

# 未来10年 中国学科发展战略

## 生物医学工程学

国家自然科学基金委员会生命科学部



科学出版社

未来10年  
中国学科发展战略

# 生物医学工程学

国家自然科学基金委员会生命科学部

科学出版社

北京

**图书在版编目(CIP)数据**

未来 10 年中国学科发展战略·生物医学工程/国家自然科学基金委员会  
生命科学部编. —北京: 科学出版社, 2012

(未来 10 年中国学科发展战略)

ISBN 978-7-03-033432-9

I. ①生… II. ①国… III. ①生物医学工程-学科发展-发展战略-中国-  
2011~2020 IV. ①R318-12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 014464 号

丛书策划: 胡升华 侯俊琳

责任编辑: 牛 玲 孙 青 / 责任校对: 刘小梅

责任印制: 赵德静 / 封面设计: 黄华斌 陈 敬

编辑部电话: 010-64035853

E-mail: houjunlin@mail.sciencep.com

**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>

**中国科学院印刷厂** 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 4 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2012 年 4 月第一次印刷 印张: 19 1/4

字数: 370 000

**定价: 59.00 元**

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

## 战略研究组

组 长	龙 勉	研究员	中国科学院力学研究所
副组长	冯雪莲	研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部
成 员	孔德领	教 授	南开大学
	戴建武	研究员	中国科学院遗传与发育生物学研究所
	蒋田仔	研究员	中国科学院自动化研究所
	陆祖宏	教 授	东南大学

## 秘 书 组

组 长	龙 勉	研究员	中国科学院力学研究所
副组长	薛 淮	副处长	中国科学院院士工作局
成 员	孔德领	教 授	南开大学
	戴建武	研究员	中国科学院遗传与发育生物学研究所
	蒋田仔	研究员	中国科学院自动化研究所
	陆祖宏	教 授	东南大学
	李人卫	副研究员	国家自然科学基金委员会生命科学部

## 序言

俞梦孙 陶祖莱

生物医学工程学科是一个大跨度、多学科、深入交叉（结合→融合）的新兴学科领域。作为一门独立的学科，其方法学特征是工程科学的原理与方法和生命科学的原理与方法有机结合；研究对象是各层次（从生物大分子、分子器件、细胞、亚细胞结构到个体整体，乃至群体）生命运动与变化的规律；目的在于定量阐明生命活动和生物学过程，发展先进的概念、方法、技术乃至装备，用以维持、促进人的健康，开发人的潜能。近半个世纪以来，生物医学工程学科无论在深度还是广度上都取得了重大的进展，不仅极大地推动了生命科学和医学的进步，而且深刻地改变了生物医学工程和医疗器械产业的结构和面貌，是近 50 年来发展最快、成果极丰的一个学科领域。

如果说 50 余年前，医学进步的迫切需求（主要是诸如心脑血管疾病、癌症等非传染性慢性疾病的早期诊断技术和新型诊疗方法）和医疗器械产业发展的需求，促成了生物医学工程学科的兴起；那么，21 世纪医学的变革，必然导致生物医学工程内涵和发展方向的重大改变。时至今日，生物医学工程学科的进步能够多层次、跨尺度地发现生命活动和生物学过程中力学-生物学-化学耦合的新现象和新规律，发展具

有友好界面和生物相容性的新型生物材料，实现具有生物学表型和功能的人工组织乃至器官的工程化构建，提供越来越清晰的生物医学图像和影像，研发适用于诊断和治疗的生物电子器件和装置。可以说，生物医学工程学科已成为现代生命科学和医学不可或缺的重要组成部分。

生物医学工程学科自身以及相关学科的飞速发展也带来了其内涵的不断拓展和更新。当前，以生物力学、生物材料、组织工程、生物医学影像和生物电子学为代表的分支构成了生物医学工程学科国际发展主流，同时也成为我国生物医学工程学科的主要分支。在此背景下，国家自然科学基金委员会在与中国科学院合作开展的“2011~2020年中国学科发展战略研究”中，专门布局开展生物医学工程学科发展战略研究。在综合分析生物医学工程学科地位、国内外态势、现状基础上，提出了我国未来5~10年生物医学工程学科的学科布局，优先资助、重大交叉、国际合作交流领域，以及保障措施等。无疑，在生物医学工程学科发展面临重大机遇的今天，国家自然科学基金委员会支持、组织这一战略研究是具有远见卓识的。

由黄家驷院士创导、冯元桢院士推动，中国生物医学工程学科起步于20世纪70年代末，30余年来取得了长足的进展，主要体现在两个方面：一是中国生物医学工程学科经历了从跟踪到“走自己的路”，并致力于解决自己所面临的重大问题的转变；二是受过良好交叉学科训练的一代学科领军人才已在国际学术领域崭露头角，并取得了话语权。该书体现了他们的共识和思路。

“问渠哪得清如许，为有源头活水来。”真正的创新，在于解决重大实际问题的努力之中。

## 前言

本书的撰写是基于《关于国家自然科学基金委员会与中国科学院合作开展“2011~2020 年中国学科发展战略研究”的联合工作方案》和《国家自然科学基金“十二五”发展规划制定工作方案》而展开的。其基本原则是突出前瞻性、战略性、科学性和普及性。

1) 前瞻性是指研究报告立足现在、着眼未来,展望到 2020 年我国各学科的发展趋势,谋划未来 10 年促进各学科均衡协调可持续发展的战略思路和政策措施。

2) 战略性是指研究报告将科学内部的发展规律与外部的国家需求有机地结合起来,不仅凝练和把握重要的学术方向,而且从战略高度探索符合科学规律的资助管理与人才培养机制。

3) 科学性是指研究报告建立在数据支撑和事实分析的基础上,必要时借助文献计量指标等分析工具以及比较研究方法,力图从宏观到微观等多个层面深入了解各学科的国内外研究现状与发展趋势。

4) 普及性是指研究报告既面向科学界也面向普通公众,通过简明扼要且通俗易懂的语言使得深奥的科学道理易于理解,以达到促进公众理解科学、争取社会各界支持基础研究的目标。

本书的研究和撰写最初始于 2009 年 4 月 17 日,根据国家自然科学基金委员会与中国科学院合作开展“2011~2020 年中国学科发展战略研究”的安排、成立了“脑与认知和交叉学科战略研究组”,并于 2009 年 5 月 7 日召开了第一次战略研究组全体会议,其中交叉学科(生物医学工程)小组由龙勉(牵头)、孔德领、戴建武、蒋田仔等组成,分别牵头生物力学、生物材料、组织工程、生物医学影像等分支的发展战略研究。在 2009 年 8 月 27 日的第二次战略研究组全体会议上,战略研究组决定邀请陆祖宏牵头生物电子学分支的发展战略研究,以更加全面体现生物医学工程学科的发展态势。自 2009 年 5 月起,各分支牵头人分别通过会议研讨、调研函调研、数据库查询等不同形式,组织国内同行专家开展充分的调查研究和发展战略讨论,逐步形成报告初稿。初稿形成后在各分支专业委员会(分会)、战略研究组全体会议及学科小组会议、国家自然科学基金委员会生命科学部咨询委员会等不同层次、不同范围内广泛地征求专家意见,

历时一年半,几经修改,最终形成本书。在这一年半的时间里,调研组共召开了六次全体会议(召开时间分别为2009年5月7日、2009年8月2日、2009年9月20日、2009年10月18日、2010年3月16日和2010年10月26日)和三次专题会议(召开时间分别为2010年7月2日、2010年9月2日和2010年9月10日)。尽管如此,本书仍可能存在遗漏和不完善之处,希望广大读者批评指正。

本书在撰写过程中,得到了国家自然科学基金委员会生命科学部和中国科学院生命科学学部的大力支持、生物医学工程学战略研究组的具体指导。承担撰稿任务的专家50人<sup>①</sup>,分别为:生物力学:陈槐卿、陈维毅、邓小燕、樊瑜波、冯西桥、霍波、姜宗来、李良、张西正、杨力、龙勉\*;生物材料:陈强、樊春海、冯喜增、顾忠伟、顾忠泽、黄楠、黄岩谊、蒋兴宇、马宏伟、刘昌胜、刘宣勇、吕晓迎、王均、孔德领\*;组织工程:陈冰、李晓光、王常勇、解慧琪、赵冬梅、戴建武\*;生物医学影像:范勇、高上凯、胡德文、刘冰、刘勇、宋明、田捷、尧德中、于春水、曾绍群、张祥松、左年明、蒋田仔\*;生物电子学:付德刚、高兴亚、顾忠泽、李小俤、吕晓迎、钱伟平、王志功、陆祖宏\*。参与调研的专家更是不胜枚举,因篇幅关系,恕不一一罗列。此外,中国科学院力学研究所吕守芹、陈娟两位同志承担了大量的会议组织、记录和校稿的工作。在此一并致谢。

龙 勉

生物医学工程学战略研究组组长

2011年5月20日

① 以按姓氏汉语拼音为序

\* 表示分支牵头人和分报告汇总人



## 摘要

现代生物医学工程崛起于 20 世纪 60 年代。自 1954 年第一例肾移植手术成功后, 人工器官的概念正式被承认, 并成为生物医学工程的主要研究方向之一, 主要包括关节植入体、植入式假肢, 以及心脏起搏器、人工心脏瓣膜、人工血管等。此后, 生物医学工程研究迅速拓展, 研究方向日益增多。时至今日, 生物医学工程学科的定义已较为清晰, 其内涵是应用物理(力学)、化学、数学等基础学科及电学、光学、材料学、计算机科学、信息科学等工程学科的原理和方法来研究生物学和医学问题, 定量认识生命现象和生物学过程的基本规律, 理解、改变或控制生物系统(人或动物), 提升人类健康保障与重大疾病诊治水平。其研究内容正在逐渐扩展, 主要包括生物力学、生物材料、组织工程与再生医学、康复工程与人工器官、生物医学影像、生物电子学(生物信号检测和处理、生物系统建模等)以及介入医学, 放射医学, 核医学, 医学超声, 生理建模、仿真和控制, 医学信息学, 人工智能等。其从业人员也日益增加。据美国国家工程院估计, 目前, 美国有 3 万多名生物医学工程技术人员任职于医药卫生的各个领域, 在美国大学和研究机构中已设立了 90 多个生物医学工程系科或部门。

成立于 2000 年的美国国立卫生研究院(NIH)下属国立生物医学影像学与生物工程学研究所(NIBIB)于 2007 年公布了第一份针对未来 3~5 年发展战略研究报告(*Strategic Plan I*)。报告指出, 生物医学工程与物理科学已在过去的近半个世纪中推动了生物医学领域的革命性进步并将继续对医学实践产生重大影响。例如, 复杂的成像技术将减小对探查术的需求, 植入性器件使用持续增加并已成为治疗心率失常、关节失效、神经功能损伤的有效手段。上述革命性进步带动了医疗器械和诊断产业的蓬勃发展, 销售产值已接近 2000 亿美元; 同时, 大约 7% 的销售收入又反过来用于研发, 从而进一步刺激了新的诊断、治疗手段的持续发展。生物医学工程作为一个充满活力的学科, 已在美国大学中建立了 65 个以上的系科, 而工程和物理科学的系科对生物医学领域的关注度也在持续上升。生物医学工程和医学影像领域将基于化学、电学、力学等交叉领域工程师和科学家的贡献进一步提升。医学影像目前已成为各种疾病诊断和治疗不可或缺的工具。相对于 20 世纪早期医学影像的缓慢发展和有限进

步,最近40年成像技术的改进和发明则进展神速,发明于100多年前的传统X射线技术已被超声、放射性同位素以及光学成像、X射线计算机断层成像、磁共振成像(MRI)等技术所替代。此外,医学成像方法仍在不断被拓展,已跨越了整体、器官、细胞、亚细胞、分子乃至原子水平的可视化。因此,生物医学工程和医学影像的发现已对人类健康产生巨大影响,其学科的成熟也为重大科学进步带来了机遇。其未来发展的重点一是探索各种高新技术的潜力以提升医疗技术的可操作性和适应性,提高医学保障的质量;二是进一步认知医学影像、工程科学和物理科学在预防、诊断和治疗以下6类疾病中的潜力:婴儿死亡、癌症筛查、心血管疾病、糖尿病、艾滋病和免疫性疾病。

经过近一个世纪的快速发展,尤其是近30年来随着生物学相关知识和数据的快速积累,工程科学和物理科学已深入到生物医学领域的各个方面。几乎每一个工程科学的分支学科都可以在生物医学领域找到其感兴趣且可发挥其所长的研究内容,因而也不断催生新的交叉研究领域,如生物图像与光学、生物医学机器人学、心血管工程学、细胞与分子工程学、计算生物学、生物信息和系统生物学、神经工程学、整形与康复学、呼吸工程学、组织工程与生物材料学等<sup>①</sup>。以上交叉研究方向的迅速融合和研究内容的日益深入,使得生物医学工程成为近年来发展最快的学科之一。

21世纪的医学应该是预防与个体化医学,同时必须认识疾病的分子基础,而生物医学工程在转移医学中(尤其是将新知识转化为临床方案)将起重要的基础作用,尤其是脑-机接口、力学生物学、再生医学、分子医学、微流控系统、纳米颗粒等新学科分支和新技术的出现(引自美国NIBIB所长Dr. Roderic Pittigrew于2009年7月27日在第四届世界华人生物医学工程学会会上题为“*Bi-engineering in the 21<sup>st</sup> Century Healthcare*”的报告)。作为方兴未艾的交叉学科,生物医学工程学正在加速更新着人们对于生命活动机制的认识,同时在个体化医疗、疾病早期诊断等方面推动着相关技术的不断发展。以发展微损伤和低成本、高效率的治疗手段为目标,同时鼓励多学科的交叉研究以及从临床实践中寻找问题和方向,并提倡将生物医学工程的研究成果应用于工业及临床实践中,是当前生物医学工程学的主要发展趋势。

结合国际生物医学工程学科发展态势<sup>②</sup>,未来5~10年,我国生物医学工程学科的战略目标为以下8个方面。

1) 深化生物力学、生物材料、组织工程、生物医学影像、生物电子学等方面的基础科学问题研究,为生物医学工程学科乃至相关产业发展提供新概念、

① 参见美国生物医学工程学会2009年夏季年会摘要集。

② 参见NIBIB 2007年第一期战略发展报告。

新思想和新方法。

2) 发展分子水平的疾病早期诊断方法,使之可以准确预测疾病的发生并于先期采取相应的防治措施。例如,可用分子影像和高通量技术筛选评估致病基因。

3) 发展智能传感器,利用源自目标生物组织的化学或生理信号,在正确的时间和位置释放正确剂量的药物。例如,葡萄糖活化胰岛素给药系统可以有效地替代糖尿病患者的胰腺功能。

4) 发展工程化生物活组织,使之可以生长并发挥正常功能,从而使由心脏病、肾衰竭、关节炎、创伤或其他因素所导致的受损组织或器官得以修复和再生。组织工程的发展可减小重复手术的概率,并克服当前人工器官和关节的限制。

5) 发展微损伤的、影像引导的或机器人辅助的微观手术技术,并使之成为外科治疗的标准手段。

6) 发展远程医学以大大扩展医学服务范围。应着力发展便携式诊断设备使之在农村等条件简陋的地方即可无损地采集生理、生化信息以及图像数据,并将此类信息通过国内或国际医疗网络实时地传至健康诊疗中心。

7) 发展个体医疗技术,可以针对每一位患者的基因特征进行药物选择。

8) 发展新的方法来加快对复杂生物系统内各单元之间定量关系的理解,并从基因到器官,再到整体的不同尺度对现有信息进行整合,以最终用来预测生物学和病理学事件的发生和发展。



## Abstract

## Definition

Biomedical engineering (BME) is an interdisciplinary field that applies the principles of basic sciences (physics, mechanics, chemistry, and mathematics) and engineering sciences (electronics, optics, material, computer, and information) to investigate biological and medical questions, to quantify life phenomena and biological processes, to understand or manipulate biological systems, and to promote human health and clinical diagnosis and prognosis of diseases. It mainly includes the branches of biomechanics, biomaterials, tissue engineering and regenerative medicine, rehabilitation engineering and artificial organs, biomedical imaging, bioelectronics, as well as interventional medicine, radiology, nuclear medicine, medical ultrasound, physiological modeling and control, medical informatics, and artificial intelligence.

## Working Process

The Research on the Development Strategy of BME 2011-2020 was initiated jointly by National Natural Science Foundation of China (NSFC) and Chinese Academy of Sciences (CAS). The Survey Group of Biomedical Engineering (SG-BME) was launched on April 17, 2009 and the first meeting was held in Beijing on May 7, 2009. The SG-BME was first formed by Drs. Mian Long, Tianzi Jiang, Jianwu Dai, and Deling Kong, who serve as the coordinators in the respective branches of biomechanics, biomedical imaging, tissue engineering, and biomaterial. At the second meeting held on August 27, 2009, Dr. Zuhong Lu was invited to join in the SG-BME, responsible for coordinating the study on the bioelectronics branch. Since May 2009, each coordinator has organized the various types of mini-symposiums, questionnaire surveys, and data mining. Upon the

extensive discussions with relevant colleagues, a draft report was formed for each branch and integrated into a summarized report. From then on, one and a half year was taken to distribute the report to the experts in the fields for critical reading, and the returned comments and suggestions were then incorporated into this finalized Strategic Report. Nonetheless, the imperfections or even mistakes may still exist in the report, and further comments and suggestions are more than welcome.

## Contents

The Strategic Report aims, upon the historic courses and current status of BME field, the present demands of human health and disease treatment, and the frontiers of interdisciplinary subjects, to propose the mainstream research directions, the preferentially-supported branches, and the key interdisciplinary subjects of BME field in the next five to ten years. It includes seven chapters: Chapter I outlines the strategic position of BME field in national science and technology. Chapter II introduces the BME subject characteristics and future perspectives. Chapter III illustrates the current status of BME field. Chapter IV, V, and VI propose respectively the future layout of BME field, the preferentially-supported branches and key interdisciplinary subjects, and the international collaboration and exchanges in the next five to ten years. Chapter VII presents the policies to support biomechanics, biomaterials, tissue engineering, biomedical imaging, and bioelectronics. This Strategic Report serves as a reference book for scientists and postgraduate students in BME field as well as for other researchers or administrators in related fields.

## Main Points and Conclusions

### Characteristics of BME

1) BME is indispensable in life science and clinical medicine. A line of reasoning has contributed to the emergence of BME field. The primary reason is attributed to the growing attention on human health accompanied with social civilization. The secondary reason lies in the urgent demand to integrate the life science and engineering science when the modern spectrum of diseases varies, and the techniques and instruments for disease diagnosis and treatment are newly de-

veloped. In the past five decades, BME merged into almost every field of life science, human health, and medical science, from the discovery of new life phenomena to the quantification of biological processes, from the mass data analysis to the development of new medicines, and from the medical science to the clinic medicine. The progresses on BME have profoundly modified the life science and clinical medicine themselves and would promote the future directions of their development and transformation. In this regard, the development of life science and clinical medicine can not make it today without require the engagement of BME.

2) BME is embodied in national innovation capacity in human health and disease treatment. Aiming at the disease prevention, diagnosis, and treatment, as well as the rehabilitation and health promotion, BME develops its own conceptual framework, integrates the knowledge from molecular to organic levels, and promotes the innovative methodologies of biotechnology, biomaterial, biocybernetics, implantation, artificial organs, medical instrument, and informational products. Since 1990s, BME has become the innovative resource in the progress of medical instrumentation and the development of translational medicine where the competitive forces of BME industries serve as a symbol of the innovation capacity in developed countries. Nowadays not only BME promotes the development of various health-related industries (*e. g.* , medical instrumentation industries), but it also significantly reforms the industries themselves. By integrating human subjects (patients and physicians) and instruments into a holistic system, BME focuses on their inter-coordination, highlights the clinical solutions on the viewpoint of systems engineering, develops, proper medical instruments, and reaches the goal-of-medicine.

3) BME is characteristic from interdisciplinary combination to merged integration of modern sciences and technologies. BME itself is the outcome of interdisciplinary combination and it has grown up with basic sciences (physics, mechanics, chemistry, and mathematics) and engineering sciences (electronics, optics, material, computer, and information). Nowadays more and more investigators and engineers with interdisciplinary training are qualified in biomedical science and engineering, which compels the BME transition from interdisciplinary combination to merged integration. Such the transition is quite important since it enables BME scientists and engineers to propose the critical issues in the mainstream of life and medical sciences, to develop the core techniques and instruments from different perspectives, and to solve the medical problems using quan-

titative theories, methods, and technologies. Meanwhile, new branches have emerged in the life and medical sciences such as mechanical biology, physical biology, chemical biology, and mathematical biology as well as tissue engineering, regenerative medicine, interventional medicine, and surgical planning.

4) BME is contracted as engineering science. BME has features of engineering science. It aims at solving practical problems, seeking universal principle, and implementing preset (though finite) goal in the most contracted way. Thus, not only should BME meet the needs of medical progress and serve as the important link with social security system, but it also would help to cut down the medical expenses and promote the sustainable development of health cares.

### Strategies of BME

National BME strategies in next five to ten years are suggested:

— To understand the basic issues in biomechanics, biomaterials, tissue engineering, biomedical imaging, and bioelectronics, and to provide the new concepts, ideas, and methods for BME and related industries.

— To develop the novel approaches of early diagnosis at molecular level (*e. g.*, molecule imaging and high-throughout gene screening techniques) to provide the accurate prediction of disease emergence and propose the preventive measures in advance.

— To design the smart biosensors (*e. g.*, glucose-activated insulin delivery system) to apply chemical or biological signals of target organs or tissues in controllable release of medicines in proper doses at correct timing and location.

— To engineer the functional living tissues or organs to repair and regenerate the impaired tissues or organs induced by heart attack, renal failure, arthritis, wounding, or other factors and to lower the possibility of surgical rerun and overcome the limitations of artificial organs and man-made joints.

— To promote the minimally-invasive, image-navigated, or robot-assisted operation techniques as standard protocols in micro-surgical treatments.

— To establish the remote-or tele-medicine network to expand the medical services from urban health care center to rural and remote regions for intact collection of physiological and biochemical signals and imaging data.

— To apply the individualized medical care approach into providing the gene-based medicine prescription for each specific patient.

— To further the understandings in the integrity of a complex biological system in multi-scales from gene to organ and to unity to predict ultimately the oc-

currence and development of biological and pathological processes.

### **Preferentially-Supported Subjects of BME in Next 5 to 10 Years**

#### (1) Biomechanics

Mechanobiology and mechanochemistry at molecular and cellular levels;

1) Quantification between mechanical properties and specific interactions of biomacromolecules.

2) Theoretical simulation, functional prediction, and experimental validation of structure-function relationship of biomacromolecules.

3) Dynamics of protein assembly and synergy of protein machinery.

4) Dynamic behaviors of subcellular elements (i. e. , cytoskeleton and organelles) and assembly and remodeling of subcellular structure.

5) Quantification between mechanical properties of cells and cell-cell or cell-extracellular matrix interactions.

6) Impacts of applied forces on cell development, proliferation, secretion, differentiation, and apoptosis.

7) Hierarchical information integration from molecules, subcellular elements to cells.

8) New concepts, technologies, and methods in molecule and cellular biomechanics.

Biomechanical bases of human health and severe diseases;

1) Biomechanics in bone-muscle system, respiratory system, and sensory system and their applications in tissue-organ impair and repair.

2) Cardio- (cerebral-) vascular mechanobiology along with its application in treatment of circulatory system diseases.

3) Key biomechanical issues in engineered living tissue and organ construction.

4) Cellular and molecular biomechanics and their application in physio-pathological processes (i. e. , tumor metastasis).

5) New biomechanical concepts, methods, and technologies in rehabilitation engineering, surgical planning, and individualized medicine.

Micro-or nano-scale biomechanics and bionic mechanics;

1) Biomechanics of (stem) cell and underlying molecular mechanisms.

2) Nano-dynamics inside a cell in physiopathology.

3) Micro-nano-scale biological fluid mechanics and biorheology.

4) Biomaterial mechanics and bionic and sport biomechanics.



5) Biomechanical bases of nano-biotechnology and -biomaterials.

(2) Biomaterials

Modification of tissue repair materials and their properties in tissue regeneration;

1) Key signaling molecules and microenvironment factors in the process of tissue regeneration.

2) Bio-molecules targeting specific receptors or ligands on cell surface to capture tissue cells and stem cells.

3) Microenvironment appropriate for cell migration and adhesion upon joint molecules and extracellular matrices required for the interaction between cells and materials.

4) Growth factors for regulating tissue generation, regeneration, and repair.

5) New methods for evaluating the safety and function of biomaterials at molecular level and verifying the effect of biomaterials.

Bio-unctionalization of biomaterial surface and interface and their interaction with organisms;

1) Molecular mechanisms in dynamic interactions between biomaterial surface and tissue/cells.

2) Rules and mechanisms of interactions between biomaterials and immune system of organisms.

3) Functional transition design and construction of contact interfaces between materials and tissue/cells.

4) Bio-functionalization of the surface of cardiovascular implant materials.

5) Correlation between active modification of biomaterial surfaces and induced tissue regeneration.

6) Micro/nano structure of biomaterial surfaces and their interactions with organisms.

7) Advanced technologies for characterizing the surface of biomaterials at molecular or even sub-molecular level and *in situ*/real-time interface quantitative tracking technologies.

Biocompatibility of biomaterials;

1) Criteria optimization for evaluating the biocompatibility of biomaterials.

2) New methods and techniques in testing the biocompatibility of biomaterials.