



高等医药院校教材

供生物医学工程专业用

生物医学工程学导论(I)

主编 董秀珍



第四军医大学出版社

生物医学工程学导论(I)

主 编 董秀珍

编 者 (以姓氏笔画为序)

王运斗 伍瑞昌 阮兴云 邹慧玲
周 丹 姜宗义 董秀珍

第四军医大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物医学工程学导论(I)/董秀珍主编. —西安:第四军医大学出版社,2004.9
ISBN 7-81086-046-1

I. 生… II. 董… 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(2004)第 097773 号

生物医学工程学导论(I)

主 编 董秀珍
责任编辑 杨国胜
出版发行 第四军医大学出版社
地 址 西安市长乐西路 17 号(邮编:710032)
电 话 029-83376765
传 真 029-83376764
网 址 <http://press.fmmu.sn.cn>
印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司
版 次 2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月第 1 次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 12.25
字 数 270 千字
书 号 ISBN 7-81086-046-1/R·86
定 价 24.00 元
(版权所有 盗版必究)

前 言

生物医学工程学是一门生物、医学和工程多学科交叉的边缘科学,它是用现代科学技术的理论和方法研究新材料、新技术、新仪器设备,用于防病、治病、保护人民健康,提高医学水平的一门新兴学科。

生物医学工程学(Biomedical Engineering, 简写 BME)在国际上作为一个学科出现,始于 20 世纪 50 年代,随着宇航技术的进步、人类实现登月计划以来,生物医学工程有了快速的发展。在我国,生物医学工程作为一个专门学科起步于 20 世纪 70 年代。目前,我国许多高校、科研单位都设有生物医学工程的专门机构,从事着生物医学工程的相关工作,为我国生物医学工程科学事业的发展起到了重要的作用。生物医学工程学是一门新学科,它属于理工类学科(含数学、物理、化学、工程学、电子技术、计算机技术、信息技术、材料科学等),在理工类科学技术突飞猛进发展的同时,生命科学也在迅猛发展,近年来迅速兴起的生物技术给生物医学以极大的推动。这些发展变化给生物医学工程学带来新的挑战,我们有必要站在新的高度对生物医学工程学进行新的认识。

我国生物医学工程教育发展迅速,很多高校开设了生物医学工程专业。为了适应生物医学工程专业迅速发展及教学的需要,针对历年来在教学工作中发现的问题和体会,作者查阅了大量相关文献,编写了《生物医学工程学导论 I》。全书共分为 4 章,对生物医学工程学的定义、特点、研究内容、主要学科分支的基本情况,学科的形成及国内外的概况作了较为详尽的介绍。

本书不仅可以作为生物医学工程专业低年级学生的入门教材,医学专业、工程专业的选修课教材,同时也可作为从事生物医学工程相关工作的各类专业人员的参考书。由于作者水平有限,书中难免有不当和错误之处,肯请批评指正。

董秀珍

2004 年 7 月

目 录

第一章 生物医学工程学简介	(1)
第一节 生物医学工程学的定义及发展史	(1)
一、生物医学工程学的定义	(1)
二、生物医学工程学的层次结构	(2)
三、生物医学工程学的特点	(4)
第二节 生物医学工程研究的范围	(5)
一、基础理论研究	(5)
二、应用基础与应用研究	(6)
第三节 生物医学工程对医学发展的贡献	(8)
一、经验医学到实验医学的转变	(9)
二、医学听诊技术的建立	(9)
三、心电图学的形成	(9)
四、放射医学的创建	(10)
五、超声医学的创建	(11)
六、医用光学	(11)
七、人工器官	(12)
八、各种诊断治疗仪器推进了医学诊断治疗技术的跨越式发展	(14)
九、生物医学工程对社会发展的作用	(15)
第四节 生物工程与生物医学工程	(15)
一、生物工程的定义	(15)
二、生物工程的研究内容	(16)
三、生物医学工程与生物工程	(18)
第五节 我国生物医学工程与产业	(18)
一、国际生物医学工程研究和产业化取得巨大发展	(18)
二、我国生物医学工程发展走过的道路及其产业化的成绩	(19)
三、我国生物医学工程产业化的若干问题	(20)
第二章 生物医学工程学教育概况	(26)
第一节 生物医学工程学科类型	(26)

第二节	国外生物医学工程教育概况	(27)
一、	高校生物医学工程专业的设置情况	(27)
二、	美国大学生物医学工程学科的情况分析	(38)
第三节	我国高校生物医学工程专业设置的基本情况	(44)
一、	高校生物医学工程专业的设置情况	(44)
二、	我国大学生物医学工程学科的情况分析	(51)
第三章	医院中的生物医学工程——临床工程	(55)
第一节	临床工程的定义与内涵	(55)
一、	临床工程的定义	(55)
二、	临床工程的内容	(55)
第二节	医疗仪器设备工程	(56)
一、	概 述	(56)
二、	医疗仪器设备的特点	(57)
三、	医疗仪器设备工程的主要内容	(59)
四、	医疗仪器设备的购置与安装	(60)
五、	医疗仪器设备的维修	(60)
六、	计量与质量保证	(64)
七、	医疗器械监督管理	(65)
八、	医疗仪器设备的安全	(66)
第三节	医院信息工程	(68)
一、	概 述	(68)
二、	医院信息系统的硬件基础	(70)
三、	医院信息系统的软件基础	(71)
四、	医院信息系统的主要功能	(71)
五、	我国的医院信息系统	(73)
第四节	医疗影像信息工程	(74)
一、	基于医院图像存储与通信系统的临床工程——PACS 系统发展概况	(74)
二、	PACS 系统的组成	(75)
三、	PACS 设计中的关键技术	(77)
四、	PACS 实现策略和发展趋势	(83)
五、	医院建立 PACS 系统的方法	(84)
六、	当前 PACS 系统研究应用的主要问题	(85)
第五节	远程医疗工程	(85)

一、概 况	(85)
二、技术模式	(86)
三、远程医疗的应用	(89)
第六节 临床诊断治疗工程	(92)
一、计算机辅助外科手术	(92)
二、放射治疗系统	(98)
三、虚拟现实技术在医学中的应用	(103)
四、理 疗	(104)
五、影像诊断	(107)
第七节 临床工程的学科建设	(112)
一、医学工程科(设备科或器材科)	(112)
二、信息科	(120)
三、其他相关科室	(121)
附 录 DICOM 简介	(122)
第四章 生物医学工程在军事医学中的应用——军事生物医学工程	(127)
.....	
第一节 军事生物医学工程的定义	(127)
一、新形势下军事医学的发展	(127)
二、军事生物医学工程的定义	(128)
第二节 军事医学信息工程	(129)
一、信息战——现代战争的特点	(129)
二、军事医学信息工程的主要内容	(130)
第三节 军事医学电子工程	(135)
一、生物医学传感器技术	(135)
二、微电子技术和微机电系统	(136)
三、野战医用计算机技术	(137)
四、战时医疗通信技术	(138)
第四节 军事医学材料工程	(138)
一、战伤救治用的生物材料	(138)
二、战时卫生装备用的材料	(142)
第五节 军事医学人机工程学	(143)
一、人机工程学	(143)
二、军事人机工程学	(143)

第六节 军队卫生装备工程	(145)
一、军队卫生装备地位与作用	(145)
二、军队卫生装备研究内容与重点	(151)
三、外军卫生装备发展概况	(157)
四、我军卫生装备研究概况	(165)
附录 1 S95 - 100 机动医疗单元的技术特性	(172)
附录 2 海上医疗集装箱组主要技术性能	(174)
附录 3 S01 - 40 野战手术车的技术特性	(175)
附录 4 S01 - 200 野战 X 线诊断车技术特性	(177)
附录 5 WCY2000 - 3 型野战急救车的主要技术参数	(179)
附录 6 野战运血车的车辆技术特性	(180)
附录 7 野战防疫车车辆技术参数	(182)
附录 8 ZJH 式装甲救护车	(184)
附录 9 WGD2000 系列通用担架主要技术参数	(185)

第一章 生物医学工程学简介

作为一个学科，生物医学工程学（Biomedical Engineering，简写 BME）的诞生在国外始于 20 世纪 50 年代。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。生物医学工程学的兴起是两个因素促成的，一是工业化以来物质文明高度发达，人们的生活环境、工作节奏等发生了重大变化。人类自身的健康越来越受到人们的关切；二是航天技术、微电子技术、计算机等高技术的飞速进步，为认识、改善人的生命运动过程开辟了新的前景。两者结合，生物医学工程就在西方发达国家应运而生了。这个名词最早出现在美国。1958 年在美国成立了国际医学电子学联合会，1965 年该组织改称国际医学和生物工程联合会，后来成为国际生物医学工程学会。究竟什么叫生物医学工程学？它的内涵是什么？有什么特点？

第一节 生物医学工程学的定义及发展史

一、生物医学工程学的定义

从技术角度看，生物医学工程技术其形成与发展的模式基本上可归纳为：通过工程技术手段把物理、化学以及技术科学中新的技术、原理、方法应用于研制医疗装置、满足临床诊治的需要，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于医学，医用产品越来越多。

人们习惯理解为：生物医学工程学是综合运用工程技术的相应理论和方法，深入研究人体结构和功能，解决医学中出现有关问题的一门新兴边缘学科。这种理解是不全面的。

生物医学工程学是一门年轻的新学科，从技术角度看，生物医学工程技术其形成与发展的模式基本上可归纳为：通过工程技术手段把物理、化学以及技术科学中新的技术、原理、方法应用于医疗装置的研制、以满足临床诊治的需要，随着科学技术的进步、新的物理、化学方法和工程技术不断被应用于医学，医用产品越来越多。

在工程学（含电子技术、计算机技术、信息技术、材料科学）突飞猛进发展的同时，生命科学也在迅猛发展，近年来迅速兴起的生物技术给生物医学以极大的推动，将产生分子医学。因此我们对理工学科与生命科学交叉结合而产生的生物医学工程学必须有新的认识。我们必须考虑到科学技术的进步给生物医学工程学带来的影响：不仅是工程学与生命科学、医学的交叉结合，也包括所有其他学科和生命科学、医学的交叉结合；不仅是工程技术的相应理论方法与生物医学中人体结构功能的交叉结合，而且要考虑工程技术的相应理论方法与生物技术的交叉结合。这里，我们引用根据美国国立卫生研究院有关名词命名

专家组最近对生物医学工程学的定义：“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。”

它不只是工程技术在生物学和医学上的应用，而且是以人的生命运动的认识为核心的多学科的综合。有它自己独特的方法学原则。

它把人体各个层次上的生命过程（包括病理过程）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学、医学的理论和方法有机地结合起来去研究这类系统状态变化的规律，并在此基础上，应用各种工程技术手段，建立适宜的方法和装置，以最有效（目标的实现和经济成本）的途径，人为地控制这种变化，以达到预定的目标。生物医学工程学的根本任务在于保障人类健康，为疾病的预防、诊断、治疗和康复服务。

例如：

人工心脏瓣膜是典型的生物医学工程项目，据统计我国每年约有 120 万名风湿性心脏病患者需进行治疗。其中约 10 万人需要安装人工心瓣。为了进行人工心瓣的设计和制造，需要：①了解心脏瓣膜开启和关闭的机理，弄清心脏瓣膜的运动学和动力学特性（定量）；②解决人工心瓣材料问题（相容性、毒性、力学性质和制备工艺等）；③了解人工心瓣机械瓣和生物瓣的力学特性和疲劳寿命，以及植入心脏的生长期生物效应等。而人工心瓣的制作和质量控制与监测等还要涉及到一系列的工程问题。此外，还有一个成本控制问题。目前，进口机械瓣每个约 1000~1500 美元，国产品即使以每个 200 美元计算，全国每年需 10 万只人工心瓣，仅是瓣膜一项就得花二千万美元。对于整个社会来讲，这是个极其沉重的负担，而成本控制，是工程学的固有内涵。

二、生物医学工程学的层次结构

生命运动是多层次的。人体更是一个多层次的复杂的巨系统。因此，生物医学工程学必定具有层次结构。

我们从整体层次，系统、器官、组织层次，细胞和生物大分子层次等三个方面阐述了生物医学工程的层次结构。从目前情况来看，生物医学工程学大体可以分为三个层次，即整体层次、器官和组织层次以及微观或细观层次。

（一）整体层次

把人看作是一个整体，或者把人和环境（自然的和人为的）看作一个整体，考虑人的生命运动规律和影响因素，进而进行能动的协调和控制。主要有以下几个方面：

1. 人-机环境系统工程中的生物医学工程问题 研究人和工作环境的相互关系。主要内容是：保障工作环境中人的安全（人对各种刺激因素的生理耐限与心理-生理耐限）和健康（职业病防治）进而提高工作效率的工程问题。在这方面，我国的航空医学工程和航天医学已经具备了相当基础。如果能扩展到各个产业部门和事业部门，其社会效益和经济效益是十分巨大的。而我国目前对此还注意得很不够。

2. 中医工程 用现代技术对中国医药学问题进行多学科综合研究则是很需要的。我国目前在这方面已经形成了一支具有相当规模的专业队伍。在今天的发展中必须充分认识

中国传统医药学和现代科学在认识论和方法论上的巨大差异，切忌用现代科学的规范生搬硬套。在这方面我们以往有成功的经验，但更多的是失败的教训。以往的经验教训都告诉我们：关键是要找到二者的联系，是要抓住中介环节。比如，中医专家系统之建立，专家的经验（包括书本）和高性能的计算机只是必要条件，成败的关键是知识的表达和处理，而这就与知识工程和认知心理学有密切的关系。正是抓住了这一点，中医专家系统才取得了成功。此外，气功是我国古代的一项传统技术。用生物医学工程的原理与方法，科学而客观地积极开展对气功的研究，有可能对未来的医学和生物医学工程产生很大影响。

（二）系统、器官、组织层次

这是生物医学工程学目前的主体，也是我国生物医学工程的主体。主要内容可以概括为三个方面：

1. 发展人体器官、组织的某些功能的补偿技术或代用装置及人工生物医学材料。有人工肾、人工肺、人工肝、人工胰、人工心瓣、人工血液、人工皮肤、人工感官、人工关节、假肢等等。

2. 发展医用传感器和人体参数测量技术，特别是无创伤诊断技术和装置。在这方面生物传感器技术和各种成像技术是当前的前沿。

3. 发展新型的医疗技术装备的系统监测装置。

以上三方面的发展，需要电子技术、化工技术、超声技术、激光和射线技术、精密机械、计算机技术等现代科学技术在生物医学上的应用，同时又需要对于人体生理运动规律的定量的认识，需要材料科学、生物力学和信息科学的相应进展。因此，这是一个综合性很强的层次，它将吸引大批科学技术人员；将推动医疗器械工业和保健品生产的发展；加速医院装备的现代化；加快临床工程和康复工程的进步；同时亦将促进有关学科的发展。

但这里有一个问题，就是高技术的装备的建立和应用。很可能使医疗费用急剧上升而成为社会的沉重负担。这就在一定程度上违背了发展生物医学工程的本意。这一点在欧美等国已经引起了充分的注意。一些大型的高技术（高成本）项目的发展趋于缩减，而更多地提倡小型、简便的技术装备，这一点应该引起我国生物医学工程界的足够重视。对此后面还要作进一步的讨论。

（三）微观或细观层次

这主要是指细胞和生物大分子层次上的生物医学工程问题。研究细胞和细胞之间、细胞内部各种结构之间的力学、电磁效应、量子效应等关系时提到生物技术（Biotechnology）人们总觉得那主要是生化问题。诚然，生物技术本身主要是生物化学、分子生物学问题。但是，一旦要把实验室的生物技术，变为企业的生产，以及将生物技术应用于医学疾病预防、诊断和治疗上时，工程问题就提到日程上来了，这是必然的。而在这方面，生物医学工程和生物技术有一个必然的“交集”，国外如此，国内亦然。

在这方面，目前的主题是：

1. 在人为环境下，按预定的目标，控制生物系统（如生物反应器）的功能，即生物反应器的设计和运转程序的优化问题。

2. 发展高效、快速地分离技术装置，以获得高纯度地保持生物活性的产品。

3. 发展在生物系统的控制与生物物质分离中需要的生物传感器与检测、控制技术。

4. 生物芯片相关技术。生物芯片的概念来自计算机芯片，至今不过 10 年。芯片分析

的实质是在面积不大的基片表面上有序地点阵排列一系列固定于一定位置可寻址的识别分子, 结合或反应在相同条件下进行。反应结果用同位素法、化学荧光法或酶标法显示, 然后用精密的扫描仪或 CCD (Charge Coupled Device) 摄像技术记录, 通过计算机软件分析, 综合成可读的总信息。

三、生物医学工程学的特点

1. 大跨度的、多学科的综合应用学科。例如人工器官, 它需要生物材料科学、生物力学、生物学和有机机、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, 乃至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方面人才的密切结合。

2. 生物医学工程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。

3. 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对相应的学科有较大的依赖性。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。也就是说生物医学工程含有许多分支。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用于人体康复中的工程技术, 工程方面含有机械工程、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。

4. 生物医学工程学以应用基础性研究为中心, 以最终在生物医学领域应用为目的, 在这一点上它有别于生物物理学、生物化学, 也有别于某些纯应用性学科。

5. 生物医学工程学覆盖面非常广, 涉及到几乎所有的理工学科和所有的生物学与医学分支, 没有那一个学者、哪一个学校 (研究所) 可以涉足其全部。

6. 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, 各个学科交叉结合既有基础理论的交叉结合也有技术方法的交叉结合, 最后达到在应用对象上的融合。

7. 生物医学工程学没有不变的中心与主题, 它随着与之相关的学科的发展变化和对象的发展变化而变化。

8. 一方面为医学、生物学提供技术装备, 另一方面又为医学、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。比如, 人工心瓣研制的成功, 把风湿性心脏病的治疗提高到一个新的高度。

9. 它成为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学问题的一门独立的学科。它的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师。

10. 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(含医疗仪器、医疗装备、生物材料和制品)的开发提供工程原理和方法, 因而是医疗器械产业发展的基础、动力和源泉。

11. 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, 并将两者有机地结合起来, 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。

12. 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、体内反馈调节与自动控制等功能, 是工程科学的良好范本, 人体科学的研究反过来又将促进推动工程科学的发展。如:

(1) 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识别理论的发展。

(2) 人体神经系统的研究, 特别是神经网络结构与信息传递的研究, 将促进新一代高速、并行处理计算机的发展。

(3) 人类大脑思维活动的研究将有助于人工智能理论的发展。

13. 社会效益和经济效益的综合。医学重于前者, 而后者是工程固有的含义, 生物医学工程则是二者必然的结合。

这门边缘学科的边缘在不断扩展, 它对人类健康显示出越来越重要。生物医学工程学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建立和发展。

第二节 生物医学工程研究的范围

一、基础理论研究

1. 生物力学 生命离不开运动, 生命的运动几乎包含了所有类型的运动, 是机械运动、电磁运动、化学运动等多种运动的综合。生物力学是应用力学原理和方法对生物体中的力学问题进行定量研究的生物物理学分支, 由于美籍科学家冯元桢教授的杰出贡献及众多学者的工作, 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。包括肌肉力学、骨骼力学、心脏力学、生物流体力学、血液流变学、呼吸力学、器官力学等等。例如生物流体力学研究认为人体内有各种不同类型的泵系统, 以完成各自不同的生理功能。人体心脏就是一个最典型的泵, 每天要跳 10 余万次, 其任务间歇时间都不超过 1~2 秒钟, 非常科学。对大多数人来说, 这种情况将保持整个一生, 而对个别的长寿者竟可保持一百多年! 这个典型的泵系统就需要认真研究。

2. 生物物理 生物物理学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到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。

例如生物质量和能量传递

在生物体内的进行就是典型的生物物理的研究内容之一。生物质量传递研究各种质量在人体内传递的机理和过程，如气体、液体在体内的扩散、渗透规律等。生物能量传递研究能量在体内的传递机理和过程，能量包括声、光、电、磁、热以及射线等。比如热这种能量，生物能量传递则要研究热在体内是如何产生的，如何传递，又如何从人体散失的。

3. 生物系统的建模仿真及控制 从系统的观点来考察涉及生物某种功能的全体有关部分，它涉及生物各个领域，包括人体生理系统，还包括生化、酶、蛋白质及分子生物学所研究的各个系统，如植物系统（如植物的生长模型）、动物系统、生态系统，以上述系统为对象，以生物的某种功能划分系统的原则，以定量研究为特点的学科，建立符合生物系统实际的数学模型为其核心内容。符合生物系统的含义是指只从系统的外部条件（输入输出）符合生物实际——称为黑箱模型；不但系统的外部条件，而且系统的内部条件（受生物解剖生理的限制）也符合生物实际——称为同胚模型，这是一种具有较高学术水平的模型。

二、应用基础与应用研究

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：

（一）生物材料和人工器官

研究各种生物材料，特别是适合于植入人体内材料的微观结构和宏观性能，及其与人体组织相互作用时的生物理化特性。适合于人工心脏的材料，在物理性能方面，要有足够的柔韧性，要耐疲劳，换一个人工心脏应该至少可用 10 年，在十年中人工心脏的房室间隔须经得起近 4 亿次的弯曲而不会损坏。

二十世纪医学的一项重大成就就是人工器官的出现。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。随着高分子材料、特殊金属材料、生物陶瓷材料在医学领域内应用的不断深入以及外科技术的提高，更为人工器官的研究创造了条件，使之发展更为迅速。人工器官的研究应用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。

（二）生物医学信号的检测与处理

生物医学信号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，并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到人机接口技术、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。

（三）医学图像技术

医学图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，由于医学图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。医学图像可分为医学成像和医学图像处理两个部分。医学成像技术研究用某种技术把人体中反映各种形态、功能、成分等信息以二维、三维或四维的图像表示出来；医学图像处理技术是把获得的上述图像用各种有效的方法进行分析、识别、分割、分类、提取某些特征直接为诊断治疗服务。

（四）医学物理

医学物理和生物物理不同，生物物理是研究生物体与生命现象各种过程的物理机理以及各种物理因素对生物体和生命现象影响的机理。在这些研究的基础上、开拓电磁波（场）在生物医学中的应用。微波对生物体和人体产生的热效应和非热效应的研究使得其在医学测量治疗中有着很好的应用前景。激光医学近年来发展很快，由于激光具有方向性强、单色性好、亮度高，在医学中得到广泛的应用，因此可以认为医学物理是物理学在医学临床应用的一个分支。医学物理是将物理的方法与观念，应用到诊断与治疗人类的疾病。换句话说，医学物理是结合物理学、工程学、生物学等专业，应用到医学上，尤其是放射医学和核医学上。

目前医学物理的主体是在放射医学和核医学上，例如将放射线应用于医学诊断与治疗、脑部与心脏的造影成像、红外线的医学应用、超声波的医学诊断与治疗的应用、核磁共振的医学应用、核医学、热学的医学应用（癌症治疗与热疗）、冷冻治疗等。

（五）生物医学仪器

生物医学仪器是生物医学工程学中最重要的部分，因为它从事生物医学科学研究、开发的重要手段，所以它也是生物医学工程中从事人数最多的一个分支。医学仪器的种类很多，分类方法也很多，既可以根据医学参数的测量转换的原理来分类、也可以按照测量和治疗的生理系统分类、还可以从工程和医学的关联性（观察测量、信息处理、仿真、治疗康复），我们从医学应用角度出发，将生物医学仪器分为以下几类介绍：

1. 检测类 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：血压、颅内压、膀胱压等，各种流量、流速：血液、气体，血氧饱和度等），各种成像设备（X线、CT、MRI、PET、超声、红外等），各种单科测量（例如光学内窥镜等）。

2. 监护类 包含无创多参数床旁监护（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。

3. 治疗类 包含各种理疗仪器、抢救设备（除颤、呼吸机、麻醉机）、植入式治疗装

备(心脏起搏、癫痫治疗),各种介入式治疗设备(微波、射频),各种体外治疗仪器。

4. 检验类 各种显微镜(生物显微镜、电子显微镜、共聚焦显微镜)、血液分析仪、分光光度计、电泳仪、色谱仪、质谱仪等。

5. 中医工程 应用现代科技手段使中医理论,临床诊治手段科学化现代化。主要领域有:中医经络的本质。(应用各种物理手段探测经络客观指标)。脉诊机理与脉象仪器,针灸的科学基础与替代疗法等。

6. 新技术领域

(1) 纳米技术的应用:20世纪80年代开始研究的纳米技术在90年代获得了突破性的进展,它对生物医学工程的渗透与影响是显而易见的,它将生物兼容物质的开发、利用生物大分子进行物质的组装、分析与检测技术的优化、药物靶向性与基因治疗等研究引入微型、微观领域,并取得了一些研究成果。纳米技术在生物医学工程领域的应用将成为21世纪未来发展的必然。

(2) 组织工程研究:组织工程是一个令人激动的新兴领域。著名华人学者冯元祯于1984年首次提出组织工程的概念,之后Skalak和Fox于1988年,Nerem于1991年,Langer和Vacanti于1993年相继提出此概念。他们定义组织工程为应用工程科学和生命科学的原理,开发用于恢复、维持及提高受损组织和器官功能的生物学替代物。组织工程是一个交叉学科,它综合了细胞生物学、工程科学、材料科学和外科学的知识,将活细胞和基质(或叫支架)材料结合起来,目的是制造出新功能组织。组织工程领域的研究包括新型聚合物的合成、信号转导、培养细胞的基因调节和移植有关的免疫问题等。组织工程提出仅10年时间,正处于发展的初级阶段。Langer和Vacanti于1993年提出了组织工程研究的三个方面,它们是:①替换被分离除去的细胞或功能发挥所需要的细胞替代物;②产生或传递组织诱导物质,如生长因子、信号分子等;③结合细胞与生物材料,具体做法是在基质表面或内部接种细胞,基质由合成的聚合物或天然物质(如胶原)制作,该系统可以是开放的或封闭的,开放的基质——细胞系统被种植在肌体内,它完全与宿主组织协调,在宿主组织和种植细胞之间允许分子和细胞的自由交换;在封闭的系统中,通过一个膜把细胞和肌体隔离,这种膜允许营养或气体交换,但体积大的如抗体和免疫细胞则被阻挡,封闭的系统可被接种在肌体内或做成体外设备。

(3) 生物复杂性研究:当前,科学的整体化潮流越来越明显,科学研究更多的是研究复杂性。自20世纪70年代以来,重大科学研究的对象主要不是简单的物质运动形态及其简单关系,而更多的是研究复杂性。复杂性研究与常规研究的确定性、线形有着很大不同。复杂性表现为非线性,非线性问题对初值异常敏感。而生命过程本身就是复杂过程,所以把复杂性研究引入生物医学工程研究势在必行。

第三节 生物医学工程对医学发展的贡献

作为一个学科,生物医学工程是近五十年发展的新学科。但工程技术为医学服务并做出贡献却可追溯到很早。

一、经验医学到实验医学的转变

17世纪列文·虎克(Leewen Hock)发明了光学显微镜,推动了解剖学向微观层次发展,使人们不但可以了解人体大体解剖的变化,而且可以进一步观察研究其细胞形态结构的变化。进一步结合其他实验工具的发明,使医学进入实验医学阶段。其中最著名的实验医学家如法国的克罗·德班纳(C. Bernard)、麦仁地(Majendie)的生理学药理学实验、德国的斯奈登(S. Chleiden)和斯旺(Schwann)的细胞观察、法国的路易·巴斯德(L. Pasteur)和德国的罗伯德·柯霍(R. Koch)的细菌、病菌及疫苗的发现,维多啸(R. Virchow)的细菌病理学都使用了光学显微镜及其他实验工具进行的研究才取得成果的,随着光学显微镜的出现,医学领域相继诞生了细胞学、组织学、细胞病理学,从而将医学研究提高到细胞形态学水平。为现代医学奠定了基础。到20世纪,德国工程师Max Knoll和Ernst Ruska发明的电子显微镜,人们能够观察研究细胞内核结构DNA、RNA等大分子变化,于是医学跨进了超微结构时代。

以神经科学为例,除了应用微电极、显微操纵器及微电位记录和测定为其本身的特点外,利用电子显微镜、荧光染色显影、放射自显影以观察形态;利用放射免疫法、同位素示踪法、微电泳法、气相质谱仪等以测定各种化学变化;利用药物的膜受体原理及各种刺激、各种药物、神经阻断剂、受体兴奋剂等以探测神经细胞的冲动传导和递质及营养物质的运输和储藏。

二、医学听诊技术的建立

医生看病需要得到信息,早期,医生是用耳朵直接放在病人的相应部位。1819年,法国医生Laennec(受孩子们游戏的启发)发明听诊器。他采用几张纸卷成一个圆筒,一端放在受试者的胸部,一端靠着他的耳朵,这种“间接听诊”法取得了成功,以进一步改进,最后制成了听诊器(Stethoscope)。这个听诊器的原理,一直沿用到现在,不过已经由纸筒听诊器进化到包括拾音器、导管和耳塞三个部分组成的听诊器,拾音器的作用,它用来搜集声波;导管是传播声波的;耳塞的作用则是把声波送进耳朵。100多年来,听诊器一直是医生的助手,帮助医生挽救了不计其数的生命。但是,传统的听诊器的音量不能调节,不利于会诊和听诊教学。现在的电子听诊器由传感器、放大器和电听筒等部分组成。电听筒包括耳机和耳塞,耳机经过一个特制的转接器与传统听诊器的耳塞接通。转接器上有多个插头,可供多位医生同时听诊。电子听诊器还可以配备一套自动记录、示波和运算设备,并把听诊数据输入电子计算机。

三、心电图学的形成

1898年,英国生理学家沃勒(A. C. Waller)首先提出了心脏的电偶极子模型。他认为身体表面测量的某点电位,只不过是电偶极子矢量在该特定方向上的瞬时投影,当偶极子矢量的投影随时间变化时,该点的电位也随之而变。1903年,著名的心电图之父荷兰爱