

► 主 编 / 杨永录

体温与体温调节生理学

TIWEN YU TIWENTIAOJIE
SHENGLIXUE



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

● 成都医学院专著出版基金与学科建设项目资助

体温与体温调节生理学

TIWEN YU TIWEN TIAOJIE SHENGLIXUE

主 编 杨永录

副主编 胡晓松 赖 雁 罗 蓉 李晓明

编 者 (以姓氏汉语拼音为序)

卜 舒 胡晓松 黄 涛 姜鹤群

赖 雁 李博萍 李等松 李茂全

李晓明 李 鑫 罗 蓉 沈字玲

唐 平 唐 瑜 胥建辉 杨永录

雍刘军 张 洁



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

体温与体温调节生理学/杨永录主编. —北京:人民军医出版社,2015.7

ISBN 978-7-5091-8470-7

I. ①体… II. ①杨… III. ①体温调节—生理学 IV. ①Q413

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 128308 号

策划编辑:杨德胜 文字编辑:杜海洲 黄维佳 责任审读:周晓洲

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市 100036 信箱 188 分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010)51927290;(010)51927283

邮购电话:(010)51927252

策划编辑电话:(010)51927300—8065

网址:www.pmmp.com.cn

印、装:三河市潮河印业有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:21.25 彩页 4 面 字数:410 千字

版、印次:2015 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

印数:0001—1800

定价:80.00 元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

内容提要

本书共9章,第1、2章系统介绍了体温及人体产热、散热生理学基础知识,第3、4、5章分别介绍了自主性与行为性体温调节、胎儿与新生儿体温调节、老年人体温调节等方面的基础知识和研究进展,第6、7、8、9章结合临床重点介绍了低温、应激性体温过高、热环境对人体生理功能影响及医学防护、化学毒性物质对体温调节的影响。本书既有国内外最新研究结果,也有编者自己的研究成果,内容丰富,图文并茂,理论联系实际,具有较强的学术价值和临床实用性,适合生理学科工作者、医学院校师生及临床医师阅读参考。

前言

稳定的体温与完善的体温调节功能,在维持机体内环境恒定和各项生理功能正常活动中有极其重要的作用。临床上医护人员和病人都把体温变化看作是疾病发展与身体恢复的最常见和最不容置疑的体征之一,而且发热本身也是病人求医问药的原因之一。所以,体温与体温调节是生理与病理生理学的重要组成部分。

我们国家体温与体温调节的研究工作有较长的历史,许多科技工作者在体温调节、冬眠与低温及发热与退热机制方面做了卓有成效的工作,并取得了出色的成绩,其应用前景是令人鼓舞的。20世纪70年代末和80年代初,我国开始采用微电极技术在体细胞外记录和膜片钳技术等电生理手段进行体温调节中枢机制和冬眠低温机制的研究。国内许多学者从不同角度对体温调节机制和发热机制以及中医与针刺退热机制进行了大量的实验研究。

由于科学技术的飞速发展,体温与体温调节生理及其病理生理学的研究已经有了很大进展。特别是无线遥测技术的出现使得对体温调节的研究产生了革命性的变化,研究者可以使用无线遥测技术连续测量动物在清醒和自由状态下昼夜体温的细微变化,有力地推进了整体体温调节机制的研究。为此,我们从体温与体温调节生理、病理生理和临床方面编写了这本《体温与体温调节生理学》专著。全书共9章,除了系统地介绍体温生理的基本内容外,还用了大量的篇幅全面介绍了近年来体温调节方面研究的新进展,包括自主性体温调节、行为性体温调节、老年体温调节、胎儿与新生儿体温调节。本书也紧密结合临床,介绍了低体温、应激性体温过高、热环境对人体生理功能影响与医学防护以及化学毒性物质对体温调节功能的影响。在编写内容方面,坚持自己的研究资料和最新文献相结合,力求做到内容优化,图文并茂,我们期望本书的出版能为体温与体温调节生理的教学、科研与临床工作者提供一部较为系统的参考书。

编写这样一本书是困难的,因为既要考虑到书的前沿性,又要照顾到普及性。编写者在阐明体温与体温调节的基础上,尽可能将其对临床的指导意义和临床实际应用加以论述,务求对不同的读者能够提供一定的参考。但由于编写者水平有限,可能有遗漏、争议和不妥之处,恳望读者指正。

在本书编写过程中,成都医学院领导、科技处和研究生处给予了大力支持,并提供了经费资助,在此表示衷心感谢!

杨永录

2014年12月

目 录

第 1 章 体温	(1)
第一节 环境温度的一般效应与温标	(1)
一、温度的概念与环境温度	(1)
二、环境温度的一般效应	(2)
三、温标	(4)
第二节 体温及其生理波动范围	(5)
一、机体热量	(5)
二、体温的概念	(6)
三、机体深部(体核)温度	(6)
四、机体表层温度	(8)
五、体温的测量	(10)
六、体温的正常值及其生理波动	(12)
第三节 体温昼夜节律	(21)
一、体温昼夜节律的特点与种系之间的差异	(21)
二、影响体温昼夜节律的主要因素	(22)
三、体温昼夜节律形成的机制	(24)
第 2 章 机体产热与散热	(27)
第一节 机体产热及其机制	(27)
一、产热与散热的平衡	(27)
二、体热的储存	(28)
三、机体热量的计算	(28)
四、功率	(29)
五、产热形式及其机制	(30)
六、棕色脂肪组织与非战栗产热	(35)
第二节 散热及其机制	(41)
一、机体内热量到达皮肤的途径	(42)
二、散热的方式及其机制	(44)
三、人体散热稳定度与影响因素	(54)
第三节 汗腺与机体蒸发散热	(56)
一、汗腺的组织结构与特点	(56)

二、汗腺分泌与机体散热	(59)
三、汗腺分泌的调节	(66)
四、出汗异常	(67)
第3章 体温调节	(73)
第一节 温度感受器与温度觉	(75)
一、温度感受器	(75)
二、温度觉	(78)
第二节 皮肤温觉转导与传入	(81)
一、感觉神经末梢和皮肤表皮细胞	(81)
二、表皮细胞在温度感觉中的作用	(83)
三、热转导	(85)
四、冷转导	(88)
第三节 体温调节的神经通路	(90)
一、热感觉的神经通路	(94)
二、冷感觉的神经通路	(94)
第四节 中枢神经系统对体温的调节作用	(95)
一、脊髓	(95)
二、中脑	(96)
三、臂旁外侧核	(96)
四、下丘脑	(97)
五、大脑皮质	(99)
六、体温调节的调定点学说	(100)
第五节 中枢神经系统温敏神经元的电生理特性	(104)
一、温敏神经元的分布和形态	(105)
二、中枢不同部位温敏神经元的生理功能	(107)
三、POA 温敏神经元的电生理特性与温度敏感性	(113)
四、POA 温敏神经元动作电位形成的机制	(116)
五、AVP 和 PGE 对 POA 温敏神经元电生理特性的影响	(120)
第六节 行为性体温调节	(122)
一、行为性体温调节的方式与生理意义	(123)
二、影响行为性体温调节的因素	(127)
三、行为性体温调节的机制	(128)
第七节 神经肽与其他神经递质在体温调节中的作用	(133)
一、精氨酸加压素	(133)
二、 α_2 -MSH 在体温调节和解热中的作用	(138)

三、神经降压素	(141)
四、铃蟾肽	(143)
五、多巴胺	(145)
第4章 胎儿与新生儿的体温调节	(150)
第一节 胎儿体温与体温调节	(150)
一、胎儿与母体的体温差及影响因素	(150)
二、胎儿产热与控制产热的因素	(153)
三、胎儿散热与影响散热的因素	(155)
第二节 新生儿体温与体温调节	(158)
一、新生儿体温的正常值及其波动范围	(158)
二、新生儿体温的测定	(159)
三、新生儿产热与散热	(160)
第5章 老年人体温调节与老年性低温症	(163)
第一节 衰老的概况	(164)
一、有关衰老的概念	(164)
二、人体衰老的特征和表现	(166)
三、衰老的机制	(169)
第二节 老年人体温调节	(175)
一、老年人皮肤温度敏感性的变化	(176)
二、老年人心血管系统变化对体温调节的影响	(177)
三、衰老对机体产热和散热的影响	(179)
四、衰老对行为性体温调节的影响	(182)
五、寒冷引起的体温调节功能降低与衰老速率的变化	(184)
第三节 老年性低温症	(186)
一、老年性低温症的流行病学	(186)
二、老年性低温症的病因	(187)
三、老年性低温症的临床表现	(189)
四、老年性低温症的诊断	(190)
五、老年性低温症的检查	(190)
六、老年性低温症的治疗	(191)
七、老年性低温症的对策	(192)
八、老年性低温症的自救方法	(193)
九、老年性低温症的预后与预防	(193)
第四节 低温与阿尔茨海默病	(195)
一、阿尔茨海默病发生机制的研究概况	(195)

二、低温是引起和促进 AD 发病的危险因素	(198)
三、低温促进 AD 发病的机制	(199)
第 6 章 低温	(205)
第一节 低温的分类与生存环境的温度范围	(205)
一、低温的分类与特点	(205)
二、恒温动物生存环境温度范围	(206)
第二节 低温发生的原因和临床表现	(207)
一、偶发性低温	(207)
二、创伤性低温	(208)
三、化学毒剂引起的低温	(209)
第三节 调节性低温与非调节性低温	(210)
一、调节性低温与非调节性低温的特点	(210)
二、调节性低温与非调节性低温的比较	(210)
三、调节性低温的研究方法	(211)
四、调节性低温的生理与病理生理学意义	(211)
五、调节性低温机制的研究	(217)
第四节 低温对生理功能的影响	(218)
一、低温对组织细胞能量代谢的影响及其机制	(218)
二、低温对主要脏器生理功能的影响及其机制	(220)
第五节 低温的细胞与分子机制	(223)
一、低温与酶活性的变化	(223)
二、低温与细胞因子的变化	(223)
三、低温与离子通道	(224)
第 7 章 应激与应激性体温过高	(229)
第一节 应激	(229)
一、应激的全身性反应和细胞反应	(229)
二、应激时机体代谢和功能的变化	(233)
第二节 应激性体温过高	(235)
一、应激性体温过高的概念	(235)
二、发热与体温过高的区别	(235)
第三节 应激性体温过高的实验动物模型	(236)
一、群居小鼠应激性体温过高的实验模型	(236)
二、单笼小鼠应激引起体温过高的实验模型	(237)
三、用无线遥测技术记录应激体温过高反应	(237)
四、开放环境实验箱	(237)

第四节 参与应激性体温过高的介质与细胞因子	(239)
一、前列腺素 E_2	(239)
二、白介素-1	(240)
三、白介素-6	(240)
四、肿瘤坏死因子	(241)
五、糖皮质激素	(241)
六、精氨酸加压素	(241)
七、5-羟色胺	(242)
八、多巴胺	(243)
九、去甲肾上腺素	(243)
十、外周胆碱能神经	(243)
十一、交感神经系统	(244)
十二、下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴	(245)
第五节 应激性体温过高的机制及其争议	(246)
一、应激性体温过高的可能机制	(246)
二、情感变化对 POA 温敏神经元活动的影响	(247)
三、预知性焦虑引起的体温升高	(248)
四、应激性体温过高机制的争议	(248)
五、人心理应激性体温升高的可能机制	(250)
第 8 章 热环境对人体生理功能的影响及医学防护	(252)
第一节 热环境中机体的热交换与体温调节	(252)
一、我国热环境气候的特点	(252)
二、热环境中机体热交换与体温调节	(254)
三、热环境中人体生理应激反应	(255)
第二节 热习服	(262)
一、热适应与热习服的概念	(262)
二、热习服形成的过程	(262)
三、热习服形成的机制	(263)
四、热习服的生理学特征	(264)
五、热习服形成的特点及影响因素	(264)
第三节 中暑	(265)
一、中暑的诱因	(266)
二、中暑的分类	(267)
三、中暑发生的病理生理学	(268)
四、中暑发病机制的实验研究	(270)

五、中暑对机体功能的影响	(272)
六、中暑的临床表现及实验室检查	(276)
第四节 热致疾病与卫生防护	(278)
一、热环境作业卫生防护	(278)
二、常见热致疾病的防护	(281)
第9章 化学毒性物质对体温调节的影响	(285)
第一节 化学毒性物质引起调节性低温及其机制	(285)
一、抗胆碱酯酶药对体温调节功能的影响	(285)
二、醇类对体温调节功能的影响	(291)
三、空气中有毒物质对体温调节功能的影响	(293)
四、金属类对体温调节功能的影响	(295)
五、化学毒性物质对围生期体温的影响	(298)
六、化学毒性物质引起体温的变化与耐受性	(300)
第二节 化学毒性物质引起体温过高及其机制	(302)
一、啮齿动物实验模型在发热与毒理学研究中的应用	(302)
二、抗胆碱酯酶类杀虫药与体温升高	(302)
三、其他毒剂引起的体温过高与发热	(307)
第三节 温度对化学物质毒性的影响	(313)
一、温度与化学毒性物质毒性的关系	(313)
二、环境温度与体温对动物体内毒性物质毒性的影响	(316)
三、温度对毒性物质毒性影响的机制	(320)
四、习服与化学毒性物质	(324)

第 1 章

体 温

第一节 环境温度的一般效应与温标

一、温度的概念与环境温度

(一) 温度的概念

温度是表征物体冷热程度的物理量。从微观上来说,物体温度的高低标志着组成物体的大量分子无规则运动的剧烈程度,即对其分子平均动能大小的一种度量。显然,物体的物理、化学特性与温度密切相关。

温度概念的建立及温度的测量都是以热平衡为基础。当两个冷热不同的物体接触后就会产生导热换热,即热量从高温物体向低温物体传递,直到两物体温度相等,即达到热平衡为止,这就是温度最基本的性质。

(二) 环境温度

环境温度是表示环境冷热程度的物理量。地球上气温在南极地区最低达 -89.2°C 和 -94.5°C ,在北极地区可低到 -70°C ,西伯利亚的奥米亚康 1 月份平均气温为 -50°C 以下,曾记录到 -71°C 。热带沙漠的气温可高达 85°C ,温泉的温度也可达 90°C 以上。从冰封的南极高原到沸腾的温泉,几乎在各种环境温度下,都有生命存活。尽管地面的温度和气温变化较大,但地下或土壤内的温度,甚至雪层下面的温度都比表面平稳,海洋深处的温度虽然比表面低,却比较稳定,大部分生物生活在接近地球表层。温带的气候一年四季不同,赤道地区的温度比较平稳,但是赤道地区或赤道附近的高山上昼夜温差也很大。

(三) 环境温度测量方法

常用的环境温度测量方法有干球温度法、湿球温度法和黑球温度法。

1. 干球温度法 在温度计的水银球不加任何包被的情况下进行测量,测出的温度是大气温度,俗称气温。

2. 湿球温度法 用湿棉纱把温度计的水银球包起来进行测量,测出的温度是大气湿度饱和情况下的温度。干球温度与湿球温度的差值可反映出环境的湿度。

湿球温度与气温和水汽压力(分压)之间的关系为:

$$h_e(p_w - p_a) = h_c(T_a - T_w) \quad (\text{式 1-1})$$

式中 h_e 为热蒸发系数, p_w 为湿球温度下的饱和水汽分压(湿球表面的水汽压力), p_a 为周围环境中的水汽分压, h_c 为热对流系数, T_a 为干球温度(气温), T_w 为湿球温度。

3. 黑球温度法 将温度计的水银球放入一个直径为 15cm 外涂黑色的空心铜球的中心进行温度测量, 这种温度计又称黑球温度计或铜球温度计。黑球温度(T_g)可以反映环境的热辐射情况, 其关系为:

$$T_g = (h_c \cdot T_a + h_r \cdot T_r) / (h_c + h_r) \quad (\text{式 1-2})$$

式中 T_r 为平均辐射温度, h_r 为热辐射系数。

这三种温度所反映的环境温度性质是不同的, 所以在表示环境温度时必须说明所采用的测量方法。

(四) 热生理指标

环境温度对于人体产生的生理效应, 除了温度的高低外, 还与环境中的湿度和风速(空气流动速度)等因素有关。因此在环境生理学上常采用温度-湿度-风速的综合指标来表示环境温度。这类温度指标统称为热生理指标, 常用的有以下几种。

1. 有效温度 根据人的主诉制定的温度指标。它将温度、湿度和风速等条件综合在一起, 成为一种具有同等温度感觉的最低风速和饱和湿度的等效气温指标。同样数值的有效温度对人来说有同等的主诉温度感受, 应用最广。但是有效温度只考虑了湿度和风速, 而没有考虑热辐射对人体的影响。

2. 干-湿-黑球温度 以干球、湿球、黑球三种不同温度数值按一定的比例加权平均求得的温度指标。这种温度指标能反映环境温度对人体生理影响的程度。

3. 操作温度 是空气温度和平均辐射温度对各自的换热系数的加权平均值, 当空气温度与平均辐射温度相同时, 操作温度等于空气温度。

二、环境温度的—般效应

一般有生命的机体均被它们所能生存的温度极限所限制, 通常是生活在十分狭窄的温度范围内, 越是复杂的有机体, 这种限制越严。在防止脱水和细胞内过度冰晶形成的情况下, 一些单细胞生物被冷却到接近绝对零度(-273°C)时, 其生存能力仍能维持一段时间。不过, 在这样的温度下, 所有的代谢活动完全被抑制。一些多细胞生物通常是不能耐受冰点以下的温度, 因为冷却到 0°C 以下, 细胞内产生冰晶, 胞内溶液渗透压升高, 就会损害其结构。对于大多数的恒温动物, 即便是高于冰点的低温, 也会妨碍代谢过程而导致损伤或死亡。但是, 生活在两极海域的鱼, 因血浆中有抗冻蛋白, 可防止体内冰晶的生成, 这些鱼能在低于其血液冰点的

海水中生活。生活在北极圈内的一种树蛙,其细胞有最大的耐受脱水能力,体内含冰量可达 60%~70%(即-5℃下冰冻),在冻结中存活。

大多数细胞的温度上限在 45℃左右。一般温度上升到 45℃以上,蛋白质开始变性,变性的蛋白质就失去了其功能特性。但也有很特殊的藻类,它们能在 70℃的热泉中生长;有些细菌甚至在接近 100℃的环境温度条件下也能存活;在深海洋的热裂隙口附近的温度为 250℃左右,仍有细菌生活。哺乳类动物细胞在预先处理后,能惊人地增加其耐受热损害的能力。有证据表明,热激蛋白提供了保护性机制,参与了耐热能力的获得、维持和衰退。有人用 Hela 细胞中总蛋白的合成活动演示,耐热力的发展可在 42℃下连续进行,或在 45℃短时处理中形成。分子量为 70kDa 的热激蛋白在帮助热损伤的细胞核仁修复中起特殊作用。因此细胞功能大多限制在 0~45℃的温度范围内,可以认为这就是生命的温度范围。

对某一个动物种系来说,这种温度限制,体现于物种的优选温度(preferred temperature)。能适应较宽的环境温度范围的动物(如温带地区的动物),就必须有代谢的补偿,才能达到对温差较大环境的习服。有机体受到酶活性的适宜温度限制,催化同一生化反应;有些机体仅有单一的酶,限制了生存的范围;而另一些机体对相应的反应可有复杂的不同的酶,使其机体能在更宽的温度和 pH 范围内生存。代谢的代偿可以重新调整生化机制以对抗温度的影响,如夏季催化某反应使用某一种酶,到冬季则用另一种酶,使机体能适应季节性温度变化。生理生化过程很少因温度变化而导致严重的波动或中断。温度对于构成大量生物活动的基础化学反应速率的效应,可以用下列方程式来表示:

$$k = Ce^{-\Delta E/RT} \quad (\text{式 1-3})$$

式中 k 是反应速率, C 是常数, e 是自然对数的底数(2.718), ΔE 是反应的激活能, R 是气体常数, T 是绝对温度。这个方程式曾被认为适用于平滑肌的收缩速率、呼吸运动等,因为这些活动都受温度的影响。由选择两个相隔 10℃ 的温度,并测定在此温度下有机体的活动性,这些活动性的比率被称为 Q_{10} ,可以得到下列简便的方程式:

$$Q_{10} = (k_1/k_2)^{10/T_1-T_2} \quad (\text{式 1-4})$$

有人曾从发热病人测出人体代谢率的 Q_{10} 约为 2.5。大多数生物学过程的 Q_{10} 为 2~3,亦即温度每升高 10℃,反应的速率升高 2~3 倍(图 1-1)。如果一个反应或生理过程是非温敏性的,其 Q_{10} 应为 1。在处理发热并以静脉输液给予营养的病人时, Q_{10} 效应则有重要临床意义,体温高于正常 1℃,体液和能量的需要增加 13%。在组织处于高温时,可产生另一方面的危险,当 Q_{10} 大于 2.5 时,一些细胞蛋白质迅速失活。这样,当温度升高时,组织被热破坏的速度远远超过由于代谢活动增加而得到修复的速度,于是造成组织损伤或烧伤。

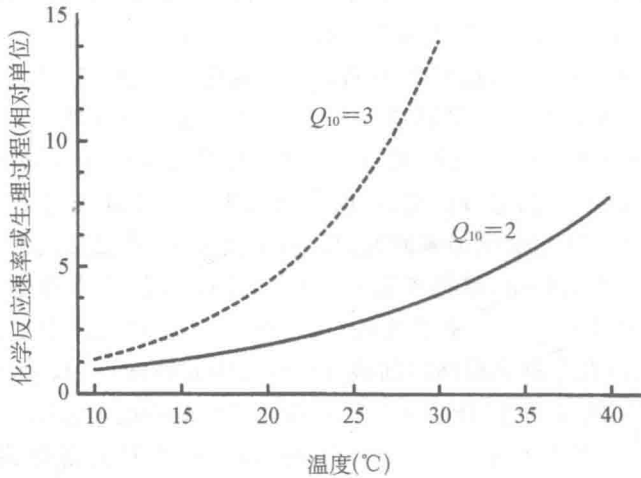


图 1-1 温度对化学反应速率或生理过程的影响

(引自: Gordon CJ. Temperature and toxicology. New York: CRC Press, 2005.)

虽然人体组织在 45~50℃ 的温度时,就有被烧伤的事实,而另一些具有比较耐热的生物体组织却能够在接近 100℃ 的温泉中生存和发育。不过即使对于体温稳定的有机体,持续地生存于极高或极低的温度中是不可能的,这类生物也是受温度所限制的。

由于生命系统中各个组成反应的 Q_{10} 并非精确一致,在生理过程的复杂网络中,联系在一起的各种反应的 Q_{10} 不相同,温度的变化就会使机体的功能平衡与整合中断,为了保持内环境的稳定,机体必须有能力代偿或阻止温度的变化。如果一个人的平均体温每降低 10℃,代谢率就可降低 2~3 倍。利用这一事实,在一些外科手术中,如果必须阻断血流时,就可用局部或全身降温的方法降低组织的代谢,以防止过度缺氧。另外,动物种系不同,温度对其生理过程的影响则不同,因而它们的生理过程的 Q_{10} 也不同(表 1-1)。

三、温标

在一定的温度下,许多物理量总是有一定的数值。临床上普遍使用的水银温度计是利用一定质量的水银的体积来指示温度。一根细玻璃管与一个较大的球泡相连,在球泡和一部分管子中注入水银,而管子的其余部分是抽空并且密封的。当温度增加时,水银的体积比球泡的体积增加得快,所以管中的水银就上升了。

表 1-1 温度对不同种系动物细胞和生理过程的影响

动 物	生理指标	温度系数	Q_{10} 温度范围
狗	心率	正	1.52(33~37℃)
豚鼠	心率	正	1.32(32~38℃)
大鼠	心率	正	1.62(35~38℃)
青蛙	心率	正	2.10(15~25℃)
鱼	心率	正	1.77(12~25℃)
大鼠	大脑皮质代谢	正	2.40(30~39℃)
	心室肌代谢	正	1.60(30~39℃)
	肝脏代谢	正	2.16(30~39℃)
兔	神经传导速度	正	3.70(20~40℃)
豚鼠	神经传导速度	正	1.30(30~40℃)
青蛙	神经传导速度	正	1.50(15~36℃)
人	手和臂部神经动作电位的幅度	负	0.40(21~31℃)

为了校准温度计,通常选择两个参考温度,再把它们之间的间隔划分为若干个相等的刻度。这样,我们可以取在标准大气压下水的冰点和沸点作为参考温度,并且把它们之间的间隔分为 100 个相等的刻度。如果我们设冰点是 0℃,设沸点是 100℃,这样就得到了摄氏温标。在世界上大部分地区的日常生活中,都采用这种温标,并且在科学工作中也广泛应用。在美国,采用的是华氏(°F)温标。最初,它的定义是把一种规定好了的冰-水-盐混合物的最低温度作为 0°F,并把人体温度规定为 96°F。由于人体温度是可变的,所以后来又把这个温标重新定义为:水的冰点是 32°F,沸点是 212°F。下述方程给出了摄氏温度(T_C)与华氏温度(T_F)之间的关系:

$$T_C = 5/9(T_F - 32^\circ\text{F}) \quad (\text{式 1-5})$$

例如:正常的体温是 98.6°F。在摄氏温标上它是:

$$\begin{aligned} T_C &= 5/9(T_F - 32^\circ\text{F}) \\ &= 5/9(98.6^\circ\text{F} - 32^\circ\text{F}) = 37^\circ\text{C} \end{aligned}$$

第二节 体温及其生理波动范围

人和高等动物机体都具有相对稳定的体温,故称为恒温动物(homeothermic animal),正常体温是机体进行新陈代谢和生命活动的必要条件。

一、机体热量

人体组织的比热为 3.473kJ/(kg·°C),根据人体体重和体表面积即可计算出机体热量(heat, H):

$$H(\text{kJ}/\text{m}^2) = (0.67T_C + 0.33T_S) \times 3.473 \times \text{体重}(\text{kg}) \div \text{体表面积}(\text{m}^2) \quad (\text{式 1-6})$$

式中 T_c 为体核温度, T_s 为皮肤温度。

人体在冷环境中散热增加,如产热不能代偿散热,则人体体热量减少。散热超过产热造成的体热负平衡称为热债(heat debt, D),可根据下式计算:

$$D(\text{kJ}/\text{m}^2) = H_2 - H_1 \quad (\text{式 1-7})$$

式中 H_1 为冷暴露前机体热量, H_2 为冷暴露后机体热量。

单位时间内的热债称为热债率(D/h),单位为 $\text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。

影响体温和机体热量的因素包括冷暴露的程度和时间、人体的冷适应程度、体力活动强度、作业安排及防寒装备的使用等。

二、体温的概念

体温(body temperature)是指机体深部的平均温度,即心、肺、脑和腹腔脏器等地的温度。正常情况下,机体内产生的热量主要通过体表散失到周围环境中。根据物理学原理,接近机体表面部分的温度比机体中心部位的温度低。接近体表部分的温度称为体壳温度(shell temperature)或表层温度,是指人体的外周组织,即皮肤、皮下组织和肌肉等地的温度。其中最外层皮肤表面的温度为皮肤温度(skin temperature)。体壳温度不稳定,形成从里至外的温度下降,并且由于机体几何形状不规则而形成不同部位之间的复杂的温度差;体壳温度也易受环境温度等因素的影响而变动,特别是皮肤和四肢末端的温度波动更大。体核温度(机体深部温度)较体壳温度高,而且比较稳定,各部位之间的差异也小。体核温度范围和体壳温度范围的相对比例,可随环境温度变化而发生较大改变。在寒冷环境中,体核温度范围缩小至机体的深部;在炎热环境中,体核温度可扩展到四肢(图 1-2)。

三、机体深部(体核)温度

机体深部温度主要是指心、肺、脑和腹腔脏器等地的温度,通常称为体核温度(core temperature, T_c)。尽管活细胞组织可耐受而不致受损害的温度范围从冰点到 45°C 左右,远比体温调节的限度要宽得多,但是通常人体内深部温度控制在 37°C 左右这样一个比较窄的范围内(图 1-3)。当人体的体核温度相对恒定在 37°C 左右时,它们的功能最为完善,也是机体健康的指标。若显著地偏离这种相对恒定的温度时,就会出现疾病,甚至死亡。如船舶遇难,在冰水中浸泡的人,当体温下降到 25°C 左右时,尽管此温度对组织并无损伤,但因脑干或心脏的电活动受到严重影响,使呼吸与循环功能发生障碍而致死亡。

体核温度高于体表温度,且比较稳定,各部位之间的差异不大,但由于各器官组织的代谢水平不同,其温度略有差异。可以认为在任何内脏和组织中的温度有赖于:①这一部位的代谢活动;②通过这一部位的血流量和血液温度;③周围组织温度梯度的坡度。