

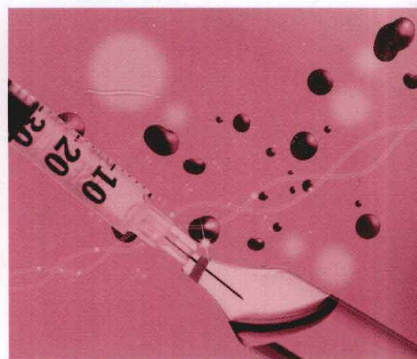
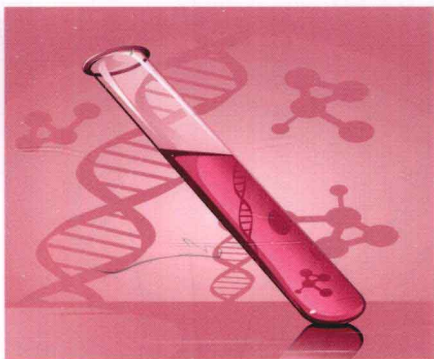
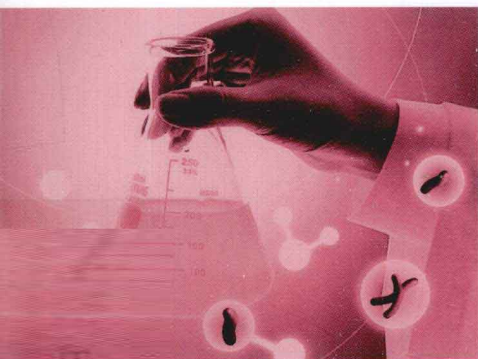


21世纪高等医学院校规划教材

YIYONG HUAXUE

医用化学

主 编 黄勤安 吴运军
副主编 王伟军 夏小庆



中国科学技术大学出版社



教育部推荐教材

YIYONG HUAXUE

医用化学

第三版



21 世纪高等医学院校规划教材

医 用 化 学

主 编 黄勤安 吴运军
副主编 王伟军 夏小庆
编 委 (以姓氏笔画为序)

王少印	王伟军	冯老君
冯德香	李祥子	吴运军
汪美芳	谷晓霞	陈结霞
夏小庆	凌云云	黄勤安
尉 艳		

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

医用化学是医学专业的公共基础课程,其主要任务是为学习后续医学课程奠定基础。本教材以应用为目的,以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用为原则,将“基础化学”与“有机化学”的主体内容融为一体,以适应医学院校教学所需。

全书分基础化学和有机化学两大部分,共16章。主要包括:绪论;溶液;电解质溶液;化学反应速率;氧化还原反应与电极电位;原子结构、现代价键理论及分子间力;配位化合物;有机概述;烃及卤代烃;醇、酚、醚;对映异构;醛、酮;羧酸和取代羧酸;脂类;含氮有机化合物;糖类。

图书在版编目(CIP)数据

医用化学/黄勤安,吴运军主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-312-02882-3

I. 医… II. ①黄… ②吴… III. 医用化学—医学院校—教材 IV. R313

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 114943 号

出版发行:中国科学技术大学出版社

地址:安徽省合肥市金寨路 96 号,邮政编码:230026

网址:<http://press.ustc.edu.cn>

电话:发行部 0551-3602905 邮购部 0551-3602906

印 刷:合肥现代印务有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:787 mm×1092 mm 1/16

印 张:13.5

字 数:330 千

版 次:2011 年 8 月第 1 版

印 次:2011 年 8 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:26.00 元

前 言

医用化学是医学专业的公共基础课程,其中心任务是为学习后续医学课程奠定基础。医学院校医用化学课程主要包括“基础化学”和“有机化学”两部分,除全国统编、部颁教材外,可供参考的版本很多。随着高等医学教育的快速发展,医学院校所设专业也愈加细化,生源也不仅仅限于理科毕业的学生,如护理专业本科往往是文理科生源合班上课。因此,选择合适的化学教材,尤其是在学时有限的情况下完成医用化学基础课教学任务成了我们需要思考和解决的问题,但目前尚无适合此类学生使用的合适教材。

本教材以应用为目的,以必需、够用为度,以掌握概念、强化应用为原则,将基础化学与有机化学的主体内容融为一体,以便在一学期之内完成教学任务。为了满足文科生源的学习需要,我们特别结合中学知识编写了原子结构、现代价键理论及分子间力等内容,以便学生能更好地把握基础知识,顺利进入有机化学部分的学习。

为了帮助学生复习,本书在每一章末均设有本章小结和相应的习题,供学生参考和复习。

与生物化学交叉的内容,如氨基酸、蛋白质、核酸等,本教材不再重复编写。

本教材适用于学时有限的临床医学、口腔、影像、麻醉、预防以及文理科生源的护理等专业。为了保证教材的相对系统性,共编写了16章,有些章节可作为学生自学内容。

本书由皖南医学院化学教研室集体编写。黄勤安、吴运军担任主编;王伟军、夏小庆担任副主编;参加编写的有冯志君、谷晓霞、尉艳、李祥子、汪美芳、冯德香、陈结霞、王少印、凌云云,全书由黄勤安负责统稿。

由于编者的水平有限,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请读者在使用过程中予以指正。

编 者

2011年5月

目 录

前 言	(I)
第一章 绪论	(1)
第二章 溶液	(3)
第一节 溶液的组成标度	(3)
第二节 溶液的渗透压力	(5)
本章小结	(9)
习题	(10)
第三章 电解质溶液	(11)
第一节 弱电解质在溶液中的解离	(11)
第二节 酸碱质子理论	(12)
第三节 水溶液的酸碱性及 pH 值的计算	(14)
第四节 缓冲溶液	(18)
本章小结	(25)
习题	(26)
第四章 化学反应速率	(27)
第一节 化学反应速率	(27)
第二节 影响化学反应速率的因素	(32)
本章小结	(38)
习题	(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	(40)
第二节 原电池及电极电位	(43)
第三节 能斯特方程及影响电极电位的因素	(50)
第四节 电位法测定溶液的 pH 值	(54)
本章小结	(56)
习题	(57)
第六章 原子结构、现代价键理论及分子间力	(58)
第一节 原子结构	(58)
第二节 现代价键理论	(60)
第三节 分子间作用力	(63)
本章小结	(67)
习题	(68)
第七章 配位化合物	(69)
第一节 配合物的基本概念	(69)
第二节 配位平衡	(73)
第三节 螯合物	(77)

第四节 配合物在医学上的意义	(79)
本章小结	(81)
习题	(81)
第八章 有机概述	(83)
第一节 有机化学及有机化合物	(83)
第二节 有机化合物的结构理论	(83)
第三节 共价键属性	(86)
第四节 共价键断裂方式及有机反应类型	(90)
第五节 有机化合物结构的书写及有机化合物分类	(91)
本章小结	(93)
习题	(94)
第九章 烃及卤代烃	(95)
第一节 烷烃和环烷烃	(95)
第二节 烯烃、二烯烃和炔烃	(103)
第三节 芳香烃	(111)
第四节 卤代烃	(118)
本章小结	(120)
习题	(121)
第十章 醇、酚、醚	(123)
第一节 醇	(123)
第二节 酚	(127)
第三节 醚	(129)
本章小结	(131)
习题	(133)
第十一章 对映异构	(135)
第一节 旋光性	(135)
第二节 旋光性与物质结构的关系——手性	(137)
第三节 对映体及 Fischer 投影式	(138)
第四节 对映体构型标记	(139)
第五节 对映异构体数目	(141)
第六节 手性分子的形成和生物作用	(142)
本章小结	(144)
习题	(144)
第十二章 醛、酮	(146)
第一节 醛、酮的结构、分类和命名	(146)
第二节 醛、酮的理化性质	(147)
本章小结	(151)
习题	(152)

第十三章 羧酸和取代羧酸	(153)
第一节 羧酸	(153)
第二节 取代羧酸	(156)
第三节 羧酸衍生物	(159)
本章小结	(161)
习题	(161)
第十四章 脂类	(163)
第一节 油脂	(163)
第二节 磷脂	(165)
第三节 甾族化合物	(167)
本章小结	(170)
习题	(170)
第十五章 含氮有机化合物	(171)
第一节 胺	(171)
第二节 酰胺	(178)
第三节 含氮杂环化合物	(180)
本章小结	(187)
习题	(188)
第十六章 糖类	(190)
第一节 单糖	(190)
第二节 低聚糖	(198)
第三节 多糖	(201)
本章小结	(204)
习题	(204)
参考文献	(206)

第一章 绪 论

化学是一门在原子、分子层次上研究物质的组成、结构、性质及变化规律的科学。作为一门认识自然和改造自然的独立的基本学科,化学的发展极其迅猛。现代物理学、数学、生物学、计算机等的发展,为化学学科发展创造了大量有利的条件和机遇,化学与其他学科的联系日益密切,这种学科的交叉与渗透使化学为农业、电子学、生物学、药学、环境科学、计算机科学、工程学、地质学、物理学、能源开发、新材料的合成等众多领域作出了重大贡献。因此,人们把化学称为“21 世纪的中心学科”。

一、化学与医学的关系

医学的任务是研究人体的生理和病理现象,而与此相关的人体代谢作用又与人体内的化学变化密切相关。医学的发展与进步离不开化学,纵观医药发展历史,如磺胺类药物、普鲁卡因等局麻药物的发现和发展,都毫无例外地表明医学与化学的亲缘关系。现代医学与化学的关系更加密切,人体各种复杂的代谢及生化反应都遵循化学反应的基本原理和规律。因此,只有掌握了一定的化学知识才能对临床中的生理和病理现象有更深入的理解。例如,临床上给病人输液,一般用等渗溶液,这与溶液的渗透压有关,如果使用大量高渗或低渗溶液,将会给病人造成严重后果;有毒物质在人体内引起的中毒现象也与化学有关,如误饮甲醇会造成机体中毒,双目失明,其主要原因是甲醇进入人体后能迅速被肝脏中的酒精脱氢酶氧化成甲醛,甲醛会干扰人体内蛋白质的功能,导致双目失明甚至死亡;临床上护理专业还会碰到诸如药物配伍禁忌的问题,更是化学因素在不同药物之间影响的体现。另外,在医学的诊断和治疗、临床检验方面同样离不开化学原理,如血糖、尿糖的测定,蛋白质的分离与鉴定等等。治疗用的药物是化学物质,只有掌握药物的组成、结构、性质才能理解其药理作用。在卫生防疫和卫生检验中的水质分析、食品质量检查、劳动卫生和环境卫生检验等,也都和化学有关。放射性同位素在医学上的广泛应用,更密切了医学和化学的关系。随着医学科学的发展,对遗传、变异、疾病、死亡等生命过程的探索越来越显示出医学和化学的密切关系。由此可见,掌握化学知识对后期医学专业课程的学习至关重要。因此,在世界各国的医学教育中都将化学作为一门重要的基础课。

二、医用化学的内容及特点

化学的研究对象是自然界中各种各样的物质,按研究对象和目的的不同,化学分为无机化学、有机化学、分析化学和物理化学等学科。进入 20 世纪以来,化学的理论、研究方法和实验技术都发生了深刻变化,在原有的四大学科基础上又与其他学科交叉形成多种边缘学科,如环境化学、食品化学、药物化学、农业化学、结构化学、量子化学、生物无机化学、分子化学、核化学和放射化学等等。而医用化学则是根据医学相关各专业的需要,按照化学的系统组织起来而形成的一门学科,具有以下几方面的特点:

(1) 在内容的选择上体现为相关医学专业服务,与医学人才培养目标相匹配,以必需、够用为度。

(2) 化学知识与医学密切联系。例如,原子结构与化学键等知识,其理论属于化学范畴,乍一看与医学的联系不大,但它是后续的生物化学、生理及临床等课程的基础。因为随着科学技

术的进步,现代医学已逐渐发展到分子水平。例如,由于化学家对生物大分子(主要是核酸和蛋白质)的认识取得了突破,由此形成了一门新兴的学科——分子生物学。分子生物学的形成和发展,对医学乃至整个生命科学都产生了重大影响。

(3) 医用化学包括基础化学和有机化学两大部分,涉及面广,理论性强,学习起来有一定的难度,必须下工夫才能全面、扎实地掌握。

三、对学好医用化学的建议

大学学习与高中学习有很大的差别,主要是内容多,课堂授课容量大,要求学生有较强的接受能力和独立思考能力,学生需要尽快适应新的要求,调整学习方法。首先,做好听课前的充分预习,对即将要学习的内容有一定的了解,什么是难点,什么是自己概念模糊不能理解的,以便带着问题听课,掌握学习的主动权;上课专心听讲,积极思考,跟上教师的思路,注意教师设疑、释疑、分析问题和解决问题的方法,课堂上学会适当做笔记,以便课后复习和思考;课下认真阅读教材,加深理解,对大量的新知识及时消化吸收。其次,注意归纳对比,学会总结,切忌死记硬背,并将不能理解的知识与教师沟通,勤学多练多问。再次,注意养成良好的自学习惯,为终生学习奠定坚实基础。本教材在编写时特别注意了知识的衔接和延伸,同时对难度较大的理论问题的阐述做到深入浅出、细致明了,以适合学生自学。最后,还要强调的是,实验课是医用化学的重要组成部分,学习科学实验方法和培养动手能力是培养创造性思维和科学探索精神的重要途径,要重视实验的规范操作,从而增强动手能力和独立工作的能力,逐步建立起严谨的科学态度和科学的思维方法,为从事医学研究奠定良好基础。

(王伟军、黄勤安)

第二章 溶 液

溶液是由溶质和溶剂两部分组成的分散系统。溶液与人类的生产活动、医药卫生及生命过程的关系十分密切。人体内的体液如血液、组织间液、淋巴液以及各种腺体的分泌液等都是溶液。人体的体液不仅有一定的成分、分布,而且还有一定的含量,这对于维持人体的正常生理功能十分重要。临床上给患者大量补液时要特别注意溶液的浓度,如果浓度不当,就会产生不良后果,甚至危及生命,这和溶液的渗透压力密切相关。因此,对一名医务工作者来说,学习溶液组成标度和溶液渗透压力的有关知识非常必要。

第一节 溶液的组成标度

溶液的组成标度是指一定量的溶剂或溶液中所含溶质的量。表示溶液组成标度的方法有很多,根据世界卫生组织提议:凡是相对分子质量已知的物质在体内的含量,都用物质的量浓度表示;对于相对分子质量未知或尚未准确测得的物质,则可用质量浓度表示。医学上除了这两种表示方法之外,有时还用质量分数和体积分数表示。

一、物质的量浓度

物质的量浓度简称浓度,用符号 c_B 表示,定义为物质 B 的物质的量 n_B 除以溶液的体积 V ,即

$$c_B = \frac{n_B}{V} \quad (2.1)$$

c_B 的 SI 单位是 $\text{mol} \cdot \text{m}^{-3}$, 由于立方米的单位太大,医学上常用的单位是 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 等。

在使用物质的量浓度时,必须指明物质的基本单元,基本单元可以是原子、分子、离子或这些粒子的特定组合体。基本单元用化学符号表示。例如:

$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 表示每升溶液中含 $0.1 \text{ mol}(\text{H}_2\text{SO}_4)$;

$c(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.2 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 表示每升溶液中含 $0.2 \text{ mol}(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)$;

$c(\text{Na}^+) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 表示每升溶液中含 $0.01 \text{ mol}(\text{Na}^+)$ 。

B 的物质的量 n_B 与 B 的质量 m_B 、摩尔质量 M_B 之间的关系为:

$$n_B = \frac{m_B}{M_B} \quad (2.2)$$

【例 2-1】 某人每 100 mL 血清中含 10 mg Ca^{2+} , 计算血清中 Ca^{2+} 的物质的量浓度。

解:根据式(2.1)和式(2.2)可得:

$$\begin{aligned} c(\text{Ca}^{2+}) &= \frac{n(\text{Ca}^{2+})}{V} = \frac{m(\text{Ca}^{2+})/M(\text{Ca}^{2+})}{V} \\ &= \frac{0.010 \text{ g}/40 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}}{0.10 \text{ L}} \\ &= 0.0025 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

二、质量浓度

物质的质量浓度用符号 ρ_B 表示, 它的定义为物质 B 的质量 m_B 除以溶液的体积 V 。

$$\rho_B = \frac{m_B}{V} \quad (2.3)$$

ρ_B 的 SI 单位是 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, 医学上常用的单位是 $\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。质量浓度单位中表示质量的单位可以改变, 但表示体积的单位一般用升, 不能改变。根据世界卫生组织提议: 在注射液的标签上, 应同时写明质量浓度和物质的量浓度, 如静脉注射用的生理盐水 $\rho(\text{NaCl}) = 9 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{NaCl}) = 0.154 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 及葡萄糖注射液 $\rho(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 50 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$, $c(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0.278 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

物质 B 质量浓度 ρ_B 与物质的量浓度 c_B 和摩尔质量 M_B 之间的关系为:

$$\rho_B = c_B \cdot M_B \quad (2.4)$$

【例 2-2】 100 mL 生理盐水中含 0.9 g NaCl, 计算生理盐水的质量浓度和物质的量浓度。

解: 根据式(2.3)得:

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

根据式(2.4)得:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.154 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

三、质量分数和体积分数

1. 质量分数

物质 B 的质量分数用符号 ω_B 表示, 它的定义为 B 的质量 m_B 与溶液的总质量 m 之比。

$$\omega_B = \frac{m_B}{m} \quad (2.5)$$

质量分数无单位, 可以用小数或百分数表示。例如, 市售浓硫酸的质量分数为 0.98 或 98%。

【例 2-3】 将 500 g 蔗糖和 300 g 水, 加热后配制成糖浆, 计算糖浆中蔗糖的质量分数。

解: 根据式(2.5), 该糖浆中蔗糖($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$)的质量分数为:

$$\omega(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{m(\text{溶液})} = \frac{500 \text{ g}}{800 \text{ g}} = 0.625$$

2. 体积分数

物质 B 的体积分数用符号 φ_B 表示, 它的定义为在相同温度和压力时 B 的体积 V_B 与溶液总体积 V 之比。

$$\varphi_B = \frac{V_B}{V} \quad (2.6)$$

体积分数无单位, 可用小数或分数表示。医学上常用体积分数来表示溶质为液体的溶液的组成。例如, 临床用消毒酒精的体积分数为 0.75 (或 75%), 发热患者物理降温用的擦浴酒精的体积分数为 0.36 (或 36%)。

【例 2-4】 消毒酒精的体积分数为 0.75, 现配制 500 mL 这种酒精溶液, 需 95% 酒精多少 mL?

解: 根据稀释定律及式(2.6):

$$500 \text{ mL} \times 0.75 = V \times 95\%$$

$$V=394.7 \text{ mL}$$

量取 95% 酒精 394.7 mL, 加水稀释至 500 mL 即得。

第二节 溶液的渗透压力

一、渗透现象和渗透压力

要了解渗透现象, 需从扩散谈起。在一杯纯水中加入少量的 CuSO_4 溶液, 静置一段时间后, 能够得到一杯颜色均匀的蓝色溶液, 这是 Cu^{2+} 和 SO_4^{2-} 在水中扩散的结果。在盛有浓糖水的杯子的液面上, 小心地加入一层清水, 过一会儿, 上面的水也有甜味了, 最后得到浓度均匀的糖水, 这是蔗糖分子在水中扩散的结果。如果阻止溶质粒子的扩散运动, 会发生什么现象呢?

有一种性质特殊的膜, 它只允许较小的溶剂水分子自由通过, 而较大的溶质分子很难通过, 具有这种特性的膜叫做半透膜, 如鸡蛋膜、动物的肠衣、膀胱膜、细胞膜、毛细血管壁等都是生物半透膜。用亚铁氰化铜处理后的玻璃纸, 只允许溶剂水分子通过, 而不允许溶质分子通过, 具有良好的半透性, 是较为理想的化学半透膜。若用理想的半透膜将蔗糖溶液和纯水隔开, 并使膜两侧的液面在同一水平面上, 如图 2-1(a) 所示, 则可见蔗糖溶液的体积逐渐增大, 液面逐渐上升, 而纯水的体积逐渐缩小, 液面逐渐下降, 直至达到一定高度后, 半透膜两侧的液面不再上升和下降, 如图 2-1(b) 所示。这种溶剂分子从纯水通过半透膜进入溶液的现象称为渗透现象, 简称渗透。

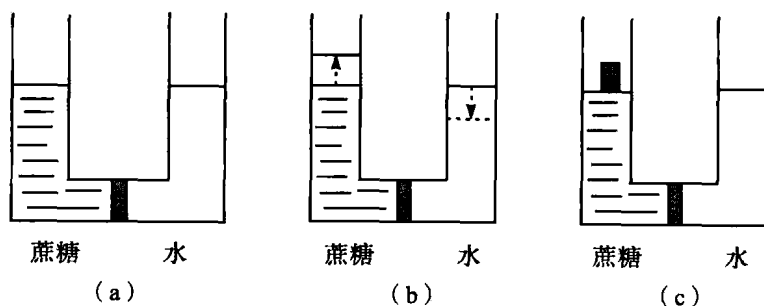


图 2-1 渗透现象与渗透压示意图

产生渗透现象的原因: 在单位体积内, 纯溶剂中的水分子数目比蔗糖溶液中的水分子数目多, 在单位时间内, 从纯溶剂一侧通过半透膜进入溶液一侧的水分子数目比从溶液一侧通过半透膜进入纯溶剂一侧的水分子数目多, 因此会发生渗透现象。当溶液一侧的液面缓缓上升, 而纯溶剂一侧的液面缓缓下降后, 随之产生了与溶剂分子渗透方向相反的静水压, 它能逐步减缓渗透现象的发生。当半透膜两侧的液面差达到一定高度后, 这种静水压能使两侧溶剂分子通过半透膜的速率相等, 即达到了渗透平衡, 液面不再上升。

欲使半透膜两侧液面的高度保持一致, 就必须在溶液的液面上施加一定的额外压力才能实现, 如图 2-1(c) 所示。这种恰好能维持渗透平衡必须额外施加的压力等于溶液的渗透压力。渗透压力用符号 Π 表示, 单位为帕 (Pa) 或千帕 (kPa)。

将两种不同浓度的溶液用半透膜隔开; 稀溶液中的纯溶剂分子同样可以通过半透膜自发地进入到浓溶液中, 当半透膜两侧的液面差达到一定的高度后, 渗透现象才能停止。为了阻止渗透现象发生, 也必须在浓度较高的溶液液面上施加一个额外压力, 但这额外压力应该是两种溶

液的渗透压力之差($\Pi_{\text{浓}} - \Pi_{\text{稀}}$)。

综上所述,产生渗透现象必须具备两个条件:一是半透膜存在;二是半透膜两侧溶液中单位体积内溶质粒子数不相等。

在日常生活中,可以看到很多渗透现象,如干旱发蔫的农作物,下雨后又重新恢复生机;在淡水中长时间游泳,会感觉眼球胀痛;淡水鱼和海水鱼互换环境会死亡等。这都与生物膜两侧溶液的浓度改变有关。

二、渗透压力与浓度、温度的关系

1877年德国植物学家菲弗尔(Pfeffer)用半透膜测定了蔗糖溶液的渗透压力。他发现:当温度一定时,溶液的渗透压力与溶液的浓度成正比;当浓度一定时,溶液的渗透压力与热力学温度成正比。

1886年荷兰化学家范特荷甫(Van't Hoff)进一步总结出如下规律:难挥发非电解质的稀溶液的渗透压力与浓度、温度的关系,与理想气体状态方程式相似。

$$\Pi = c_B RT \quad (2.7)$$

式中 Π 为溶液的渗透压力,单位为千帕(kPa); c_B 为物质的量浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$); T 为绝对温度($T = 273 + t$); R 为常数($R = 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

由上式可知:难挥发非电解质的稀溶液的渗透压力与溶液的物质的量浓度及绝对温度成正比,这个规律称为范特荷甫定律。它的重要意义在于:指出了在一定温度下,难挥发非电解质的稀溶液的渗透压力只与单位体积溶液中溶质的质点数成正比,而与溶剂的种类和溶质本性(种类、大小、分子或离子等)无关。在相同温度下,对于任何非电解质溶液来说,只要物质的量浓度相同,单位体积内溶质的质点数目就相同,则它们的渗透压力必然相等。

【例 2-5】 将 2.00 g 葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)溶于 50.0 mL 水配成溶液,求该溶液在 37 °C 的渗透压力。

解: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 的摩尔质量为 $180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 则

$$C(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{n}{V} = \frac{m/M}{V} = \frac{2.00 \text{ g}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} \times 0.050 \text{ L}} = 0.222 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\Pi = c_B RT = 0.222 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times 310 \text{ K} = 572.17 \text{ kPa}$$

若溶液是强电解质溶液,由于强电解质在溶液中几乎完全解离,单位体积溶液中溶质的质点数目会成倍增加,所以,其渗透压力比同浓度的非电解质溶液的渗透压力大若干倍,在计算渗透压力时要引入一个校正系数,即:

$$\Pi = i c_B RT \quad (2.8)$$

式中的 i 是一个强电解质分子解离后所产生的颗粒(离子)数。例如,NaCl 的 i 约为 2, CaCl_2 的 i 约为 3。

【例 2-6】 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 37 °C 的渗透压力。

解: NaCl 在溶液中完全解离,是强电解质, i 近似等于 2, NaCl 摩尔质量为 $58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 根据式(2.8)

$$\Pi = i c_B RT = \frac{2 \times 9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 310 \text{ K}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 7.9 \times 10^2 \text{ kPa}$$

由物质的量浓度的定义及物质的量、质量、摩尔质量之间的关系可知:

$$c_B = \frac{n_B}{V} = \frac{m_B/M_B}{V}$$

由式(2.7)得:

$$M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V} \quad (2.9)$$

通过测定溶液的渗透压力,利用式(2.9)可以计算出溶质 B 的相对分子质量。

【例 2-7】 将 1.00 g 血红蛋白溶于水配制成 100 mL 溶液,在 20 °C 时,测得溶液的渗透压力为 0.367 kPa,试计算血红蛋白的相对分子质量。

解:根据式(2.9)得:

$$M_B = \frac{m_B RT}{\Pi V} = \frac{1.00 \text{ g} \times 8.314 \text{ kPa} \cdot \text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K}}{0.367 \text{ kPa} \times 100/1000 \text{ L}} = 6.64 \times 10^4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

故血红蛋白的相对分子质量为 6.64×10^4 。

三、渗透压力在医学上的意义

1. 渗透浓度

在一定温度下,渗透压力的大小只与单位体积溶液中溶质的颗粒数目成正比,而与溶质的本性和粒子的大小无关,我们把溶液中产生渗透效应的溶质粒子(分子、离子)称为渗透活性物质。这样就可以用渗透活性物质的量浓度来衡量溶液渗透压力的大小。

医学上常用渗透浓度表示溶液的渗透压力。渗透浓度是指溶液中能产生渗透效应的渗透活性物质的总的物质的量除以溶液的体积,用符号 c_{os} 表示,单位为 $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 或 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

【例 2-8】 计算医院补液用的 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液和 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生理盐水(NaCl 溶液)的渗透浓度。

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

$$c_{os} = C(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = \frac{50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{180 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.278 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} = 278 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

氯化钠的 $M(\text{NaCl}) = 58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, 故 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的生理盐水的物质的量浓度为:

$$c(\text{NaCl}) = \frac{\rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}}{58.5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}} = 0.154 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

因 NaCl 为强电解质,在溶液中完全解离,所以生理盐水的渗透浓度为:

$$c_{os} = 2 \times c(\text{NaCl}) = 2 \times 154 = 308 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$$

表 2-1 列出了正常人血浆、组织间液和细胞内液中各种渗透活性物质的渗透浓度。

2. 等渗、低渗和高渗溶液

溶液渗透压力的高低是相对的。渗透压力(或渗透浓度)相等的两种溶液,称为等渗溶液。若两种溶液的渗透压力(或渗透浓度)不相等,则渗透压力较低的溶液称为低渗溶液,渗透压力较高的溶液称为高渗溶液。

正常人血浆中各渗透活性物质的总浓度约为 $300 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。临床上规定:正常人血浆的总渗透浓度的正常范围为 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$,以此作为比较标准,凡渗透浓度在 $280 \sim 320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间的溶液称为等渗溶液;低于 $280 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为低渗溶液;高于 $320 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的溶液称为高渗溶液。通过计算可知,临床上常用的 $50.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 葡萄糖溶液、 $9.0 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 生理盐水、 $12.5 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ NaHCO_3 溶液和 $18.7 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 乳酸钠($\text{NaC}_3\text{H}_5\text{O}_3$)溶液等均是等渗溶液。

临床上给病人大量输液时,必须遵循一个基本原则:等渗输入,即不能因输入液体而影响血浆的渗透压力。如果输入液体的渗透浓度不适当,就会引起机体内水分调节失常使细胞变形和破坏,产生不良后果,甚至危及生命。

表 2-1 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

渗透活性物质	血浆中浓度 (mmol · L ⁻¹)	组织间液中浓度 (mmol · L ⁻¹)	细胞内液中浓度 (mmol · L ⁻¹)
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 ₂ PO 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
三磷酸腺苷			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
<i>c_{os}</i>	303.7	302.2	302.2

现以血红细胞在不同渗透浓度的 NaCl 溶液中出现的不同形态说明之。若将红细胞置于等渗溶液(如 9.0 g · L⁻¹ NaCl)中,红细胞内液的渗透压力与 NaCl 溶液的渗透压力相等,红细胞内外溶液处于渗透平衡状态,在显微镜下观察,红细胞的形状不会发生明显变化,如图 2-2(a)所示。

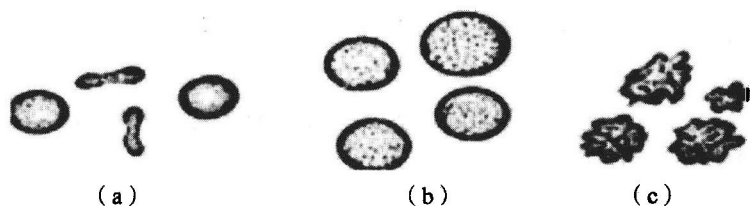


图 2-2 红细胞在不同渗透浓度的 NaCl 溶液中的形态示意图

若将红细胞置于低渗溶液中,红细胞内液的渗透压力大于红细胞外液的渗透压力,红细胞外液的水分子向红细胞内液渗透。在显微镜下观察,可见红细胞逐渐膨胀,严重时导致细胞膜破裂,使溶液呈红色,医学上把这种现象称为溶血,如图 2-2(b)所示。

若将红细胞置于高渗溶液中,红细胞内液的渗透压力小于红细胞外液的渗透压力,红细胞内液的水分子向红细胞外液渗透。在显微镜下观察,可见红细胞逐渐皱缩,医学上把这种现象称为胞浆分离,如图 2-2(c)所示。严重时容易黏结成团块,甚至形成血栓,堵塞血管。

需要指出的是,在特殊情况下允许使用高渗溶液(高渗溶液缓慢注入人体时,可被流动的血液稀释成等渗溶液),如亟须提高病人血糖时用 500 g · L⁻¹ 葡萄糖溶液,治疗脑水肿时用

200 g · L⁻¹甘露醇溶液等,但必须控制用量和注射速度,并密切注意病人的反应,一旦出现异常,立即采取措施。

在临床的其他方面,等渗溶液 also 具有重要意义,如外科医生给病人换药冲洗伤口,一般用与组织细胞液等渗的生理盐水,若用高渗透浓度的盐水或纯水易引起疼痛;配制眼药水也需与眼粘膜细胞液的渗透压力相同,否则也会引起眼睛疼痛。

3. 晶体渗透压力和胶体渗透压力

人体血浆中既有电解质(如 NaCl、KCl、NaHCO₃等)、小分子物质(如葡萄糖、尿酸、氨基酸等),也有高分子物质(如蛋白质、糖类、脂类等)。医学上把电解质、小分子物质所产生的渗透压力称为晶体渗透压力(晶渗压),把高分子物质产生的渗透压力称为胶体渗透压力(胶渗压)。

在 37 °C 时,正常人血浆的渗透压力约为 770 kPa,其中晶体渗透压力约为 766 kPa,胶体渗透压力仅约为 4 kPa。这是因为蛋白质等分子量远大于无机盐的分子量,无机盐的渗透浓度远比蛋白质大,所以,人体血浆的渗透压力主要来源于晶体渗透压力。

人体内有很多生物半透膜(如细胞膜和毛细血管壁),但它们对不同溶质的通透性不同,从而维持和调节着体内各部位水分的相对平衡。

细胞膜允许 H₂O、Cl⁻、HCO₃⁻、氨基酸、葡萄糖等自由透过,而不允许蛋白质等大分子以及某些离子(如 Na⁺、K⁺)通过。这样,细胞内、外溶液的渗透压力与 Na⁺、K⁺等离子和蛋白质大分子的浓度有关,又因为晶体渗透压力远大于胶体渗透压力,因此水的渗透方向主要取决于晶体渗透压力。如果人体由于某种原因缺水,则细胞外液中盐的浓度相对升高,渗透压力增大,会迫使细胞内液中的水分子向细胞外液渗透,造成细胞失水皱缩,引起口渴。反之,如果体液中水的量增加过多(如大量饮水),则细胞外液晶体渗透压力降低,引起细胞外液的水分子通过细胞膜渗透到细胞内,会造成细胞膨胀,严重时出现水中毒。向高温作业的工人供给含电解质类物质的汽水,就是为了保持细胞外液晶体渗透压的恒定。

毛细血管壁与细胞膜不同,它允许各种无机盐、小分子自由通过,而不允许蛋白质等大分子通过。因此血液与组织间液的水平衡主要取决于胶体渗透压力。如因某种原因使人体的血浆蛋白质明显减少时,引起血液胶体渗透压力降低,则血液中的水和其他小分子、小离子物质透过血管壁渗透到组织间液中,引起水肿。临床上对大面积烧伤或失血过多的患者进行补液时,由于这类患者血浆蛋白损失较多,除补以电解质溶液外,还要输入血浆或右旋糖苷,以恢复血浆的胶体渗透压。

本章小结

溶液的组成标度是指一定量溶剂或溶液中所含溶质的量,常用的表示方法有:

B 的物质的量浓度,用符号 c_B 表示,医学上常用单位 mol · L⁻¹ 和 mmol · L⁻¹。

$$c_B = \frac{n_B}{V}$$

B 的质量浓度,用符号 ρ_B 表示,医学上常用单位 g · L⁻¹ 和 mg · L⁻¹。

$$\rho_B = \frac{m_B}{V}$$

B 的质量分数,用符号 ω_B 表示,无单位。

$$\omega_B = \frac{m_B}{m}$$