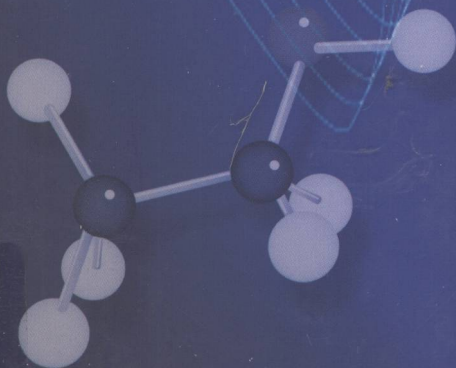


中国医学分子 微量元素学

主编 余元勋 胡玲玲 余国斌
ZHONGGUO YIXUE FENZI WEILIANGYUANSU XUE



时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

中国医学分子 微量元素学

中国医学分子
微量元素学



中国医学分子微量元素学

主 编	余元勋	胡玲玲	余国斌
副主编	孙国梅	李建平	鲍远程
	刘晓燕		
编 委	马 旭	沈 青	陈秀珍
	王爱玲	祝文华	顾春蕾
	何光远	水厚地	王 强
	张德义		



时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国医学分子微量元素学/余元勋,胡玲玲,余国斌
主编. —合肥:安徽科学技术出版社,2009. 11
ISBN 978-7-5337-4507-3

I. 中… II. ①余…②胡…③余… III. 医学-微量元素-研究-中国 IV. R591

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 183650 号

中国医学分子微量元素学 余元勋 胡玲玲 余国斌 主编

出 版 人: 黄和平

责任编辑: 吴萍芝

封面设计: 冯 劲

出版发行: 安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场, 邮编: 230071)

电 话: (0551)3533330

网 址: www.ahstp.net

E - mail: yougoubu@sina.com

经 销: 新华书店

排 版: 安徽事达科技贸易有限公司

印 刷: 合肥远东印务有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 31.25

字 数: 720 千

版 次: 2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 98.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

序

微量元素对人的健康、长寿非常重要,微量元素的缺乏或过多可以引发不少重要疾病。经过多年的努力,国际上微量元素学已进入到基因水平的分子微量元素学阶段,人们对微量元素代谢相关的基因、蛋白、分子信号转导通路已深入了解,能更科学地确定微量元素保证基因组内环境稳定的适宜摄入量,因此,分子微量元素学是一门新兴边缘学科,对临床疾病防治及基础研究有很强的指导意义。

余元勋教授等主编的《中国医学分子微量元素学》是我国目前这一领域最完整的专著之一,从临床微量元素学及分子微量元素学两方面,详尽讲解了许多重要疾病中的微量元素变化及其与疾病防治的关系,尤其对微量元素参与基因调控、离子泵、自由基代谢等方面,作出了很好的系统化总结,可供医学临床和基础、妇幼、计生、生命学科工作者学习、参考,也可用于医学继续教育等。

最后我对参加余元勋教授等主编《中国医学分子微量元素学》专著工作的同仁们,表示祝贺和感谢,盼望你们以后为国家做出更大的贡献。

复旦大学吴超群教授

2009.9.3

前 言

人体的细胞、组织、器官是由不同元素组成的各种分子构成的。因此本书首先从临床营养学与分子营养学两个水平,阐述各种疾病中相关的元素尤其是微量元素在体内含量的变化及引发疾病的作用机制;其次,阐述每一种元素与临床疾病的关系;最后,阐述离子通道及其与临床疾病的关系。本书内容反映了国内外对环境、内因(基因组)与营养相互作用研究的进展。

为了反映国内外分子微量元素学的研究成果和飞速发展,由国内知名的专家及长年工作在教学、科研、医疗一线的学科带头人,收集整理了截至2008年10月的国内外公开出版的主要文献、会议资料,并结合自己的研究成果和实践经验编成本书。

本书资料新、图表多、内容丰富,讲解翔实准确,实用性和科学性较强,专门问题讲述清晰,尤其是阐述分子及作用机制比较系统、清晰,在相关理论如微量元素的基因调控机制、离子泵学说、自由基学说等方面的综合系统化上,已达国内先进水平。

本书可作为我国临床各科、妇幼保健、计划生育以及其他相关生命科学工作者的学习资料,并可作为医学院校教师、研究生和从事营养学研究及食品检验等工作人员的有益参考书。本书也可作为培养我国新一代医务工作者医学继续教育的教科书。

本书在编写过程中,曾得到有关领导、专家、出版界等多方的关怀与帮助,尤其是安徽省卫生厅、安徽医学高等专科学校领导的支持,在此特表谢意。

由于分子生物学和分子营养学发展迅速,新内容在不断增加和更新,我们的编写工作难免有不足之处,恳请前辈、同仁和广大读者不吝指正,以便再版时改正。

余元勋

2009年5月30日于合肥

目 录

第一章 微量元素与疾病的关系	1
一、概述	1
二、缺乏症与中毒	6
三、膳食因素与微量元素吸收	25
四、微量元素作用的分子机制	27
五、微量元素等营养素、基因的相互作用和肥胖	39
六、微量元素等营养素、基因的相互作用和糖尿病	48
七、微量元素与蛋白质组学研究	56
八、饮用水异常微量元素的处理方法	57
九、微量元素检测的临床意义	57
十、微量元素中毒的解救	59
十一、微量元素与骨质疏松症关系研究进展	66
第二章 铁	85
一、铁的理化性质及功能	85
二、铁缺乏和缺铁性贫血	92
三、乳运铁蛋白的抗病原微生物作用	99
四、膜运铁蛋白 1 与铁调素等分子研究进展	100
五、运铁蛋白及其受体	103
六、铁负荷过度及铁中毒	106
七、新生儿铁代谢特点	109
八、铁对基因表达的调控研究进展	112
九、某些基因多态性对铁代谢影响的研究进展	119
十、研究 HFE 基因多态性的生物学意义和实际应用	121
第三章 硒	122
一、硒的理化性质与功能	122
二、几种硒蛋白的功能和临床意义	124
三、硒的生理作用及防治疾病作用	126
四、硒在体内的存在形式和代谢	129
五、硒缺乏与硒中毒	130
六、硒的抗癌机制	131
七、硒对基因表达调控的研究进展	132
八、硒与白介素 2 及其受体关系研究进展	141
九、硒与心血管疾病	143

十、硒对生殖的影响	144
十一、硒与氧化损伤和原发性肾小球疾病的关系	147
十二、新生儿及婴儿硒代谢特点	147
十三、氧自由基与硒的抗氧化损伤机制	148
第四章 铜	177
一、铜的理化性质与功能	177
二、铜与妊娠异常的关系	191
三、新生儿与婴儿的铜代谢	193
四、铜与 WD、ATP7B	195
第五章 钙	205
一、钙的理化性质与功能	205
二、钙与某些疾病的关系	209
三、钙对基因表达调控的研究进展	214
四、维生素 D 受体基因多态性对钙代谢的影响	227
五、细胞内钙稳态的调节	233
六、肌细胞内游离 Ca^{2+} 浓度的调节	236
七、钙依赖性黏附素家族	240
八、电压依赖性钙通道亚基及缺陷的研究进展	242
九、 Ca^{2+} 与 Ca^{2+} 结合蛋白关系的研究	246
十、钙受体与疾病的关系研究	256
第六章 氟	259
一、氟的理化性质与功能	259
二、氟对破骨细胞的作用	263
三、氟过多所致的牙损伤及治疗	265
四、氟中毒骨病发病机制的研究	267
五、高氟对雄性生殖系统的毒性	268
六、高氟对胎脑和智商的影响	271
七、高氟对细胞膜的影响	272
八、高氟对 DNA 损伤的研究进展	274
九、高氟的遗传毒性	276
十、氟中毒与一氧化氮关系的研究进展	276
十一、营养与氟中毒	279
十二、血中的氟化物	280
十三、新生儿氟代谢	283
十四、氟骨症治疗的研究进展	283
第七章 锌	286
一、锌的理化性质与功能	286
二、锌与疾病的关系	292

三、锌与锌指结构	303
四、锌对基因表达的调控	309
第八章 铬	321
一、铬的理化性质与功能	321
二、铬与代谢的关系	323
三、铬缺乏与铬中毒	325
四、糖尿病铬治疗研究	327
五、新生儿铬代谢	327
六、铬对基因表达的调控	328
第九章 砷	332
一、砷的理化性质与功能	332
二、砷过多致癌的机制研究	334
三、水体中的砷污染和治理	337
四、某些中药材的砷污染	338
五、砷中毒治疗的研究进展	339
六、砷剂介导的细胞凋亡信号转导途径	341
第十章 碘	346
一、碘的理化性质与功能	346
二、碘异常与疾病的关系	350
三、妊娠期碘缺乏的研究进展	354
四、我国补碘防治地方性甲状腺肿工作的进展	356
五、新生儿与婴儿的碘代谢	359
第十一章 铅	361
一、铅的理化性质与分布	361
二、铅的代谢	361
三、铅对人体健康的影响	362
四、孕妇与儿童铅中毒的研究	363
五、儿童铅中毒的诊断、分级、处理与治疗	368
第十二章 钴	371
一、钴的理化性质	371
二、钴在人体的含量、功能及代谢	371
三、钴及维生素 B ₁₂ 的生理功能	372
四、钴中毒及防治	373
五、维生素 B ₁₂ 缺乏的防治	374
六、新生儿钴代谢	377
第十三章 钼	378
一、钼的理化性质	378
二、钼的含量、分布、运输及代谢	378

三、钼的生理功能	380
四、钼与疾病的关系	380
第十四章 锗	382
一、锗的理化性质	382
二、有机锗化合物的合成	382
三、锗在人体的分布和代谢	383
四、锗的生理功能	383
五、有机锗与疾病防治	384
第十五章 锰	386
一、锰的生理功能	386
二、锰在体内的分布与代谢	388
三、锰缺乏与锰中毒	389
第十六章 硼	392
一、硼的含量及生理功能	392
二、硼与骨关节疾病的关系	393
三、硼治疗氟中毒的研究进展	395
第十七章 镍	397
一、镍的含量与代谢	397
二、我国镍毒理学研究进展	397
三、镍及镍钛合金的致癌机制	402
第十八章 硅	404
一、硅的理化性质	404
二、硅在体内的代谢	404
三、硅的生理功能及与疾病的关系	405
第十九章 钒	407
一、钒的理化性质	407
二、钒的代谢与生理功能	408
第二十章 锡	411
一、急性有机锡中毒	411
二、环境中的有机锡污染	411
三、有机锡的毒性作用研究	414
第二十一章 铊	417
一、铊的理化性质及应用	417
二、铊及铊化物的毒性	418
三、铊代谢及中毒诊治	419
第二十二章 镉	421
一、镉的毒性	421
二、镉的吸收与毒性机制	421

三、镉中毒	423
第二十三章 汞	425
一、汞的理化性质及污染	425
二、汞的危害及机制	425
三、急、慢性汞中毒及防治	428
第二十四章 镁	430
一、镁的理化性质	430
二、镁的分布与代谢	430
三、镁的生理功能及缺乏症	432
四、镁与疾病的关系	434
五、镁保护心脏功能的机制	438
六、镁抗动脉粥样硬化的研究	439
七、补镁	441
第二十五章 钠、钾、氯、磷等	442
一、钠	442
二、钾	443
三、氯	444
四、磷	444
第二十六章 跨膜离子输送与细胞信号转导	447
一、离子通道	447
二、离子交换体	456
三、离子泵	458
四、心肌内向整流钾离子通道的分子机制	459
五、肾小管钾分泌通道	461
六、磺脲类受体与钾通道关系的研究进展	464
七、 $\text{Na}^+ - \text{H}^+$ 交换蛋白及其对心血管系统的作用	466
第二十七章 离子通道与离子通道病	470
一、离子通道与疾病的关系	470
二、离子通道病的研究进展	478

第一章 微量元素与疾病的关系

一、概 述

3 000 年前我国就用含锌的炉甘石治病。我国第一部药典《神农本草经》记载了 23 种矿物药。古代中医文献也有用含碘的昆布治疗甲状腺肿的报道。17 世纪后叶,欧洲开始用铁治疗贫血,18 世纪前叶开始用碘治疗缺碘性甲状腺肿,1925 年发现铜可运送氧、参与氧化还原反应,且与造血相关。1931 年及 1934 年分别论证了锰和锌是必需元素。1957 年后对硒等微量元素开始全面系统化研究。

人体的元素构成糖、脂质、蛋白质、核酸等。近年来分子生物学的研究揭示,一些微量元素通过与蛋白质等的有机基团结合,形成酶、激素等生物大分子,发挥重要的生理、生化功能,也可构成载体与电子传递系统,参与激素与维生素的作用。酶是生命的催化剂,迄今发现人体内 1 000 余种酶中,约 60% 需要微量元素参与组成或激活。某些微量元素对核酸的物理、化学、生物学性质等可产生影响,一些金属元素离子在维持核酸的双螺旋与核蛋白结构和基因调控方面具有重要作用。微量元素如锌、铜、锰、硒对免疫功能有重要作用。硅还是体内结缔组织与骨质构成中必不可少的物质。

由于微量元素在人体内不能合成,只能从外界摄取,从某种意义上说,它们可能比维生素更为重要。因此,在对蛋白质、糖、脂质、维生素等营养素进行大量研究后,近年人们又把目光对准了微量元素。例如,食物在加工过程中会伴有微量元素的丢失,将小麦精制成上等面粉会损失微量元素。传统使用的红糖中含有不少铬元素,而精制的白糖含铬就很少,铬摄入不足将导致组织中铬含量降低,从而增加冠心病与糖尿病的发生率。有人发现过多摄入植物性食物易引起锌缺乏,因为植物性食物中含有植酸,可同锌结合,从而干扰小肠对锌的吸收。人们可因锌的摄入不足而出现生长迟缓、性功能减退及贫血症等。

根据元素在机体内的含量,可划分为常量元素和微量元素。常量元素含量占人体总重量万分之一以上,这类元素包括:氧、碳、氢、氮、钙、硫、磷、钠、钾、氯、镁 11 种。微量元素含量不及体重万分之一,又称痕量元素(trace element)。根据机体对微量元素需求情况,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必不可少的称为必需微量元素。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)、砷(As)、锡(Sn)、硅(Si)、硒(Se)、碘(I)、氟(F) 15 种,是人类营养必不可少的。它们作为体内各种金属酶的重要组分,或通过对某些酶的激活,促进生物合成、生长、神经精神发育、免疫、基因信息调控和抗氧化等。非必需的微量元素中可能有用的有:铷(Rb)、砷(As)、锶(Sr)、硼(B)、锗(Ge);无害的有:钡(Ba)、钛(Ti)、铌(Nb)、锆(Zr)等;有害的微量元素有:铋(Bi)、锑(Sb)、铍(Be)、镉(Cd)、汞(Hg)、铅(Pb)、铝(Al)等。

目前在人体内已检出 90 种元素(自然界中已发现的元素有 92 种),11 种常量元素的重量约占体重的 99.95%,微量元素等其余的元素占 0.05%(表 1-1)。已探明大脑有 48 种元素,心脏有 49 种,肝脏有 50 种,血液有 74 种。

表 1-1 正常人体*主要元素的含量

元素	含量(g)	元素	含量(g)	元素	含量(g)	元素	含量(g)
O(氧)	45000	Cl(氯)	105	Al(铝)	0.06	Sn(锡)	0.017
C(碳)	12600	Mg(镁)	35	Cd(镉)	0.05	Ba(钡)	0.02
H(氢)	7000	Fe(铁)	4	Hg(汞)	0.013	Ni(镍)	0.01
N(氮)	2100	Zn(锌)	2~3	Rb(铷)	0.32	Si(硅)	0.003
Ca(钙)	1050	Cu(铜)	0.08~0.1	Sr(锶)	0.32	V(钒)	0.002
P(磷)	700	Mn(锰)	0.01~0.02	As(砷)	0.002		
S(硫)	175	Co(钴)	0.02	Cr(铬)	0.006		
K(钾)	140	Mo(钼)	0.01	F(氟)	3		
Na(钠)	105	Pb(铅)	0.12	Se(硒)	0.006~0.012		

注: *按 70 kg 体重计。

随着年龄、饮食、环境和生理的变化,体内必需元素的含量及各元素间的比例会出现变化,在疾病时变化可能更大。通过对血液或头发中的元素检测,可对群体或个体缺乏的元素调整、补充,使其达到营养学标准。对超标准的,要对饮食、饮水的摄入量加以限制。人体内的微量元素主要来源于饮食和饮水,但有时可来源于污染的环境。

微量元素“必需”的标准是:缺乏该元素时,将引起机体生理功能及结构的异常,补充该元素可使机体功能及结构恢复正常,且机体具有调节该物质在体内平衡的机制。由于研究方法的进步,可能还会发现其他必需的微量元素。

(一)人体必需微量元素的共同特征

人体必需的微量元素有以下共同特征:

1. 多属于金属或半金属

目前所确定的必需微量元素多为金属或半金属。金属原子的外层电子较少,容易失去电子,成为带正电的离子,此种特性使它们能在体内形成多种化合物、结合物及配价络合物。这是金属元素在体内发挥多种生物学作用的重要基础。

2. 在周期表中居前部,有较高生物活性

必需微量元素在元素周期表中大多居于前部位置,均有催化生化反应的能力,具有高度生物活性。多数必需微量元素能与蛋白质、核酸的某些有机基团结合,成为多种酶、激素或维生素的组分,例如,含 Fe、Cu、Zn、Mn 和 Se 的数百种酶,含 I 的甲状腺激素,含 Co 的维生素 B₁₂ 等,在物质代谢中起重要作用。

元素周期表中同一族元素多有相似的生物学作用,例如 IV 族元素都有不同程度的促生血作用;同族元素能够相互置换,因而可干扰族内元素及其所组成物质(如酶)的作用,引起功能异常。例如酶中的锌可被铅或镉,磷可被砷,钙可被锶,铜可被银或钼,钴可被铈,铁可被钋,钒可被铌置换,引起功能紊乱。

多种性质相似的微量元素之间可有相互协同作用或拮抗作用等,例如,镉与锌、铁,钼与铜有相互拮抗作用;锰与铜,铜与铁,锰与钴之间可有某些协同作用等。

3. 需要量必须适当

任何一种营养素都必须在适量范围内才符合机体需要。微量元素需要量极微,适量范围较小,容易不足或超量。必需微量元素的缺乏会引起功能异常或疾病;体内含量超过正常需求时,会对机体产生毒害作用。铁、碘、锌、铜、锂、钴、锰、铅及镉等的缺乏均会引起中枢神经系统结构、功能异常,表现为智力低下;然而这些元素过量时又会引起中毒,如铜、锰过多时,可引起脑基底神经节病变,过多的铁可诱发脑细胞癫痫,过量的铅可引起精神病等。

4. 特定的存在形式

微量元素在体内的存在形式有重要意义。例如,适量的 Cr^{3+} 是人体必需和无害的;而同量的 Cr^{6+} 则有较强的毒性及致癌性。

正常时,微量元素多与相关的生物大分子结合,存在于细胞内特定的部位,因而处于“区域化封闭”(compartmentation)状态;一旦脱离此区域,即会产生危害。例如铁在正常细胞内结合成铁蛋白存在于线粒体中,当其脱离此种“区域化封闭”,进入细胞质中就能引起氧自由基反应,产生严重后果。

从机体组织的建造、修复到新陈代谢、防病治病,微量元素在生命的各个阶段都不可缺少。体内微量元素的含量可随年龄而改变,如硒、铬、钼、锌、硅、钇、钡的含量可随年龄增长而减少,因而和人的衰老有一定相关性;而铅、镉、锑等一些有害元素的含量却可随年龄增长而增加,从而加速细胞受损及衰老。必需微量元素的剂量-效应曲线见图 1-1,非必需微量元素的剂量-效应曲线见图 1-2。

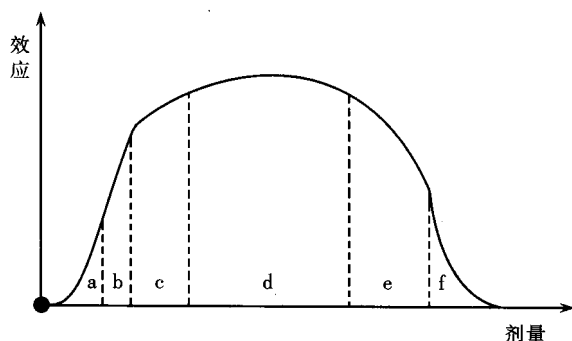


图 1-1 必需微量元素剂量-效应曲线

(a)严重缺乏;(b)显著缺乏;(c)边缘性缺乏;
(d)安全与适宜摄入量范围;(e)边缘性中毒;
(f)严重中毒

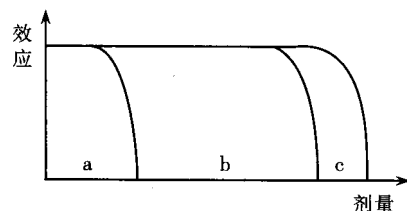


图 1-2 非必需微量元素剂量-效应曲线

(a)极毒;(b)中等毒性;(c)微毒

从图 1-1、1-2 可以看出人体微量元素有适宜的摄入量范围,在此范围之外对机体不利。不同微量元素的安全适宜的摄入量范围不同,如硒的范围为 $50 \sim 200 \mu\text{g}/\text{d}$,而氟则为 $2 \sim 10 \text{ mg}/\text{d}$ 。

在非必需微量元素中,尤其应注意惰性元素和毒性微量元素,前者如铝、铷、锆等,后

者指汞、铅、镉、铊、铊、镉、铍等。非必需微量元素一般不存在缺乏的问题,但应注意其过量的毒性。

(二)各种微量元素在人体内的分布情况

由于人体各组织结构功能上的差异,各种微量元素在各组织中的分布也不尽相同(表 1-2,图 1-3)。

经过长期的生物进化,人体与环境形成了相互依存、相互作用的统一体。人体血液中数十种元素含量与地壳岩石中元素的相关性便是这种统一性的表现(图 1-3)。

表 1-2 微量元素在人体组织及体液中的主要分布情况

微量元素	体内主要分布区
铝、砷、钒	头发
镁	大脑
钢、溴、锰、铬	脑垂体
钼	视网膜
钙、镁、氟	齿质及珐琅质
钙、磷、钾	骨、牙
碘、溴	甲状腺
钙	心脏、骨
锂	肺
镁	胰腺
锂、硒、钙、镁、钼、镉、汞	肾脏
锂、镁	骨、筋
锂、镁	肌肉
铁、锂、钙、铜	血液
锂、硒、铝、锌、钙、镁、铜	肝脏

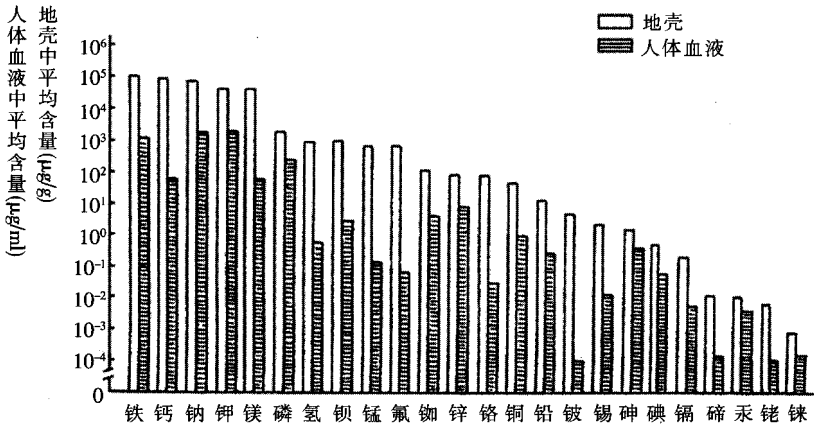


图 1-3 人体血液和地壳中 24 种元素的含量

(三)微量元素在人体内的主要功能

微量元素在生命活动中起着重要的作用。但它们量微,相互又有协同作用或拮抗作用等,以致某些微量元素的具体功能及机制仍不十分清楚。通过动物实验及临床观察,微

量元素功能现可简要归纳如下。

1. 促进生长发育

已知铁、铜、锌、锰、钴及碘等均有促进生长的作用,缺乏这些元素能引起生长停滞;补充所缺元素即可刺激生长、发育。碘主要作为甲状腺激素的组分,其他元素主要作为酶的组分。

2. 对神经系统的影响

适量的铁、碘、锌、铜、锂、钴及锰等均与神经系统正常结构及功能有密切关系,缺乏时影响神经系统正常结构及功能,过量则引起毒性反应或病变。

3. 对内分泌系统的影响

实验证明,微量元素能影响某些内分泌腺激素及其对靶组织的生物学作用。例如,铁过多可影响胰腺、性腺功能;镍过多可加速催乳素抑制因子的释放;钼过多可引起动物睾丸萎缩、性欲减退;铜过多可引起排卵异常而致不孕;铅过多既可直接损伤甲状腺功能,导致碘摄取和利用率降低,又可降低垂体、肾上腺皮质和性腺的分泌功能。反之,缺锌能影响垂体分泌促性腺激素;缺铜可影响垂体、肾上腺皮质、性腺等的分泌功能及引起儿茶酚胺类激素的合成障碍;缺锰及锰过多可影响性腺功能;缺铬可影响胰腺功能及胰岛素活性,缺碘可影响甲状腺功能等。可见微量元素与内分泌系统的关系广泛又密切,值得深入研究。

4. 对免疫功能的影响

微量元素对人体免疫功能的影响有两方面:一是某些微量元素缺乏或过多可直接影响机体的免疫功能;二是微量元素对微生物生长、繁殖、代谢等可有影响。例如,缺乏铁、硒、铜、锌等可减弱人体免疫功能,降低机体抵抗力;另一方面,当机体感染后,可通过改变微量元素的含量和再分布,使机体免疫、防御功能增强,抑制微生物的增殖、生长。例如肝可加强摄取血清锌和铁等,一方面增加 RNA、DNA 合成,促进金属酶及白蛋白、球蛋白等合成,增强机体杀菌能力;另一方面又可通过降低血清锌、血清铁等,使侵入体内的微生物因缺乏锌、铁而难以生长、繁殖。

5. 对心血管疾病及创伤的影响

研究证实,镉及钴在体内过多对心血管结构和功能不利;适量的铬、硒、锌、锰、氟、钒、铜等则对心血管结构和功能有益。食物中锌/镉比值大小与高血压病的发生和预后有密切关系:锌/镉比值显著降低时易发生高血压或高血压病情恶化;锌/镉比值过高又会干扰胆固醇代谢而致冠心病。缺铜可致胶原合成等障碍而引起心血管病变;适量的硅对维持动脉弹性等有一定作用。此外,还发现铁、锰、硒等在动脉粥样硬化的防治中有重要作用。

铁、铜、锌等对核酸及蛋白质生物合成有直接或间接作用,硒、锰、铬、碘则对代谢过程有影响;其中锌参与基因转录调控,又是 DNA 聚合酶、RNA 聚合酶、胸腺嘧啶核苷激酶、碳酸酐酶等近 400 种酶的组分或激活剂,故能影响核酸及蛋白质合成过程,是创伤愈合和疾病恢复必需物质之一。

6. 对肿瘤发生、发展的影响

微量元素不能由人体组织合成,来源于外界环境,某些微量元素过多或过少对肿瘤形成和演进有密切关系,故环境中微量元素的含量会影响人对于微量元素的摄入和贮存,进

而影响肿瘤的发生和发展。微量元素引起肿瘤发生、发展的机制大多与“自由基”过多、“过氧化作用”及“区域化封闭破坏(decompartamentation)”等有关。

目前已证实致癌的微量元素有:过量的镍、铁、锌、铜、铬(Cr^{6+})、砷、镉等;能抑制癌症发生、发展的微量元素有:适量的硒、钼、锰等。碘、氟、铅、铍等的致癌作用尚未确定。

7. 其他作用

多种微量元素在体内的缺乏或过多除具有以上作用外,还能影响胚胎的生长、分化和发育,从而可导致先天畸形。实验证实,缺乏锌、铜、铁、碘、锰以及过多的硒均有致畸作用。至于其他多种非必需及有害的金属元素,均能干扰胚胎的形成,可致畸。微量元素还可参与构成体内重要的载体合成,如与运输和储存氧及电子传递相关的血红蛋白、肌红蛋白、细胞色素系统及铁硫蛋白等。

二、缺乏症与中毒

微量元素在体内过多时有毒性作用,可引起疾病、中毒或死亡(表 1-3)。例如由于铁吸收过多,可引起铁过剩的血色素沉着症(hemochromatosis),铁沉积在心、胰、睾丸、肝内,可导致纤维化并引起心肌受损、糖尿病、性功能不全和肝硬化。先天性铜代谢异常的 Wilson 病时运转铜的铜蓝蛋白生成减少,使过多的铜在脑基底核和肝中沉积,可出现神经症状及肝硬化。氟吸收过量,可造成氟骨症及斑釉齿,可抑制酶的活性。锌过多可引起发热。锰过多可导致中枢神经障碍、运动失调。钴过多可造成心脏病、甲状腺功能异常、听觉障碍。锡过多可造成呕吐、腹泻、腹痛及肝脏损伤。甲基汞中毒时可发生“水俣病”。镉中毒可造成有疼痛、肾损伤及骨折症状的“疼痛病”。六价铬(Cr^{6+})过多可引起特征性鹰眼状铬溃疡及鼻中隔穿孔。砷过多可引起中毒及皮肤癌。钼过多可损伤心血管。

表 1-3 一些微量元素过量时的机体效应

名称	过量时的症状或致病性
F	骨密度增加、斑釉齿、抑制酶的活性
I	甲状腺肿
Zn	胃癌、发热
Mn	运动失调、震颤性麻痹症(帕金森病)
Fe	血色素沉积症
Co	红细胞增多症、心脏病、听力障碍
Cu	精神失常、动作震颤、肝硬化(威尔逊病)
Mo	痛风
Ni	肺癌、鼻窦癌、心梗
Cr	肺癌、溃疡与穿孔
Ca	胆结石、白内障、影响心脏及血液流通
Mg	麻木
As	皮肤癌
Cd	肾损害、骨折、疼痛病
Sn	呕吐、腹泻、肝脏损害
Hg	水俣病