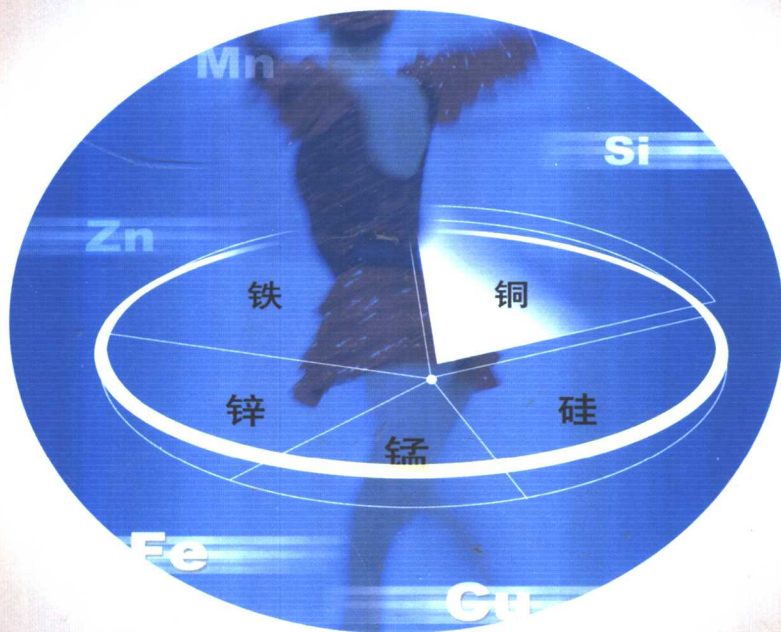




面向21世纪课程教材 Textbook Series for 21st Century

全国高等医药院校教材 供高等医药院校各专业和生命科学、环境科学相关专业用

微量元素与健康



主编 杨克敌



科学出版社

www.sciencep.com

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century
全国高等医药院校教材
供高等医药院校各专业和生命科学、环境科学相关专业用

微量元素与健康

主 编 杨克敌

副主编 张天宝 王爱国 董美阶

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本教材是教育部规划面向 21 世纪课程教材,是作者在多年从事微量元素与健康的教学、科研工作积累的基础上,吸收国内外大量研究成果编写而成。全书共分四篇 28 章。第一篇是总论,概要介绍了微量元素与健康的基本知识和基本理论,包括绪论、微量元素在环境中的分布、生物学效应、微量元素间的相互作用及微量元素与健康和疾病;第二篇为全书重点,分别介绍目前已得到公认的 14 种必需微量元素(铁、铜、锌、锰、铬、钴、钒、锡、镍、铝、碘、氟、硒、硅),每种元素均单独成章;第三篇共 7 章,分别介绍硼、砷、铝、铅、镉、汞、铊等 7 种污染范围广、危害较严重的非必需微量元素;第四篇共 2 章,简要介绍微量元素的检测方法及不同生物材料中微量元素的参考值。

本书可作为高等医药院校各专业及其他生命科学和环境科学相关专业学生的教材,也可作为从事微量元素与健康研究、药物和保健品开发等有关科学工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微量元素与健康/杨克敌主编. —北京:科学出版社,2003.6

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-03-011327-6

I. 微… II. 杨… III. 微量元素-影响-健康-高等学校-教材
IV. R151.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 022189 号

责任编辑:李国红 / 责任校对:朱光光

责任印制:刘士平 / 封面设计:卢秋红

版权所有,违者必究,未经本社许可,数字图书馆不得使用。

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年6月第一版 开本:850×1168 1/16

2003年6月第一次印刷 印张:26

印数:1—4 000 字数:690 000

定价:39.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

面向 21 世纪课程教材

《微量元素与健康》编委会

主 编 杨克敌

副主编 张天宝 王爱国 董美阶

编委(以姓氏笔画为序)

王爱国 (华中科技大学同济医学院)

刘 苹 (昆明医学院公共卫生学院)

刘继文 (新疆医科大学公共卫生学院)

刘烈刚 (华中科技大学同济医学院)

吕全军 (郑州大学公共卫生学院)

牟素华 (湖北民族学院医学院)

陈小玉 (郑州大学公共卫生学院)

陈萍萍 (郑州大学公共卫生学院)

杨克敌 (华中科技大学同济医学院)

张天宝 (第二军医大学基础部)

范 春 (哈尔滨工业大学市政环境工程学院)

林忠宁 (中山大学公共卫生学院)

罗 琼 (武汉大学公共卫生学院)

胡 宇 (新疆医科大学公共卫生学院)

袁 晶 (华中科技大学同济医学院)

曹玉广 (华中科技大学同济医学院)

董美阶 (湖北省宜昌市卫生局)

谭晓东 (武汉大学公共卫生学院)

学术秘书 袁 晶

序

随着科学技术的进步、分子生物学和各种分析技术的发展及人们对微量元素生物学效应认识的深化,微量元素在生命过程中的作用越来越引起人们的重视。必需微量元素在维持人体健康方面是不可缺少的,从某种意义上说,微量元素比蛋白质、脂肪、糖、维生素等物质更为重要。因为这些营养物质可全部或部分由机体合成,而微量元素则不能由机体合成,必须经食物、饮水从外环境摄入。微量元素在生命过程中显著的作用特点之一是机体需要量小但作用巨大,在体内通过多种形式发挥其生物学效应。微量元素的生理、生化功能广泛,可作为酶的活性部位或酶的激活剂参与体内正常的生化反应,参与激素及维生素的合成与转化,构成体内重要载体及电子传递系统,在维持机体正常的能量转换和新陈代谢等方面发挥着极为重要的作用。

同时,人们也已逐步认识到微量元素在许多疾病发生、发展中的重要作用。某些微量元素不足或过多可引起缺乏症或中毒的发生,如影响面广且后果严重的生物地球化学性疾病,特别是呆小病、地方性氟病、地方性砷中毒等,可严重影响人们的健康和人群的整体素质,从而严重制约经济的发展和社会的进步。

《微量元素与健康》这本面向 21 世纪课程教材就是针对当前高等医药院校和其他相关学科领域的学生迫切需要掌握这方面的知识而编写的,但国内尚无这方面的教材。本书的出版对于拓宽医学生和生命科学相关专业学生的知识面、改善知识结构、促进学生整体素质的提高都大有裨益。本书可作为临床医学、预防医学、法医学、护理学及其他生命科学和环境科学相关专业学生的选修课教材以及有关教学科研人员的参考书。

陈学敏

2003 年 1 月 20 日

· i ·

前 言

早在 100 多年前人类就已意识到微量元素在生命过程中具有重要作用。到目前为止,大量研究发现,人体必需的 14 种微量元素在体内均具有重要的生理、生化功能,在维持机体健康方面发挥着极其重要的作用。近 20 多年来,生命科学领域中微量元素生物学效应的研究进展迅速,已取得了令人瞩目的成果。如弄清了一些疾病的发病原因如碘缺乏病(尤其是地方性呆小病)、地方性氟病(特别是煤烟型氟中毒)、微量元素铜代谢异常引起的 Menkes 病和 Wilson 病、人类锌缺乏病等,并揭示了其发病机制。同时,还发现某些微量元素在疾病防治、生活保健等多方面具有十分广阔的应用前景。随着人们对微量元素生物学效应认识的深化及分子生物学和痕量分析技术的发展,将会在蛋白质和分子水平上揭示出微量元素生物学效应的更多奥秘,微量元素在生命科学中的重要价值、在维持机体健康上的重要作用将会更全面深入地展现出来。

本人在连续六年向医学生讲授《微量元素与健康》的过程中,深感编写有关《微量元素与健康》教材的紧迫性和必要性,以利于教学质量的提高。本书就是在这种背景下向教育部提出申请作为面向 21 世纪课程教材而获得批准的。在编写过程中充分考虑到教材的特点,既要加强基本理论、基本知识的论述,又要适当介绍当前微量元素与健康研究的新进展,特别注重教材的思想性、科学性、先进性、启发性和适用性。本教材以拓宽学生的知识面、改善知识结构为目的,以与人体健康密切相关的必需微量元素为核心,以其生物学效应为重点,突出微量元素在疾病发生、发展中的重要作用,同时也阐述了污染范围广、危害严重的非必需微量元素的健康效应问题。

全体作者为本书的编写均付出了很多辛勤的汗水;秘书袁晶副教授为本书的编写花费了大量时间和精力、付出了巨大的劳动;本书在编

写过程中始终得到全国预防医学专业教材评审委员会主任委员陈学敏教授的关怀和支持,并欣然挥笔为本书写序;中国微量元素科学委员会微量元素医学会副主任委员陈秀娜教授对本书的编写给予了极大的支持,并提出了很好的建议;新疆医科大学公共卫生学院刘开泰教授及同事为本书审稿会做了大量的准备工作,为全体与会编者提供了良好的工作和生活环境,在此一并致以由衷的感谢!

由于本书参编作者较多,写作风格各异,以及作者水平所限,书中的疏漏和错误在所难免,竭诚希望各院校的老师、同学及其他读者提出宝贵意见。

杨克敌

2003年1月12日

目 录

第一篇 总论

第一章 绪论	(1)
第二章 微量元素在环境中的分布	(13)
第一节 微量元素在地表环境中的分布	(13)
第二节 微量元素的区域分异及其影响因素	(23)
第三节 微量元素在环境中的富积迁移	(25)
第三章 微量元素的生物学效应	(28)
第一节 微量元素的生物转运过程	(28)
第二节 微量元素的生物学效应	(34)
第四章 微量元素之间的相互作用	(45)
第一节 微量元素之间相互作用的机制	(45)
第二节 铁与其他元素的相互作用	(46)
第三节 锌与其他元素的相互作用	(49)
第四节 硒与其他元素的相互作用	(51)
第五节 氟与其他元素的相互作用	(55)
第六节 铅与其他元素的相互作用	(57)
第七节 铜与其他元素的相互作用	(58)
第八节 镉与其他元素的相互作用	(60)
第九节 硅与其他元素的相互作用	(63)
第十节 多元素之间的相互作用	(64)
第五章 微量元素与健康 and 疾病	(66)

第二篇 必需微量元素

第六章 铁	(79)
第一节 铁在环境中的分布	(79)
第二节 铁的吸收、分布与排泄	(79)
第三节 铁的生物学效应	(84)
第四节 铁与健康 and 疾病的关系	(86)

第七章 铜	(91)
第一节 铜在环境中的分布	(91)
第二节 铜的吸收、代谢与分布	(92)
第三节 铜的生物学效应	(94)
第四节 铜的毒性	(98)
第五节 铜与人体健康和疾病的关系	(100)
第八章 锌	(107)
第一节 锌在环境中的分布	(107)
第二节 锌的吸收、分布和排泄	(109)
第三节 锌的生物学效应	(113)
第四节 锌与健康 and 疾病的关系	(119)
第九章 锰	(127)
第一节 锰在环境中的分布	(127)
第二节 锰的吸收、分布与排泄	(129)
第三节 锰的生物学效应	(130)
第四节 锰与健康 and 疾病的关系	(135)
第十章 铬	(139)
第一节 铬在环境中的分布	(139)
第二节 铬的吸收、分布与排泄	(141)
第三节 铬的生物学效应	(143)
第四节 铬与健康 and 疾病的关系	(146)
第十一章 钴	(149)
第一节 钴在环境中的分布	(149)
第二节 钴的吸收、分布和代谢	(150)
第三节 钴的生物学效应	(151)
第四节 钴与健康 and 疾病的关系	(153)
第五节 钴与致癌和致突变	(158)
第十二章 钒	(161)
第一节 钒在环境中的分布	(161)
第二节 机体对钒的吸收、分布、代谢和排泄	(164)
第三节 钒的生物学效应	(167)
第四节 钒与健康 and 疾病的关系	(179)

第十三章 锡	(184)
第一节 锡在环境中的分布	(184)
第二节 锡在体内的吸收、分布和排泄	(187)
第三节 锡的生物学效应	(189)
第四节 锡与健康 and 疾病的关系	(190)
第十四章 镍	(194)
第一节 镍在环境中的分布	(194)
第二节 镍在体内的吸收、分布和排泄	(196)
第三节 镍的生物学效应	(197)
第四节 镍与健康 and 疾病的关系	(202)
第十五章 钼	(211)
第一节 钼在环境中的分布	(211)
第二节 钼在体内的吸收、分布与排泄	(213)
第三节 钼的生物学效应	(214)
第四节 钼与健康 and 疾病的关系	(218)
第十六章 碘	(223)
第一节 碘在环境中的分布	(223)
第二节 碘在体内的吸收、分布与排泄	(225)
第三节 碘的生物学效应	(226)
第四节 碘与健康 and 疾病的关系	(230)
第十七章 氟	(242)
第一节 氟在环境中的分布	(242)
第二节 氟在体内的吸收、分布和代谢	(245)
第三节 氟的生物学效应	(247)
第四节 地方性氟病	(250)
第十八章 硒	(257)
第一节 硒在环境中的分布	(257)
第二节 硒的生物学效应	(259)
第三节 硒与健康 and 疾病的关系	(263)
第四节 硒化合物的应用	(266)
第十九章 硅	(268)
第一节 硅在环境中的分布	(268)

第二节 硅的吸收、分布与排泄	(271)
第三节 硅的生物学效应	(273)
第四节 硅与健康 and 疾病的关系	(276)

第三篇 非必需微量元素

第二十章 硼	(281)
第一节 硼在环境中的分布	(281)
第二节 硼在体内的吸收、分布和代谢	(285)
第三节 硼的生物学效应	(287)
第四节 硼对人体健康的影响	(291)
第二十一章 砷	(295)
第一节 砷在环境中的分布	(295)
第二节 砷在人体内的吸收、代谢、分布和排泄	(297)
第三节 砷的生物学效应	(298)
第四节 砷与健康 and 疾病的关系	(300)
第二十二章 铝	(306)
第一节 铝在环境中的分布	(306)
第二节 铝的吸收、分布与排泄	(308)
第三节 铝的生物学效应	(310)
第四节 铝与健康 and 疾病的关系	(312)
第二十三章 铅	(316)
第一节 铅在环境中的分布	(316)
第二节 铅的吸收、分布和排泄	(318)
第三节 铅的生物学效应	(320)
第四节 铅与健康 and 疾病的关系	(324)
第五节 铅中毒的防治	(327)
第二十四章 镉	(329)
第一节 镉在环境中的分布	(329)
第二节 镉的吸收、分布和排泄	(329)
第三节 镉的生物学效应	(332)
第四节 镉与疾病 and 健康的关系	(335)
第五节 镉中毒的防治	(343)

第二十五章 汞	(345)
第一节 汞在环境中的分布	(345)
第二节 汞在体内的吸收、分布和代谢	(349)
第三节 汞与健康 and 疾病的关系	(350)
第二十六章 铊	(359)
第一节 铊在环境中的分布	(359)
第二节 铊的吸收、分布与排泄	(361)
第三节 铊的生物学效应	(363)
第四节 铊与健康 and 疾病的关系	(366)
第四篇 微量元素监测	
第二十七章 微量元素检测方法	(370)
第一节 概述	(370)
第二节 样品分析测定步骤简介	(370)
第二十八章 不同生物材料中微量元素的参考值	(380)
第一节 人体体液和组织中微量元素参考值	(380)
第二节 动物微量元素含量参考值	(385)
第三节 食物中微量元素含量参考值	(387)
第四节 常用中草药中微量元素参考值	(391)
参考文献	(393)
索引	(394)

第一篇 总论

第一章 绪论

一、微量元素的定义和分类

(一) 微量元素的定义

地球上的各种生命体都是由多种化学元素组成的。就生命的化学及分子生物学的本质而言,人的生长发育、繁殖、遗传、生化反应、能量转换、新陈代谢等重要生理功能的物质基础,都是人体与外环境进行多种元素交换,以及不同元素在机体内进行复杂的合成和分解代谢的生物学过程。对人体组织的检测结果表明,在地球表层发现的 92 种天然元素,在人体内已有 81 种都能找到,但迄今已发现具有重要营养和生理功能,得到公认的对于维持生命所必不可少的元素仅有 26~28 种。按照化学元素在机体内的含量多少,可分为常量元素或宏量元素(major element, macro-element)及微量元素(trace element, micro-element)。通常将含量大于体重 0.01% 的元素,每人每日需要量在 100mg 以上的元素称为常量元素,约占人体重量的 99.95% 以上,包括:碳、氢、氧、氮、硫、磷、钠、钾、钙、镁、氯等 11 种。常量元素均为必需元素,其在机体中的主要生理作用是维持细胞内外渗透压的平衡,调节体液的 pH 值,形成骨骼支撑组织,维持神经和肌肉细胞膜的生物兴奋性,传递信息使肌肉收缩、使血液凝固以及酶活性等。

微量元素通常是指含量小于体重 0.01%,每人每日需要量在 100mg 以下的元素,包括常量元素以外的其他各种元素,仅占人体元素总量的 0.05%,包括铁、铜、锌、锰、钼、钴、钒、镍、铬、锡、氟、碘、硒、硅、砷、硼、锶、锂、锆、铝、钡、铊、铅、镉、汞以及稀土元素等数十种。微量元素一词起源于 19 世纪中叶,由于当时用光谱分析法测定动、植物体内元素时发现有些元素只能被定性地确定有痕量存在,故称之为痕量元素。但痕量元素一词有不确定的意思,而且现在已能准确地测定这些元素的含量,故从 20 世纪下半叶,微量元素逐渐成为通用术语。微量元素在维持人类健康中起基础性的作用,主要生理功能是在各种酶系统中起催化作用,以激素或维生素的必需成分或辅助因子而发挥作用,形成具有特殊功能的金属蛋白等。有人说微量元素生理作用的意义可以和维生素相比,但机体可以自行合成一些维生素而无法合成任何元素,从这点看必需微量元素对人体较维生素更为重要。

(二) 微量元素的分类

人们对微量元素的分类尚无统一的方法,主要有以下两种分类方法。

1. 根据微量元素对维持机体生命活动的作用分类

(1) 必需微量元素(essential trace element):是指那些具有明显营养作用及生理功能,对维持机体生长发育、生命活动及繁衍等必不可少的元素。到目前为止,得到公认的对人和哺乳动物必需的微量元素有 14 种,它们是铁、铜、锌、锰、铬、钼、钴、钒、镍、锡、氟、碘、硒、硅。

所谓“必需”即:①机体必须从外界饮食中摄取这种元素,当从饮食中去除这一元素后,机体就会出现这种元素的生理性缺乏状态。②补充这一特异元素后,机体的这种缺乏状态将得到缓解。③一种特殊的元素对机体总具有某种特异的生化功能,这种作用不能被其他任何元素完全代替。微量元素是维持机体某些特殊生理功能的重要成分或者是多种酶系的激活剂或组成成分,例如锌是很多酶的组成成分,现已知约有 200 多种含锌酶。当一种元素因摄入不足引起机体生物学功能障碍,而恢复这种元素的生理水平后又能缓解或预防这种功能障碍时,就可以认为此种元素为必需元素。机体离开这种元素则既不能生长,又不能完成它的生命周期。此外,还有人对必需微量元素规定了几个附加条件:①这种元素以相似的浓度存在于不同动物的组织内。②不论动物的种类如何,去除这种元素后会出现相似的生理、生化异常。③有这种元素存在时能减轻或预防上述异常。④这种异常改变在缺乏得到控制时也能被治愈。

(2) 非必需微量元素(non-essential trace element):是指那些无明显生理功能的微量元素。这些元素的生物学效应或许迄今未被人们认识,或者它们来自外环境的污染,如铅、镉、汞、铊等。非必需微量元素又可进一步分为无毒非必需元素和有害非必需元素,前者如锂、硼、铷、溴等,后者如铅、镉、汞、铊、铝、铟等。

2. 根据微量元素的营养作用特征及生理功能分类

(1) 必需微量元素:得到多数国际微量元素学术会议和世界卫生组织(WHO)公认,在人体或高等动物体内构成细胞或体液的特定生理成分,具有明显营养作用,人体生理过程中必不可少,缺乏该元素后产生特征性生化紊乱、病理变化及疾病,补充该元素能纠正特征性病理变化或治愈,称为必需微量元素。如前述的 14 种即为必需微量元素。

(2) 可能必需的微量元素:既具有一定有益生物学作用及医疗、预防、保健效能,又具有某些必需微量元素的生物及生化特征(如高度的生物学活性及催化性能等)的元素。这些元素目前尚未被 WHO 和多数国际学术组织认可,如砷、锂、锶、硼等。动物实验表明,砷对动物的生长发育有较大影响,动物如大鼠、猪、山羊、鸡等缺乏砷时,其生长发育受到抑制、胎仔死亡率增高。因此,有人提出砷可能是一种必需微量元素。居住在奥地利和瑞士山区的人,曾有服用砷化物以增强体力、耐力和食欲的记载。但到目前为止尚未得到一致的认可。

(3) 无毒微量元素:凡未发现有营养作用,又无明显毒害作用的元素,称为无毒微量元素,如钡、钛、铈、锆等。

(4) 有害微量元素:凡无营养作用,人体又对其缺乏精密调节机制,且在体内具有蓄积倾向和明显毒害作用的微量元素归入此类,例如铅、汞、镉、铊、铝、铟等。

应该指出,上述微量元素分类不是绝对的、不变的,随着对微量元素生物学效应研究的深入和认识的提高,微量元素的分类方法或目前微量元素所归类别都可能会发生变化,必需微量元素的数目也可能增加。

二、微量元素在生命过程中的重要作用

(一) 环境与机体在微量元素上的统一性

生物体(包括人)通过新陈代谢与外界环境不断进行物质交换和能量流动,使得机体的结构组分(如元素含量)与环境的物质成分(元素)不断保持着动态平衡,并形成了生物与环境之间相互依存、相互联系的复杂的统一整体。这一理论为阐明环境中微量元素与健康的关系奠定了理论基础。有人曾对外界环境中的数十种化学元素含量与人体内的含量进行了分析比较,发现必需微量金属元素在人体内的含量与地壳、海水中的含量呈现明显的丰度相关,而有毒元素在海水中的含量相对较低(表 1-1)。这说明

表 1-1 某些化学元素在人体、地壳和海水中的含量

元 素	成人体内含量(mg)	地壳中浓度(mg/kg)	海水中浓度 ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
必需元素			
钙	1 000 000	41 500	400 000
钾	140 000	20 900	380 000
钠	100 000	28 600	10 500 000
镁	19 000	23 300	1 350 000
铁	4 200	53 600	10
氟	2 600	700	1 300
锌	2 300	70	10
铜	72	55	3
钒	18	135	2
硒	13	0.05	0.09
锰	12	1 000	2
碘	11	0.5	60
镍	10	75	5.4
钼	9	1.5	10
镉	1.5	100	0.5
钴	1.5	25	0.27
锡	6	3	2
对生物有毒的元素			
铅	121	10	0.03
镉	50	0.2	0.11
汞	13	0.1	0.03
铊	8	0.2	0.33
铍	0.04	2.8	0.000 6
对某种生物功能有轻度危害的元素			
砷	18	1.8	3
碲	8	0.001	-
铋	0.2	0.2	0.017
铀	0.29	2.7	3
钨	+	1.5	0.1
锗	+	5.4	0.07

生物在进化过程中,体内元素的丰度受环境元素的明显影响,这也为阐明生物地球化学性疾病的发病原因提供了可靠的理论依据。在地球形成的过程中由于地壳运动和许多其他复杂因素的影响,使地壳表面的元素分布不均匀,在该地区某种(些)元素含量过多或过少,通过饮水、摄食等途径使生活在当地的居民摄入某种元素过多或过少,这种情况造成人体与环境之间元素交换的平衡紊乱,从而导致机体出现某些与之相关的特异性疾病,即生物地球化学性疾病(biogeochemical disease)。最典型的如碘缺乏病就是由于一个地区碘元素含量过低可引起地方性甲状腺肿(endemic goiter)或地方性呆小病(endemic cretinism)等一系列病症。

生物为了更好地生存和发展,必须尽快适应外界环境条件的变化,不断从环境中摄入某些元素以满足机体完成自身生命活动过程的需要。生物在从低级到高级的进化过程中,对其生存环境中某些至关重要的元素进行选择,以保证其能够顺利向更高级的方向演化,因而这些元素就成了维持生物生存、繁衍等生命过程必不可少的物质成分。例如,原始海洋中选择铜或钒作为其氧化还原体系的动物(如甲壳类、海鞘等),由于铜或钒的载氧效率和氧化还原能力较低,尽管能够满足于维持其正常的生命活动,但却严重阻碍了其自身的生物演化进程。而选择铁作为氧化还原体系的动物如蠕虫类,由于其营养物质的摄取和铁的载氧效率均高于选择铜或钒者,则蠕虫类的生物演化能顺利进行,达到高级的脊椎动物乃至人类。

(二) 微量元素在维持机体健康上的重要性

人们对必需微量元素在维持机体健康上的认识经历了较长的过程。早在17世纪人们就发现铁是高等动物(包括人)维持其健康的必需微量元素,1850年又发现碘在生命过程中的重要作用,到20世纪60年代人们已认识了9种对动物和人必需的微量元素。以后又陆续发现了几种微量元素对维持机体的生命活动是必不可少的(表1-2)。必需微量元素是维持机体某些具有特殊生理功能的重要成分或者是很多酶系的激活剂或组成成分,在维持机体的生长发育、遗传、新陈代谢、能量转换等方面发挥极其重要的作用。例如锌就是许多金属酶的组成成分或酶的激活剂,已发现约有200多种含锌酶,如碱性磷酸酶、醇脱氢酶、碳酸酐酶、乳酸脱氢酶、谷氨酸脱氢酶、胸腺嘧啶核苷激酶、羧肽酶等。此外,锌也是RNA聚合酶和DNA聚合酶呈现活性所必需。确认锌为生物所必需最早可追溯到1869年,Raulin发现锌为尼日尔曲霉菌生长所必需。1934年Todd等首次证实锌为哺乳动物生长所必需,至60年代,Prasad等发现人类的锌缺乏症,即在伊朗和埃及某些地区发现的因严重锌缺乏而引起的生长停滞和性腺发育不良的患者。

现有的研究资料表明,微量元素与机体的健康和疾病有密切关系,例如碘、锌、锰、硒等缺乏对胎儿的生长发育具有明显的不良影响,甚至可造成胎儿畸形。氟、锰、镍等过量也可造成胎儿畸形。在儿童的生长发育期微量元素如铁、锌严重缺乏可引起贫血、生长发育迟缓、脑发育延迟和结构受损。微量元素铜、锌、铬、铁、锰、钴、硒、硅等与心血管系统的功能和疾病关系密切。锌、铁、硒等缺乏时机体的免疫功能受损、抵抗力降低。锌、硒、铜、锰、铁等具有调控自由基水平、抗氧化作用,在维持生物膜的稳定性、抗衰老方面发挥重要作用。锌、铜、硒、锰、镍、钒等在促进精子的发育成熟、保持精子膜的完整性、维持精子的正常活力等方面具有重要作用。

(三) 微量元素生物学效应的双重性

微量元素作为维持生命过程和机体健康必需的微量营养物质,与必需氨基酸一样同等重要,机体自

表 1-2 微量元素的功能和缺乏症

元 素	日需要量(mg)	作用部位	功 能	缺 乏 症
锌	10~15	碳酸酐酶、肽酶、醇脱氢酶、碱性磷酸酶、多聚酶等	细胞分裂、核酸代谢、各种辅酶因子	生殖力低下、侏儒、味觉、嗅觉减退等
铁	10~15	细胞色素、过氧化氢酶、血红素酶	氧和电子传递	贫血、智力和行为异常
铜	1.0~2.8	单胺氧化酶、铜蓝蛋白、酪氨酸酶	血红素合成、结缔组织代谢等	贫血、毛发及动脉异常、脑障碍、骨骼异常等
铬	0.29	葡萄糖耐量因子(GTF)	促进胰岛素的调节和糖代谢、脂肪代谢	葡萄糖耐受性低下、生长发育障碍、寿命缩短
碘	0.1~0.14	甲状腺素	细胞氧化过程	甲状腺肿大、功能低下
钴	0.02~0.16	维生素 B ₁₂ 、造血	甲基化等	恶性贫血
硒	0.03~0.06	谷胱甘肽过氧化物酶、磷脂氢过氧化物酶等	细胞内过氧化物分解谷胱甘肽氧化	人类克山病、动物白肌病、肝坏死等
钼	0.1	黄嘌呤氧化酶、醛氧化酶等	黄嘌呤、次黄嘌呤代谢	生长迟缓、尿酸代谢障碍
锰	2.5~5.0	精氨酸酶、丙酮酸羧化酶、超氧化物歧化酶等	生化代谢	生长发育及糖和类脂代谢障碍
氟	0.5~1.7	碱性磷酸酶	钙、磷代谢	生长发育迟缓、龋齿
镍	0.05~0.08	核糖核酸	稳定 DNA、RNA	生育低下、磷脂、糖原代谢异常
硅	3.0	黏多糖代谢	维持结缔组织结构、骨钙化	结缔组织异常、骨形成不全
锡	不清楚	脂肪组织	氧化还原触媒	生长发育障碍
钒	<4.5	Na ⁺ -K ⁺ -ATP 酶、Ca ²⁺ -ATP 酶	氧传递、胆固醇、CoA 代谢,膜电解质	生长发育不全,骨、脂质代谢异常

身不能合成,必须从外界摄入,才能满足机体完成正常的生理过程、生化反应、新陈代谢、遗传、繁衍、能量转换等需要。在另一方面,微量元素也不同于普通营养素和有毒物质,因为普通营养素如糖类、脂肪、蛋白质、维生素等一般仅对其最低摄入量做出要求,而对有毒物质则需做出最高限量要求。从卫生学角度来说,有毒物质是机体正常生长发育、维持正常的生理、生化功能所不需要的并可产生有毒、有害作用的物质,体内有毒物质的量越少,对健康越有利。但在现实生活中,人们不可避免地会接触到一些有毒、有害的物质,当进入体内的有毒物质达到一定量后,就会影响机体正常的生理功能,损害组织的正常结构,甚至造成机体中毒、死亡,其剂量-效应曲线呈典型的“S”形。而必需微量元素作为机体的营养成分,其生物学效应特点有其独到之处。从理论上讲,必需微量元素完全缺乏时,机体不能维持正常的生命过程而死亡;当摄入量不足,机体处于微量元素缺乏状态时,造成生物学功能障碍,体内的生理、生化反应不能正常进行,机体出现代谢障碍、内分泌紊乱及生长发育受阻等,而表现出各种各样的微量元素缺乏症,如碘缺乏时引起的甲状腺肿、地方性呆小病,硒缺乏时引起的白肌病(动物)和克山病(人),锌缺乏时引起的以体格矮小、性腺发育不良等为特征的伊朗村病,氟摄入不足引起人群龋齿发生率明显增加等等。随着微量元素摄入量的进一步增加,逐渐能够满足机体的需要,此时机体维持生命活动所需要的各种正常功能得以充分发挥,机体处于最佳健康状态。微量元素能维持机体处于最佳状态的量,称为最佳剂量(optimal dose),它有一定的范围,在此剂量范围内机体均可保持健康。不同微量元素的剂量范围有较大差别,不同个体对同一微量元素的剂量范围也不完全相同。当微量元素的摄入量超出此最佳剂量范围时,由于机体摄入量过多,机体的正常功能又会受到不良影响。剂量更大,超出机体的耐受能力和适应性调节时,机体则会出现中毒反应,表现为生理、生化功能异常、代谢紊乱、病理损害等一