

韩正康 主审

简明动物生理学

孙镇平 主编

动物医学 动物科学 水产养殖专业用

 中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

简明动物生理学/孙镇平主编. —北京: 中国农业出版社, 2004.11

ISBN 7-109-09504-5

I. 简... II. 孙... III. 动物学: 生理学 IV. Q4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 122035 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 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 刘 炜 郭永立

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 11.25

字数: 252 千字 印数: 1~5 000 册

定价: 25.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

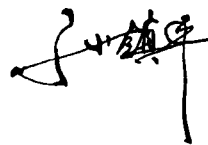
主 编 孙镇平
副主编 蒋春茂 张汤杰 艾晓杰
参 编 梁明华 王会香 孟婷 徐小芹
主 审 韩正康

前 言

动物生理学是研究动物生命活动规律的一门重要的专业基础课程。动物生理学调控技术在畜牧兽医领域发挥着越来越多的作用。随着教学改革的不深入，教学课时大幅度削减，为帮助农业院校动物医学、动物科学、水产养殖等专业学生更好地掌握动物生理学的基本内容，根据教学大纲的要求，涉及动物机体生物电、血液、循环、呼吸、消化、能量代谢、泌尿、肌肉运动、神经、内分泌、生殖、泌乳、禽类生理特点等方面的内容，系统简明地编写了《简明动物生理学》一书。我们参考了人体生理学方面的内容，以促进动物生理学的发展。在编写过程中为突出重点、难点，结合多年教学体会，在该书中设计了框架式图解，以简洁明了的方式深入浅出地阐明复杂的生理学调节机理。在近几年的教学试用过程中，发挥了很好的教学指导作用，深受同学们的欢迎。该书也可作为成人教育教材，考研复习参考书。

该书完稿后，经国内知名动物生理学专家、南京农业大学韩正康教授审稿，同时得到扬州大学出版基金资助，在此一并表示谢意。本学科研究生华棣、朱王飞、秦玉玲等承担了计算机处理等工作。

由于水平有限，难免存在一些缺点和错误，诚盼广大读者给予指正。



2004年10月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 生命的基本特征	1
第二节 细胞的兴奋性和生物电现象	2
第三节 机体功能活动的调节	5
第二章 血液	8
第一节 血液的组成与特性	8
第二节 血液与免疫功能	9
第三节 生理止血机制	10
第四节 血细胞的生成与破坏	13
第五节 禽类血液的特点	15
第三章 血液循环	16
第一节 心脏的泵血功能	16
第二节 心肌的生物电现象和生理特性	19
第三节 血管生理	26
第四节 心血管活动的调节	31
第五节 禽类血液循环特点	35
第四章 呼吸	37
第一节 肺通气	37
第二节 呼吸气体的交换	40
第三节 气体在血液中的运输	42

第四节	呼吸运动的调节	45
第五节	禽类呼吸生理特点	49
第五章	消化和吸收	51
第一节	消化生理概述	51
第二节	口腔内的消化	53
第三节	单胃内消化	55
第四节	复胃内消化	59
第五节	小肠内消化	64
第六节	大肠内消化	69
第七节	吸收	70
第八节	禽类消化生理特点	76
第六章	能量代谢和体温调节	80
第一节	能量代谢	80
第二节	体温调节	84
第三节	禽类能量代谢与体温调节特点	88
第七章	肾脏的排泄	90
第一节	尿的理化特性及其组成	90
第二节	肾脏的结构特征与血液量的调节	91
第三节	尿的生成过程	93
第四节	尿液的浓缩和稀释	99
第五节	肾脏泌尿功能的调节	103
第六节	禽类肾脏的排泄特点	106
第八章	骨骼肌	108
第一节	骨骼肌的特性	108
第二节	骨骼肌收缩的外部表现和力学分析	110
第三节	骨骼肌活动的机理	112
第九章	神经系统	116
第一节	神经元活动的一般规律	116

第二节	反射活动的一般规律	121
第三节	中枢神经系统概述	123
第四节	神经系统的感觉分析功能	125
第五节	神经系统对躯体运动的调节	127
第六节	神经系统对内脏活动的调节	131
第七节	脑的高级功能	133
第八节	禽类神经系统的特点	134
第十章	内分泌	136
第一节	概述	136
第二节	下丘脑的内分泌机能	138
第三节	腺垂体	139
第四节	神经垂体	141
第五节	甲状腺	142
第六节	肾上腺	145
第七节	胰岛	148
第八节	甲状旁腺激素、维生素 D 和降钙素	150
第九节	禽类内分泌系统特点	152
第十一章	生殖	155
第一节	一般概念	155
第二节	雄性生殖生理	156
第三节	雌性生殖生理	157
第四节	家禽生殖生理特点	159
第十二章	泌乳	163
第一节	乳房的解剖结构	163
第二节	乳腺的生长发育及其调节	165
第三节	乳的分泌及其调节	166
第四节	排乳	169

第一章 绪 论

生理学起源于人们对生物的好奇心。生理学一词来自希腊文的 Physis (自然) 和 Logia (知识)。动物生理学是生物学的一个分支, 是研究动物机体功能活动规律的科学, 目的是探索生命过程, 对其物理的及化学的机理有详尽的了解。动物生理学不仅与生命活动过程中“发生了什么”有关, 而且也与“是如何发生的, 为什么会发生”有关。

第一节 生命的基本特征

在生物体内存在着碳、氢、氧、氮等原子形成的特殊的高分子有机化合物, 包括蛋白质、核酸、糖和脂类等。在自然界, 这些物质只存在于生物体内, 统称生物分子, 以它们为主体构成生物体的各种结构。在生物分子中蛋白质和核酸是构成生物体最基本的物质。生物体必须在一定的环境中才能有生命。生命只不过是生物体存在的一种状态。各种生物体的生命现象至少包括 4 种基本活动, 即新陈代谢、兴奋性、适应性和生殖。

一、新陈代谢

生活在适宜环境中的生物体, 总是不断地重新建造自身的特殊结构, 同时又不断地破坏自身衰老的结构, 以新合成的生物分子代替旧的。这一过程称为新陈代谢。新陈代谢是以生物体和环境进行物质和能量交换为基础的, 如果新陈代谢停止, 生命也就停止。

二、兴奋性

环境条件变化不断作用于生物体, 而生物体对环境条件变化又能主动做出相应的反应。引起生物体发生反应的各种环境条件变化统称刺激。生物体(或离体活组织)对刺激发生兴奋的能力称为兴奋性。兴奋性也是生命的一种基本特征。当神经、肌肉和腺体等组织受到一定刺激后能较迅速地产生特殊的生物电反应(动作电位)及其他反应, 生理学将这三类组织统称为可兴奋组织, 而受刺激后产生生物电反应及其他表现的过程称为兴奋。

三、适应性

生物体能随着环境的变异, 不断地改变或调整自身各部分之间的结构(功能活动)和机能的关系, 维持内外环境的动态平衡, 保持机体的正常生存和延续种族。这种主动适应环境变化而生存的特性叫做适应性。

适应性是动物进化过程中和个体生活过程中逐渐发展而臻于完善的, 进化程度越高的动物, 适应性就越强(如体温调节与冬眠)。

四、生殖

生物体生长发育到一定阶段后，能够产生与自己相似的子代的功能，称为生殖。一切生物都是通过自我复制延续种系，因此，生殖也是生命的基本特征之一。

第二节 细胞的兴奋性和生物电现象

一、兴奋性和刺激引起兴奋的条件

(一) 兴奋性

兴奋性是指活的组织或细胞对刺激发生反应的能力。尽管各种可兴奋细胞兴奋时的外部表现不同（如肌肉收缩、腺细胞分泌等），但它们最先出现的反应，都是在受刺激局部膜两侧出现特征性的电位变化——动作电位，而外部表现如收缩和分泌等，都是由动作电位进一步触发或引起。神经纤维受刺激而兴奋时产生的动作电位，称为神经冲动。动作电位是大多数可兴奋细胞受刺激而兴奋时共有的特征表现，又是细胞实现其功能的关键性因素。因此，在近代生理学术语中，兴奋性被理解为细胞在受刺激时产生动作电位的能力，而兴奋则是动作电位的同义语。

(二) 刺激引起兴奋的条件

兴奋（excitation）是指机体器官或组织受刺激后，从相对静止的状态转变为活动状态，或由较弱的活动状态转变为较强的活动状态。而抑制是指机体器官或组织受刺激后，从活动状态转变为相对静止状态，或由较强的活动状态转变为较弱的活动状态。

细胞所处环境中各种理化因素的改变称为刺激。刺激引起组织兴奋，必须使刺激强度、刺激持续时间和刺激强度变化率三者达到某个最小值。刺激的这三个参数可以互相影响，当其中一个（或两个）的值改变时，其余两个（或一个）的值也会发生相应的改变。在刺激强度变化率固定不变的条件下，引起组织兴奋所需的最小刺激强度与刺激的持续时间呈反变关系，它可用强度-时间曲线表示。当所用电刺激的作用时间和强度变化率都固定时，引起组织兴奋所必需的最小刺激强度，称为阈强度，简称阈值。强度小于阈值的刺激称为阈下刺激。测定组织阈强度的大小，可以近似地反映兴奋性的高低。引起组织兴奋所需阈值愈小，说明组织的兴奋性愈高；反之，阈值愈大，说明兴奋性愈低。

(三) 组织兴奋及其恢复过程中兴奋性的变化

同一组织或细胞在接受一次刺激而出现兴奋的当时和以后的一个短时间内，其兴奋性将经历一系列有次序的变化，顺序为：①绝对不应期：兴奋性下降到零，阈强度无限大；②相对不应

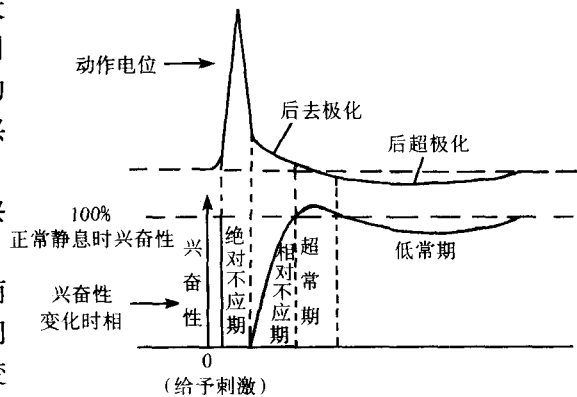


图 1-1 兴奋性变化与动作电位的对应关系

期：兴奋性逐渐恢复，但阈强度仍大于正常；③超常期：兴奋性轻度增高；④低常期：兴奋性低于正常，最后又恢复到正常（图 1-1）。

以上各期的持续时间在不同细胞可有很大差异。一般说来，绝对不应期约相当或略短于前一刺激所引起的动作电位主要部分的持续时间。因此，同一部位受到连续刺激时，不可能发生动作电位的融合，这就意味着绝对不应期的长短，决定着该组织在单位时间内所能兴奋次数的最大值。

二、细胞的生物电现象及其产生机制

（一）细胞的静息电位和动作电位

1. 静息电位 (resting potential) 静息电位指细胞未受刺激时存在于细胞膜两侧的电位差，又称为跨膜静息电位或膜电位。静息电位表现为膜内较膜外为负，例如，哺乳动物的肌肉和神经细胞的静息电位为 $-70 \sim -90\text{mV}$ 。静息电位在大多数细胞是一种稳定的直流电位（一些有自律性的细胞，如心肌和某些平滑肌细胞例外）。在正常安静时存在于膜两侧的稳定的内负外正状态，称为极化状态。

2. 动作电位 (acting potential) 动作电位是指各种可兴奋细胞受刺激而兴奋时，在膜两侧所产生的快速、可逆并有扩布性的电位变化，包括去极相和复极相。以单一神经纤维动作电位为例，去极相 (depolarization)：膜内电位短时内由 $-70 \sim -90\text{mV} \rightarrow +20 \sim +40\text{mV}$ ，即由原来静息时的内负外正变成内正外负，电位变化幅度可达 $90 \sim 130\text{mV}$ ，构成动作电位曲线的上升支。其中膜内电位由零值净变为正值的部分，称为超射 (overshoot)，约 $+35\text{mV}$ 。复极相：去极相时膜内电位的倒转只是暂时的，它很快又恢复到静息水平，构成动作电位曲线的下降支。在神经纤维，动作电位的去极相和复极相历时仅 $0.5 \sim 2.0\text{ms}$ ，形成一个短促而尖锐的脉冲，称为峰电位 (spike potential)。

峰电位构成神经动作电位的主要部分，在它完全恢复到静息电位水平之前，还要经历一些微小而缓慢的波动，称为后电位。动作电位的特点：①“全或无”现象：在单一可兴奋细胞或神经纤维上，刺激达到阈强度就引起一个一定幅值的动作电位，再增加刺激强度，并不能使动作电位的幅度进一步增大；②可扩布性：动作电位在刺激部位产生后，可沿着细胞膜自动地向周围扩布，直至整个膜都依次兴奋，并产生一次同样大小和波形的动作电位。动作电位的幅度和持续时间，不同的可兴奋细胞是不同的。

（二）生物电现象的产生机制

根据膜离子学说认为，各种生物电现象主要是由于某些带电离子在细胞膜两侧的不均匀分布，以及膜在不同情况下对这些离子的通透性发生改变所造成的。下面以神经和骨骼肌为例说明之。

1. 静息电位和 K^+ 平衡电位 (potassium equilibrium potential) 正常时，细胞内 K^+ 浓度远大于细胞外 K^+ 浓度，由于静息膜主要对 K^+ 有通透性， K^+ 即顺浓度差向膜外扩散，而膜内带负电的蛋白质离子不能随之透出，因此 K^+ 的外移就在膜两侧产生了外正内负的电位差，此电位差又成为阻碍 K^+ 继续外移的电势能差，当膜内外驱使 K^+ 移动的浓度差与电势能差达到平衡时，将不再有 K^+ 的净移动，此时膜两侧内负外正的电位差将稳定于一数值不变，此即 K^+ 的平衡电位。所以，静息电位主要由 K^+ 的平衡电位所形成。

静息电位值与根据 Nernst 公式计算得出的 K^+ 平衡电位值非常接近，但稍小。

2. 峰电位和 Na^+ 平衡电位 (sodium equilibrium potential)

(1) 去极相：当加于细胞膜的刺激达到阈强度时，引起膜对 Na^+ 的通透性突然增加，此时由于本来存在着的膜内外 Na^+ 的浓度差以及静息时内负外正的电势能差，二者引起 Na^+ 迅速内流，使膜内电位急剧上升，当膜内正电位增大到足以对抗由浓度所造成的 Na^+ 内流时，膜内电位达到一个新的平衡点，此即 Na^+ 的平衡电位。但是实际测出的动作电位超射值虽接近 Na^+ 的平衡电位，但略低。

(2) 复极相：达超射值后，由于 Na^+ 通道的迅速失活以及 K^+ 通透性的增大，所以 Na^+ 内流停止而 K^+ 外向扩散，使膜复极至静息电位水平。

简言之，峰电位上升支（去极相）的出现是由于膜对 Na^+ 通透性突然增大，引起 Na^+ 内流造成的；而下降支（复极相）则主要与随后出现的 K^+ 通透性的增大有关。

3. 通透性改变的实质和离子通道的特性 Na^+ 、 K^+ 等离子的跨膜被动转运，是通过镶嵌在膜上的某些特殊的蛋白质通道来完成的，通道的机能状态（激活或失活）决定了膜对某种离子的通透性。

离子通道的特性：①选择性通透：各种通道分别对某种离子具有通透能力，河豚毒可单独阻断膜对 Na^+ 的通透；四乙基铵则可单独阻断 K^+ 通透，说明 Na^+ 、 K^+ 不是经过同一通道通透的。已知膜上存在着 Na^+ 通道、 K^+ 通道、 Ca^{2+} 通道等，实验证明甚至对于同一种离子，膜上也可能存在着不同的通道；②在不同的生理条件下“激活”或“失活”。“激活”是指通道蛋白质结构中出现了允许某种离子顺浓度差移动的孔道，相当于通道的开放；“失活”不仅指通道的关闭，还意味着这时通道即使在适当刺激作用下也不能再开放。不同的通道各在特定的条件下被激活或失活。改变通道启闭的因素有二：一是膜两侧的电位差，如神经纤维和肌细胞膜上的 Na^+ 通道和 K^+ 通道。在静息电位下， K^+ 通道开放而 Na^+ 通道多处于关闭状态；当膜去极化达阈电位时，使 Na^+ 通道激活而大量开放，出现峰电位上升支。这些由膜两侧电位差决定其启闭的通道，称电位依从性通道。二是细胞环境中的递质、激素或药物等化学信号与膜上特异受体结合而使某些通道激活，这些通道称化学依从性通道。如分布于突触后膜处的离子通道等。

三、兴奋的引起和兴奋的传导机制

(一) 阈电位 (threshold potential)

当膜上有外向电流通过时，由于膜具有一定的电阻，该电流在膜两侧产生内正外负的电压降，其方向与静息电位相反，因而使静息电位的绝对值减少。当膜电位降低到某个临界值时，由于 Na^+ 通道的电压依从性而引起膜对 Na^+ 通透性突然增大，出现动作电位。这个能够产生动作电位的膜电位最低值，称为阈电位。巨大神经轴突的静息电位为 $-70mV$ ，阈电位均为 $-55mV$ ，当刺激电流是内向电流时，引起的膜电位下降与静息电位的方向相同，结果膜产生超极化，使膜电位距阈电位的差值增大，膜的兴奋性下降。

(二) 局部兴奋和他向峰电位的转变

阈下刺激时，由于细胞膜上被激活的 Na^+ 通道数量较少，只在刺激局部引起微弱的

去极化反应，称局部反应或局部兴奋。局部兴奋的强度不足以在它的邻接部位诱发动作电位，只使邻近膜的静息电位稍有降低，并随距离的增加，其影响也迅速降低至零，局部兴奋的这种扩布形式称为电紧张性扩布 (electrotonic spread)。若在短时间内连续给予几个阈下刺激或当相邻的细胞膜上同时受到几个阈下刺激时，局部兴奋通过时间总和或空间总和而叠加，使膜去极化达到阈电位，则可产生一次可扩布性动作电位。

(三) 兴奋在同一细胞上的传导机制 (local current conduction)

可兴奋细胞的膜在任何一处产生的动作电位将沿着整个细胞膜传导。此传导过程是由于兴奋部位的膜两侧电位暂时倒转，呈内正外负，而邻接的静息膜仍处于内负外正的静息电位，在已兴奋区与静息区之间出现电位差而有电荷移动，形成局部电流。局部电流使邻接部位静息区的膜去极化达阈电位而出现动作电位。这样的过程在膜上连续进行下去，就表现为兴奋在整个细胞膜上的传导。

兴奋在有髓神经纤维上的传导方式比较特殊。有髓神经纤维其轴突外面包有一层不导电的髓鞘，它只在朗飞氏结处中断，该处轴突膜和细胞外液直接接触，可允许离子跨膜移动，兴奋传导时的局部电流只能出现在相邻的朗飞氏结。因此，动作电位也在相邻的朗飞氏结相继出现，称为兴奋的跳跃式传导。其传导速度比无髓纤维或一般细胞快得多。

只要刺激能使膜的去极化达到阈电位水平，以后所出现的动作电位的大小、波形及其在膜上的传导就不再与原初的刺激有关，而是决定于膜本身的生理物理特性和膜内外的离子分布情况，只要这些因素不变，动作电位的大小和传导速度就不会改变。

第三节 机体功能活动的调节

机体对内外环境变化的调节特点，一是适应性，二是整体性。机体绝大部分细胞并不直接与大气环境（外环境）接触，而是浸浴于细胞外液之中。因此，细胞外液成为细胞生活的液体环境，称为机体内环境。高等动物的细胞外液分成两大部分：组织液和血浆。组织液约占 4/5，直接浸浴着全身组织细胞，能直接与细胞进行物质交换；血浆约占 1/5，在血管内循环运行全身，是体内物质运输的主要媒介。血浆一方面与组织液进行物质交换，另一方面又通过肺、肾、循环、消化等内脏系统与外环境沟通，摄取营养物质和 O_2 ，同时排出各种代谢产物，这样既实现细胞与外环境之间的物质交换，又维持内环境理化性质的相对稳定，为细胞提供适宜的生活环境。

内环境理化性质的相对稳定是指各种物质在不断转换中达到平衡状态，只在一定的狭窄范围内变动，所以这种动态平衡也称为稳态 (homeostasis)。稳态的概念不仅指内环境理化性质维持相对稳定，实际上，机体的各种功能活动通常都在不断变化的内环境中保持动态平衡。稳态的维持是生物体内各种自我调节机制发挥作用的结果，反过来稳态又是保证生命活动正常进行的重要条件。

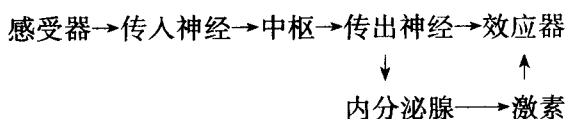
机体对外环境变化的反应特点：一是适应性，二是整体性。适应性是通过改变机能活动以适合环境条件的变化而维持稳态。机体对环境条件变化作出适应性反应的过程称为调节。整体反应包括：①运动系统按一定目标进行一系列活动，完成一定动作；②内

脏系统活动作出相应的调整，维持稳态。这些调节活动是由机体内的3种调节机制来完成的。

一、神经调节 (neuroregulation)

在中枢神经系统参与下，机体对内、外环境变化产生的适应性反应称反射 (reflex)。反射是神经调节的基本方式，反射的结构基础是反射弧。反射弧的5个环节是：感受器→传入神经→中枢→传出神经→效应器。反射弧是一种开放回路。但是机体效应器内也存在有感受细胞或感受器，能将效应器活动的信息输回中枢，适时地调整中枢发出的冲动，使效应器的活动更准确协调。因此，在实际的反射过程中，神经调节是通过闭合的反射回路来完成的。

神经—内分泌调节学说对经典的反射弧结构进行了补充，反射弧由6个环节构成：



反射类型：①非条件反射，是生来就有的，反射弧较固定，刺激性质与反应之间的关系是由种族遗传因素决定的。②条件反射，是后天获得的，建立在非条件反射的基础上，是个体在生活过程中根据所处生活条件“建立”起来的，刺激性质与反应之间的关系不固定，灵活可变。

神经调节的特点是：迅速而准确，作用范围局限，持续时间短暂。

二、体液调节 (humoral regulation)

指血液中某些化学成分，随血液循环到达全身组织器官，调节他们的活动，称为全身性体液调节。这些化学物质主要是内分泌腺分泌的激素，调节机体的新陈代谢、生长、发育与生殖等重要功能。

一些内分泌腺（或细胞）直接或间接受神经调节，在这种情况下体液调节成为神经调节传出纤维的延长部分，故又称神经—体液调节。除激素外，某些组织产生的一些化学物质，虽不能随血流作用于远离的部分，但可影响邻近组织的功能活动，这些化学物质称为局部体液因素。局部体液因素的调节作用，主要是使局部与全身的功能活动相互配合、协调一致。

体液调节的特点是：缓慢而持久，作用的部位（除局部效应外）比较广泛，准确性较差。

三、自身调节

指内、外环境变化时，组织、细胞不依赖于神经和体液调节而产生的适应性反应。例如，在一定范围内，在心肌收缩前心肌纤维被牵拉得愈长，收缩时产生的能量愈多。

自身调节的特点是：作用范围小，灵敏性差。但对于某个器官、组织、细胞的活动，仍有一定的调节作用。

四、生理功能的自动控制原理

机体功能调节过程与工程技术的控制过程具有共同的规律。按照控制论原理，将机体调节系统看做“自动控制”系统，调节部分（如反射中枢、内分泌腺等）看做控制部分，效应器或靶细胞看做受控部分，后者的状态或产生的生理效应称为输出变量，在控制部分与受控部分之间存在双向信息联系，形成闭合回路。控制部分发出控制信息到达受控部分，改变其活动状态，而受控部分也不断有信息送回控制部分，纠正和调整控制部分对受控部分的影响，从而达到精确的调节作用。从受控部分发出的反映输出变量的信息称为反馈信息。根据反馈信息的作用效果将反馈分为两类：①反馈信息的作用与控制信息的作用方向相反，起纠正控制信息的作用者称负反馈（negative feedback），它是维持稳态的重要方式，体内大多数调节属于负反馈。②反馈信息的作用与控制信息的作用方向一致，起加强控制信息的作用者称正反馈（positive feedback），它使某一生理过程逐步加强直至完成。

近来发现干扰信息在作用于受控部分引起输出变量发生变化的同时，还可直接通过感受装置作用于控制部分，这种干扰信息对控制部分的直接作用称为前馈（feedforward）。这样控制部分可在输出变量未发生偏差引起反馈信息之前就可对受控部分发出纠正信息，使机体的机能活动更好地保持稳态。前馈显然可以避免负反馈调节具有的较大波动和反应滞后两项缺陷，从而具有一定的预见性和适应性意义（图 1-2）。

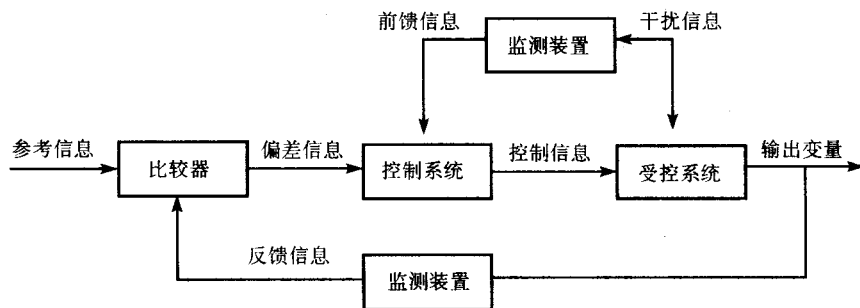


图 1-2 生理功能活动自动控制原理

第二章 血液

机体内含有的大量液体称为体液。全身体液总量约占体重的 60%，按其存在的部位不同可分为细胞内液和细胞外液。细胞外液又可分为血管外液，即组织液；以及血管内液，即血浆、淋巴液、脑脊液。细胞内液是细胞内各种生化反应进行的场所；细胞外液是细胞直接生活的具体环境，又称内环境。细胞外液中 4/5 在血管外构成组织液；1/5 在血管内构成血浆的组成部分，后者由于在循环系统中不断流动，成为沟通各部分组织液以及与外环境进行物质交换的中间环节（图 2-1）。

内环境理化性质（温度、酸碱度、渗透压、含氧量等）的相对稳定，对维持整个机体和细胞的正常生命活动是必要的，血液在维持内环境稳态方面起着重要作用：①在组织液与各内脏器官之间运输各种物质，从而维持内环境稳态；②血液对内环境某些理化因素的变化有一定的缓冲作用；③血液可以反映内环境理化性质的微小变化，为维持内环境稳态的调节系统提供必要的反馈信息。

体内血液的总量称血量，是血浆量和血细胞量的总和。正常机体血液总量约为体重的 8%，即每千克体重 60~80ml，其中血浆量为 40~50ml。红细胞在血液中所占的容积百分比称为红细胞比容。

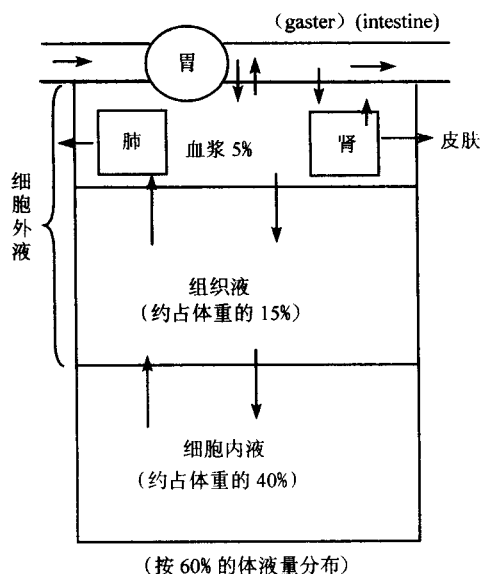


图 2-1 体液分布及物质交换

第一节 血液的组成与特性

一、血液的组成

机体血液由 3 种成分组成。

1. **晶体物质溶液** 在水溶液中溶解有多种电解质、小分子有机化合物（营养物、代谢产物和少量激素）及一些气体。其中电解质含量与组织液基本相同。

2. **血浆蛋白** 是溶解于晶体溶液中的蛋白质类。这是血浆与组织液的主要区别所在。用盐析法可将血浆蛋白分为白蛋白、球蛋白和纤维蛋白原 3 类。用电泳法又可将前二者分为白蛋白、前白蛋白以及 α_1 -球蛋白、 α_2 -球蛋白、 α_3 -球蛋白、 β -球蛋白、 γ -球蛋白

等。各种血浆蛋白具有不同的生理功能，主要有：①运输功能；②缓冲功能；③免疫功能；④生理止血功能。

3. 血细胞 包括红细胞、白细胞和血小板 3 种。①红细胞：正常红细胞呈双凹圆碟状，其生理意义在于：有利于红细胞的可塑性变形；增大气体交换面积；缩短气体进出红细胞的扩散距离。红细胞膜对 O_2 、 CO_2 等脂溶性气体可自由通过，电解质中的负离子 (Cl^- 、 HCO_3^-) 较易通过，而正离子很难通过。红细胞含有血红蛋白，在气体运输中有极重要的作用。血红蛋白中的 Fe^{2+} 在携带 O_2 的过程中不被氧化，若 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 的高铁血红蛋白，即失去带 O_2 能力。②白细胞：白细胞在机体免疫功能中有重要作用。③血小板：它是生理止血功能所不可缺少的。

二、血液的理化特性

1. 血液的比重和红细胞的悬浮稳定性 正常全血比重约 $1.050 \sim 1.060 \text{ kg/L}$ ，血浆比重约 $1.025 \sim 1.030 \text{ kg/L}$ 。其值的大小取决于血液中红细胞数和血浆蛋白的浓度。红细胞比重虽较血浆为大，但它在血浆中的沉降却很缓慢，说明红细胞具有一定的悬浮稳定性。悬浮稳定性的大小可用红细胞沉降率表示，红细胞的沉降率在患某些疾病时加速是由于血浆蛋白的改变引起红细胞叠连增多所致。

2. 血液的黏滞性 血液和血浆的相对黏滞性的大小分别取决于红细胞数和血浆蛋白的含量。在体内因某种疾病使微循环血流显著减慢时，红细胞在其中叠连和聚集，血液黏滞性增大，使血流阻力增大，从而影响循环的正常进行。

3. 血浆渗透压 血浆渗透压约为 313 mOsm ，相当于 7 个大气压或 771.0 kPa ，血浆渗透压分为晶体渗透压和胶体渗透压，前者由溶于血浆的小分子晶体物质形成。血浆与组织液中晶体渗透压几乎相等。由于这些晶体物绝大部分不易透过细胞膜，所以，晶体渗透压对维持细胞内外的水平衡极为重要。血浆胶体渗透压由血浆蛋白等高分子物质形成，其值相当于 3.3 kPa (25 mmHg) 左右。血浆蛋白不能透过毛细血管壁，因此，血浆胶体渗透压对维持血管内外水平衡有重要作用。

4. 血浆的 pH 血浆 pH 决定于血浆中主要的缓冲对，即 $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ 的比值。

第二节 血液与免疫功能

参与机体免疫功能的血液成分主要是白细胞和血浆蛋白中的补体和免疫球蛋白。根据免疫特点可将白细胞分为两类：①吞噬细胞：包括粒系细胞和单核细胞，主要靠吞噬来处理异物和参与炎症反应，不具有特异性，称为非特异性免疫；②免疫细胞：主要指淋巴细胞，它所产生的抗体和局部细胞反应具有特异性，故称特异性免疫。

免疫球蛋白和补体：免疫细胞产生的特异性抗体都属球蛋白，称免疫球蛋白 (Ig)。按其蛋白质结构可分为 IgG、IgA、IgM、IgD、IgE 五类。补体是广泛参与非特异性与特异性免疫反应的一种血浆蛋白质，由一组蛋白质因子组成。现有 11 种补体因子： C_{1q} 、 C_{1r} 、 C_{1s} 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 、 C_7 、 C_8 、 C_9 。在免疫反应中补体作用于多个环节，对吞噬和凝集异物等也有重要作用。

一、中性粒细胞和单核细胞的吞噬作用

血液中的吞噬细胞主要指中性粒细胞和单核细胞。吞噬过程大致包括 3 个步骤：

1. 吞噬细胞变形 吞噬细胞做变形运动，渗出血管壁，在有趋化作用的物质作用下，游走到入侵异物的周围。

2. 识别并黏着异物 吞噬细胞对异物的识别机制有：①由于入侵异物表面特性如疏水性增强、表面粗糙或表面负电荷减弱；②细菌经过特异性 Ig 与 C_{3b} 片段的“调理作用”之后，促进识别和黏附。

3. 吞入和消灭异物 异物黏着于吞噬细胞膜上将触发一系列细胞活动：①引起入胞过程，形成吞噬泡，再与细胞内溶酶体颗粒结合，形成吞噬溶酶体；②通过各种抑菌物质和消化酶的作用，抑制细菌活性，并消化异物细胞。吞噬、游走都要耗能，中性粒细胞的运动能力与吞噬活性都很高，又具备复杂的杀菌系统，主要抵御急性化脓性细菌的入侵；单核细胞的吞噬力弱，进入组织转变为巨噬细胞后吞噬力增强。它们的主要功能有：吞噬并消灭细胞内致病微生物，参与激活淋巴的特异性免疫功能；识别和杀伤肿瘤细胞；清除变性血浆蛋白及衰老破损的组织等。

二、嗜碱性粒细胞和嗜酸性粒细胞的功能

(一) 嗜碱性粒细胞的功能

与肥大细胞类似，能释放出组织胺、过敏性作用物质、嗜酸性粒细胞趋化因子 A 等多种生物活性物质。这些活性物质的主要作用有两方面：①使小血管扩张、毛细血管和微静脉通透性增加、支气管和肠道平滑肌收缩，引起哮喘、荨麻疹等速发性过敏反应。②吸引嗜酸性粒细胞聚到这一局部。

(二) 嗜酸性粒细胞的功能

嗜酸性粒细胞内含有一些能破坏嗜碱性粒细胞所释放的活性物质的酶类。它的溶酶体中含有沉淀 DNA 及中和肝素的碱性蛋白质，嗜酸性粒细胞在体内的作用是：

1. 通过下列三方面限制嗜碱性粒细胞和肥大细胞在速发性过敏反应中的作用 ①产生 PGE₁ 和 PGE₂，使嗜碱性粒细胞中 cAMP 增加，而抑制其合成和释放各种生物活性物质；②吞噬肥大细胞和嗜碱性粒细胞排出的颗粒，使其中的活性物质失去作用；③释放组胺酶等物质，破坏嗜碱性粒细胞或肥大细胞释出的活性物质。

2. 参与对蠕虫的免疫反应。

三、淋巴细胞和特异性免疫功能

淋巴细胞的特异免疫反应可分为细胞免疫和体液免疫两类，参与免疫的细胞、其激活过程和产生的免疫反应均不同。

第三节 生理止血机制

小血管破损后，血液从血管流出，正常时数分钟后出血将自然停止，称为生理止血。