

国家自然科学基金资助项目编号：31270998

江苏高校优势学科建设工程资助项目



“十二五”江苏省高等学校重点教材



体育院校通用教材

运动康复生物力学 (第二版)



钱竞光 宋雅伟 等编著

**YUNDONG
KANGFU
SHENGWULIXUE**

人民体育出版社



国家自然科学基金资助项目编号：31270998

江苏高校优势学科建设工程资助项目

“十二五”江苏省高等学校重点教材

体育院校通用教材

运动康复生物力学

(第二版)

钱竞光 宋雅伟 等编著

人民体育出版社

图书在版编目(CIP)数据

运动康复生物力学 / 钱竞光等编著. -2 版. -北京: 人民体育出版社, 2015 (2017.2.重印)

体育院校通用教材

ISBN 978-7-5009-4856-8

I.①运… II.①钱… III.①康复医学-运动疗法-运动生物力学-体育院校-教材 IV.①R493

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 208347 号

*

人民体育出版社出版发行
三河兴达印务有限公司印刷
新华书店经销

*

787×960 16 开本 26 印张 440 千字
2015 年 9 月第 2 版 2017 年 2 月第 2 次印刷
印数: 2,001—4,000 册

*

ISBN 978-7-5009-4856-8

定价: 55.00 元

社址: 北京市东城区体育馆路 8 号 (天坛公园东门)

电话: 67151482 (发行部) 邮编: 100061

传真: 67151483 邮购: 67118491

网址: www.sportspublish.com

(购买本社图书, 如遇有缺损页可与邮购部联系)

修订说明

一、修订的必要性

运动康复生物力学是研究生物体运动与康复之间力学规律的科学，它以其独特的内容及研究方式形成了生物力学学科中一个新的分支学科。《运动康复生物力学》是我国在该学科领域出版的第一部专著，2008年由人民体育出版社出版，为运动人体科学、运动康复保健学、康复治疗学等本科专业学生提供了必修课教材，也成为康复医学相关专业的教师和研究生使用的重要参考书。近些年，随着学科的发展和课程改革的深入，需要对教材进行修订，以除旧布新、吐故纳新。

(1) 2009年该教材相关研究成果“国内首部《运动康复生物力学》教材的编撰及应用”获江苏省高等教育教学成果一等奖，教材获江苏省评优精品教材，教学团队获江苏省优秀教学团队。在这一系列教学成果的基础上，2014又获得江苏省“十二五”高校重点（修订）教材立项。

(2) 《运动康复生物力学》教材第一版出版以来，有效促进了该领域的教学、科研的深入，但同时也需要将最新的学科理念、研究方法、学术成果融入教材，以保持教材的先进性和前沿性。此外，在教学实践过程中也发现存在一些疏漏，因此，为建设精品教材需要进行修订。

二、修订的原则

(1) 教材修订的总体目标是满足本科生课程教学大纲要求。其内容与结构体系应符合学生发展的规律，注重学生学习兴趣，使学生好学、乐学、会学，并且在知识学习的过程中注重培养学生的能力。

(2) 注重知识与应用的结合，引导学生将书本知识与生产实践相结合，培养学生创新精神与实践能力。

(3) 在保持教材科学性、前沿性的基础上，增强教材的可读性。知识阐述、内容描述、案例分析、例题说明，以及拓展思考等均应便于自学，以利于

培养学生良好的自主学习能力。

三、主要修订内容

(1) 在实用性与可授性方面，着重在内容的广度与深度方面进行修订和完善。第二章人体运动生物力学原理一章，增加了人体多体系统动力学建模和仿真一节（由钱竞光教授执笔），把目前本学科领域研究最前沿的知识和成果介绍给读者。另外，根据目前国际力学参数标准对全章相关参数进行完善，力求将该领域的相关参数介绍的更清楚、更前沿。

(2) 根据国内外步态研究领域最新的研究动态、科研成果、分析方法，对第十二章步态分析内容进行整体修改和调整（由张松宁教授执笔），体现理论的先进性、内容的实用性和方法的可操作性。

(3) 对第一版印刷错误包括文字、图片、符号、标点等进行了修正。

按照以上修订计划，本书在修订后的科学性、规范性和实用性几个方面得到进一步的提高。作为一本具有指导性的教材，它无论是对高等学校相关专业的学生，还是对从事康复临床研究的科研人员，都将会起到较大的帮助作用。

四、主要修订单位和修订人

全书修订主要由南京体育学院钱竞光、宋雅伟教授统审定稿，全书再版由国家自然科学基金（编号：31270998），江苏高校优势学科建设工程资助。

序

随着我国经济不断发展和社会的需要，社会劳动分工越来越细，劳动方式单一化，疲劳损伤相应增加。大量伏案工作者和负担过重的大、中、小学生，以及其他从事脑力、体力工作的人群，都成为腰、颈痛的高发群体，各种突发灾害和事故的受害者，加上大量的残疾人群，致使我国运动功能障碍患者的人数相当惊人，不仅给患者造成痛苦，也给社会增加负担。另外，随着医学科学的进步和生活条件的改善，患者的康复意识逐渐提高，人们对运动损伤、脑卒中、高血压、糖尿病等常见病的运动疗法和运动康复提出更高的要求，这些都为运动生物力学在康复领域的应用拓展了更加广阔的空间。

运动康复生物力学是生物力学一个新的研究领域，国内外尚未见有相关研究专著和教材。钱竞光教授从事运动生物力学研究工作 30 年，积累了大量科研经验和资料，特别是近十年来，紧密结合康复临床的实际，在运动康复生物力学科研和教学领域做了大量探索性的工作，撰写出了《运动康复生物力学》一书。

该书主要包括理论、实验和应用三个部分，融合了运动生物力学、医用生物力学、骨伤科生物力学的理论和方法，突出康复临床应用的特点，结合该领域最新研究成果，形成一个全新的课程体系，为康复医学领域的生物力学研究和教学开辟了一片新天地。

该书既有循序渐进的系统理论，又有先进实用的康复、诊疗技术，充分体现了科学性、思想性、先进性、启发性和适用性，作为国内外首部专业著作，内容新颖，应用价值高。

运动康复生物力学是一个新兴的边缘学科，需要大量立志献身于康复事业的科技工作者加入，通过更多人不断地研究和探索，促进学

科发展，使其更好地服务全人类。学科人才的形成，培训是必不可少的过程，而一部有实际操作技术内容，又兼备基础理论的教材是不可或缺的。

国际运动生物力学学会主席 洪友廉
香港中文大学教授

2008年8月5日

前 言

随着我国经济不断发展,自上世纪 90 年代以来,社会对康复的需求越来越旺盛,各大医院纷纷筹建康复科,许多高校开设了康复专业。运动是康复的重要手段,运动处方是康复治疗的重要组成部分。因而,我国体育院校纷纷开设了运动康复专业,1997 年教育部把这个专业统一归并到运动人体科学学科中,到目前为止,我国 13 所独立体育院校,都设有运动人体科学专业,培养运动康复专门人才。

南京体育学院于 1998 年开设运动人体科学专业,招收运动保健康复方向的本科学生。如何给该专业学生开设一门紧密结合运动训练和运动康复临床实际的生物力学课程,是我们一直在思考的问题。经过查阅大量资料、文献,以及网络检索,我们发现随着人们生活节奏的加快,高能损伤明显增多,各种突发灾害和事故都会造成严重运动系统的损伤。同时,社会劳动分工越来越细,劳动方式单一化,疲劳损伤也相应增加。大量伏案工作者、负担过重的大、中、小学生,都成为腰、颈痛的高发人群,加上大量的残疾人群,可以预计仅我国运动功能障碍患者就有一个相当惊人的数字,这给患者造成痛苦,也给社会增加负担,对这样一个普遍关注的问题,急需从运动和医学双重角度给出定量分析,从理论和治疗方法上得到满意解决。另外,在体育训练、健身锻炼中,超负荷的运动量、不合理的动作技术都会给运动者造成运动损伤,这对生物力学在运动损伤的防治方面提出新的课题;随着生活条件的改善,人们对脑卒中、高血压、糖尿病等常见病的运动疗法和康复提出更高的要求,也为生物力学在运动康复领域的应用开辟了更加广泛的空间。

而在国内、国际尚未有适合运动人体科学专业的生物力学课程体系,更没有现成的教材,因此,我们根据该专业特点,自己编写了讲义,把运动生物力学、医用生物力学、骨伤科生物力学理论和方法及其在康复临床

应用的最新成果综合成为一个新的课程体系，从1999年开始，率先在南京体育学院和南京中医药大学开设了运动康复生物力学这门新课程，建立了专门运动康复生物力学教学实验室。经过近十年的探索和教学实践，特别是毕业生从工作岗位上不断反馈的信息，我们反复调整，逐步完善了该课程体系，并且完成了教材编著工作。该教材紧扣运动康复生物力学教学内容，强调通用性、实用性和科学性。

运动康复生物力学课程主要包括理论、实验和应用三个部分。理论课程包括（第一章）绪论，主要阐述运动康复生物力学的概念、定义，介绍学科形成简史，学科研究的主要任务和内容；（第二章）主要介绍人体机械运动的生物力学参数和规律；（第三、四、五、六、七、八、九章）主要介绍人体运动系统（包括骨骼、关节、肌肉）的生物力学特性，及其运动对其结构、功能和力学特征的影响。实验部分（第十章）介绍运动康复生物力学的主要实验方法，包括影像解析、关节力量、测力平台、压力分布、肌电、生物材料等与人体运动康复有关的数据测量的实验课程。应用部分（第十一、十二、十三、十四章）介绍该学科理论和原理在运动动作和临床康复动作分析、步态、矫形器、人力轮椅等康复领域的应用。

通过课程教学，让学生构建全新的知识体系，增强综合运用知识的能力和创新能力，为学生在日后工作中进行动作分析、确定医疗方案、选择康复手段、制定运动处方时提供必要的生物力学知识保障。

2004年该课程获得江苏省二类优秀课程奖，并且在网络上公布该课程方案（获奖必要条件）。此后，南京医科大学、上海体育学院、北京体育大学等高校也纷纷借鉴并积极筹备开设这门课程。

本教材的编写以南京体育学院为主，美国田纳西州立大学、上海体育学院、西安体育学院、广州体育学院以及江苏省人民医院等院校专家、教授也参与了编写工作。各章节撰写人员分工为：第一章和第二章钱竞光、第三章和第四章钱竞光、宋雅伟；第五章钱竞光、唐潇；第六章张胜年；第七章宋雅伟、张胜年；第八章宋雅伟；第九章周里、宋雅伟；第十章钱竞光、叶强；第十一章钱竞光、李勇强；第十二章张松宁；第十三章宋雅伟、卞荣；第十四章邹亮畴、喻欣楠；全书由钱竞光、宋雅伟统审定稿。该书可以作为全国体育院校运动人体科学专业和医学院校康复专业的本科生、研究生的专业教材，也可作为体育教育、运动训练以及相关专业的学

员的教学参考书。

在编写过程中得到王清研究员的指导，在此表示衷心的感谢。由于运动康复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

2007年9月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 运动康复生物力学概况	(2)
第二节 运动康复生物力学学科的形成和课程创立	(2)
第三节 运动康复生物力学的任务	(6)
第四节 运动康复生物力学研究与教学的主要内容	(9)
第二章 人体运动生物力学原理	(12)
第一节 人体运动的运动学参数	(13)
第二节 人体运动的动力学参数	(23)
第三节 人体运动的静力学参数	(43)
第四节 人体转动的力学参数	(53)
第五节 人体多体系统动力学建模和仿真	(64)
第三章 骨的生物力学性质与损伤	(74)
第一节 骨的载荷、内力和变形	(75)
第二节 骨的基本力学性质	(89)
第四章 骨的功能适应性	(111)
第一节 骨的组织结构	(112)
第二节 骨的功能适应性	(115)
第三节 骨折治疗原则	(123)
第四节 骨的压电效应	(139)
第五节 国内创伤骨科生物力学研究进展	(143)
第五章 运动与骨骼	(149)
第一节 骨骼概况	(150)

第二节	体育运动对骨的影响	(159)
第三节	运动负荷对骨影响的实验研究	(160)
第六章	关节生物力学与损伤	(165)
第一节	关节的基本结构与功能	(166)
第二节	关节生物力学	(169)
第三节	人体主要关节的生物力学	(176)
第四节	关节创伤	(202)
第七章	运动与关节	(221)
第一节	关节的分类及影响因素	(222)
第二节	体育运动对关节的影响	(227)
第三节	人工关节及其进展	(229)
第八章	肌肉、腱和韧带	(235)
第一节	肌肉的组织结构	(236)
第二节	骨骼肌的结构和收缩学说	(240)
第三节	人体软组织的力学性质	(246)
第九章	运动与肌肉	(256)
第一节	骨骼肌概况	(257)
第二节	骨骼肌纤维类型与运动	(263)
第三节	体育运动对骨骼肌的影响	(265)
第四节	力量训练	(267)
第五节	肌肉损伤	(278)
第十章	实验方法	(281)
第一节	实验概述	(282)
第二节	运动康复生物力学常用实验方法	(284)
第三节	运动康复生物力学实验教学内容	(295)
第十一章	人体运动动作分析	(317)
第一节	动作技术的生物力学原理	(318)

第二节	动作技术分析方法	(322)
第三节	康复临床动作分析方法	(325)
第四节	临床基本动作分析	(329)
第五节	人体动作的效率分析	(335)
第十二章	步态分析	(340)
第一节	步态的一般生物力学原理	(341)
第二节	步态的生物力学特征	(344)
第三节	步态生物力学分析的临床应用	(359)
第十三章	矫形器的生物力学	(362)
第一节	矫形器的基本概念	(363)
第二节	矫形器三点压力系统原理	(365)
第三节	生物力学原理在矫形器中的应用	(367)
第四节	矫形器的临床适应症	(374)
第十四章	人力轮椅的研究	(379)
第一节	轮椅概述	(380)
第二节	手动轮椅使用技巧	(385)
第三节	手动轮椅的生物力学	(387)

第一章

绪 论

运动康复生物力学是根据人体的解剖和生理特点及力学性质，用力学原理和方法探讨人体机械运动的规律，研究合理的运动动作技术，分析各种因素造成的运动功能障碍，以及运动损伤的原因、机理，为制订合理的治疗及康复方案提供依据，是研究人体在运动、运动损伤和疾病预防、治疗、康复过程中生物力学规律的科学，是生物力学的一个新的分支学科。

第一节 运动康复生物力学概况

生物力学是活跃在自然科学前沿的新兴交叉学科之一，是根据已经确立的力学原理研究生物体中力学问题的学科。生物力学是力学、生物学、解剖学等学科之间相互渗透的交叉科学，它将这些学科的基本原理和方法有机地结合起来，同时还广泛应用了物理学和应用数学的概念及方法。生物力学体现了近代科学的发展，它具有学科间彼此渗透、互相交叉、紧密联系的特点。生物力学具有不同的分类方法，按照研究对象可分为生物固体力学、生物流体力学、生物工程学。根据研究结果的实际应用情况，生物力学又可分为工程生物力学、医学生物力学和体育运动生物力学等。近年来随着国内外康复事业的快速发展，催生了运动康复生物力学这一新的分支研究领域。

运动康复生物力学要具体回答人体完成日常各种动作时是怎样运动和为什么会运动的原因，以及运动对于组成人体各种生物材料的影响，同时也要研究影响人体运动的外界条件（如周围的环境、场地，以及各种医疗辅助器械、监护装置等）与运动的关系。根据生物力学原理和人体形态、机能的特点，结合对运动场地、器材、器具的利用和改进，为运动员确定合理的（包括最佳的）动作技术，预防运动损伤，促进损伤恢复；为患者恢复正常运动功能确定合理的手术方案；研究合理、有效的运动方法，以求达到最好的健身和康复效果。

第二节 运动康复生物力学学科的形成和课程创立

生物力学是古老课题之一，对它的应用和研究有着悠久历史。早在公元前古希腊的哲学家和自然学家亚里士多德（公元前 384—公元前 322 年）就对生物体的运动发生了兴趣，他注意到在日常生活中人和动物运动的力学问题。意大利著名医生加伦（公元 131—201 年）通过对动物解剖的实验证明，来自大脑的运动冲动沿神经传导至肌肉，使肌肉产生收缩而引起关节运动的理论。由于当时处于中世纪的黑暗时期，教会反动势力对任何涉及肉体的兴趣加以压制，因此根本谈不上研究人体的构造和运动。

15 世纪末，伟大的意大利科学家列奥纳尔德·达·芬奇（1452—1519 年）

对人体运动发生了浓厚的兴趣。他用人的尸体研究解剖学，非常重视在解剖学和力学的基础上研究人体的各种姿态和运动，并提出人体的运动必须服从于力学定律的观点。他认为，“力学之所以比其他科学更为重要和实用，那是因为所有能够运动的生物体都遵循力学的定律而运动”。但当时解剖尸体是违背教义的，为了避免教会的迫害，他不得不把自己的著作收藏起来，直至过了几百年，这些著作才被后人发现。

17世纪，意大利人伽利略（1564—1642年）1638年首先发现施加载荷与骨形态之间的关系。意大利医生、解剖学家阿·鲍列里（1608—1679年）进一步将力学和解剖学结合起来研究人体运动，他在1679年完成了《论动物的运动》一书，可谓是第一部生物力学著作。他在这部著作中发表了利用杠杆原理测定人体重心的实验材料，并将人和动物在空间的主动移位运动分为三种基本形式，即蹬离地面（走、跑、跳等）、蹬离周围介质（如游泳、飞翔）和拉引（攀登、爬杆等）。

19世纪初，骨力学方面取得了一系列进展，1834年，Bell指出骨可以使用尽可能少的材料来承担载荷。1838年Ward报告增加压缩载荷可以加快骨的形成。1852年Ludwig论及重力和肌肉力对维持骨的质量是必要的。1862年，两位德国研究人员各自独立地报告了加压对骨生长的影响。1867年瑞士学者报告了骨的内部结构和外部形态一样，与其所承受载荷的大小及方向有直接关系。1892年，德国医学博士Wolff发表了著名的《骨转化定律》一文，这一法则已得到临床和实验的支持。

由于军事训练的需要以及工业生产的发展，对骨的研究方法有了改进，德国生理学家维伯尔兄弟采用实验的方法对人体运动进行了研究。他们除用肉眼观察以外，开始用最基本的带尺和秒表来测量人体运动的空间和时间特性，积累了许多有关人体位移运动的定量数值资料，但当时还不能客观地描述运动的外形。19世纪中叶，随着照相技术的出现，法国生理学家马勒（1838—1904年）对客观描述人体运动的方法进行了大量的研究，为生物力学研究提供了许多新的手段。1877年美国摄影师麦布里奇（1830—1904年）第一次用24部照相机排成一列，按顺序拍摄了骑马奔跑的连续动作照片，这是影片分析的萌芽。为纪念他对生物力学的贡献，从1987年第11届国际生物力学大会开始设立了“麦布里奇”杰出贡献奖，以表彰那些在生物力学基础理论、研究方法及应用研究方面作出突出贡献的科研工作者。1882年马勒首先用高速摄影和风力装置记录和研究运动并拍摄了鸽子、蜜蜂以及子弹的飞行情况，后来又与他的学生德美尼一起发明了定片运动轨迹照相法和运动轨迹连续光点照相等，

这种照相方法直到现在仍可用于研究人体运动的运动学特征。马勒在 1895 年研制出气压式测力台，他采用高速摄影影片测量方法，对人体步行时下肢运动学数据结合测力台数据进行步态分析研究。现代的步态分析方法就是建立在其工作基础之上。他还同时记录测力台和位移数据，以此分析研究人体原地纵跳动作。

20 世纪初，德国学者布拉温和菲舍尔首次用解剖尸体的实验方法，测定了人体各部分的相对重量和重心位置，并采用测量速度、加速度和人体各环节重量推算引起加速度的力，开始从动力学方面研究人体运动。菲舍尔关于人体各环节相对重量和重心位置的资料，至今仍被用于计算人体重心。

俄国运动生物力学的奠基人谢琴诺夫（1829—1905 年）最早提出对人体运动活动要从生理学和生物力学角度进行分析，他说：“多式多样的大脑活动外部表现，最终只能归结于一种现象——肌肉的运动。”他在《人体功能运动概论》一书中阐述了人体运动器官的功能结构和骨骼杠杆装置，以及在运动中骨杠杆和肌肉拉力作用及神经支配等问题。列斯加夫特（1837—1909 年）被誉为俄国运动生物力学的奠基人，他在 1877 年所著《身体运动理论》中，以人体形态、生理机能和生物力学观点阐述了学生身体练习的任务。苏联现代运动生物力学创造人之一的伯恩斯坦，从 30 年代开始强调从神经控制论观点来研究人体运动，他 1947 年所著《论动作的结构》一书就反映了系统论、控制论和信息论的观点。他认为对动作的控制可通过两个途径来实现，一是由大脑神经中枢发出指令完成各种动作任务；二是通过运动与感觉神经的反馈作用修正完成动作过程中的偏差。伯恩斯坦关于动作系统和运动行为结构的思想原则，以及运动感觉修正（信息系统）的理论，对于今后运动生物力学研究的发展具有重要意义。

上世纪 30 年代，著名的英国生理学家希尔因对肌肉的研究而获得诺贝尔奖，他取青蛙的离体缝匠肌进行实验得出著名的希尔方程，即肌肉收缩的力速方程。他对肌肉力学研究的成果，为生物力学研究奠定了基础。他还对人体运动时的空气阻力进行过研究，并提出估算空气阻力的经验公式。

20 世纪初，由于科学的分化，阻碍了这门科学的深入发展。20 世纪中叶以后，医学和生物学家们逐步认识到力的因素对解决本学科许多问题的意义，力学家们在寻求力学的发展和应用新领域时，也注意到生物体是运用力学的广阔天地。两者的合作促成了这门新兴边缘学科——生物力学的形成。

近 30 年来，生物力学引起了人们的广泛注意和研究，发展十分迅速。美、日、俄、澳、加、德等国均建立了专门研究机构。尤其美国发展最快，在许多