

中国高等教育学会医学教育专业委员会规划教材

全国高等医学院校教材

供基础医学、临床医学、全科医学、护理学、
生物技术、实验技术等专业用

医用化学

主编 徐红 杜曦

Medical Chemistry



北京大学医学出版社

中国高等教育学会医学教育专业委员会规划教材
全国高等医学院校教材

供基础医学、临床医学、全科医学、护理学、生物技术、实验技术等专业用

医用化学

主 编 徐 红 杜 曦

副主编 胡庆红 席晓岚 冯广卫

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

陈碧琼 (四川医科大学)	李 伟 (重庆医科大学)
陈胡兰 (成都中医药大学)	罗 娟 (四川大学)
杜 曦 (四川医科大学)	孙智勇 (遵义医学院珠海校区)
冯 建 (贵州医科大学)	王 丽 (贵州医科大学)
冯广卫 (贵州医科大学)	卫星星 (长治医学院)
郭建敏 (四川医科大学)	席晓岚 (贵州医科大学)
郭今心 (山东大学)	徐 红 (贵州医科大学)
郭蕴苹 (昆明医科大学)	于 昆 (大连医科大学)
侯小娟 (湖南医药学院)	袁泽利 (遵义医学院)
胡庆红 (遵义医学院)	张奇龙 (贵州医科大学)
李 蓉 (贵州医科大学)	赵全芹 (山东大学)

北京大学医学出版社

YIYONG HUAXUE

图书在版编目 (CIP) 数据

医用化学 / 徐红, 杜曦主编. —北京:
北京大学医学出版社, 2015. 6

ISBN 978-7-5659-1066-1

I. ①医… II. ①徐… ②杜… III. ①医用化学 - 医
学院校 - 教材 IV. ① R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 057546 号

医用化学

主 编: 徐 红 杜 曦

出版发行: 北京大学医学出版社

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

电 话: 发行部 010-82802230; 图书邮购 010-82802495

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - m a i l: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 莱芜市圣龙印务有限责任公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 赵 爽 王孟通 责任校对: 金彤文 责任印制: 李 啸

开 本: 850mm × 1168mm 1/16 印张: 16.75 插页: 1 字数: 483 千字

版 次: 2015 年 6 月第 1 版 2015 年 6 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5659-1066-1

定 价: 38.00 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前言

医用化学是基础医学、临床医学、全科医学、护理学、生物技术、实验技术、中医学、中西医结合医学等高等医药院校本科专业的重要基础课程，是医药院校的学生进入专业学习的基础和桥梁。医用化学基础知识是学生进入专业课程学习的必要条件。

为了适应教育教学改革的要求，使学生能学有所获、学以致用，本教材精选了医药学各专业学生必须掌握的化学基本理论、基本知识和基本技能，对部分内容进行了必要的取舍和整合；同时特别注意引入学科的前沿知识，注重化学与医药学各专业的结合，并强调化学在各专业中的应用。力求思想性、科学性、先进性和实用性的统一。

全书共 22 章，是来自全国 11 所高校 22 位编委通力合作的结果。内容包括溶液和胶体，电解质溶液，缓冲溶液，化学反应速率和化学平衡，氧化还原反应和电极电位，原子结构和分子结构，配位化合物，滴定分析法，分光光度法，有机化合物概述，链烃，环烃，立体异构，醇、酚、醚，醛、酮，羧酸及羧酸衍生物，胺和酰胺，取代羧酸，杂环化合物和生物碱，脂类，糖类，蛋白质和核酸。

在编写过程中，本教材参考了《基础化学》《有机化学》《医用化学》《无机化学》《分析化学》《药物化学》等各级各类本、专科教材，在此谨向编写这些教材的专家们致以最崇高的敬意！同时，编写工作得到了北京大学医学出版社、贵州医科大学的大力支持，在此致以衷心的感谢！

本教材经编委会确定内容后，通过认真细致的审校，力求精益求精。但是限于编者水平，错误和不足在所难免，恳请专家同行和广大师生提出批评和建议。

主编

目 录

第一章 溶液和胶体	1	第二节 配位化合物在水溶液中的稳定性	82
第一节 溶液浓度的常用表示方法	1	第三节 螯合物	86
第二节 稀溶液的依数性	3	第四节 配合物在生物医药方面的应用	87
第三节 溶胶和高分子溶液	7		
第二章 电解质溶液	18		
第一节 强电解质与弱电解质	18	第八章 滴定分析法	89
第二节 酸碱质子理论	20	第一节 滴定分析法概述	89
第三节 水溶液中的酸碱平衡	21	第二节 酸碱滴定法	92
第四节 水溶液的酸碱性 with pH 值	24	第三节 氧化还原滴定法	97
第五节 难溶强电解质溶液的沉淀溶解平衡	26		
第三章 缓冲溶液	31	第九章 分光光度法	101
第一节 缓冲溶液及其作用机制	31	第一节 分光光度法的基本原理	101
第二节 缓冲溶液 pH 值的计算	33	第二节 测量仪器和测量方法	103
第三节 缓冲容量	34	第三节 分光光度法的误差及测定条件选择	105
第四节 缓冲溶液的配制	36	第四节 紫外分光光度法简介	107
第五节 缓冲溶液在医学上的意义	38		
第四章 化学反应速率和化学平衡	40	第十章 有机化合物概述	109
第一节 化学反应速率	40		
第二节 影响化学反应速率的因素	43	第十一章 链烃	116
第三节 化学平衡	48	第一节 链烃的结构和构造异构	116
		第二节 链烃的命名	118
		第三节 链烃的性质	121
		第四节 共轭二烯烃	127
第五章 氧化还原反应和电极电位	52		
第一节 氧化还原反应	52	第十二章 环烃	131
第二节 原电池和电极电位	53	第一节 脂环烃	131
第三节 影响电极电位的因素	58	第二节 芳香烃	134
第四节 电位法测定溶液的 pH 值	61		
第六章 原子结构和分子结构	64	第十三章 立体异构	142
第一节 原子结构	64	第一节 构象异构	142
第二节 分子结构	71	第二节 顺反异构现象	145
		第三节 对映异构	146
第七章 配位化合物	80		
第一节 配位化合物的基本知识	80	第十四章 醇、酚、醚	153
		第一节 醇	153

第二节 酚.....	157	第二十章 脂类.....	216
第三节 醚.....	160	第一节 油脂.....	216
第四节 硫醇、硫酚和硫醚.....	161	第二节 磷脂.....	219
第十五章 醛、酮.....	164	第三节 甾族化合物.....	221
第一节 醛、酮的分类和命名.....	164	第二十一章 糖类.....	226
第二节 醛、酮的结构.....	165	第一节 单糖.....	226
第三节 醛、酮的性质.....	166	第二节 低聚糖.....	233
第十六章 羧酸及羧酸衍生物.....	172	第三节 多糖.....	235
第一节 羧酸.....	172	第二十二章 蛋白质和核酸.....	238
第二节 羧酸衍生物.....	177	第一节 蛋白质.....	238
第十七章 胺和酰胺.....	183	第二节 酶.....	241
第一节 胺.....	183	第三节 核酸.....	242
第二节 酰胺.....	189	附录一 中国法定计量单位.....	246
第十八章 取代羧酸.....	194	附录二 平衡常数表.....	248
第一节 羟基酸.....	194	附录三 标准电极电位表 (298.15K)	251
第二节 酮酸.....	197		251
第三节 氨基酸.....	198	主要参考文献.....	253
第十九章 杂环化合物和生物碱.....	204	中英文专业词汇索引.....	254
第一节 杂环化合物.....	204		
第二节 生物碱.....	212		

第一章 溶液和胶体

溶液 (solution) 是由两种或两种以上物质组成的均匀、稳定的分散系统。溶液与生命过程密切相关, 人体的组织间液、血液、淋巴液及各种腺体的分泌液等都是溶液, 体内物质的消化、吸收和转运等许多生物化学反应都在体液 (溶液) 中进行。与溶液相比, 胶体 (colloid) 是一种分散相粒径稍大的分散系统。胶体与人类的生活及环境密切相关, 并且在医学上有特殊的实际意义。因此, 本章主要介绍溶液浓度的常用表示方法、稀溶液的渗透压以及溶胶和高分子溶液等与医学密切相关的内容。

第一节 溶液浓度的常用表示方法

溶液浓度可用不同方法来表示。同一种溶液, 根据不同的需要, 可以选择不同的浓度表示方法。现将几种常用的溶液浓度的表示方法做简要介绍。

一、物质的量浓度

溶质 B 的物质的量浓度 (amount-of-substance concentration) 定义为 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V , 用符号 c_B 表示。

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-1)$$

c_B 的 SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

物质的量浓度简称为浓度, 使用时与物质的量一样应注明基本单元。基本单元可以是原子、分子、离子等粒子, 或是这些粒子的特定组合, 用粒子的符号、物质的化学式或它们的特定组合来表示。

世界卫生组织建议: 凡是已知相对分子质量的物质在体液内的含量均应使用物质的量浓度表示。

例 1-1 临床上注射用的生理盐水的规格是 500ml, 该注射液中含 4.5g NaCl, 计算该注射用生理盐水的物质的量浓度。

解 已知 $m(\text{NaCl}) = 4.5\text{g}$, $V = 0.5\text{L}$, $M(\text{NaCl}) = 58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$\text{因为 } n(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{4.5\text{g}}{58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.077\text{mol}$$

$$\text{所以 } c(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.077\text{mol}}{0.5\text{L}} = 0.154\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量摩尔浓度

溶液的质量摩尔浓度 (molality) 定义为溶液中某溶质 B 的物质的量除以溶剂的质量, 单位为 $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 符号为 b_B 。

$$b_B = n_B / m_A \quad (1-2)$$

式中, m_A 为溶剂 A 的质量, 以 kg 作单位; n_B 是溶质 B 的物质的量, 以 mol 为单位。

质量摩尔浓度的优点是不受温度的影响。对于极稀的水溶液来说,其物质的量浓度与质量摩尔浓度的数值几乎相等。

例 1-2 将 0.14g KCl 晶体溶于 50g 水中,计算该溶液的质量摩尔浓度。

解 已知 KCl 的摩尔质量为 $74.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 所以, KCl 的质量摩尔浓度为:

$$b(\text{KCl}) = \frac{n(\text{KCl})}{m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{0.14\text{g}}{74.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times \frac{1}{0.050\text{kg}} = 0.038\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

三、质量浓度

溶质 B 的质量浓度 (mass concentration) 定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V , 用符号 ρ_B 表示。

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (1-3)$$

ρ_B 的 SI 单位为 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位为 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

例 1-3 医用葡萄糖溶液的物质的量浓度为 $0.278\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。求该溶液的质量浓度。

解 因为 $m_B = n_B M_B = c_B V M_B$

$$\begin{aligned} \text{所以 } \rho(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) &= \frac{m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)}{V} = c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) \\ &= 0.278\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = 50.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

该溶液的质量浓度为 $50.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

通过上述推算可以得出, 物质 B 的质量浓度 ρ_B 和物质的量浓度 c_B 之间的关系为:

$$\rho_B = c_B M_B \quad (1-4)$$

四、质量分数

溶质 B 的质量分数 (mass fraction), 定义为 B 的质量 m_B 除以溶液的质量 m , 用符号 ω_B 表示。

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (1-5)$$

ω_B 的 SI 单位为 1, 可以用百分数和小数表示。

例 1-4 将 100g 葡萄糖溶于 1000g 水中配成溶液, 计算所得溶液中葡萄糖的质量分数。

$$\text{解} \quad \omega_{\text{葡萄糖}} = \frac{m_{\text{葡萄糖}}}{m_{\text{溶液}}} = \frac{100\text{g}}{100\text{g} + 1000\text{g}} = 0.09$$

五、体积分数

溶质 B 的体积分数 (volume fraction), 定义为溶质 B 的体积除以溶液的体积 V , 用符号 φ_B 表示。

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (1-6)$$

φ_B 的 SI 单位为 1, 也可以用百分数和小数表示。例如, 310.15K 时, 人体动脉血中氧气的体积分数 $\varphi_B = 0.196$ (或 19.6%); 消毒酒精的体积分数 $\varphi_B = 0.75$ (或 75%)。

六、物质的量分数

物质的量分数 (amount-of-substance fraction) 又称为物质的量比或摩尔分数。物质 B 的物质的量分数定义为 B 的物质的量与溶液的总的物质的量之比, 符号为 x_B , SI 单位为 1。

设溶液由溶质 B 和溶剂 A 组成, 则溶质 B 的物质的量分数为:

$$x_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \quad (1-7)$$

式中, n_B 为溶质 B 的物质的量, n_A 为溶剂 A 的物质的量。同理, 溶剂 A 的物质的量分数为:

$$x_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$$

显然 $x_A + x_B = 1$ 。

第二节 稀溶液的依数性

溶液由溶质 (solute) 和溶剂 (solvent) 组成, 由于溶解作用的结果, 溶液的性质已不同于纯溶质和纯溶剂。溶液的性质可分为两类: 一类与溶质的本性有关, 如颜色、导电性、酸碱性等; 另一类与溶质本性无关, 只取决于溶液中所含溶质粒子的浓度, 如蒸气压下降、沸点升高、凝固点下降及稀溶液的渗透压。这类性质具有一定的共性和规律性, 被称为稀溶液的依数性。就生命科学而言, 稀溶液的渗透压显得尤为重要, 对细胞内外物质的交换与运输、水及电解质的代谢等问题具有重要意义。因此, 本节主要介绍稀溶液的渗透压。

一、渗透现象和渗透压

生活中有许多现象与渗透有关, 如: 因失水而发蔫的蔬菜、水果, 浇水后又可以重新恢复生机; 人们在淡水中游泳, 如果时间过长, 眼睛会红肿并有疼痛的感觉; 用蒸馏水冲洗伤口会感觉到胀痛。

如果用半透膜 (semipermeable membrane) 将纯溶剂和溶液隔开, 并使两侧液面相平 (图 1-1a), 经过一段时间以后, 可见溶剂的液面下降, 溶液的液面上升, 说明溶剂分子不断通过半透膜进入溶液中。这种溶剂分子通过半透膜进入到溶液中的现象称为渗透现象, 简称渗透 (osmosis)。不同浓度的两溶液用半透膜隔开, 可以发生类似现象。半透膜是一种只允许某些物质透过, 而不允许另一些物质透过的薄膜, 其种类多种多样, 通透性也各不相同。理想的半透膜是一种只允许溶剂分子自由透过, 而不允许溶质分子或离子自由透过的薄膜。动物的膀胱膜、细胞膜、毛细血管壁等生物膜, 生化实验中应用的透析袋、超滤膜等都是半透膜。

产生渗透现象的原因, 是由于膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等, 单位时间内由纯溶剂进入溶液中的溶剂分子数要比由溶液进入纯溶剂的多, 结果是溶液一侧的液面上升。随着溶液液面的上升, 静水压逐渐增大, 使溶剂分子加速从溶液进入到纯溶剂一侧。当液面到达一定高度, 即静水压增大到一定值, 半透膜两侧溶剂分子进出的速率相等, 即达到渗透平衡, 这时液面不再升高 (图 1-1b)。可见渗透现象实际上是由于半透膜两侧溶剂分子互相扩散的不平衡所致。

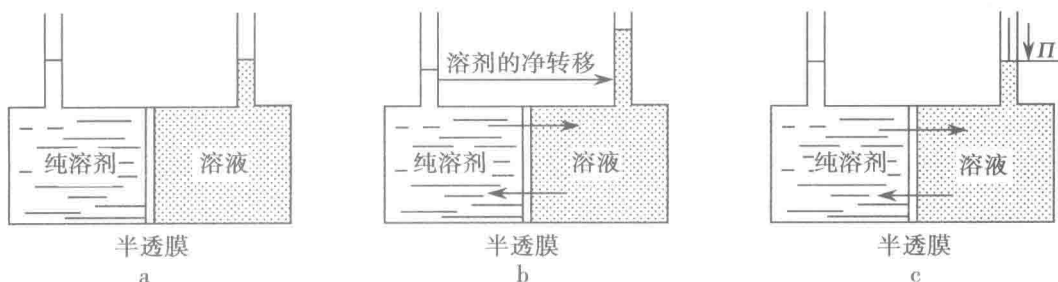


图 1-1 渗透现象和渗透压

综上所述, 渗透现象的发生必须具备两个条件: 一是有半透膜; 二是半透膜两侧单位体积中溶剂分子数目不相等。渗透的方向总是溶剂分子从纯溶剂向溶液渗透, 或从稀溶液向浓溶液渗透。

用半透膜将纯溶剂与溶液隔开时, 渗透必然发生。为维持渗透平衡而向溶液的液面施加的最小压力 (图 1-1c) 称为该溶液的渗透压 (osmotic pressure)。用符号 Π 表示, 单位是 Pa 或 kPa。

渗透与人体的功能活动密切相关。人体的每一个活细胞的细胞膜都具有半透膜特性。水透过细胞膜进入细胞内, 使细胞体积膨胀, 这就是人体的组织和器官, 尤其是皮肤组织都具有一定弹性的原因。

二、渗透压与溶液浓度的关系

1886 年, 荷兰化学家 Van't Hoff 根据 Pfeffer 的实验结果总结出了难挥发的非电解质稀溶液的渗透压与溶液浓度和热力学温度的关系, 即

$$\Pi V = n_B RT \text{ 或 } \Pi = c_B RT \quad (1-8)$$

式中, Π 为稀溶液的渗透压 (单位 kPa), n_B 为溶质的物质的量 (单位 mol), T 为热力学温度 (单位 K, $T = t + 273$, t 为摄氏温度), c_B 为溶液的浓度 (单位 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$), R 为摩尔气体常数, $R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。

式 (1-8) 为 Van't Hoff 定律的表达式, 其意义为: 一定温度下, 稀溶液的渗透压与单位体积溶液中溶质的粒子数成正比, 而与溶质的本性无关。

例如 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的蔗糖溶液与 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液, 物质的量浓度相同, 单位体积溶液中溶质的粒子数也相同, 因此, 它们的渗透压相等。

对于稀水溶液, 其物质的量浓度近似地与质量摩尔浓度相等, 即 $c_B \approx b_B$, 因此, 式 (1-8) 可改写为:

$$\Pi = b_B RT \quad (1-9)$$

电解质溶液由于溶质的解离, 其产生的渗透压的计算公式为:

$$\Pi = i c_B RT \quad (1-10)$$

式中, i 为校正因子, 它的数值依据电解质在溶液中的解离情况而定。强电解质溶液的 i 近似等于“1 分子”电解质所能解离出的离子个数。在稀溶液中, A-B 型强电解质 (如 NaCl、 KNO_3 、 NaHCO_3 等)、A-B₂ 或 A₂-B 型强电解质 (如 MgCl_2 、 CaCl_2 、 Na_2SO_4 等) 的校正因子分别为 2 或 3。其他类型的强电解质的校正因子以此类推。

例 1-5 求 310.15K (37°C) 时, $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖和 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液的渗透压。

解 气体常数 R 的单位换算

$$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = \text{Pa} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} = \text{kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \Pi(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) &= c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)RT \\ &= 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 310.15 \text{ K} \\ &= 516 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Pi(\text{NaCl}) &= i c(\text{NaCl})RT \\ &= 2 \times 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 310.15 \text{ K} \\ &= 1.03 \times 10^3 \text{ kPa} \end{aligned}$$

三、渗透压在医学上的意义

(一) 渗透浓度 (osmolarity)

由于渗透压只与溶液中溶质粒子的浓度有关,而与溶质的本性无关,因而将溶液中能产生渗透效应的溶质粒子(分子、离子)统称为渗透活性物质。渗透活性物质的总的物质的量浓度称为渗透浓度。根据 Van't Hoff 定律,在一定温度下,稀溶液的渗透压应与渗透活性物质的物质的量浓度成正比,因此,稀溶液的渗透压的大小可以用渗透浓度的大小来衡量。

渗透浓度定义为渗透活性物质的物质的量除以溶液的体积,符号为 c_{os} , SI 单位为 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

$$c_{os} = \frac{n_{os}}{V} \quad (1-11)$$

式中, n_{os} 为溶液中渗透活性物质的物质的量, V 为溶液的体积。

对于非电解质溶液,渗透浓度等于其物质的量浓度,例如:葡萄糖溶液的渗透浓度 $c_{os} = c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$; 对于强电解质溶液,渗透浓度等于溶液中溶质离子的总浓度,例如:KCl 溶液的渗透浓度 $c_{os} = c(\text{K}^+) + c(\text{Cl}^-)$; 而对于弱电解质溶液,渗透浓度等于溶液中未解离的弱电解质的浓度与弱电解质解离产生的离子浓度之和,例如:HAc 溶液的渗透浓度 $c_{os} = [\text{HAc}] + [\text{Ac}^-] + [\text{H}^+]$ 。

例 1-6 医院补液用的生理盐水的质量浓度为 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 求生理盐水的渗透浓度。

解 $c_{os}(\text{NaCl}) = c(\text{Na}^+) + c(\text{Cl}^-) = 2c(\text{NaCl}) = \frac{2\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})}$

$$c_{os}(\text{NaCl}) = \frac{2 \times 9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.308 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

生理盐水的渗透浓度为 $308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

(二) 等渗溶液、低渗溶液和高渗溶液

溶液渗透压的高低是相对的。在相同温度下,渗透压(或渗透浓度)相等的溶液互称为等渗溶液(isotonic solution)。对于渗透压(或渗透浓度)不相等的溶液,其中渗透压(或渗透浓度)相对较低的溶液称为低渗溶液(hypotonic solution); 渗透压(或渗透浓度)相对较高的溶液称为高渗溶液(hypertonic solution)。

医学上的等渗、低渗和高渗溶液是以血浆的总渗透压(或渗透浓度)为标准来衡量的,从表 1-1 可以看出,正常人血浆中各种渗透活性物质的总浓度为 $303.7 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 所以医学上规定:渗透浓度在 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为等渗溶液; 渗透浓度 $> 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为高渗溶液; 渗透浓度 $< 280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液为低渗溶液。

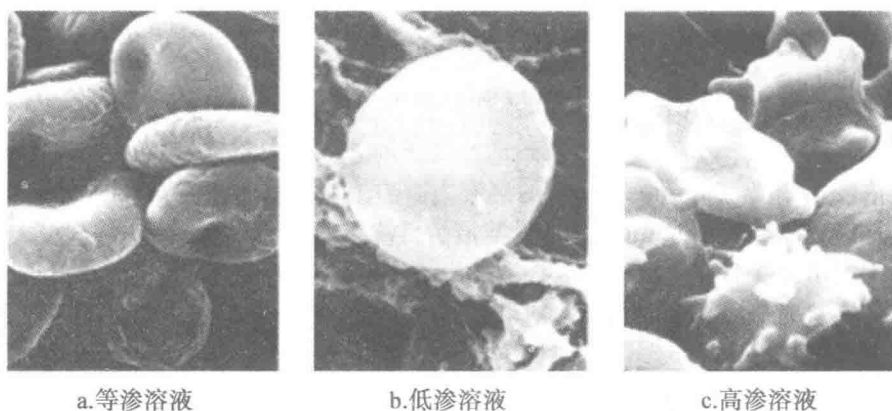
为患者大剂量补液时,要特别注意补液的渗透浓度,否则可能导致机体水分调节失常及细胞变形或破坏,从而造成严重的后果。这可以通过红细胞在不同渗透浓度的溶液中的形态变化为例来加以说明。

临床上常使用生理盐水或 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液。将正常人的红细胞放入生理盐水中,通过显微镜观察,会发现红细胞的形状及大小没有什么变化(图 1-2a)。这是因为生理盐水与红细胞内液的渗透压相等,水分子进入和离开红细胞的速率相等,细胞内液、外液之间处于渗透平衡状态。

将红细胞放入渗透浓度低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的低渗溶液中,通过显微镜观察,会发现红细胞逐渐膨胀(图 1-2b),最后破裂并使溶液呈浅红色,医学上把这种现象称为“溶血”(hemolysis)。这是因为低渗溶液的渗透压低于红细胞内液,低渗溶液中的水分子通过细胞膜进入红细胞内液而使细胞胀破。

表 1-1 正常人血浆、组织间液和细胞内液中各种渗透活性物质的渗透浓度 ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)

渗透活性物质	血浆中浓度	组织间液中浓度	细胞内液中浓度
Na^+	144	137	10
K^+	5	4.7	141
Ca^{2+}	2.5	2.4	
Mg^{2+}	1.5	1.4	31
Cl^-	107	112.7	4
HCO_3^-	27	28.3	10
HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^-	2	2	11
SO_4^{2-}	0.5	0.5	1
磷酸肌酸			45
肌肽			14
氨基酸	2	2	8
肌酸	0.2	0.2	9
乳酸盐	1.2	1.2	1.5
腺苷三磷酸			5
一磷酸己糖			3.7
葡萄糖	5.6	5.6	
蛋白质	1.2	0.2	4
尿素	4	4	4
总计	303.7	302.2	302.2



a.等渗溶液

b.低渗溶液

c.高渗溶液

图 1-2 红细胞在不同渗透浓度溶液中的形态示意图

将红细胞放入渗透浓度高于 $320\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的高渗溶液中,通过显微镜观察,会发现红细胞逐渐皱缩(图 1-2c),医学上把这种现象称为胞浆分离(plasmolysis)。皱缩的红细胞相互聚结成团。若此种现象发生于血管内,将产生“栓塞”而阻断血流。这是因为红细胞内液的渗透压低于细胞外高渗溶液的渗透压,红细胞内液中的水分子通过细胞膜进入细胞外溶液而使细胞皱缩。

临床上除使用等渗溶液外,在治疗失血性休克、烧伤休克、脑水肿等疾病及抢救危重患者

时,也可以使用少量高渗溶液,因为当少量高渗溶液缓缓注入人体时,即可被体液稀释成等渗溶液。但使用高渗溶液时,输入量不能太大且输入速度要慢,否则易造成局部高渗而导致机体水分调解失常及细胞的变形和破坏。由于低渗溶液可引起红细胞或组织细胞破裂,造成不能恢复的损害,因而应禁止直接将低渗溶液输入或注入人体。

(三) 晶体渗透压和胶体渗透压

如表 1-1 所示,人体血浆等生物体液既含有电解质(如 NaCl 、 KCl 、 NaHCO_3 等)和小分子物质(如葡萄糖、尿素等),也含有高分子物质(如蛋白质、糖类、脂质等)。在医学上,习惯把小分子和小离子等物质所产生的渗透压称为晶体渗透压(crystalloid osmotic pressure),把高分子物质所产生的渗透压称为胶体渗透压(colloid osmotic pressure)。血浆等生物体液的渗透压是这两类物质所产生的渗透压的总和。

人体内存在着许多生物半透膜,如间隔细胞内外液的细胞膜,间隔血浆与组织间液的毛细血管壁等。由于这些半透膜的通透性不同,使晶体渗透压和胶体渗透压表现出不同的生理作用。

血浆晶体渗透压的主要作用是维持细胞内外的水盐平衡。当人体由于某种原因缺水时,细胞外液中小分子、小离子的浓度会相对升高,晶体渗透压增大,超过了细胞内液的渗透压,使细胞内液的水分子进入细胞外液,造成细胞内失水,进而使人感到口渴。如果大量饮水或输入过多的葡萄糖溶液(葡萄糖在体内氧化成二氧化碳和水),又可能造成细胞外液相对内液而言晶体渗透压减小,细胞外液的水分子通过细胞膜进入细胞内液,使细胞肿胀,严重时可产生水中毒。因此,晶体渗透压对维持细胞内外水盐的相对平衡起着重要作用。临床上常使用小分子和小离子物质的溶液来纠正某些疾病引起的水盐失调。

血浆胶体渗透压主要调节血管内外水分和小分子物质的分布,对维持血浆容量、组织液容量的相对稳定及血管内外水盐平衡起着重要作用。

正常情况下,血浆中的蛋白质浓度比组织间液高,正是依靠这一点,可以使毛细血管从组织间液“吸取”水分,同时又可以对抗因心脏收缩产生的血液动力学的静压力,以阻止血管内水分过分渗透到组织间液中,从而维持着血管内外水的相对平衡,保持血容量。如果某些病变造成血浆蛋白浓度下降时,血浆胶体渗透压随之降低,水分子和小分子溶质就会通过毛细血管壁由血浆进入组织液,致使血容量降低而组织液增多,这是形成水肿的原因之一。临床上对大面积烧伤或由于失血过多造成血容量下降的患者进行补液时,除输入电解质溶液外,还要输入血浆或右旋糖酐等,以恢复血浆的胶体渗透压并增加血容量。

第三节 溶胶和高分子溶液

一、分散系

一种或几种物质分散在另一种物质中所形成的系统称为分散系(dispersed system)。被分散的物质称为分散相(dispersed phase),容纳分散相的物质称为分散介质(dispersed medium)。临床上使用的生理盐水和葡萄糖注射液都是分散系,其中的氯化钠、葡萄糖是分散相,水是分散介质。

按照分散相粒子被分散的程度,分散系可分为均相分散系和非均相分散系,其中均相分散系只有一相,分散相和分散介质之间不存在界面,而非均相分散系含有两个或两个以上的相,相与相之间存在明显的界面。

按照分散相粒子直径的大小,分散系可分为分子分散系、胶体分散系和粗分散系。

各种分散系的分类与性质见表 1-2。

表 1-2 分散系的分类

分散相粒子直径	分散系类型	分散相粒子的组成	一般性质	实例
$<1\text{nm}$	分子分散系	小分子或小离子	均相, 热力学稳定; 能透过滤纸和半透膜	生理盐水、葡萄糖溶液
$1\sim 100\text{nm}$	溶胶	胶粒 (分子、离子、原子的聚集体)	非均相, 热力学不稳定; 能透过滤纸, 不能透过半透膜	氢氧化铁溶胶、硫化砷溶胶
	高分子溶液	大分子、大离子	均相, 热力学稳定; 能透过滤纸, 不能透过半透膜, 形成溶液	蛋白质溶液、核酸溶液
	缔合胶体	胶束	均相, 热力学稳定; 能透过滤纸, 不能透过半透膜, 形成胶束溶液	超过一定浓度的十二烷基硫酸钠溶液
$>100\text{nm}$	粗分散系 (悬浊液、乳浊液)	粗粒子 (固体小颗粒、小液滴)	非均相, 热力学不稳定; 不能透过滤纸和半透膜	泥浆、乳汁

二、表面现象和乳状液

在不同相共存的体系中, 两相之间密切接触的过渡区称为界面 (interface), 通常有液-气、固-气、液-液、固-液、固-固等类型, 习惯上把固相或液相与气相的界面称为表面 (surface)。一个相的表面分子与内部分子物理性质的差异以及由此引起的一系列物理化学现象, 称为界面现象, 也称表面现象。

(一) 表面张力和表面能

一个相的表面分子与其相内分子所处的状况不相同。例如, 在液-气两相中 (图 1-3), 处于液体内部的分子 A 所受周围分子的引力是对称的, 可相互抵消, 合力为零。表面分子 B 和 C 受到的液体分子的引力远大于上方稀疏气体分子的引力, 它的受力不能相互抵消, 其合力垂直于液面而指向液体内部, 使液体表面分子有向内部移动从而使表面积自动收缩到最小的趋势。这种表面分子受到的指向内部的力称为表面张力 (surface tension)。

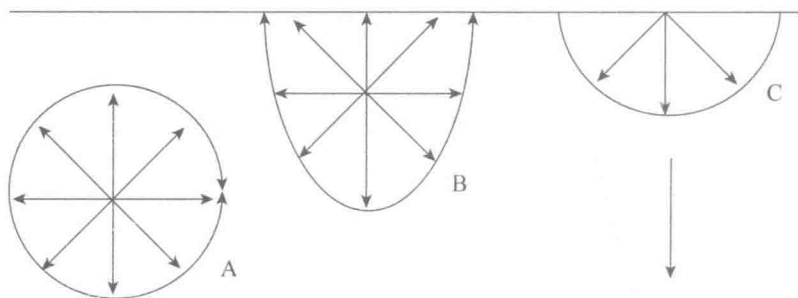


图 1-3 液体内部及表面分子受力情况示意图

因为表面分子受到指向内部的作用力, 所以若要增大表面, 把一部分分子由液体内部移到表面上来, 就必须克服液体内部分子的引力而做功。所做的功以能量形式储存在表面分子中。因此, 表面分子就比内部分子多出一部分能量, 这种能量称为表面能 (surface energy)。(若

相接触的两相中不含气相，则这种能量称为界面能。)

任何表面都存在表面能。一切物体都有自动降低其表面能使体系趋于稳定的趋势。通常减小表面积或降低表面张力是降低表面能的两条途径。

(二) 表面活性剂

肥皂、各种合成洗涤剂及某些有机羧酸的金属盐或苯磺酸盐等溶解进入水中可使水的表面张力显著降低。这种能显著降低水的表面张力的物质称为表面活性物质 (surface active substance) 或表面活性剂 (surfactant)。常见的表面活性剂有糖脂、磷脂以及由胆囊分泌的胆汁酸盐等。

1. 表面活性剂的结构特点 表面活性剂分子中都含有亲水 (疏油) 的极性基团和亲脂 (疏水) 的非极性基团。具有两亲性结构是表面活性剂分子结构上共同的特征 (图 1-4)。

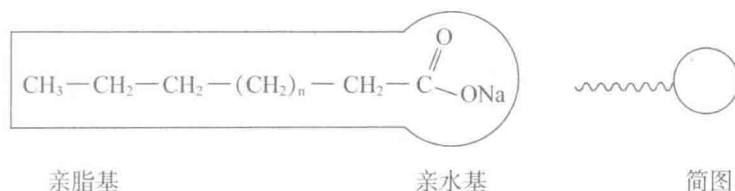


图 1-4 表面活性剂 (脂肪酸钠盐) 示意图

2. 表面活性剂的基本性质 表面活性剂分子结构具有两亲性，因此，在溶液表面上能定向排列。以脂肪酸钠盐为例，当它溶于水，若用量不大时，则其主要集中在溶液的表面并定向排列，分子中亲水的基团进入水中，而亲脂的基团则力图离开水相。可见，由于表面活性剂的两亲性，导致它主要集中于溶液表面，或集中于液-液、液-固两相界面，从而降低表面张力。

当往水中加入表面活性剂达到一定量时，其在溶液表面定向排列的同时，溶液内部的表面活性剂分子为了减小亲脂性基团与水的接触面积，相互把亲脂 (疏水) 基团靠在一起，形成亲水基朝向水而亲脂 (疏水) 基在内的直径为 $1 \sim 100\text{nm}$ 的分子缔合体。这种缔合体称为胶束 (图 1-5)。由胶束形成的溶液称为缔合胶体。

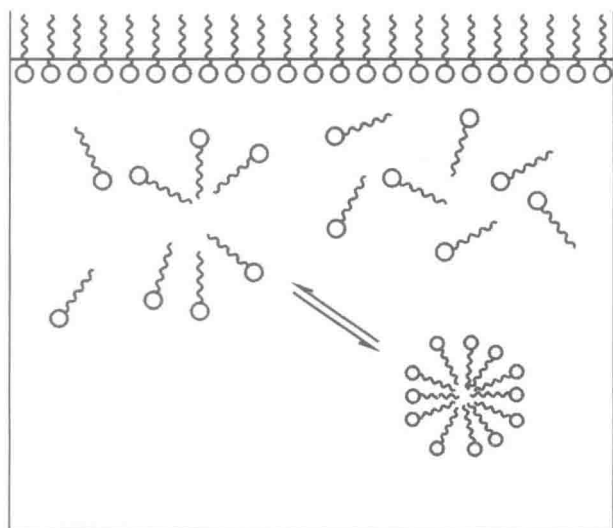


图 1-5 胶束形成示意图

表面活性剂在水溶液中开始形成胶束时的最低浓度称为临界胶束浓度 (critical micelle concentration, CMC)。临界胶束浓度受温度, 表面活性剂结构、用量, 分子缔合程度, 溶液的 pH 值以及电解质存在的影响。

在浓度接近 CMC 的缔合胶体中, 胶束呈球形结构, 当表面活性剂浓度不断增大时, 不再保持球形结构而成为圆柱形甚至板层形结构 (图 1-6)。

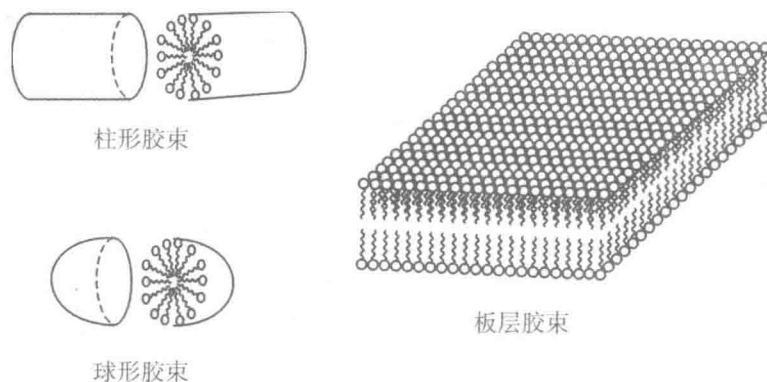


图 1-6 各种胶束形状示意图

由于表面活性剂聚集形成胶束, 可将原来不溶或微溶于水的物质 (如油脂或其他有机化合物等) 裹在胶束中, 使其溶解度剧增, 这种现象称为增溶作用。利用增溶作用不仅可以增加难溶性药物的溶解度和稳定性, 而且能改善药物的吸收和增强其生理作用, 例如向中草药注射剂中加入 $10 \sim 20 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的聚山梨酯 (Tween)-80。又如人类对脂肪不能直接吸收, 但经过胆汁对脂肪的增溶作用后能被小肠吸收。

(三) 乳状液

乳状液 (emulsion) 是以液体为分散相分散在另一种不相溶的液体中所形成的粗分散系。其中一相是水, 另一相统称为油。

乳状液是不稳定系统。例如, 在水中加入少量食用油, 剧烈振荡后即可得到食用油分散在水中的乳状液, 但静置一段时间后系统仍分层。要想得到稳定的乳状液, 必须要有能使乳状液稳定的第三种物质存在, 即乳化剂。乳化剂所起的稳定乳状液的作用, 称为乳化作用 (简称乳化)。常用的乳化剂是一些表面活性剂, 如磷脂、胆汁酸盐等。

乳状液中加入乳化剂, 由于乳化剂是表面活性剂, 能被吸附在油相和水相的界面上, 其分子中的亲水基伸向水相, 亲脂基伸向油相, 表面活性剂分子在两相界面上做定向排列, 不仅降低了界面张力和界面能, 而且还在细小液滴周围形成一层保护层, 阻止了液滴之间聚合并, 从而使乳状液得以稳定。

常见的乳状液中一相是水, 以“水”或“W”表示; 另一相是不溶或难溶于水的有机液体, 统称为油相, 以“油”或“O”表示。不论是“水”还是“油”均可作为分散相和分散介质。因此, 乳状液可分为“水包油”(O/W) 和“油包水”(W/O) 两种类型 (图 1-7)。

乳状液和乳化作用在医药卫生实践和日常生活中具有重要的意义。如油脂在体内的消化吸收过程, 就依赖于胆汁中胆汁酸盐的乳化作用; 牛奶易于消化就是因为它是天然的乳状液。临床上为了加大用药剂量, 注射用药剂通常是 W/O 型乳状液, 以便在乳状液降解时药剂能缓慢地为机体吸收。例如 Salk 等发现乳化的流行性感疫苗治疗的患者所显示的抗体水平约为平常方法治疗的十倍, 且能保持两年以上。

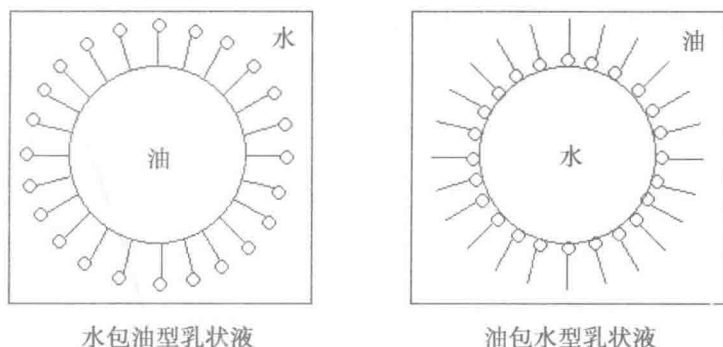


图 1-7 两种不同类型乳状液示意图

三、溶胶

溶胶(sol)是由大量的分子、离子或原子组成的聚集体分散在分散介质中形成的胶体分散系,分散质粒子大小为 $1\sim 100\text{nm}$ 。由于溶胶所具有的高度的分散性、多相性和不稳定性,导致了溶胶在光学、动力学和电学等方面具有许多特殊的性质。

(一) 溶胶的性质

1. 溶胶的光学性质 1869年,英国物理学家 Tyndall 发现:在暗室中让一束会聚的光通过溶胶,在与光束垂直的方向上可以看到一束光锥,这种现象称为 Tyndall 现象(Tyndall phenomenon)(图 1-8)。

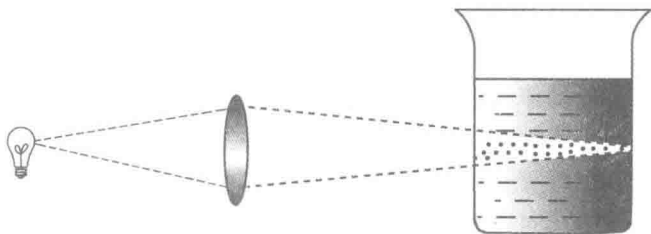


图 1-8 Tyndall 现象

Tyndall 现象是溶胶粒子对光产生散射的结果,与入射光的波长和分散相粒子的直径有关。当分散相粒子的直径略小于入射光的波长,则发生光的散射。溶胶的分散相粒子的直径略小于可见光的波长,因此,当可见光照射溶胶时,发生明显散射作用,这时,溶胶粒子好像一个小发光体,无数个发光体就产生了 Tyndall 现象。真溶液和高分子溶液均观察不到 Tyndall 现象。

2. 溶胶的动力学性质 主要是指由热运动所引起的、与溶胶粒子大小及形状等属性相关的扩散、渗透、沉降等运动特性。

(1) Brown 运动:将一束强光透过溶胶并在光的垂直方向用超显微镜观察,可观测到溶胶中的胶粒在介质中不停地作无规则的运动,即 Brown 运动(Brown motion)。Brown 运动本质是粒子的热运动,温度越高,微粒质量越小,Brown 运动越剧烈。

(2) 扩散:溶胶的胶粒由于布朗运动而自动地从浓度较高处向浓度较低处运动的现象称为扩散(diffusion)。温度越高,溶胶的黏度越小,越容易扩散。扩散是生物体内物质分子通过细胞膜或物质输送的推动力之一。

(3) 沉降:胶粒因受重力的作用而下沉的过程,称为沉降(sedimentation)。

溶胶是高度分散的多相系统,一方面胶粒要自动合并变大,从而产生较强的沉降作用。另一方面胶粒不停的 Brown 运动促使胶粒由下部向上部扩散,力图浓度的均一,因而在一定程