

微量元素与 营养卫生

严文钰 王光荣 编著



上海科学普及出版社

WEI LIANG YUAN SU YU YING YANG WEI SHENG

微量元素与 营养卫生

严文钰 王光荣 编著



上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

微量元素与营养卫生/严文钰,王光荣编著. —上海:
上海科学普及出版社,2008.1

ISBN 978-7-5427-3905-6

I. 微… II. ①严…②王… III. 微量元素—营养卫生 IV. R151.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 150814 号

责任编辑 诸黎敏

特约编辑 宋惠娟

微量元素与营养卫生

严文钰 王光荣 编著

上海科学普及出版社出版发行

(上海中山北路 832 号 邮政编码 200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 上海望新印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 11.5 字数 273 000

2008 年 1 月第 1 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—3 000

ISBN 978-7-5427-3905-6/R·366 定 价:38.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题
请向出版社联系调换

前 言

这是一本从营养卫生学的角度,探讨微量元素对人体健康的读物。两位编著者都是从事营养与食品卫生教学和卫生工作的专业人员。严文钰教授从1975年开始接触微量元素工作,逐渐地收集到一些资料,重点是医学和工农业方面的,从而认识到微量元素在人体或工农业生产中仅用极微量即能显示出奇特的功效,更加激励了深入了解的意愿,于是在教学、科研之余就重点地进行这方面的探究。这时,王光荣博士也加入了这项工作,两人从文献中继续探讨,并向有关人员征求资料,因而获得了大量书刊、专著、报告、卫生标准及其它有关文章等资料,经过较长时间的筛选、删简,于上世纪90年代初基本成文;同时,又通过每年一次的微量元素教学中的体会及认识进行修改和增添一些内容,最终形成了这本书的稿件。

大多数微量元素的发现是上世纪后半期的事,这是因为近代尖端技术和理化分析手段使生物体中的微量元素能够准确地被检测出来,从而促进了对生命健康、工农业和一些有关尖端事业的发展。对医学而言,过去难于解释的生物化学现象也可以得到澄清,不明的和难于防治的一些疾病有了探索或解决的途径。如碘缺乏引起的身体发育缺陷的防治、氟的正确使用可以保护正常的骨牙发育、硒的深入研究使病因不明难于防治的克山病患者得到有效处理。

1990年前人体需要的微量元素世界公认的为14种。1996年FAO/IAEA/WHO的营养专家基于1973年以来对微量元素的研究和发展,重新将微量元素分为三类:第一类为人类必需的有I、Zn、Se、Cu、Mo、Cr、Co、Fe等8种;第二类为人体可能需要的微量元素有Mn、Si、Ni、B、V等5种;第三类为本身有潜在毒性,当在低剂量时可能具有必需功能的微量元素有F、Pb、Cd、Hg、As、Al、Li、Sn等8种。随着科学的发展和科研的深入,将来更会发现许多新的知识。本书编著者基于自己在教学和工作中的认识加入一些人体日常接触或与生活有关的微量元素有Ba、Bi、Cr、稀土和锆等。锆的提出是因编著者单位曾先后进行了数次不同来源的锆化合物(锆₁₃₂)较长期的动物毒性试验,结果均未发现毒性。今天世界各国包括我国先后禁止锆作为保健食品供人服用,编著者在本书中只是将自己实验资料提供出来,仅供大家参考。

本书中另一比较难得的,是他们在中国科学院上海原子核研究所、上海有关的6个食品公司和当时十多个区、县卫生防疫站的协作参与下,经过两年左右的时间,历经艰辛工作,完成了106种上海市售食品的微量元素成分检测。微量元素在不同地区的土壤中含量差别很大,虽然这份资料有地方土壤中微量元素含量的局限,加上有的食品检测次数较少的缺陷,但对于上海地区的应用是非常难得的资料,即使对我国其他地区作为参考资料,也是难能可贵的。

人体必需微量元素的研究近几十年来发展比较快。我国有关微量元素的书籍,各地先后均有出版。本书是比较集中地从营养卫生的角度进行讨论,其中有的微量元素内容比较丰富,有的微量元素的资料难觅,需要社会上有关人士的帮助,协助他们来逐步完善,并促使

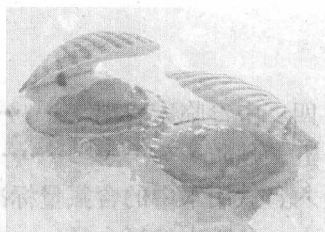
有更多的人来关心微量元素对健康的作用,以利于微量元素的研究和知识普及,成为保障人民健康和防治相关疾病的一条新的途径。

2 李曙

2007. 11



目录



绪论	1
一、微量元素的生理功能	2
二、人体微量元素营养作用的特点	4
三、人体微量元素缺乏的原因	6
四、人体的微量元素平衡	8
五、微量元素的供给量	10
六、有关微量元素的安全性评价	12
第一部分 人体必需的微量元素	
碘	17
一、甲状腺的生理	18
二、碘在人体中的代谢	20
三、病因与流行	20
四、碘的毒性	23
五、中毒的临床表现	23
六、甲状腺肿的治疗	24
七、甲状腺肿的预防	25
八、食物中含量	28
九、碘的供给量	28
十、碘的含量	28
锌	29
一、生理作用	29
二、代谢	31
三、锌缺乏症	33
四、锌与脑功能	34
五、毒性	34
六、中毒临床表现	35
七、食物中含量	35
八、人体锌的需要量	36
硒	38
一、硒的代谢	39
二、毒理	41

三、人体的硒需要量和安全摄入量	43
四、食物中含量	44
五、膳食中硒的限量卫生标准	44
铜	47
一、代谢	47
二、毒理	50
三、中毒的临床表现	51
四、食物中含量	52
五、铜的供给量和平衡	52
六、食品的限量卫生标准	53
钼	53
一、代谢	54
二、生理	54
三、缺乏症状	55
四、毒理	55
五、需要量、允许量和来源	56
六、食物中含量	56
铬	57
一、生理	57
二、毒性	59
三、中毒的临床表现	60
四、缺乏病	60
五、食物中含量	61
六、需要量的估计	61
七、食品中的限量卫生标准	62
钴	62
一、生理	63
二、代谢	63
三、毒理	63
四、中毒的临床表现	64
五、食物中含量	65
铁	66
一、生理	66
二、代谢	69
三、铁异常	71
四、食物中含量	72
五、铁的供给量	73
六、食物中铁限量的卫生标准	73

第二部分 人体可能必需的微量元素

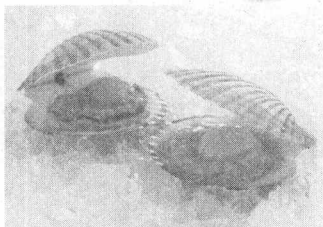
锰	77
一、生理	77
二、代谢	78
三、毒理	79
四、中毒的临床表现	80
五、食物中含量	81
六、膳食供给量	82
硅	82
一、生理	82
二、毒理	83
三、食物中含量	84
四、需要量与来源	84
镍	84
一、生理	85
二、代谢	86
三、缺乏症状	87
四、毒性	87
五、需要量	88
六、食物中含量	88
硼	89
一、生理	89
二、毒理	90
三、需要量及来源	91
四、食物中含量	91
钒	92
一、代谢	92
二、生理	92
三、缺乏症状	93
四、需要量	93
五、食物中含量	94

第三部分 有潜在毒性,但低剂量时可能是人体所需微量元素

氟	97
一、生理	97
二、毒性	98
三、氟中毒的流行病学	99

四、中毒临床表现	99
五、预防	100
六、饮用水中的含氟量标准	101
七、食物中的氟含量	101
铅	102
一、代谢	102
二、毒理	104
三、允许摄入量	106
四、食物中含量	106
镉	107
一、代谢	107
二、毒理	108
三、食物中含量	110
四、环境镉对农田的污染及其影响	112
五、食品中限量卫生标准	112
汞	113
一、代谢	113
二、毒理	115
三、中毒的诊断和临床表现	116
四、食物中含量	116
五、食品中汞的卫生标准	117
砷	118
一、生理	118
二、毒理	119
三、需要量的估计	120
四、食物中含量	121
铝	121
一、代谢	122
二、铝的毒性	122
三、铝的神经毒性	123
四、铝在血清中的分布特征及其影响	124





五、食品中铝的限量问题·····	124
六、食品添加剂带入的铝·····	125
七、我国人均日摄入铝量的估计 ·····	126
八、面制食品中铝的容许限量·····	126
九、食品中含量·····	126
锂·····	127
一、生理·····	127
二、代谢·····	127
三、毒理·····	128
四、中毒的临床表现·····	128
锡·····	129
一、代谢·····	129
二、毒理·····	130
三、中毒临床表现·····	130
四、食物中含量·····	131
五、供给量·····	131
第四部分 人体日常接触 或与生活有关的微量元素	
钡·····	135
一、生理·····	135
二、代谢·····	135
三、毒理·····	135
四、食物中含量·····	136
铋·····	137
一、代谢·····	137
二、毒理·····	137
锑·····	137

一、生理·····	138
二、代谢·····	138
三、毒理·····	138
四、食物中含量·····	139
稀土元素·····	139
一、代谢·····	140
二、毒性·····	140
三、稀土元素的利用·····	143
四、植物性食物中含量及我国使用 现况·····	144
锆·····	144
一、代谢·····	145
二、毒性·····	146
三、关于锆中毒问题·····	147
四、食物及药物中含量·····	149
五、我国曾颁布的人体服用有机锆 的纯度要求和限量·····	149
第五部分 有关生物样 品的微量元素检测问题	
分析样品·····	153
一、血液分析·····	153
二、头发分析·····	154
检测值的误差·····	154
一、采样误差·····	155
二、分析误差·····	157
被检测组织的有关变化·····	158
分析方法的选择和质量控制·····	158
人体微量元素需要量的检测·····	159
一、缺乏或不足症状已明确的微量 元素检测·····	159
二、所有的微量元素检测·····	160
附录 上海地区市销食物中的微量元素 ·····	162
参考文献·····	174
编者的话·····	175

绪 论

微量元素是营养学中近 50 年来逐渐形成的一新兴分支。人们对微量元素的了解和重视,是与近代科学技术特别是尖端新技术和理化分析手段的迅速发展分不开的。它使生物样品中极微的微量元素含量可以检测出来。此外,细胞生物学和分子生物学的发展又为微量元素的生物化学作用提供了研究手段。微量元素与人们的生命、健康、长寿和工农业生产息息相关,从一开始发现即受到了学者的重视。由于微量元素的科学研究逐渐深入,目前已使医学保健、食品营养、工农业生产、生物化学等部门进入到一个新的领域,大大地发展了微观的甚至超微观的检测、分析和研究,使一些过去难以解释的生物化学现象得到澄清,难以防治的一些疾病得到了新的、可靠的解决途径。如克山病,本来是一种世界各国长期以来原因不明的、难以治愈的地方病,但现在我国已找到了它的病因是缺硒,从而使该病基本得到了有效的防治,1979 年我国公布了这一成果,令世界有关学者瞩目,并已成为全世界所有克山病患区人民的福音。

世界上一切生物体包括人体在内都是由以元素为基础构成的,自然界中天然存在的元素在生物体内几乎都可以找到,且在人的一生生活活动过程中还不断地与环境进行着以化学元素为基础的物质交换。自然界的元素很多,从《元素周期表》中可查到的为 103 种,其中天然存在的 92 种,人体中存在的 81 种,这些天然元素是以水溶形式通过食物、饮水及其他途径进入人体。因此,人体中几乎含有元素周期表中自然界存在的所有元素,且在组织中各种元素的含量与环境中的元素组成趋势大体是一致的。

人体中各种元素的含量差别很大,一般可将其分为两类:一类是常量(或宏量)元素,其中每一种元素占有人体重量的 0.01% 以上,并且是人体主要的组成元素或结构元素。这些元素按人体含量的顺序排列为:氧(O)、碳(C)、氢(H)、氮(N)、钙(Ca)、硫(S)、磷(P)、钠(Na)、钾(K)、氯(Cl)和镁(Mg)等共 11 种,它们占人体元素构成总量的 99.95%,其中 O、C、H、N 又称有机元素。O、C、H、N、Ca、S 及 P 等 7 种元素占 94%,H、O 以结合为水的形式占有 65%,而成为人体基本结构元素;Na、K、Ca、S、P、Mg 和 Cl 等 7 种称为宏量元素。所有宏量元素原子序数均较小,且其 1/3 左右为非金属元素,其中 Na、K、Ca、Mg 四种为轻金属。这些元素在人体中的主要生理功能是维持细胞内、外液的渗透压平衡,调节体液的 pH 值,形成骨架以支撑机体结构和维持有利于活动的态式、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,还使血液凝固和酶活化等作用。另一类是微量元素,目前体内检出的已达 70 种以上,几乎包括了元素周期表中自然界存在的所有元素。它们在体内的共同特点是浓度很低,其中每一种的含量均小于体重的 0.01%。1996 年 FAO/IAEA/WHO 营养专家委员会又提出了在人体组织中的浓度小于 250 $\mu\text{g/g}$ 含量的元素为微量元素的主张。

人体中的微量元素按其生物学作用可分为必需的和非必需的两大类。元素的必需性是建立在维持生命和正常生理活动两方面。1972 年美国学者进一步提出了三条标准,即:该元素长期摄入不足将导致生理功能损伤;补充该元素达到生理水平,即可预防或治疗这种损伤;有一个以上相互独立的研究报告和一个以上动物品种的实验证明。

基于上述理由,现将必需微量元素分为三类:第一类在自然条件下缺乏时可引起疾病,如1832年发现萎黄病患者血液中铁含量低于正常人;1850年报告甲状腺肿的发生与碘缺乏有关;1935年探索出钴缺乏是牛羊消瘦病的原因;1961年伊朗的锌缺乏病和1979年我国报道的硒缺乏病等。第二类是通过动物试验用某元素缺乏的天然或合成饲料造成的缺乏模型,如1928年证明了铜为大鼠和家兔所必需;1931年和1934年阐明了锰和锌为大鼠和小鼠所必需;1953年报告了钼是大鼠所必需的;1957年证明了硒是大鼠所必需的;1959年又证明了铬为大鼠所必需。第三类是德国发明了塑料隔离器技术后,在严格控制环境污染的纯净条件下造成的动物缺乏模型。1970~1972年利用这项技术陆续证明了锡(Sn)、镍(Ni)、钒(V)、硅(Si)、氟(F)为大鼠等动物所必需,1974~1991年又分别证明了铅(Pb)、砷(As)、镉(Cd)、锂(Li)、硼(B)、溴(Br)等为动物所必需。1973年WHO专家委员会按上述判别标准将已发现的14种微量元素(即铁(Fe)、碘(I)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、钴(Co)、钼(Mo)、硒(Se)、铬(Cr)、镍(Ni)、锡(Sn)、硅(Si)、钒(V)和氟(F))认定为动物所必需,提出了其中一些元素的日摄入量范围。

由于各学者之间的理解不一致,造成对微量元素的必需性没有统一的认识,以致在文献中记载必需微量元素的数目各异。1996年FAO/IAEA/WHO的营养专家委员会根据1973年以来的研究技术和认识,提出了必需微量元素是机体生理活性物质有机结构中的必需成分,或其摄入量在饮食中当减少到某一低限值时,将导致一种重要生理功能的损伤。同时,该委员会还强调一种元素在一个动物种属的实验中证明是必需的,不能推论为另一种动物也必需,一定要通过实验来一一加以验证。基于以上认识,专家委员会将目前在人体中已研究的微量元素重新分为三类。第一类为人体必需的微量元素,是I、Zn、Se、Cu、Mo、Cr、Co、Fe;第二类为人体可能必需的微量元素,是Mn、Si、Ni、B、V;第三类为有潜在毒性,当在低剂量时可能具有必需功能的微量元素,是F、Pb、Cd、Hg、As、Al、Li、Sn。随着今后研究的深入,还将可能发现有更多的微量元素是人体必需的。

必需微量元素中每日需要量以毫克(mg)计算的有Fe、Cu、Zn等,种类较少;需要量小于毫克者,其中有的还可以称为必需超微量元素,如I、Se、Co、Mo等,微量元素中大多属于此类。这些微量元素的含量大致已经清楚,但在体内存在的形式则研究不多。微量元素在体内的分布呈高度的不均匀性,各元素间的差异有的可以达到2~3个数量级,个别的甚至可达10个数量级左右。即使是同一微量元素,但在不同的组织或器官中的含量差别也很大。微量元素为金属元素时,其密度多大于($4\sim 5$) g/cm³,为重金属。当在体中失去一个或一个以上电子形成阳离子时,即可参加反应。此外,在个别地区还有一些人可以接触到钍(Th)、铀(U)、镭(Ra)等放射性元素,就不在此讨论了。

一、微量元素的生理功能

微量元素是继发现蛋白质、维生素后的营养学的第三次大飞跃。国内、外大量研究表明,微量元素在人体中的总量虽然很少,但参与了许多酶的组成或激活,起到了十分重要的作用。自从20世纪20年代发现了呼吸酶含铁以后,到现在从已知的1000多种酶中提取或制备出的金属酶就有100多种,并逐渐弄清楚了它们的功能。随着人们对其生理、生化作用认识的逐渐加深,高纯度合成饲料和微量元素缺乏动物模型的研制成功,精密检测方法的

建立等,在微量元素的研究中还会不断地取得新的突破。目前,这些酶大体可以分为两大类:一类酶当有某种微量元素参加时,即显示出催化作用,因而叫做金属活化酶。这类酶与金属的结合是可逆的,解离常数大,金属易于从酶蛋白中游离出来,其活性的专一性不强,如Mn、Fe、Cu、Mo等作为酶的激活剂时,酶的活性增强,当其金属与酶蛋白分离后,则酶的活性大部分消失;另一类酶与金属的结合很牢固,并显示出某些特异性,如氧化酶中的铜、水解酶和脱氧酶中的锌和铁、卟啉中的铁等。

微量元素在酶系统的功能,有的是直接参与了催化作用,有的是金属与底物形成许多形式的结合物而发挥作用。有时,微量元素与反应物结合,使体内的平衡遭到破坏,而使反应得以继续下去。由于人体对微量元素的需要量很少,而食物中又普遍含有这些成分,故严重的微量元素缺乏少见,多数呈现为边缘性缺乏,对人的健康和生长发育都产生慢性影响。微量元素的重要性在儿童少年的生长发育过程中表现特别突出,其原因是:微量元素借酶的作用直接参与机体的生长发育过程,如锌参于核酸、蛋白质的合成,从而影响器官的形态和功能;碘构成甲状腺素以促进生长;镍、钒、硅等可加快幼年时期的生长速率等。儿童少年时期是微量元素缺乏或不平衡的高危人群,如铁、锌缺少较多见,是因为胚胎时期贮存量较少和年幼时的需要量较高之故。限于目前人们对微量元素的认知有限,还不可能通过调整膳食摄入量使其达到人体适宜的最佳水平,而显示出一些尚待深入研究的领域。

微量元素的生理功能,具体的有以下几个方面:

1. 为酶的组成成分或激活剂

酶系统中总是有一个或几个微量元素在起着特殊的活性中心作用。如过氧化物酶中的铁、碳酸酐酶中的锌、酪氨酸酶中的铜等。当将这些酶中有关的微量元素除去,其活性就立即丧失。

2. 为某些激素的合成、释放及其与靶器官的结合过程中起重要作用

如碘浓度的增加或减少对甲状腺素的作用就是这样。

3. 参与体内物质的输送

如铁为血红蛋白的成分,参与了氧的运送;锌为碳酸酐酶的成分,参与了二氧化碳的排出。

4. 为某种维生素的组成成分

如钴是维生素B₁₂的组成成分。

5. 对核酸的结构和功能具有某种特殊作用

近年来发现核酸中含有钒、铬、锰、锡、铁、钴、镍、铜、锌等多种微量元素,估计其对核酸的结构和功能均具有某种特殊作用。

6. 与肿瘤有一定关系

与肿瘤间的关系最典型的例子是碘,如果机体缺碘,可引起单纯性甲状腺肿;碘供应过多通过反馈作用,使垂体分泌较多的甲状腺素,进而亦可导致肿瘤的发生。

7. 与致畸有一定关系

由于核酸是遗传信息的物质,含有多种微量元素,当其含量不足或过多均可影响遗传信息,如果发生在生殖细胞最后可呈现为畸形,发生在体细胞将形成为肿瘤。

美国营养学会及食品部门1980年按不同年龄和生理状况确定了Fe、Zn、I、Cu、Mn、F、Cr、Se、Mo等9种的膳食供给量或安全摄入水平;我国1988年修订的营养素供给量中只提出了Fe、Zn、I、Se等4种;英国还曾提出过Si的摄入量。这些成果当然还不能满足机体代谢和一个

国家食物生产计划的制定、人群膳食营养评价和有关保健和疾病防治的需要。鉴于微量元素的研究难度较大,今后还需进行长期艰苦的努力,才能达到基本符合人体需要的愿望。

二、人体微量元素营养作用的特点

(一) 微量元素的生物学效应

20 世纪 70 年代以来,由于分析方法及同位素示踪技术的应用,开始了探讨抗体细胞和组织中微量元素作用的形式、缺乏时的功能障碍、临床表现和病理变化等。初步结果表明一些微量元素对维持人体最佳健康状态是不可缺少的。可以预料,今后还将陆续发现另一些对维护人体健康有显著作用的必需微量元素。1946 年 WHO 曾阐述“健康是身体、精神和社会完全协调的一种状态,而不仅仅是没有疾病或身体健壮”。为了获得这种健康,对代谢起着重要作用的微量元素在体内至少应该具备的条件是:恰当的数量;适宜的价态;位于机体的一定生物学部位;与确定的受体结合。由于每一种微量元素的理化性质不同,故在生物体内都有各自独特的生物学效应,其表达依赖于机体的内环境,并为生物遗传特性所制约,有周期(即昼夜)节律性,或叫生物振荡。生物振荡的维持与延续,要消耗能量,故需要不断的补充热能。过去认为对抗体有害的元素如 Pb、Cd、Hg 等在周期表中所处的位置均与必需微量元素相临近,其危害性主要是在一定条件下对必需微量元素生物学效应的干扰。一些海洋生物对 Pb、Cd、Hg 的浓缩指数常大于必需微量元素的 $10^5 \sim 10^6$ 数量级,故食用这些海产品时需要考虑其产地环境;今天则认为它们虽有潜在毒性,但在低剂量时仍可能为人体所必需。

一些元素具有双重效应,缺少了会引起相应缺乏病,多了又可能发生中毒。已经明确有双重效应的微量元素见表 1:

表 1 一些微量元素的双重效应

元素	缺乏引起的疾病	过量引起的疾病
Co	贫血症	冠状衰竭,红细胞增多
Zn	侏儒症	金属烟雾发热症
F	龋齿	氟斑牙、氟骨症
Cr	非正常糖代谢	鼻中隔穿孔

有的地区水和土壤中有过量的 Si,而缺少 Fe、Cu 时,可导致代谢失常进而引起白血病;这些地区居民摄入足够的二价铜即可避免这种情况发生。英国发现白垩土及石灰岩地区(Si 含量均较丰富)癌发病率低;南非土壤中缺 Cu、Mo、Fe 的地区,发现咽喉癌发病率有增高现象,而土壤中有高含量的 Zn、Cr 时,肠和骨瘤发病率有升高的倾向。Fe 在体外溶液中有多种价态的氧化物,而体内对 Fe 的价态有明显的选择性,只有二价铁才能被机体吸收利用;而三价铁对载氧蛋白的结合力比二价铁要高出很多倍,故二价铁的血红蛋白络合物极易被氧化成三价铁后进入体内。故为了充分发挥 Fe 的有益作用,在这个转化过程中需要有 Cu、维生素 C 等还原剂的同时参与。

(二) 最佳营养曲线

细胞内必需微量元素在体内的作用有一定的生理剂量范围,如果膳食中缺乏可导致细

胞结构和生理功能异常,即导致缺乏症状;而摄入过多又会引起中毒。在不足与过多之间会有一个最佳营养曲线平台的现象。

所谓平台,即适宜的安全摄入量。不同的元素,有不同的适宜量范围;不同的元素,有不同的生物影响曲线。如有人总结了饮水中碘含量与甲状腺肿患病率的关系,由缺碘过渡到高碘地区的患病率曲线呈“U”型,且底线方为最佳曲线平台,故缺碘与碘过多均可引起地方性甲状腺肿。

一般地说,微量元素对人体的适宜剂量与中毒剂量之间距离大小与元素价态及化合物有关。

(三) 微量元素在体内存在的形式

微量元素在体内代谢过程中主要起着催化作用,所参与的反应虽然是多种多样的,但其作用则有各自的特异性。如 Co 为维生素 B₁₂ 的组分,Fe 在血红蛋白中的主要作用是输氧,I 为合成甲状腺素所必需等。微量元素作用的这种特异性,主要取决于元素的:①原子价;②氧化还原电位;③离子半径;④配位数;⑤配位结构;⑥配位体的交换速率等因素。对机体而言,则还有环境条件、机体状态和有氧供给等也有直接或间接的影响。所以,微量元素在体内的作用与其存在形式和条件有关,从微弱的离子效应到蛋白质的特异结合有多种多样,如金属酶、金属蛋白质、金属结合酶、金属离子与高分子蛋白质间的非特异性结合,以及自由离子的不同化学类型等。机体必需微量元素的作用部位和功能见表 2:

表 2 必需微量元素的作用部位和功能

元 素	作用部位	功 能
Fe	血红蛋白、肌红蛋白、琥珀酸脱氢酶、细胞色素	氧和电子的传递、血红蛋白的合成
Cu	单氨氧化酶、酪氨酸酶、细胞色素氧化酶、血浆铜蓝蛋白、超氧化物歧化酶	线粒体功能、铁的利用、胶原代谢、黑素形成
Cr	葡萄糖耐量因子、加强胰岛素作用	糖代谢、脂肪代谢
I	甲状腺球蛋白、T ₃ 、T ₄	细胞氧化过程
Co	维生素 B ₁₂ 、造血	甲基化等
Se	谷胱甘肽过氧化物酶、细胞色素	细胞过氧化物分解去除过氧化氢、谷胱甘肽氧化
Mn	丙酮酸羧化酶、激活多种酶、精氨酸酶、超氧化物歧化酶	氧化酸化、脂肪酸代谢、蛋白、黏多糖、胆固醇合成
Mo	黄酶(黄嘌呤氧化酶、醛氧化酶等)	黄嘌呤、次黄嘌呤代谢
F	牙齿、骨骼	铁代谢,活化腺苷酸环化酶
Ni	核糖核酸代谢、镍胞浆素、酶激活、激素和色素代谢	核酸稳定性、膜构造与功能
Si	黏多糖代谢	结构组织构造、成骨过程
Sn	脂肪组织、门齿的色素代谢	催化氧化还原
V	脂肪代谢,Na ⁺ -K ⁺ -ATP	氧运输,胆固醇、辅酶及代谢,膜电解质代谢
Zn	碳酸酐酶、多肽酶、醇脱氢酶、碱性磷酸酶、RNA 和 DNA 聚合酶等	能量代谢、核酸代谢

(四) 微量元素在机体中的分布

微量元素在机体的所有器官中均可以检测到,但多数为不均匀分布。一些微量元素在脏器或组织中分布的情况见表3:

表3 微量元素含量较高的脏器或组织

元素	含量较集中的脏器或组织
Co	肝、肾、肌肉
Cr	心、肺、肝
Cn	肌肉、骨骼、肝、脑
F	骨骼、牙齿、指甲、头发
Fe	血液、肝、脾、骨骼
I	甲状腺、肌肉、肾上腺
Mn	骨骼肌、肝、胰、脑
Mo	肝、肾
Se	肝、胰、肾、心
Zn	视网膜、胰岛、前列腺

机体微量元素分布的这种不均匀性,表明机体的某一器官或组织结构与微量元素的特异性之间有密切关系。在某些病理情况下,体内微量元素含量及代谢亦将发生变化。因此,检测组织或体液中的微量元素含量或有关物质的生物活性水平,都将有助于探讨其发病机制,并可应用于临床诊断和预后探讨。

(五) 机体微量元素间的相互作用

机体各种微量元素之间在某一含量水平时可出现协同作用或拮抗作用,而在平时则处于一种精细的平衡状态中。由于微量元素电子结构和化学物理特性的差异,有的元素彼此间尚存在着生物性干扰作用。已知微量元素间有拮抗作用的为:Cu与Mo,Cu与Zn,Cu与Fe,Cd与Cu,Zn,Mn,Fe与Se,Se与As,Se与Hg等。已知微量元素间有协同作用的为:As与Pb,Cu与Hg,Se与Cu等。这些是微量元素在人体中的生物学单一作用或综合作用的体现。

体内某种微量元素出现缺乏或过多的原因不外乎是直接来自微量元素本身或受微量元素间的相互干扰。微量元素的拮抗作用,可以使原有的适宜剂量变为不足;反之,协同作用又往往可以增强其原有作用直至显示毒性反应。由此可见,体内某种微量元素的缺乏或中毒,不仅取决于该元素在内外环境的水平,也取决于内外环境中某些相关元素间的比值。所以,研究机体微量元素间的相互关系和适宜水平,比研究单一元素的作用更为重要。此外,膳食中的一些营养物质如蛋白质、维生素和某些非营养物质如植酸、鞣酸等对微量元素的吸收、利用也有相似的促进或抑制作用。

三、人体微量元素缺乏的原因

(一) 一般原因

1. 环境因素

海洋中有许多适宜于生物生长的微量元素,故至今海洋生物仍成为人们摄取微量元素的重要来源。社会发展、世界人口不断增长,使沿海、沿江地区居住的人口达到饱和,其食物产量不能满足人们饮食的需要,因而居住向内陆发展,从而迫使人们的食物由狩猎、捕捞转

向种植食用作物,如玉米、小麦、大米及各种蔬菜、水果等来满足膳食的需要。这些食物中微量元素的量受到土壤、水体及耕作方式的制约,与过去通过水体提供的微量元素比较容易受到诸如 Se、F、I、Cu 等不足或不平衡而引起的疾病。

2. 食物品种

食物生产受到土质、气候、种植方式等因素的制约,一个地区的食物品种总是比较单一的,从人体营养素需要的全面性来衡量,其中微量元素不平衡的可能性是必然的。有些食物的微量元素含量还受到某些营养成分及其加工的影响而降低其含量和利用率,如中东地区的伊朗、埃及的缺锌事件就是一个明显的例子。此外,历史发展过程中人们从游牧走向定居后,由于生活资料日益丰富,食物品种增多,有了商品市场及人们进一步需要,促使食品生产走向多样化和精细加工。由于加工中某些微量元素的丢失和该化合物结构破坏,亦可引起某种微量元素不足或发生相应疾病也就不足为奇了。如以粮食加工前后进行比较,Fe 的丢失可高达 84%。此外,由于脂肪可改善食物的口感,当烹调时加入量过多,可使膳食的组成发生改变,导致了高热量摄入。据报道,美国 1910 年的膳食是以谷类和蔬菜为主组成的,以后农业生产发展了,膳食中肉类的比重增加了,粮食和蔬菜的比重就相应地减少,以致发生某些营养素特别是微量元素供给的量急剧下降。为了补充需要,迫使以微量元素胶囊来解决缺乏微量元素的相应问题。

3. 食物污染

由于工业生产特别是化工工业的发展及食品添加剂的广泛使用,有时使食物及加工食品可受到严重污染,以至于在个别地区或人群中发生了微量元素摄入过量而出现中毒。

4. 饮食习惯

挑食与偏食的饮食习惯在食物生产单一和就地供应、人口流动、人们片面的饮食享受观念等因素影响下而使膳食中的一些微量元素来源局限,时间久了,就会形成某种微量元素不足或不平衡发生。

5. 食品加工

食品加工中可使某些微量元素利用率增加或损失,如水果及其果汁饮料经过漂洗、碱液浸泡、加热、消毒等工艺使一些原有的天然营养成分流失;面粉未经发酵使锌的利用率不高,以至要依赖外加来恢复其原有的营养成分与风貌。这种方式虽可通过仿生加工来解决,但其各成分的比重及其利用率不可避免地会受到影响或破坏。

6. 疾病

当人体有生理或病理的改变发生时,若饮食未作相应调整,特别是当妊娠、哺乳、老年及各种慢性或消耗性疾病时,机体功能及营养需要发生了变化时,即可导致某种微量元素不足或过多。

(二) 饮食

内陆或某些地区土壤中大面积缺乏 F、I,或产品受到某些影响因素使其微量元素的利用率不高时,通过食物强化措施来解决的办法虽不够好,但对矫正有关微量元素缺乏是有效和必需的。如检查血液或头发时发现 Zn 缺乏,每天在膳食中适当补充锌制剂,对改善幼儿生长发育或创伤愈合等会有明显改善;对肠源性肢端皮炎患者适量补充锌剂也会显奇效。

人们生活水平提高,加工和精制食品消费量增长后,饮食中微量元素的总量会减少。如全麦面包中锌含量为 490 $\mu\text{g}/\text{mg}$,而白面包中仅为 98 $\mu\text{g}/\text{mg}$,两者间相差高达 5 倍,损失率为 80%。故人们如长期食用这类食品而不采取措施,相应的微量元素缺乏症就在所难免了。

因植物蛋白质较动物蛋白质的价格便宜,经济不富裕的人们常多食用。肉为锌的主要来

源,植物性食物中有的本来含锌量就不多,因含有植酸、鞣酸等物质,又使其利用率降低很多。在这种情况下,有的国家或地区多采用食物强化锌的办法来解决,或用富锌食物来调节。

此外,在个别地区或人群中还存在着一些问题也不容忽视,如:

(1) 在铬缺乏的观察中,发现是葡萄糖的耐量因子(GTF)缺乏,对这种糖尿病人补充铬可使50%的患者恢复到正常的糖耐量水平;如用补充GTF来治疗,则其效果更好。

(2) Menke's 综合征是铜代谢异常性疾病,它是由于病人的头发与缺铜饲料喂养羊的毛相似而被发现的,用铜制剂治疗效果很好。

(3) 缺硅的鸡的结缔组织、软骨和骨骼形成不正常,是黏多糖中硅的成分改变所引起的。人们膳食中黏多糖多数来自动物性食物的结缔组织,但社会上有些人对食物精挑细选,将有些结缔组织丢弃而减少了硅的来源;植物性食物的外表沾染的尘土,由于社会控制使其硅含量正在下降,以致组织中硅含量也随着年龄增长而减少,故硅缺乏的有关疾病,在今后一段时间里估计可能会有发展。

(4) 铜还参与弹性蛋白和胶原蛋白的交链,故铜缺乏可以引起骨质疏松和血管损伤。人们膳食中的铜含量目前约接近需要量,故还不至发生什么问题,但今后对这类疾病还值得进一步观察和研究。

此外,食物中微量元素的含量是否能够达到人体的需要,还没有一个较好的检测办法;也不能用诱发微量元素缺乏的办法来判断其是否存在缺乏。目前临床上主要是通过对症状或体征的观察和动物实验,来探讨微量元素的平衡,并已可对多种微量元素缺乏进行确诊了。

(三) 消除影响微量元素利用因素的措施

(1) 植物性食物特别是种子中的植酸、鞣酸等在肠道中易与微量元素形成不溶性产物,而影响到Cu、Fe、Mn、Zn的吸收利用。如中东地区的埃及、伊朗人们膳食中的锌本来也不少,但因其面包生产过程中未经发酵工序,致植酸未被破坏而导致锌缺乏。当明确人体锌缺乏的原因为植酸时,因为破坏植酸的酶中本身含有锌,从而使该酶的活性更加依赖于膳食的锌,导致该酶活性进一步下降,反馈作用又使膳食锌的利用降低。如此恶性循环最终必然导致锌缺乏。此外,膳食中纤维素多,易与锌形成不溶性物,也降低了锌的利用。

(2) 微量元素相互间不平衡,也能改变其利用或代谢,如Zn/Cu比值改变,可使冠心病发病增加;多食用高粱增加了钼的摄取,可导致尿铜增加;氟摄入量多,钼可诱发铜缺乏,其综合作用最后能引起膝外翻。

(3) 烹调与贮藏中对微量元素的利用也应重视,如用热水处理或食用某些金属盛器均可较大地改变食物中微量元素的含量。

四、人体的微量元素平衡

(一) 微量元素的平衡

过去营养学中只强调蛋白质、矿物质和维生素的平衡,对微量元素平衡比较忽视。为什么要重视这种平衡呢?

(1) 必需微量元素参与了各种营养素及其次生代谢物的合成、转化、代谢、吸收和利用,故是人的生存和进化中不可缺少的物质基础。

(2) 人体内、外环境中微量元素的“质、量、比”三者间的动态平衡,是保证一切生命活动

和健康的重要前提。

(3) 生物不能合成微量元素,只有通过摄取食物来完成,因而形成了以食用植物为中心、食物链为纽带的微量元素生态系统,人们在其中进行农、林、牧、副、渔的生产协调活动,以谋取维持人体健康与生存所需的食物来源,其中包括了不可忽视的微量元素。

生态系统中微量元素的平衡状态,不但影响到农业中食用作物的产量、营养素含量及加工后的食用价值,而且通过食物结构的变化最终影响到人的健康。微量元素失调引起的显性或隐性丰缺现象和与之有关的疾病发生率、死亡率升高的现实,已给亿万人民的健康和生产带来严重威胁。因此,今后应在膳食中密切注意微量元素的平衡,以提高人民身体健康的素质。在农业生产中应将“种什么,吃什么”的传统食物生产消费模式,改变为“吃什么,种什么”,充分利用和开发食物中微量元素资源,并成为具有中国特色、调整食物结构的宽阔道路。

(二) 调整微量元素平衡的途径

1. 生物途径

通过生物样品的检测分析、掌握食物内微量元素的质、量、比和对微量元素的富积、耐受力等的基本情况,进行综合评估,予以充分利用和开发。根据各地区微量元素的丰缺情况,定向培养作物新品种,因地制宜地进行合理的作物布局 and 品系选择。

2. 生物地球化学途径

根据生物内、外环境中微量元素的拮抗和协调作用,通过改土、栽培、田间管理等措施进行调控,进行微量元素在田间作物间的平衡,以提高作物产量和营养价值。

3. 技术途径

为适应微量元素调控、平衡和充分利用食物资源,进一步改善化肥,特别是微肥(微量元素肥料)的配置和施用,推动农业生产和完善食物综合利用的加工技术。

4. 行政措施途径

从生态、社会、经济效益等综合考虑,采用以下措施。

(1) 加强营养学指导:通过食品监测管理、食物资源开发利用、食物结构调配、营养知识普及等宣传教育工作来进行。

(2) 完善环境监测保护、稳定食品合理价格及其与食物生产、产品调配有关的政策、法规、制度及措施的制定、健全与实施。

(三) 微量元素平衡研究中的注意事项

1. 运用系统工程的概念和方法

(1) 解决问题、达到目的、完成任务的方法、途径、措施等绝对不止一个,寻找其最优化方案是最基本的精神。

(2) 在工作中各项因素的综合平衡比个别因素的质或量更为重要。如果将工作中平衡的传统概念与现代科学进展及先进手段结合起来,将有利于探索和开创具有我国特色的微量元素措施。

(3) 通过强调某一元素、某一指标或某一措施的重要性,都不利于解决微量元素间的复杂关系,其片面结论反而会破坏全面的平衡关系,加重不平衡的矛盾。

2. 营养素中微量元素的必需和非必需、有益和有害间的划分,仅仅是根据人们不同认识阶段的相对概念,有待于深化而不能僵化,应将广泛的横向联系和简单的纵向深入研究相结合,阐明其规律。