

中华骨科治疗学丛书

张树桢 王新华 杜茂信 主编
陈聚伍 赵松海 赵国强

骨折生物力学 治疗学

中国科学技术出版社

中华骨科治疗学丛书

骨折生物力学治疗学

张树桢 王新华 杜茂信 主 编
陈聚伍 赵松海 赵国强

中国科学技术出版社
·北 京·

图书在版编目(CIP)数据

骨折生物力学治疗学/张树栓,王新华,杜茂信等主编.
北京:中国科学技术出版社,2001.8
(中华骨科治疗学丛书·曹建中等主编)
ISBN 7-5046-3094-2
I. 骨… II. ①张…②王…③杜… III. 骨折-
治疗学 IV. R683.05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 033470 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:62179148 62173865

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京卫顺印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:11 字数:272 千字

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

印数:1-2000 册 定价:38.00 元

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 提 要

骨折生物力学治疗学是一门新兴的多学科边缘科学,它为骨折治疗提供了理论依据和准则。本书分3篇10章,插图280余幅,论述了骨骼生物力学特征,综合了国内外生物力学研究成果和理论知识,以及成功的临床治疗经验,提出了4条骨折生物力学治疗准则,介绍了各个部位骨折最新的合乎生物力学治疗准则而被人们所公认的治疗方法,供广大读者参考应用。

《骨折生物力学治疗学》编委会

主 编 张树桢 王新华 杜茂信 陈聚伍 赵松海
赵国强

副主编 (以姓氏笔画为序)

王守民 关志宏 马希峰 杜庆民 郑国喜
张加和 张卫东 张培勋 杨光群 徐长科
黄久勤 谢昌平 崔庆元

编 委 (以姓氏笔画为序)

丁广甫 王守民 王新华 关志宏 刘如月
马希峰 杜庆民 杜茂信 陈聚伍 陈明华
郑国喜 张加和 张卫东 张培勋 张树桢
杨光群 徐长科 郭隆颺 赵志坚 赵松海
赵国强 黄豫增 黄久勤 谢昌平 崔庆元

责任编辑:任杏华

责任校对:冯 静

责任印制:王 沛

《中华骨科治疗学》丛书编辑委员会

主任委员 曹建中 狄勋元 汤成华

副主任委员 (以姓氏笔画为序)

王 兵	王 耶	王 伟	王永善	刘成文
刘国平	孙材江	张大勇	张世清	张树桢
邵 斌	周 健	胡广州	陈延武	党小伍
姚吉龙	谭新华	谭金月		

委 员 (以姓氏笔画为序)

王 兵	王 晓	王 耶	王 伟	王永善
王觉英	王新华	刘成文	刘国平	刘海英
孙材江	龙任喜	李文其	李文俊	李利克
李晓东	杜茂信	狄勋元	汤成华	陈延武
陈晶晶	陈泽群	陈聚伍	邵 斌	周 健
姚吉龙	张大勇	张世清	张树桢	党小伍
赵国强	赵松海	胡广州	钟新翔	黄相杰
曹 宏	曹雁翔	曹建中	寇伯龙	隋邦森
姬亚非	温树正	彭深山	杨辉芳	谭金月
谭新华				

前 言

人类已进入新的世纪,医学科学与其他学科一样发展很快,尤其临床医药学继承了中国传统医学之精髓,兼并吸收了西方医学的新观点、新技术和新方法。我国临床医药学界的学者们走中西医结合之路,勇于探索,敢于实践,在临床治疗学领域的许多方面均取得了较好的创新进展,使我国临床治疗学在当今世界医学中占有重要的地位。

《中华骨科治疗学丛书》16册,全文约800万字。丛书作者们认真总结了我国临床骨科医学领域里的新成果;选录了国内外临床骨科医学最新学术动态;突出了临床实用的特点,贯穿了古为今用,中西医结合的原则。《丛书》围绕骨科临床治疗医学这一主题,各有侧重,但又相互渗透,书中图文并茂,结构严谨,具有独特的风格。全书参考面广,专业性强,是我国目前较全面系统地论述骨科临床治疗医学的大型系列参考著作。

几十年来在骨科临床治疗医学的进程中,我国有一批献身于中西医结合的专家,他们在各自的领域里奋发努力,艰苦创新,在探索中西医结合的理论、方法方面做了许多开拓工作,并在科研、医疗、教学方面取得了令人瞩目的成就。

如何以辩证唯物主义思想为指导,遵循我国传统医学理论,吸取中西医骨科临床治疗医学之长,创建中西医结合骨科治病的新体系,使之系统化、专业化、理论化,反映我国骨科临床治疗医学新水平,使这一新的疗法处于世界领先地位,对于开展骨科临床治疗、科研、教学等具有极为重要的现实意义和深远的历史意义。

《中华骨科治疗学丛书》是作者们多年的精心设计和临床总结。文字通俗易懂、融会贯通、重点突出,可供骨科、放射学科、护理及相关学科的同道参考,也可作为大中专高等医药院校教学、参考资料。

中华人民共和国卫生部原部长钱信忠为《中华骨科治疗学丛书》的出版题词。参加丛书编写的单位有:第一军医大学附属南方医院、第一军医大学附属珠江医院、哈尔滨医科大学、锦州医学院、北京大学深圳市中心医院、河南医科大学、内蒙古医学院、河南大学附属淮河医院、上海市闸北区中心医院、广东省河源市人民医院、宁波市灵塔医院、上海市吴淞中心医院、深圳市人民医院、深圳市宝安区人民医院、益阳市中心医院、河南省三门峡人民医院等单位的部分专家、教授及中青年作者。在此一并致谢。

《中华骨科治疗学丛书》编辑委员会
2001年7月4日

目 录

第一篇 骨科生物力学基础理论

第一章 生物力学概述	(1)
第二章 骨的生物学	(4)
第一节 骨的发生	(4)
第二节 骨的正常组织结构	(5)
第三章 骨的生物力学概述	(13)
第一节 骨骼生物力学的基本概念	(13)
第二节 骨的生物力学	(15)

第二篇 骨折生物力学治疗学总论

第四章 骨折生物力学治疗学理论基础	(25)
第一节 前言	(25)
第二节 骨折的生物力学概念	(25)
第三节 暴力的种类与骨折类型的关系	(26)
第四节 骨折的病理过程	(28)
第五节 骨折愈合过程	(31)
第六节 影响骨折愈合的生物力学因素	(34)
第七节 加速骨折愈合的生物力学因素	(35)
第八节 骨折生物力学治疗准则	(35)
第九节 骨折固定的基本方法	(36)
第五章 骨折内固定的基础知识	(37)
第一节 内固定材料的选择要求	(37)
第二节 骨折内固定的生物力学原理	(37)
第三节 钉板内固定系列	(40)
第四节 髓内针内固定系列	(49)
第五节 其他内固定	(53)
第六章 骨折外固定器固定的生物力学	(54)
第一节 概念	(54)
第二节 发展简史	(54)
第三节 骨折外固定器的基本结构及要求	(54)
第四节 骨折外固定器的生物力学原理和类型	(55)

第三篇 骨折生物力学治疗技术(各论)

第七章 下肢骨折生物力学治疗技术	(59)
第一节 股骨颈骨折	(59)
第二节 股骨粗隆间骨折	(63)
第三节 股骨头骨折	(67)
第四节 股骨粗隆下骨折	(69)
第五节 股骨干骨折	(71)

第六节	股骨髁上及髁部骨折	(75)
第七节	髌骨骨折	(77)
第八节	胫骨平台骨折	(79)
第九节	胫骨干骨折	(80)
第十节	踝部骨折	(83)
第八章	上肢骨折生物力学治疗技术	(86)
第一节	锁骨骨折	(86)
第二节	肱骨外科颈骨折	(88)
第三节	肱骨干骨折	(89)
第四节	肱骨髁上骨折	(90)
第五节	肱骨外髁骨折分离	(93)
第六节	肱骨内髁骨折或骨折分离	(94)
第七节	肱骨髁间骨折	(95)
第八节	尺骨鹰嘴骨折固定术	(96)
第九节	桡骨颈与小头骨折	(98)
第十节	孟氏(Monteggia)骨折	(99)
第十一节	尺、桡骨干骨折	(99)
第九章	骨盆骨折	(102)
第一节	骨盆解剖结构与生物力学	(102)
第二节	骨盆骨折分类	(103)
第三节	骨盆骨折的治疗	(105)
第十章	脊柱骨折	(118)
第一节	脊柱解剖及其生物力学	(118)
第二节	脊柱骨折脱位的治疗	(133)

第一篇 骨科生物力学基础理论

第一章 生物力学概述

一、生物力学的概念

生物力学是研究生物学和力学及其两者相关的边缘科学。医用生物力学是用力学的理论,从力学的角度研究、认识、解释人体解剖结构,生理功能及其病理现象并指导治疗的新兴学科。骨科生物力学是用力学的基本原理来研究、认识、解释人体骨骼解剖结构、生理和病理现象的,从而用生物力学原理制定治疗原则、治疗标准和治疗措施,并用来评定治疗方法的优缺点或正确与否,如骨折固定,人工关节置换,关节成型的方法和器械的选材、设计、制作及其操作方式等是否完善、合适、合理,并指导改进、创新方向和方法的。这些也是骨科生物力学治疗学需要重点讨论的问题。

医用生物力学作为一门新兴科学,其内容涉及生物学、解剖学、生理学、运动学、机械力学、流体力学、运动力学、仿生学、临床医学、数学、生物工程学、电学、医用材料学等多个学科内容,是属于一门多学科边缘科学。

在自然界中,凡是有生命的生物活体,从微小的细胞、原生动物到人体、巨兽的整体到各个器官、血液、体液、气体与水分的流动、骨与关节、肌肉(腱)、心、肝、肺、肾、脾、肠、内外分泌腺体、神经系统等脏器的解剖结构、生理功能活动、新陈代谢、破坏与修复重建等生命存在与功能活动过程,无不时时处处都充满着各式各样的力学问题,也就是说无不涉及生物力学。正常的、生理的生物力学现象,在某种程度上代表或者标志人体处于正常状态。异常的生物力学现象则标志人体处在病理状态。调整纠正异常到正常的生物力学现象的过程,就是生物力学的治疗过程。例如,按骨折固定的生物力学准则,选择固定材料,固定器械,固定操作的微创技术程序与手术技巧的运用,骨折复位及术后功能训练,骨折就能加快愈合,恢复其伤前的正常生物力学功能。否则违犯生物力学准则或原理,就会导致骨折延迟愈合、不愈合、肌肉萎缩,关节僵硬甚至强直等骨折病的发生。只有熟悉人体正常的生物力学功能现象,才能正确判断出病理的生物力学功能现象,临床医师不但要能认识掌握由正常的、生理的到异常的、病理的生物力学功能转换过程规律,而且更重要的是要用生物力学的观点研究、探讨、认识、掌握怎样由病理的转变正常生理的生物力学功能的过程和规律,从而正确制定出合乎生物力学原理的治疗原则,并按照这一生物力学治疗原则,去设计治疗计划,选择好适应证和操作方法,选择好操作所用的器械(如骨折内固定或外固定器械,人工假体等),指导病人进行正确的术后功能训练直至完全康复。

二、骨科生物力学发展简史

对生物力学的发展起决定性影响的是力学。Leonardo da vinci 于 1519 年就断言:“力学科学之所以比其他一切科学都更加高尚和适用,那是因为一切能够运动的活体都是遵循力学的定律而行动。”也就是说有生命的活体物的功能活动都与力学有关。这一科学断言为生物力学

的诞生发出了信号,或者提出了生物力学这一课题。

生物力学首先在动物体血液循环中被发现,Willian Harvey 在 1615 年当时还没有发现显微镜的情况下,发现动脉血与静脉血不同,接着发现血液从左心室流出后,经动脉流向全身,又经静脉回流到右心房。他用逻辑推理的方法,提出必定有一个血液循环系统存在,符合质量守恒法则和流体力学连续性原理。这一发现开创了医用生物力学发展史,是生物力学初期的一大发明。1661 年 Malpighi 发现了微循环,使 Harvey 的预言得以验证。

物理学家 Galileo 的学生 Barelli 于 1680 年在其《论动物的运动》一书中阐述了肌肉的运动和动物自身的运动问题,是生物力学的第一部专著,开辟了生物力学的新纪元。

Young 创造了声带发音的弹性力学理论,在这一理论中首先提出了杨氏模量这一力学概念。Von Helmholtz 发明了共振仪,第一次确定了神经脉冲的传播速度为 39m/s,并指出肌肉收缩所释放的热,是体温的主要热来源。

生理学家 Fick 的扩散定律;流体力学家 Korteweg (1878)和 Lamb(1898)等血管中血液波传播的分析;Frank 心脏流体动力学理论;Van der Pol(1929)用非线性振荡器模拟心脏,后又发明了心电图。

Hales 测量了他的动脉血压,并发现血压的下降与失血有关,提出在血液流动中血压与外周阻力相关的概念,指出外周阻力主要来自微循环。

Starling 提出了物质透过膜的传输定律,并说明了人体内水电介质平衡问题。后来 Hill 提出肌肉力学并获得诺贝尔奖。

以上这些发现或发明者的最大贡献都证明在生物体存在着力学问题,这就为生物力学的形成奠定了理论基础,开辟了道路。

由于近代科学技术的迅速发展,边缘科学的互相渗透,先进仪器的发明,像测力平台,肌电仪、激光、光纤传感器,电脑的运用,更深化了生物力学的研究,丰富了生物力学理论,使生物力学很快发展起来,特别是近 30 年来,国内外生物力学杂志,书刊及学术交流频繁、信息流通快而宽广。1967 年在瑞士的苏黎世召开了第一届国际生物力学研讨会,以后每两年召开一次国际生物力学研讨会。1973 年在美国第四届会议上成立了国际生物力学协会,吸收了知名解剖学家、生理学家、工程力学家、矫形外科学家、康复学家等精华人才参加,使生物力学得以迅速发展。骨科生物力学不但已形成理论体系,并在国内成立或建立了生物力学研究基地和测定基地,也在骨科得到了应用,而且还造就了一大批我国生物力学专家,如王以进、李起鸿、徐莘香、夏和桃、孟和、戴尅戎、周崇林等,他们对骨折固定,人工体研制与植入以及康复等领域,做出了突出贡献。生物力学之所以被广泛重视,是因为它有助于人们了解自身各个器官的生理功能和病理变化,从而设法去防治病理的生物力学改变并主动地去促使病理生物力学改变转化为生理的生物力学状态,这正是骨科生物力学治疗的主要任务,也是它的最终目标。近十几年临床实践证明生物力学是了解生命现象,分析体运动、研究疾病的病因,治疗原则和治疗方法,设计改进器械与人工植入物,发展体育运动学,宇航学等不可缺少的基础科学。拓宽了骨科生物力学理论的应用推广,骨科临床治疗领域,可以预言生物力学在骨科具有广阔的发展前景。

三、生物力学与骨科的关系

医用生物力学内容中,有一大部分内容与骨科有关,这是因为骨关节,肌肉是运动系统的主体,是承受外力、产生应力、传导应力的载体,因此一谈到医用力学,就首先想到受力的骨关

节和产生外力的肌肉群。故生物力学与骨科密切相关,也是国内外生物学、医学和力学关注的热点、亮点和研究的重点,并首先用于临床治疗的专门科学,即骨科生物力学。涌现出了一大批骨科生物力学研究人才,而且获得了大量的突破性研究进展,使骨科生物力学形成了大家所公认的系统理论,为骨科近几十年的飞速发展,特别是骨折固定、人工假体置换等治疗提供了理论依据。骨科生物力学,不但拓宽了骨科理论领域,也为骨科治疗提供了应用空间。骨科生物力学虽然发展很快,但还存在很多未知数,绝大多数骨科医生还对骨科生物力学不熟悉,或不太熟悉,更谈不上去应用和研究创新,真正懂生物力学的骨科医生还是少数。对骨科生物力学的研究是重要的,要使生物力学理论转化为生产力,在临床骨科医生中普及、提高生物力学知识和技能是必要的,它可以拓宽骨科治疗领域,提高医疗质量,直接服务于临床,获得更大的社会效益和经济效益。另外,在机械力学、器械技术人员中普及提高临床应用知识、人体解剖及生理功能知识,为临床应用服务,他们可以利用原有的机械力学知识为临床设计制造出更合乎生物力学原理和实用的器械、仪器来,临床医师与力学技术人员互相学习,相互沟通,相互靠近,相互融化磨合、互相取长补短,形成和造就出一大批具有骨科生物力学理论与应用技术的人才,为骨科临床服务。

第二章 骨的生物学

第一节 骨的发生

间充质除分化成骨外,同时也分化为软骨、筋膜和肌肉。间叶细胞密集的部位是最早形成肌肉和骨骼结构的地方,每一个间叶雏形将直接或间接地转化为骨。

一、软骨的形成

胚胎第五周,间叶细胞逐渐增大密集,并分化为一层前软骨细胞。然后基质沉积在细胞之间。基质内含有原纤维,这种原纤维具有软骨特有功能。透明软骨内的基质清晰,结构一致,而弹性软骨含有大量黄色弹性纤维。在纤维软骨基质内,含有丰富的白色纤维。软骨细胞的增殖产生新的基质,而软骨细胞是通过软骨膜内层细胞转化而来。

二、骨的形成

胚胎第七周,骨开始形成。骨的形成是通过两种形式进行的,即膜内化骨和软骨内化骨。

(一)膜内化骨

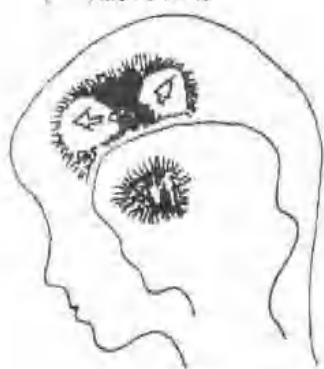


图 2-1 胎儿颅骨膜内化骨示意图

膜内化骨形成颅骨、面骨、锁骨和下颌骨。间叶和结缔组织膜先形成骨的原始雏形,其内含有大量骨母细胞充填于其基质内,沉积在骨小梁网格中,呈放射状向各处扩散

(图 2-1),即板

层骨。外周间叶组织分化为骨膜,骨

膜内壁层也分化骨母细胞,骨母细胞沉积形成平行的密质骨板构成颅骨的内板和外板。骨小梁沿骨的应力线排列。

骨干和干骺端的皮质骨也来源于骨膜,在骨折愈合和小儿骨髓炎骨壳形成中起主导作用。

(二)软骨化骨

先是软骨雏形结构被软骨破坏,然后被周围骨替代,这一过程由软骨内化骨,即从软骨中心开始化骨,也可从软骨膜下和骨膜下化骨,即从外周开始化骨(图 2-2)。

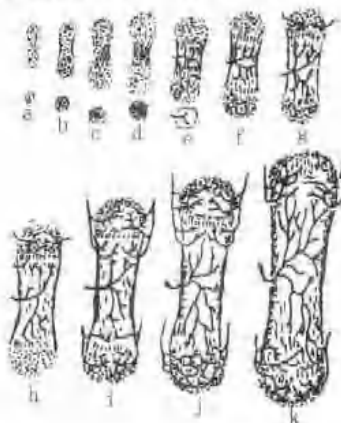


图 2-2 典型长骨发生示意图

a. 软骨雏形;b. 骨膜环出现;c. 软骨骨化中心;d. 软骨骨化继续进行;e. 血管间叶组织长入,骨化软骨逐渐吸收,软骨雏形两端新骨沉积;f. 软骨内骨化继续进行,逐渐增加了骨的长度;g. 血管和间叶组织长入髓腔上端;h. 髓腔软骨骨化中心发生;下端髓腔软骨骨化中心; i. k. 下端髓腔软骨先消失,然后上端消失,骨的纵向生长停止,骨髓腔形成,骨干、干骺端和骨髓血管互相交通

1. 软骨内化骨 在软骨先质(cartilaginous precursor)中心,细胞逐渐增大,呈放射状排列,钙盐沉积在基质内,软骨被钙化,软骨膜内血管侵入,产生骨母细胞并在钙化的软骨内沉积,形成新骨并继续向四周扩展,替代软骨。

间叶细胞增殖并密集,形成骨轮廓,间叶细胞很快分化为软骨母细胞,继而转变为软骨细胞并分泌细胞间软骨基质,形成软骨雏形,周围形成软骨膜。软骨雏形随间质生长并横向发展。软骨雏形内细胞增大成熟并分泌碱性磷酸酶进入细胞间组织中,发生软骨钙化,从而阻碍了营养物质的进入,软骨细胞坏死,雏形中的钙化基质分解而形成空腔。血管侵入软骨膜内,多功能细胞分化为骨母细胞,在软骨雏形周围形成一层膜即骨膜。

随着雏形中段钙化软骨的分解,骨膜芽和含有来自骨膜成骨细胞和骨母细胞的血管组织增生,侵入软骨雏形中心,在残存钙化软骨上面产生新骨,即松质骨。

长骨中间化骨进一步扩展生长,产生皮质骨壁,中心部分的松质骨多半被吸收,遗留一个腔即髓腔,髓腔内被髓样组织填充,但不会扩展到骨下的软骨端。

2. 软骨膜下化骨 在软骨化骨同时,海绵状中心骨发生,软骨膜内层产生一层与骨膜平行的密质骨。在骨髓和干骺端之间靠近骺部有一层软骨组织,即骨骺线—骺板,在其内软骨内化骨延续在整个生长期的全过程中,产生骨结构纵向生长,骨膜下化骨增加了骨结构的厚度。

第二节 骨的正常组织结构

骨组织主要由细胞、纤维和基质3种成分组成,在细胞间基质内有大量的钙盐沉积,使骨成为非常坚硬的组织,构成人体的支架即骨骼系统。

一、骨的组织学

骨的组织细胞属间充质细胞,在不同的生物力学环境中,转化或分化成不同的功能细胞,或成骨细胞或破骨细胞,这些骨细胞的功能直接决定着骨组织的数量和骨结构的方式。

(一)成骨细胞

1. 来源 成骨细胞由微血管壁的周围细胞、骨细胞、骨外膜内层、骨内膜成骨细胞分化而来。

2. 成骨细胞的功能特性 ①成骨细胞的细胞膜向周围伸出许多小管,沟通每一个成骨细胞,称为成骨细胞小管系统。小管系统与骨细胞间的基质紧密广泛接触,接触面积很大,使成骨细胞在合成新生受力骨组织时,进行最大面积的物质交换,以提高合成新骨的能力(图2-3);②在生长发育期和骨折修复期,细胞数量很多,密度很高,体积很大,呈长方体形。而在成人期特别是老年人,细胞的数量很少,分布稀疏,体积很小,呈扁平状;③在骨折修复区、处于适当的力学环境时,成骨细胞密集成线,若干个细胞线平行排列为一个细胞面,若干个细胞面平行排列为一个立方体的细胞区域;④在骨折修复期和生长发育期,成骨细胞核很大,呈空泡状,内含有脱氧核糖核酸,而染色质很少,细胞核内和细胞浆中有大量的碱性磷酸酶。

3. 生物力学功能 ①合成并分泌出溶胶原;②合成并分泌出钙化基质;③合成并分泌出碱性磷酸酶。

4. 生物力学特性 成骨细胞的数量,形状,合成分泌功能受应力环境影响,如应力的性质、大小、频率等。其次还受到年龄、遗传、内分泌、疾病的影响,在良好的力学环境下,成骨细胞数量增加,胞体增大,合成分泌功能明显增强,以促使骨折愈合,质量就好,骨骼密度强度,刚度就

明显增加,以新骨形成,修复为主。相反在有害应力或低应力环境下,骨折就延迟,或不愈合,骨质疏松,强刚度就下降。



图 2-3(1)(2)(3) 成骨细胞和骨细胞

(1)成骨细胞有众多的突起伸入类骨质内($\times 12800$);(2)骨细胞体内磷酸钙颗粒($\times 10400$);(3)成熟的骨细胞

(二)破骨细胞

1. 来源 破骨细胞由巨噬细胞、网状内皮细胞、骨细胞分化而来。

2. 形态特点 破骨细胞的体积很大,细胞膜边缘呈凹凸皱折状,使破骨细胞与其周围的基质的接触面积很大,细胞膜边缘凹陷部位可吞噬很多非受力骨组织碎屑。在破骨细胞活跃时,细胞核增多,可达 15~100 个,尤其在非受力骨组织内(图 2-4)。

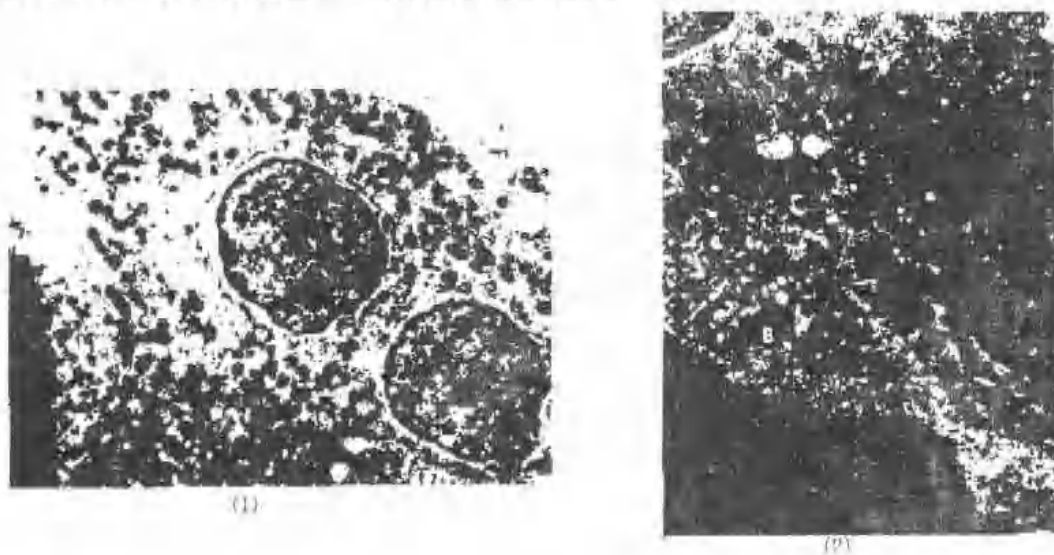


图 2-4(1)(2) 破骨细胞

(1)多核的破骨细胞;(2)破骨细胞吸收面毛刷缘

3. 生物力学功能 ①吞噬和分解非受力骨组织和坏死骨组织;②合成并分泌溶胶原酶,对失去应力的胶原进行溶解;③合成并分泌出糖酵解酶和酸性水解酶,这些酶对羟基磷灰石结晶进行水解破坏。

4. 生物力学特性 破骨细胞的形状、数量和合成分泌功能受应力环境影响,在低应力或无应力区,或发生塑性变形区域,破骨细胞数量增多,体积变大,生物力学功能增强,骨组织以破坏吸收为主,骨质疏松,强刚度下降。

(三)骨基质

骨基质由有机物和无机物组成。脱脂骨的干重量含磷酸钙 51.04%, 碳酸钙 11.3%, 氯化钙 2%, 磷酸镁 1.16%, 碳酸钠和氯化钠 1.2%, 有机物(骨胶原) 33.3%。新鲜骨内含水 50%, 含脂肪 15.75%, 含其他有机物 12.4%, 含无机物 21.85%。胶原占有有机物的 90%, 非胶原占 10%。

1. 有机物 包括胶原和非胶原(蛋白多糖、脂质), 约占干骨的 35%, 湿骨的 22%。

(1) 胶原: 是一种结晶纤维蛋白原, 被包埋在含有钙盐的基质中, 胶原柔韧可屈具有弹性和韧性, 其结构为三条多肽链, 互相交织呈绳状, 故又称三联螺旋结构, 是由一群氨基酸构成, 主要为甘氨酸、脯氨酸和羟脯氨酸占胶原的 60%, 是不可溶的结晶样物质。(图 2-5, 图 2-6) 胶原直接决定着骨组织的尺寸和抗拉强度。每一条三绞链螺旋结构内含 1000 多个氨基酸, 其中主要为羟脯氨酸。成人每日尿中排出 70-80mg, 因此测定尿中的羟脯氨酸的含量变化, 就可以了解骨中胶原的新生和破坏的动态变化。



(3)

图 2-4(3) 破骨细胞

(3) 破骨细胞刷毛缘内陷形成小泡, 脱钙的胶原纤维伸入微绒毛之间, 在内陷的膜皱褶内也可见少量矿物质(1×3000)

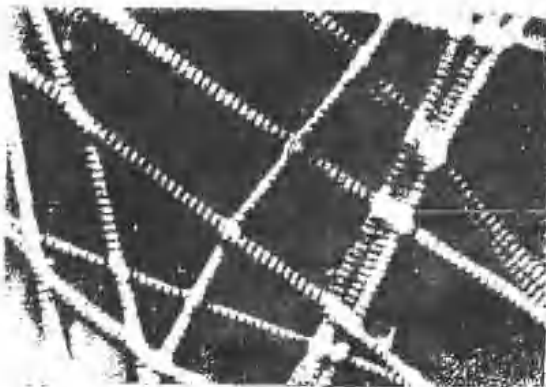


图 2-5 电镜下胶原纤维的自然形状(×7000)



图 2-6 胶原纤维分支错综复杂的网状结构

(2) 骨细胞间的基质: 为黏液样物质, 含有蛋白质、各种盐的晶体、代谢物质、气体等。它的成分很像血浆。是成骨细胞伸出的小管系统进行物质交换的场所。黏液样物质主要含有透明质酸和硫酸软骨素 A 和 C, 是基质钙化的主要物质。

2. 无机物 骨基质中的无机物通称为骨盐,电镜下骨盐呈细针状结晶大多沉积在胶原纤维中,结晶衔接成链,并沿纤维长轴平行排列,具有很强的抗压力效能(图2-7)。固体钙和磷(羟基磷灰石)在骨的无机物中占95%。羟基磷灰石结晶的长轴和胶原纤维的方向相平行。无机物占干骨重量的65%,占湿骨重量的46%,水占32%。



图2-7 钙化骨基质显示细针状无机物结晶

无定形的钙-磷固体和羟基磷灰石是骨的基本化学结构,而这些无机盐组成的羟基磷灰石结晶是构成受力骨组织的基本结构方式,它的形状像棒状,电子显微镜下其大小为 $0.004\mu\text{m} \times 0.005\mu\text{m}$,在磷灰石结晶周围可见有水化壳和细胞间液。羟基磷灰石结晶沉积到胶原纤维的周围和两端以后,就成为一个完整的受力骨组织硬壳,它在胶原纤维上结合的数量,直接决定受力骨组织的刚度(抗变形能力)。它对维持各种化学物质的动态平衡起重要作用,它还是无机盐的主要储存库。

(四)骨内水

骨内的水主要存在于细胞外液,间质液和羟基磷灰石结晶中,骨中的水含量受年龄的影响,老年人骨内水含量只占10%左右,而青少年人骨内水含量占32%,它以游离水和结合水的形式存在于骨内。游离水存在于类骨间隙中,主要功能是为各种离子在转换时提供液体环境,使之便于被溶解、离解,水解的物质扩散。结合水存在于羟基磷灰石结晶的水化壳中,另外还存在于胶原和黏多糖中。

(五)柠檬酸盐

人体70%的柠檬酸存在于骨内柠檬酸盐中。主要分布在羟基磷灰石结晶的表面。它的功能是对碳水化合物、脂肪、蛋白质的代谢和氧化起重要作用,为三羧循环提供转换物质的能量。它与钙结合形成可溶性有机复合物,使后者很容易地从肠黏膜吸收进入血中,再转换到骨的基质中,最后弥散沉积到三绞链胶原纤维上。它还有利于从骨组织中将钙溶解,进入血中最后从尿中排出体外。在排出钙的同时,柠檬酸也被从尿液排出,正常人每天从尿液排出柠檬酸200~1000mg。但不会改变体内钙和磷的比例关系,又能增加体内钙的含量。服用维生素D可增加血中柠檬酸的含量。钙本身不能渗透过细胞膜,一旦形成柠檬酸盐后,就可渗透过细胞膜了。因此,服用柠檬酸对营养性佝偻病、骨质软化症和老年骨质疏松是有益的。

(六)骨酶

1. 糖酵酶 这种酶主要存在于破骨细胞内,代谢产物为乳酸,乳酸对非受力骨组织的破坏及吸收起重要作用。

2. 酸性水解酶 这种酶主要存在于破骨细胞内,属于分解性质的代谢酶,它从溶酶体内释放出来,对非受力的骨组织起破坏和吸收作用。

3. 胶原酶 胶原酶主要分解非受力的骨组织中的胶原和其他有机物质,也主要存在于破骨细胞内。

4. 碱性磷酸酶 碱性磷酸酶具有提高磷酸盐离子浓度的功能,在钙和磷形成结晶之前,这种酶参与骨基质形成过程,使可溶性物质在骨的基质上沉积下来,在骨的发育期和骨折修复