

第九章 感觉器官的 功能

第一节 感受器和感觉器官的一般生理

一、感受器、感觉器官的定义和分类

1. 定义：

(1) 感受器：是指分布在体表或体表或组织内部的专门感受机体内、外环境变化的结构或装置。

(2) 感觉器官=感受细胞+附属结构

特殊感觉器官：头部

(视、听、嗅、味、前庭)

2. 分类

(1) 部位分类：外感受器：距离、接触

内感受器：平衡、本体、内

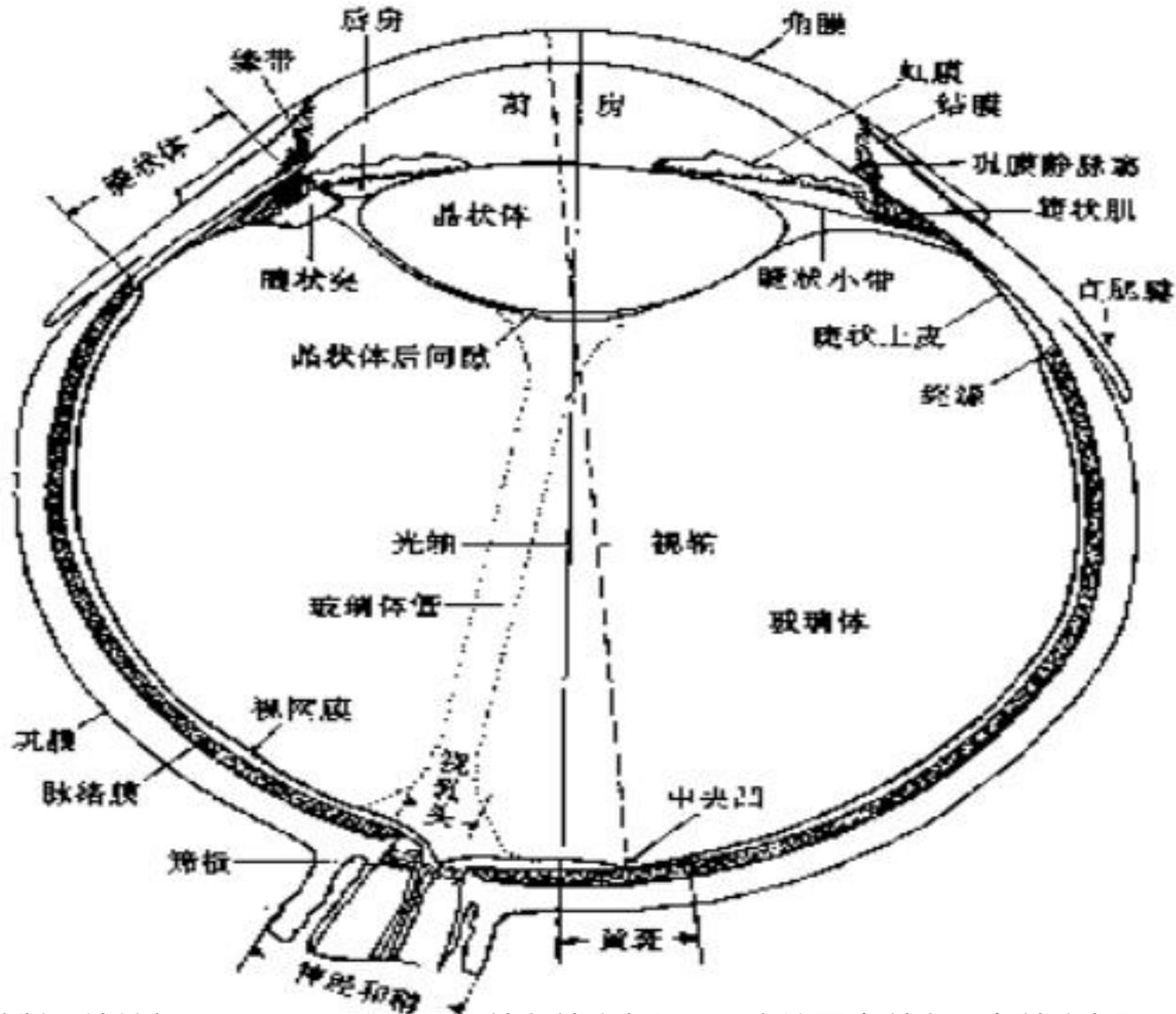
(2) 性质分类：机械、温度、伤害性、
电磁、化学

二、感受器的一般生理特性

- (一) 感受器的适宜刺激与特异敏感性
- (二) 感受器的换能作用和感受器电位
感受器电位 — 感受器细胞
启动电位/ 发生器电位 — 感觉神经末梢
- (三) 感受器的编码功能
- (四) 感受器的适应

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导课程，访问：www.kaoyancas.net

第二节 视觉器官



完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

图 9-2 眼球的水平切面 (右眼)

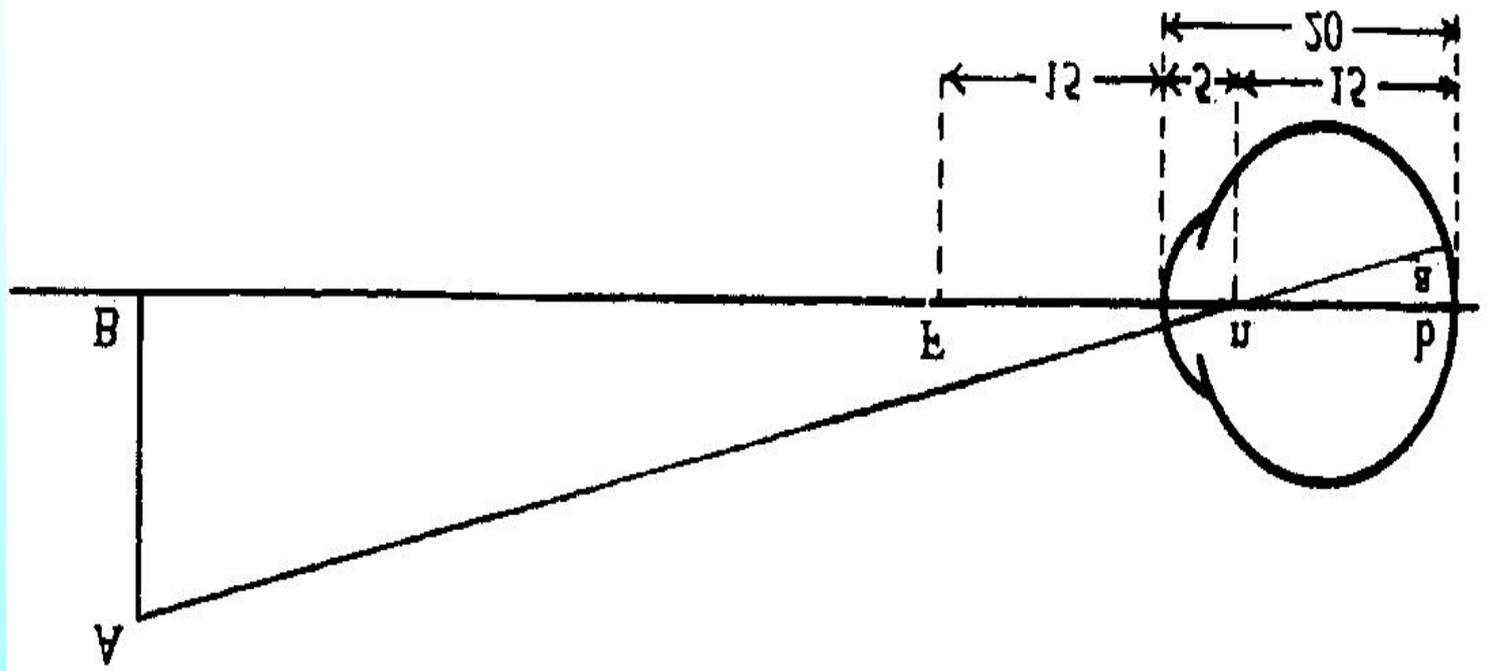
一、眼的折光功能

- 简化眼
- 视敏度
- 视力
- $5 \mu M$

小大暗 (鱼眼) 鱼眼三出算可也, 小大影辨出算小大
 本眼由可推, 映与成强效果成; 鱼眼三出算可也, 味BnA, 点节成n

图 3-0 图 另请参如其双眼外筒

单位: mm



（一）眼折光功能的调节

视近物（6m以内）时，如果眼不作调节，近物发出的散射光线，经折射后必定成像于视网膜之后，视网膜上形成的是模糊不清的物像。

但是，正常眼能看清一定近距离的物体。这是因为视近物时，由于眼的折光系统能随着物体的移近而发生相应的变化，以使物像仍能清晰地聚焦在视网膜上。

眼睛发生这种能看清近物的适应性变化，称为眼的调节。

- 1、晶状体折光能力的调节
- 2、瞳孔的调节
- 3、双眼球会聚

1、晶状体折光能力的调节

随着物体的移近，反射性引起晶体变凸，折光能力增大，使影像聚焦在视网膜上。模糊的视觉形象在视区皮层出现，引起下行冲动到达中脑正中核，由动眼神经使眼内睫状肌的环形肌收缩，引起悬韧带放松；晶状体由于其自身的弹性而向前方和后方凸出（以前突较为明显），折光能力增大。

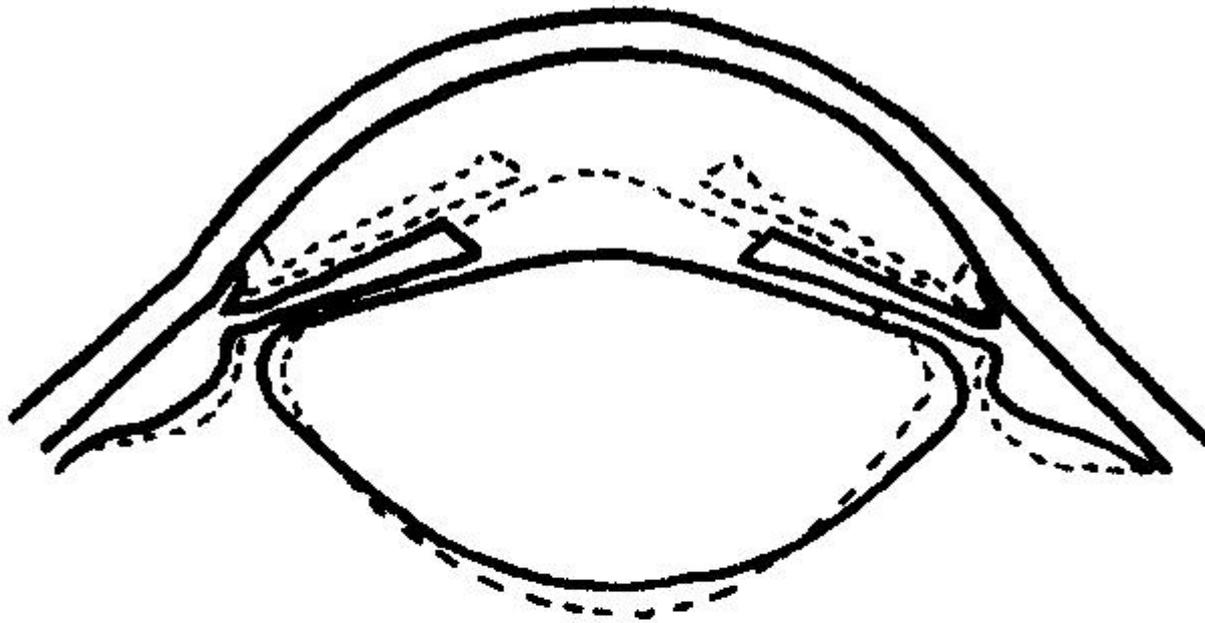


图 9-4 眼调节前后睫状体位置
和晶状体形状的改变

实线为安静时的情况，虚线为看近
物经过调节后的情况，注意晶状
体的前凸比后凸明显

2、瞳孔的调节

当视近物时，在晶体调节的同时还伴随瞳孔缩小。这种反应可减少入眼的光线量和减少折光系统的球面像差和色像差，使视网膜形成的物像更清晰。称为瞳孔近反射或称瞳孔调节反射。

瞳孔对光反射：

(1) 瞳孔的大小可随光线的强弱而改变，弱光下瞳孔散大，强光下瞳孔缩小。

(2) 意义：调节进入眼内的光量，使视网膜不致因光量过强而受到损害。

(3) 瞳孔对光反射为双侧性的，称为互感性对光反射。

(4) 瞳孔对光反射中枢在中脑。

3、双眼球会聚

视近物时会发生双眼球内收及视轴向鼻侧会聚现象，称为眼球会聚。也称为辐辏反射。

这种反射过程可以使成像于两眼视网膜的对称点上，产生单一的清晰视觉。

(二) 眼的折光能力和调节异常

1. 正视眼:无需调节可以使平行光线聚焦在视网膜上。
2. 非正视眼:折光能力异常或眼球形态异常，使平行光线不能在安静未调节的眼聚焦在视网膜上，称为非正视眼。

3. 老视：静息时折光能力正常，由于年龄增长，晶状体弹性减弱，看近物时调节能力减弱。

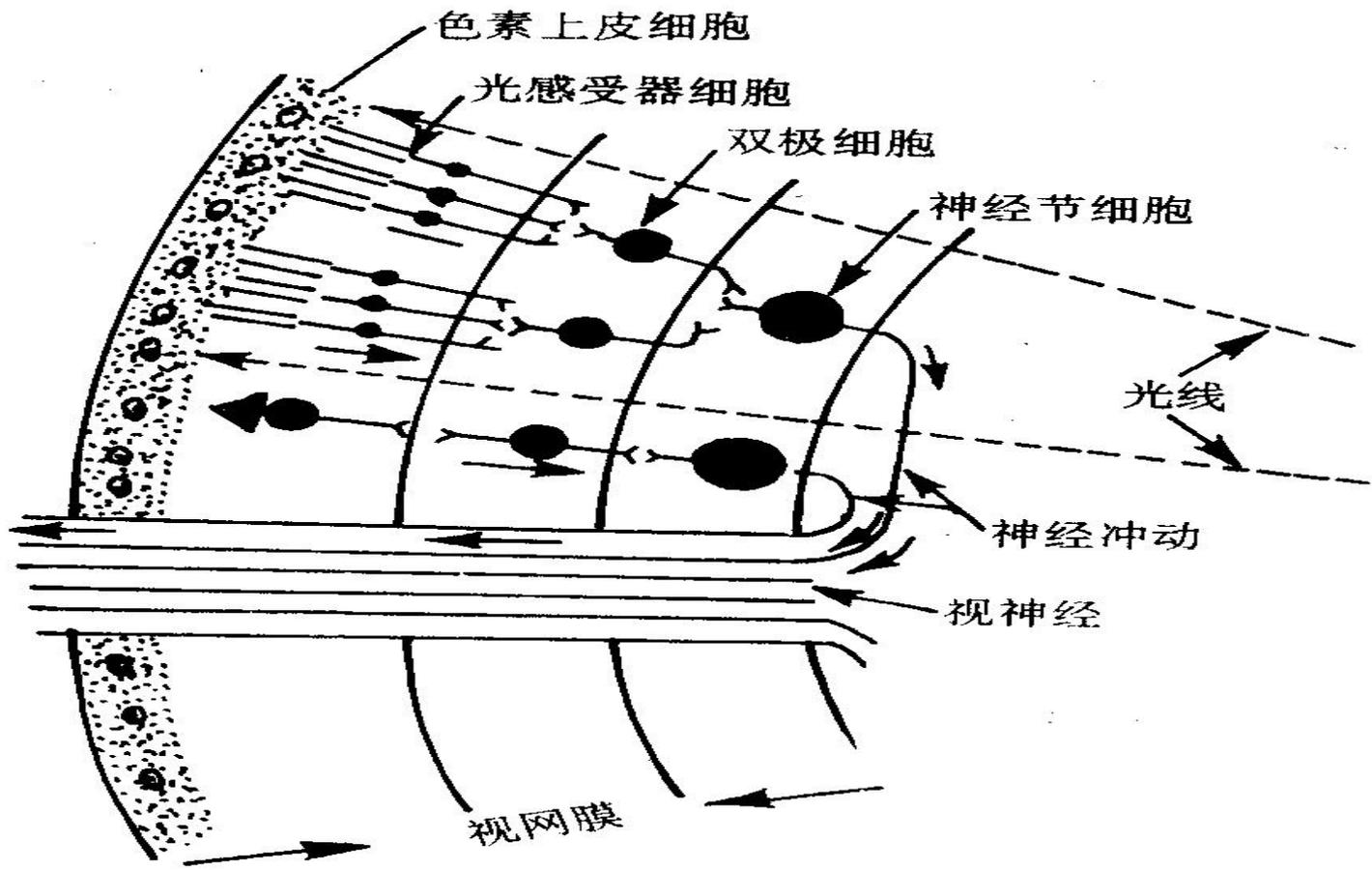
4. 近视：眼球前后径过长或折光系统折光力过强，使远处物体的平行光聚焦于视网膜之前。矫正近视可用凹透镜。

5. 远视：由于眼球的前后径过短或折光系统折光力过弱，使远处物体平行光聚焦于视网膜后方，造成视远物模糊。矫正远视用凸透镜。

3. 散光：折光表面的不同方向曲率不等，故到达眼的平行光线不能都聚焦在视网膜上。经过曲率小的部分的光线将聚焦在视网膜的前方；而经过曲率半径大的部分的光线则聚焦在视网膜的后方。因此，散光眼在视网膜上所形成的物像不会清晰，并与物体的原形不完全符合。可用柱镜矫正。

二、视网膜的结构和两种感光换能系统

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyan.com



（一）视网膜的结构特点

（二）视网膜的两种感光换能系统

人类视网膜感光细胞有视杆和视锥细胞两种。视杆细胞对光的敏感性较高，介导暗光觉，只能区别明暗、而无色觉。视锥细胞对光的敏感性较差，介导昼光觉。但能辨别颜色，且对物体表面的细节和境界都能看得清楚，有很高的分辨力。

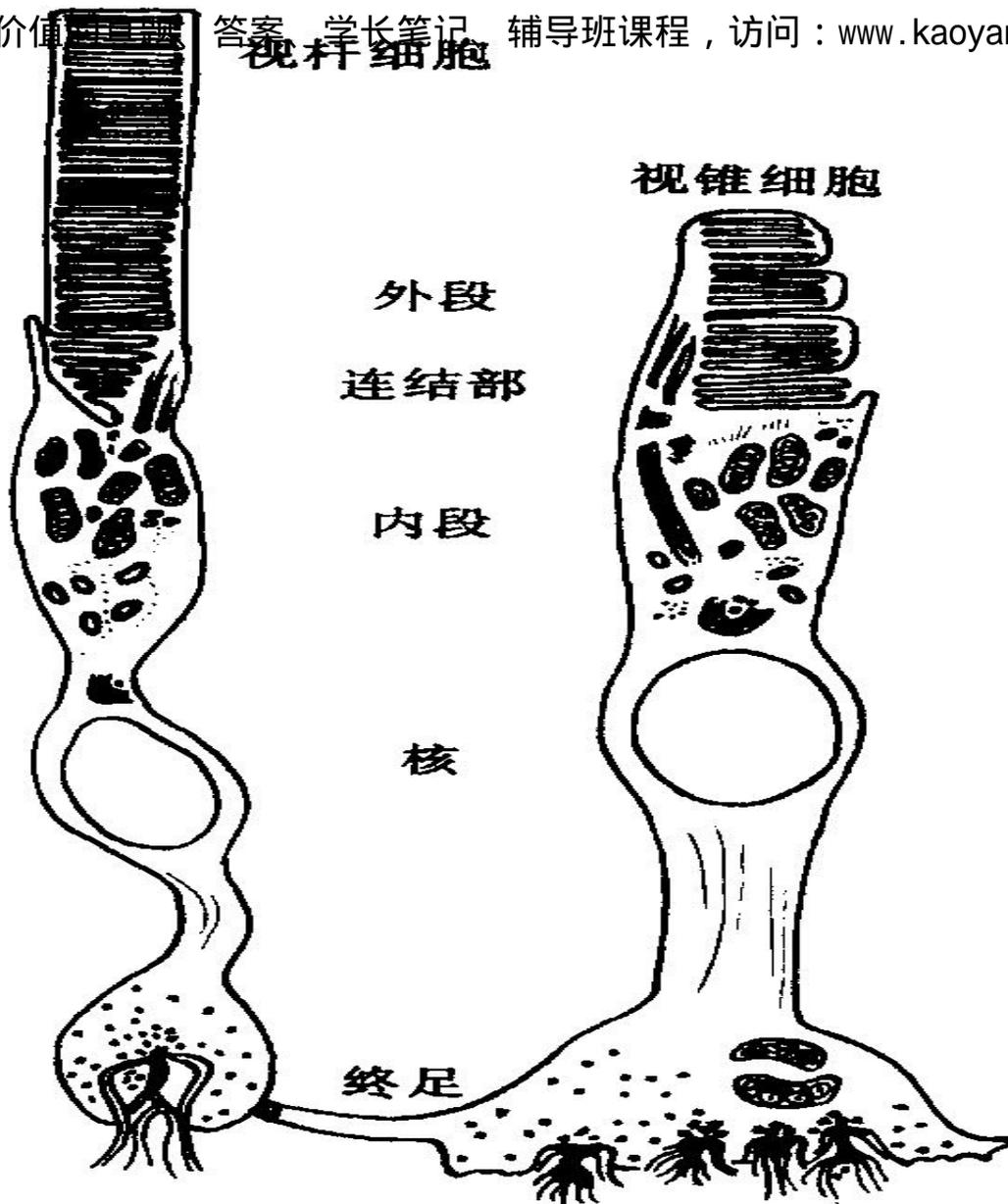


图 9-7 哺乳动物光感受器

（一）视紫红质的光化学反应及其代谢

1. 视紫红质的分子量约为27-28kd，是一种与结合蛋白质，由一分子称为视蛋白（opsin）的蛋白质和一分子称为视黄醛（retinal）的生色基团所组成。视黄醛由维生素A变来，后者是一种不饱和醇，在体内一种酶的作用下可氧化成视黄醛。

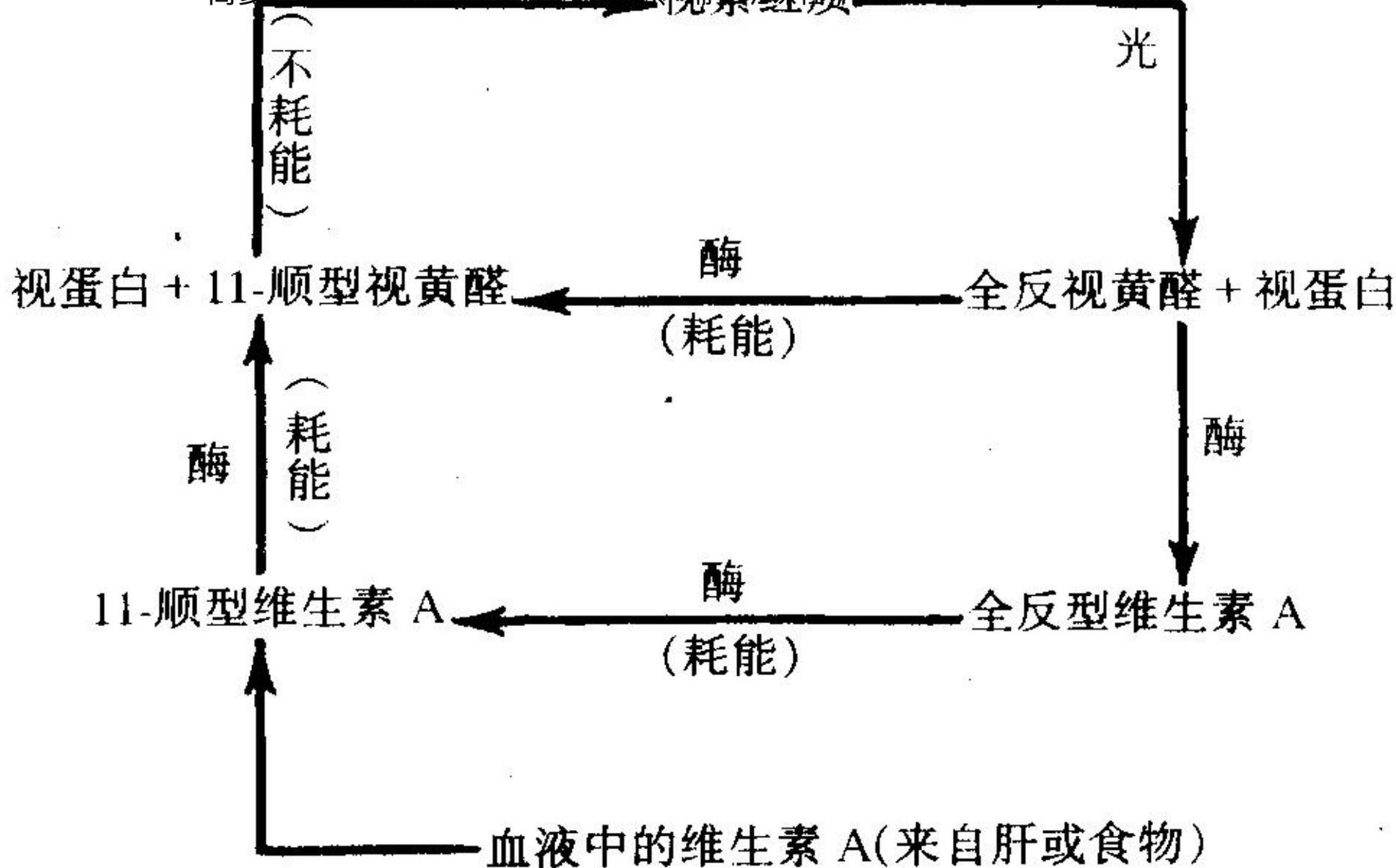


图 9-6 视紫红质在光线照射后在体内的变化

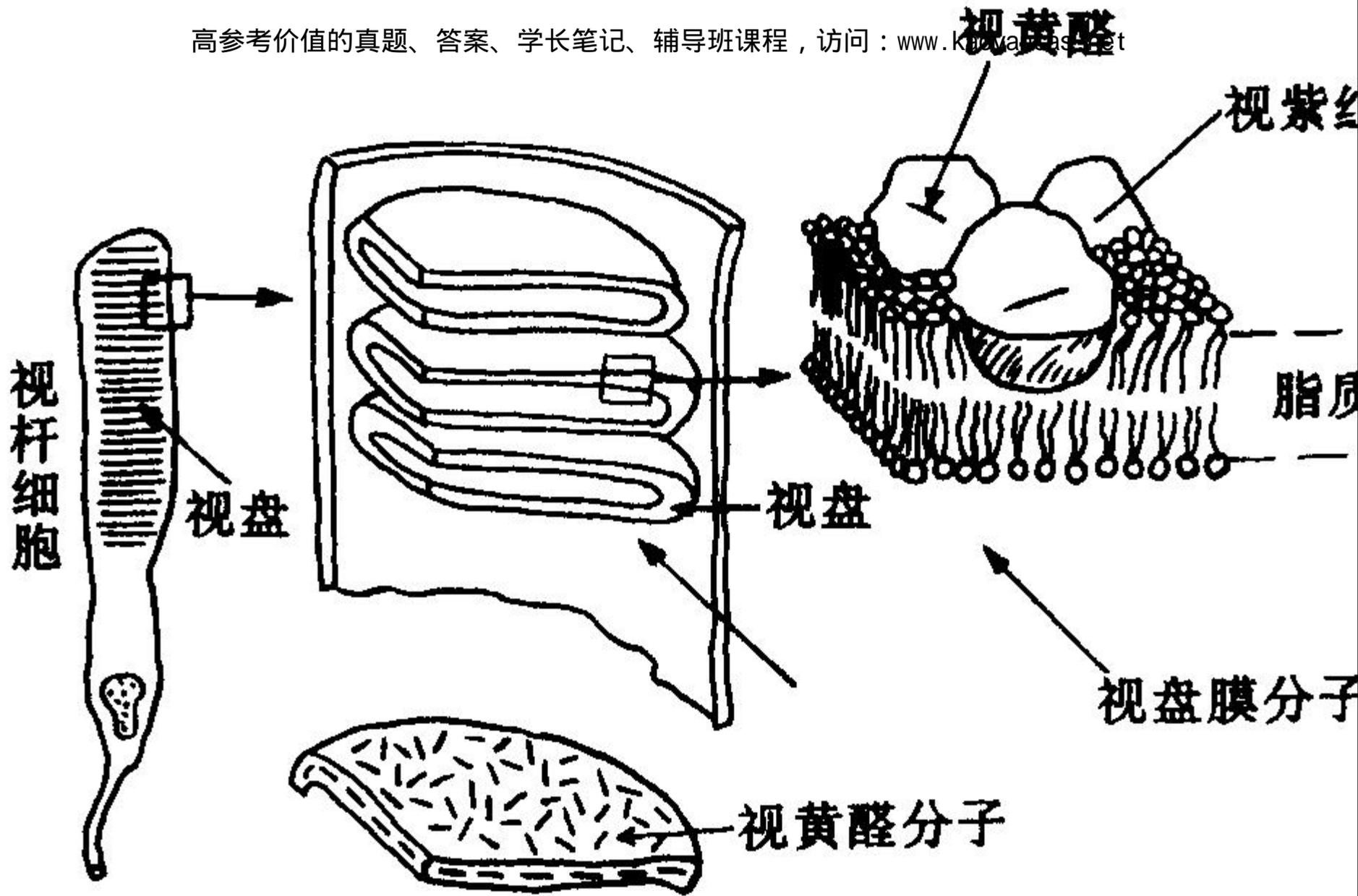
2. 视紫红质在光照时迅速分解为视蛋白和视黄醛。视黄醛分子在光照时由11-顺型（一种较为弯曲的构象）变为全反型（一种较为直的分子构象）。视黄醛分子构象的这种改变，将导致视蛋白分子构象也发生改变，经过较复杂的信号传递系统的活动，诱发视杆细胞出现感受器电位。

3. 在亮处分解的视紫红质，在暗处又可重新合成，亦即它是一个可逆反应：
全反型的视黄醛变为11-顺型的视黄醛，
很快再同视蛋白结合。

(二) 视杆细胞外段的超微结构和感受器电位的产生

视杆细胞在形态上分为四部分，由外向内依次称为外段、内段、胞体和终足。

视杆细胞所含的视紫红质几乎全部集中在外段的视盘膜中。



完整版，请访问www.kaoyac.com 中国科学院考研网 中国科学院考研网

图 9-9 视杆细胞外段的超微结构示意图

当视网膜受到光照时，可看到外段膜两侧电位短暂地向超极化的方向变化，由此可见，外段膜同一般的细胞膜不一致，它是在暗处或无光照时处于去极化状态，而在受到光刺激时，跨膜电位反而向超极化方向变化，因此视杆细胞的感受器电位（视锥细胞也一样），表现为一种超极化型的慢电位，这在所有被

研究过的发生器或感受器电位中是特殊的，它们一般都表现为膜的暂时去极化。因此视杆细胞的感受器电位（视锥细胞也一样），表现为一种超极化型的慢电位，这在所有被研究过的发生器或感受器电位中是特殊的，它们一般都表现为膜的暂时去极化。

视杆细胞感受器电位的产生机制：

由视杆细胞外段细胞膜对钠的通透性减小引起。

无光照时：cGMP控制的钠通道与钠泵平衡维持RP，30mV。

光照时：cGMP分解，钠通道关闭，导致超级化，60mV。

超级化的大小随光照的强度改变。

1. 光照前，视杆细胞外段膜对 Na^+ 通透性较大，有一定量的 Na^+ 内流使膜静息电位明显地小于 K^+ 平衡电位值。这是由于外段膜在无光照时，就有相当数量的 Na^+ 通道处于开放状态并有持续的 Na^+ 内流所造成，而内段膜有 Na^+ 泵的不断连续活动将 Na^+ 移出膜外，这样就维持了膜内外的 Na^+ 平衡。

2. 光量子被作为受体的视紫红质吸收后引起视蛋白分子的变构，又激活了视盘膜中一种称为传递蛋（transducin）Ct的中介物，后者在结构上属于G-蛋白家庭的一员，它激活的结果是进而激活附近的磷酸二酯酶，于是使外段部分胞浆中的cGMP大量分解，而

胞浆中cGMP的分解，就使未受光刺激时结合于外段膜的cGMP由也膜解离而被分解，而cGMP在膜上的存在正是这膜中存在的化学门控式Na⁺通道开放的条件，膜上cGMP减少，Na⁺通道开放减少，于是光照的结果出现了我们记录到的超极化型感受器电位。

3. 一个光子激活的视紫红质分子产生约 500个转导蛋白分子，一个PDE（磷酸二酯酶）分子每秒使2000个cGMP分子分解，在光子吸收和cGMP失活间的级联反应能导致约 10^8 的放大作用。

4. 视杆细胞外段和整个视杆细胞都没有产生动作电位的能力，由光刺激在外段膜上引起的感受器电位只能以电紧张性的扩布到达它的终足部分，影响终点（相当于轴突末梢）外的递质释放。

三、视锥系统的换能和颜色视觉

1. 三原色理论：

在视网膜中可能存在着三种分别对红、绿、蓝光敏感的机制，这三种机制在不同波长光的刺激下发出不同的信号，传至大脑，产生各种颜色感觉。

2. 视锥细胞的三种视色素

(1) 存在三种不同光谱吸收的视锥色素。图为人视网膜的三种视锥的光谱吸收特性。

(2) 颜色信息在光感受器这一水平是以红、绿、蓝三种不同的信号编码的。

(3) 用DNA杂交技术，已鉴定和分离了编码视锥色素的基因。

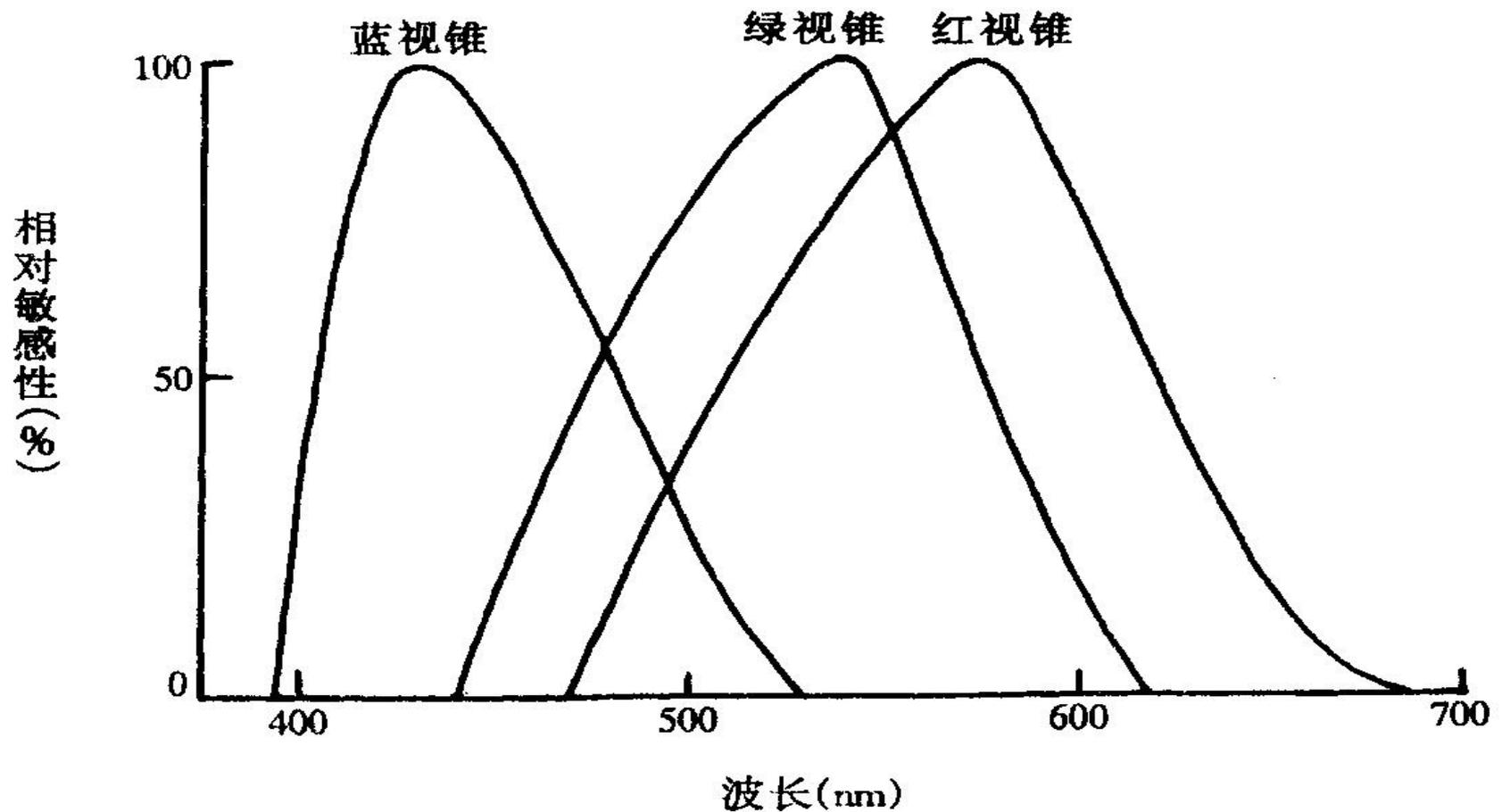


图 9-10 人视网膜中三种不同视锥细胞的光谱相对敏感性

四、与视觉有关的其它现象

(一) 暗适应和明适应

1. 明适应

(1) 概念：当人从暗处突然进入光亮处时，最初只有耀眼光亮而视物不清，稍等片刻才能恢复视觉，这个现象称为明适应。

(2) 机制：明适应约1分钟即可完成。耀眼的光感主要是由于在暗处合成的大量视紫红质，在亮处迅速分解所致。只有当大量视紫红质迅速分解之后，视锥色素才能在光亮处感光。

2. 暗适应

(1) 概念：人从亮处突然进入暗处，最初看不清任何物体，经过一定时间逐渐恢复暗光视觉的现象，称为暗适应。

- (2) 机制：与在暗处视网膜中感光色素合成增强有关；第一阶段（开始的7分钟内）主要与视锥细胞的感光色素合成量增加有关；第二阶段（在6-7分钟后到20分钟左右）与视杆细胞中的视紫红质的合成逐渐增加有关。

视觉阈值

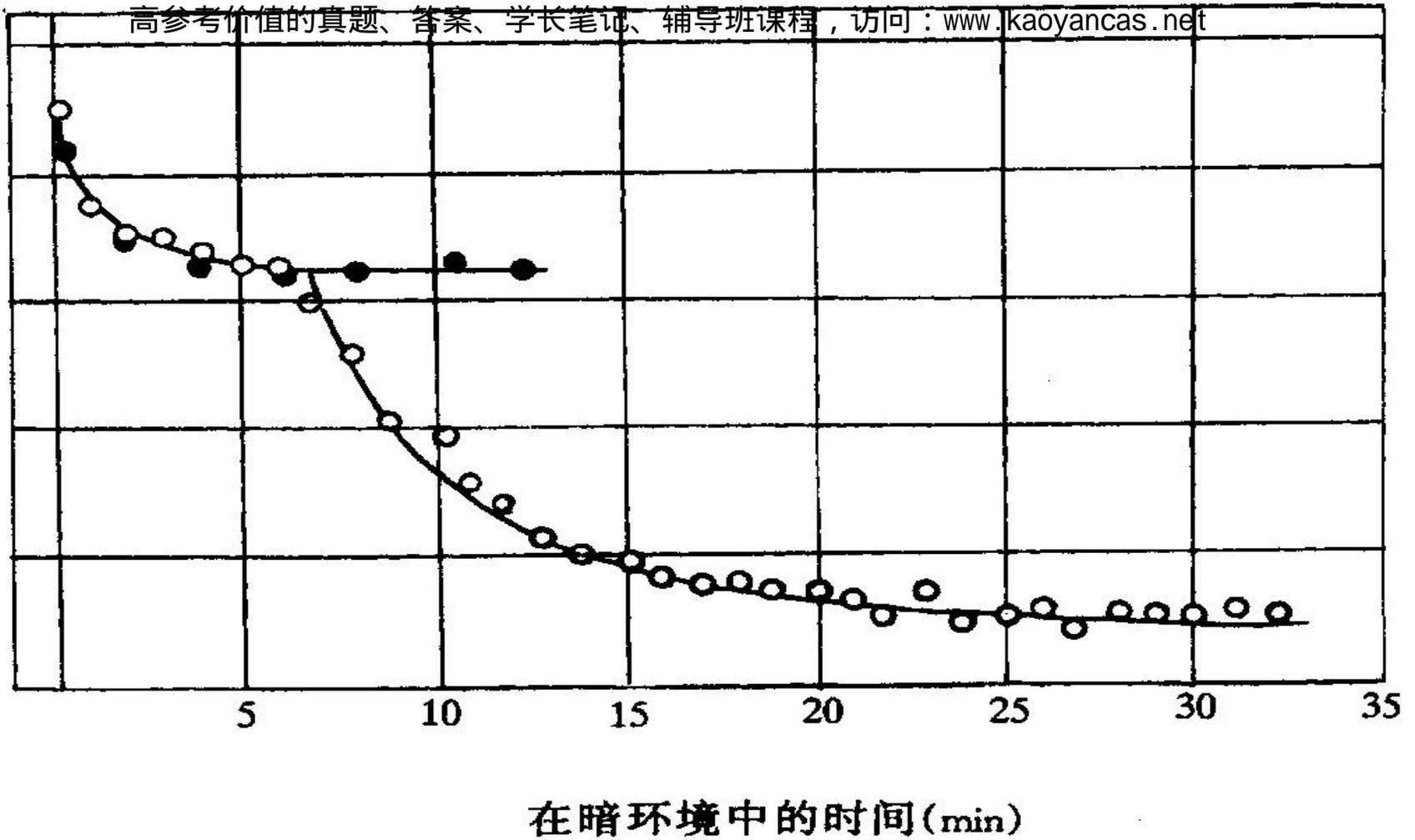


图 9-12 暗适应曲线

○表示用白光对全眼的测定结果 ●表示用红光对中央凹测定的结果
(即表示视锥细胞单独的暗适应曲线，因中央凹为视锥细胞集中部位，

（二）视野

单眼固定注视正前方一点时，该眼所能看到的空间范围。

（三）双眼视觉和立体视觉

人和高等哺乳动物的双眼都在面部前方，两眼视野有很大一部分重叠。

第三节 耳的听觉功能

一、听阈与听域

1. 听阈：对于每一种频率的声波，都有一个刚能引起听觉的最小强度，称为听阈。

当强度增加到某一限度时，它引起的将不单是听觉，同时还会引起鼓膜的疼痛感觉，这个限度称为最大可听阈。

2. 听域：由于每一个声波振动频率都有其自己的听阈和最大可听阈，将所能听到的不同频率声音的听阈连成曲线和最大可听阈连成曲线，这两条曲线之间的面积称为听域。

二、外耳和中耳的功能

(一) 外耳的功能

外耳：耳廓+外耳道

耳廓：收集声波，判断方向

外耳道：共振

(最佳共振频率：波长为长度4倍，
2.5cm→3500Hz，强度增强10倍)

(二) 中耳的功能

中耳：鼓膜、听骨链、鼓室、咽鼓管

主要功能：传音

声波振动通过听骨链到达卵圆窗时，
振动压强增大，振幅稍减小，为中耳的增压作用。

鼓膜面积：卵圆窗面积=17.2：1；

听骨链杠杆：1.3：1

增压效应： $17.2 \times 1.3 = 22.4$

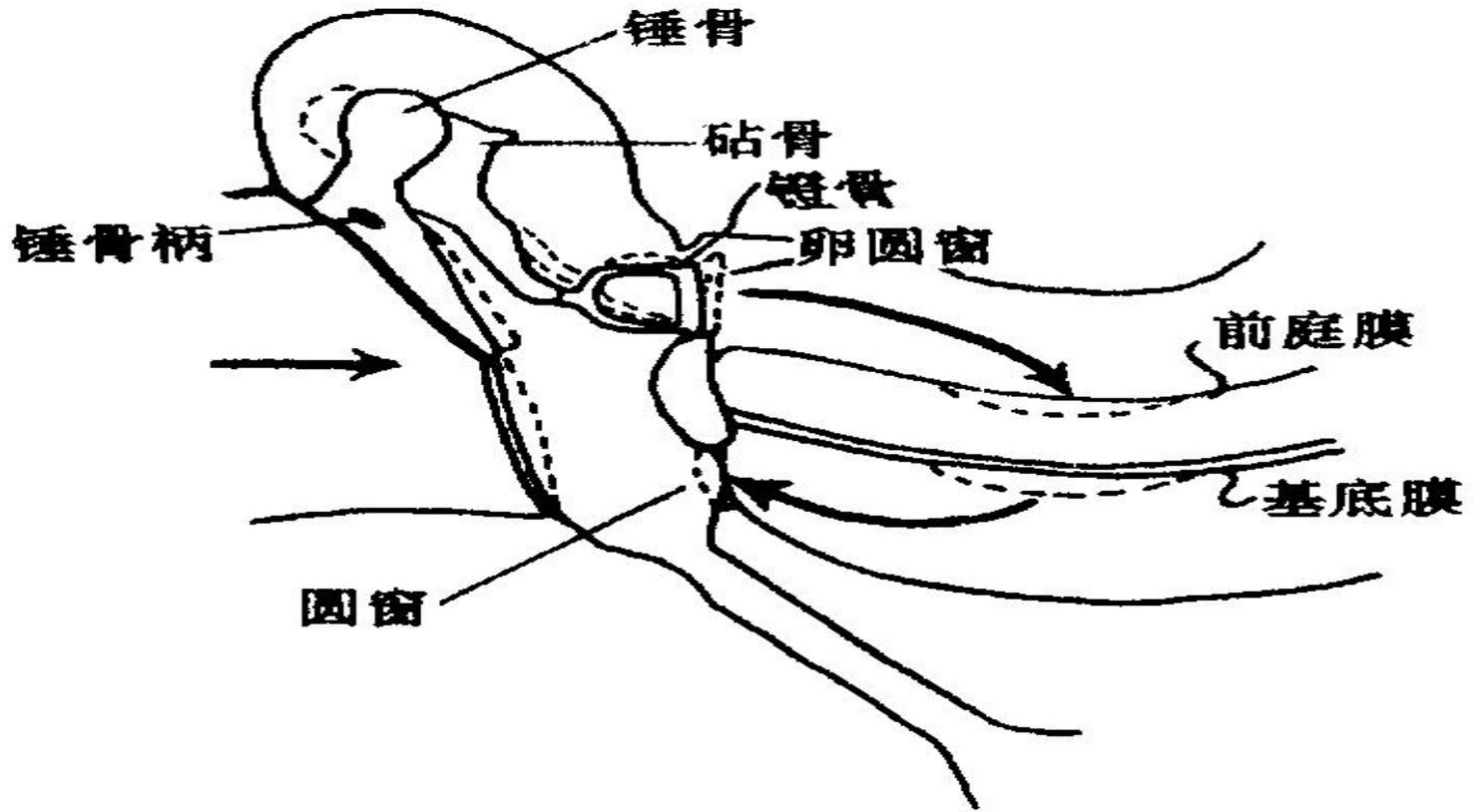


图 9-14 人中耳和耳蜗关系模式图
点线表示鼓膜向内侧振动时各有关结构的移动情况

鼓膜张肌、镫骨肌：保护（潜伏期长）

咽鼓管的功能：调节鼓室内压力，与外界大气压保持平衡。

(三) 声音传向内耳的途径：

1. 气传导：声音经外耳道、鼓膜、听骨链和卵圆窗膜传至耳蜗。这个途径是引起正常听觉声音传导的主要途径。

气传导次要途径：鼓膜振动引起鼓室空气振动，经圆窗膜传至耳蜗。

2. 骨传导：声波直接引起颅骨振动，再引起耳蜗内淋巴振动。

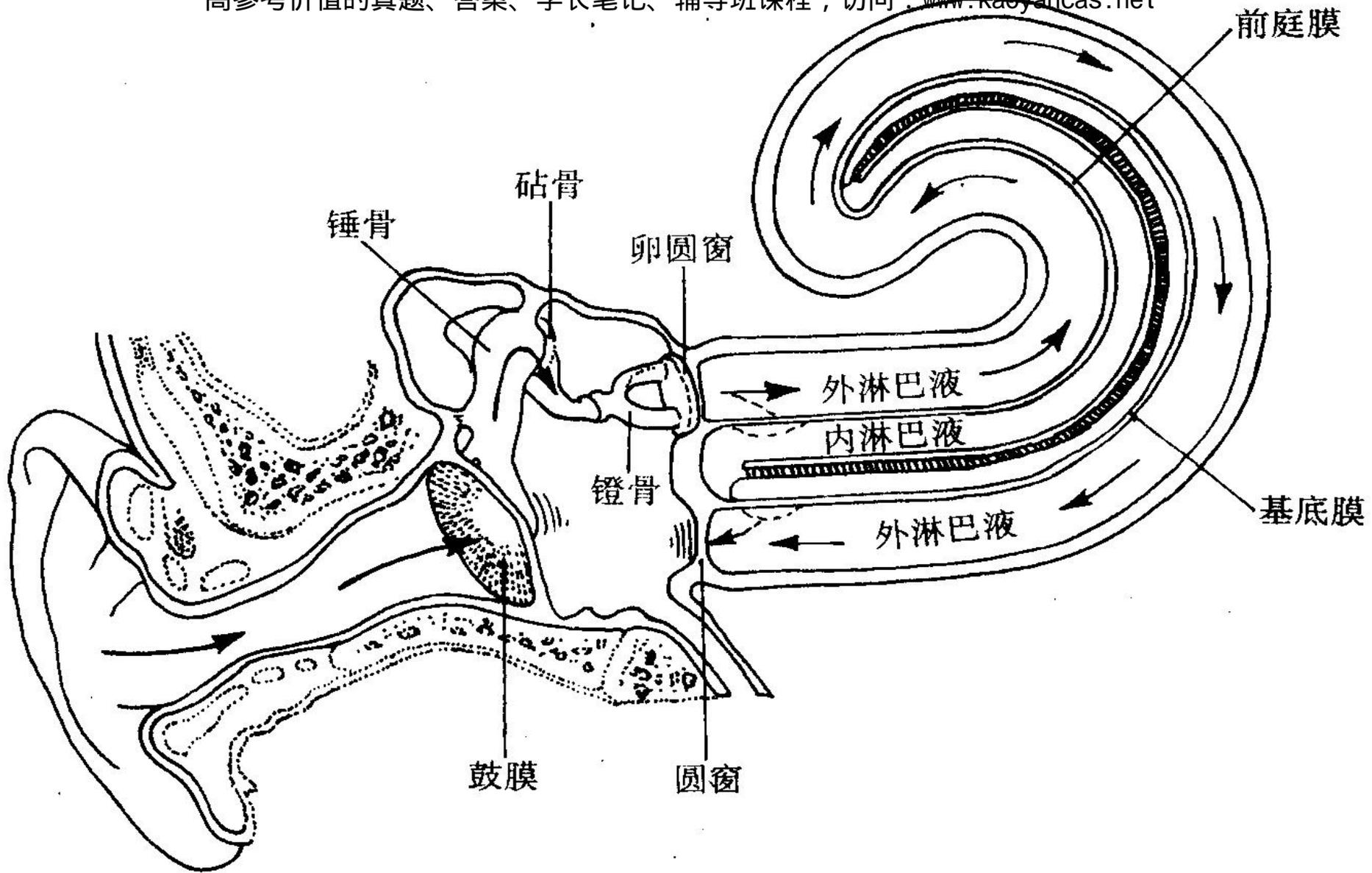


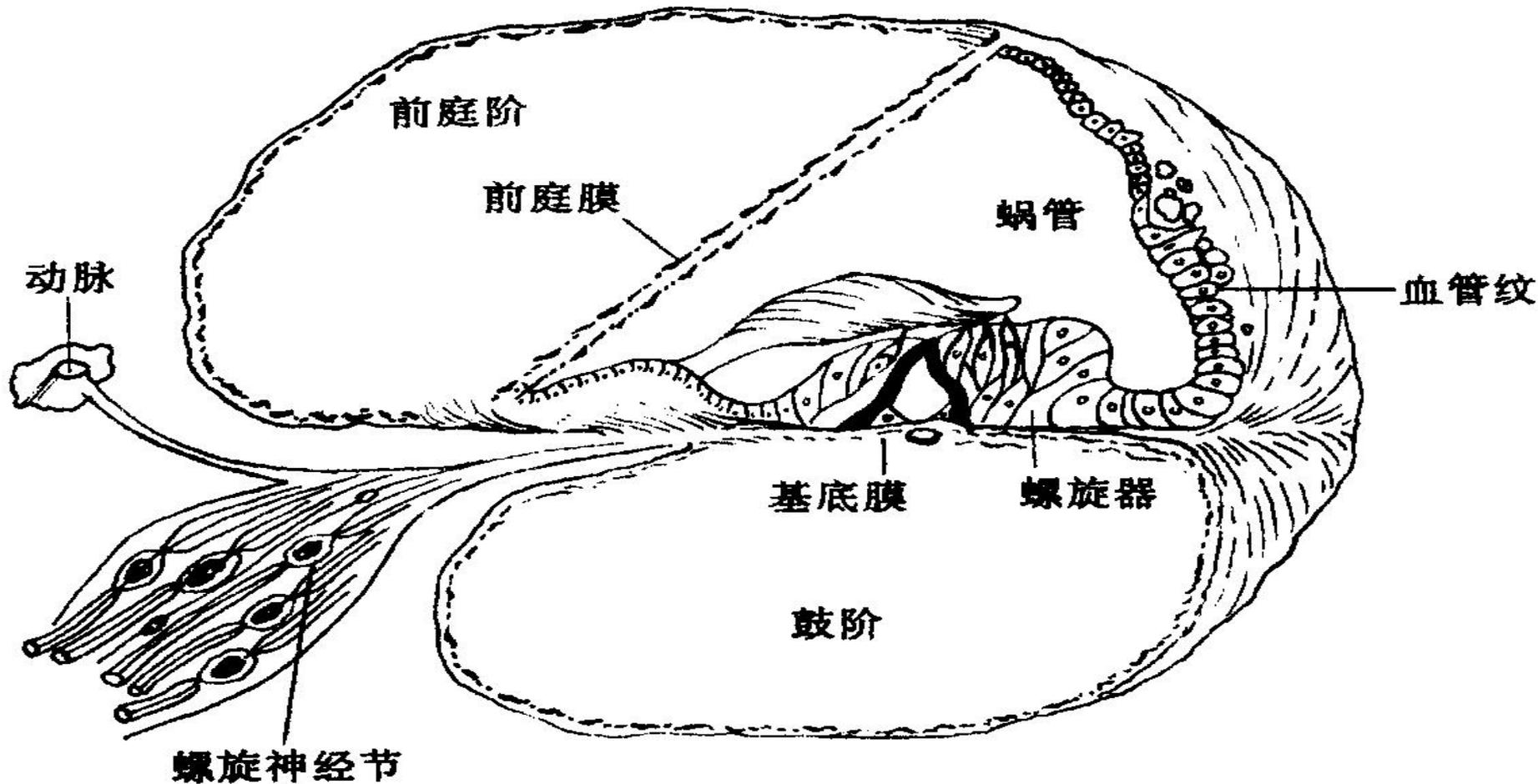
图 9-9 人耳横切面示意图

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：www.kaoyancas.net

完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

三、耳蜗的功能感音

(一) 耳蜗的结构要点



（二）基底膜的振动和行波理论

1. 当声波振动通过听骨链到达卵圆窗时，压力变化立即传给前庭阶的外淋巴并通过前庭膜传给蜗管的内淋巴和基底膜，以使基底膜发生相应的振动。

2. 基底膜的振动同时引起螺旋器的振动，从而使毛细胞顶端和盖膜之间相对位移，发生相切运动，使听纤毛弯曲导致了耳蜗内的电位变化，最后引起与毛细胞相联系的耳蜗神经纤维产生神经冲动频率的改变。

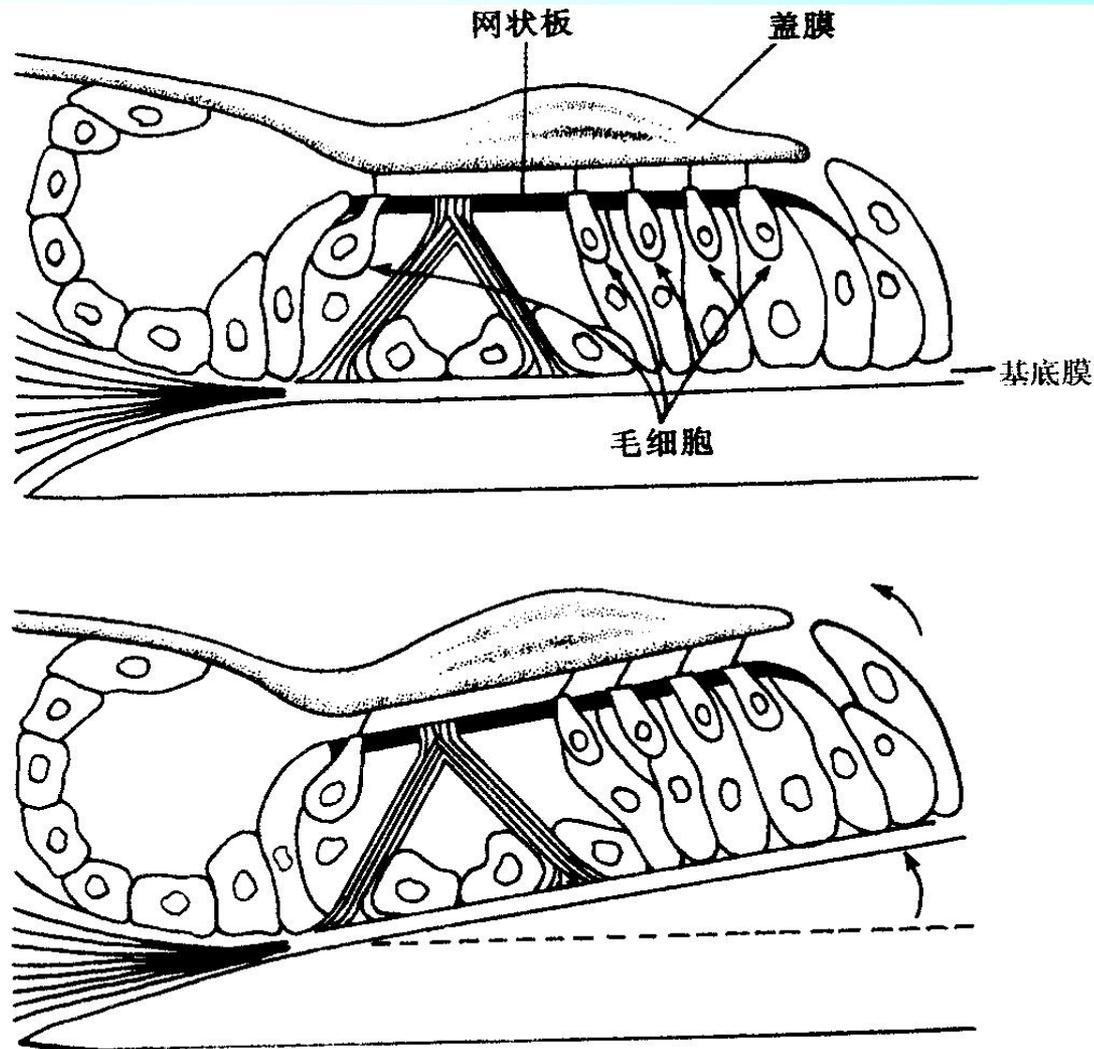


图 9-17 基底膜和盖膜振动时毛细胞顶部听毛受力情况

上：静止时的情况 下：基底膜在振动中上移时，因与盖膜之间的切向运动，听毛弯向蜗管外侧
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

3. 行波学说认为，声波使基底膜以行波形式随之振动。振动从蜗底开始向蜗顶推进，振动幅度也逐渐加大，到基底膜的某一部位，振幅达到最大，以后则很快衰减。不同频率的声波引起基底膜最大振动幅度的部位不同。声波频率越低，其基底膜振动幅度最大的部位越靠近蜗顶；声波频率越高，基底膜振动最大振幅的部位，越向蜗底部位移位。

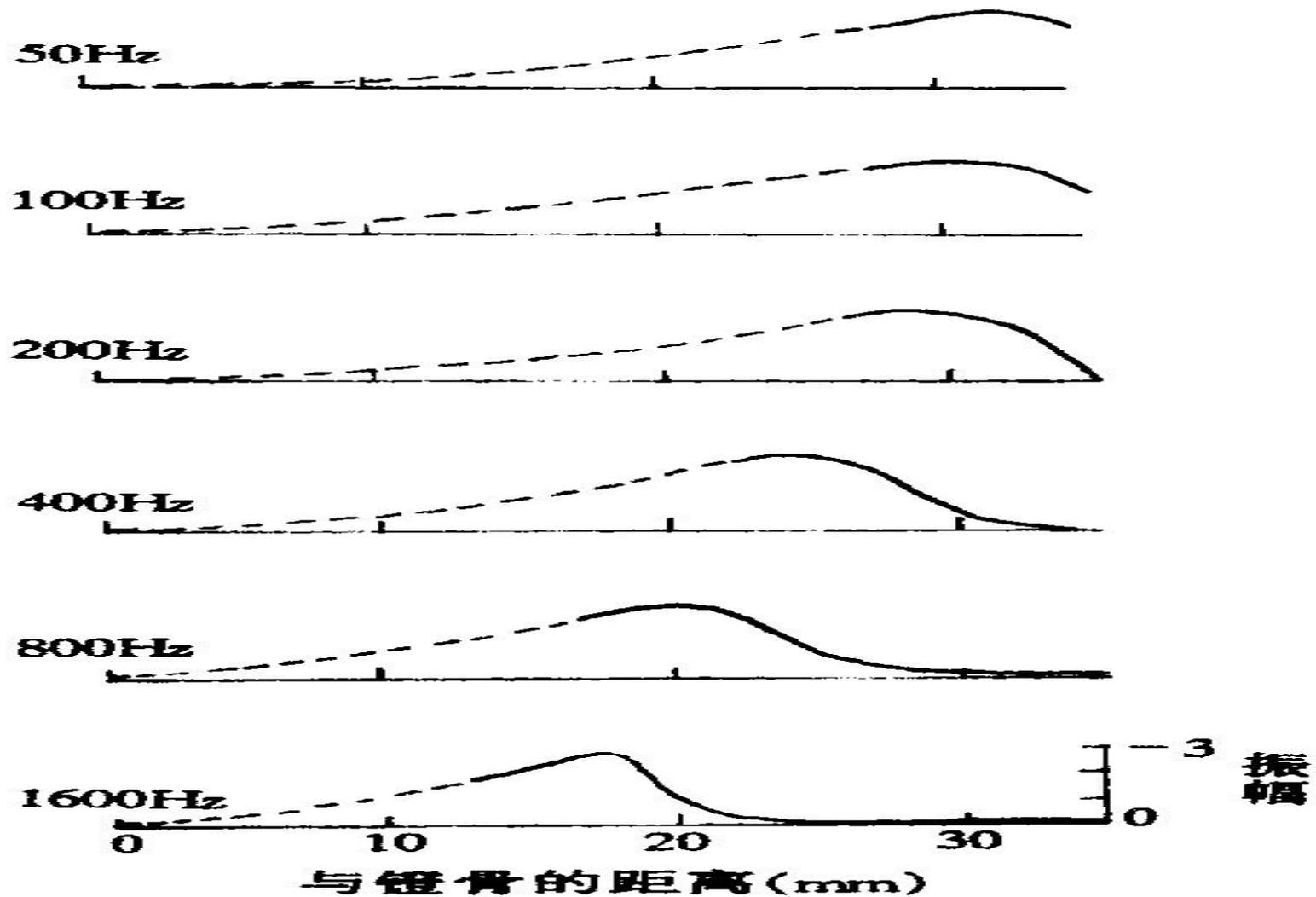


图 9-16 不同频率的声音引起的行波在基底膜上传播的距离以及行波最大振幅的出现部位

既然每一振动频率在基底膜上都有一个特定的行波传播范围和最大振幅区，因而在这些区域的毛细胞就会受到相应的刺激。这样，来自基底膜不同区域的蜗神经纤维的神经冲动及其组合形式便形成了不同的编码，传到中枢的不同部位便产生不同音调的感觉。因而不同频率的声音引起不同部位基底膜的振动，被认为是耳蜗能区分不同频率的基础。

(三) 耳蜗的生物电现象

1. **endocochlear potential, EP 耳蜗内电位：**
以蜗管外淋巴为参考电位，蜗管内淋巴中的电位为+80mV左右，称为耳蜗内电位。
2. **毛细胞膜内电位： -70~ - 80mV**
毛细胞顶端膜内外电位差： 160 mV左右

3. 微音器电位：耳蜗受到声音刺激时产生的一种交流性质的电位变化，其频率和幅度与作用于耳蜗的声波振动完全一致。无真正阈值，潜伏期极短，没有不应期，一定范围内，振幅随声压增大而增大，对缺氧和麻醉不敏感。

4. 耳蜗微音器电位：全部毛细胞的感受器电位的总和。

机制：静毛的弯曲使毛细胞顶部的阻抗改变。

向外弯曲，顶部表面的阻抗减小，电流增大，去极化。

向内弯曲，顶部表面的阻抗增大，电流减弱，超极化。

四、听神经动作电位

单一听神经纤维对某一特定频率的纯音只需很小的刺激强度便可发生兴奋，这个频率称为特征频率。特征频率决定于该纤维末梢在基底膜的分布位置。

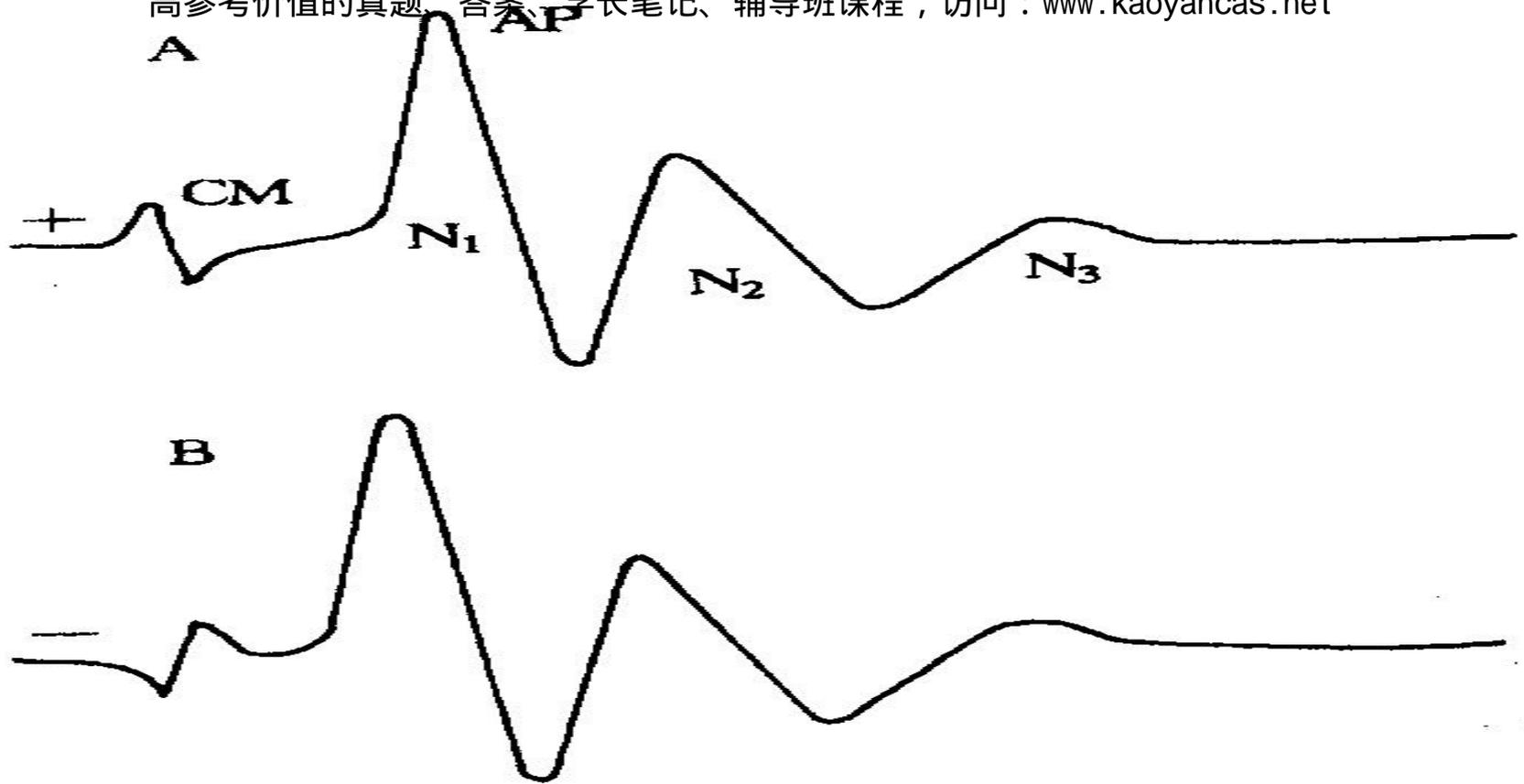


图 9-18 由短声刺激引起的微音器电位和听神经动作电位

CM: 微音器电位 AP: 耳蜗神经动作电位 (包括 N₁、N₂、N₃ 三个负电位), A 与 B 对比

表明, 声音位相改变时, 微音器电位位相倒转, 但神经动作电位位相没有变化

第四节 内耳的平衡感觉功能

一、前庭器官的感受装置和适宜刺激

1. 感受细胞：毛细胞

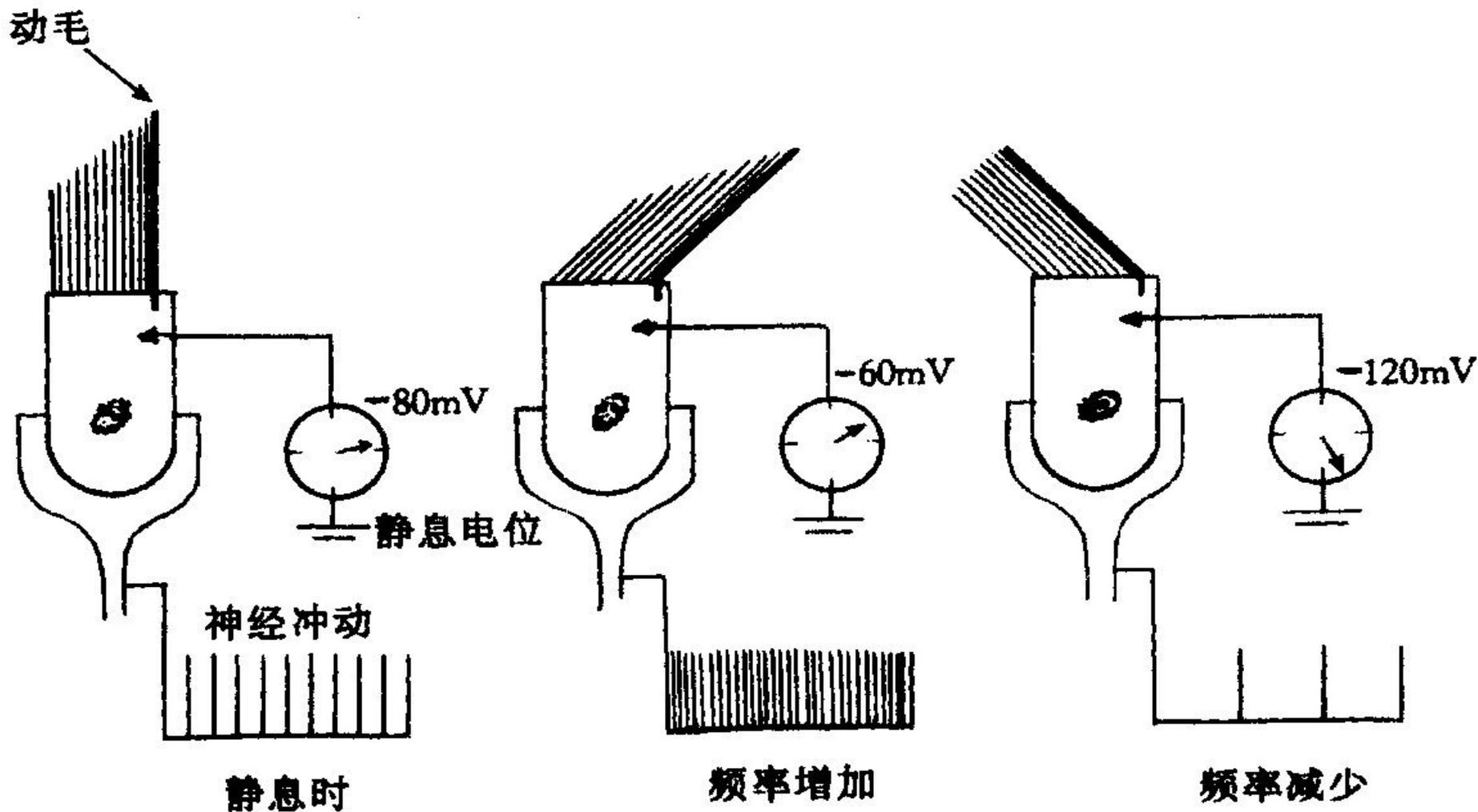


图 9-19 前庭器官中毛细胞顶部纤毛受力情况影响细胞静息电位和神经纤维冲动发放频率的实验示意图

2. 3对半规管：壶腹嵴

感受：旋转变速运动

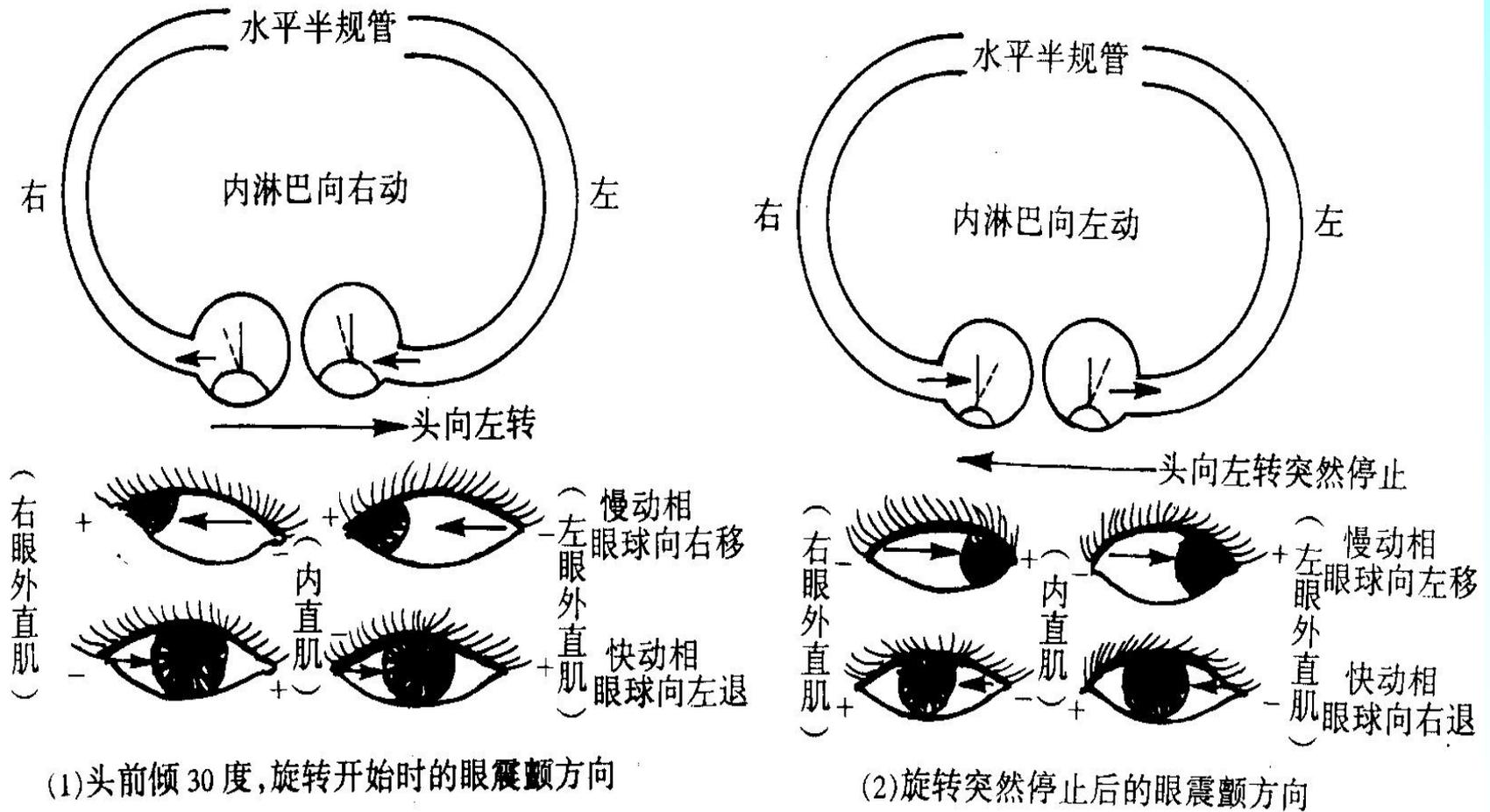


图 9-14 旋转变速运动时两侧水平半规管壶腹嵴毛细胞受刺激情况和眼震颤方向示意图
完整版，请访问www.kaoyancas.net 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

4. 椭圆囊与球囊：囊斑

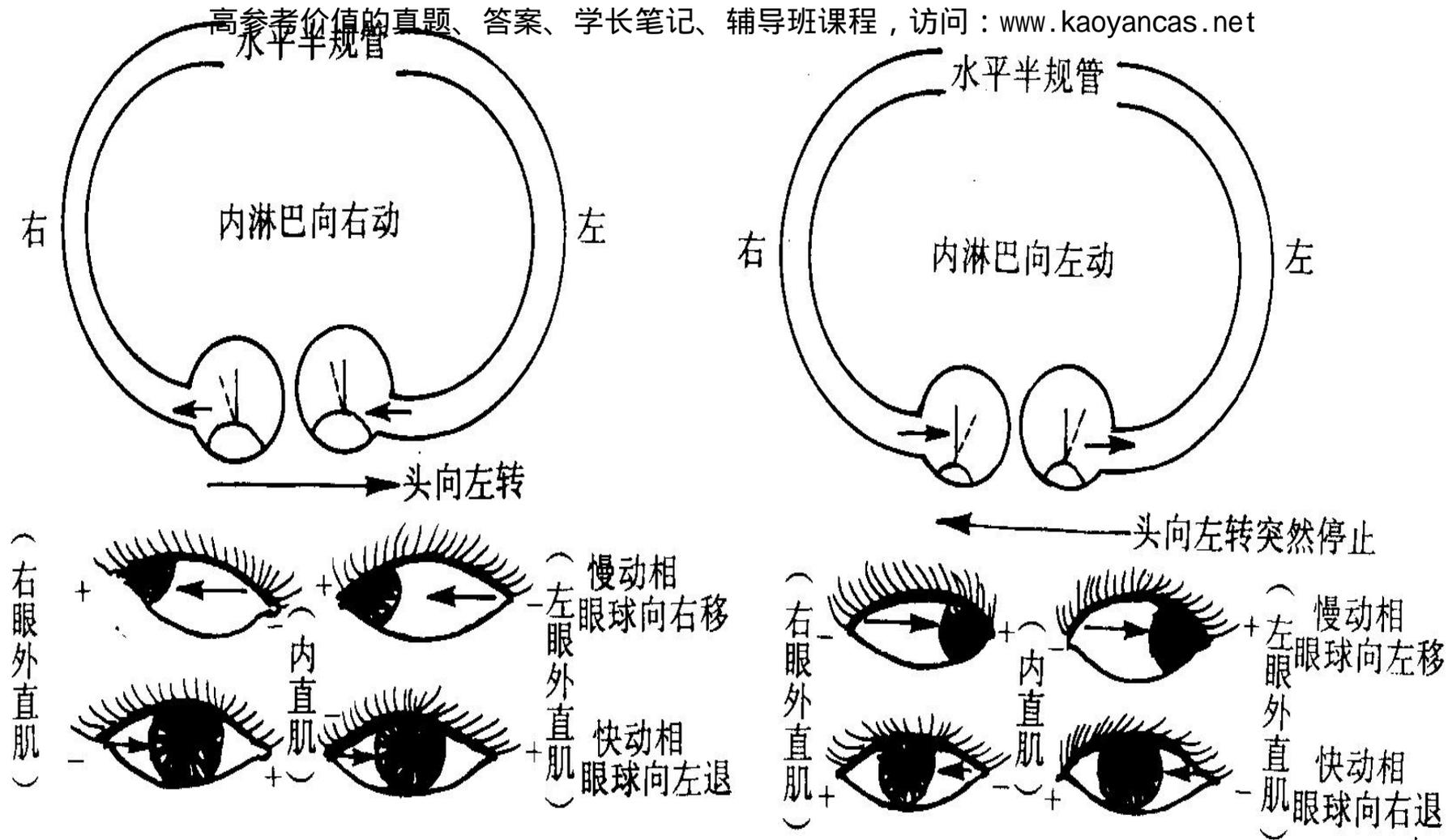
椭圆囊：与地面平行

球囊：与地面垂直

感受：直线变速运动

二、前庭反应与眼震颤

眼震颤：当前庭迷路受刺激特别是在躯体作旋转运动时，反射地改变了眼肌的活动而引起眼球不随意而有规律性地运动，叫做眼震颤。



(1) 头前倾 30 度, 旋转开始时的眼震颤方向

(2) 旋转突然停止后的眼震颤方向

图 9-14 旋转变速运动时两侧水平半规管壶腹嵴毛细胞

受刺激情况和眼震颤方向示意图

第五节 嗅觉和味觉和皮肤感受器的功能

一、嗅觉感受器和嗅觉的一般性质

1. 嗅觉感受器：

嗅上皮：

（位于上鼻道及鼻中隔后上部）

由嗅细胞、支持细胞、基底细胞、Bowman腺组成。

嗅细胞顶部6~8条纤毛，埋于Bowman腺分泌的粘液。

2. 适宜刺激：空气中的有机化学物质，

3. 过程：被粘液吸收，扩散到嗅纤毛，与受体蛋白结合，通过G-蛋白引起第二信使类物质产生，最后导致膜上 Na^+ 通道开放， Na^+ 内流，引起去极化的感受器电位，触发轴突膜发生动作电位，沿轴突传向嗅球。

4. 基本气味：樟脑味、麝香味、花草味、乙醚味、薄荷味、辛辣味、腐腥味。

二、味觉感受器和味觉的一般性质

1. 味觉感受器：味蕾

（主要位于舌背部表面和舌缘，口腔和咽部粘膜表面也有）

由味细胞、支持细胞、基底细胞组成。
味细胞顶端纤毛称为味毛。

2. 基本味觉：酸甜苦咸

三、皮肤感受器的功能

(一) 触、压觉：

1. 适宜刺激：机械刺激

2. 过程：机械刺激引起感觉神经末梢变形，导致机械门控式 Na^+ 通道开放， Na^+ 内流引起去极化的感受器电位，触发轴突膜发生动作电位。

(二) 温度感觉

冷觉+热觉

(三) 痛觉