

生物化学

(供中医、针灸专业用)

主编 齐治家 副主编 赵伟康

高等医药院校教材
生 物 化 学
(供中医、针灸专业用)
主编 齐治家

上海科学技术出版社出版
(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 上海商务印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 25.5 字数 621,000

1985 年 11 月第 1 版 1985 年 11 月第 1 次印刷
印数 1—26,000

统一书号: 13119·1322 定价: 4.15 元

前 言

为了提高教材质量,促进高等中医药教育事业的发展,卫生部于1983年8月在上海召开了全国高等中医院校普通课、西医课教材编审会议,成立首届全国高等中医院校普通课、西医课教材编审委员会;组成十七个学科编审小组,根据卫生部1982年10月颁发的中医、针灸、中药各专业教学计划对各科教学大纲作了修订;并组织编写本套教材。

中医学院的普通课和西医课教材主要是为培养中医药高级专门人才服务的。本套教材是根据各专业培养目标对本门学科的要求,按照新的教学大纲,各编审小组制定了编写提纲,在总结二十多年来中医学院普通课、西医课教学经验的基础上编写而成。

在编写过程中,以辩证唯物主义和历史唯物主义为指导,力求从高等中医教育的实际出发,既保证教材内容的科学性、系统性和完整性,又贯彻“少而精”和理论联系实际的原则;在更新教材内容的同时,注意充实近年来运用现代科学技术研究中医药学的新成果,从而使本套教材为培养高级中医药人才编写出新的风格和特点。

本套教材包括《英语》、《日语》、《高等数学》、《数理统计方法》、《医用物理学》、《物理学》、《无机化学》、《有机化学》、《物理化学》、《分析化学》、《正常人体解剖学》、《组织学与胚胎学》、《生理学》、《生物化学》、《微生物与寄生虫学》、《病理学》、《药理学》、《西医内科学基础》和《西医外科学总论》等十九门学科,共二十二种教材。其中部分教材是在原有基础上更新、充实、修改而成。

教材质量的高低,将直接影响培养目标的实现。要使中医学院的普通课、西医课教材适应高等中医教育的需要,还要进行长期的努力。要通过大量实践,不断总结经验,加以提高,才能逐步完善。由于水平有限,经验不足,编写时间仓促,本套教材存在不足之处,恳切期望广大师生和读者随时提供宝贵意见,以便在今后修订时加以改进。

全国高等中医院校普通课、
西医课教材编审委员会
一九八四年十月

编写说明

1983年8月在卫生部主持下,成立了高等中医院校普通课、西医课教材编审委员会,委员会分设各学科教材编审小组,组织高等中医院校统编教材的编写和修订。本书是在1979年版《生物化学》试用教材的基础上修订的新版本,供中医、针灸专业使用。

本次修订教材的原则是,既要考虑教材的系统性,更要注意教材的针对性。使学生在较短的时间内,掌握生化的基本理论和基础知识,为进一步学习西医基础课、临床专业课,打下良好的基础。同时,尽可能地了解生物化学的新进展。超出教学大纲所要求的内容,均用小字排版,供同学参考用。这次修订中,编入了采用生物化学方法研究中医药的有关资料,使本教材更适于中医院校的特点。

众所周知,祖国医学的理论体系,远在两千年前,已基本形成。通过长期的医疗实践,逐步形成了以整体观为指导思想,以脏腑、经络学说为核心,以辨证论治为特点的学术理论体系。为了继承和发扬祖国医药学,运用现代科学方法研究中医中药,本教材试图介绍生物化学在这方面的研究成果,目的之一在于启发学生思路,对继承和发扬祖国医药学有所裨益。由于我们专业知识水平有限,在编写过程中,错误、缺点在所难免,希望同志们在使用本教材过程中,提供宝贵意见,以便今后修订。

近年来,生物化学发展极为迅速,根据中医院校培养目标,及本学科的发展,在这次修订中,各章节均作了不同程度的修改,更新了一些内容。如应用电子理论阐述有机化合物的结构和性质,并增加了活性多肽,代谢调节、血液生化、肌肉组织生化和神经组织生化等内容。其中血液生化可作为参考资料。全书共十八章,书后附有生化检验正常值表、英汉常用生物化学名词简称和缩写表。

本教材的编写分工:溶液、有机化合物概说,由郑德基编写;糖类化学、脂类化学、氨基酸、多肽与蛋白质化学、核酸化学、代谢调节,由赵伟康编写;酶、维生素,由冯群先编写;生物氧化、脂类代谢、胆肝生化,由姚鸣春编写;糖代谢,由万淑媛编写;蛋白质与核酸代谢、血液生化、神经组织生化,由齐治家编写;水盐代谢及酸碱平衡、肌肉组织生化由郝琴媚编写。

本书编写过程中,邀请浙江中医学院任中鲁同志参加修订基础化学部分工作。并承上海中医学院胡霖同志参加具体工作,在此谨向他们表示感谢。

目 录

1 溶液	1	2.6.1 羧基酸	55
1.1 分散系	1	2.6.2 旋光异构	59
1.1.1 粗分散系	1	2.6.3 酮酸	64
1.1.2 胶体分散系	2	2.7 杂环化合物	66
1.1.3 分子(或离子)分散系	2	2.7.1 杂环化合物的分类和命名	66
1.2 溶液的浓度	3	2.7.2 几种重要环系的结构	67
1.2.1 当量浓度和毫克当量浓度	3	2.7.3 五元杂环及其衍生物	68
1.3 缓冲溶液	6	2.7.4 六元杂环及其衍生物	70
1.3.1 缓冲溶液的组成	7	2.7.5 苯稠杂环及稠杂环	71
1.3.2 缓冲作用的原理	7	3 糖类化学	74
1.3.3 缓冲溶液的 pH 值	8	3.1 糖的概念与分类	74
1.3.4 缓冲容量	10	3.2 单糖的结构与性质	74
1.3.5 缓冲溶液的配制	12	3.2.1 单糖的结构	74
1.3.6 缓冲溶液的生理意义	13	3.2.2 单糖的主要化学性质	78
1.4 溶液的渗透现象与渗透压	14	3.3 低聚糖	82
1.4.1 渗透现象	14	3.3.1 麦芽糖	82
1.4.2 渗透压与溶液浓度的关系	14	3.3.2 乳糖	82
1.4.3 毫渗透摩尔浓度(毫渗量/升、 mOsm/L)	15	3.3.3 蔗糖	83
1.4.4 渗透压的生理意义	16	3.4 多糖	84
2 有机化合物概说	18	3.4.1 同多糖	84
2.1 有机化合物的结构特点	18	3.4.2 杂多糖	87
2.1.1 共价键	18	4 脂类化学	92
2.1.2 共价键的属性	19	4.1 脂肪酸与前列腺素	92
2.1.3 共价键的类型(σ 键和 π 键)	21	4.2 甘油酯类	96
2.1.4 碳原子杂化轨道的概念	22	4.2.1 脂酰甘油	96
2.2 有机化合物的分类	23	4.2.2 磷酸甘油酯	97
2.2.1 根据碳的骨架分类	23	4.3 神经鞘脂类	100
2.2.2 根据功能基分类	25	4.3.1 神经鞘磷脂	100
2.3 有机化合物分子中原子间的相互 影响	25	4.3.2 脑苷脂	100
2.3.1 电子效应	25	4.3.3 神经节苷脂	101
2.3.2 立体效应	27	4.4 类固醇	102
2.4 有机反应历程的初步概念	27	4.4.1 胆固醇及胆固醇酯	103
2.4.1 均裂方式	28	4.4.2 胆汁酸(C_{24} 类固醇)	105
2.4.2 异裂方式	28	4.4.3 类固醇激素	106
2.5 各类有机物的化学性质	29	4.5 萜烯类	108
2.5.1 烃	29	5 氨基酸、多肽与蛋白质化学	109
2.5.2 醇和酚	35	5.1 蛋白质的分子组成	109
2.5.3 醛和酮	40	5.1.1 蛋白质的元素组成	109
2.5.4 羧酸	43	5.1.2 蛋白质的水解产物	109
2.5.5 胺和酰胺	49	5.2 氨基酸的结构、分类和性质	109
2.6 具有复合功能基的羧酸	55	5.2.1 氨基酸的结构	109
		5.2.2 氨基酸的分类	111
		5.2.3 氨基酸的理化性质	113

5.2.4 氨基酸的定量分析.....	115	7.5 酶促反应动力学的概念.....	151
5.3 多肽的结构和功能.....	116	7.5.1 温度对酶促反应的影响.....	151
5.3.1 肽的基本结构.....	116	7.5.2 pH 对酶促反应的影响.....	152
5.3.2 多肽的结构和功能的关系.....	117	7.5.3 酶浓度对酶促反应的影响.....	152
5.3.3 体内某些重要的活性肽类.....	117	7.5.4 底物浓度对酶促反应速度的影响.....	153
5.4 蛋白质的分子结构.....	120	7.5.5 激动剂.....	154
5.4.1 一级结构.....	121	7.5.6 抑制剂.....	154
5.4.2 二级结构.....	121	7.6 酶与临床.....	156
5.4.3 三级结构.....	122	7.6.1 酶的活力测定.....	156
5.4.4 四级结构.....	123	7.6.2 酶在临床治疗上的应用.....	157
5.4.5 蛋白质分子中的副键.....	123	7.6.3 酶在临床诊断上的应用.....	157
5.5 蛋白质结构与功能的关系.....	124	7.6.4 酶与中医.....	158
5.5.1 胰岛素.....	124	8 维生素.....	160
5.5.2 血红蛋白.....	125	8.1 水溶性维生素.....	160
5.5.3 免疫球蛋白(见第14血液生化).....	126	8.1.1 维生素C.....	160
5.5.4 胶原蛋白.....	126	8.1.2 B族维生素与辅酶.....	162
5.6 蛋白质的理化性质.....	127	8.2 脂溶性维生素.....	168
5.6.1 蛋白质的分子大小和形状.....	127	8.2.1 维生素A.....	168
5.6.2 蛋白质是高分子化合物.....	128	8.2.2 维生素D.....	170
5.6.3 蛋白质分子的扩散与沉降.....	129	8.2.3 维生素E.....	171
5.6.4 蛋白质溶液的粘度.....	129	8.2.4 维生素K.....	172
5.6.5 蛋白质的两性电离和等电点.....	129	8.3 维生素缺乏病的原因及维生素与中 医药.....	172
5.6.6 蛋白质的沉淀.....	131	8.3.1 维生素缺乏病的原因.....	172
5.6.7 蛋白质的变性.....	131	8.3.2 维生素与中医药.....	173
5.6.8 蛋白质的显色反应.....	132	9 生物氧化.....	175
5.7 蛋白质的分类.....	132	9.1 概论.....	175
6 核酸化学.....	133	9.1.1 生物氧化的概念和生理意义.....	175
6.1 核酸的分子组成.....	133	9.1.2 生物氧化的特点.....	175
6.2 核苷和(单)核苷酸.....	134	9.1.3 生物氧化的方式.....	175
6.2.1 核苷.....	134	9.2 生物氧化体系——呼吸链.....	177
6.2.2 核苷酸.....	135	9.2.1 呼吸链的组成及作用机理.....	177
6.3 核酸.....	136	9.2.2 体内重要的呼吸链.....	181
6.3.1 DNA.....	137	9.2.3 呼吸链的氧化还原电位.....	182
6.3.2 RNA.....	139	9.3 能量的释放、转移、储存和利用.....	183
6.4 体内某些重要核苷酸的生理功能.....	142	9.4 非线粒体氧化体系.....	186
7 酶.....	143	9.4.1 微粒体氧化体系.....	186
7.1 酶的概念.....	143	9.4.2 过氧化物酶体中的氧化体系.....	186
7.1.1 酶的化学本质.....	143	9.5 某些中药对氧化磷酸化的影响.....	186
7.1.2 酶催化作用的特点.....	143	10 糖代谢.....	188
7.1.3 酶的命名和分类.....	144	10.1 物质代谢概述.....	188
7.2 酶的组成和结构.....	145	10.1.1 物质代谢的概念.....	188
7.2.1 酶的组成.....	145	10.1.2 物质代谢的三个阶段.....	188
7.2.2 酶的分子结构和活性中心.....	146	10.2 糖的生理功能.....	189
7.3 酶的作用和机理.....	147	10.3 糖的消化与吸收.....	189
7.3.1 酶-底物复合物的生成降低了活化能.....	148	10.3.1 糖的消化.....	189
7.3.2 酶催化专一性的机理.....	148	10.3.2 糖的吸收.....	190
7.4 酶原和同功酶.....	150	10.4 血糖.....	191
7.4.1 酶原及其激活.....	150	10.4.1 血糖的来源和去路.....	191
7.4.2 同功酶.....	150		

10.4.2 血糖浓度的调节	191	12.1.3 必需氨基酸与非必需氨基酸	241
10.4.3 耐糖现象	193	12.1.4 蛋白质的营养价值及其互补作用	241
10.5 糖元的合成和分解	194	12.1.5 关于蛋白质需要量	242
10.5.1 糖元合成	194	12.1.6 大黄对氮代谢的研究	243
10.5.2 糖元分解	195	12.2 蛋白质的消化和腐败及氨基酸的吸 收	243
10.6 糖的氧化分解	197	12.2.1 蛋白质的消化	243
10.6.1 糖酵解(糖的无氧分解)	197	12.2.2 蛋白质在肠内的腐败	244
10.6.2 糖的有氧氧化	200	12.2.3 氨基酸的吸收	245
10.6.3 磷酸戊糖通路	208	12.3 氨基酸分解代谢的一般途径	245
10.7 糖元异生作用	209	12.3.1 氨基酸的脱氨基作用	246
10.8 糖代谢紊乱	210	12.3.2 氨的代谢途径	248
10.8.1 低血糖	210	12.3.3 酮酸的代谢途径	252
10.8.2 高血糖及糖尿	210	12.3.4 氨基酸脱羧基作用	252
10.8.3 先天性糖代谢异常	211	12.4 个别氨基酸的代谢	253
10.9 中医药对糖代谢的影响	212	12.4.1 一碳单位的代谢	253
10.9.1 中草药对糖代谢的作用	212	12.4.2 含硫氨基酸的代谢	255
10.9.2 糖尿病中医辨证分型与激素等变化的 关系	213	12.4.3 芳香族氨基酸的代谢	258
11 脂类代谢	215	12.4.4 分枝氨基酸的代谢	259
11.1 脂类的分布和生理功能	215	12.4.5 先天性氨基酸代谢缺陷	260
11.1.1 脂类的分布	215	12.5 激素对蛋白质代谢的调节	261
11.1.2 脂类的生理功能	215	12.6 核酸的代谢	261
11.2 脂类的消化和吸收	215	12.6.1 核酸的消化与吸收	261
11.2.1 脂肪的消化吸收	215	12.6.2 嘌呤核苷酸的分解代谢及合成代谢	261
11.2.2 类脂的消化吸收	216	12.6.3 嘌呤核苷酸的补救合成	263
11.3 脂类的运输、储存和动员	217	12.6.4 嘧啶核苷酸的分解代谢及合成代谢	263
11.3.1 血脂	217	12.6.5 抗代谢物对嘌呤、嘧啶核苷酸合成的 抑制作用	265
11.3.2 脂类在血浆中的运输形式——脂蛋白	217	12.7 核酸(DNA、RNA)的生物合成	266
11.3.3 脂肪的储存与动员	220	12.7.1 DNA 的生物合成	266
11.4 甘油三酯的中间代谢	221	12.7.2 反向转录	270
11.4.1 甘油三酯的水解	221	12.7.3 RNA 的生物合成	270
11.4.2 甘油的代谢	221	12.8 蛋白质的生物合成	272
11.4.3 脂肪酸的氧化	222	12.8.1 参与蛋白质合成的三种核糖核酸	273
11.4.4 酮体的生成和利用	225	12.8.2 蛋白质的合成过程	275
11.4.5 脂肪酸的合成	226	12.9 蛋白质、核酸的生物合成与医学	279
11.4.6 甘油三酯的合成	228	12.9.1 分子病	279
11.4.7 激素对脂肪代谢的调节	229	12.9.2 蛋白质生物合成的阻断剂	279
11.5 磷脂和胆固醇代谢	230	12.10 某些中药对核酸、蛋白质代谢的影响	280
11.5.1 磷脂的代谢	230	13 代谢调节	281
11.5.2 胆固醇的代谢	231	13.1 糖、脂类和蛋白质代谢的相互关系	281
11.6 脂类代谢的紊乱	234	13.2 细胞水平的调节	282
11.6.1 高脂蛋白血症的分型	235	13.2.1 酶结构的调节	282
11.6.2 产生高脂蛋白血症的生化基础	235	13.2.2 酶蛋白的酶促化学修饰的调节	285
11.6.3 高脂血症与动脉粥样硬化的关系	235	13.2.3 酶含量的调节	287
11.7 中医药对脂类代谢影响	236	13.3 激素水平的调节	289
12 蛋白质与核酸的代谢	239	13.3.1 作用于细胞膜受体的激素调节机理	289
12.1 蛋白质代谢总论	239	13.3.2 作用于细胞内受体的激素调节机理	292
12.1.1 蛋白质的生理功能	239	13.4 神经-体液调节	293
12.1.2 氮平衡	240		

13.5 中医药与代谢调节	294	15.4.1.2 胆红素的转运	325
14 血液生化	297	15.4.1.3 胆红素在肝细胞内的代谢	326
14.1 红细胞膜生化及其功能	297	15.4.1.4 胆色素在肝外代谢(胆色素的转归)	326
14.1.1 红细胞膜的构成成分	297	15.4.2 黄疸	327
14.1.2 膜蛋白	297	15.5 肝脏的生物转化和排泄功能	330
14.1.3 膜脂类	298	15.5.1 生物转化的反应类型	330
14.1.4 膜结合酶	299	15.5.2 生物转化作用的一些特点	333
14.1.5 血红蛋白	300	15.5.3 影响生物转化的因素	333
14.1.6 红细胞膜的功能	300	15.5.4 肝脏的排泄功能	334
14.1.7 抗心肌梗塞合剂对人血红细胞膜 ATP 酶活性的影响	301	15.6 肝功能检查原则	334
14.2 血小板生化及其功能	302	15.7 中草药对肝脏的保护作用	335
14.2.1 血小板超微结构特点	302	16 水盐代谢与酸碱平衡	337
14.2.2 血小板质膜	302	16.1 人体内水和电解质的组成	337
14.2.3 血小板的功能	303	16.1.1 人体内水的含量与分布	337
14.2.4 血小板的脂类代谢	305	16.1.2 体液中电解质的含量与分布	337
14.2.5 血小板在形成血栓过程中的作用	306	16.2 体液平衡及其调节	338
14.2.6 中药对血小板聚集及血栓形成的影响	307	16.2.1 水代谢	338
14.3 纤维蛋白溶解	308	16.2.2 钾、钠代谢	341
14.3.1 纤溶酶原	308	16.2.3 体液平衡的调节	343
14.3.2 纤溶酶原的激活及纤溶酶	309	16.3 水与电解质的代谢紊乱	344
14.3.3 纤溶酶原的激活物	309	16.3.1 脱水	344
14.3.4 纤溶酶对纤维蛋白(原)的降解作用及其 产物	310	16.3.2 钾代谢紊乱	346
14.3.5 纤溶抑制物	311	16.4 钙磷代谢	347
14.3.6 纤溶活性异常	311	16.4.1 体内钙磷的含量、分布及其生理功能	347
14.3.7 中药对体内纤维蛋白溶解活性的 影响	312	16.4.2 钙磷的吸收与排泄	347
14.4 免疫球蛋白	312	16.4.3 血中的钙、磷	349
14.4.1 免疫球蛋白的结构	313	16.4.4 钙磷代谢的调节	349
14.4.2 免疫球蛋白的理化与生物学特性	315	16.5 中医对水盐代谢的见解及中药对水盐 代谢的调节	350
14.4.3 各类免疫球蛋白	315	16.5.1 中医对水盐代谢的见解	350
14.4.4 免疫球蛋白的应用	316	16.5.2 中药对水盐代谢的调节	351
14.4.5 中药对免疫球蛋白的影响	316	16.6 酸碱平衡	351
15 肝胆生化	317	16.6.1 体内酸性及碱性物质的来源	351
15.1 肝脏的结构与功能的关系	317	16.6.2 体内酸碱平衡的调节	352
15.1.1 肝脏在形态结构方面的特点	317	16.6.3 酸碱平衡紊乱	357
15.1.2 肝脏化学组成的特点	318	17 肌肉组织生化	361
15.2 肝脏在代谢中的作用	318	17.1 肌肉组织的超微结构及化学组成	361
15.2.1 肝脏在糖代谢中的作用	318	17.1.1 肌肉组织的超微结构	361
15.2.2 肝脏在脂类代谢中的作用	318	17.1.2 肌肉的化学组成	362
15.2.3 肝脏在蛋白质代谢中的作用	319	17.2 肌肉收缩与松弛的分子机理	364
15.2.4 肝脏在维生素代谢中的作用	320	17.2.1 粗丝的分子组成	364
15.2.5 肝脏在激素代谢中的作用	321	17.2.2 细丝的分子组成	365
15.3 胆汁与胆汁酸	321	17.2.3 肌肉收缩的滑动学说	366
15.3.1 胆汁	321	17.2.4 兴奋-收缩偶联	369
15.3.2 胆汁酸的代谢与功能	322	17.3 肌肉组织的能量代谢	370
15.4 胆色素代谢	324	17.4 心肌的代谢特点及肌肉疾病	371
15.4.1 胆色素的正常代谢	324	17.4.1 心肌的代谢特点	371
15.4.1.1 胆红素的来源及形成	324	17.4.2 肌肉疾病	372
		17.5 生脉液对大鼠和豚鼠(体外)心肌细胞	

膜三磷酸腺苷酶 (ATPase) 活性的影响	373	18.5.3 中枢神经系统中氧耗量及葡萄糖的消耗	381
18 神经组织生化	374	18.5.4 中枢神经系统对酮体的利用	382
18.1 氨基酸的代谢特点	374	18.6 胺类递质	382
18.1.1 甘氨酸及谷氨酸	374	18.6.1 儿茶酚胺	382
18.1.2 γ -氨基丁酸	375	18.6.2 5-羟色胺	385
18.2 特殊蛋白质	377	18.7 乙酰胆碱	387
18.2.1 S-100 蛋白质	377	18.7.1 乙酰胆碱在中枢的含量及分布	387
18.2.2 微管蛋白及神经细丝蛋白	377	18.7.2 乙酰胆碱的合成与分解代谢	387
18.3 核酸	378	18.7.3 乙酰胆碱的储存与释放	388
18.3.1 脱氧核糖核酸	378	18.7.4 乙酰胆碱的功能	388
18.3.2 核糖核酸	379	18.8 神经多肽	388
18.4 脂类	379	18.8.1 P 物质	388
18.4.1 脂类的含量及分布	379	18.8.2 内啡肽	389
18.4.2 磷脂	379	18.9 针刺对中枢神经系统内神经递质的影响	390
18.4.3 甘油磷脂的代谢	381	附录	
18.5 葡萄糖的代谢特点	381	一、常用生化名词简称或缩写表	391
18.5.1 糖酵解	381	二、人体检验正常值	395
18.5.2 糖的需氧氧化	381		

1 溶 液

溶液不仅与工农业生产、科学实验有密切关系,在生命活动和医疗实践中也具有重要意义。例如,人体的血液、淋巴液、组织液、胆汁和脑脊液等都是溶液。它们对维持各种生理功能,如食物的消化吸收,营养物质的运输和转变,以及维持人体的酸碱平衡、水与电解质平衡等都起着重要的作用。在防治疾病过程中,也往往要涉及到溶液的浓度,如临床要通过化验了解病员血液中某些成分的浓度以帮助诊断;治疗用的药物也常要求配成一定浓度的溶液才能使用。因此,对溶液的概念、溶液的浓度、缓冲溶液以及溶液的渗透压等基本知识必需有一定的认识。

1.1 分散系

一种物质以极小的微粒(称为分散相)分散在另一种物质(称为分散介质)中所组成的体系叫做分散体系。例如,碘分散在酒精中成碘酒;油分散在水中成乳状液;泥土分散在水中成为泥浆。其中碘、油、泥土是被分散的物质,称为分散相;而酒精和水是容纳分散相的物质,则称为分散介质。

在分散系中,可根据分散相粒子的组成不同,分为均相和非均相分散系。凡只含有一个相的体系称为均相(单相)分散系;凡含二个或二个以上相的体系称为非均相(多相)分散系。所谓相是指在一个体系中,物理和化学性质完全均匀的一部分。因此,当分散相以单个分子(或离子)分散在分散介质中形成均匀体系时,因其每一部分的性质完全相同,故只有一相。分散相和分散介质之间没有界面,分散是均匀的,这样的分散系属于均相分散系(如碘酒、生理盐水等)。若分散相的粒子是由多分子组成时,因它们的性质相同成为一相,分散介质则成为另一相,这时就出现二相,分散相与分散介质之间就有界面,这样的分散系是不均匀的,称非均相分散系(如乳浊液、泥浆等)。

在分散系中,分散相的大小不同,可引起分散系性质的差异,这样根据分散相粒子大小,又可将分散系分为下列三类:

1.1.1 粗分散系

粗分散系的分散相粒子较大,其直径大于 100 nm 或纳米($1\text{ nm}=10^{-7}\text{ cm}$),因而肉眼或普通显微镜能观察到。由于分散相粒子较大,足以阻止光线通过,所以粗分散系是浑浊的、不透明的、且易受重力作用而沉淀的不稳定体系。

若分散相是固体,而分散介质为液体的粗分散系则称悬浊液。如临床用的普鲁卡因青霉素及醋酸可的松均属悬浊液,因它们不稳定易沉淀,所以注射前必须摇匀才能使用。若分散相是液体,分散介质也是液体的粗分散系称为乳浊液。如乳白鱼肝油、松节油搽剂等就属这一类。它们是以油分散在水中形成乳状混浊的液体。因其分散相粒子较大,所以也不稳定,放置不久,油、水仍分离成两层。如在乳浊液内,加入少许肥皂液再振荡,则油滴可以暂时分散在水中。这种能使油较稳定地分散在水中的物质称为乳化剂。胆汁能够帮助消化油脂,主要因胆汁中含有胆汁酸盐,它们是一类乳化剂,能使摄入的油脂较稳定地分散在水中,

以利于油脂的消化和吸收。

1.1.2 胶体分散系

胶体分散系的分散相粒子直径在 $1\sim 100\text{ nm}$ 之间。以固体为分散相, 液体为分散介质的胶体分散系一般又称胶体溶液, 简称溶胶。这类分散相粒子比普通分子或离子大, 每个微粒通常由许多分子聚集而成。如氢氧化铁溶胶中的分散相粒子, 由 $10^3\sim 10^6$ 个氢氧化铁分子组成。

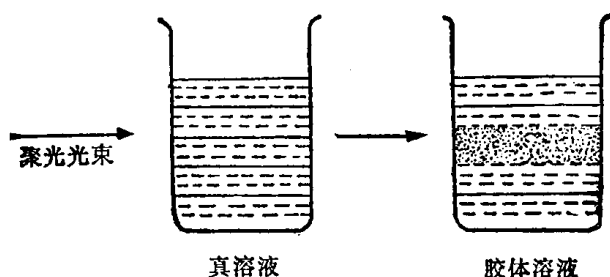


图 1-1 溶胶的丁铎尔效应

虽然分散相和分散介质之间存在界面属非均相分散系, 但和粗分散系不同, 胶体微粒要在超显微镜下才能分辨, 形成的胶体分散系也较稳定。胶体分散系具有下列特征:

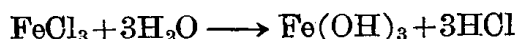
1.1.2.1 丁铎尔效应 当聚光光束通过放在暗处的溶胶时, 从侧面可以看到一条明亮的光柱, 如图 1-1 所示, 这种现象叫丁铎尔效应。

这是由于溶胶粒子较大, 使一部分光向各方向散射的结果。

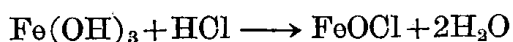
1.1.2.2 布朗运动 用超显微镜观察溶胶, 可见溶胶粒子作不停地、不规则的运动, 称布朗运动。这是由于溶剂分子不断向各个方向撞击, 使微粒每一瞬间在各个方向上所受的撞击力都不相同, 且不停地无规则地运动的结果。

布朗运动是溶胶的稳定因素之一, 能使胶粒有扩散现象。但由于胶粒较大, 其扩散速度较慢, 因此不能透过半透膜(半透膜一般是指溶剂分子能自由地透过, 而溶质分子不能透过的薄膜, 如细胞膜等)。

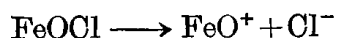
1.1.2.3 胶粒带电性 电泳实验表明, 胶粒带有电荷。这是由于胶粒有较大的总表面积, 吸附力较强, 能从溶液中选择地吸附与它组成类似的某种离子, 使其表面带有电荷。如氢氧化铁溶胶是通过水解三氯化铁而成的。



溶胶中部分 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 与 HCl 作用生成 FeOCl 。



FeOCl 可电离成:



$\text{Fe}(\text{OH})_3$ 胶粒选择地吸附了与它组成相类似的 FeO^+ 离子而带正电荷。由于胶粒带有相同电荷, 彼此互相排斥而使溶胶处于稳定状态。另一方面吸附在胶粒表面上的离子还能吸引许多水分子, 因而形成了一层水化膜, 后者也能阻止胶粒的聚集。所以, 胶粒带电和水化膜的形成是溶胶稳定的主要因素。

1.1.3 分子(或离子)分散系

这类分散系, 是由分散相以分子(或离子)分散在分散介质中所形成。分散相和分散介质之间无界面, 故属均相分散系。通常所指的溶液, 就属这类分散系。其中分散相(如葡萄糖等)称溶质, 分散介质称溶剂。根据溶质分子的大小, 溶液又可分为高分子溶液和低分子溶液。

1.1.3.1 高分子溶液 溶质分子大小在 $1\sim 100\text{ nm}$ 之间所组成的溶液称为高分子溶液。如蛋白质、核酸及可溶性淀粉等所组成的溶液。由于这些溶质分子直径与胶体分散相粒子大小相近, 因而在性质上它们有相似之处。如不能透过半透膜、扩散速度较慢和具有丁

铎尔效应等。所以, 高分子溶液可列入胶体分散系的范畴。但它属单分子(或离子)分散的均相体系, 所以也具有自己的特征。例如, 它比一般的胶体溶液稳定, 具有较大的粘性。同时, 高分子溶液经蒸发或冷却后, 往往可凝成一种弹性的半固体物质, 称为凝胶。

1.1.3.2 低分子溶液 溶质分子直径小于1nm所组成的溶液称低分子溶液(医学上又称晶体溶液)。例如葡萄糖溶液、氯化钠溶液等。由于这些溶质的粒子, 是单个小分子或离子, 故一般能透过半透膜、扩散速度较快, 并具有高度的稳定性。

人体的血液、淋巴液等都含有蛋白质等高分子化合物, 因此它们属于高分子溶液。但血液等液体中同时还含有氯化钠、葡萄糖等低分子化合物, 因此, 实际上体液是一种比较复杂的溶液。

各类分散系的组成与性质的比较见表1-1。

表1-1 各类分散系的比较

组成与性质	粗分散系	胶体分散系(溶胶)	分子(或离子)分散系	
			高分子溶液	低分子溶液
分散相粒子直径	>100nm	1~100nm	1~100nm	<1nm
分散相粒子存在的形式	多分子聚集体	多分子聚集体	单分子或离子	单分子或离子
分散体系	非均相	非均相	均相	均相
稳定性	不稳定	较稳定	稳定	更稳定
扩散速度	—	很慢	很慢	较快
对半透膜的通透性	透不过	透不过	透不过	透过
其他	—	分散相粒子带相同电荷, 具有丁铎尔效应和布朗运动	粘度大, 易生成凝胶	—

1.2 溶液的浓度

在一定(体积或重量)的溶液或溶剂中所含溶质的量, 叫做溶液的浓度。表示溶液浓度的方法有多种, 有些因已在中学里作了较详细的介绍, 如百分浓度(%)、摩尔浓度(M)等, 故不作重述。这里主要讨论在医学上常用的毫当量浓度。

1.2.1 当量浓度和毫克当量浓度

1.2.1.1 物质的当量、克当量和毫克当量 按经典概念, 元素或化合物都是以一定量的比例互相化合或起反应的。当物质互相完全作用时, 彼此相当的量称为当量。当量以克为单位, 即称为克当量(Eq)。

由于人体所含的各种无机盐类数量很少, 在医学上应用克当量单位显得过大, 故常用它的千分之一来表示, 叫做毫克当量, 简称毫当量(mEq)。

例如: NaOH 的克当量 $= \frac{40(\text{g})}{1} = 40 \text{ g}$ (NaOH 分子量 = 40)

NaOH 的毫当量 $= \frac{40(\text{g})}{1000} = 0.04 \text{ g} = 40 \text{ mg}$

1.2.1.2 物质的克当量数与毫当量数 一定量的物质相当于该物质几个克当量或毫当量, 这“若干个”就是该物质的克当量数或毫当量数。

例如: 1 Eq NaOH 相当 $1 \times 40 \text{ g} = 40 \text{ g}$

2 Eq NaOH 相当 $2 \times 40 \text{ g} = 80 \text{ g}$

0.5 Eq NaOH 相当 $0.5 \times 40 \text{ g} = 20 \text{ g}$

在克当量前的数目如 1、2、0.5 是克当量的倍数, 叫克当量数。

物质的克当量数可用下式求得:

$$\text{物质的克当量数} = \frac{\text{物质的量(g)}}{\text{物质的克当量}}$$

同样, 物质的毫当量数也可以用下式求得:

$$\text{物质的毫当量数} = \frac{\text{物质的量(mg)}}{\text{物质的毫当量(mEq)}}$$

例 1 临床上纠正酸中毒时常用 11.2% 乳酸钠针剂, 每支 20 ml, 问每一支针剂中含多少 mEq 的乳酸钠?

解 每一支针剂中含乳酸钠

$$\frac{11.2}{100} \times 20 = 2.24 \text{ g} = 2240 \text{ mg}$$

已知乳酸钠($\text{CH}_3\text{CHOHCOONa}$)的分子量为 112, 其 Eq 为

$$\frac{112(\text{g})}{1} = 112 \text{ g}, \text{ mEq} = 112 \text{ mg}$$

故 每一支针剂中乳酸钠的毫当量数 $= \frac{2240}{112} = 20$

答: 一支针剂中含 20 毫当量数的乳酸钠。

同理, 可用求离子的克当量数和毫当量数。

例 2 试求 1.95 g K^+ 相当于多少克当量数? 多少个毫当量数? (K 的原子量为 39)

解 K^+ 的克当量 $= \frac{39(\text{g})}{1} = 39 \text{ g}$

$$\therefore \text{K}^+ \text{ 的克当量数} = \frac{1.95(\text{g})}{39(\text{g})} = 0.05$$

$$\text{K}^+ \text{ 的毫当量} = \frac{39(\text{g})}{1000} = 0.039 \text{ g} = 39 \text{ mg}$$

$$\therefore \text{K}^+ \text{ 的毫当量数} = \frac{1.95(\text{g})}{0.039(\text{g})} = 50$$

答: 1.95 g K^+ 相当于 0.05 Eq K^+ , 或 50 mEq K^+ 。

临床工作中, 有时须将 1g 电解质换算为若干毫当量数的离子。如求 1g NaCl 中含若干毫当量数的 Na^+ 。

从 NaCl 分子式中, 可知 58.5 g NaCl 中含 Na^+ 为 23 g (NaCl 分子量 = 58.5), 因此, 1g NaCl 中含 Na^+ 为:

$$\frac{23}{58.5} \times 1 = 0.3931 \text{ g} = 393.1 \text{ mg}$$

$$\therefore \text{Na}^+ \text{ mEq} = 23 \text{ mg}$$

$$\therefore 1 \text{ g NaCl 中含 } \text{Na}^+ \text{ 毫当量数} = \frac{393.1}{23} = 17$$

下面列举临床常用的 1g 电解质换算为若干毫当量数离子的实例, 以备应用时参考。

$$1\text{g NaCl} \approx 17\text{mEq Na}^+$$

$$1\text{g KCl} \approx 13.4\text{mEq K}^+$$

$$1\text{g NaHCO}_3 \approx 12\text{mEq Na}^+$$

$$1\text{g CaCl}_2 \approx 18\text{mEq Ca}^{2+}$$

$$1\text{g 乳酸钠} \approx 9\text{mEq Na}^+$$

例 3 1L 生理盐水(0.9% NaCl)中含 Na^+ 多少 Eq?

解 $\frac{0.9}{100} \times 1000 \times 17 = 153\text{mEq 的 Na}^+$

答: 1 升生理盐水中含有 153mEq 的 Na^+ 。

1.2.1.3 当量浓度(N) 以 1 升溶液中所含溶质的克当量数(或 1ml 溶液中所含溶质的毫当量数)来表示的浓度, 称为当量浓度。

1.2.1.4 毫当量浓度 为了能较正确地反映人体血浆中离子间量的关系, 医学上大多采用毫当量浓度来表示血浆中电解质的浓度, 即每升血浆中所含离子的毫当量数(mEq/L)来表示。

正常人血浆中的各种离子的浓度见表 1-2 所示。

表 1-2 正常人血浆中各种离子的浓度

电 解 质	mg% (mg/dl)	mEq/L
阳离子		
Na^+	326	142
K^+	20	5
Ca^{2+}	10	5
Mg^{2+}	2.4	2
阳离子总量	358.4	154
阴离子		
Cl^-	365.7	103
HCO_3^-	164.7	27
SO_4^{2-} (以 S 计)	1.6	1
HPO_4^{2-}	9.6	2
有机酸	17.5	5
蛋白质	7000	16
阴离子总量	7559.1	154

由上表可见血浆中电解质的浓度可用两种方法来表示。一种以 mg/dl 表示。则阴离子总浓度(7559.1 mg/dl)约为阳离子总浓度(358.4 mg/dl)的 20 倍, 这样会造成误解。另一种以 mEq 浓度表示, 则血浆中阴离子和阳离子的总浓度相等, 均为 154mEq/L。这说明血浆中阳离子所带正电荷总数正好等于阴离子所带负电荷总数。由于血浆确呈中性, 因此用毫当量浓度来表示, 能比较正确地反映血浆中各离子间的关系。

例如, Na^+ 为 142 mEq/L; Cl^- 为 103 mEq/L, 说明血浆中 Na^+ 比 Cl^- 多, 这与实际情况相符。若以 mg/dl 表示浓度时, Na^+ 为 327 mg/dl, Cl^- 为 365 mg/dl, 则很易得出在血浆中 Cl^- 比 Na^+ 多的错误印象。

1.2.1.5 毫当量浓度与毫克百分浓度的换算 现以血浆 Na^+ 含量为 327 mg/dl 为

例, 换算成毫当量浓度:

327 mg/dl 表示 100 ml 血浆中含 Na^+ 327 mg, 则每升血浆中含 Na^+ 应为:

$$327 \times 10 = 3270 \text{ mg/L}$$

已知 Na^+ 的毫当量为 0.023 g 或 23 mg, 则 Na^+ 的毫当量浓度为:

$$\frac{3270}{23} = 142.17 \text{ mEq/L}$$

因此, 该血浆中 Na^+ 毫当量浓度约为 142 mEq/L。

上述计算, 可归纳为:

$$\frac{327 \times 10}{23} = 142.17$$

或

$$\frac{\frac{327}{23}}{\frac{10}{10}} = 142.17$$

即

$$\frac{100 \text{ ml 中溶质毫克数}}{\frac{\text{毫当量}}{10}} = \text{毫当量数/L}$$

对某一个离子来说, $\frac{\text{“毫当量”}}{10}$ 是一个常数, 称换算因数, 以 f 表示。

则上式可写成:

$$\frac{\text{mg/dl}}{f} = \text{毫当量数/L}$$

或

$$\text{mg/dl} = \text{mEq/L} \times f$$

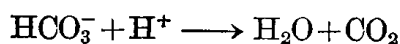
临床应用上式的一些电解质换算因数见表 1-3。

表 1-3 电解质换算因素

电 解 质	f	电 解 质	f
Na^+	2.3	Cl^-	3.55
K^+	3.9	HCO_3^-	6.1
Ca^{2+}	2.0	SO_4^{2-} (以 S 计)	1.6

在临床上, 血浆中 HCO_3^- 可用二氧化碳结合力 (CO_2cp ; $\text{CO}_2 \text{ ml/dl}$) 表示, 因此, HCO_3^- 的换算因数就不是 6.1, 应采用下法求相应的换算因数。

因为



按反应式, 可知 1 毫摩尔(离子) HCO_3^- 可产生 1 毫摩尔分子的 CO_2 。在标准状态下, 1 毫摩尔分子 CO_2 约为 22.4 ml, 而正常人血浆中平均含 HCO_3^- 为 27 mEq/L, 故为

$$27 \times 22.4 = 604.8 \text{ ml/L},$$

相当 100 ml 血浆中含有 60.5 ml 结合状态的 CO_2 。

因此, HCO_3^- 的 mEq/L 换算为 $\text{CO}_2 \text{ ml/dl}$ 的换算因数为:

$$\frac{22.4}{10} = 2.24$$

1.3 缓冲溶液

许多化学反应, 特别是生物体内的化学反应, 必须在一定 pH 值范围内才能正常进

行。人体的各种体液,都具有一定的 pH 值,如血液 pH 值为 7.35~7.45。然而,在正常人体内进行代谢过程中,会不断地产生酸性和碱性物质,它们进入血液后,血液的 pH 值仍能保持在 7.35~7.45 的正常范围。这是由于体内有良好的调节机能,其原因之一,是由于血液内存在着能够对抗外来酸或碱的物质。例如碳酸(H_2CO_3)和碳酸氢钠(NaHCO_3);磷酸二氢钠(NaH_2PO_4)和磷酸氢二钠(Na_2HPO_4)以及蛋白质(HPr)和蛋白质钠盐(NaPr)等。我们把这种能够对抗外来少量酸或碱的影响,保持其溶液的 pH 值几乎不变的作用,称为缓冲作用。具有缓冲作用的溶液,称缓冲溶液。

1.3.1 缓冲溶液的组成

一般来说,缓冲溶液可由下列几类成对的组分构成:

1.3.1.1 弱酸及其对应的盐 如 $\text{HAc}-\text{NaAc}$ 、 $\text{H}_2\text{CO}_3-\text{NaHCO}_3$ 、 $\text{H}_2\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_4-\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ (邻苯二甲酸及邻苯二甲酸氢钾)。

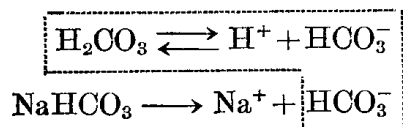
1.3.1.2 弱碱及其对应的盐 如 $\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}-\text{NH}_4\text{Cl}$ 、 $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ (苯胺)- $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2\cdot\text{HCl}$ (苯胺盐酸盐)。

1.3.1.3 多元酸的酸式盐及其对应的次级盐 如 $\text{NaHCO}_3-\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、 $\text{NaH}_2\text{PO}_4-\text{Na}_2\text{HPO}_4$ 。

由此可见,组成缓冲溶液的缓冲剂都是成对的,故称缓冲对或缓冲系。

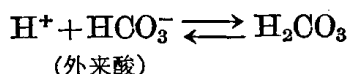
1.3.2 缓冲作用的原理

现用人体血液中起主要缓冲作用的 $\text{H}_2\text{CO}_3-\text{NaHCO}_3$ 缓冲系为例来说明。

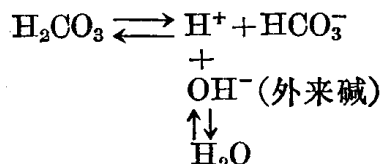


碳酸是弱酸,电离度很小,仅能电离出少量的 H^+ 和 HCO_3^- 离子。而 NaHCO_3 是强电解质,在溶液中完全电离为 Na^+ 和 HCO_3^- 。后者对 H_2CO_3 的电离平衡产生同离子效应,进一步降低了 H_2CO_3 的电离度。所以,溶液中存在着大量的 HCO_3^- 离子(主要来自 NaHCO_3)和 H_2CO_3 分子,以及少量的 H^+ 离子,也就是具有“二多一少”的特点。

当在此缓冲溶液中加入少量酸时,该溶液中存在的大量 HCO_3^- 即与加入的 H^+ 结合成电离度很小的碳酸分子。结果,溶液中的 H^+ 浓度没有明显升高,溶液的 pH 值无显著变化。因此, HCO_3^- (或 NaHCO_3)为此缓冲溶液的抗酸成分。

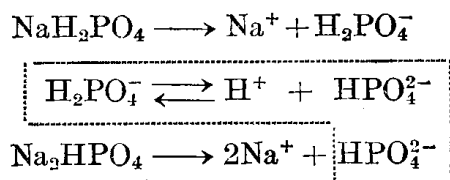


当加入少量碱时,缓冲溶液中 H_2CO_3 电离出来的 H^+ 即和 OH^- 结合成水,当 H^+ 浓度稍有降低时, H_2CO_3 分子的电离平衡就发生移动,以补充溶液中被消耗的 H^+ 。结果,使溶液的 pH 值保持几乎不变。因此, H_2CO_3 分子即为此缓冲溶液的抗碱成分。



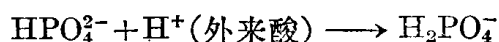
综上所述, $\text{H}_2\text{CO}_3-\text{NaHCO}_3$ 缓冲对所组成的缓冲溶液具有缓冲作用。其中 H_2CO_3 为抗碱成分, NaHCO_3 (HCO_3^-)为抗酸成分。

多元酸的酸式盐及其对应的次级盐所组成的缓冲溶液其作用原理也与上述相似。例如, NaH_2PO_4 - Na_2HPO_4 缓冲系中存在以下电离过程:

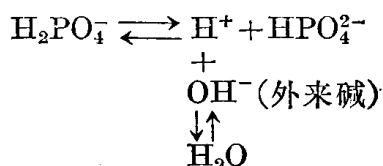


故缓冲溶液中存在较大量 H_2PO_4^- 和 HPO_4^{2-} 离子及少量 H^+ 离子。

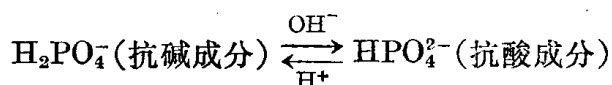
当在此溶液中加入少量酸时, 溶液中的 HPO_4^{2-} (主要来自 Na_2HPO_4) 就和加入的 H^+ 结合成电离度较小的 H_2PO_4^- , 结果, 使该溶液的 pH 值保持几乎不变。因此, Na_2HPO_4 或 HPO_4^{2-} 离子具有抗酸能力。



当加入少量碱时, 加入的 OH^- 即可与 H_2PO_4^- (主要来自 NaH_2PO_4) 电离出来的 H^+ 合成水。 H_2PO_4^- 则进一步电离, 补充溶液中被消耗的 H^+ , 结果使该溶液的 pH 值保持几乎不变, 因此, NaH_2PO_4 或 H_2PO_4^- 离子具有抗碱能力。

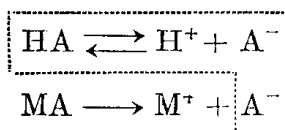


现将 NaH_2PO_4 - Na_2HPO_4 缓冲溶液的抗酸抗碱能力归纳为下式:



1.3.3 缓冲溶液的 pH 值

由弱酸及其盐所组成的缓冲溶液的 pH 值, 可根据弱酸的电离平衡式和电离常数来推算。现以 HA 代表弱酸, MA 代表该弱酸的盐来进行推导。



$$K_a = \frac{[\text{H}^+][\text{A}^-]}{[\text{HA}]}$$

$$\therefore [\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{HA}]}{[\text{A}^-]}$$

HA 为弱酸, 它的电离度本来就不大, 由于溶液中存在大量的 A^- (主要来自 MA), 使 HA 的电离度变得更小。因此, 可认为 HA 分子几乎没有电离, 上式中的 $[\text{HA}]$ 可以近似地等于弱酸的总浓度〔酸〕。同样, 溶液中的 $[\text{A}^-]$ 主要来自 MA, 因此溶液中的 $[\text{A}^-]$ 可以近似地等于 MA 的总浓度〔盐〕。即 $[\text{HA}] = [\text{酸}]$, $[\text{A}^-] = [\text{盐}]$, 将此关系代入上式即得:

$$[\text{H}^+] = K_a \times \frac{[\text{酸}]}{[\text{盐}]}$$

等式两边各取负对数

$$-\lg [\text{H}^+] = -\lg K_a - \lg \frac{[\text{酸}]}{[\text{盐}]}$$