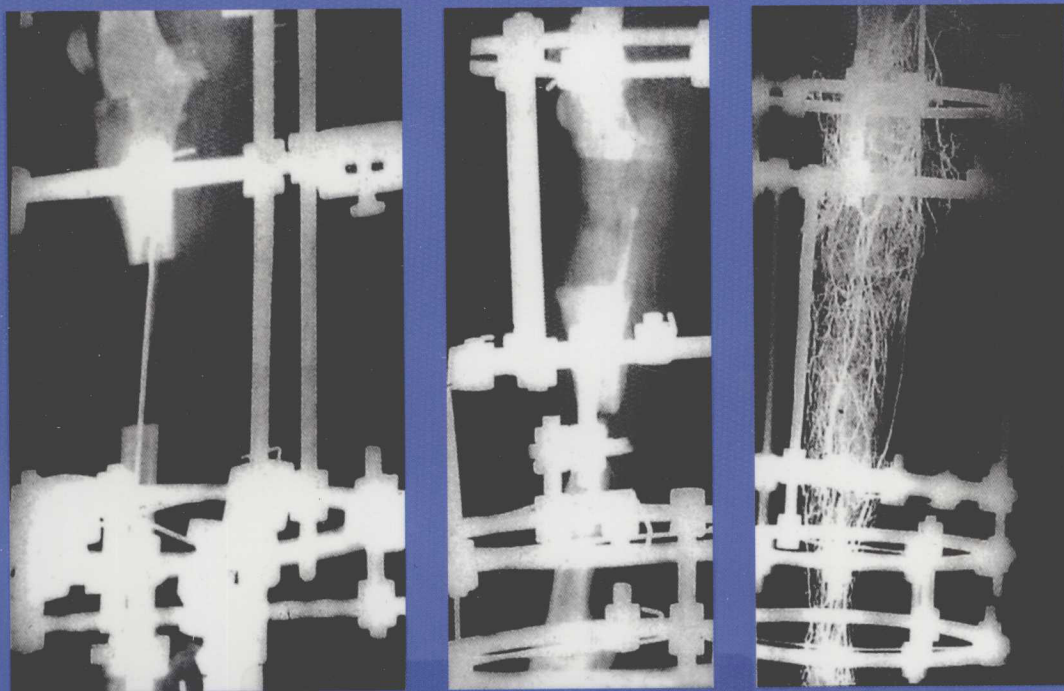


主 编 / 曾炳芳 康庆林

四肢骨不连外科学

SIZHI GUBULIAN WAIKEXUE



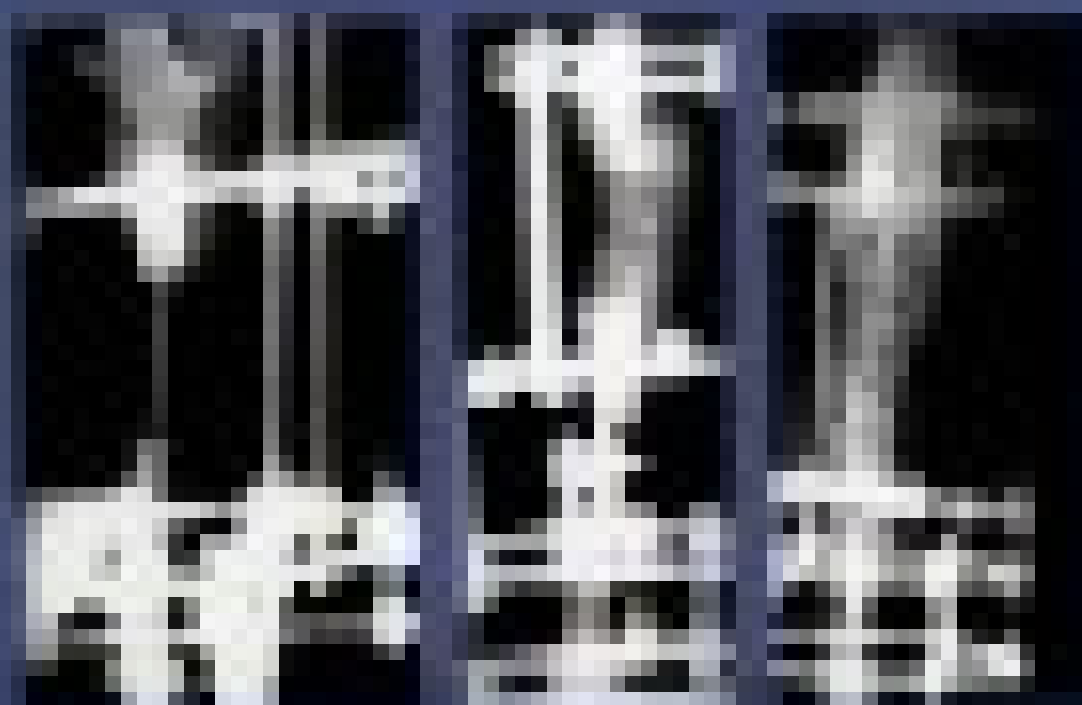
人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

第 2 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

四肢骨不连外科学

SIZHI GUBU BIAN WAIKEXUE



人民卫生出版社

四肢骨不连外科学

SIZHI GUBULIAN WAIKEXUE

主 编 曾炳芳 康庆林



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

四肢骨不连外科学/曾炳芳, 康庆林主编. —北京: 人民军医出版社, 2010.9

ISBN 978-7-5091-4103-8

I. ①四… II. ①曾…②康… III. ①四肢—骨疾病—外科手术 IV. ①R683.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 180950 号

策划编辑: 白琳 文字编辑: 陈娟 责任审读: 吴然
出版人: 石虹

出版发行: 人民军医出版社 经销: 新华书店

通信地址: 北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编: 100036

质量反馈电话: (010) 51927290; (010) 51927283

邮购电话: (010) 51927252

策划编辑电话: (010) 51927300-8167

网址: www.pmmp.com.cn

印刷: 潮河印业有限公司 装订: 恒兴印装有限公司

开本: 889 mm × 1194 mm 1/16

印张: 25 字数: 698 千字

版、印次: 2010 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

印数: 0001 ~ 3000

定价: 235.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书, 凡有缺、倒、脱页者, 本社负责调换

内容提要

本书是一部系统介绍骨不连病理、分类与治疗的专著。全书共分16章，首先介绍了骨与骨折愈合过程的解剖、生理、生物力学基础及骨不连的病理解剖、血供机制，随后分析了骨不连的发生原因、分型和不同类型的骨不连治疗原则。重点介绍了目前临床常用于治疗骨不连的各种专业技术和方法。对无菌性骨不连、感染性骨不连、各部位的骨不连和先天性胫骨假关节的治疗方法进行了归纳和总结，并介绍了手术技巧和注意事项。本书是作者根据多年临床经验编写而成的，其中有很多新颖独到的见解，适合骨科中高级医师和进修医师、研究生阅读参考。

前言

骨不连是四肢骨折的常见并发症之一。从骨折愈合的生物学过程来看,骨不连是骨折愈合的停滞,其发生原因很多,其中相当一部分与外科干预不良相关。骨不连一旦发生,其治疗比同部位的新鲜骨折处理的难度要大得多。

近年来,骨科的诊疗技术得到飞速发展,表现在显微外科技术的普及、Ilizarov 技术的推广、生物接骨术理念的深入以及各类植骨技术的进步,这些手段的应用使骨不连的治愈率大大提高,显著降低了患者的伤残发生率。

骨不连的生物学机制有待深入研究,而针对已经发生骨不连者,如何治疗更值得商榷。目前国内尚缺乏系统的专著来阐述这一难题,很难为临床医生提供借鉴和指导。

上海市第六人民医院骨科是世界断肢再植的摇篮,经过 50 余年的发展,现已成为上海市创伤骨科临床医学中心,拥有 430 张床位,每年有数以万计的四肢骨折及其并发症病人前来诊治。笔者长期从事四肢创伤的修复与重建,在骨不连、骨缺损和感染性骨不连的治疗方面积累了丰富的经验,并提出很多独创的方法与见解。治疗手段除了应用科室的传统优势项目显微外科之外,还积极吸收 Ilizarov 技术的精髓,使骨不连的一次治愈率发生了质的飞跃,治愈了大批病人。鉴于此,笔者组织国内的同行专家,将自己多年来治疗骨不连的经验予以总结,并结合国内外骨不连治疗领域中的最新技术,写成《四肢骨不连外科学》一书,献给广大的骨科同道,期望能使更多的患者早日得以救治。

本书详细介绍了不同部位、类型和程度的骨不连治疗方法、手术技巧以及注意事项等。此外,还用有限的篇幅介绍了骨的生理和解剖、骨不连的发生机制以及骨移植的应用原则等基础知识。全书共分 16 章,其中第 1 ~ 4 章介绍了骨解剖、骨移植与愈合以及生物接骨术原理;第 5 ~ 7 章系统介绍骨不连的病因、病理、定义、分类和诊疗技术;第 8 ~ 12 章介绍当前骨不连治疗的特殊手段,包括 Ilizarov 外固定器、显微外科技术、物理治疗和微创疗法;第 13 ~ 16 章属于骨不连治疗各论,介绍了无菌性骨不连、感染性骨不连、四肢各部位常见骨不连和先天性胫骨假关节的治疗。与以往的教科书不同,本书在叙述基础内容时紧密结合临床,力图在讲述基础知识的同时阐释骨不连的发生与治疗机制;而在介绍临床治疗方法时,务求详尽介绍相关的手术技巧和技术原理,为广大临床医生深刻领会本书的内涵提供便利。各章后列出参考文献供读者查阅。

本书是笔者利用业余时间编写的,可能存在一些不足,希望广大同行批评指正。

曾炳芳 康庆林

2010 年 5 月于上海

目 录

第1章 骨的解剖与生理	1
第一节 骨的形态与血供	1
第二节 骨的组织结构	6
第三节 骨的发生与改建	10
第四节 影响骨生长发育的因素	16
第2章 骨折愈合与移植骨的转归	20
第一节 骨折愈合过程	21
第二节 骨折愈合方式	25
第三节 移植骨的爬行替代	27
第四节 移植骨的骨诱导作用	28
第五节 自体骨或异体骨移植的区别	30
第六节 异体骨移植后免疫学反应	31
第3章 骨移植的种类与用途	35
第一节 移植骨的分类	35
第二节 异体骨	39
第三节 脱钙异体骨	43
第四节 骨形态发生蛋白	45
第五节 异种骨	46
第六节 人工骨	47
第七节 复合骨	50
第八节 如何选择移植骨	51
第4章 生物接骨术的概念、原理与技术	54
第一节 常用测评骨血供方法	54
第二节 接骨板对骨血供的损伤	55
第三节 髓内钉对骨血供的损伤	57
第四节 生物接骨术概念和原理	59
第五节 生物接骨术技术与方法	60
第六节 LCP 的诞生与发展	64
第七节 问题与展望	72

第5章 骨不连的病因与病理 75

第一节 定义	75
第二节 流行病学	76
第三节 骨不连的病因	77
第四节 骨不连的生物学机制	82
第五节 骨不连的病理	83
第六节 内固定断裂原因分析	88

第6章 骨不连的诊断、分类与治疗 92

第一节 骨不连诊断	92
第二节 骨不连的分类	97
第三节 骨不连的评估与术前准备	103
第四节 骨不连的治疗	106
第五节 骨不连治疗中的思维误区	111

第7章 治疗骨不连的基本外科技术 115

第一节 断端清理	115
第二节 植骨术	117
第三节 骨不连的固定	125
第四节 自体移植骨切取	133
第五节 如何取出骨不连原有内固定	135

第8章 Ilizarov 技术的基本原理与方法 140

第一节 Ilizarov 与牵张成骨理论	140
第二节 牵张成骨的实验生物学研究	145
第三节 Ilizarov 外固定器的构成和使用	152
第四节 基本操作技术	160
第五节 内外结合骨延长技术	171
第六节 Ilizarov 技术的临床应用	173
第七节 问题与展望	180

第9章 显微外科技术治疗骨不连 184

第一节 对显微骨移植手术的再认识	184
第二节 活骨移植的愈合与评估	186
第三节 带肌肉蒂的骨移植治疗骨不连	188
第四节 带血管蒂的骨移植治疗骨不连	192
第五节 带血管的骨膜瓣移植	200
第六节 带血管的骨 - 皮瓣移植	201

第 10 章 形状记忆合金内固定器治疗骨不连	210
第一节 镍钛合金形状记忆效应原理	210
第二节 镍钛记忆合金的生物相容性	212
第三节 SMC 的几何构型与力学特征	215
第四节 SMC 固定下的骨愈合现象及其本质	217
第五节 SMC 对实验性骨折愈合的影响	219
第六节 SMC 治疗骨不连的疗效评价	227
第七节 聚髌器的构型与力学特征	230
第八节 聚髌器治疗髌骨骨不连	232
第 11 章 物理疗法治疗骨不连	237
第一节 直流电	237
第二节 电磁场	240
第三节 超声波	243
第四节 冲击波	244
第五节 高压氧疗法	246
第 12 章 注射与微创疗法治疗骨不连	248
第一节 经皮自体骨髓移植	248
第二节 局部注射 BMP 治疗骨不连	252
第三节 局部注射金葡液治疗骨不连	254
第四节 微创植骨术治疗骨不连	255
第五节 基因疗法治疗骨不连	258
第六节 回顾和展望	261
第 13 章 无菌性骨不连的治疗	264
第一节 骨皮质剥脱术	264
第二节 病灶旁截骨术	269
第三节 断端加压 - 牵张技术	273
第四节 髓内钉更换术	279
第五节 髓内钉动力化	284
第六节 小结	287
第 14 章 感染性骨不连的诊断与治疗	290
第一节 感染性骨不连的初步甄别	290
第二节 理化检查	293
第三节 分类与治疗	296
第四节 清创和换药	299
第五节 滴注引流与川岛疗法	301
第六节 病灶内局部治疗	303

第七节	Papineau 开放植骨术	306
第八节	骨延长技术治疗感染性骨不连	311
第九节	显微外科方法骨移植	320
第十节	问题与展望	321

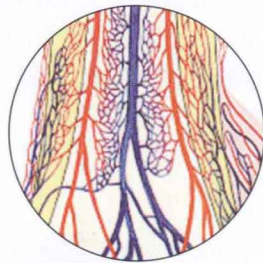
第 15 章	常见骨不连的治疗	324
---------------	-----------------	------------

第一节	上肢长骨骨不连	324
第二节	腕与手部骨不连	341
第三节	下肢骨不连	347
第四节	足踝部骨不连	364

第 16 章	先天性胫骨假关节的分型与治疗	370
---------------	-----------------------	------------

第一节	病理特征	370
第二节	病因学研究	372
第三节	分型	374
第四节	临床症状与鉴别诊断	377
第五节	治疗	378
第六节	并发症	387

骨的解剖与生理



本章主要以人体长骨干为例,简要介绍骨的解剖、组织与生理特征。人类的骨骼不论在形态、结构及功能上,都符合生物进化的发展规律,即体现由低级到高级逐渐演化的特征,表现为形态结构的完善与复杂、功能综合而灵活。另外,骨的形态结构,也随着人体内外环境的改变而变化。例如,正常的腓骨比较细,而为了治疗骨不连移植到其他部位,如修复胫骨骨缺损以后,因长期持重而逐渐增粗。又如,前臂桡骨骨不连而尺骨完好的患者,因手常平举持物,久而久之出现尺骨的弯曲。同理,不良的劳动姿势和坐立习惯,可使骨骼发生畸形,经常的体力劳动和体育锻炼,可使骨骼结实健壮。骨折愈合又和其他结缔组织的愈合方式完全不同,这种愈合方式不是修复,而是完全再生。

第一节 骨的形态与血供

一、骨的基本特征

根据骨的形状,人体的骨骼可以分为长骨、短骨和不规则骨。长骨呈圆柱形或三棱形,主要位于四肢。长骨中部较细而坚固的部分称为骨干(diaphysis);内部有空腔称为髓腔(medullary cavity),髓腔内含骨髓。骨的表面可见1~2个小孔,称为滋养孔,向内通入小管,称为滋养管,有神经及血管通过。长骨两端的膨大部分称为骺(epiphysis),骺的远、近端各有一光滑面,称为关节面,与相邻的关节面构成关节。骨干与骺连接的部分称为干骺端(metaphysis),幼年时,两者之间以软骨相隔,称为骺软骨或骺板(epiphysis

plate),骺板与骨的伸长有关,如受损害可影响骨的发育,成年后骺板骨化,骺与骨干便相互愈合遗留放射学上的骺线。骨的内外层都包被一层致密的膜,称为骨膜,骨膜与骨的增粗有关。

成年的骨组织根据其结构差异分为两种,位于骨干表面的骨质致密而坚硬,似象牙样,称为密质骨或皮质骨(cortical bone),其厚度及抗张力的强度随年龄的增长而减小。而骨干深层和长骨两端是许多不规则的片状或杆状骨质,称为骨小梁(trabeculae),这些骨小梁相互连接构成海绵样,又称海绵骨(spongy bone)或松质骨(cancellous bone)。骨小梁的厚薄及彼此间的距离,各骨有所不同,其排列方向与人体功能相适应,即与局部所受压力及张力曲线一致,相互间交错成网。不同种类的骨中松质、密质的分布不同。活体的骨松质的腔隙彼此沟通,其中充满小血管和造血组织,此即骨髓(bone marrow)。在胎儿和婴幼儿时期,骨髓的造血功能较强,骨髓多为红骨髓,内含丰富的血管和血窦,在血窦的周围纤维组织网眼中充满不同发育周期的血细胞。而随着年龄的增长,红骨髓被脂肪组织所取代,失去造血功能,而成为黄骨髓,当人体遭受严重创伤或疾病时,黄骨髓能恢复一定的造血功能。在长骨的骨骺、短骨和扁骨内仍为红骨髓,终生保持造血功能。除此以外,骨髓中有骨髓基质干细胞(bone marrow stem cells, BMSCs),具有潜在的多种分化功能,近年来采用自体红骨髓注射治疗骨不连取得满意疗效,分析其机制与骨髓多能干细胞关系密切。

长骨骨干主要为皮质骨,内面只有一部分为薄层松质骨,有时也可完全缺如,由于皮质骨厚,对压力及张力的抗力很强。长骨的骨骺则相反,皮质

较薄，内面含有大量松质（图 1-1）。不规则骨外包一层密质，内为松质。扁骨的密质分为内、外两层，其间夹有松质，有时松质也可缺如，两层密质便融合为一（图 1-2）。

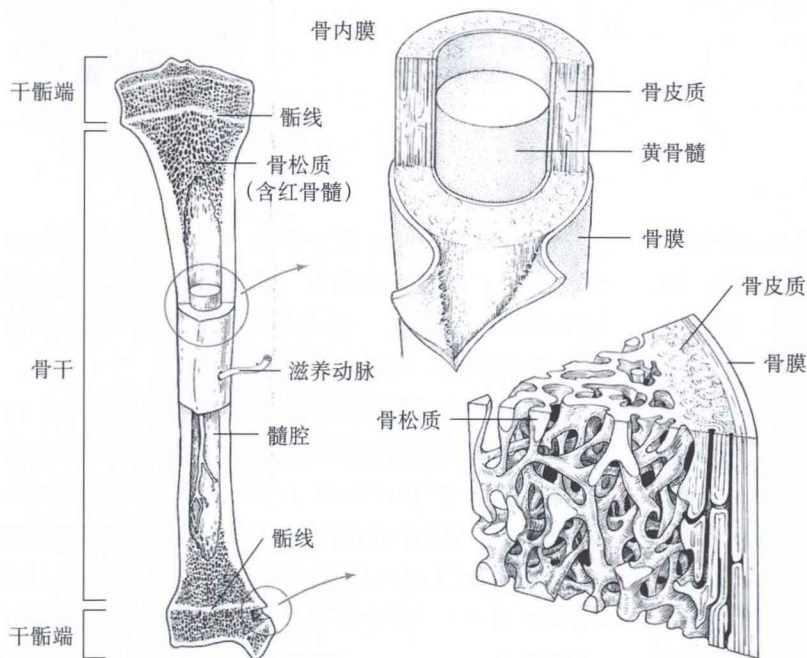


图 1-1 长骨的解剖结构示意图

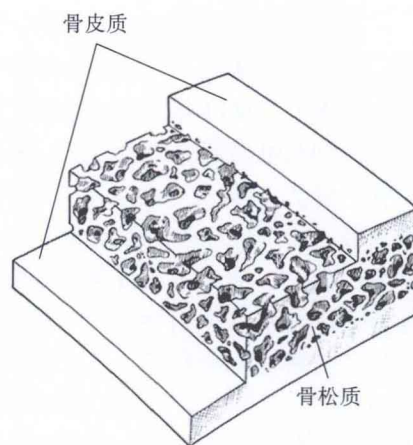


图 1-2 扁骨的密质分为内、外两层，其间夹有骨松质

二、骨膜

骨膜是由致密结缔组织所构成的纤维膜。包被在骨表面的称骨外膜 (periosteum)，衬附在骨髓腔面的称骨内膜 (endosteum)。一般所说的骨膜主要是指外骨膜，骨膜是介于周围软组织和骨干表面的重要组织，骨不连的发生很多都与术中骨膜的处理方式相关。近年来，生物学接骨术 (biological osteosynthesis, BO) 概念的普及与推广，使骨折手术的方式发生了根本改变，骨不连的发生率也显著下降。

骨外膜一般可分为两层，在外层的致密结缔组织中含有粗大的胶原纤维束，彼此交织成网，细胞成分较少，有血管、神经在纤维束中穿行，沿途分支经深层进入伏克曼 (Volkmann) 管。有些粗大的胶原纤维束向内穿进骨质的外环骨板层，称为穿

通纤维 (perforating fiber) 或 Sharpey 纤维。此种纤维起着固定骨膜的作用。骨外膜的内层主要由细胞成分构成，胶原纤维束较少，却含有较多的弹性纤维。内层与骨质紧密连接，并且在结构上随着年龄和功能活动而发生变化。在胚胎时期和幼年时期，骨骼生长迅速，内层的细胞数量较多，甚为活跃，直接参与骨的形成，颇似成骨细胞，骨骼的长粗主要依靠骨膜。在成年时期，骨外膜的内层细胞呈稳定状态，变为梭形，很难与结缔组织中的成纤维细胞区别，一般认为这种细胞即是骨祖细胞。当骨受损伤后，这些细胞又恢复造骨功能，变为典型的成骨细胞，参与新骨质的生成。在骨的生长期，骨外膜厚而且很易与骨干分离，但在成年后，骨外膜则与骨附着比较牢固，而且骨膜的厚度也大大降低。在骨的关节面没有包被骨外膜 (图 1-3)。

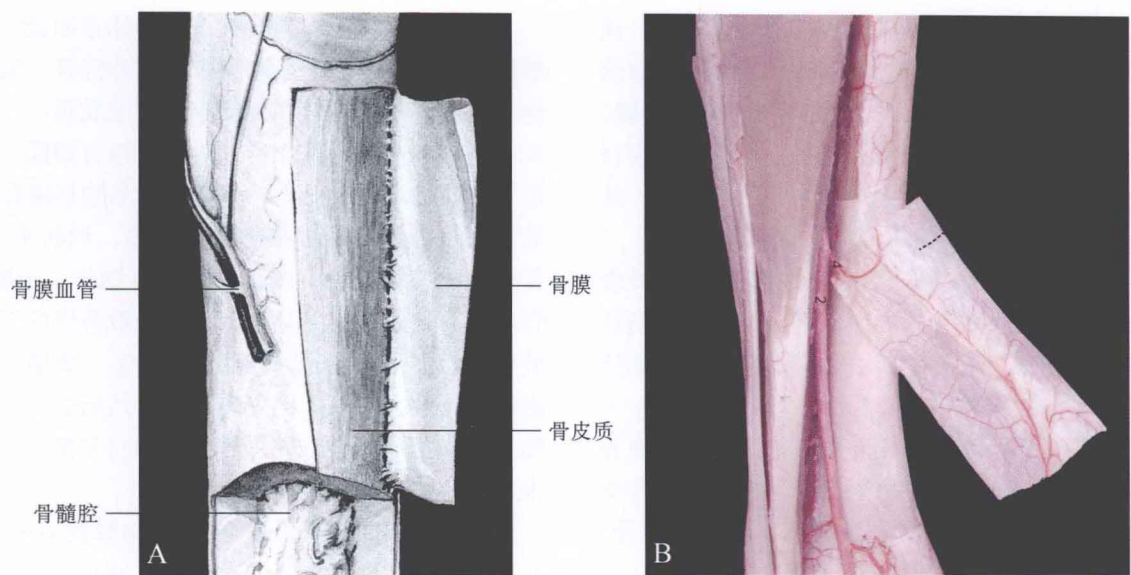


图 1-3 骨膜的结构
A. 模式图 (引自: 高士谦. 实用解剖图谱上肢分册. 第 2 版. 上海: 上海科技出版社, 2004:9);
B. 胫骨前骨膜实物图

骨内膜是一层较薄的结缔组织膜。除衬附在长骨骨干的骨髓腔面以外, 也衬附在哈佛氏 (Havers) 管内腔面以及包在松质骨的骨小梁表面。骨内膜的细胞也有造骨功能, 还有造血的潜能。成年时期的骨内膜细胞呈不活动状态, 若遇骨损伤时, 与骨外膜内层细胞共同恢复骨的再生功能。

骨膜分布有丰富的血管神经, 经伏克曼管和哈佛氏管进入骨内, 营养骨组织和骨髓, 因此骨膜对骨的生长发育和营养有重要作用。

三、骨的血管、淋巴管和神经

骨的种类不同, 其血管的分布也不同, 与骨不连和骨延迟愈合密切相关的主要还是骨的血供。

1. 骨的血管 长骨由滋养动脉、骨外膜动脉、干骺端动脉和骺动脉供应血液 (图 1-4)。滋养动脉供应长骨全部血量的 50% ~ 70%, 有 1 ~ 2 支, 经滋养管进入骨髓腔, 入骨髓腔后称中央动脉, 沿骨长轴分为升支和降支, 分别到达骨端, 在骺板完全骨化后与干骺端动脉和骺动脉的分支吻合。中央动脉的升、降支沿途都有分支, 并在骨内膜吻合成网, 然后再形成三种皮质骨动脉, 即: ①短支, 该分支最远到达皮质骨中间 1/3 区域; ②返支, 该支进入皮质骨的内侧位, 然后再返回骨髓腔, 形成血

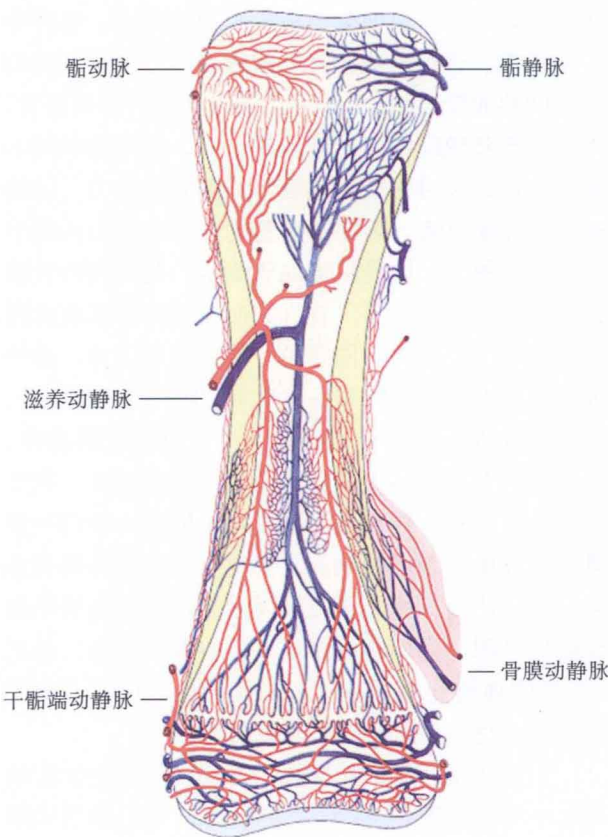


图 1-4 长骨由滋养动脉、骨外膜动脉、干骺端动脉和骺动脉供应血液

管环；③贯穿支，该支横向进入皮质骨，与骨外膜动脉吻合。这些分支与骨外膜动脉和干骺端动脉的分支共同组成骨髓血管体系，它们不仅分布于骨髓，还供应骨干内 2/3 的皮质骨，它们在密质骨中穿行于内环骨板的穿通管，与中央管内的血管吻合。此外，中央动脉可呈螺旋形环绕中央静脉窦。

骨外膜内的小动脉丰富，其分支穿行于外环骨板的穿通管，与中央管内的血管吻合，这些小动脉仅供应骨干密质骨的外 1/3，当骨折伤及滋养动脉时，则可代偿供应较多的皮质骨。骨外膜也是一个复杂的血管体系，在骨外膜外层（纤维层）表面分支形成血管丛，此血管丛由短支、环行支和纵行支组成。短支无特定行走方向，环行支环绕管状骨，纵行支与骨长轴平行。与骨外膜外层的血管丛相比，骨外膜内层（生发层）血管丛较细而稀疏，主要沿长轴走行。骨外膜内、外两层的血管之间有吻合支相连。骨外膜的血液来源可分为四组：①骨外膜固有血管，分布于骨外膜外层。②肌-骨膜血管，在肌肉起始点处，肌血管与骨外膜血管吻合。临床和实验证实，骨折造成的骨外膜剥离若不损伤肌肉与骨之间的血管连接，骨外膜仍能存活并可形成新骨。若肌与骨外膜间的血管连接被破坏，既可影响肌的侧支血供，又可影响骨外膜形成新骨的能力。③筋膜-骨外膜血管，为四肢血管的分支经过肌间隔分布于骨外膜。④皮质毛细血管吻合，与内侧的骨髓毛细血管网沟通。至于骨外膜血管如何与皮质骨内血管相沟通，尚有不同意见。传统观点认为，骨外膜的动脉发出微动脉穿入皮质骨，但也有学者认为，从骨外膜穿入皮质骨的只有毛细血管而无微动脉。骨外膜血管体系与上述骨髓的中央动脉吻合，使骨干的骨组织具有双重血液供应，了解这一情况对解释骨的血供、骨折的愈合及外科手术方案等都有重要意义。此外，骨外膜血管反过来也是骨骼肌的重要血供来源，如切断或碾伤该肌的营养动脉，若肌-骨外膜血管连接保存完好，肌的血流供应不会明显减少，也不会造成缺血性肌损伤。

干骺端动脉和骺动脉供应长骨全部血量的 20% ~ 40%，都来自骨附近的动脉，它们分别从骺板的近侧和远侧进入骨质，在骺板矿化形成骺线之前，形成与生长有关的血管单位。邻近的两个长骨骨骺构成关节，其血管吻合形成关节血管环。骺板骨化后关节血管环及滋养动脉的升、降支之间常有吻合。

长骨的血液直接或间接地经静脉系回流。直接静脉系包括骨骺-干骺端静脉及滋养静脉，直接静脉系的属支导静脉或穿透支穿行于皮质骨，一般是两条静脉与一条动脉伴行。导静脉没有瓣膜，血流汇入四肢的深部静脉干。间接静脉系包括静脉窦及其属支；骨髓内的中央静脉窦弯曲，形状不规则，管径粗大，管壁薄，覆以单层内皮细胞。干骺端-骨干接合处的中央静脉窦，汇集成数条纵向干骺端静脉，近侧干骺端的静脉比远侧的多。骨髓的静脉血回流入腔大壁薄的中央静脉窦，然后流入小静脉，与小动脉相伴出骨。静脉系的血容量比动脉系大 6 ~ 8 倍。

骨髓毛细血管有三种类型，即动脉性毛细血管、血窦和静脉性毛细血管。动脉性毛细血管又称毛细血管，直径约 8 μm ，呈直向走行。血窦与中央动脉的放射状分支相连，分布于骨髓的周边，其形状不规则，管径大小不等，视血液充盈程度而定，一般为 15 ~ 60 μm ，窦壁由内皮、基膜和周细胞组成；血窦之间充满造血组织。静脉毛细血管即小静脉，直径约 12 μm ，可与血窦相连。皮质骨内不同来源的毛细血管吻合成网，并在骨组织改建过程中不断变化。

关于皮质骨内的血流方向，一般认为是离心循环，即骨内膜侧的中央动脉血流经皮质骨内中央管中的毛细血管，然后流到骨外膜及肌肉，而髓腔内血流呈现向心性流动（图 1-5）。骨外膜循环可代偿中央动脉血流的不足，此时，皮质骨内毛细血管血流可有反流现象。

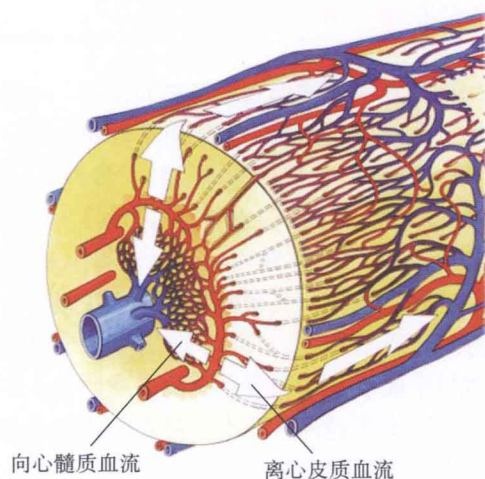


图 1-5 皮质骨内的血流呈现离心循环，而髓内血流呈现向心性（白箭头）

2. 骨的淋巴管 有研究证明骨膜内有淋巴管,但未发现骨组织内的淋巴管。将墨汁注入骨膜,可在血管附近看到纤细的淋巴管网状结构。用静脉内银浸透法,也未见血管周围的淋巴腔隙。结扎股静脉造成淤血,可使骨外膜的淋巴管扩张,而骨组织内只见毛细血管扩张,同时出现血管周围水肿,但未能证明在骨髓内或骨组织内存在淋巴管。将碳素墨水或放射性标记物注射到骨髓,血管内皮细胞内可见碳颗粒,注射物可出现于肢体近端淋巴结内,提示注射物可能是通过淋巴系统运输的,但同样也未能证明骨内存在淋巴管。总之,迄今仍未能证实骨内存在淋巴管。

3. 骨的神 骨组织、骨膜及骨髓内的神经纤维包括直径 $7\mu\text{m}$ 的有髓神经纤维与直径 $1\sim 3\mu\text{m}$ 的无髓神经纤维,它们都分布于血管附近。人和动物的股骨与胫骨的神经见于动脉中膜内和毛细血管周围,骨髓内可见神经终末支。在骨髓细胞周围和骨内膜的骨祖细胞周围均可见纤细的环状神经末梢。采用神经纤维变性法研究了骨内神经纤维的性质和功能,提出骨神经纤维有三种,一是无髓的交感神经纤维,位于血管周围,可收缩血管,控制血流;二是有髓的感觉神经纤维,分布于血管周围及骨髓;三是分布于骨髓内的无髓神经纤维,可能与调节造血有关。

近年来,随着骨组织处理方法的进步,尤其是脱钙技术的改进,可应用免疫组化方法研究骨内神经纤维的分布规律及其含有神经肽类型和含量。骨内存在不同神经肽能神经,主要分布于代谢活跃的骨组织,降钙素基因相关肽 (calcitonin gene related peptide, CGRP) 和血管活性肠肽 (vasoactive intestinal peptide, VIP),免疫阳性神经纤维分布于骨膜各层,P 物质 (SP) 和 CGRP 免疫阳性神经纤维分布于骨髓。研究证明,干骺端的成骨细胞和破骨细胞以及骨膜细胞受 CGRP 神经纤维的作用。骨的神经纤维伴随骨的血管一同进入后在骨单位的中心即哈佛氏管中随血管分布 (图 1-6)。

了解骨的神经分布与支配,对于深入研究脊髓损伤截瘫患者的骨愈合与神经源性骨关节病 (Charcot joint) 有很好的帮助。

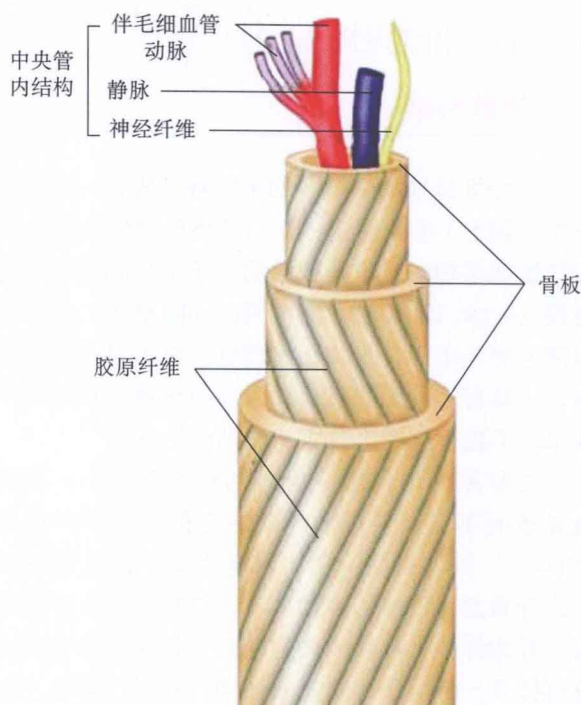


图 1-6 骨的神经纤维伴随骨的血管在哈佛氏管中走行

四、骨的理化特性

新鲜骨为白色略带粉红色或黄色,比重 $1.87\sim 1.97$ 。骨中含有有机质和无机质,前者主要为骨胶原,在成人骨约占 $1/3$,使骨具有弹性;后者为无机盐类,主要为磷酸钙、碳酸钙和氯化钠等,在成人骨约占 $2/3$,使骨质坚硬。骨的胶质纤维形成网状的支架,无机盐类沉积在胶质纤维周围,构成骨的间质。

成人新鲜骨内含 50% 的水, 15.75% 的脂肪, 12.4% 的其他有机物和 21.85% 的无机物。脱脂的干骨含磷酸钙 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% 及有机物 (骨胶原) 33.3%。

骨的化学成分与物理性质在人的一生中都在不断地发展与变化,随年龄、生活条件及健康情况而变化。幼年时,骨组织的有机质较多,故弹性较大,硬度较小,不易发生骨折,但容易形成畸形。老年人则相反,骨组织中无机质较多,故脆性较大而易发生骨折。

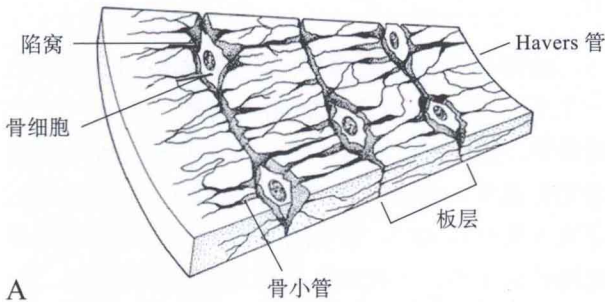
(康庆林)

第二节 骨的组织结构

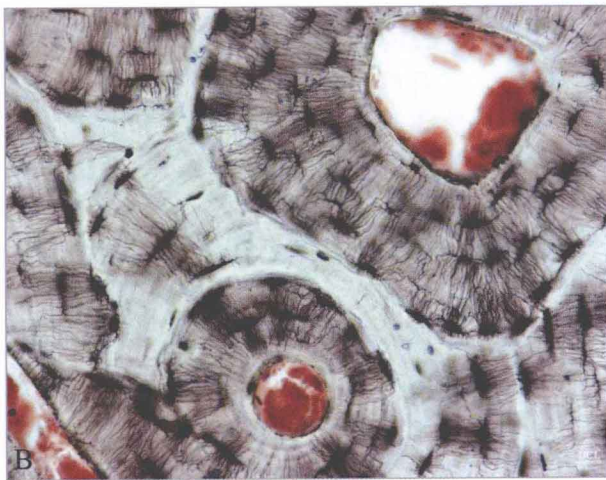
一、骨的纤维

骨纤维是细胞间质中的主要有机成分，为胶原纤维，属于I型胶原蛋白，与其他结缔组织中的胶原纤维基本相同，但是胶原的分子结构间有较强的交联（cross-linked），纤维间的间隙略大，这种结构使其更为牢固，更具化学惰性。电子显微镜下观察，也具有等间距的横纹。骨胶原纤维在稀酸中不膨胀，不被可溶其他胶原的溶剂所溶解。

骨胶原纤维包埋在含有钙盐的基质中，为其掩盖故而不显。若用弱酸或络合剂乙二胺四醋酸（EDTA）等溶液浸泡后，骨基质中的无机盐被溶去，骨质由坚硬变为柔韧可屈，同时可显出骨的纤维。骨的纤维大都组成较致密的纤维束，呈规则的分层排列。每层纤维与基质共同构成板状结构，称为骨板（bone lamella）。骨细胞被夹在骨板之间（图1-7）。



A



B

图1-7 骨纤维与基质构成骨板，骨细胞被夹在骨板之间
A. 模式图；B. 骨磨片染色

在不脱钙的骨组织超薄切片上，羟磷磷灰石结晶（hydroxylapatite crystal）沿原纤维的长轴分布，晶体中心的晶轴与胶原纤维的长轴平行排列。由于骨胶原纤维与羟磷灰石结合，因而避免了二者机械性能的缺点，增强了骨质的机械强度。

二、骨的基质

骨基质是由无机成分和有机物组成。有机物主要有骨粘连蛋白、骨钙蛋白、蛋白多糖以及少量的硫酸软骨素。这些都是无定形物质，均由成骨细胞分泌而来。骨粘连蛋白可将无机物与骨胶原纤维结合在一起。骨钙蛋白也附着在胶原纤维上，与钙盐沉着有关。这些无定形物质，微呈异染性，对PAS呈阳性反应。骨基质中水分含量甚少，仅占鲜重的10%。

骨基质中的无机成分统称骨矿盐。骨矿盐占成人骨干重的65%左右，随着年龄的增长，骨盐也随之增多，所以老年人的骨骼相对脆弱而易折断。骨盐在电子显微镜下观察呈细针状结晶，长约10 nm，宽1.5 ~ 3 nm，有的结晶呈叶状或薄片样。这些结晶大都沉积在胶原纤维间，结晶排列成链或聚集成团。

骨盐的化学成分主要是羟基磷灰石，是由钙（ Ca^{2+} ）、磷酸根（ PO_4^{3-} ）和羟基（ OH^- ）等结合而成。此外，骨盐中还含有其他离子，如镁（ Mg^{2+} ）、钠（ Na^+ ）、钾（ K^+ ）、氟（ F^- ）、氯（ Cl^- ）、碳酸（ CO_3^{2-} ）以及枸橼酸（ $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7^{3-}$ ）等。

三、骨的排列

骨是由不同排列方式的骨板所构成。将长骨骨干的皮质骨作横断面观察，骨板显出三种不同的排列方式（图1-8）。

表层的骨板环绕骨干排列，称为外环骨板层（outer circumferential lamellae），是由数层骨板组成，外表层与骨膜紧密相接。在外环骨板层中可见与骨干垂直的孔道，横向穿行于骨板层，称伏克曼管。骨外膜的小血管经由此管进入骨内。靠近骨髓腔两边有数层骨板环绕骨干排列，称为内环骨板层（inner circumferential lamellae）。此层骨板往往因骨髓腔的凹凸不平而排列不甚整齐。骨板的最内层衬附有骨内膜，也可见有横向穿行的伏克曼管。

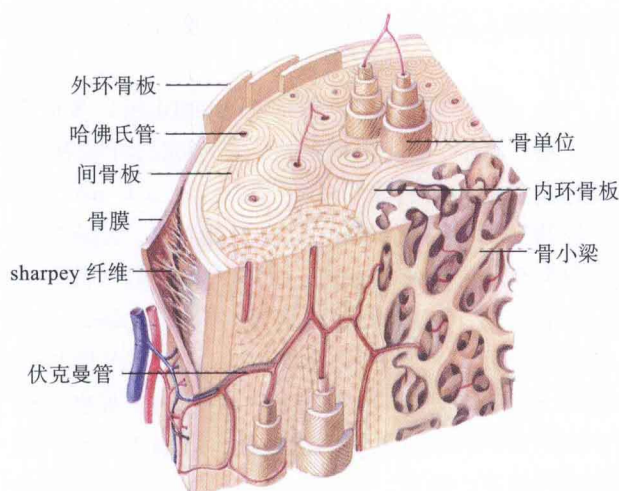


图 1-8 骨板与骨单位结构示意图

在内、外环骨板层之间是骨干密质骨的主要部分，由许多骨单位（osteon）所构成。骨单位呈厚壁的圆筒状，与骨的长轴呈平行排列。中央有一条细管，称哈佛氏管（Havers 管），围绕哈佛氏管有 5 ~ 20 层的骨板呈同心圆排列，宛如层层套入的管鞘。哈佛氏管与周围的骨板层共同组成骨单位，又可称作哈佛氏系统。在骨单位之间充填有一些不完整的骨单位。骨板排列不甚整齐，大都缺少哈佛氏管，称为间骨板（interstitial lamellae），是前代骨单位的遗迹。

哈佛氏管的直径不等，为 20 ~ 100 μm 。管的内壁衬有薄层结缔组织，其中的细胞成分随各自骨单位的活动状态而不同。在新生成的骨单位内多为成骨细胞，被破坏的骨单位则有破骨细胞，而一般的骨单位则是梭形细胞。在哈佛氏管内有小血管，大多数哈佛氏管的管径较狭窄，所以一般只有一条血管，大都是毛细血管，血管直径一般为 15 μm ，直径较大的中央管内含两条毛细血管，可能是小动脉和小静脉。伏克曼管与哈佛氏管的走向彼此垂直并相互沟通，故其中的血管也彼此相通。在哈佛氏管内还可见到细的无髓神经纤维与血管伴行，偶尔也可见到有髓纤维。

骨皮质的骨板厚度一般为 5 ~ 7 μm 。各部位骨矿盐分布不尽相同，在内环骨板和间骨板的含量很高，而且在各板层中分布较一致。骨松质的骨小梁也由骨板构成，但层次较薄，结构简单，一般都不显骨单位。然而，在大的骨小梁中也可见到小而

不完整的骨单位，骨细胞的营养依靠骨小梁表面的骨髓腔中的血管供给。

四、骨的细胞

按照骨组织的细胞形态和功能，一般可分为三种类型：即骨细胞、成骨细胞和破骨细胞。这些细胞有着共同的起源，在生理需要和周围环境的影响下，遂分化成不同形态的细胞。

1. 骨细胞 骨细胞（osteocyte）是骨组织中的主要细胞。包埋在钙化的细胞间质内的腔隙中，此腔隙称为骨陷窝（lacuna）。骨细胞的胞体是扁椭圆形，有许多细长的突起（图 1-9）。这些细长的突起伸进骨陷窝周围的小管内，此小管又称骨小管（canaliculus）。骨细胞的胞核大都为卵圆形，着色深。胞质稍呈嗜碱性，可见线粒体和高尔基复合体，用特殊染色可显糖原颗粒和脂滴。在电镜下观察，骨细胞的胞质内有不甚发达的高尔基复合体和少量的线粒体、较少粗面内质网以及稀疏的核蛋白体，表明这类细胞功能活动不强。

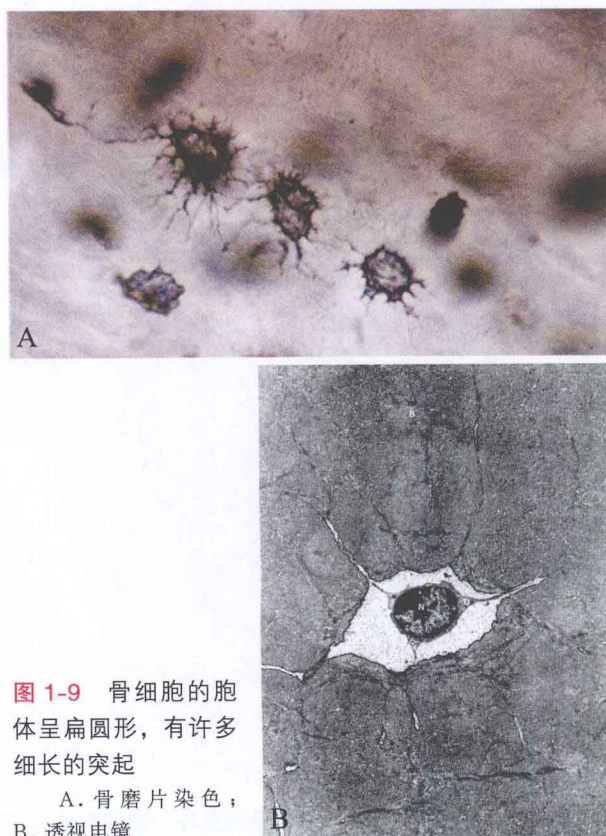


图 1-9 骨细胞的胞体呈扁圆形，有许多细长的突起

A. 骨磨片染色；
B. 透射电镜