



全国高等农林院校“十一五”规划教材

家畜解剖生理学



Jiachu Jiepou Shengli Xue

● 周定刚 马恒东 主编



 中国农业出版社

全国高等农林院校“十一五”规划教材

家畜解剖生理学

周定刚 马恒东 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

家畜解剖生理学/周定刚, 马恒东主编. —北京: 中国农业出版社, 2010. 3

全国高等农林院校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-109-14400-2

I. 家… II. ①周…②马… III. 家畜—动物解剖学: 生理学—高等学校—教材 IV. S852.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 025948 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)

策划编辑 武旭峰

文字编辑 王 丽

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 29

字数: 705 千字

定价: 42.00 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

家畜解剖生理学是研究家畜形态、构造及生命活动规律的科学，是高等农林院校动物生产类专业的专业基础课程。迄今为止，国内高等农林院校尚缺这类规划教材。

《家畜解剖生理学》一书，为“全国高等农林院校‘十一五’规划教材”。本书涵盖家畜解剖学、组织学和生理学三部分内容，为适应有关专业需要，其中家畜生理学内容相对占较大比例。本教材着重介绍家畜解剖生理学的基本理论、基本知识和基本技能，适当反映本学科发展的新动态和新进展。全书共14章，并附有实验指导。各章整合形态、构造和机能活动的相关内容，使之浑然一体，以便加深学生对结构与功能之间辩证关系的理解、认识。编写中力求语言简练、结构严谨、概念准确、图文并茂、易读易懂。

本书由国内9所高等院校处在教学、科研第一线的18位教师共同编写。除绪论外，具体编写分工如下：第一章，李玉谷；第二章第一节，额尔敦木图，第二节，杜荣；第三章，高爱琴；第四章，韩克光；第五章，马恒东；第六章，贾斌；第七章，周定刚；第八章，朱晓彤；第九章，王纯洁；第十章，杨焕民、计红；第十一章，张书杰；第十二章，王月影；第十三章，陈秋生；第十四章第一节，张书杰，第二节，高爱琴；实验指导，马恒东、司晓辉、陈秋生、黎德兵和王讯。全书由周定刚统稿。

在编写过程中，各位编者尽心尽责，为保证教材质量付出了辛勤劳动，给予了大力支持。在此，谨向各位作者表示深切的谢意！

由于我们的知识水平和编写能力有限，书中难免有疏漏之处，尚祈同行、读者不吝教正！

周定刚

2009年11月

目 录

前言

绪论	1
一、家畜解剖生理学及其研究方法	1
二、家畜生理功能的调节	2
三、动物体内的控制系统	4
第一章 畜体基本结构	7
第一节 细胞	7
一、细胞的化学组成	8
二、细胞的结构与功能	8
三、细胞的生命活动	15
第二节 基本组织	19
一、上皮组织	19
二、结缔组织	24
三、肌组织	33
四、神经组织	37
第三节 器官系统和躯体方位	48
一、器官与系统	48
二、畜禽体表各部位的划分	48
三、畜体的轴、切面和方位术语	50
第二章 运动系统	52
第一节 骨骼	52
一、骨	52
二、骨连接	57
三、全身骨骼的组成	58
第二节 骨骼肌	84
一、骨骼肌的形态和结构	84
二、骨骼肌的辅助器官	87
三、骨骼肌的分布概况	88
四、骨骼肌的收缩	102

第三章 皮肤及其衍生物	110
第一节 皮肤	110
一、皮肤的构造	110
二、皮肤的机能	112
第二节 皮肤的衍生物	113
一、毛	113
二、皮肤腺	115
三、蹄	117
四、角	118
第四章 血液	119
第一节 概述	119
一、血液的组成和血量	119
二、内环境与稳态	120
三、血液的主要机能	121
第二节 血液的化学成分和理化特性	121
一、血液的化学成分	121
二、血液的理化特性	122
第三节 血细胞生理	123
一、红细胞	123
二、白细胞	125
三、血小板	127
四、造血过程的调节	128
第四节 血液凝固	130
一、凝血因子	130
二、血液凝固的过程	131
三、抗凝系统与纤维蛋白溶解	133
四、促凝与抗凝措施	134
第五节 血型	135
一、红细胞凝集与血型	135
二、家畜的血型	136
第五章 循环系统	137
第一节 心脏	137
一、心脏的形态结构	137
二、心脏生理	140
第二节 血管	147
一、血管的结构	147

二、血管的分布	149
三、血管生理	150
第三节 淋巴循环	157
一、淋巴液	157
二、淋巴管与淋巴回流	158
第四节 心血管活动的调节	159
一、神经调节	159
二、体液调节	161
三、自身调节——局部血流调节	164
第六章 呼吸系统	166
第一节 呼吸器官	167
一、呼吸道	167
二、肺	169
三、胸膜与胸膜腔	171
第二节 肺通气	171
一、呼吸运动	171
二、肺内压与胸膜腔内压	173
三、肺容量和肺通气量	174
第三节 呼吸气体的交换与运输	176
一、呼吸气体的交换	176
二、气体在血液中的运输	178
第四节 呼吸运动的调节	181
一、呼吸中枢与呼吸节律	182
二、呼吸运动的反射性调节	183
第七章 消化系统	187
第一节 概述	187
一、消化道平滑肌的生理特性	187
二、消化道的神经支配	189
三、消化道的内分泌功能	190
第二节 消化管与腹腔	192
一、消化管的一般构造	192
二、腹腔	193
第三节 消化器官的结构和功能	194
一、口腔	194
二、胃	200
三、小肠、肝和胰	213
四、大肠	221

第四节 吸收	223
一、吸收的部位	224
二、吸收的机理	224
三、小肠内主要营养物质的吸收	228
第五节 家禽消化的特点	231
一、家禽的消化器官	231
二、家禽消化的特点	235
第八章 能量代谢与体温调节	239
第一节 能量代谢	239
一、能量的来源与利用	239
二、能量代谢的测定原理与方法	241
三、基础代谢与静止能量代谢	243
第二节 体温及其调节	245
一、畜体的体温	245
二、机体的产热与散热	246
三、体温的调节	248
四、家畜对高温和低温的耐受能力与适应	250
第九章 泌尿系统	252
第一节 泌尿系统的结构	252
一、肾	252
二、输尿管	255
三、膀胱与尿道	255
第二节 泌尿生理	255
一、尿的化学成分和理化特性	255
二、尿的生成	256
三、尿的浓缩与稀释	261
四、尿的排放	263
五、肾脏在维持稳态中的作用	264
第十章 神经系统	266
第一节 神经系统的结构	266
一、神经系统的组成	266
二、中枢神经系统	266
三、周围神经系统	273
第二节 神经组织的一般生理	276
一、神经元和神经胶质细胞	276
二、神经的兴奋与传导	277

三、神经元间的功能联系	281
第三节 神经系统的功能	290
一、神经系统的感觉机能	290
二、神经系统对躯体运动的调节	297
三、神经系统对内脏活动的调节	299
四、神经系统的高级功能	302
五、神经、内分泌和免疫系统的相互关系	306
第十一章 感觉器官	310
第一节 视觉器官	310
一、眼球的结构	310
二、眼球的辅助器官	312
第二节 位听器官	314
一、外耳	314
二、中耳	315
三、内耳	315
第三节 其他感受器	316
一、嗅觉感受器	316
二、味觉感受器	316
三、皮肤感受器	317
第十二章 内分泌系统	318
第一节 概述	318
一、内分泌和激素的概念	318
二、激素作用的一般特征	319
三、激素的分类	320
四、激素的作用机制	322
第二节 下丘脑与垂体	323
一、下丘脑	323
二、脑垂体	326
第三节 甲状腺	331
一、甲状腺的位置、形态和结构	331
二、甲状腺激素的合成与释放	331
三、甲状腺激素的生理作用	334
四、甲状腺激素分泌的调节	335
第四节 甲状旁腺与调节钙、磷代谢的激素	336
一、甲状旁腺的位置、形态和结构	336
二、甲状旁腺激素的生物学作用	337
三、降钙素	337

四、1,25-二羟维生素 D ₃	337
五、甲状旁腺素、降钙素和 1,25-二羟维生素 D ₃ 分泌的调节	338
第五节 胰岛	338
一、胰岛的位置、形态和结构	338
二、胰岛素的生理作用	339
三、胰高血糖素的生理作用	340
四、胰岛分泌功能的调节	340
第六节 肾上腺	341
一、肾上腺的位置、形态和结构	341
二、肾上腺皮质激素	343
三、肾上腺髓质激素	345
第七节 其他内分泌腺和激素	347
一、松果体	347
二、胸腺素	348
三、前列腺素	348
四、瘦素	349
第十三章 免疫系统	350
第一节 免疫细胞	350
一、淋巴细胞	350
二、单核吞噬细胞系统	352
三、抗原呈递细胞	353
第二节 免疫组织	353
第三节 免疫器官	354
一、胸腺	355
二、腔上囊	357
三、骨髓	357
四、脾	357
五、淋巴结	361
六、扁桃体	366
七、血结与血淋巴结	367
第十四章 生殖系统	368
第一节 生殖器官	368
一、雄性生殖器官	368
二、雌性生殖器官	373
第二节 生殖生理	377
一、雄性生殖生理	378
二、雌性生殖生理	380

三、交配与受精	387
四、妊娠	390
五、分娩	393
六、泌乳	395
第三节 家禽生殖的特点	397
一、家禽的生殖系统	397
二、家禽生殖生理的特点	399
家畜解剖生理学实验指导	402
家畜解剖生理学实验基础知识	402
实验一 家畜解剖学方位与躯体各部名称	418
实验二 几种畜禽的实地解剖	420
实验三 四大基本组织及主要器官组织学观察	427
实验四 血液学实验	432
实验五 坐骨神经-腓肠肌标本的制备及坐骨神经干动作电位的测定	435
实验六 离体蛙心灌流	439
实验七 动脉血压直接测定	441
实验八 不同因素对尿生成的影响	443
实验九 胆汁和胰液的分泌	445
实验十 内分泌腺和性腺组织学观察	447
主要参考文献	450

绪 论

一、家畜解剖生理学及其研究方法

家畜解剖生理学是以家畜形态学为基础，研究正常、健康家畜生命活动规律的一门科学，是动物医学和动物科学有关专业的重要专业基础课之一。它涵盖家畜解剖学、家畜组织学和家畜生理学三个部分的内容。广义的解剖学包括大体解剖学和显微解剖学。大体解剖学主要是借助解剖器械（刀、剪等），采用分离、切割的方法，通过肉眼、放大镜和解剖显微镜观察研究畜体各器官的形态及构造的科学。依据研究目的和叙述方法的不同，又分为系统解剖学、局部解剖学、比较解剖学和X线解剖学等。显微解剖学即组织学，主要是借助显微镜观察研究机体微细结构及其与功能之间关系的科学。其研究内容包括细胞、基本组织和器官组织三个部分。家畜生理学则是通过急性实验和慢性实验，从机体整体水平、器官系统水平和细胞分子水平侧重研究家畜机能活动规律的科学。畜体的形态结构和机能活动之间有着不可分割的联系。机能以形态结构为基础，而形态结构又受机能活动的影响，并与之相互适应。家畜解剖生理学整合形态、构造和机能活动的相关内容，使之成为一门既与解剖学、组织学和生理学具有密切联系而又有其自身特点的独立学科，为适应有关专业需要，其中生理学内容相对占较大比例。

家畜解剖生理学的知识来自于对形态结构的客观观察和科学实验。应用一般光学显微镜，观察组织切片是组织学研究的最基本方法。观察生活状态的细胞则常用组织培养（tissue culture）方法。组织培养也称体外实验，即在无菌条件下，把活细胞或活组织放在体外适宜的条件下培养成活，并对培养细胞附加各种条件（例如温度、药物、激素等），观察其所受到的影响和变化。此外，组织化学、细胞化学、免疫组化技术以及荧光显微镜、相差显微镜、暗视野显微镜、透射电子显微镜和扫描电子显微镜等也被广泛地应用于组织、细胞形态结构（超微结构）的观察研究。在形态学研究的基础上，欲进一步了解器官、组织和细胞的生理活动及其活动机制，必须运用实验的方法，因为每一种生理功能的发现及其机制的揭示，都是通过科学实验获得的。解剖生理学的实验方法主要分为急性实验和慢性实验两类。

（一）急性实验

急性实验由于研究目的不同，又可将其分为离体器官实验（in vitro）和活体解剖实验（in vivo）。

1. 离体器官实验 从活着的或刚死去的动物体内分离出组织、器官，置于与体内环境相似的人工模拟环境中，使其在短时间内保持生理功能，以便进行研究。例如，将蛙的心脏取出，用近似血浆成分的溶液进行灌流，这样蛙心就能搏动数小时以上，从而可以进行对于心脏的各种研究。

2. 活体解剖实验 在麻醉或毁损大脑的情况下,对动物进行活体解剖,暴露所要研究的器官,以便进行各种实验。例如,胃肠运动的直接观察等。

由于离体器官和活体解剖实验过程时间短暂,实验后动物一般不能存活,所以称之为急性实验。此法的优点在于实验条件和研究对象较为简单,容易排除其他因素的干扰,可以对实验对象进行直接观察和细致分析,并可较快获得实验结果。但急性实验是在脱离整体条件,或者是在受到解剖或麻醉的情况下进行的,故所获结果与正常生理功能差异较大,常有一定的局限性。

(二) 慢性实验

慢性实验是以完整、健康的动物为研究对象,在正常的环境条件下进行各种实验。慢性实验可以研究复杂的生理活动、器官之间的协调关系,以及机体的生理活动如何与外界环境相适应。例如,将埋藏电极植入动物脑内某一部位,施予电刺激以观察分析与此部位相关的生理功能活动。又如,在无菌条件下给动物安置慢性瘘管(消化瘘管、血管瘘管等),直接观察某些器官的生理活动规律等。这种动物可以在正常的饲养管理条件下,进行较长时间的观察、试验,称为慢性实验。慢性实验法的优点在于研究对象是完整、健康的动物,又是在自然、正常条件下进行的,因此所获结果比较接近正常生理活动规律。其缺点是不便于分析诸多影响因素,应用范围常受限制。

总之,上述研究方法各有其特殊意义和一定的局限性。无论采用哪种实验方法,在解释结果时,必须实事求是,既不能把局限于某种特定条件下所获得的资料引申为普遍规律,更不能把一种动物的实验结果,不加区别地移用于所有的动物。

解剖生理学的研究与其他学科的发展密切相关。随着电子学、生物化学、生物物理学、神经生物学和分子生物学的发展,促进了解剖生理学的研究从宏观向微观领域的不断深入。例如,应用神经生理和药理学相结合方法,已经能在细胞水平研究单个细胞膜受体活动的特性等。

二、家畜生理功能的调节

动物有机体由多种不同的细胞、组织和器官所组成,它们分别执行着各不相同的功能。但是,这些组织、器官的功能活动并不是彼此孤立、互不相关的。相反,体内同一器官系统在不同时间的功能活动(例如消化活动),或在同一时间不同部位器官的功能活动(例如机体运动),无论在时间和空间上都相互联系、协调配合,作为一个统一的整体而存在和活动。有机体通过其调节机制,把不同时间和空间的机能活动调整统一起来,使之成为整体活动,这种调节作用称为整合(integration)。以消化活动为例,进食前,胃肠运动及各种消化液的分泌其先后次序并不一致。但食物进入口腔后,不仅引起唾液分泌加强,而且胃肠运动及各种消化液如胃液、胰液和胆汁的分泌也同时加强。以上是指不同时间某些顺序性机能活动之间的配合,称为时间上的配合。所谓空间上的配合,是指同一时间不同部位机能活动之间的配合。例如,动物剧烈运动时,除骨骼肌肉的活动加强外,其他处于不同空间的器官系统活动在同一时间也与之密切配合。如呼吸加强,以便吸入更多氧气和排除大量二氧化碳;心跳加快、血流加速,以便给肌肉输送大量养料和能量;消化和泌尿系统活动受到抑制,以便重新分配器官血液流量使之首先满足肌肉做功需要等。上述过程都是通过相应的调节机制实

现的。动物体内的调节机制主要有三种，即神经调节（neuroregulation）、体液调节（humoral regulation）以及器官、组织、细胞的自身调节（autoregulation），其中神经调节占主导地位。

（一）神经调节

神经调节（nervous regulation）是通过神经系统的活动所实现的一种调节方式。神经活动的基本过程是反射（reflex）。例如，强光照射眼睛会使瞳孔缩小；食物进入口腔能引起唾液分泌增加等，这些都是通过中枢神经系统完成的反射活动。可见，反射是指在中枢神经系统的参与下，机体对内外环境变化所做出的规律性应答。完成反射所需的结构称为反射弧（reflex arc），由感受器→传入神经→神经中枢→传出神经→效应器 5 个环节构成。巴甫洛夫在前人研究的基础上，将反射分为非条件反射和条件反射两类。非条件反射（unconditioned reflex）是指通过遗传、出生后无需训练就具有的反射。其数量有限、适应范围小，是比较固定和形式低级的反射活动，例如防御反射、食物反射和性反射等。非条件反射由非条件刺激所引起，具有固定的神经联系，反射中枢位于神经系统的低级部位，是动物在种族进化过程中形成，而相继遗传给后代的。条件反射（conditioned reflex）是指动物出生后，通过训练而建立起来的反射。其数量无限、适应范围广，可以建立，亦能消退，是反射活动的高级形式。由条件刺激（无关动因）所引起，具有暂时性的神经联系。高等动物形成条件反射的中枢主要位于大脑皮质，是个体通过后天训练而获得的。

（二）体液调节

体液调节（humoral regulation）是指通过体液中的某些特殊化学物质，主要是激素所实现的一种调节方式。体内有多种内分泌腺能分泌激素。激素是一些能在细胞与细胞之间传递信息的化学物质，由血液或组织液携带，作用于具有相应受体（receptor）的细胞，以调节这些细胞的活动。接受某种激素调节的细胞，称为该种激素的靶细胞（target cell）。例如，胰岛 β 细胞分泌的胰岛素随血液运送到机体各组织细胞，可以使它们加速摄取、贮存和利用葡萄糖，使葡萄糖水平降低。葡萄糖水平降低又可抑制胰岛素的分泌，从而使血糖水平保持相对恒定。有些内分泌细胞分泌的激素并不是由循环血液携带到远处的组织、细胞，而是通过组织液扩散至邻近的靶细胞，调节这些细胞的活动。这种调节称为局部的体液调节，也称为旁分泌（paracrine）调节。有些细胞分泌的激素反过来作用于其自身或其周围同类的细胞，以调节它们的活动，这种调节方式称为自分泌（autocrine）。例如，胰岛素可以抑制胰岛 β 细胞自身分泌胰岛素的活动；肾上腺素分泌量增多时，可抑制自身合成酶（苯乙醇胺氮位甲基转移酶，PNMT）的活性等。另外，下丘脑内有些神经细胞能合成催产素、抗利尿激素和多种下丘脑调节性多肽。催产素和抗利尿激素由神经轴突沿下丘脑垂体束运送到神经垂体，再从神经末梢释放入血液，并作用于相应的靶细胞；各种下丘脑调节性多肽则由垂体门脉系统运送至腺垂体，作用于腺垂体的内分泌细胞（详见第十二章内分泌系统）。这种由神经分泌激素的调节方式称为神经-内分泌，简称神经分泌（neurocrine）。除激素外，某些组织细胞产生的化学物质如组胺、激肽、各种细胞因子，以及代谢产物如葡萄糖、 CO_2 等，也可以作为体液因素起调节作用。动物机体的许多生理功能，同时受到神经系统和内分泌系统的双重调节。虽然一般可将内分泌系统看作是一个独立的系统，但体内大多数内分泌腺都直接或间接受神经系统的调节。例如，肾上腺髓质受交感神经节前纤维末梢支配，交感神经兴奋时，肾上腺髓质分泌肾上腺素和去甲肾上腺素，它们进入血液后可以加强体内许多效应

细胞对交感神经的反应。在这种情况下，可将体液调节看做是神经调节中的一个环节，这类通过神经影响激素分泌对机体功能进行调节的方式，称为神经体液调节（neurohumoral regulation）。

（三）自身调节

许多组织、细胞自身也能对周围环境的变化发生适应性反应，这种反应是组织、细胞本身的生理特性，不依赖于外来神经或体液因素的作用，因此称为自身调节（autoregulation）。例如，血管平滑肌受到牵拉刺激时，会发生收缩反应。当小动脉的灌流压升高时，对管壁的牵张刺激增强，小动脉管壁平滑肌就发生收缩，使小动脉管径缩小。这种自身调节对维持局部组织血流量的相对恒定起一定作用。细胞的一些代谢产物在组织中含量增加时，能引起局部的血管舒张，使局部血流量增加，从而使积蓄的代谢产物能迅速地运走，这种现象又可称为局部体液因素调节。

上述 3 种调节，各具有其重要性和特点：神经调节的特点是迅速而精确，作用部位较局限，持续时间较短；体液调节的特点是效应出现缓慢，作用部位比较广泛，持续时间较长；自身调节的特点是在组织器官局部发挥调节作用，对维持局部的自稳态具有一定意义。

三、动物体内的控制系统

20 世纪 40 年代，在用数学、物理学原理和方法研究各种工程技术的控制过程中，产生了一门新的学科，即控制论（cybernetics）。当人们应用这些原理和方法来分析、研究动物体内许多功能的调节过程时，发现它们与工程技术的控制过程有许多共同的规律。动物体内存在着数以千计的控制系统（control system）。有关细胞和分子水平上各种控制系统的知识，一般在细胞生物学、分子生物学和生物化学等课程中讨论，而在生理学课程中则主要讨论器官水平和整体水平上的各种控制系统，例如神经系统对肌肉活动的调控，神经和体液因素对心血管、呼吸、胃肠活动的调控等。任何控制系统都是由控制部分和受控制部分组成。运用控制论的原理来分析，可将动物体内的控制系统分为非自动控制系统、反馈控制系统和前馈控制系统三类。

（一）非自动控制系统

非自动控制系统（non-automatic system）是一个开环系统（open-loop system），即仅由控制部分（例如神经中枢、内分泌细胞）对受控制部分（例如效应器、靶细胞）发出指令，受控制部分即按指令发生活动或停止活动。这种控制方式是单向的，也就是仅由控制部分发出指令到达受控制部分，受控制部分的活动不会反过来影响控制部分的活动。这种控制方式对受控制部分的活动实际上并不能起调节作用，在正常生理功能的调节中比较少见，仅在体内反馈控制系统受到抑制时，才表现出非自动控制方式。例如，正常情况下当血液中糖皮质激素浓度增高时，糖皮质激素与腺垂体特异性受体结合，使腺垂体促肾上腺皮质激素（ACTH，促使肾上腺皮质合成、分泌糖皮质激素等）释放减少或停止，从而使糖皮质激素浓度下降，维持于正常水平（详见第十二章内分泌系统）。但应激反应（stress response）增强时，可能由于中枢神经系统与腺垂体对反馈作用的敏感性减弱，上述糖皮质激素的负反馈调节作用失效，ACTH 继续分泌，使糖皮质激素浓度远远超过正常水平。

(二) 反馈控制系统

反馈控制系统 (feedback control system) 是一个闭环系统 (closed-loop system), 即控制部分发出指令, 指示受控制部分活动, 而受控制部分的活动可被一定的感受装置 (例如感受器或监测器) 感受, 感受装置再将受控制部分的活动情况作为反馈信息返回到控制部分。控制部分可以根据反馈信息来改变自己的活动, 从而对受控制部分的活动进行调节。可见, 在这样的系统中, 控制部分和受控制部分之间形成了一个闭环联系。在反馈控制系统中, 反馈信号对控制部分的活动可产生不同的影响, 从而实现受控制部分的调节。如果经过反馈调节, 受控制部分的活动向原先相反的方向发生改变, 这种调节方式称为负反馈 (negative feedback) 调节; 相反, 如果反馈调节使受控制部分原来的活动继续加强, 则称为正反馈 (positive feedback)。举例而言, 当由于某种原因使心脏活动加强、外周血管收缩而导致动脉血压高于正常时, 颈动脉窦和主动脉弓压力感受器立即将这一信息通过传入神经反馈到心血管中枢, 进而使受控制部分的活动发生相应改变, 具体表现为心搏频率减慢, 心脏输出血量减少, 同时外周血管舒张, 于是动脉血压向正常水平恢复 (详见第五章循环系统), 此即负反馈调节。可见, 负反馈控制系统的作用是使系统保持稳定、平衡, 因而是可逆的过程。在正反馈的情况下, 受控制部分的活动如果加强, 通过感受装置将此信息反馈至控制部分, 控制部分再发出指令, 使受控制部分的活动更为加强。例如当膀胱内的尿液达到一定量时, 可以刺激膀胱的牵张感受器, 冲动经盆神经传入脊髓, 由脊髓发出的传出冲动经盆神经到达膀胱引起膀胱平滑肌的收缩, 使尿液排出体外。当尿液经过尿道时可刺激尿道感受器, 由尿道感受器传入的冲动, 到达脊髓后可进一步加强排尿反射的作用, 使膀胱进一步持续收缩, 形成正反馈, 直到将膀胱中的尿液全部一次排尽 (详见第九章泌尿系统)。与负反馈相反, 正反馈不可能维持系统的稳定或平衡, 反而破坏原来的平衡, 是不可逆的、不断增强的过程。

(三) 前馈控制系统

动物体内除反馈控制系统外, 还存在前馈控制系统 (feed-forward control system)。前馈控制的一种形式是控制部分发出指令使受控制部分进行某一活动, 同时又通过另一快捷途径向受控制部分发出前馈信息, 及时地调控受控制部分的活动。在神经调节中有前馈控制机制。例如, 在寒冷的环境中, 皮肤的温度感受器受到寒冷刺激, 立即将此信息传递到下丘脑体温调节中枢, 该中枢发出指令通过多种传出途径使代谢增强、产热增加, 同时皮肤血管收缩, 使体表散热减少, 以维持体温恒定。可见, 机体并不是等到寒冷环境使体温降低之后, 才改变产热和散热活动, 而是在体温降低之前就已对其进行调节, 所以这种调控方式属于前馈调节。在体液调节中也有前馈调节。例如, 动物在开始进食时即分泌抑胃肽 (详见第七章消化系统), 抑胃肽可刺激胰岛素分泌, 后者可使血糖水平降低。胰岛素是调节血糖水平的一个重要激素, 一般当血糖水平超过正常范围时, 即使胰岛素分泌量增加 (见第十二章内分泌系统)。在上述例子中, 动物在进食开始而血糖水平尚未升高时, 因受抑胃肽刺激胰岛素分泌就开始增加, 所以这是一种前馈调节。条件反射也是前馈调节。例如, 在食物进入口腔之前, 动物只是见到食物的形状或嗅到食物的气味, 就可以引起唾液、胃液等分泌, 从而使消化活动具有前瞻性和更广泛的适应性。

综上所述, 前馈控制对受控制部分的调节比较快速, 控制部分可以在受控制部分的活动偏离正常范围之前就发出前馈信息, 及时地对受控制部分的活动进行调控, 因此受控制部分

活动的波动幅度较小。与前馈控制相比，反馈控制存在滞后、缓慢和易发生波动的缺陷。因为控制部分要在接到受控制部分活动的反馈信息后才发出纠正受控制部分活动的指令，常需要较长的时间反馈调节才发生作用，所以总是要滞后一段时间才能纠正偏差，而且纠偏时往往容易“矫枉过正”，使受控制部分的活动出现较大的波动。

(周定刚)