

IMPLANT SITE DEVELOPMENT

口腔种植位点处理全集

(美) 迈克尔·索尼克 (Michael Sonick) 主编
(美) 黛比·黄 (Debby Hwang)

黄 懋 主译



口腔种植位点处理全集

(美) 迈克尔·索尼克 (Michael Sonick) 主编
(美) 黛比·黄 (Debby Hwang)
黄 懽 主译

北方联合出版传媒(集团)股份有限公司
辽宁科学技术出版社
沈 阳

图文编辑

王 辉 王玉林 杨 春 杨志强 于英楠 张秀月 林铭新 蔡贤华 夏平光 黄卫兵 丁 然
胡 昊 吴 刚 熊承杰 黄 明 施立奇 王华松 魏世隽 陈 磊 汪国栋 兰生辉 康 辉
姚年伟 齐凤宇 肖 艳 彭 闯 伏建斌 郑哲甲 邓海涛 杜玉洁 高亮亮 胡军宝 纪守琪
刘兴环 柳 峻 邱 朔 屈建民 刘 维 曹 强 宋 华 刘 菲

This is translation of Implant Site Development, the edition first published 2012 ©2012 by John Wiley & Sons, Ltd.

ISBN: 9780813825120

By Michael Sonick and Debby Hwang

©2016, 简体中文版权归辽宁科学技术出版社所有。

本书由John Wiley & Sons International Rights, Inc. 授权辽宁科学技术出版社在中国出版中文简体字版本。

著作权合同登记号: 第06-2014-60号。

版权所有·翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

口腔种植位点处理全集 / (美) 迈克尔·索尼克 (Michael Sonick), (美) 黛比·黄 (Debby Hwang) 主编; 黄懂主译.
—沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2017. 1

ISBN 978-7-5381-9855-3

I. ①口… II. ①迈… ②黛… ③黄… III. ①种植牙—
口腔外科学 IV. ①R782.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第151398号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路25号 邮编: 110003)

印刷者: 辽宁新华印务有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 210mm × 285mm

印 张: 27.5

插 页: 4

字 数: 550 千字

出版时间: 2017 年 1 月第 1 版

印刷时间: 2017 年 1 月第 1 次印刷

责任编辑: 陈 刚 苏 阳

封面设计: 袁 舒

版式设计: 袁 舒

责任校对: 李 霞

书 号: ISBN 978-7-5381-9855-3

定 价: 498.00 元

投稿热线: 024-23280336

邮购热线: 024-23284502

E-mail: cyclonechen@126.com

http://www.lnkj.com.cn

译者名单

Translators

主译：黄 懂

译者：黄 懂 贺 刚 陈 钢 时春宇 孙 鹏

审校：陈 波 张 鹏 王 莺

编著者简介

Contributors

主编

Michael Sonick DMD

Private Practice
Fairfield, CT, USA

Debby Hwang DMD

Private Practice
Ann Arbor, MI
and Fairfield, CT, USA

副主编

André P. Saadoun DDS, MS

Diplomate, American Academy of Periodontology
Former Associate Professor, Department of Periodontics
University of Southern California
Los Angeles, CA, USA
Visiting Professor, Department of Periodontics and
Implantology
Hadassah School of Dental Medicine
Jerusalem, Israel

参与者

Eduardo Anitua MD, DDS, PhD

Director of Anitua's Dental Research Institute
Vitoria, Spain

Michael S. Block DMD

Private Practice
Metairie, LA, USA

Nardy Casap DMD, MD

Senior Lecturer and Graduate Program Director
Department of Oral and Maxillofacial Surgery
Hadassah School of Dental Medicine
Hebrew University
Jerusalem, Israel

Frank Celenza DDS

Private Practice
New York, NY, USA

Robert A. Faiella DMD, MMSc

Diplomate, American Board of Periodontology
Private Practice
Osterville and Duxbury, MA, USA

Stefan Fickl DMD, PhD, Priv.-Doz.

Clinical Associate Professor
Department of Periodontology
Julius-Maximilians-University
Würzburg, Germany

Stuart J. Froum DDS

Clinical Professor and Director of Clinical Research
Department of Periodontology and Implant Dentistry
New York University, College of Dentistry
New York, NY, USA

Scott D. Ganz DMD

Clinical Assistant Professor, Department of Restorative
Dentistry
University of Medicine and Dentistry of New Jersey
New Jersey Dental School
Newark, NJ, USA
Prosthodontics, Maxillofacial Prosthetics, and Implant
Dentistry
Fort Lee, NJ, USA

William V. Giannobile DDS, DMedSc

Najjar Professor of Dentistry and Director
Michigan Center for Oral Health Research
School of Dentistry
Professor of Biomedical Engineering
College of Engineering
University of Michigan

Ann Arbor, MI, USA

Christopher Haggerty DDS, MD

Private Practice
Kansas City, MO, USA

Markus B. Hürzeler DMD, PhD, Prof. Dr. med. dent.

Clinical Associate Professor
Department of the Operative Dentistry and
Periodontology
School of Dental Medicine
Albert-Ludwigs-University of Freiburg
Freiburg, Germany
Private Practice
Munich, Germany

Jack T. Krauser DMD

Private Practice
Boca Raton, FL, USA

Robert A. Levine DDS

Clinical Professor in Postgraduate Periodontics and
Implantology
Kornberg School of Dentistry
Temple University, Philadelphia, PA, USA
Private Practice, Pennsylvania Center for Dental
Implants and Periodontics
Philadelphia, PA, USA

George A. Mandelaris DDS, MS

Diplomate, American Board of Periodontology
Private Practice, Periodontology and Dental Implant
Surgery
Park Ridge and Oakbrook Terrace, IL, USA

Craig M. Misch DDS, MDS

Private Practice in Oral Maxillofacial Surgery and
Prosthodontics
Sarasota, FL, USA
Clinical Associate Professor
Periodontology and Implant Dentistry
New York University College of Dentistry
New York, NY, USA

Gorka Orive PhD

Associate Professor of Pharmacy
Head of the Laboratory of Regenerative Medicine at BTI
Biotechnology Institute
Vitoria, Spain

George Priest DMD

Diplomate, American Board of Prosthodontics
Private Practice in Prosthodontics
Hilton Head Island, SC, USA

Hector F. Rios DDS, PhD

Assistant Professor, Division of Periodontology
Department of Periodontics and Oral Medicine
The University of Michigan, School of Dentistry
Ann Arbor, MI, USA

Davide Romeo DDS, PhD

Research Associate
Department of Periodontology and Implant Dentistry
New York University College of Dentistry
New York, NY, USA
Private Practice, Milan, Italy

Paul S. Rosen DMD, MS

Clinical Associate Professor of Periodontics
Baltimore College of Dental Surgery
University of Maryland
Baltimore, MD, USA
Private Practice
Yardley, PA, USA

Alan L. Rosenfeld DDS

Diplomate, American Board of Periodontology
Private Practice in Periodontology and Dental Implant
Surgery
Park Ridge and Oakbrook Terrace, IL, USA

Yuval Samuni DMD, PhD

Department of Oral and Maxillofacial Surgery
The Barzilai Medical Center
Ashkelon, Israel

Avi Schetrit DMD

Diplomate, American Board of Periodontology
Private Practice
Miami, FL, USA

Peter C. Shatz DDS, FICD

Assistant Clinical Professor
Georgia Health Sciences University
Augusta, GA, USA
Private Practice
Atlanta, GA, USA

Lee H. Silverstein DDS, MS, FACP, FICD

Associate Clinical Professor
Department of Periodontology
Georgia Health Sciences University
Augusta, GA, USA
Private Practice
Marietta, GA, USA

Christian F.J. Stappert DDS, MS, PhD, Priv.-Doz.

Director of Aesthetics and Periodontal Prosthodontics
Department of Periodontology and Implant Dentistry
New York University College of Dentistry
New York, NY, USA

Michael Toffler DDS

Diplomate, American Board of Periodontology
Private Practice
New York, NY, USA

Istvan Urban DMD, MD

Adjunct Assistant Professor
Advanced Education in Implant Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, CA, USA
Private Practice
Budapest, Hungary

Tomaso Vercellotti MD, DDS

Private Practice
Genova, Italy
Honorary Professor, Eastman Dental Institute
London, England
Visiting Professor
University of Bologna
University of Genova
Genova, Italy

前言

Foreword

人本能地就想要返老还童。在口腔医学中，这种追求孕育了种植学科和骨移植的跳跃性发展。这本书为所有临床医生将最近的创新技术进行介绍和指导，它是一个决策的伙伴、一个文献的指导，可以指导医生进行治疗计划设计、治疗和跟踪。没有比这更全面、彻底、贴近临床，还具有科学支持的手术指南了。本书是专家收集并以浅显易懂的方

式概括的临床问题，让所有读者印象深刻。本书的学习有助于我们完成为患者更进一步恢复他们自然的形态和功能的使命。

Richard Lazzara, DMD, MScD

译者前言

The translator foreword

开展种植牙治疗的口腔医生在临床实践时，必然要面对各种常见的和复杂的种植牙位点处理问题。种植牙位点处理常常决定了种植牙治疗的成败，很多医生都希望能有一本系统阐释这方面技术的专业著作。2013年全球著名的种植牙骨再生专家 Sascha.A Jovanovic和Istvan Urban来北京gIDE/LLU课程讲学，他们在种植牙位点处理领域的知名度都是享誉全球。当时他们就向我推荐了这本《Implant Site Development》著作。本著作非常全面和细致地阐述了种植牙位点处理中的生物学原理以及临床技术，是一本不可多得的、实践性很强的种植牙专著。《口腔种植位点处理全集》帮助临床医生决策：在什么时候，以及如何在种植位点重建牙槽嵴。本书从实践出发，系统地讲述了如何在各种临床情况下保存牙槽嵴。本书还讨论了不同的治疗选择、治疗时机、使用的材料、具体操作技术，以及相应的临床应用。Istvan Urban医生还在本书中首次系统阐释了垂直骨增量技术。

从临床治疗的整体考虑出发，《口腔种植位点处理全集》一书覆盖了当今最广泛的种植牙位点处理技术。本书应用了大量的图片、临床照片，对开展种植牙治疗的口腔全科医生、修复医生，特别是外科医生都有很大的指导作用。本书的内容都以文献研究为基础，对于开展种植牙技术，无论是年轻医生还是高年资医生来说，都是一本不可或缺的参考书。

感谢为此书中文版出版付出辛勤努力的贺刚医生，陈钢医生，时春宇医生和孙鹏医生。他们花费了大量时间参与此书的翻译工作。另外，还要感谢陈波医生、张鹏医生和王莺医生，他们做了大量的审校工作。由于能力有限，书中不免有疏漏不妥之处，还请广大读者批评指正。

黄懂

2016年7月

鸣谢

Acknowledgments

Michael Sonick 和 Debby Hwang 希望感谢以下人员，感谢他们坚定的支持和精湛的学术：

- 我们从容的、充满奇迹的团队如下：Wiley 公司的 Sophia Joyce, Melissa Wahl 和 Shelby Allen；在 Toppan 有限公司的 Janet Hronek
- 本书所有的作者，他们证明了自己天赋过人、乐于助人、高尚和蔼
- 那些将他们科学理性思维和经过临床考证

的知识传授给我们的导师、老师、同事，尤其是 Abe Shuster, Tom Van Dyke, Steven Offenbacher, Dennis Tarnow, Kendall Beachum, Richard Lazzara, David Garber, Alan Seel William Giannobile

- 我们天才的，耐心的修复科同事
- 我们无与伦比的同事，尤其是 Patty Bernardos, Liz Correia, Verity Rollins, Kenisha Taylor

目录

Contents

第1章 骨组织生物学及骨再生的原则	1
<i>Hector F. Rios DDS, PhD 和 William V. Giannobile DDS, DMedSc</i>	
第2章 骨解剖学	14
<i>George A. Mandelaris DDS, MS 和 Alan L. Rosenfeld DDS</i>	
第3章 治疗的哲学	35
<i>Debby Hwang DMD 和 Michael Sonick DMD</i>	
第4章 对有牙周损害的牙齿进行再生治疗的决策方法： 保留这些牙齿，当种植牙也确定能够作为替代治疗方案的时候	54
<i>Paul S. Rosen DMD, MS 和 Stuart J. Froum DDS</i>	
第5章 种植牙周学创造美丽笑容	75
<i>André P. Saadoun DDS, MS</i>	
第6章 CT/CBCT用于植骨的诊断和治疗计划制订	101
<i>Scott D. Ganz DMD</i>	
第7章 种植体植入位点的进展：牙槽窝保存	121
<i>Jack T. Krauser DMD 和 Avi Schetritt DMD</i>	
第8章 种植在正畸中的作用	136
<i>Frank Celenza DDS</i>	
第9章 引导骨再生：概念和材料	153
<i>Debby Hwang DMD 和 Michael Sonick DMD</i>	
第10章 种植位点预备：应用颗粒状同种异体骨进行水平牙槽嵴骨增量和引导性骨再生的方法	179
<i>Robert A. Levine DDS</i>	
第11章 引导骨再生：种植体周围骨再生	202
<i>Debby Hwang DMD 和 Michael Sonick DMD</i>	
第12章 诱导骨再生：垂直骨增量	216
<i>Istvan Urban DMD, MD</i>	

第13章 口腔种植前的口内取骨进行骨增量	232
<i>Craig M. Misch DDS, MDS</i>	
第14章 大面积骨缺损和严重萎缩情况下的植骨	250
<i>Nardy Casap DMD, MD 和 Yuval Samuni DMD, PhD</i>	
第15章 上颌窦提升术：骨挤压介导的方法	270
<i>Micheal Toffler DDS</i>	
第16章 上颌窦提升术：侧壁开窗方法	292
<i>Tomaso Vercellotti MD, DDS</i>	
第17章 牵张成骨	309
<i>Michael S. Block DMD 和 Christopher Haggerty DDS, MD</i>	
第18章 即刻种植：全面理解，获取最佳临床效果	320
<i>Robert A. Faiella DMD, MMSc</i>	
第19章 软组织增量：种植前、种植中和种植后	341
<i>Stefan Fickl DMD, PhD, Priv. -Doz. 和 Markus B. Hürzeler DMD, PhD</i>	
第20章 种植体植入后的软组织改善	361
<i>Christian F.J. Stappert MS, DDS, PhD, Priv. -Doz. 和 Davide Romeo DDS, PhD</i>	
第21章 软组织增量：同种异体移植	383
<i>Peter C. Shatz DDS, FICD 和 Lee H. Silverstein DDS, MS, FACD, FICD</i>	
第22章 种植体临时修复和最终修复的软组织诱导成形	398
<i>George Priest DMD</i>	
第23章 生物工程概念	419
<i>Eduardo Anitua MD, DDS, PhD 和 Gorka Orive PhD</i>	

第1章

骨组织生物学及骨再生的原则

Hector F. Rios DDS, PhD 和 William V. Giannobile DDS, DMedSc

前言

骨是在不断活动改建的组织，对多种刺激敏感，具有将机械力刺激信号转变为化学刺激信号的能力，因此增加了其适应及维持骨组织生理需要的能力（Bonewald and Johnson, 2008; Burger et al., 1995; Duncan and Turner, 1995; Marotti, 2000; Marotti and Palumbo, 2007）。这种适应的能力来源于严密协调合作的合成代谢及分解代谢过程，使得骨的代谢和结构处于一个稳态（Turner and Pavalko, 1998）。多种因素会对这个系统产生影响（如生化、激素、细胞层面和生物力学），从而共同决定骨质（Ammann and Rizzoli, 2003; Ma et al., 2008; Wallach et al., 1993）。临床上，骨质被认为是一个重要指征，提示骨骼远期的机械性能。在骨骼内部，不同区域的骨质常常不同，这取决于很多方面：细胞数量及细胞之间交联、骨密度、骨宏观结构、微观结构以及有机质与无机质的含量比例（Ammann and Rizzoli, 2003; Dalle Carbonare and Giannini, 2004; Ma et al., 2008; O' Brien et al., 2005; Viguet-Carrin et al., 2006）。因此，种植的成功与否和医生对骨质的基本生物学和生理学原理的理解程度有关，因为这会有助于外科医生在临床中选择合适的技术，以加强种植体周围的骨生态稳定。

因此，这一章旨在为医生种植前提供基本的骨骼发育、组成、代谢及再生的入门知识。

骨发育

在胚胎发育期，骨骼直接或间接地形成于成骨过程。对于上下颌骨而言，间充质祖细胞聚集并直接分化成为成骨细胞，此过程称为膜内成骨。而不同的是，在下颌骨髁突、长骨和椎骨的形成源于软骨板，后者作为基质逐渐被骨替代。这种依靠软骨的骨形成发生过程称为软骨内成骨（Ranly, 2000）（图1.1）。

牙槽骨在受伤、疾病及大创伤后会经历一个骨修复过程，包含膜内成骨和软骨内成骨两种途径（Rabie et al., 1996; Virolainen et al., 1995）。类似的过程发生在大多骨种植技术中，局部有骨传导、骨诱导和骨生成的参与。

骨细胞

骨内有多种细胞成分。这些不同的骨细胞包括前体成骨细胞、成骨细胞、破骨细胞、骨细胞和骨髓造血成分。这一章内容主要是介绍在骨稳态形成中发挥重要作用的3个细胞。

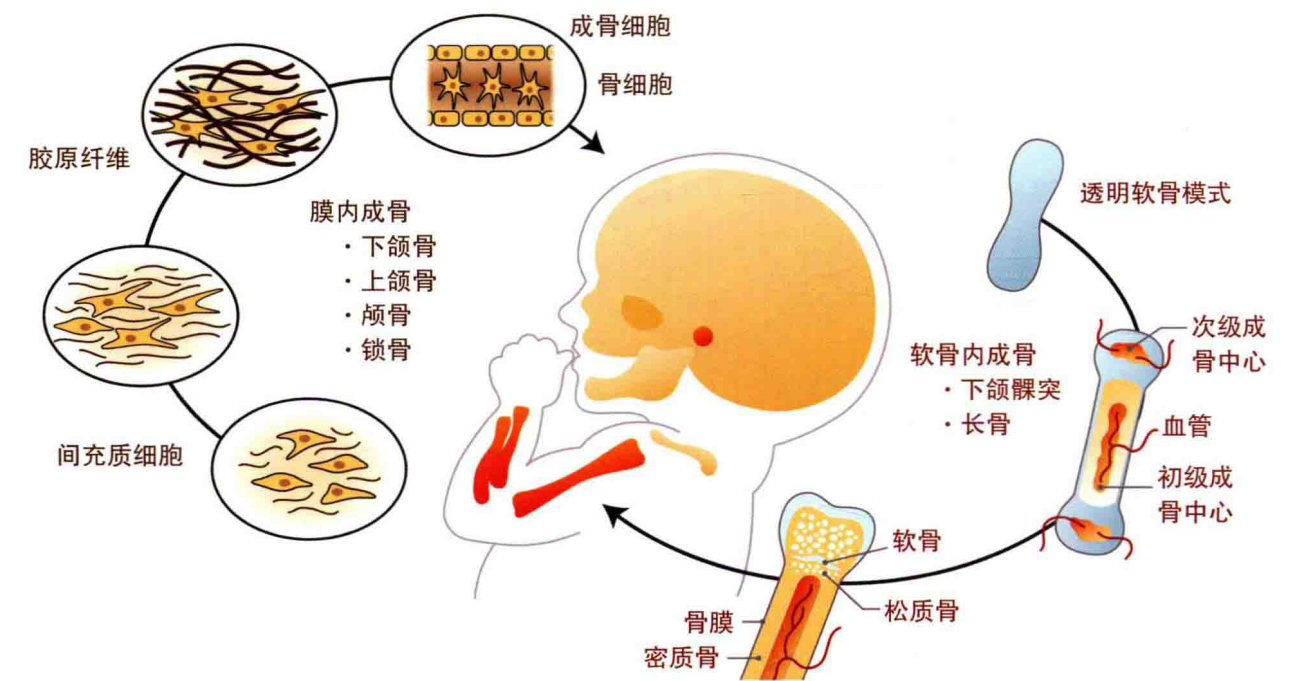


图1.1 在膜内成骨时，随着间充质凝聚，形成了一个成骨中心。随着富含胶原的细胞外间质发育成熟，前成骨细胞进一步分化形成成骨细胞，并包埋在不断矿化的基质中，逐渐形成骨单位。在颅面复合体中多数骨是以此机制成骨的。另一方面，骨骼中的长骨和下颌骨髁突部分则始于软骨板的形成和钙化，后期被破骨细胞吸收后被骨质替代。软骨内成骨的发生使得初级成骨中心和次级成骨中心间被一层叫生长板的软骨隔开。随着这两种过程骨不断成熟，通过相似的骨重塑机制，不同区域的骨密质和骨松质不断形成。

成骨细胞是成骨的关键细胞。它们合成有机质并调节介导基质的矿化（图1.2）。成骨细胞位于活性成骨基质的表面，随着成骨过程的逐渐完成，部分成骨细胞会分化为骨细胞，另一些则存于骨膜或骨表面，成为骨衬里细胞。骨衬里细胞是长条状的细胞，覆盖骨组织表面，不具有成骨活性（Rodan, 1992）。

骨细胞是卫星形状，夹于矿化的骨基质之间的空隙内，即骨陷窝（Lacunae）。它们之间通过树突形成一个细胞质网络。这些细胞质突起延伸于圆柱形空间的骨小管内（Bonewald, 2007）。它们延伸到不同区域，与血管和其他骨细胞相联系。因此骨细胞网络作为一个细胞内及细胞外的信息通道，对于因骨机械刺激和骨形变造成的骨小管液体剪切压力变化很敏感（图1.3）。这些机械信号被转换成生物分子信息帮助骨生成及破坏的协同合作。这种结构使得骨细胞可参与血钙平衡的调节和感受机

械刺激并将信号传播到其他骨内细胞，协调成骨运动和破骨运动（Burger et al., 1995; Marotti, 2000）。

骨形成过程中还同时伴有骨吸收，后者为破骨细胞启动并维持调节。破骨细胞是由单核细胞/巨噬细胞造血系中分化而来的特殊多核细胞（图1.4）。这些细胞可以分化吸附于骨基质表面，随后分泌酸和溶解酶，降解破坏骨及软骨的无机、有机结构。这种基质降解过程形成一个特异的细胞外空隙，被称为骨吸收陷窝（Howship's lacuna）（Rodan, 1992; Vaananen and Laitala-Leinonen, 2008; Vaananen et al., 2000）。

骨的组成

骨是一种特殊的结缔组织，由有机质和无机质共同组成（图1.5、图1.6）。有机质部分占了全骨重量的30%~35%，其中90%为I型胶原，剩余

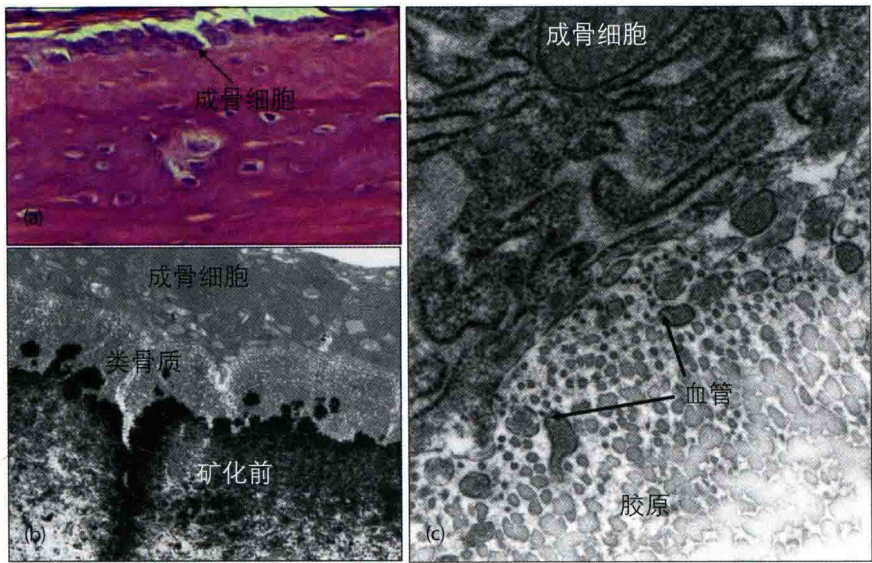


图1.2 成骨细胞分化自骨髓造血原始细胞，负责不成熟骨质的生成，也就是类骨质。(a) 箭头指示了一组覆盖于成熟骨表面的成骨细胞，骨已矿化且含有散在细胞。(b) 这些成骨细胞的进一步电镜放大图像显示，这些细胞含有丰富的内质网和高尔基体，支持其强代谢活动。在成骨细胞下方是一层矿化未完全的富含胶原的结构，即类骨质。随着胶原矿化，形成了一个明显的矿化前缘和一些矿化核心。(c) 这个图显示了高度放大的成骨细胞外基质。靠近细胞附近的胶原纤维横截面被展示出来。箭头指示一系列从成骨细胞中分泌而出的高电子密度颗粒。这些结构被认为可通过在软骨内协助形成矿化中心从而有助于骨的矿化过程。

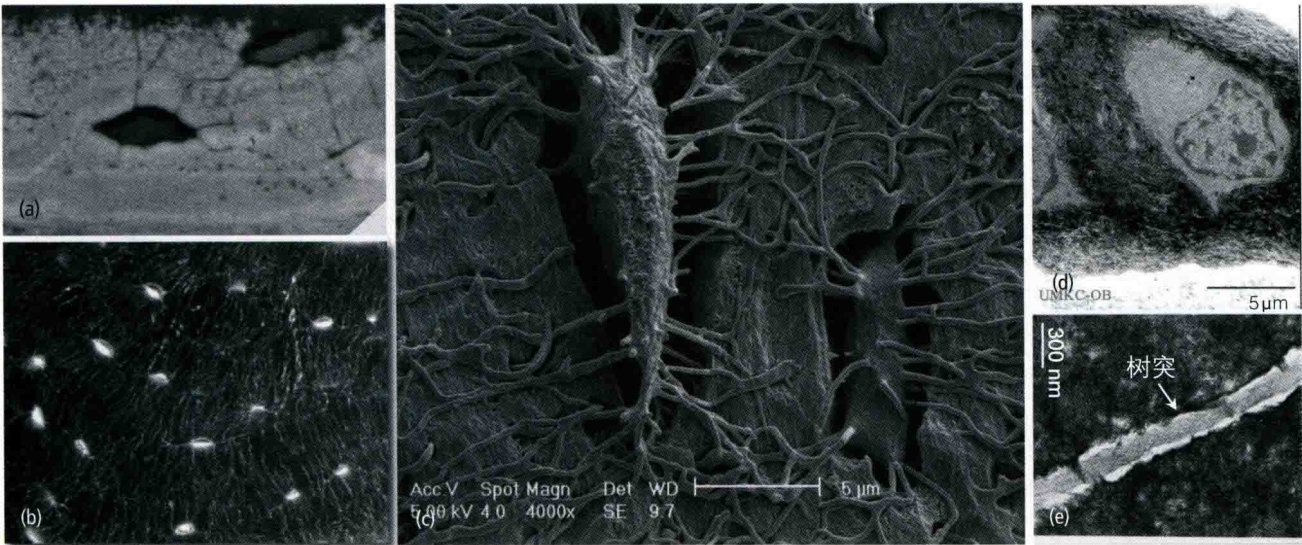


图1.3 骨细胞可被认为是骨再塑形的协调者。(a) 随着骨的形成，一部分成骨细胞包埋于骨内，随后矿化并在成熟基质内成为骨细胞，正如通过钨处理细胞所得的反向散射扫描电子显微镜 (SEM) 图像所示。(b) 如图所示，包埋的骨细胞互相交联，在骨内形成网络，使得细胞具有压力感受能力，成为协调骨改建的关键因素。(c) 包埋的骨小管的SEM 图像显示了两个骨细胞之间的交联程度及骨小管的基本结构大小。(d) 围绕骨细胞的一圈高矿化度骨质在透射电子显微镜下清晰可见：尽管细胞看似静止，实际上代谢活跃，并会不断分泌一些因子调节周围微生态环境。(e) 骨小管内的细胞质突通过透射电子显微镜得以显现，骨小管内液体流动会造成骨细胞膜表面的剪切力变化。骨细胞和骨小管这种独特的细胞生物工程结构使得机械刺激得以转化为生化信号，是骨稳态形成的基础。

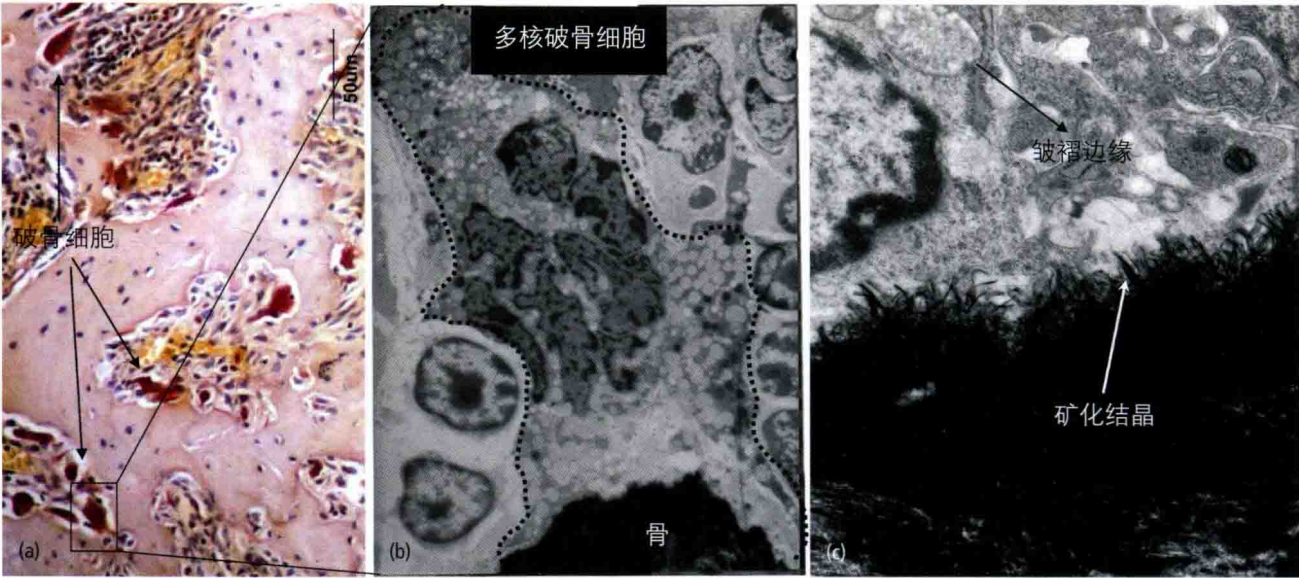


图1.4 破骨细胞分化自单核细胞/巨噬细胞造血系，负责骨内的骨吸收工作。(a) 组织学上，破骨细胞根据形态学可以被归类为多核细胞，附着于骨基质表面，或者通过特殊染色如耐酒石酸磷酸酶（TRAP）染色可见其染色为红色，如箭头所指示。(b) 此图展示了附着于骨表面的破骨细胞的透射电子显微镜影像。(c) 黑色箭头显示了细胞吸收面的褶皱边缘。其胞质内富含质子泵和氯通道，形成一个强酸性的胞外环境。这个空隙被称为骨吸收陷窝，并被细胞使用肌动蛋白环封闭起来。大量增加的胞内向胞外运送的酶、质子和氯离子经过褶皱边缘不断外排酸化这个环境，使得骨的有机、无机成分均开始崩解。

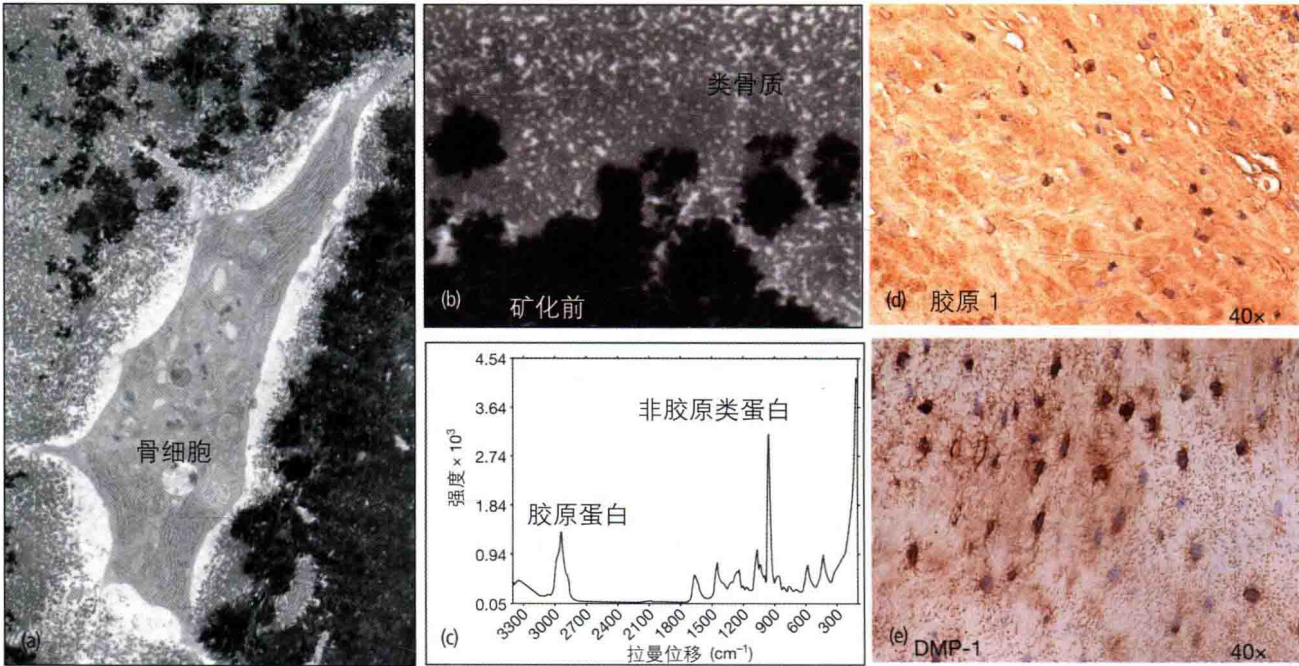


图1.5 一开始骨形成时，完全是富含胶原及其他非胶原分子的有机质。(a) 透射电子显微镜清晰地展示了纯有机质转变为矿化基质的过程，骨细胞被包埋在成熟的骨基质中。(b) 随着基质矿化成熟，矿化核心形成和增长受到胞外基质内的有机成分调节。图示矿化核心的增长、形成环状结构。图示随着矿物质沿着有机纤维不断增聚，形成了一个清晰的矿化前缘，看清类骨质转化为成熟骨的过程。(c) 通过拉曼光谱学分析骨的化学成分发现其富含胶原和非胶原类蛋白。(d) I型胶原蛋白是骨内最主要蛋白，均匀地分布在基质内，正如免疫荧光化学图案所示。(e) 其他分子如DMP-1 会更倾向于有特殊的时空分布特异性。DMP-1 由骨细胞高度表达，被认为在骨的矿物质代谢中起重要作用。

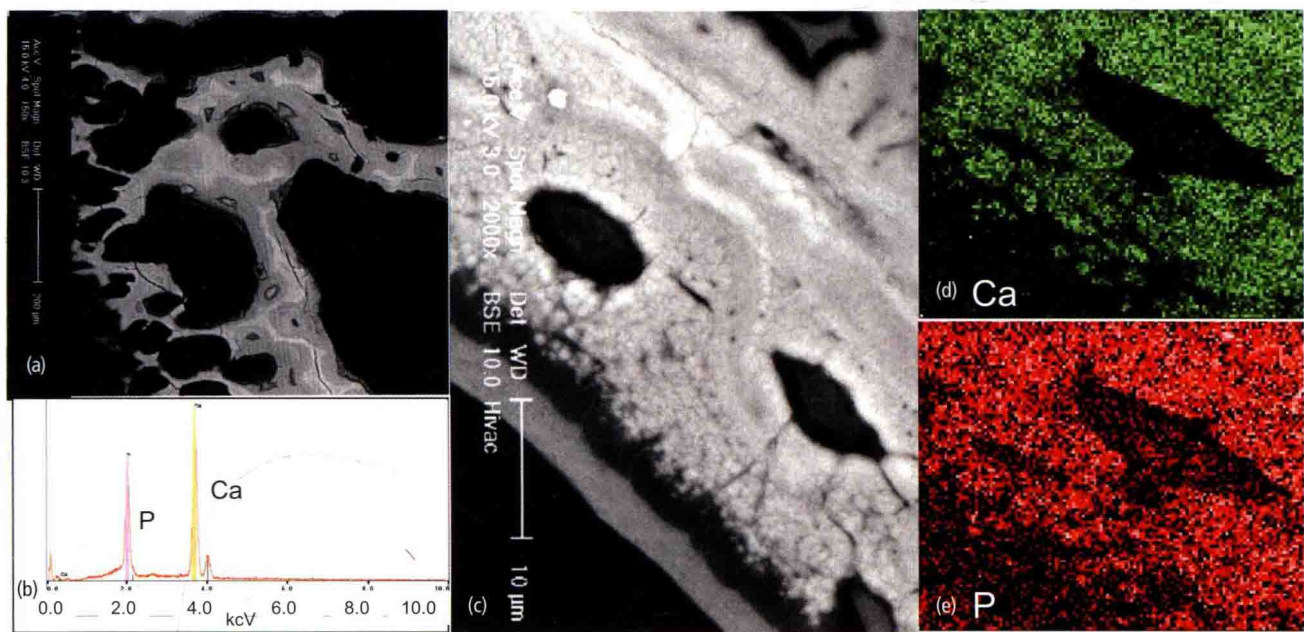


图1.6 (a) 反向散射扫描电子影像将矿物质高亮显示出来。注意成熟骨内部不同位置有不同程度的矿化。(b) 矿物质内部的一些特异成分可以被能量弥散X射线谱(EDS)显示出来。在此图中钙和磷如预期一般呈现较高峰值, 这与它们是羟基磷灰石中的主要成分有关。(c) 注意在矿化前缘大多呈点状的矿物质分布和成熟板状骨内的较均匀分布矿物质之间的区别。(d, e) 靠近骨细胞周围的矿化前缘位置内钙及磷的能量弥散X线谱图(图内近左下方的较暗区域)。

10%为非胶原类蛋白、蛋白聚糖、糖蛋白、碳水化合物和脂质。有机质是由成骨细胞生成的, 在未矿化前叫类骨质。在胶原纤维中, 矿化中心不断有钙、磷离子的不断沉积最终形成羟基磷灰石晶体。位于胶原纤维表面的非胶原类蛋白协助矿物成分的扩大以及基质矿化的完成。一般矿化在基质形成的几天内开始形成矿化核心, 但是其通过羟基磷灰石结晶的不断完成和成熟需要几个月的时间, 并且随着基质的不断形成, 通过骨内荧光染料标记可以清晰地看见一个明显的矿化前缘(图1.7)。类骨质的矿化为骨提供了强度和刚性, 使骨可以承载并保护敏感器官, 同时也积存了矿化物质, 为系统稳态做出贡献。

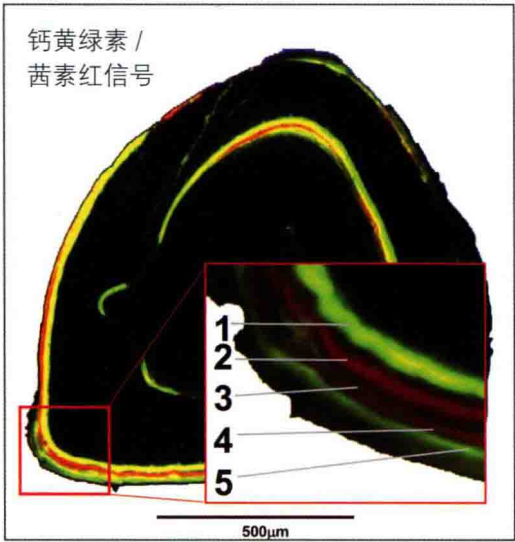


图1.7 骨的形成速度往往通过骨荧光染色的办法来评价。钙黄绿素(绿色)和茜素红信号在不同时间点的描绘图可以展示出矿化前缘。