

运动功能的理解性解剖

Comprehensive Anatomy of Motor Functions

原 著: Pierre Rabischong

主 译: 凌 锋 鲍遇海



北京大学医学出版社

Comprehensive Anatomy of Motor Functions

运动功能的理解性解剖

YUNDONG GONGNENG DE LIJIE XINGJIEPOU

图书在版编目 (CIP) 数据

运动功能的理解性解剖/ (法) 阿波斯冲 (Rabischong, P.) 原著;
凌锋, 鲍遇海主译. —北京: 北京大学医学出版社, 2016. 1

书名原文: Comprehensive Anatomy of Motor Functions

ISBN 978-7-5659-1284-9

I. ①运… II. ①阿…②凌…③鲍… III. ①运动解剖 IV. ①G804.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 273995 号

北京市版权局著作权合同登记号: 图字: 01-2015-7085

Originally published under the title:

Anatomie compréhensive des fonctions motrices par Pierre Rabischong

© De Boeck Supérieur SA, 2013

Translation from the English language edition:

Comprehensive Anatomy of Motor Functions by Pierre Rabischong

Copyright © Springer International Publishing Switzerland 2014

Springer International Publishing is a part of Springer Science+Business Media

All Rights Reserved

Simplified Chinese translation Copyright © 2015 by Peking University Medical Press.

All Rights Reserved.

运动功能的理解性解剖

主 译: 凌 锋 鲍遇海

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumppress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京清华印刷厂

经 销: 新华书店

责任编辑: 高 瑾 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 11.75 字数: 272 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1284-9

定 价: 129.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

Comprehensive Anatomy of Motor Functions

运动功能的理解性解剖

原 著 Pierre Rabischong

主 译 凌 锋 鲍遇海

译 者 (按姓名汉语拼音排序)

鲍遇海	首都医科大学宣武医院
杜郭佳	新疆医科大学第一附属医院
郭宗铎	重庆医科大学附属第一医院
李路明	清华大学航天航空学院
李茗初	首都医科大学宣武医院
梁建涛	首都医科大学宣武医院
凌 锋	首都医科大学宣武医院
刘思祎	首都医科大学宣武医院
刘晓东	山西医科大学第一医院
楼美清	上海交通大学医学院附属第一人民医院
陆 夏	首都医科大学宣武医院
任革学	清华大学航天航空学院
尚 峰	首都医科大学宣武医院
宋 刚	首都医科大学宣武医院
孙 澎	首都医科大学宣武医院
王 杰	上海德济医院
尉辉杰	天津医科大学总医院
徐 磊	重庆市第四人民医院
徐已奕	上海交通大学医学院附属仁济医院
徐远志	上海交通大学医学院附属第一人民医院
钟春龙	上海交通大学医学院附属仁济医院

北京大学医学出版社

译者前言

在中国国际神经科学研究所 (China-INI) 即将落成之际, 我们对进入这座大脑型的建筑充满期待和思考。人能认识完全自己的大脑吗? “不识庐山真面目, 只缘身在此山中” 不正是这座建筑对大脑研究的真实写照吗? 我们一遍遍地问自己:

人类为什么能做微雕、刺绣、杂技、舞蹈等如此精致而又美轮美奂的动作?

人类的各组织结构为什么要如此组成?

每一个动作或功能都涉及了哪些解剖结构?

是进化论导致如此精致的结构和功能完美的统一还是造物主的精美设计?

恰逢法国蒙彼利埃大学医学院的 Pierre Rabischong 教授新出版了这本《运动功能的理解性解剖》, 给了我们一个清晰的回答。

Rabischong 教授是一位享誉世界的解剖学家, 他提出、倡导并系统阐述了“理解性解剖” (comprehensive anatomy) 的理念。这一理念区别于传统的描述性解剖 (descriptive anatomy) 和功能性解剖 (functional anatomy), 是从发现和认识人体的各种具体运动功能入手, 阐述实现这些功能的原理, 再解释并描述涉及的解剖结构, 从而架设起一座从功能到形态的桥梁。

Rabischong 教授同时是一位生物医学工程专家, 他将理解性解剖的理念应用于生物力学研究、计算机辅助外科研究以及功能性义肢的设计, 从 20 世纪 70 年代至今, 历数十年而不辍。他先进的解剖理念和丰硕的研究成果使神经外科医师及众多领域的专家学者受益, 因此被前世界神经外科联合会主席 Madjid Samii 教授誉为“教授们的教授”。

本书是 Rabischong 教授多年来对运动功能理解性解剖研究的总结, 内容精辟, 图文并茂, 结构清晰。本书由 Madjid Samii 教授作序, 前言是作者对自己理解性解剖学思想的哲学概括; 第一章讲述运动功能的基本概念, 是全书的基础; 第二章至第十章为各论, 分别讲述脊柱的运动功能、行走、抓握、眼球运动、面部运动、咀嚼、吞咽和言语、膀胱与直肠的控制, 以及射精与性高潮等内容, 涉及了人体各种主要的运动功能。

这些内容涉及传统神经外科、脊柱外科、手外科、眼科、耳鼻咽喉头颈外科、口腔科、普通外科、泌尿外科、男科学等众多学科。作者将分散于上述各专科中的、与人体生存和生活质量密切相关的主要的运动功能融会贯通, 统一于理解性解剖的框架下, 一定会使读者建立起对人体运动功能的透彻理解, 进而使临床工作受益。

鉴于本书的上述特点, 主要阅读对象除上述各专科的临床医生和感兴趣的医学生外, 还应包括康复科学、生物医学工程、义肢设计、人体工学研究等领域的研究人员。

本书翻译工作由 China-INI 联盟读书会组织，盟员单位神经外科临床医生分工合作完成，清华大学航天航空学院李路明教授和任革学教授负责全书力学和生物医学工程术语的审校，翻译过程中得到了北京大学医学出版社和高瑾编辑的大力支持，在此一并表示感谢。

本书打开了一扇认识人体各种运动功能的大门，也锻造了这把开启人类智慧的钥匙。让我们顺着这个桥梁，去探索大脑的无限奥秘！

凌 锋

2015 年 3 月 3 日于北京

原著序

能够为 Pierre Rabischong 教授——这位我一直敬佩的长者及科学家的新书作序，对我来说是种特殊的喜悦和荣幸。他无疑是近 50 年来最杰出的医学科学家之一。他的研究活动远远超出了传统解剖学的范畴，其影响不仅局限于解剖学界，更是扩展到了整个医学界。Pierre Rabischong 教授在青年时期即掌握了描述解剖学的知识，但他并未止步于此。他想知道机体是如何发挥功能以及各个独立的器官和系统是如何相互连接的。Pierre Rabischong 教授的下一个研究层面是生物力学——对于他来讲各个专科间人为设定的界限从来不存在。在各个领域他都做出了重要且极具创造性的贡献。事实上，Pierre Rabischong 教授不仅仅是一位解剖学家，更是一位百科全书式的科学家，在多个领域都有突出贡献，包括：解剖学、生理学、计算机辅助外科学、神经假体技术和生物医学技术。

Pierre Rabischong 教授的人格魅力还体现在教学：他努力不懈又满怀激情地向医学生和同行讲解人体的构成和功能。他在全球做了许多次演讲，我有幸聆听了其中的多场并乐在其中。我非常高兴 Pierre Rabischong 教授最终决定将他关于人体功能的观点总结在这本新书中。其内容涵盖运动器官、脊髓功能、呼吸、行走、抓取，甚至还有讲话、吞咽、膀胱和性功能等，旨在呈现“如何理解解剖而不是简单地描述其结构”。因此，所有医生，无论你对哪个专业或领域感兴趣，此书都非常有帮助。阅读这本书是一种享受，同时也是一种思维上的挑战。

Madjid Samii, M. D., Ph. D.

神经外科学教授

国际神经科学研究所 (INI) 所长

汉诺威，德国

原著前言

有别于传统解剖图书对人体结构的单纯描述，本书的主要目标是阐释如何理解解剖学。本书的主要原理是：人体并非由人类建造，这是无可争辩的事实。因此，摆在我们面前的是“成果”而不是“问题”。换句话说，我们的处境如同一个工程师站在一台并非由他设计建造的机器面前，他希望同时了解这台机器的功能以及其创造者的意图。人体这一“机器”是非常复杂的，我们了解越多，越是能够在更高级的层次发现技术智慧，从而引导我们对高科技进行讨论。

想要掌握这种解剖的理解性方法，首先要做的是观察功能：如果可以，试着用“工程师”那熟悉技术应用并了解工程学词汇的眼光去观察。其次，为了明确获得某种功能需要解决的技术问题，我们不得不定义一系列技术细节，这需要在机器中发现。最后，我们有必要去追寻解剖学解决方案，利用精细的检测手段，包括磁共振成像这样现代医学史上不折不扣的革命性技术，这使我们对此了解得越来越多。在应用这种方法时，我们应努力去更好地理解为何造物主选择这些生物部件，以及做出这些选择带来的某些技术死结。当然，我们必须承认，造物主是如此优秀，以至于研究运动程序时我们很难发现设计错误。

对于任何活体的研究无非都是从三个方面进行。首先，人体结构的重要特征之一就是功能自动化。没有它，复杂的活体系统无法运转，因为“飞行员”几乎完全不了解功能实现的技术。此特征存在于大多数人类及所有动物，因而动物无法主动地干预其自身构建模式。其次，所有的人类个体都是独一无二的存在，也就是说在生命历史长河中，绝对不会出现完全一致的复制品。每个人的基因组都有着物种特有的部分，同时又有着个体的独特之处（现在科学家们正试图通过蛋白基因中的非编码区部分破解它）。对于个体特性的找寻颇有追溯生命发展史的意味，这种找寻可以证明神经元的不可再生性，因此大脑结构终其一生不变，这样能保证人格连续；同时，成长环境及文化多样性又使得每个个体都是独一无二的。

再次，个体的生命都是有限的，器官和细胞遵循一个时间周期，或者按既定程序继续增殖分化，或者维持原样。但是无论怎样变化也敌不过岁月的侵蚀，随着生命系统衰退和老化，病变及各种药物应用的增多在所难免。

最后，我们也希望这本书能成为不同运动缺陷疾病治疗（包括手法治疗）——这一未来运动系统医学一大治疗方向的基础阅读书籍。我们还添加了大量的解释绘图及影像资料以帮助理解记忆。

Pierre Rabischong
蒙彼利埃，法国

原著致谢

我首先要感谢的是 Madjid Samii, 我最好的朋友之一, 我认识他多年, 他是一位真正的世界级的神经外科大师。

我也想感谢我所有用心并乐在其中教授的学生以及我在蒙彼利埃解剖学实验室的助手们, 是他们帮助我完成了这项很有意义的任务。

如果没有法国国家健康与医学研究院 (INSERM) 103 单位的帮助, 我不可能开展生物力学领域的研究, 也无法建立与工业上诸多领域的联系, 主要包括现代化机器人的汽车制造、配备特殊航行系统的飞行器制造和许多生物医疗的研发应用, 尤其是在运动障碍领域。

遗体的捐献者使得我们能够为本书准备解剖图片, 使人体组织结构的精美得以展示, 我们必须对他们的慷慨无私致敬。

我还要感谢我许多的医生朋友, 特别是世界神经外科协会 (WFNS) 的神经外科医师以及国际手外科协会 (GEM) 的外科医师, 他们为我提供了宝贵的参与国际课程教学的机会。

最后, 我非常感激 Nathalie Huilleret 为本书通过 Springer 公司出版在编辑上所给予的支持, 以及 Anne Guilloux 在本书筹备过程中的杰出工作。

目 录

第 1 章 运动功能的基本概念	1
1.1 引言	1
1.2 运动器官的组成	2
1.2.1 骨骼杠杆	2
1.2.2 关节	5
1.2.3 肌肉	12
1.3 命令和控制	16
1.3.1 比例控制	16
1.3.2 运动控制	17
1.3.3 运动的中枢控制	22
参考文献	23
第 2 章 脊柱功能	25
2.1 引言	25
2.2 脊柱稳定性	26
2.2.1 脊柱伺服系统的输入信号	26
2.2.2 肌肉对脊柱稳定性的校正	27
2.3 颈椎和眼/头伺服机制	30
2.3.1 视觉信息的处理	30
2.3.2 颅颈交界区	34
2.3.3 椎动脉	37
2.4 胸椎与呼吸动力学	39
2.4.1 膈肌	40
2.5 腰椎和骨盆环	46
2.5.1 过渡型脊椎 T12	46
2.5.2 四条肌肉柱	46
2.5.3 间断的骨盆环	47
2.5.4 腹壁肌肉功能的重要性	49

2.5.5 脊柱疼痛	52
参考文献	55
第3章 行走	57
3.1 引言	57
3.2 行走的两个方面	57
3.2.1 站立姿势	57
3.2.2 行走	60
结论	76
参考文献	76
第4章 抓握	77
4.1 引言	77
4.2 腕/掌复合体	81
4.2.1 人类的手	81
4.2.2 手腕	85
4.3 肱-尺桡复合体	86
4.3.1 肱-桡尺连接	86
4.3.2 功能性旋前和旋后	89
4.4 锁骨-肩肱复合体	89
4.4.1 颈胸悬挂系统	89
4.4.2 肩肱关节	89
4.4.3 活动的和固定的肌肉	90
结论	93
参考文献	94
第5章 眼球运动	95
5.1 引言	95
5.2 对理解起重要作用的三个具体特征	96
5.2.1 对广阔视觉空间的探索	96
5.2.2 眼球运动的中枢控制	97
5.2.3 眼相关的脑神经	101
结论	102
参考文献	102
第6章 面部表情	103
6.1 引言	103
6.2 面部眶上壁	104
6.2.1 角膜的层次	104

6.2.2	角膜营养供给	106
6.2.3	眼泪排泄	108
6.3	面部口腔下壁	111
	参考文献	113
第7章	咀嚼功能	115
7.1	引言	115
7.2	颞下颌关节的运动	116
7.2.1	关节	116
7.2.2	关节活动	117
7.3	下颌姿态的控制	120
7.3.1	运动控制基本原则	121
7.3.2	下颌姿态与运动	122
7.3.3	下颌骨的姿态和直立姿态	123
	参考文献	126
第8章	吞咽和语言	127
8.1	引言	127
8.1.1	下颌弓	127
8.1.2	舌弓	128
8.1.3	甲状舌骨弓	128
8.1.4	甲状(腺)-杓状(软骨)-环状(软骨)弓	128
8.2	呼吸消化道交界/会厌区	128
8.3	吞咽	130
8.3.1	舌	130
8.3.2	喉关闭	130
8.4	发声	133
8.4.1	声音的基本概念	133
8.4.2	发音语音学	137
8.4.3	语言	137
8.4.4	发声机制	138
8.4.5	发声的指挥和调控	148
	结论	150
	参考文献	150
第9章	膀胱与直肠控制	153
9.1	引言	153
9.2	技术问题及解决方案	153
9.2.1	强制性克制	154

9.2.2 排泄过程	154
9.3 指挥和控制	156
9.3.1 两个互补水平的控制	156
9.3.2 躯干神经支配	157
参考文献	158
第 10 章 射精和性高潮	159
10.1 引言	159
10.2 交配的技术性难题	160
10.2.1 刚度可变的注射器	160
10.2.2 尿道球海绵体肌“泵”启动注射器	160
10.2.3 会阴的阵发性爆发——射精	161
10.3 推测的运动：性高潮	163
参考文献	165
总结	167
索引	169

第1章 运动功能的基本概念

(尚峰 孙澎 译, 李茗初 陆夏 校)

摘要

骨骼、关节和肌肉是运动系统的组成部分, 它们的构筑可用生物力学的基本原理进行解释。骨骼矿化的伺服机制 (servomechanism) 可解释施加于骨骼的机械压力以及由此产生的压电微电流 (piezoelectric microcurrent) 对骨细胞的刺激, 以上这些对于骨骼系统塑形的特殊作用。这一机制在骨折后骨骼再生过程中也发挥作用。关节可分为两种类型: 不动关节 (immobile) 和可动关节 (mobile), 前者如颅缝, 后者又包括椎间关节等微动关节 (amphiarthrosis) 和依据关节面形状和连结方式区分为不同类型的运动关节 (diarthroses)。肌肉是具有黏弹性 (viscoelastic) 的单向、非线性作动器 (actuators), 可通过缩短其可收缩部分来产生拉力, 缩短的长度不超过其自身长度的三分之一, 这可用来解释人体各可运动部位的具体构成方式。临床上非常关心肌肉运动的指令与控制。就运动功能的方面来看, 功能性“运动单元 (motor unit)”与一个运动神经元通过开/关模式控制的肌纤维数量相一致, 该数量是可变的, 这说明可能存在一种比例控制 (proportional control)。就感觉功能的方面来看, 本体感觉来自两类传感器 (transducers): 肌梭测量肌肉的僵硬程度进而可检测肌肉放松、收缩、拉伸等三种状态, 高尔基体可测量肌肉产生的拉力。对位置和控制需要皮肤鲁菲尼小体 (Ruffini transducers) 提供的角度信息。有意识的、自主的运动控制用于控制动作, 而非肌肉。

1.1 引言

运动功能是神经系统控制和调节的四大功能之一, 其他三项为: 信息交流、生物维持和“救生包”。运动功能使人体移动

各个部位或使其保持在某一特定位置 (姿势) 成为可能。人体有相当一部分体重的存在是为了实现运动功能, 运动器官的形态也由其塑造, 这包括构成人体支架的骨骼以及移动和固定骨骼的肌肉和关节。在

神经系统中,相当一部分中枢神经系统(脑,包括大脑、脑干和小脑)和周围神经系统(神经根、神经丛和神经)的功能是对运动进行控制。一些特殊的生物力学概念对理解所有这些器官的复杂性和精巧设计非常重要^[1-4]。

1.2 运动器官的组成

1.2.1 骨骼杠杆

骨骼由两种类型的骨组织构成。

1.2.1.1 骨松质和骨密质^[5-14]

骨骼是具有抗机械力的结构,其矿物成分主要由羟基磷灰石、磷酸盐和碳酸钙微结晶构成,矿物质附着于蛋白基质,后者90%的成分为胶原蛋白和黏蛋白。骨骼依据形态可分为短骨、长骨和扁平骨。

胚胎发育过程中有两种成骨方式:

- 直接方式,纤维状骨膜上成骨,如颅盖骨;
- 间接方式,软骨雏形在血管侵入后发生继发骨化而成骨。

骨质分两种:密质和松质。

骨密质由其功能单元,即骨单位构成,骨单位中心有微血管,微血管将成骨细胞从循环血液中带到局部骨组织(图1.1)。

骨单位是在碱性磷酸酶的作用下形成的由同心圆排列的骨板构成的环状骨质结构。骨细胞(osteocytes)位于骨板之中,它们是真正的骨质细胞,其作用是使骨质发生并保持矿化。骨细胞位于微陷窝中,成骨细胞通过细小的骨小管与之交通,共同形成一个互相连接的骨细胞网络。微小的骨板按同心圆方式组合成圆筒状骨单位,蛋白基质中的倾斜的胶原纤维使其具有黏弹性的力学特性。

从力学角度来看,一种材料对机械力的反应表现为应力。应力无法直接测量,只能通过对材料形变(应变, strain)的测量间接确定,这在力学中被称为应变测量(extensometry)(图1.2)。将一些小型电路黏在材料上,使用应变仪(strain gauges)可精确测量材料形变导致的电阻变化,从而实现应变测量。在载荷(load factor)因素下材料纵向和横向的形变被称为“杨氏纵向弹性模量(longitudinal elasticity module of Young)”,骨的杨氏模量在20 000MPa(2000daN/mm²)量级,骨的类型不同,其杨氏模量也不同。“泊松系数”为材料的纵向应变(ϵ_1)与横向应变(ϵ_2)之比^[7]。骨骼是非均质的、各向异性的材料。钢板和螺钉等金属的杨氏模量在200 000MPa(20 000daN/mm²)量级,与骨骼有很大不同,在使用这些材料进行骨折内固定时,将上述生物力学参数考虑进去是十分重要的。

松质骨具有蜂窝状结构,纵向的骨小梁沿着主要受力方向排列和延伸,纤细的横向小梁与之交叉,这样可确保骨骼的整体强度(图1.3)。骨小梁这种沿受力线方向排列的现象在胎儿期间就已出现,此时骨骼尚未受承重的影响。这种结构与用粗的主干和细的金属丝交织来提高混凝土结构牢固稳定程度的方法有异曲同工之妙。在力学上,这种蜂窝状组织因其几何结构而具有很好的承重性能,并且还减少了骨组织的量,明显降低了自重。然而,这种结构仅有轻微的弹性,在过高压力的情况下会产生残余形变(residual deformations),如在椎体骨折或胫骨平台骨折时发生的情况。在骨松质的网眼中,能够产生血液成分的脆弱的造血组织可得到保护。现代飞机的机翼也采用了这种蜂窝状结构,不过内部流动的是煤油燃料。

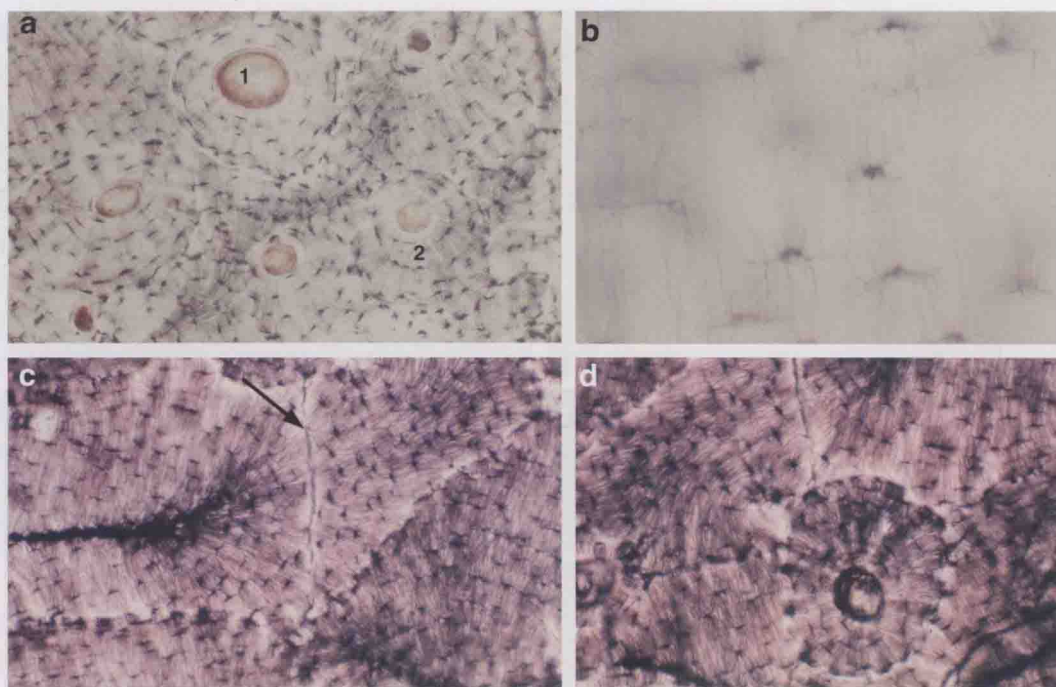


图 1.1 脱水骨切片中的骨密质结构。(a) 1. 走行血管的哈弗管；2. 同心圆排列的成骨细胞。(b) 成骨细胞的细节图，它们与微管网络相互连接形成骨受力传感器。(c) 带微裂痕（箭头指向）的成骨细胞网络。(d) 有着同心圆排列的成骨细胞的骨单元

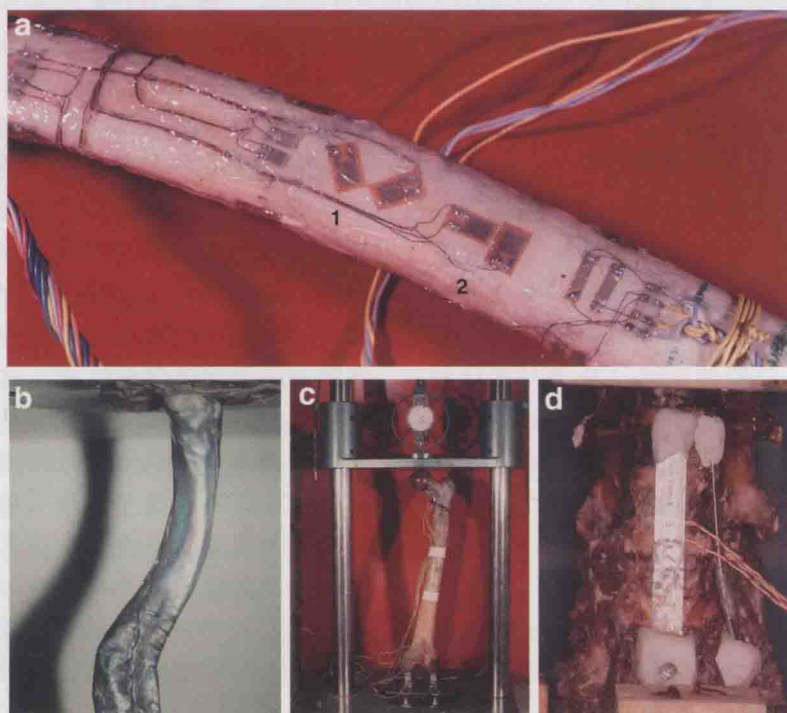


图 1.2 生物力学实验。(a) 股骨上的应变计电桥 (strain gauge bridges): 1. 测量扭矩 (45°); 2. 测量牵拉/压迫。(b) 锁骨光弹应力测试, 蓝色代表受压应变。(c) 压缩机试验中的股骨和应变仪。(d) 用压力传感器测量两块椎骨的受压情况

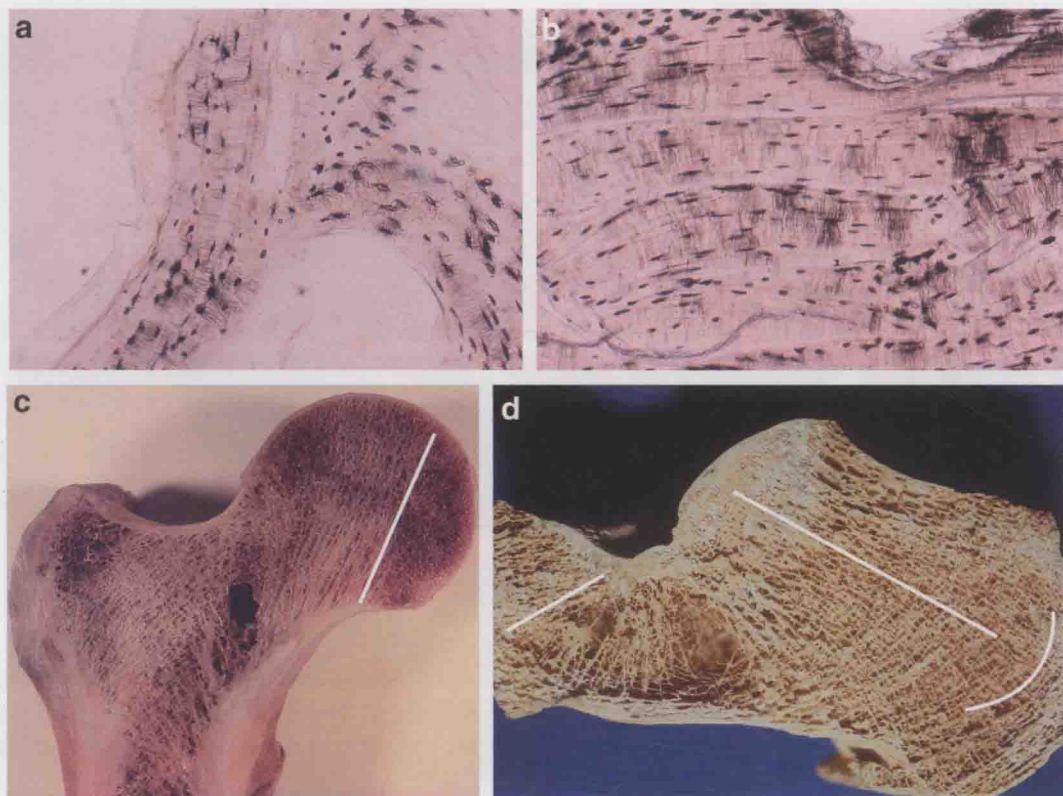


图 1.3 骨松质的骨小梁结构。(a) 骨小梁和成骨细胞的微观结构。(b) 层状骨化。(c) 股骨上部, 沿着力线方向排列的骨小梁。(d) 跟骨: 骨小梁的机械定向

1.2.1.2 骨骼的力感受器

力学因素和骨骼之间一定存在关联, 但是迄今为止, 除了在骨膜中发现极少量的帕西尼小体, 还没能在骨骼中发现力的感受器。这些帕西尼小体不能感受在三个方向上施加于骨骼的应力。基于上述对骨的结构及其相互连接的骨小管网络的描述, 可认为骨骼作为整体就是一个对应力, 主要是压力敏感的力感受器。

1.2.1.3 骨骼矿化伺服机制

骨骼矿化不是静态、稳定的过程。它依赖于新陈代谢和内分泌学因素。同时我们也应强调力学因素的重要性, 它是骨骼矿化伺服机制存在的基础。事实上, 骨骼的矿物成分主要由羟基磷灰石晶体构成,

通过与基质中的胶原纤维接触, 羟基磷灰石晶体形成并沿胶原纤维纵轴与之结合。大家知道, 对磷灰石晶体施加压力时, 会由于压电效应产生正向或负向的微电流。因此, 对骨骼施加载荷也会产生微电流, 微电流可刺激处于成骨细胞包围之中的骨细胞, 进而促进骨骼矿化。这一假说已被实验所证实, 并且可以在许多患者身上得到验证, 例如, 对采用石膏制动的骨折患者进行放射线检查可发现明确的骨质脱钙现象, 因截瘫而不能正常直立的患者会发生严重而危险的骨质疏松症, 甚至在太空失重状态下生活的宇航员, 其骨骼的矿物质也要在返回地球后经过数月时间才能恢复正常。

骨骼因承受载荷而激活矿化伺服机制对骨折修复具有十分重要的积极意义。骨