

1

中国生物医学工程的 今天与明天

天津科技翻译出版公司

生物医学工程丛书之一

中国生物医学工程的 今天与明天

俞梦孙 蒋大宗 杨子彬 主编
顾汉卿 关晓光 陶祖莱 王金新

天津科技翻译出版公司

主 编 俞梦孙 蒋大宗 杨子彬 顾汉卿
关晓光 陶祖莱 王金新

中国生物医学工程的今天与明天

(生物医学工程学丛书之一)

主 编 俞梦孙 蒋大宗等
责任编辑 李丕章 吴尼娜

天津科技翻译出版公司出版
新华书店天津发行所发行
南开大学印刷厂印刷

* * * *

850×1168 1/32 印张:21 字数:522千字

1998年2月第1版 1998年2月第1次印刷

印数 1—1000册

ISBN 7-5433-0215-2
R·36 定价:38元

(如发现印装问题,可与出版社调换)

邮编:300192 地址:天津市南开区白堤路244号

生物医学工程丛书编委会

主 编	顾方舟				
副 主 编	俞梦孙	杨福生	杨子彬	马腾骧	顾汉卿
	陶祖莱	蔡荣业	薛 森		
编 委	顾方舟	蒋大宗	俞梦孙	吕维雪	陶祖莱
	卢世壁	杨福生	丁文祥	邹 翰	马腾骧
	宋继昌	顾汉卿	姜 槐	关晓光	王保华
	俞跃庭	欧阳楷	杨文修	黄诒焯	奚廷斐
	王威琪	霍纪文	任 恕	杨桂通	蔡荣业
	薛 森	王明时	王彭延	戴克戎	王全新
学术秘书	顾汉卿	陶祖莱			

发展生物医学工程
为保障人民健康服
务

陈敏章
一九九九年九月

中华人民共和国卫生部部长 陈敏章

对中国生物医学工程丛书期望

学术精深
文章清新
报喜报忧
数字严明
着眼创造
价钱低 效果好
造福世界人群

冯元桢 1997

世界生物力学学会理事长
中国科学院外籍院士

冯元桢

加強生物醫學工程
研究為提高人
民健康水平服務
陸以真
一九七九年十月

中国人民解放军总后勤部卫生部部长 陈增祺

序 言

生物医学工程学是综合生物学、医学和工程学的理论和方法而发展起来的边缘性学科,其基本任务是运用工程技术手段,研究和解决生物学和医学中的有关问题。虽然它作为一门独立学科发展的历史尚不足 50 年,但由于它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,它已经成为当前医疗保健性产业的重要基础和支柱,许多国家都将其列为高技术领域——生物工程中的一个基本组成部分。

生物医学工程学的研究是以应用基础性研究为主,其领域十分广泛,并在不断扩展之中。就现阶段而言,生物医学工程学的研究内容主要涉及生物力学、生物材料学、人工器官、生物系统的建模与控制、物理因子的生物效应、生物系统的质量与能量传递、生物医学信号的检测与传感器原理、生物医学信号处理方法、医学成像和图像处理、治疗与康复的工程方法等。

生物医学工程学是从 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。生物医学工程学已成为医学和生物学现代化的重要条件。生物医学工程学研究导致了如 X 射线计算机断层扫描(X-CT)、磁共振成像(MRI)、超声成像、病人监护和生化分析等大量新型临床诊断与监护技术、设备的出现和普及;种类繁多的激光和电磁治疗设备提供了新的治疗和外科手术的手段,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;生物力学的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心脏瓣膜、人工血管等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。我国利用现代工程方法进行的中医“四诊”客观化、中医专家系统和中医经络的初步研究,为中国传统医学的新发展注入了活力。可以说,现代医学的进步是同生物医学工程学的发展分不开的。

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。据美国国家研究委员会于1987年发表的专门报告预测,到20世纪末,仅生物医学工程产业的市场就将达到400亿至1000亿美元的规模。可见,生物医学工程学带动的产业在国民经济中占有重要地位。

生物力学研究与生物体有关的力学问题。通过生物力学的研究已加深了对血流性质、关节活动力、运动力、外伤及愈合的理解。进行血流与血管壁作用的研究有助于降低心脏病、动脉粥样硬化及中风的发病率;有关肺张力的研究成果已应用于肺气肿的治疗;有关脊柱的研究成果已应用于脊柱畸形的校正和防止脊髓损伤;在人工心脏瓣膜、人工关节及人工心脏辅助装置等人工器官的设计和应用中,均已蕴含着生物力学的贡献。生物力学的趋势是将朝着系统和微观两个方向发展,重点在于建立符合生物实际的生物体各层次上的力学模型,发展细胞力学的研究,并通过细胞和生物分子层次的力学研究,加深对人工材料与生物物体相互作用机制的认识,为控制活组织生长提供依据,促进人工器官和人体功能辅助系统的开发。

生物材料科学研究用以和生物系统结合,诊断、治疗或替换机体

内的组织、器官或增进其功能的材料。目前较活跃的研究领域有高抗凝血材料、生物活性陶瓷、医用钛及钛合金、生物活性材料、智能材料、缓释及靶向药物载体材料、生物粘合剂、可降解性生物材料等。生物材料已成功地应用于制作人工心脏瓣膜、人工血管、人工骨与关节、医用导管、牙科材料、外科缝线、药物缓释载体、透析与超滤膜材,以及一次性和植入性的医用制品等。至今,生物材料的研究多处于经验或半经验状态,或是对现有材料进行筛选、纯化和改进,或是使两种材料的已知性质结合以开发复合材料或共聚材料,而真正建立在分子设计基础上的、以材料的结构与性能关系为依据的新型生物材料的设计尚不多见。今后的主要发展趋势是,在继续进行材料的筛选,加强对材料的生物相容性研究的同时,加强对材料表面的修饰和生物化处理方法的研究,注意材料结构与性能关系的研究,以逐步发展生物材料的分子设计。

人工器官是人工制作的用来部分或全部替代人体病损器官功能的装置,是生物医学工程各领域知识和技术的综合体现。至今,除大脑以外的各种人体器官都在进行人工器官模拟和替代的研究,其中许多人工器官已不同程度地用于临床并形成了相当规模的人工器官产业,例如人工心脏瓣膜、人工关节、人工心脏起搏器、人工肾、人工晶体、人工肺等。人工器官的发展取决于对自然器官的功能的充分了解和诸如生物材料学、生物力学、生物医学传感器、生物系统的建模与控制等生物医学工程各领域的进步。今后的趋势是,人工器官的研究将愈来愈受到重视,心肺器官的辅助或替代继续是首要的研究课题,此外,血液净化系统、内分泌功能辅助、感觉功能辅助等人工器官的研究与应用,对严重危害健康的肾功能疾病、糖尿病的治疗和伤残人的康复都有重要意义,因而亦是重点发展的研究方向。

生物系统的建模与控制包括生物系统的建模、仿真、辨识与控制,其中心为建模与控制。生物系统的建模是对生物分子、细胞、

组织、器官和整体各层次的行为、参数及其关系建立数学模型；生物系统的控制是人为外加控制条件来影响生物系统的生命过程，以达到某种特定的目的。目前对循环系统模型、神经系统模型、呼吸系统模型、免疫系统模型和流行病模型等已做了大量研究工作。生物系统的建模与控制对于研究十分复杂的生物系统有重要意义，今后的趋势是继续发展生物系统各层次的建模与控制研究，并向精确化和实用化发展，加强建模中的实验验证工作和充分应用先进的计算机技术，促进综合模型的建模和生物系统的自适应控制与智能控制的研究。

生物医学信号检测是对生物体中包含的生命现象、状态、性质和成分等信息进行检测和量化的技术。生物医学传感器则是获取生物信息并将其转换成易于测量和处理的信号的关键器件。生物医学信号检测技术的研究已涉及生物体各层次的广泛的生物信息。应用电极可检测心电、脑电、肌电、眼电和神经电等各种生物电信号；物理传感器已用于血压、血流、体温、心音、脉搏、呼吸等各种生理量的测量；应用化学传感器可检测血、尿等体液中多种离子浓度；用于检测酶、抗原、抗体、神经递质、激素、受体、DNA 和 RNA 等生物活性物质的生物传感器亦在研究及迅速发展之中；心磁、脑磁等生物磁信号的检测方法的研究正在受到重视。生物医学信号检测技术已广泛应用于医学研究、临床检查、病人监护、治疗控制、以及人工器官和运动医学等领域，是一种基础性技术。生物医学信号检测与传感器的发展趋向是：发展微型化、多参数生物医学传感器，特别是加强化学传感器和生物传感器的实用化研究；发展以生物电和生物磁为代表的无创检测技术；发展植入式、动态监测式技术和生物遥测技术；发展细胞和分子水平的检测技术。

生物医学信号处理是研究从被干扰和噪声淹没的信号中提取有用的生物医学信息的特征并作模式分类的方法，它在生物医学测量、医学图像技术和医学仪器中已得到广泛应用，例如采用累加

平均技术已成功提取诱发脑电、希氏束电和心室晚电位等微弱信号;在心电和脑电体表标测中采用计算机进行多道信号同步处理并推求原始信号源的活动;在生理信号数据压缩和模式分类中开始引入人工神经网络方法;在医药学特别是中国传统医学中的医学专家系统已在发挥实际效益。生物医学信号处理技术的研究大多尚处在发展之中,学术研究十分活跃,需继续加强系统的研究,扩大实用性,特别是在生物医学信号处理中引入专家系统、人工神经网络和混沌与分形理论的研究,正愈来愈引起人们的兴趣和重视。

医学图像技术包括成像技术和图像处理技术。医学成像是把生物体中的有关信息以图像形式提取并显示出来,而医学图像处理则是对已获得的医学图像进行分析、识别、分割、解释和分类,以及作三维重建与显示等。医学图象技术发展十分迅速,且在医学临床检查中占有重要份额。目前,超声成像、X射线CT、磁共振成像、放射性核素成像和计算机显微图像技术等已趋成熟并得到普及。今后的趋势是:发展功能性成像等新的医学成像方法,提高成像速度和分辨力,扩展成像功能,并注意将模糊处理技术、人工神经网络等引入医学图像处理中,三维重建和三维图像显示技术的研究仍是重要的方向。

电、磁、辐射、超声等物理能量已用于治疗疾病或缓解病痛,成为药物和手术治疗以外的重要治疗手段,其优点是创伤小,费用低,易于推广。研究各种物理因子的生物效应,即研究其对人体的治疗作用及其机理,并确定有效剂量和安全标准,一直是重要的课题。目前,激光已在光凝、汽化或切割等手术治疗和手术性理疗等临床领域得到了广泛应用;以微波和超声波为热源的肿瘤加热疗法在近年进行了大量研究和开发;放射治疗和冲击波碎石技术已得到广泛应用;各种电磁场大量用于治疗,并开发出多种家用性电磁治疗仪器。各种物理能量的作用与中医针灸疗法的结合,产生

了一些具有特色的治疗技术。今后的趋势是,加强各种物理因子治疗机理和生物效应的研究,以提高疗效,避免盲目性和对人体的有害影响,在此基础上发展无创或微创性物理治疗技术。

目前,生物医学工程学的研究与应用已在医学领域发挥了巨大作用,今后将继续加强上述重要领域的研究,同时将对应用于分子生物学、微创伤手术、老年医学和家庭健康监护等方面的研究给予特别注意。与分子生物学相结合,加强细胞和分子水平的研究,是生物医学工程学发展的一个重要趋势。此外,生物医学工程学在农业、营养学、生态学和动物学等领域应用的研究也是值得注意的方向。

我国生物医学工程学的研究起步较迟,但发展迅速。然而由于种种因素的限制,目前在总体上,与国际水平相比,我们尚有不少差距。如何结合我国在本门学科中的研究基础,以及医学和医疗保障事业的需要,明确发展方向,制订相应的政策,对我们这样一个发展中的人口大国来说是十分重要的。

本书在国家自然科学基金委员会,国家科委、中国工程院有关课题的资助下,组织了我国生物医学工程学科的有关专家,既有老一辈的科学家,也有做出贡献的中青年学者参加,以中国生物医学工程的今天与明天为主题,就学科的发展方向进行了研讨。从这个意义上讲,本书是国内众多科学家的集体智慧的结晶,书中涉及生物医学工程学科发展的战略、目标、优先发展重点领域与项目建议是科学家的共识和预测,相信会对引导我国生物医学工程学科向正确的方向发展作出积极的贡献。

中国医学科学院院长
中国生物医学工程学会理事长 巴德年院士

1997年10月18日

目 录

第一章	中国生物医学工程的发展道路·····	1
第二章	生物医学工程学的战略地位与发展趋势·····	16
第三章	论人工器官研究的学科发展战略·····	30
第四章	血浆置换技术·····	51
第五章	体外循环新一代驱动装置——离心泵·····	62
第六章	人工胰现状·····	70
第七章	人工晶体的进展·····	81
第八章	人工血管表面内皮细胞种植研究·····	102
第九章	定制型人工髌假体研究应用·····	110
第十章	全膝人工关节的历史和生物力学·····	120
第十一章	全植入式人工尿道括约肌的研究现状·····	129
第十二章	论生物材料研究的学科发展战略·····	135
第十三章	用于口腔修复的金属与合金材料·····	148
第十四章	国外医用缝合线的发展状况·····	159
第十五章	医用敷料的发展及概况·····	167
第十六章	扩散型高分子药物缓释机理的研究现状·····	176
第十七章	高分子透析膜的现状·····	185
第十八章	生物活性陶瓷涂层的研究进展·····	194
第十九章	金属种植体的表面处理·····	205
第二十章	天然生物材料及表面活性修饰材料的现状及 发展建议·····	214
第二十一章	导管在泌尿外科的应用·····	223
第二十二章	改进医用聚氨酯血液相容性的研究进展·····	242
第二十三章	骨融合种植体·····	254

第二十四章	非水相酶学的原理与应用·····	265
第二十五章	论生物系统的建模仿真及控制的学 科发展战略·····	275
第二十六章	神经的建模研究方法·····	297
第二十七章	数学形态学及其在生物医学工程 中的应用·····	313
第二十八章	论心脏起搏工程技术和植入式医疗 器件研究的学科发展战略·····	334
第二十九章	论生物医学超声研究的学科发展战略·····	342
第三十章	论医学图像研究的学科发展战略·····	353
第三十一章	双平面投影心血管三维重建技术 研究新进展·····	371
第三十二章	医学三维成像·····	382
第三十三章	论生物力学研究的学科发展战略·····	389
第三十四章	活体生物软组织力学特性研究的现状·····	402
第三十五章	论生物医学信号检测研究的学科发展战略 ·····	414
第三十六章	无损伤血氧计·····	431
第三十七章	生物医学弱电信号的检测与处理技术·····	445
第三十八章	呼吸暂停检测方法的进展·····	459
第三十九章	论生物医学信号处理研究的学科发展战略 ·····	465
第四十章	人工神经网络在脑电分析中的应用·····	484
第四十一章	混沌的数值分析方法及其在生物医学 工程中的应用·····	504
第四十二章	ECG 自动分析技术的发展 ·····	515
第四十三章	神经网络在心电信号分析处理中的应用·····	529
第四十四章	神经电生理逆问题——复合动作电位传	

	播速度分布的估计.....	541
第四十五章	心室晚电位处理技术研究进展.....	555
第四十六章	肺音信号检测处理及其临床应用研究.....	570
第四十七章	论生物医学传感技术研究的学科发展战略	581
第四十八章	光寻址电位传感器及其在生物学中的应用	598
第四十九章	论治疗与康复工程研究的学科发展战略.....	611
第五十章	论生物电磁学和激光医学研究的学科发展战略	620
第五十一章	知识工程中的几个问题.....	636

第一章

中国生物医学工程的发展道路

中国生物医学工程学会成立已近二十年了。二十年来,我国的生物医学工程取得了相当可观的进步,积累了不少经验,但也有许多教训。未来的路该怎样走?这是我们面临的一个重大问题。

记得几年以前,在中国生物医学工程学会第三届学术大会上,我们曾经专门讨论过生物医学工程这一门学科的内涵和特点,指出不只是工程技术在生物学和医学上的应用,而是以对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。进而,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。在此基础上,结合我国的具体条件,提出要“借他人之鉴,走自己的路。”明确指出:“我们的目标不在于单纯的学科先进性,而在于发展切合我国实际的生物医学工程技术;我们的重点不在于高、精、尖的技术装备,而在于研究、发展可靠、简易、经济的技术装备,为迅速提高我国整个的