

Environmental Physiology

环境生理学

主 编
刘洁生
朱伟杰
王子栋



科学出版社

Environmental Physiology

环境生理学



本书由国务院侨务办公室立项、彭磷基外招生
人才培养改革基金资助出版

环境生理学

Environmental Physiology

主 编 刘洁生 朱伟杰 王子栋

编 者 (以姓氏笔画为序)

王子栋 暨南大学医学院生理学系

王玉霞 暨南大学第一临床医学院妇产科

王立伟 暨南大学医学院生理学系

王跃春 暨南大学医学院生理学系

朱伟杰 暨南大学生命科学技术学院生殖免疫研究所

刘洁生 暨南大学生命科学技术学院生物工程学系

杨维东 暨南大学生命科学技术学院生物工程学系

何斯纯 暨南大学医学院生理学系

陈丽新 暨南大学医学院药理学系

科 学 出 版 社

北 京

· 版权所有 侵权必究 ·

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303(打假办)

内 容 简 介

本书是我国第一本环境生理学教材,较系统地介绍了环境因素和机体功能的关系。全书共11章,内容包括绪论,体液、离子和渗透,机体水平衡与渗透压调节,循环系统,环境因素对呼吸系统的影响,代谢与能量供应,环境与人体体温,环境对神经系统的影响,环境与运动系统,环境因素对生殖系统的损伤效应,环境因素对胎儿发育的损伤效应。

本书可供医学院校、综合性大学、师范院校的本科生作为教材或教学参考书,并可供有关专业的研究生、教师及研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境生理学 / 刘洁生,朱伟杰,王子栋主编. —北京:科学出版社,2011.12
ISBN 978-7-03-032965-3

I. 环… II. ①刘… ②朱… ③王… III. 环境生理学 IV. R339.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 252359 号

责任编辑:秦致中 / 责任校对:林青梅

责任印制:刘士平 / 封面设计:范璧合 朱芸菲

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏杰印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年12月第一版 开本:787×1092 1/16

2011年12月第一次印刷 印张:14

字数:332 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

环境科学是研究人和环境之间相互关系的科学,是新兴的跨学科的综合性学科。它涉及自然科学、医学、社会科学和技术科学等不同的领域。环境生理是研究环境因素与机体功能关系的科学。环境因素影响着人类生存和机体的功能,但是环境经过人类不同程度的加工改造,形成了新环境,又影响着人类的生存和机体的功能,所以说环境与人类生活质量和健康有着密切的关系。

自从1975年贝尔格莱德(Belgrade)环境教育会议以来,环境科学教学与研究取得了重要进展。由于环境因素影响机体的复杂性,对从事环境科学学习的学生和工作人员来说,迫切需要恰如其分地介绍环境生理学入门的书籍。本书的目的就是为教学需要而编写的,在符合生物医学院校入门需要的水平上阐述环境因素和机体功能的关系。全书共11章,前四章是总论的内容,后七章为各论。每章列出了主要参考文献,以供读者进一步查阅。

在本书编写过程中得到了暨南大学校院领导的大力支持,并由国务院侨务办公室立项,彭磷基外招生人才培养改革基金资助,在此表示深切的谢意。由于目前环境生理学尚处于萌芽阶段,编写内容的深度及广度方面缺乏经验,加之编者水平所限,可能在多方面存在不足和问题,我们诚挚地希望广大读者给予指正和批评。

编 者

2011年10月16日于暨南园

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 体液、离子和渗透	(6)
第一节 体液中水的作用	(6)
第二节 水的特点及其对机体的影响	(9)
第三节 环境中水的污染对机体生理功能的影响	(14)
第四节 机体中水和溶质的转运	(16)
第五节 细胞内成分浓度的调节	(24)
第三章 机体水平衡与渗透压调节	(29)
第一节 环境与水平衡	(29)
第二节 机体与环境之间的水交换以及渗透压调节器官	(30)
第三节 水分的获取	(39)
第四节 神经系统和激素在水平衡、渗透压调节中的作用	(41)
第五节 体液量和渗透压的调节	(43)
第四章 循环系统	(47)
第一节 循环系统的类型	(47)
第二节 血液	(48)
第三节 心脏	(50)
第四节 血管	(56)
第五节 血压	(61)
第六节 心血管功能的调节	(64)
第七节 环境整合因素对心血管系统的影响	(66)
第五章 环境因素对呼吸系统的影响	(71)
第一节 呼吸生理	(71)
第二节 高原低气压和低氧环境对呼吸功能的影响	(76)
第三节 环境因素对呼吸系统的损害	(79)
第六章 代谢与能量供应	(87)
第一节 能量的来源与转化	(87)
第二节 能量代谢率	(90)
第三节 水环境中的能量代谢	(91)
第四节 高温环境下的能量代谢	(92)
第五节 冷环境中的能量代谢	(93)
第六节 高原环境中的能量代谢	(94)
第七节 能量代谢与肥胖	(94)
第八节 饥饿和营养不良	(95)

第七章 环境与人体体温	(99)
第一节 人体体温	(99)
第二节 体温与人体生理功能	(108)
第三节 环境物理因素对人体体温的影响	(116)
第四节 环境化学因素对人体体温的影响	(124)
第五节 环境中生物因素对人体体温的影响	(128)
第六节 复合环境因素对人体体温的影响	(130)
第八章 环境对神经系统的影响	(133)
第一节 神经系统概述	(133)
第二节 照明与视觉	(139)
第三节 环境噪声与听觉	(146)
第四节 氧与神经系统	(153)
第五节 环境温度与神经系统	(157)
第六节 电磁辐射对神经系统的影响	(158)
第七节 常见环境污染物对神经系统的影响	(162)
第九章 环境与运动系统	(171)
第一节 运动系统概述	(171)
第二节 空间环境与平衡系统	(176)
第三节 运动与活性氧的生成	(178)
第四节 环境因素与骨骼疾病	(181)
第十章 环境因素对生殖系统的损伤效应	(185)
第一节 环境因素作用于生殖系统的途径与特点	(185)
第二节 环境因素对男性生殖系统的损伤	(188)
第三节 环境因素对女性生殖系统的损伤	(192)
第十一章 环境因素对胎儿发育的损伤效应	(196)
第一节 胎儿的生理与发育	(196)
第二节 环境因素作用于胎儿的途径与特点	(202)
第三节 环境因素对胎儿发育的损伤	(208)
中英文索引	(213)

第一章 绪 论

人类生存的环境是由陆地、水体和大气中形形色色的运动着的物质组成的,形成各式各样的生境(habitat),影响着人类机体的各种功能,因此我们应该研究和了解环境生理,揭示环境影响机体功能变化的规律性,从而更深刻地认识生命的过程。

一、环境生理学的概念和研究对象

环境生理学是研究环境因素与机体功能关系的科学。因为生命现象是内外环境的反映,机体功能的形成、发展、衰老和疾病都与环境作用有密切关系,所以环境生理学在研究不同生境栖息地挑战条件下的功能活动具有重大意义。

机体正常功能活动是在内外环境作用下进行的,所以机体的功能在一种环境中是正常的,但并不意味着在另一种环境中也是正常的。举例来说,人在平原中机体的功能活动是正常的,如果把人送到高山上去,那么机体的功能活动和精神表现都要产生变化,容易激动、发怒,情绪波动。但是人类对环境的适应又是惊人的。人类可以在高达海平面以上 8844 米的珠穆朗玛峰生活,这是喷气式飞机的巡航高度。在最高顶峰温度大约是一 40°C ,稀薄的低气压供给的氧气只是海平面的 $1/3$,而且相对湿度是零。另外更重要的是环境对新陈代谢的影响,因为生命的基础是新陈代谢,即机体与环境必须不断地进行着物质和能量的交换。这是机体生存和保持机体生命特征的必需条件。周围环境的每一变化,只要它达到足够的强度,就能影响机体内所进行的复杂的各式各样的代谢过程。既然所有的机能,即所有的生命现象都是与新陈代谢过程密切相关的,因此在新陈代谢过程中发生的任何变动都会引起机体机能状态的改变,或机体某一单独器官相应的反应。实质上,人的行为都是由外界环境的影响而引起的,所以说生理学不只是研究机体的内在功能,而环境与机体功能的关系也是研究的对象。

机体从环境中摄取生命所必需的物质,通过合成代谢形成细胞和组织的各种组分,通过分解代谢释放能量保证正常生命活动所需的能量,并且将分解产物排泄到体外环境中,为其他生物所利用,形成生物群落和生存环境之间的生态系统。

二、环境生理学的任务和研究内容

环境生理学是生理学的重要分支,它的任务是研究人和动物对正常或异常环境产生功能变化的规律,从而有针对性地采取各种措施,减少或消除不利环境因素对人和动物的影响,为改善环境质量,创造良好的环境提供科学依据。

环境生理学涉及的研究范围相当广泛,主要有:一般生境条件下机体的功能活动;不同环境对机体功能的影响,如光、高温、低温、磁作用、气候变化、水下环境、高空、高山、水污染和空气污染等对人和动物功能的影响。

三、环境的意义

环境的概念可以从不同的角度来界定,从化学热力学的观点来看,一个系统作为研究的对象,该系统以外和系统相关联的部分则称之为环境。举例来说,一个烧杯中有血液加入氯化钠

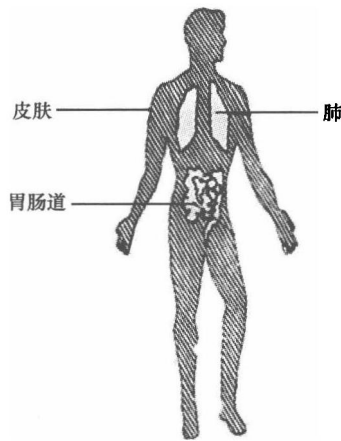


图 1-1 机体内外环境的屏障

生理盐水而稀释,这个烧杯中的血液和氯化钠生理盐水的混合液称之为系统,此混合液以外的部分则称之为环境。

从生物学的角度来看,环境是作用于生物体或生态群落并最终决定其形态和生存的物理、化学和生物等因素的综合体。从人体的观点来看则存在着两个环境:一个在体内,一个在体外。把两个系统分开的是三个保护性屏障:皮肤、胃肠道和肺中的膜系。皮肤保护身体免受外界污染物所造成的损害;胃肠道保护身体内部不被食物消化后不利身体的代谢物所伤害;肺内的膜系不被吸入的有害粒子所损伤(图 1-1)。通过这些屏障使机体功能保持稳态。

虽然屏障提供了身体的保护作用,但是这些屏障在一定的条件下都是很脆弱的。污染物可通过分解由皮脂腺所分泌的蜡膜层经过皮肤而进入身体内部。胃肠道是三个屏

障中最大的一个,具有最大的表面积。当其受到可溶性的化合物便特别脆弱而易损,污染物可以很容易被吸收,摄入体内细胞中。但是身体也具有保护胃肠道的机制,可将不要的物质通过口腔呕吐出去,或经过粪便排出体外(例如腹泻情况就是如此)。在空气中存在着一些可被吸入的悬浮物质,吸入后可沉积在肺中。如果悬浮物是可溶性的则可被吸收。保护肺脏的机制则具有简单的咳嗽和具有吞噬作用的巨噬细胞将其清除,排除异物(表 1-1)。

表 1-1 体内外之间主要屏障的特征

屏障	面积		厚度		重量		每日接触物质量	
	m ²	ft ²	μm	in	μg	lb	kg	lb
皮肤	2	21	100	4×10 ⁻³	12~16	30	易变,不确定	
消化道	200	2150	10~12	4×10 ⁻⁴	7	15	3~4	6 $\frac{1}{2}$ ~9
肺	140	1500	0.2~0.4	1×10 ⁻⁵	0.8	0.92	24	50

体外环境是自然环境,它可分为原生环境和次生环境。原生环境是指天然形成的环境,没有受到人为活动的影响而形成的自然环境。人为活动影响下的自然环境称为次生环境,它们对人体功能都产生重要影响。

从另一种观点来看人类的环境,又可分为“个人环境”和“工作环境”。这两个环境相比较是不同的。个人环境是一个可控制的环境,而工作或周围环境基本上是不可控制的,因为工作或室外环境是高度可变,易产生影响的。个人环境受到饮食、性活动、运动、烟草的应用、药物和酒精,以及更多因素的影响。表 1-2 综合了工业化社会中这些因素对癌症发生的评估。个人环境和生活方式,这种属于个人的因素在癌症发病或死亡中约占 70%或更多。工作或

表 1-2 各种因素在癌症发病和死亡中的评估百分数

风险因素	评估百分数
烟草	30
饮食/肥胖	30
少动的生活方式	5
职业性因素	5
癌症家族史	5
病毒或生物因素	5
生殖因素	3
酒精	3
社会经济状况	3
环境污染	2
电离作用/紫外线辐射	2
药物	1
盐类及食物添加剂及污染物	1

周围的环境一般认为有三种形式:气体、液体和固体。其中每一种形式都可被污染,人类可与这三种形式的环境相互作用(图 1-2)。具有悬浮微粒和毒性气体可释放到大气中;污水和液体的废弃物则被排放到水中;固体废弃物,特别是塑料和有毒化合物则沉积到陆地上,这些周围环境的不利因素无疑对机体的功能产生重要影响。

对人类来说,日益增加重要性的另一个环境是大都市的环境,即所谓城市环境。城市环境非常重要的原因之一是现在大约世界人口的一半居住在中心城市(图 1-3)。据估计在 2030 年左右居住在城市的人口数量还要增加大约 30%。这种情况主要发生在发展中国家。令人不安的是在整个世界中城市环境的生活质量在下降。许多城市噪声、拥挤、空气污染,卫生不良,野生动植物的生境缩小,人工沟渠、溪流、沼泽被填塞,蓄水体被耗损而减少,中心城市的热岛(heat island)效应。增加制冷的费用和污染物的浓度,对人类机体的功能活动都可能产生近期和远期的影响。

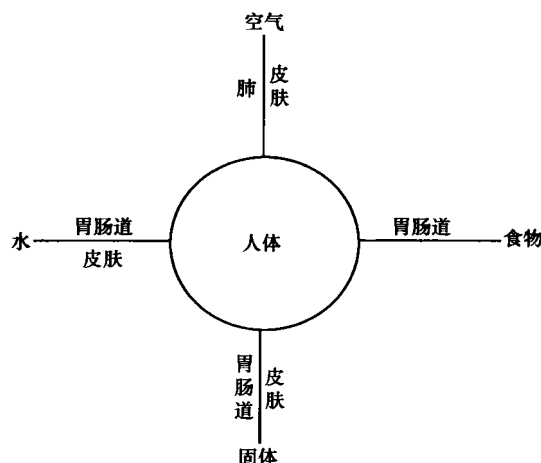


图 1-2 气体、液体和固体环境影响人体的途径

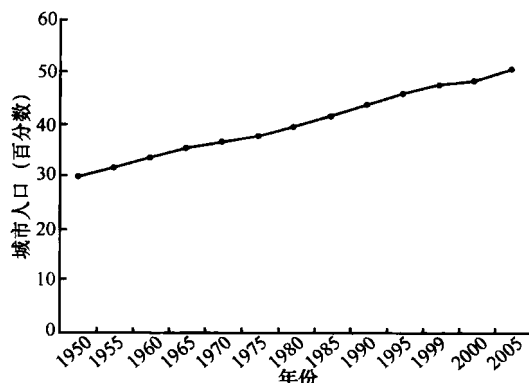


图 1-3 生活在城市中世界人口逐年增加的百分数

四、适应的作用

人体是一个独立生存非共生的机体,他能够到处运动和在各种各样的自然环境中生存。因此人类居住的生境可从西伯利亚的冻土地带和尼泊尔的高山,到南美亚马孙河热带雨林和中东的沙漠。人类生存依从于环境,受到环境的影响,机体通过适应能够在多样化的外界条件下生存。

适应是生物学中一个中心的概念,是使机体适应于不断变化的客观条件而需要的一种机制,往往是通过变异、竞争和选择过程进行的。首先适应可描述为由于选择作用的结果而在机体中形成所观察到的特征。例如,血液中血红蛋白的存在可以说是适应于使血液运输更多氧气的需要。

适应也可描述为自然选择调整对影响机体特征编码基因的过程。例如在种群中增加血红蛋白的浓度可以看做是对潜在低氧(hypoxic)环境的适应。进化适应和自然选择往往认为是同一过程。适应过程包括变异性、重复性、遗传性、竞争性和选择性。从这种意义上来看,适应在正常条件下是发生极为缓慢的过程。要经数百代、数千代才能得出稳定的特征,而且通常是不可逆转的。当然在人为干扰条件下也有可能很快的发生适应。

适应也可用于描述对环境变化而发生短时期代偿性的作用。常常用顺应这一术语来表示这种现象。当机体面对环境的变化时,在正常条件下往往会表现出三种不同水平的反应:避开、顺应或调节。它可以选择其中一种或不同的结合方式进行适应。避开(avoidance)主要是从不利的环境中避开的某些机制,进入能适应生存的地域,这是一种行为上的活动。顺应(acclimation)是机体内部状态来符合外部条件的变化,即是耐受(tolerating)。调节(regulation)是通过调节系统使机体内环境中的某些功能状态接近原初或“正常”水平。图 1-4 比较了顺应和调节的一般形式。顺应主要是适应外部条件,调节是将体内功能过高或过低调整到平衡状态。但是应当强调顺应和调节都不是绝对的,而有一定的限度,没有绝对完全的顺应和绝对完全的调节。举例来说,对体液低盐渗透压的调解,是使体液不致过度稀释,以免细胞过度肿胀,但当无力对太低渗透压进行调节时,进而成为顺应作用。对氧气和体温调节也都具有这种情况。而且有时适应是一种混合反应,既有避开,同时进行顺应和调节。

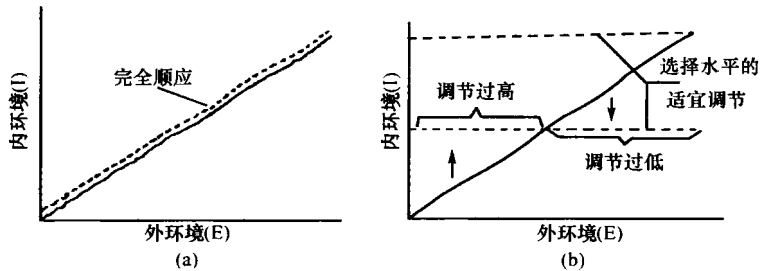


图 1-4 内环境(I)和外环境(E)之间的关系:表明顺应(a)和调节(b)的基本原理

五、不同环境中体积和功能的比率关系

由于环境的影响,有生命机体的体积有相当大的范围。最小的生命体是病毒(viruses),它只含有遗传物质,所有其他的功能都是由宿主细胞所保证的。支原体(mycoplasma)也称为类菌质体(pleuropneumonia-like organism),其重量稍大一点,小于 0.1pg。它是能够独立生存的最小质体,并可在人工培养基中繁殖。从体积大的方面来看,现今生存的最大哺乳动物是海中的蓝鲸,其重量超过 100 000kg。陆地上的非洲大象重量是 5000kg 左右。每一种群的体积都有其大小的范围,这主要取决于环境影响而形成的个体固有的性质。某些门类的不同种群动物在体积方面也有很大的变异。例如苔藓虫门或扁形动物门(Bryozoa or Platyhelminthes)含有很多种类群体,但其体积具有 2~3 个数量级的变异。哺乳动物最小的是鼯鼠(尖鼠:一种食小虫的哺乳动物,类似老鼠,但有长而尖的口鼻,小眼睛和小耳朵),完全长大时其重量大约只有 1 克。这和蓝鲸相比大约有亿万倍之差(表 1-3)。

表 1-3 某些动物和人体大小的范围

机体	质量(估计)(g)	标定单位	机体	质量(估计)(g)	标定单位
支原体(类菌质体)	10^{-13}	$<0.1\text{pg}$	鼯鼠(小尖鼠)	10^0	1g
典型细菌	10^{-10}	0.1ng	仓鼠	10^2	100g
四膜虫	10^{-7}	0.1 μg	人类	10^5	100kg
轮虫	10^{-4}	0.1mg	象	5×10^6	5000kg(5 吨)
蚜虫	10^{-3}	1.0mg	蓝鲸	10^8	100000kg(100 吨)
蜜蜂	10^{-1}	100mg			

由于生存环境的关系,机体随着适应而发生体积、结构和功能上的变化。器官的结构和功能随机体大小而发生变化是一种比率效应。当体积质量增加时,器官和组织大小与功能也随之呈比例性的改变是很明显的。一个熟知的例子是脊椎动物体积质量增加而体内的骨骼相应增粗增大,以支持体重和所进行的运动。但是有些情况则采取其他方法适应性的变化进行解决。例如呼吸由简单扩散进行的气体转运,在短距离上效应是快速的,而当体积增加时就受到制约。但是通过对流的方式来解决,或通过气道的面积和循环系统的同时发展来克服体积增大所引起的气体转运的制约。

机体体积大小和组织器官大小的变化是等长性的变化,组织器官随着体积增加而增大。有些情况是异长性的变化,机体体积的增加,组织器官并不一定呈比例的增加。例如,体积增加两倍,并不意味着需要两倍的氧气或双倍的性腺。在不同种系之间虽然体积相同但功能上却有明显的差异。有袋类哺乳动物和真哺乳动物体积大小相同,但前者的基础代谢率通常约低 30%。环境对体积和组织器官功能的比率关系具有重要影响,同样体积的动物在沙漠中生活的其基础代谢率要低得多。这些情况都说明比率效应是与多种因素相关联的。

(王子栋 朱伟杰 刘洁生)

参 考 文 献

- 达尔文·舒德干等译. 2005. 物种起源. 北京:北京大学出版社
- 孔繁翔. 2000. 环境生物学. 北京:高等教育出版社
- 孟繁强. 2003. 环境毒理学基础. 北京:高等教育出版社
- Angiletta MJ et al. 2003. Tradeoffs and the evolution of reaction norms. *Trends in Research in Ecology & Evolution*, 18: 234-240
- Garland T. & Carter PA. 1994. Evolutionary physiology, *Annual Review of Physiology*, 56: 579-621
- Hochachua KB. & Somero GN. 2002. *Biochemical Adaptation; Mechanism and process in physiological Evolution*. Oxford: Oxford University Press
- London M. 2006. *Environment, Health and Sustainable Development*
- Louw GN. 1993. *Physiological Animal Ecology*. UK: Longman, Harlow
- Marquet PA. & Taper ML. 1998. On size extremes across landmasses. *Evolutionary Ecology*, 12: 127-139
- Spicer JL. & Gaston KJ. 1999. *Physiological Diversity and its Ecological Implication*. Oxford: Blackwell science
- Storey KB. & Storey JM. (eds) 2000. *Environmental stressors and Gene Responses*. Amsterdam: Elsevier
- Vaccari DA. et al. 2005. *Environmental Biology for Engineers and Scientists*. Wiley-Interscience
- Withers PC. 1992. *Comparative Animal Physiology* Saunders College Publishing. Fort Worth

第二章 体液、离子和渗透

人体中的体液,主要是一种水溶液,如唾液、胃液、肠液、尿液和泪液等都是水溶液。食物的消化吸收、营养物质和气体的运输转化、代谢物的排泄都离不开水溶液,所以水溶液在机体的功能中具有重要作用。

所有的生命体本质上都是一系列相互联结的水溶液。确切地说,水是生命的基础,也是人类的重要环境因素之一。地球上所有的生命过程都是围绕着水这个既普通又奇特的分子而进化的。水构成了机体总体质量的 60%~90%。在软体无脊椎动物,这个比例还要大得多;而硬骨动物,具有骨骼质量多的机体比例可能稍小一点。水分布在细胞内液和细胞外液中,细胞内液和细胞外液中的溶质则存在一定的差异。

水不仅是机体的主要构成要素,还具有许多生理作用:

(1) 水是生物机体进行新陈代谢的介质。营养物质和代谢产物以及调节物质的运输都离不开水。

(2) 水具有调节体温的作用,如水的蒸发在高温环境条件下对体内散热起着重要作用。

(3) 水中含有人体生长发育和生理机能所必需的许多化学元素,特别是获得微量元素的重要来源,人在有水饮用情况下,可生存数周,但缺水几天内就可能死亡。

(4) 每个细胞和细胞内的细胞器都需要水达到临界的平衡,以便能够执行固有的功能。水跨细胞质膜进出细胞则伴随着许多生命攸关的现象,例如水跨细胞膜的恒常流动则与不同的离子通道相耦联。在分子水平,分散的水分子或小的水聚集体与维持生物活性大分子,如核苷酸、蛋白质及糖类等构象密切相关。在代谢过程中,水在有关的体内水解、浓缩和氧化还原反应中都是必需的反应物。

本章的重点是论述体液的功能及面对环境的变化如何保持体液正常功能的运作。

第一节 体液中水的作用

一、体液中水的性质和效应

水是体液中的主要溶剂,也是人类面对的重要环境因素之一。由于水分子的构筑特点,所以它有许多重要的性质:

(一) 水分子的结构是角形的

水分子含有两个 H 原子,以共价键和中心的氧原子相联结,但是由于 O 原子具有很强的负电性,所以这个键具有离子键的某些特征,水分子表现出偶极效应(dipole effect)。每个 H 原子荷有轻微的正电荷,O 原子荷有双重的负电荷,因此这就扭曲了这个分子,而离开了直线性,使其键角产生了 104.5°。H₂O 的分子结构如图 2-1 所示。分子形状呈平面三角形,氧原子居中,键角 104.5°,O—H 键长 0.14nm,使水能轻微的聚积。

(二) 水分子氢键的瞬时性

水分子由于偶极效应,使水能够通过两个氢原子与其他分子形成续发性微弱连接

(氢键)。所以一个水分子能瞬时的和其他两个水分子相联结。一个水分子的氢原子被吸引到其他两个水分子中的氧原子上,这样就产生了具有四面体的三维结构的液体水。但是这种结构是非常短暂的。因为只要 $20\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 能量就可以破坏了氢键,对于水分子内的 $\text{H}-\text{O}$ 共价键则需要 $110\text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 的能量才能给以断裂,以致每一个氢键持续时间大约只有 $10^{-11} \sim 10^{-10}$ 秒。

(三) 水分子结构的无序性

水作为一种液体,具有无序的结构(图 2-2)。因为具有氢键的水分子迅速运动,常常描述为“闪烁群”的结构,所以是无序的。但由于氢键的结合,水又趋向于聚积状态,所以在 4°C 时水有最大的密度。

(四) 水分子结构的多形性

水分子在任何瞬间大部分都是和氢键联结在一起的,所以水的熔点和沸点比类似分子(如 NH_3 或 H_2S) 都预期要高得多。这就意味着水可以发生固体或气体。但是在地球表面常温条件下通常是液体。在低温 0°C 时水形成冰(图 2-2b)显示为晶体状态。冰的结构是氢键形成的结果,主要是偶极性质相互作用形成的。冰具有良好的氢键网络。水的另一种形态是气体,在 100°C 水形成水蒸气,它不具有氢键。水的中间态为液体。所以在不同温度条件下水分子的结构是多形性的。

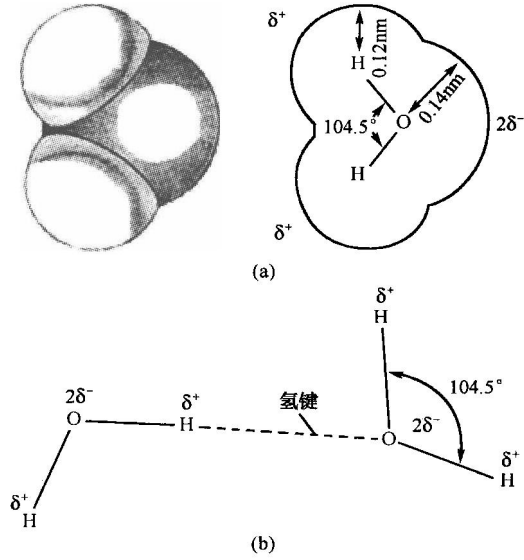


图 2-1 水分子的结构
(a) 水(H_2O)分子的键角与荷电分布;
(b) 临近水分子间氢键的形成

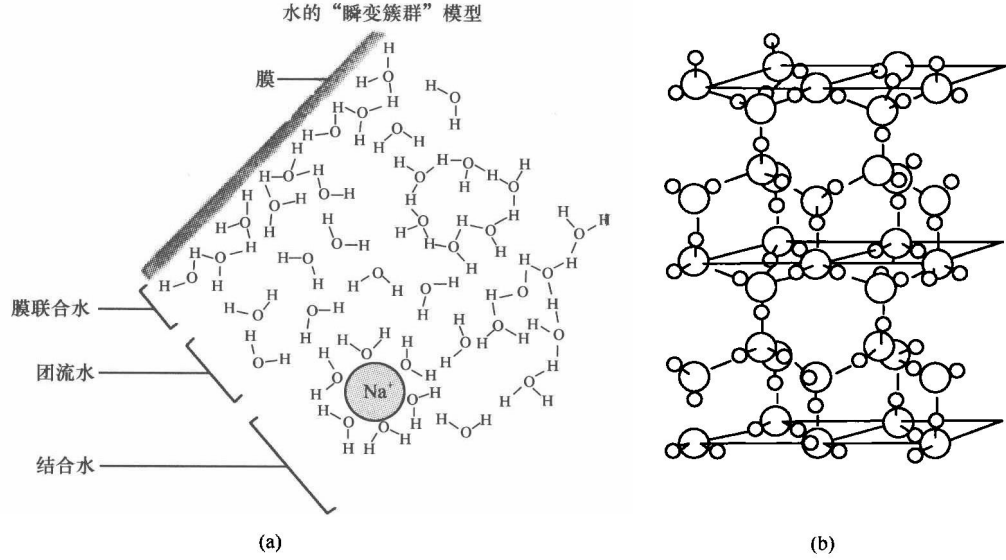


图 2-2 水的结构
(a) 细胞内团流水、结合水和膜联合水的图像和结构;(b) 冰的结构

(五) 水分子氢键具有能量贮存作用

水中的氢键可以作为能量的贮存器(约贮存 $20\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)。水在低温环境中形成冰的晶体结构,由氢键所联结。当冰溶解时,氢键部分断裂释出溶解潜热($6\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)。当水汽化作用时所有的氢键都断裂产生较大的汽化作用潜热($40 \sim 44\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)。这种性质常被利用作为控制体温的一种方式。

(六) 水分子的表面张力作用

水分子内部的联结则引起相当的表面张力,这可以为许多小动物所利用,能够生活在水体的界面上。具有疏水表皮的小动物在池塘和波动的水面支持下可以存活。有些浮游生物借助水的表面张力而产卵,漂浮其上,获得发育。

(七) 水的密度和比重

单位体积内所含物质的质量称为密度。在 4°C 时纯水的密度为 $1\text{克}/\text{厘米}^3$;海水的密度为 $1.03\text{克}/\text{厘米}^3$ 左右。 4°C 时纯水 1立方厘米 的重量为 1克 ,以水为标准,水的比重为 1 。同体积的其他物质的重量与水相比,比值大于 1 者为比重大,小于 1 者为比重小。水中溶有盐类或其他物质时,密度增加,比重也相应增加。所以海水的密度和比重较淡水大,海水的比重为 1.03 。

了解水的密度和比重有重要意义,因为进入水中的人体或物体会发生浮沉现象。有些在淡水中沉没的物体,在海水中就不容易沉没或根本不沉没。水的密度是不因受压而增加的,体积也不会因受压而缩小。当对水施加压力为常压(一个大气压)的 200 倍时,水的体积缩小一般不超过 1% 。所以将水称之为“不可压缩性流体”。人体组织中水占 70% 左右,体内物质多溶于水,这样的特性使人体细胞、组织与结构也同样具有“不可压缩性”,保持它固有的形态。

二、水的离子化作用

水具有很小的离子化作用。当水的内部氢键断裂时,可能形成 3 个 H 原子和 1 个水分子中的 O^+ 相结合,或一个 H^+ 与另一个水分子的 O 相结合形成 H_3O^+ [水合离子(hydronium)]和 OH^- [羟离子(hydroxyl ions)]。但是水这样的离子化只是很小的一部分。这两个离子的浓度为 $10^{-11}\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ 。水中所存在的水合离子可以很容易供出多余的质子,进行短距离的运动。这在某些生化反应中有重要的参与作用。水的离子化的性质则产生两个重要的结果:①在化学层面上来看, H_3O^+ 是一个酸,即它可以供出质子,而 OH^- 是一个碱,它能够接受质子。因此水既能以酸又能以碱而起作用。所以它是两性物质(ampholeric)。它能够溶解和中和在水中的荷电基团。这对于溶解的氨基酸和蛋白质是极为重要的。这些物质在水溶液中,它们含有带正电荷的氨基($-\text{NH}_3^+$)和带负电的羧基($-\text{COO}^-$)。哪一个基团在水中占优势将取决于溶液的酸度。在正常 pH 条件下大多数蛋白质都带净负电荷。②水离子化的另一个结果是其电导极大。因为 H_3O^+ 和 OH^- 离子作为电荷的载体而起作用。纯水的电导极低。但当水中存在任何电解质时,电导都会显著提高。

三、水的溶剂作用

水可以说是万能的溶剂,它可以溶解晶体离子化合物,如 NaCl ,由于水分子的偶极效

应,能够克服各个 Na^+ 和 Cl^- 离子间的静电吸引作用。任何的离子都可能在水中溶解,虽然某些离子,如碳酸盐(carbonate)和硅酸盐(silicate)只是轻微溶解,因此往往它们却被用于形成生物的背壳和其他永久性的生物结构。水也能溶解非离子和有机化合物,如糖和酒精。因为这些物质也具有极性。水也能与部分极性的分子,如肥皂(油酸钠和有关的化合物)起反应,所以它们被称为“两亲性分子”(amphipathics)。这些物质具有亲水的头和疏水的尾,使溶质分散为极小的滴或胶束(micelle)。只有完全没有极性的分子才很难溶解在水中。由此可见,在活细胞中都利用了这些溶剂的性质。

第二节 水的特点及其对机体的影响

一、水的温度与水下低温对机体的影响

(一) 水的温度

物体升高 1°C 所需的热量称为热容量,质量为 1 克的物质升高 1°C 所需的热量叫做比热。举例来说,纯水升高 1°C 所需的热量是 1 卡,水的比热则为 1 卡/克·度。海水的比热(盐度为 20%)则为 0.95 卡/克·度。空气的比热则为 0.24 卡/克·度。由于水的比热比空气大,所以水温升高或降低比空气要慢得多。

海水温度升高的主要热源是太阳的辐射热。海水的温度变化是比较缓慢的,但随着海区纬度大小的差异、季节气候不同、日照时间长短以及水的深浅度而变化。

海水深度与海水的温度有一定的关系,由于海水的比热大,太阳辐射只能达到一定深度,所以水的深度不同,海水的温度也不同。一般情况是水温随水的深度增加而降低。水的表层温度较高,中间层较表层要低,而且温度下降急剧,往往深度增加很小,温度下降很大。中间层以下至海底为底层。表层和中间一般 10 米左右。各层温度以底层较为稳定。在 200 米的大陆架深度,底层终年保持在 $3\sim 5^\circ\text{C}$ 。表层和中间层因受多种因素的影响,温度变化较大。我国沿海各海区表层水温全年的变化如表 2-1 所示。

表 2-1 我国沿海各海区海水表层温度全年变化情况

海区 名称	测量地点		全年各月份表层水温($^\circ\text{C}$)											
	名称	北纬	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
黄海	青岛	$30^\circ 05'$	3.1	2.43	3.64	8.28	13.65	18.78	23.21	26.19	24.74	19.35	12.85	5.29
	成山头	$37^\circ 23'$	2.02	2.5	4.4	8.29	12.5	16.21	19.14	23.78	23.55	18.29	14.48	6.5
	大连	$38^\circ 56'$	2.5	1.4	2.3	5.1	9.9	15.6	19.8	23.6	21.8	17.3	10.6	7
东海	舟山	$30^\circ 01'$	14.08	8.3	12.57	16.81	17.25	17.84	21	25	28	24.5	21.4	17.81
	福州、基隆	$25^\circ 40'$	20.5	19.4	19.6	22	24.5	26.5	27.6	26.7	27.2	24.1	23.2	20.7
南海	汕头、高雄	$22^\circ 37'$	21.3	21.2	22.5	25.7	28.03	30.2	29.4	27.6	29.5	27.8	24.1	22.2
	榆林	$18^\circ 13'$	21.2	23.1	25.5	26.9	30.8	30	28.9	29.4	29.1	27.92	25.7	27.8

通常一日之内,海水温度上午常比下午低 1°C 左右。了解水的温度,对潜水时,尤其是在深度潜水,对水的低温影响机体的功能做好预防,避免受冷是非常重要的。

(二) 水下低温对机体的影响

通常海水的温度都低于皮肤的温度。夏季表层水温比较高,但中间层和底层的水温仍

然较低。在裸体潜水时,皮肤和水直接接触,因为皮肤温度高于水温,因此在潜水过程中,人体的热量将以温差梯度,通过全身与水接触面积,以传导、对流和辐射三种方式向水中散失。

水的导热系数(即单位时间,单位长度内温度降低 1°C 时单位面积所容许通过的热量)比空气大20多倍,所以在水下身体的热量大部分是以传导方式散失的,与皮肤最接近的一层水分子受皮肤温度作用后便会很快离开,冷的水分就会自由流进来替换,这样往复,便以对流的方式带走身体很多热量。而人在水中以辐射方式散失的热量是很少的。

机体受到寒冷刺激后,主要产生两种生理效应:即增加产热和减少散热,皮肤失热时刺激了冷觉感受器。反射性地增加肌紧张,颤动、组织氧化加速等。此时机体产生的热量,除供给机体活动时所消耗的能量,同时机体还发生一系列减少热量散失的反应,如皮肤血管收缩等。

如果水温过低或在水下停留时间过长,代偿作用不能补偿失去的热量,则出现体温降低现象。由于体温降低,机体代谢率也随之下降,机体在水下活动能力减少。一般机体温度下降到 $27\sim 29^{\circ}\text{C}$ 时,可失去知觉,降到 22°C 时,会有生命危险。

在水下工作的人员体温降低后出水,其体温降低的状况,一般要持续 $2\sim 4$ 小时,然后经过高于正常体温 $0.5\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 的波动以后,才恢复到正常,如果出水后的人员洗热水澡,喝热的饮品和进行适当的活动等,可使体温恢复较快。在体温恢复之前,不应反复在水下作业。

(三) 水的阻力

机体在水中作业或运动时,要受到水的阻碍,这种阻碍作业或运动的力就是水的阻力。水的阻力大小与水及物体的相对运动速度,物体的形状以及物体与水接触的正面面积大小有关。

当水流动时,尤其流速较快时,作业人员在水下的活动会受到水的阻力影响。如果是逆水前进则阻力更大,如果是顺流也很费力,湍急的水流会使水下作业人员的动作遭到极大困难,甚至不能进行作业。水下作业人员的动作越快,受到的阻力也越大。

水在流动时,机体与水之间存在着摩擦力,同时水与机体表面之间也存在着摩擦力。如人在水下活动,必然要推开一部分水,所以每进行一个动作都会受到水的摩擦阻力的影响。

由此可见,水的阻力对水下作业人员的影响主要有两方面,一方面是妨碍水下作业人员在水下的动作;另一方面作业人员为了克服水的阻力要消耗很多的能量。

(四) 水的浮力和水下工作的稳度

1. 水的浮力

水作用于浸入其中的物体所产生垂直向上的力称之为水的浮力(floating power)。浮力的大小等于被该物体所排开水的重量。当浮力大于物体的重量(正浮力)时,物体上浮;反之,当浮力小于物体的重量(负浮力)时,物体则下沉。负浮力越大,下沉越快,所以物体在水中所受浮力作用的大小,不取决于物体的重量,而是取决于浸入液体中的物体所排开的液体重量(阿基米德定律 Archimedes law)。比重小的物体容易上浮;比重大的物体容易下沉。同时浮力与液体本身的比重有关,比重大的液体其浮力大;比重小的液体其浮力小。前已论述海水的比重大于淡水,故同样的物体在海水中比在淡水中容易漂浮。

了解沉浮的道理,目的在于了解人潜入水下作业后,如何利用沉浮的规律,而获得在水