

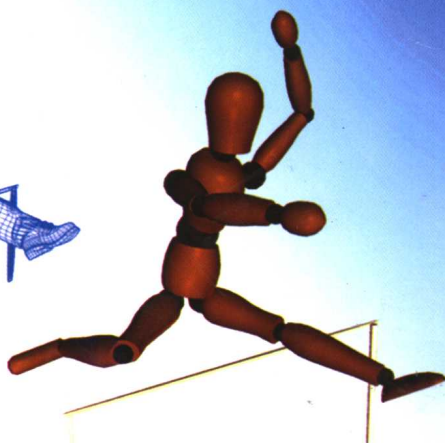
现代运动生物力学

(第2版)

MODERN SPORTS BIOMECHANICS

(Second Edition)

郑秀瑗 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

现代运动生物力学

(第2版)

MODERN SPORTS BIOMECHANICS
(Second Edition)

清 华 大 学 郑秀瑗 高云峰 贾书惠
北 京 师 范 大 学 侯 曼 著
上 海 体 育 科 研 所 仰红慧 忻鼎亮

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代运动生物力学 / 郑秀瑗等著. —2 版. —北京: 国防工业出版社, 2007. 4

ISBN 978 - 7 - 118 - 02926 - 0

I. 现... II. 郑... III. 运动生物力学 IV. G804.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 122604 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

京南印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 15 1/2 插 1 字数 402 千字

2007 年 4 月第 2 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

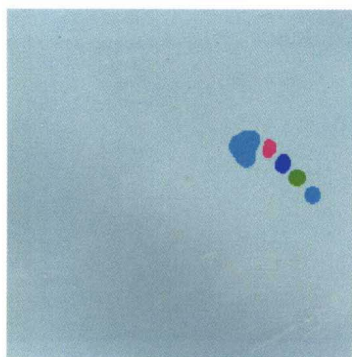
发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764



郑秀瑶 女，广东中山市人。清华大学教授，北京师范大学兼职教授，曾任北京体育大学兼职教授，硕士生及博士生导师。1955年毕业于清华大学土木系，已健康工作51年。近20年来主要从事运动生物力学教学与科研工作。主要科研成果有：

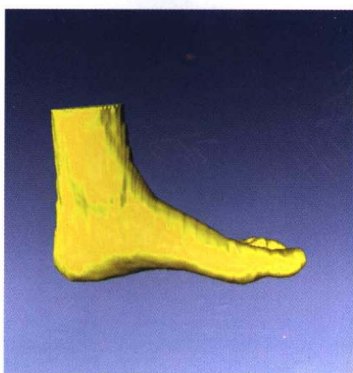
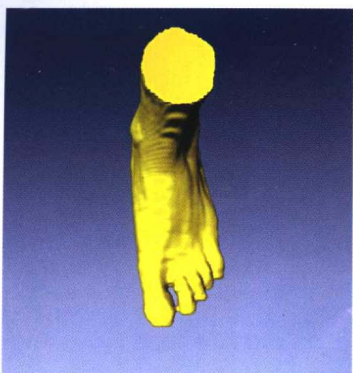
“中国正常人体惯性参数测试与统计”和“中国成年人质心的研究”，开创性地提出了中国人体惯性参数数学模型和中国人体模型、提出分类赋值法和比例分配法，这两项研究成果分别获得国家科技进步二等奖、国家体委一等奖和国家教委二等奖。并利用该项成果为“神舟”飞船专门研制形体假人，保证航天员平安升空和安全着陆。“体质体能智能化系统”、“人体成分检测分析新方法及相关设备的研究”，先后获得“体质体能智能化系统”发明专利和“一种人体成分测试仪”实用新型专利、并接受“一种人体成分的检测方法”的发明专利申请。其中“一种人体成分测试仪”获得英国国际科学中心第一届国际发明专利博览会的最高奖——“金皇冠奖”。受聘担任英国国际科学中心高级技术顾问以及我国中体同方体育科技有限公司和多威体育用品公司的高级技术顾问。



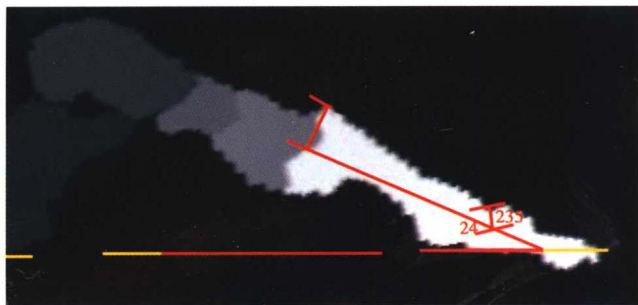
彩图 3-1 在 MRI 图片中勾勒足骨组织



彩图 3-2 重建后骨组织的俯视图和侧面图



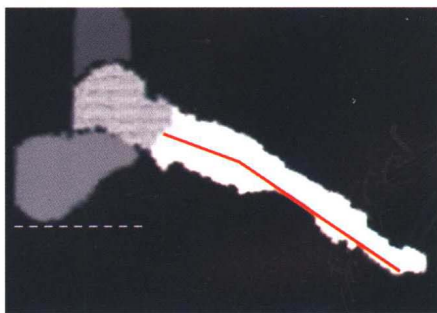
彩图 3-3 重建后的足外形俯视图和侧面图



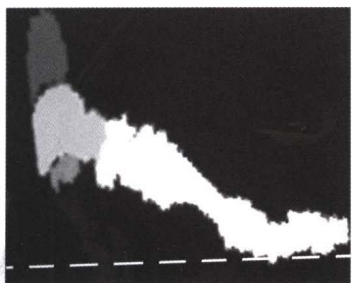
彩图 3-4 足结构基本参数的测量



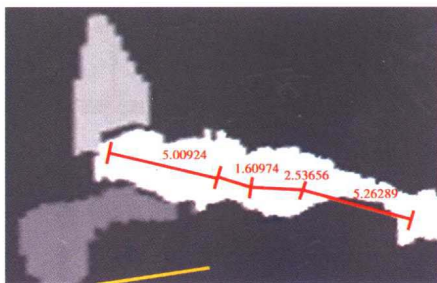
彩图 3-5 跖跗骨外移、翻转，踝关节内移



彩图 3-6 楔骨塌陷



彩图 3-7 舟骨与楔骨错位



彩图 3-8 整个足弓扁平

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金 第五届评审委员会组成人员

主任委员 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 程洪彬

秘 书 长 程洪彬

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 刘世参

(按姓名笔画排序)

杨星豪 李德毅 吴有生 何新贵

佟玉民 宋家树 张立同 张鸿元

陈冀胜 周一宇 赵凤起 侯正明

常显奇 崔尔杰 韩祖南 傅惠民

舒长胜

前 言

本书作者们为运动生物力学曾先后撰写过两本专著,即《运动生物力学进展》和《现代运动生物力学》,这两本书出版后深受读者欢迎。《运动生物力学进展》出版于1998年,由于出版量较少,两年后就已经脱销,读者强烈要求重印。作者们认为,本学科近年来在不断发展,有不少新信息值得向读者介绍,重印不如补充修订。因此2002年出版了第二本专著《现代运动生物力学》,印数增加了3倍,但一年半又脱销了。由于近年来作者们进行了大量的运动生物力学研究工作,尤其是高科技研究方法的引入、运动生物力学服务面的拓宽,确有不少新的科技成果可向读者及时介绍。例如水下摄像技术、磁共振技术、数字人以及计算机三维重建技术等。作者们把陈旧的和书中已经介绍过的内容删减,增补新的内容,包括作者最新的科研成果,定名为《现代运动生物力学》(第2版)。基本能体现当前国内外20世纪90年代后期和21世纪初期的水平。本版具体新增加的和变动的内容有:第2章的水下摄像技术以及其误差分析,人体整体的质心和转动惯量测试技术由原第3章转入本章;第3章数字人在人体科学研究中的应用中介绍大量磁共振在运动生物力学研究中应用实例,例如确定人体惯性参数、建立人体成分测试精度的金标准和修正人体成分数学模型以及利用磁共振图像和计算机三维重建技术对扁平足的形态研究。第4章与原第5章合并,使理论分析更为集中,结合实例使读者更易掌握。通过详细介绍体操、跳水运动员的运动仿真,使读者更具体地认识数值仿真的研究方法。第5章的阐述体系更为合理。第6章未作改动。

经过作者们近4年的努力,“可编程控制器在水上牵引训练

系统”获得发明专利、“一种人体体成分测试仪”获得我国实用新型专利、“一种人体体成分的检测方法”接受发明专利的申请、并获得英国国际科学中心举办的第一届国际发明专利博览会金皇冠奖和国际高新技术证书。

本书由清华大学郑秀瑗教授、高云峰副教授和贾书惠教授、北京师范大学侯曼副教授、上海体育科学研究所仰红慧副研究员和忻鼎亮研究员等撰写而成。第1章和第2章及第3章的大部分内容、第6章的少部分由郑秀瑗执笔；第4章由高云峰执笔；第2章部分内容和第5章全部内容由侯曼执笔、仰红慧整理，第6章大部分内容由侯曼执笔；第2章部分由仰红慧执笔；全书由郑秀瑗和仰红慧最后统一审定。在编写过程中，将《现代运动生物力学》第1版中由贾书惠和忻鼎亮两位编写的部分书稿保留，纳入第4章中。

感谢林洪、方兴与刘卉等同志提供宝贵的资料；感谢国家体育总局、空军医学科学研究所和国家技术监督局标准化研究院提供科研基金的支持；感谢“中国正常人体惯性参数测定与统计”和“中国人体质心的研究”两课题的合作者的密切配合；感谢中国台湾国立体育学院陈五洲教授和台北体育学院何维华博士提供的磁共振片以及分析技术；感谢国防科技图书出版基金评审委员会对本书出版的支持和鼓励；最后感谢一切支持与鼓励我们的同志。

最后，以此书的出版来悼念我们敬爱的合作伙伴侯曼副教授，她将本书初稿完成后，于2005年8月英年早逝。她的敬业精神和严谨求实的治学态度值得我们学习和永远怀念。

由于运动生物力学涉及面很宽，作者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请读者指正。

作者

2006年12月

VII

前 言(第1版)

本书是《运动生物力学进展》一书的修订本。《运动生物力学进展》一书出版后深受读者欢迎。由于出版量较少,现已脱销,读者强烈要求重印。作者认为,本学科近年来在不断的不断发展,有不少新的信息值得向读者介绍。重印不如补充修订,把陈旧的和与其他书中已经介绍过的内容删去,增补新的内容,包括作者最新的科研成果。修订本基本能体现我国 20 世纪 90 年代后期的水平,为此改名为《现代运动生物力学》。

本书是介绍当前运动生物力学最新实验方法和理论分析的专著。人体运动是自然界最复杂的现象,为了分析复杂的人体运动规律,需要根据最基本的生物学和力学理论加以解释。因此,运动生物力学是一门边缘学科。它既要有较强的理论支撑及实践基础,又要提出解决实际问题的途径与方法,所以它又是一门应用学科,为此它以其独特的内容及研究方式在 20 世纪中期逐渐形成了一门独立的学科。近 20 年来发展十分迅速,在理工、医学和体育各类大学中已独立开设这门课程;体育院校定为必修的专业基础课,有些院校还建立了有关专业,出版了少量的专著和教材。这些专著和教材大部分是 10 年前出版,它们的科学性、先进性和实用性均有待补充和提高。正是基于这一情况,作者动议撰写有关这方面的专著。

本书撰写的指导思想是:全书重点系统介绍运动生物力学的理论研究方法、各种基本参数的实验采集及数据处理,以及运动生物力学在不同科技领域中的应用。有关基本理论部分是以人体运动实用力学为主,力争达到先进性和实用性,为生物力学的发展培养 21 世纪人才做出贡献。

本书的先进性体现在:重点介绍当前国内外在该学科上居领先地位的科研成果,其中包括作者们在近期完成的属于填补我国空白,并居国内外先进水平的科研成果;高科技在运动生物力学研究中的应用;以及虽然不很成熟,但有发展前景的阶段成果。书中所引用的《中国正常人体惯性参数测定与统计》,由于它应用了至今仍处于国际领先水平的“分类赋值处理 CT 图像技术”获得中国人体的惯性参数,此项科技成果已于 1997 年获得国家体委科技进步一等奖,1998 年获得国家科技进步二等奖。由它派生的课题《中国成年人质心的研究》获得国家教委科技进步二等奖,并以此成果为基础制订了《成年人质心》国家标准,结束了用外国人的参数分析中国人运动的历史。其他还有飞机弹射救生中上肢甩打运动的仿真及体操动作的仿真、运载火箭整流罩分离时“呼吸”运动的测定以及可编程控制器在训练器材上的应用,等等。这些成果得到国内专家一致好评,均处于国际先进和国内领先水平,个别项目例如可编程控制器在水上牵引训练系统中的应用属国内外首创。

本书的实用性体现在:介绍人体运动生物力学的研究方法、分析动作技术的生物力学等问题,使生物学与人体运动实用力学密切而有机地结合起来。通过实例介绍近年来国内外如何利用这些先进方法解决国防、体育、医学和工业等领域实际问题。例如利用作者提出的“比例配置法”设计的中国形体假人,参加我国航天飞船的研制工作,设计和制造的这些假人已经随“神舟”1、2、3 号航天飞船上天,为航天员上天提供十分宝贵的数据。还有在特殊条件下的生物力学问题例如人在超重、失重、冲击及流体中的运动规律;也有射击和射箭的生物力学问题。希望这部分内容能对教师、教练员、教官及科研人员的教学、训练和研究工作起到启迪作用。

本书所介绍的近期国内外有关方面科研成果,其中有:中国人体尺寸库、中国人体各组织与器官的密度、根据体态特征预算人体环节惯性参数的回归方程、中国假人的设计与计算、飞机弹射救生

中飞行员上肢甩打运动的仿真等。以上均是我国第一次系统发表的科研成果。此外,还介绍近年来将多体系统动力学研究人体运动,运用计算机数值仿真技术进行运动规律与运动各项指标的预先估算等内容,它是很有发展前途的方法。

本书可作为运动生物力学科技工作者、教师科研工作的参考资料,也可作为要求较高的本科生和研究生学习“运动生物力学”课程的教学参考书。

本书由清华大学郑秀媛教授、贾书惠教授和高云峰副教授、北京师范大学侯曼副教授、上海体育科学研究所忻鼎亮研究员和仰红慧副研究员等撰写而成。第1章和第2章的大部分内容及第3章的全部、第7章的少部分由郑秀媛执笔;第4章由忻鼎亮、贾书惠执笔;第5章由高云峰、贾书惠执笔;第6章和第7章大部分由侯曼执笔;第2章中运动图像采集和分析部分由仰红慧执笔;第7章少部分内容由高云峰执笔。全书由郑秀媛和贾书惠最后统一审定。

在编写过程中,林洪、方兴与刘卉等同志提供宝贵的资料,在此表示衷心的感谢。感谢国家体育总局和国家技术监督局提供科研基金的支持,感谢“中国正常人体惯性参数测定与统计”和“中国人体质心的研究”两课题的合作者的密切配合。感谢国防科技图书出版基金评审委员会对本书出版的支持和鼓励。感谢国防工业出版社以及本书的蒋怡编审、责任编辑朱秀芬同志对本书出版付出的辛勤劳动和所给予深入细致的帮助。最后感谢一切支持与鼓励我们的同志。

由于运动生物力学涉及面很宽,作者水平有限,缺点和错误在所难免,敬请读者指正。

著者

2006年12月20日

目 录

第1章 绪论	1
第2章 运动生物力学基本参数的采集与处理方法	7
2.1 运动生物力学常用的基本参数	7
2.2 测量运动学参数的方法	8
2.2.1 录像检测分析系统	8
2.2.2 光电运动检测分析系统	54
2.3 运动生物力学常用的非电量测量原理与传感器	65
2.3.1 非电量电测法的工作原理	65
2.3.2 传感器和传感元件的作用与技术条件	65
2.3.3 测角仪	70
2.3.4 惯性式传感器	75
2.3.5 加速度传感器	75
2.3.6 位移传感器	82
2.3.7 力传感器	83
2.4 人体整体质心与转动惯量测量	104
2.4.1 测二维质心的三支点电子秤显示的质心仪	105
2.4.2 测一维或二维质心的四支点电子秤显示的 质心仪	106
2.4.3 人体转动惯量测量	108
2.5 数据采集与数据处理	110
2.5.1 国内数据采集与数据处理系统的现状	110
2.5.2 国外数据采集系统的现状	114
2.5.3 国内外静态测试仪器的比较	114
2.5.4 国内外动态测试仪器的比较	115

2.6 可编程控制器在生物力学中的应用	116
2.6.1 概论	116
2.6.2 水上牵引训练系统的组成和功能	118
2.6.3 传动系统和可编程控制系统	119
2.6.4 可编程控制系统设计	119
参考文献	121
第3章 数字人体在人体科学研究中的应用	124
3.1 数字人在医学中研究概况	125
3.1.1 国外研究概况	125
3.1.2 国内研究进展	127
3.1.3 数字人在医学领域的发展趋势	129
3.1.4 数字人运动对生物力学发展的影响	131
3.2 用CT图像及磁共振图像实现人体惯性参数	
数字化的方法	131
3.2.1 人体的基本参数	132
3.2.2 中国形体假人设计	187
3.2.3 用磁共振法确定人体惯性参数	191
3.3 用磁共振图像实现人体成分数字化的方法	191
3.3.1 体成分模型	191
3.3.2 体成分测量方法国内外情况	192
3.3.3 生物电阻抗法测量中国人体成分的研究	200
3.3.4 磁共振测试人体成分	207
3.4 初探用磁共振图像和计算机三维重建技术对	
扁平足形态的研究	218
3.4.1 研究方法	218
3.4.2 结果与分析	220
3.4.3 讨论	222
3.5 对数字人数据精度要求和建立数据库提出几点	
看法	223
参考文献	225

第4章 运动生物力学中的计算机数值仿真	228
4.1 理论分析的基本方法和步骤	228
4.1.1 运动生物力学理论方法的研究	229
4.1.2 理论分析的步骤	232
4.1.3 建立系统动力学方程的方法	237
4.2 计算机数值仿真的介绍	252
4.2.1 概述	252
4.2.2 现有商用软件介绍	253
4.2.3 仿真处理的主要步骤	257
4.3 体操运动员单杠回环运动的仿真	259
4.3.1 研究体操运动员单杠回环运动的意义	259
4.3.2 动力学方程建立	260
4.3.3 数值仿真结果	266
4.4 跳水运动员三维空中运动的仿真	272
4.4.1 跳水运动员的三维空中运动	272
4.4.2 身体各环节转角的分析	274
4.4.3 身体各环节的受力分析	280
4.5 飞机弹射救生中飞行员上肢甩打运动的仿真	294
4.5.1 研究上肢甩打运动的意义	294
4.5.2 动力学模型建立	297
4.5.3 数值仿真结果	311
4.6 数据处理方法	317
4.6.1 概述	317
4.6.2 数据前处理中的一些算法	318
4.6.3 微分方程组求解算法	325
4.6.4 计算结果验证方法	326
4.6.5 数据的图形显示	329
参考文献	332
第5章 人脑颅骨及运动系统的生物力学	336
5.1 脑颅骨的生物力学	337