

第四章 内分泌调节

主讲 郝选明教授

华南师范大学

为什么我们需要内分泌？

内分泌系统

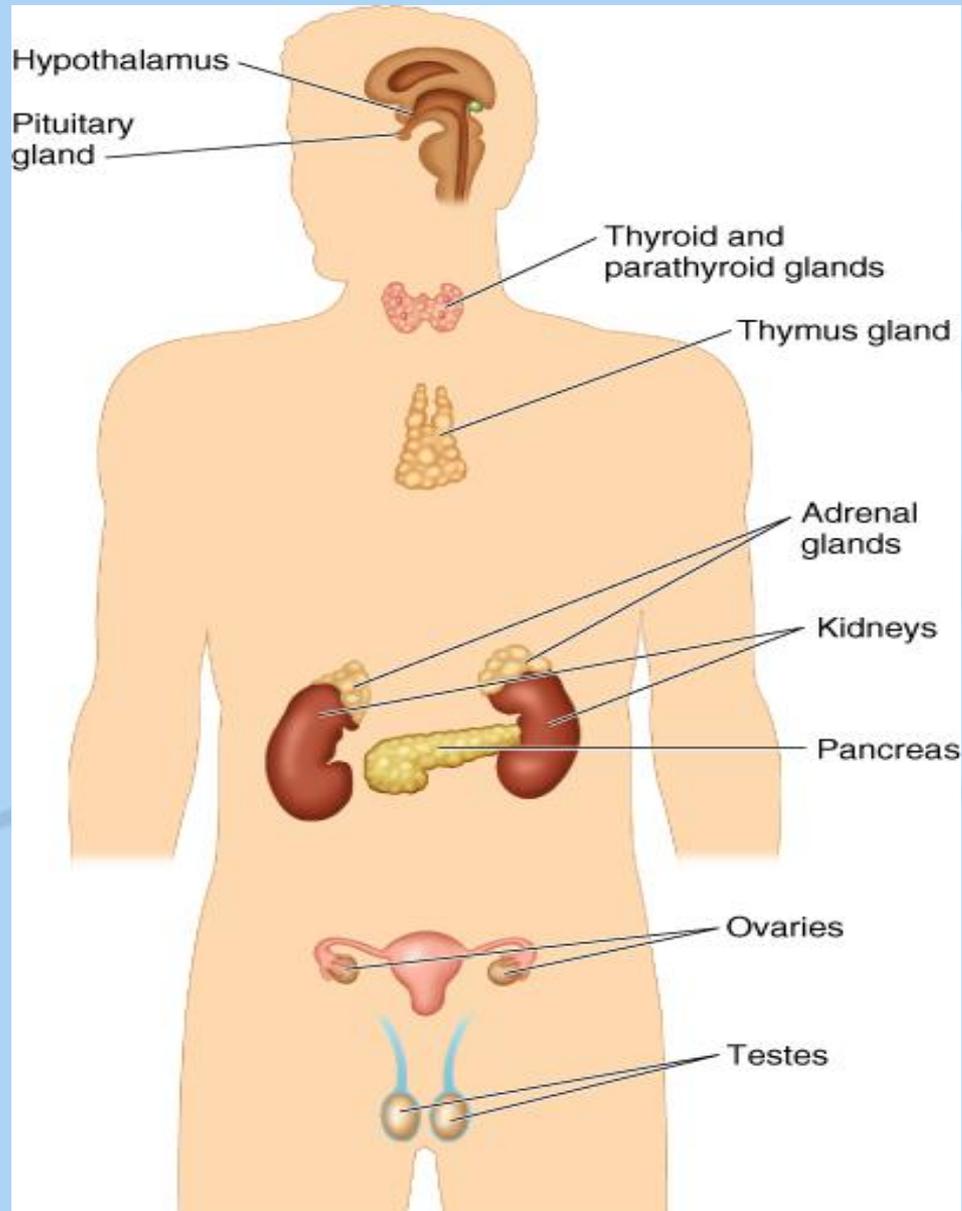
免疫系统

神经系统

运动

机体自稳态

ENDOCRINE ORGANS



第四章 内分泌调节

第一节 内分泌与激素

外分泌是指外分泌腺体将其分泌物通过特定的管道结构释放到体腔或体外而发挥作用的分泌形式。

内分泌则是指内分泌腺体或内分泌细胞将其所产生的生物活性物质——激素直接释放到体液中并发挥作用的分泌形式。



内分泌

内分泌与外分泌的不同之处在于内分泌所分泌的激素没有专门的导管引导，而是**直接进入组织液或血液**。

由于内分泌激素发挥调节作用需要通过体液（血液、淋巴液和组织液等）传递才能完成，因此，也将内分泌调节称为**体液调节**。

内分泌细胞集中的腺体统称为**内分泌腺**。

内分泌系统（**endocrine system**）是由经典的内分泌腺与分布在功能器官组织中的内分泌细胞共同组成，是发布信息调控机体功能的系统。它与神经系统密切联系，相互配合，共同调节机体的各种功能活动，维持内环境的相对稳定。

激素

激素（hormone）是内分泌腺或器官组织的内分泌细胞所分泌，以体液为媒介，在细胞之间递送调节信息的高效能生物活性物质。

激素的种类繁多，来源复杂。来源于垂体、甲状腺、甲状旁腺、胰岛、肾上腺、性腺等经典内分泌腺的激素种类很有限，而来源于具有特定功能器官组织的激素却达百余种。

激素按其化学结构可分为**含氮激素**（nitrogenous hormone）、**类固醇激素**（steroid hormone）以及**脂质衍生物**（Lipid derivatives）三类。

人体主要激素

含氮类

分类	激素	简写	主要来源	靶器官	主要生理功能
肽类和蛋白质	甲状腺素	T ₄	甲状腺	多数体细胞	提高代谢，促进生长发育
	三碘甲腺原氨酸	T ₃			
	肾上腺素	Ad	肾上腺髓质	多数体细胞	增强循环机能，促进糖元分解，升高血糖
	去甲肾上腺素	Nad			
	促甲状腺素释放激素	TRH	下丘脑	腺垂体	促TSH分泌
	促性腺素释放激素	GnRH			促FSH、LH分泌
	生长素释放激素	GHRH			促GH分泌
	生长抑素	SS			抑制GH分泌
	促肾上腺皮质激素释放激素	CRH			促ACTH分泌
	催乳素释放因子	PRF			促PRL分泌
	催乳素释放抑制因子	PIF			抑制PRL分泌
	甲状旁腺素	PTH	甲状旁腺	骨、肾、小肠	调节钙、磷代谢，升高血钙
	降钙素	CT	甲状腺C细胞	骨、肾	调节钙、磷代谢，降低血钙
	胰岛素		胰岛B细胞	多数体细胞	影响糖、脂肪、蛋白质代谢，降低血糖
	胰高血糖素		胰岛A细胞	肝	促糖异生与糖分解，升血糖
	生长素	GH	腺垂体	多数体细胞	促进生长
	促甲状腺素	TSH		甲状腺	促进甲状腺激素分泌
	促肾上腺皮质激素	ACTH		肾上腺皮质	促进糖皮质激素分泌
	促卵泡激素	FSH		性腺	促卵泡发育和精子生成
	黄体生成素	LH			促黄体生成，睾丸间质细胞发育，分泌雄激素
催乳素	PRL	乳腺		促泌乳	
催产素	OXT			子宫、乳腺	促子宫收缩和乳腺排乳

类固醇	雄激素		睾丸	多数体细胞	刺激男性性征的发育成熟和维持
	雌激素		卵巢	多数体细胞	刺激女性附性器官生长发育和副性征出现
	孕激素			子宫、乳腺	维持子宫年内膜和妊娠，刺激乳腺腺泡发育
	糖皮质激素	GC	肾上腺皮质	多数体细胞	升高血糖，动员功能物质，参与应激反应
	盐皮质激素			肾小管	促肾小管重吸收钠，影响水盐代谢
脂质衍生物类激素	前列腺素	PG	各种组织	多数体细胞	主要在局部发挥各种不同的刺激或抑制作用

激素传递信息的主要方式

经典概念认为，激素主要通过内分泌方式经血液循环向远隔部位传输信息，完成细胞之间的长距细胞通讯，因此也称远距分泌或血分泌。

现代研究发现，充当“远程信使”不再是激素传输调节信息的唯一途径，还存在旁分泌、自分泌、神经分泌和腔分泌等短距细胞通讯方式。

激素传递方式		示 例
远距分泌	激素分泌进入血液后，经血液循环运输至远处靶器官或靶细胞发挥作用	多数经典内分泌腺和非内分泌器官组织分泌的激素
旁分泌	激素通过组织液扩散而作用于邻近的其他靶细胞，也称邻分泌	胰岛A细胞分泌的胰高血糖素刺激B细胞分泌胰岛素
自分泌	激素原位作用于产生该激素的细胞；甚至可以不释放，直接在合成激素的细胞内发挥作用。后者又称内在分泌或胞内分泌	胰岛素可抑制B细胞自身分泌胰岛素；肾上腺髓质激素抑制自身合成酶的活性
神经分泌	神经内分泌细胞将激素释放到血液循环中发挥作用	下丘脑神经元分泌的调节肽通过垂体门脉系统作用于腺垂体
腔分泌	激素直接释放到体内管腔中发挥作用	某些胃肠激素可直接分泌到肠腔中发挥作用

激素对机体功能的调节作用

☞ 整合机体稳态。

激素参与水和电解质的平衡、酸碱平衡、体温与血压等调节过程，还直接参与机体的应激反应，全面整合机体功能，适应环境变化，增强机体的生存、适应能力。

☞ 调节新陈代谢。

多数激素都参与组织细胞的物质代谢以及能量代谢的调节，维持机体的能量平衡，为机体的各种生命活动奠定基础。

☞ 维持生长发育。

促进组织细胞的生长、增殖、分化和成熟，参与细胞凋亡过程等，确保并影响各系统器官的正常生长发育和功能活动。

☞ 调控生殖过程。

维持生殖器官的正常发育成熟和生殖的全过程，维持生殖细胞的生成至妊娠和哺乳过程，以保证个体生命的绵延和种系的繁衍。

激素作用的一般特征

∞ 信使作用

激素所起的作用是传递信息，犹如“信使”的角色。激素可将内分泌细胞发布的某种信息传递给靶细胞，调节靶细胞的功能，使机体代谢过程增强或减弱。但应注意，激素并不产生新的功能，也不能给机体提供能量，仅仅起着信使作用，在信息传递后，即被分解而失活。

∞ 高效作用

激素是高效能的生物活性物质，在生理状态下，激素在血液中的浓度很低（一般在 pmol/L ~ nmol/L 数量级），但其效能却很显著。例如， $0.1\mu\text{g}$ 的促肾上腺皮质激素释放激素，可引起肾上腺皮质分泌 $40\mu\text{g}$ 糖皮质激素，放大了400倍。这是因为激素作用于受体后，通过一系列酶促反应将激素信息逐级放大所致。

∞ 特异作用

激素只选择性地对能识别它的靶细胞起作用，表现为激素作用的特异性，这主要取决于靶细胞特异性受体与激素的结合能力，即亲和力。尽管多数激素能够通过血液循环广泛接触各部位的组织和细胞，但某种激素释放入血液后，只选择性地作用于特定目标，犹如“靶”，故相应的器官、腺体、组织和细胞，分别称为该激素的靶器官、靶腺体、靶组织和靶细胞。

∞ 相互作用

内分泌腺体和内分泌细胞虽然分散在全身，但它们分泌的激素又都以体液为媒介传播，相互联系并形成了一个统一体。因此，每种激素产生的效应总是彼此关联、相互影响、错综复杂，表现为协同作用、拮抗作用和允许作用等。这对于生理活动的相对稳定具有重要意义。

激素作用的机制和调节

机体发动体液调节的作用过程非常复杂，需要经过多个信息传递过程才能完成一个级联反应，这个生理反应过程时常由微量的激素开始发动，经过信息的多级传递，最终形成一个非常明显的生理反应。

一般，将这个多级作用过程称作生物放大系统，并将由微量激素发动而最终形成的明显生理反应这一过程称作生物放大效应或生物放大作用。

受体 (receptor)

每一种激素只选择性地对能够识别它的靶细胞起作用，表现为激素作用的特异性。这主要取决于靶细胞的特异性受体 (receptor) 与激素的结合能力，即亲和力 (affinity)。

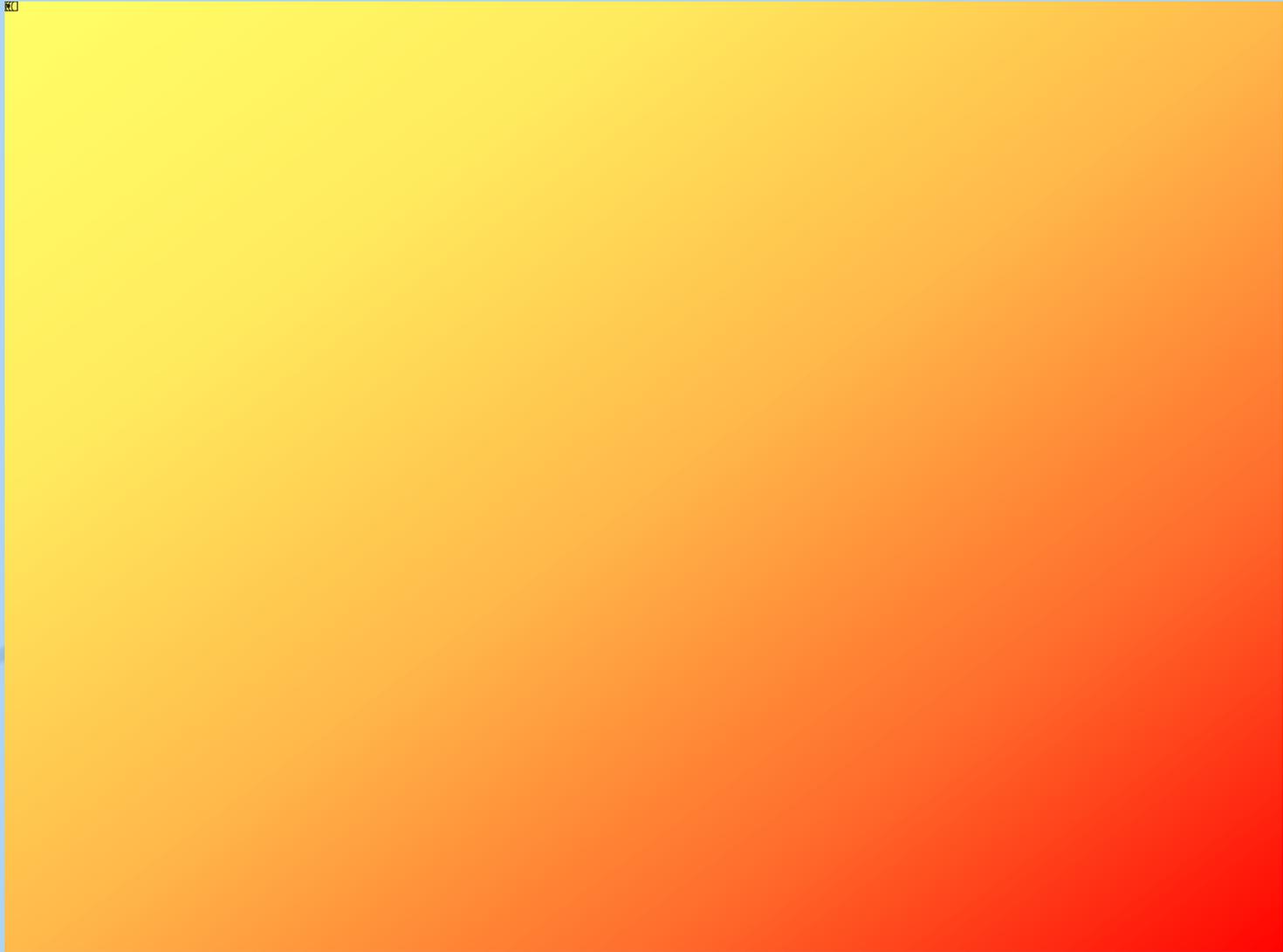
靶细胞的激素受体能够从体液中所含纷繁、复杂的多种体液因子中辨识出特定的激素，并与之相结合，引起生物效应。

激素不同，激素受体在细胞的位置也不尽相同，相应地，作用机制也迥然不同。

含氮激素不能溶于脂肪，难于穿过细胞膜（双层脂质膜），故其受体一般均处于细胞膜，且作用机制主要由CAMP等充当“第二信使”进行介导。

而固醇类激素可溶于脂肪，故其极易穿过细胞膜进入膜内。因此，这些激素的受体绝大部分处于细胞质，个别的处于细胞核（如甲状腺激素）。

RC



含氮激素作用机理

20

固醇类激素作用机理

10

内分泌轴

- ① **【应激轴】** 下丘脑 - 垂体 - 肾上腺皮质轴
- ② **【生长轴】** 下丘脑 - 垂体 - 甲状腺轴
- ③ **【生殖轴】** 下丘脑 - 垂体 - 性腺轴

第四章 内分泌调节

第二节 主要内分泌的功能

下丘脑激素

激素名称	英文缩写	主要生理作用
促甲状腺激素释放激素	TRH	促进 TSH 和 PRL 释放
促性腺激素释放激素	G n RH	促进 LH 与 FSH 释放（以 LH 为主）
生长素释放抑制激素 [简称生长抑素（ somatostatin,SS ）]	GHRH	抑制 GH 释放，对 LH 、 FSH 、 TSH 、 PRL 及 ACTH 的分泌也有抑制作用
生长素释放激素	GHRH	促进 GH 释放
促肾上腺皮质激素释放激素	CRH	促进 ACTH 释放
催乳素释放因子	PRF	促进 PRL 释放
催乳素释放抑制因子	PIF	抑制 PRL 释放
促黑（素细胞）激素释放因子	MRF	促进 MSH 释放
促黑（素细胞）激素释放抑制因子	MIF	抑制 MSH 释放

腺垂体激素

在腺垂体分泌的激素中，促甲状腺激素（TSH）、促肾上腺皮质激素（ACTH）、促卵泡激素（FSH）与黄体生成素（LH）均有各自的靶腺，并与上位内分泌腺和下位靶腺一起，形成三个调节轴：

- ①下丘脑 - 垂体 - 甲状腺轴。
- ②下丘脑 - 垂体 - 肾上腺皮质轴。
- ③下丘脑 - 垂体 - 性腺轴。

腺垂体细胞分泌的这四种激素是通过促进靶腺细胞分泌激素进而发挥作用的，所以称为促激素。这些促激素的主要生理作用正如其命名，故不再赘述。

生长激素

(1) 促进生长发育。

(2) 促进代谢作用。

GH对糖、脂肪和蛋白质代谢都有促进作用，表现在：

①蛋白质代谢：GH促进氨基酸进入细胞，加强DNA合成，刺激RNA形成，加速蛋白质合成。②脂肪代谢：GH属于脂解激素，能动员脂肪组织，促进脂肪酸和甘油的释放，血液中游离脂肪酸水平升高，脂肪酸在肝内氧化增加。GH对脂肪代谢的作用与胰岛素抗衡，使体脂含量减少，呼吸商减小，酮体增加，脂肪氧化利用增多，以提供有效能源物质。③糖代谢：由于生长激素能抑制外周组织对葡萄糖的利用，减少葡萄糖的消耗，故GH有使血糖趋于升高的作用。

(3) 调节免疫功能：

GH几乎对所有的免疫细胞都有促使其分化，调节其功能的作用。

催乳素

催乳素（PRL）的化学结构与生长激素近似，故二者作用有所交叉。

(1) 对乳腺的作用：

PRL发挥三方面作用，即乳腺生长、泌乳启动和乳液生成。

(2) 对性腺的作用：

PRL可刺激卵巢LH受体生成，LH与其受体结合后，可促进排卵、黄体生成及孕激素与雌激素的分泌。在男性，睾酮存在的条件下，PRL促进前列腺及精囊的生长，还可增强LH对间质细胞的作用，使睾酮合成增加。

(3) 参与应激反应:

PRL是参与应激反应的主要激素之一。应激状态下，如麻醉、外科手术、电休克以及剧烈的运动等，PRL在血液中的浓度都有不同程度的升高。而且，PRL、ACTH和GH的增加一同出现。

(4) 免疫调节作用:

人的B淋巴细胞和T淋巴细胞都存在PRL受体。PRL协同一些细胞因子促进淋巴细胞的增殖，影响免疫相关细胞的功能，促进B淋巴细胞分泌抗体。此外，免疫细胞也可以产生PRL，以自分泌或旁分泌的方式发挥作用。

促黑（细胞）激素

MSH的主要生理作用是刺激黑素细胞（melanophore或melanocyte），使细胞内的酪氨酸转化为黑色素（melanin），同时使黑色素颗粒在细胞内散开，导致皮肤颜色加深。

近年也有证据提示，MSH可影响神经系统的兴奋性，可能改善记忆与学习。MSH还可抑制免疫系统，防止免疫反应过度。

神经垂体激素

1、血管升压素（VP）：

VP因早期实验中被发现具有强烈的缩血管作用并使血压升高而得名，是体内维持机体水平衡的重要激素之一。主要生理作用是促进肾远球小管和集合管对水的重吸收，即具有抗利尿作用，故又名抗利尿激素（ADH）。

2、催产素（OXT）

OXT的主要靶器官是子宫和乳腺。对子宫的作用是促进子宫平滑肌收缩，对乳腺的作用是参与射乳反射并参与维持哺乳期乳腺继续泌乳，使乳腺不致萎缩。

甲状腺内分泌功能

甲状腺是人体内最大的内分泌腺，平均重量约为20--25%g。

甲状腺激素主要有四碘甲腺原氨酸（T4）和三碘甲腺原氨酸（T3）两种，它们都是酪氨酸的碘化物。通常所称**甲状腺素**主要指T4。甲状腺激素的主要作用是促进能量代谢和物质代谢，促进生长和发育。

甲状腺激素

甲状腺激素几乎刺激所有的代谢途径，包括合成代谢和分解代谢，因此对代谢的影响十分复杂。生理水平的甲状腺激素对蛋白质、糖、脂肪的合成和分解代谢均有促进作用，而大量的甲状腺激素则促进分解代谢作用更明显。

(1) 对能量代谢的影响：提高基础代谢率是甲状腺激素最显著的效应。甲状腺激素可使绝大多数组织的产热量和耗氧率增加，尤其以心、肝、骨骼肌和肾等组织最为显著。

(2) 对物质代谢的影响:

对蛋白质代谢，甲状腺激素对蛋白质代谢的基本作用是加强基础蛋白质合成，表现正氮平衡。

对糖代谢，甲状腺激素促进小肠粘膜对糖的吸收，增强糖原分解，抑制糖原合成，并可加强肾上腺素、胰高血糖素、皮质醇和生长激素的升糖的作用，因此甲状腺激素有升高血糖的趋势。

对脂肪代谢，甲状腺激素促进脂肪酸氧化，增强儿茶酚胺与胰高血糖素对脂肪的分解作用。T4与T3既促进胆固醇的合成，又可通过肝加速胆固醇的降解，但分解的速度超过合成。

(3) 对生长与发育的影响:

甲状腺激素具有促进组织分化、生长与发育成熟的作用。在人类，甲状腺激素是维持正常生长与发育不可缺少的激素，特别是对骨和脑的发育尤为重要。

(4) 对器官系统的影响:

对神经系统: 甲状腺激素不但影响中枢神经系统的发育，对已分化成熟的神经系统有提高兴奋性的作用。

对心血管系统: 甲状腺激素可使心率增快，心缩力增强，心输出量与心脏做功增加。

由于甲状腺激素可显著增强机体的代谢，增加产热量、耗O₂量和C₀₂生成量，因而可促使外周血管舒张，血流量增加。

甲状旁腺内分泌功能

甲状旁腺分泌的甲状旁腺激素（PTH）与甲状腺C细胞分泌的降钙素（CT），以及VD3三者共同调节钙磷代谢，控制血浆中钙和磷的水平。

1、甲状旁腺激素的主要生理作用

PTH是调节钙磷代谢的最重要的激素，是机体维持血钙稳态的主导激素，其总效应是升高血钙和降低血磷。

其作用途径主要通过骨和肾脏：

第一，PTH可以动员骨钙入血，使血钙升高。

第二，对肾的作用：PTH促进肾远端小管对钙的重吸收，使尿钙减少，血钙升高，并能抑制近端小管对磷的重吸收，促进尿磷排出，血磷降低。

第三，PTH还可激活肾 1α -羟化酶，促进 25-OH-D_3 转变为有活性的 $1,25\text{-(OH)}_2\text{-D}_3$ ，进而促进小肠对钙的吸收。

2、降钙素的主要生理作用

CT的主要作用是降低血钙和血磷，其主要靶器官是骨和肾脏。对骨的作用是抑制破骨细胞活动，减弱溶骨过程，增强成骨过程，使骨组织释放钙、磷减少，钙、磷沉积增加，从而使血钙与血磷下降。对肾的作用是抑制肾小管对钙、磷、钠及氯的重吸收，使这些离子从尿中排出增多。

3、VD3 的主要生理作用

体内的VD3也是维持机体血钙稳态的重要激素。

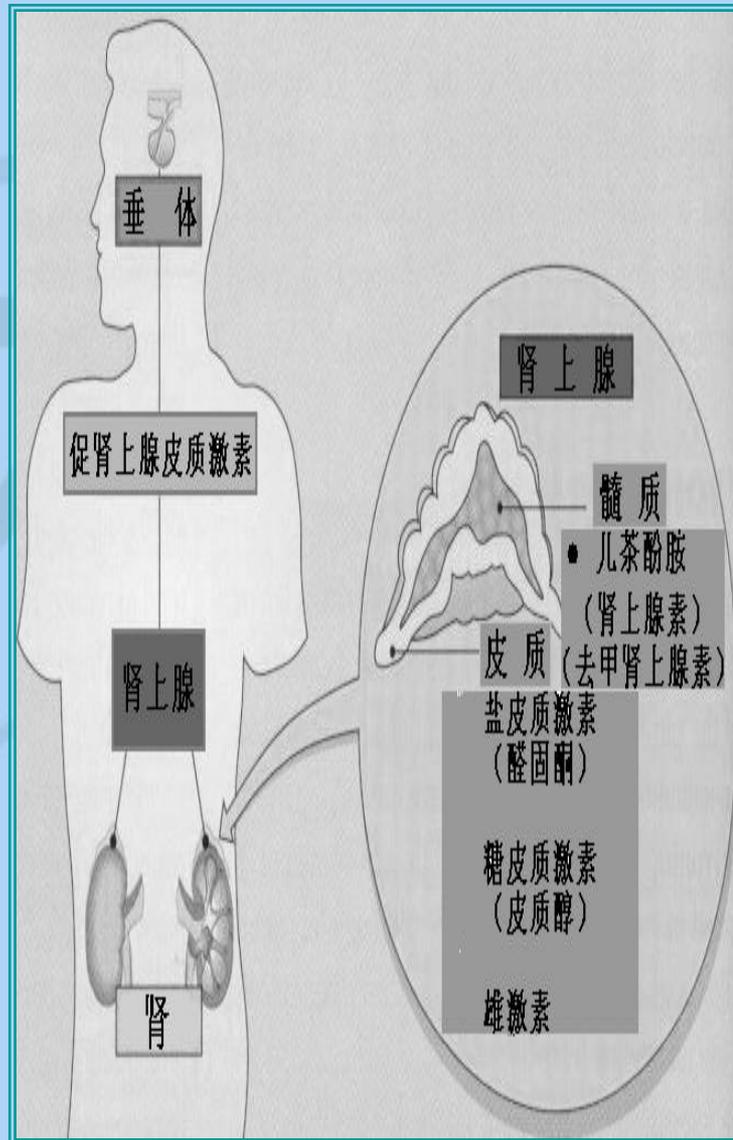
体内的VD3主要由皮肤中7 - 脱氢胆固醇经日光中紫外线照射转化而来，也可由动物性食物中获取。主要生理功能是：增强骨的溶解，释放骨钙入血，促进结合钙释放入血，促进小肠粘膜和肾小管对钙、磷的吸收。所以它既能增加血钙，也能增加血磷。

可见，体内钙、磷水平的稳态，有赖于PTH、CT和VD3的协同作用。

肾上腺的内分泌功能

肾上腺包括中央部的髓质和周围部的皮质两个部分，二者在发生、结构和功能上均不相同，因此，肾上腺皮质和肾上腺髓质实际上是两种不同的内分泌腺。

就内分泌而言，肾上腺皮质生成类固醇激素，肾上腺髓质生成儿茶酚胺类激素；然而，就整体而言，尤其是在发生“应激”（stress）和“应急”（emergency）的情况时，两者在功能上密切配合，共同发挥调节作用，全面提高机体的应变能力和耐受能力。



肾上腺皮质的内分泌功能

肾上腺皮质激素均属于类固醇激素，简称为皮质激素（corticoids）。

肾上腺皮质分泌的皮质激素分为三类，即糖皮质激素、盐皮质激素和性激素。

各类皮质激素是由肾上腺皮质不同层上皮细胞所分泌的。球状带细胞主要分泌盐皮质激素，其代表是醛固酮；束状带细胞主要分泌糖皮质激素，其代表是皮质醇和皮质酮；网状带细胞主要分泌性激素，如脱氢表雄酮和雌二醇。

糖皮质激素的主要生理作用

代谢或功能	调节效应
糖代谢	促进糖原分解和糖异生，减低糖的利用，维持血糖浓度，降低细胞对胰岛素的敏感性
脂肪代谢	促进脂肪分解和脂肪酸氧化，减少脂肪合成；促进肢体部的脂肪分解，增加躯干及面部脂肪沉积（脂肪重新分布）
蛋白质代谢	促进肝内蛋白质合成；促进肝外组织蛋白质分解，减少肝外组织对氨基酸的利用
水、盐代谢	减少肠道对钙的吸收和肾脏对钙的重吸收；增加对骨钙的吸收；保留Na ⁺ ，排出K ⁺ ，调节细胞外液量
血液	增加红细胞、中性粒细胞、单核细胞、血小板数量；减少感染部位中性粒细胞的积聚；减少淋巴细胞和嗜酸性粒细胞
循环	增强心血管系统对儿茶酚胺和血管紧张素II的反应性；维持心肌正常功能；维持毛细血管的完整和循环血量
呼吸	促进胎儿肺泡II型上皮细胞形成，增加肺表面活性物质
消化	促进消化液和消化酶分泌，特别是胃酸；提高胃腺对迷走神经和促胃液素的反应性；促进胎儿肝脏和胃肠道酶的合成
泌尿	增加肾小球血浆流量，增加肾小球滤过率，促进水的排泄
神经	维持中枢神经系统正常功能；影响胎儿和新生儿的脑发育，改变行为和认知能力
内分泌、生殖	减少垂体激素的分泌（GH、TSH、ACTH、FSH、LH）；降低性腺对GnRH的反应性
骨骼	抑制骨细胞增殖及RNA、蛋白质、胶原等的合成；促进PTH及VD ₃ 对骨的作用；降低成骨细胞活性，增加破骨细胞的数量和活性，促进骨质的溶解和吸收
免疫功能和炎症	抑制淋巴组织生长、抑制吞噬活动；影响抗体的形成和清除抗原的能力；降低毛细血

糖皮质激素与应激反应

应激 (stress) 一般指机体遭到一定程度内外环境和社会、心理等因素的伤害刺激时, 除了引起机体与刺激直接相关的特异性反应外, 还引起一系列与刺激性质无直接关系的非特异性适应反应, 包括多种激素分泌的变化等。机体的这些非特异性反应称为应激反应。

当机体受到各种有害刺激时, 血中ACTH浓度和糖皮质激素立即增加, 并产生一系列的适应性和耐受性的反应。在应激反应中, 除下丘脑 - 垂体 - 肾上腺皮质系统参与外, 交感 - 肾上腺髓质系统也参加, 所以在应激反应中, 血中儿茶酚胺含量也相应增加。同时, β - 内啡肽、生长激素、催乳素、胰高血糖素、血管升压素、醛固酮等均增加, 说明应激反应是以ACTH和糖皮质激素分泌增加为主, 多种激素共同参与的使机体抵抗力增强的非特异性反应。

盐皮质激素

盐皮质激素的主要作用是调节体内水盐代谢。它可促进肾远曲小管和集合管对 Na^+ 和水的重吸收及对 K^+ 的排泄，即有保 Na^+ 、保水和排 K^+ 作用。这对维持细胞外液量及循环血量的稳态具有重要的意义。

∞ 性激素：维持第二性征。

(少量由肾上腺皮质分泌，主要由性器官分泌)

肾上腺髓质的内分泌功能

肾上腺髓质嗜铬细胞分泌的肾上腺素 (adrenaline, Ad; epinephrine, E) 和去甲肾上腺素 (norepinephrine, NE), 属于儿茶酚胺类激素。

肾上腺髓质与交感神经系统组成交感-肾上腺髓质系统, 髓质激素的作用与交感神经的活动紧密联系。

肾上腺髓质的内分泌功能

	肾上腺素 (E)	去甲肾上腺素 (NE)
心率	加快	减慢 (在体)
心输出量	增加	不定
冠脉血流量	增加	增加
总外周阻力	降低	增加
血压	升高, 尤其收缩压	明显升高, 尤其舒张压
支气管平滑肌	舒张	稍舒张
脂肪代谢	分解	分解
糖代谢	血糖明显升高	血糖升高

儿茶酚胺激素与应急反应

当机体遭遇紧急情况时，如剧痛、缺氧、脱水、大出血、畏惧及剧烈运动时，交感-肾上腺髓质系统发生的适应性反应称“**应急反应**”（emergency reaction）。

应急反应包括中枢神经系统的兴奋性提高；心率加快，心收缩力增强、心输出量增加、血压升高；呼吸加深加快；皮肤内脏血管收缩，血液重新分配，使重要脏器得到更多血液供应；血糖升高，葡萄糖、脂肪酸氧化代谢加强，**有利于动员机体潜在的力量以应付环境的剧变。**

∞ 引起“应激反应”和“应急反应”的刺激是相同的，但反应的途径是不同的，前者是下丘脑-垂体-肾上腺皮质系统活动的增强，后者是交感-肾上腺髓质系统活动的增强。二者相辅相成，共同维持和提高机体的应答和适应能力。

应急反应的机体表现：

- ① 中枢神经系统兴奋性加强，使机体处于警觉状态，反应灵敏。
- ② 呼吸功能加强，呼吸加强加快，肺通气量增加。
- ③ 心血管活动加强，心跳加快，心缩力增强，心输出量增加。动脉血压升高，血液循环加快，内脏血管收缩，骨骼肌血管舒张同时血流量增多，全身血液重新分配，以利于应急状态时重要器官得到更多的血液供应。
- ④ 能量代谢加强，肝糖原分解增强，血糖升高，脂肪分解加速，血中游离脂肪酸增多，葡萄糖与脂肪酸氧化过程增强，以适应在应急情况下对能量的需要。

胰岛的内分泌功能

根据人的胰岛细胞的形态和染色特点，可将其分为四种类型，分别称为A细胞、B细胞、D细胞及PP细胞。

A细胞约占胰岛细胞的20%，分泌胰高血糖素 (glucagon)；B细胞的数量最多，约占胰岛细胞的75%，分泌胰岛素 (insulin)；D细胞占胰岛细胞的5%左右，分泌生长抑素 (SS)；PP细胞的数量很少，分泌胰多肽 (pancreatic polypeptide)。

胰岛素

1、对糖代谢的调节

在生理状态下，胰岛素是唯一降低血糖的激素。它通过增加血糖的去路与减少血糖来源，产生降低血糖的效应。主要途径是促进组织细胞对葡萄糖的摄取和利用，加速葡萄糖合成为糖原，贮存于肝和肌肉中，并抑制糖异生，促进葡萄糖转变为脂肪酸，贮存于脂肪组织，结果使血糖水平下降。

2、对脂肪代谢的调节

胰岛素促进肝脏合成脂肪酸，然后转运到脂肪细胞贮存。胰岛素促进葡萄糖进入脂肪细胞，除了合成脂肪酸外，还可促进甘油三酯形成并贮存于脂肪细胞中。同时，胰岛素还能抑制脂肪酶的活性，减少脂肪的分解。

3、对蛋白质代谢的调节

胰岛素可促进蛋白质的合成过程。其作用可表现在蛋白质合成的各个环节：①促进氨基酸通过膜的转运进入细胞。②加快细胞核的复制和转运过程，增加DNA和RNA的生成。③作用于核糖体，加速翻译过程，促进蛋白质合成。

胰高血糖素

胰高血糖素是一种促进分解代谢的激素。

胰高血糖素具有很强的促进糖原分解和糖异生的作用，使血糖明显升高。1mol / L的胰高血糖素可使糖原分解释出 3×10^6 mol / L的葡萄糖。胰高血糖素通过cAMP-PKA系统，激活肝细胞的磷酸化酶，加速糖原分解。糖异生增强是因为胰高血糖素可加快氨基酸进入肝细胞，并激活与糖异生过程有关的酶系。胰高血糖素还激活脂肪酶，促进脂肪分解，同时又可加强脂肪酸氧化，使酮体生成增多。

此外，胰高血糖素可促进胰岛素和胰岛生长抑素的分泌。



1、心脏和血管的内分泌功能

血管，尤其是血管内皮细胞，能产生多种生物活性物质，如内皮素（endothelin）、一氧化氮（nitric oxide, NO）、前列环素（prostacyclin ,PGI₂）等，参与循环等功能的调节。

心脏是血液循环的动力器官—血泵，但心肌工作细胞，特别是心房肌细胞能分泌心房钠尿肽（ANP），后者参与机体水、盐平衡的调节。



2、胸腺的内分泌功能

胸腺位于胸腔，原本是免疫系统的重要器官之一，但也兼有内分泌功能。

胸腺的上皮细胞等能够分泌多种肽类激素，如胸腺素（thymosin）、胸腺生长素（thymopoietin）、胸腺刺激素（thymulin）等。这些激素可促进由骨髓迁移到胸腺的前胸腺细胞分化成熟，成为T细胞，并获得免疫活性。

3、胃肠道系统的内分泌功能

胃肠道黏膜是体内最大的内分泌器官，其中有种类繁多的内分泌细胞，分泌多种肽类激素，总称胃肠激素（gastrointestinal hormone, gut hormone）。

胃肠道黏膜可分泌如促胃液素、促胰液素、缩胆囊素、胰岛素、生长抑素等数十种激素。

胃肠道激素的主要作用是通过控制消化系统的分泌、运动和吸收等功能活动，调节机体的营养供应和维持能量平衡。

肝脏在垂体生长激素的刺激下可以产生胰岛素样生长因子-1，与胰岛素、GH、甲状腺激素等共同促进周身组织细胞的生长、增殖。肝脏所含的25-羟化酶参与维生素D3的活化。

4、肾脏的内分泌功能

肾脏在机体缺氧情况下所释放的红细胞生成素 EPO (erythropoietin,)，能特异地刺激骨髓红细胞系统的造血活动，通过红细胞数量的增加，增强血液输送氧的能力)。

动脉血压降低和血容量减少时，肾脏会因缺血而释放肾素 (renin)，激活肾素-血管紧张素-醛固酮系统，一方面广泛收缩血管，增加外周阻力，另一方面能调节肾脏对钠和水的重吸收，增加血容量，提高动脉血压。

此外，肾脏内的1 α -羟化酶可使VD3活化，调节钙、磷代谢。

5、性腺的内分泌功能

人类卵巢与睾丸的基本功能是生成成熟的生殖细胞—**卵子与精子**，同时产生调节生殖和其他功能的**性激素**（gonadal hormone）。

卵巢产生多种**雌激素**（estrogen）、**孕激素**（progestogen）等类固醇激素以及卵泡抑素和松弛素等肽类激素。

睾丸主要产生属于类固醇的**雄激素**（androgen）和抑制素、激活素等肽类激素。

性激素的主要功能是维持性征，促进和维持性器官的发育和成熟，维持性功能，调节代谢和促进蛋白质合成等作用。

组织激素（tissue hormones）

组织激素是指体内许多组织生成和释放的激素。

1、前列腺素的主要生理作用

前列腺素（prostaglandine, PG）因最先在前列腺发现而得名。

PG的主要作用是：

促进或抑制血小板聚集，影响血液凝固，使血管收缩或扩张；

使气管收缩或舒张；

减少胃腺分泌，保护胃黏膜，增加小肠运动；

调制神经递质的释放和作用，参与下丘脑体温调节，

参与睡眠活动，参与疼痛与镇痛过程。

2、瘦素的主要生理作用

瘦素（leptin, Lep）是肥胖基因（obesity gene）的表达产物，由白色脂肪组织特异产生的肽，参与机体能量平衡的调节，有减少体内脂肪沉积的作用。

瘦素是调节能量稳态的激素之一，其主要生理学作用有：

- （1）作用于下丘脑弓状核，抑制食欲，减少摄食量，即控制机体由外界摄入的能量。
- （2）作用于中枢神经系统，加强交感神经系统的活动，动员体内储备能源的转化和释放。
- （3）直接作用于脂肪细胞，抑制脂肪组织中的脂类合成。

第四章 内分泌调节

第三节 运动与内分泌功能

运动对激素的影响分为两种情况。一种是急性运动 (acute exercise) 的影响，一种是长期运动 (chronic exercise) 的影响。激素对前者会发生相应的应答性反应 (response)，对后者会产生相应的适应性变化 (adaptation)

下面通过分析几种与身体运动关系比较密切的激素在运动中的变化，讨论激素对急性运动中的应答特征和对长期运动训练的适应特征。

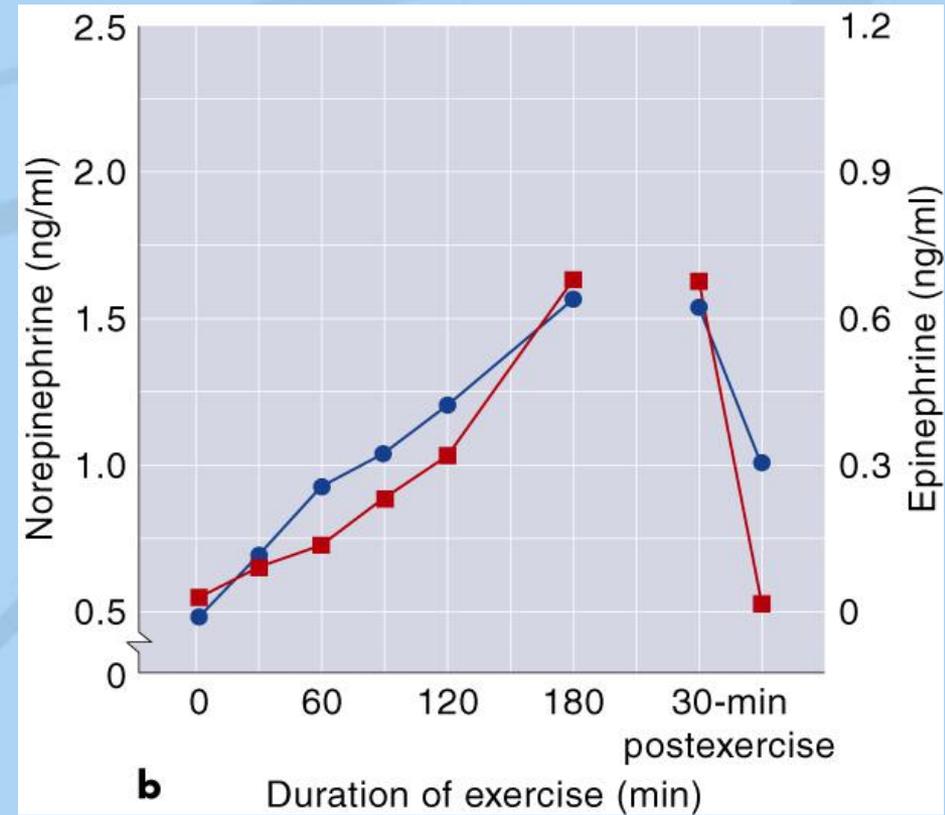
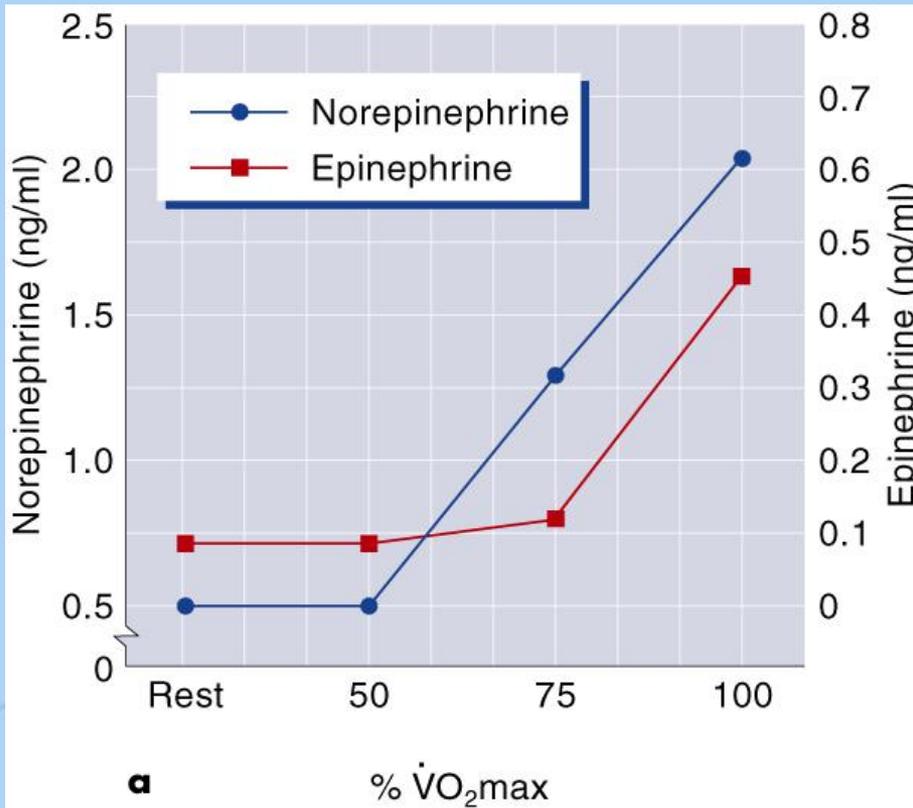
儿茶酚胺对急性运动的反应特征

在运动应激状态下，交感神经系统被激活，所以在运动期间儿茶酚胺必然升高，且升高的程度与运动强度密切相关：即运动强度越大，升高的幅度也相应越大。

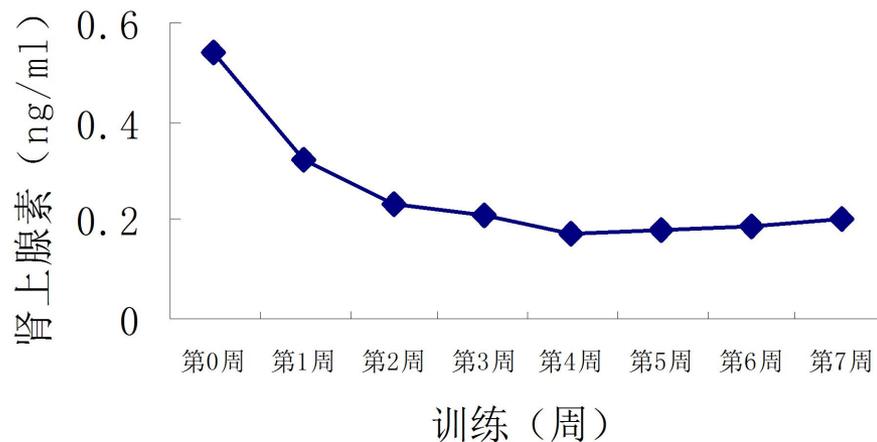
研究发现，男子完成反复性最大强度运动后，血中肾上腺素水平明显升高，可达安静水平18倍，去甲肾上腺素也表现出类似变化。

研究同时注意到：运动强度过小不会引起血中儿茶酚胺水平发生明显变化。这表明，要引起儿茶酚胺升高，有一个最小的运动强度阈值。

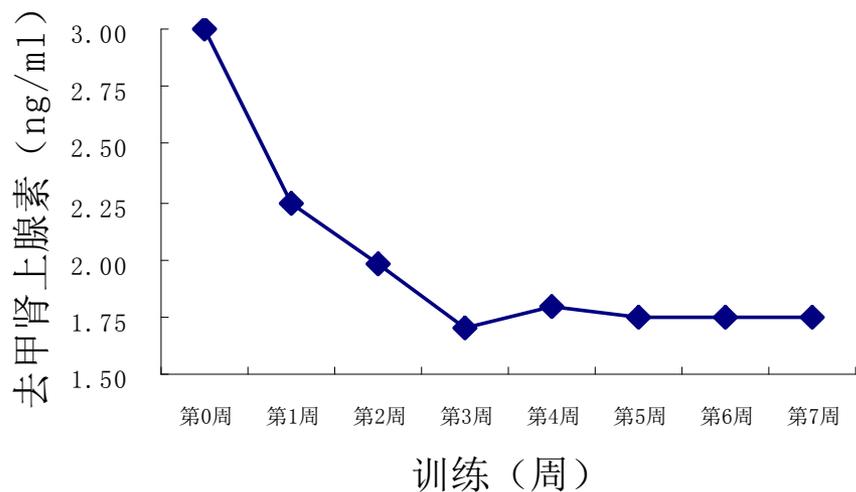
BLOOD CONCENTRATION CHANGES OF EPINEPHRINE AND NOREPINEPHRINE



儿茶酚胺对长期运动的适应特征



长期运动过程中肾上腺素
(右) 的变化



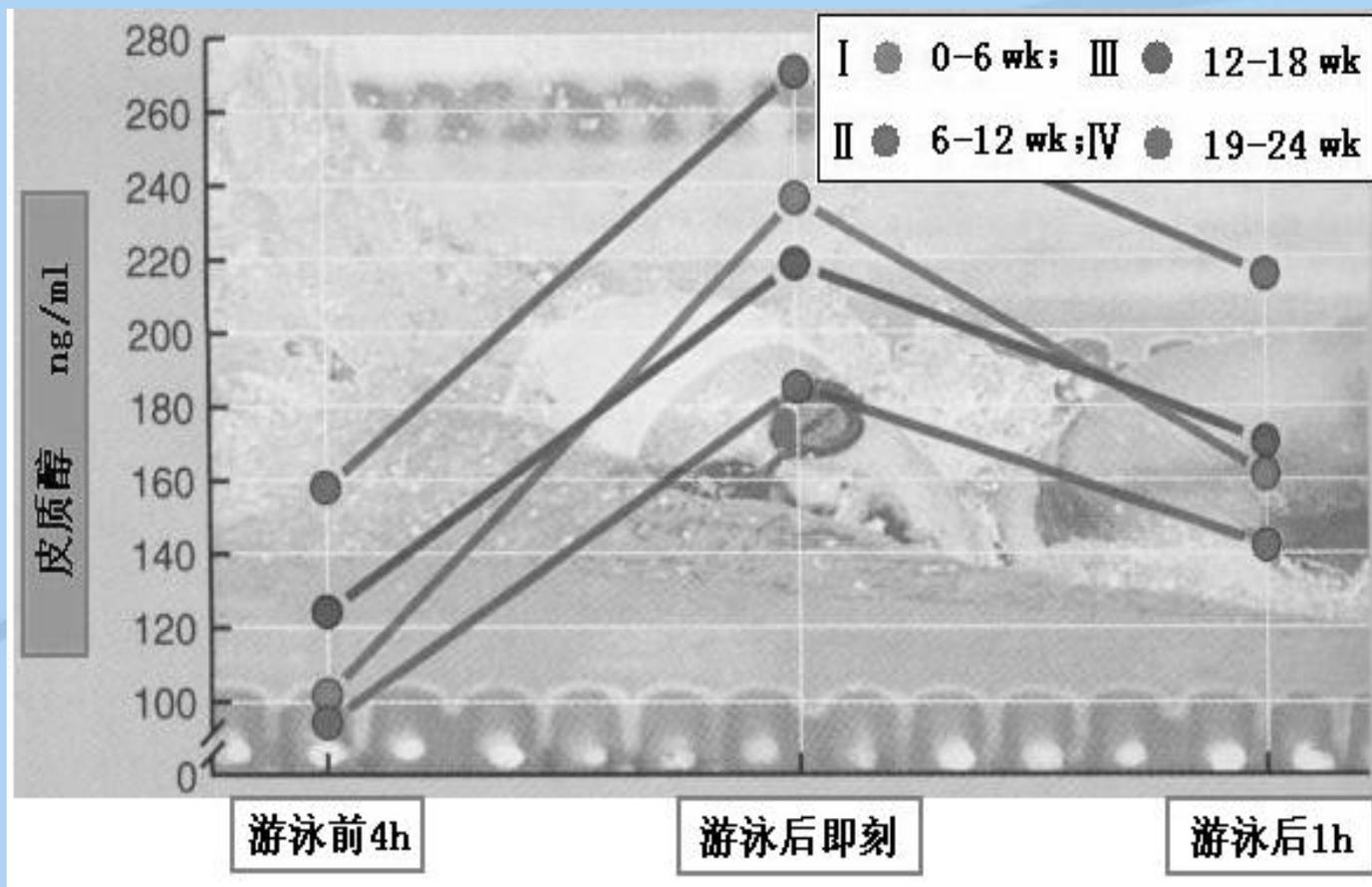
平

糖皮质激素对运动的反应与适应

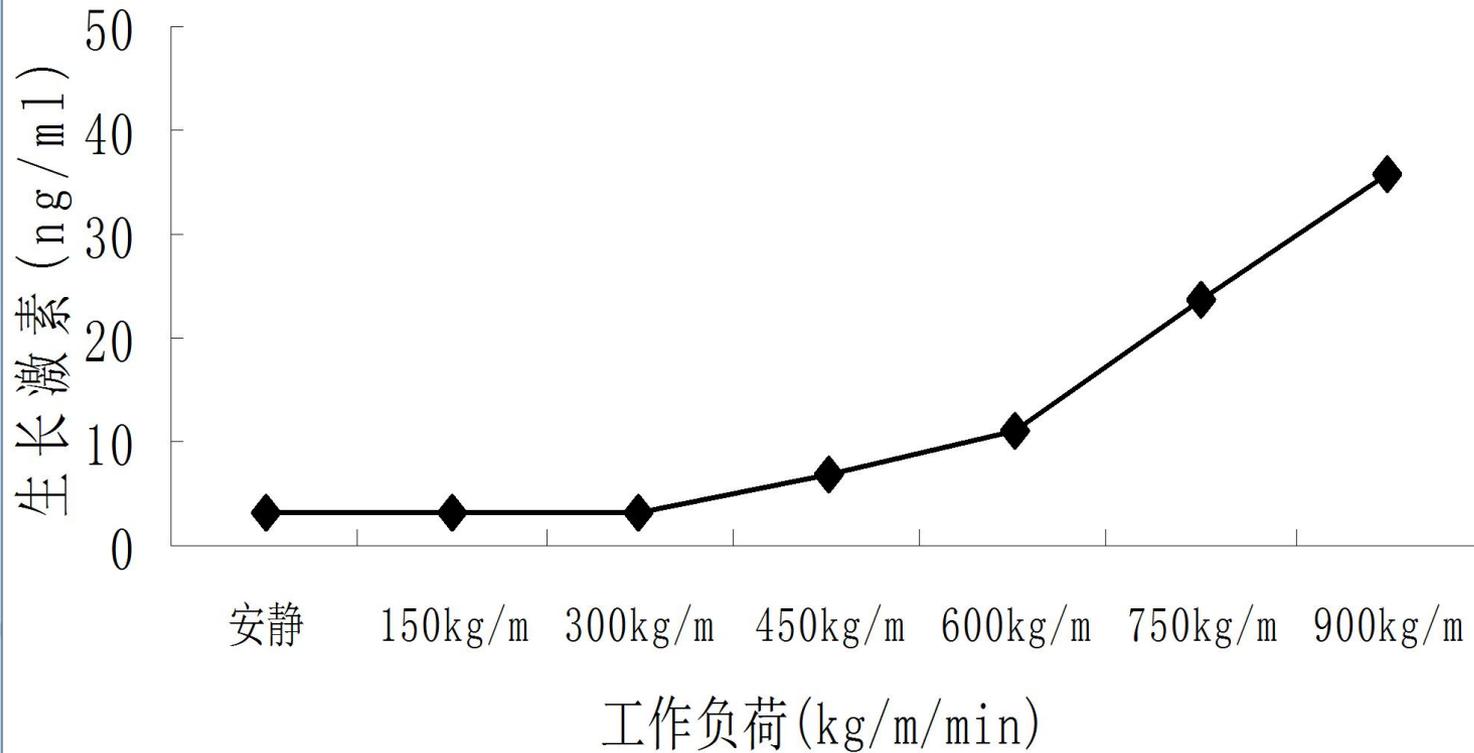
在完成小强度负荷时，血中可的松水平不会发生明显的改变。

而在完成力竭性运动期间，由于刺激几乎达到最大，可的松水平也就会相应明显升高。这表明：同样存在一个导致可的松水平明显升高的运动强度阈值（threshold）。

研究表明：经过长期训练，完成同样负荷运动时，同另一种重要的应激激素儿茶酚胺的适应性变化相似，ACTH和GC升高水平也会降低。



生长激素对运动的反应与适应



GH对长期运动适应主要表现在：

第一，受过训练者与未受过训练者相比，在完成相同强度负荷时，前者血中生长激素浓度的增长幅度明显小于后者。

第二，力竭性运动后，前者血中生长激素的下降速度明显快于后者。



胰岛素和胰高血糖素对运动的反应与适应

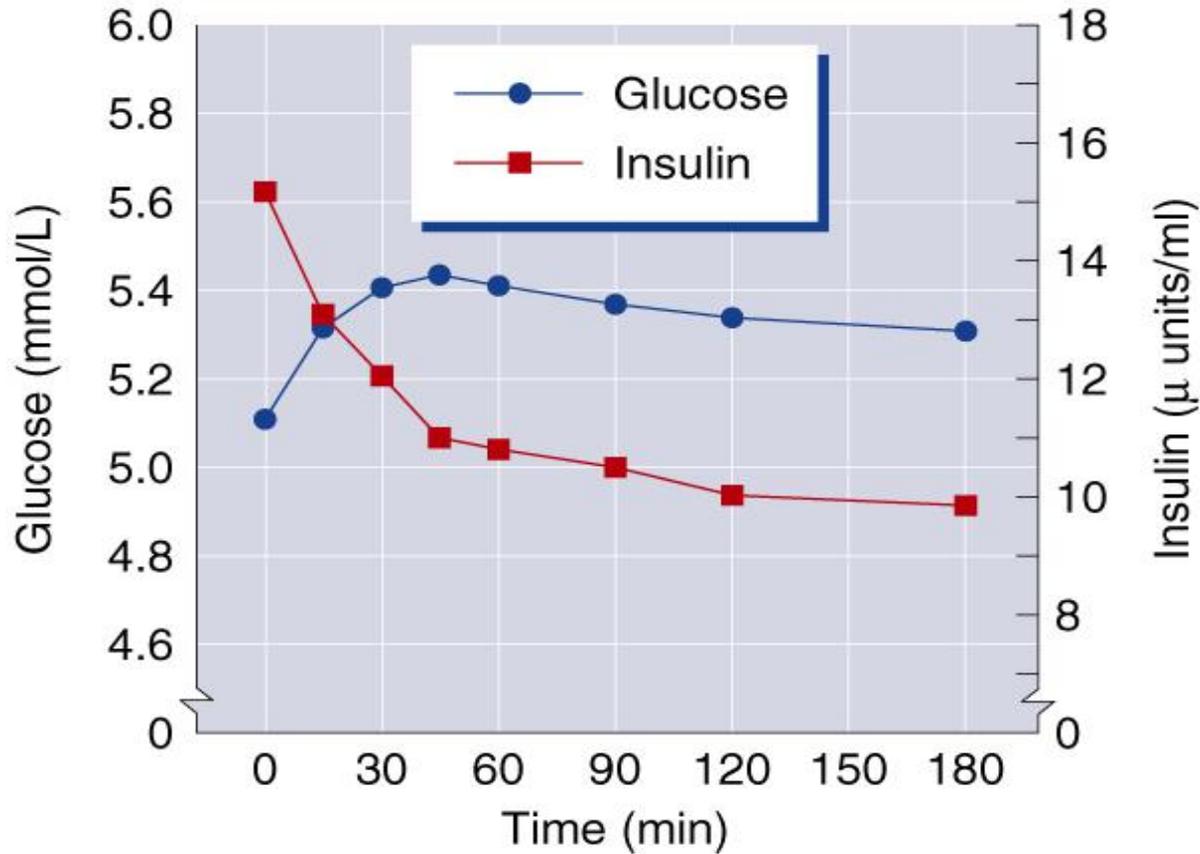
研究已经注意到三个重要变化：

(1) 令训练程度高者和训练程度低者（未经训练者）完成3小时的中等强度运动时，训练程度低者血糖水平持续下降，而训练程度高者一直未见降低反而略有升高。

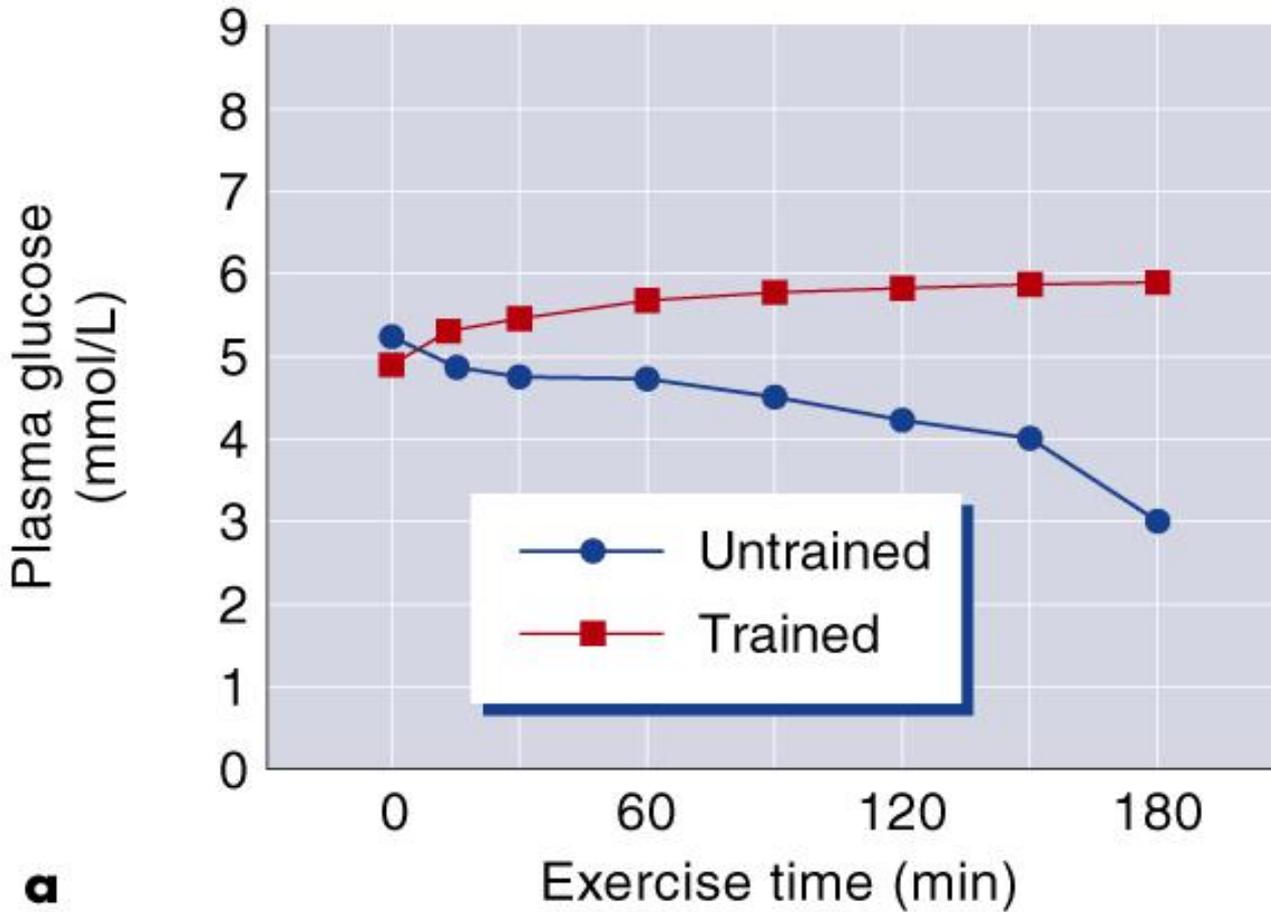
(2) 在运动开始20分钟期间，两者胰岛素水平几乎同步降低。但随后，训练程度高者胰岛素水平不再明显降低，而训练水平低者一直持续降低。

(3) 在运动开始20分钟期间，训练程度高者胰高血糖素水平明显上升（可达安静时几乎两倍），而训练程度低者开始阶段反而略有降低。尽管随后有所回升，但仍一直在安静水平左右徘徊。

PLASMA LEVELS OF GLUCOSE AND INSULIN DURING CYCLING AT 65% TO 75% VO₂MAX

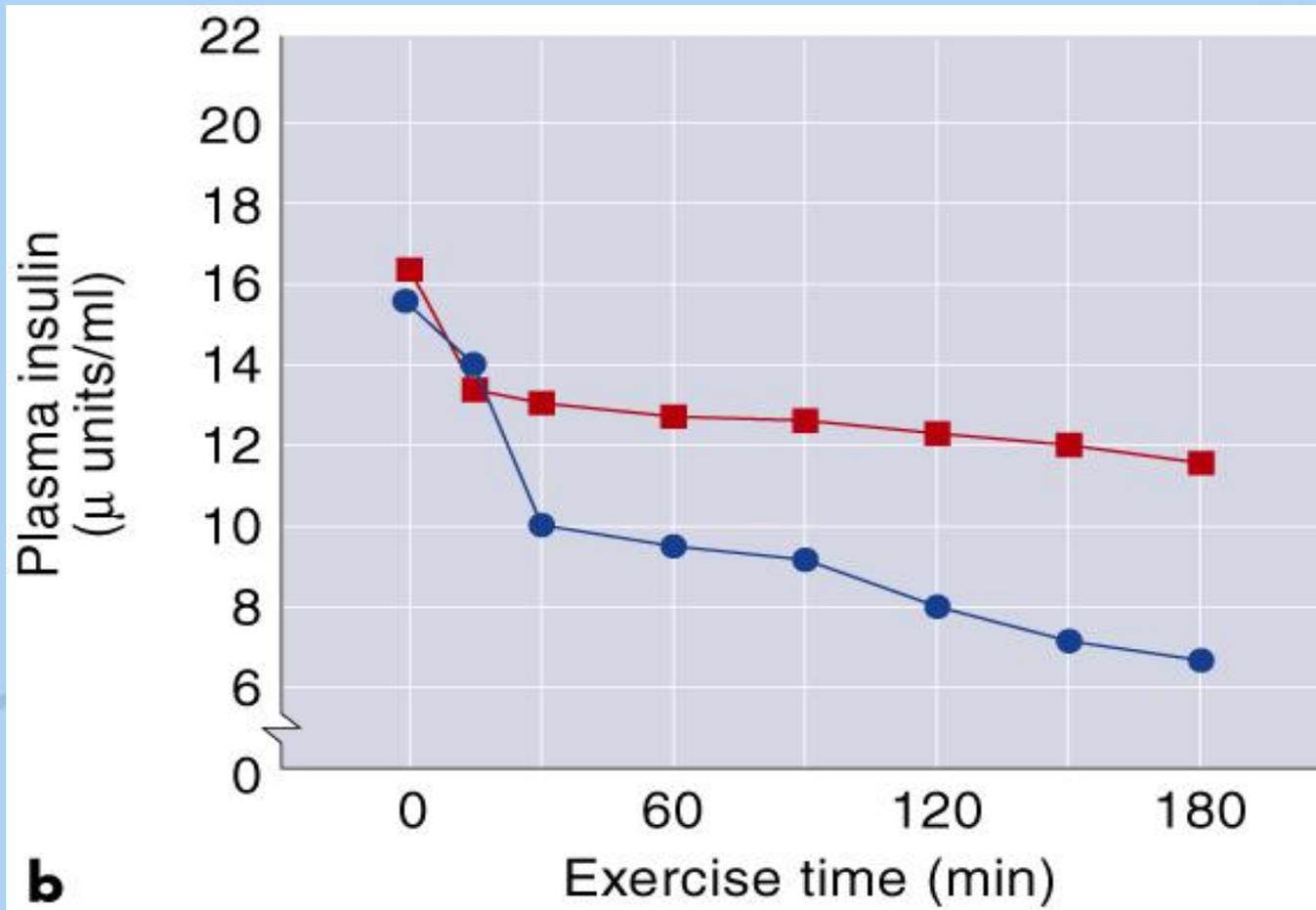


PLASMA GLUCOSE AND TRAINING

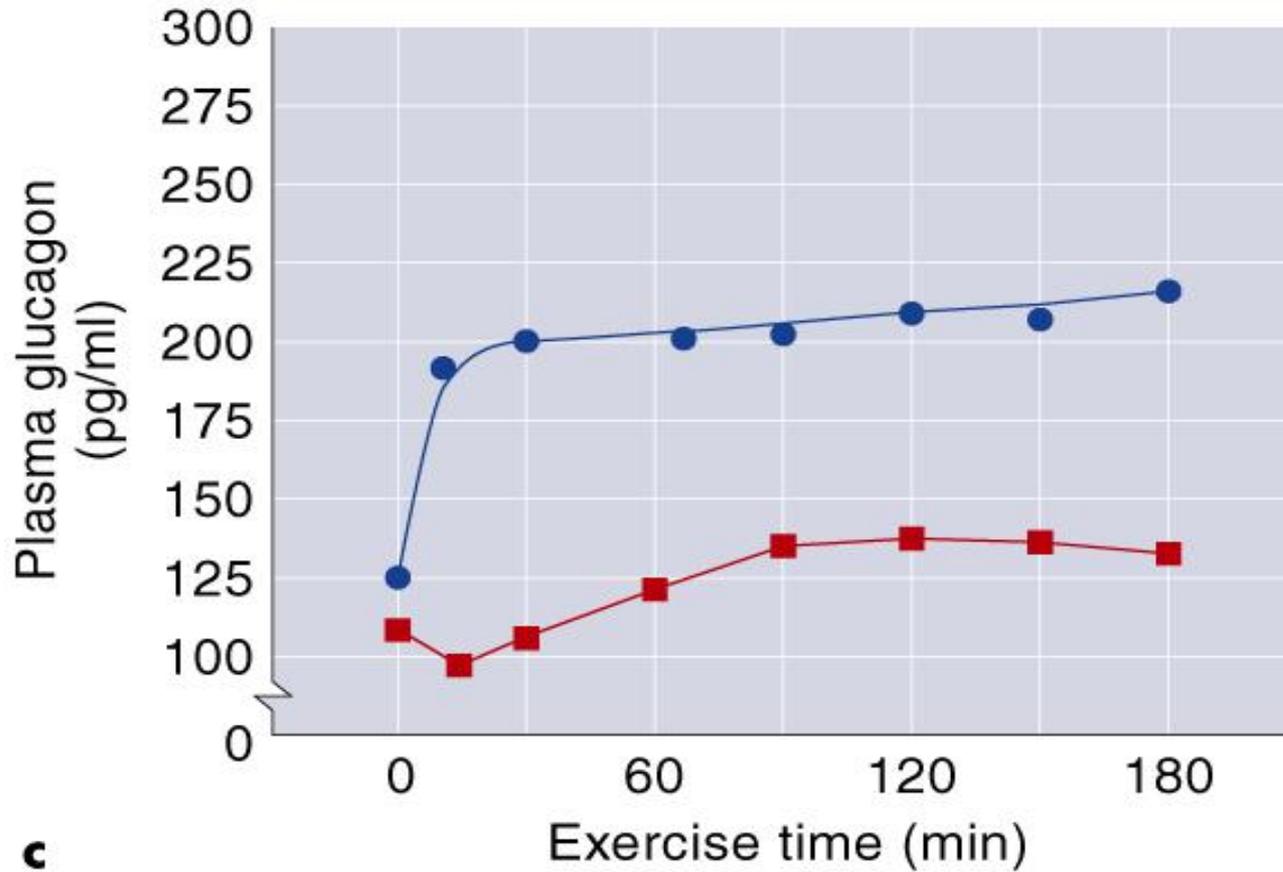


a

PLASMA INSULIN AND TRAINING



PLASMA GLUCAGON AND TRAINING



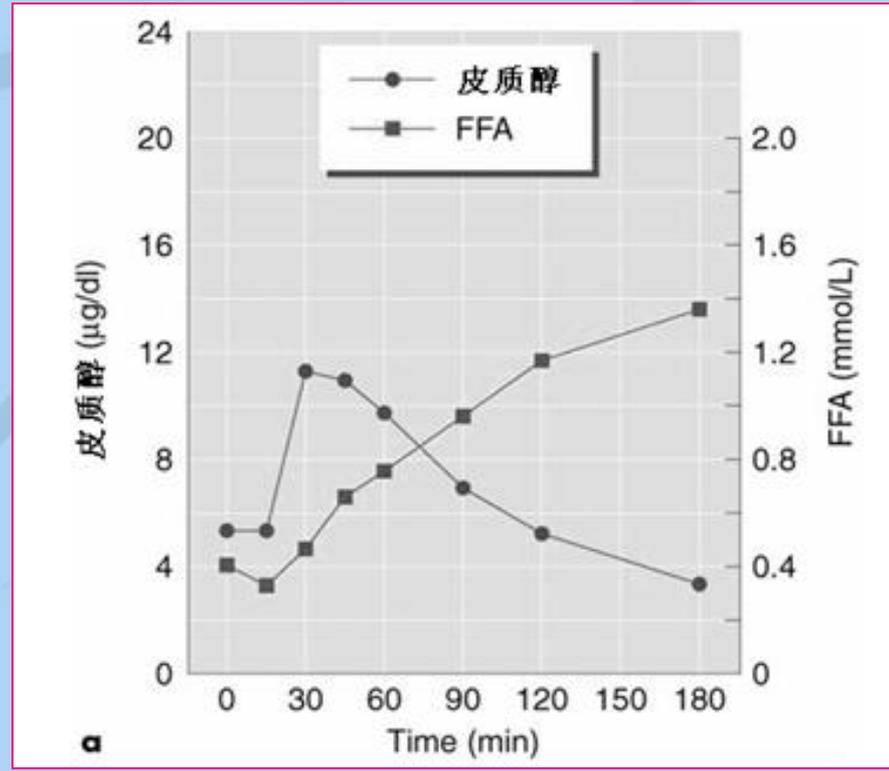
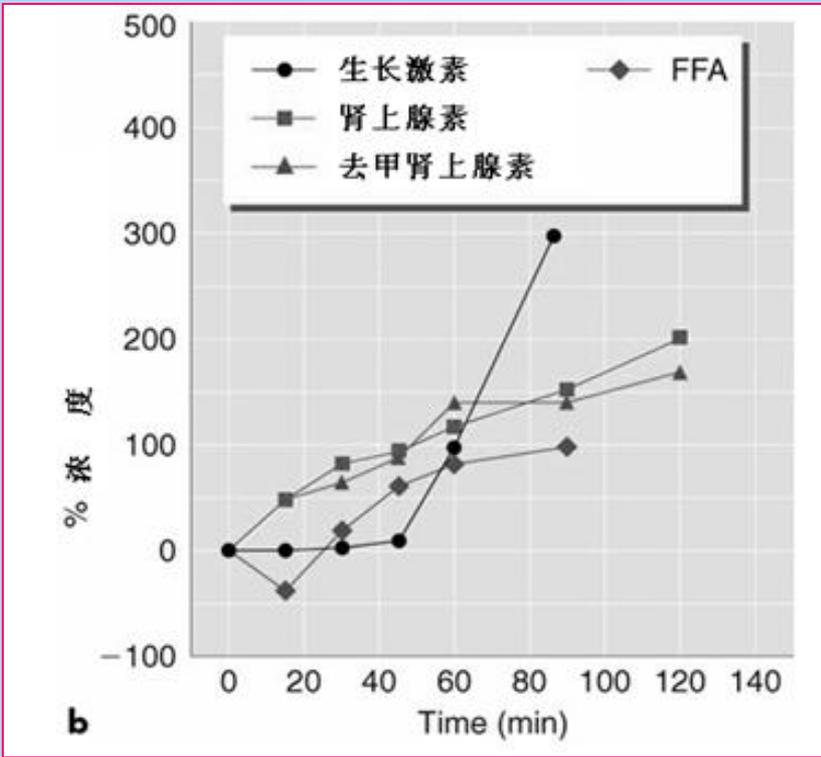
c

激素对急性运动的反应以及对长期运动训练的适应

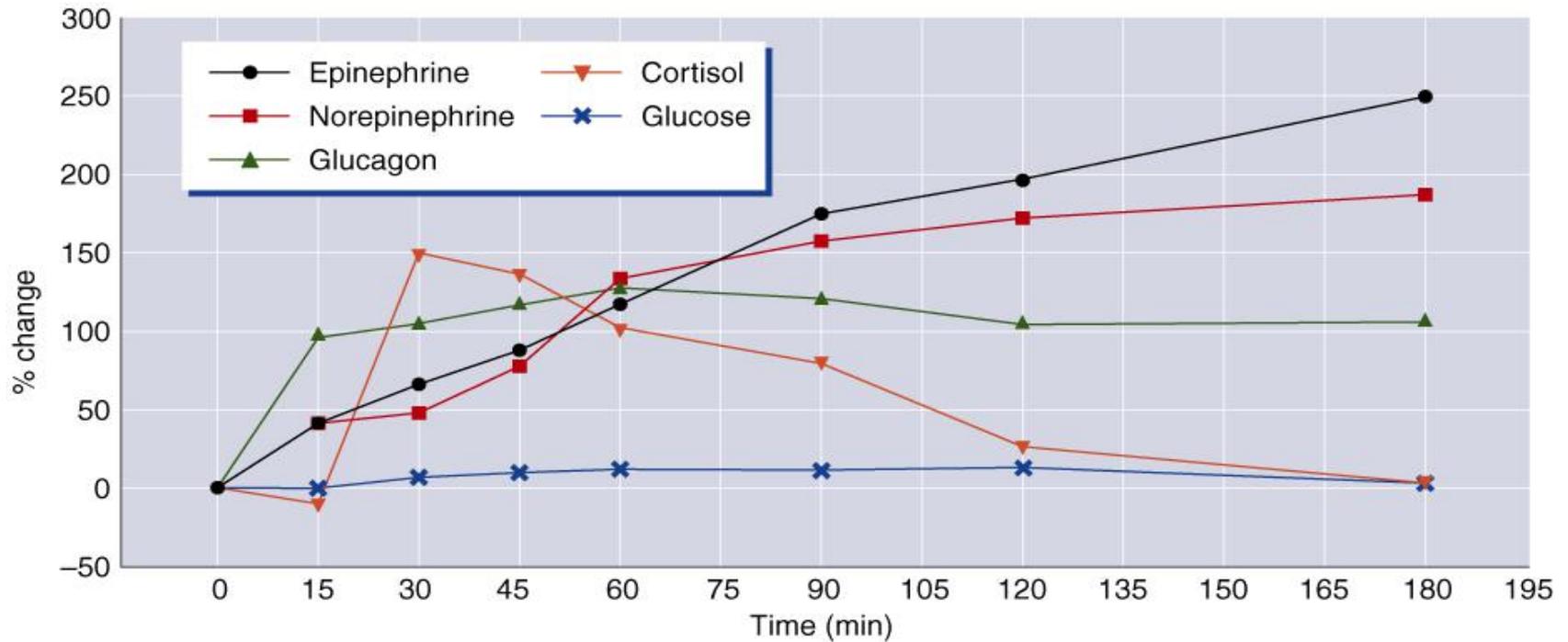
激素名称	对急性运动的应答性变化	经过长期训练的适应性变化
生长激素	随着运动负荷的增加而升高	完成同等运动负荷时反应变小
促甲状腺素	随着运动负荷的增加而升高	未知
促肾上腺皮质激素	随着运动强度和持续时间而升高	完成同等运动负荷时反应变小
催乳素	随着运动升高	未知
促卵泡激素	变化很小或未变	未知
黄体生成素	变化很小或未变	未知
抗利尿激素	随着运动负荷的增加而升高	完成同等运动负荷时反应变小
甲状腺素	游离T3和T4随着运动强度增加而升高	完成同等运动负荷时T3和T4比例改变
甲状旁腺素	随着运动持续时间延长而升高	未知

激素名称	对急性运动的应答性变化	经过长期训练的适应性变化
肾上腺素	在约75%的 VO_{2max} 时开始升高，并随强度增加而升高	完成同等运动负荷时反应变小
去甲肾上腺素	在约50%的 VO_{2max} 时开始升高，并随强度增加而升高	完成同等运动负荷时反应变小
醛固酮	随着运动负荷的增加而升高	稍微升高
可的松	仅在高强度运动负荷时才升高	稍微升高
胰岛素	随着运动负荷的增加而升高	完成同等运动负荷时反应变小
高血糖素	随着运动负荷的增加而升高	完成同等运动负荷时反应变小
肾素	随着运动负荷的增加而升高	不变
红细胞生成素	未知	不变
睾酮	运动期间小幅度升高	男子运动员安静值降低
雌激素和孕激素	运动期间小幅度升高	高水平女子运动员安静值也许会降低

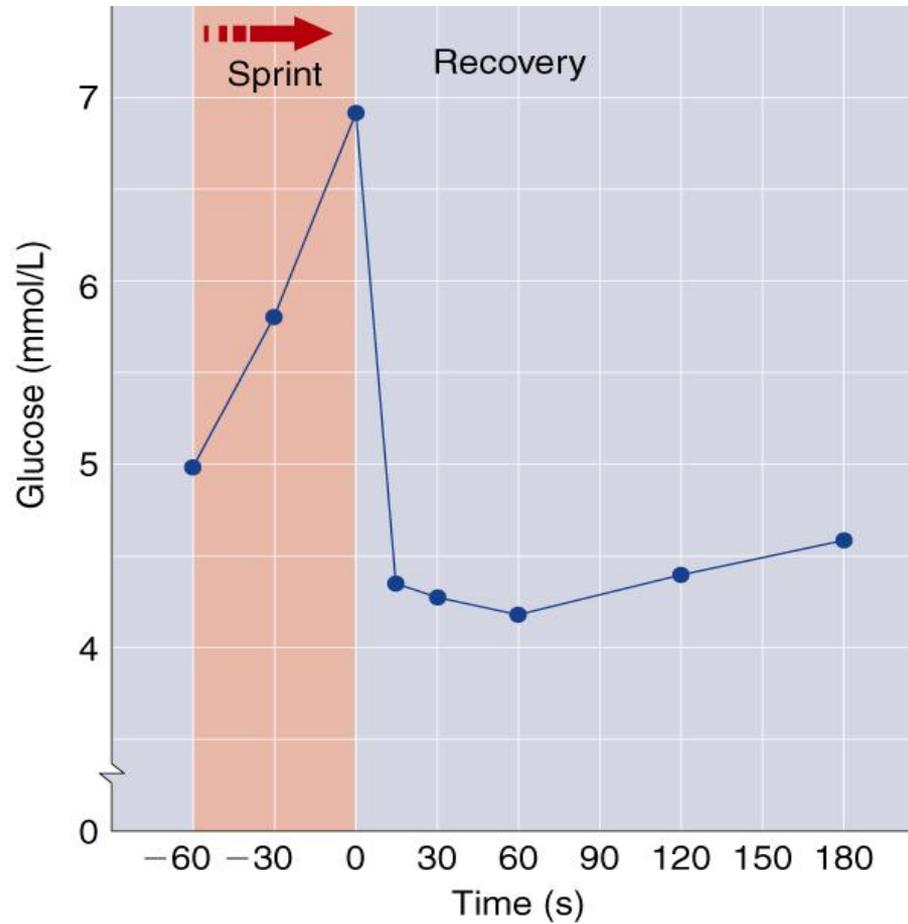
激素对运动时能量代谢的调控



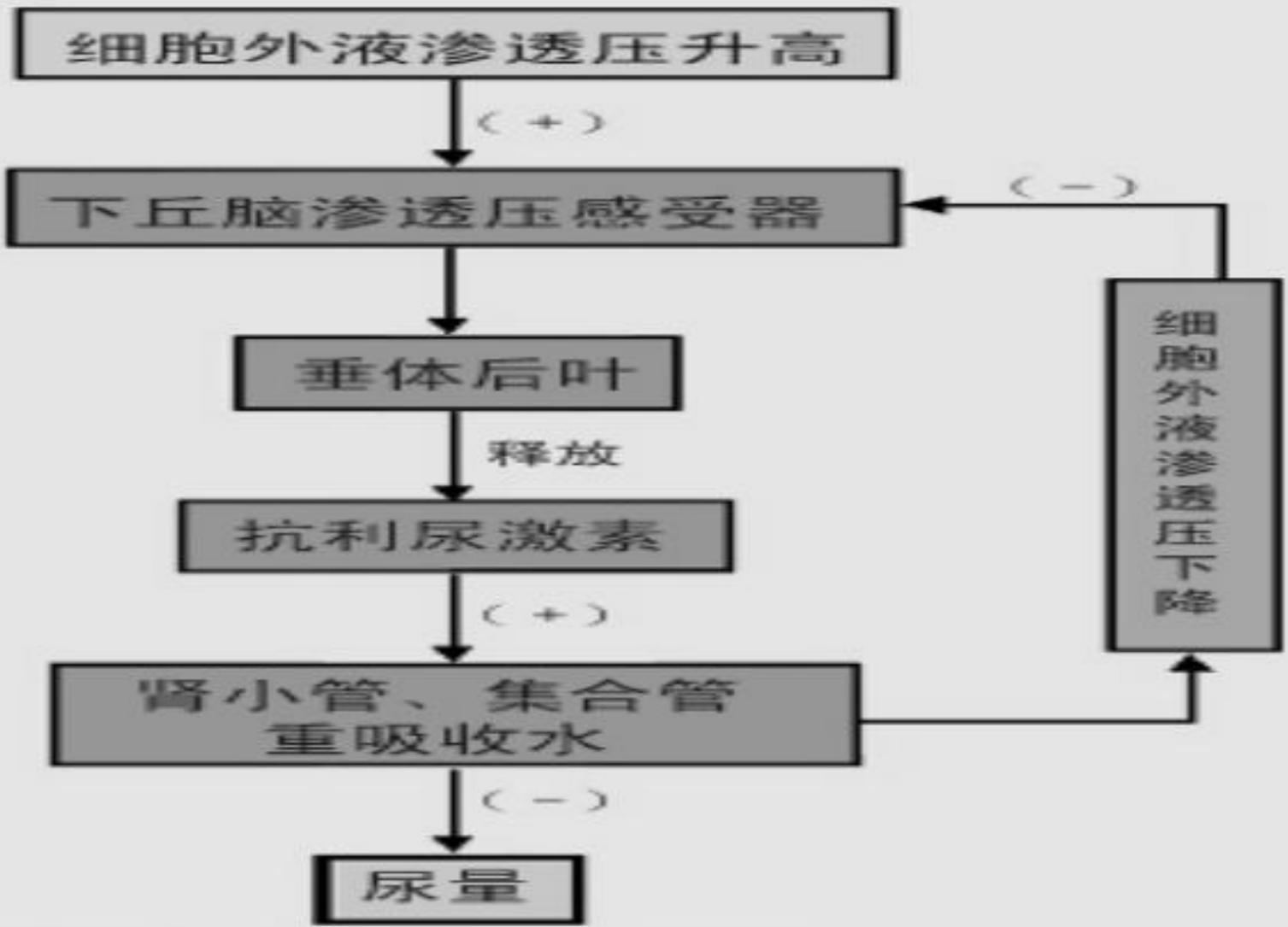
PLASMA LEVELS OF HORMONES DURING CYCLING AT 65% VO₂MAX

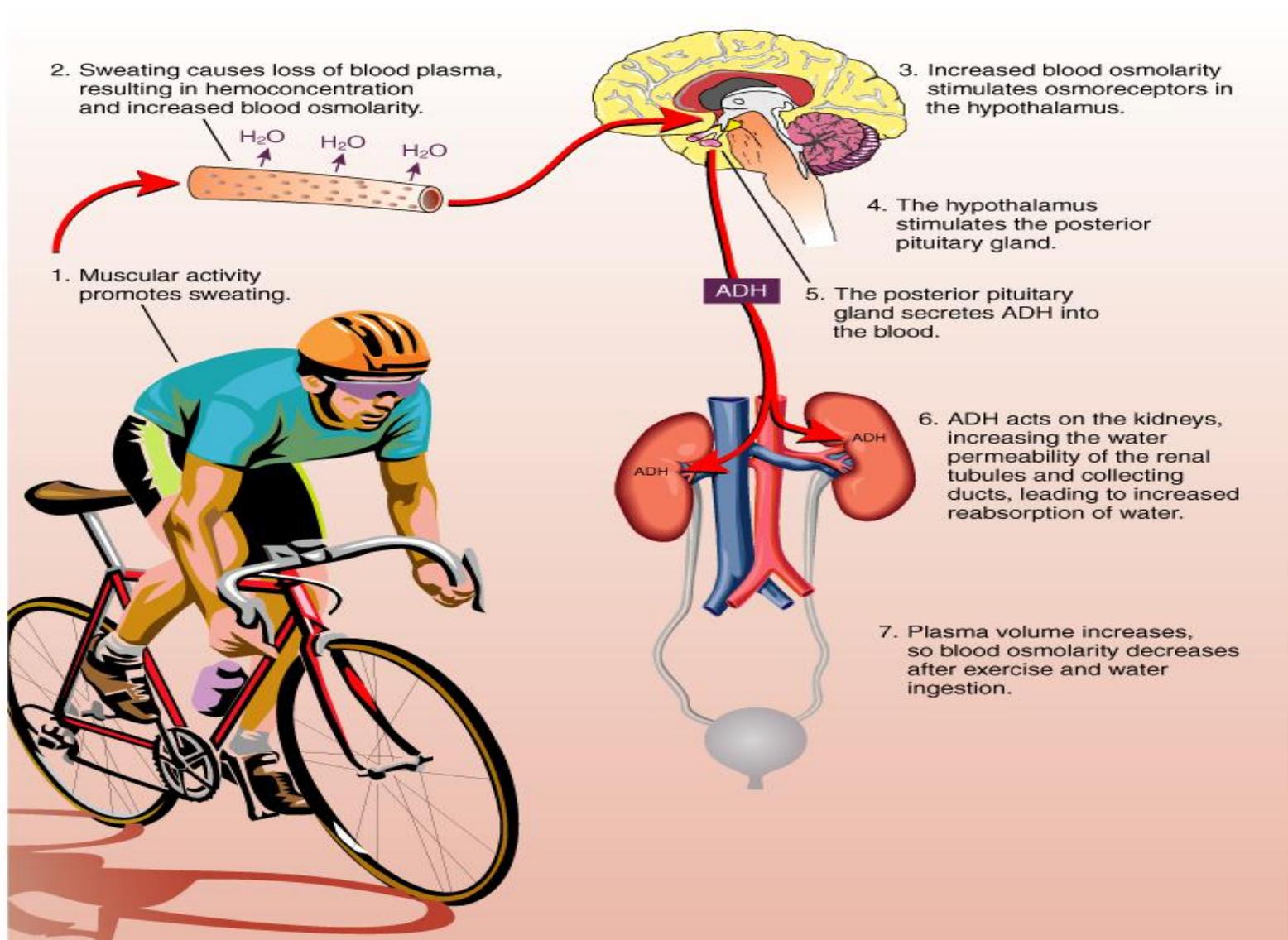


BLOOD GLUCOSE LEVELS AFTER SPRINTING



激素对运动时水盐代谢的调控





HOW ADH CONSERVES BODY WATER

激素对运动应答与适应的基本特征

1、应激激素水平在急性运动过程中会升高，且升高幅度与运动负荷强度和/或运动持续时间相关。

2、对主要应激激素而言，运动中要引起水平升高，需要一个激活激素升高的运动强度阈值。而且，激活不同激素升高的阈值不尽相同。

3、长期运动训练后，激素水平会发生某种程度的“去补偿”现象（decompensation），表现为开始某种负荷运动时，反应幅度比较明显；随着不断运动，反应幅度逐渐变小。这表明：反应幅度更加精确，机能更加节省化。

4、经过长期训练后，不同激素变化的综合结果总是朝着有利于运动和健康的趋势发展。

***THANK
YOU!***

谢谢!

