
12.8	化学突触	626
12.9	习题	632
第13章 生理系统仿真建模		639
13.1	绪论	639
13.2	快速眼动系统概述	642
13.3	Westheimer 扫视眼动模型	647
13.4	扫视控制器	651
13.5	动眼肌模型的建立	655
13.6	1984年建立的交感神经支配的线性扫视眼动模型	664
13.7	1995年建立的线性扫视眼动模型	674
13.8	2009年建立的线性扫视眼动模型	684
13.9	扫视的神经通路	702
13.10	系统辨识	706
13.11	习题	719
第14章 生物医学传输过程		727
14.1	生物医学物质传输	727
14.2	生物流体力学和动量传输	743
14.3	生物医学的热传输	756
14.4	习题	769
第15章 放射成像		771
15.1	绪论	771
15.2	放射性核素成像技术	772
15.3	检测仪器和成像设备	785
15.4	X射线成像系统	789
15.5	习题	803

第 16 章 医学成像	805
16.1 绪论	806
16.2 超声诊断成像	807
16.3 磁共振成像	831
16.4 脑磁图	854
16.5 造影剂	855
16.6 几种成像技术的比较	856
16.7 图像融合	858
16.8 总结	859
16.9 习题	859
第 17 章 光学和激光在生物医学中的应用	863
17.1 基本光学理论概述	864
17.2 生物组织中光传播的基本理论	869
17.3 光的物理作用及其检测	878
17.4 生物物质的光学检测技术	886
17.5 光热疗的基本原理	893
17.6 光纤和波导在医学中的应用	901
17.7 生物医学中的光学成像	906
17.8 习题	911
附录	914

第 1 章 生物医学工程学的发展历史

Joseph D. Bronzino 博士，策划工程师

本章目录

- 1.1 现代医疗保健体系的建立
 - 1.2 现代医疗保健体系的特点
 - 1.3 什么是生物医学工程学
 - 1.4 生物医学工程师的职能
 - 1.5 生物医学工程的新进展
 - 1.6 生物医学工程的专业状况
 - 1.7 生物医学工程专业学会
 - 1.8 习题
- 推荐阅读资料

本章的主要学习内容：

- 先进医疗技术在现代化医疗保健体系创建过程中所发挥的主要作用；
- 生物医学工程的定义和生物医学工程师在医疗保健体系中的作用；
- 生物医学工程师属于专业人员的缘由。

工业化国家的技术发展日新月异，这些技术创新几乎已经渗透到我们生活的各个方面，尤其是医学和医疗卫生领域。虽然医学发展的历史悠久，但是，真正能够广泛、有效地提供诊断和治疗服务的高科技医疗保健体系却还属于新兴事物。在该体系的建立过程中，拥有先进技术的医疗保健中心——现代化医院的出现具有特别重要的意义。

由于工程技术对于先进医疗保健体系极其重要，因此，许多工程专业人员投身于各种医疗创新工作中，使得医学和工程学这两个充满活力的学科结合在一起，从而形成了生物医学工程学。该学科的从业人员开发各种新技术，比如生物传感器、生物材料、图像处理和人工智能等，用于医疗保健领域的研究、诊断和治疗，帮助人类攻克各种疾病。

生物医学工程专业人员属于医疗保健队伍中的新成员，他们的职责是开发新技术，解决现代医疗保健领域所面临的各种疑难问题。本章将全面概述工程技术在现代医疗保健体系形成过程中所起的作用，重点介绍生物医学工程人员的基本职能，并且展示这个生机勃勃的新兴领域的职业状况。

1.1 现代医疗保健体系的建立

远古时期，人们凭借本能和经验，创建了原始的医药科学。例如，通过收集和记录可靠的医疗案例，人们开始发展草药治病法、正骨疗法、外科手术和助产术等。就像原始人类经过长期观察总结出某些蔬菜和谷物可以食用并种植一样，他们也掌握了某些疾病的特性，并把这些经验传给后代。

有证据表明，人类很早之前就积极地利用各种工具施行外科手术来治疗疾病。例如，在欧洲、亚洲和南美洲的许多地方，人们曾经发现过被类似环钻的工具开过孔的颅骨。显然这些骨头上的孔都是用硬器开出来的，构成了进出大脑的通道。那么，当时为什么要做这种手术呢？现在我们只能猜测，最有可能的是有人偏头痛剧烈发作，或者癫痫病人突然发作并瘫倒在地，当时的人们认为这种开颅手术可以解救病人。而且，手术是在活人身上进行的，因为这些头骨上的孔的边缘是圆滑的，说明手术后骨头又生长过。这点证明了这些人术后确实活了下来。从这些早期医术开始，医学职业就成了整个人类社会文化不可分割的一部分。

下面介绍几位最成功的早期行医者，他们的故事都很有趣。其中，Imhotep 是公元前 3000 年设计第一座金字塔的建筑师。长期以来，埃及人对他一直极为敬重。不过，这并不是因为金字塔，而是因为他的医生身份。在给病人看病时，他可以使病人安详地入睡，Imhotep 这个名字就是由此而来，它的意思是“带来安宁的人”。Imhotep 的医术非常精湛，以致他在埃及文化中被神化为“康复之神”。

又如，至今仍在广泛使用的医药处方的标志符“Rx”，就来源于古埃及的传说“太阳神 Horus 的眼睛”（Eye of Horus）。Horus 小时候曾遭受恶魔 Seth 的袭击而失明，后来，他母亲 Isis 向最权威的健康之神 Thoth 求助，Thoth 随即恢复了 Horus 的视力。于是，“Horus 的眼睛”在埃及成为神灵保佑和康复的象征，由此传说产生的“Rx”标志就是维系古代医学与现代医学的最明显纽带。

Imhotep 的思想和实践经验被记录在莎草纸上，并埋藏在古墓中。1873 年，George Elbers 得到了一卷大约写于公元前 1500 年的书稿，其中记录了从治疗鳄鱼咬伤到便秘等各种疾病的几百种方法。在此之前，1862 年，Edwin Smith 曾经找到另一卷大约写于公元前 1700 年的莎草纸书稿，它是最重要最完整的一本古代外科手术著作。这两本莎草纸著作描述了一系列手术病例的诊断、预后和治疗方法。毫无疑问，它们是医学史上的杰出著作。

受到古埃及文化和 Imhotep 的影响，希腊人树立了自己的康复之神 Aesculapius。根据传说，太阳神 Apollo 在一次下访人间时留下了名为 Aesculapius 的一个儿子。Apollo 是一位非常关心子女的父亲，正如现今很多父母一样，他希望自己的儿子成为医生。就请人首马身的 Chiron 当老师，教 Aesculapius 学习治病的方法。不久，学生不仅精通了老师的医术，还迅速超过了老师，使人类的寿命大大延长，以致阴间的人口数量都开始下降了。于是，阴间之神 Pluto 强烈抗议，迫使天神 Zeus 不得不用雷电劈死了 Aesculapi-

us，并将他升至天堂成为神。

神话故事一般都与史实具有一定的联系，Aesculapius 究竟是不是像埃及的 Imhotep 一样，是一位人间行医者呢？这无从考证。不过，有一件事是可以确定的，那就是到了公元前 1000 年，医生已经成为十分受人尊敬的职业。

在希腊，名为 Aesculapius 的教堂曾经是病人康复治疗的地方，可以说是最早的医院（见图 1.1）。

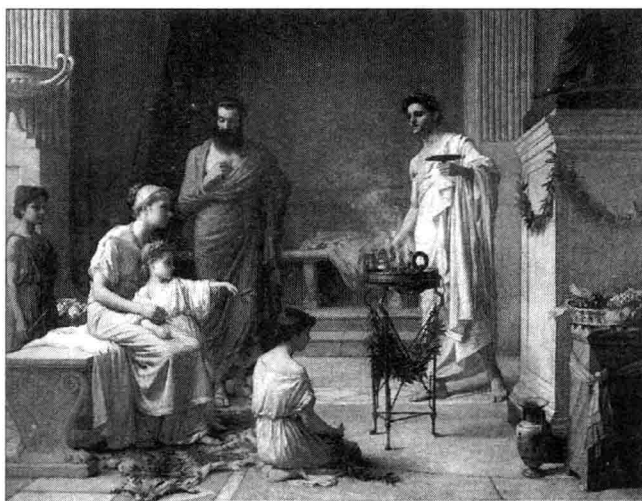


图 1.1 被送进 Aesculapius 教堂的患病儿童
(摘自 <http://www.nouveaunet.com/images/art/84.jpg>)

这类“康复”教堂中最著名之一位于 Cos 岛，古希腊医学的代表人物希波克拉底（Hippocrates）就出生在这座岛上。希波克拉底从小随父亲学医，他并不是一位很善于创新的医师，但是，他很善于收集和学习前人的各种治疗方法和技术。他把医师看成科学家，而不是牧师。因此，希波克拉底最早给医学注入了一种新的要素，这就是科学精神。从他开始，行医时的迷信仪式逐渐转变成检查、诊断和临床治疗。他认为疾病是一种自然发生的过程，而不是神赐予的。疾病的发展有一定的规律，病症是身体对抗疾病的反应。他还强调身体本身拥有自我康复的能力，医师的任务只是帮助病人增强这种自然抗病的力量。希波克拉底把每个病人都当做新的案例来研究，并将它们记录下来。他对各种疾病的精确描述至今仍是医生们学习的楷模。希波克拉底曾任 Cos 学院的院长，该学院培养了许多学生。这些人后来移民到了地中海各个地区，在那里行医并广泛传播他们校长的哲学思想。希波克拉底及其学院的工作，以及他所创立的传统，造成了医学与巫术之间的第一次真正决裂，并为科学医学打下了基础。不过，作为一名医师，希波克拉底代表的是医学精神，并不是医学科学，他塑造了一名好医师的形象，即病人的朋友、仁慈的专家。

在古罗马帝国的鼎盛时期，其威力遍及大半个地球。它吸收并继承了各种伟大文

化，其中包括医学上的进步。虽然罗马人自己对临床医学的发展并没有什么贡献，但他们在公共卫生方面确实取得了杰出的成就。例如，他们建立了组织严密的军队医疗服务队。这些服务队不仅在各个战场上给古罗马军团提供急救服务，而且还在遍布罗马帝国的各个战略要塞为病人的康复治疗建立了基地医院。城市下水道系统和输水管道的建设是罗马人另一卓越的成就，为罗马帝国创造了卫生的生活环境，体现了其在医学和社会环境上的进步。饮用纯净的水和干净的食物可以控制流行病的传播，使得城市的存在成为可能。不幸的是，由于对疾病缺乏足够的科学认识，使用公共卫生设施的罗马人即便想尽办法，也不能避免周期性发生的疾病灾难，特别是瘟疫，它们随时会无情地降临到市民头上。

起初，罗马统治者并不喜欢希腊的医师和医术。然而，几年之后，希波克拉底的弟子们给人留下了良好的行医印象，并广泛流传开来。在公元前46年，古罗马凯撒大帝为了奖赏这些行医者为罗马帝国的人民所做出的贡献，给所有在他领地上的希腊医师们授予了罗马公民的身份。这个新身份使得这些人的生活有了保障，在当年罗马遭遇饥荒时，这些希腊医师是唯一没有被驱逐出境的外国人。相反，罗马人甚至还给他们奖赏让他们留下来！

颇具讽刺意味的是，被认为是罗马历史上最伟大的医师——盖仑（Galen）竟然是希腊人。因为治愈了罗马帝王的热病，盖仑成为罗马医学界的名人。他傲慢，喜欢吹嘘。与希波克拉底不一样，他只宣扬成功的病例。不过，他的确是一位杰出的医师。盖仑的医疗诊断是一门艺术。除了负责自己的病人以外，他还答复来自远方其他地方的医疗咨询。他非常勤奋，撰写了300多部有关解剖和体检的书籍，其中包括精选的病历案例、他开过的药方，当然也少不了一些自我炫耀的内容。他当时写的人体解剖学其实是蒙人的。由于他反对人体解剖，因此，只是根据动物的研究结果来画人体的解剖器官。但是，由于盖仑当时主宰了医学界，后来又得到罗马天主教的支持，因此，他实际上阻碍了医学的求真探索。他的医学观点和著作在随后的宗教统治的“黑暗时期”被罗马教皇和权威人士看做“圣经”和“定律”。

罗马帝国衰败之时，教堂已经成为知识宝库，汇聚了那些经过几个世纪的漂泊，流传到地中海地区的所有学术成就，包括医学知识。它们在教徒中流传，散布于各种不同等级的教堂。

早期天主教的教义和人们对神的恩慈的信仰，使得在上千年的时间里医学研究一直停滞不前。在16世纪文艺复兴时期之前，医学一直没有出现显著的进展。希波克拉底曾经指出，疾病不是上帝给予人类的惩罚，而是一种自然现象。但是，在教会和新上帝的指引下，疾病超自然起源的陈旧观点又复苏并传播开来。

在这个时期，虽然医学知识缺乏，然而，穷人却能获得慈善救助。基督徒医师们对穷人和富人一视同仁，教会承担着救死扶伤的责任。而且，现在的医院实际上就是从基督教当时创建的医院演变而来的，因此，创建医院被公认为教徒医学的主要贡献之一。公元335年，在第一个信奉基督教的罗马帝王君士坦丁一世（Constantine I）的统治下，所有异教徒的康复教堂都被关闭，并且，每个主教堂城市都建立了医院。（注：英

文的医院“hospital”一词源于拉丁文 hospes，意思是“宿主”或“客人”。英文的“hotel”和“hostel”两词也源于该词根。)这些早期的医院都是一些简朴的房子，可以给疲惫的旅客和病人提供食宿和护理。医院由教会运作，修道士和修女们负责病人的康复治疗。

在十字军时期，基督教信仰、人道主义和慈善思想在欧洲和中东地区广泛传播，医院系统也同时传播开来。但是，那些受过培训的医生主要还是到病人家中给人看病。医院接纳的只是那些过于劳累的游客、穷人和没有治愈希望的病人。并且，这些早期的医院条件有好有坏，差别很大。有的医院资金充足，管理妥善，对待病人友好。但是，大多数医院其实只是看守所，其作用主要是把棘手的或者患传染病的病人与公众隔离开来。这些地方往往拥挤、肮脏，病人和医护人员的死亡率都很高。因此，人们通常因害怕而回避这些医院。

15~16世纪的文艺复兴和宗教改革解除了教会对医院和医疗活动的控制。文艺复兴时期，人们追求医学知识之类的自然界真正奥秘的渴望被再次激发。人体解剖学得到了进一步发展，并且，米开朗基罗(Michelangelo)、拉斐尔(Raphael)、杜勒(Durer)等著名画家，当然还有天才画家达·芬奇(Leonardo da Vinci)，都为深入研究人体解剖学做出了贡献。他们把盖仑用文字描述的人体结构画成实物图像。非常详细地描绘出病人以及他们的痛苦，并且惊人地深入勾画出心脏、肺、大脑和肌肉的结构。他们还试图在人物画像上展现出情绪和身体素质。在这个激昂奋发的时代，医师们也开始用同样的方式对待病人，并深入探索医学知识。新的医学院不断涌现，最著名的有萨勒诺(Salerno)、博洛尼亚(Bologna)、蒙彼利埃(Montpelier)、帕多瓦(Padua)和牛津(Oxford)等地的医学院。这些医学院重新采纳了希波克拉底的学说，认为病人也是人，疾病是一种自然过程，基于知识的治疗可以帮助人体战胜疾病。

文艺复兴时期，事物的基本原理受到重视，检测技术开始发展。1592年伽利略访问意大利城市帕多瓦(Padua)时，给一大群医学院的学生做了数学讲座，讲解他的著名理论，并展示了他的一些发明，有测温器、钟摆和望远镜镜片等。他的学生Sanctorius就利用这些装置研究了人体体温和脉搏。后来，帕多瓦的毕业生威廉·哈维(William Harvey)还应用伽利略的运动定律和力学定律求解了血液循环问题，测出了流经动脉的血流量，用于诊断心脏的功能。

伽利略提倡运用正确的实验测量方法。这些方法是科学工具，可以帮助医生做出有效的诊断，避免胡乱猜测。只有经过实验证明的学说才会被采纳。有些医学研究人员采用这些新方法，将体温和脉搏速率的测量数据与其他相关症状结合起来，帮助医生诊断某些特殊的疾病。与此同时，显微镜的发明扩大了人类的视野，将一个惊奇的未知世界呈现在人们眼前，成为备受关注的焦点。然而，这些科学新装置当时对于普通医师并没有产生什么影响，他们仍然在使用放血法和有害的药膏治疗各种疾病。只有在大学里，多个科研小组联合起来，才能汇集不同的装置和各种智慧。

在英格兰，亨利八世(Henry VIII)曾经热情有力地支持医学，他支持医生反对渎职行为，并支持建立皇家内科医学院(Royal College of Physicians)。该医学院是欧洲最早

的纯医学机构。16 世纪初期，他镇压了修道士体制，教会医院都被所在城市接管。随后，出现了私立的、非营利性的志愿者医院，散布于各地。其中的工作人员是医生和医学院学生，代替了原来的修女护士和修道士医师。结果使得医院中几乎没有专业护理人员，只有教会医院还保留着护理，这使得穷困病人只能待在教会医院。直到数年之后，佛罗伦萨·南丁格尔（Florence Nightingale）改变了这种局面。

这里，还有一件值得一提的事件。随着城市人口的不断膨胀，英格兰对医院的需求量空前增长，但是，当时的设施不可能满足那么大的需求。因此，在 17 世纪，伦敦的两家主要城市医院——圣巴塞洛缪（St. Bartholomew）和圣托马斯（St. Thomas）率先采取了一项措施，医院只接纳和治疗那些可能治愈的病人，不能治愈的患者只能把自己的命运交给精神病收容所、监狱或者救济院等其他机构。

18 世纪，在法国和美国的殖民地，人道主义和民主运动成为备受人们关注的问题，权利平等的思想终于形成。并且，随着城市化的发展，美国社会开始关注其成员的福利。医护人员把服务范围扩大到那些社会的“不幸”群体上，开展监狱改革、儿童保育和医院运动，来帮助缓解这些“不幸者”的痛苦。然而，尽管医院开始积极主动地救治病人，但是，病人的死亡率并没有下降，反而继续增长。例如，巴黎的 Hotel Dru 医院大约建于 17 世纪，是现存的最古老的医院。在 1788 年，该医院病人的死亡率接近 25%。不仅病人的死亡率高，而且在这些医院工作的医护人员的死亡率也相当高，每年有 6% ~ 12% 的医护人员死亡。

实际上，当时医院成了人们尽量回避的地方，难怪美国殖民者先驱迟迟不愿意建立医院。美国第一家医院是宾州医院（Pennsylvania Hospital），它直到 1751 年才建成。波士顿则用了 200 多年时间才建起了第一家医院——麻省总医院（the Massachusetts General Hospital），并于 1821 年向公众开放。

在 19 世纪中叶，随着著名的细菌学说的发展，现代医学史上出现了重大进展。细菌学说指出，传染病是由生活在人体内的微生物引发的。作为早期细菌学说的一个证明，约翰·斯诺（John Snow）与伦敦 Broad 大街水泵的故事家喻户晓。在工业化时代拥挤的伦敦街头，当时霍乱病菌肆虐，形成了流行态势，是当地医生约翰·斯诺利用一张街区地图终止了疾病的传播。斯诺在地图上画出了霍乱病例在市区内的分布图，发现病源来自于一台水泵。斯诺拆掉水泵上的把手，使水泵报废，这样，被污染的水源也就不再使用。斯诺既证明了细菌学说，同时也挽救了数千人的生命。现在公认的是法国化学家 Louis Pasteur 在 19 世纪中叶创建了细菌学说的基本理论。

直到 19 世纪，医院才能够使相当数量的病人受益。这个时期的进步主要归功于护理水平的提高。从克里米亚战场（Crimean War）回到英格兰的佛罗伦萨·南丁格尔（见图 1.2）创建了护理职业，她认为当时医院的状况比疾病本身更容易引起病人的死亡。19 世纪前半叶，南丁格尔迫使医院将医疗重点放在病人的护理上。满怀着激情和智慧，她阐述了护理思想：“护理可以使我们拥有可能的最佳条件，以便于病人自然恢复健康，并保持健康……请注意，我们是护理病人，而不是护理疾病。”到了 19 世纪后半叶，她的影响力达到了顶峰，世界各地新建的医院几乎无不采纳她的忠告。

虽然这些工作很出色，但是20世纪之前的医院仍然只是接纳穷困病人的机构。例如，19世纪70年代，美国人在审核约翰·霍普金斯医院（Johns Hopkins Hospital）的建设规划时认为，配置324张免费病床和24张收费病床是很合理的。那时，不仅医院接纳的病人只代表广大社会阶层中的很小一部分，而且医院也只能治疗众多疾病中很有限的几种。例如，1873年，大约半数美国医院不接纳传染病患者，很多医院也不接纳患不治之症病人。此外，在那个时期，普通医院手术率只有5%，其中多数是外伤病例。

100多年之前的美国医院相当简陋，其管理机构对于医院的装备没有特定的要求，只要有炊具和洗衣设备就可以了。此外，由于医生通常没有薪水，并且护理费用很低，因此，医院正常运作的大部分费用开销在食物、药品和公用设施上。直到20世纪，美国才开始进入“现代化医院”的时代，下面我们就会看到，工程技术在医院的发展过程中起了非常重要的作用。



图 1.2 佛罗伦萨·南丁格尔的肖像

(摘自 <http://ginnger.topcities.com/cards/computer/nurses/765x525nightengale.gif>)

1.2 现代医疗保健体系的特点

现代医学实践始于19世纪末20世纪初。在20世纪之前，由于主要医学资源只有为数不多的内科医师和他们所受的教育，还有小小行医箱。因此，医学对于普通市民没什么贡献。当时，造成医生短缺的原因与现在不同。那时，医生收取的费用很低，需求也很少。医生所能提供的大部分服务，居住在社区里的有经验的业余人士也都能提供。治疗和康复主要是上门服务，亲戚和邻居有能力也愿意帮助护理病人，接生婴儿还有专门的助产师。而那些家庭疗法不能治愈的病人只能听天由命了。到了20世纪，科学技术的重大发展才促进了美国医疗保健体系的迅速发展。于是，医院成为该体系的中心，专业医生和护士成为主角。

20世纪，化学、生理学、药理学等基础科学开始加速发展。物理学的各种新发现促使医学技术的研究产生了飞跃。例如，1903年，威廉·爱因托芬（William Einthoven）设计出了第一台心电图机，能够检测心跳过程中所产生的电流变化（见图1.3）。这一发明不仅为心血管医学，也为电测量技术开创了新时代。

那个时期的新发现真是层出不穷，就像连锁反应一样，其中对于临床医学的发展意义最大的是X射线的发现。从伦琴（W. K. Roentgen）阐述他的“新射线”那一天起，