



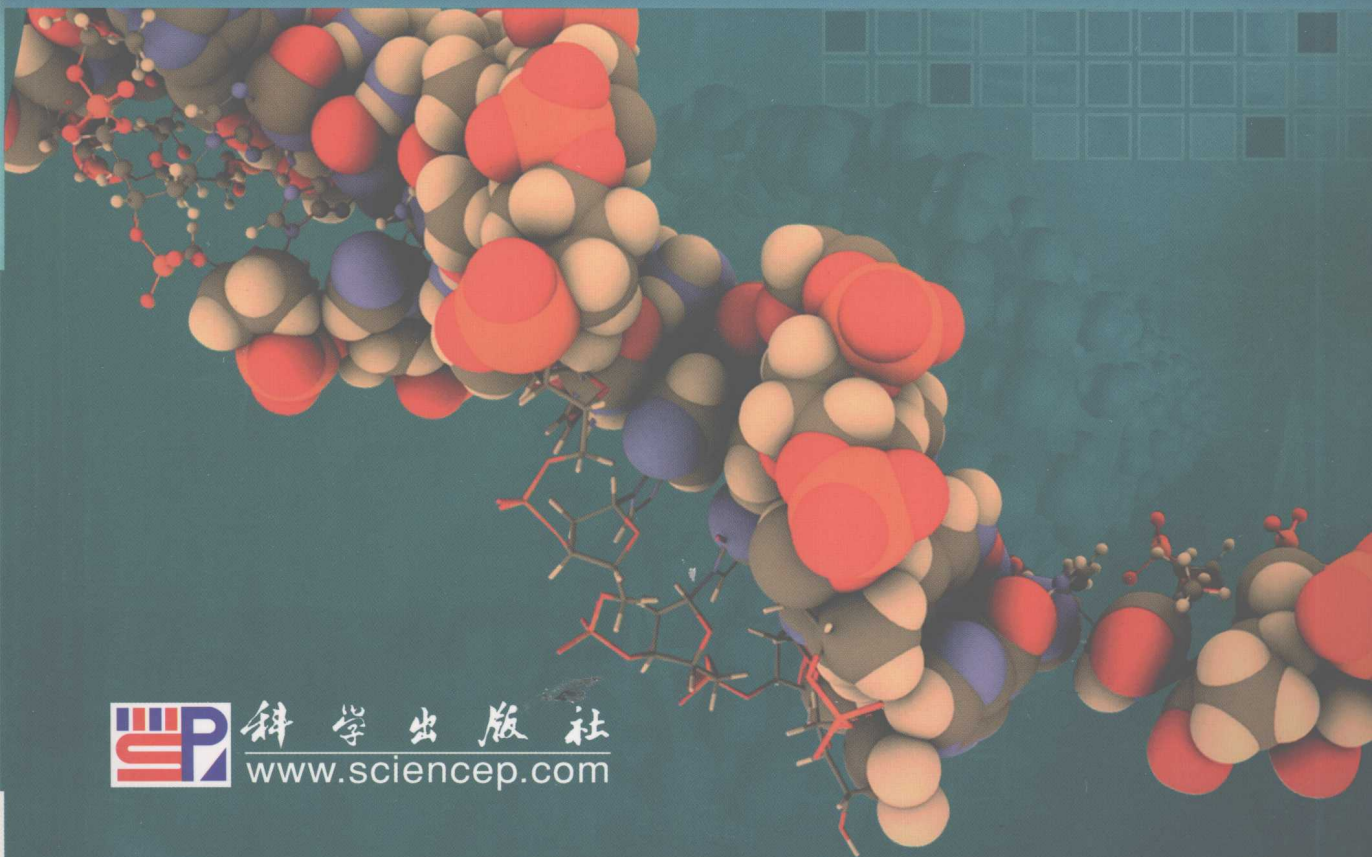
普通高等教育“十一五”国家级规划教材

生物医学工程学

邓玉林 / 主编
李勤 / 副主编



科学出版社
www.sciencep.com



内 容 简 介

本书被列为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书系统、全面地介绍生物医学工程学相关背景、基础理论、应用技术,以及学科发展若干前沿动态。

全书共3篇18章,分别是引言、生物电磁学、生物力学、超声医学原理、生物医学光子学、生物技术、生物医学传感技术、生物医学信号处理、现代医学影像技术、电生理的诊断与监护技术、临床生化检验技术、放射治疗技术、定向能量外科治疗技术、理疗技术与康复、医院数字化信息化技术、生物材料、基因芯片与数据分析、MEMS技术在生物医学工程中的应用、生物信息学导论。

本书适合于普通高等院校医学、生物科学、生物医学工程等相关专业教学使用,也可作为工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

生物医学工程学/邓玉林 主编. —北京:科学出版社,2007
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
ISBN 978-7-03-020192-8

I. 生… II. 邓… III. 生物医学工程-高等学校-教材 IV. R318

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 149578 号

责任编辑:单冉东 卜 新 / 责任校对:陈玉凤
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年9月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2007年9月第一次印刷 印张:25 1/2

印数:1—3 000 字数:585 000

定价:38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换<路通>)

编写人员名单(按姓氏汉语拼音排序)

- 曹 群 (第三、六、十七章)
邓玉林 (引言、第十章)
高上凯 (第八章)
顾本广 (第十一章)
李 勤 (第四章)
牛凤歧 (第十二章)
彭彧华 (第二、十三章)
唐晓英 (第一、七章)
万志红 (第十四章)
王湘云 (第十四章)
吴祈耀 (前言、第十二章)
吴水才 (第九章)
杨新林 (第十五章)
张举华 (第十六、十八章)
赵东旭 (第五章)
邹鲁民 (第十四章)

前 言

生物医学工程学(biomedical engineering, BME)是运用自然科学和现代工程技术的原理和方法,多层次研究人体结构、功能和各种生命现象的理、工、医相结合的交叉学科。其应用技术主要用于人类疾病预防、诊断、监护、治疗、保健、康复及生殖健康等的材料、制品、仪器、系统等。

生物医学工程学是在物理学、化学、生物学、数学等传统自然学科及现代医学、生物物理、生物化学、工程学、材料学等现代自然学科基础上发展起来的一门学科跨度很大的新兴学科。作为工程学科,其应用基础涉及的范围很宽,不仅包括生物电磁学、生物光学、生物力学、声学等这些生物学与物理学结合的工程技术学科,而且包括近些年发展很快的现代生物学与化学结合的工程学科,其应用技术主要有医疗器械系统、设备、器具、材料及其相应的应用技术,包括传感器、信息技术、网络技术、医用材料技术等。

本书以生物医学工程学的应用基础、应用技术作为主要内容,并适当介绍了一些前瞻性技术。考虑到目前国内工科院校生物医学工程学的学科方向和教学需要,本书用较大篇幅系统介绍现代医疗仪器的原理和应用技术。

现代医疗仪器的品种和规格繁多,按其用途大体可分为三类:医学诊断技术与设备、现代物理治疗技术与设备、医学信息系统与设备。

1. 医学诊断技术与设备

在现代医学中,影像观察、生理参数检测、临床检验等是基本的辅助诊断手段,相应的技术与设备有:

(1) 影像检测设备。X 射线(包括 CR、DR)、X-CT、MRI、PET、SPECT 以及超声诊断、内窥镜、红外热成像等。

(2) 电生理检测、分析与监护设备。EEG、ECG、EMG、EOG 等电生理信号检测,心率、脉搏、血氧、呼吸、体温等生命指征检测及分析处理设备,动态心电监护、多导生理监护、母婴监护、胎儿监护等监护设备。

(3) 生化分析检验设备与方法。生化分析、血液分析、血气分析、尿液分析等常规检验设备,荧光、免疫、基因芯片等新型生物学检验方法。

2. 现代物理治疗技术与设备

物理治疗的基本作用原理主要有 3 种:病灶的损毁、杀灭、切除;活体组织与器官的修补、替代或功能辅助;通过功能刺激促进代谢,增强身体自组织、自调整、自我修复能力,并恢复机体和组织的正常功能。相关技术与设备大体上可分为 6 类:

(1) 放疗技术与设备。

(2) 定向能量外科技术与设备。

(3) 人工器官与功能辅助器械。

(4) 常规理疗技术与设备。

(5) 康复医学技术与设备。

(6) 医疗保健、家庭医疗保健技术与设备。

3. 医学信息系统与设备

医学信息系统与设备是实现医疗信息化的物质基础和技术保证。建立医院信息系统(hospital information system, HIS)是构建整个医学信息系统、逐步实现医疗信息化的最关键的步骤。一个完善的 HIS 包括 3 个分系统:

(1) 临床信息系统(clinical information system, CIS)。包括图像存档与传输系统(picture archiving and communication system, PACS)、放射影像(radiation information system, RIS)、实验室(laboratory information system, LIS)、系统信息集成及电子病历(electronic medical record, EMR)、远程医疗等。

(2) 医院管理信息系统(hospital management information system, MIS)。包括门诊管理、病区管理、财务管理、药房管理、行政管理、人事管理系统等。

(3) 医院办公自动化(office automation, OA)。医院网站、电子邮件、公文传送处理及办公系统、电子图书馆等。

完整的 HIS 应实现以病人为中心的医疗及医务管理,最终构成数字化医院,实现电子病历(electronic medical record, EMR)。随着经济和技术的发展,人们对生活质量和健康水平的要求越来越高,数字化医院与电子病历出现,健康和医疗的完整数据记录以及安全而充分的信息共享需求推动了电子健康(electronic health)与电子健康档案(electronic health record, EHR)的发展,成为当今全球医疗信息化的新热点。

由上可见,医疗仪器涉及的学科和技术十分广泛,故本书只对其中部分内容进行讨论。医疗信息化的重要性是不言而喻的,但它既是现代医疗器械与计算机技术、网络技术密切结合的医疗器械领域,又是一个相对独立的以 IT 和软件技术为主的领域,限于本书的主要要求及篇幅限制,没有进行深入讨论。

参加本书编写的作者,大都是富有朝气的年轻人,包括多位近年从美、德、日、加学成归国的博士和博士后,对国外本学科的发展有一定深度的了解,本人也有较好的学术基础。为了进一步提高图书质量,还邀请了多位国内知名学者参与编写,这使本书的学术价值和可读性有良好保证。本教材编写过程中,作为北京市高等教育精品教材建设项目,得到北京市教委的大力支持。在此,对相关单位和专家一并表示感谢。

作为专业教材和教学用书,本书编写时间紧,内容跨度大,编者多,给统编工作带来一些困难。虽然编写人员做了多方努力,但缺点和不足仍然在所难免,只能通过今后的教学科研实践进一步充实和提高,恳请业内专家和广大读者不吝赐教。希望通过我们的共同努力,奉献给广大读者一本高水平的精品教材,为我国生物医学工程的学科发展和人才培养贡献一点微薄力量。

吴祈耀

2007年6月

目 录

前言

引言..... 1

基础篇

生物医学工程学中的基础理论

| | |
|-----------------------------|----|
| 第一章 生物电磁学 | 11 |
| 第一节 概述 | 11 |
| 第二节 生物电现象 | 12 |
| 第三节 电磁波在医学中的应用 | 20 |
| 第四节 微波的生物效应 | 22 |
| 第五节 毫米波生物学效应 | 23 |
| 第六节 生物磁场现象 | 26 |
| 第七节 生物电磁剂量学和电磁辐射的安全标准 | 30 |
| 第八节 生物电磁场热点问题 | 32 |
| 第二章 生物力学 | 36 |
| 第一节 概述 | 36 |
| 第二节 软组织的力学性质 | 39 |
| 第三节 骨的力学性质 | 45 |
| 第四节 血液的流动性质 | 48 |
| 第五节 心脏、动脉和静脉中的血液动力学 | 55 |
| 第三章 超声医学原理 | 63 |
| 第一节 概述 | 63 |
| 第二节 医学超声的物理基础 | 64 |
| 第三节 医用超声换能器医学超声的物理基础 | 71 |
| 第四章 生物医学光子学 | 80 |
| 第一节 概述 | 80 |
| 第二节 光和物质 | 80 |
| 第三节 生物系统的超微弱光子发射 | 82 |
| 第四节 生物组织中光传播的基本规律 | 86 |
| 第五节 激光与组织的相互作用原理及应用 | 89 |
| 第六节 生物医学研究中的光学成像技术 | 94 |
| 第七节 光谱技术及其在生物医学中的应用 | 99 |

| | |
|--------------|-----|
| 第五章 生物技术 | 105 |
| 第一节 概述 | 105 |
| 第二节 生物学基础 | 105 |
| 第三节 基因组生物技术 | 109 |
| 第四节 蛋白质组生物技术 | 115 |
| 第五节 制药生物技术 | 118 |
| 第六节 纳米生物技术 | 122 |

应用技术篇

生物医学工程中的应用技术

| | |
|--------------------|-----|
| 第六章 生物医学传感技术 | 127 |
| 第一节 概述 | 127 |
| 第二节 物理传感器 | 132 |
| 第三节 化学传感器 | 133 |
| 第四节 生物传感器 | 136 |
| 第七章 生物医学信号处理 | 141 |
| 第一节 概述 | 141 |
| 第二节 生物医学信号的特点 | 141 |
| 第三节 生物医学信号的提取及特征 | 142 |
| 第四节 生物医学信号的常用处理方法 | 145 |
| 第五节 现代生物医学信号处理方法简介 | 148 |
| 第六节 生物医学信号的参数模型分析 | 151 |
| 第八章 现代医学影像技术 | 159 |
| 第一节 概述 | 159 |
| 第二节 投影 X 射线成像 | 161 |
| 第三节 X 射线计算机断层摄影 | 164 |
| 第四节 超声成像系统 | 168 |
| 第五节 放射性核素成像系统 | 171 |
| 第六节 磁共振成像系统 | 175 |
| 第七节 医学图像的未来发展 | 179 |
| 第九章 电生理的诊断与监护技术 | 182 |
| 第一节 概述 | 182 |
| 第二节 心电分析与诊断技术 | 187 |
| 第三节 脑电分析与诊断技术 | 191 |
| 第四节 肌电检测与应用 | 194 |
| 第五节 眼电检测与诊断 | 198 |
| 第六节 胃电检测与诊断 | 201 |

| | | |
|------|-----------------|-----|
| 第七节 | 电生理监护技术 | 203 |
| 第十章 | 临床生化检验技术 | 207 |
| 第一节 | 概述 | 207 |
| 第二节 | 自动生化分析仪 | 207 |
| 第三节 | 免疫学分析技术 | 217 |
| 第四节 | 血液学分析技术 | 231 |
| 第五节 | 临床微生物学鉴定技术 | 234 |
| 第十一章 | 放射治疗技术 | 246 |
| 第一节 | 概述 | 246 |
| 第二节 | 远距离放射治疗技术 | 250 |
| 第三节 | 近距离放射治疗技术 | 265 |
| 第十二章 | 定向能量外科治疗技术 | 269 |
| 第一节 | 概述 | 269 |
| 第二节 | 肿瘤热疗技术 | 271 |
| 第三节 | 高强度聚焦超声 | 275 |
| 第四节 | 体外冲击波碎石技术及其临床应用 | 282 |
| 第十三章 | 理疗技术与康复 | 290 |
| 第一节 | 概论 | 290 |
| 第二节 | 理疗学 | 291 |
| 第三节 | 康复 | 302 |

发展趋势篇

生物医学工程发展趋势

| | | |
|------|-----------------------|-----|
| 第十四章 | 医院数字化信息化技术 | 311 |
| 第一节 | 绪言 | 311 |
| 第二节 | 卫生健康信息交换标准 HL7 2. x | 312 |
| 第三节 | 医学数字成像与通信标准 DICOM 3.0 | 318 |
| 第十五章 | 生物材料 | 328 |
| 第一节 | 概述 | 328 |
| 第二节 | 生物材料种类 | 329 |
| 第三节 | 生物材料的结构与性质 | 331 |
| 第四节 | 生物材料的制备与加工 | 336 |
| 第五节 | 生物材料的表面改性 | 340 |
| 第六节 | 组织工程 | 343 |
| 第七节 | 人工肽类生物材料 | 349 |
| 第十六章 | 基因芯片与数据分析 | 355 |
| 第一节 | 基本概念 | 355 |

| | | |
|-------------|---------------------------|------------|
| 第二节 | 什么是微阵列 | 356 |
| 第三节 | 微阵列芯片实验的主要步骤 | 357 |
| 第四节 | 微阵列数据的后处理 | 359 |
| 第五节 | 微阵列芯片的应用 | 361 |
| 第十七章 | MEMS 技术在生物医学工程中的应用 | 364 |
| 第一节 | 概述 | 364 |
| 第二节 | MEMS 的原理与制造 | 365 |
| 第三节 | MEMS 技术在生物医学工程中的应用 | 372 |
| 第十八章 | 生物信息学导论 | 379 |
| 第一节 | 概述 | 379 |
| 第二节 | 基因组信息学 | 381 |

引 言

生物医学工程学(biomedical engineering, BME)是一门新兴的交叉学科,它是现代生物、医学与工程学相互渗透的产物。生物医学工程学与其他学科一样,其发展也是由科技、社会、经济诸因素所决定的。第二次世界大战以后,特别是20世纪60年代以来,工业化带来的物质文明高度发达,人们的生活环境、工作节奏等发生了重大变化,使得人类自身的健康越来越受到人们的关注。同时,以电子学为先导,几乎所有的自然科学以及工程学科都向生物学、医学迅速地渗透。生物学和医学也由形态地描述生命现象向定量地认识生命过程发展,特别是电子工业、计算机的更新换代和宇航工业的迅猛发展使得整个技术世界进入了一个崭新的阶段,甚至引发了新的技术革命。它表明人们对于改造客观世界已经具有了相当完备的手段。然而,人们对于自身的认识比起对非生命的客观世界的认识就显得逊色多了。当前技术的进步使得人类有能力借用工程的手段去探讨生命的奥秘。

一、现代健康概念与体系

健康是人类生命存在的正常状态,是经济发展、社会进步、民族兴旺的保证。实现“人人享有卫生保健”是全人类共同的理想和目标。

健康是一个具有强烈时代感的综合概念,并随着社会和医学科学的发展而逐步深化。在生产水平低下、生活贫困时期,人们认为无病就是健康。随着社会的发展、生产水平的提高,物质生活逐渐丰富,人们提出了健康是生物学上的适应,是指没有疾病和无伤残等。世界卫生组织(WHO)1948年在其宪法中提出“健康不仅是没有疾病或者虚弱,而是指身体的、心理的和社会的良好状态”的三维健康观。

在三维健康观的基础上,健康分为三个层次。

第一层(一级健康)是满足生存条件,包括:①无饥饿、无病、无体弱,能精力充沛地生活和劳动,满足基本卫生要求,对健康障碍的预防和治疗具有基本知识;②对有科学预防方法的疾病和灾害,能够做到采取合格的预防措施;③对健康的障碍能够及时采取合理的治疗和康复措施。

第二层(二级健康)为满意度条件,包括:①一定的职业和收入,满足经济要求;②日常生活中能享用最新科技成果;③自由自在地生活。

第三层(三级健康)为最高层次的健康,包括:①通过适当训练,掌握高深知识和技术并且有条件应用这些技术;②能过着为社会做贡献的生活。

健康的内涵包括:①一般的安宁状态,可以过正常生活和参加生产劳动;②自我感觉良好,这也是健康的基准之一。如一个残疾者外表上虽然有别于正常人,但能够按自己身体的特点克服种种困难,做些对社会有益的工作,仍是一个健康者;而一个体格健康,却终日郁郁寡欢,无所事事的人,则不能视为健康者;③个体对环境和社会各种因素的适应能力;从事各项工作的效率。

现代健康观改变了人们,特别是医学界长期存在的只重视健康的躯体方面的因素,而忽视了健康的心理社会方面因素的片面观点。其最常见的表现形式是:在医疗工作中,只管治疗躯体疾病,而不顾及并给病人带来的心灵上的痛苦和引起的社会后果;只重视药物和物理治疗,而忽视心理和社会治疗;在病人的康复过程中,只注意躯体康复,而轻视心理健康;在预防医学中,只重视生理卫生,而不关心心理卫生。健康概念有与一定时代相适应的特点,但也并非一成不变,而是在不断的变化。随着科学技术的发展,生物以及社会环境、生活环境的改善,健康的概念会不断增加新的含义。

二、什么是生物医学工程学

生物医学工程学是运用现代自然科学和工程技术的原理和方法,从工程学的角度,在多层次上研究生物体特别是人体的结构、功能和其他生命现象,研究用于防病、治病、人体功能辅助及卫生保健的人工材料、制品、装置和系统的工程原理的学科。工程学是建立在基础自然科学(主要是物理学,也涉及化学和生物学等)原理基础上的应用技术科学;而医学是整个生命科学(也可看作是广义的生物科学)中以实际应用(对疾病的预防、诊断和治疗)为主的一个部门,它既不同于一般的基础自然科学,也不同于一般的工程技术科学,是一门独立的科学。生物医学工程学则是一门现代工程技术和生命科学(特别是医学)相结合的高度综合性的生物医学应用技术科学,就是说,它是综合运用工程学的理论和方法,深入研究、解释、定义和解决生物医学上有关问题的一门科学。美国国立卫生研究院(NIH)有关名词命名专家组对生物医学工程学的定义是:“生物医学工程学是结合物理学、化学、数学和计算机科学与工程学原理,从事生物学、医学、行为学或卫生学的研究;提出基本概念,产生从分子水平到器官水平的知识,开发创新的生物学制品、材料、加工方法、植入物、器械和信息学方法,用于疾病预防、诊断和治疗,病人康复,改善卫生状况等目的。”

生物医学工程学的内容十分广泛。主要内容包括:有关各种医学新技术的原理、方法和相应仪器设备,各种医学仪器的原理、设计、制造、改进和创新、各种医用生物工程、医用材料和人工器官的研究和应用,生物系统论、信息论和控制论,以及生物力学(如软组织力学、骨骼力学和生物流体力学等)、生物电磁学等基础研究内容,甚至还包括医学信息处理技术和医院管理工程等。

生物医学工程学作为一门独立的学科是从20世纪50年代开始,随着电子学、材料学、工程力学、信息科学和电子计算机等多种学科的进步并广泛应用于医学和生物学领域而形成和迅速发展起来的。大量工程技术开始广泛应用于生物学和医学。例如,1947年首次实验成功以无线电波传送活动状态人体心电和脑电信号的方法;1948年利用超声回波技术获得了人体的切面声像图,开创了临床B型超声检查技术;1958年实验成功植入人体的心脏起搏器;20世纪50年代中期,研制成功用作医用材料的医用硅橡胶、医用聚氨酯材料,开始了早期的人工肾、人工肺、人工心脏瓣膜、人工晶体乃至人工心脏的研究和应用实验,血液动力学的基础研究在50年代亦有了重要进展。进入60年代后,随着电子科学、计算机和信息科学、工程力学、材料科学及控制论等的迅速发展,各种工程科学和技术与生物医学有了更紧密的结合,从而形成了一门独立的新兴边缘学科。与此同时,在美国、日本和西欧一些国家成立了生物医学工程学术组织,世界性的国际生物医学工程联合

会亦于 1965 年正式成立。中国生物医学工程学科是在 1978 年确立的,当年由国家科委组织召开了第一次中国生物医学工程规划会议,草拟了第一部“中国生物医学工程科研发展规划”,于 1979 年成立了以当时中国医学科学院院长黄家驷教授为组长的中国国家科委生物医学工程学科组,于 1980 年正式成立了“中国生物医学工程学会”,并于 1986 年以成员国形式加入了“国际生物医学工程联合会”(IFMBE)。

生物医学工程学是医学、生物学现代化的重要条件。自从 1963 年美国物理学家 Corrmark 把图像重建理论应用于放射医学研究,并由英国电子学工程师 Hounsfield 引入计算机技术于 1970 年研制成功首台 X 射线计算机断层扫描装置(X 射线 CT)以来,X 射线 CT 使临床检查技术产生了飞跃性进步。因此,Corrmark 和 Hounsfield 共同获得了 1979 年诺贝尔生理学奖。目前,随着生物医学工程学的发展,医学诊断和治疗技术也发生了广泛而深刻的变比,X 射线 CT、磁共振成像(MRI)、超声成像、采用记录机和先进的检测与信息处理技术的病人监护设备、自动生化分析仪器等新技术已在临床普及应用;种类繁多的激光和电磁治疗设备提供了新的疾病治疗和外科手术手段,并推动了家庭保健的开展;人工心脏起搏器和人工心脏瓣膜正在挽救和维持着全世界数百万心脏病患者的生命;人工肾等血液净化技术维持着数十万肾功能衰竭病人的正常生活;人工晶体、人工关节和功能性假体等已广泛用于伤残人的康复和功能辅助;生物物理学研究加深了对严重危害人类健康的动脉血管硬化和血栓形成机理的认识,为心、脑血管疾病的防治和人工器官的设计提供了依据;计算机和信息技术在医学和临床上的扩大应用正在从根本上改变着医院的面貌。我国学者利用现代工程原理和技术,开展了中医“四诊”(如脉诊、舌诊等)客观化、中医专家系统和中医经络的研究,已取得初步成果,为中国传统医学的新发展注入了活力。可以说,现代医学的进步与生物医学工程学的发展是分不开的,生物医学工程学的研究对生物医学的发展、对保障人类的健康和生活的质量有十分重要的意义。

三、生物医学工程学特点

从 20 世纪 60 年代初期开始,一门新兴的与人类健康和生命密切相关的边缘科学——生物医学工程学逐步形成和发展起来。这是现代工程技术向生物医学领域多方渗透的结果。生物医学工程学的根本任务是为疾病的预防、诊治和康复服务,以确保人类的健康。它运用自然科学和工程技术的原理和方法,从工程学角度解释人体的生理、病理过程。它将人体看作是由许多子系统构成的一个整体系统,并将人体各层次上的生理过程看作是一个系统的状态变化的过程,把工程学的理论和方法与生物医学的理论和方法有机地结合起来,研究这类系统状态变化的规律。在此基础上进而从工程学角度去解决疾病的防治及康复问题,即应用各种工程技术手段创建适宜的方法和仪器设备,以最有效的途径来人为地控制疾病的变化过程,以达到预期的防治疾病、保障人类健康的目的。这个新兴的学科有如下几个特点。

- 大跨度的、多学科的综合应用学科。生物医学工程学覆盖面非常广,涉及几乎所有的理工学科和所有的生物学与医学分支,没有哪一个学者、哪一个学校(研究所)可以涉足其全部。例如,人工器官,它需要生物材料科学、生物力学、生物学和有关机、电、化工工程技术的有机结合,甚至涉及社会科学。这种大跨度(从非生命科学到生命科学),多学科(从自然科学到人文科学)的综合,是传统学科所没有的,需要工程技术与生物医学两类

人才的密切结合。

• 生物医学工程学学科本身是各学科在高水平上交叉、结合的产物,是现代科学技术发展到一定时期的必然结果。现代科学技术的迅猛发展为多学科交叉、结合提供了可能性,而生物医学的进步需要这种交叉与结合,因此生物医学工程从诞生之时起就不同于其他传统学科。首先,生物医学工程学不同于物理、化学等一系列从基础理论到知识技能和应用都自成体系的传统学科,它没有自己独立的基础理论与知识体系,而是以相应的理工学科的分支和生物医学的分支的基础理论与知识体系为自己的基础,因此生物医学工程学与对应的学科有较大的依赖性;其次,生物医学工程学以应用基础研究为中心,以最终在生物医学领域应用为目的,这一点也有别于生物物理学、生物化学,也有别于某些纯应用性学科。根据定义,所有应用工程技术的分支都可以与生物医学相结合,形成相应的生物医学工程分支。但是真正能独立形成一个学科的分支却不多。例如康复工程是所有应用于人体康复中的工程技术,工程方面含有机电工程、电子工程、信息工程、材料工程等;生物医学方面含有生理学、解剖学、神经科学、外科学、内科学等。

• 生物医学工程学依赖于各个相关学科,但是又有自己的独特方法学,既有基础理论的交叉也有技术方法的交叉结合,最后达到在应用对象上的融合。生物医学工程学介于基础科学和专业技术之间,一方面综合运用基础科学的理论研究成果为医疗保健事业服务,另一方面它又总结科研、生产、使用中的实践经验,为基础科学和工程学提出新的课题,并将两者有机的结合起来,进一步发展为系统的理论,直接为专业技术和生产服务的一门边缘学科。从发展历程来看,生物医学工程学既为医学、生物学提供技术装备,又为医学、生物学的发展开辟新路,从而成为变革医学和生物学本身的一支重要的力量。例如,人工心瓣研制的成功,把风湿性心脏病的治疗提高到了一个新的高度。

• 生物医学工程学是工程技术科学领域里一名新兵,但又不同于一般的工程学,而是以工程学为主要手段,专门研究和解决医学方法问题的一门独立的学科。其工作者一般是工程技术人员,但是这些工程技术人员必须与医学工作者紧密结合,或者具有一定的生物医学基础知识,还有可能是具有工程技术知识的生物医学工程者。目前,理工院校开设的生物医学工程专业主要是培养研制医学仪器的工程技术人员;医科院校开设的生物医学工程专业主要是培养维修管理医学仪器的工程技术人员。但是,医科院校为非生物医学工程专业(如医、护等专业)学生开设的生物医学工程课,其主要目的不是培养工程技术人员,而是为了使医、护等专业的学生开拓与医学有关的知识面,了解生物医学工程学的基本原理和方法,特别是了解有关的医学新技术和新设备的基本原理和方法,以便更好地运用和推广医学新技术和新设备,适应和促进现代医学的发展。生物医学工程学同医疗器械产业有直接的联系,生物医学工程学研究为医疗器械(包括医疗仪器、医疗设备、生物材料和制品)的开发提供了工程原理和方法,因而是医疗器械产业发展的基础、动力和源泉。

• 生物医学与工程学相结合后形成生物医学工程学,不仅用工程技术对生物医学的作用包括人体生理、病理各方面功能的研究,人体结构的研究,人体信息传递的研究、各种疾病的诊断、治疗、预防的研究等各个方面。而且,人体本身是一个极其复杂的结构,其信息的传递、记忆、处理功能、体内能量转换、体内反馈调节与走动控制等功能,是工程科学的良好范本,人体科学的研究反过来又将促进工程科学的发展。例如:

① 对人体本身传感器的研究,尤其是视觉、触觉、听觉、语言功能的研究将促进机器人学的发展和图像世界理论的发展;

② 在人体神经系统的研究中受到启发,建立的神经网络模型,被称为“从生物学上启发而来的神经网络模型”,将促进新一代高速、并行处理的计算机的发展;

③ 对人类大脑思维活动的研究,将有助于人工智能理论的发展。

• 社会效益和经济效益的综合。生物医学工程学的根本任务是为疾病的预防、诊治和康复服务,以确保人类的健康。生物医学工程学是医疗保健性产业的重要基础和动力,医疗器械和医药工业同生物医学工程学的研究与应用有着最直接的联系。生物医学工程学带动的产业在国民经济有重要地位。

这门边缘学科的边缘不断扩展,生物医学工程学对医学和生物学的进步,对人类健康、生活和国民经济的发展至关重要。它的发展在某些程度上标志着一个国家科学技术水平。世界各国都很关心这一学科的发展和建设,因而它在促进科学和经济发展、造福人类方面占有十分重要的战略地位。

四、生物医学工程学的研究对象

生物医学工程学是以应用基础研究为主的学科,其领域十分广泛并在不断扩展之中。当前,生物医学工程学的重要领域主要包括生物力学、生物材料学、生物技术、生物医学信号检测与传感器、生物医学信号处理、医学图像技术、物理因子在治疗中的应用及其生物效应、人工器官等八个方面。

(一) 基础理论研究

1. 生物物理

生物物理是运用近代物理学的理论、技术与方法研究生物体和生命现象中的物质结构、性质和运动规律及各种物理因子对生物体和生命过程影响的学科,它的研究内容几乎涉及生物学中的所有基本问题。

生物物理包含了物理学中的力、电、磁、声、光等各个领域,生物力学已经形成了独立的分支,生物体的电、磁、声、光特性及电、磁、声、光等物理因素对生物体、生命过程的影响构成了生物物理的研究内容。包括生物电学、生物磁学,超声医学、生物医学光子学等。例如,生物磁学是研究物质磁性、磁场与生命活动间的相互关系和影响。应用超导量子干涉仪测量出人体中由生物电产生的磁信号,绘制出表现人体磁场随时间变化关系的曲线——人体磁图,不仅是有关人体生理学的基础研究,而且可以作为诊断疾病的根据,具有临床应用潜力。

2. 生物力学

生物力学是力学与生物学、医学等学科之间相互渗透的边缘学科。它的目的是试图从力学的角度来了解生命。具体地说,用经典力学、固体力学、流体力学的知识来解释生物的某些现象;用力学的方法定量地分析研究生命系统的功能与构造的关系,进而探讨生命的整个力学过程。正是因为生物力学具有理论与实践的意义,为现代技术提供了必要的手段,故生物力学已经形成了一个独立的学科分支。

生物力学就是将力学的方法和生物学(生理、解剖)有机的结合起来形成的一套独特

的方法学体系,它所涉及的领域很广,主要包括软组织力学、骨骼生物力学、人体运动力学、血液循环力学、呼吸流变学和生物效力学等分支学科。软组织力学研究肌肉、血管、皮肤、腱和各种内脏等软组织的应力和应变的关系,研究其生长、吸收与应力的关系;呼吸系统动力学研究肺、呼吸道和胸腔组成的呼吸系统在进行气体交换过程中的力学问题。生物力学最基本的内容是确定生物组织和器官的力学性质,特别是其应力-应变历程的规律,即本构规律,这一规律的数学表达即本构方程。

3. 生物技术

是涉及应用生物科学和工程学的一个领域,通过工程技术手段,利用生物有机体或生物过程,生产有经济价值的产品的技术科学。因此生物技术是基础科学和应用科学相结合的产物。生物技术的兴起,不仅反映出生物学飞跃到一个与过去无法比拟的新水平,而且也反映出人类有效地控制生物过程、为人类造福的时代已经开始。它的实际应用包括对生物有机体及其亚细胞组分在制造业、服务性工业以及环境管理等方面的应用。

4. 生物工程

生物工程通常包括生物细胞或生物材料的生产以及所需化学转化物的获得,以细菌、酵母、真菌、植物细胞以及培养的哺乳动物细胞等作为生产过程的材料。生物工程的特定过程是由微生物、动植物细胞或它们的产物(如酶)催化的。生物工程中的有机体可以作为生物量收获,可以用于化学转化过程,也可以作为生物学活性分子(包括酶和单克隆抗体)的来源。

生物工程是一个发展中的领域,它涉及许多学科(如微生物学、生物学、遗传学、分子生物学、物理学、生物化学和化学工程等)和许多生产部门(加工业、矿业、农业、食品、饲料、医药、能源和环境保护等)。在将来,新药、激素、抗生素及疫苗等的生产、能源与化学饲料的生产、农作物品种的改良以及改善环境和废物管理等方面,生物工程都将发挥重要作用。

(二) 应用研究与应用技术

生物医学工程学的应用研究是根据在基础理论研究中获得的知识,用现代技术手段具体地解决医学上提出的课题,包括研制新仪器、发展新技术、探索新方法。

1. 生物医学传感技术

生物医学传感技术是根据被测的人体信息的物理、化学性质,和这些信息的特征来选择不同的传感器。生物医学传感器(biomedical sensor)显然是指那些能将生物体各种不同的生命信息转换为生物测量和医学仪器可用的器件或装置。由于生物医学传感器是用于生物体的,因此除了一般测量对传感器的要求外,还必须考虑到生物体的解剖结构和生理功能,尤其是安全性和可靠性问题更应特别重视。比如传感器必须与生物体内的化学成分相容、传感器和身体要有足够的电绝缘、传感器不应干扰正常的生理功能等。

生物医学传感器的主要用途有以下4点:①提供生物医学检测的信息;②提供连续监护的信息;③提供人体疾病治疗和控制的的信息;④提供临床检验的信息。

生物医学传感器在现代医学领域中得到了广泛应用,涉及现代医学仪器设备的方方面面。随着科学技术的交叉发展、相互渗透,对传感器的质量、品种等都提出了新的要求。传感器在医学领域中的使用,都有赖于设计和制造出各式各样的高性能传感器。生物医

学传感器的革新与发展,必将推动现代临床医学的更快发展,为人们提供更为方便、更为科学的医疗服务。

2. 生物医学检测技术

生物医学检测技术是生物医学工程学科研究中的一个先导技术,它与生物医学电子学、生物力学、生物材料与人工器官、生物物理化学、生物效应等研究直接相关,也是这些领域研究中带有共性的应用基础研究课题。生物医学检测技术及方法研究的创造性及其进展直接影响医疗器械,尤其是新型诊断及治疗仪器的水平,因而国内外均将该技术的研究放在很重要的地位。

生物医学检测技术研究的领域涉及人机接口技术、低噪声和抗干扰技术、信号拾取、分析与处理技术等许多工程领域;也依赖于生命科学(例如细胞生理、神经生理、生物化学等)研究的进展。由于生物医学检测技术研究对象的多样化(含生理量、生化量与生物量等),以及生物,尤其是人体检测中的特殊性(个体差异、随机性等),使这个领域的研究课题很离散。但任何一个生理量、生化量和生物量的检测方法与技术的新进展,对推动整个生命科学本身的研究以及新型诊断及治疗仪器的发明都具有深远的意义。联合国教科文组织的学科分类中也将“生物测量”纳入基础研究的范畴,正说明了这一点。

3. 现代医学影像技术

医学影像本来是生物医学信号检测与处理的一个分支,20世纪后期,由于医学影像技术取得迅猛发展,提供的图像含有极其丰富的病人信息,在对病人的诊断治疗中占有越来越重要的地位,所以成为了一个独立的分支。医学影像技术可分为两部分内容,即医学成像技术和医学图像处理技术两个部分。前者是把人体中医生所感兴趣的信息提取出来,并以图像形式表示,这些信息包括形态信息、功能信息及成分信息;图像的形式可以是一维、三维及四维信息。后者是在获得医学图像后对其进行分析、识别、解释和分类,以把某些部分增强,或提取某些特征。有些场合中,成像过程和图像处理过程可能结合为一体。

近二十几年来,医学数字成像技术和设备迅速发展,成为临床诊断和医学科学研究的重要手段。医学成像技术种类繁多,大体可分为X射线图像、显微图像、超声图像、磁共振图像、放射性核素成像等大类。

医学图像处理的目的是对医学图像进行分析、识别、分割、解释、分类、压缩等,以把医生感兴趣的信息提取出来。

4. 生物材料学

生物材料又称生物医学材料,是材料科学的一个重要分文。它在医药学上的应用为医学、药学和生物学等学科的发展提供了丰富的物质基础;反过来这些学科的进步又不断地推动生物医学材料的进一步发展。由于生物医学材料对于探索人类生命奥秘,保障人类健康长寿做出的和即将做出的重大贡献,它已经成为生物医学工程学的四大支柱之一。生物医学材料研究的最终目的是用它们来代替和修复人体器官和组织,并实现其生理功能。

人工器官在临床的应用,挽救了不少垂危病人的生命,为临床医学的发展开辟了新的途径。目前,人工器官的研究已基本遍及人体全身各个部分,其内容之丰富,诱人的美景,鼓舞人心。

5. 电生理诊断与监护技术

(1) 电生理诊断:包含各种生物电检测仪器(心电、脑电、肌电、胃电、诱发电位、细胞电位),非电量的信号检测仪器(各种压力,如血压、颅内压、膀胱压等),各种成像设备(X线,MRI、PET、超声等)。

(2) 监护技术:包含无创多参数床边监护(心电、血压、呼吸率、体温、血氧等),无创单参数动态监护(心电 Holter、血压 Holter 等),胎儿监护,睡眠监护等。

20 世纪 60 年代以前,都是按照不同的诊疗科室来分别护理病人的。但在 1964 年则产生了所谓进行性病人监护的新概念。它按病人症状和严重程度以及对护理的要求程度,配置医护人员和各种监护治疗设备。这类监护包括特殊监护、中间监护、慢性病监护和家庭监护等。后来在此基础上,为了进行特殊监护而设立了(intensive care unit, ICU),即集中强化监护治疗病房。国内对此术语曾有各种各样的译名,现在一般称为“重症监护(治疗)室”或“重症监护(治疗)病房”,简称 ICU。

6. 康复工程

康复医学工程是现代康复医学技术的一个重要组成部分。它的特点是将工程技术和生物医学的理论、材料和方法综合地用于康复医学领域,从而起到改善、补偿和替代人体器官功能的作用;去研究环境的控制和调节,从而为病残者创造和提供受教育、通信联系、生活自理、娱乐和劳动等条件。

康复医学工程同康复医学的各个领域都有着密切关系。康复医学被称为继预防医学和临床医学之后的“第三医学”,它是现代医学的重要组成部分。

五、生物医学工程学在现代医学中的重要地位

生物医学工程作为一门独立的学科发展尚不足 50 年,但由于他在保障人类健康和为疾病的预防、诊断、治疗、康复服务等方面所起的巨大作用,已成为当前医学领域的重要基础和支柱。生物医学工程学同医疗器械乃至医药产业有直接的联系,为医疗器械(含医疗仪器、设备、材料和制品)的开发提供工程原理和方法,因而是医疗器械和医疗保健性产业发展的基础、动力和源泉,并可促进多种相关学科的发展。因此,生物医学工程学对科学进步,对人类健康和生活质量的提高,对国民经济的发展,都具有重要的战略意义。

(一) 国际生物医学工程研究与产业

随着科学技术进步、新的物理、化学方法和工程技术不断被应用与医学,医用产品越来越多,相应的工业越来越发达。到 20 世纪末已发展成为代表一个国家科技进步和国民经济现代化水平的,具有高增长率、包含了大量高新技术的以医疗器械产品为主的生物医学工程产业(通常又称作医疗器械产业)。由于发展势头蒸蒸日上,被许多国家誉为朝阳工业。20 世纪 90 年代以来,全球医疗器械产品销售总额增长率保持在 6%~10%之间,产品的国际贸易额每年以 25%的速度增长,销售利润达 40%~50%,目前全球年销售额在 1700 亿美元以上,美国约占 40%。产业的发展又反过来激励生物医学工程本身不断的高速向前发展,由于各学科的新成果不断融入,使其突出成为众多先进技术聚集的边缘学科。

为此,美国、日本和欧洲共同体国家对生物医学工程学的研究十分重视,美国国家