

成人高等医学院校教材

医学化学

魏奉群 主编

辽宁科学技术出版社

成人高等医学院校教材
(供医疗、儿科、卫生、营养、妇幼、口腔和护理专业用)

医学化学

辽宁科学技术出版社

(辽)新登字 4 号

医学化学

Yixue Huaxue

魏奉群 主编

辽宁科学技术出版社出版 (沈阳市北一马路 108 号)
辽宁省新华书店发行 建平县书刊印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 18.75 字数 415,000
1992 年 6 月第 1 版 1992 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 傅 强 责任校对: 东 戈
封面设计: 曹太文

印数: 1—8,266

ISBN7-5381-1342-8/R·212 定价: 8.95 元

主 编	魏奉群			
副 主 编	(按姓氏笔画为序)			
	申明侠	徐桂林	谭蔚南	穆运转
主编助理	孙长海			
编 委	(按姓氏笔画为序)			
	王锡珍	申明侠	石海平	孙长海
	安丽萍	刘淑芝	何萍芬	张焕弟
	岳力岩	林艳春	金惠民	姚启栋
	赵春起	郭东升	徐桂林	程连弟
	谭蔚南	薛会君	穆运转	魏奉群

前 言

医学化学课在成人高等医学教育中占有重要位置。成人高校的医学化学教材,不仅应包括该学科的最基本的内容、研究方法、语言体系、基本概念和原理的认识过程,还要考虑学生入学前的中等医学专业教育和职业实践的特点,还应加强联系医学实际,引导他们对后继课程更能深入理解和掌握,使学生具备思考和解决他们在高一个层次的实际工作中即将遇到的与化学有关的问题的能力,并且还要体现与时代要求及学生认识水平相适应的教学目的和要求。

根据这一指导思想,我们在明确成人高等医学教育的教学目的和培养目标的基础上,分析了五届全国成人高考化学试题,汇总并统计部分录取新生的化学试卷得分状况,进行双向评估,找出教学内容的起点、取舍与详简的依据;调查了医学化学内容与基础医学各门课程的联系以及后继课对与化学有关的基本知识、基础理论和实验技能等方面的要求;又调查了五届医疗专业学生的年龄、文化程度、职业、经济状况、入学动机以及学力和智力等多方面的状况;研究了成人的特点。调查分析的结论认为:只有紧密联系专业实际,激发学生的学习兴趣,使学生自觉运用化学基本知识和基本理论来认识生命活动中的诸多现象与规律,才能培养其独立工作和科学思维能力。

据此我们提出教材的新布局和构成。在基础化学部分打破了传统的以物质结构为基础,以化学平衡为依托的模式,而是以生物元素、生命载体水及溶液为先导,将学生领入生命活动中的化学世界;接着认识化学反应中各种关系:能量关系、反应速度和化学平衡;继而应用这些原理阐述弱电解质的解离平衡与缓冲溶液,强化运用基础理论,认识水溶液中离子间的相互关系。为了使学能全面理解生命现象,随之讨论了生命活动中的最基本的氧化还原反应及其判据的电极电位以及生理活性物质特征状态的两大类:配位化合物与胶体,这样就使学生能从特定的物质存在状态及形式中更全面认识和理解生命活动的现象和规律。在有机化学部分,设有机化学基础与生物分子的有机化学两篇,其中放大了后继课需要部分的深度和广度,缩减某些传统内容。

参加《医学化学》编写的有:辽宁省卫生职工医学院、河北省职工医学院、天津市卫生职工医学院、北京职工医学院、河南卫生职工学院、广西卫生管理干部学院、电子工业部广元职工医学院、武汉市职工医学院、鞍钢职工医学专科学校、吉林职工医科大学、黑龙江省卫生管理干部学院、沈阳医学院和沈阳职工医学院。推举魏奉群教授(辽宁)任主编,徐桂林副教授(河北)、穆运转副教授(天津)、谭蔚南副教授(广西)、申明侠副教授(广元)任副主编,孙长海讲师(辽宁)任主编助理,并组成常务编委主持编写工作。

由于编者学识与经验有限,虽然做了很大努力,仍难免有许多错误和不当,敬希读者不吝赐教予以斧正。

编 者

1991年7月

目 录

第一篇 化学基本原理

第一章 生物元素、水及其溶液	1	第一节 代谢过程中能量的	
第一节 生物元素	1	转变	17
一、人体的常量生物元素	2	一、代谢过程中能量的转变	
二、人体的微量生物元素	2	形式	17
三、生物元素体内结合状态		二、腺苷三磷酸与能量代谢 ...	17
及其分析	3	第二节 化学反应的热效应及其	
第二节 水	4	规律	18
一、水的分子结构与氢键	4	一、化学反应的热效应	18
(一)水的分子结构	4	二、热化学方程式	19
(二)氢键	5	三、盖斯定律	19
二、分子间作用力	6	第三节 热效应的计算	20
(一)色散力	6	一、利用盖斯定律计算反	
(二)诱导力	7	应热	20
(三)取向力	7	二、利用标准燃烧热计算反	
第三节 水溶液	8	应热	21
一、物质的溶解度	8	三、食物的热值	22
(一)固体、液体物质在水中的		习 题	23
溶解度	8	第三章 化学反应速度与化学	
(二)气体在水中的溶解度	9	平衡	25
二、渗透压	10	第一节 化学反应速度与浓度	
(一)渗透现象	10	的关系	25
(二)渗透压	11	一、化学反应速度	25
(三)等渗溶液与等张溶液	12	二、浓度对化学反应速度的	
(四)医学上渗透压的实用单位		影响	26
——毫渗量·升 ⁻¹	12	(一)质量作用定律	27
(五)晶体渗透压与胶体渗透压 ...	13	(二)基元反应	27
(六)体液渗透压的测定在医学		(三)反应级数	27
中的应用	14	第二节 化学反应速度与温度	
习 题	15	的关系	28
第二章 热化学	17		

一、阿累尼乌斯经验公式	28	六、人体血液中的缓冲系	52
二、阿累尼乌斯经验公式 的意义	29	习 题	52
第三节 反应活化能	30	第五章 氧化还原与电极电位	55
一、活化分子	30	第一节 原电池	55
二、活化能	31	一、氧化还原反应	55
第四节 催化剂对化学反应速度 的影响	31	二、原电池	55
一、催化作用的基本原理	31	(一)原电池的组成	56
二、生物催化剂——酶	32	(二)电极反应与原电池符号	56
第五节 化学平衡	33	(三)原电池的电动势	57
一、化学平衡与平衡常数	33	三、电极电位	57
二、平衡常数的意义	33	(一)电极电位的产生	57
三、影响化学平衡的因素	34	(二)标准电极电位	58
(一)浓度改变对化学平衡的 影响	34	(三)影响电极电位的因素	59
(二)温度改变对化学平衡的 影响	35	四、生物化学标准电极电位 ...	60
(三)催化剂对化学平衡的 影响	35	(一)生物氧化	60
习 题	36	(二)生物化学标准电极电位	61
第四章 弱电解质的解离平衡与缓冲 溶液	38	五、电极电位的应用	63
第一节 弱电解质的解离 平衡	38	(一)比较氧化剂、还原剂的 强弱	63
一、一元弱酸与弱碱的解离 平衡	38	(二)判断氧化还原反应进行的 方向	64
二、多元弱酸的分级解离 平衡	41	(三)判断原电池的正、负极并计算 电池电动势	64
三、水的解离平衡	42	(四)判断氧化还原反应进行的 程度	65
四、酸碱的质子概念及其共轭 关系	43	第二节 电位法测定溶液的 pH 值	67
第二节 缓冲溶液	45	一、参比电极与指示电极	67
一、同离子效应	45	(一)参比电极	67
二、缓冲溶液	46	(二)指示电极	68
三、缓冲溶液 pH 值的计算	47	二、电位法测定溶液 pH 值的 原理	69
四、缓冲容量	48	习 题	70
五、缓冲系的选择与配制	49	第六章 配位化合物	72
		第一节 配合物的基本知识	72
		一、配合物的组成	73
		(一)中心离子	73
		(二)配体	73
		(三)配位数	73

(四)配离子的电荷	74	(二)固体自溶液中的吸附	86
二、配合物的命名	74	(三)色谱法	87
(一)配合物全称的命名	74	三、表面活性剂	87
(二)内界的命名	74	(一)胶束的形成	88
(三)配合物中有多种配体时的 命名	74	(二)表面活性剂的结构与分类 ...	89
(四)实例	74	四、乳状液与泡沫	90
第二节 配合物的结构与 构型	75	(一)乳状液	90
一、配位数为 2 的配合物	75	(二)泡沫	91
二、配位数为 4 的配合物	75	第二节 溶胶	91
三、配位数为 6 的配合物	76	一、溶胶的制备	91
第三节 配合物在水溶液中的 稳定性	77	二、溶胶的性质	91
第四节 螯合物	78	(一)布朗运动	92
一、螯合物	78	(二)丁铎尔现象	92
二、氨羧螯合剂及其特性	78	(三)溶胶的电学性质	92
第五节 配合物形成时性质 的改变	79	三、溶胶的结构、稳定性及 聚沉	93
一、颜色的改变	79	(一)溶胶的结构	93
二、溶解度的改变	80	(二)溶胶的稳定性	94
三、pH 值的改变	80	(三)溶胶的聚沉	95
四、电极电位的改变	80	第三节 高分子溶液	95
第六节 配合物在医学中的 意义	81	一、高分子溶液对溶胶的保护 作用	95
习 题	82	二、董南平衡	96
第七章 胶体化学概述	83	第四节 凝胶	97
第一节 界面现象	84	一、胶凝作用	97
一、表面能与表面张力	84	二、凝胶的性质	98
二、吸附	85	(一)弹性	98
(一)固体对气体的吸附	85	(二)溶胀	98
		(三)脱水收缩	98
		习 题	99

第二篇 滴定分析法与比色分析法的化学基础

第八章 滴定分析法	100	(二)滴定分析法的分类	101
第一节 滴定分析法概述	100	(三)滴定分析法对化学反应的 要求与滴定方式	101
一、滴定分析法的特点与 分类	100	二、滴定分析法的基本 程序	101
(一)化学计量点与终点	100	(一)标准溶液的配制	101

(二)标准溶液浓度的标定	101
(三)待测物质含量的测定	101
三、滴定分析的有关计算	102
第二节 酸碱滴定法	102
一、酸碱指示剂	103
(一)指示剂的变色原理	103
(二)变色点与变色范围	103
二、滴定曲线	104
(一)强碱滴定强酸	105
(二)强碱滴定弱酸	106
三、酸碱滴定中标准溶液的 配制与标定	107
(一)酸标准溶液的配制与 标定	107
(二)碱标准溶液的配制与 标定	107
四、应用示例	108
第三节 配位滴定法	108
一、配位滴定法概述	108
二、氨羧配位剂	108
(一)EDTA 的解离平衡	109
(二)EDTA 与金属离子的配位 反应	109
三、溶液的酸度对配位滴定的 影响	109
四、金属指示剂	110
(一)金属指示剂的变色原理	110

(二)常用的金属指示剂	110
五、应用示例	112
(一)EDTA 标准溶液的配制	112
(二)氢氧化铝含量的测定	112
习 题	112
第九章 比色分析法	114
第一节 比色分析法的基本 原理	114
一、溶液对光的吸收与颜色的 关系	114
二、光的吸收定律	115
第二节 比色分析的方法与 仪器	116
一、比色分析法	116
(一)目视比色法	116
(二)分光光度法	117
二、分光光度计	117
第三节 比色分析法实践	117
一、标准曲线法	117
二、显色反应	117
三、分析条件	118
四、应用示例	118
(一)微量铁的测定	118
(二)血糖的测定	118
习 题	118

第三篇 有机化学基础

第十章 有机化合物概述	120
第一节 有机化合物的结构	120
一、碳原子的杂化轨道	120
(一) sp^3 杂化轨道	121
(二) sp^2 杂化轨道	122
(三) sp 杂化轨道	122
二、共价键参数	123
(一)键长	123
(二)键角	123
(三)键能	124

三、有机化合物结构的 表示	124
(一)有机化合物的结构式	124
(二)有机化合物的立体模型	125
第二节 有机化合物的分类	125
一、根据碳骨架分类	126
(一)开链化合物	126
(二)碳环化合物	126
(三)杂环化合物	126
二、根据官能团分类	127

第三节 有机化合物的反应	
类型	127
一、自由基型反应	127
二、离子型反应	128
习 题	128
第十一章 烃、卤代烃	129
第一节 链烃	129
一、链烃的命名与异构	
现象	129
(一)烷烃的命名	129
(二)烯烃、炔烃及二烯烃的命名	131
(三)链烃的同分异构现象	132
二、链烃的结构	134
(一)烷烃的结构	134
(二)烯烃的结构	134
(三)炔烃的结构	135
(四)二烯烃的结构	135
三、链烃的性质	136
(一)链烃的物理性质	136
(二)链烃的化学性质	136
第二节 脂环烃	143
一、脂环烃的命名	143
二、脂环烃的化学性质	144
第三节 芳香烃	145
一、苯的结构	145
二、苯同系物的异构与命名	146
三、苯及其同系物的化学性质	147
(一)取代反应	147
(二)氧化反应	148
(三)加成反应	148
四、稠环芳烃	148
(一)萘	148
(二)蒽	149
(三)菲	149
(四)致癌烃	149
第四节 卤代烃	149

一、分类与命名	150
(一)分类	150
(二)命名	150
二、卤代烃的化学性质	150
(一)取代反应	150
(二)消除反应	151
三、重要的卤代烃	151
(一)氯乙烷	151
(二)二氟二氯甲烷	151
(三)四氟乙烯	151
习 题	152
第十二章 醇、酚、醚	154
第一节 醇	154
一、醇的分类与命名	154
(一)醇的分类	154
(二)醇的命名	154
二、醇的结构与物理性质	155
三、醇的化学性质	156
(一)与碱金属反应	156
(二)酯化反应	156
(三)氧化反应	156
四、重要的醇	157
(一)甲醇	157
(二)乙醇	157
(三)丙三醇	157
(四)甘露醇	158
(五)肌醇	158
(六)龙脑	158
五、硫醇	158
第二节 酚	159
一、酚的分类与命名	159
二、酚的化学性质	160
(一)弱酸性	160
(二)氧化反应	160
(三)与三氯化铁的显色反应	161
(四)苯环上的取代反应	161
三、重要的酚	161
(一)苯酚	161
(二)甲酚	161

(三) 萘酚	162
第三节 醚	162
一、醚的命名	162
二、乙醚的性质	163
(一) 形成锌盐	163
(二) 形成过氧化物	163
习 题	163
第十三章 醛、酮、醌	165
第一节 醛、酮的分类与命名	165
一、醛、酮的分类	165
二、醛、酮的命名	165
第二节 醛、酮的结构与性质	166
一、醛、酮的结构	166
二、醛、酮的化学性质	167
(一) 醛、酮的共同性质	168
(二) 醛的特殊反应	171
三、重要的醛、酮	172
(一) 甲醛	172
(二) 苯甲醛	172
(三) 丙酮	172
第三节 醌	172
一、醌的结构	172
二、重要的醌	173
(一) 泛醌	173
(二) 维生素 K	173
习 题	174
第十四章 羧酸	176
第一节 羧酸的分类与命名	176
一、羧酸的分类	176
二、羧酸的命名	176
第二节 羧酸的结构与性质	178
一、羧酸的结构	178
二、羧酸的性质	179

(一) 羧酸的物理性质	179
(二) 羧酸的化学性质	179
第三节 重要的羧酸	182
一、甲酸	182
二、乙酸	183
三、乙二酸	183
四、丁二酸	183
五、苯甲酸	183
六、邻苯二甲酸	183
习 题	183
第十五章 胺、酰胺类化合物	186
第一节 胺	186
一、胺的分类与命名	186
(一) 胺的分类	186
(二) 胺的命名	186
二、胺的结构与化学性质	187
(一) 胺的结构	187
(二) 胺的化学性质	187
三、重要的胺	191
(一) 苯胺	191
(二) 多胺	192
(三) 胆碱与乙酰胆碱	192
(四) 儿茶酚胺	192
(五) 新洁尔灭	192
第二节 酰胺类化合物	193
一、酰胺	193
二、碳酰胺及其衍生物	193
(一) 脲	193
(二) 丙二酰脲	194
(三) 胍	195
三、磺酰胺及其衍生物	196
(一) 磺胺	196
(二) 磺胺类药物	196
习 题	196

第四篇 生物分子的有机化学

第十六章 取代羧酸	199
-----------------	-----

第一节 羟基酸	199
---------------	-----

一、羟基酸的结构与命名	199	(一)溶解性	217
二、化学性质	200	(二)电荷与极性	217
(一)酸性增强	200	(三)氧化作用	218
(二)脱水反应	200	(四)水解作用	218
(三)脱羧反应	201	四、生物膜与脂质过氧化	
三、重要的羟基酸	201	作用	218
(一)乳酸	201	第三节 甾族化合物	219
(二) β -羟基丁酸	201	一、甾醇类	220
(三)苹果酸	201	(一)胆固醇	220
(四)酒石酸	202	(二)7-脱氢胆固醇与	
(五)柠檬酸	202	维生素 D ₃	220
(六)水杨酸	202	二、胆甾酸	220
第二节 酮酸	202	三、甾体激素	221
一、酮酸的结构与命名	202	(一)肾上腺皮质激素	221
二、化学性质	203	(二)性激素	223
(一) α -、 β -酮酸的脱羧反应	203	四、强心苷	223
(二) α -、 β -酮酸的分解反应	203	第四节 前列腺素的化学	
三、互变异构	203	结构	224
四、重要的酮酸	205	习 题	225
(一)丙酮酸	205	第十八章 立体异构	226
(二) β -丁酮酸	205	第一节 顺反异构	226
(三) α -酮丁二酸	205	一、产生顺反异构体的结构	
(四) α -酮戊二酸	206	条件	226
第三节 氨基酸	206	二、Z/E 构型标记法	227
一、 α -氨基酸的结构、分类及		三、顺反异构体的性质及其	
名称	206	生物学意义	229
二、 α -氨基酸的性质	208	第二节 旋光异构	230
(一)氨基酸的两性解离与		一、偏振光、旋光性及比旋	
等电点	208	光度	230
(二)化学性质	209	二、化合物的旋光性与结构的	
习 题	210	关系	232
第十七章 脂质	213	(一)手性	232
第一节 脂肪	213	(二)对称性	233
一、天然油脂中的脂肪酸	213	(三)具有一个手性碳原子分子的	
二、脂质过氧化作用	214	旋光异构	233
第二节 磷脂	215	(四)具有两个不同手性碳原子分子	
一、甘油磷脂类	215	的旋光异构	235
二、鞘磷脂类	216	(五)具有两个相同手性碳原子分子	
三、磷脂的性质	217	的旋光异构	235

三、构型的标记	236
(一)D/L 标记法	236
(二)R/S 标记法	237
四、旋光异构体的性质及其生	
理、药理活性	238
(一)物理性质	238
(二)化学性质	238
(三)生理、药理活性	238
第三节 构象异构	239
一、乙烷与正丁烷的构象	239
二、环己烷与十氢萘的	
构象	240
三、构象异构体的生物学	
意义	241
习 题	242
第十九章 糖类	244
第一节 单糖	245
一、单糖的结构	245
(一)葡萄糖的醛式链状结构	245
(二)葡萄糖的半缩醛式环状	
结构	246
(三)葡萄糖分子的构象	247
二、单糖的物理性质	248
三、单糖的化学性质	248
(一)氧化反应	248
(二)差向异构化	250
(三)酯化反应	250
(四)糖苷的生成	251
四、重要的单糖及其	
衍生物	252
(一)D-(+)-核糖与 D-(+)-脱氧	
核糖	252
(二)D-(+)-葡萄糖	252
(三)D-(+)-果糖	252
(四)单糖的衍生物	252
第二节 寡糖	253
一、蔗糖	254
二、麦芽糖	254
三、乳糖	255

第三节 多糖	255
一、淀粉	255
二、糖原	256
三、纤维素	256
四、粘多糖	257
习 题	257
第二十章 含杂环结构的生物活性	
分子	259
第一节 杂环化合物的分类与	
命名	259
第二节 含五元杂环结构的生物	
分子	260
一、单吡咯环系	260
二、多吡咯环系	260
第三节 含六元杂环结构的生物	
分子	261
一、吡啶环系	261
二、嘧啶环系	262
第四节 含苯稠杂环结构的生物	
分子	263
一、苯并吡咯环系	263
二、苯并吡喃环系	263
第五节 含稠杂环结构的生物	
分子	264
一、嘌呤环系	264
二、喋啶环系	265
习 题	265
第二十一章 蛋白质	266
第一节 多肽	266
一、多肽的组成与命名	266
二、一些重要的天然肽	267
(一)谷胱甘肽	267
(二)催产素与加压素	267
第二节 蛋白质的结构	268
一、蛋白质的一级结构	269
二、蛋白质的二级结构	269
(一) α -螺旋结构	270
(二) β -折叠片层结构	270

三、蛋白质的三级与四级	
结构	270
第三节 蛋白质的性质	273
一、蛋白质的等电点与	
电泳	273
(一)蛋白质的等电点	273
(二)蛋白质的电泳	274
二、蛋白质的变性作用	274
三、蛋白质和金属离子的	
配合	275
四、蛋白质的沉淀	276
(一)盐析法	277
(二)加入脱水剂	277
(三)加入重金属盐和某些	
酸类	277
五、蛋白质的呈色反应	277
习 题	278
第二十二章 核酸	280

第一节 核酸的水解	280
一、碱基	280
二、核苷	281
三、核苷酸	281
第二节 核酸的空间结构	282
一、核酸中核苷酸的连接	
方式	282
二、核酸的空间结构	283
(一)DNA 的一级结构	284
(二)DNA 的空间结构	284
(三)RNA 的一级结构	285
(四)RNA 的空间结构	285
第三节 重要单核苷酸及其	
衍生物	286
一、AMP、ADP、ATP	286
二、环核苷酸	286
习 题	287

第一篇 化学基本原理

人类的生命,起源于地球原始大气的化学演化。在长期的历史进程中,历经前体物质、小分子、中分子、大分子、杂交分子乃至进化到细胞器、细胞、组织、器官,进而组成机体。在这样的历史长河中的不断演化、不断自我修饰、自我装配的自我完善中,人类完成了不同的生物学结构的层次;并在其中进行着生物物质、生物能及生物信息的形成、转换、传递等活动。因而,生命过程是物质运动的最高级形式。生命活动是以其物质的化学变化为基础的。

在《医学化学》的首篇中,将着重就生命过程中有关化学物质的结构、性质、变化及其规律逐步展开讨论,以使从化学的基本原理去理解机体的结构、组成、生理功能、生物化学的代谢作用以及机体的防御机制等方面的化学侧面,准备将来在社会的医疗保健实践活动中,能更好为人类的健康与长寿服务。

本篇的第一章将学习有关生物元素、生命的摇篮——水及其溶液的基本知识。

第一章 生物元素、水及其溶液

第一节 生物元素

人类是在地球表面物质的化学变化与生物进化的过程中产生,并在其自身的生命过程中不断与地球的生物圈进行着以化学元素为基础的物质交换中才得以生存、繁衍和发展的;但在这一漫长过程中,机体所利用的远非存在于其周围环境中的全部元素。例如,尽管铝在环境中普遍存在,但它并不是机体所必需的元素,它并不执行任何确定的生理功能。

凡是那些参与机体的组成与结构的,并在维持其正常的生理功能上不可缺少的元素,特别称之为生物元素。生物元素显然是人类的必需元素。人体生物元素按其含量的不同,分为常量元素与微量元素两类。其分类标准就按该元素的含量高于或低于人体总重量的万分之一(大于或小于 1×10^{-4})为界限。

事实上,现代人体几乎含有周期表中的自然界存在的所有元素,约为 60 多种。除 11 种常量生物元素外,余下的均属微量范围。根据目前的知识和技术水平,可将元素按其不同的生理效应分为三类:必需元素(生物元素)、有害元素以及作用尚未确定的非必需元

一、人体的常量生物元素

常量生物元素按其百分含量顺序包括:氧(O)、碳(C)、氢(H)、氮(N)、钙(Ca)、磷(P)、硫(S)、钾(K)、钠(Na)、氯(Cl)和镁(Mg)等 11 种元素。它们构成人体总重量的 99.96%,其中,氧、碳、氢、氮、硫、磷占人体总重量的 98.03%,因此,又将必需的常量生物元素称为基本结构元素。它们在体内的作用主要是:维持细胞内外液渗透压的平衡;调节体液的 pH 值;形成骨骼等组织,支撑身体进行活动;维持神经、肌肉细胞膜的生物兴奋性,传递信息,使肌肉收缩与舒张;以及使血液凝固和使酶活化等作用。

微量元素在体内的分布很不均匀,不同元素之间的含量差别也很大,可达2—3个甚至更多个数量级。即使同一种元素,在不同组织、器官中的含量和分布也有很大的差别。按生物学作用而言,有一些微量元素已获确认,它们在维持机体正常生命活动上是不可缺少的,这就是微量生物元素,也称为必需微量元素。目前公认的人体必需微量元素有:铁(Fe)、氟(F)、锌(Zn)、铜(Cu)、碘(I)、硒(Se)、锰(Mn)、铬(Cr)、钼(Mo)和钴(Co)等。

□框内为必需微量元素,并注明认定其必需性的首次报道年份。这些元素中大多数为过渡金属元素,少数为非金属元素。

[illegible]

必需微量元素是人体中的主要功能元素。它们是构成金属酶的必需成分,如细胞色素氧化酶中的铜;谷胱甘肽过氧化物酶中的硒,其金属成分是其酶系统的活性中心;或是以激素或是以维生素的必需成分或辅助因子而发挥作用,如碘与甲状腺原氨酸的结合,形成

具有激素活性的甲状腺素；或是形成具有特殊功能的金属蛋白，如含铁的血红蛋白、含铁的细胞色素和含锌的唾液蛋白等。表 1—1 列出高等动物必需微量元素的功能、缺乏症及过多症。

人体中除必需元素外，尚含有 20 余种其它元素，其生物功能目前尚不清楚；另一些则是有害元素如汞(Hg)、铅(Pb)、镉(Cd)等。人体中有害元素含量的激增，主要是环境污染，经过食物链造成在人体内浓缩而富集的。可以预期，随着生物医学中微量元素研究的日益深入和微量元素分析技术的不断开发与提高，必需常量元素和微量元素的数目可能会有所增加。

表 1—1 元素的功能、缺乏症及过多症

元素	功能	缺乏症	过多症
Fe	氧载体、电子转移、多种酶活性的必需组分	贫血	铁中毒
I	甲状腺激素成分	甲状腺肿、呆小症	碘中毒
Cu	氧化酶类，与铁相互作用，弹性蛋白交联	贫血、骨化改变	铜烟雾热
Mn	超氧化物歧化酶组分、粘多糖代谢、钙磷代谢	—— *	锰中毒
Zn	许多酶组分、能量代谢、生长发育、增强创伤组织的再生能力	生长、性发育、免疫功能抑制，味觉改变	锌烟雾热
Co	维生素 B ₁₂ 的组分	维生素 B ₁₂ 缺乏症	钴中毒
Mo	黄嘌呤氧化酶醛脱氢酶组分	——	苏联有过量接触地区
Se	谷胱甘肽过氧化物酶组分，重金属解毒	我国的克山病，可能提高生癌的敏感性	硒中毒
Cr	糖耐量因子成分，加强胰岛素作用	胰岛素抗性，可能出现糖尿病，动脉硬化，血脂升高	铬中毒，上呼吸道癌
Sn	不明，动物中出现生长抑制	——	有机锡中毒
V	不明，大鼠生长必需	——	钒中毒
F	与齿、骨结构有关，可能影响生长发育	龋齿率增加，可能是骨质疏松的危险信号	氟中毒
Si	钙化，可能对结缔组织有作用	——	硅肺
Ni	与铁吸收相互作用	——	镍中毒
As	不明，与动物生长及生殖损害有关，与硒有相互作用	——	砷中毒

*：——表示尚未发现人类的指征。

三、生物元素体内结合状态及其分析

必需微量金属元素在体内不是以自由离子形式存在，而是与配体结合，以配合物的形式存在，多数是与生物大分子(蛋白质、核酸等)结合而发挥其特殊的生物学功能。例如，有报道称血清锌有 30—40% 牢固的结合在 α_2 巨球蛋白内，有 60—70% 疏松的与清蛋白结合。但目前在实际测定生物样品内微量元素的前处理中，常将样品在强氧化性的浓酸中消解，破坏了原来的结合状态并将结合离子转化成为简单的游离状态，再行测定。这样所测得的数据，仅是其元素的总浓度，而并没有测得发挥生物功能时的实际浓度，显然用这种已经过于简化的单一状态的含量测定法，来探讨其复杂的生理作用或与复杂的疾病过程