



2011—2012

*Report on Advances in
Biomedical Engineering*

中国科学技术协会 主编
中国生物医学工程学会 编著

生物医学工程
学科发展报告

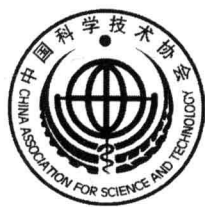
中国科学技术出版社



生物醫學工程

學科發展及展望報告

2011—2012



2011-2012

生物医学工程

学科发展报告

REPORT ON ADVANCES IN BIOMEDICAL ENGINEERING

中国科学技术协会 主编
中国生物医学工程学会 编著

中国科学技术出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

2011—2012 生物医学工程学科发展报告/中国科学技术协会主编;
中国生物医学工程学会编著. —北京:中国科学技术出版社,2012.4
(中国科协学科发展研究系列报告)
ISBN 978-7-5046-6041-1

I. ①2… II. ①中… ②中… III. ①生物工程-医学工程-学科
发展-研究报告-中国-2011—2012 IV. ①R318-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 042182 号

选题策划 许 英
责任编辑 符晓静
封面设计 中文天地
责任校对 凌红霞
责任印制 王 沛

出 版 中国科学技术出版社
发 行 科学普及出版社发行部
地 址 北京市海淀区中关村南大街 16 号
邮 编 100081
发行电话 010-62173865
传 真 010-62179148
网 址 <http://www.cspbooks.com.cn>

开 本 787mm×1092mm 1/16
字 数 288 千字
印 张 12
印 数 1—2500 册
版 次 2012 年 4 月第 1 版
印 次 2012 年 4 月第 1 次印刷
印 刷 北京凯鑫彩色印刷有限公司

书 号 ISBN 978-7-5046-6041-1/R·1565
定 价 36.00 元

(凡购买本社图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换)
本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

2011—2012 生物医学工程学科发展报告

中国科学院生物医学工程研究所 编

首席科学家 编写组

陶祖莱

(按姓氏笔画排序)

于红林	王广志	王喜太	王 磊	邓小燕
龙 勉	成奇明	任菁菁	刘德培	闫相国
江祝兵	孙怡宁	杨 军	杨国忠	李立峰
李兰娟	李 焯	李路明	李德玉	吴健康
何国平	何前锋	宋 瑜	张元亭	张 明
张晓玉	陈武凡	季林红	季振宇	金 瓯
周广东	周长忍	周玉彬	郑玉峰	郑全录
胡逸民	俞梦孙	姜宗来	洪 波	顾汉卿
徐可欣	奚廷斐	高上凯	高小榕	曹征涛
曹谊林	董秀珍	谢 叻	蓝 宁	蒲 放
樊瑜波	戴尅戎			
王金新	高莹慧	邹慧玲	欧阳昭连	
刘官正	杜海艳	王佳莹		

学术秘书组

序

科学技术作为人类智慧的结晶,不仅推动经济社会发展,而且不断丰富和发展科学文化,形成了以科学精神为精髓的人类社会的共同信念、价值标准和行为规范。学科的构建、调整和发展,也与其内在的学科文化的形成、整合、体制化过程密切相关。优秀的学科文化是学科成熟的标志,影响着学科发展的趋势和学科前沿的演进,是学科核心竞争力的重要内容。中国科协自2006年以来,坚持持续推进学科建设,力求在总结学科发展成果、研究学科发展规律、预测学科发展趋势的基础上,探究学科发展的文化特征,以此强化推动新兴学科萌芽、促进优势学科发展的内在动力,推进学科交叉、融合与渗透,培育学科新的生长点,提升原始创新能力。

截至2010年,有87个全国学会参与了学科发展系列研究,编写出版了学科发展系列报告131卷,并且每年定期发布。各相关学科的研究成果、趋势分析及其中蕴涵的鲜明学术风格、学科文化,越来越显现出重要的社会影响力和学术价值,受到科技界、学术团体和政府部门的高度重视以及国外主要学术机构和团体的关注,并成为科技政策和规划制定学术研究课题立项、技术创新与应用以及跨学科研究的重要参考资料和国内外知名图书馆的馆藏资料。

2011年,中国科协继续组织中国空间科学学会等23个全国学会分别对空间科学、地理学(人文-经济地理学)、昆虫学、生态学、环境科学技术、资源科学、仪器科学与技术、标准化科学技术、计算机科学与技术、测绘科学与技术、有色金属冶金工程技术、材料腐蚀、水产学、园艺学、作物学、中医药学、生物医学工程、针灸学、公共卫生与预防医学、技术经济学、图书馆学、色彩学、国土经济学等学科进行学科发展研究,完成23卷学科发展系列报告以及1卷学科发展综合报告,共计近800万字。

参与本次研究发布的,既有历史长久的基础学科,也有新兴的交叉学科和紧密结合经济社会建设的应用技术学科。学科发展系列报告的内容既有学术理论探索创新的最新总结,也有产学研结合的突出成果;既有基础领域的研究进展,也有应用领域的开发进展,内容丰富,分析透彻,研究深入,成果显著。

参与本次学科发展研究和报告编写的诸多专家学者,在完成繁重的科研项目、教学任务的同时,投入大量精力,汇集资料,潜心研究,群策群力,精雕细琢,体现出高度的使命感、责任感和无私奉献的精神。在本次学科发展报告付梓之际,我衷心地感谢所有为学科发展研究和报告编写奉献智慧的专家学者及工作人员,正是你们辛勤的工作才有呈现给读者的丰硕研究成果。同时我也期待,随着时间的久远,这些研究成果愈来愈能够显露出时代的价值,成为我国科技发展和学科建设中的重要参考依据。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李锐' (Li Rui), written in a cursive style.

2012年3月

前 言

近半个多世纪以来,“生物医学工程是成长最快的一个科学技术领域,它取得了令人震惊的成就,且具有诱人的前景。”作为一个新兴的学科,其目标凝聚(维持和促进健康),但分支繁复而衍散,至今尚无统一规范分类。为促进生物医学工程(BME)学科的建设,本书综合报告部分提出了一个以分支领域科学技术基础和目标相结合的分类框架,进而结合学科发展趋势,在此框架里选择医学影像(BME的标志性领域之一)、医学神经工程(BME的新前沿之一)、生物力学(BME的学科基础之一)、介入医学工程、组织工程以及家庭健康工程技术(体现BME未来发展的方向)等6个分支领域,展现我国生物医学工程学科主要进展,并借此凸现生物医学工程的学科特征。此外,就当前的热点——健康物联网问题,从不同方位和不同层面进行了探索。

与之相应,本书专题报告部分以生物电阻抗成像、神经工程、心血管系统生物力学、介入医学工程、康复工程和家庭健康保健技术等为专题,进行了比较系统的阐述。最后,作为人类健康工程的前奏和对健康物联网的探索,介绍了我国高原健康工程和数字卫生技术示范工程的最新成果,并探讨了数字医疗、医疗物联网和健康物联网的关系。

中国生物医学工程学会

2012年1月

目 录

序	韩启德
前 言	中国生物医学工程学会

综合报告

生物医学工程学科发展研究	3
一、引言	3
二、医学影像	6
三、医学神经工程	17
四、生物力学	22
五、介入医学工程	26
六、组织工程	30
七、家庭健康工程技术	31
八、健康工程和健康物联网	35
九、结语	39
参考文献	41

专题报告

生物电阻抗成像研究进展及趋势	45
神经工程前沿发展及趋势	58
心血管系统生物力学进展及趋势	77
介入医学工程学科发展研究	98
康复工程发展现状及趋势	112
家庭健康保健技术发展现状及趋势	127
健康工程和健康物联网发展研究	157

ABSTRACTS IN ENGLISH

Comprehensive Report

Report on Discipline Development of Biomedical Engineering	175
--	-----

Reports on Special Topics

Advances in Biological Electrical Impedance Imaging Technology	178
Advances in Neural Engineering	179
Advances in Biomechanics of Cardiovascular System	180

Advances in Interventional Medicine	180
Advances in Rehabilitation Engineering	181
Advances in Home Health Care Technology	181
Advances in Health Engineering and the Health Network	182

综合报告

生物医学工程学科发展研究

一、引言

近半个多世纪以来,“生物医学工程是成长最快的一个科学技术领域,它取得了令人震惊的成就,且具有诱人的前景”。

历史地看,生物医学工程的概念源出于 H. von. 赫姆霍兹,他认为:“工程学将推动生物学和医学,尤其是通过用于测量和成像的仪器。”而“生物医学工程”(Biomedical Engineering, BME)一词提出于 20 世纪 50 年代,对此美国电气和电子工程师协会(Institute of Electronic and Electrical Engineering, IEEE)的界定是“应用工程学的原理和技术解决生物学和医学的问题”。随着医学影像、人工器官等兴起,生物医学工程突破了技术的范畴,形成了一门独立的学科,其内涵是“工程科学的原理和方法与生命科学的原理和方法相结合,认识生命运动的(定量)规律,以维护、促进人的健康”。这里,第二句话是学科的主题,第三句话是学科的目标(人类健康的需求),第一句话则是生物医学工程方法学的特征;而独特的方法学原则的建立,正是一门独立学科形成的标志。

半个多世纪来,生物医学工程科学无论在深度还是在广度上都有巨大进展。就深度而言,它已经超越了为生物学和医学提供解决问题的方法、手段和工具的范畴,而融入生命科学、医学之中,成为其不可或缺的一个组成部分。例如生物力学(Biomechanics, 生物医学工程的学科基础之一),应力-生长关系的发现,揭示了力的作用(生命体内的应力分布)是各个层次生命体(从细胞到个体)生长、发育过程中,乃至地球生命演化过程中的一个更为初始的信息系统,从而使生物力学向力学生物学(Mechanobiology)深化(从宏观到微观,宏观与微观相结合),血管生物学(Vessel-Biology)、力学细胞生物学(Mechanocytobiology)等的形成即为其例。另一方面,医学“已经进入了一个以个体化医疗为特征的新时期”,临床医学工程化(图 1)是其标志。显然,它是医学基础、医学工程技术、临床专家经验(借助于知识工程技术)三者的结合,而生物力学工程(Biomechanical Engineering)提供了结合(整合)的平台。不仅如此,自 20 世纪 90 年代以来,医疗器械产业技术进步也进入了一个以创新能力为标志的新时期,且一些前沿领域(如组织工程、生物微系统等)的产品已经超越了医疗器械的传统界定,故又被称为生物医学工程产业;生物医学工程和技术已成为 21 世纪医疗器械产业技术创新的主要源头。

另一方面,生物医学工程是因人类健康需求而发展起来的科学技术领域,多层面、多方位的社会需求和学科属性决定了生物医学工程必然是一个广覆盖、深交叉(从交叉→结合→融合)、快发展、多变化的科学技术领域。因而,其分支学科和/或分支技术领域的划分(界定)是十分困难且相当模糊的。为促进学科建设,今以分支领域的科学技术基础和主要目标为基准,将当前生物医学工程科学技术领域分为以下四类。

(1)以电子、电气工程技术和信息科学技术为基础,以观测、辨识组织,器官结构和形态/系统功能等为主要目标。医学影像、医学信息技术、数字医疗和神经工程等属此。

医疗工程化



图1 临床医学工程化示意图

(2)以生物材料和生物力学为基础,结合生物技术、细胞生物学等,以认识人体生理系统、器官、组织、细胞等生命体结构—功能关系,进而修复损伤、重建功能,以达增进健康之目的。人工器官、组织工程(再生医学工程)、细胞工程、介入医疗工程、康复工程、行为工程等属此。

(3)以生物化学和生物技术为基础,结合微电子、微制作技术,以辨识、调控人体生命活动的精微变化等为目标。生物传感器、生物微系统等属此。

(4)以物理作用的生物效应为基础,运用系统工程原理和方法,实现特定的医疗/保健目标。放射医疗工程、超声医疗工程、激光医疗工程等属此。

它们之间边界模糊,互相渗透,互有兼容,算不上生物医学工程二级学科规范的分,但为廓清学科领域面貌,进而规范分类提供了一个虽粗但不失其正的框架。下面就在这一框架里选择若干分支领域概述近年来的主要进展,并借此凸显生物医学工程学科的内秉特征。

从发展历程来看,如果说20世纪50年代以来,由疾病谱的改变诸如心脑血管病、癌症、糖尿病等非传染性慢病(NCD)成为人类健康和生命的主要威胁,促成了生物医学工程科学的兴起和迅猛发展,那么,21世纪医学的变革(医学目的的调整和医学模式的转变)必然导致生物医学工程科学发展方向的重大转变。其核心是:从以疾病的诊断、治疗为中心,转向以人(个体化)的功能状态的辨识和调理为中心。这一转变必然大大拓展医学工程科学(不再局限于生物)的领域范围(科学技术和人文相结合),形成一个以提高人的功能状态水平,改善人的行为和素质,增进人际和谐,从而促进人的健康,强化(职业)群体效能为目标的,融人文、科学和技术为一体(以人文为主导)的新领域,即人类健康工程(Human Performance Engineering)。

早在1988年,当时法国总统密特朗以“21世纪的机遇和挑战”为题邀请了75位诺贝尔奖获得者会聚巴黎。与会者的共识以《巴黎宣言》公诸于世。其中有关人类健康有两段话可谓“喻世明言”:

“医学不仅仅是关于疾病的科学,更应该是关于健康的科学。”

“好的医生应该是使人不生病的医生,而不是把病治好的医生。”

前者为医学目的的调整(以“预防疾病和损伤,维持和促进健康”为首要目的)和医学模式的转变(从生物医学转向生理·心理·社会·环境四者相结合的医学)作了深入浅出的、高度的学术概括,也为人类健康工程正了名。世界卫生组织(WHO)1996年在题为“21世纪的挑战”的报告中强调“21世纪的医学,不应该继续以疾病为主要研究领域,应当以人的健康作为医学的主要发展方向。”后者则是中国传统医学最高理念:“上工治未病”的现代全球普及版,它以最通俗的语言,为“关于健康的科学”的学术内涵作了高度概括:即“治未病”。

半个多世纪来,生命科学的研究表明:非传染性慢病是人身一心整体失调(功能状态失衡→失稳)的局部体现。从系统科学的观念来看,“人是一个维持稳态的机构”,“人的生命在于稳态的维持之中”(N. 维纳),示意如图2。在系统内、外环境的协同作用下,系统整体的功能保持正常稳态,是谓健康。而内、外环境相互作用能否协同则取决于系统自调节、自适应(本质上是自组织)能力(系统自由能)是否足以在内、外干扰(内伤七情,外感六淫)作用下维持系统功能的稳态(使系统整体的功能参数自动收敛于正常的目标环)。

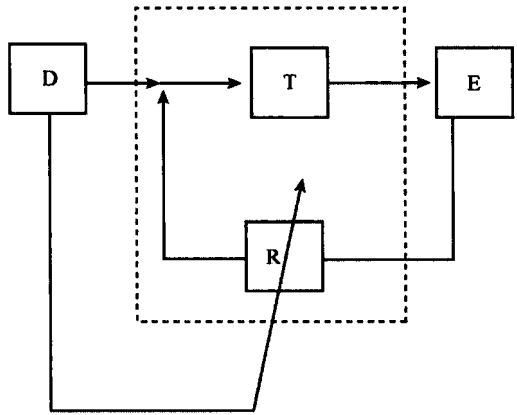


图2 心-身系统示意图

另一方面,生物学的普遍规律告诉我们:不同层次生命体(从细胞、组织、器官到个体)的功能决定于其结构(形态),但诸如动脉粥样硬化等非传染性慢病的发病学和病理生理学以及相关生物力学/力学生物学等研究表明:生命体(从细胞到个体)功能状态的改变(尤其是持续的改变)必然导致其结构、形态的重建。整体功能状态的退变,必然引起相关系统、器官、组织、细胞的病理性重建,这种病理性的积累必然孳生病灶,由渐变而突变,疾病发生。因而非传染性慢病的形成、发生、发展,有一个从量变到质变、渐变到突变的过程,即从功能状态退变→退变积累,病理重建,功能状态失衡→功能状态失稳,病灶形成→突变,发病→疾病传变→……直至死亡。显然:解决非传染性慢病问题的有效方法是预防,而非早期诊断、早期治疗,那是不得已而为之;而预防的最佳时机是:功能状态未退变和功能退变、失衡而未失稳的量变时期(从退变→失衡→失稳前)即中国传统医学所说:“治其未生、治其未成、治其未发。”一旦疾病发生,则及时救治,“治其未传”;病情稳定后则需“瘥后防复”,从而提高患者生存质量,直至“安详地死亡”。可见,“治未病”的医学(“关于健康的科学”)涵盖了“治病”的医学,全面地体现了医学的价值(示意如图3)。而21世纪生物医学工程发展的目标和方向,则是为健康科学(“治未病”医学)的创立、发展提供新概念、新思路、新方法、新技术,构建技术平台,而自身亦在此过程中实现从生物医学工程到人类健康工程的转变。这也是中国生物医学工程科学和自主医疗器械产业跻身世界前列的最好机遇。

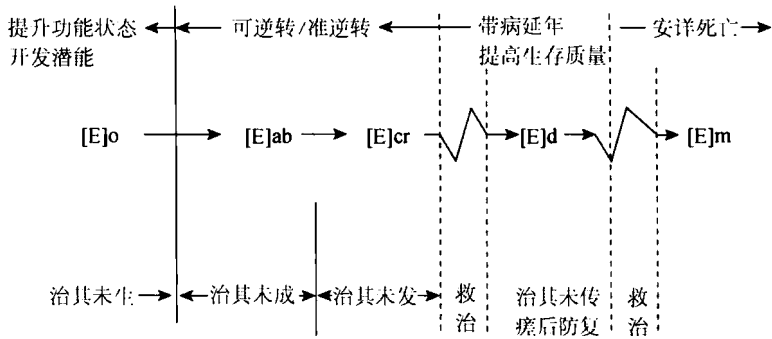


图3 “治未病”的医学

在这一方面,基本科学问题和关键技术是:人身一心整体状态的表征、状态(动态)辨识和状态(动态)调控的理论、方法和技术。这里有两个基本观念有待转变。

(1)思维模式的转变。现代医学诊断疾病和疗效评估的基准是基于大样本流行病学调查的特异性指标体系,它本质上是工业生产思维模式的外延,其前提是各态历经假说,即被统计成员一律平等——统计同质化的人。而健康是个性化的,因而“治未病”医学和人类健康工程也是个性化的。这里重要的是人(个体)整体功能状态的时序变化和变化趋势,而以基于大样本横向统计的指标体系为其背景。

(2)不同于现代医学,在“治未病”医学体系里,疾病不是作为健康的敌体而存在的,因而“治病”主要不在于“征服”。无论健康还是患病,都是人(个体)整体的功能状态的表征。状态调控(调理)的基本原则是:通过调理,提升状态,祛病是身心整体状态提升的必然结果。而“对抗”,则是辅助的。这样可消除或大大减缓医源性/药源性疾病的发生。

下面就在上述学科分类框架内选择若干分支领域,从不同方位、不同层面概述近年来取得的主要进展;并借此凸显生物医学工程科学的内蕴和学科特征。

二、医学影像

医学影像是生物医学工程的一个标志性领域,相应产业的产值约占医疗器械行业的一半。由于基础工业和工艺技术的落后,加之知识产权的限制,医疗影像一直是我国医疗器械产业的薄弱环节。由此造成的进口依赖,显著加重了我国医疗卫生的社会负担。故中国生物医学工程在这方面的进展具有重要意义。可行的途径有三:一是创立新的成像方法和技术;二是发展新的图像处理技术;三是通过引进、吸收,二次创新,进而突破核心关键技术。所幸,近年来我国生物医学工程在这三方面均有显著进展。

(一)重大突破:生物电阻抗断层成像(EIT)——床旁动态(连续)图像监护

尽管医学影像技术和装备已取得长足进步,尽管床旁监护装置门类众多,性能先进。但放眼全球,目前尚未见一种适合床旁连续观测的动态图像监护装置。而实际需求却重大而迫切。突发事件和灾变中伤病救治,尤其是现代化战争战伤救治和伤患后送过程中,颅脑和肝、脾、肾、膀胱等慢性出血引起的病变,死亡率、伤残率很高,亟须发展相应的床旁

动态功能监护、预警新技术和新装置。

安全性(防止二次损伤)的要求排除了 X 射线等辐射类成像技术应用于床旁监护的可能,现有的 MRI、超声技术均难以用于床旁监护,必须发展新的成像技术。由于不同生物组织电阻抗特性不同,同一组织在不同状态下电阻抗特性不同,生物电阻抗的改变能比较灵敏地反映组织功能结构的变化,且安全、无损、无创,故生物电阻抗成像是发展床旁动态图像监护技术之首选。但是,活组织介电特性的测量本身就是个基础性的难题,以颅骨为例,国际上通常用将它简化为厚度均匀的均质的介电材料,以尸解干颅骨测得的介电特性为模型参数研究阻抗成像技术,其效果不佳是可想而知的。活组织介电特性测量已经成为制约生物电阻抗成像等研究的瓶颈。

面对上述重大紧迫需求,针对生物电阻抗成像的瓶颈问题,第四军医大学董秀珍实验室在长期从事生物电阻抗研究的基础上,以颅脑功能动态监护为切入点,从活组织介电特性测量、电阻抗成像的阻抗分解率和空间分辨率、非线性偏微分方程组逆问题数值解等基本科学问题的研究出发,突破了两大关键技术。

1. 高噪声背景下通过体表弱信号(皮肤电阻抗)测量提取体内活组织电阻抗信号(动态范围宽)

其核心有二:

(1)适用于提取中心弱信号的驱动模式。驱动模式也常被称为激励模式、电流注入模式等,是指在 EIT 数据采集,激励电流注入目标区域的方式,即选择电流从哪些电极流入、哪些电极流出的问题。由于电流在导体内的非线性分布特性,不同的驱动模式会在目标区域产生不同的电流密度分布,从而会引起对特定区域电阻率扰动的敏感性的改变,进而带来不同的图像重构效果。

国际上的研究普遍采用临近驱动-临近测量模式,但是这种模式对中心区的扰动变化敏感性较差。鉴于此,董秀珍实验室提出了对中心扰动信号敏感的对向驱动和准对向驱动模式,并从动态范围、独立测量数、边界电压变化量、抗噪性能等方面进行了一系列研究。结果表明:总体上而言对向驱动性能与准对向模式接近,优于其他模式。图 4 是用准对向驱动模式对人颅骨进行在体测量所得的电阻率分布。显然,其分布是非均匀的。取平均后,头皮、颅骨和脑组织电导率之比约为 $11 : 0.05 : 1$ 。

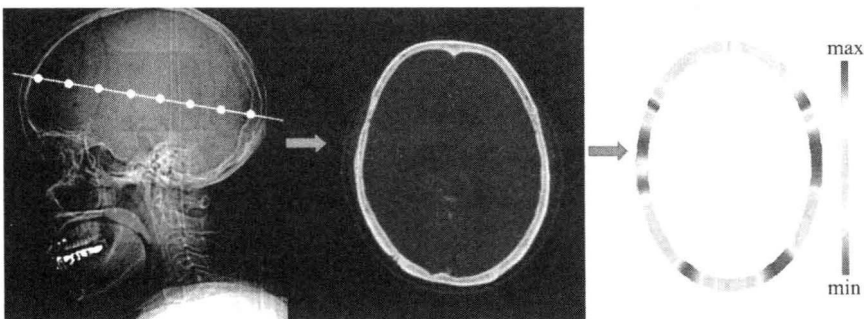


图 4 电阻抗成像电极分布区的颅骨电阻率分布