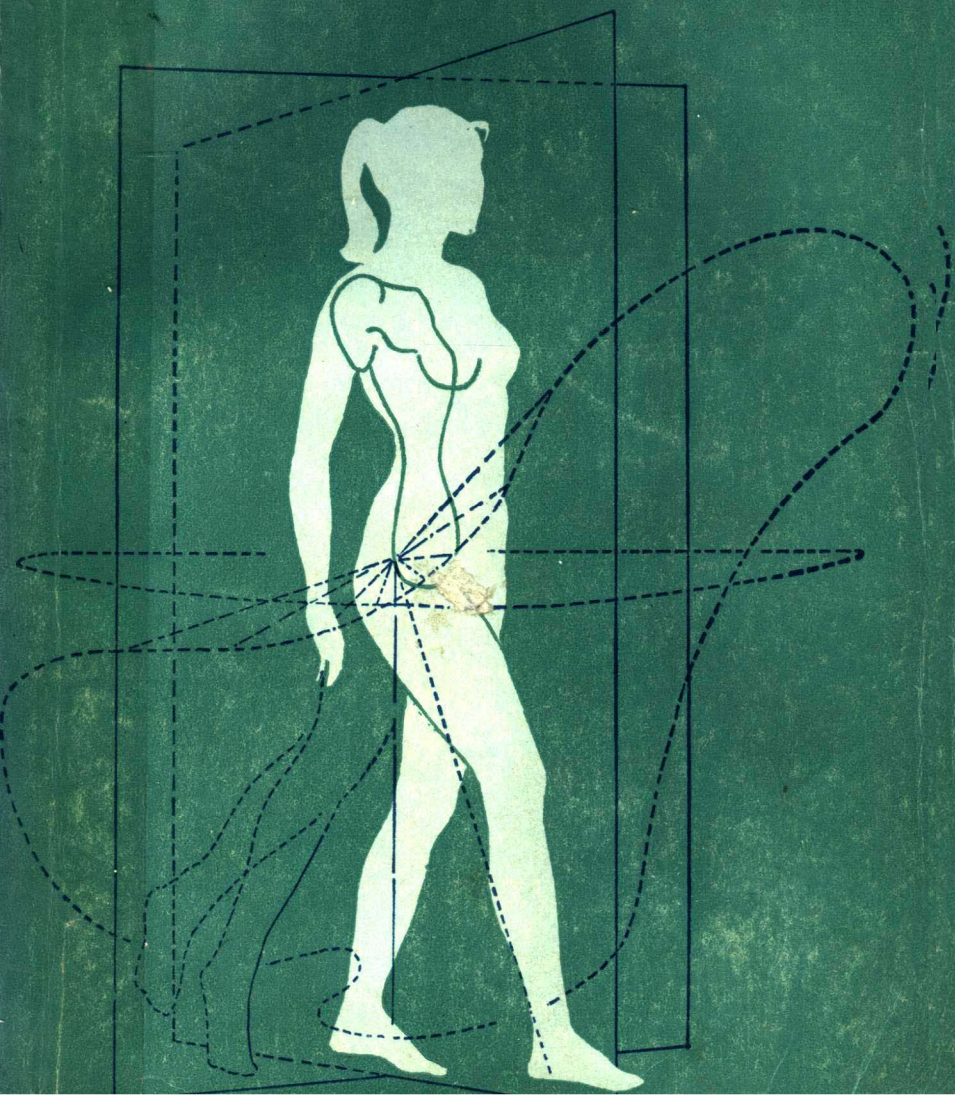


骨骼系统的 生物力学基础



骨骼系统 的生物力学基础

主编 [美] Victor H. Frankel

Margareta Nordin

译者 戴尅戎 王以进 周健男
汤荣光 裘世静

学林出版社

Basic Biomechanics of the Skeletal System

主 编 (美) Victor H. Frankel,

Margareta Nordin

原出版者 Lea & Febiger 1980

骨骼系统的 戴尅戎 王以进 译
生物力学基础 周健男 汤荣光 裘世静

学林出版社代理出版 上海绍兴路5号

新华书店上海发行所代理发行 上海新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 10 字数 213,000

1985年10月第1版 1985年10月第1次印刷 印数 1—3,000册

书号 14259·027 定价 1.95元

译者前言

生物力学是一门日益受到广泛重视和应用的边缘学科,涉及生物学、解剖学、生理学、临床医学、力学、数学和工程学等多个方面。其内容主要是以力学的观点解释生物运动的各种现象,并以力学知识去解决医学和体育运动中存在的各种问题。近年来的实践证明,生物力学是了解生命现象、分析人体运动、研究疾病原因、设计各种人工假体和脏器、改进义肢乃至发展体育运动学、人类学、宇航学等不可缺少的基础科学。

国外近年来出版的生物力学文献和专著数量大、品种多、更新快,对推动生物力学研究工作的发展、传播交流生物力学知识和经验起了巨大作用。为了暂时弥补国内至今还没有一本生物力学方面的基础参考书和教科书的不足,我们选译了1980年出版的、由 V. C. Frankel 和 M. Nordin 主编的 Basic Biomechanics of the Skeletal System 一书。该书由九位在国际上有一定影响的力学理论工作者和骨科专家联合编写,其特点为文笔浅显易懂,用力学工作者所能接受的方式描述了骨骼系统的组织结构和功能解剖,又以医务工作者所能理解的方式阐明了骨骼系统的力学特性及其运动学、动力学分析方法和结果。避免了冗长的解剖叙述或复杂的公式推导和数学演算。书内的 185 幅插图更有助于读者较深入的理解

生物力学基本原理。文内收集了晚近固体生物力学的一些研究成果和数据,并逐章列出参考文献,便于读者查找和深入学习。因此,本书是一本较好的固体生物力学入门读物。

全书从介绍度量衡制开始,以生物力学术语汇编作为结束,便于初学者对照参考。正文分为两篇十章。第一篇概述了骨、软骨和胶元组织的力学特性。第二篇分别讨论了体内各主要关节的生物力学。其中第一章和第四章分别介绍了材料的力学性质和运动学、动力学的基本概念和分析方法,初学者学习时可从这两章入手。

本书可供医务工作者、力学工作者、体育工作者以及医学院、理工学院、体育学院的教师、学生,和骨、关节假体和叉肢设计人员参考。

本书由上海科学技术大学生物力学研究室王以进、辽宁省鞍山市第三人民医院骨科周健男和上海第二医学院附属第九人民医院骨科戴尅戎、汤荣光和裘世静分工译出后互相校阅,再经戴尅戎统一校核和文字加工,力争做到在专业术语和译文表达方式上前后一致。但限于译者们的专业知识和英语水平,错误和不足之处在所难免,请同道们批评指正。

戴 尅 戎

一九八二年十二月

前 言

功能恢复方面的进展同我们对肌肉骨骼系统及其伤残性质的了解是齐头并进的。凭借观察、思考和经验足以解决一些问题,再随着我们对基础病理学和生理学的进一步认识,使更多问题得到了解答。其余许多遗留问题,则有待于应用生物力学的原理来解决。

有效功能的一个重要决定因素是骨骼系统对力的耐受度和活动性。由于人们在各个年龄组的活动强度的增加以及人类寿命的延长,对这些物理性质提出了新的要求。必须发展适合于临床特性的生物力学知识,并把这些知识转化为治疗准则。

Victor Frankel 已先行在这两方面作了努力。他发表的大量著作证实了他对生物力学研究的贡献。本书代表了他在将生物力学知识运用到病人的医疗实践方面所作的又一努力。这并不是一个简单的任务。Margareta Nordin 参加了他的工作,共同担负起创作一个崭新版本的任務。她在阐明复杂数据资料的写作文体方面作出了贡献。由于执笔者们所提供的越来越多的广泛见解,使本书的价值也随之增加。

工程专业发展了对人类活动时的力、运动和组织反应的识别手段。有人提供了大量的资料,这些资料通过各种不同出版物而传播,并通常采用临床医师所不熟悉的工程学术语来

描述。

这本书论述的是骨骼系统的基础生物力学，同时也引入了一些现代知识，并通过清晰通俗的文体加以表达，对工程学术语的应用限制在必须要表达基本概念的范围之内。对文献的引用做到既广泛又有选择性。每个专题引用的主要文献列为专门参考文献，而其他原始资料则作为推荐读物。

本书基本上是一本与临床有关的生物力学原理的资料和图解的简编，有少部分描述关节和肌肉的力的计算方法，采用了少量的数学公式和极清晰的图解，并作了通顺易懂的描述，以便有关的临床医师能在某种程度上对这些方法加以应用。

本书是工程学概念和临床实践之间的一座理想桥梁。它将为矫形外科医师、理疗和职业治疗以及其他卫生专业人员提供生物力学原理方面的实际知识，以有助于对肌肉骨骼的机能障碍进行估价和治疗。

Jacquelin Perry, M. D.

(周健男译，戴魁戎校)

序

本书是根据二十年生物力学教学经验以及与矫形外科、理疗、职业治疗和其它有关专业的一些同事在历次会议上讨论的结果，为从事诊治骨骼系统疾病的工作者而编写的生物力学入门。

生物力学应用物理学法则和工程力学概念来描述身体不同节段的活动及其在日常活动中所受的力。为了合理的治疗骨骼系统疾病，必须了解力与活动的相互关系，这一点是非常重要的。在锻炼或活动时，如果作用于疾病部位的力上升到一定水平，就会产生损害。

本书的意图是要使读者了解作用于骨骼系统的各种力和活动以及阐明这些力和活动的各种方法。本书可在整个生物力学教程中作为教科书使用，亦可用于单独学习。每章后面附列的参考文献可用以扩展这些章节的内容。显然，本书只起入门作用，使读者能通过进一步文献阅读、个案资料分析和独立的学术研究，而加深对骨骼生物力学的了解。本书不拟讨论治疗问题。后者不属本书讨论范围，但文内也叙述了合理治疗的一些基础理论知识。

本书已由撰稿人加以充实修订。Dennis Carter 所写的国际度量制介绍了书内各章节所采用的重要物理学度量。全面理解本书内容无需更高的数学基础知识，但在开始时，应重

视复习国际单位制及其在生物力学中的应用。Van Mow, Vladimir Roth 和 Cecil Armstrong 在他们所写的关节软骨生物力学这一章中, 阐明了关节润滑这个重要概念。James Sammarco 综合了大量的生物力学资料。Frederick Matsen 综合了至今尚未获得足够重视的肩和肘关节的资料。Margareta Lindh 概述了腰椎的生物力学及其临床应用。

有两章论述了基本原理。在以后章节中又对此作了进一步讨论。第一章全骨和骨组织生物力学讨论了材料的力学性质。第四章膝关节的生物力学说明了运动学的重要概念和力的分解。我们建议应首先学习这些章节。

尽管我们在写这本书的准备阶段复习了生物力学的世界文献, 但并不企图作文献综述, 而是选择一些实例去说明骨骼生物力学的重要概念。本书贯穿着工程学的重要概念。

本书介绍的资料可作为读者探索生物力学的入门向导, 如能因此增加读者对生物力学的注意和重视, 并从而引起热烈的讨论, 我们编写本书的目的也就达到了。

华盛顿州, 西雅图 Victor H. Frankel

瑞典, 哥特堡 Margarata Nordin

(周健男译, 戴冠戎校)

目 录

SI: 国际单位制	1
-----------------	---

第一篇 骨骼系统组织和结构的生物力学

第一章 全骨和骨组织的生物力学	17
第二章 关节软骨的生物力学	61
第三章 胶原组织的生物力学	89

第二篇 关节的生物力学

第四章 膝关节的生物力学	117
第五章 髋关节的生物力学	152
第六章 踝关节的生物力学	183
第七章 足的生物力学	197
第八章 肩关节的生物力学	227
第九章 肘关节的生物力学	250
第十章 腰段脊柱的生物力学	261

生物力学术语汇编	299
----------------	-----

SI: 国际单位制

原始社会时人们已认识到建立度量衡制对建筑、裁衣以及从事简单贸易和商业是必须的。圣经以及巴比伦和埃及文化的早期记载表明，人类最初使用身体的某些部分和周围环境中一些共有的物品来建立简单的度量制。对时间，一般用太阳周期来度量。在诺亚时代，长度是用库比特(cubit)为单位，它相当于从肘到中指尖的距离。一个指距(拃宽)是一库比特的一半，它是手掌充分展开时拇指尖与小指尖间的距离。对较小的测量，则利用手指或拇指的宽度。为度量体积或流体容量，先将容器灌满种子，再将它们倒出计数以确定该容器的容积。

人们在原始社会就发现，可以将两个物体放在天平上来确定一个是否比另一个重。“巴比伦”人改进了这种方法，他们将一个物体与一套标准的磨光石子相平衡。这些石子或许是最早的标准度量，后来又演变为英国法定的砵，一砵在帝制中等于 14 磅(62.27 牛顿)。

埃及和希腊都曾用麦种作为最小的标准重量单位。这个概念后来演变为单位“喱”(grain)，它至今仍有一些方面使用着。阿拉伯人为珍贵宝石和金属建立了一套重量标准，它是以小豆重量为单位的，这种度量现在已演变为单位克拉(carat)。

由于部族和民族之间贸易的增加，使早期文明发展起来的度量系统变得相互混杂。罗马人在全世界广泛传播他们的度量标准。罗马士兵在他们征服的土地上行进时，用测步(pace)作为测量距离的单位，一测步等于行走时同侧足两次触地点间的距离，即等于两步。

英 制

英制度量衡系统是由巴比伦人、埃及人、罗马人、盎克鲁撒克逊人和诺曼弟人使用的度量系统演变而来的。原来用的身体度量，象指宽、掌尺、指距和库比特已被吋、呎，和码代替了。罗马人所用的基数 12 被引进了英制。例如罗马呎(pes)有 12 个等份，称为 unciae。英语中的吋和盎司即来自上述拉丁词。

古代的撒克逊首领腰上围着一一种腰带，它可以方便地解下用作线性度量。“码”这个词出自撒克逊语的 gird，意为人的腰围。在 12 世纪，国王亨利一世颁布标准码的长度为他的鼻子到他手臂伸展时拇指末端的距离。13 世纪，国王爱德华一世对在线性度量标准化方面采取了一个重要步骤，他命令制造一个铁制的永久性度量棒作为王国的标准码。这根度量棒根据前臂骨铸造成为“铁尺骨”。1 呎规定为度量棒的 $\frac{1}{3}$ ，1 吋规定为标准码的 $\frac{1}{36}$ 。国王爱德华二世显然认为新的度量制太混乱，他颁布了一项法令，宣布一时等于 3 个圆而干燥的麦粒的大小。

英制度量系统的演变和改进主要是通过皇家法令来实现的。早期的 Tudor 王朝统治者规定 220 码为一浪(furlong)，到 16 世纪，女王伊丽沙白一世把传统的罗马哩从 5000 呎改

为 5,280 呎,使 1 哩恰好等于 8 浪。1824 年,英国国会使用新的标准码合法化了,它是以一根两端具有金珠的黄铜棒来度量的。每个珠上刻有一个小点,两点之间的距离为一码。

17、18 和 19 世纪英国的殖民统治以及对世界贸易的统治地位使英国的度量衡制向全世界(包括美洲殖民地)传播。虽然英制由于商业需要曾作一些修改,但至今大体保持不变。

米 制

18 世纪初,欧洲大陆还没有统一的度量衡制。度量衡制不仅国与国之间不同,在城镇之间也不相同。1790 年法国革命时,国王路易十六和法国国会颁布了一项法令要求法国科学院同伦敦皇家协会一道为所有度量衡制定一种永恒不变的标准。然而英国人没有参与这项工作,于是法国单独着手建立一个新的和统一的度量衡制,这就是米制。

1793 年,法国政府采用了一种以米为基本度量的标准制,一米的定义为从北极往巴黎到赤道这条直线的一千万分之一。其他所有的线性度量都是米的十进位分数。克作为质量的米制单位,其定义为 1 立方厘米水在其最高密度时的温度下的质量。流体容积单位称为升,定义为边长为十分之一米的立方体所具有的容积。

起先大多数法国人认为新的米制度量是混乱的,他们化了很大气力要把新制变回到原先熟悉的码和呎的度量制。对新制的广泛抵制迫使拿破仑在 1812 年废除了米制。然而在 1837 年,法国又重新采用米制,并希望能向全世界推广。

到 19 世纪,米制受到科学家们的赏识,这是因为:①它是一种国际制。②其单位是独立复制的。③采用十进制使计算

大为简化。英制是为商业贸易而设计的，而米制看来更适合于工程和科学领域。

十九世纪后半叶，科学的发展需要建立一种更好的米制标准。1875年，一个国际公约——米制条约——为长度和质量建立了定义精确的米制标准。而且还设立了一个永久性机构以进一步改进米制。17个国家签署了这个条约。到1900年，已有35个国家正式采用米制。

在米制公约签订的同时，一个永久性机构，国际度量衡局，在法国 Sèvres 建立，以协调有关米制情报的交流。关于米制的执行机构是度量衡全体会议，它定期召开会议来批准对系统标准的改进。1960年，全体会议对原系统进行了重大修改和简化。经过修改的米制称为国际单位制，国际上通用的缩写符号为 SI（根据法文名称缩写）。全体会议在1964、1968、1971和1975年又对 SI 系统进行了修改和补充。

1965到1972年间，联合王国、澳大利亚、加拿大和新西兰以及其他许多英语国家采用了米制。1975年，美国国会通过了米制转换法案，规定把米制作为度量单位的主要系统。目前，几乎全世界每个国家都采用了米制，或承认它的使用。

SI 米制

国际单位制是一种现代米制系统，它已演变成为一种最精确的测量系统。本节将阐述 SI 单位在机械科学中的应用。为简便起见略去了 SI 单位在电学和光学里的应用。

SI 单位可分成三类：①基本单位，②补充单位，③导出单位（图1）。基本单位是一小组任意定义的标准度量。长度的基本单位是米(m)，质量的基本单位是公斤(kg)，时间和温度

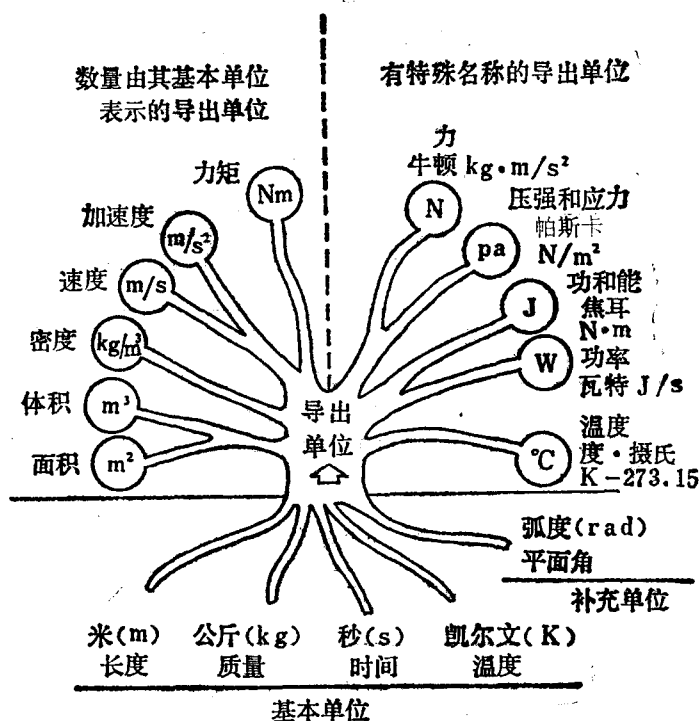


图1 国际单位制

的基本单位分别是秒(s)和开氏绝对温度(K)。为适应科学界日益增长的需要,基本单位的定义已经变得越来越复杂(表1)。例如,现在一米的定义为从氦-86原子发出的辐射波长*。

弧度(rad)是测量平面角的补充单位。这个单位同基本单位一样是任意定义的(表1)。虽然弧度是平面角的SI单

* 应为辐射波长的一百二十多万倍。——译者注

表 1 SI 单位的定义

基 本 单 位	
米(m)	1 米的长度为真空中氩-86 原子从能级 $2p_{10}$ 到 $5d_5$ 跃变辐射时波长的 1,650,763.73 倍*
公斤(kg)	公斤是质量单位,等于1公斤国际原型的质量
秒(s)	1 秒为辐射的 9,192,631,770 个周期的持续时间,相当于铯-133 原子在基态时在二个超高能级上的跃变
开氏绝对温度(K)	为热力学温度单位,是水三态点的热力学温度的 $1/273.16$

* 1983 年 10 月 20 日,在法国巴黎举行的第十七届国际计量大会上,正式通过了米的新定义:“米是光在真空中,在 $1/299,792,458$ 秒的时间间隔内运行距离的长度。”——译者注

SI 补充单位

弧度(rad)	弧度是两条半径间的平面角,这两条半径在圆周上所截的圆弧长度等于半径
---------	-----------------------------------

具有特殊名称的 SI 导出单位

牛顿(N)	1 牛顿是作用在 1 公斤物体上,使之产生 1 米/秒^2 加速度的力。 $1\text{N} = 1\text{kgm/s}^2$
帕斯卡(Pa)	1 帕斯卡是 1 牛顿力均匀分布在 1 平方米上所产生的压强。 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$
焦耳(J)	1 焦耳是 1 牛顿力使力的作用点在力的作用方向上位移 1 米时所作的功。 $1\text{J} = 1\text{Nm}$
瓦特(W)	1 瓦特是在 1 秒钟内产生 1 焦耳能量的功率。 $1\text{W} = 1\text{J/s}$
度(摄氏) (°C)	摄氏度是热力学温度单位,等于 $\text{K} - 273.15$

位,但度(degree)仍然是被普遍使用的单位,这是因为它在世界上已被牢固建立和广泛使用。1度等于 $\pi/180$ 弧度。

大多数 SI 制单位是导出单位,即它们是根据物理基本定律、从基本单位发展起来的。其中有些导出单位就用其基本单位来表示。例如面积、速度和加速度,它们在 SI 制中分别用平方米(m^2),每秒米(m/s),平方秒米(m/s^2)表示。

另一些导出单位也同样来自基本单位,但已被赋予特殊名称(见图 1 和表 1)。它通过应用物理定律基本方程、结合任意选定的基本单位而定出这些导出单位的定义。例如,牛顿的第二运动定律认为自由运动的物体受力后,所获得的加速度与力的大小成正比,与自身的质量成反比。数学上这个定律可表示为:力 = 质量 $\times$ 加速度。

SI 力的单位牛顿 (N) 因而可根据 SI 基本单位定义为:

$$1\text{N} = 1\text{kg} \times 1\text{m/s}^2.$$

压强和应力的 SI 单位是帕斯卡 (Pa)。压强在流体静力学中的定义为力除以力作用的面积。数学表达式为:

$$\text{压强} = \text{力} / \text{面积}.$$

压强的 SI 单位帕斯卡根据 SI 基本单位可确定为:

$$1\text{Pa} = 1\text{N}/1\text{m}^2.$$

虽然温度的 SI 基本单位是开氏绝对温度,但导出单位为摄氏度($^{\circ}\text{C}$ 或 $^{\circ}$)应用得更为普遍。摄氏度在数值上等于开氏绝对温度,但摄氏度的绝对值与开氏量度不同, $^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$ 。

把 SI 系统用于各种各样的度量时,用基本单位、补充单位或导出单位表示的数目可能很大或很小。例如用平方米(m^2)表示针头的面积时是一个非常小的数。而当鲸鱼的重量