



医学院校规划教材

供基础、临床、护理、口腔、影像、麻醉、检验、预防等专业使用

YIYONG HUAXUE

医用化学

主编 席晓岚



第四军医大学出版社



教育部推荐教材

全国高等医药院校教材

第五版 供临床医学专业用

医用化学

第五版

本书是供临床医学专业用的教材，主要介绍与医学有关的化学基础知识，包括无机化学、有机化学、物理化学、分析化学、生物化学、药物化学等。本书可作为医学院校临床医学专业及相关专业的教材，也可供从事医学工作的医务人员参考。

主编：王德明 副主编：王德明 王德明

供基础、临床、护理、口腔、影像、麻醉、检验、预防等专业使用

第四军医大学出版, 2009. 7

ISBN 978-7-81086-029-0

1. 医... 化学... 第四军医大学出版, 2009. 7

医用化学

中国版本图书馆CIP数据

内 容 提 要
本 书 是 为 医 学 专 业 人 员 编 写 的 一 本 基 础 课 教 材。全 书 分 为 两 部 分。第 一 部 分 为 化 学 基 础 知 识, 第 二 部 分 为 医 学 化 学 基 础 知 识。全 书 共 有 14 章。第 一 章 至 第 五 章 为 化 学 基 础 知 识, 第 六 章 至 第 九 章 为 医 学 化 学 基 础 知 识, 第 十 章 至 第 十四 章 为 医 学 化 学 基 础 知 识。全 书 共 有 14 章。第 一 章 至 第 五 章 为 化 学 基 础 知 识, 第 六 章 至 第 九 章 为 医 学 化 学 基 础 知 识, 第 十 章 至 第 十四 章 为 医 学 化 学 基 础 知 识。

14.75 元
320 千字

ISBN 978-7-81086-029-0 · 241

30.00 元

第四军医大学出版社·西安

(版权所有 侵权必究)

图书在版编目(CIP)数据

医用化学/席晓岚主编. —西安:第四军医大学出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 81086 - 659 - 0

I. 医… II. 席… III. 医用化学 - 高等学校 - 教材 IV. R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 123267 号

医用化学

- 主 编 席晓岚
责任编辑 曹江涛
执行编辑 张永利
出版发行 第四军医大学出版社
地 址 西安市长乐西路 17 号(邮编:710032)
电 话 029 - 84776765
传 真 029 - 84776764
网 址 <http://press.fmmu.sn.cn>
印 刷 蓝田立新印务有限公司
版 次 2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
开 本 787 × 1092 1/16
印 张 14.75 彩 0.125
字 数 350 千字
书 号 ISBN 978 - 7 - 81086 - 659 - 0/R · 541
定 价 30.00 元

(版权所有 盗版必究)

前 言

为了适应高等医学教育的改革和发展,针对《医用化学》学时的紧缩和各高等医学院校少学时专业、新增专业以及各种类型的医学专科学校的教学需要,提高高等医学院校各层次医学化学的教学水平,我们在总结多年教学经验的基础上编写了本教材。在编写过程中,既重视医学化学中的重要概念和基本知识,又吸收了近年出版的基础化学、无机化学、有机化学、分析化学教材的新内容,力求让学生在较少时间内对化学知识体系有一个较全面的了解。

本书作为探讨化学在培养新型医学人才中重要基础作用的尝试,在坚持教材科学性、先进性、系统性的前提下,对概念及理论的提出力求做到层次清晰,阐明简练;课程内容上注重基础,突出重点,由浅入深,循序渐进,便于学生自学。本书可供高等医学院校医学本科和专科各专业使用,也可供成人专科使用。各院校在使用本教材时,可根据具体的课程要求对内容进行取舍。

全书共二十二章,参加本书与编写的有贵阳医学院姚建华(第一章)、贵阳医学院席晓岚(第二章、第九章)、遵义医学院吴庆(第三章)、遵义医学院胡庆红(第四章)、贵阳医学院杨先炯(第五章、第十五章)、山东滨州医学院马丽英(第六章)、贵阳医学院汪志勇(第七章、第十八章)、贵州黔东南民族职业技术学院王勇昌、吴德诚(第八章、第二十一章)、贵阳医学院肖竦(第十章、第二十二章)、贵阳医学院徐红(第十一章、第十四章)、遵义医学院袁泽利(第十二章、第十三章)、贵阳医学院李蓉(第十六章、第十七章)、山东滨州医学院王晓艳(第十九章)、山东滨州医学院张怀斌(第二十章),贵阳医学院徐科绘制了第二十一章的结构式和插图,并参与了部分章节的审核,贵阳医学院的张奇龙参与了教材的整理。

本书的编写是在贵阳医学院教务处的领导下进行的,并作为教改项目得到学校的大力支持,同时各参编院校及第四军医大学出版社给予了协助和指导,使编写工作顺利完成,编者对此表示衷心感谢。

本书编写时参考了部分已出版的高等学校的教材和有关著作,从中借鉴了许多有益的内容,在此向有关的作者和出版社一并表示致谢。

限于时间和编者的水平,本书虽经过多次修改,但仍难免有错误和不当之处,恳请专家、同行和使用本书的教师和同学们提出宝贵意见,以便重印或再版时改正。

编 者

2009年6月

目 录

第一章 溶液	(1)
第一节 溶液组成标度的表示方法	(1)
第二节 溶液的渗透压力	(4)
第二章 电解质溶液	(9)
第一节 强电解质溶液理论	(9)
第二节 酸碱质子理论	(11)
第三节 水溶液中酸碱质子转移平衡和平衡常数	(13)
第四节 质子转移平衡的移动	(16)
第五节 酸碱溶液 pH 值的计算	(17)
第六节 难溶强电解质的沉淀 - 溶解平衡	(20)
第三章 缓冲溶液	(23)
第一节 缓冲溶液的质子转移平衡	(23)
第二节 缓冲溶液 pH 值的计算	(24)
第三节 缓冲容量和缓冲溶液的配制	(26)
第四节 缓冲溶液在医学上的意义	(28)
第四章 胶体和高分子溶液	(31)
第一节 胶体分散系	(31)
第二节 溶胶	(31)
第三节 高分子溶液	(35)
第四节 表面活性剂和乳状液	(38)
第五章 氧化还原反应与电极电位	(40)
第一节 氧化还原反应的基本概念	(40)
第二节 原电池与电极电位	(41)
第三节 电极电位和电动势的应用	(46)
第四节 电位法测定溶液的 pH 值	(48)
第六章 原子结构与元素周期律	(52)
第一节 核外电子运动状态及特性	(52)
第二节 原子核外电子的排布	(57)
第三节 元素结构与元素某些性质的关系	(59)
第七章 分子结构	(64)
第一节 分子结构	(64)

第二节 分子间力和氢键	(71)
第八章 配位化合物	(74)
第一节 配位化合物的基本概念	(74)
第二节 配位平衡	(76)
第三节 螯合物	(79)
第九章 滴定分析法	(81)
第一节 滴定分析法概述	(81)
第二节 分析结果的误差和有效数字	(82)
第三节 酸碱滴定法	(85)
第四节 氧化还原滴定法	(91)
第十章 可见分光光度法	(95)
第一节 基本原理	(95)
第二节 比色分析的方法和仪器	(97)
第三节 显色反应及其影响因素	(99)
第四节 比色分析——铁含量的测定	(101)
第十一章 链烃	(103)
第一节 链烃的结构和异构现象	(103)
第二节 链烃的命名	(106)
第三节 链烃的性质	(109)
第四节 电子效应	(112)
第十二章 环烃	(116)
第一节 脂环烃	(116)
第二节 芳香烃	(118)
第十三章 立体异构	(125)
第一节 构象异构	(125)
第二节 顺反异构现象	(128)
第三节 对映异构	(129)
第十四章 醇、酚、醚	(135)
第一节 醇	(135)
第二节 酚	(139)
第三节 醚	(141)
第十五章 醛、酮	(144)
第一节 醛、酮	(144)
第二节 互变异构现象	(149)
第十六章 羧酸及其衍生物	(153)
第一节 羧酸	(153)
第二节 羧酸衍生物	(157)
第十七章 胺和酰胺	(161)
第一节 胺	(161)

第二节	酰胺·····	(166)
第十八章	取代羧酸·····	(171)
第一节	羟基酸·····	(171)
第二节	酮酸·····	(174)
第三节	氨基酸·····	(175)
第十九章	杂环化合物和生物碱·····	(182)
第一节	杂环化合物·····	(182)
第二节	生物碱·····	(186)
第二十章	糖类·····	(191)
第一节	单糖·····	(191)
第二节	二糖·····	(198)
第三节	多糖·····	(199)
第二十一章	脂类·····	(203)
第一节	油脂·····	(203)
第二节	磷脂·····	(205)
第三节	甾族化合物·····	(206)
第二十二章	蛋白质、核酸·····	(210)
第一节	蛋白质·····	(210)
第二节	核酸·····	(213)
附录	·····	(218)
中英文注释	·····	(223)
参考文献	·····	(228)

第一章 溶 液

溶液与人的生命过程有着密切的关系。人的体液,如血液、淋巴液以及各种腺体的分泌液都属于溶液,食物的消化和吸收、营养物质的运输和转化、代谢废物的排泄等都离不开溶液,临床上许多药物也要配成溶液使用。因此,掌握溶液的基本知识是学习医学科学所必需的。溶液的性质与溶液的组成有关,本章先介绍溶液组成标度的表示方法,再讨论溶液的渗透压力。

第一节 溶液组成标度的表示方法

溶液的组成标度是指溶液中各成分的相对含量。

一、物质的量和物质的量浓度

(一) 物质的量

物质的量(amount of substance)是表示物质数量的基本物理量。物质 B 的物质的量用符号 n_B 表示。物质的量的基本单位是摩尔(mole),单位符号为 mol。此外,还可使用倍数单位千摩尔(kmol)、毫摩尔(mmol)和微摩尔(μmol)等表示。

摩尔的定义:摩尔是一系统的物质的量,该系统中所包含的基本单元(elementary entity)数目与 $0.012\text{kg}^{12}\text{C}$ 的原子数目相等。在使用物质的量及其单位摩尔时,应注意:

- ① 摩尔是物质的量的单位,不是质量(mass)的单位。
- ② 在使用物质的量时,基本单元必须同时指明。基本单元可以是分子、原子、离子、电子及其他粒子或这些粒子的特定组合,应该用粒子符号、物质的化学式或它们的特定组合表示。例如,我们可以说 H 、 H_2 、 H_2O 、 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ 、 $\frac{1}{5}(\text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2)$ 等的物质的量。但是,如果说硫酸的物质的量,含义就不清了,因为没有指明基本单元的化学式,它可能是 H_2SO_4 、也可能是 $\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$ 的物质的量。

基本单元确定后,物质 B 的物质的量 n_B 就可以通过该物质的质量和摩尔质量(molar mass)来求算。物质 B 的摩尔质量 M_B 定义为 B 的质量 m_B 除以 B 的物质的量 n_B ,即

$$M_B = \frac{m_B}{n_B} \quad (1-1)$$

摩尔质量的单位为千克每摩($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。当以克每摩($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)为单位时,某原子的摩尔质量的数值等于其相对原子质量 A_r ,某分子的摩尔质量的数值等于其相对分子质量 M_r 。相对原子质量和相对分子质量的量纲是一。

在使用摩尔质量时,必须指明基本单元,如 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) =$

$49\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

由(1-1)得

$$n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad (1-2)$$

例 1-1 计算 4.0g 氢氧化钠的物质的量。

(1) 以 NaOH 为基本单元;

(2) 以 $\frac{1}{2}\text{NaOH}$ 为基本单元。

解 (1) $m(\text{NaOH}) = 4.0\text{g}$ $M(\text{NaOH}) = 40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{NaOH})}{M(\text{NaOH})} = \frac{4.0\text{g}}{40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.10\text{mol}$$

(2) $m(\frac{1}{2}\text{NaOH}) = 4.0\text{g}$ $M(\frac{1}{2}\text{NaOH}) = \frac{1}{2}M(\text{NaOH}) = 20\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$n(\frac{1}{2}\text{NaOH}) = \frac{m(\frac{1}{2}\text{NaOH})}{M(\frac{1}{2}\text{NaOH})} = \frac{4.0\text{g}}{20\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.20\text{mol}$$

从上述计算结果可知,同一系统的物质,基本单元不同时,物质的量也不同

$$n(\frac{1}{2}\text{NaOH}) = 2n(\text{NaOH})$$

(二) 物质的量浓度

物质的量浓度(amount of substance concentration), 简称为浓度(concentration), 用符号 c_B 表示, 定义为溶质的物质的量除以溶液的体积, 即

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (1-3)$$

式中 c_B 为物质 B 的物质的量浓度, n_B 为溶质 B 的物质的量, V 是溶液的体积。

物质的量浓度的 SI 单位是摩尔每立方米($\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$), 但常用的单位为摩尔每立方分米($\text{mol} \cdot \text{dm}^{-3}$)或摩尔每升($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)、毫摩尔每升($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)和微摩尔每升($\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)等。

在使用物质的量浓度时, 必须指明物质 B 的基本单元。例如 $c(\text{HCl}) = 0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\frac{1}{5}\text{KMnO}_4) = 0.20\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

例 1-2 正常人血浆中每 100mL 含葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 100mg 、 HCO_3^- 164.7mg 、 Ca^{2+} 10mg , 它们的物质的量浓度(单位 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)各为多少?

解 已知 $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{HCO}_3^-) = 61\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{Ca}^{2+}) = 40\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{100\text{mg}}{180\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} \times \frac{1000\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}}{100\text{mL}} = 5.6\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{HCO}_3^-) = \frac{164.7\text{mg}}{61\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} \times \frac{1000\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}}{100\text{mL}} = 27\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\text{Ca}^{2+}) = \frac{10\text{mg}}{40\text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}} \times \frac{1000\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}}{100\text{mL}} = 2.5\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

二、质量浓度

质量浓度(mass concentration)用符号 ρ_B 表示。定义为溶质 B 的质量除以溶液的体积, 即

$$\rho_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m_B}{V} \quad (1-4)$$

式中 m_B 为溶质 B 的质量, V 是溶液的体积。质量浓度常用的单位为克每升或毫克每升, 符号为 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

物质 B 的质量浓度 ρ_B 与 B 的浓度 c_B 之间的关系为

$$\rho_B = c_B M_B \quad (1-5)$$

式中 M_B 是溶质 B 的摩尔质量。

例 1-3 临床使用的乳酸钠($\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}$)溶液质量浓度为 $18.7 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 试求该溶液的浓度 $c(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})$, 以 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 为单位。

解 已知 $M(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) = 112 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则该乳酸钠溶液的浓度为

$$\begin{aligned} c(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na}) &= \frac{\rho(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})}{M(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3\text{Na})} = \frac{18.7 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{112 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} \times 1000 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 167 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

例 1-4 100mL 生理盐水中含 0.90 g NaCl, 试计算生理盐水的质量浓度和浓度。

解 生理盐水的质量浓度为

$$\rho(\text{NaCl}) = \frac{m(\text{NaCl})}{V} = \frac{0.90 \text{g}}{0.10 \text{L}} = 9.0 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

NaCl 的摩尔质量为 $58.5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 生理盐水的浓度为

$$c(\text{NaCl}) = \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{9.0 \text{g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.15 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

三、质量分数

质量分数(mass fraction)用符号 ω_B 表示, 定义为物质 B 的质量除以混合物的质量, 即

$$\omega_B \stackrel{\text{def}}{=} \frac{m_B}{\sum_i m_i} \quad (1-6)$$

式中 m_B 为物质 B 的质量, $\sum_i m_i$ 为混合物的质量。

ω_B 为量纲一的量, 其 SI 单位为 1。

对于溶液而言, 溶质 B 和溶剂 A 的质量分数分别为

$$\omega_B = \frac{m_B}{m_A + m_B} \quad \omega_A = \frac{m_A}{m_A + m_B}$$

式中 m_A 为溶剂 A 的质量, m_B 为溶质 B 的质量。

显然

$$\omega_A + \omega_B = 1$$

例 1-5 将 100g 蔗糖溶于水配制成 500g 溶液, 计算该溶液中蔗糖的质量分数。

解 该溶液中蔗糖的质量分数为

$$\omega(\text{蔗糖}) = \frac{m(\text{蔗糖})}{m(\text{溶液})} = \frac{100 \text{g}}{500 \text{g}} = 0.2$$

例 1-6 市售浓硫酸的密度为 $1.84 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, 质量分数为 96%, 试求该溶液的 $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 和 $c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)$ 。

解 $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ $M(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 49 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{(1.84 \times 1000) \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.96}{98 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 18 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{(1.84 \times 1000) \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 0.96}{49 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 36 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

从上述计算结果可知

$$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 2c(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

第二节 溶液的渗透压力

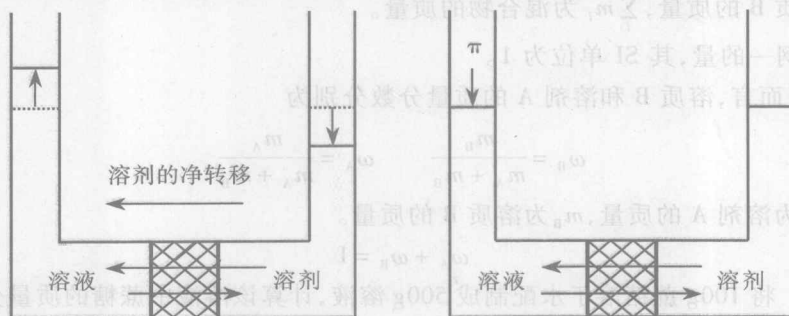
溶质溶解在溶剂中形成溶液, 溶解作用使溶质和溶剂的性质都发生了变化。溶液的性质可分为两类: 一类决定于溶质的本性, 如溶液的颜色、体积、导电性和表面张力等; 另一类与溶质的本性无关, 主要取决于溶液中所含溶质微粒数的多少, 如溶液的蒸气压下降、沸点升高、凝固点降低以及渗透压力等, 这类性质具有一定的规律性, 但其变化规律只适用于稀溶液, 所以统称为稀溶液的依数性 (colligative property of dilute solution)。

稀溶液的依数性, 对细胞内外物质的交换和运输、临床输液、水及电解质代谢等问题具有一定的理论指导意义。本节主要介绍难挥发性非电解质稀溶液的渗透压力。

一、渗透现象和渗透压力

物质从高浓度区域向低浓度区域的自动迁移过程叫扩散 (diffusion)。

若用一种半透膜 (semi-permeable membrane) 把蔗糖溶液和纯水隔开, 如图 1-1(a) 所示。半透膜只允许某些物质透过, 而不允许另一些物质透过, 用一种只允许水分子自由透过而蔗糖分子不能透过的半透膜将蔗糖溶液与纯水隔开, 使其液面在同一水平上。一段时间后, 可以看到蔗糖溶液一侧液面上升, 说明水分子不断地通过半透膜从纯水转移到蔗糖溶液中。这种溶剂分子透过半透膜进入溶液的过程称为渗透作用, 简称渗透 (osmosis)。



(a) 渗透现象

(b) 渗透压力

图 1-1 渗透现象与渗透压力

渗透现象的产生,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的溶剂分子数要比由溶液进入纯溶剂的溶剂分子数多,膜两侧渗透速度不同,其结果是溶液一侧的液面上升。因此,渗透现象的产生必须具备两个条件:一是有半透膜存在;二是膜两侧单位体积内溶剂分子数不相等。由此可知,渗透现象不仅在溶液和纯溶剂之间可以发生,在浓度不同的两种溶液之间也可以发生。渗透的方向总是溶剂分子从纯溶剂向溶液或是从稀溶液向浓溶液进行渗透。

由于渗透作用,在上述实验过程中蔗糖溶液的液面上升,随着溶液液面的升高,静水压增大,水分子从溶液进入纯水的速度加快。当静水压增大至一定值后,单位时间内从膜两侧透过的溶剂分子数相等,渗透作用达到平衡,称为渗透平衡。

如图 1-1(b) 所示,为了使渗透现象不发生,必须在溶液液面上施加额外的压力。国家标准规定:为维持只允许溶剂分子通过的膜所隔开的溶液与溶剂之间的渗透平衡而需要的额外压力等于渗透压力(osmotic pressure)。渗透压力用符号 Π 表示,单位为帕(Pa)或千帕(kPa)。如果被半透膜隔开的是两种不同浓度的溶液,为阻止渗透现象发生,应在浓溶液液面上施加额外压力,此压力既不等于浓溶液的渗透压力,也不等于稀溶液的渗透压力,而是浓溶液与稀溶液的渗透压力之差。

二、溶液的渗透压力与浓度及温度的关系

1886 年,荷兰物理学家范特荷甫(Van't Hoff)提出:难挥发性非电解质稀溶液的渗透压力可用与理想气体状态方程相似的方程表示。

$$\Pi V = n_B RT \quad (1-7)$$

$$\Pi = c_B RT \quad (1-8)$$

上式称为 Van't Hoff 公式,式中 Π 为溶液的渗透压力(kPa); n_B 为溶液中溶质的物质的量(mol); V 是溶液的体积(L); c_B 为溶液的物质的量浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); T 为绝对温度(K); R 为气体常数($8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

范特荷甫公式的意义:在一定温度下,稀溶液渗透压力的大小仅与单位体积溶液中溶质微粒数的多少有关,而与溶质的本性无关。因此,渗透压力也是稀溶液的一种依数性。

例 1-7 将 2.00g 蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)溶于水,配制成 50.0mL 溶液,求溶液在 37℃ 时的渗透压力。

解 已知 $M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

溶液的浓度为

$$c(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{2.00 \text{ g}}{342 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.05 \text{ L}} = 0.117 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

溶液在 37℃ 时的渗透压力

$$\Pi = 0.117 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 310 \text{ K} = 302 \text{ kPa}$$

范特荷甫公式只适用于难挥发性非电解质的稀溶液。由于电解质在溶液中发生解离,单位体积溶液中溶质的微粒(分子和离子)数比相同浓度的非电解质溶液多,电解质稀溶液依数性的实验测定值与理论计算值之间存在着较大的偏差。因此,在计算电解质稀溶液的渗透压力时,其公式中应引入一个校正因子 i 。

$$\Pi = i c_B RT \quad (1-9)$$

校正因子 i 的数值,严格说来应由实验测得,但由于强电解质在溶液中完全解离,则 i 值就近

似等于一“分子”电解质解离出的粒子个数。例如,AB 型强电解质(KCl 、 CaSO_4 、 NaHCO_3 等)及 AB_2 或 A_2B 型强电解质(MgCl_2 、 Na_2SO_4 等)的校正因子 i 分别为 2 和 3。

例 1-8 临床上常用的生理盐水是 $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液,求该溶液在 310K 时的渗透压力。

解 NaCl 在稀溶液中完全解离, $i = 2$, $M(\text{NaCl}) = 58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则

$$\Pi = ic(\text{NaCl})RT = \frac{2 \times 9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 310\text{K}}{58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 7.9 \times 10^2 \text{kPa}$$

三、渗透压力在医学上的意义

(一) 渗透浓度

稀溶液的渗透压力属于溶液的依数性,它仅与溶液中溶质粒子的浓度有关,而与溶质的本性无关。我们把溶液中能产生渗透效应的溶质粒子(分子、离子等)统称为渗透活性物质。渗透活性物质的物质的量除以溶液的体积称为溶液的渗透浓度(osmolarity),用符号 c_{os} 表示,单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。根据范特荷甫定律,在一定温度下,对于任一稀溶液,其渗透压力与溶液的渗透浓度成正比。因此,医学上常用渗透浓度来比较溶液渗透压力的大小。

例 1-9 计算 $50.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液、生理盐水和 $12.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液的渗透浓度(用 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 表示)。

解 $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $50.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液的渗透浓度为

$$c_{os} = \frac{50.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}}{180\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 278\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$M(\text{NaCl}) = 58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 生理盐水的渗透浓度为

$$c_{os} = 2 \times \frac{9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}}{58.5\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 308\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$M(\text{NaHCO}_3) = 84\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $12.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液的渗透浓度为

$$c_{os} = 2 \times \frac{12.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1} \times 1000\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}}{84\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 298\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

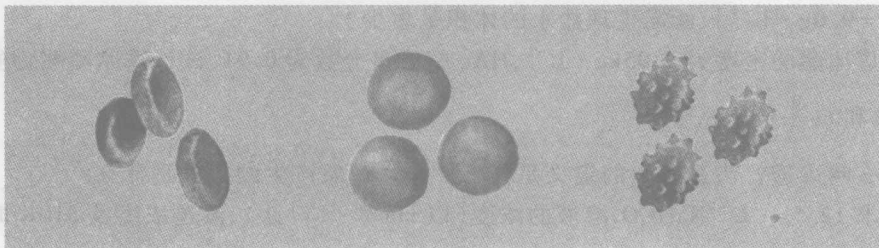
(二) 等渗、低渗和高渗溶液

渗透压力相等的溶液称为等渗溶液(isotonic solution)。渗透压力不相等的溶液,相对而言,渗透压力高的称为高渗溶液(hypertonic solution),渗透压力低的则称为低渗溶液(hypotonic solution)。

在临床医学上,溶液的等渗、低渗和高渗是以血浆的渗透压力为标准来衡量的。正常人血浆的渗透浓度为 $303.7\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 所以临床上规定,凡渗透浓度在 $280 \sim 320\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内的溶液称为等渗溶液;渗透浓度低于 $280\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为低渗溶液;渗透浓度高于 $320\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为高渗溶液。生理盐水和 $12.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaHCO_3 溶液是临床上常用的等渗溶液。但是,在实际应用时,个别略低于或略高于此范围的溶液,在临床上也看做是等渗溶液,如 $50.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖溶液和 $18.7\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乳酸钠溶液。

体液渗透压力的恒定是维持细胞正常状态和人体生理功能的必要条件。临床为病人大量补液时,一般要用等渗溶液。若输入过量低渗溶液,就会使红细胞逐渐膨胀,甚至破裂出

现“溶血”现象[图 1-2(b)],若输入过量高渗溶液,就会使红细胞皱缩,皱缩的细胞互相聚集成团,此现象若发生于血管内,将会产生“栓塞”[图 1-2(c)]。无论是溶血还是栓塞,都将产生不良后果,甚至危及生命。但有时也会用到高渗溶液,如在抢救脑水肿病人时。



(a) $9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液 (b) $<9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液 (c) $>9.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液

图 1-2 红细胞在不同浓度 NaCl 溶液中的形态变化

(三) 晶体渗透压力和胶体渗透压力

在血浆等生物体液中含有电解质(如 NaCl 、 KCl 、 NaHCO_3 等)、小分子物质(如葡萄糖、尿素、氨基酸等)以及高分子物质(如蛋白质、核酸等)等。在医学上,习惯把电解质和小分子物质统称为晶体物质,它们所产生的渗透压力称为晶体渗透压力(crystal osmotic pressure);把高分子物质称为胶体物质,它们所产生的渗透压力称为胶体渗透压力(colloidal osmotic pressure)。血浆中胶体物质的含量(约为 $70\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)虽高于晶体物质的含量(约为 $7.5\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$),但是晶体物质的分子量小,而且其中的电解质可以解离,单位体积血浆中的微粒数较多,而胶体物质的分子量很大,单位体积血浆中的微粒数少,因此,人体血浆的渗透压力主要是由晶体物质产生的。如 310K 时,血浆的总渗透压力约为 $7.7 \times 10^2 \text{kPa}$,其中胶体渗透压力仅为 $2.9 \sim 4.0 \text{kPa}$ 。

由于人体内各种半透膜的通透性不同,晶体渗透压力和胶体渗透压力在维持体内水、盐平衡功能上也各不相同。

晶体渗透压力对维持细胞内、外的水盐平衡起主要作用。如果由于某种原因引起人体内缺水,则细胞外液中盐的浓度将相对升高,晶体渗透压力增大,于是细胞内液的水分子透过细胞膜向细胞外液渗透,造成细胞内失水。若大量饮水或输入过多葡萄糖溶液,则使细胞外液中盐的浓度降低,晶体渗透压力减小,细胞外液中的水分子就向细胞内液中渗透,严重时可产生水中毒。向高温作业者供给盐汽水,就是为了维持细胞外液晶体渗透压力的恒定。

胶体渗透压力虽然很小,却对维持毛细血管内外的水盐平衡起主要作用。如果由于某种疾病造成血浆蛋白质减少时,则血浆的胶体渗透压力降低,血浆中的水和盐等小分子物质就会透过毛细血管壁进入组织间液,严重时会造成水肿。因此,临床上对大面积烧伤或失血的病人,除补给电解质溶液外,还要输给血浆或右旋糖酐等代血浆,以恢复血浆的胶体渗透压力。

习 题

1. 求 10g NaOH 、 $100\text{g}(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 的物质的量。
2. 将 5.0g NaOH 溶于水,配成 500mL 溶液,试求该溶液的 $\rho(\text{NaOH})$ 和 $c(\text{NaOH})$ 。

3. 静脉注射用 KCl 溶液的极限质量浓度为 $2.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, 如果在 250 mL 葡萄糖溶液中加入 1 安瓿 (10 mL) $100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ KCl 溶液, 所得混合溶液中 KCl 的质量浓度是否超过了极限值?

4. 某患者需补充 Na^+ 0.050 mol , 应补充 NaCl 的质量是多少? 若用生理盐水补充 [$\rho(\text{NaCl}) = 9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$], 所需生理盐水的体积是多少?

5. 市售冰醋酸密度为 $1.05 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$, HAc 的质量分数为 0.91, 试计算冰醋酸物质的量浓度 $c(\text{HAc})$ 和 $c(\frac{1}{2}\text{HAc})$ 。

6. 什么叫渗透? 渗透压力的定义是什么? 渗透现象产生的条件是什么?

7. 试求 $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3$ 溶液的浓度 (以 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 计)、渗透浓度及 310 K 时的渗透压力。

8. 某海水中含盐总计约相当于 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液, 设温度为 300 K, 求此海水的渗透压力。

9. 排出下列稀溶液在 310 K 时, 渗透压力由大到小的顺序

(1) $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(2) $c(\text{NaCl}) = 0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

(3) $c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.20 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

10. 计算 $11.1 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$ 溶液的渗透浓度。若将红细胞置于此溶液中, 试问红细胞形态如何?

11. 下列四对溶液用半透膜隔开, 判断其溶剂的渗透方向, 并说明理由。

(1) $90 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖和 $90 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖溶液;

(2) $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖和 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 蔗糖溶液;

(3) $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖和 $0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 溶液;

(4) $0.4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaCl 和 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{CaCl}_2$ 溶液。

12. 生理盐水 ($9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 NaCl 溶液)、 $50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的葡萄糖 ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 溶液、 $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的碳酸氢钠 (NaHCO_3) 溶液和 $18.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的乳酸钠 ($\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$) 溶液均为临床上常用的等渗溶液。现取其体积, 按下列配方配成三种混合液

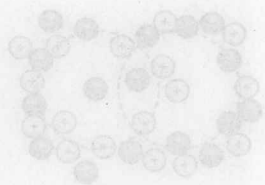
(1) $\frac{1}{2}(50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) + \frac{1}{2}(\text{生理盐水})$

(2) $\frac{1}{3}(18.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3) + \frac{2}{3}(\text{生理盐水})$

(3) $\frac{1}{3}(12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \text{NaHCO}_3) + \frac{2}{3}(\text{生理盐水})$

通过计算试回答上述三种混合液是等渗、低渗还是高渗溶液?

(姚建华)



第二章 电解质溶液

自然界中,许多化学反应是在水溶液中进行的,通常把在水溶液中或在熔融状态下具有导电能力的化合物称为电解质(electrolyte),这些化合物的水溶液称为电解质溶液。

人体中电解质多以离子的形式存在于体液和组织液中,如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 、 HPO_4^{2-} 、 H_2PO_4^- 、 SO_4^{2-} 等,它们对神经、肌肉等组织的生理、生化功能起着重要的作用。因此,学习有关电解质溶液的基本理论、基本特性和变化规律对学习医学科学是必要的。

第一节 强电解质溶液理论

一、强电解质和弱电解质

一般将电解质分为强电解质和弱电解质两类。在水溶液中能够完全解离成离子的电解质称强电解质(strong electrolyte),如 KCl 、 Na_2SO_4 等物质。在水溶液中只能部分解离成离子的电解质称弱电解质(weak electrolyte)。如 HAc 、 $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 等物质,在水溶液中只有很少部分解离成离子,大部分还是以中性分子的形式存在于溶液中。在溶液中建立着一个动态的解离平衡。如 HAc 的解离



电解质的解离程度可以定量地用解离度来表示,解离度 α (degree of dissociation) 是指在一定温度下,电解质达到解离平衡时,已解离的分子数和原有的分子总数之比。

$$\alpha = \frac{\text{已解离的分子数}}{\text{原有分子总数}} \times 100\% \quad (2-1)$$

通常用解离度的大小来比较电解质的相对强弱,在 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的电解质溶液中解离度大于 30% 的称为强电解质,解离度小于 5% 的称为弱电解质,而解离度介于 5% ~ 30% 的称为中强电解质。

在理论上,强电解质在水中的解离度应为 100%,然而导电性实验测得的解离度却小于 100%,见表 2-1 所示。

表 2-1 几种强电解质的表观解离度 (25°C , $0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$)

电解质	HCl	HNO_3	H_2SO_4	NaOH	KCl	ZnSO_4
表观电离度 (%)	92	92	61	91	86	40

如何解释这种相互矛盾的现象?

二、离子互吸理论

1923 年 Debye P 和 Hückel E 提出了电解质离子互吸理论(ion interaction theory)。其理