



第十一章 能量代谢与体温调节

energy metabolism and

body temperature



第一节 能量代谢

Energy metabolism

生物体内物质代谢过程中所伴随着的能量释放、转移、贮存和利用。

一、机体能量的释放、贮存和利用

(一) 三种营养物质

主要能源：糖、脂肪和蛋白质

糖：提供 70% 能量

葡萄糖 \rightleftharpoons

糖原



脂肪： 主要能源物质贮存形式

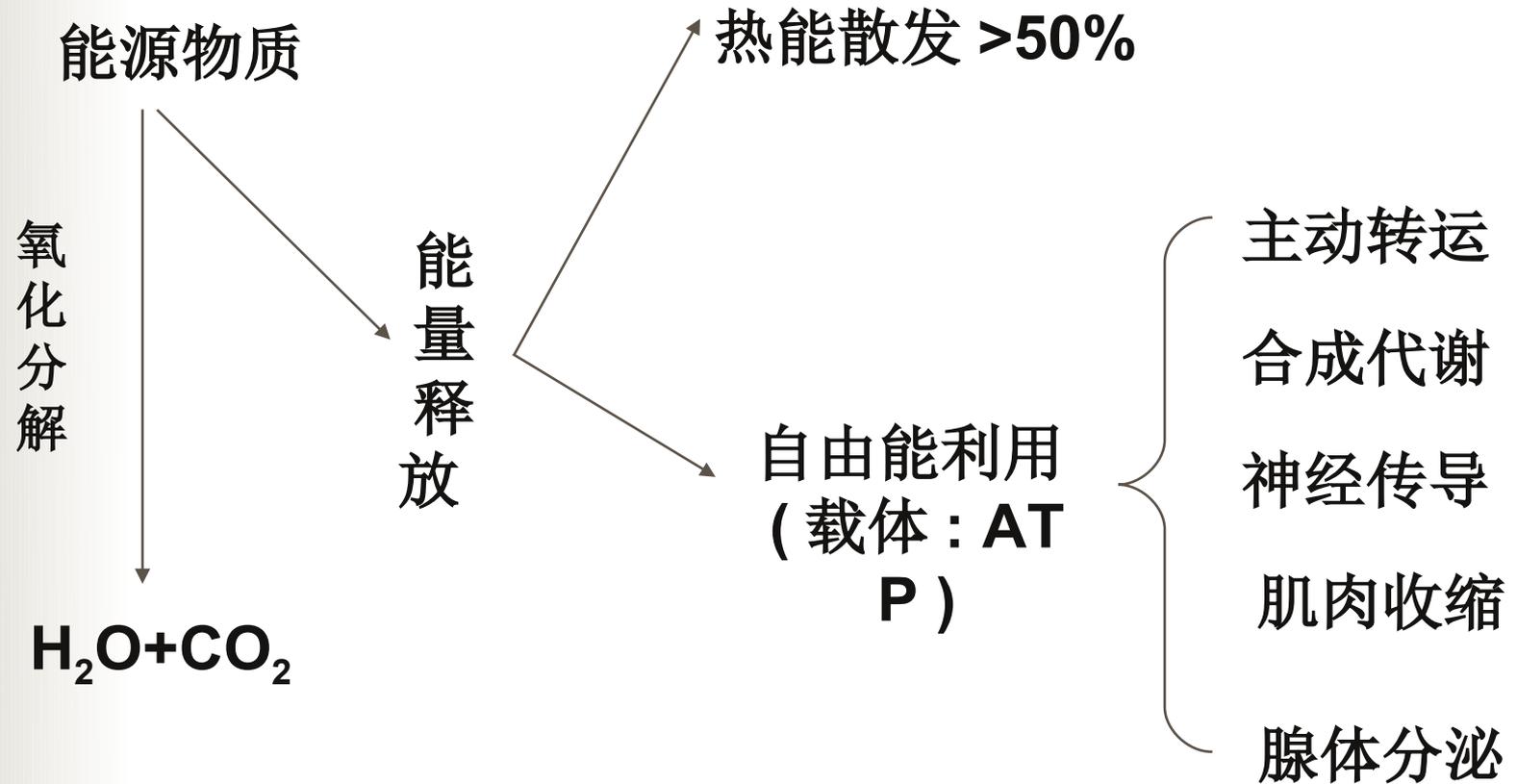
外源性脂肪（食物）

内源性脂肪（糖、氨基酸）

特点： 供能仅次于糖 (40 %—50 %)

蛋白质： 特殊情况下供能，主要用于合成细胞成分或生物活性物质

(二) 机体能量的去路



二、能量代谢的测定原理和方法

Principle and method of energy

(一) 测定原理 metabolism measurement

热力学第一定律：机体分解营养物质所释放的总能量应等于机体所产生的热量和肌肉对外物做功之和。

(二) 测定方法

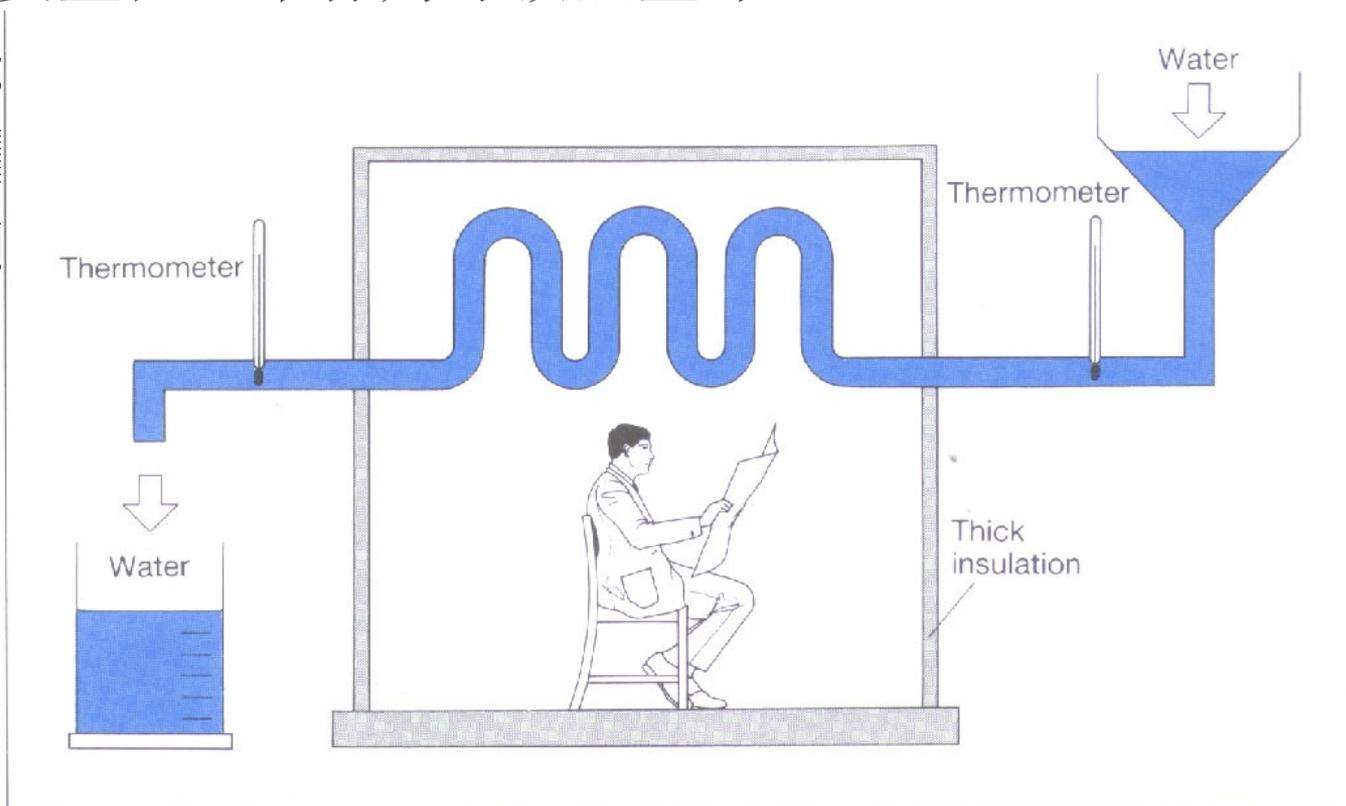
直接测热法 (direct calorimetry) :

将被测者安置在一个称为呼吸热量计 (re

spiration c

散发的热量

的变化来测





间接测热法 (indirect calorimetry) :

原理:

利用“定比定律”，测算出一定时间内氧化的糖、脂肪和蛋白质各有多少，再计算出它们所释放出的热量。

与能量代谢测定有关的几个概念：

1. 食物的卡价 calorie value

一克营养物质氧化（或在体外燃烧）时所释放出来的能量，称为食物的卡价或热价 thermal equivalent，单位为 kcal / g (kJ / g)。

物理卡价（体外燃烧）

生物卡价（体内氧化）

糖和脂肪：生物卡价等于其物理卡价

蛋白质：生物卡价小于其物理卡价。

因为体内蛋白质不能彻底



2. 食物的氧热价

thermal equivalent of oxygen

某种营养物质氧化时，消耗一升氧所产生的热量

3. 呼吸商 respiratory quotient , RQ

某种营养物质氧化时，产生的二氧化碳量与同一时间内耗氧量的比值。

$$RQ = \frac{\text{产生的 CO}_2 \text{ mol 数}}{\text{消耗的 O}_2 \text{ mol 数}} = \frac{\text{产生的 CO}_2 \text{ ml 数}}{\text{消耗的 O}_2 \text{ ml 数}}$$

糖的呼吸商为 1.00

脂肪的呼吸商为 0.706

蛋白质的呼吸商约有 0.80

混合食物的呼吸商通常为 0.82(0.8

非蛋白呼吸商 non-protein respiratory quotient

t

从总二氧化碳产量和总耗氧量中减去相应部分蛋白质所消耗的氧量和二氧化碳产量，此时的二氧化碳产量和氧耗量之比值为糖和脂肪的混合呼吸商，称为非蛋白呼吸商。

间接测热法的测算步骤

1. 测定:

尿 N 量 (A)、
一定时间内的 CO_2 产生量 (B), O_2 耗量
(C)

2. 尿 N 量 (g) $\xrightarrow{\times 6.25}$ Pr 质量 (A') \longrightarrow

{ Pr 氧化时的产热量 (D)
Pr 氧化时的 CO_2 产量 (B') 和耗 O_2 量 (C')

- 
3. 计算出非蛋白呼吸商 ($B-B' / C-C'$)
 4. 查表得非蛋白氧热价 \times 非蛋白耗氧量
= 非蛋白产热量 (E)
 5. 总产热量 = 蛋白产热量 (D) + 非蛋白质产热量 (E)

简化测定法

1. 测出受试者单位时间内的耗氧量
2. 按 $RQ = 0.82$ ， 查出氧热价
3. 单位时间内的产热量 = 单位时间内的耗氧量 \times 氧热价

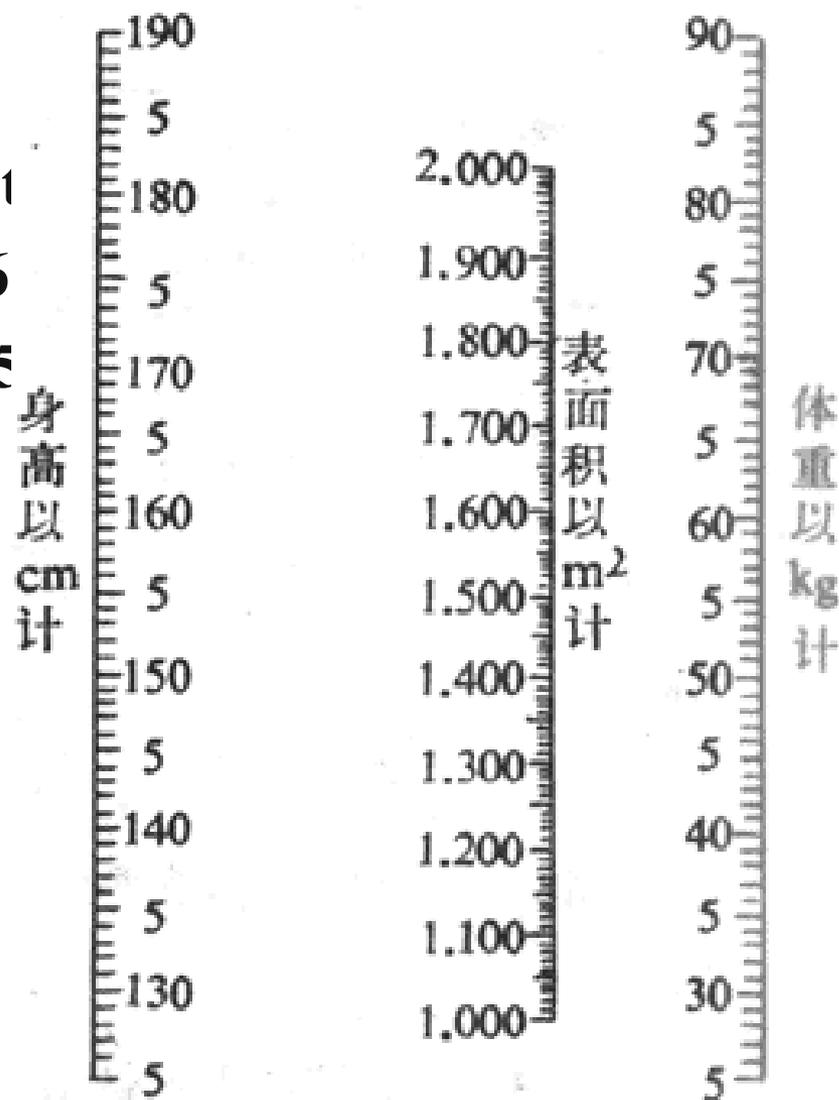
体表面积

我国人的体表面积根据下列 S_1

$$\text{体表面积 (m}^2\text{)} = 0.006$$

$$\text{体重 (kg)} - 0.15$$

体表面积测算用图



三、影响能量代谢的因素

Factors affecting the energy metabolism

- 肌肉活动

对能量代谢的影响最为显著。

人在活动时能量代谢和 O_2 耗氧量最多
可达安静时的 10-20 倍



Energy metabolic rate during different types of activity

State of the body	Heat production kJ/(m².min)
--------------------------	---------------------------------------------------

Lying	2.73
Meeting	3.40
Wiping window	8.30
Washing clothes	9.89
Sweeping	11.37
Playing volleyball	17.05
Playing basketball	24.22
Playing football	24.98



■ 环境温度与体温

人（裸体或只着薄衣）安静时的能量代谢，在 20-30℃ 的环境中最稳定。

当环境温度低于 20℃ 时，机体产生寒战和肌紧张增加以御寒，代谢率即开始增加；在 10℃ 以下时，则显著增加。

环境温度超过 30℃ ，能量代谢率增加。



■ 精神活动

人在平静地思考问题时，能量代谢受到的影响不大，其产热量一般不超过 4%。

精神处于紧张状态（烦躁、恐惧、情绪激动等）时，由于随之出现的肌肉紧张性增强以及代谢的激素（如甲状腺激素）释放增多等原因，产热量可显著增加。



■ 食物的特殊动力作用

(specific dynamic effect of foods) :

进食可使机体产生“额外”热量的现象。

人进食后一段时间内 (从进食后 1h 开始, 持续 7 ~ 8h), 即使同样处于安静状态, 但产热量却比进食前有所增加。

蛋白质的食物特殊动力效应达 30 %, 糖和脂肪增加 4 ~ 6 %, 混合性食物增加 10 %。

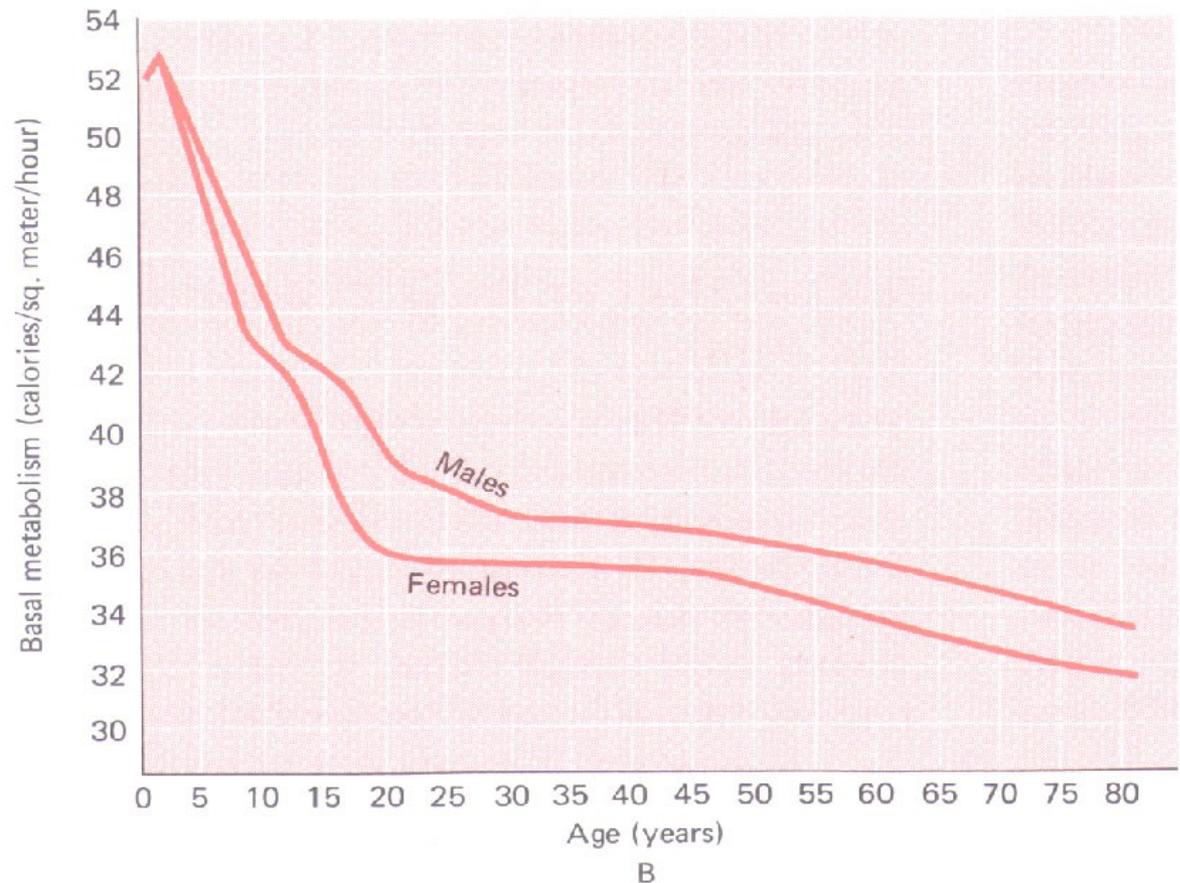
产生的机制尚不十分清楚, 可能与肝脏处理蛋白分解产物时的额外能量消耗有关。

四、基础代谢率

basal metabolic rate, BMR

概念：人

基础条件：
度在 20





衡量标准：

(受试者实测 **BMR** 数值 - 同性别同年龄组平

均值) / 同性别同年龄组平均值

生理意义：帮助诊断某些代谢性疾病



第二节 体温及其调节

Body temperature and its regulati

on

一、体 温 Body temperature

(一) 概念及正常值

概念：指身体深部的平均温度，即体核
温
度 (core temperature) 。

直肠 36.9 — 37.9°C

口腔 36.7 — 37.7°C

腋窝 36.0 — 37.4°C

A：环境温度 35℃ B：环境温度 20℃

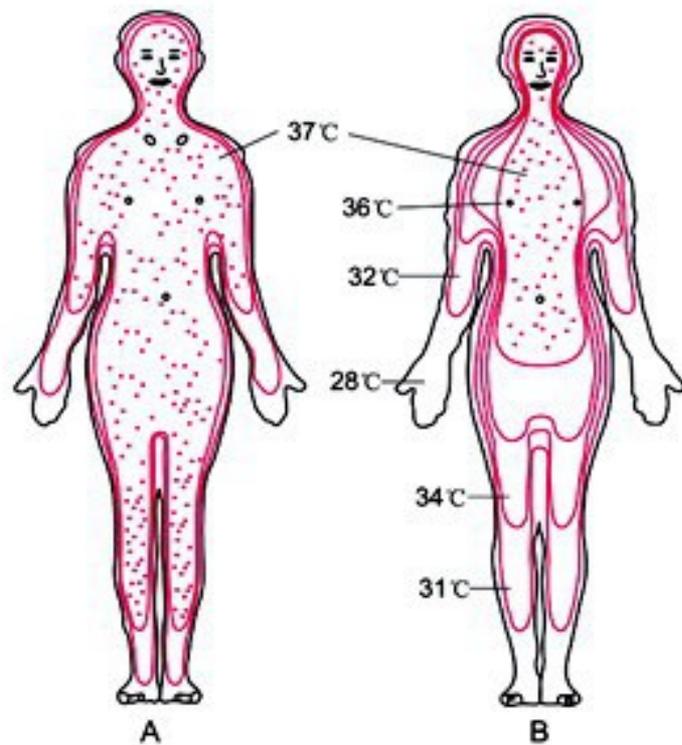


图 在不同环境温度下人体体温分布图

(二) 体温的生理变动

- **昼夜周期 circadian rhythm**
清晨 2~6 时体温最低，午后 2~4 时最高，波动幅度一般 0.5℃。体温的这种周期性波动和生物钟有关。

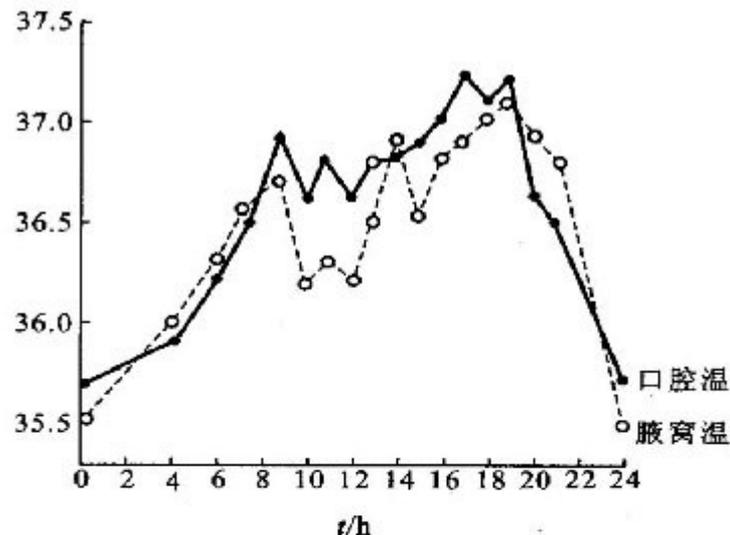


图8-1 体温的昼夜波动

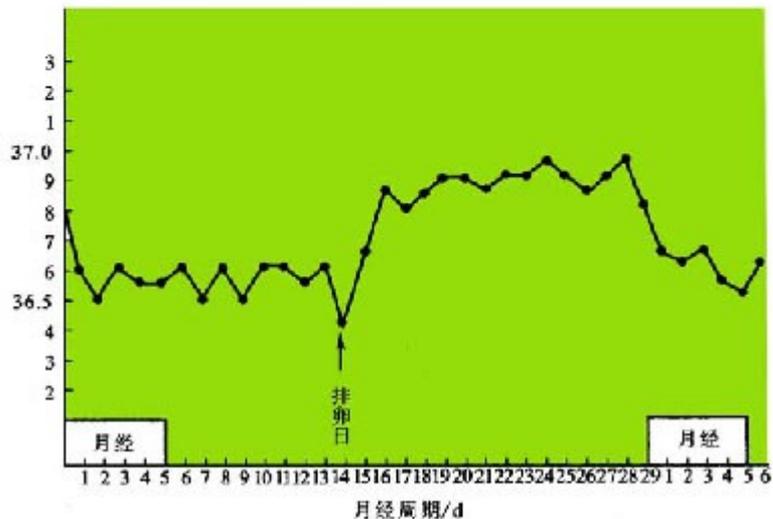


图8-2 女子一个月经周期中基础体温的变动

- 
- **年龄**：新生儿体温 > 成年人 > 老年人。
 - **性别**：成年男性体温比女性体温略低 0.3°C
女子体温随月经周期 (menstrual cycle)
 - **肌肉活动**：而产生周期性变动。排卵日最低。肌肉剧烈活动时，体温可上升 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。
 - **情绪激动、精神紧张、进食等**

(三) 体温相对恒定的生理学意义

体温的相对恒定是机体新陈代谢 (metabolism) 和一切生命活动正常进行的必需条件。

(体温过高或太低都将影响新陈代谢, 严重时可能危及生命)

$T < 22^{\circ}\text{C} \rightarrow$ 心跳停止 ;

$T > 43^{\circ}\text{C} \rightarrow$ 酶变性而死亡

;

$T = 27^{\circ}\text{C} \rightarrow$ 低温麻醉。

二、机体的热平衡

balance and loss

- (一) 产热过剩
- (二) 散热过剩

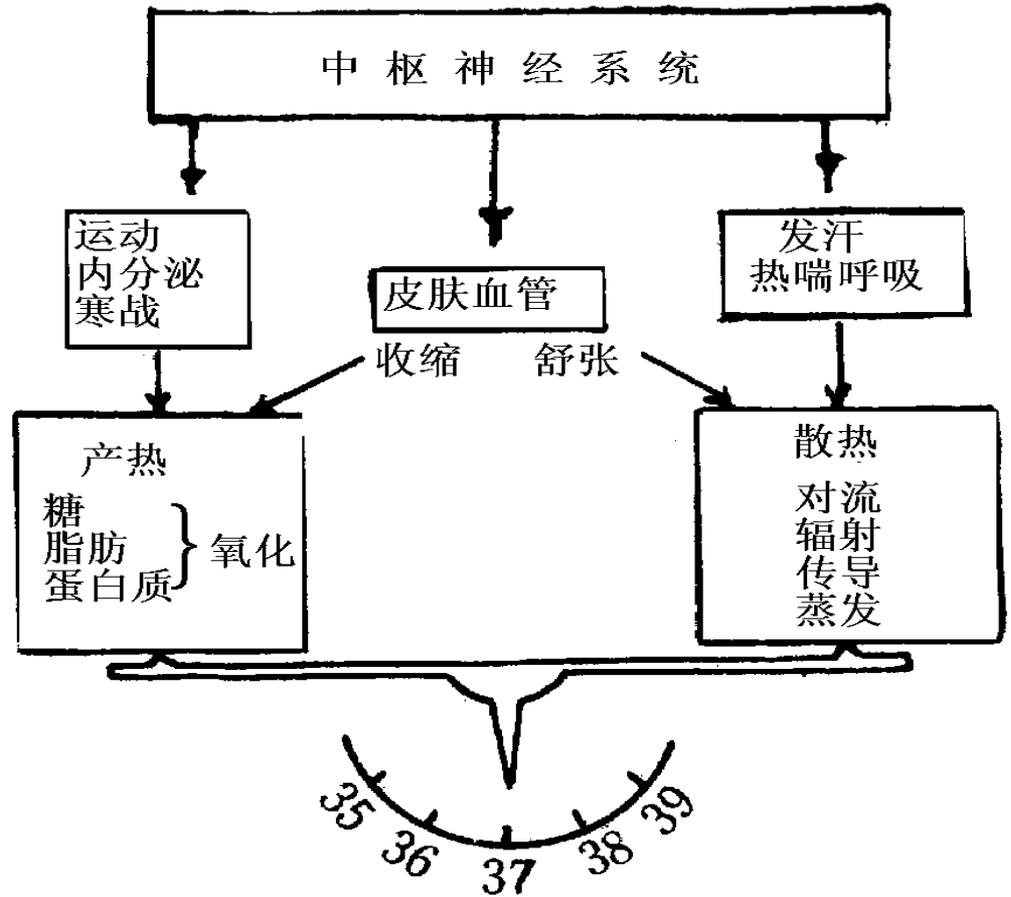


图 7-6 产热和散热的相对平衡

(一) 产热过程 process of heat production

1. 主要的产热器官:

安静 ----- 内脏（尤其是肝脏，其次是脑）

运动 ----- 骨骼肌

Percentage of Heat Production of Various Organs in Rest and Activities

Percentage of BW	Percent of heat production	
	During rest	During exercise
Brain	2	16
Viscera	34	56
Muscle and skin	56	18
Others	8	10

2. 产热的调节

- 寒冷刺激可通过肌紧张和寒颤 (shivering) 来提高产热量。
- 寒冷刺激可通过中枢神经系统使甲状腺激素和儿茶酚胺分泌增加来提高代谢率。

寒冷刺激时



交感 - 肾上腺髓质



NE、E↑



产热量↑

特点:

作用迅速↑，
维持时间短。

机体在寒冷环境几周后



甲状腺



T₃、T₄↑



代谢率↑ (增加4~5倍)



产热量↑

特点:

作用缓慢，
维持时间长。

(二) 散热过程 process of heat loss

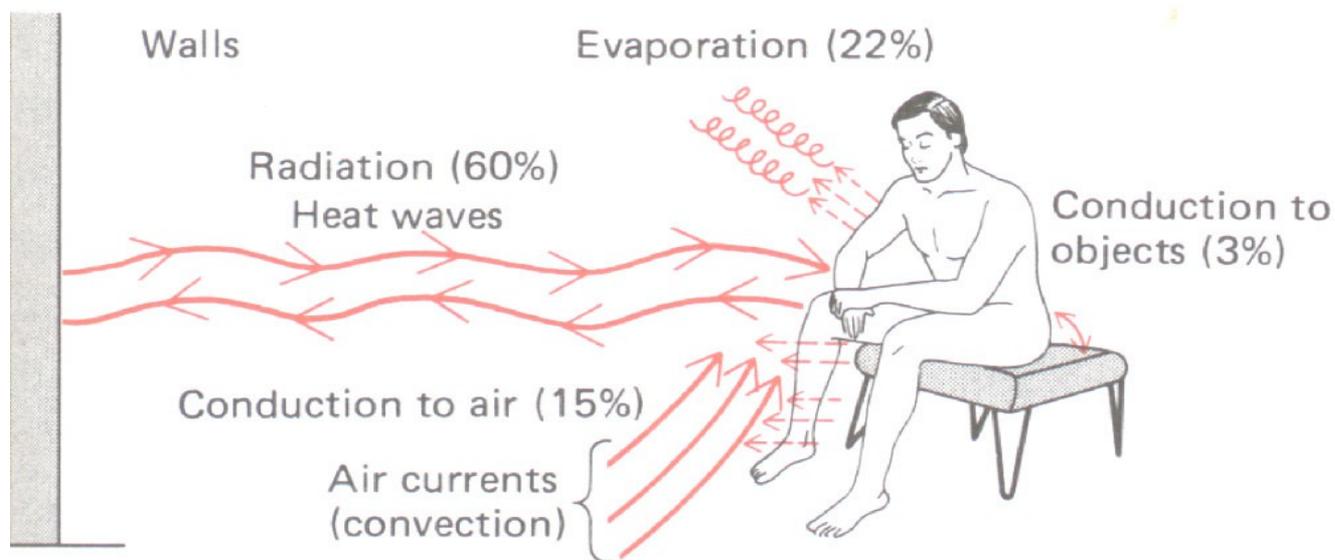
1. 散热器官：皮肤（主要）、呼吸道、尿和粪便。

（皮肤：面积大、与外界接触、血流丰富、有汗腺。）

辐射、传导、对流	70 %
皮肤水分蒸发	2
7 %	
呼吸	
2 %	
尿、粪	

2. 散热方式

- 辐射
- 传导
- 对流
- 蒸发



■ 辐射散热 (radiation) :

体热以热射线形式传给外界较冷的物体。

辐射散热量的多少取决于 { 机体的有效辐射面积
皮肤与环境的温度差



■ **传导散热 (conduction) :**

体热直接传给与机体相接触的低温物体。

传导散热量取决于 {

- 与皮肤接触物体的温差
- 与皮肤接触面积的大小
- 与皮肤接触物体的导热性

水的导热性好，因此临床上常利用冷水袋或冰袋为高热患者降温。

脂肪的导热性差，因而肥胖者炎热的天气易出汗。

■ **对流散热 (convection) :**

体热凭借空气流动交换热量的散热方式。
对流散热是传导散热的一种特殊形式。

对流散热量主 $\left\{ \begin{array}{l} \text{气温} \\ \text{风速} \end{array} \right.$ 要取决于

风速越大，散热速度越快。



- **蒸发散热 evaporation :**

指体液的水分在皮肤和粘膜表面由液态转化为气态，同时带走大量热量的散热方式。

当环境温度等于或高于皮肤温度时，机体唯一的散热方式。

不感蒸发 insensible perspiration

可感蒸发 sensible perspiration



不感蒸发 insensible perspiration :

指体液直接透过皮肤和粘膜表面，
在未形
成明显水滴就蒸发掉。

发汗 sweating or sensible perspiration :

指通过汗腺的主动分泌，汗液在皮
肤表面
形成明显的汗滴的形式而蒸发。

3. 生理散热

- 循环系统的调节反应
- 发汗：神经反射性活动

温热性发汗

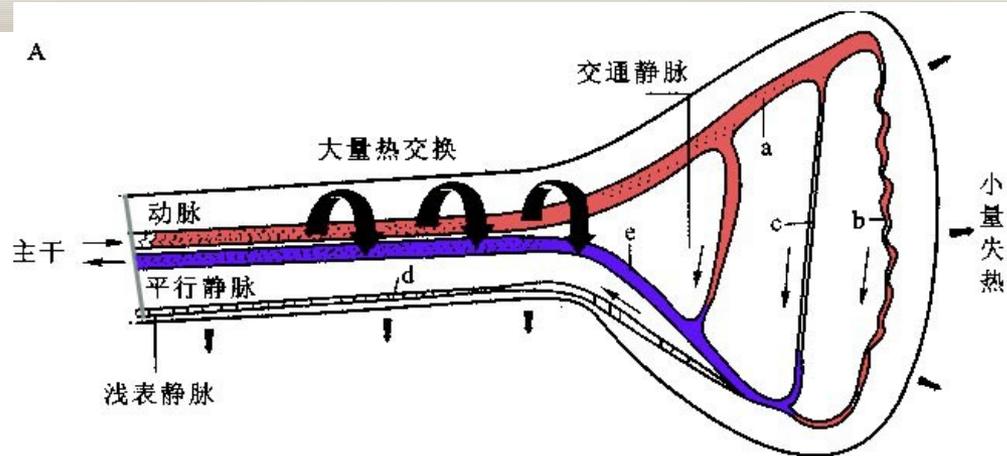
精神性发汗



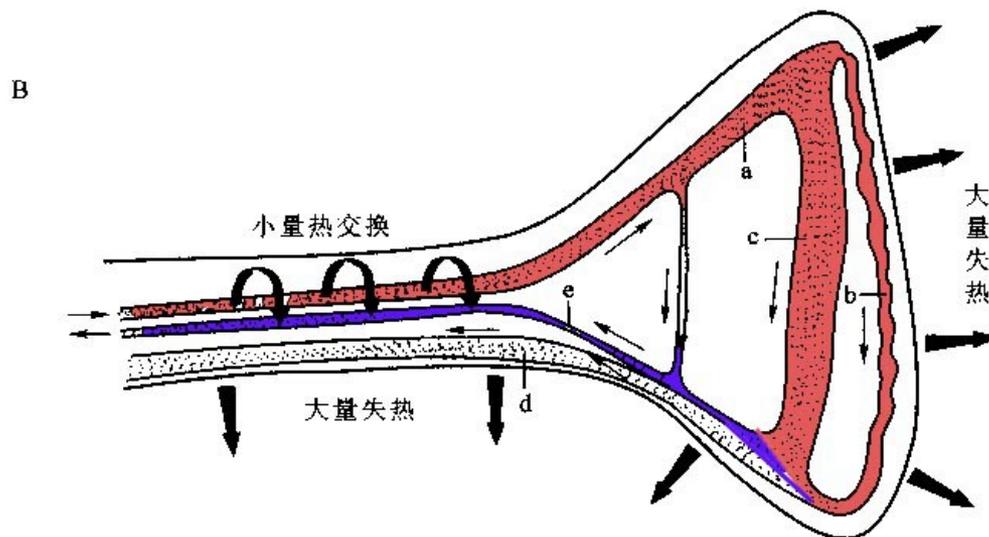
循环系统的调节反应

机体通过交感神经系统控制皮肤血管口径，控制皮肤血流量，改变皮肤温度，从而调节散热量来取得体热平衡。

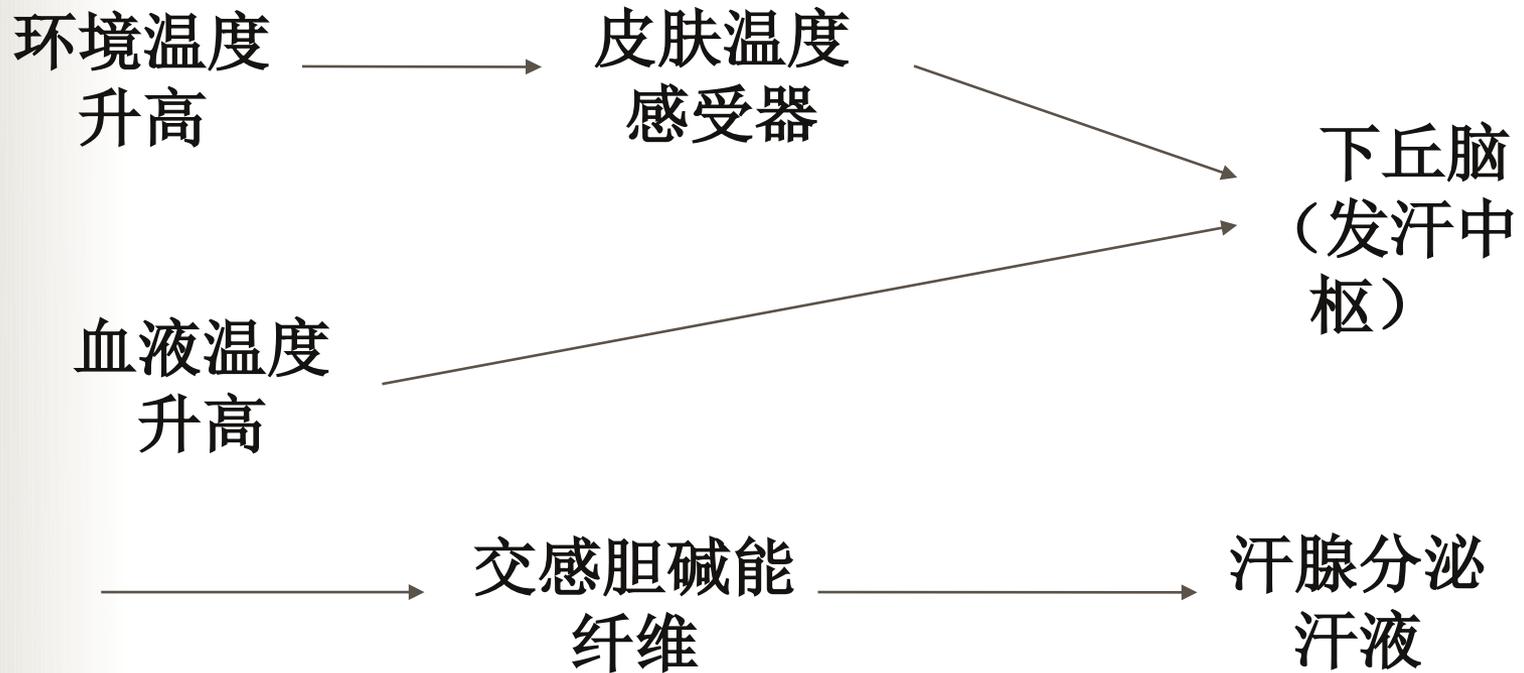
A：热量的保留。



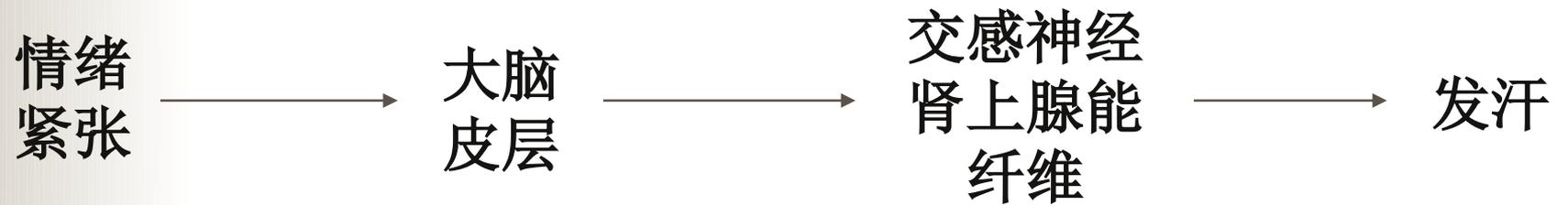
B：热量的散失。



温热性发汗 thermal sweating



精神性发汗 mental sweating





三、体温调节

Regulation of body temperature

行为性体温调节

behavioral thermoregulation

自主性体温调节

autonomic thermoregulation

(一) 温度感受器 thermoreceptor

❖ 外周温度感受器：皮肤、粘膜、腹腔、内脏

热感受器 (warmth receptor)

冷感受器 (cold receptor)

❖ 中枢性温度感受器：视前区 - 下丘脑前部

热敏神经元 (heat-sensitive neuron) :

温度升高其放电频率增

加

冷敏神经元 (cold-sensitive neuron)

:

温度下降其放电频率增

(二) 下丘脑体温调节中枢

body temperature regulation center

S

- 下丘脑前部—散热中枢
- 下丘脑后部—产热中枢
- **视前区 - 下丘脑前部 (preoptic-anterior hypothalamus , PO/AH)**

在体温调节中起着调定点的作用

。

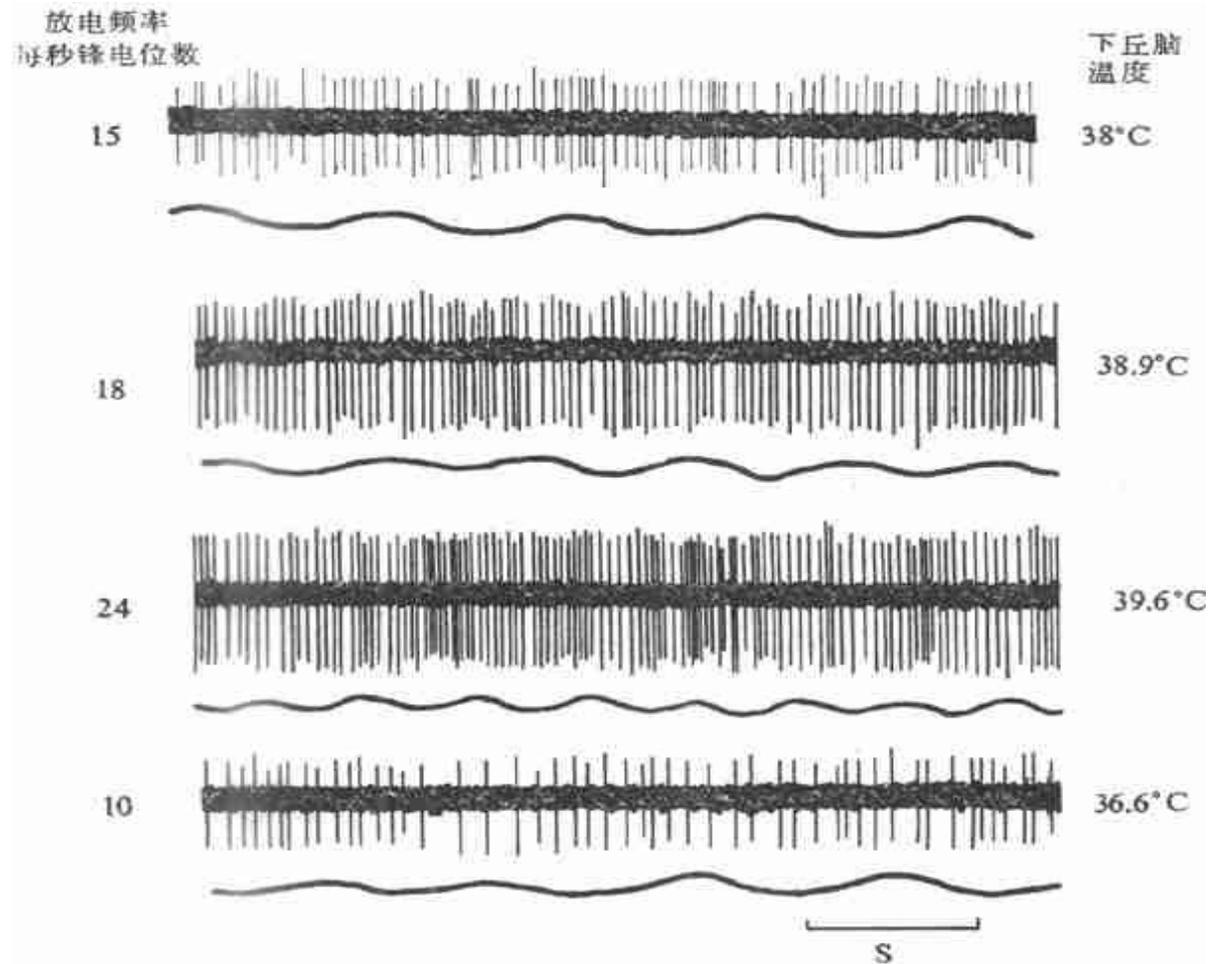
(三) 调定点 (set-point) 学说

调定点:

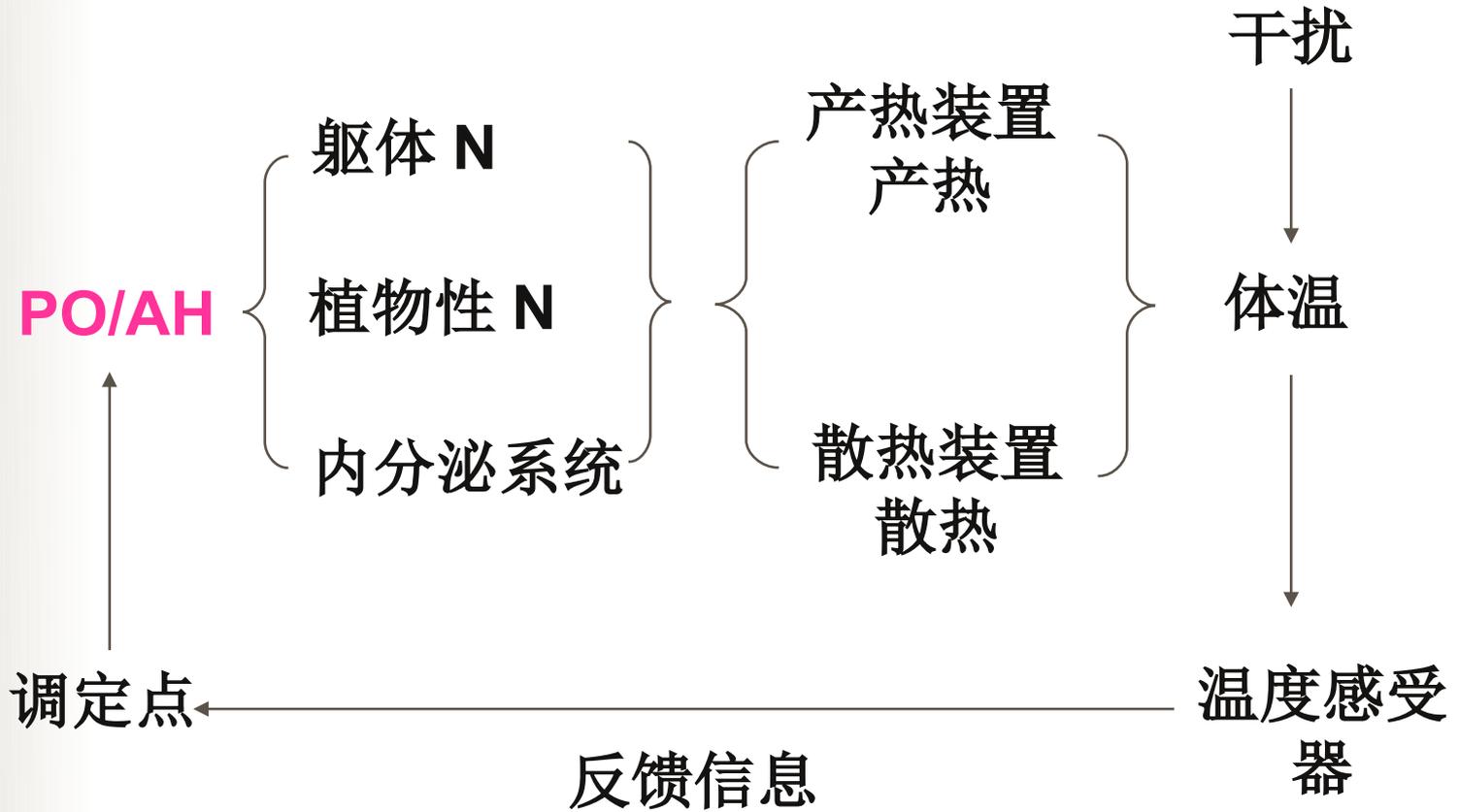
体温在偏离某一临界温度 (37°C) 时，将会导致明显的产热和散热改变，从而使体温恢复到临界温度，这一临界温度即称调定点。

下丘脑热敏神经元放电的记录（上）和呼吸曲线（下）

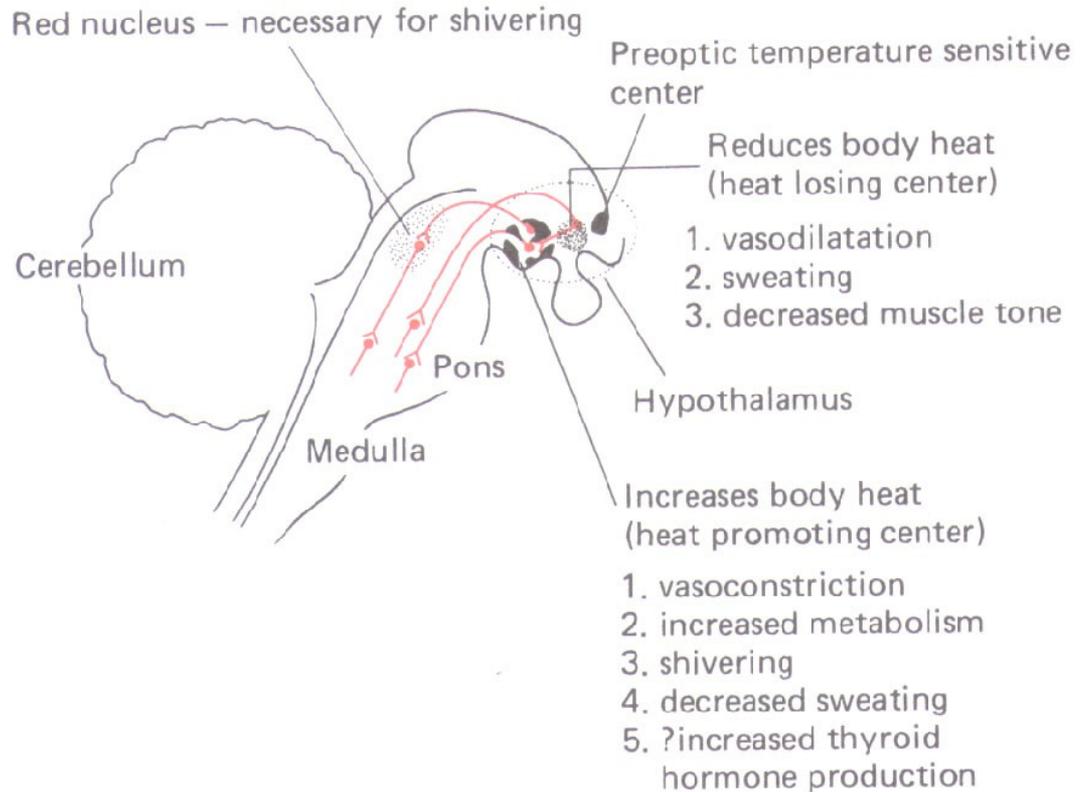
局部加温时
(猫)



体温调节机制



- ❖ 躯体神经:
- ❖ 植物性神经
- ❖ 内分泌系统



体温调节自动控制示意图

