


肌肉骨骼系统基础 生物力学

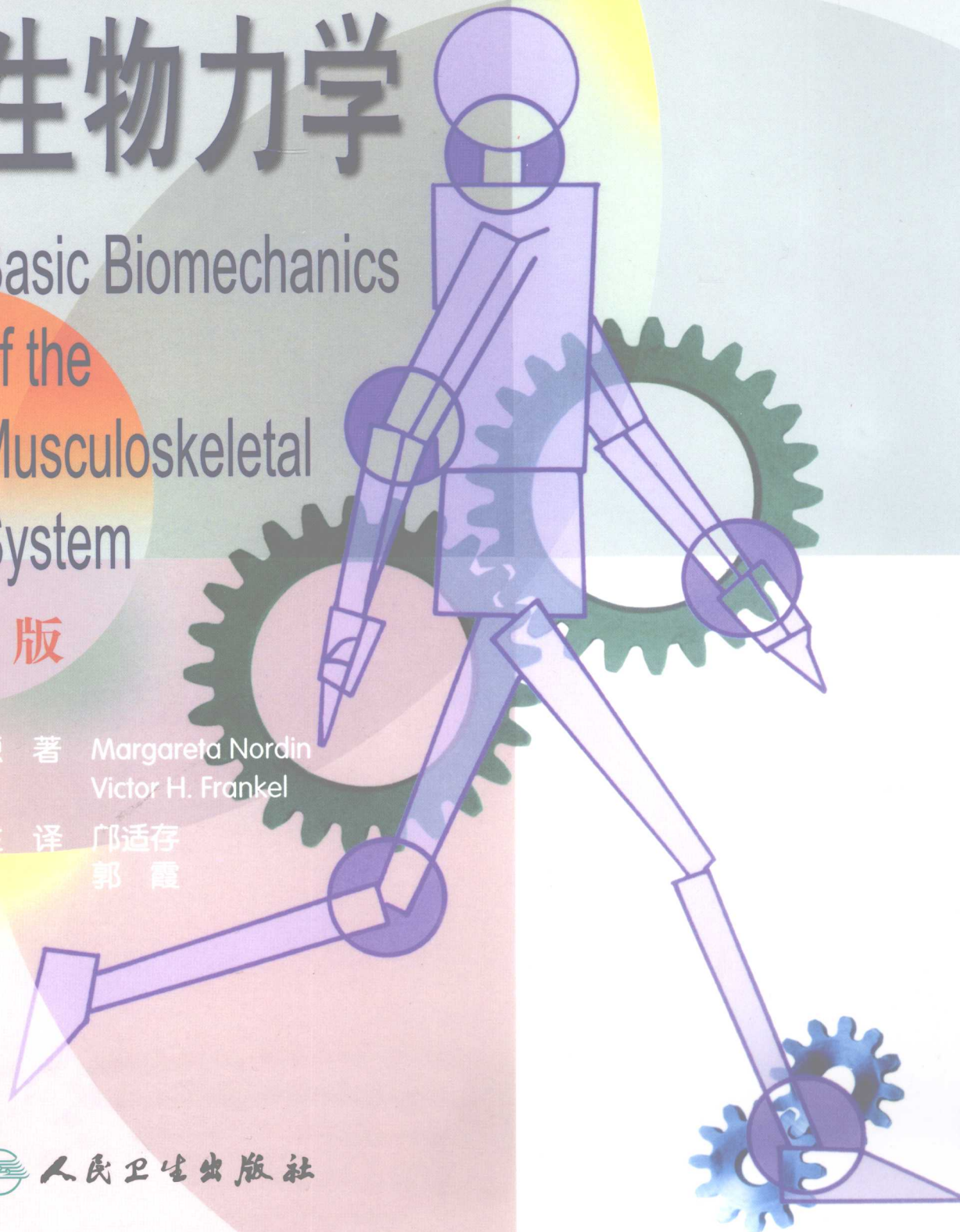
Basic Biomechanics
of the
Musculoskeletal
System

第 3 版

原 著 Margareta Nordin
Victor H. Frankel

主 译 卞适存
郭 霞

 人民卫生出版社



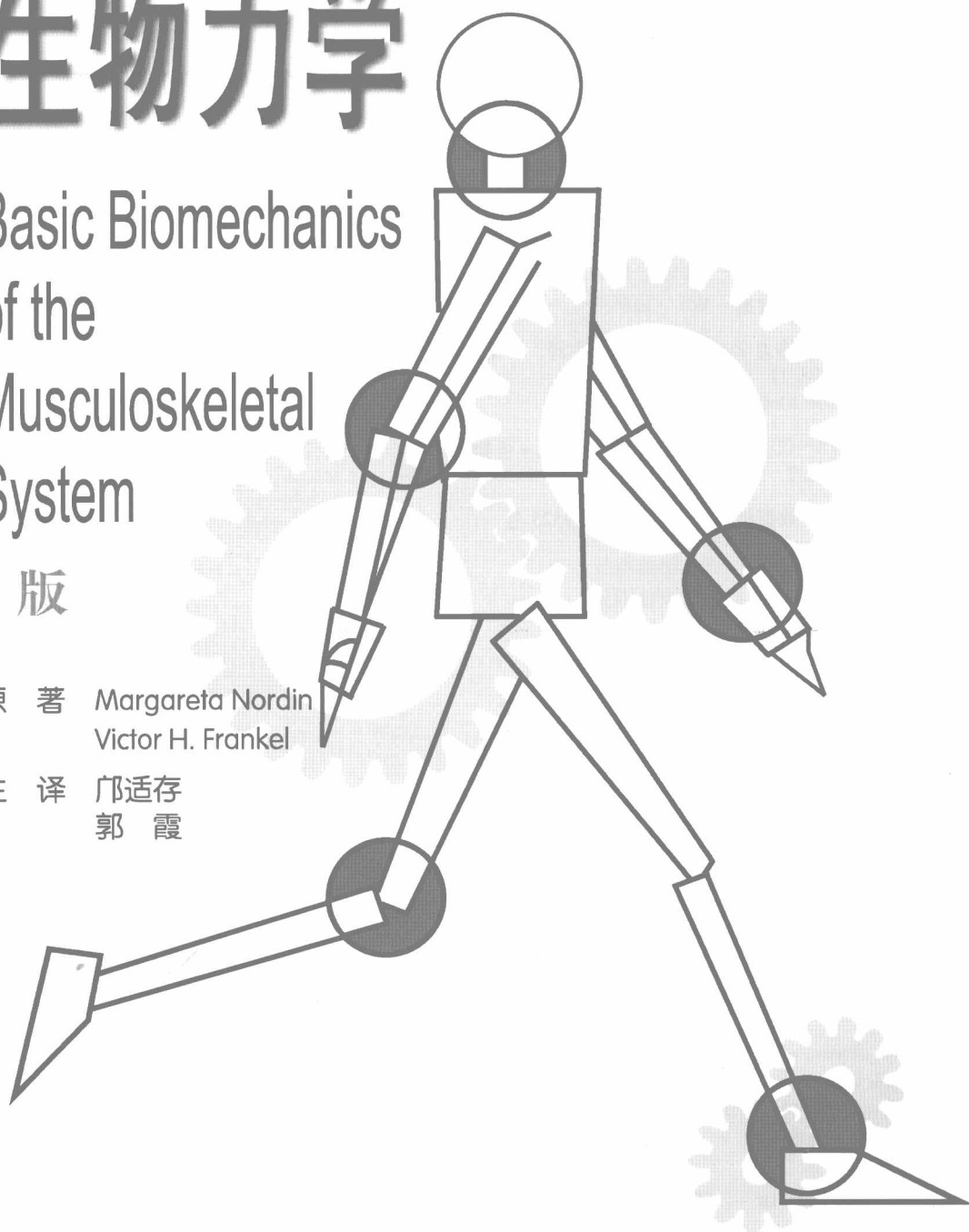
肌肉骨骼系统基础 生物力学

Basic Biomechanics
of the
Musculoskeletal
System

第 3 版

原 著 Margareta Nordin
Victor H. Frankel

主 译 邝适存
郭 霞



人民卫生出版社

敬告

本书的作者、译者及出版者已尽力使书中的知识符合出版当时国内普遍接受的标准。但医学在不断地发展,随着科学研究的不断探索,各种诊断分析程序和临床治疗方案以及药物使用方法都在不断更新。强烈建议读者在使用本书涉及的诊疗仪器或药物时,认真研读使用说明,尤其对于新的产品更应如此。出版者拒绝对因参照本书任何内容而直接或间接导致的事件与损失负责。

需要特别声明的是,本书中提及的一些产品名称(包括注册的专利产品)仅仅是叙述的需要,并不代表作者推荐或倾向于使用这些产品;而对于那些未提及的产品,也仅仅是因为限于篇幅不能一一列举。

本着忠实于原著的精神,译者在翻译时尽量不对原著内容做删节。然而由于著者所在国与我国的国情不同,因此一些问题的处理原则与方法,尤其是涉及宗教信仰、民族政策、伦理道德或法律法规时,仅供读者了解,不能作为法律依据。读者在遇到实际问题时应根据国内相关法律法规和医疗标准进行适当处理。

Basic Biomechanics of the Musculoskeletal System, 3e **Margareta Nordin, et al.**

Copyright © 2001 by LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS

Published by arrangement with Lippincott Williams & Wilkins, U. S. A.

All rights reserved. This book is protected by copyright. No part of this book may be reproduced in any form or by any means, including photocopying, or utilized by any information storage and retrieval system without written permission from the copyright owner, except for brief quotations embodied in critical articles and reviews. Materials appearing in this book prepared by individuals as part of their official duties as U. S. government employees are not covered by the above-mentioned copyright.

肌肉骨骼系统基础生物力学 第3版 邝适存 等主译

中文版版权归人民卫生出版社所有。

图书在版编目(CIP)数据

肌肉骨骼系统基础生物力学/邝适存 郭霞主译. —北京:
人民卫生出版社, 2008. 11
ISBN 978-7-117-10602-3

I. 肌… II. ①邝…②郭… III. 肌肉骨骼系统-生物
力学-研究 IV. R322.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第139525号

图字: 01-2008-1700

肌肉骨骼系统基础生物力学

主 译: 邝适存 郭霞

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园3区3号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E-mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京人卫印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 889×1194 1/16 印张: 20.25

字 数: 876千字

版 次: 2008年11月第1版 2008年11月第1版第1次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-10602-3/R·10603

定 价: 64.00元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

作者为中文版序

Biomechanics knowledge is fundamental for musculoskeletal well-being. This book is written for students and for professionals who are working in prevention, treatment and research for musculoskeletal well-being or ailments, these ailments can occur in daily activities or at work during a lifetime. The text is basic with many practical examples to illustrate the basic concept of kinematics and kinetics and the musculoskeletal response to load. Both static and dynamic examples are provided.

生物力学是保持健全的肌肉骨骼系统的基础知识。本书是为学生及从事预防工伤、参与治疗及研究肌肉骨骼系统健康和病患的专业人士编写的,在日常活动或工作中,此等病患常会出现。本书利用实例来说明运动学(kinematics)及运动力学(kinetics)的基本概念,并包括静态力学(static)及动态力学等范例。

There are many individuals who have contributed to this book; first there are all students who have come with examples, critique and ideas for improvements over the years. Students are a constant source of joy and a pool of inspiration. Then there are the co-authors whose professionalism is admirable to work with and they are experts in their field, all co-authors have a profound interest in transferring knowledge and improving the understanding of biomechanical concepts. Finally this book has been translated into 10 languages and I am very grateful to the Department of Rehabilitation Science, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong for the interest in translating this book into Chinese. My warm thanks go to Professor Chetwyn Chan, Drs. Kevin Kwong and Xianna Guo, colleagues and friends, exceptional individuals with exceptional knowledge in teaching, research, biomechanics and related fields.

感谢所有为本书内容作出贡献的人,首先是学生们多年来提供实例、批评及改进建议,他们带给我欢乐及新思维。还有与我共事的其他作者,他们的专业水平及专长令我极为敬佩,他们更热衷于授业,并促进及加深人们认识生物力学的概念。最后,此书已经翻译成十种文字,现欣见香港理工大学康复治疗科学系乐于把这书翻译成中文,本人衷心感谢陈智轩教授、邝适存博士和郭霞博士、各同事及好友,各位在教学、科研、生物力学及在其他领域皆有深知卓见的人士。

May this translation lead to inquiries, interesting discussion and debates, enhance biomechanical knowledge by learning and teaching, please enjoy.

恭愿本书的中文版能带给读者更多探索方向,有趣的讨论和辩论,并能透过学习及教学,加深对生物力学的认识。请享受阅读的乐趣。

Margareta Nordin

2008年3月于纽约

Margareta Nordin, PT, Dr. Med. Sci.

Professor (Research) and Program Director
Departments of Orthopaedics and Environmental Medicine
Graduate Program of Ergonomics and Biomechanics
CDC NIOSH Education and Research Center (ERC)
School of Medicine and Graduate School of Arts and Science
New York University, New York, NY, USA

Director
Occupational and Industrial Orthopaedic Center (OIOC)
NYU Hospital for Joint Diseases
New York University Medical Center, New York, NY, USA

Adjunct Professor
Department of Rehabilitation Sciences
The Hong Kong Polytechnic University
Hong Kong

序

生物力学是了解人类肌肉骨骼系统的根基,用以协助医科和康复专业人士进行有效的评估,设计实证治疗方案,为肌肉骨骼疾病患者提供有效的治疗服务。

本书的英文原著深受学生、老师、研究员和临床医师的欢迎,是学习生物力学的热门教科书。课本内容按组织类型、结构和关节三大篇章依序编辑,大大方便了读者掌握不同课题的概念和原理;课本也收进了几篇有关生物力学应用的文章,以解决常见的临床问题。这样的内容编排迎合了医科和康复科学生及临床医师们的学习需求。本书内容丰富,附有详细图解,适合专业学习及深造研究之用,并且透过实例解析,加深读者对生物力学的概念。

这本教科书的中文译本由香港理工大学康复治疗科学系的副教授邝适存博士和郭霞博士领导编译。邝博士专攻生物工程,郭博士则专长研究骨骼成长与修复。出版中文译本的原意与本系的学术理念非常相符,同样着重可转化和以实证为本的临床研究。作为亚洲区内康复治疗科学领域的学术先锋,中文译本的出版,让以中文为母语的学生和临床医师们,能够学习和应用生物力学于医科和康复治疗领域,获益良多。

Margareta Nordin 教授是英文原著的作者,也是本系的客座教授,她在临床生物力学方面的专长,加强了本系在肌肉骨骼、运动康复和职能康复方面的研究。本书能够顺利出版,有赖 Nordin 教授的大力支持,谨表示由衷的谢意。也特别感谢邝适存博士和郭霞博士的领导,以及所有参与翻译人员、编者和出版社的精诚协作,让中文译本力臻完善。他们的热诚参与,使译本之用语及词汇更能迎合国内读者的需求。

陈智轩教授
香港理工大学
康复治疗科学系
讲座教授及系主任

译者名单(按翻译章节排序)

翻译内容	译者	单位
第一章	郭霞 王晓云	香港理工大学康复治疗科学系
第二章	秦岭 谢鑫荟	香港中文大学骨科及创伤学系 上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科
第三章	王青 郑永平	香港理工大学康复治疗科学系 香港理工大学医疗科技及资讯学系
第四章	吴贤发 钟旖雯	香港理工大学康复治疗科学系
第五章	劳杰 张宗康	上海复旦大学附属华山医院手外科
第六章	杨世模 张保亭 郭保生 万青	香港理工大学康复治疗科学系
第七章	邝适存 陈泓颖	香港理工大学康复治疗科学系
第八章	李子荣 冯力	北京中日友好医院骨科
第九章	吴毅 李丽	上海复旦大学附属华山医院康复科
第十章	邝适存 赵咏芳	香港理工大学康复治疗科学系 上海中医药大学骨伤科研究所
第十一章	杨惠林 郭炯炯 朱雪松	苏州大学附属第一医院骨科
第十二章	杨慧 王大安 郭保生	香港理工大学康复治疗科学系
第十三章	刘宇	上海体育学院运动科学学院
第十四章	李曾慧平 李嘉祁	香港理工大学康复治疗科学系
第十五章	朱峰	南京医科大学第三附属医院骨科
第十六章	张旗涛	北京大学北大国际医院管理公司怡健殿医院
第十七章	窦祖林 何萃	广州中山大学第三附属医院康复科
第十八章	于冰	美国北卡罗莱纳州大学医学院康复科

参编人员

Gunnar B. J. Andersson, M.D., Ph.D.

Professor and Chairman
Department of Orthopaedic Surgery
Rush-Presbyterian-St. Luke's Medical Center
Chicago, IL

Thomas P. Andriacchi, Ph.D.

Biomechanical Engineering Division
Stanford University
Stanford, CA

Sherry I. Backus, M.D., P.T.

Senior Research Physical Therapist and Research Associate
Motion Analysis Laboratory
Hospital for Special Surgery
New York, NY

Ann E. Barr, Ph.D., P.T.

Assistant Professor
Physical Therapy Department
College of Allied Health Professionals
Temple University
Philadelphia, PA

Fadi Joseph Bejjani, M.D., Ph.D.

Director of Occupational Musculoskeletal Diseases
Department
University Rehabilitation Association
Newark, NJ

Maureen Gallagher Birdzell, Ph.D.

Department of Orthopaedic Surgery
Hospital for Joint Diseases/Mt. Sinai NYU Health
New York, NY

Marco Campello, P.T., M.A.

Associate Clinical Director
Occupational and Industrial Orthopaedic Center
Hospital for Joint Diseases/Mt. Sinai NYU Health
New York, NY

Dennis R. Carter, Ph.D.

Professor
Biomechanical Engineering Program
Stanford University
Stanford, CA

Craig J. Della Valle, M.D.

NYU-HJD Department of Orthopaedic Surgery
Hospital for Joint Diseases
School of Medicine
New York University
New York, NY

Victor H. Frankel, M.D., Ph.D., KNO

President Emeritus
Hospital for Joint Diseases Orthopaedic Institute
Professor of Orthopaedic Surgery
New York University School of Medicine
New York, NY

Ross Todd Hockenbury, M.D.

River City Orthopaedic Surgeons
Louisville, KY

Clark T. Hung, Ph.D.

Assistant Professor
Department of Mechanical Engineering and Center for
Biomedical Engineering
Columbia University
New York, NY

Debra E. Hurwitz, Ph.D.

Assistant Professor
Department of Orthopaedics
Rush-Presbyterian-St. Luke's Medical Center
Chicago, IL

Laith M. Jazrawi, M.D.

NYU-HJD Department of Orthopaedic Surgery
Hospital for Joint Diseases
School of Medicine
New York University
New York, NY

Frederick J. Kummer, Ph.D.

Associate Director, Musculoskeletal Research Center
Hospital for Joint Diseases/Mt. Sinai NYU Health
Research Professor, NYU-HJD Department of Orthopaedic
Surgery
School of Medicine
New York University
New York, NY

Dawn Leger, Ph.D.

Adjunct Assistant Professor
 NYU-HJD Department of Orthopaedics
 School of Medicine
 New York University
 New York, NY

Jane Bear-Lehman, Ph.D., OTR, FAOTA

Assistant Professor of Clinical Occupational Therapy
 Department of Occupational Therapy
 Columbia University College of Physicians and Surgeons
 New York, NY

Margareta Lindh, M.D., Ph.D.

Associate Professor
 Department of Physical Medicine and Rehabilitation
 Sahlgren Hospital
 Gothenburg University
 Gothenburg, Sweden

Angela Lis, M.A., P.T.

Research Physical Therapist
 Occupational and Industrial Orthopaedic Center
 Hospital for Joint Diseases/Mt. Sinai NYU Health
 New York, NY
 Associate Professor
 Physical Therapy Program
 Corporación Universitaria Iberoamericana
 Bogotá, COLOMBIA

Tobias Lorenz, M.D.

Fellow
 Occupational and Industrial Orthopaedic Center
 Hospital for Joint Diseases/Mt. Sinai NYU Health
 New York, NY

Goran Lundborg, M.D.

Professor
 Department of Hand Surgery
 Lunds University
 Malmo Allmänna Sjukhus
 Malmo, Sweden

Ronald Moskovich, M.D.

Associate Chief
 Spine Surgery
 NYU-HJD Department of Orthopaedic Surgery
 Hospital for Joint Diseases
 School of Medicine
 New York University
 New York, NY

Van C. Mow, Ph.D.

Director
 Orthopaedic Research Laboratory
 Department of Orthopaedic Surgery
 Columbia University
 New York, NY

Robert R. Myers, Ph.D.

Associate Professor
 Department of Anesthesiology
 University of California San Diego
 La Jolla, CA

Margareta Nordin, P.T., Dr. Sci.

Director, Occupational and Industrial Orthopaedic Center (OIOC)
 Hospital for Joint Diseases Orthopaedic Institute
 Mt. Sinai NYU Health
 Program of Ergonomics and Biomechanics
 New York University
 Research Professor
 Department of Orthopaedics and Environmental Health Science
 School of Medicine, New York University
 New York, NY

Kjell Olmarker, M.D., Ph.D.

Associate Professor
 Department of Orthopaedics
 Sahlgren Hospital
 Gothenburg University
 Gothenburg, Sweden

Nihat Özkaya (deceased)

Associate Professor
 Occupational and Industrial Orthopaedic Center
 Hospital for Joint Diseases
 Research Associate Professor
 Department of Environmental Medicine
 New York University
 New York, NY

Lars Peterson, M.D., Ph.D.

Gruvgat 6
 Vastra Frolunda
 Sweden

Mark I. Pitman, M.D.

Clinical Associate Professor
 NYU-HJD Department of Orthopaedic Surgery
 School of Medicine
 New York University
 New York, NY

Andrew S. Rokito, M.D.

Associate Chief, Sports Medicine Service
 Assistant Professor
 NYU-HJD Department of Orthopaedic Surgery
 School of Medicine
 New York University
 New York, NY

Bjorn Rydevik, M.D., Ph.D.

Professor and Chairman
Department of Orthopaedics
Sahlgren Hospital
Gothenburg University
Gothenburg, Sweden

G. James Sammarco, M.D.

Program Director
Fellowship in Adult Reconstructive Surgery
Foot and Ankle Orthopaedic Surgery Program
The Center for Orthopaedic Care, Inc.
Volunteer Professor of Orthopaedic Surgery
Department of Orthopaedics
University of Cincinnati Medical Center
Cincinnati, OH

Chris J. Snijders, Ph.D.

Professor
Biomedical Physics and Technology
Faculty of Medicine
Erasmus University
Rotterdam, The Netherlands

Steven Stuchin, M.D.

Director Clinical Orthopaedic Services
Director Arthritis Service
Associate Professor
NYU-HJD Department of Orthopaedics
School of Medicine
New York University
New York, NY

Shira Schecter Weiner, M.A., P.T.

Research Physical Therapist
Occupational and Industrial Orthopaedic Center
Hospital for Joint Diseases/Mt. Sinai NYU Health
New York, NY

Joseph D. Zuckerman, M.D.

Professor and Chairman
NYU-HJD Department of Orthopaedic Surgery
Hospital for Joint Diseases
School of Medicine
New York University
New York, NY

目 录

第1章 生物力学简介:基础术语与概念	1	国际单位公制系统	11
引言	2	特别命名的单位	11
基础概念	2	用科学家名字命名的标准单位	12
肌肉骨骼系统的基础生物力学	8	由其他制式单位转为 SI 单位	13
小结	9	参考文献	13
推荐读物	9		
附录一 国际单位制	10	附录二 计量单位换算表	14
第一篇 肌肉骨骼系统组织结构生物力学基础			
第2章 骨的生物力学	18	影响肌腱和韧带生物力学特性的因素	76
引言	19	小结	78
骨的组成和结构	19	参考文献	78
骨的生物力学性能	22	流程图	80
骨的生物力学特征	25		
骨的重建	34	第5章 周围神经及脊神经根的生物力学	85
年龄相关性骨退化性改变	35	引言	86
小结	36	周围神经解剖及生理	87
参考文献	36	脊神经根的解剖及生理	88
流程图	38	周围神经的生物力学表现	90
		脊神经根的生物力学表现	92
第3章 关节软骨的生物力学特性	41	小结	96
引言	42	参考文献	96
关节软骨的组成与结构	42	流程图	98
关节软骨的生物力学行为	47		
关节软骨的润滑作用	54	第6章 骨骼肌生物力学	99
关节软骨的磨损	58	引言	100
关于关节软骨退化的生物力学假说	59	骨骼肌的结构和组成	100
小结	61	肌肉收缩的分子基础	102
参考文献	61	肌肉收缩的机制	104
流程图	65	肌力的产生	106
		肌纤维类型	109
第4章 肌腱和韧带的生物力学	68	肌肉损伤	110
引言	69	肌肉重建	110
肌腱和韧带的组成与结构	69	小结	111
肌腱和韧带的机械特性	72	参考文献	111
韧带断裂和肌腱受伤的机制	74	流程图	113

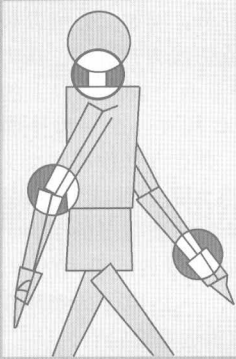
第二篇 关节生物力学

第7章 膝关节的生物力学	116	颈椎运动学	198
引言	117	颈椎应用生物力学	204
运动学	117	颈椎创伤生物力学	207
动力学	123	小结	209
小结	131	参考文献	210
参考文献	131		
第8章 髌关节的生物力学	134	第12章 肩部的生物力学	213
引言	135	引言	214
解剖	135	肩部运动与解剖	214
运动学	137	肩部运动力学	220
动力学	138	小结	225
小结	146	参考文献	225
参考文献	146		
第9章 踝关节和足部的生物力学	148	第13章 肘的生物力学	227
引言	149	引言	228
足的生长	150	解剖学	228
足的运动学	150	运动学	229
足部动力学	159	提携角	230
踝关节的生物力学	162	肘的稳定性	230
踝关节动力学	166	动力学	234
穿鞋对于足/踝的生物力学的影响	168	肌电图学	235
小结	168	肘关节力	235
参考文献	168	关节面力	235
		肘关节反作用力的计算	235
		小结	237
		参考文献	237
第10章 腰椎的生物力学	171		
引言	172	第14章 腕与手的生物力学	239
运动节段:脊柱的功能单位	172	引言	240
运动学	175	腕和手的解剖	240
运动力学	178	腕与手的控制	243
小结	188	运动学	249
参考文献	188	腕和手部运动的互动	252
		手功能的抓握模式	252
第11章 颈椎生物力学	192	小结	254
引言	193	参考文献	255
解剖结构和生物力学	193		

第三篇 应用生物力学

第15章 骨折固定的生物力学	258	重建关节的几何学	267
引言	259	股骨腔内柄的位置	268
骨折端的稳定性和骨折的愈合	259	假体周围骨丢失	268
固定器械及固定方法	260	膝关节的应力	269
小结	263	内外侧负荷的分布	270
推荐读物	263	髌股关节及其负荷	271
		关节线高度	272
第16章 关节成型的生物力学	264	后交叉韧带	272
引言	265	假体的匹配性	273
髌关节的应力	266	关节的限制性	273

前交叉韧带	274	第 18 章 步态的生物力学	290
小结	274	引言	291
参考文献	274	解剖学因素	291
第 17 章 站立、坐位、卧位的工程学方法	278	步态分析的方法	291
站立的生物力学	279	步态周期	291
骨盆的生物力学	282	时间-距离变量	292
平面关节与球窝关节比较	282	角运动学	292
坐位	283	节段运动力学	296
座位	284	肌肉控制	299
卧位	287	小结	301
压疮	288	参考文献	302
小结	288	索引	303
参考文献	289		



生物力学简介： 基础术语与概念

作者：Nihat Özkaya Dawn Leger

翻译：郭霞 王晓云

引言

基础概念

标量，矢量和张量

力矢量

扭矩和力矩矢量

牛顿定律

自由体图

平衡状态

静力学

变形模式

法线应力和剪切应力

法向应变和剪切应变

剪切应变图

弹性和塑性变形

粘弹性

基于应力-应变图的材料特性

主应力

疲劳和韧度

肌肉骨骼系统的基础生物力学

第一部分：组织结构的生物力学

第二部分：关节的生物力学

第三部分：应用生物力学

小结

推荐读物

引言

生物力学是生物工程学和生物医学工程学的一门分支学科。生物工程学作为一门跨领域学科,主要利用工程学,基础科学和技术的原理和方法,设计、检测及制造医用设备,了解、定义及解决生理和生物领域问题。生物工程学属于生物医学工程学众多研究领域的一支。

生物力学应用经典力学理论分析生物和生理体系。生物力学的不同方面应用不同的力学原理。例如,静力学(statics)原理用于分析肌肉骨骼系统中关节和肌肉的受力大小和性质。动力学(dynamics)原理用于动作描述,步态分析及分段运动分析,并已广泛应用于运动力学。固体力学为本构方程在生物体系的建立提供了必需的工具,该方程可用于评估生物体系在不同受力情况下的功能性行为。流体力学已被应用于研究循环系统的血流,肺内的气体流动以及关节内的润滑。

生物力学的研究旨在增进我们对生物体——这一复杂结构的认识。生物力学研究分为三个方面:实验研究,模型研究和应用研究。实验研究测定生物材料的力学特性,包括骨、软骨、肌肉、肌腱、韧带、皮肤和血液。包括数学模型分析在内的理论研究也是生物力学研究的重要组成部分。一般而言,基于实验发现的模型研究可以用来预测环境及操作因素的影响,而不必付诸实验。

生物力学中的应用研究是应用科学知识造福人类。我们知道,肌肉骨骼系统的损伤和疾病是工业国家主要的职业病之一。通过了解肌肉骨骼系统在日常工作条件下如何调节,制定指导方针以保证体力劳动更符合人体的生理极限及自然运动,我们就可能克服这些疾病。

基础概念

学习肌肉骨骼系统的生物力学需要了解基础力学知识。力学和物理学的基本术语和概念可以用来描述人体的内力。研究这些力的目的在于了解软组织的受力情况和它们的力学反应。本小节旨在回顾出现在生物力学书籍及本书的实用力学基本概念。

标量, 矢量和张量

力学中大部分概念都属于矢量或标量:标量只有大小,比如质量、能量、功率、机械功和温度属于标量;而矢量包括大小和方向,力、运动、速度、加速度则属于矢量。要完整地描述力,既要说明力的大小,也要指出施加力的方向。矢量的大小也是标量。矢量和标量的数值大小永远都是正值。

绘图中,矢量用带箭头的线段表示。线段的朝向指明作用线的方向,箭头指示矢量的方向。如果一幅图中要指明两个以上矢量,则线段的长短表明其所代表矢量的大小。矢量和标量都是力学中一个更广义概念——张量的特别形式。标量是零级张量,矢量是一级张量。压力和张力是二级张量。

力矢量

力可以被定义为机械干扰和负载。当一个物体被推或拉时,就是被施加了力。当一个球被扔或踢时,也是被施加了力。力作用在一个物体上时,该物体的形状或/和运动状态就

会发生改变。力有多种分类方法,可以根据力对施加物体的影响分类,或根据力的作用方向分类。例如,力可以被分为内力或外力,法线力(垂直力)或切线力,拉力、压力或剪切力,引力(重力),摩擦力。任意两个或两个以上的力作用在单一物体上可以为共面力(作用在一个二维平面的表面)、共线力(有相同的作用线)、共点力(作用线交叉于一点)或平行力。值得注意的是,重力是一种特别形式的力。一个物体的重力是地球施加于这个物体质量上的引力。地球上物体的重力大小等于物体的质量乘以地心引力的加速度,该加速度的大小为 9.8m/s^2 。例如,一个 10kg 的物体在地球上所受的重力为 98N 。重力的方向永远垂直向下。

扭矩和力矩矢量

力对受力物体的影响取决于力是如何施加以及物体是如何被支持。例如,拉一扇打开的门时,门会沿门轴旋转。导致门旋转的是通过门轴而施加的扭矩。如果人站在跳水板的游离端,跳水板将会被弯曲。导致跳水板弯曲的是人体重力施加在跳水板固定端的重力力矩。一般而言,扭矩与施加力的转动和扭曲作用有关,而力矩与弯曲作用相关。

扭矩和力矩属于矢量。单一作用力扭矩或力矩的大小等于力的大小乘以力的作用点到力的作用线的最短距离,也叫做力臂。设想一个人握着一个连有钢丝绳的手柄(图1-1)。钢丝绳绕着滑轮,并连有一个重物盘。重物盘拉直钢丝绳,则钢丝绳所受的拉力 F 等于重物盘的重量。力再通过手柄传到手。在这种情况下,如果连着手柄的钢丝绳与水平线成 θ 角,则被手柄施加到人手的力也与水平线成 θ 角。设定 O 点为肘关节旋转轴的一点。测定力 F 到 O 点力矩的大小,延长力 F 的作用线并从 O 点向下划线与 F 作用线成直角。如果两条线的交点是 Q ,则从 O 点到 Q 点的距离 d 为力臂。肘关节 F 力矩 $M = dF$ 。力矩的方向垂直于 F 作用线与直线 OQ 所成的平面,或与这个二维平面成逆时针方向。

牛顿定律

定义力与运动的关系的基础定律相对较少。而在这些定律中,由艾萨克·牛顿(1642~1727)提出的力学定律是最重要的。牛顿第一定律提出,在不受外力的作用时,静止物体将保持静止状态,运动物体将保持匀速直线运动状态。牛顿第二定律提出,物体在外力作用下作加速运动,运动方向和外力的方向相同,加速度的大小与外力的大小成正比。牛顿第二定律可以用公式表示为 $F = ma$ 。 F 为外力, m 为物体质量, a 为在外力作用下物体的线性(移动)加速度。如果两个或两个以上外力作用于物体,则 F 代表净外力或合外力(所有外力的矢量和)。牛顿第二定律的另外一种表示方法为 $M = I\alpha$, M 为作用于物体所有外力的净或合力矩, I 是物体的质量惯性矩, α 为物体的角(旋转)加速度。公式中的质量 m 以及质量惯性矩 I ,都是抗拒运动改变的量。如果一个物体的惯性越大,则越难改变运动物体的运动状态或使其静止。

牛顿第三定律指出,每一个作用力都有它的反作用力,两个物体之间的作用力和反作用力,大小相等,方向相反,有相同的作用线。该定律对构建自由体图起了重要的作用。

自由体图

构建自由体图是为了帮助确定作用于一个系统不同部分

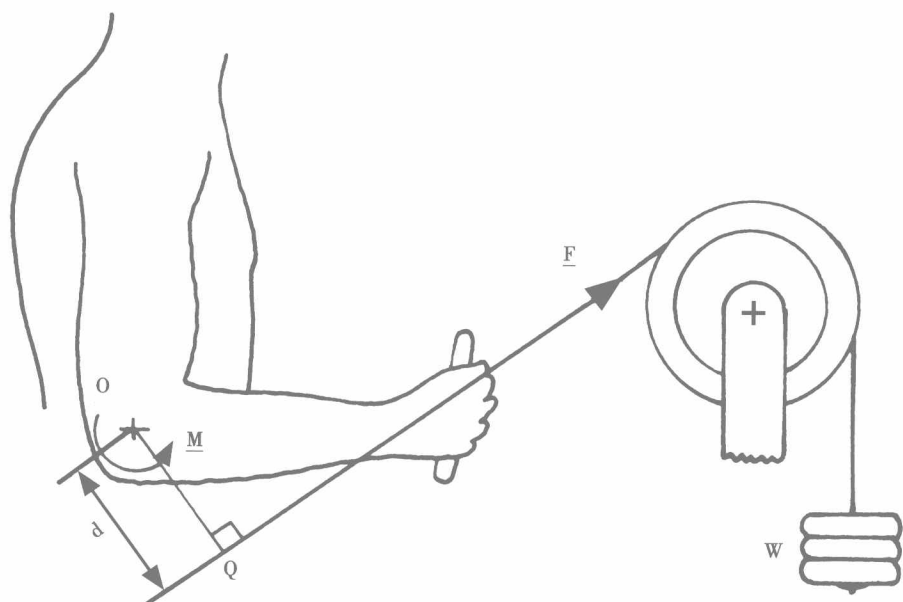


图 1-1 扭矩定义

的外力及力矩，以保证正确地利用力学公式分析整个系统。它把组成系统的各个部分一一分离出来，将外界的影响转化为相应的力与力矩来表达。

人类的肌肉骨骼系统由许多部分组成，这些部分则通过复杂的肌腱、韧带、肌肉以及关节相连。在一些分析中，人

们试图研究人体在不同姿势和负载时，不同关节的受力情况。对于这些研究，可以通过将感兴趣的关节分为两个部分，并绘出每一个部分的自由体图来进行分析。例如，试分析图 1-2 所示手臂肘关节的受力情况。如图 1-2 所示，整个人体在肘关节处被分为两个部分，前臂的自由体图如图 1-2B 所示。

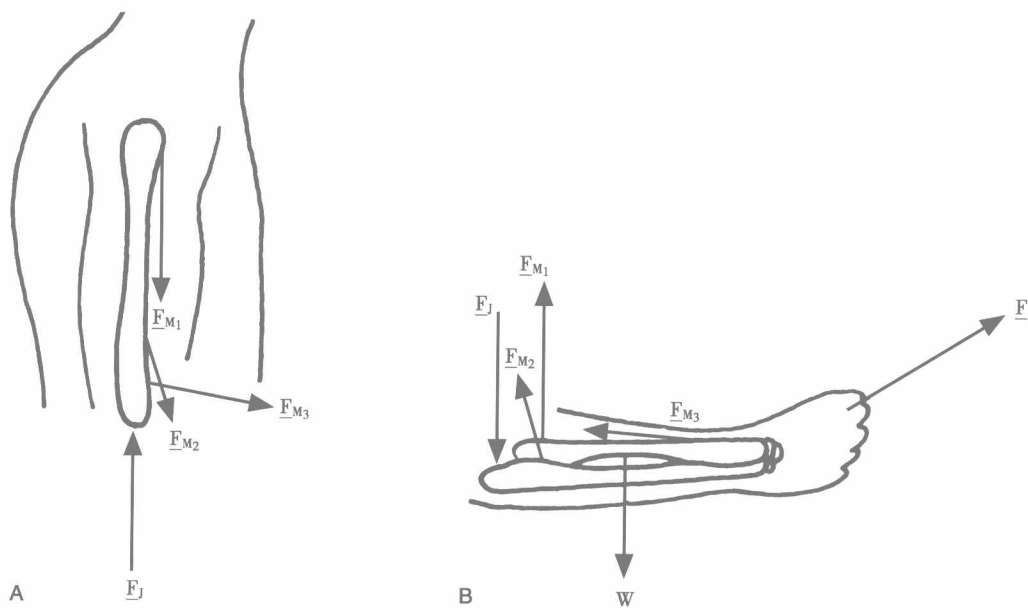


图 1-2 肘关节的受力，及前臂的自由体图

◆ F 是通过手柄由连在钢丝绳上的重物盘传递给人手的外力

◆ W 是作用于前臂重心整个前臂所受的重力

◆ F_{M1} 是二头肌对桡骨施加的力

◆ F_{M3} 是肱桡肌对桡骨施加的力

◆ F_{M2} 是肱肌对尺骨施加的力

◆ F_J 是肘的肱尺和肱桡关节处反作用力的合力

注意，肌肉和关节的反作用力代表了上臂对前臂的力学作用。也要注意，如图 1-2A 所示（不是完整的自由体图），

大小相同，方向相反的肌肉和骨骼的反作用力也施加于上臂。

平衡状态

静力学属于应用力学，用来分析刚性物体在平衡状态下的受力情况。刚性物体是指不发生变形的物体。实际上，任何一个物体或材料在外力作用下都会发生一定程度的变形。某些情形下，如变形量很小不足以影响分析效果，则可以将这个物体看作为刚性物体。在力学中，平衡是指物体处于静止状态或匀速运动状态。一个处于平衡状态的物体，它必须

同时处于移动平衡及转动平衡。一个物体在净外力（所有外力的矢量和）为零的作用下，处于移动平衡状态。如果净外力为零，则线性加速度（线性速度的时间变化率）也为零。一个物体在净力矩（所有力矩的矢量和）为零的作用下，处于转动平衡状态。如果净力矩为零，则角加速度（角速度的时间变化率）为零，或换言之，角速度为匀速或零。因此，运动公式（牛顿第二定律）对于处在平衡状态的物体的特别形式为：

$$\Sigma \underline{F} = 0 \text{ 和 } \Sigma \underline{M} = 0$$

记住力和力矩为矢量是很重要的。例如，关于直角(卡迪尔 Cartesian)坐标系，矢量力和力矩由 x, y, z 三个方向组成。因此，如果物体所受的净外力为零，则作用在每个方向上的外力和相等并为零 ($\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma F_z = 0$)。相同的，如果物体所受的净力矩为零，则作用在每个方向上的力矩和也必须相等为零 ($\Sigma M_x = 0, \Sigma M_y = 0, \Sigma M_z = 0$)。因此，三维力的系统，平衡需要六个条件。对于两维 x, y 平面力的系统，只需要检测其中的三个条件 ($\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma M_z = 0$)。

静力学

静力学原理（平衡公式）可以用来研究整个人体或部分在不同位置姿势下，关节及关节周所受的肌力和关节力。我们可能想知道，颈部伸肌需要对头部施加什么样的张力以维持其特殊姿势？弯腰时，脊柱对第5腰椎施加的力是怎样的？肘、膝和踝关节受到的压力是如何随着外力及不同的体位而变化的？股骨头受力是如何随着手提的负载而变化的？不同的锻炼情形下，肌肉群与关节的受力是怎样的？静力学分析的直接目的是回答诸如此类的问题。

肌肉骨骼系统中未解决的静力学问题，涉及关节反作用力与肌肉张力的尺寸。骨关节的力学分析需要我们知道肌肉张力的矢量特征，肌肉附着的位置，身体各部分的重量以及身体各部分的重心位置。力学模型显而易见是复杂系统

的简单代表。我们假设模型为静定模型（statically determinate model）来简化系统，所以许多模型具有局限性。我们可以加入对相关肌肉作用的考量来完善力学模型，但是同时也会增加更多的不确定因素从而使其成为静不定模型（statically indeterminate model）。对完善力学模型的分析需要知道更多的关于肌力的信息。这些信息可以通过肌电图测定而获得到肌电信号或者应用某些更优化的技术。类似的分析可以被用来研究其他主要关节及关节周的受力情况。

变形模式

在外力作用下，物体在净外力的方向上传导力，在净扭力的作用下旋转。如果物体受到外力作用时仍处于静态平衡状态，则物体很可能发生局部形状改变。在外力作用下，物体局部形状改变称为变形。物体变形的程度取决于很多的因素，包括材料特性；物体的尺寸和形状；环境因素如热度和湿度；外力的大小、方向和持续时间。

辨别力的一种方法就是观察它对物体造成的形变趋势。例如，物体有伸长的趋势是受到了拉力作用，而物体有收缩的趋势则是受到了压力作用。剪切力与拉力和压力的区别是剪切外力作用在与抵抗剪切作用面相切的方向上，而作用于同一直线的拉力和压力则垂直于它们的作用平面。通常称拉力与压力为法向力或轴向力；剪切力为切向力。物体在弯曲及扭转外力作用下也会发生变形，这与外力的力矩及扭矩有关。

同一材料对不同类型的负载有不同反应。对于一个材料，可以通过分析它在拉力，压力及剪切力作用下的不同反应来检测它的物理特性。材料的力学特性分析是建立在不同的应力测试实验上的，如单轴向的拉伸与压缩，扭转以及弯曲测试。

法线应力和剪切应力

图 1-3A 中的整条骨受到一对大小为 F 的拉力作用。骨处

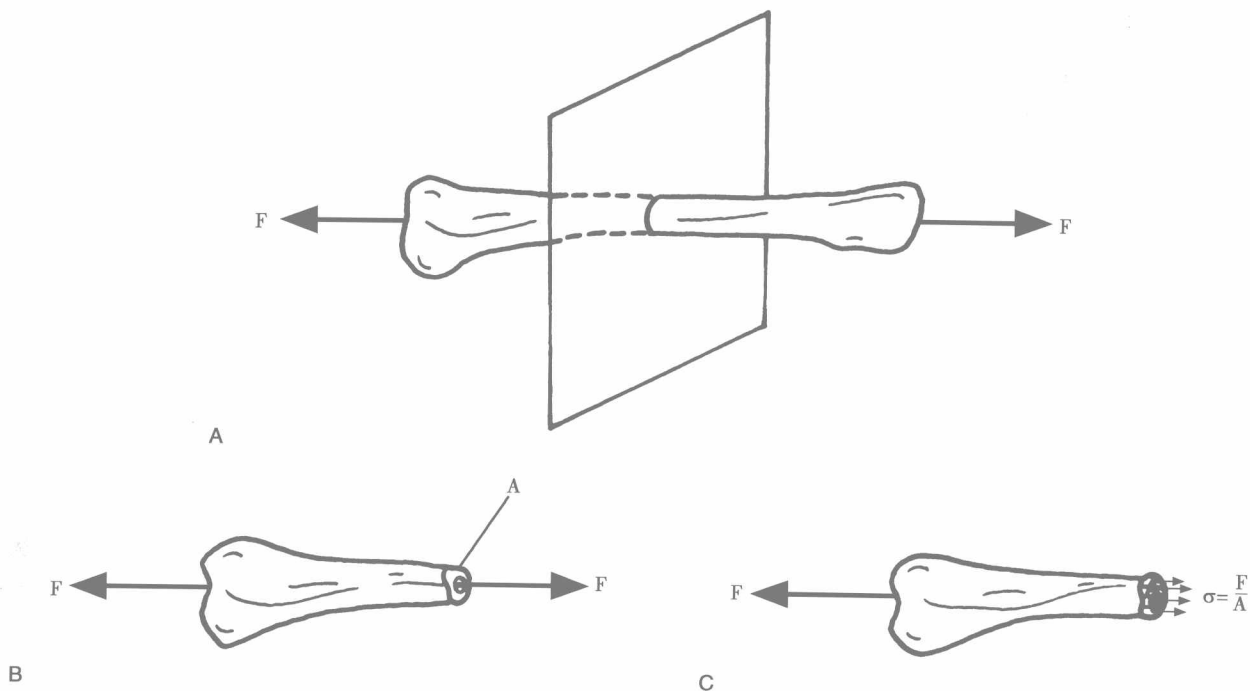


图 1-3 法线应力的定义

于静力学平衡。分析骨所受的力包括内力，可以应用截面的方法。假设沿着与长轴垂直的方向将骨切成两部分。由于整条骨处于静力学平衡，则被切开的两个部分也分别处于静力学平衡。这要求每个部分的切面受到的内力与外力的大小相等，方向相反（图 1-3B）。内力分布于被切部分的整个横截面上， F 代表合力（图 1-3C）。分布于截面上力的强度（力每单位面积）称为应力。在图 1-3 所示的情形中，因为合力的方向与切面是垂直的，则相应的应力被称为法线应力或轴向应力。习惯上用符号 σ (sigma) 表示法线应力。假设分布在横切面 A 上的力的强度是相同的，则 $\sigma = F/A$ 。拉伸材料而产生的法线应力称为张应力。压缩材料而产生的法线应力称为压力。参照标准的国际单位系统 (SI)，应力的单位为牛顿/平方米 (N/m^2)，称作帕斯卡 (Pa)。

另一种形式的应力称为剪切应力，用来衡量与截面相切（平行）的内力强度。例如，图 1-4A 所示，整条骨受到许多与截面平行的外力作用，其中截面与骨的长轴垂直。如果整体骨处于静力学平衡，则被切开的两个部分也分别处于静力学平衡。这要求必须在截下的部分有与截面相切的内力。如果外力的大小已知，则可以通过考虑每个部分都处于移动平衡和转

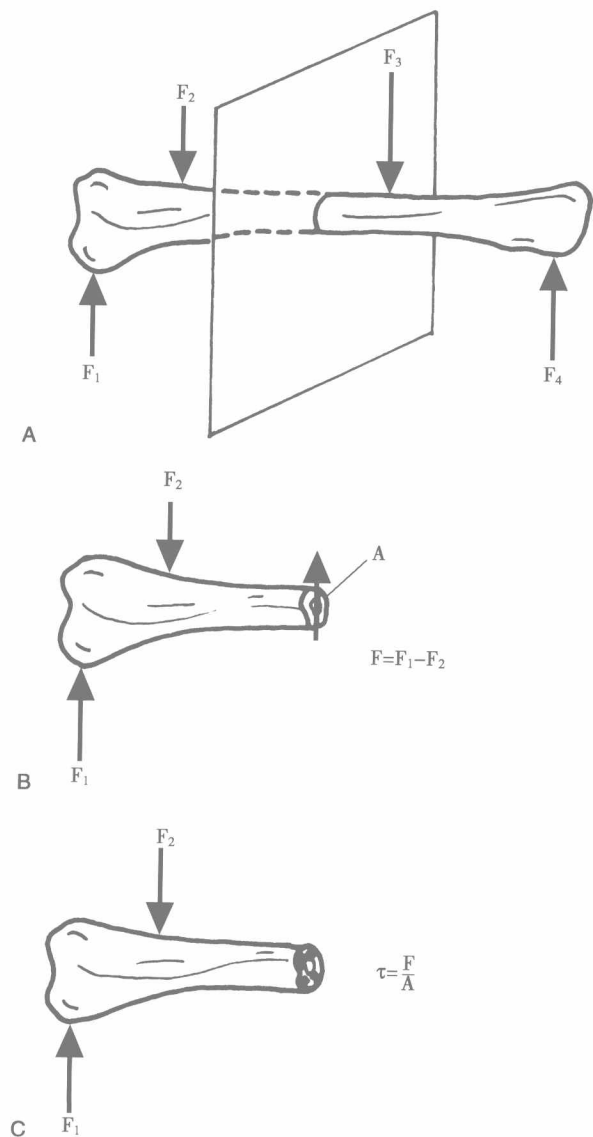


图 1-4 法线应力的定义

动平衡来计算内力的大小。与切面相切的内力强度称作剪切应力。习惯上用符号 τ (tau) 表示剪切应力。假设作用在横截面 A 上与截面相切的力的强度是相同的，则 $\tau = F/A$ 。

法向应变和剪切应变

应变是描述变形程度的量。与应力的情形一样，应变也分为两种类型。法向应变定义为原始长度的变化（增加或减少）率，习惯上用符号 ϵ (epsilon) 表示。如图 1-5 所示，骨的全长为 l 。如果骨受到一对拉力作用而长度增加为 l' 或增加了 $\Delta l = l' - l$ 。法向应变则表示原长度的伸长率， $\epsilon = \Delta l/l$ 。如果骨伸长的方向和应变的方向一致，则应变为张力的和正值应变。如果骨缩短的方向和应变的方向一致，则应变为压力的和负值的应变。

剪切应变与剪切力造成的扭曲有关，通常用符号 γ (gamma) 表示。图 1-6 示长方形 (ABCD) 在一对切线力的作用下变形为平行四边形 (A'B'C'D')。如果长方形上下底的相对水平平移为 d ，长方形的高度为 h ，则平均剪切应变为 d 和 h 的比率，等于角 γ 的正切值。通常角 γ 非常的小。对于小角度而言，它的正切值近似等于它的弧度值。因此，剪切应变的平均值 $\gamma = d/h$ 。

应变由两个长度测量值相除而得出。在很多的应用中，变形和随后产生的应变都非常小（如 0.001）。应变也可以用百分数表示（如 0.1%）。

剪切应变图

不同的材料显示出不同的应力-应变关系。应力-应变如图 1-7 所示，曲线上有 O、P、E、Y、U 和 R 六个点。O 点是应力-应变图的原点，表示初始（没有负载，没有变形）状态。P 点代表比例极限。从 O 点到 P 点，应力与应变呈线性关系，应力-应变图为直线。E 代表弹性极限。Y 点为屈服极限，对应屈服点的应力 σ_y 称为材料的屈服强度。在这一应力水平，延长（屈服）可以在无任何负载增加的情况下发生。U 是应力-应变图的最高应力点。应力 σ_u 为材料的强度极限。R 为应力-应变图的最后一点，代表断裂或失败点。断裂发生时的应力称为材料的断裂强度。对于一些材料而言，很难区分它们的弹性极限和屈服极限。这些材料的屈服强度由偏距法测定，画一条与应力-应变图线性部分平行的直线，大约通过 2% 的应变水平。这条平行线与应力-应变图曲线的交点被视为屈服极限，该点对应的应力称为材料的明显屈服力。

材料在不同的负载和实验条件下表现不同。如果图 1-7 代表材料在拉力作用下的应力-应变关系，在压力和剪切力作用下的应力-应变关系则会有一个相似但不相同的应力-应变图。而且，温度也会改变应力-应变关系。对一些材料，应力-应变关系取决于负载以何种速率施加于材料上。

弹性和塑性变形

弹性被定义为，材料在去掉外力作用后恢复为原来（应力为零）尺寸和形状的能力。换句话说，如果外力施加在材料上使它产生的应力等于或小于材料的弹性极限，那么材料在外力的施加下而出现的形变会随着外力的撤销而恢复。应力-应变图为直线的弹性材料称为线性弹性材料。对于应力与应变呈线性比例的材料，应力-应变图在弹性区的倾斜度称为材料的弹性模数或杨氏模数，一般用 E 表示。因此，线性弹