

# FDU 脑科学 8. 脑的高级功能

---

## 8.4 脑半球

---

### 大脑两半球功能对称性:

大多数情况下, 左右两侧半球都具有独立的知觉、判断和感觉-运动整合功能, 即左右两半球能够分别对视觉经验和触觉经验进行整合, 说明左右半球在功能上具有完整性和独立性.

### 大脑两半球功能不对称性:

左右两半球在某些功能上具有明显的不对称性, 尤其在语言功能方面 (语言表达) 更为突出.

外侧裂、颞平面、Broca 区和 Wernicke 区等都具有不对称性.

脑的不对称性并不局限于人类, 但脑的不对称性在人类明显.

女性脑不对称性不如男性明显 (在生命早期, 睾酮能减慢左半球的发育)

### 左右脑结构和功能一侧化的生物学意义:

- ① 有些高级脑功能 (例如语言) 不需要空间对称性
- ② 将复杂的高级脑功能局限于单侧半球内, 可能是大脑对有限颅内空间的进化适应
- ③ 连接大脑左右半球的主要通路是胼胝体, 两侧半球通过胼胝体协调各自的功能. 假如每一种功能都需要左右半球来共同实现, 胼胝体通讯任务过于繁重, 甚至造成较大时间延迟.

## 8.5 语言脑区

---

右利手人的语言区主要在左侧半球, 大部分左利手的人语言中枢也在左半球, 只少数位于右侧半球. 语言区所在的半球称为优势半球.

## 8.6 注意力

---

### 三个注意力皮层网络:

- **视觉朝向神经网络** (视觉注意朝向)  
右脑在解决复杂空间问题时具有优势.  
左侧顶叶只接受右半视野信息, 而右侧顶叶同时接受左右两侧视野信息.  
左侧顶叶受损, 右侧顶叶仍可收集右侧视野信息, 而右侧顶叶受损则导致对左半视野的忽视.  
右侧后顶叶会把注意从当前内容中解脱出来, 使注意得以转移.
- **注意实施神经网络** (事件检测)  
扣带回前部把视觉内容转为知觉意识 (Stroop 干扰实验: 文字代表的颜色与实际颜色不一致的实验)
- **警觉维持神经网络** (警觉维持)  
脑干蓝斑、右侧额叶和右侧顶叶维持持续的注意力或警觉状态, 心率和脑电活动降低.

### 注意的神经生理学效应:

选择性注意 (同-异分辨任务)

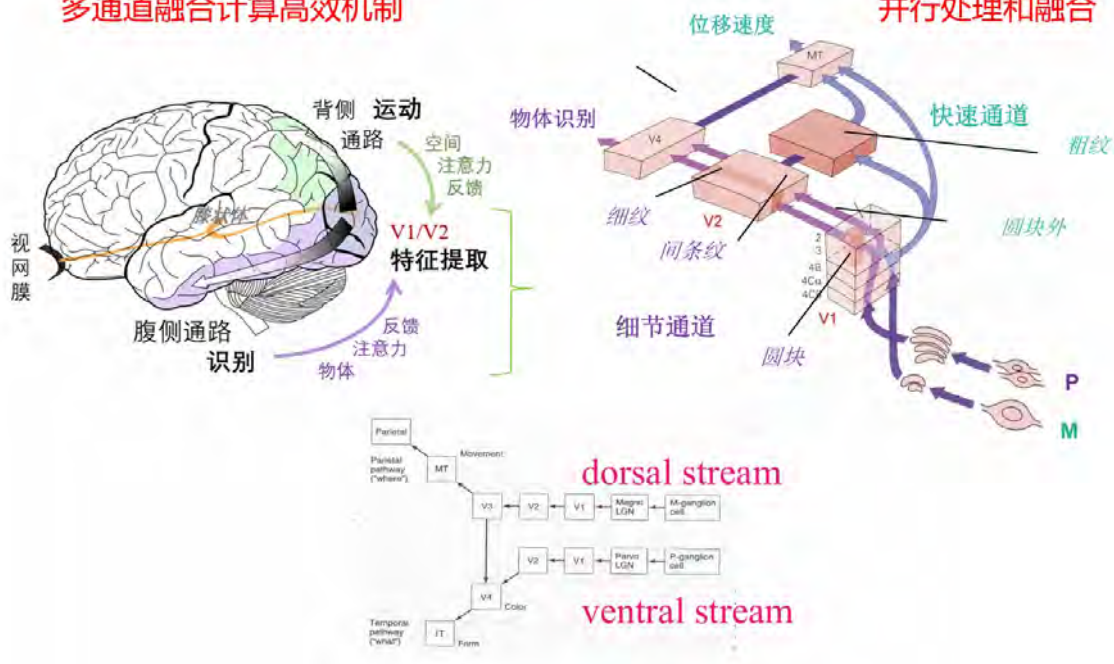
- 选择性注意某个刺激时, 大脑很多区域的神经活动会改变.  
改变可能是由注意引起的, 而与注意的神经控制本身无关.
- 注意改变 V4 区神经元的感受野反应:  
对出现在非注意位置上的有效刺激的反应会显著降低.  
(感受野: 能够诱发一个细胞反应的所有刺激区域的总和)

## 8.7 视觉通路

### 视觉通路：层级递进和并行分布式信息通路

脑区间的模块化、并行计算  
多通道融合计算高效机制

脑区内的模块化  
并行处理和融合

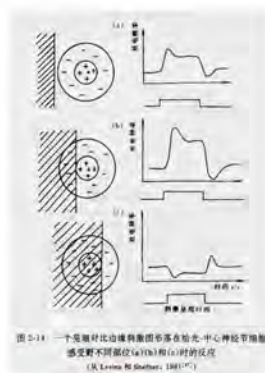
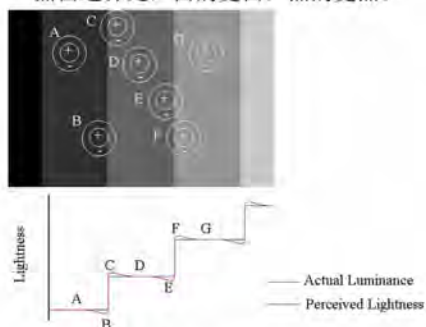


#### Mach 带效应:

主观亮度与被视物体表面光亮度之间并不成简单的比例关系.

视觉的主观感受在亮度有变化的地方出现虚幻的明亮或黑暗的条纹.

眼见为实？心理学的马赫带现象：  
黑白边界处，白的更白，黑的更黑。



马赫带现象可以由神经节细胞的中心周边拮抗型感受野所解释

马赫带效应 (Mach band effect) 是物理学家兼哲学家马赫 (E.Mach) 于1865年首先说明的。它为主观的明度感觉视觉亮度与被视物体表面光亮度之间并不成简单的比例关系提供了一个基本的证明。它是指视觉的主观感受在亮度有变化的地方出现虚幻的明亮或黑暗的条纹，马赫带效应的出现是人类的视觉系统造成的。

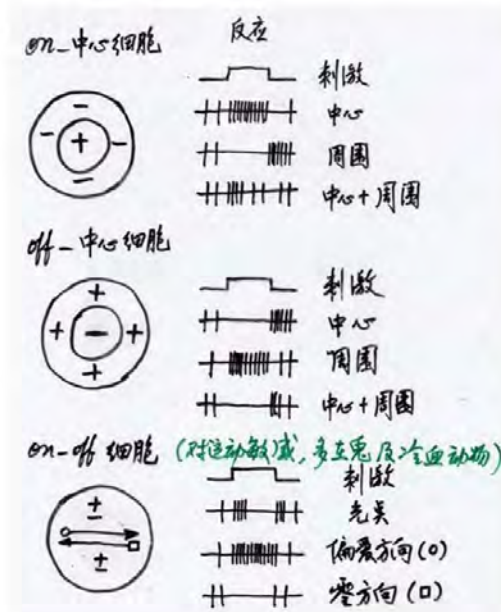
最为人们所接受的解释马赫带现象的理论是哈特林 (H.K.Hartling) 等人在生物物理学基础上提出的神经细胞间侧向抑制理论，即马赫带是视网膜上邻近的神经细胞之间侧向相互抑制的结果，侧向抑制在梯级的每一边缘处起着提高对比度的作用

#### 解释 (神经细胞间侧向抑制理论)

Mach 带是视网膜上邻近的神经细胞之间侧向相互抑制的结果.

侧向抑制在梯级的每一边缘处起着提高对比度的作用.

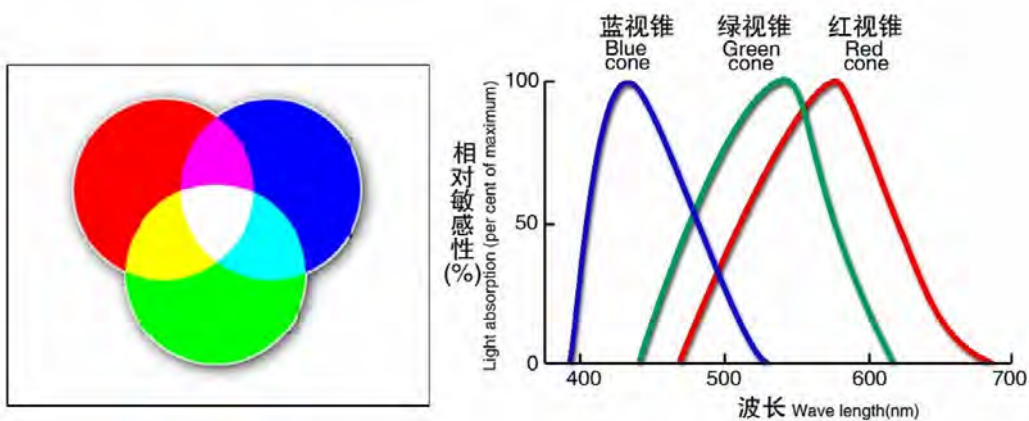
## 兴奋-抑制网络 产生on-off感受野



### 三原色理论的视网膜机制:

在视网膜中可能存在三种分别对红、绿、蓝光敏感的机制, 在不同波长光刺激下发生信号, 传至大脑产生色觉.

三种细胞 (红视锥、绿视锥和蓝视锥) 受到不同比例光的刺激时, 则引起不同的色觉.



色觉信号在向视中枢传导过程中符合拮抗性理论.

红-绿、黄-蓝、黑-白构成三对拮抗性

小的感受野能区分较细的条纹, 而大的感受野则无法区分细致条纹.

## 8.8 兴奋-抑制平衡

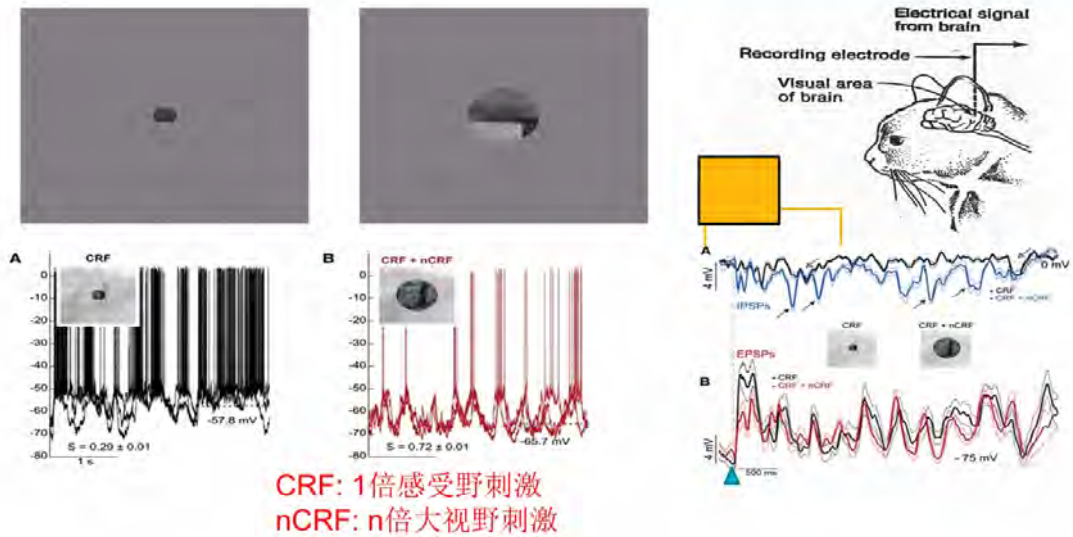
视皮层网络: 兴奋和抑制突触动态平衡产生稀疏编码

小视野刺激由于难以识别或预测, 因此会诱发密集的神经元发放.

大视野刺激会增强抑制性突触活动 (而兴奋性突触活动), 以稀疏神经发放编码 (降低成本)



# 视皮层网络: 抑制神经活动增强调控稀疏编码



嗅球神经网络稀疏编码机制: 演化出最佳**兴奋-抑制平衡**

神经网络在学习过程, 兴奋和抑制突触链接通过突触可塑性自适应调整到最佳比例, 实现对外界信号的最佳稀疏表征和最低耗能.

## 网络兴奋/抑制动态平衡 →网络稀疏编码

稀疏编码两个特点

1. 少量神经元参与对信号的反应
2. 单个神经元的反应强度较小

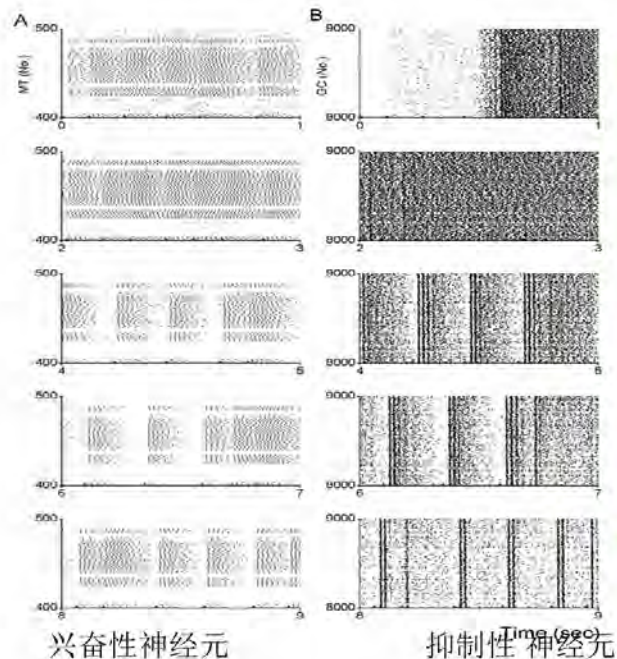
$$S = \left\{ 1 - \frac{[\sum_{i=1}^N (r_i/N)]^2}{\sum_{i=1}^N r_i^2 / N} \right\} / (1 - \frac{1}{N})$$

$r_i$ : 第*i*个神经元平均发放率

$N$ : 神经元总数.

$S \rightarrow 0\%$  密集放电

$S \rightarrow 100\%$  稀疏放电



脑网络兴奋和抑制神经元通过兴奋和抑制突触连接构成功能网络.

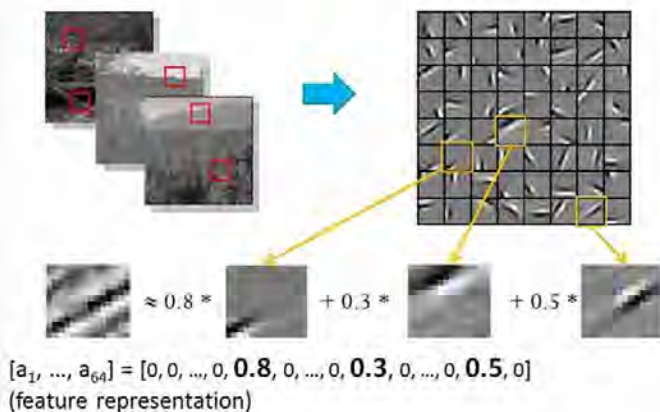
在学习过程通过突触可塑性发展成动态均衡的状态.

在学习过程, 兴奋和抑制突触的相位活动从松散变得紧密相关 (高效节能的神经编码)

# 稀疏编码算法重现了 视皮层神经元感受野的特征

初级视皮层神经元感受野具有局域性、朝向性、频率性，为啥？

复杂图形，往往由一些基本结构组成。比如下图：一个图像可以通过用64种正交基向量来线性表示。比如图像的某个单元体x可以用1-64个基向量中的三个按照0.8,0.3,0.5的权重调和而成。而其他基向量没有贡献，因此均为0



•Olshausen BA, and Field DJ.  
(1996). "Emergence of Simple-Cell  
Receptive Field Properties by  
Learning a Sparse Code for  
Natural images." Nature

低等哺乳动物视觉呈现出随机的 "椒盐" 功能柱分布

高等哺乳动物视觉呈现出风车状功能柱分布：

- ① 最小化网络布线成本规则：  
神经元相互连接的两种情况: Gauss 局域连接和长/短程常数连接  
二者微妙的平衡形成了风车状功能柱分布
- ② 视网膜面积、相邻 V1 神经元视野输入重叠度是风车功能图形成的关键

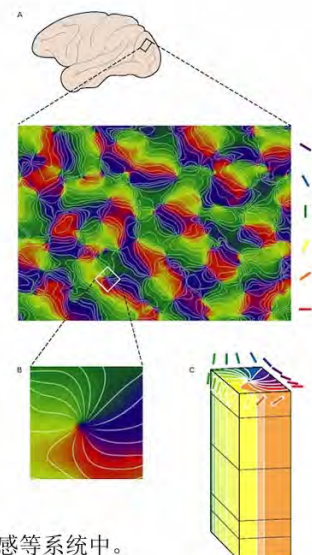
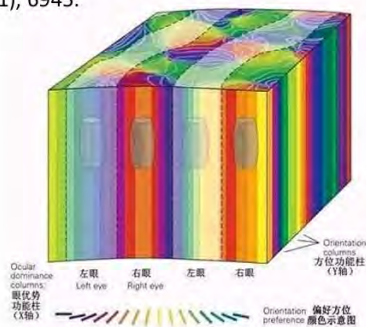
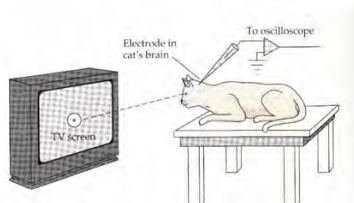
风车状功能柱的作用：

低功耗稀疏编码、稳健性高 (抗噪能力强)、响应快 (因为不同朝向耦合在一起)

## 方位功能柱在视觉皮层内排列形成风车状结构

方位功能柱对最偏好的朝向（或方位）的反应最强，而对其他方位的反应比较弱。如果把每个细胞的最优方位画在皮层表面，就会形成以大约1毫米为周期的“最优方位”渐变图

Shmuel, A. , & Grinvald, A. . (1996). Functional organization for direction of motion and its relationship to orientation maps in cat area 18. journal of neuroscience, 16(21), 6945.



感受野：能够诱发一个细胞反应的所有刺激区域的总和。常见于视觉、听觉、体感等系统中。

