

# 发展生物力学 造福人类健康 ——“十四五”我国生物力学研究发展战略思考

姜宗来

(上海交通大学 力学生物学研究所, 上海 200240)

中图分类号: R318.01 文献标志码: A

DOI: 10.16156/j.1004-7220.2021.05.001

2021年是我国“十四五”的开局之年。2020年9月11日习近平主席主持召开了科学家座谈会并发表重要讲话,就“十四五”时期我国科技事业发展指出,希望广大科学家和科技工作者肩负起历史责任,坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康,不断向科学技术广度和深度进军。2020年10月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在太原召开全体委员会议,讨论并通过了《“十四五”我国生物力学研究发展战略纲要》(以下简称“《纲要》”)。我们在当时讨论制定我们生物力学研究发展的“十四五”规划是恰逢其时。我受专业委员会的委托,负责起草了这份《纲要》并参与了讨论。在此,谈谈我对“十四五”期间我们生物力学研究发展战略的一些思考。

首先要说明的一点,这份《纲要》讲的是“生物力学研究发展”,而不生物力学学科发展。学科发展影响的因素众多,我们作为学术组织只能对学科发展做一些建议,而一般无法通过我们的努力而取得一定阶段的发展目标。然而,对于生物力学研究发展,我们是可以通过我们专业委员会去组织、去号召大家,经过我们自身的努力,应该可以去实施,去实现一定的预期目标。

## 一、研究现状

生物力学(biomechanics)是研究生命体受力、形变和运动以及与其生理病理和环境之间关系的科学。现代生物力学是对生命过程中的力学因素及其作用进行定量研究,通过生物学与力学原理方法的有机结合,认识生命过程的规律,解决生命、健康与医学领域的科学问题。

20世纪70年代末,在现代生物力学创始人冯元桢(Y. C. Fung)先生的大力推动和热情关怀下,生物力学作为一门新兴的交叉学科在我国起步。一批力学、物理学、医学、生物学以及工程学科的学者加入到生物力学研究行列中,建立了生物力学研究基地和团队,并陆续培养了一批生物力学专业的研究生。1984年成立了全国第一届生物力学专业委员会,并成为同属于中国力学学会和中国生物医学工程学会的一个分支机构,延续至今已第十届。经过40年的发展,生物力学分会的注册会员人数已有1142人。

20世纪80年代以来,我国生物力学研究领域主要有:生物流变学、心血管生物力学与血液动力学、骨关节生物力学等。此外,还包括了呼吸力学、软组织力学和药代动力学等方面的研究。相关研究成果中获得了国家三大科学技术奖励的标志性

收稿日期:2021-10-03;修回日期:2021-10-11

基金项目:国家自然科学基金项目(11972232, 11625209, 12032003)

作者简介:姜宗来教授,美国医学与生物工程院会士(AIMBE Fellow),世界生物力学理事会(WCB)理事,中国生物医学工程学会监事长,《医用生物力学》杂志主编

研究成果有:“胆石震荡排石方法”、“人工心脏瓣膜性能体外实验测试装置”、“胆道流变学理论及其应用研究”和“冠状动脉形态学与生物力学特性研究”。这些工作的开展、积累和成果为我国生物力学的发展做出了重要贡献。

本世纪以来,随着现代科学技术的发展,国内外的生物力学研究逐渐深入到细胞分子水平,形成了新的研究领域——力学生物学(mechanobiology)。力学生物学是研究力学环境(刺激)对生物体健康、疾病或损伤的影响,研究生物体的力学信号感受和响应机制,阐明机体的力学响应与生物学过程如生长、重建、适应性变化和修复等之间的相互关系,从而发展有疗效的或有诊断意义的新技术。我国力学生物学研究发展较好,目前在心血管力学生物学、肿瘤力学生物学、骨力学生物学和细胞分子力学生物学等方面取得了一些具有国际水平的研究成果。我国生物力学研究还在发展医学工程的新概念和新方法,开发新的临床诊治装备和技术,促进疾病个体化诊断、治疗与评价等方面取得了一些有重要意义的成果。2018年由全国200余位学者参与编写的“生物力学研究前沿系列”丛书(一套10册)正式出版。该丛书总结和展示了本世纪以来我国生物力学相关研究领域取得的新进展和新成果,内容涵盖了生物力学建模仿真与应用、血管力学生物学、细胞分子生物力学、组织修复生物力学、骨与关节生物力学、口腔力学生物学、眼耳鼻咽喉生物力学、康复工程生物力学、生物材料力学与仿生学和人体运动生物力学等生物力学研究的前沿领域。“生物力学之父”冯元桢先生为该丛书题词“发展生物力学,造福人类健康”。这一珍贵题词充分体现了冯先生的学术理念和对生物力学发展的殷切希望,也指明了生物力学研究的发展方向。

我国生物力学研究经过40年的发展,进步较大,已经有了一定的积累和基础。然而,生物力学研究的关键科学问题尚需进一步提炼,研究内容尚需进一步深化,研究水平尚需进一步提升,研究队伍和体量尚需进一步壮大。近十年来,以我国学者为第一或通讯作者,且国内实验室为第一作者单位在*Nature*、*PNAS*、*Natl Sci Rev*、*Nat Mater*、*Nat Comm*、*Circ Res*、*Cell Res*和*PRL*等国际著名的高影响力综合性或专业学术期刊上发表了一批生物力学研究

论文。“皮肤与牙热-力-电耦合行为机理”和“软材料与生物软组织表面失稳力学研究”分别获得国家自然科学奖二等奖。我国学者还在*J Biomech*、*Ann Biomed Eng*、*Biomaterials*、*Cardiovasc Res*、*Am J Physiol*和*Biopsy J*等力学、生物医学工程、生命科学、医学、生物材料和物理学领域国际专业学术期刊上发表了一大批生物力学研究论文,形成了一定的影响力。近十年来,国内生物力学实验室的硬件不断加强,研究条件一流,研究经费也较充足。与2008年左右我们在国际期刊发表的论文数量十分有限的状况相比,目前我们的团队普遍有了很大进步,单位考核和“生存”基本无忧。然而,今后如何进一步发展就成为亟待解决的问题。由于科研考核评价体系、研究生招生培养制度和青年人才不足等因素的制约,影响了生物力学高水平和高影响力研究成果的产出,优秀的有影响力的标志性成果尚缺乏。尽管,我们分会现在的注册会员已超千人,全国生物力学大会的参会人数也由2009年第九届300人左右增加到2018年第十二届突破1000人。这些数据在中国生物医学工程学会中尚属前列。但是,由于缺少有影响力的生物力学标志性研究成果,进而就影响了我们作为交叉学科的学术地位。

新时代伴随生命科学、力学和现代科学技术发展的新趋势以及人类健康的新需求,面对我国人口老龄化、慢病问题突出和大健康产业发展迫切的需求,我国生物力学研究又迎来了新的发展机遇,也面临着诸多新挑战。生命科学领域干细胞、多组学、神经与脑科学和免疫等领域快速发展;在工程科学领域人工智能、新材料、机器人、智能制造、基于新的声光电磁热的测试技术等日新月异,医学、生命科学和工程技术的交叉融合越来越广而深。力学学科自身在跨尺度、多场耦合、结构力学设计和极端力学等领域也取得了长足发展。在新时代,生物力学发展应该深入到生命科学和现代医学前沿领域、大健康、康复与养老助障、国防和体育运动防护与增能等领域。在强调生物力学研究要解决关键科学问题,明确力学因素在疾病发生发展中的作用及其机制的同时,还要致力于发展生物力学相关的新技术与新方法,紧密联系临床疾病防治与保障人民生命健康提出具有生物力学特色的新思路,

在“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”方向的指引下,为健康中国建设有所作为。冯元桢先生“发展生物力学,造福人类健康”的珍贵题词为我们今后的生物力学研究指明了发展方向。当下,习近平主席首提“面向人民生命健康”是一个非常重要的科研导向。之前,健康是包含在国家重大需求中的,现在单独提出,可见其重要性。我们需要经过讨论,凝聚一个共同努力目标,提出一个共同行动纲领,去达到一个新的高度。

## 二、预期目标

《纲要》提出,在“十四五”时期,我国生物力学研究的发展要抓住机遇,在基础研究领域引领生物力学的发展前沿,重点提出并解决重大疾病发生与发展机制的力学生物学关键科学问题;在应用研究领域重点提出并解决与临床疾病预防、诊断、治疗与评价以及大健康、康复与养老助障等方面相关的关键科学问题,争取取得 10~20 项高水平、高影响力的标志性成果。这一目标应该是切实可行的。《纲要》以目前我们承担的国家自然科学基金委重点项目为例,提出每个项目争取获得 1~2 项高水平、有影响力的代表性成果是经过努力应该可以达到的。我们这里所指的高水平、有影响力的代表性成果是否可以认为,包括研究论文、临床转化成果、新产品、专利和省部级一等奖以上的科技奖励等。因此,我们需要下更大的力气,要撸起袖子加油干!2018 年“生物力学研究前沿系列”丛书正式出版在我国生物力学研究发展中是具有里程碑意义的大事。它于 2015 年启动,历时三年完成出版。也就是说,这套丛书所总结的进展与成果应该是 2015 年及其之前的。那么,经过“十四五”时期的努力,我们生物力学研究将有新的发展,待“十四五”收官之年,即 2025 年,我们是否可以再版我们的丛书,总结 2015 年以来十年的新成果,这是值得期待的。

## 三、重点领域

关于生物力学研究的重点领域,按照“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”方向的指引,解决人类疾病与生命健康中的科学问题,为阐明疾病诊断、防治、新药物与新技术的研发和国家医疗大健康产业发展提供生物力学的理论与解决方案是今后我们生物

力学研究的重中之重。为此,《纲要》提出,“十四五”时期,我国生物力学研究应该着力关注以下重点领域:

### 1 人类疾病与生命健康的力学生物学研究

(1) 心脑血管病和恶性肿瘤等非传染性疾病与慢病发生发展的多尺度力学生物学机制研究;阐明细胞对力学微环境感受与响应的细胞分子生物学机制;细胞与力微环境之间相互作用对细胞生物学行为的影响及其调控信号分子网络等,为疾病诊断、治疗以及新药物和新技术的研发提供基于力学生物学的理论和具有临床意义的新思路。

(2) 公共卫生与传染病防治中的力学生物学问题,探讨公共交通和公共设施中病毒等病原体传播的流体力学和动力学问题及其致病的力学生物学机制和防护对策;

(3) 研究人体生殖、发育、生长和衰老正常生理过程的应力-生长关系,探讨其中多尺度力学生物学机制。

### 2 临床与健康工程中的生物力学原理与设计研究

(1) 基于生物力学原理和设计,开展人工组织器官、康复辅具、损伤防护、增能和生物医学诊疗仪器(包括公共卫生设施、传染病防护和治疗装备)研究以及新药设计、筛选与开发;

(2) 基于生物力学建模仿真的临床诊断技术、个性化治疗方案的优化设计和疗效评价;基于生物力学原理和设计的医疗器械(含植介入体)、防护与康复辅具的创新研制,为国家医疗大健康产业发展提供生物力学的解决方案;

(3) 医用生物材料的力学结构设计、力学性质以及表界面物理性状对细胞生物学行为和组织再生的影响及其调控机制,为临床疾病防治提供生物力学的思路。

### 3 天然生物材料力学、仿生力学与人体运动生物力学研究

(1) 天然生物材料化学成分、几何结构、力学性质与生物学功能研究及其多尺度仿生设计、优化与制造及其工程技术应用;

(2) 生物个体运动,如走、跑、跳、爬、飞和游等行为的力学原理、能量转换、导向与控制机制研究及其在民用与军用工程技术中的应用;

(3) 人体运动生物力学探讨改善运动技术、丰富训练手段、设计与研发运动器材、预防运动损伤与康复等方面的生物力学原理及其应用研究。

#### 4 特殊(极端)环境生物力学与力学生物学研究

(1) 研究航空航天等微重力和超重环境以及高原、深海和极地等特殊(极端)力学环境、对人体生理功能的影响及其防护和对抗措施;

(2) 机体、组织与细胞对特殊(极端)力学环境响应与调控的多尺度力学生物学机制;

(3) 基于生物力学原理的特殊(极端)环境生物力学研究的新概念、新技术和新方法。

#### 5 生物力学专业软件开发、先进实验方法和测试设备的研发

高性能计算力学软件和先进实验力学方法和高端力学测试仪器是力学学科的短板和薄弱环节。鼓励国产软件和仪器设备的自主开发,解决一批重点和关键领域的“卡脖子”问题是国家的重大需求。我们要积极自主研发生物力学专业软件、先进实验技术方法和测试设备,努力寻求生物力学研究技术方法的新突破,促进我国生物力学研究能力和水平的提高。

### 四、实施策略

为了实现“十四五”时期生物力学研究发展的预期目标,《纲要》提出,我们应该在以下几个方面进行努力:

#### 1 依托基金重要项目研究团队,聚焦科学问题,争取有所突破

最近三年,我们已经获得了国家自然科学基金委10项重点项目。这样,我们就在“十四五”时期的开始阶段就有了至少10个重点项目的支持,而且这些项目的执行期与“十四五”时期基本吻合;每一个重点项目申请书和项目计划书中都列有各自明确的拟解决的关键科学问题。各重点项目的负责人应该切实负起责任,带领项目组,聚焦科学问题,努力工作,争取在五年的项目执行期内产出1~2项有影响力的代表性成果,为我们生物力学研究的发展贡献力量。杰青项目和优青项目等其他重要项目的团队也应该按照这一目标进行要求与努力。

#### 2 加强学科交叉融合,加强生物力学研究合作

我们要进一步加强学科交叉融合,继续改变研

究人员的知识背景结构,努力学习新知识,尤其要加强年轻教师和研究生的综合交叉创新能力培养。在生物力学研究中,将生物医学实验与力学建模仿真有机结合,体现学科交叉与融合,深化生物力学研究的内涵。团结就是力量。我们必须统一思想,形成心往一处想、劲往一处使的氛围,团结一致,争取研究工作新的突破。当前,世界上许多有影响力的高水平研究成果一般都是多个团队合作攻关,共同努力的结果。这方面我们国内生物力学团队也有许多成功的国际合作案例。我们除了要积极与国外团队开展研究合作外,尤其要加强国内科研合作,包括生物力学领域内团队的合作,以及与生物学、医学和工程领域的多团队合作,打破同单位内团队以及单位与单位之间的界线,形成优势互补,共同合作申请重要基金项目,为共同感兴趣的科学问题,协作前行,协同攻关,争取形成新的研究突破,取得新成果。

#### 3 精心组织团队的研究力量,集中人力、时间与物力攻关

我们要加强研究力量的组织,发挥团队每一成员的科研积极性,尤其是研究人员较多的大团队更应该发挥我国“集中力量办大事”的科研攻关优势,精心组织精干力量,积极申请重要的基金项目,凝练科学问题,集中人力、时间与物力攻关,争取研究工作较短的周期内有所突破。同时,各团队要认真计划安排,协调处理好单位考核评价、研究生毕业和产出高水平成果之间的关系,为优秀成果的取得创造一定的外部条件。

#### 4 加强青年人才的培养与引进,进一步壮大研究队伍

青年人才的成长是我们事业发展的希望。我们要注重吸收与引进青年人才,进一步壮大研究队伍;要加强现有青年人才的培养,因人而异地制定个性化培养计划并予以认真落实,使他们茁壮成长,脱颖而出。同时,要根据学科发展需要,加强从国外引进青年人才。对引进的青年人才也要制定相应的培养计划并认真落实,使他们尽快适应国内环境,早日做出成绩。积极鼓励和全力支持青年学者申请各类基金项目,想方设法增加基金项目申请体量,尤其要重视青年人才类项目的申请,为青年人申请项目创造条件,提供成长的机会。

当前,生命科学和医学基础研究的发展趋势之一就是越来越认识到,物理因素尤其是力学因素影响与调控规律在生命活动和疾病发生发展中扮演着十分重要的角色。后基因组时代的生命活动和重大疾病研究,将在传统生物医学的基础上,多学科综合交叉,深入探讨生命现象的动力学行为,从而为解决人民生命健康领域的重大科学问题,为防治疾病和提高人民健康水平提供重要突破。在“十四五”时期,我国生物力学工作者将在“面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康”方向的指引下,按照《纲要》形成的

共识,发挥集中力量办大事的优势,加强学科交叉融合,加强团队建设,加强科研合作,凝聚科学问题,在“发展生物力学,造福人类健康”中奋发有为,取得一批优秀的生物力学标志性研究成果,为健康中国建设作出应有贡献!

**致谢:**在本文所述的《纲要》起草与讨论过程中,北京航空航天大学樊瑜波教授、邓小燕教授和齐颖新教授、清华大学冯西桥教授、太原理工大学陈维毅教授、香港理工大学张明教授和浙江大学季葆华教授等均提出了宝贵的讨论与修改意见,在此一并表示感谢。