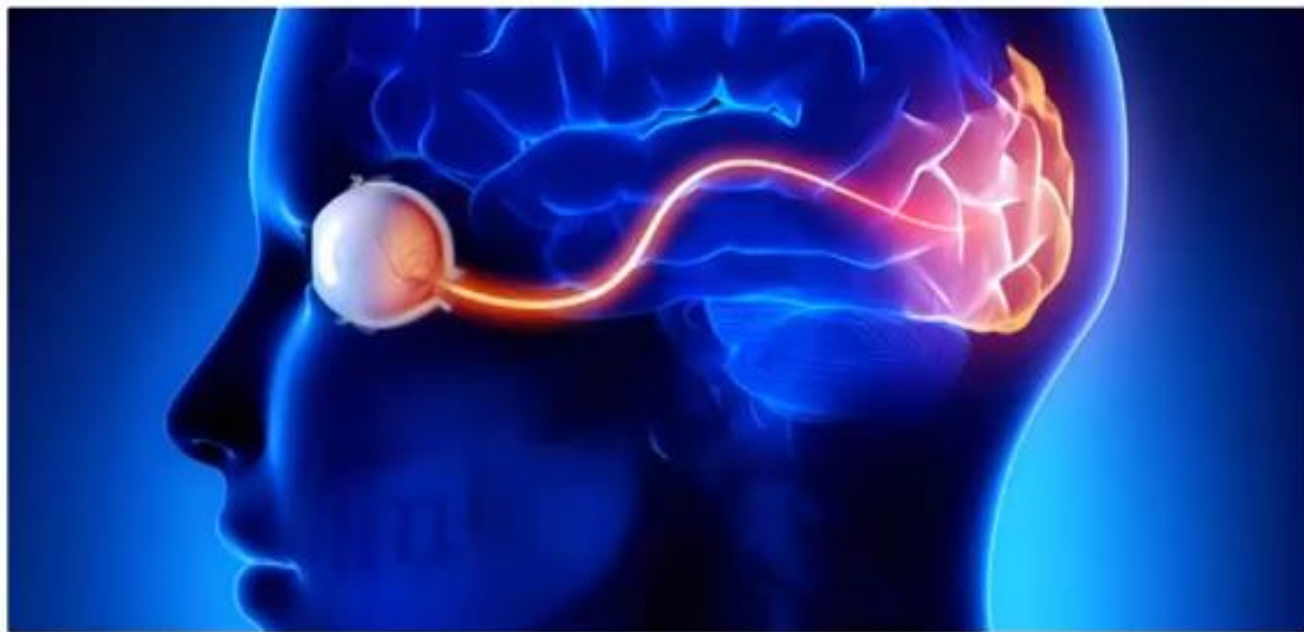


4.1 感觉与感知(*Sensation and Perception*)

4.2 视网膜结构与工作机理(*cerebral cortex functions*)

4.3 视觉的神经通路(*Compared with artificial neural networks*)

4.1 感觉与感知



感觉(*Sensation*)

- 外界刺激在感觉器官上的影响
- 听觉、嗅觉、视觉。。。

感知(*Perception*)

- 对感官刺激的阐述和解释，例如，基于对物体结构的认识
- 听觉知觉、嗅觉知觉、视觉知觉、触觉知觉、味觉知觉。。

4.1 感觉与感知(*Sensation and Perception*)

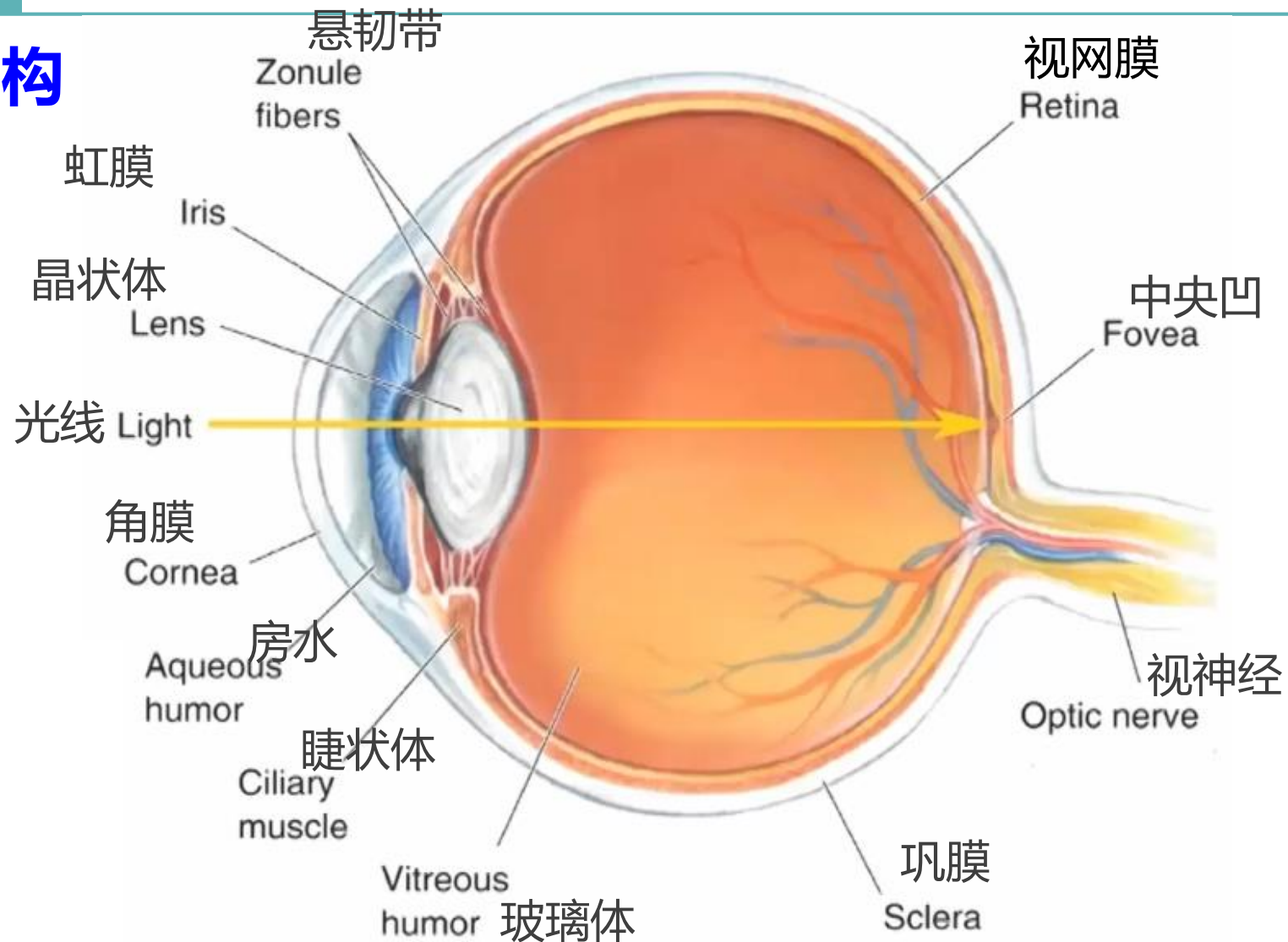
4.2 视网膜结构与工作机理(*cerebral cortex functions*)

4.3 视觉的神经通路(*Compared with artificial neural networks*)

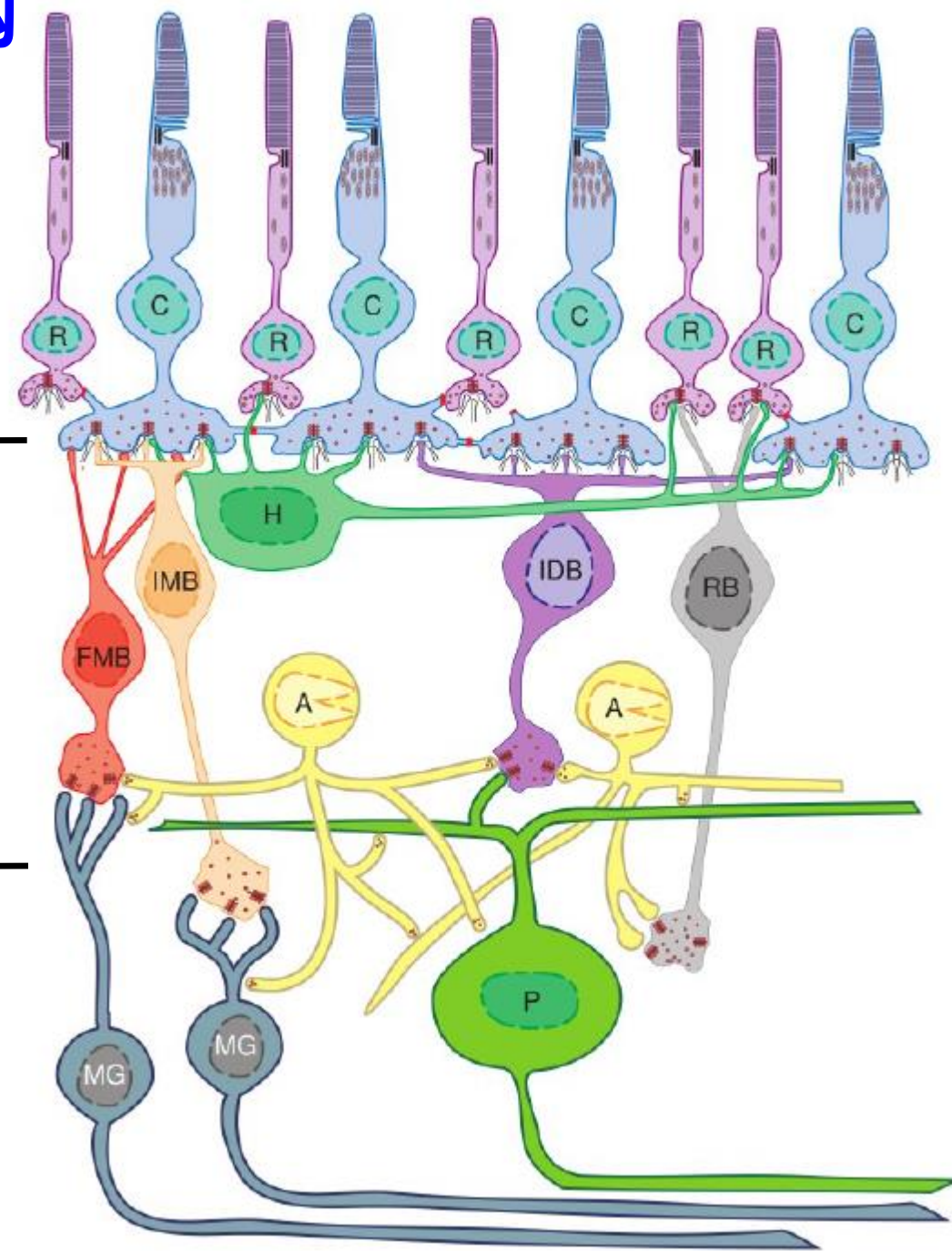
4.2 视网膜结构与工作机理

眼睛的解剖学结构

- 视觉是目前研究最细致也最广泛的感觉系统，它赋予有眼生物感知外部的能力
- 眼睛是视觉的感受器官，负责光的检测、定位和分析，外部世界80%信息由眼睛传入大脑



三层结构	五类神经细胞	十层细胞	视网膜结构
视细胞层	光感受器细胞	视锥细胞(C) 视杆细胞(R)	构成纵向视觉信息传递途径
双极细胞层	双极细胞 水平细胞 无长突细胞	扁平侏儒双极细胞(FMB) 内陷性侏儒双极细胞(IMB) 侵袭性弥漫双极细胞(IDB) 杆状双极细胞(RB) 水平细胞(H) 无长突细胞(A)	构成横向视觉信息整合网络
神经节细胞层	神经节细胞	伞状神经节细胞(P) 侏儒神经节细胞(MG)	



4.2 视网膜结构与工作机理

视网膜上的信息处理

- 视网膜上的感光细胞会将外界的光信号转化为随时间变化的电信号，然而这种信号远远不足以准确反映外部世界的复杂
- 需要从外界的光信号中提取出有效的特征信息，如物体颜色、大小、形状、深度、运动信息等
- 人的视觉系统包含大约**1亿个感光细胞**，但仅有**约100万视神经**将外界的光信号传递到大脑。因此，在视觉处理的过程中，我们的视觉系统会选择保留有价值的视觉信息，而尽可能多地删除掉不相关的信息

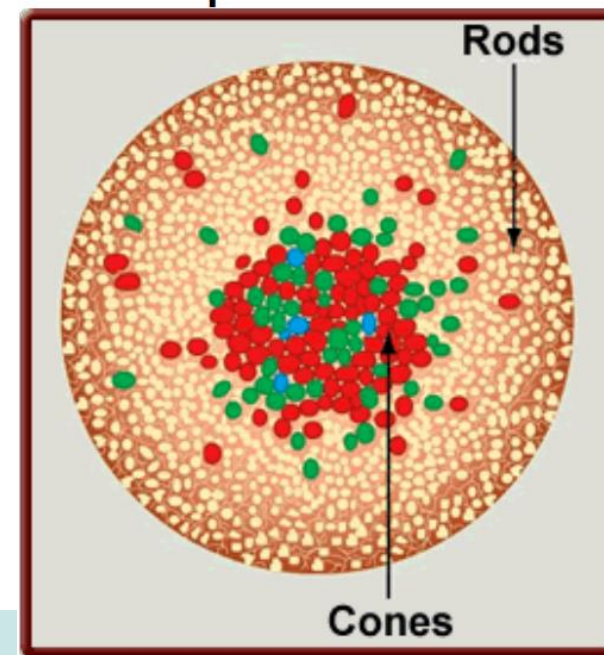
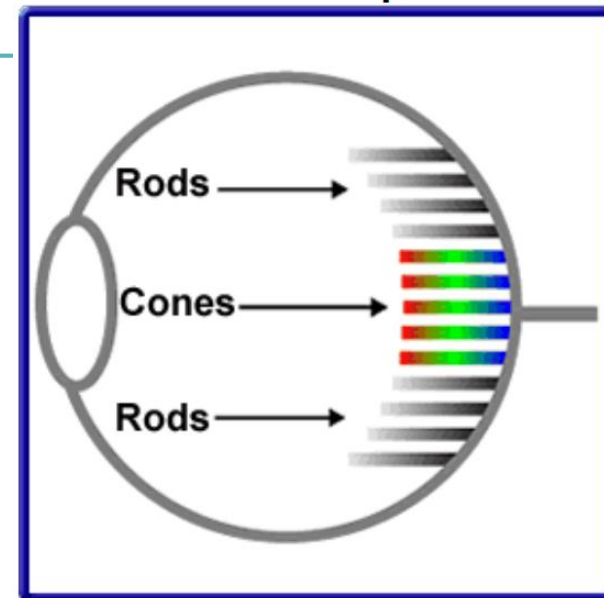
4.2 视网膜结构与工作机理

视网膜结构

感光细胞：视锥细胞(*Cones*)和视杆细胞(*Rods*)

➤ 空间表征的特点

- 中央凹视觉(*Mostly cones*)
 - ✓ 解析度高(*High acuity*)
- 周边视觉(*Mostly rods*)
 - ✓ 低解析度(*Low acuity*)



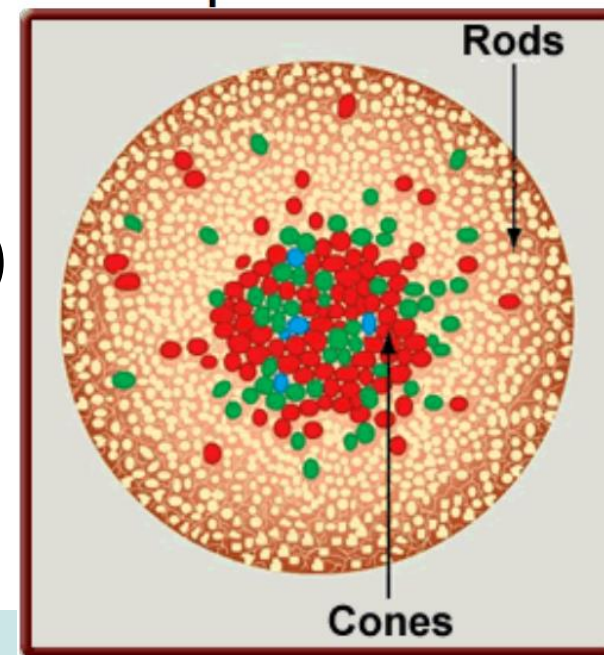
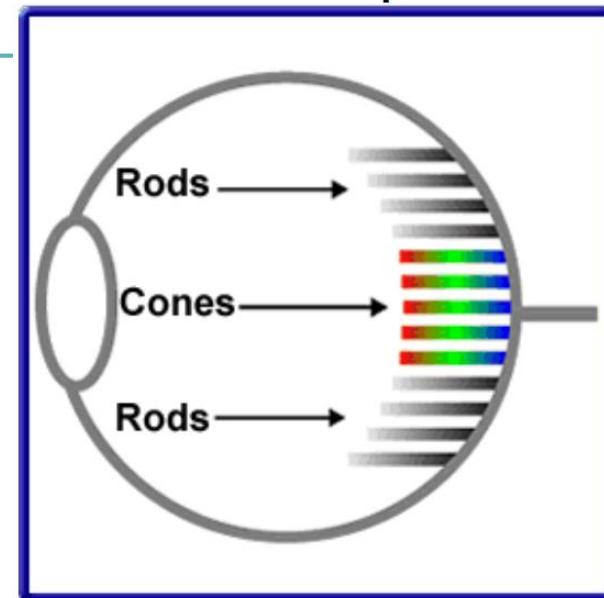
4.2 视网膜结构与工作机制

视网膜结构

感光细胞：视锥细胞(*Cones*)和视杆细胞(*Rods*)

➤ 空间表征的特点

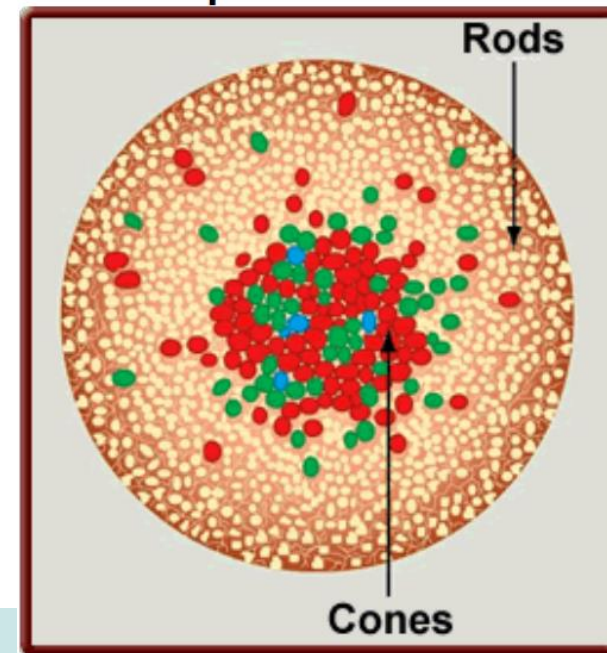
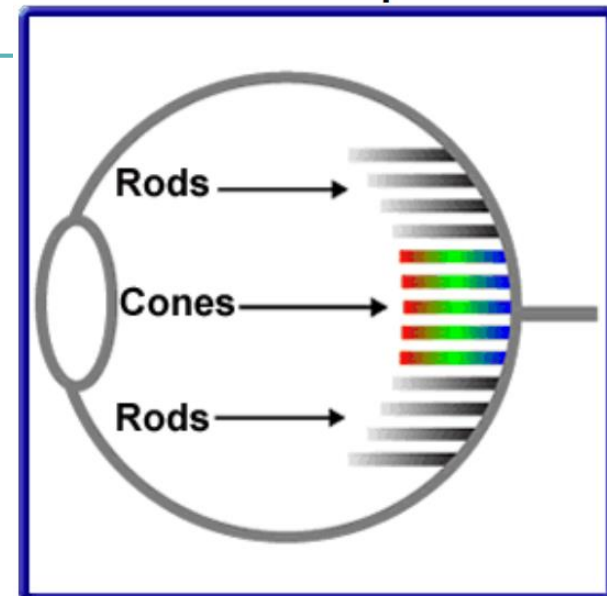
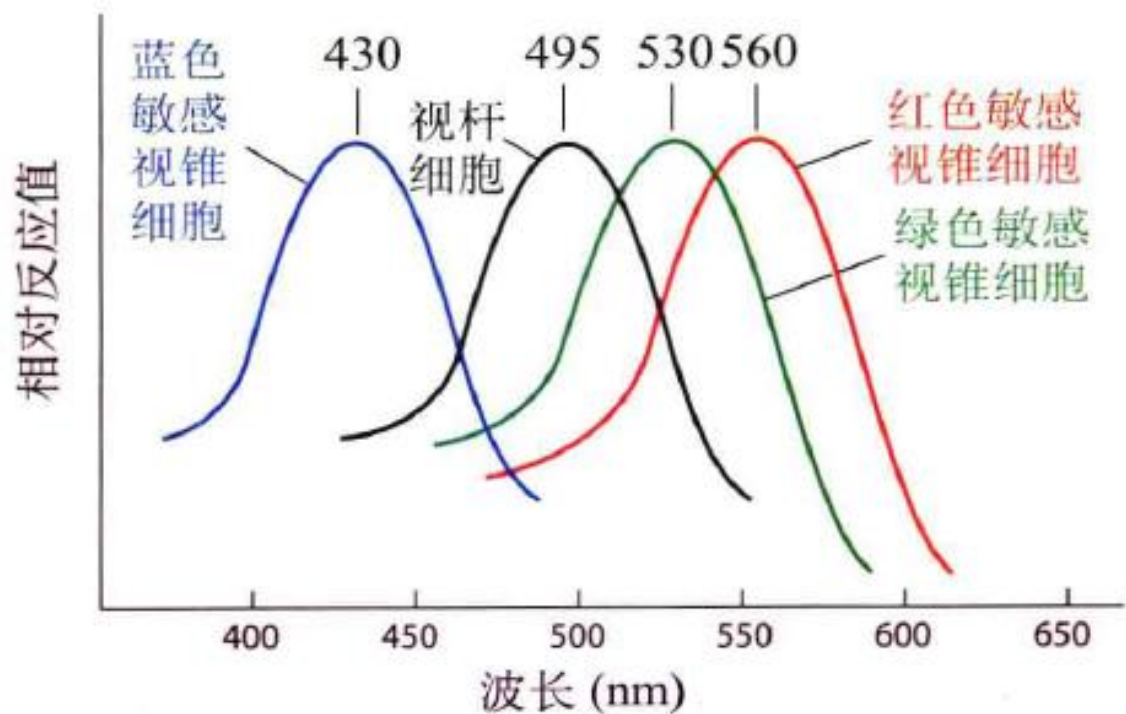
- 中央凹视觉 (*Mostly cones*)
 - ✓ 解析度高 (*High acuity*)
 - ✓ 色彩知觉 (*Color vision*)
- 周边视觉 (*Mostly rods*)
 - ✓ 低解析度 (*Low acuity*)
 - ✓ 黑白知觉 (*Black & White*)



4.2 视网膜结构与工作机制

视网膜结构

感光细胞：视锥细胞(*Cones*)和视杆细胞(*Rods*)



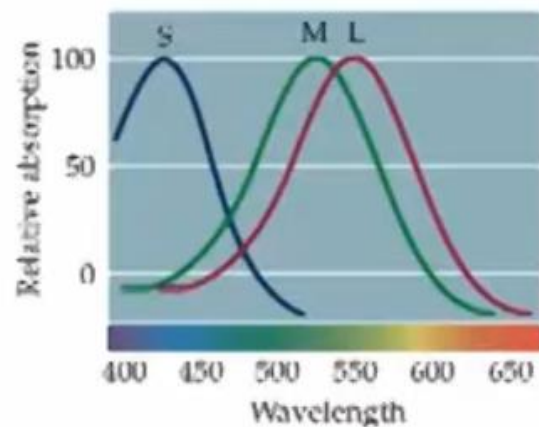
4.2 视网膜结构与工作机理

色盲现象

(A) Normal (trichromat)



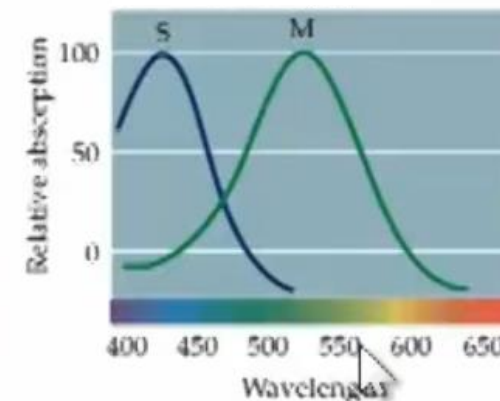
正常视觉



(B) Protanopia



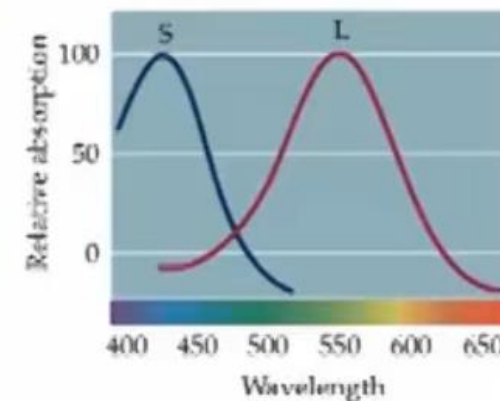
红色盲



(C) Deuteranopia



绿色盲



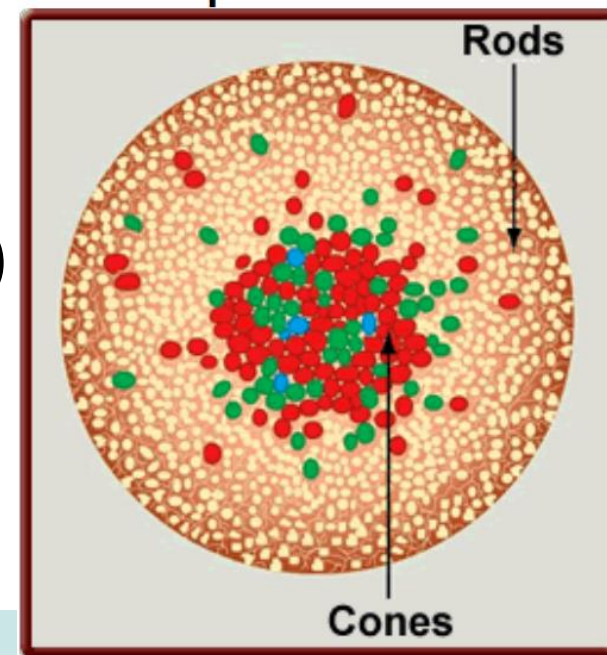
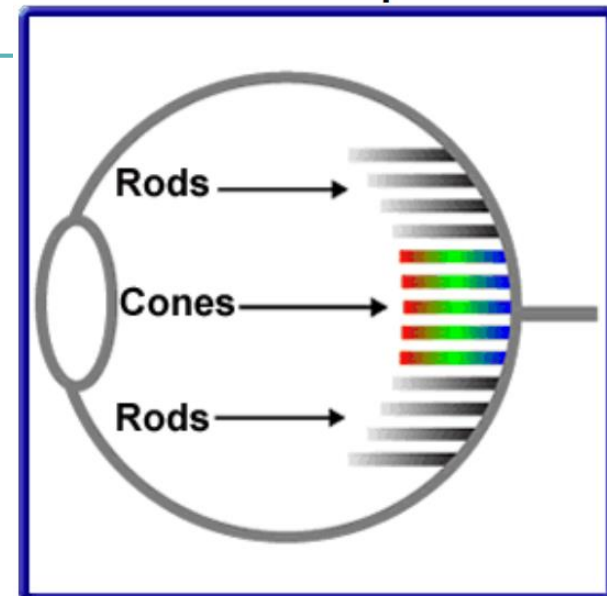
4.2 视网膜结构与工作机理

视网膜结构

感光细胞：视锥细胞(*Cones*)和视杆细胞(*Rods*)

➤ 空间表征的特点

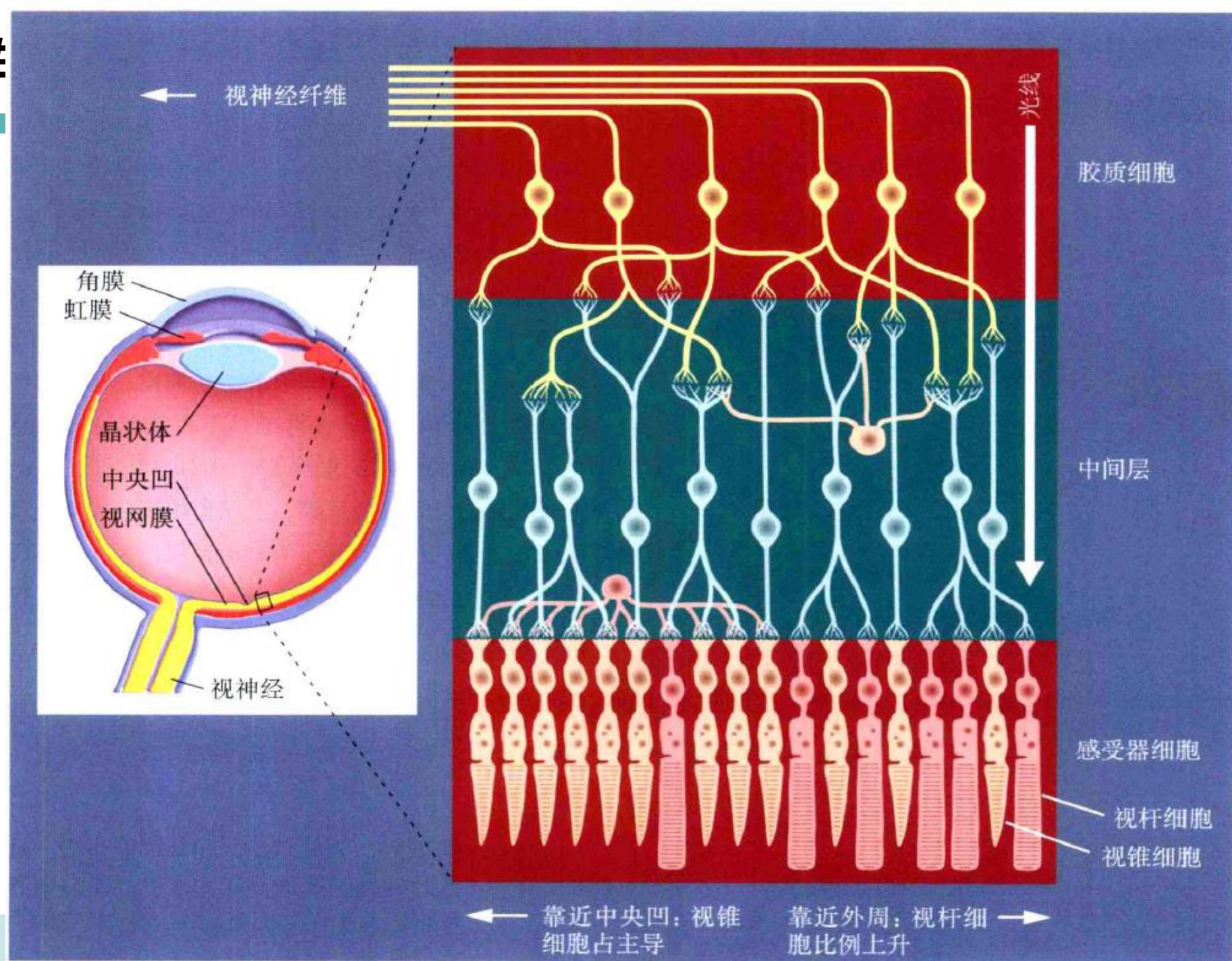
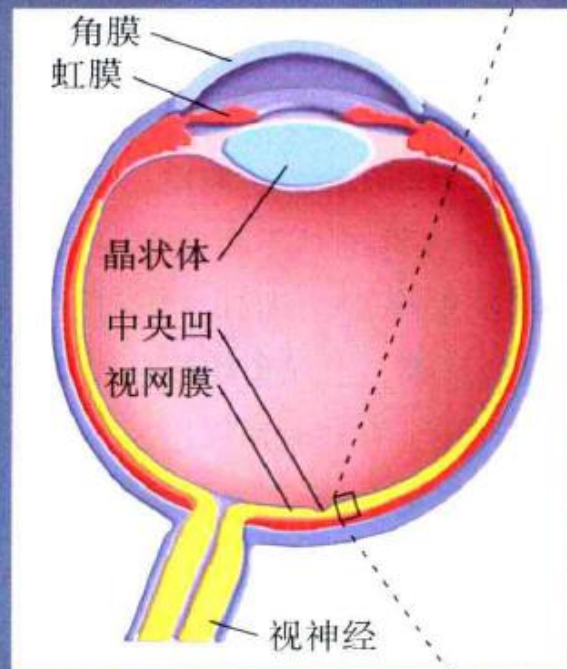
- 中央凹视觉 (*Mostly cones*)
 - ✓ 解析度高 (*High acuity*)
 - ✓ 色彩知觉 (*Color vision*)
 - ✓ 白天敏感 (*Day vision*)
- 周边视觉 (*Mostly rods*)
 - ✓ 低解析度 (*Low acuity*)
 - ✓ 黑白知觉 (*Black & White*)
 - ✓ 夜间敏感 (*Night vision*)



4.2 视网膜结构

视网膜结构

光线是先通过和感光无关的细胞，到达眼球后方的光感细胞之后再反向传入视神经的



4.2 视网膜结构与工作机理

纵向传递：电信号在视网膜里的传导过程

①感光细胞：把光信号转换成电信号，不能产生动作电位，只能产生分级电位

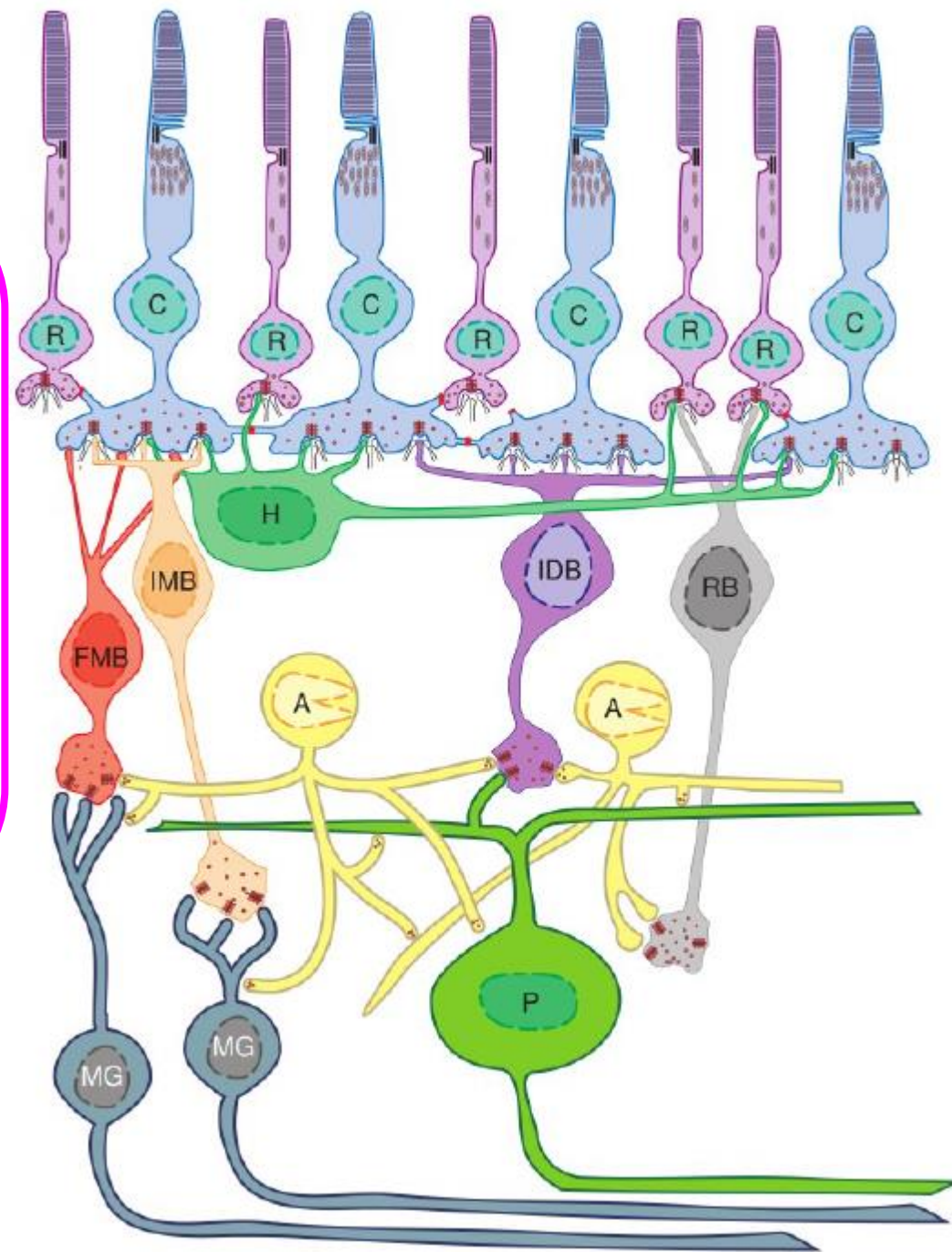
②双极细胞：接受来自光感细胞的电信号，不产生动作电位，只产生分级电位

③神经节细胞：接受来自双极细胞的电信号，并传入视神经，可产生适合远距离传输的动作电位到外侧膝状体

横向整合：

水平细胞调节上述①②层之间的侧向连接

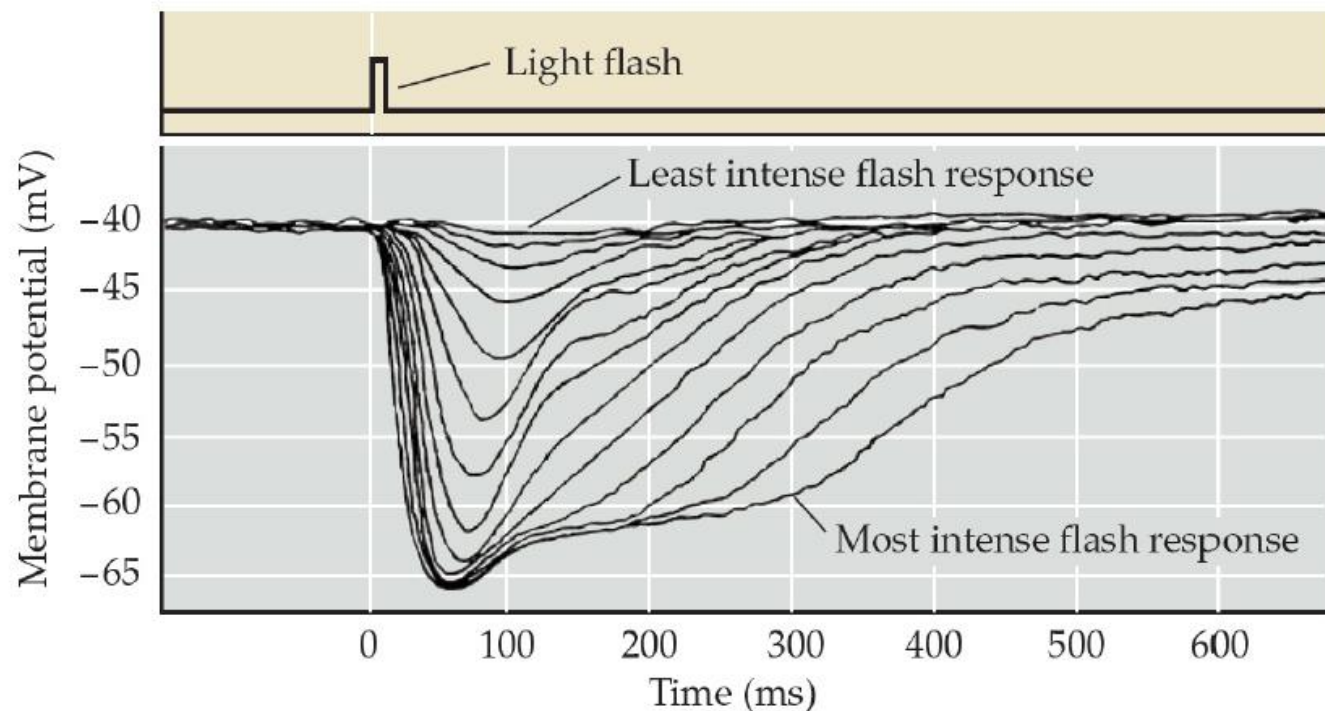
无长突细胞调节②③层之间的侧向连接



4.2 视网膜结构与工作机理

光转导：光经由感光细胞成为电信号的过程

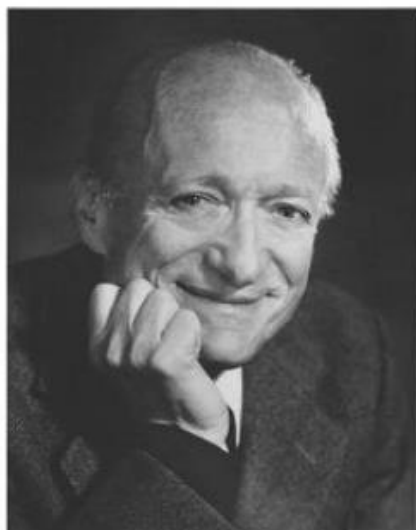
- 在黑暗环境下，感光细胞的膜电位是-45mV(暗电流)
- 一般神经元的静息膜电位是-65mV，未经刺激的感光细胞是天然去极化的
- 接受光信号后的感光细胞膜电位会降低，形成超极化



与一般神经元受激产生去极化行为相反，感光细胞受激产生超极化！！！！

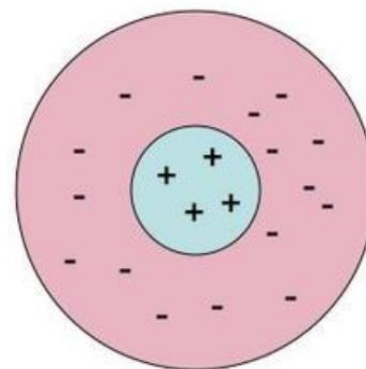
4.2 视网膜结构与工作机理

感受野：视觉神经元仅对有限空间区域的光信号产生反应

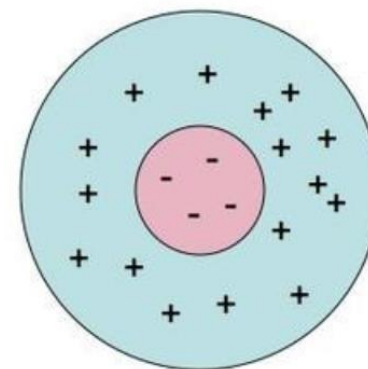


Stephen W. Kuffler

Receptive Fields



On-center, Off-surround



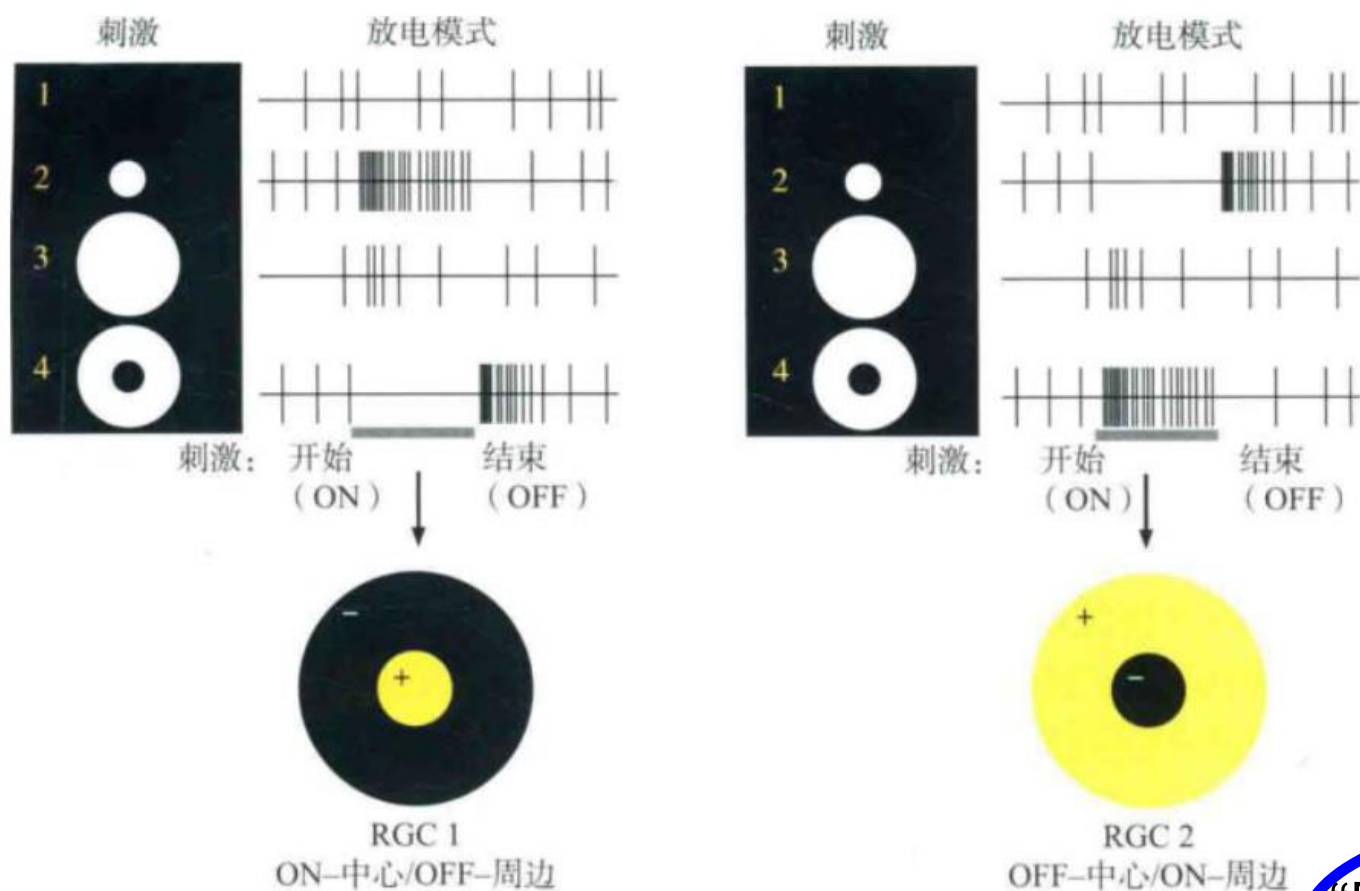
Off-center, On-surround

- Kuffler通过实验发现，视网膜神经元的感受野是一种奇特的同心圆结构

- 这些神经元的同心圆感受野结构有两种，一种中心亮，外周暗，称为on-center；另一种是中心暗，外周亮，称为off-center。

4.2 视网膜结构与工作机理

感受野：视觉神经元仅对有限空间区域的光信号产生反应



“暗”刺激中心：
神经元抑制放电

“暗”刺激中心：
神经元兴奋放电

On-center
Off-surround
Off-center
On-surround

刺激类型	中心兴奋-外周抑制 神经元	中心抑制-外周兴奋 神经元
无光刺激	随机发放	随机发放
光刺激中心	兴奋性最强	兴奋性被抑制
光刺激中心和外周	兴奋性降低	兴奋性降低
光刺激外周	兴奋性被抑制	兴奋性最强

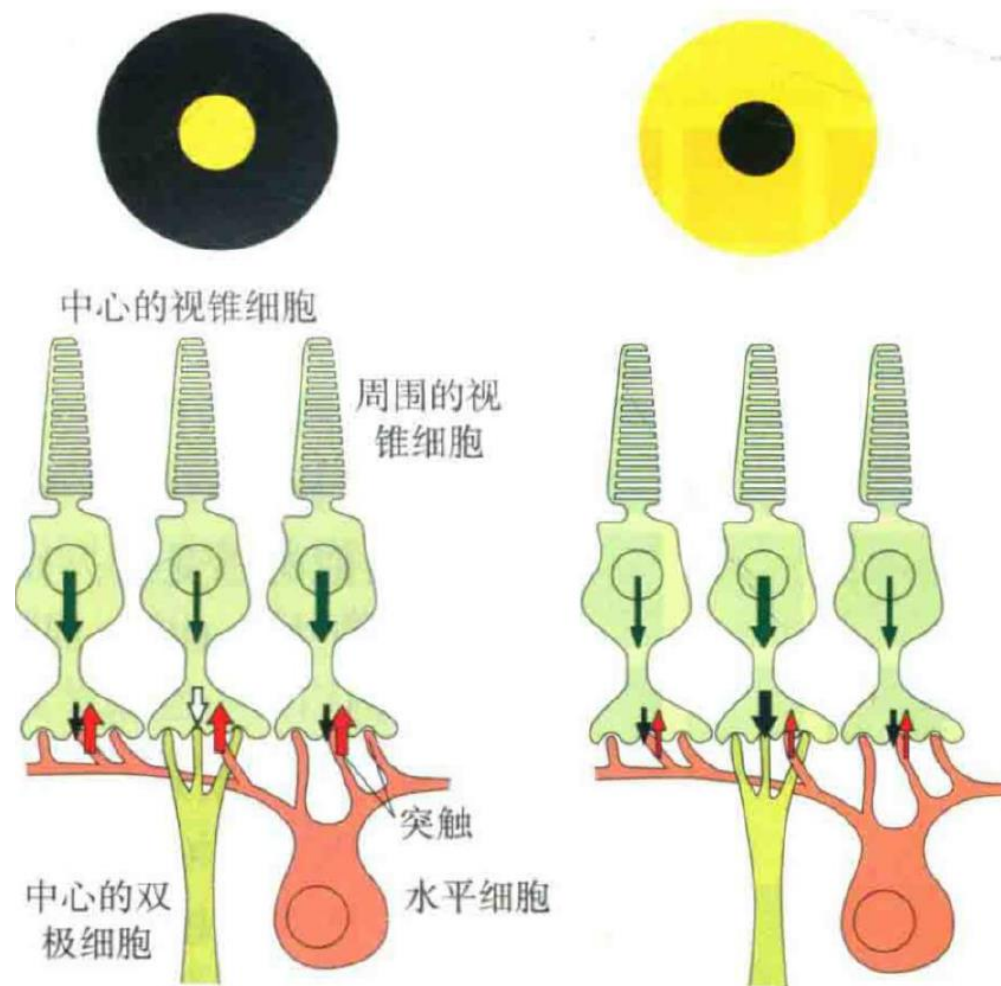
“暗”刺激外周：
神经元兴奋放电

“暗”刺激外周：
神经元抑制放电

4.2 视网膜结构与工作机理

感受野：视觉神经元仅对有限空间区域的光信号产生反应

- 受到光刺激的视觉神经元通过侧抑制的神经回路，将抑制信号传输给邻近的视觉神经元突触前末梢
- 这种侧抑制的神经回路，可以放大激活和未激活的感光细胞之间的兴奋性差异，使得下游的神经元能够产生中心-外周型的感受野，从而提高平行输入信号间的差异，提高信噪比



4.2 视网膜结构与工作机理

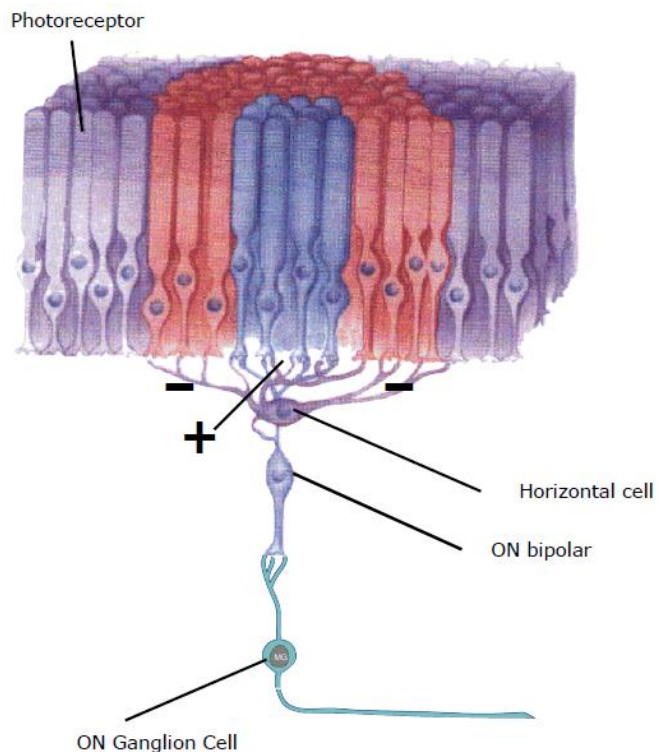
侧抑制现象

黑色矩形浅色边界的颜色要更浅一点，浅色矩形黑色边界的颜色要深一点



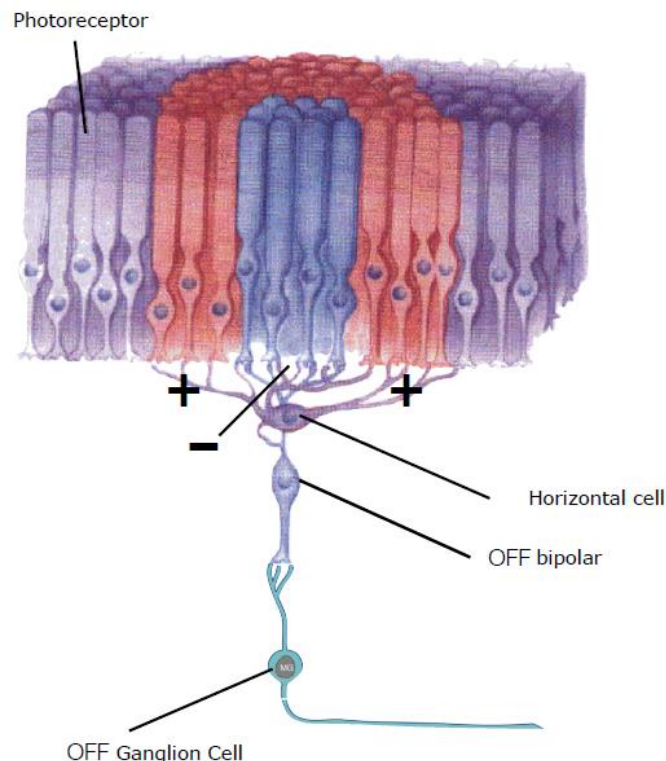
4.2 视网膜结构与工作机制

中心-外周型的感受野与滤波器核



On-center
Off-surround

0	-1	-1	-1	-1	0
-1	-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	7	7	-1	-1
-1	-1	7	7	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1	-1
0	-1	-1	-1	-1	0



Off-center
On-surround

0	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1
1	1	-7	-7	1	1
1	1	-7	-7	1	1
1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	0

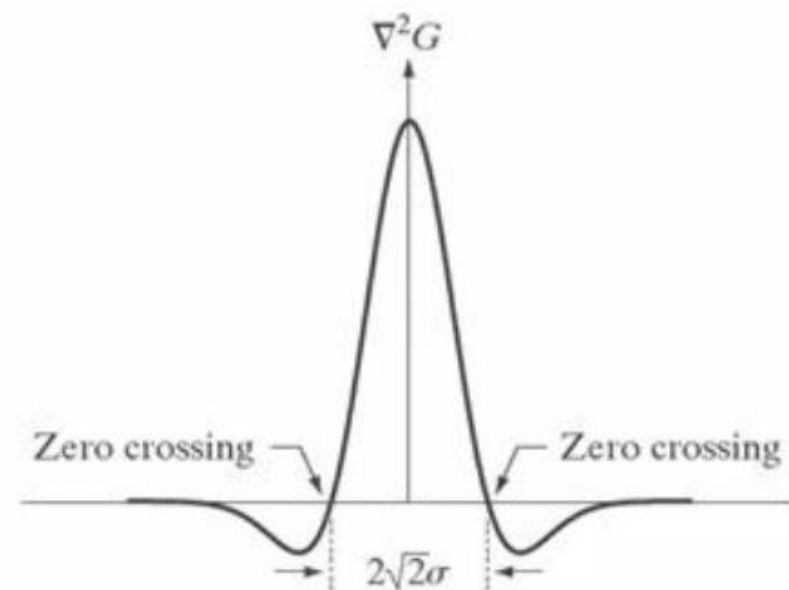
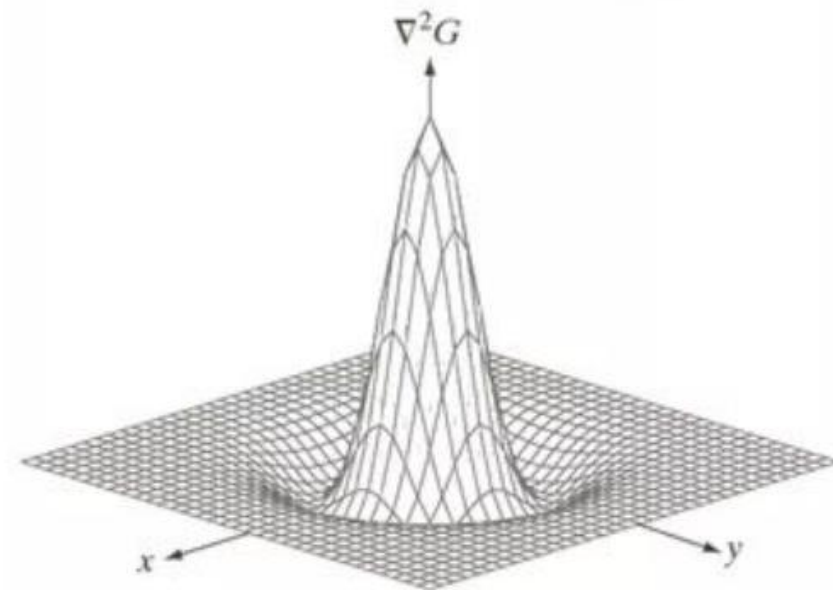
4.2 视网膜结构与工作机理

中心-外周型的感受野与滤波器核

高斯拉普拉斯算子 LoG

$$\nabla^2 G(x, y) = \left[\frac{x^2 + y^2 - 2\sigma^2}{\sigma^4} \right] e^{-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}}$$

0	0	-1	0	0
0	-1	-2	-1	0
-1	-2	16	-2	-1
0	-1	-2	-1	0
0	0	-1	0	0



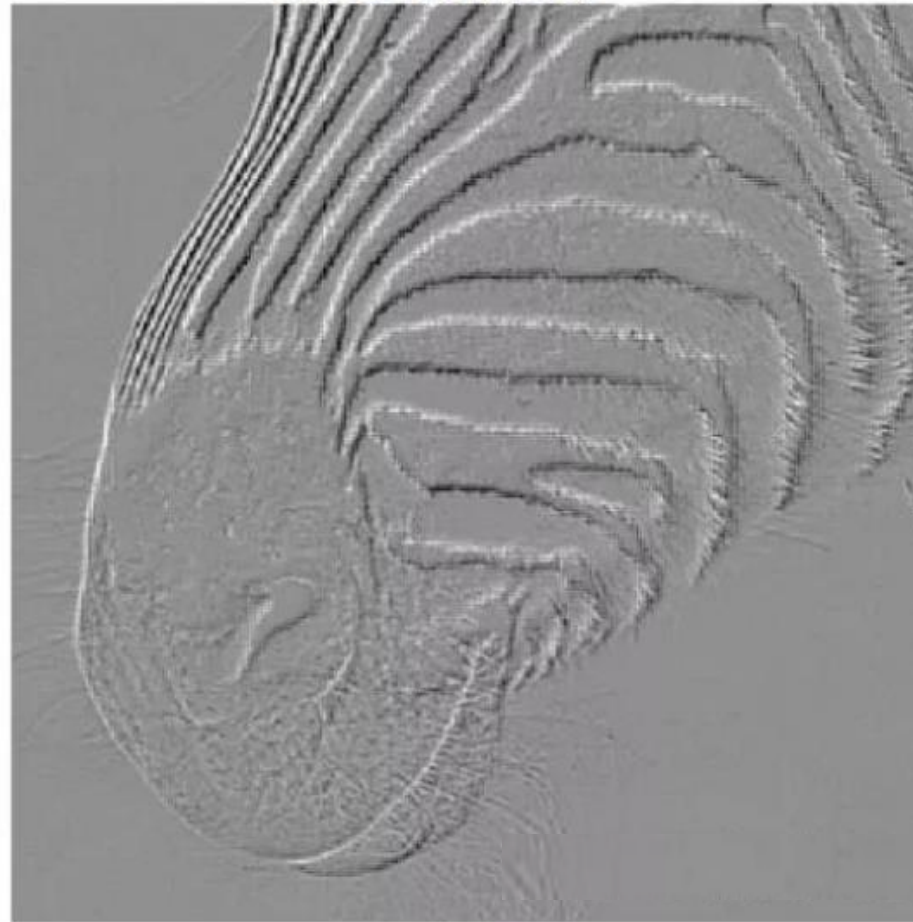
4.2 视网膜结构与工作机理

中心-外周型的感受野与滤波器核

Original



LoG-filtered



4.2 视网膜结构与工作机理

视网膜结构与计算机视觉系统不同之处:

- 相比于通常的相机输入，这些感光细胞并不是均匀地分布在图像上
- 感光细胞的密度随着距离中心视觉区的距离而下降，视网膜强调了我们要看的中心地方
- 视网膜传往大脑的输入图像，本质上已经是四种特征图
- 视网膜传往大脑的输入图像，本质上已经增强了输入信号间的差异，提高了对比度
- 在提供中心视觉高细节的同时，减少了大脑的计算负荷

1亿个感光细胞，但仅有约100万视神经

4.1 感觉与感知(*Sensation and Perception*)

4.2 视网膜结构与工作机理(*cerebral cortex functions*)

4.3 视觉的神经通路(*Compared with artificial neural networks*)

4.3 视觉的神经通路

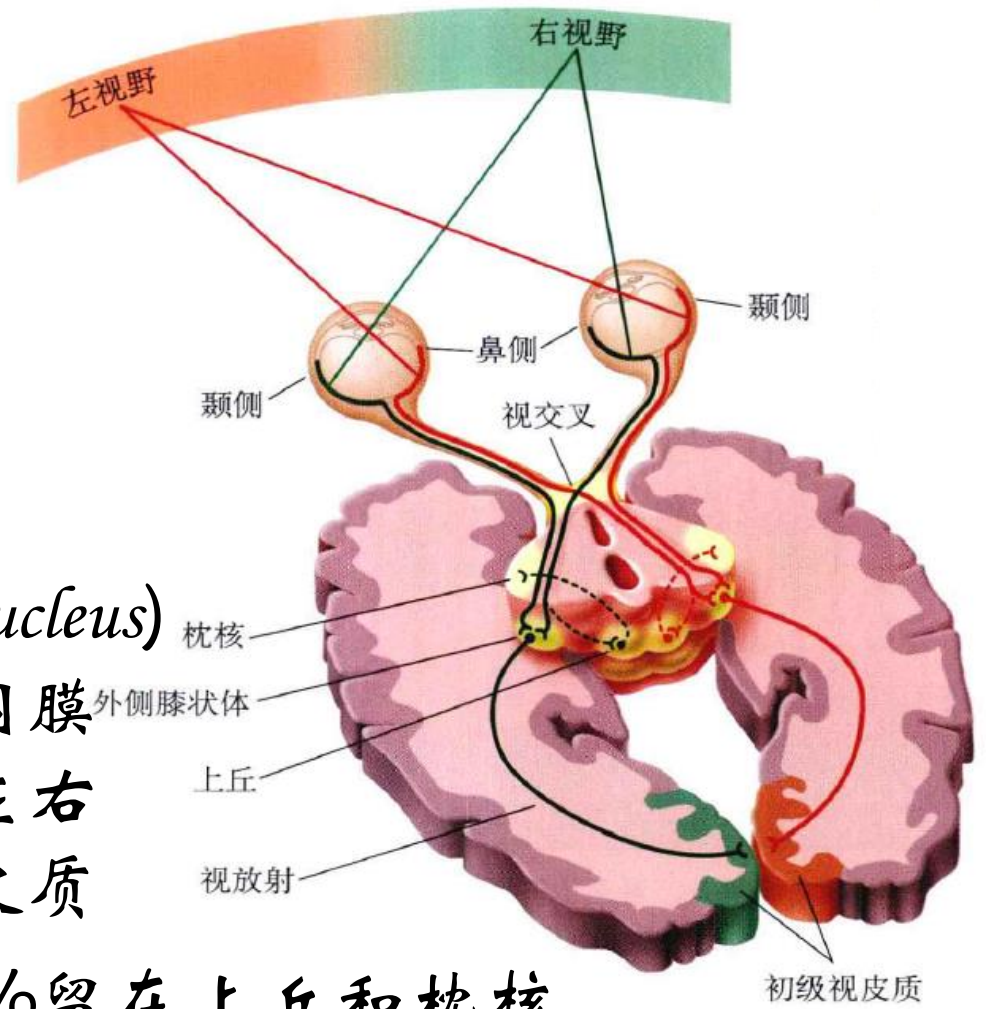
视觉信息传递的视神经通道

➤ 视场

- 左视场景象被投射到右半脑
- 右视场景象被投射到左半脑

➤ 视觉信息通道

- 外侧膝状体(LGN: *Lateral geniculate nucleus*)是处理视觉信息的主要中枢, 视网膜将神经元信息经过视交叉传递给左右LGN, 再投射到两个半球的视觉皮质
- 90%信息到枕叶初级视皮质, 10%留在上丘和枕核



4.3 视觉的神经通路

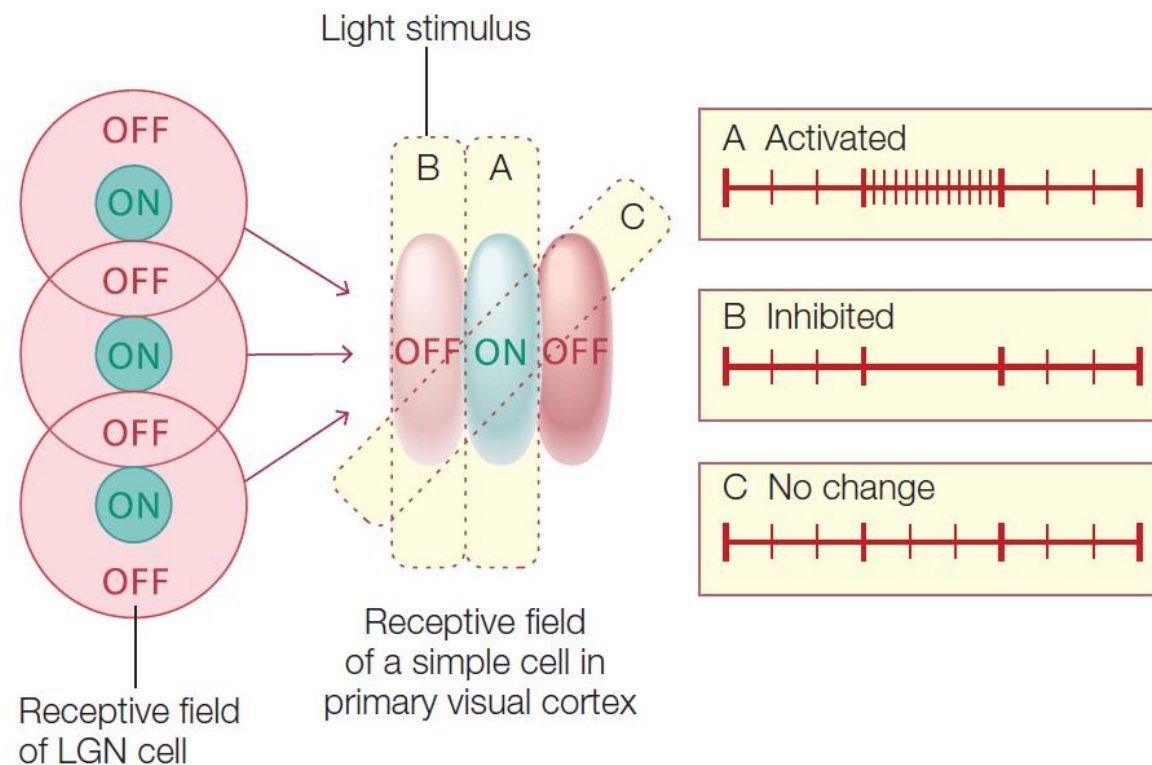
外侧膝状体(LGN)结构



4.3 视觉的神经通路

外侧膝状体(LGN)功能

- LGN细胞能够**检测空间朝向信息**，可能是因为它的**细胞树突野的分布模式是拉长的、有朝向的**
- 大约有**70%的LGN细胞具有空间朝向检测能力**，并且偏好相近朝向的细胞，**在空间上也聚集成团**，已经具有了一定的功能组织模式
- 大约有**1/3的LGN细胞具有运动方向检测能力**，并且此能力不是来自于皮质，而是**皮质下的早期发育结构**

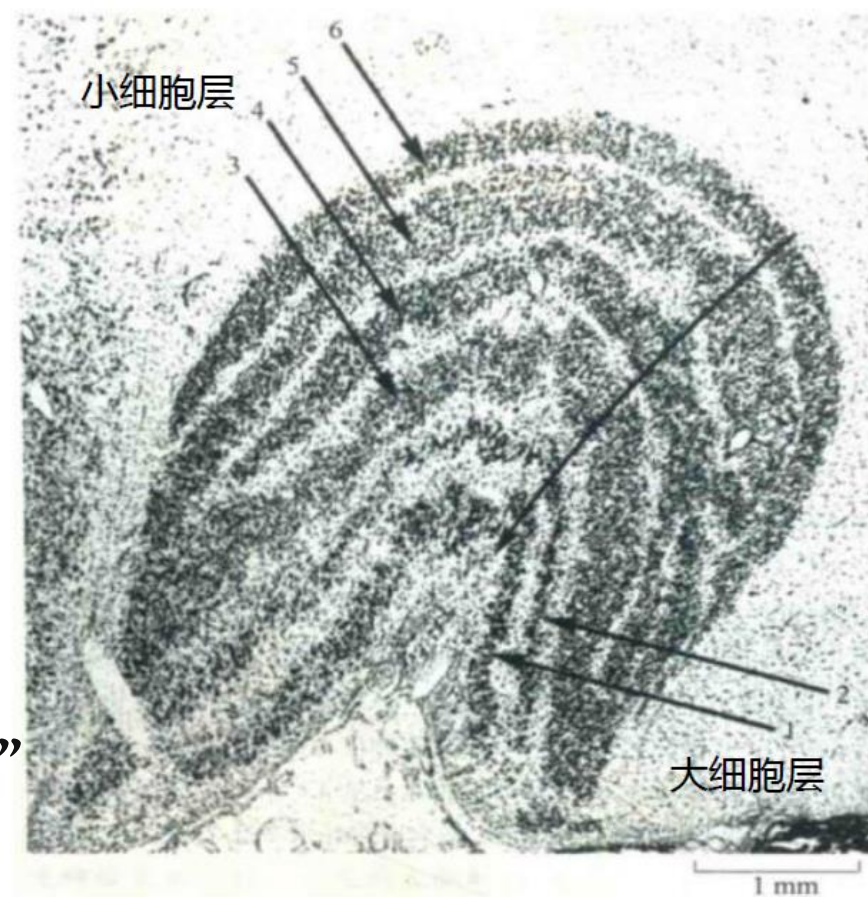


LGN是视觉信号传入大脑皮层的重要中继站，为初级视觉皮层的特征检测功能提供了最初的“种子”

4.3 视觉的神经通路

外侧膝状体(LGN)功能

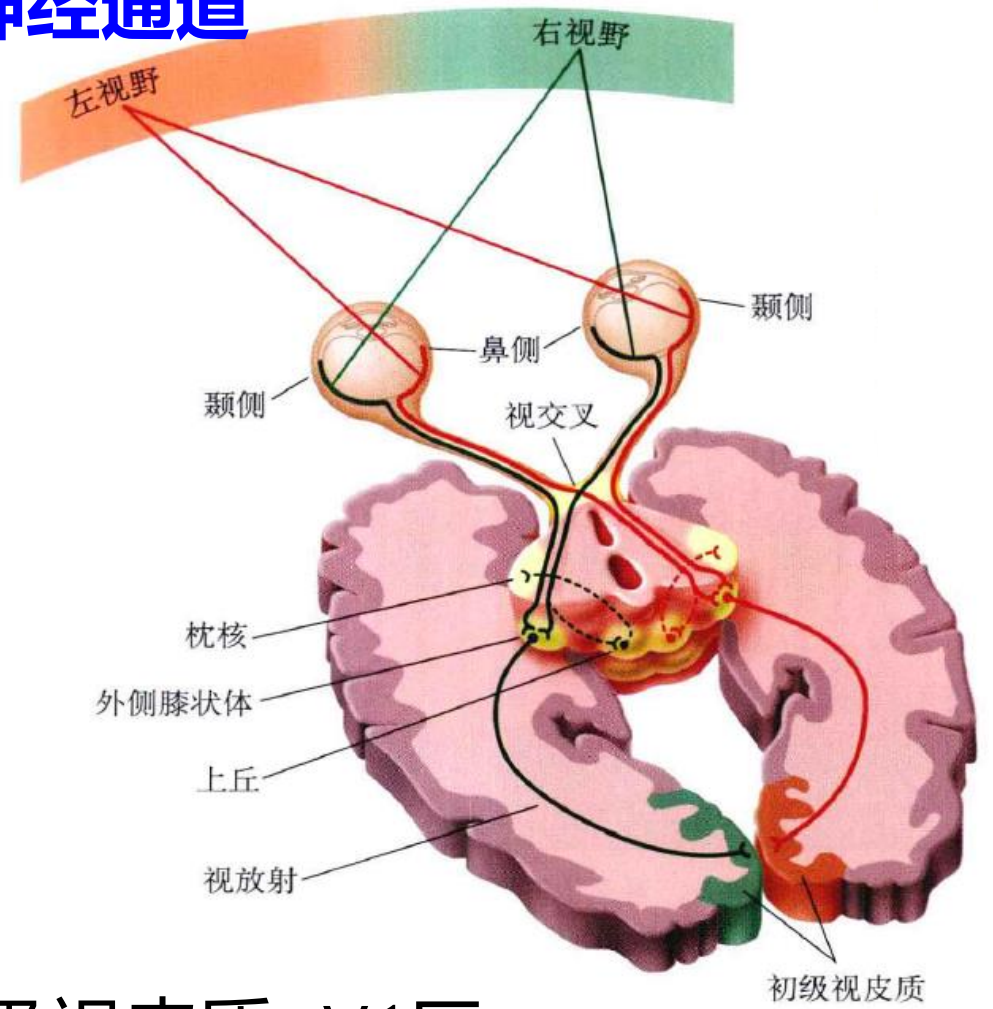
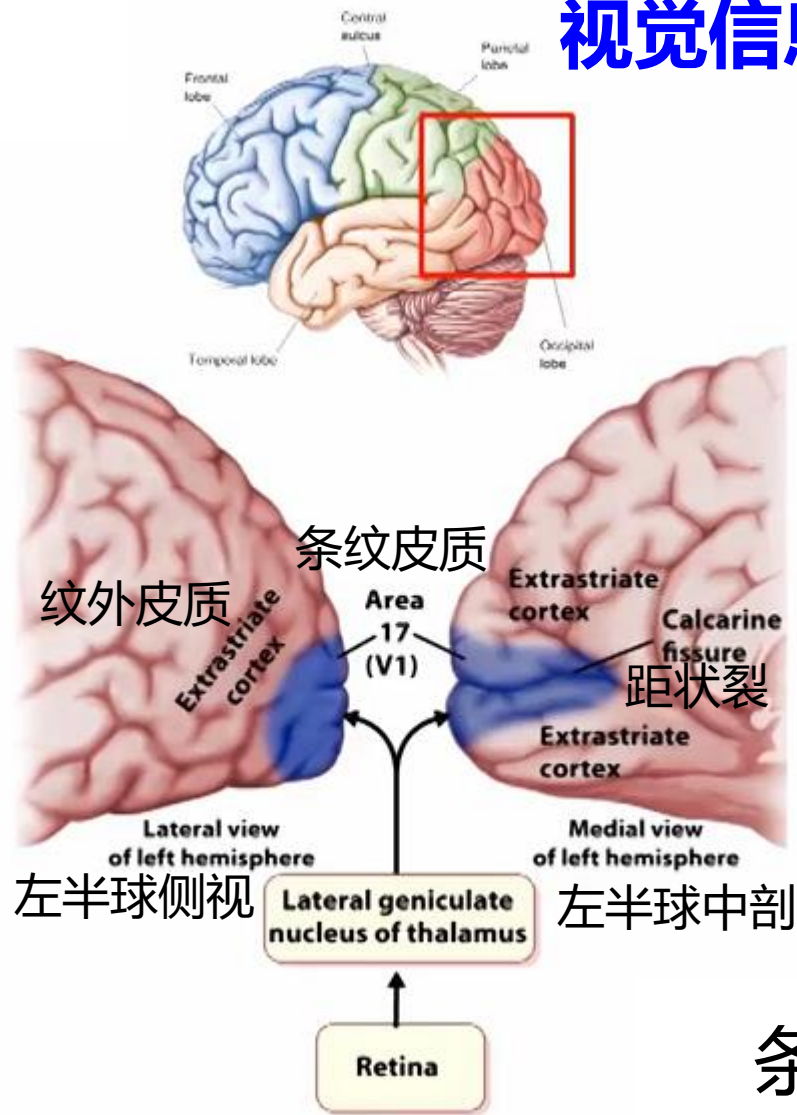
- P通路：视神经→外侧膝状体的3~6层，称为小细胞层，神经元感受野小，对物体的精细结构敏感，但对运动信息不敏感
- M通路：视神经→外侧膝状体的1、2层，称为大细胞层，感受野大，对运动的方向、速度信息很敏感，但是对物体的精细结构不敏感
- 大、小细胞就将输入的视觉信号分为两类，各自打包向皮层传输，从而实现了“双通道并行”的模式



这种并行模式，使得后续视觉皮层检测多种视觉特征信息变得更加容易

4.3 视觉的神经通路

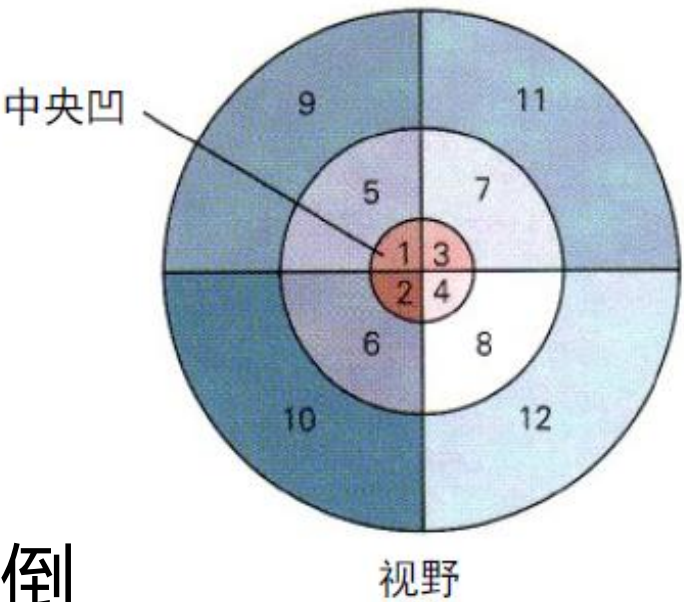
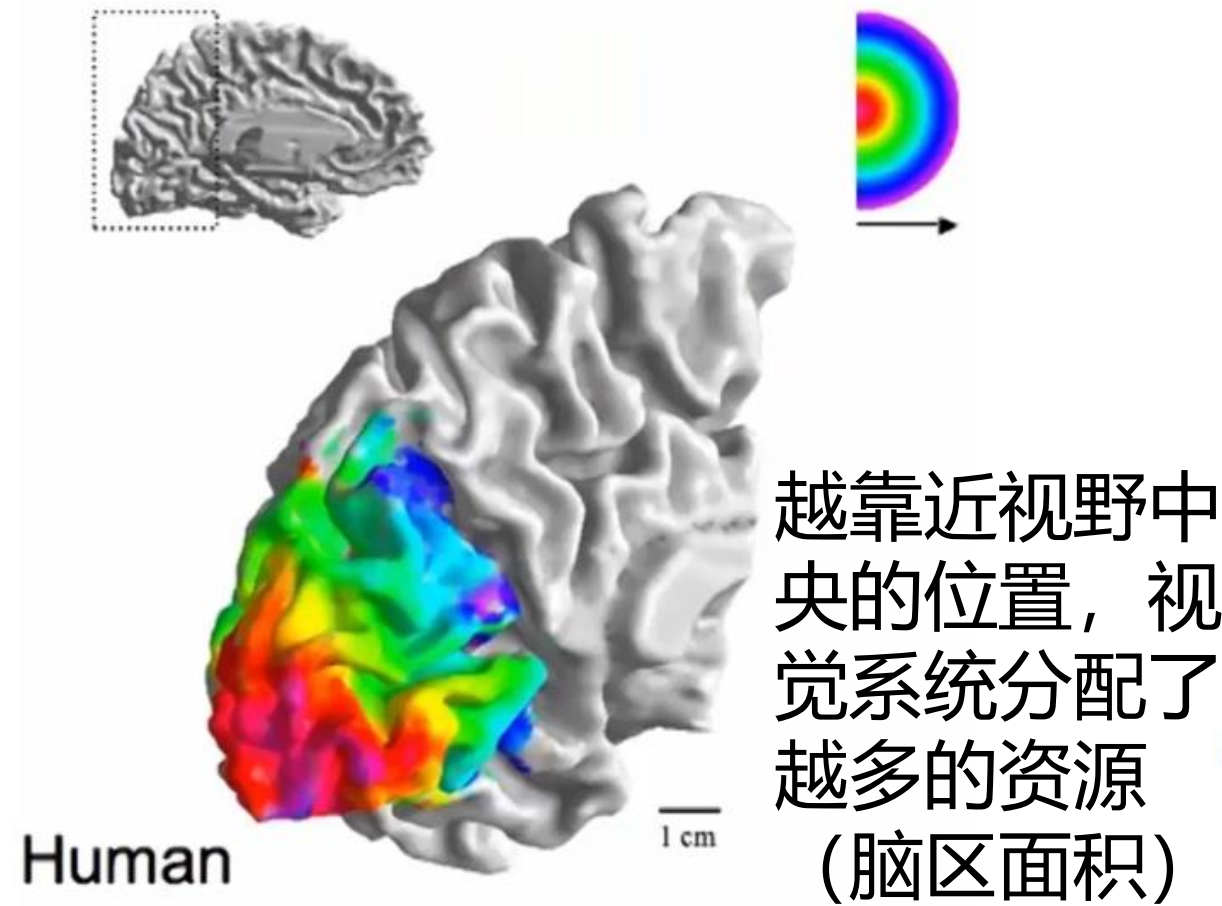
视觉信息传递的视神经通道



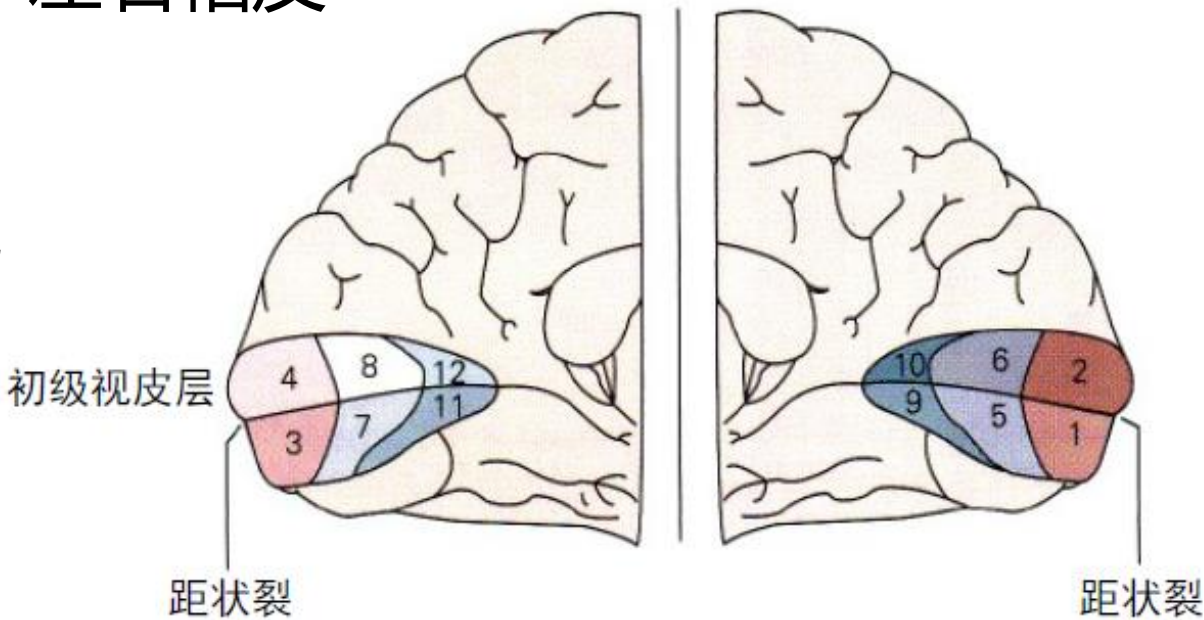
条纹皮质=初级视皮质=V1区

4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视网膜拓扑投射图



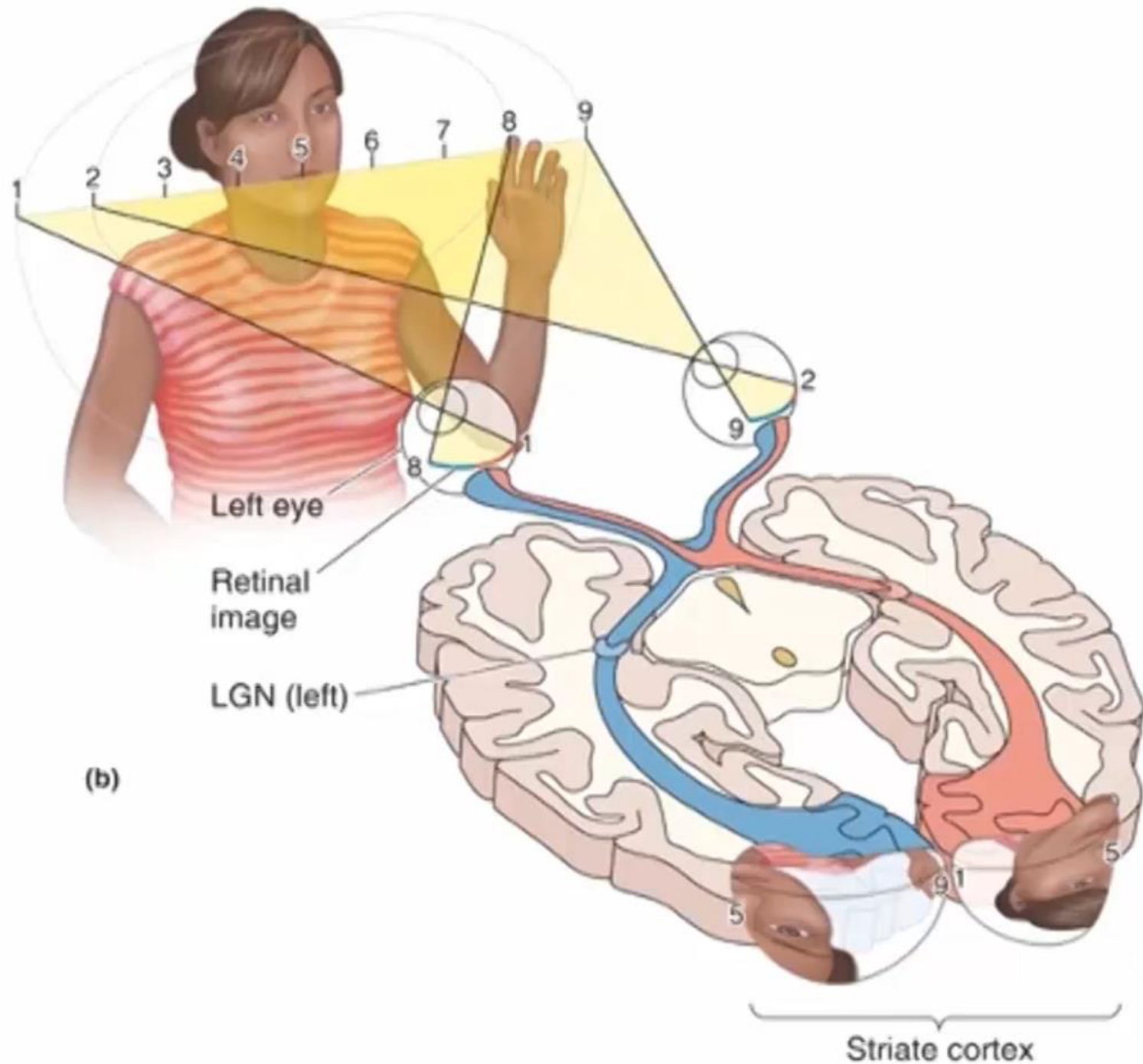
上下颠倒
左右相反



4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视网膜 拓扑投射图

上下颠倒
左右相反

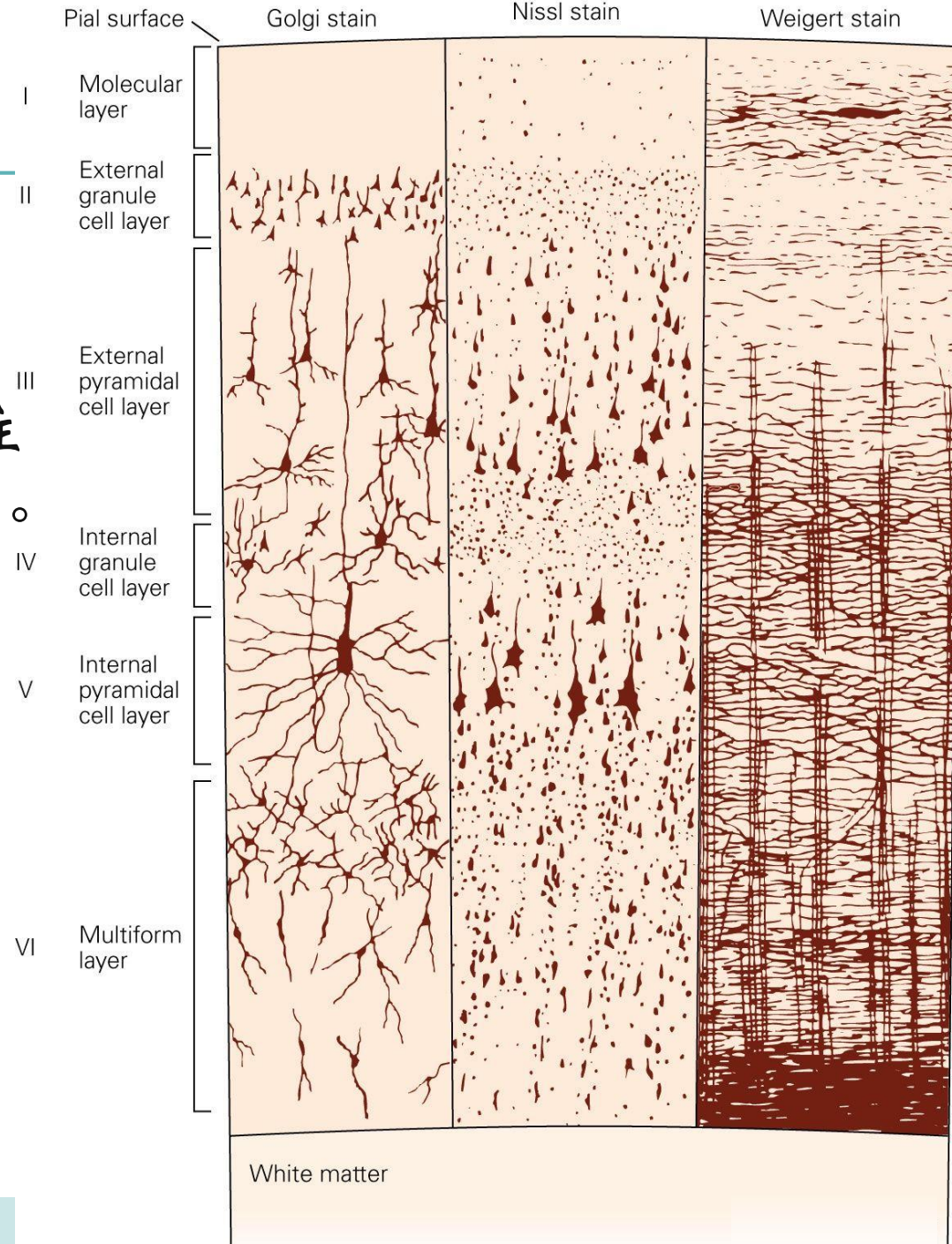


4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

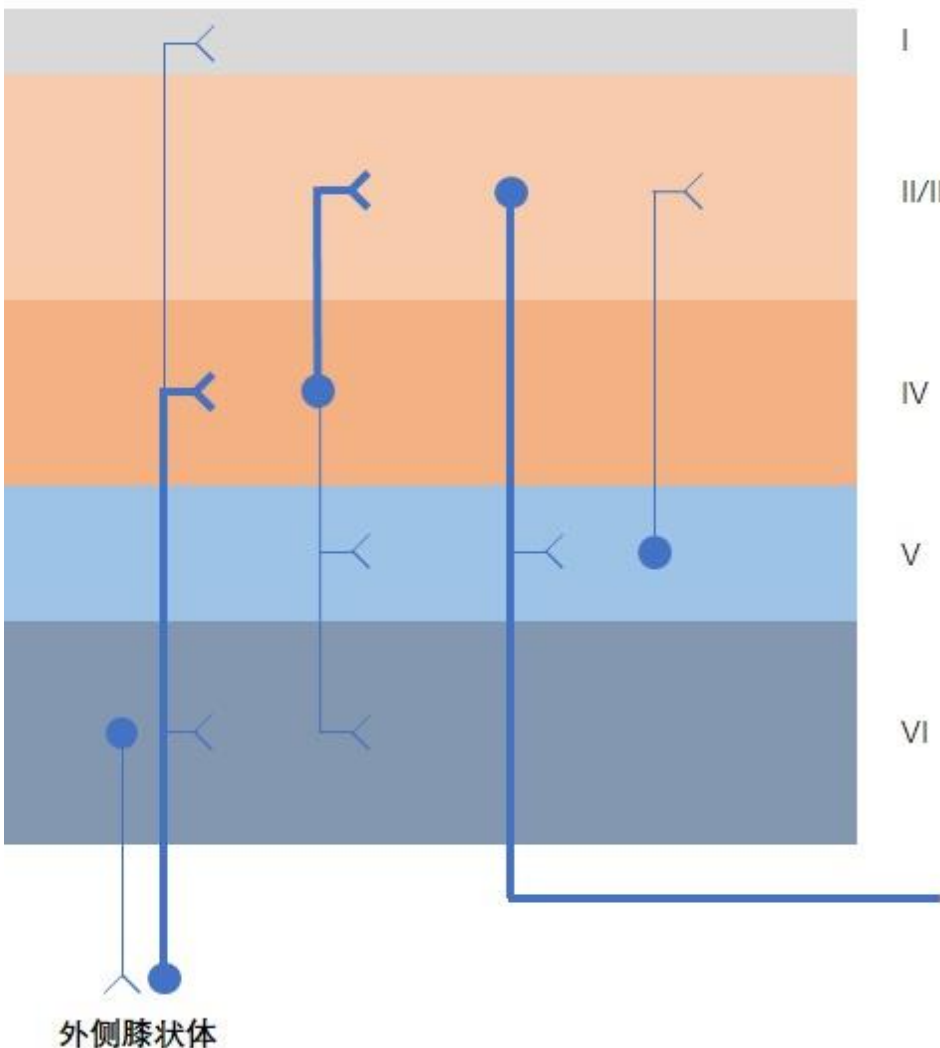
➤ 大脑皮质一共分成6层

- 第1层主要是神经纤维网，细胞密度比较低，主要接收其他皮层区域自上而下的“反馈”连接。
- 第2、3层细胞密度比较高，主要参与向大脑皮层各区域的、由低向高的“前馈”连接。
- 第4层主要接收大脑其他区域（除了皮层，也包括皮层下区域，如丘脑、下丘脑、中脑、基底神经节等）投射上来的信号。
- 第5层除了参与皮层各区域之间的远程连接以外，也向皮层下区域投射信号。
- 第6层既可以接收其他皮层区域的“反馈”，也可以向丘脑发送“反馈”信号。



4.3 视觉的神经通路

初级视觉皮层



层

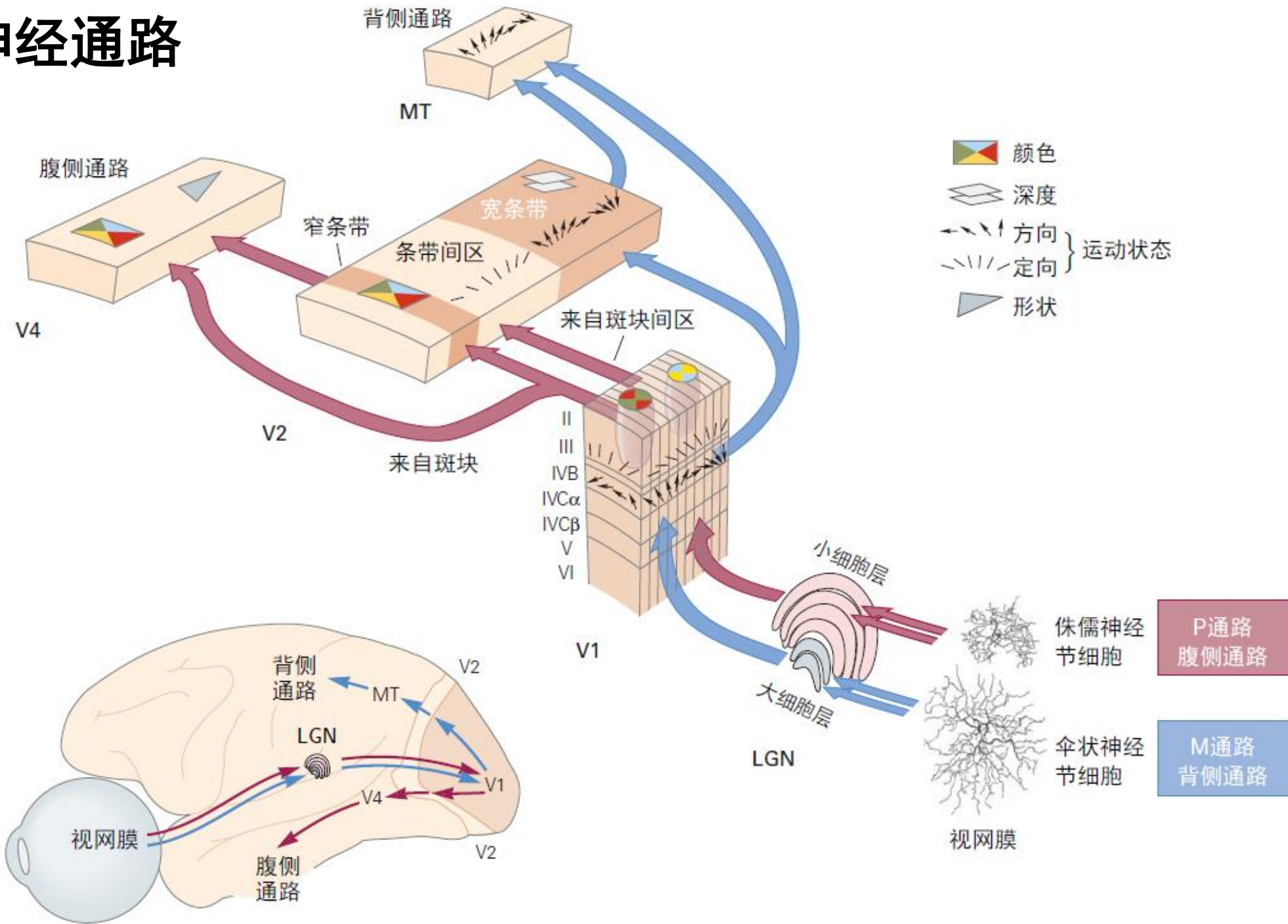
初级视皮质的视觉信号传递

➤ 初级视皮质的信息传递

- 外侧膝状体将视觉信号传入初级视皮质第4层（也有少量传至第1、6层）
- 初级视皮质第4层的细胞，向第2、3层传递强烈的信号（同时也弱弱地向第5、6层传递信号）
- 第2、3层细胞向第5层传递信号，同时第5层又把信号传回第2、3层（网络逐渐复杂了起来）
- 第2、3层向其他脑区传递了强烈的视觉信号，从此，经过2、3层处理的视觉信号离开了初级皮质，到达更高级的皮质区域
- 第6层向外侧膝状体传递了自上而下的“反馈”信号

4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递
(双通道传递)

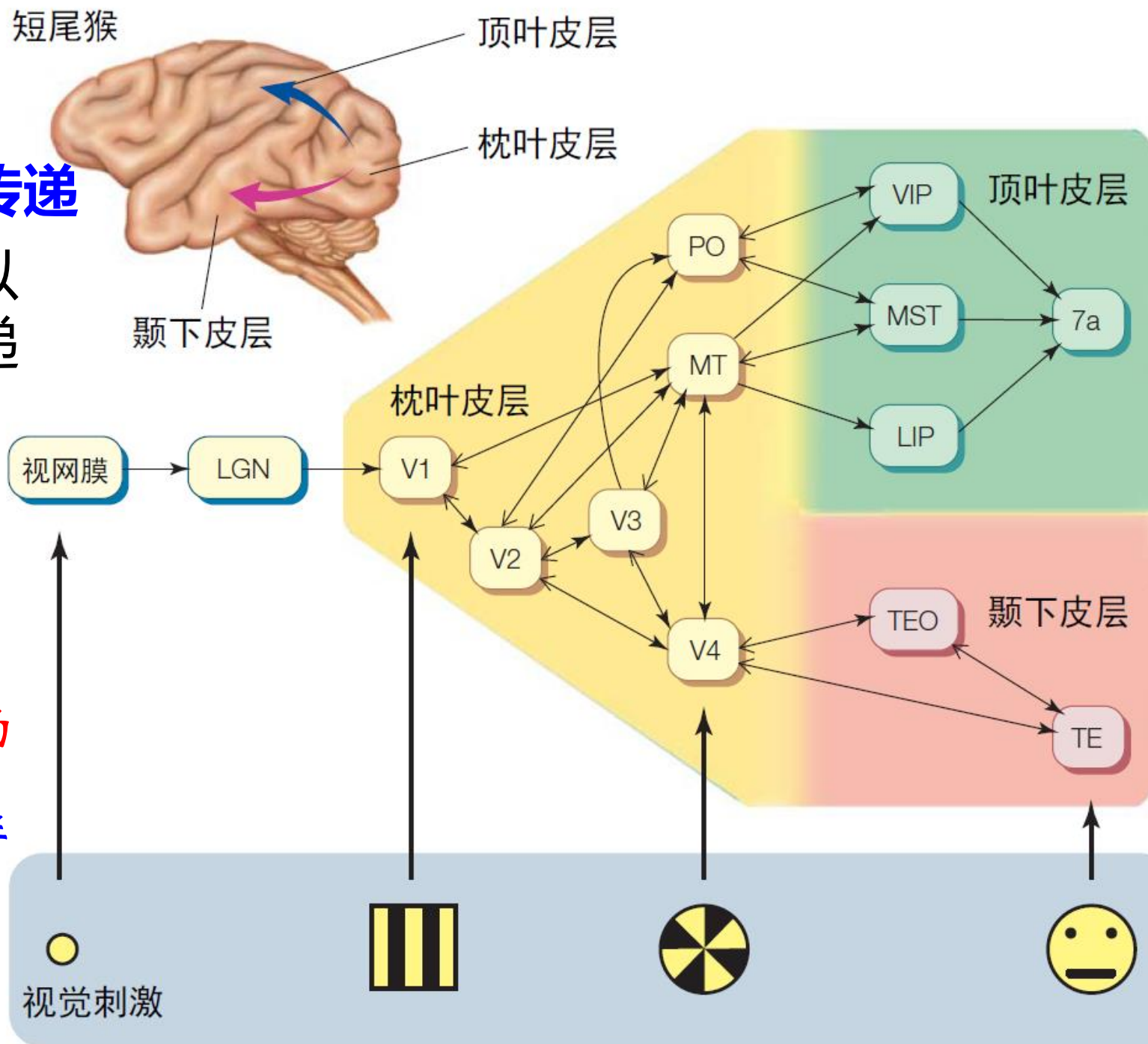


4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

➤ 视觉信号特征在视皮质以既并行又串行的方式传递

- 视皮质的基本结构和功能单位是**柱状的**
- 视皮质不同层次细胞功能**专一化**
- 视皮质结构和功能是**多元的**
- 视觉信息的**整合**是在**几个并行的系统间**进行的

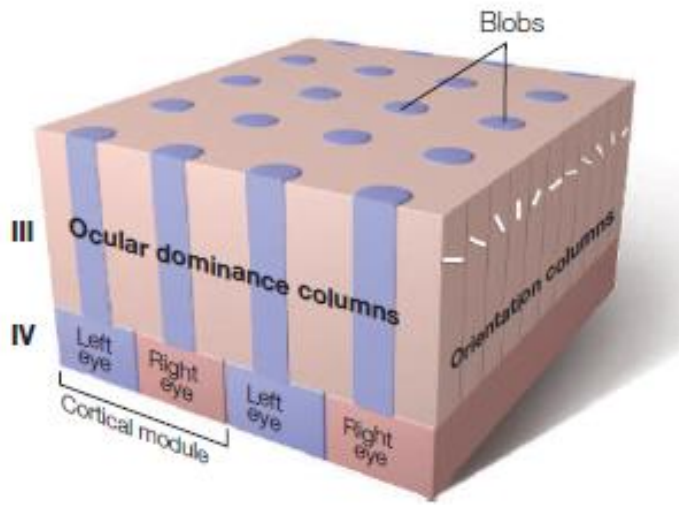
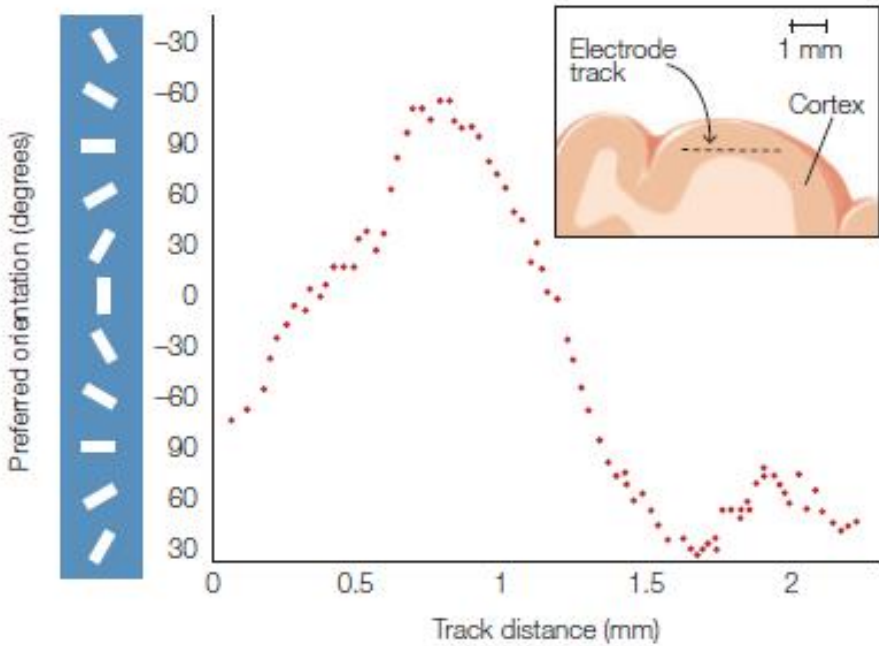
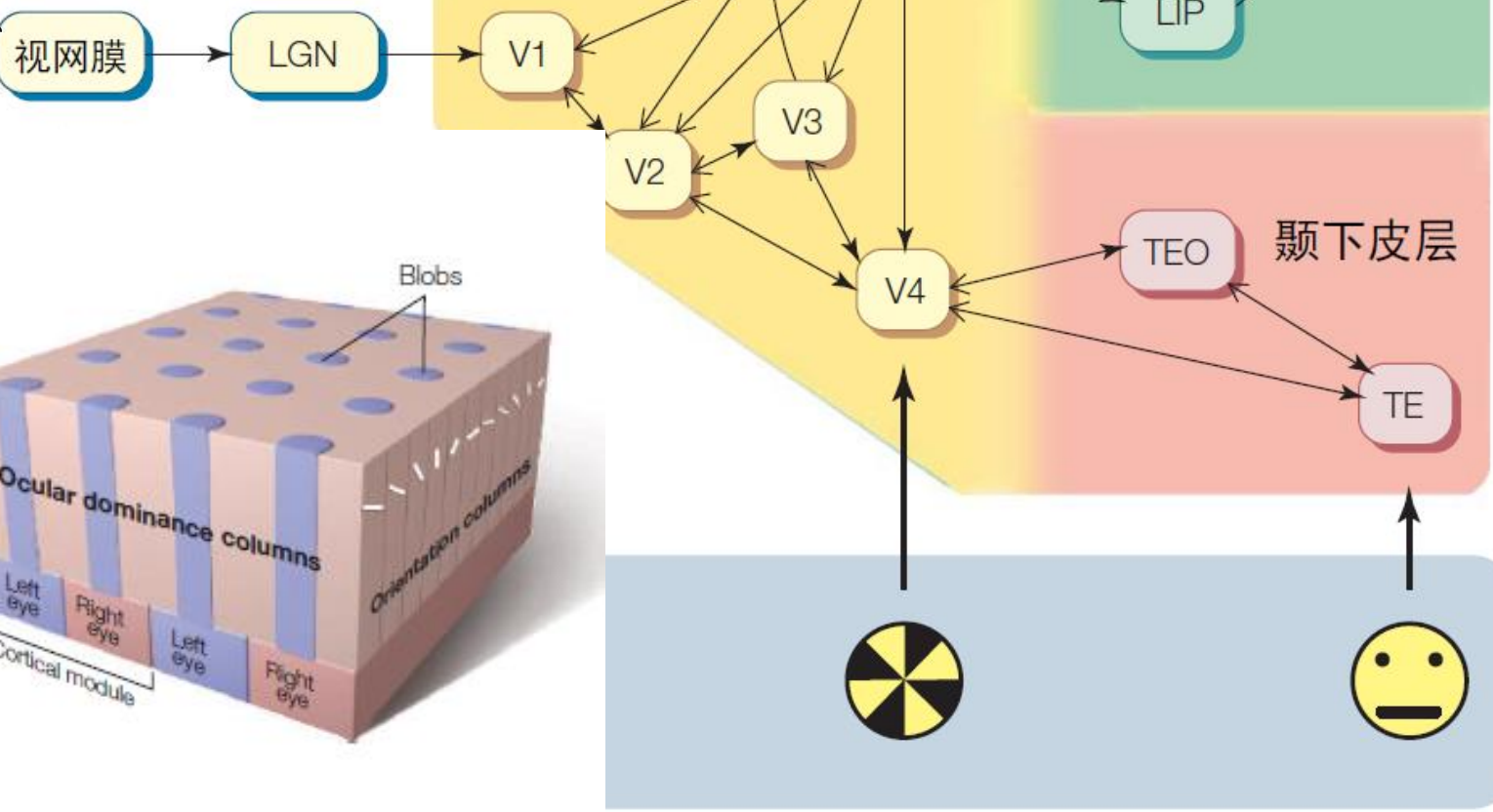
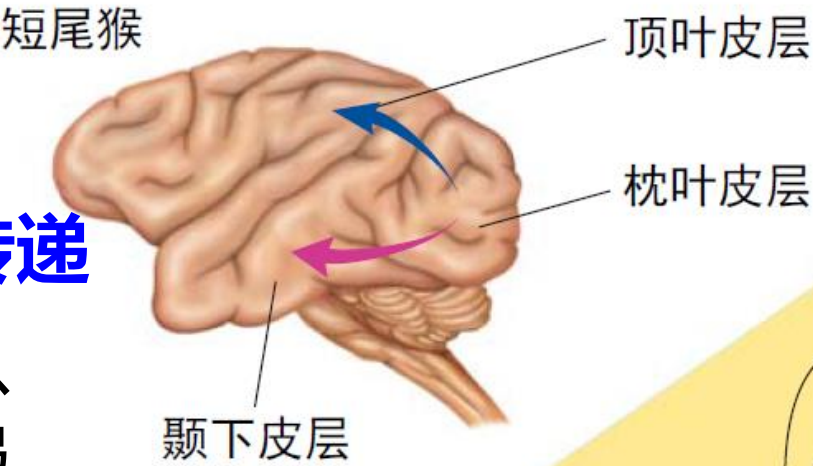


4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

➤ 视觉信号特征在视皮质以既并行又串行的方式传递

- V1: 编码边缘、线条等简单特征，只对特定方向有反应

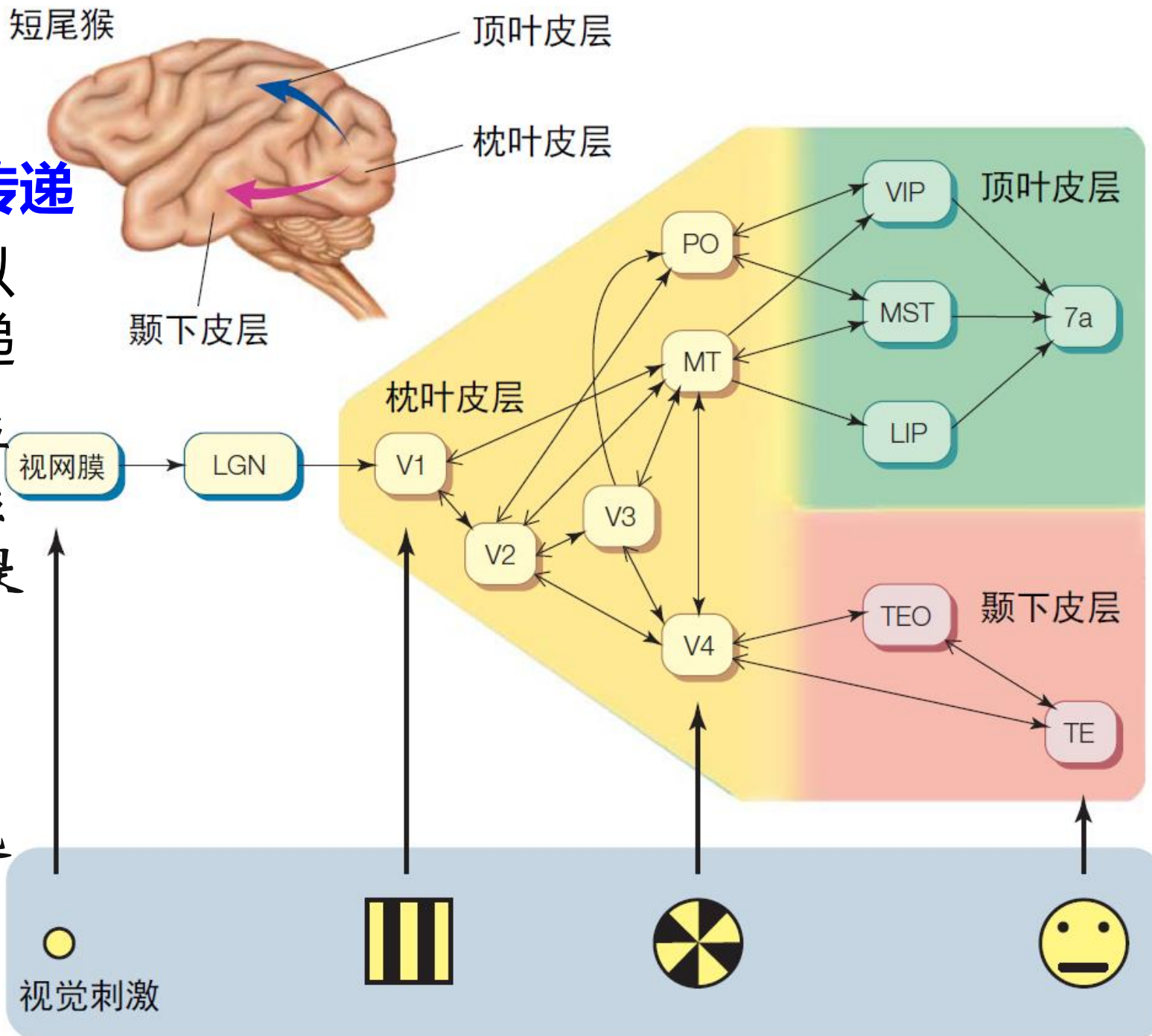


4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

➤ 视觉信号特征在视皮质以既并行又串行的方式传递

- V1: 编码边缘、线条等简单特征，只对特定方向有反应
- V2: 对错觉轮廓有反应，是色调敏感区
- V3: 视觉信息传递
- V4: 色彩感知的主要区域，参与曲率计算、运动方向选择和背景分离
- MT: 运动知觉



4.3 视觉的神经通路

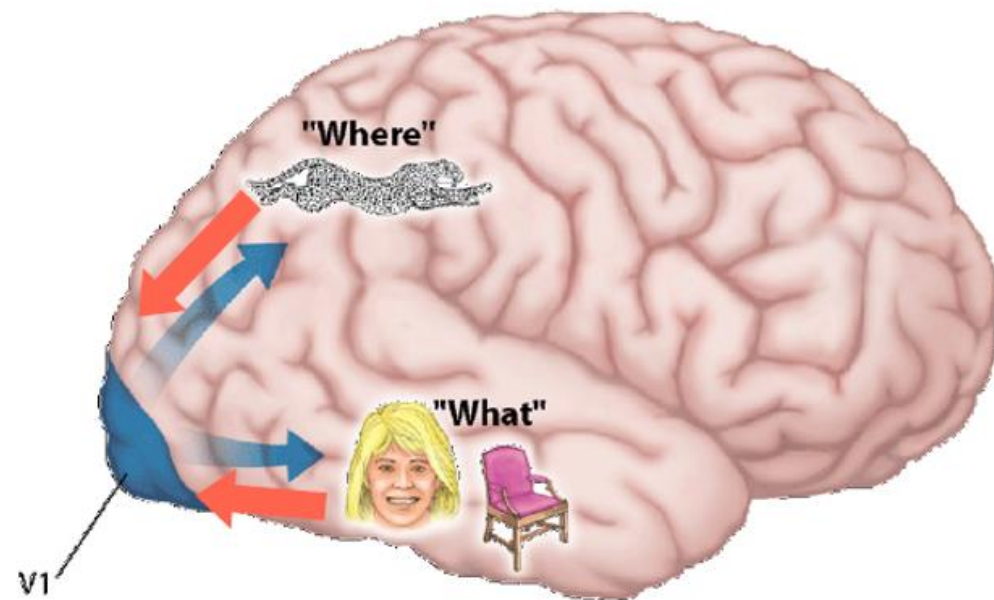
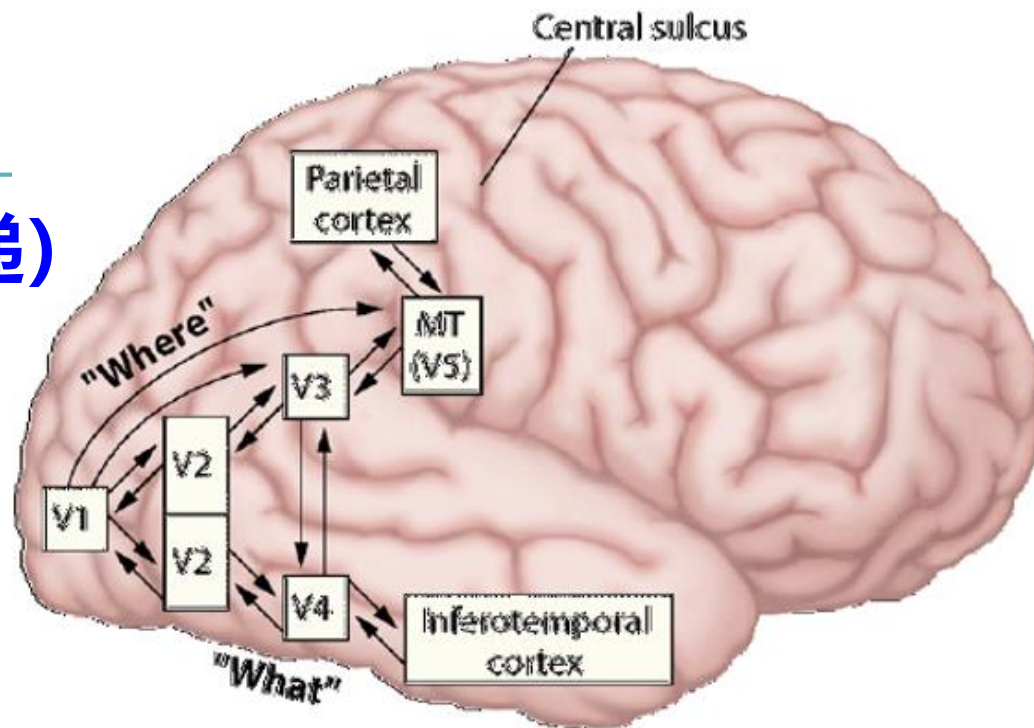
初级视皮质的视觉信号传递（双通道传递）

➤ 背侧通路/空间通路(where pathway)

- 功能：处理运动和深度信息
- 输入：视神经M通路
- 途径：V1 → V2 → V3 → MT
- 输出：顶叶皮质

➤ 腹侧通路/内容通路(what pathway)

- 功能：处理形态和颜色信息
- 输入：视神经M和P通路
- 途径：V1 → V2 → V4
- 输出：颞下皮质

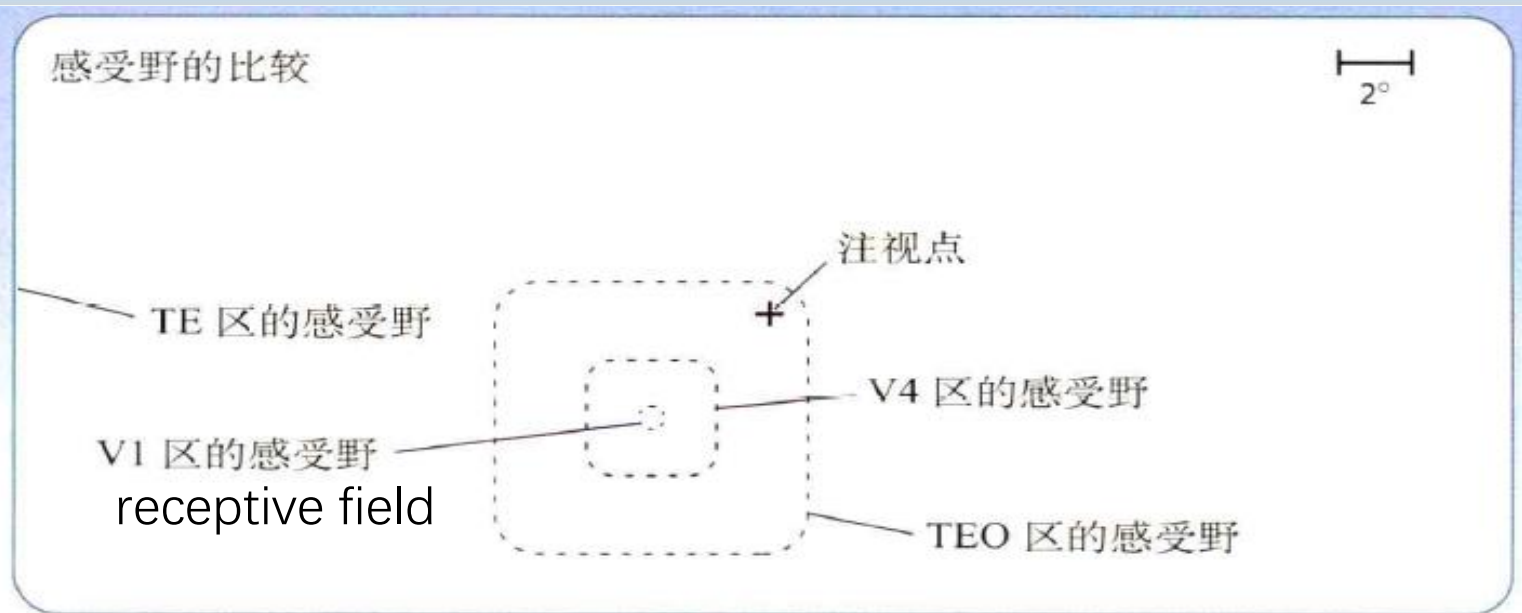
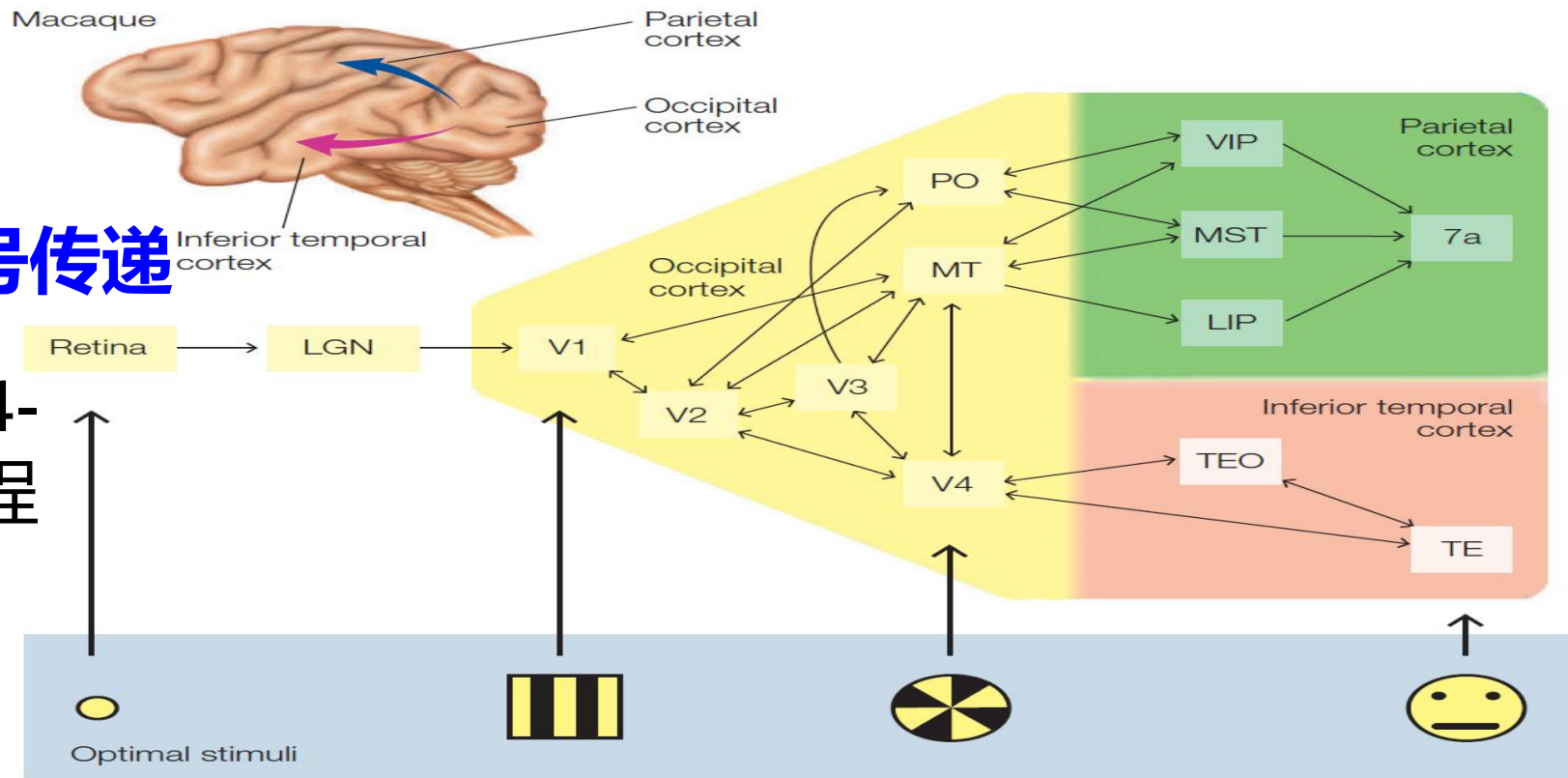


4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

➤ 视觉信息从V1-V2-V4-TEO-TE逐层处理过程中：

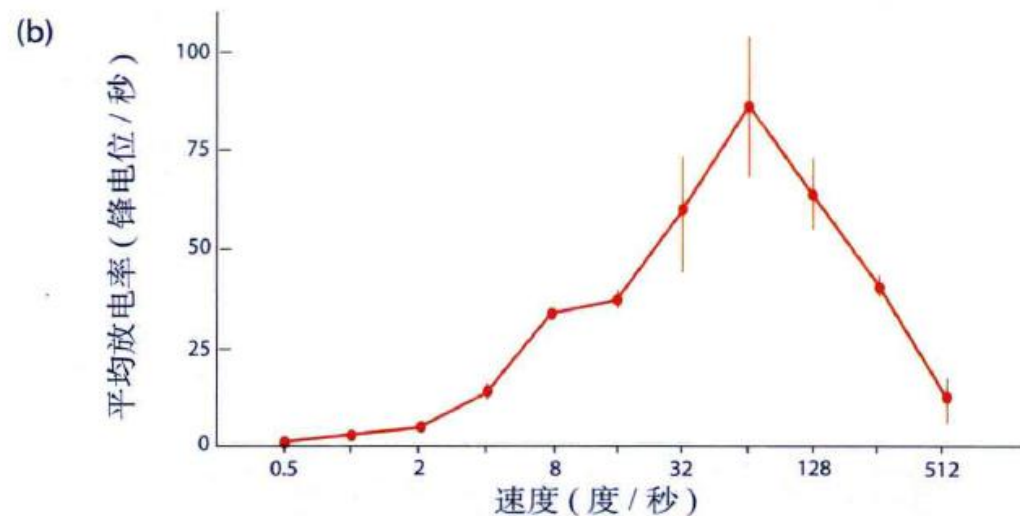
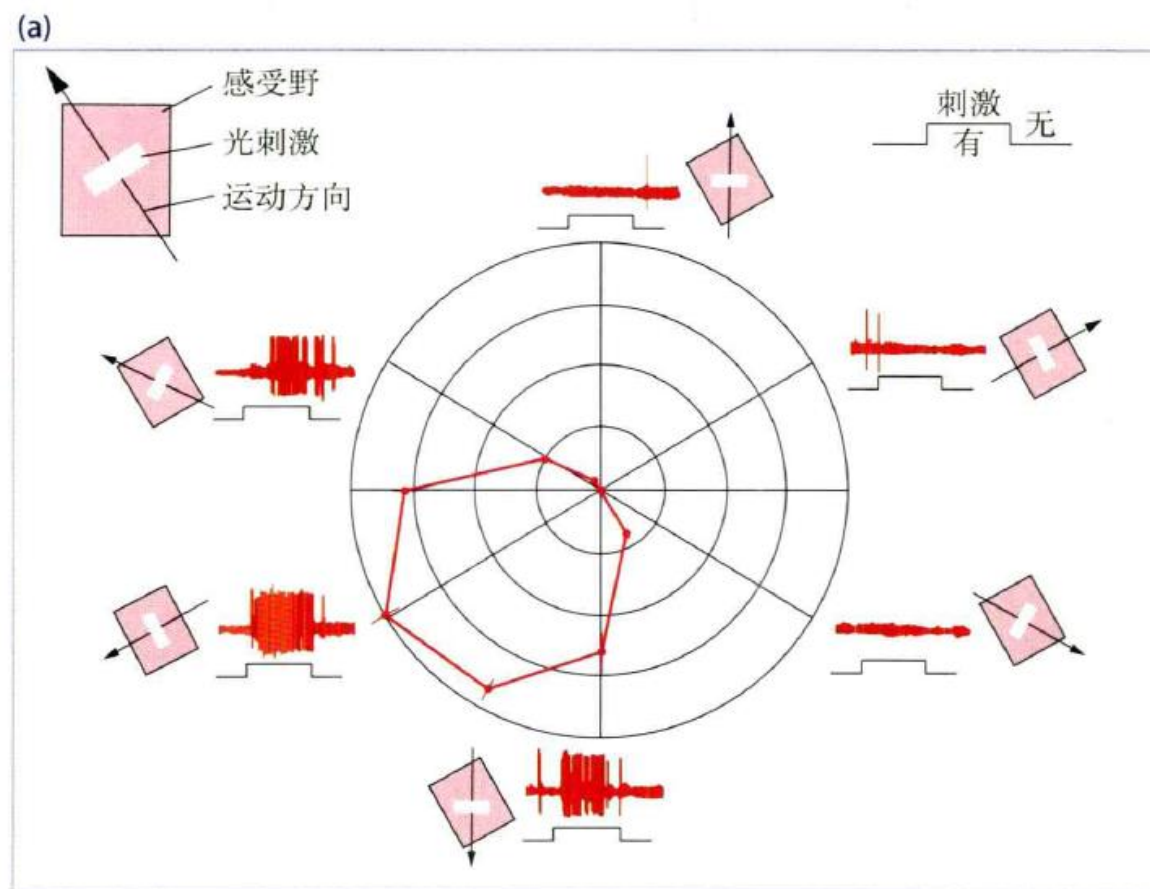
- 对应的神经元感受野越来越大
- 高级别的神经元将信息集成在具有较小感受野多个低级神经元上



4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

- MT: 物体空间
运动、运动方向

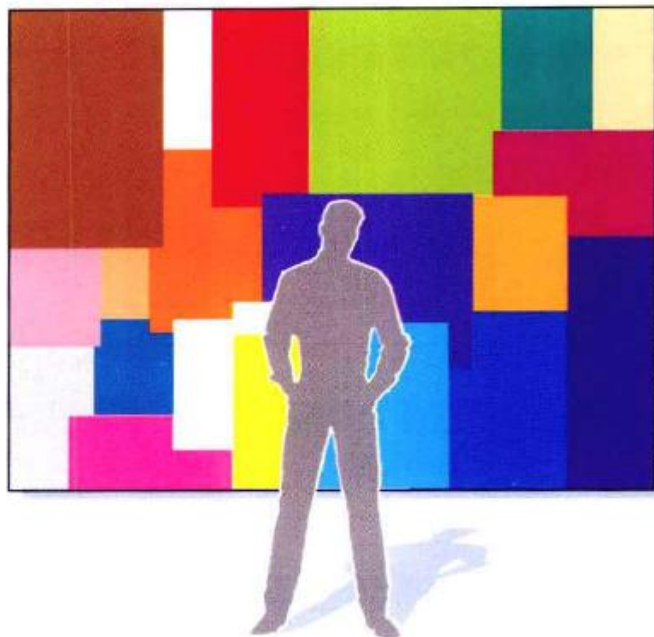


4.3 视觉的神经通路

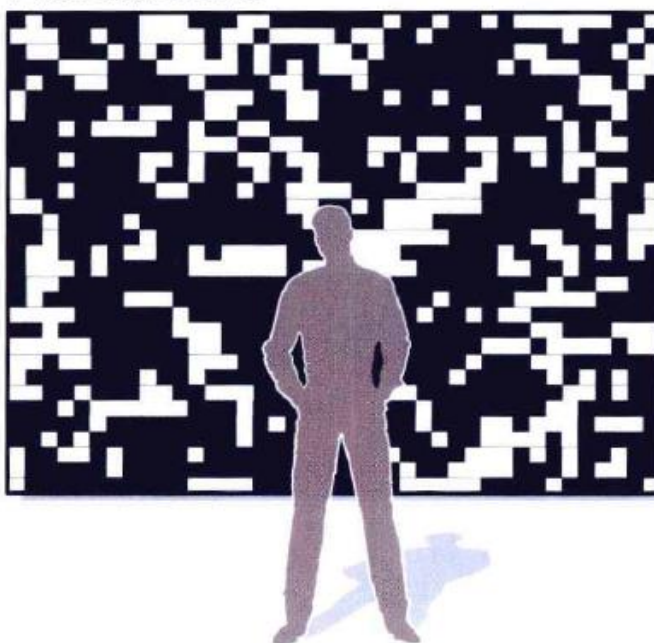
初级视皮质的视觉信号传递

- 对正常人的脑功能成像研究显示
 - 输入的颜色视觉信息可导致 V4 区被激活
 - 输入的运动视觉信息可导致 MT 区被激活

(a) 颜色呈现



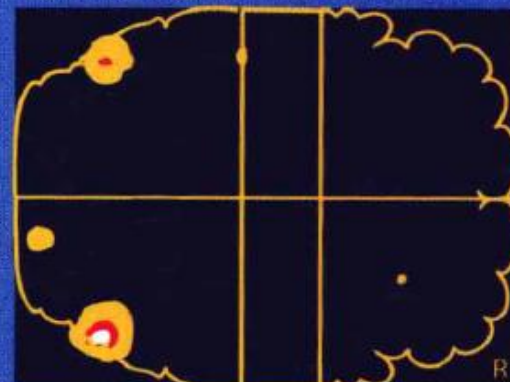
(b) 运动方块结构



(a) 颜色呈现



(b) 运动方块



(c) 两种刺激



4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

V1受伤,
局部缺失



(a) Hemianopia



(b) Scotoma



(c) Quadrantanopia



4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

- V4受伤，无色视觉
 - 与普通色盲不同，全色盲是由中枢神经系统（V4区为主）受损引起的，症状为对所有颜色均无法形成知觉
 - 全色盲患者对深度和纹理知觉保持正常，因此仍能辨认出物体



4.3 视觉的神经通路

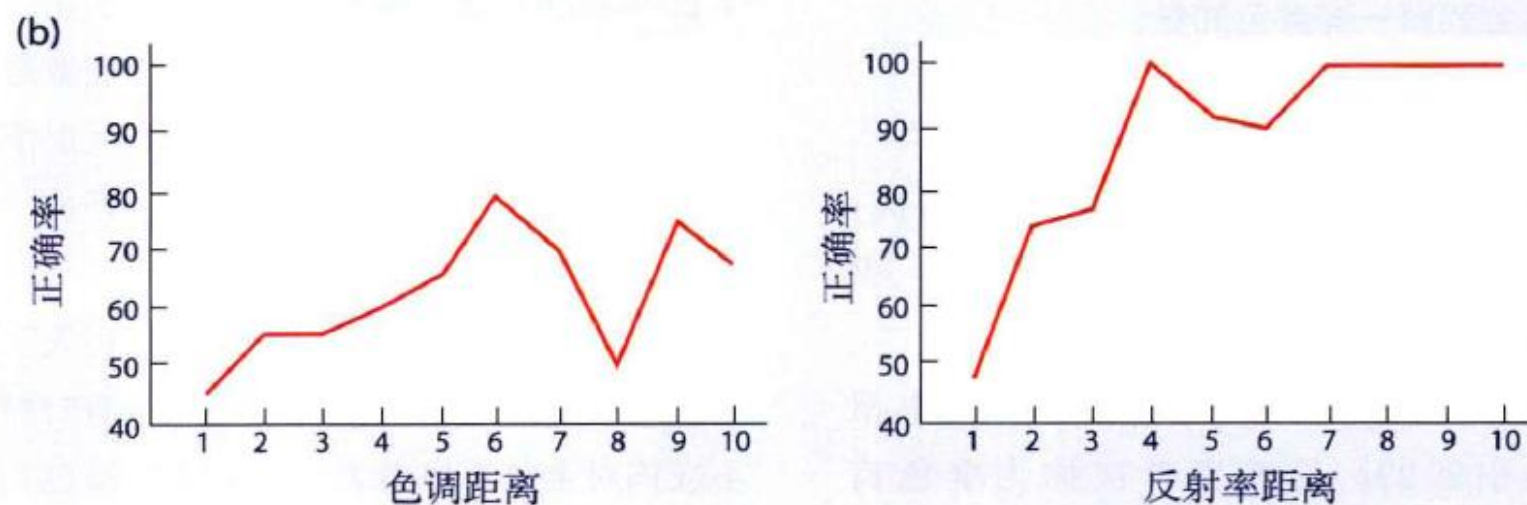
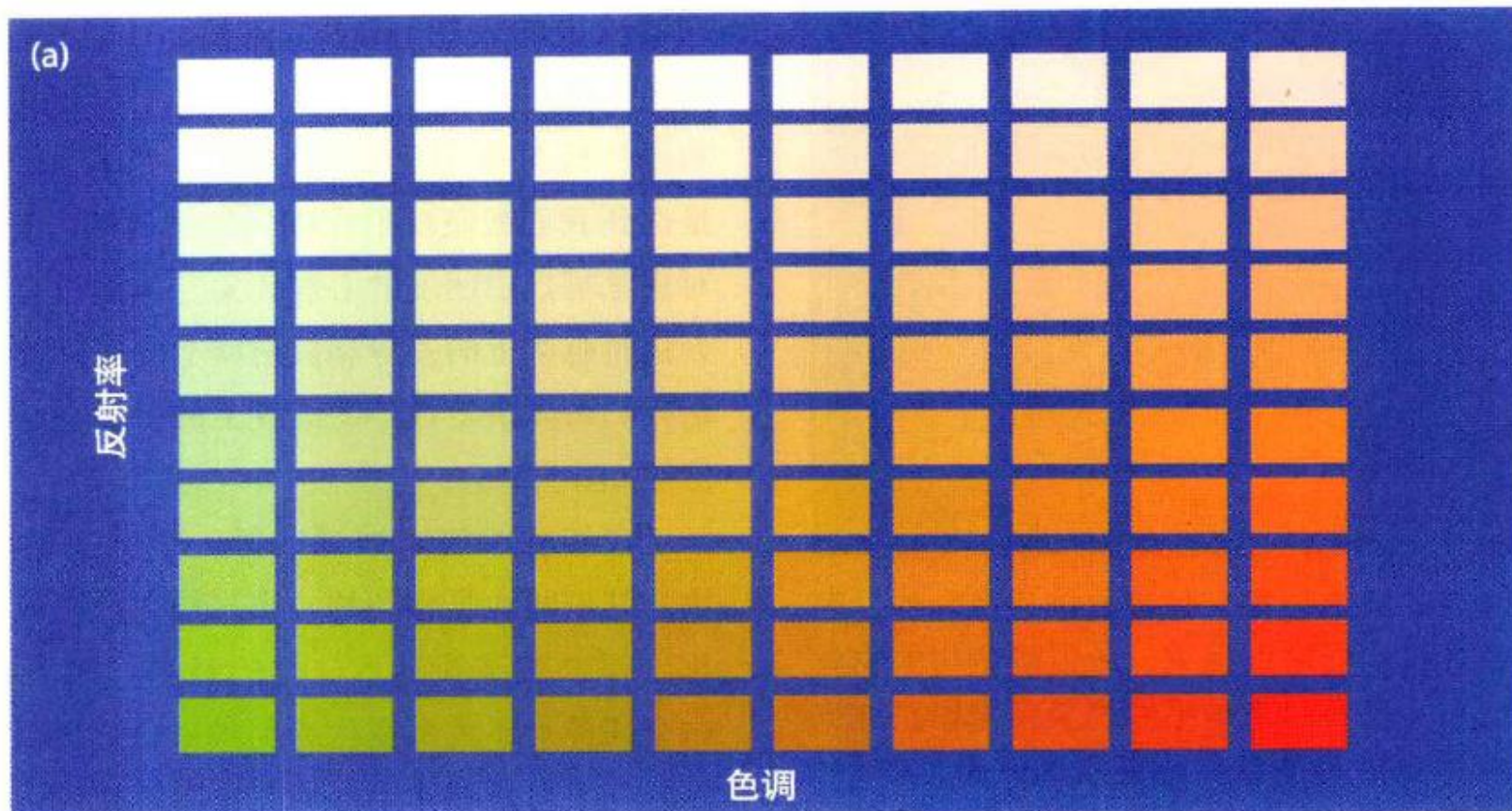
初级视皮质的视觉信号传递

- V4区不光与颜色信息处理密切相关，而且是参与形状知觉的次级视觉区
 - 颜色可提供物体形状的重要信息
 - 画家在用色上可通过颜色对比、阴影、轮廓产生形状
 - ✓ 比如达芬奇、毕加索等

4.3 视觉的神经

初级视皮质的视觉信号传递

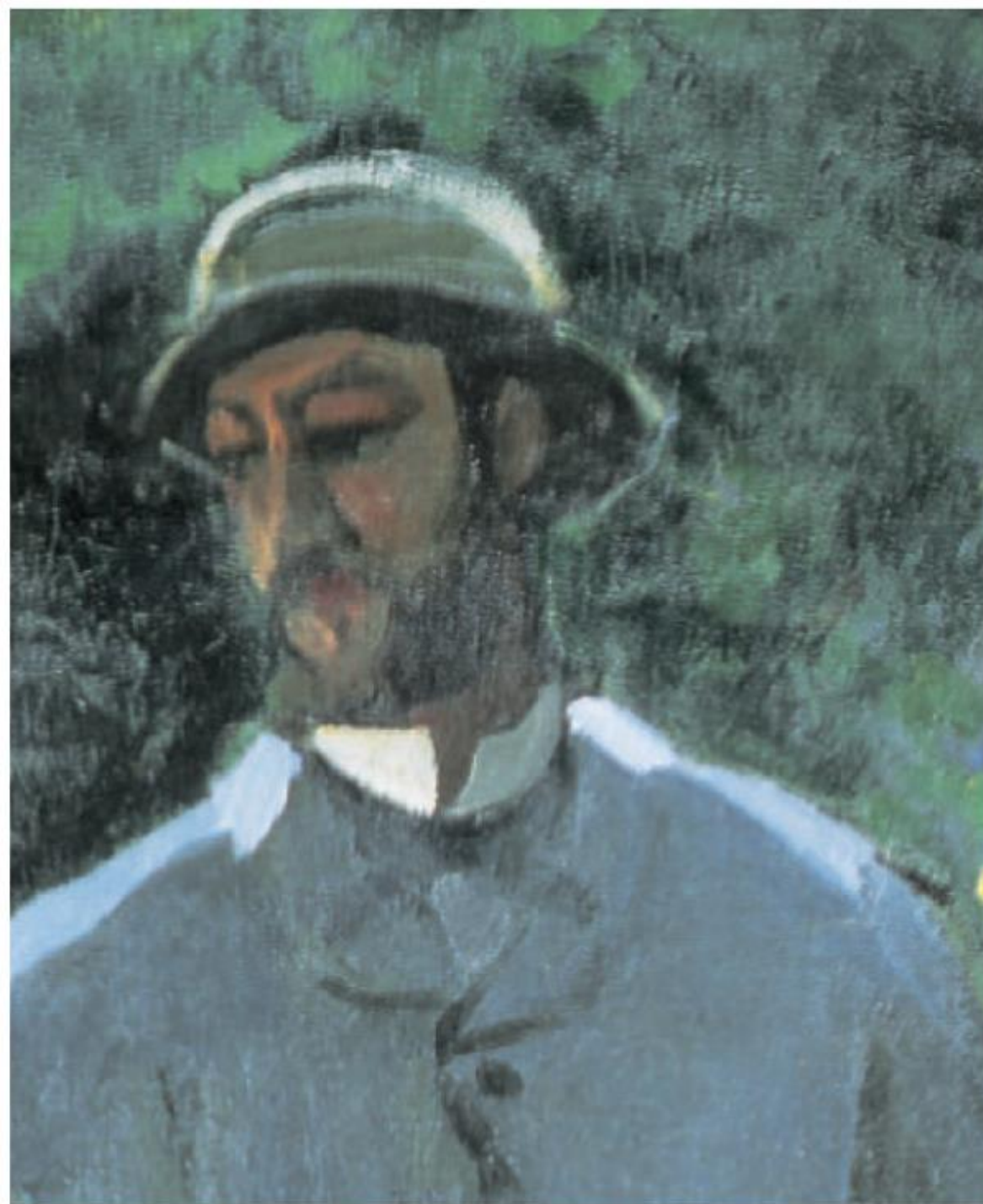
V4受伤，
对亮度变化有反应，
对色调变化反应弱



4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

- V4区可使用颜色信息作为确定物体形状的线索，因此损伤可导致患者无法辨别渐变颜色上的细微差别，从而丧失了对莫奈作品中人物的形状知觉
- 形状知觉的产生来源于多种类的视觉信息，因此实际中并没有完全丧失形状知觉的“形状盲”现象



4.3 视觉的神经通路

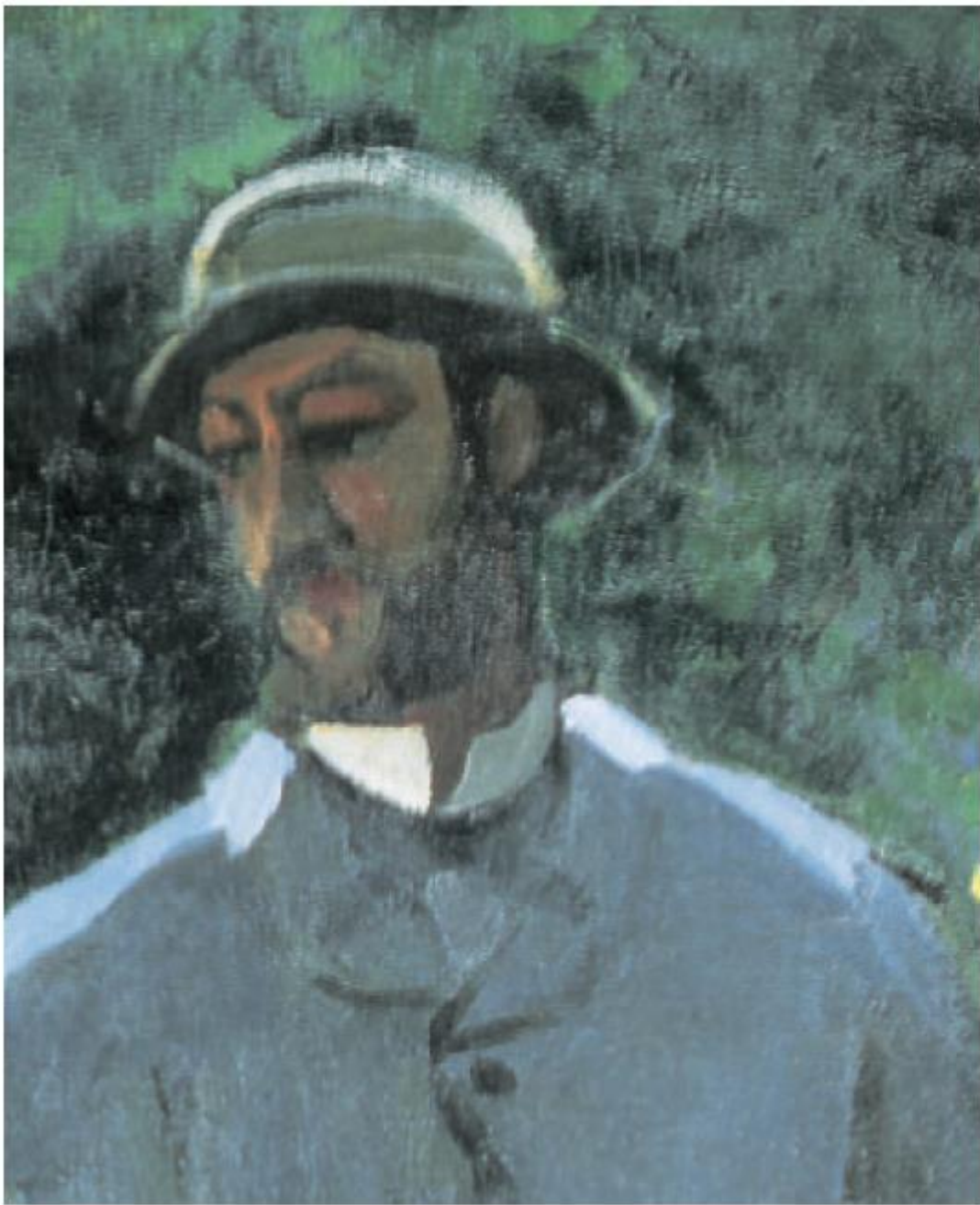
初级视皮质的视觉信号传递

- V4区可使用颜色信息作为确定物体形状的线索，因此损伤可导致患者无法辨别渐变颜色上的细微差别，从而丧失了对莫奈作品中人物的形状知觉
- 形状知觉的产生来源于多种类的视觉信息，因此实际中并没有完全丧失形状知觉的“形状盲”现象



不光与
颜色信息
处理密切
相关，而
且是参与
形状知觉
的次级视
觉区

V4受伤，
无法欣赏
莫奈油画
但却能欣
赏毕加索
作品



4.3 视觉的神经通路

初级视皮质的视觉信号传递

MT受伤,
无法感知
运动



4.1 感觉与感知

感觉、视错觉、感知

4.2 视网膜结构与工作机理

视锥、视杆、光传导、感受野、侧抑制

4.3 视觉的神经通路

初级视皮质、腹侧通路(内容)、背侧通路(空间)

- 1, 人类视觉为什么会产生马赫带、赫曼方格这样的视错觉现象?
- 2, 大脑处理视觉信息的过程是什么?
- 3, 结合前几讲的内容, 分析计算机视觉中的卷积神经网络可能存在哪些真实神经系统中的处理过程。
- 4, 利用侧抑制原理, 编程实现图像增强算法, 并对结果进行讨论。