


DUKES 家畜生理学

《DUKES家畜生理学》堪称国际兽医和动物科学领域家畜（动物）生理学的“圣经”

《DUKES家畜生理学》内容之翔实，结构之慎密，篇幅之宏大，奠定了它在世界畜牧兽医学界无可争议的学术地位。自1933年由H. H. Dukes教授编著，美国康奈尔大学出版社首次出版以来，该书已经有80年的历史。正如第12版主编William O. Reece所说：“没有任何一本兽医生理学的教材像《DUKES家畜生理学》一样经得起时间的考验”。

该著作问世以来，一直是欧美兽医学院和动物科学相关学科最通用的教科书，也是许多国家畜牧兽医学科生理学教学的重要参考书。由于其内容涵盖各种家畜和宠物的基本生理数据和资料，并紧密结合常见的临床疾病和动物生产中的实际问题，该书也是畜牧兽医各行业技术人员经常查阅和参考的生理学经典著作。

本书中文版由全国二十多所高等院校的五十多位专家学者共同翻译！

 中国农业出版社

“十二五”国家重点图书出版规划项目

世界兽医经典著作译丛

DUKES

家畜生理学

第 12 版

[美] 威廉·里斯 (William O. Reece) 主编

赵茹茜 主译

中国农业出版社

Dukes' Physiology of Domestic Animals, Twelfth Edition
Edited by William O. Reece, originally published by Cornell University Press.
Copyright ©2004 by Cornell University

This edition is a translation authorized by the original publisher.
本书简体中文版由康奈尔大学出版社 (Cornell University Press) 授权中国农业出版社独家出版发行。本书内容的任何部分, 事先未经出版者书面许可, 不得以任何方式或手段复制或刊载。
著作权合同登记号: 图字 01-2010-8156

图书在版编目 (CIP) 数据

DUKES 家畜生理学: 第 12 版 / (美) 里斯 (Reece, W.O.) 主编; 赵茹茜主译. — 北京: 中国农业出版社, 2014.5
(世界兽医经典著作译丛)
ISBN 978-7-109-17675-1

I. ①D… II. ①里… ②赵… III. ①家畜-生理学
IV. ①S852.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 039161 号

中国农业出版社出版
(北京市朝阳区农展馆北路2号)
(邮政编码 100125)
责任编辑 邱利伟 黄向阳 雷春寅

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2014年5月第12版 2014年5月北京第1次印刷

ISBN 978-7-109-17675-1



开本: 889mm×1194mm 1/16 印张: 50.5
字数: 1256千字
定价: 298.00元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

前 言

没有任何一本兽医生理学的教材像《DUKES 家畜生理学》一样经得起时间的考验。本书初版为 1933 年 H. Hugh Dukes 博士编著的《家畜生理学》，之后 Dukes 博士又连续再版了其后的 6 版，直至 1955 年出版的第 7 版。自第 8 版起，该书更名为《DUKES 家畜生理学》，并由 Melvin J. Swenson 博士担任主编，联合多位作者共同编著。此后该书以这种方式持续再版，到第 11 版由 Melvin J. Swenson 和 William O. Reece 两位博士共同担任主编。本版（第 12 版）于 2004 年出版，以纪念该教材在兽医和动物科学学界为生理学教学服务了 71 年。这么多年以来该书一直由康奈尔大学出版社出版。

《DUKES 家畜生理学》包括 55 章，由来自 18 所兽医学院、兽医和动物科学系的 38 位作者联合撰写，提供了广泛的专业知识。第 12 版的目标是使其成为兽医学生生理教学最常用的教科书。因此，本版对以往版本进行了实质性的修改，同时也保持了该书问世以来长期形成的风格。作者的遴选是依据他们对兽医教学的经验和奉献精神，以及他们在其主要专业领域的研究。为保证审稿和各章节任务分配的可信性，特别为三个大篇（section）：心血管系统；消化、吸收和代谢；神经系统、特殊感觉、肌肉和温度调节安排了各篇的责任编辑。他们是公认的专注于教学，并在相关专业方向有较深造诣的学者。本书的主编则负责其余三篇，即：体液和血液；肾、呼吸功能和酸碱平衡；内分泌、生殖和泌乳。各篇的编辑对初稿进行审阅，并将他们的意见返回给作者，供他们在修改时参考。这个关键的审稿和修改过程使得不同的章节在文风上更趋于一致，这对于由许多作者合著的教科书通常是缺乏的。此外，康乃尔大学出版社还提供了外部审稿意见。

第 12 版的推出旨在使该书成为兽医学生和动物科学研究生的更有效的教学资源。此前的 4 版在每章的开头列出了该章的一级和二级标题，使读者能够总览该章介绍的主要内容。第 12 版拓展了这个特点。正文中每个一级标题后面都紧跟着以问题或者“笔记”的陈述方式出现的学习辅导题，而这些问题的答案，或者相关的重要概念就出现在后面的文字内容中。当学生通过寻求这些问题的答案或记下这些知识要点而有意识地学习章节内容时，本来困难的阅读和理解就会变成富有成效的努力。这种方法同时也能帮助作者更简明扼要地阐述章节内容。

提高教学效果的另一个设计特点是在每章的后面附加了自我测评练习题。尽管各章的格式有所不同，但每道练习题都是为强调重要的事实或概念而设计的。这些练习题给学

生提供了将教材中阐述的内容应用于常见实例的机会。此外，回答精心设计的问题还引导学生对难懂的概念进行简明的概述。不管自我测评如何设计，每一个练习题都会强化对章节内容的理解。每个练习题的答案、解释，或解决方案都列在其后。

由于认识到插图可大大加强对文字的理解，我们努力提高本版插图艺术的总体质量，这得益于我们高度重视图的选择和复制，以及新的电子艺术制作手段。

第 12 版作为参考资源的价值依赖于章节内容，而不是参考文献目录。以前的版本经常在每章的后面加上冗长的参考文献清单，但由于认识到兽医学生和其他读者很少按照这些清单去查阅文献，而是使用现代文献检索方法检索需要的文献，因此，每章只列出不超过十篇的参考文献，并改为“推荐阅读”。在大多数情况下，引用的文献是强化该章阐述的新知识，或为相关主题提供不同见解的近期读物。

兽医学院的课程在不断地发展，目前十分强调基于问题的学习。在一些不采用正规授课手段的学校，这往往需要学生打破常规次序学习相关的知识。本书新的章节标题是根据一部分作者的共识而修订的，与我们认为的教学要点和医学教育的基本主题相关，这有助于指导学生查询，使他们可以把重点放在他们直接关注的内容，并导向感兴趣的主要话题。每章中的学习辅导题以及每章后的自我测评练习题可帮助学生自学。小组讨论可促进学习过程。

大多数兽医学院要求每个学生在一群人（学生、教师、从业人员，或外行）面前作病例分析报告。学生需要学习和复习大量的相关基本知识，以及每个病例涉及的现代医学技术和手术的知识。第 12 版不仅保留了基础生理学的权威性资源，而且还提供了家畜特殊的资料（如血液指标，繁殖周期，心电图特征，消化和代谢等）。此外，由于近年来禽类医学和禽类手术得到扩展，世界范围内养禽业是一个主要的农业产业，因此专列四章介绍与哺乳动物有截然区别的鸟类生理学（肾、呼吸、消化、繁殖）。

总之，《DUKES 家畜生理学》第 12 版不仅将传承其经典的学术地位，即作为将基础生理学着重应用于动物的综合性资源，而且现在还作为教学资源赋予其新的价值。

威廉·O·里斯

目 录

《世界兽医经典著作译丛》总序

译者序

前言

致谢

原书作者名单

第一篇 体液和血液 / 1

第1章 体液的理化特性 / 3

第2章 水和电解质 / 10

第3章 血液的组成和功能 / 20

第4章 凝血和止血 / 41

第二篇 肾的功能、呼吸功能及酸碱平衡 / 55

第5章 哺乳动物肾的功能 / 57

第6章 鸟(禽)类的肾功能 / 83

第7章 哺乳动物的呼吸 / 89

第8章 鸟(禽)的呼吸 / 117

第9章 酸碱平衡 / 127

第三篇 心血管系统 / 139

第10章 心血管系统的动力学 / 141

第11章 心脏的大体结构和基本特性 / 150

第12章 心脏的电生理学 / 161

第13章 心电图和心律失常 / 169

第14章 心脏的机械性活动 / 179

第15章 心音和杂音 / 196

第16章 心脏功能的调节 / 204

第17章 心血管系统的调节机制 / 215

第18章 微循环、淋巴和水肿 / 236

第19章 肺循环 / 243

第20章 特殊循环 / 253

第21章 高血压、心脏衰竭和休克 / 266

第22章 运动生理学 / 276

第四篇 消化、吸收和代谢 / 293

第23章 胃肠道的一般功能及其调控 / 295

第24章 胃肠道的运动 / 303

第25章 胃和附属腺体的分泌 / 314

第26章 肠道的消化吸收功能 / 325

第27章 反刍动物的胃消化 / 340

第28章 瘤胃和大肠内发酵消化的微生物学 / 367

第29章 禽类消化 / 377

第30章 碳水化合物代谢 / 386

第31章 脂肪代谢 / 398

第32章 蛋白质和氨基酸代谢 / 413

第33章 碳水化合物和脂肪代谢紊乱 / 428

第34章 维生素 / 435

第35章 矿物质 / 446

第36章 软骨、骨骼和关节 / 464

第五篇 内分泌、生殖和哺乳 / 481

第37章 内分泌腺 / 483

第38章 雄性哺乳动物的生殖 / 522

第39章 雌性哺乳动物的生殖 / 539

第40章 乳腺和泌乳 / 561

第41章 禽类繁殖 / 578

第六篇 神经系统、特殊感觉、肌肉和体温调节 / 589

第42章 神经系统的组成 / 591

第43章 膜电位:神经元电信号的发生和传导 / 602

第44章 突触传递及神经递质的代谢 / 614

第45章 躯体感觉系统 / 639

第46章 视觉 / 658

第47章 听觉和平衡觉 / 665

第48章 嗅觉和味觉 / 675

第49章 肌肉生理 / 679

第50章 脊髓对姿势和运动的调控 / 696

第51章 高位中枢对姿势和运动的调控 / 705

第52章 自主神经系统 / 719

第53章 觉醒和皮层高级功能 / 731

第54章 行为生理学 / 744

第55章 体温调节和热环境 / 752

中英文名词对照表 / 762

第一篇

体液和血液

THE BODY FLUIDS AND BLOOD

体液的理化特性

| William O. Reece 编 周杰译 赵茹茜校

术语	渗透压	红细胞的渗透脆性
扩散	溶液的张力	测量单位的互换
渗透	生理学意义	

动物体内的液体约占体重的 60%~70%。体液的功能是许多生理现象的基础，其中包括肾脏的肾小球滤过作用，肾髓质中溶质浓度梯度的形成，细胞大小的维持，细胞膜的兴奋性，特别是神经冲动的产生。在兽医实践中，补液和电解质流失的治疗方案就应用了有关溶液的知识。因此，在生理学教学中，较早认识体液的物理化学特性是很重要的。当 H. F. Weisberg 论述这个话题时，他认识到其重要性，并引用了圣经中的诗文（箴言篇 4:7）“智慧主物，因此应得到智慧，应牺牲一切去争取明智。”正因为如此，本章将以基本术语的定义开始，讲述溶液的物理化学性质。

术语

1. 在 NaCl 溶液中，什么物质是溶质，什么物质是溶剂？
2. 每 100 mL 溶液中含 5 g 溶质，溶液中溶质的百分比是多少？
3. 一个尿样的比重是 1.035，它的含义是什么？
4. 在 0.1 mol NaCl 中有多少克 NaCl（分子量 = 58.5）？有多少 NaCl 分子？
5. 区别溶液摩尔体积和摩尔质量。
6. 一种水溶液含有 NaCl 和葡萄糖。用一个允许水和葡萄糖通过的膜将它们从水中分离。这个膜是选择透过性的，还是半透性的？
7. 注意不管是半透膜还是选择透过性膜，渗透作用都得考虑水从高浓度向低浓度扩散。
8. 0.1 mol/L 的 NaCl 水溶液（每个分子解离成 Na^+ 和 Cl^- ，两个粒子）比 0.1 mol/L 的葡萄糖溶液（葡萄糖分子不可解离，一个粒子）的蒸气压下降大吗？
9. 区别渗透压和有效渗透压。
10. 为什么 0.1 mol/L FeCl_2 比 0.1 mol/L NaCl 的渗透性大？
11. 当比较红细胞内液时，高张溶液是否比低张溶液的有效渗透压大？
12. 阅读并理解当量（重）的定义和以下的例子，多读几遍。
13. 葡萄糖或尿素在溶液中不解离，它们能视作电解质吗？

溶液 (solution) 适用于任何均质的混合物。溶液通常是液体状态。

溶剂 (Solvent) 形成溶液时其物理状态不变的物质。

溶质 (Solute) 形成溶液时其物理状态改变的物质。例如：(1) NaCl 在水中（水=溶剂；NaCl=溶质），(2) 乙醇在水中（分量大的物质=溶剂）。

溶液百分数 (Percent solution) 每 100 mL 水溶液中以克表示的溶质浓度。5% 的葡萄糖溶液含 5 g 葡萄糖并补水到 100 mL。

溶液的比重 (Specific gravity of solutions) 在同一温度下，一种物质与相同体积水的质量的比值。比重是一个简单的数字，没有单位。对血液和尿液而言，它是一个定体积血液或尿液与相同体积水的质量的比率。

摩尔 (Mole) (克分子量, gram molecule) 某种物质 6×10^{23} (Avogadro 常数) 个分子的克数（与该物质分子量相同，但用克来表示）。同样的，**克原子量 (gram atomic weight)** 就是某种元素 6×10^{23} 个原子的克数（与该元素原子量相同，但用克来表示）。

摩尔 (Molar) 浓度和克分子 (molal) 浓度 溶质在溶剂中的浓度测量单位。摩尔浓度定义为 1 L 溶液中含溶质的摩尔数，而克分子浓度定义为 1 kg 溶剂（如果是水就是 1 L）中溶质的摩尔数。

例如：58.5 g/mol 的 NaCl

1. 1 摩尔浓度的水溶液含 58.5 g NaCl 加水到 1 L。
2. 1 克分子浓度的水溶液含有 58.5 g NaCl 加 1 kg 水 (1 L)。

半渗透性膜 (Semipermeable membrane) 一种只允许溶剂通过而不允许溶质通过的膜。

选择性透性膜 (Selectively permeable membrane) 一种不但溶剂可以通过，也可以选择性的通过一些溶质的膜（机体多数细胞膜都是这种类型）。

渗透 (Osmosis) 有不同的定义，如下：(1) 溶剂通过半透膜从溶剂浓度高的一侧向溶剂浓度低的一侧扩散的过程；(2) 膜两侧的浓度差使水通过膜造成水的净移动；(3) 溶剂分子通过膜向溶质浓度高的一侧移动，而膜不允许该溶质通过。

依数性 (Colligative properties) 溶液的某些特征决定于粒子（离子，分子）数量的多少，而与粒子种类（大小，电荷）无关。包括：(1) 蒸气压下降；(2) 冰点降

低；(3) 沸点升高；(4) 渗透压。只要测定溶液的任何一种依数性，可以据此计算溶液的其他依数性。由于这个原因，渗透压可以由冰点降低或蒸汽压下降（常用方法）来测定。

渗透压 (Osmotic pressure) 水渗透性倾向的一种定量测定。两种水溶液被一个半透膜隔开，渗透压是指阻止水向溶质浓度高（较多的粒子数）的溶液中扩散所需的压力。水扩散到较高渗透压的一侧。渗透压以毫米汞柱 (mmHg)¹ 来衡量。

有效渗透压 (Effective osmotic pressure) 水通过一个选择性透性膜渗透倾向的度量。只有不能通过膜的粒子才参与有效渗透压的形成。水扩散到有效渗透压较高的一侧。

渗量 (Osmole) 以溶解的粒子数量，而不是粒子的质量来表示的溶质浓度，与摩尔相区别。[渗量简写成 osm，毫渗量 (0.001 osm) 简写成 mOsm，摩尔简写成 mol]。1 osm 等于 1 mol 不能分解的溶质（非离子化）的粒子数。当一种物质电离成两个粒子，那么 1/2 mol 等于 1 osm，1 mol 等于 2 osm。当一种物质电离成三个粒子，那么 1/3 mol 等于 1 osm，1 mol 等于 3 osm。

容积渗克分子浓度 (Osmolarity) 与质量渗克分子浓度 (osmolality) 基于溶液中粒子数量的总溶质浓度的度量。1 容积渗克分子溶液表示 1 L 溶液中有 1 osm 溶质。1 质量渗克分子溶液表示 1 kg 溶剂（如果是水，则为 1 L）中有 1 osm 溶质。在稀溶液（如在机体中）中容积渗克分子浓度与质量渗克分子浓度在量上的差异不到 1%。这些度量与溶质在溶液中的渗透压成比例，因为它们都基于粒子的数量。1 质量渗克分子浓度溶液的渗透压相当于 0 °C 时 22.4 atm 或 17 024 mmHg（1 个大气压相当于 760 mmHg）。因此，每毫摩尔千克水的渗透压为 17.024 mmHg。推算到牛（体温大约 39 °C）的血清，经温度修正 $[(273^{\circ}\text{K}+39^{\circ}\text{C}/273^{\circ}\text{K})\times 17.024]$ ，每毫渗量千克血清（水溶液）的渗透压近似 19.5 mmHg。

张力 (Tone) (张度, tonicity) 针对选择性透性膜的有效渗透压。张力不是依数性的特性，因为它不取决于溶液中总的粒子数量，只有不能通过膜扩散的粒子才能产生张力。根据隔离它们的膜的类型和与之对照的溶液的性质，溶液被分为低张、等张和高张溶液。与相对照的溶液相比，有效渗透压较小、相等、或较大的溶液，分别是低张、等张和高张溶液。

当量 (Equivalent weight) 物质之间的相互反应是与它们的当量（重）而不是与质量成比例的。1 当量 (Eq) 是指某物质被 1.008 g 氢（氢克原子量），35.5 g 氯（氯克原子量），或 8.00 g 氧（1/2 氧克原子量）置换或与之反应的重量。例如：(1) 在 1 克分子量 NaCl 中有 1 克原子量钠和 1 克原子量氯，因此，有 1 Eq 钠和 1 Eq 氯。(2) 在 1 克分子量氯化镁 (MgCl₂) 中有 1 克原子量镁和 2 克原子

量氯，因此，有 2 Eq 镁和 2 Eq 氯（根据以上定义）。

电解质 (Electrolytes) 溶解后生成导电溶液的物质。在电解质溶液中，带电粒子被称为离子，有正的（阳离子，cations）和负的（阴离子，anions）离子，它们可直接由溶质产生，或由溶质与溶剂间的相互作用产生。形成的离子用当量来表示，由于电解质浓度在体液中很小，比较适合用毫克当量来描述。1 毫克当量 (mEq) 是千分之一 (0.001) 当量。因为物质之间的反应是等当量而不是等质量的，1 mEq Na⁺ (0.023 mg) 与 1 mEq Cl⁻ (0.355 mg) 反应。

扩散

1. 如果膜对钙离子和钠离子通透，膜一侧的高浓度钙离子是否会阻止膜另一侧低浓度钠离子的扩散？
2. 细胞膜有什么生物化学特性允许水的扩散和易化扩散？
3. 水是如何通过蛋白质通道扩散的？

血液中的水由于心脏产生的静水压，而在全身循环。它在血液、组织间液和细胞内液的分布依赖于扩散对梯度的反应。简单扩散是受布朗 (brownian) (热) 运动影响的分子、离子和悬浮胶体粒子的随意运动。只要浓度梯度存在，分子、离子和胶体粒子就会从高浓度区域运动到低浓度区域。这种运动对于每种物质都是特有的（例如，钠离子或水分子从高浓度区域到低浓度区域的扩散与其他物质的存在和浓度无关）。当离子和分子分散均匀时，随意运动仍在继续，但并没有净移动，从而达到一种平衡状态。

细胞膜可作为扩散的屏障。细胞膜由脂质双分子层组成，它是一层仅有两个分子厚的薄膜，允许脂溶性物质（典型的例子是 CO₂ 和 O₂）自由扩散（图 1.1）。很小的分子能通过假定的小孔（蛋白通道），而较大的分子在载体（转运蛋白）的作用下，经易化扩散通过细胞膜（图 1.2）。

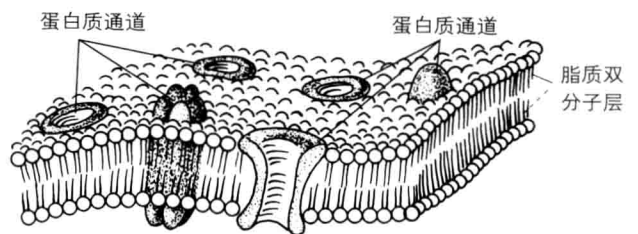


图 1.1 细胞膜的结构

脂质双分子层表现为有两层分子厚的脂质薄膜。蛋白质通道（小孔）由一种蛋白质或成簇的多个蛋白质构成。通道对某些物质具有特异性，或根据大小限制物质通过。事实上所有的水都可以通过蛋白质通道扩散。（引自 Reece 1997, *Physiology of Domestic Animals*, 2d ed., Williams & Wilkins, Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins © 1997.）

因为细胞膜主要是脂质，它们是相对疏水的（对水排斥），水经这些部位的扩散受阻。但是水可以通过蛋白通道扩散。蛋白通道是贯穿类脂双分子层的蛋白质分子，从一侧暴露到另一侧。有些蛋白质被认为形成水通道（小孔），有些与易化转运有关。水通道不但允许水通过，也允许水溶性物质通过。有些物质因为比较大而不能通过小孔扩散；另一些物质因为相对比较小或者因为小孔的其他性质（比如阴性电荷通道协助 Na^+ 通过）而可以扩散。考虑到蛋白质通道的数量对于水在细胞膜内外交换的容量和速度是不充足的，因此，一般认为在脂质的疏水性质阻止它们扩散之前，水分子的随机运动使它们撞击并透过脂质双分子层。

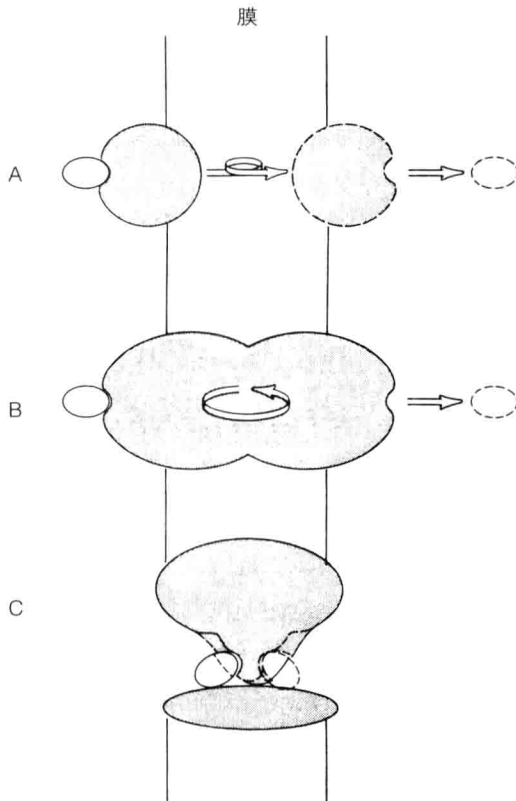


图 1.2 蛋白质介导的膜转运

(A) 当通过脂质中心时蛋白质旋转将结合位点暴露到另一侧；(B) 贯穿整个膜的蛋白质简单旋转将结合位点从一侧移到另一侧；(C) 蛋白质构象改变将结合位点暴露到膜的另一侧。（引自 McGilvery 1983, *Biochemistry: A Functional Approach*, 3d ed., W.B. Saunders, Philadelphia.）

渗透

1. 如果两种水溶液水的浓度不同，这是否意味着水的浓度最高的溶液其溶质的浓度最低；而水的浓度最低的溶液其溶质的浓度最高？
2. 学习图 1.3。

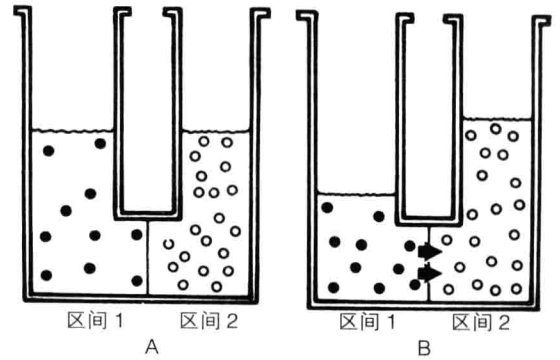


图 1.3 渗透

(A) 渗透前；(B) 渗透时。相同体积的水溶液（溶质用实心心和空心圆圈表示）放置在被膜分开的区间中，水能透过，而溶质不能透过膜（半透性膜）。区间 1 水浓度高（溶质浓度低）。渗透（水的扩散）从区间 1 向区间 2 进行（高水浓度向低水浓度），区间 2 水平面升高。（引自 Reece 1997, *Physiology of Domestic Animals*, 2d ed., Williams & Wilkins, Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins ©1997.）

在体内扩散的最丰富的物质是水，这种扩散遍及全身且相对容易。扩散到细胞内和从细胞内扩散出来的量通常是平衡的。当两种水溶液中的水浓度不同且被只允许水通过而不允许溶质通过的膜（半透性膜）分开时，将有一个水的净扩散，从水浓度高的一边扩散到水浓度低的一边，这种现象叫做渗透（osmosis）。当比较溶液的水浓度时，这意味着水浓度最高的溶液溶质的浓度最低。渗透的发生如图 1.3 所示。净扩散发生在从水浓度高的区间到水浓度低的区间。

渗透压

1. 为什么 1 g 相对分子质量是 50 000 的蛋白质所含的分子数比 1 g 相对分子质量是 400 000 的蛋白质所含的分子数多？（考虑 Avogadro 常数）
2. 注意溶液渗透压是由依数性（粒子个数）决定的。与其他溶液的比较与通过半透膜扩散有关（图 1.3）
3. 渗量为 1 800 mOsm 尿液样本比等体积的渗量为 300 mOsm 的血浆多多少粒子？这能反映这两种体液中溶质粒子的情况吗？

渗透压是一种压力，作用于图 1.3 中的低水浓度区间阻止水从高水浓度区间向低水浓度区间的净扩散。渗透压是一个依数性的特征，由溶液中粒子（离子，分子）的总数决定。粒子数量越多，渗透压越大。因此，含有 1 g 分子质量是 50 000 Da（即分子量 50 000）的蛋白质的 1 L 水溶液中，分子数将远远大于（8 倍）含有 1 g 分子质量是 400 000 Da 的蛋白质的 1 L 水溶液中所含的分子数。因此，前者溶液的渗透压大于后者。两种 NaCl 水溶液被只允许水通过而不允许 NaCl 通过的膜分开，NaCl 浓度高（水浓度低）的溶液渗透压测定值高，水将扩散到渗透压高的区

间。事实上，这是一种潜在的若要阻止渗透所需要施加的压力（也就是说，在机体存在水不平衡时，渗透是不可避免的）。

容积渗克分子浓度或质量渗克分子浓度是用来配制特定渗透压的溶液或表示溶液（尿、血浆、NaCl）的渗透强度。质量渗克分子浓度为 300 mOsm 的葡萄糖溶液与质量渗克分子浓度为 300 mOsm 的 NaCl 溶液的渗透压是相等的。因为尿液是水介质中不同溶质的混合，分析它的精确组分是行不通的，用于比较时，质量渗克分子浓度是一个简便的度量。质量渗克分子浓度为 300 mOsm 的尿液样本与上述的葡萄糖和 NaCl 溶液有相同的渗透压。

溶液的张力

1. 什么粒子会产生张力？
2. 有没有这种可能：有较高的渗透压（质量渗克分子浓度）溶液，渗透压用冰点降低法测量，其有效渗透压比另一种用相同方法测定的相同渗透压（质量渗克分子浓度）的溶液低？
3. 红细胞在某溶液中体积膨胀。哪一个溶液的有效渗透压较高，是红细胞溶液（红细胞内液），还是红细胞外的溶液？
4. 定义血红蛋白血症（hemoglobinemia）和血红蛋白尿（hemoglobinuria）。
5. 如果一种质量渗克分子浓度为 1 的渗透溶液的冰点比纯水低 1.858 °C，那么冰点降低 0.54 °C 的血浆的质量渗克分子浓度是多少？
6. 为什么配制的等张溶液的溶质浓度稍高于计算出的等张溶液？

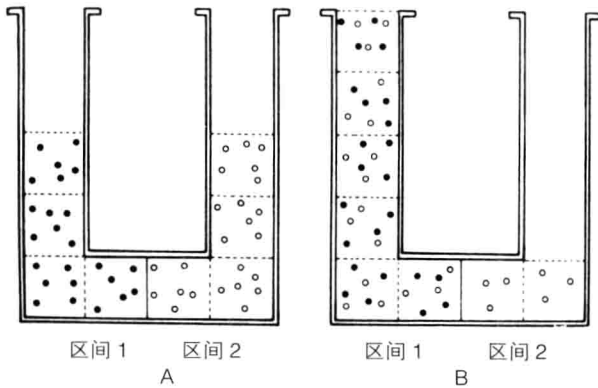


图 1.4 溶液张力的假设例子

(A) 渗透前；(B) 渗透后。两种渗透压相等的水溶液（溶质用实心点和空心点表示）被一种允许水和空心点溶质通过的膜分开。有效渗透压仅由实心点溶质形成，水扩散到区间 1。平衡时，空心点溶质在区间 1 和区间 2 达到相等的新的低浓度。虚线代表相同容积的部分。（引自 Reece 1997, *Physiology of Domestic Animals*, 2d ed., Williams & Wilkins, Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins © 1997.）

选择透性膜限制一些溶质的扩散而允许另一些溶质的扩散。身体中大部分的膜具有这样的性质。如果分开两种

溶液的膜允许溶液中的所有溶质通过小孔扩散，那么膜两侧的溶质将有相同的浓度，这就没有膜两侧水浓度的变化或由此而来的水渗透的趋势。因此，测得的能透过膜的溶质形成的溶液渗透压不能表示能引起渗透的趋势。因此就由溶液的张力来代替，它是有效渗透压。只有被膜阻止扩散的粒子（离子，分子）才产生张力。渗透的原理仍然适用，只是现在必须指出，水会扩散到有效渗透压高的区间。图 1.4 描述了溶液的张力。两种容积相等且粒子数量也相同的溶液被膜分开，膜允许水和区间 2 的粒子扩散。在渗透前，每个溶液都有相同的渗透压（相同的粒子浓度）。因为区间 1 的粒子不能经膜扩散，所以这些粒子是产生有效渗透压的原因。因为区间 2 的溶液没有有效渗透压，所以水扩散到有效渗透压高的区间，即从区间 2 到区间 1。

生理学意义

从实际应用的角度，输入动物血液的溶液的张力通常与血浆比较，因为血浆处于渗透平衡，有红细胞(RBCs)悬浮其中。一种溶液与血浆有相同的有效渗透压即是等张(isotonic)溶液。当红细胞置于这种溶液时，其大小不会改变。有效渗透压比血浆低的溶液是低张(hypotonic)溶液，红细胞置于其中会变大。如果溶液的张力足够低，红细胞将继续变大直到破裂(溶血)并将内容物释放到溶液中。发生溶血的动物血浆会有一定程度的发红，这个取决于溶血的量。发生这种情况称为血红蛋白血症(hemoglobinemia)，发红是因为释放的血红蛋白。溶血到一定程度可能使血红蛋白进入肾小管并出现在尿液中。这种红色显现在尿中的情况称为血红蛋白尿(hemoglobinuria)。有效渗透压比血浆高的溶液是高张(hypertonic)溶液，当红细胞悬浮其中时将变小。失去足够的水使红细胞皱缩，被称为圆锯齿化。不同张力的溶液对红细胞的影响如图 1.5 所示。

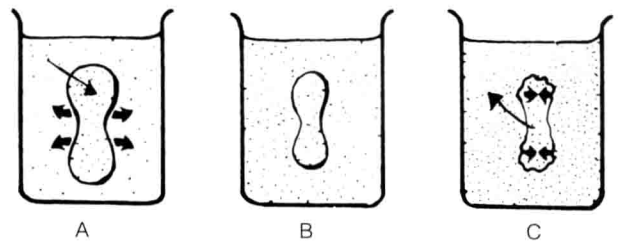


图 1.5 溶液张力对红细胞的影响

(A) 溶液是低张的，红细胞膨胀；(B) 溶液是等张的，红细胞的大小没有变化；(C) 溶液是高张的，红细胞变小。粗箭头指出细胞容积变化的方向。细箭头指出水扩散的方向。（引自 Reece 1997, *Physiology of Domestic Animals*, 2d ed., Williams & Wilkins, Baltimore. Lippincott Williams & Wilkins © 1997.）

因为冰点和质量渗克分子浓度决定于溶液的粒子数，血浆的质量渗克分子浓度可以通过测量它的冰点来估量

(冰点的降低是一种依数性特征, 取决于粒子的数量)。1 质量渗克分子浓度的溶液的冰点比纯水低 1.858 °C。等张血浆的冰点降低为 0.56 °C。

根据这些值, 等张血浆的质量渗克分子浓度是 0.30 osm (0.56 °C/1.858 °C) 或者更常用的是 300 mOsm。等张盐溶液是根据与冰点的关系配制的。NaCl 在溶液中离子化形成 Na^+ 和 Cl^- , 其渗量等同于两倍的摩尔量。因此, 0.15 mol/L NaCl 溶液等于 0.30 渗量的溶液。不完全解离和离子间的相互吸引 (因此单个的粒子较少) 导致 0.15 mol/L NaCl 溶液只有计算的渗透活性的 0.93。因此, 0.161 mol/L (0.15/0.93) 的 NaCl 溶液更接近等张溶液。由于这个关系, 比较方便的浓度 1/6 mol/L (0.167 mol/L) 更为常用。0.167 mol/L 的 NaCl 溶液和 0.977% 的溶液 ($58.5 \text{ g} \times 0.167 = 9.77 \text{ g/L} = 0.977 \text{ g/dL} = 0.977\%$) 相等, 而 0.15 mol/L 的 NaCl 溶液相当于 0.875% 的溶液。据此, 0.15 mol/L 的 NaCl 溶液被认为轻微的低张。0.15 mol/L 和 0.167 mol/L 的溶液在生理学上的区别不显著, 并且通常生理 NaCl (盐) 溶液配制成 0.9% 的 NaCl 溶液。

红细胞的渗透脆性

1. 为什么双面凹形较小、圆盘状或球状的红细胞在浓度逐渐降低的 NaCl 溶液中会更快溶血。
2. 为什么犍牛缺铁性贫血导致渗透脆性降低?
3. 正常犍牛红细胞最低在什么浓度 (百分比) 的 NaCl 溶液中仍然不会溶血?

大多数家畜的红细胞是双面凹圆盘形。接近于圆形和球形的红细胞具有有限的伸展能力, 吸进少量水就会爆裂。这些红细胞的渗透脆性大而渗透抵抗力小。薄的或扁平的红细胞破裂之前能吸进大量的水, 渗透脆性小而渗透抵抗力大。犍牛缺铁性贫血就是一个渗透脆性降低的例子。由于缺铁, 血红蛋白的合成与红细胞生成相比远远不足, 因此, 红细胞计数的减少没有血红蛋白浓度减少那么明显。这是因为红细胞在中幼红细胞末期成熟停滞等待血红蛋白的合成, 而下一步的细胞分裂发生了, 产生了许多比正常细胞小的, 血红蛋白贫乏的细胞 (小红细胞贫血症)。当把红细胞染色在显微镜下观察, 贫血的红细胞有狭窄的血红蛋白高度着色的边缘, 以及可变的但比正常情况大的中心白色斑点 (细胞双面凹形较大具有较大的容积扩展潜能)。

表 1.1 比较了正常犍牛和缺铁性贫血犍牛血液渗透脆性的测定结果。正常犍牛和贫血犍牛的红细胞压积分别为 34% 和 16%。确切地说在 11 个试管中加入 0.05 mL 血液, 每个试管含有 5 mL NaCl 溶液, 浓度从 0.95% 依次递减。用分光光度计来测定溶血的程度。数据显示正常犍牛的血液在 0.50% 的 NaCl 溶液中完全溶血。贫血犍牛的血液在 0.30% 的 NaCl 溶液中才能完全溶血。数据还显示正常犍牛和贫血犍牛的血液分别在 0.65% 和 0.60% 的 NaCl 溶

液中开始溶血。显然红细胞对低张溶液有一定程度的耐受。

表 1.1 正常犍牛和缺铁性贫血犍牛的红细胞渗透脆性的比较

管号	%NaCl	正常犍牛 (%溶血)	贫血犍牛 (%溶血)
1	0.95	0.0	0.0
2	0.85	0.0	0.0
3	0.75	0.0	0.0
4	0.65	3.4	0.0
5	0.60	51.2	27.8
6	0.55	80.3	40.9
7	0.50	100.0	62.9
8	0.45	100.0	73.4
9	0.40	100.0	81.9
10	0.35	100.0	96.6
11	0.30	100.0	100.0

测量单位的互换

1. 学习下面的举例。
2. 学习图 1.6 所示的途径。

不同的情况下可能要求配制的溶液含有精确的组分, 并且其中溶质浓度可以从一种测量单位 (如当量) 转换成另一种 (如渗量)。互换必须遵循图 1.6 所示的途径。

当溶液中不同组分用克表示, 而想知道溶液混合物的毫渗量和毫当量时, 就必需: (1) 计算每个组分的毫摩尔量; (2) 根据渗量和当量的定义将每个组分转换成毫渗量和毫当量。溶液混合物由每个独立的组分相加获得。

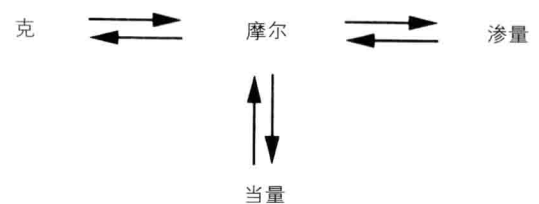


图 1.6 克、摩尔、渗量、当量互换的途径

举例:

1 L 溶液中含有:

- a. 6.00 g (6 000 mg) NaCl (分子量 [MW] 58.5)
- b. 210 mg MgCl_2 (MW95.24)

步骤 1 (毫摩尔量):

$$\text{NaCl} = 6\,000 \text{ mg} / 58.5 = 102.56 \text{ mmol/L}$$

$$\text{MgCl}_2 = 210 \text{ mg} / 95.24 = 2.20 \text{ mmol/L}$$

步骤 2 (毫渗量值):

$$\text{NaCl} = 102.56 \text{ mmol/L} \times 2 \text{ 离子 / 分子} = 205.12 \text{ mOsm}$$

$\text{MgCl}_2=2.20 \text{ mmol/L} \times 3 \text{ 离子/分子}=6.60 \text{ mOsm}$

步骤 3 (毫当量值):

- a. $10256 \text{ mmol/L NaCl}=10256 \text{ mEq Na}^+$ 和 10256 mEq Cl^-
- b. $2.20 \text{ mmol/L MgCl}_2=4.40 \text{ mEq Mg}^{2+}$ 和 4.40 mEq Cl^-

对于溶液 (浓度用毫渗量每升表示)

NaCl 的贡献 $=102.56 \times 2=205.12 \text{ mOsm}$

MgCl_2 的贡献 $=2.20 \times 3=6.60 \text{ mOsm}$

计算出的毫渗量

$=205.12 \text{ mOsm}+6.60 \text{ mOsm}=211.72 \text{ mOsm}$

对于溶液 (浓度用毫当量表示)

$\text{Na}^+=102.56 \text{ mEq/L}$

$\text{Mg}^{2+}=4.40 \text{ mEq/L}$

$\text{Cl}^-=102.56+4.40=106.96 \text{ mEq/L}$

当溶液中离子组分的浓度用毫当量每升表示, 想知道每个电解质的克数去制备溶液, 需做如下步骤:

1. 确定需要用到的分子化合物。
2. 毫当量浓度转换成毫摩尔浓度。
3. 需要用的电解质的毫克 (克) 数等于毫摩尔 (或摩尔) 浓度乘以分子量。

举例:

1 L 溶液有以下组分:

组分	浓度 (mEq/L)
Na^+	121
K^+	5
Ca^{2+}	32
Cl^-	132
醋酸盐	26

步骤 1: 电解质是 NaCl , 醋酸钠, CaCl_2 和 KCl 。

步骤 2: 毫摩尔浓度:

$\text{KCl}=5 \text{ mmol/L}$ (与毫当量浓度相同)

$\text{CaCl}_2=16 \text{ mmol/L}$ (1/2 毫当量浓度)

醋酸钠 $=26 \text{ mmol/L}$ (与毫当量浓度相同)

$\text{NaCl}=95 \text{ mmol/L}$ (Na^+ 和 Cl^- 的量要减去 KCl , NaCl 和醋酸钠中的量; $\text{Na}^+=121 \text{ mEq}-26 \text{ mEq}$ [来自醋酸盐] $=95 \text{ mEq}$; $\text{Cl}^-=132 \text{ mEq}-32 \text{ mEq}$ [来自 CaCl_2] -5 mEq [来自 KCl] $=95 \text{ mEq}$)

步骤 3: 1 L 溶液所需电解质的毫克数:

KCl 的克数 $=0.005 \text{ mol/L} \times 74.5 \text{ g/(mol/L)}=0.373 \text{ g}=373 \text{ mg}$

CaCl_2 的克数 $=0.016 \text{ mol/L} \times 111 \text{ g/(mol/L)}=1.776 \text{ g}=1776 \text{ mg}$

醋酸钠的克数 $=0.026 \text{ mol/L} \times 82 \text{ g/(mol/L)}=2.132 \text{ g}=2132 \text{ mg}$

NaCl 的克数 $=0.095 \text{ mol/L} \times 58.5 \text{ g/(mol/L)}=5.558 \text{ g}=5558 \text{ mg}$

计算这个溶液的容积渗克分子浓度包括: NaCl 、醋酸钠、 CaCl_2 、 KCl , 它们的量分别是 190、52、48 和 10, 总计是 300 mOsm/L 。实际的渗透活性通过因子 0.93 校正后略小 ($0.93 \times 300=279$)。

自我测评

1. 一种溶液不仅含有等张浓度的 NaCl 还含有相当于 300 mOsm/L 的尿素, 它可以透过膜。把红细胞放在此溶液中会发生什么情况?
 - a. 容积增大
 - b. 容积减小
 - c. 容积不变
2. 一种选择性透膜允许水和物质 x 通过而不允许物质 y 通过。相等体积的 x 水溶液和 y 水溶液分别放在膜的两侧。平衡之后, 哪一边的体积会更大一些?
 - a. 起初含溶液 x 的一边
 - b. 起初含溶液 y 的一边
3. 渗透压测定法测得如下物质的质量渗克分子浓度为:

犬的血浆 $=290 \text{ mOsm}$

溶液 A $=290 \text{ mOsm}$

溶液 B $=330 \text{ mOsm}$

溶液 C $=400 \text{ mOsm}$

当把犬的红细胞分别放在这三种溶液中, 以下情况发生: 溶液 A, 它们膨胀; 溶液 B, 体积没有变化; 溶液 C, 它们皱缩。当把每种溶液和犬的血浆比较, 选择陈述正确的一项:

 - a. 溶液 A 是高渗的。
 - b. 溶液 B 是低渗的。
 - c. 溶液 C 有最高的有效渗透压。
4. 9 g NaCl 配制 1 L 标记为“生理盐水”的溶液, 这个溶液中 NaCl 的百分比浓度是多少?
5. 一种溶液每升含有 300 mEq Fe^{3+} 和 300 mEq Cl^- 。
 - a. 配制 1 L 这样的溶液需要多少克 FeCl_3 (分子量 $[\text{MW}] \text{FeCl}_3=162$)?
 - b. 这个溶液的容积渗克分子浓度 (mOsm/L) 是多少?
6. 相同体积的两种水溶液被一种选择透性膜分开。溶液的质量渗克分子浓度由渗透压测定法测定, 溶液 A 是 430 mOsm , 溶液 B 是 220 mOsm 。这里有一个水从 A 侧

到 B 侧的净扩散。哪一侧有较大的有效渗透压。

- a. A 侧
- b. B 侧

7. 1 L 溶液含有如下离子：155 mEq Na^+ 、5 mEq K^+ 、10 mEq Ca^{2+} 、145 mEq Cl^- 、25 mEq 乳酸盐。

- a. 有多少毫摩尔 (mmol/L) NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 和乳酸钠?
- b. 这个溶液的容积渗克分子浓度是多少?

答案

1. c. 红细胞在 NaCl 等张溶液中能维持体积的平衡，因为其有效渗透压和红细胞的相同。因为尿素可以自由扩散，它不产生溶液的有效渗透压，溶液的等张性质没有改变。
2. b. 物质 y 的滞留产生了有效的渗透压 (张力)。因为膜不能阻止物质 x 通过，所以它不能产生张力。因此，水将扩散到有效渗透压高的一侧。
3. c. 如果溶液 A 是高张的，细胞不会膨胀。如果溶液 B 是低张的，细胞的体积会增大。水会从细胞扩散 (收缩) 到有较高有效渗透压的一侧，像溶液 C。
4. 0.9%。这个溶液含有 NaCl 9 g/L 或 0.9 g/dL。溶质的克每分升浓度决定了溶液浓度的百分比；因此，0.9 g/dL 等于 0.9%。
5. a. 16.2g。300 mEq Fe^{3+} 和 300 mEq Cl^- 等于 100 mmol/L = 0.1 mol/L FeCl_3 。 FeCl_3 的分子量 $162 \times 0.1 \text{ mol/L} = 16.2 \text{ g}$ 。
- b. 400 mOsm。每个 FeCl_3 分子在溶液中分解成四个离子 (粒子)。容积渗克分子浓度是摩尔浓度 (100 mmol/L) 乘以每分子中的粒子数 (4)。
6. b. A 溶液的质量渗克分子浓度尽管大于溶液 B，它的颗粒可以通过膜自由扩散并且不产生有效渗透压。据

此，水渗透到有效渗透压高的一侧，B 侧。

7. a. 分别为 130, 5, 5, 25 mmol/L。
- b. 335 mOsm

步骤 1: 确定用于制备溶液的电解质。它们是 NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 和乳酸钠。

步骤 2: 确定每个电解质的毫当量。

	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Cl^-	乳酸盐
NaCl	130			130	
KCl		5		5	
CaCl_2			10	10	
乳酸钠	25				25

步骤 3: 每个电解质由毫当量转换成毫摩尔。 $\text{NaCl} = 130 \text{ mmol/L}$ ， $\text{KCl} = 5 \text{ mmol/L}$ ， $\text{CaCl}_2 = 5 \text{ mmol/L}$ ，乳酸钠 = 25 mmol/L。

步骤 4: 每个电解质由毫摩尔转换成毫渗量，溶液总容积渗克分子浓度是各个值的和。

	mmol/L	mOsm
NaCl	130	260
KCl	5	10
CaCl_2	5	15
乳酸钠	25	50
总和		335

推荐阅读

Guyton, A.C., and Hall, J.E. 2000. *Textbook of Medical Physiology*. 10th ed. Chap. 25. W.B. Saunders, Philadelphia.

水和电解质

| T. Richard Houpt 编 周杰 译 王菊花 校

水及其分布	食物中的水和代谢水	钠
体内总水量和液体区间	水经尿排泄及其激素调控	钠浓度的调节
水在液体区间之间的流动	其他途径水的丢失	钾
体液量的测定	脱水	钾浓度的调节
水平衡	缺水的适应	氯化物和碳酸氢盐
渴感和水分的摄入	体液中的电解质	

动物正常组织功能和各种生命活动的进行有赖于体液成分的维持和控制，这是因为所有组织细胞都浸浴在体液中。远在100年之前，Claude Bernard指出：细胞外液组成内环境——细胞的环境。早在20世纪初，W. B. Cannon用稳态（homeostasis）一词表示内环境稳定的存在和维持。所有的生命都与水关系密切，组成生命物质的大部分离子和分子都与水有着物理和化学联系，除大分子物质外，大部分的化合物都在水溶液中。水不仅为所有生命过程的进行提供基础，而且也参与了这些过程。

水及其分布

1. 比较极端消瘦与极端肥胖动物体内总水量的差异。为什么存在此差异？
2. 正常体重动物（不胖不瘦）体内的水占体重的百分比是多少？如何被分成两大区间？
3. 学习如图2.3所示的水输入对液体区间容量和质量渗透分子浓度的影响。
4. 为什么输入高张NaCl溶液会引起细胞内液的脱水？
5. 为什么能用Evans蓝染色测定血浆体积？

体内总水量和液体区间

体内总水量（total body water, TBW）就是体内随意分布在细胞内、外区间的水的总和。TBW因动物的种类、年龄、性别、营养和其他状况的不同，而有很大差异。一般而言，TBW在成年偏瘦型非草食动物约占其体重的70%。新生动物的水分含量最高，起初快速下降，随后缓慢下降（图2.1）。由于脂肪组织含水量非常少（ $\leq 10\%$ ），肥胖动物的总水量低于偏瘦型动物。在极度消瘦的牛，水分大约占体重的70%，而极度肥胖的动物，TBW可能只占体重的40%。正常体重（既不偏胖也不偏瘦）动物的含水量大约占体重的60%。图2.2显示的是各区间水量占体重百分比的均值，这些值是可变的。全身大约2/3水分都在细胞内，这些水分组成**细胞内液**（intracellular fluid,

ICF）。所有不在细胞内（或在细胞外）的水分为**细胞外液**（extracellular fluid, ECF），其中包含**间质液**（interstitial fluid, ISF）、**血管内液**（intravascular fluid, IVF）和**细胞透过液**（transcellular fluid, TCF）。间质液在细胞和血管外，直接包围在细胞周围。血管内液是血液的液体部分，即**血浆**（plasma），通常指的是**血浆容量**（plasma volume, PV）。血浆容量中92%是水分，剩下的8%主要是蛋白质。

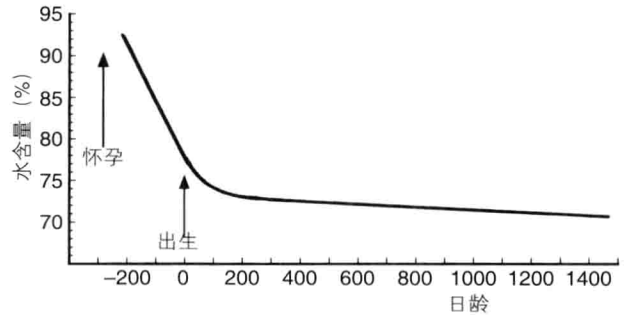


图2.1 牛水含量与日龄的关系

(修改自 Armsby and Moulton 1925, *The Animal as a Converter of Matter and Energy*, Chemical Catalog, New York.)

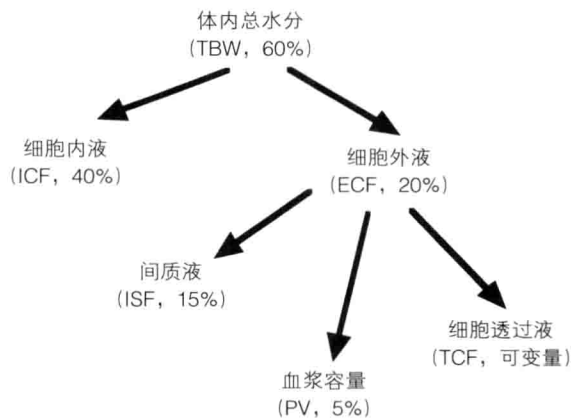


图2.2 体内总水分及其在液体区间中的分布

该数值表示在正常体重（既不偏胖也不偏瘦）的非草食性动物占体重的百分比。

TBW 在各区间中的分布如图 2.2 所示。

细胞透过液是指在体腔中的液体，其中包括眼内液、脑脊液、关节液、尿液、胆汁和消化液。最丰富的细胞透过液在消化道内，反刍动物因胃与发酵有关，其细胞透过液的含量最高。

注意名词水 (water) 和液体 (fluid) 几乎相同但有所区别，体内的液体中不仅包括水而且也包括其中的溶质。测定一个区间的容量通常包括区间内水和溶质的总和。例如，血浆是一种液体，其测定容量大于水分所占的容量。在实际应用中，区间指的是**液体区间** (fluid compartments)，这是因为通常测定的是液体容量而不是水的容量。

水在液体区间之间的流动

水分子能迅速穿透大部分细胞的细胞膜。如果液体区间之间存在渗透压或流体静力压，水就会流动。如果没有可见的流体静力压存在，水流动的结果是使渗透浓度达到平衡状态。图 2.3 中所示为假设静脉注射水的情况。无论什么原因，如果大量水分进入到 ECF，水分会流入细胞，可能会破坏细胞的正常代谢功能，甚至导致细胞死亡。细胞结合过多水的状态称为**水中毒** (water intoxication)。

在 ECF 中增加低张 NaCl 溶液后就会发生近似于上述所描述的水的流动。如果注射等张 NaCl 溶液，它将均匀分布到细胞外区间，对细胞内水分只有轻微的影响。如果静脉给予高张 NaCl 溶液，水分将开始转入血浆。因为毛

细血管能自由通过水和电解质，血管内外的渗透梯度将随着溶剂和溶质的均匀分布而很快消失。与毛细血管壁不同，细胞膜不允许钠离子自由移动，因此 ECF 渗透浓度的增加将引起细胞脱水。

体液量的测定

TBW 的测定可通过干燥整个动物，并测定其质量的减少而直接测定。血量的测定也可以通过循环系统放血直接估测。但是这些方法都不方便，而且必然导致动物的死亡。常用的替代方法是稀释技术，可在动物意识清醒且安静的状态下估测体内总水分、血量和其他一些液体容量。寻找一种能用于注射并能在液体区间均匀分布的物质是关键，该物质必须能限制在特定的液体空间内。待注射的物质在某一区间均匀分布后，采集一定量的液体样品并测定该物质的浓度，液体区间的量等于注射物质的量除以其扩散后的浓度。然而，该物质在液体区间中分布的同时可能被排泄或代谢掉，这些损失必须校正。此外，寻找一种只在所研究的液体区间中分布的物质是十分困难的。

下面显示的是一个通过稀释技术测定体内液体的例子，这种测定血浆容量的方法如图 2.4A 所示。向未妊娠、未哺乳的奶牛注射 Evans 蓝染料 (也称 T-1824)，可获得该染料的时间-浓度变化的对数曲线 (图 2.4B)。这种染料在注射后与血浆蛋白迅速结合，最终在体内与血浆蛋白的分布一致，也就是限制在血浆容量中。在本案例中，静脉注射 120 mg

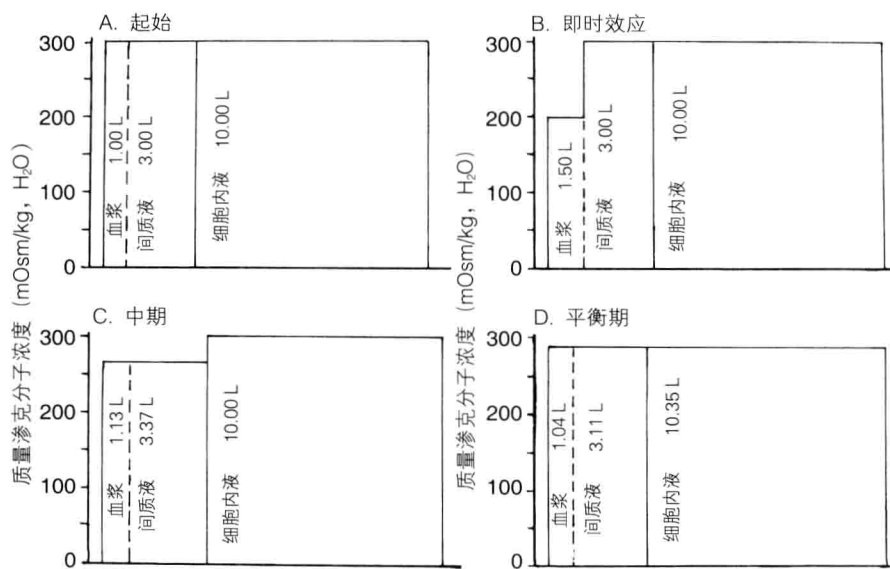


图 2.3 假定向 20 kg 犬静脉注射了 500 mL 水，水在液体区间之间的转移

每个液体区间的高度代表渗透浓度 (毫渗透压摩尔, mOsm/kg H₂O)，宽度代表容积 (L)。起始渗透浓度在各区间相同 (A)，但是注射后血浆的渗透浓度被迅速稀释。(B) 如果注射水的分布是即时的，并只分布在血浆，血浆被大量稀释。实际上血浆和间质液之间的渗透梯度，以及液体量增加引起的血压的升高导致水开始转移到血管外，这在注射的同时就已经发生了。这阻止了血浆如 (B) 所示的过度稀释，并且在注射后不久，血浆接近于如 (C) 所示的渗透浓度。当然，间质液渗透浓度一开始下降，水开始进入细胞。几分钟内所有液体区间重新建立了略低于正常水平的平衡的渗透浓度 (D)。