

生物力学:与生命科学的有机融合 ——关于我国生物力学“十一·五”发展的一点建议

龙勉

(中国科学院力学研究所 国家微重力实验室,北京 100080)

中图分类号: Q-1; R318.01

文献标识码: A

生物力学是研究生命体运动和变形的学科,其基本内涵是运用力学原理、理论和方法深化对生物学/医学问题的定量认识。当前生物力学的主要分支学科包括:(1)按力学分支学科分类,包括:生物流体力学,生物固体力学,生物传热与传质,生物动力学——运动生物力学,等等。(2)按生理系统分类,包括:心(脑)血管力学,骨骼-肌肉-创伤力学,呼吸系统力学,感觉系统力学,泌尿-生殖系统力学,等等。(3)按解剖层次分类,包括:整体(局部)力学——运动生物力学,器官-组织力学,细胞-亚细胞-分子力学,等等。(4)按研究对象分类,包括:(哺乳)动物生物力学,植物生物力学,仿生力学,等等。

生物力学经过近40年的发展,形成了包罗众多生命现象的研究领域,其分支学科随着学科发展/认知的深化、研究视角的不同而不断发展。从广义上讲,生物工程已成为现代科学技术继机械(土木)工程、电子工程、化学工程后的又一支柱学科。生物医学工程是生物工程的重要方面,而生物力学则是生物医学工程的重要基础性学科。

1 国内外学科发展状况、特点、前沿领域

1.1 国际生物力学学科发展概况

国际生物力学研究始于上世纪60年代。著名华裔力学家冯元桢教授(Y.C. Fung)于60年代初期辞去在加州理工学院的终身教授职位,转而在加州UCSD大学筹建了生物工程系,从而开创了生物力学研究领域。美国著名流变学家Copley教授几乎在同一时期转向生物流变学研究,推动了血液及体液流变学研究。生物力学研究的重要性和兴趣性不仅吸引了众多资深科学家加入到本领域,而且还培养了一批受过良好交叉训练的青年生物力学学者。据不完全统计,改革开放后我国赴美留学生中在美国获得生物力学及相关领域助理教授以上职称的至少有40位。目前,生物力学学科基础涵盖生物学、医学、农学和力学、物理学、化学、数学等多个学科;研究内容包括从整体、系统、器官到组织、细胞、分子各个层次;研究方法和技术涉及到理论模型、数值计算、离体实验、临床验证等。

生命科学与包括力学在内的基础/工程科学的交叉、融合目前已愈来愈成为当今生命科学的研究热点,同时也是力学学科的新增长点。自20世纪后期,美国至少在28所著名研究型大学相继成立了生物(医学)工程系,并招聘一批具有生命科学与基础/工程科学交叉训练的青年教授。作为支持美国生命科学研究的

收稿日期: 2005-07-20

作者简介: 龙勉(1964-),男,汉族,工学博士,中国科学院力学研究所研究员,博士生导师。2000年入选中科院“百人计划”,2002年获国家杰出青年基金,2004年入选“新世纪百千万人才工程国家级人选”。研究方向为生物大分子-亚细胞-细胞层次的生物力学与生物物理。现任国际生物流变学学会(ISB)理事,中国力学学会理事,中国力学学会/中国生物医学工程学会生物力学专业委员会副主任,北京市生物医学工程学会常务理事兼生物力学专业委员会主任、学术委员会主任等。

Tel: (010)62613540 (O)/62558142 (Lab); Fax: (010)62613540 (O); E-mail: mlong@imech.ac.cn

国立机构,美国健康卫生署(National Institute of Health, NIH;2004年资助金额达270亿美元)近年来加大了在生物医学工程领域的投入,并于2000年成立第20个研究所——生物医学图像与生物工程研究所(NIBIB),这是NIH在1989年成立人类基因组研究所(NHGRI)后新成立的唯一研究所;同时,美国国家自然科学基金会在佐治亚理工学院成立了组织工程研究中心,Whitaker基金会也相继在John Hopkins、MIT、UCSD等大学成立了生物(医学)工程研究所。成立于2002年的世界华人生物医学工程师协会已先后在台北、北京召开了两次学术大会,其规模和影响日臻增大。

生物力学近40年的发展历程可大致分为两个阶段:

(1)第一阶段为上世纪60~90年代:以定量生理学(人工关节、人工心瓣等)为主要研究目标;以宏观层次(组织、器官、整体等)为主要研究对象;以力学符合生理学/解剖学需要为主要研究方法。其特色是解问题(难以提问题)为主,力学与生命科学交叉、但有痕迹,结论或“输出”常常以数理性为主。第一阶段的主要内容包包括血液循环动力学、软组织力学、骨力学(含创伤、矫形、康复)、血液流变学等方面。

(2)第二阶段为上世纪90年代到现在:以定量生物学为主要研究目标;以微观层次(分子、细胞等)为主要研究对象并注重与宏观相结合;以力学符合细胞与分子生物学需要为主要研究方法。其特色是生命现象的力学-化学、力学-生物学耦合,即概念中有力学,但解决方法不着痕迹,体现“你中有我、我中有你”的融合。生物力学家可以从不同视角自己提问题,综合包括(但不限于)力学等交叉学科解问题,结论或“输出”常常以生物性为主。第二阶段的主要内容包括分子力学(蛋白质相互作用、分子马达与分子航标等)、细胞力学(细胞间或细胞-基质相互作用等)、组织工程中的生物力学问题等方面;同时,骨-肌肉-组织力学、血流动力学及血液流变学等分支学科仍在继续深化。

1.2 学科特点

当前生物力学发展正经历着深刻的变化,其主要的推动力来自半个世纪以来生命科学的飞速进步。基础研究逐步精细化及量化,大量数据的积累要求模型化及数学化,为生物力学研究开辟了新的用武之地。现代分子和细胞生物学既提出大量新课题,又带来了许多新工具,推动着生物力学由宏观向微(细)观深入,以及宏-微(细)观相结合。实际应用的不断涌现,经济前景不可限量,催生着以解决与应用相关的工程技术问题为目标的新的生物工程学。这一新的生物工程学远远超出了基于微生物的、以发酵工程为标志的生物技术及以医疗仪器研发为目标的生物医学工程这两个传统的领域。组织工程就是它的一个典型的代表,而生物力学则是它的一个重要的领域。不断寻求新的力学和物理原理与方法,与生命科学及其他基础/工程科学进一步融合,已成为当今生物力学发展的主要特色。

在上述发展趋势中北美居于领先地位,欧洲、日本均处于转变之中。目前国内已有部分研究转到新的方向。在基础研究层面上,现代生物力学将与生物物理学、生物数学、生物信息学、生物化学等紧密结合,重点研究生物学的定量化和精确化问题;在应用研究层面上,组织工程、药物设计与输运、血流动力学等正在或已经得到临床或工业界的认同,其核心是解决关键技术问题。

总而言之,当前生物力学的发展特点可大致归纳为:(1)内涵扩大(生物医学工程,生物工程);(2)有机融合(生命科学与基础/工程科学);(3)微观深入(细胞-亚细胞-分子层次,定量生物学);(4)宏观-微观相结合(组织工程、器官力学,信息整合与系统生物学)。

1.3 前沿领域

从生物力学的自身发展及相关交叉学科的进展上看,当前生物力学发展的前沿领域大致可归纳为:(1)细胞-分子力学与工程,(2)器官-组织力学与工程,(3)骨骼-肌肉-关节力学与工程,(4)生物力学新概念、新技术与新方法等。

从生物(医学)工程的发展需求上看,2001年美国IEEE Engineering in Medicine and Biology Society And the Biomedical Engineering Society发表了生物医学工程重要前沿领域,其中近2/3领域(如下划线标出的)与生物力学研究相关:

- 生物信号处理与系统分析(Biological Signal Processing and Systems Analysis)
- 细胞-组织力学(Cell and Tissue Biomechanics)
- 基因治疗与药物运输(Gene Therapy and Drug Delivery)
- 分子-细胞-组织工程(Molecular, Cellular, and Tissue Engineering)
- 图像化、图像处理与医学可视化(Imaging, Image Processing, and Medical Visualization)
- 心血管与肺系统(Cardiovascular and Pulmonary Systems)
- 传感器、医学仪器与生物微系统(Sensors, Instrumentation, and BioMEMS)
- 遥医学、临床工程与健康保障系统(Telemedicine, Clinical Engineering, and Health Care Systems)
- 神经系统与工程(Neural Systems and Engineering)
- 空间医学(Space Medicine)
- 生物信息学与系统生物学(Bioinformatics and Systems Biology)
- 医学中的激光与光学(Lasers and Optics in Medicine)
- 矫形、康复与机器人(Orthopaedics, Rehabilitation, and Robotics)

2 国内研究特色及问题

2.1 国内生物力学学科的早期发展概况

我国生物力学研究始于上世纪 70 年代末期,来源于两个发展契机:其一是在 1978 年制定的全国力学学科发展规划中,生物力学被首次列入力学发展规划,其内容涉及生物流体力学、胆道流变学、呼吸力学、血流动力学、生物固体力学等;其二是 1979 年冯元桢教授回国讲学、开设生物力学讲习班,直接推动了我国生物力学研究的起步,并促成了同年首批国内生物力学工作者赴冯元桢实验室进行短期学习。80 年代以来,一批资深的力学、物理学、医学、生物学工作者逐渐加入到生物力学研究行列中,通过加强与国外学者(尤其是华裔科学家)之间的学术交流,建立了我国早期生物力学基地,并逐步在相关大学、科研机构陆续建立了生物力学研究团队。我国生物力学的早期研究主要集中在以下三个领域:

(1) 体液流变学:研究内容主要涉及胆道(肝脏)流变学、血液流变学、细胞流变学、活血化瘀的流变学效应等方面。

(2) 血流动力学:研究内容主要涉及心室(阻抗)力学及其与临床结合、心瓣(疲劳)力学、心血管力学模拟、人工心瓣及相似参数、血流分析与模拟、脉搏波传播、血管入口流、临床心血管工程等。

(3) 骨力学:研究内容主要涉及颅脑损伤力学、骨压电/动电效应、骨/关节力学、颞颌骨/关节力学、骨折愈合力学、骨应力遮挡效应等。

此外,早期研究工作还包括了呼吸力学、软组织力学、药代动力学等方面的研究。这一阶段的发展、积累和成果为开创我国生物力学领域做出了重要贡献,起到了奠基性作用。

2.2 目前国内生物力学的学科、队伍、方向及产出

近十余年来,我国生物力学发展取得了长足的进步。具体表现在以下方面:

2.2.1 学科发展 我国自 1981 年建立生物力学硕士点、1986 年建立生物力学博士点、1988 年建立国家级生物力学重点学科、1991 年建立教育部生物力学重点实验室以来,国内生物力学研究基地不断发展、整合。在 20 余年的发展历程中,一些研究基地不断发展、壮大,一些不断调整、整合,而部分则因各种因素转向其他领域。从人才培养来看,我国自 80 年代初期(1983 年)和 90 年代初期(1990 年)分别培养出第一批生物力学硕士和博士以来,人才培养取得了较大的发展,一批在国内外受到过良好交叉训练的青年生物力学工作者加入到这一队伍中,并逐渐成为我国生物力学发展的生力军。

2.2.2 研究队伍 我们于 2005 年 3~4 月间对我国生物力学领域现状进行了最新调查,其结果如下(不完全统计):近 180 人的固定人员和近 340 人的流动人员组成了我国目前的基本研究队伍,固定与流动人员比例

接近 1:2(见图 1)。从年龄构成上看,固定人员主要分布在 30~50 岁之间,约占总人数的 66%(其中 30~40 岁年龄段比 40~50 岁年龄段多 52%),表明 1990 年以后完成研究生教育的人员成为主力军;60~70 岁间的峰值代表了 70 年代末开始从事生物力学研究的资深生物力学工作者,正是他们从原有的研究领域转入生物力学研究,从而奠定了我国生物力学的基础;50~60 岁间的低谷反映了受文革影响导致的人员断层现象。流动人员(研究生、博士后等)不断增加预示着我国生物力学研究队伍不断壮大,且逐渐年轻化。从职称结构上看,180 名固定人员中具有高级职称者共有 135 名(见表 1),其中 50 岁以下的有 85 名。这说明已经开始有更多研究人员能够在生物力学领域独立地开展研究工作。从地域分布上看,主要集中在北京、重庆、上海、成都、长春、太原等城市的大学及科研院所,其他科研人员分布在天津、广州、青岛、西安等地。固定人员数排在前十位的单位,其人员总数占总人数的 55%(见表 1)。调查还表明,生物力学研究人员主要来自于大学力学系或生物工程系/学院、科研院所,还有约 10%的科研人员来自医疗系统(临床医院未全面统计)。

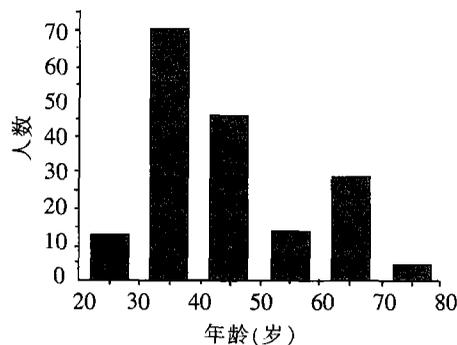


图 1 中国生物力学专业科研人员的年龄结构
Fig. 1 Age profile of Chinese investigators in biomechanics

表 1 生物力学研究队伍的职称结构、地域分布和研究方向

Tab. 1 Professional title, regional distribution, and research interests of biomechanical researchers

职称	人数	单位	人数	研究方向	人数
正高级	79	重庆大学	23	细胞力学	36
副高级	56	上海交通大学	15	硬/软组织力学(骨、肌肉、血管、口腔等)	51
中级	35	吉林大学	10	组织工程	29
初级	6	中国科学院力学研究所	8	分子力学	22
合计	176	北京工业大学	8	血液动力学、流变学	34
		清华大学	8	其它(仿生力学、生物材料、运动生物学、微重力生物学等)	50
		北京航空航天大学	7		
		四川大学	6		
		太原理工大学	6		
		北京大学	6		

2.2.3 研究方向 我国当前生物力学研究几乎涵盖了国际上生物力学的主要前沿研究方向(见表 1,其中个人研究兴趣呈多样性且有交叉),主要集中在细胞-分子力学、骨力学、血液动力学、组织工程等方面。从研究对象尺度的发展趋势来看,微观尺度上(即细胞-分子力学)的工作开始增多。在这一发展过程中,宏-微观结合的趋势也较为明显,如骨、生物流变学、组织工程等研究必须在多尺度上予以综合考虑,这也是受过细胞-分子生物学训练的生物力学工作者除宏观生物力学外能够有所贡献的主要方向。

2.2.4 科研产出 利用网上数据库(维普中文科技期刊数据库和 Web of Science)对 4 个国内杂志及 3 个国外杂志进行初步检索的结果表明,近 10 年内(1995~2004 年)我国生物力学研究人员在所检索的刊物上共发表 996 篇学术论文,其中绝大多数发表在国内杂志上(见表 2),少于本次调研结果(1529 篇),说明还有许多工作发表在表 2 以外的杂志上。从论文发表情况看,我国生物力学研究与国外同行有较大差距,其中研究者科研训练、科学选题、学术批评、经费投入等是其主要原因。一个可喜的变化是近 5 年来我国已开始有独立或合作的研究工作发表在 Nature, Biophys J, J Biol Chem, J Cell Biol, Annals Biomed Engi 等高影响度的国际主要学术刊物上。

除基础研究外,我国生物力学工作者还在发展生物医学工程的新概念和新方法,提供新的临床诊治仪器和装备,促进新药设计、筛选与开发等方面,为人类健康保障做出了重要贡献。

表 2 近 10 年内中国生物力学专业科研人员发表论文的杂志及发表情况

Tab. 2 Publication summary from biomechanical researchers in recent 10 years

杂志名称	数据库	检索关键词	论文篇数
中国生物医学工程学报	中文科技期刊数据库(维普)	力学	164
生物医学工程学杂志	中文科技期刊数据库(维普)	力学	238
医用生物力学	中文科技期刊数据库(维普)	—	501
力学学报(中文版)	中文科技期刊数据库(维普)	生物	45
Journal of Biomechanics	Web of Science (SCI)	China	30
Journal of Biomechanical Engineering, ASME	Web of Science (SCI)	China	12
Biophysical Journal	Web of Science (SCI)	China AND mechanics OR mechanical properties	6

2.3 薄弱领域及问题

对照国际生物力学的发展前沿,分析我国本领域发展的特点,主要的薄弱领域有:

(1)骨骼、肌肉与关节力学:作为生物力学与临床医学结合最紧密的领域之一,骨骼、肌肉与关节力学在发达国家(尤其是美国)得到了长足的发展,取得了一批卓有成效的研究成果并应用于临床治疗中(如矫形等)。相比之下,我国骨骼、肌肉与关节力学研究整体上对临床医学的贡献与国外比较有相当的差距。究其原因,主要是基础与临床结合不够紧密,生物力学工作者与医生的交叉、融合有待加强,以及经费和人员投入不足等。如何进一步从临床实际出发开展理论与实验研究,是我国骨骼、肌肉与关节力学今后面临的主要问题。

(2)生物力学新技术和新方法:新兴学科研究的深入与相关关键技术和方法的发展密不可分。目前我国生物力学研究的技术和方法主要是采用国外本领域的成熟方法或沿用力学的已有方法,原创性、概念性的技术和方法较少,从而影响和制约着我国在本领域的创新、发展。缺乏创新思维和探索勇气是一个重要原因,而技术和方法性工作难以出SCI论文也是原因之一。如何从政策上鼓励原创性、概念性技术和方法的探索是今后应面对的重要课题。

3 国家自然科学基金资助布局及分析

可以说,我国生物力学研究是在国家自然科学基金的大力扶持和资助下发展和壮大起来的。我们对十余年来国家自然科学基金的资助进行了初步分析。

3.1 数理学部力学学科资助布局及分析

从总资助情况来看,1986~2004年19年间,力学学科资助生物力学项目(含重点、面上、青年、小额等)118项,呈逐年增加趋势(见图2);其中,近63%的资助项目集中在国内主要的生物力学研究基地(见表3)。

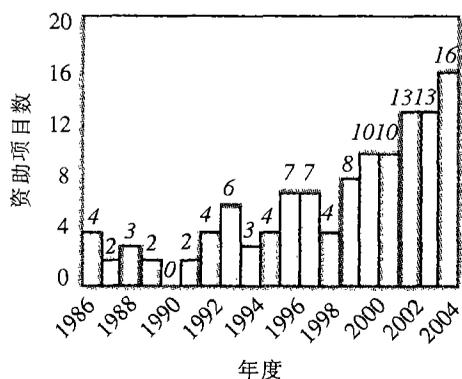


图2 资助项目年度分布情况(数理)

Fig. 2 Annual distribution of funded projects in biomechanics from Dept. of Math. & Phys, NSFC

表 3 数理学部受资助排名前 10 位的单位(数理)及资助项目数

Tab. 3 Top 10 institutions of funded projects in biomechanics from Dept. of Math. & Phys, NSFC

单位	项目数
四川大学(含华西医学部)	12
重庆大学	11
中国科学院力学研究所	8
北京大学	8
复旦大学	8
北京工业大学	6
太原理工大学	6
中国人民解放军第二军医大学	5
华南理工大学	5
上海交通大学	5

1999~2004年,生物力学申请项目232项,批准63项(含小额项目5项),资助率为27%,略高于力学学科平均水平(23%)。

从学科/领域布局来看,资助项目主要分布在细胞-分子生物力学、组织工程的生物力学问题、硬/软组织力学、血流动力学与血液流变学及其它领域(仿生力学、生物材料、运动生物力学、微重力生物学等)。其中,早期(80~90年代)资助项目主要分布在硬/软组织力学、血流动力学与血液流变学等领域,而近期(2000~现在)资助项目主要分布在细胞-分子生物力学、组织工程等领域,符合世界生物力学发展规律。

3.2 生命学部生物物理与生物医学工程学科资助布局及分析

从总资助情况来看,1988~2004年17年间,生物物理与生物医学工程学科资助生物力学和生物流变学项目(含重点、面上、青年、小额等)133项,呈相对平衡趋势,1992~1996年间和2002年~现在略有增加(见图3);其中,近74%的资助项目在国内主要且具有较好交叉学科设置的生物力学研究基地(见表4)。作为主要研究方向之一,近年来生物力学和生物流变学的资助率均高于生物物理与生物医学工程学科的平均资助率。

从学科/领域的布局来看,资助项目分布除具有与数学物理学学科相似的特点外,一个重要的特点是生命科学与力学交叉与融合的项目相对集中,从资助排名靠前的单位中医学和生物学单位占大部分中可见一斑(见表4),这在另一层面上体现了世界生物力学发展趋势。

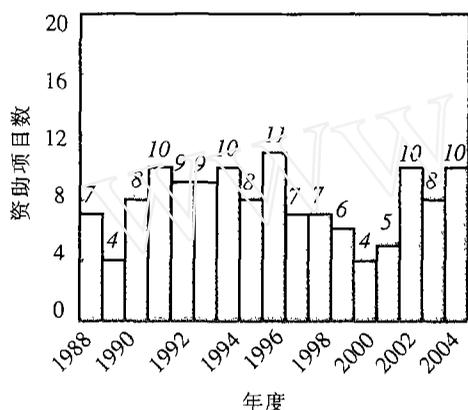


图3 资助项目年度分布情况(生命)

Fig. 3 Annual distribution of funded projects in biomechanics and biorheology from Dept. of Life Sciences, NSFC

表4 生命学部受资助排名前12位的单位和资助项目数
Tab. 4 Top 12 institutions of funded projects in biomechanics from Dept. of Life Sciences, NSFC

单位	项目数
四川大学(含华西医学部)	23
北京大学	11
中国人民解放军第四军医大学	10
重庆大学	9
清华大学	8
中国人民解放军第二军医大学	8
中国医学科学院	8
中国人民解放军第三军医大学	6
北京工业大学	4
复旦大学	4
中国中医研究院	4
南方医科大学	4

4 建议优先资助的领域及重要科学问题

根据我国已有的研究积累,并对照国际生物力学研究的前沿和热点,建议我国在“十一·五”期间重点开展如下研究:

(1)细胞-亚细胞-分子生物力学:单个细胞的力学性质及其与周围环境的相互作用;细胞力学-生物学、力学-化学耦合效应及其生物学功能;单个生物大分子的力学理论、建模、实验与生物大分子统计力学;生物大分子间相互作用定量规律及力学-化学耦合;亚细胞组元力学理论、动力学过程及其组装、重建。

(2)组织-器官力学:(软)组织-(有限单元)器官力学性质及其生物学功能;组织工程在功能化细胞、功能性生物材料支架、组织性能评测、临床整合等方面的基础研究,以及力学因素对组织工程化培养的影响规律;器官工程预研。

(3)骨-关节力学:骨-关节的力学理论、模拟与仿真、实验测试;骨-关节生长、吸收、改建、重建的力学调控;骨-关节整合的生物力学与基于力学分析和数值模拟的外科手术规划(Surgical Planning);人工关节和康复器械的力学设计。

(4)心血管工程力学:血管重建与血管力学-生物学;人体循环(局部)整体血流动力学与流态分析;心血管系统的模拟与仿真;心血管介入器械的力学设计与临床介入治疗方案;心血管疾病的药物生物力学与流变学。

(5)空间生物力学:微重力对细胞发育、增殖、分化及凋亡的影响;机体微重力效应的力学规律;空间组织/血管重建;空间分子构形、有序性、结构;空间药物传输、药物动力学。

(6)生命现象的系统化和模型化:在发育模式、病毒演化、仿生、信号转导等方面开展模型化和预测研究,探索生物学过程的模式,并注重生物信息整合。

(7)生物力学新概念、新技术和新方法:微/纳米尺度的生物力学测试技术;系统生物力学方法;空间生物学研究的新概念、新技术和新方法;等等。

此外,应该着重关注和扶持具有我国特色的肝胆流变学、植物生物力学,加强在仿生力学等方面的研究。

(致谢 笔者感谢中科院力学所陶祖莱研究员对本文的建议,霍波博士对我国生物力学现状调研数据的整理和分析;感谢国内生物力学同行和国家自然科学基金会数理和生命学部相关科学处提供的基础数据。如果本文有不妥或错误的地方,则是笔者责任所在。)

第三届《医用生物力学》编委会 (以姓氏笔划为序)

顾问: 方如华 刘延柱 曲绵域 吴云鹏 吴望一 陈君楷 杨桂通 柳兆荣 钟世镇 陶祖莱
钱令希
主编: 戴尅戎
副主编: 王以进 许世雄 麦福达 郑诚功 姜宗来
编委: 丁祖荣 丁光宏 丁祖泉 王以进 王成焘 文宗耀 邓小燕 孙皎 龙勉 卢世璧
卢晓 朱承 朱振安 朱兴华 汤亭亭 张富强 张炎 张明 庄逢源 李晓阳
许世雄 刘树谦 麦福达 郑诚功 吴国强 吴建国 吴文周 汪宁 陈维毅 陈槐卿
岑人经 侯铁胜 侯筱魁 赵均海 赵志河 郭向东 姜宗来 席葆树 秦岭 崔占峰
钱民全 董澄 曾衍钧 谭文长 廖建忠 廖福龙 樊瑜波 戴力扬 戴尅戎

欢迎订阅 2006 年《医用生物力学》杂志

《医用生物力学》(Journal of Medical Biomechanics)由上海第二医科大学主办,是一本以积极反映医学领域中生物力学基础与应用研究成果,推动国内外学术交流,促进医、理、工各学科相互了解和合作为目的的学术性刊物,内容主要包括生物固体力学、生物流体力学、流变学、运动生物力学等。本刊强调学科的应用性,着重刊登对科研和临床实践有指导意义的论文,主要设有论著、经验交流、综述和专题讨论等栏目。本刊为“中国科技论文统计源期刊”,已分别入编中国信息网络资源系统以及中国学术期刊光盘版为基础的《中国期刊网》;并由《中文科技期刊数据库》、中国生物医学文摘数据库及台湾中文电子期刊服务数据库等收录。

本刊为季刊,16开本,每期64页,CN31-1624/R,ISSN 1004-7220。本刊全部用铜版纸印刷,定价为每期9.80元,全年39.20元,由邮局向全国征订发行,邮发代号4-633。读者可在附近邮局订阅;上海邮政“11185 客户服务中心”已开通接受电话订阅邮发报刊业务,上海读者也可直接拨打“11185”读者服务热线电话订阅本刊。

欢迎致力于医用生物力学领域医、理、工各学科的广大医疗、教学、科研人员以及其他相关学科科技工作者订阅本刊,同时热烈欢迎来稿。

《医用生物力学》编辑部