

GU SHENG LI XUE

骨生理学



主编 马克昌 冯 坤 朱太咏 郭建刚

河南医科大学出版社

胃生理学

主 编	马克昌	冯 坤	朱太咏	郭建刚
副 主 编	王金萍	卢建莎		
主编秘书	朱太咏			
编 委	马克昌	王金萍	冯 坤	
	卢建莎	朱太咏	陈宝龙	
	郭建刚	谢 文	谢 艳	
策 划	荆成志			
主 审	张传礼	郭艳幸		
顾 问	李金明	高子范	郭 奎	

河南医科大学出版社

· 郑 州 ·

图书在版编目(CIP)数据

骨生理学 / 马克昌等主编. - 郑州: 河南医科大学出版社, 2000. 3

ISBN 7-81048-371-4

I. 骨… II. 马… III. 骨-人体生理学 IV. R336

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 15483 号

河南医科大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

邮政编码 450052 电话 (0371)6988300

河南医版激光照排中心照排

郑州文华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 33.375 字数 791 千字

2000 年 3 月第 1 版 2000 年 3 月第 1 次印刷

印数 1-3 150 册 定价: 67.50 元

内容提要

本书从三方面叙述骨生理学,第一,骨骼的组织结构,叙述骨的结构、组成和性质;第二,骨的代谢生理,叙述骨的生长、发育、形成、吸收、钙磷代谢及骨的生物化学等;第三,骨的临床生理学,主要叙述骨折愈合、骨移植、异位骨化、骨的电生理和骨的循环生理与临床等。内容尽量采用最新研究成果,力求准确、新颖。本书是一本基础和临床相结合的骨生理学,可供医学院校学生、研究生、教师和临床医务工作者参考,是从事骨科和相关学科的医护人员的益友。

前言

骨生理学是研究骨的生长、发育和代谢等各种功能及其调节机制的科学。纵观骨生理学的发展过程,可以看出骨生理学是在骨科临床的需要和驱使下发展起来的,同时骨生理学的每一个突破,每一个进步,都为骨科临床打开了新领域的大门。

比如佝偻病,人们在 17 世纪就把它当作一种病来认识了,但直到 20 世纪 20 年代发现维生素 D 以前,对佝偻病的病因还是一无所知。只有在发现了维生素 D 以后,并且在清楚地了解了维生素 D 的生理功能和代谢特点之后,才逐渐揭示了佝偻病的秘密,人们才掌握了治疗佝偻病的主动权。

再如,应力不但能促进骨骼的生长和发育,而且促使骨向功能需要的方向漂移。儿童长骨骨折,成角畸形愈合,只要角度不超过 20° ,通过塑造,最终都能自行完全矫正。这些现象早已为人们所熟知,并且提出了著名的 Wolff 定律。但是应力产生上述作用的原理是什么,在当时没有一门医学学科可以作出满意的解释,甚至在用最应该能说明问题的生物力学来解释时,得出成角畸形在外力作用下,角度只能越来越大直至断裂的结论。看来急需一种理论来解释应力对骨的作用。50 年代日本学者发现了骨的生物电现象,压力作用于骨产生一种生物电,正是通过这种电信号的转换,作用于骨的细胞,产生成骨漂移和破骨漂移。骨生物电理论的发展不但可以满意地解释应力对骨生长发育的作用原理,而且在骨坏死、骨质疏松、创伤康复、软骨、肌腱、韧带的修复等领域内广泛应用电刺激方法,使这一方面成为一种研究活跃的领域,并已取得了不少可喜的成果。

在 60 年代以前,人们还认为骨的生理作用只是支撑和保护。60 年代以后,人们搞清了维生素 D 的生理功能和代谢特点,特别是甲状旁腺激素和降钙素的功能和对骨的作用以后,对骨的生理功能才有了全新的认识。骨的生理功能不只是支撑和保护,而且是体内无机物最大的储存库。骨的形成与吸收、肠和肾对钙磷的吸收及代谢调节共同组成了维持钙磷内环境稳定的三大系统。因此促进了对骨代谢和功能的深入研究。总之,骨生理学的发展离不开骨科临床实践的需要,同时它的每一个进步又为临床打开了新的领域的大门,从而推动着骨生理科学和骨科临床的不断发展。

虽然 60 年代以后,骨生理学有了突飞猛进的发展,但是由于它发展得较晚,所以在完整性和系统性方面远没有其他一些医学学科完善,有许多问题比如骨坏死的详细机制、骨折延迟愈合和不愈合的生理机制、生物电作用的细胞内过程、骨骼维持内环境稳定在临床方面的重要意义等,还没有得到解决,随着这些问题的解决一定会给骨科临床开创崭新的局面。

由于骨生理学的飞速发展,新知识新领域不断涌现,再加上我们的工作经历、知识水平和阅读范围所限,因此编写的这本《骨生理学》难免会有遗漏和陈旧的观点,甚至会有错误的地方,恳望各位专家批评指正。

马克昌

1999 年 8 月

目录

第1章 骨学概况	(3)
1 骨的形态	(3)
1.1 长骨	(3)
1.2 短骨	(3)
1.3 扁骨	(4)
1.4 不规则骨	(4)
2 骨的构成	(5)
2.1 骨组织	(5)
2.2 骨膜	(6)
2.3 骨髓	(8)
2.4 骨的血管	(9)
2.5 骨的淋巴管	(9)
2.6 骨的神经	(9)
2.7 关节软骨	(9)
2.8 骨内液体分布	(9)
3 骨的组织结构及骨的构造	(10)
3.1 骨组织的分类	(10)
3.2 骨的构造	(11)
第2章 骨细胞谱系	(19)
1 骨祖细胞	(19)
2 成骨细胞	(20)
3 骨细胞	(22)
4 破骨细胞	(23)
5 骨衬细胞	(25)
第3章 软骨	(29)
1 透明软骨	(29)
1.1 发生	(29)
1.2 生长	(30)
1.3 软骨细胞	(32)

1.4 基质	(32)
2 弹性软骨	(32)
3 纤维软骨	(33)
4 软骨的营养	(33)
5 软骨的退变和再生	(35)
5.1 退变	(35)
5.2 再生	(35)
6 关节软骨	(35)
6.1 关节的发生	(35)
6.2 关节软骨的结构	(36)
6.3 关节软骨的生化	(37)
6.4 关节软骨的退变	(37)
6.5 关节软骨的营养	(41)
6.6 关节软骨的修复	(41)
第4章 骨胶原蛋白	(47)
1 胶原的分布与分类	(48)
2 胶原的结构	(49)
2.1 胶原 α -肽链的氨基酸组成特征	(49)
2.2 前胶原 α -肽链的结构	(50)
2.3 前胶原的结构	(54)
2.4 原胶原的结构	(54)
2.5 胶原纤维的结构	(55)
2.6 结构与功能的关系	(57)
3 胶原的基因	(57)
3.1 人类胶原基因的定位	(58)
3.2 胶原基因的结构与功能区域	(61)
4 胶原的生物合成	(62)
4.1 细胞内合成阶段	(63)
4.2 细胞外合成阶段	(69)
5 胶原的分解代谢	(71)
5.1 成熟胶原的分解	(71)
5.2 新合成胶原的分解	(74)
6 胶原代谢产物	(75)
6.1 羟脯氨酸	(75)
6.2 前胶原 C-肽	(76)
6.3 前胶原 N-肽	(76)

6.4 胶原吡啶交联	(76)
6.5 尿羟赖氨酸糖甙	(77)
7 胶原代谢障碍	(77)
7.1 胶原类型的合成障碍	(77)
7.2 细胞内胶原蛋白成熟障碍	(78)
7.3 细胞外胶原蛋白成熟障碍	(78)
第5章 骨组织中的蛋白多糖	(85)
1 蛋白多糖的结构	(86)
1.1 糖胺多糖的结构	(86)
1.2 多糖链和蛋白质连接部分的结构	(90)
1.3 蛋白多糖的结构	(91)
1.4 蛋白多糖分子的不均一性	(92)
2 蛋白多糖的生物代谢	(94)
2.1 蛋白多糖的合成代谢	(94)
2.2 蛋白多糖的分解代谢	(98)
2.3 影响蛋白多糖代谢的因素	(99)
3 骨蛋白多糖的生理功能	(101)
3.1 可逆的抗压缩力	(101)
3.2 维持软骨的体积和形状	(101)
3.3 蛋白多糖与钙化的关系	(102)
3.4 对阳离子的作用	(102)
3.5 对骨发育和骨结构的作用	(102)
3.6 与其他一些疾病的关系	(103)
4 骨相关的黏多糖病	(104)
4.1 黏多糖病 I 型	(104)
4.2 Hunter 综合征(MPSIIH)	(105)
4.3 Sanfilippo 综合征	(106)
4.4 Morquio 综合征	(106)
4.5 Maroteaux - Lamy 综合征	(107)
4.6 β -葡萄糖苷酸酶缺损病 (MPS VII)	(107)
4.7 黏多糖病 VIII 型	(107)
4.8 Pfaundler - Hurler 综合征	(108)
第6章 骨组织中的非胶原蛋白	(115)
1 骨钙素	(115)
1.1 化学结构	(116)

1.2 生物合成	(117)
1.3 生理功能	(118)
1.4 临床意义	(118)
2 骨形态发生蛋白	(118)
2.1 化学结构	(119)
2.2 生理功能	(119)
2.3 临床意义	(120)
3 唾液酸蛋白质	(121)
3.1 唾液酸蛋白的结构	(121)
3.2 生理功能	(123)
4 软骨钙素	(123)
4.1 软骨钙素的结构与分布	(123)
4.2 软骨钙素的生理功能	(124)
4.3 软骨钙素的激素调节	(124)
4.4 软骨钙素与骨病理	(124)
5 碱性磷酸酶	(125)
6 骨粘连素	(126)
7 含 RGD 的蛋白	(127)
7.1 血小板反应蛋白	(127)
7.2 纤维粘连蛋白	(127)
7.3 血清 S 蛋白	(128)
7.4 骨桥蛋白	(128)
7.5 骨酸性糖蛋白 - 75	(128)
8 骨生长因子	(128)
8.1 骨骼生长因子	(128)
8.2 骨源性生长因子	(129)
8.3 软骨源性生长因子	(129)
8.4 软骨诱导因子	(129)
9 血浆蛋白质	(130)
9.1 血浆白蛋白	(130)
9.2 血浆 α_2 巯基糖蛋白	(130)
10 磷蛋白	(131)
第 7 章 骨中无机物	(137)
1 概述	(137)
2 骨无机磷酸盐的化学特性	(138)
3 骨中其他几种主要无机成分	(139)

3.1 碳酸盐	(139)
3.2 氟	(139)
3.3 钠	(142)
3.4 钾	(142)
3.5 镁	(142)
4 微量元素	(144)
4.1 锌	(145)
4.2 铜	(146)
4.3 锰	(146)
4.4 锶	(146)
4.5 硒	(146)
4.6 其他微量元素	(147)
5 柠檬酸盐	(148)
5.1 骨中柠檬酸	(148)
5.2 柠檬酸与骨代谢的关系	(148)
第8章 钙代谢及钙内环境稳定	(155)
1 钙的体内分布与生理作用	(155)
1.1 钙的分布	(155)
1.2 钙的生理作用	(156)
2 肠钙吸收	(157)
2.1 肠钙吸收的部位	(157)
2.2 钙吸收机制	(158)
2.3 钙结合蛋白质	(158)
2.4 肠钙吸收的一些概念	(159)
3 影响肠钙吸收的因素	(160)
3.1 维生素 D 及其活性代谢物	(160)
3.2 甲状旁腺激素(PTH)	(161)
3.3 降钙素(CT)	(161)
3.4 其他激素	(162)
3.5 药物的影响	(162)
3.6 氢离子浓度	(162)
3.7 食物成分	(163)
4 肾钙转运与尿钙	(163)
4.1 肾小球钙的滤过和肾小管钙 的重吸收	(163)
4.2 尿钙	(166)

5 血钙平衡	(168)
5.1 血钙的构成	(168)
5.2 血钙平衡	(170)
6 青春期和老年人补钙	(172)
6.1 补钙对青春期骨骼的影响	(172)
6.2 老年人补钙对骨骼的影响	(173)
7 钙代谢异常	(174)
7.1 钙吸收亢进	(174)
7.2 钙吸收不良	(174)
第9章 无机磷代谢与内环境稳定	(179)
1 磷在人体内的分布	(179)
2 饮食磷	(180)
2.1 饮食磷	(180)
2.2 磷的吸收	(181)
3 血磷和血磷平衡	(182)
3.1 血中磷的分布	(182)
3.2 血浆磷	(183)
3.3 血磷平衡	(184)
3.4 血磷的调节	(185)
4 肾对磷的处理过程	(186)
4.1 肾处理的测定	(186)
4.2 肾小管重吸收的部位	(186)
4.3 肾小管的分泌	(187)
4.4 肾小管重吸收的机制	(187)
4.5 影响肾小管磷重吸收的因子	(188)
4.6 肾小管磷重吸收的调节	(189)
4.7 与肾磷处理有关的疾病	(189)
5 无机磷与骨的关系	(190)
5.1 骨与磷内环境稳定的关系	(190)
5.2 磷对骨吸收、骨形成和骨细胞功能的 影响	(190)
5.3 磷酸盐缺乏对骨的影响	(191)
第10章 钙磷代谢的调节	(195)
1 甲状旁腺激素	(196)
1.1 结构	(196)
1.2 合成与分泌	(196)

1.3 生理作用	(197)
1.4 甲旁亢性骨病	(201)
1.5 甲旁减性骨病	(202)
2 降钙素	(203)
2.1 分泌与结构	(203)
2.2 性质	(204)
2.3 生理作用	(204)
2.4 临床应用	(205)
3 维生素 D 代谢产物	(205)
3.1 生物合成及合成的调节	(205)
3.2 性质与分布	(209)
3.3 生理作用	(209)
4 其他激素与钙磷代谢	(218)
第 11 章 骨的发生、生长和发育	(223)
1 骨的发生	(223)
2 骨发育的阶段	(224)
3 骨形成的模式	(225)
3.1 膜内化骨	(225)
3.2 软骨内化骨	(227)
4 躯干骨的发育	(228)
4.1 脊椎骨的发育	(228)
4.2 肋骨的发育	(231)
4.3 胸骨的发育	(231)
5 四肢骨的发育	(232)
5.1 四肢骨的发生	(232)
5.2 四肢骨的发育与形成	(233)
6 生长板的结构和功能	(235)
6.1 生长板的形成	(235)
6.2 生长板的血液供应	(235)
6.3 生长板的组成成分及功能	(235)
7 骨的塑造和再造	(241)
8 影响骨生长发育的一些生物学因子	(241)
8.1 性激素与青春迸发期	(241)
8.2 生长激素与生长素介质	(243)
8.3 胰岛素	(245)
8.4 胰高血糖素	(245)

8.5 催乳素	(245)
8.6 甲状腺素	(245)
8.7 性激素	(247)
8.8 肾上腺皮质类固醇激素	(248)
9 骨龄及其临床意义	(250)
9.1 骨龄与骨龄标准	(250)
9.2 腕部各次级骨化中心出现的年龄及手腕 部各骨干骺融合的年龄	(251)
9.3 关于肘骨龄的研究	(252)
9.4 人体四肢骨和躯干骨骼的发育	(252)
9.5 肋骨的发育	(253)
9.6 脊椎的发育	(253)
9.7 骨皮质的发育及其测量	(254)
第 12 章 破骨细胞的细胞生理学	(259)
1 破骨细胞的鉴别方法	(259)
1.1 组织学鉴别	(259)
1.2 组织化学鉴别	(260)
2 破骨细胞的细胞发育史	(260)
3 成骨细胞和激素因子对破骨细胞 分化和功能的调控作用	(262)
3.1 成骨细胞的调节作用	(262)
3.2 PTH 和 PTH 相关肽的作用	(262)
3.3 1,25-(OH) ₂ D ₃ 的作用	(263)
3.4 其他生长因子的作用	(263)
4 病理性骨吸收	(263)
4.1 甲状旁腺功能亢进	(263)
4.2 绝经后骨质疏松	(264)
4.3 Paget's 病	(264)
4.4 骨巨细胞瘤	(264)
4.5 其他	(264)
5 小结	(265)
第 13 章 骨再造生理	(271)
1 骨组织的基本组成	(271)
1.1 板层骨	(271)
1.2 编织骨	(272)
1.3 透明软骨	(272)

1.4 纤维组织	(272)
2 骨骼的 5 种基本生理过程	(272)
2.1 生长	(273)
2.2 塑造	(273)
2.3 再造	(273)
2.4 修复	(274)
2.5 血液与骨的物质交换	(274)
3 骨的塑造过程	(275)
3.1 软骨塑造	(275)
3.2 骨的塑造	(277)
3.3 纤维组织塑造	(281)
4 骨的再造过程	(281)
4.1 骨再造和 BMU 理论	(281)
4.2 骨表面	(283)
4.3 骨再造与骨质疏松	(283)
4.4 骨平衡障碍的序贯疗法	(286)
4.5 骨软化	(288)
4.6 纤维组织再造	(289)
5 宏观修复过程	(289)
5.1 软骨的修复	(289)
5.2 骨折愈合	(289)
5.3 纤维组织修复	(290)
6 骨组织的形成	(291)
6.1 骨组织的形成过程	(291)
6.2 影响骨组织形成的因素	(292)
7 骨组织的吸收	(294)
7.1 破骨细胞性骨吸收	(294)
7.2 骨细胞性骨吸收	(296)
8 骨和血液的物质交换	(296)
第 14 章 钙化机制	(303)
1 骨中无机物的性质	(303)
2 钙化过程	(304)
2.1 难溶物质溶度积概念	(304)
2.2 体液中钙磷离子的浓度	(304)
2.3 骨无机物中磷酸钙存在的形式	(305)

2.4 升高钙和无机磷离子 浓度的机制	(306)
2.5 结晶核心	(308)
2.6 软骨与骨的矿化	(312)
2.7 磷脂在钙化中的作用	(313)
3 矿化的抑制系统	(314)
第 15 章 骨与维生素	(321)
1 维生素 A	(321)
1.1 结构与来源	(321)
1.2 一般生理功能	(322)
1.3 对骨骼系统的作用	(323)
2 维生素 C	(324)
2.1 化学性质	(324)
2.2 坏血病	(325)
2.3 对胶原和糖胺多糖代谢的影响	(325)
3 维生素 K	(327)
3.1 化学结构	(327)
3.2 生理功能和维生素 K 缺乏症	(327)
3.3 对骨骼系统的影响	(328)
4 维生素 E	(330)
4.1 化学性质	(330)
4.2 生理功能	(330)
4.3 对骨骼系统的影响	(330)
第 16 章 骨与软骨中的酶	(335)
1 磷酸酶	(335)
1.1 碱性磷酸酶	(335)
1.2 酸性磷酸酶	(338)
1.3 无机焦磷酸酶	(338)
2 与基质降解有关的酶	(339)
2.1 酸性蛋白酶	(339)
2.2 巯基蛋白酶	(340)
3 与软骨向骨转化有关的生物化学	(343)
3.1 软骨内骨化过程	(343)
3.2 肥大软骨细胞带	(345)
3.3 鹿角的生长和软骨内成骨之间 的关系	(345)

4 机体死亡后软骨的生化变化	(346)
第 17 章 骨折愈合生理	(353)
1 骨折愈合的一般过程	(353)
1.1 具有外骨膜的长管骨的愈合	(353)
1.2 松质骨的愈合	(355)
1.3 牢固内固定中的骨折的愈合	(356)
2 骨折愈合概念的更新	(356)
2.1 对骨折愈合认识的进步	(356)
2.2 生理、生化因子的功能与作用	(358)
3 影响骨折愈合的因素	(361)
3.1 全身因素	(361)
3.2 局部因素	(362)
3.3 骨折渗出物	(363)
4 创伤骨折愈合过程中整体的物质代谢 和能量代谢	(364)
4.1 超代谢	(364)
4.2 含氮物质的分解代谢	(364)
4.3 糖代谢	(365)
4.4 脂肪代谢	(366)
4.5 骨折和固定对钙丢失的影响	(366)
4.6 体重的丢失	(366)
4.7 饮食的影响	(367)
4.8 代谢高涨期的生理意义	(367)
5 骨折修复局部的生物化学	(368)
5.1 氧分压	(368)
5.2 骨痂的生物化学	(369)
5.3 磷酸酶	(374)
5.4 糖胺多糖	(375)
5.5 胶原	(375)
6 维生素与骨折愈合	(376)
6.1 维生素 C	(376)
6.2 维生素 D	(377)
6.3 维生素 A	(377)
6.4 维生素 K	(377)
7 营养成分对骨折愈合的影响	(378)
8 骨痂中细胞的来源	(379)