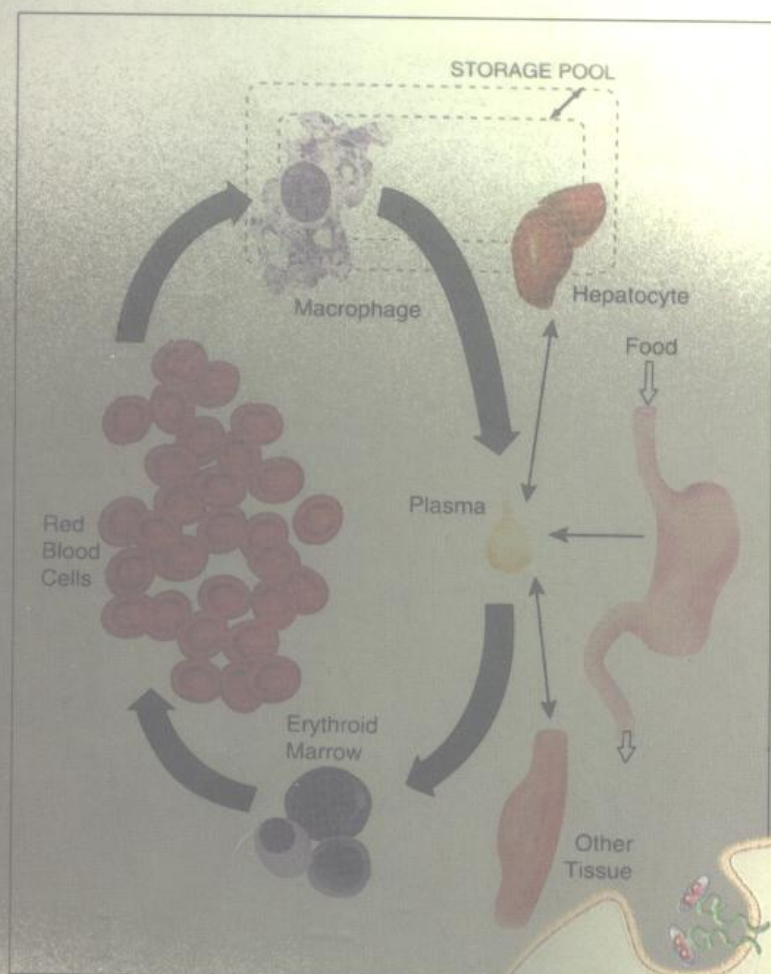


铁代谢 — 基础与临床

钱忠明 主编



科学出版社

铁 代 谢

——基础与临床

钱忠明 主编

科 学 出 版 社

2000

内 容 简 介

本书从基础到临床全面系统地总结了过去几十年在铁代谢方面的研究进展以及目前的认识。全书共分 18 章。前 9 章是基础部分, 讨论了铁的生物学用途、化学性质、生化功能、吸收、转运及 3 种参与铁代谢的主要蛋白的结构和功能。后 9 章是临床部分, 讨论了铁缺乏、铁过负荷、铁中毒、运动铁代谢和铁与氧化应激、中枢神经系统疾病、母婴健康、炎症、免疫和感染的关系。每章之后均附有主要的参考文献以方便查阅。

本书可供高等医学院校、综合性大学相关专业的本科生、研究生、教师以及相关科研单位的研究人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铁代谢——基础与临床/钱忠明主编. —北京: 科学出版社, 2000.1

ISBN 7-03-007772-5

I. 铁… II. 钱… III. 铁-微量元素-代谢障碍 IV. R58 9.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 31707 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100717

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

2000 年 1 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2000 年 1 月第一次印刷 印张: 24 1/2

印数: 1-1 800 字数: 547 000

定价: 45.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈北燕〉)

《铁代谢——基础与临床》编委会

主 编 钱忠明

审 校 徐 斌 冯佑民 王 沁

编委 (排名不分先后)

罗达德 沈 恂 冯佑民 许荣焜 马俊江

王 沁 邓柏澧 徐 斌 钱忠明

编写者 (排名不分先后)

埃文·摩根教授	西澳大利亚大学生理系, 珀斯, 澳大利亚
罗达德教授	香港大学医学院生理系
陆振南博士	香港大学医学院生理系
陈慧慈教授	香港中文大学护理系
沈 恂教授	中国科学院生物物理研究所
冯佑民教授	中国科学院上海生物化学研究所
曹慧敏助研	中国科学院上海生物化学研究所
杨天楹教授	中国医学科学院血液学研究所
许荣焜教授	中国医学科学院基础医学研究所
狄安裸博士	中国医学科学院基础医学研究所
许建宁助研	中国预防医学科学院劳动卫生与职业病研究所
马俊江教授	北京医科大学药理系
陈丽敏博士	西安第四军医大学生理系
廖清奎教授	华西医科大学小儿血液病及肿瘤研究所
符仁义教授	华西医科大学小儿血液病及肿瘤研究所
孔佩艳博士	华西医科大学小儿血液病及肿瘤研究所
阮长耿院士	苏州医学院, 江苏省血液病研究所
王 沁博士	香港理工大学应用生物和化学技术系
蒲咏梅硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系
许美凤硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系
肖德生硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系
夏春林博士	香港理工大学应用生物和化学技术系
陈文芳硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系
柯 亚女士	香港理工大学应用生物和化学技术系
王 雁讲师	香港理工大学应用生物和化学技术系
周晓峰硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系
杜 宇硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系
蔡英琼硕士	香港理工大学应用生物和化学技术系

徐 斌教授
邓柏澧教授
余海虎博士
黄艾玲硕士
钱忠明博士

香港理工大学应用生物和化学技术系
香港理工大学应用生物和化学技术系
香港理工大学应用生物和化学技术系
香港理工大学应用生物和化学技术系
香港理工大学应用生物和化学技术系

FOREWORD

Despite the centuries-long recognition of the importance of iron in human and animal nutrition iron metabolism is still a subject of great clinical and scientific interest. Indeed, in recent times there has been a marked resurgence of research activity. We now know that iron is an essential element for virtually all types of cells and organisms. Yet, even though iron is the fourth most abundant element in the earth's crust, iron deficiency still afflicts about 500 million of the world's population. Also, in recent years it has become clear that iron overload, as well as iron deficiency, is detrimental to health due to the damaging effects of excessive cellular iron deposition. In addition, many pathogenic bacteria and malignant cells have high iron requirements. All of these observations have stimulated research on iron absorption, the mechanisms of iron-induced cellular damage, the interactions between iron and defence mechanisms against bacterial infections, and iron chelators which can be used to combat iron overload and some types of infection and malignancy.

Another impetus for renewed interest in iron metabolism was isolation of the iron storage and transport proteins ferritin and transferrin and their cellular receptors. Investigation of the structure and function of these proteins has provided excellent models for the study of receptor function, endocytic processes and the role of transcriptional and post-transcriptional mechanisms for the regulation of gene expression. Even more recent and exciting is the discovery of the probable genetic defect responsible for hereditary haemochromatosis, a relatively common and life threatening iron storage disorder. This will undoubtedly stimulate further research into the molecular mechanisms of cellular iron transport and iron absorption.

Iron Metabolism: fundamental and clinical aspect is the first book on this topic to be written in the Chinese language. It provides an up-to-date and comprehensive coverage of all important aspects of the subject, and should be of great value to students, scientists and clinicians with interest in this field. The editor and authors must be congratulated for making the contents of the book available to such a wide, new audience.

Professor Evan H Morgan
Department of physiology
University of Western Australian
Nedland WA Australia

序

尽管在几个世纪以前人们就对铁在人和动物营养学中的重要性有了充分的认识，但直至今日铁代谢仍旧是临床和科学研究的热点。事实上最近一段时间来，研究活动又掀高潮。现在我们知道铁几乎是所有细胞或有机体的重要组成成分之一。然而，尽管铁在地壳中的含量位居第四，铁缺乏仍旧困扰着世界上大约 5 亿多的人口。近年来，人们越来越清楚地认识到除了铁缺乏，铁过负荷也会由于细胞内铁过多沉积的损伤效应而对健康造成危害；此外许多致病菌和恶性肿瘤细胞对铁的需求量很大。所有这些现象都促使人们加强对铁吸收、铁诱发的细胞损伤机制、铁与抗细菌感染的防卫机制之间的关系，以及用于对抗铁过负荷和某些类型的感染及恶性肿瘤的铁螯合剂的研究。

对铁代谢重新唤起兴趣的另一种动力是铁的储存和转运蛋白，包括铁蛋白、转铁蛋白及其细胞受体的分离。对这些蛋白的结构和功能的研究为进一步探讨受体功能、内吞过程、以及翻译和转录后机制在基因表达调控中的作用提供了理想的研究模型。近期更令人振奋的是发现基因缺陷在遗传性血色病（一种较为常见的致命性铁储存疾病）中的可能作用。毫无疑问，这一发现必将刺激对细胞的铁转运和铁吸收分子机制的深入研究。

《铁代谢——基础与临床》是第一本有关铁代谢的中文书，它概括了这一领域最新、最全面的信息，对有志于这方面研究的学生、科学家和临床工作者具有极其重要的参考价值。由于本书将这些新知识介绍给如此广泛的新读者，编者和作者们应该得到祝贺。

埃文·摩根教授
西澳大利亚大学生理系

前 言

在所有的微量营养素中,铁被人们认识的历史最为悠久。早在1664年, Sydenham 就发现铁盐可以使贫血病人的皮肤颜色恢复;又过了近一个世纪, Menghini (1747) 发现血液中含有铁。其余如钙、钠、钾、碘、磷、铜、镁、锌、钴、氯的被人们认识都在200余年之后。在营养学中,将元素根据需要分为两类:需要量以 g/kg 计算的称为大量元素 (macro elements); 以 mg/kg 甚至 $\mu\text{g/kg}$ 计算的则称为微量元素 (micro elements)。铁则是微量元素中的老大。在18世纪早期,已经证实铁是动物肝及血液中的成分。1825年测定血红蛋白的铁含量为0.35%,这个数值与用现代方法计算的0.347%几乎一样。在1832与1843年之间将萎黄病 (chlorosis) 定义为血液中铁低水平及红细胞数的下降。到1872年, Boussingault 首先描述了铁是营养所必需的。Bunge (1895) 正确地从事性铁缺乏描述了萎黄病的贫血。20世纪的上半叶,人们对铁的认识更进了一步,例如, Moore 等 (1939) 发现了抗坏血酸对铁吸收的增强效应;稍后, Granick (1946) 提出了控制体铁的“粘膜阻滞” (mucosal block) 理论。尽管对于铁代谢的基本观察及其营养意义已研究多年,但是,其分子生物学的机制阐明只是近年的事。另外,早期人们对铁与人体健康的关系,较多着眼于铁缺乏及其防止与处理,从而也带动了食品加工及制药工业的发展。然而,近年来铁过负荷的发生及其负性效应正越来越引起人们的注意。尤其令人关注的是有些铁过负荷的原因正在于经济条件改善,注重“营养”以及食物加工过程中对铁的添加而导致摄入过多。这样铁就成了少了不行,多了也不行的“有限必需品”。各个领域对它的兴趣愈来愈大。

今天,人们已认识到铁是生命必需的成分。在我小时的记忆里,铁也是我最早接触到的化学元素。在我的家乡江南,有一种苋菜,红色圆圆的叶,做成的汤是红红的。还有一种小菠菜,有甜甜的根,常炒了食用。每当饭桌上有这两种菜,妈妈总是挟好多往我碗里放,告诉我这些蔬菜含铁量高,可以补血。是慈母最早给了我“铁与血有关”的概念。没想到二十多年后,我远离家乡和父母,横跨炎热的赤道,飞到南半球的西澳大利亚州,所学习和从事的研究是与铁有关的。也在那里,对慈母给我的这一概念有了深刻的认识。更没有想到,我一生将从事的研究是铁代谢。

珀斯 (Perth) 是一座十分美丽、整洁、令人神往的海滨城市,濒临印度洋,是澳大利亚最大的州西澳大利亚的首府。坐落在天鹅河边的西澳大利亚大学 (The University of Western Australia) 拥有南半球最美丽的校园。在那里,在当代铁代谢研究领域的泰斗埃文·摩根的实验室里,我开始首次接触铁代谢这一新的研究领域。几年的工作、研究和学习,使我真正地认识到了铁与血液之间的关系以及铁在生命发生发展过程中的重要性,品尝到了投身到这一研究领域中的无限乐趣,了解到在过去40年里,铁代谢的研究已取得了许多杰出的成就,同时也认识到尚有许多问题仍须努力研究回答。5年前,我来到香港理工大学工作,开始独立研究及筹组自己的实验室和研究组。与此同时,积极寻找国内具有相同研究兴趣的合作伙伴,了解国内铁代谢研究的进展和现状。

在回内地参加几次全国性学术会议以及和一些专家学者广泛讨论后，我深感有必要编写一本能及时、全面、系统地反映近 40 年来在铁代谢研究飞速发展中取得的新成果和新知识的中文书，以供基础和临床有关的专业工作者和研究人员参考应用。作为一个此领域的研究者，我感到有不可推卸的责任。1996 年在西安举行的庆祝中国生理科学会成立七十周年学术大会上，我有幸被安排大会发言。发言后，一些代表的反应及返港后收到的信件都说明不少专家学者，即使并不直接从事这一领域的研究，也对此领域有着十分浓厚的兴趣，这更坚定了我在繁忙的教学和研究中一定要尽早完成此书编辑工作的信心。

我十分幸运，一些国内和香港的知名教授学者接受了我的邀请，参与了本书的编写工作。有些甚至素未会面。他们在百忙之中积极认真地完成了有关章节的编写工作，他们的支持是我永生难忘的。他们的参与使本书的学术水平和质量得到了重要的保证，我衷心地向这些令人崇敬的前辈与同道致以最尊敬的谢意。他们包括：中国医学科学院天津血液病研究所的杨天楹教授，中国医学科学院基础研究所的许荣焜教授，中国科学院生物物理研究所的沈恂教授，中国科学院上海生物化学研究所的冯佑民教授，北京医科大学的马锦江教授，华西医科大学第二附属医院的廖清奎教授，苏州医学院院长、中国工程院院士阮长耿教授，第四军医大学生理系的陈丽敏博士，以及我的老师、朋友和兄长、香港大学医学院生理系罗达德教授，香港理工大学的邓柏澧教授和余海虎博士等。

感谢我的爱子晨晨 (Christopher Qian) 献出了许多与爸爸在一起同乐的时间，给了我珍贵的爱、支持和理解。

在本书得以面世之际，我深切感谢我的恩师摩根教授，他的培养、教育、指导和鼓励，使得本书的编写成为可能。感谢他在百忙的研究、教学和管理工作中为本书写了“序”。我也真切地向徐斌教授、冯佑民教授和王沁博士，我的研究合作者，本书的审校，表示我由衷的谢意，感谢他们的倾力支持和帮助，废寝忘食、任劳任怨地完成了大量的具体的编写、审核、校阅和修改工作。没有他们的支持和帮助，本书的出版是不可能的。感谢我的博士和硕士研究生蒲咏梅、肖德生、许美凤、杜宇、蔡英琼和柯亚以及研究助手王雁小姐、陈文芳硕士、周晓峰硕士和夏春林博士，感谢他们在繁忙的论文及研究实验工作中，抽出时间积极地参与了本书的编写和修改，校对和打印工作。

在本书的编写过程中，香港理工大学应用生物和化学系主任陈新滋教授 (Prof. Albert Chan) 以及本系的周福添 (Prof. F. T. Zhou) 教授、黄国贤教授 (Prof. K. Y. Wong)、邓柏澧教授及应用生物学部同事们给了我极大的鼓励、支持和帮助，系办公室的 Miss Candy Leung (梁静仪小姐) 和 Miss Tsang Carol (曾秀凤小姐) 在本书的打印方面提供了极大的帮助，在此一并致谢。

本书能够完成出版，实是全体参与人员的支持和老师及同事们给予鼓励的共同成果，作为本书主编虽已竭尽全力，但因能力和水平之限，定有不少不足甚至错误之处，期望读者能及时提出批评、指正、建议，以使再版时能够纠正、改进，更趋完善。

本书的编写以及在本实验室所进行的所有研究工作得到了香港政府 Research Grants

Council (RGC) 的 The Competitive Earmarked Research Grants (CERG) (A/C 354/117-BQ164 和 357/026-BQ151) 和理工大学研究基金 (A/C 350/314, 353/105, 340/831, 350/814, 350/664, 350/539, P-A79, G-V739 和 G-S966) 的资助, 在此深表谢意。

钱忠明博士
于香港九龙
一九九八年十一月

目 录

FOREWORD

序

前言

第一章 铁在生物学中的用途	1
1. 生物体内的铁	1
1.1 植物中的铁	1
1.2 人体铁代谢	2
2. 铁的运送及贮存蛋白	5
2.1 转铁蛋白类	5
2.2 铁蛋白及含铁血黄素	7
2.3 铁的结合与释放	10
3. 生物体内的其他含铁蛋白	10
3.1 血红蛋白与肌红蛋白	10
3.2 细胞色素	10
3.3 铁硫蛋白	11
3.4 含铁酶	11
4. 铁的毒性	12
4.1 急性铁中毒	12
4.2 铁的慢性中毒	12
4.3 铁的细胞毒性	12
4.4 铁的致癌作用——基因毒性	13
5. 与铁有关的疾病	13
5.1 缺铁引起的疾病	13
5.2 铁的过负荷	14
5.3 异常血红蛋白症	15
5.4 与自由基损伤有关的贫血	16
5.5 铁、自由基、动脉粥样硬化	16
5.6 铁与癌	16
5.7 铁与感染	17
5.8 铁与炎症	18
6. 小结	19
第二章 铁的化学性质与生化功能	22
1. 铁结合蛋白与铁硫酶	22
2. 哺乳类动物的铁依赖酶类	22

2.1 氧化还原酶类	22
2.2 单加氧酶类	26
2.3 双加氧酶类	28
2.4 过氧化物酶类	31
2.5 NO 合成酶	32
2.6 其他	33
3. 氧的运输与贮存	34
4. 电子传递	34
5. 铁对血红蛋白生物合成的调节	34
5.1 对 δ -氨基乙酰丙酸合成酶的调节	36
5.2 对亚铁螯合酶转录的调节	36
5.3 对 β -珠蛋白基因转录的调节	36
5.4 对 Tf-铁蛋白转运系统的调节	36
6. 铁的水化学	38
6.1 铁的氧化还原性质	38
6.2 水解作用	39
6.3 生物学配体交换反应	39
第三章 铁的吸收	42
1. 研究铁吸收的方法	42
1.1 组织化学方法	42
1.2 肠襻模型	42
1.3 铁平衡技术	44
1.4 同位素技术	44
1.5 体外研究	45
2. 影响铁吸收的因素	45
2.1 食物中铁的形式	45
2.2 食物的物理性状	46
2.3 食物中的促进剂	46
2.4 食物中的抑制剂	49
2.5 蛋白与促进剂及抑制剂的相互作用	51
2.6 单餐研究的局限性	52
2.7 胃肠消化液及粘液	52
2.8 剂量的影响	53
2.9 小肠粘膜的影响	53
2.10 铁状态的影响	54
3. 血红素铁的吸收	54
4. 非血红素铁的吸收	55
4.1 粘膜细胞吸收	55
4.2 粘膜铁处理及细胞内铁转运	56

4.3 粘膜细胞铁向血浆的转运	58
5. 铁吸收的调节	59
5.1 调节吸收的部位	59
5.2 铁状态的影响	60
5.3 红细胞生成的影响	60
6. 小结	61
第四章 铁的细胞外及细胞内转运	66
1. 细胞外的铁转运	66
1.1 转铁蛋白与血浆铁的结合	66
1.2 特异的、非转铁蛋白结合血浆铁	68
1.3 非特异性非转铁蛋白结合铁	70
2. 铁的细胞内转运	71
2.1 低分子量运输铁池	71
2.2 参与铁摄取的高分子量中介物	72
2.3 是否有“动铁蛋白”在细胞内铁转运中起作用?	73
2.4 另一种假说——不存在低分子量运输铁池?	73
3. 细胞内铁稳态	74
3.1 铁反应成分	75
3.2 铁调节蛋白-1	76
3.3 铁调节蛋白-2	78
3.4 血红素	78
第五章 细胞的铁摄取	84
1. 转铁蛋白依赖性铁摄取	84
1.1 受体介导性内吞	84
1.2 吸附性内吞	88
1.3 液相内吞	88
1.4 跨膜还原酶作用	88
2. 非转铁蛋白依赖性铁摄取	89
2.1 生理功能	89
2.2 参与转铁蛋白结合铁的摄取	89
2.3 铁如何穿过内吞小体膜进入细胞质	90
3. 脑摄铁机制探讨	94
3.1 神经胶质细胞	94
3.2 神经细胞	95
3.3 脑细胞摄铁的胞内调控机制	96
4. 小结	96
第六章 铁的贮存——铁蛋白的作用	101
1. 肝脏和正常铁代谢	101
2. 肝脏和主要的铁结合蛋白	104

2.1 转铁蛋白	104
2.2 铁蛋白	105
2.3 细胞内铁的稳态	108
2.4 含铁血黄素	109
3. 铁蛋白的功能	111
3.1 参与铁代谢	112
3.2 防止过氧化作用	112
3.3 对细胞生长的调节	113
3.4 对免疫系统和肿瘤的影响	114
4. 铁蛋白——铁的摄取和释放	115
4.1 铁蛋白——铁的摄取	115
4.2 铁蛋白——铁的释放	115
5. 铁蛋白受体	116
6. 细胞内铁蛋白的降解	117
6.1 铁蛋白从囊泡迁移至溶酶体	117
6.2 铁蛋白降解的细胞差异	118
6.3 溶酶体中铁蛋白的去向	118
6.4 铁蛋白和铁的胆汁排泄	118
第七章 转铁蛋白	123
1. 转铁蛋白的生物学	123
1.1 转铁蛋白的合成、分布和代谢	123
1.2 转铁蛋白的功能	124
2. 转铁蛋白的结构生物学	126
2.1 转铁蛋白的化学结构	126
2.2 转铁蛋白的三维结构	127
2.3 转铁蛋白的 S—S 键	129
2.4 转铁蛋白的铁结合部位	129
2.5 转铁蛋白分子“功能结构域”的保守与变异	131
3. 转铁蛋白的分子生物学	132
3.1 基因的染色体定位	132
3.2 转铁蛋白的 cDNA 结构	132
3.3 转铁蛋白的基因结构	132
3.4 转铁蛋白基因的表达调控	133
4. 转铁蛋白结构域和转铁蛋白的分子进化	133
4.1 转铁蛋白结构域	133
4.2 转铁蛋白的分子进化	135
5. 动物转铁蛋白和转铁蛋白的相关蛋白质	139
5.1 动物转铁蛋白	139
5.2 转铁蛋白相关蛋白质	141

6. 转铁蛋白的遗传变异	142
7. 结论	143
第八章 转铁蛋白受体	148
1. 转铁蛋白受体的结构和功能	148
2. 转铁蛋白循环	149
3. 转铁蛋白受体表达的生理学意义	151
3.1 红细胞	151
3.2 肝细胞	151
3.3 小肠细胞	152
3.4 脑	152
3.5 血-脑、血-睾丸和血-胎盘屏障	153
3.6 增殖的细胞	153
4. 转铁蛋白受体表达调控的分子机制	154
4.1 转铁蛋白受体基因	154
4.2 转铁蛋白受体基因的转录调节：基因启动子	155
4.3 转铁蛋白受体基因的转录后调节：铁离子应答元件和铁离子调节蛋白	156
4.4 转铁蛋白受体基因调节中细胞信号途径	158
5. 转铁蛋白受体用于临床诊断和实验性治疗	159
5.1 转铁蛋白受体作为临床诊断的工具	159
5.2 转铁蛋白受体介导药物和基因运送	159
6. 总结	160
第九章 铁状态及其评定	165
1. 体内铁域的测定	167
1.1 血红蛋白和红细胞指标	167
1.2 估计铁贮量的方法	167
1.3 组织供铁的测定	172
2. 测试的变异性	175
2.1 方法学和生物学的变异性	175
2.2 发育中的变化	176
3. 血液测试在测定铁状态中的应用	176
3.1 人群调查	176
3.2 个别病例	177
3.3 具体的应用	178
4. 实验研究中应用的细胞摄铁的测定	180
4.1 网织红细胞摄取转铁蛋白结合铁和非转铁蛋白结合铁的测定	180
4.2 肝细胞摄取转铁蛋白结合铁的测定	181
4.3 铁摄取过程中细胞内和膜结合铁的测定	181
4.4 转铁蛋白循环时间的计算	181
第十章 铁缺乏症	185

1. 人体内铁的分布	185
2. 铁缺乏的分期	185
2.1 储铁减少期	186
2.2 缺铁性红细胞生成期	186
2.3 缺铁性贫血期	186
3. 人体内铁平衡的影响因素	187
3.1 铁的基础排泄量	187
3.2 生理性铁丢失过多	187
3.3 病理性铁丢失过多	188
3.4 既非病理性也非正常生理性丢失	188
3.5 组织对铁需要量的增加	188
3.6 饮食铁的影响	189
4. 推荐铁摄入量	190
5. 铁缺乏的原因	191
6. 铁缺乏的评价和实验指标	191
6.1 血象	193
6.2 骨髓象	193
6.3 反映储铁缺乏的指标	193
6.4 反映功能铁缺乏即缺铁性细胞生成的指标	194
6.5 缺铁性贫血的指标	195
6.6 其他指标	196
7. 鉴别诊断	197
8. 铁缺乏的流行病学	200
9. 缺铁对人体的影响及临床表现	201
9.1 对中枢神经系统的影响	201
9.2 对体力的影响	202
9.3 对免疫功能的影响	202
9.4 对妊娠的影响	203
9.5 其他影响	203
9.6 临床表现	203
10. 铁缺乏症的治疗	203
10.1 口服铁治疗	204
10.2 注射铁剂治疗	205
11. 铁缺乏症的预防	205
11.1 饮食调整	206
11.2 强化铁食物	207
11.3 补充铁剂	207
第十一章 铁过负荷	210
1. 原发性铁过负荷	210

1.1 遗传性血色病	210
1.2 铁过负荷及其他疾病	220
2. 继发性铁过负荷	222
2.1 铁过负荷性贫血	223
3. 其他原因引起的铁过负荷	228
3.1 亚撒哈拉区饮食铁过负荷	228
3.2 先天性转铁蛋白缺乏症	228
3.3 慢性肝病——酒精性肝病	229
4. 局限性铁过负荷	229
4.1 特发性肺含铁血黄素沉着症	229
4.2 阵发性睡眠性血红蛋白尿症	230
5. 结论	230
第十二章 铁螯合剂	234
1. 去铁胺的药理学	235
2. 体内可螯合铁的性质	236
3. 去铁胺的毒性	238
4. 去铁胺在铁过负荷病人中的应用	239
5. 新的口服螯合剂的发展	240
5.1 多阴离子胺	240
5.2 芳香基胺	241
5.3 3-羟基吡啶-4-酮	241
6. 并非与铁过负荷有关的铁螯合作用	243
6.1 铁螯合剂干扰羟自由基的形成	243
6.2 局部缺血后的再灌注性损伤	243
6.3 药物毒性	245
6.4 肺脉管炎	246
6.5 抑制细胞分裂	248
6.6 皮肤卟啉病	249
7. 结论	249
第十三章 运动与铁代谢	254
1. 运动后铁状态的调查	254
1.1 运动员的铁状态	254
1.2 非运动员运动后的铁状态	256
1.3 大鼠运动模型中铁状态的观察	256
2. 运动与铁缺乏	257
2.1 运动性铁缺乏是真正的铁缺乏	257
2.2 铁缺乏的原因	258
3. 运动性贫血	265
3.1 运动性贫血	265