

Y170/26

华夏英才基金支持出版

实用元素医学

Practical Elements Medicine

主 编

颜世铭 洪昭毅 李增禧

河南医科大学出版社

·郑 州·

图书在版编目(CIP)数据

实用元素医学 / 颜世铭等著. - 郑州: 河南医科大学出版社, 1999. 10
ISBN 7-81048-337-4

I. 实… II. 颜… III. 微量元素缺乏病-研究 IV. R591.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 38418 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

郑州市毛庄印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 45.875 字数 1088 千字

1999 年 10 月第 1 版 1999 年 10 月第 1 次印刷

印数 1~3 000 册 定价: 92.00 元

编写委员会名单

主 编 颜世铭 洪昭毅 李增禧

副主编 陈秀娜 郭维新

编 委 (按编写顺序排列)

颜世铭	江西医科大学	研究员、教授
陈秀娜	同济医科大学	教授
薛 彬	北京医科大学	教授
李增禧	《微量元素科学》	主编
郭维新	福建医科大学	教授
洪昭毅	上海第二医科大学	教授、主任医师
王连方	新疆地方病防治研究所	研究员
翁坤荣	深圳市妇女儿童医院	教授、主任医师
李文广	江苏省启东肝癌防治研究所	研究员
文永植	延边大学医学院	教授
李小梁	中国广州分析测试中心	副研究员
鲁文清	同济医科大学	副教授
李贺成	北京有色金属研究总院	高级工程师、教授
江亚芳	广州军区武汉总医院	教授、主任医师
沈晓明	上海市儿童医学中心	教授
钱振育	江西医科大学	主任医师
曹光辉	江西医科大学	主任医师
李玉明	天津市第一中心医院	副主任医师
王学敏	天津市第一中心医院	副主任医师
周清潮	安徽省立医院	教授、主任医师
王朝凤	昆明医学院	教授、主任医师
陈美仙	解放军第三〇三医院	副主任医师
顾公望	上海市北医院	研究员
陈如松	中国辐射防护研究院	研究员
诸洪达	中国医学科学院	研究员

内容提要

本书共 52 章,阐述微量元素基础知识包括 6 种常量元素、14 种人体必需微量元素的生理作用与健康的关系及元素中毒的防治;详尽介绍了微量元素与人体各系统主要疾病的发生、发展关系,在疾病诊断、鉴别诊断、预后、转归预测以及预防和治疗中的应用,涉及儿科、内科、妇产科、眼科、皮肤科以及职业病和地方病等多科疾病。

本书具有新颖性、独特性、实用性。适用于临床、预防医学工作者、科研工作者、妇幼保健、计划生育科学工作者以及环境科学、化学、药学、营养与食品科学工作者。亦可作为医学硕士生和本科生参考用书。

前 言

元素是构成人类生存环境的基本物质,也是构成生物体的基本成分。人类在生活中需要适应环境,并从环境中吸取维持生命过程的必需物质,主要是元素和贮存能量的物质。但与此同时也受到环境中某些因素的损害,包括有毒元素的损害。人体与生存环境的平衡是维持健康状态的必需条件。健康与疾病是连续的过程。健康状态的破坏意味着疾病的发生。

另一方面,人体由元素所构成。换言之,元素构成人体的内环境。内环境的稳定与平衡也是维持人体健康的必需条件。显而易见,元素与健康及疾病的关系密不可分。元素医学的任务正是研究元素与健康 and 疾病的关系,研究元素平衡及其调节。

近几十年来,生物无机化学、生物化学、生物物理学、生理学、病理学、免疫学、组织胚胎学、微生物学及寄生虫学工作者都积极投入微量元素的研究,为元素医学的形成和发展打下了坚实基础。临床医学和预防医学工作者通过大量人群流行病学调查、临床研究和实践,广泛、深入地研究了微量元素与疾病发生、发展、预后、转归的关系,微量元素的疗效,微量元素在疾病诊断方面的应用以及微量元素在维持健康、预防疾病方面的应用,取得了丰硕成果。元素医学已经成为既有坚实理论基础,又有高度应用价值的新兴学科。

理论研究的最终目的是应用。元素医学的理论研究应最终落实到维护和促进健康、预防和治疗疾病。因此,本书特别强调实用性。为了灵活运用基础知识指导临床和预防实践,并从实践中进一步验证和发展基础研究成果,本书还比较详细地阐述了元素的代谢、生化功能和生理作用与疾病发生、发展的关系。这些知识不仅适用于科学研究工作者,也是从事临床和预防医学实践的科学技术工作者所必须掌握的知识。

本书是集体劳动的成果。各编委分别主持若干章节的撰写,然后由主编统编。我们力求做到简练,减少重复。但考虑到有些读者不一定通读全书,所以统编时保留了一些简要的重复。由于调查对象的选择、实验方法、调查方法不尽相同,不同研究者对同一问题的研究报道存在一些矛盾,我们也都如实地予以介绍。在可能情况下,编写者提出了自己的见解。

由于时间和水平所限,本书难免有错误和不足之处,我们诚恳地希望专

家、读者批评指正。

元素医学毕竟是一门新兴学科,人类对微量元素与健康关系的认识还相当肤浅。科学正以惊人的速度向前发展,在新的世纪元素医学的发展也将是日新月异,今后,本书作者将不断学习、不断探索。我们也热切希望广大热爱元素医学的同仁帮助我们及时总结元素医学新进展,大家共同努力推出一部更新颖、更实用的元素医学专著,为维护和促进人类健康做出更大贡献。

本书由中国微量元素医学会倡议编写。在撰写出版过程中得到中共江西省委统战部以及江西医学院预防医学系负责人和全体同事的关心、支持,谨此表示衷心的感谢!

编 者

1999年9月26日

目 录

第一章 概论

- 第一节 人体的元素构成及其分类····· (1)
- 第二节 微量元素的抗氧化作用····· (2)
- 第三节 微量元素与酶和激素····· (5)
- 第四节 金属硫蛋白及其功能····· (7)
- 第五节 元素与代谢调控····· (8)
- 第六节 临床治疗中宏量元素和微量元素的应用 ····· (11)

第二章 元素平衡及其调节

- 第一节 元素平衡与健康 ····· (25)
- 第二节 元素间的相互影响 ····· (25)
- 第三节 元素间相互影响的机制 ····· (30)
- 第四节 影响元素平衡调节的因素 ····· (31)
- 第五节 元素平衡调节在医学中的应用 ····· (36)

第三章 微量元素与免疫

- 第一节 免疫学基础 ····· (39)
- 第二节 有害微量元素对免疫系统的影响 ····· (42)
- 第三节 必需微量元素对免疫系统的影响 ····· (44)
- 第四节 微量元素在增强人体免疫功能方面的应用 ····· (47)

第四章 微量元素与衰老

- 第一节 衰老概念与衰老学说 ····· (50)
- 第二节 微量元素在衰老学说中的意义 ····· (53)
- 第三节 有益、有害微量元素与衰老····· (55)
- 第四节 微量元素在抗衰老方面的应用 ····· (57)

第五章 微量元素与出生缺陷

- 第一节 出生缺陷概述 ····· (59)
- 第二节 影响微量元素致畸作用的因素 ····· (59)
- 第三节 必需微量元素缺乏和超负荷与出生缺陷 ····· (61)
- 第四节 有毒微量元素与出生缺陷 ····· (67)

第六章 元素检测方法概述

- 第一节 人体微量元素分析、测试的意义····· (71)
- 第二节 样品分析测定步骤简介····· (71)
- 第三节 血样的分析测定····· (76)
- 第四节 头发的分析测定····· (77)
- 第五节 脏器、牙齿、指(趾)甲的分析测定····· (79)
- 第六节 尿液和唾液的分析测定····· (80)

第七章 钾、钠的生理作用与钾、钠代谢紊乱

- 第一节 钾、钠的代谢····· (83)
- 第二节 钾、钠生化特性与生理作用····· (84)
- 第三节 钾、钠与其他元素及维生素的相互关系····· (85)
- 第四节 钾、钠人体含量正常参考值····· (85)
- 第五节 钾、钠代谢紊乱及其纠正····· (85)
- 第六节 钾、钠与健康及疾病的关系····· (88)

第八章 钙、镁的生理作用与钙缺乏症

- 第一节 钙、镁的代谢····· (90)
- 第二节 钙、镁生化特性与生理作用····· (91)
- 第三节 钙、镁与其他元素及维生素的相互关系····· (92)
- 第四节 人体钙、镁含量的正常参考值····· (93)
- 第五节 钙、镁代谢紊乱及其纠正····· (93)
- 第六节 钙缺乏症····· (94)
- 第七节 钙、镁与健康及疾病的关系····· (99)

第九章 磷、氯的生理作用及其代谢紊乱

- 第一节 磷、氯的代谢····· (100)
- 第二节 磷、氯生化特性与生理作用····· (101)
- 第三节 磷、氯与其他元素及维生素的相互关系····· (101)
- 第四节 磷、氯人体含量正常参考值····· (102)
- 第五节 磷、氯代谢紊乱及其纠正····· (103)
- 第六节 磷、氯与健康及疾病的关系····· (104)

第十章 锌的生理作用与锌缺乏症

- 第一节 锌代谢及锌的供给量····· (106)
- 第二节 锌的生化特性与生理作用····· (107)
- 第三节 人体锌含量正常参考值····· (110)
- 第四节 锌缺乏症····· (110)

第五节	锌过量	(114)
第十一章	碘的生理作用与碘缺乏症	
第一节	碘的代谢	(116)
第二节	碘的生化特性与生理作用	(117)
第三节	碘与其他元素及维生素的关系	(119)
第四节	人体碘含量正常参考值与碘供给量	(121)
第五节	碘与健康及疾病的关系	(122)
第六节	碘缺乏症与高碘性甲状腺肿	(124)
第十二章	铜的生理作用与铜缺乏症	
第一节	铜的代谢	(139)
第二节	人体组织中铜的含量	(140)
第三节	铜与其他元素及维生素的相互关系	(140)
第四节	铜的供给量与富铜食物	(141)
第五节	铜的生化功能	(142)
第六节	铜与健康 and 疾病	(143)
第十三章	铁的生理作用与缺铁性贫血	
第一节	铁的代谢	(149)
第二节	铁的生化特性与生理作用	(153)
第三节	铁与其他元素及维生素的相互关系	(156)
第四节	人体铁含量正常参考值与铁供给量	(158)
第五节	铁与疾病的关系	(160)
第六节	铁缺乏症与缺铁性贫血及其防治	(164)
第七节	铁中毒	(169)
第十四章	硒与健康 and 疾病	
第一节	硒的代谢	(174)
第二节	硒的生化特性与生理作用	(177)
第三节	硒与其他元素及维生素的相互关系	(179)
第四节	人体硒含量正常参考值	(181)
第五节	硒与健康及疾病的关系	(182)
第六节	硒化合物的应用	(186)
第十五章	氟与健康 and 疾病	
第一节	氟的代谢	(190)
第二节	氟的生化特性与生理作用	(192)

第三节	氟与其他元素及维生素的关系·····	(194)
第四节	人体氟含量正常参考值·····	(196)
第五节	氟与健康及疾病的关系·····	(198)
第六节	氟中毒及其防治·····	(199)
第十六章	铝与健康 and 疾病	
第一节	铝的代谢·····	(215)
第二节	铝的生化特性与生理功能·····	(216)
第三节	铝与其他元素的相互关系·····	(217)
第四节	人体铝含量正常参考值·····	(219)
第五节	铝化合物的应用·····	(220)
第六节	铝与健康 and 疾病的关系·····	(221)
第七节	铝缺乏和铝中毒·····	(223)
第十七章	锰与健康 and 疾病	
第一节	人体的锰·····	(227)
第二节	锰的代谢·····	(227)
第三节	锰的生化特性与生理功能·····	(231)
第四节	锰缺乏·····	(235)
第五节	锰中毒·····	(237)
第六节	每日膳食摄入量·····	(240)
第七节	含锰汽油添加剂与毒害·····	(240)
第十八章	铬与健康 and 疾病	
第一节	铬的代谢·····	(243)
第二节	铬的生化特性与生理功能·····	(243)
第三节	铬与其他元素及维生素的相互关系·····	(245)
第四节	人体铬含量·····	(245)
第五节	铬与健康及疾病的关系·····	(245)
第六节	铬缺乏症、铬中毒及其防治·····	(247)
第七节	铬的毒性及毒理学·····	(249)
第十九章	钴与健康 and 疾病	
第一节	钴的代谢·····	(251)
第二节	钴的生化特性与生理作用·····	(252)
第三节	人体组织中钴元素的含量·····	(254)
第四节	钴化合物的应用·····	(255)
第五节	钴及其化合物的毒性·····	(256)

第六节	钴与维生素 B ₁₂ 缺乏	(259)
第七节	钴与致癌和致突变	(260)
第二十章 硅与健康 and 疾病		
第一节	硅的代谢	(262)
第二节	硅的生化特性与生理作用	(263)
第三节	硅与其他元素的相互作用	(264)
第四节	人体硅含量的正常参考值	(265)
第五节	硅及其化合物在医学上的应用	(266)
第六节	硅与健康 and 疾病的关系	(267)
第二十一章 钒与健康 and 疾病		
第一节	钒的代谢	(272)
第二节	钒的生化特性与生理作用	(273)
第三节	钒与其他元素及维生素的相互关系	(276)
第四节	人体内钒含量	(277)
第五节	钒与健康及疾病的关系	(277)
第六节	钒缺乏症及钒中毒的防治	(279)
第七节	钒的毒性与毒理学	(281)
第二十二章 锡与健康 and 疾病		
第一节	锡的理化特性及用途	(283)
第二节	含锡化合物的允许量	(283)
第三节	锡在人体内的代谢	(284)
第四节	人体锡含量正常参考值	(285)
第五节	锡的生物学作用	(286)
第六节	锡的毒理学	(287)
第七节	锡与其他必需微量元素的关系	(288)
第二十三章 镍与健康 and 疾病		
第一节	镍的理化特性及用途	(289)
第二节	镍在生物体内的存在形式	(289)
第三节	镍在人体内的代谢	(290)
第四节	人体镍含量正常参考值	(290)
第五节	镍的生物学作用	(291)
第六节	镍与其他元素的关系	(293)
第七节	镍与健康 and 疾病	(293)

第二十四章 锆的生理作用及其应用

- 第一节 锆的代谢····· (297)
- 第二节 锆的生物学特性和生理作用····· (299)
- 第三节 锆化合物的应用····· (301)

第二十五章 锂的生理作用及其应用

- 第一节 锂的代谢····· (311)
- 第二节 锂的作用机制····· (312)
- 第三节 锂化合物的临床应用····· (313)
- 第四节 锂的中毒及其防治····· (315)

第二十六章 稀土元素与健康

- 第一节 概述····· (317)
- 第二节 稀土元素的代谢····· (320)
- 第三节 稀土元素的生化效应····· (322)
- 第四节 稀土元素与其他元素、维生素及化学药物的关系····· (325)
- 第五节 稀土元素毒理学····· (326)
- 第六节 稀土元素与健康及疾病的关系····· (331)
- 第七节 稀土化合物的医学应用····· (333)

第二十七章 铝与健康 and 疾病

- 第一节 铝的代谢与分布····· (337)
- 第二节 影响人体铝蓄积的因素····· (338)
- 第三节 铝蓄积的临床表现和机制探讨····· (342)
- 第四节 人体铝蓄积的防治····· (347)

第二十八章 镉的毒性作用及中毒防治

- 第一节 镉的代谢····· (349)
- 第二节 镉的生化特性与生理作用····· (350)
- 第三节 镉与其他元素及维生素间的相互关系····· (351)
- 第四节 人体各组织镉含量····· (353)
- 第五节 镉化合物的应用····· (354)
- 第六节 镉中毒及其防治····· (354)

第二十九章 儿童铅中毒

- 第一节 概述····· (361)
- 第二节 流行病学····· (362)
- 第三节 病因····· (362)

第四节	病理生理	(365)
第五节	临床表现	(368)
第六节	铅对儿童生长发育的危害	(368)
第七节	铅中毒的诊断	(369)
第八节	铅中毒的治疗	(370)
第九节	铅中毒的预防	(372)
第三十章 砷的毒性作用及中毒防治		
第一节	砷的代谢	(374)
第二节	砷的生化特性和生理作用	(377)
第三节	砷与其他元素及维生素的相互关系	(379)
第四节	人体组织中砷元素的一般水平	(382)
第五节	砷与健康及疾病的关系	(384)
第六节	砷中毒及其防治	(388)
第三十一章 汞的生理作用与汞中毒防治		
第一节	汞的代谢与体内分布	(402)
第二节	汞的生物化学效应与毒性	(404)
第三节	汞与其他元素的关系	(404)
第四节	环境汞污染	(405)
第五节	汞中毒的防治	(405)
第三十二章 微量元素与呼吸系统疾病		
第一节	微量元素与上呼吸道感染	(411)
第二节	微量元素与哮喘	(413)
第三节	微量元素与慢性阻塞性肺病	(418)
第三十三章 微量元素与心血管系统疾病的防治		
第一节	高血压与微量元素	(424)
第二节	冠状动脉性心脏病与微量元素	(427)
第三节	心肌疾病与微量元素	(430)
第四节	慢性肺源性心脏病与微量元素	(434)
第三十四章 微量元素与消化系统疾病		
第一节	微量元素与慢性胃炎	(438)
第二节	微量元素与消化性溃疡	(440)
第三节	微量元素与炎症性肠病	(442)
第四节	微量元素与肝硬化	(444)

第三十五章 微量元素与泌尿系统疾病

- 第一节 微量元素与肾病综合征····· (447)
- 第二节 微量元素与慢性肾功能不全····· (448)
- 第三节 微量元素中毒性肾病····· (450)
- 第四节 微量元素在尿石症形成中的作用····· (459)

第三十六章 微量元素与血液系统疾病

- 第一节 微量元素与白血病····· (462)
- 第二节 微量元素与再生障碍性贫血····· (466)

第三十七章 微量元素与关节疾病

- 第一节 微量元素与大骨节病····· (470)
- 第二节 微量元素与风湿性疾病····· (472)

第三十八章 微量元素与营养代谢疾病

- 第一节 微量元素与蛋白质—热能营养不良····· (475)
- 第二节 微量元素与肥胖症····· (477)
- 第三节 微量元素与高脂血症····· (481)

第三十九章 微量元素与糖尿病

- 第一节 概述····· (489)
- 第二节 流行病学····· (489)
- 第三节 病因、发病机制及病理····· (490)
- 第四节 临床表现····· (495)
- 第五节 诊断····· (497)
- 第六节 预防与治疗····· (498)

第四十章 微量元素与神经系统疾病

- 第一节 微量元素与脑血管疾病····· (507)
- 第二节 微量元素与癫痫····· (513)
- 第三节 微量元素与阿尔茨海默病····· (519)
- 第四节 帕金森病····· (524)

第四十一章 微量元素与脑功能及精神疾病

- 第一节 概述····· (527)
- 第二节 微量元素与脑发育····· (528)
- 第三节 与脑功能有关的金属酶、神经递质、激素及维生素····· (529)
- 第四节 微量元素缺乏时脑内的生化改变····· (532)

第五节 微量元素缺乏对智力的影响·····	(533)
第六节 微量元素与精神疾病·····	(534)
第四十二章 与微量元素有关的遗传病	
第一节 肝豆状核变性·····	(537)
第二节 Menkes 病·····	(546)
第三节 遗传性血色病·····	(551)
第四节 肠病性肢端皮炎·····	(557)
第四十三章 微量元素与眼科疾病	
第一节 人眼的主要微量元素·····	(561)
第二节 微量元素与老年性白内障·····	(562)
第三节 微量元素与原发性视网膜色素变性·····	(567)
第四十四章 微量元素与皮肤健康及皮肤病	
第一节 微量元素与皮肤健康·····	(573)
第二节 微量元素与寻常性痤疮·····	(573)
第三节 微量元素与白癜风·····	(575)
第四十五章 微量元素与女性不孕症	
第一节 女性不孕症的原因·····	(578)
第二节 流行病学·····	(580)
第三节 病理及发病机制·····	(585)
第四节 检验与检查·····	(605)
第五节 治疗·····	(606)
第四十六章 微量元素与男性不育症	
第一节 概论·····	(612)
第二节 必需微量元素与男性不育的关系·····	(613)
第三节 男性不育症的实验室检查·····	(616)
第四节 男性不育症的病因诊断·····	(617)
第五节 男性不育症的治疗·····	(619)
第四十七章 微量元素与呼吸系统肿瘤	
第一节 微量元素与鼻咽癌·····	(623)
第二节 微量元素与肺癌·····	(628)
第四十八章 微量元素与消化系癌	

第一章
概论

第一节 人体的元素构成及其分类

一、微量元素与宏量元素的区分

人体是由各种化学元素组成的。人体的化学元素组成,在质和量上皆与地壳表层的元素组成相似。存在于地壳表层的 90 余种元素均可在人体组织中找到。根据元素在机体内的含量,可将其划分为宏量与微量 2 类。

宏量元素又称常量元素,其含量占人体总重量的万分之一以上。这类元素包括:氧、碳、氢、氮、钙、硫、磷、钠、钾、氯和镁 11 种。

微量元素系指在机体内其含量不及体重万分之一的元素。也有人给微量元素下这样的定义:在人与动物体内其含量与铁相等及低于铁含量的元素称为微量元素。微量元素的同义词有:小元素(minor element)、寡量元素(oligo element)和微量营养元素(micronutrient element)。由于这类元素在机体内含量极低,既往的检测技术难以进行精确的定量测定,历史上称其为痕量元素(trace element)。考虑到该词在语言上的简练性及其历史渊源,目前皆以 trace element 称呼这类元素,中文和日文等将其译为微量元素。

二、必需微量元素与非必需微量元素

根据机体对微量元素的需要情况,可将其分为必需微量元素和非必需微量元素。维持生物体正常生命活动不可缺少的元素称为必需微量元素。所谓不可缺少,并非指缺少时将危及生命不能生存,而是指缺少时会引起机体生理功能及结构异常,导致疾病发生。Schroeder、Cotziasous 和 Davies 分别提出过判断必需元素的标准。其要点包括以下几项:①广泛存在于自然界,海水中的含量丰富,能被动植物吸收利用;②是形成正常组织结构的组成部分,存在于一切健康机体的所有组织之中且浓度相当稳定;③一旦缺乏这种元素,无论是何种生物,都会产生相似的结构及生理功能异常和生物化学改变,充分供应该元素可预防此类异常,给缺乏者补充该元素则可使异常得到纠正;④能透过半透膜,即能通过胎盘和乳房屏障供给胎儿和婴儿;⑤以其天然形态适当剂量给人或动物服用,无毒害作用或毒性极低。此外,机体对该类元素有平衡调节能力;这类元素在元素周期表中处于一定位置,新发现的必需元素的原子序数大多排列在那些已知必需元素之间。

目前多数人公认的必需微量元素有:铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)、钴(Co)、锰(Mn)、铬(Cr)、钼(Mo)、镍(Ni)、钒(V)、锡(Sn)、硅(Si)、硒(Se)、碘(I)、氟(F) 14 种。可能必需的有:锶(Sr)、铷(Rb)、砷(As)及硼(B)。其中硼是植物必需的元素。

目前尚未明确其生物学作用亦未发现有毒性的元素称为非必需微量元素。将微量元素分为必需与非必需,有毒或无害,只有相对的意义。因为即使同一种微量元素,低浓度时是有益的,高浓度时则可能是有害的(如氟、硒、砷等)。对必需或可能必需者,亦不意味着以任何浓度使用该元素都是安全的。因此,今后应对微量元素的生物学作用及其安全浓度进行更深入的探讨,以防止盲目摄入过多的必需微量元素或从膳食中去除某种可能必需的“有毒”元素。Schwarz 曾预言:所有元素可能最终都显示出生物学作用。随着研究的深入,将会发现一些“非必需元素”、“有害元素”具有一定的生物学作用,甚至可能是必需的元素。

第二节 微量元素的抗氧化作用

活性氧可对生物体造成氧化损伤。所谓活性氧是针对基态氧而言,包括自由基和非自由基含氧物。

一、自由基与自由基反应

机体内的分子主要由碳、氢、氧、氮、磷、硫等原子构成。如果用 R 代表 H 原子以外所有原子,那么可以用 RH 表示机体内的一切分子。H 原子与 R 基呈共价键结合,即以一对电子相连接。自由基(又称游离基, free radical)就是 RH 分子断裂时,原来连接二者的一对电子分别分配到 R 和 H 上所形成的各带一个电子的 $R\cdot + H\cdot$ 状态。自由基广泛存在于生物体内和环境中。自然状态下的人体各脏器及细菌中均可检出。在烟、污染的空气和熏制食品中亦大量存在。自由基种类很多,包括有机自由基($R\cdot$)、氢过氧基($HOO\cdot$)、超氧阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)、羟自由基($HO\cdot$)、有机过氧基($ROO\cdot$)等。

在细胞的正常生理过程中,自由基反应是相当普通的,不会造成损害,但当自由基反应异常或失控时,就会产生严重后果。无论内源性或外源性自由基都可作为引发剂与机体内的许多物质如核蛋白、脂质作用而引起异常自由基反应。细胞膜不饱和脂类(以 RH 代表)的过氧化反应就是自由基反应的一个实例。RH 在氧及自由基引发剂作用下去氢形成有机自由基($R\cdot$);该自由基接受氧而产生脂酸过氧基($ROO\cdot$)。 $ROO\cdot$ 有能力与其他不饱和脂肪酸(RH)起反应,生成不稳定的不饱和氢过氧化物 $ROOH$ 。该物质可对生物膜造成氧化损伤。

二、过氧化损伤

$ROOH$ 极不稳定,在过渡金属离子参与下能解离而生成 $ROO\cdot$ 和 $R\cdot$,从而引发一系列支链反应。上述自由基链锁反应和支链反应,造成 $ROOH$ 大量积累。 $ROOH$ 经断裂、重排和氧化,生成多种脂质过氧化物,主要为醛、酮类产物。膜脂过氧化损伤造成生物膜结构