



# 脑与认知科学基础

之

## 第二章 方法与技术

仲苏玉

zhongsuyu@bupt.edu.cn

人工智能学院  
脑认知与智能医学中心

2024.03.04

# 回顾

- 认知神经科学研究的核心是脑心关系
- 大脑的功能定位学说：布洛卡，威尔尼克，布鲁德曼
- 神经元学说：高尔基，卡哈尔

# 大纲

- 心理学方法
- 电生理学方法
- 脑成像
- 技术比较
- 设计实验范式

# 实验心理学方法

- 在**实验室控制条件**下进行的心理学研究方法
- 针对某个假设，设计实验，获取特定的观测量，并进行分析，从而支持或反驳该假设
- 设计实验
  - 提出与假设有关的变量
  - 选择合适的方法获取变量的值
  - 分析获取的实验数据
- 实验变量
  - 自变量
  - 因变量
  - 额外变量

# 实验心理学方法—举例

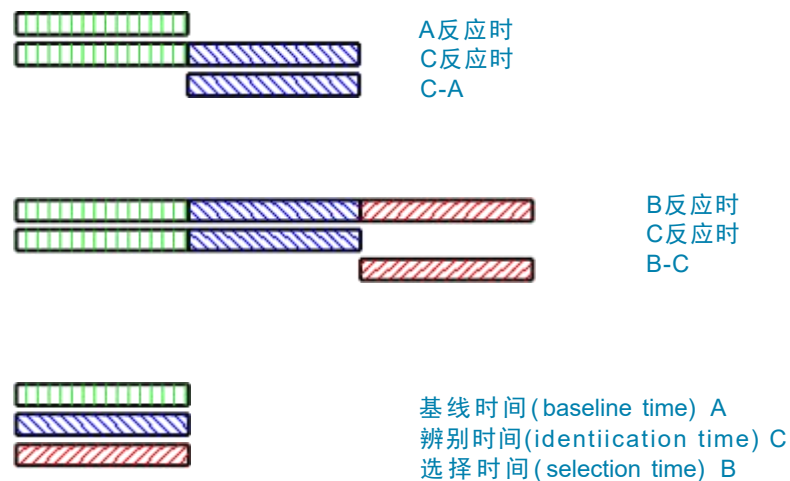
- 研究任务：研究男女生学习同一门课程的学业成绩的差异(或直接假设：女生学习某门课程的学业成绩比男生好)
- 变量分析
  - 自变量：性别
  - 因变量：学业成绩
  - 额外变量：年龄、年级、原有基础、任课教师
  - 其它变量：如身高、体重、衣着、发型等则无需考虑
- 实验方案：
  - 控制额外变量，使得具有可比性
    - 选择若干年龄、年级、原有基础、任课教师都相似甚至相同的男女生个N名
    - 区分自变量、取因变量样本
      - 男生成绩( $b_1, b_2, \dots, b_N$ ), 女生成绩( $g_1, g_2, \dots, g_N$ )
- 分析方法：判断两组成绩是否有显著差异，可用方法：统计显著性检验
- 得出结论

# 反应时法

- 最有效和最经典的认知心理学实验方法
- 唐德斯 (Franciscus Donders ,1868)
  - 反应时：从**刺激**呈现到个体对它做出反应之间的时长（也被称为反应的潜伏期）
  - 不能直接测量心理反应，但可通过行为反应进行推测
  - 刺激=>感受神经元=>大脑皮层=>效应器官
  - 并不包含反应的执行期。
- 经典实验包括**减法反应时**和**加因素法**

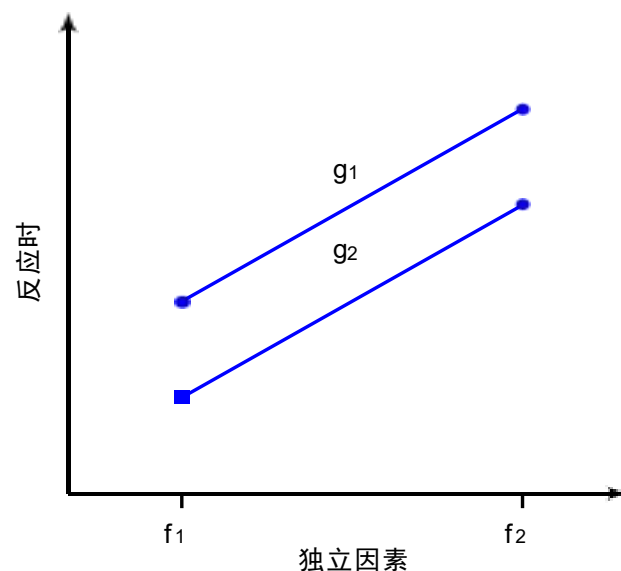
# 减法反应时

- **减法反应时法**是指当两个信息加工系列具有**包含和被包含**关系时，这两个信息加工需要的时间差就是独特的信息加工过程所需要的时间。
- 典型应用：证明了心理旋转过程的存在。



# 加因素法

- 依据加法原则，完成一个作业所需要的时间是一系列信息加工阶段分别需要时间的总和。

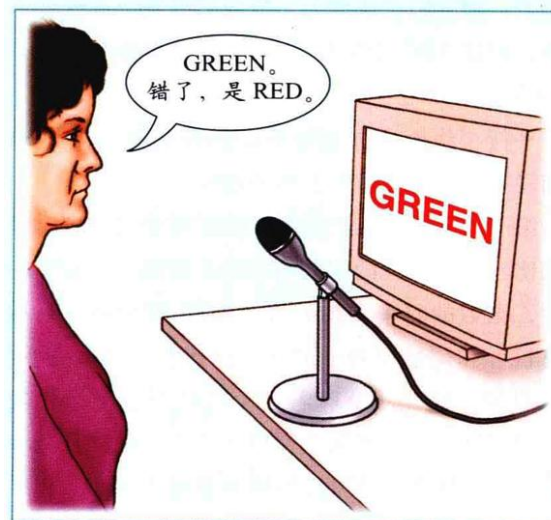




# 冲突效应-Stroop效应

- 反应时实验的一个经典实验范式
- 冲突效应：指文字的含义与文字的特征存在不一致，即不同纬度或特征所获取的信息相冲突，从而对受试者造成干扰。
- 心理表征的多重性
  - 与刺激的颜色相关的表征
  - 与单词的颜色**概念**相关的表征
- 多重表征的相互干扰
  - 当颜色和单词所表示的意义不匹配时，速度更慢

颜色、单词 匹配	有颜色的 非词	颜色、单词 不匹配
RED	XXXXX	GREEN
GREEN	XXXXX	BLUE
RED	XXXXX	RED
BLUE	XXXXX	BLUE
BLUE	XXXXX	GREEN
GREEN	XXXXX	RED
BLUE	XXXXX	GREEN
RED	XXXXX	BLUE



# 眼动分析法

- 眼球运动：注视、眼跳(扫视)和追随运动
- 眼动可以反应信息选择、注意，对于揭示信息加工的内部机制具有重要意义
- 眼动实验依赖于**眼动仪记录眼球运动**
- 常用参数：眼动轨迹图、眼动时间、眼动的方向和距离以及瞳孔大小与眨眼

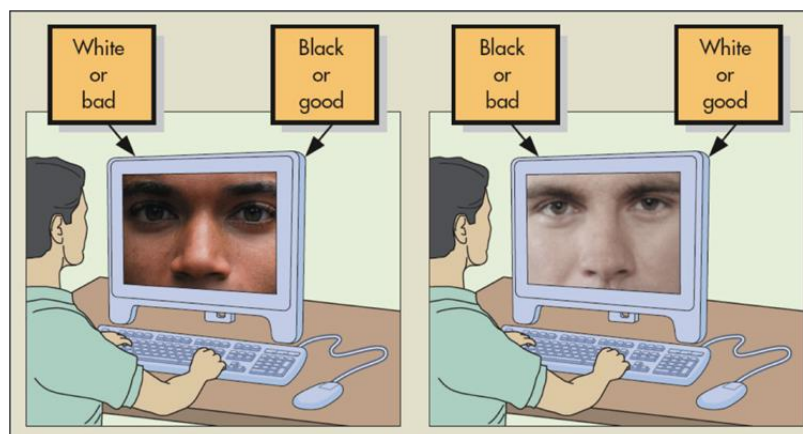


# 口语报告分析法

- 也称为出声思考法，是一种由被试大声地报告自己在进行某项操作时的想法来探讨其内部认知过程的方法。
- 在口语报告实验时，要求被试大声如实地报告操作时自己思考的详细内容，使内部的思维过程外部言语化，但不要他们解释情景或思维过程。

# 内隐联想测验 (Implicit Association Test, IAT)

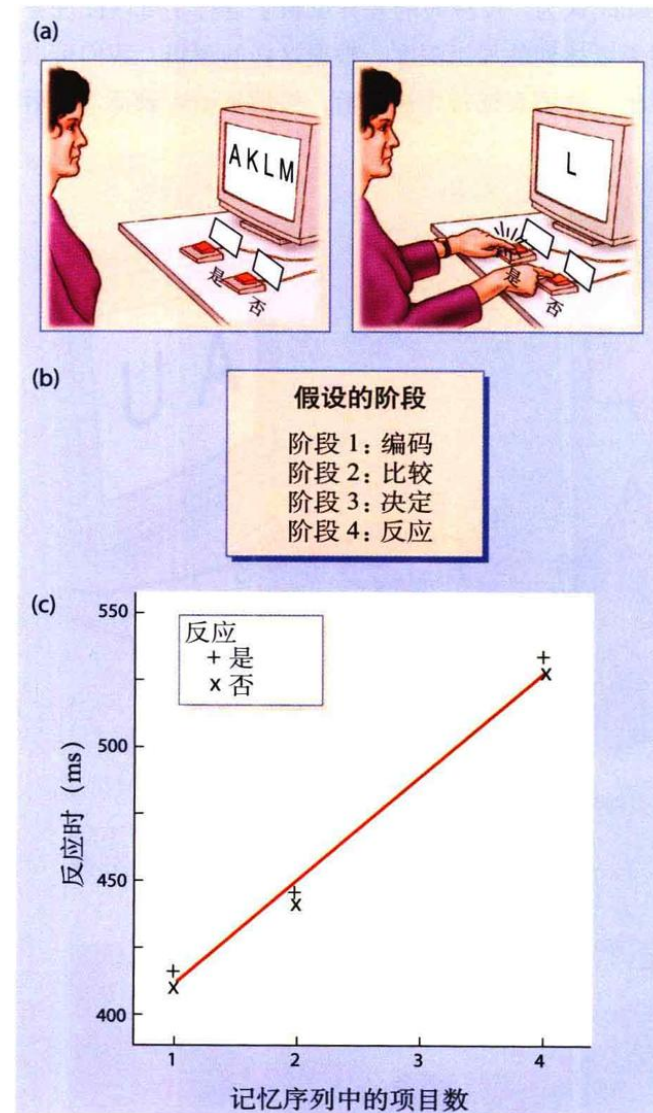
- 考察被试的**态度行为一致性**。
- 计算机化的分类任务，以反应时差异为指标来测量概念间内在的联系强度，从而间接反应个体的内隐心理倾向，其基础是**启动效应**。
- 启动效应是指先前呈现的刺激，对随后出现刺激或与其相关的某种刺激进行加工时所产生的**易化现象**。
- 在测验中，要求被试对**目标概念与属性概念**做出同一反应。如果这两个概念对于被试来说联系紧密，被试对这两个概念做出的反应时就短；反之则长。



# 实验心理学方法

## ■ Sternberg心理操作实验

- 认知心理学基本假设：任务是由一系列心理操作组成的，但是这种操作是平行的还是串行的？
- Sternberg实验具体假设的心理操作步骤是：编码、比较、决定、反应，它们是并行还是串行的？
- 变量
  - 自变量：序列长度
  - 因变量：反应时
- 获取数据
  - 项目数和反应时
- 数据分析
- 结论：支持串行加工



# 计算建模方法

- 利用计算机(机器)来模拟人的认知加工过程



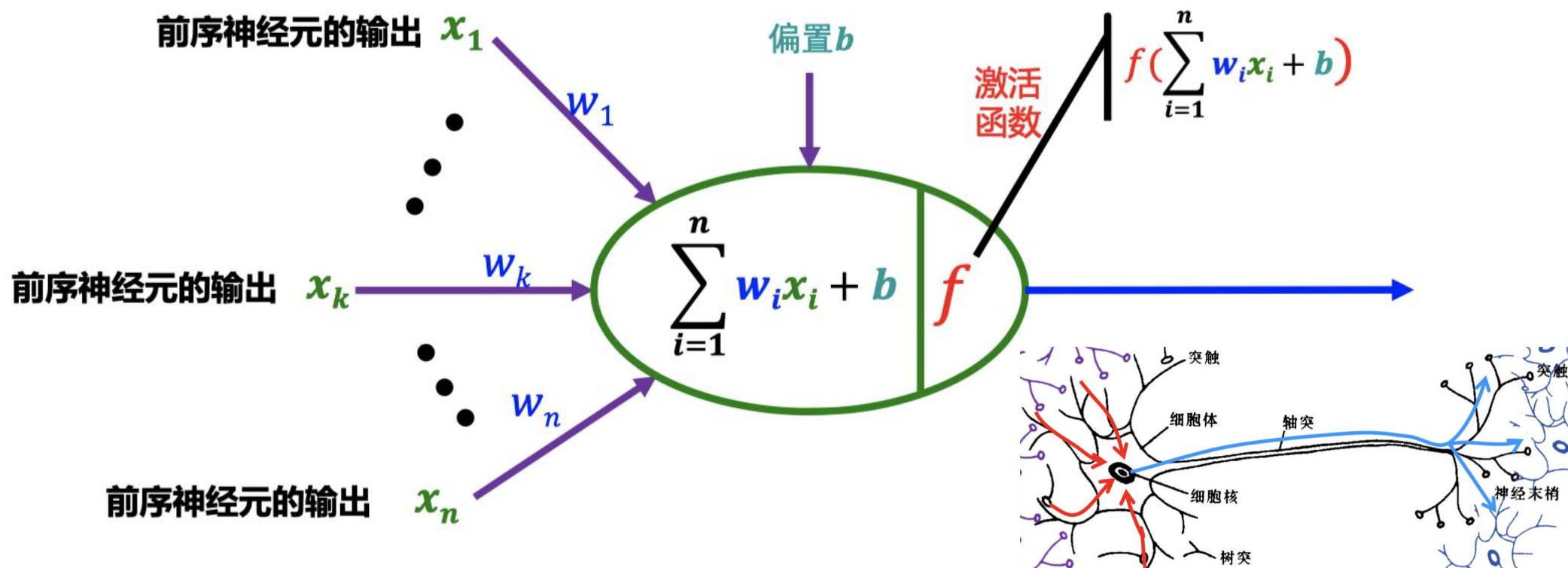
- 计算机模拟是检验认知理论的重要工具
- 可解决复杂问题，如感觉、记忆、语言、运动控制等
- 可模拟脑损伤对行为表现的影响





# 计算建模方法

## ► McCulloch-Pitts人工神经元模型



# 计算建模方法

## ➤ 全连接神经网络

### ➤ 多个神经元互联形成多层神经网络

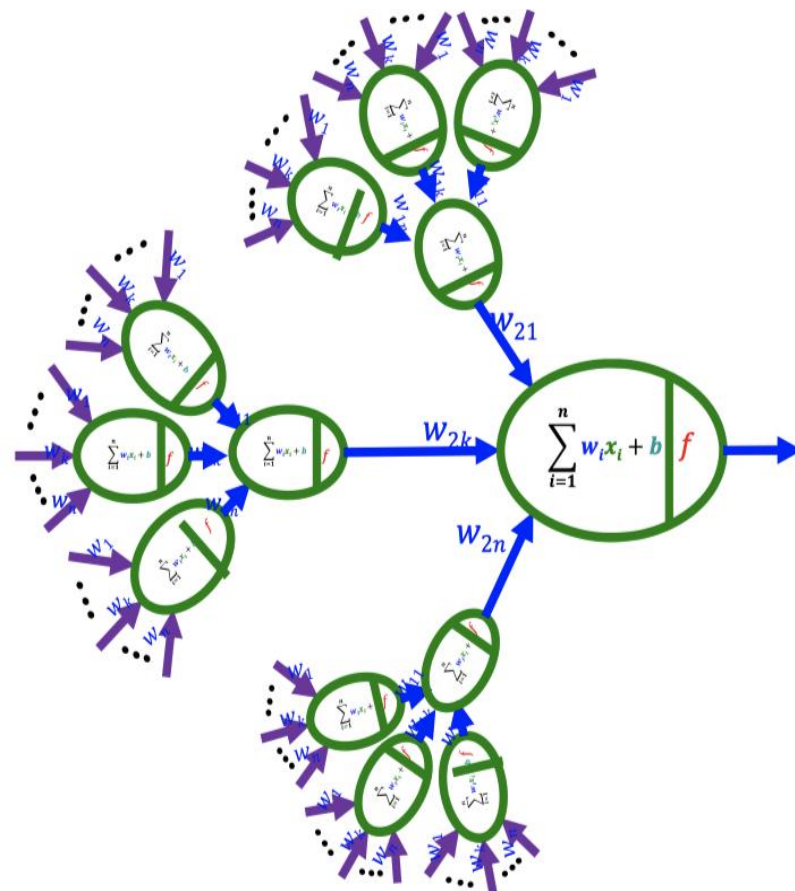
➤ 并行计算，并行更新。

➤ 任何单一的单元对系统的总输出的贡献很小，但是复杂的行为可以由所有单元活动总和所产生。

➤ 渐进式损伤的特点：在移除一些单元后，模型仍有可能继续正常工作，因为每个单元只是参与了一小部分。

### ➤ 每个神经元可以发现特定的模式

➤ 某些视觉系统神经元包含垂直线段还是水平线段这样的视觉特征



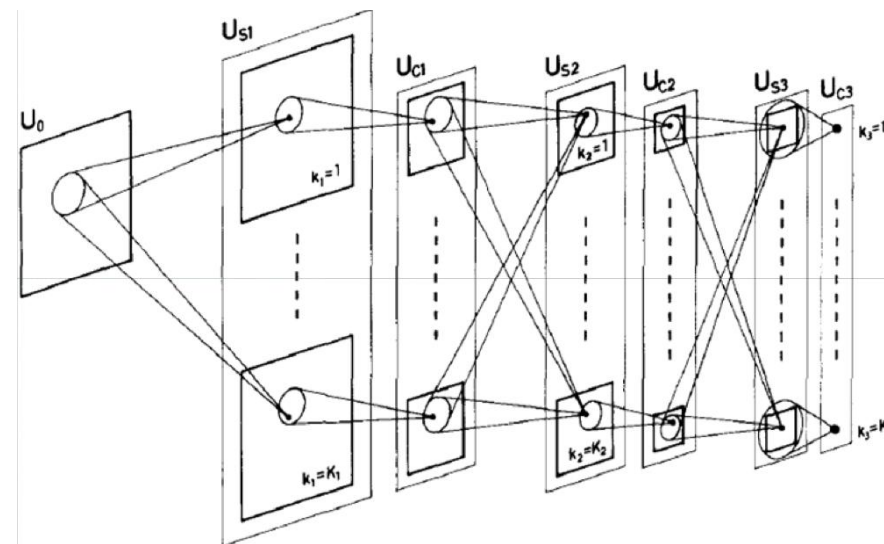
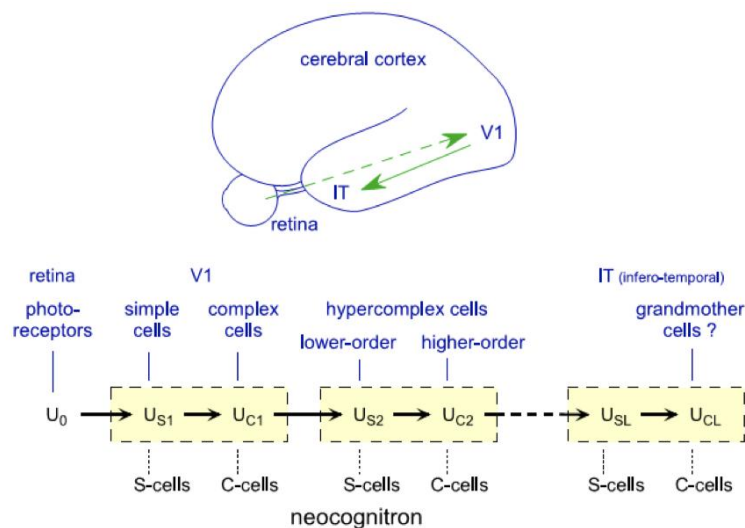


# 计算建模方法

## ■ 卷积神经网络

### ■ 层级感受野

- 层级高的视觉系统神经细胞的视野更大，能够识别更复杂的模式
- 单个视觉细胞仅对部分区域的特定模式反应



# 计算建模方法

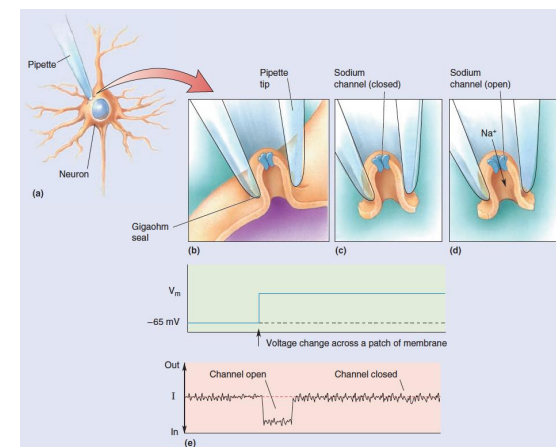
- 局限
- 相对于生物神经系统过于简化
- 可迁移性差

# 大纲

- 心理学方法
- 电生理学方法
- 脑成像
- 技术比较
- 设计实验范式

# 膜片钳技术

- 通过记录离子通道的离子电流来反应细胞膜单一通道活动。
- 用玻璃微电极吸管把细胞膜通过负压吸引**封接**起来。
- 被嵌膜片内开放所产生的电流流进玻璃吸管，用一个极为敏感的电流监视器测量此电流强度
- 将细胞水平和分子水平的生理学研究联系在一起。



# 细胞记录法

## ➤ 单细胞记录法

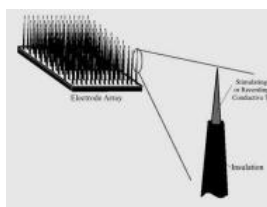
- 直径约为万分之一毫米的微电极插进动物大脑以获得**细胞膜外电位**记录。
- 灵敏度高，可测得百万分之一伏特电压；采集时间宽泛，从几毫秒到几天。
- 局限是需要穿透神经组织，面临伦理考验；只提供神经元水平的活动信息；
- 细胞膜外记录，不能保证电极末端的点位变化反映的是单细胞的活动
- 问题
  - 神经系统总体行为不等于单个细胞活动的简单总和

## ➤ 多细胞记录

- 同时记录几百个细胞

## ➤ 多维(阵列)电极记录法

- 其他电生理学方法：手术法、冷却法、药物法等



确定视觉皮质细胞的反应特征

# 其他方法

## ➤ 脑损伤方法

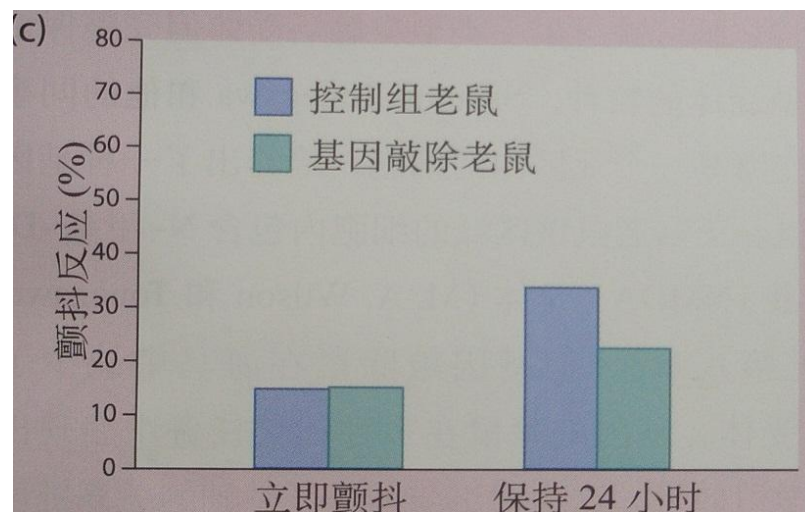
- 如果脑损伤只限于某一局部且只影响单一认知过程或机制，那么这种研究方法就变得相当简单有效。
- 事实上，**脑损伤常常牵涉相对广泛的区域**，因而多个认知系统或多或少地受到了损害。这就给这种研究方法带来难度。
- 问题
  - 损伤的精准定位
  - 代偿

## ➤ 神经化学损伤

- 特定药物注射
  - 选择性的破坏使用特定神经递质的细胞
- 可逆损伤

## ➤ 基因层面的方法

- 转基因
- 基因敲除：
  - 微观损伤

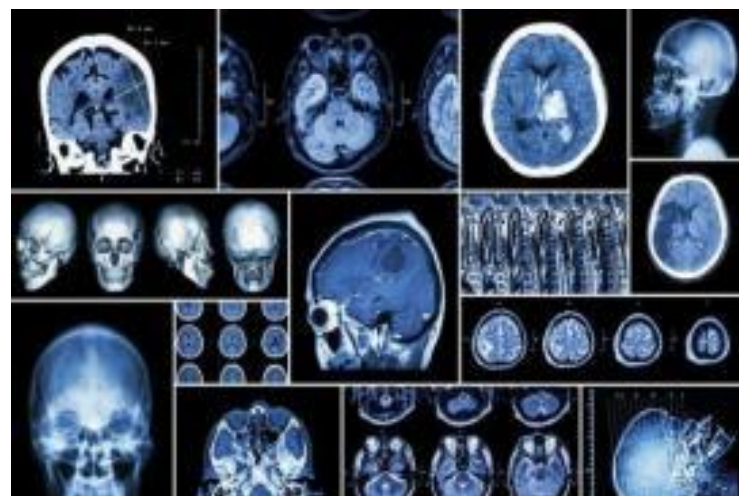


# 大纲

- 心理学方法
- 电生理学方法
- 脑成像
- 技术比较
- 设计实验范式

# 计算机断层扫描 CT(Computed Tomography)

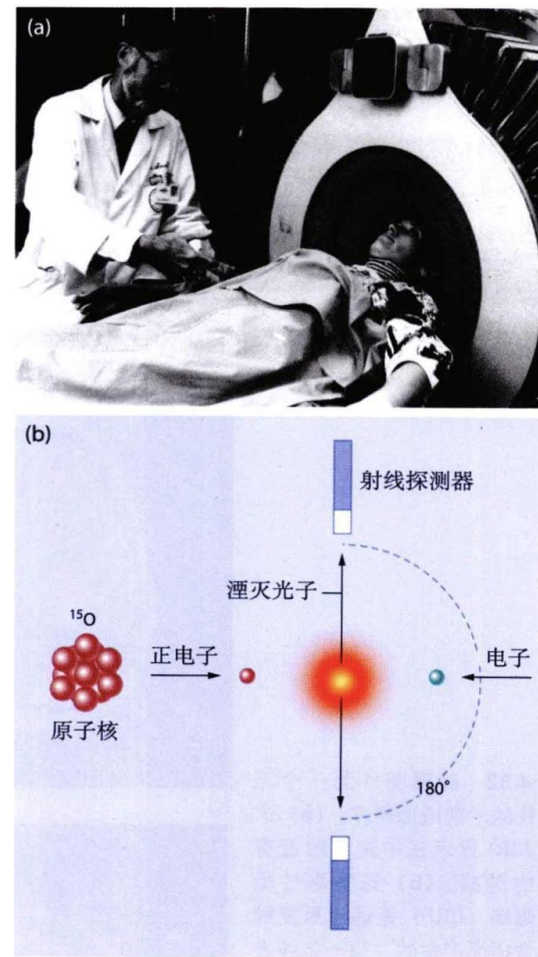
- 利用**X射线**旋转照射大脑（断层扫描）
- 由于不同脑组织对X射线的吸收能力不同，因而可构建大脑断层面的影像。
- 局限：属于结构成像技术，无法观察动态功能；分辨率不高





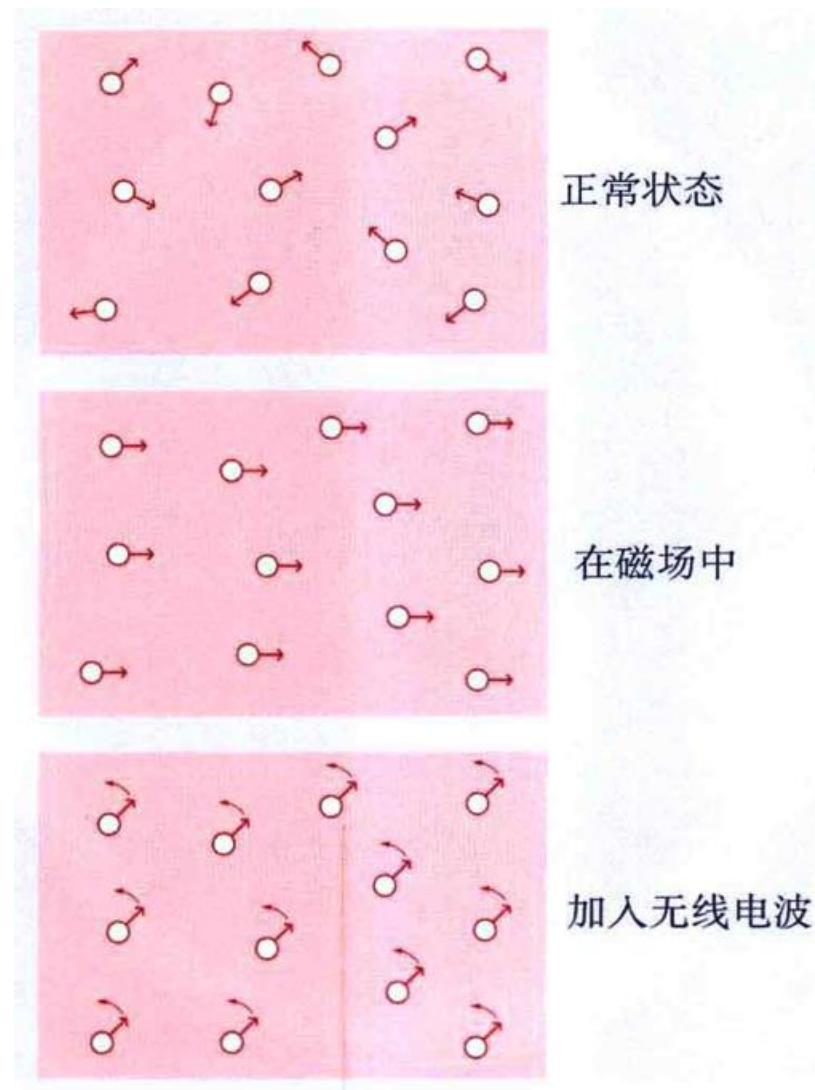
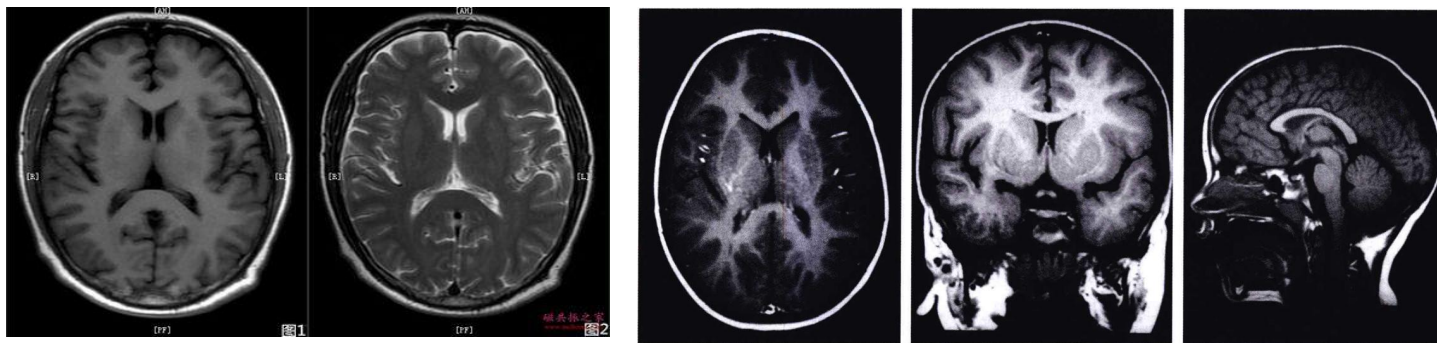
# PET

- 正电子发射计算机断层扫描 (Positron Emission Tomography)
- 需要受试者服用**被放射性示踪剂同位素标记过的显影剂**（通常为**氟-18**）
- 放射性同位素会发生**正电子放射衰变**，释放一个正电子，其会与生物体中的一个电子遭遇并产生电子对**湮灭**，这一信号（**伽玛射线**）可以被PET扫描器捕获。
- 测量血流量
- 脑区激活时，血流量增加，哪里血流大，哪里的伽玛射线多
- PET扫描仪是伽玛射线探测仪



# 磁共振成像(MRI)

- 属于结构成像技术，但MRI 使用的不是X射线，而是电磁波
- 利用氢原子的磁特性，用电磁波照射改变氢原子的旋转排列方向
- 不同脑组织中氢原子的密度不同，形成不同对比度
- 分辨率高 $<1\text{mm}$



# 核磁共振成像

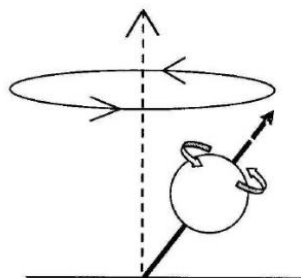
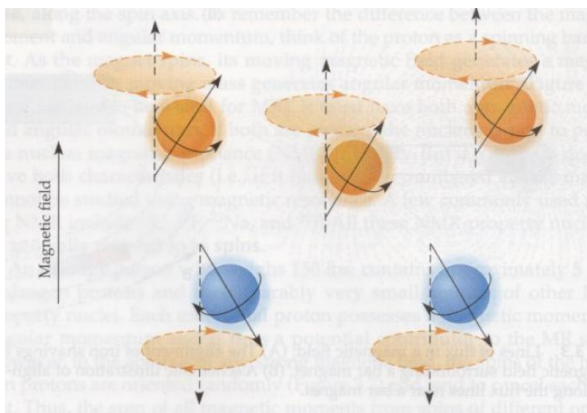
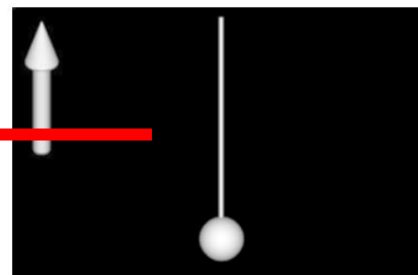


图 4b 质子自旋及进动示意图

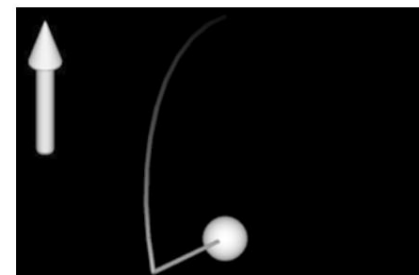


## 施加射频脉冲 (激发、共振)

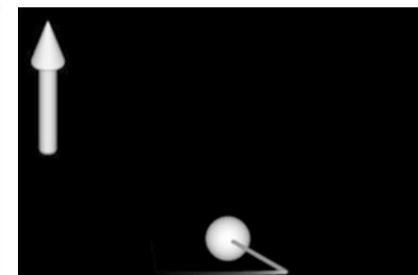
$B_0$



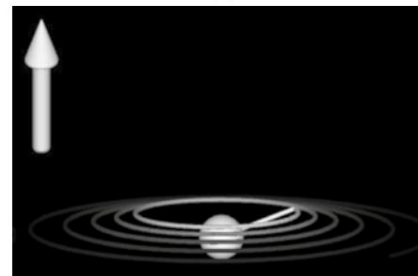
(a)



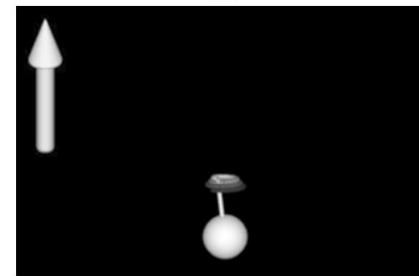
(b)



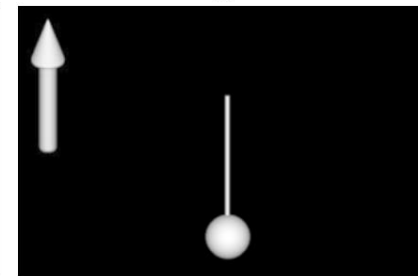
(c)



(d)



(e)



(f)

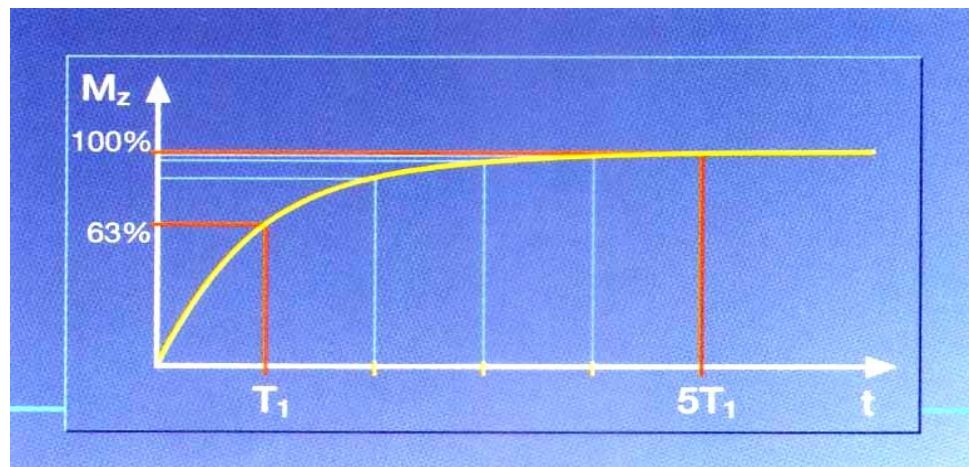
弛豫  
过程

**FIGURE 2.1** Conceptual illustration of spin behavior. In the presence of a magnetic field  $B_0$  (arrow in upper left-hand corner), (a) spins align with that field. An rf excitation pulse (b) rotates spins away from  $B_0$ , after which they (c) precess about the axis of  $B_0$ . The (d, e) transverse, precessing component of the spin decays exponentially with a  $T_2$  time constant, while the (e, f) longitudinal component of the spin exponentially recovers toward its original orientation with a much slower time constant  $T_1$ .

由于人体进入 $B_0$ 磁场以后，不同位置磁场不完全一样，  
所以横向磁化矢量衰减的很快。  
衰减的另一个原因：diffusion MRI；

## 纵向弛豫时间 $T_1$

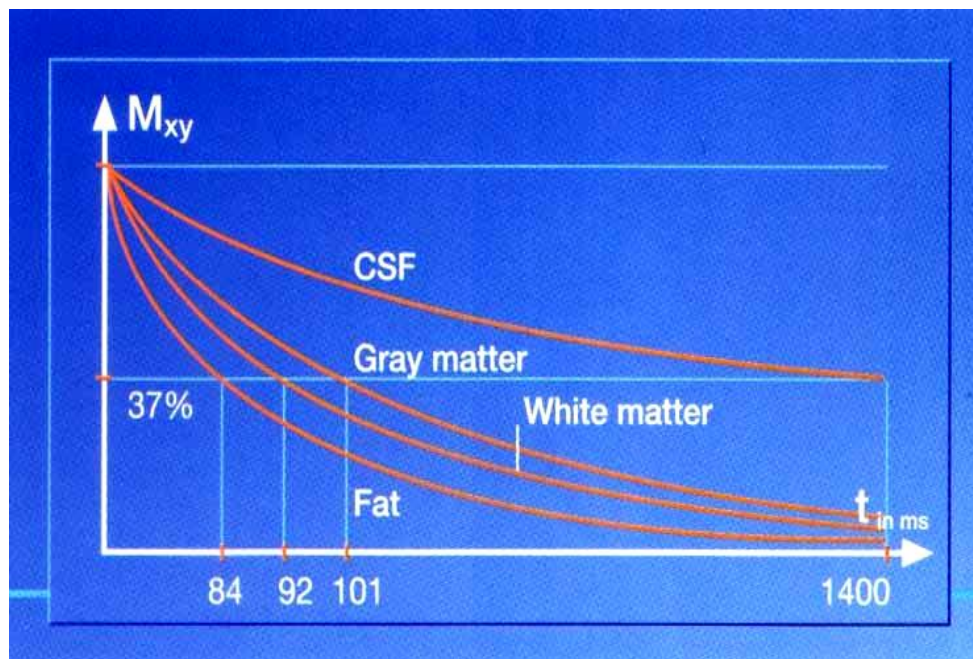
- 指90度脉冲关闭后，在主磁场的作用下，纵向磁化矢量开始恢复，直至恢复到平衡状态的纵向磁场强度63%所需的时间，反映组织 $T_1$ 弛豫的快慢。





## 横向弛豫时间 T2

- 指90度脉冲关闭后，横向最大磁化矢量减少了63%所需的时间，反映组织T2弛豫的快慢。



# BOLD-fMRI

- 调整成像参数，使图像主要反映组织某方面特性，而尽量抑制组织其他特性对MR信号的影响，称之加权。
- T1加权成像(T1WI)–突出组织T1弛豫（纵向弛豫） 差别由TR的长短决定；
- T2加权成像(T2WI)–突出组织T2弛豫（横向弛豫） 差别由TE的长短决定。
- 在任何序列图像上，信号采集时刻横向的磁化矢量越大，MR信号越强。
- T1像特点：组织的T1越短，恢复越快，信号就越强；组织的T1越长，恢复越慢，信号就越弱。
- T2像特点：组织的T2越长，恢复越慢，信号就越强；组织的T2越短，恢复越快，信号就越弱。
- 无论是T1加权像还是T2加权像，强信号的图像成白色。T1加权像中水是黑色，T2加权像中水是白色，因为水是长T1、T2，脂肪是短T1、T2。
- T1观察解剖结构较好，水T1黑，脂肪T1白；T2显示组织病变较好，水T2白，脂肪灰白，对出血敏感呈白色。

# 功能磁共振(fMRI)

- 功能磁共振成像(fMRI, functional magnetic resonance imaging)相比于传统的MRI检查, 不再是单纯的形态学检查, 而是能够进一步反映出组织中微观结构、血流灌注、代谢及功能等状态。
- 广义的fMRI包括:
  - 血氧水平依赖功能磁共振成像(BOLD-fMRI, blood oxygenation level dependent-functional magnetic resonance imaging)
  - 扩散加权成像(DWI, diffusion-weighted imaging) 扩散张量成像(DTI, diffusion tensor imaging)

# BOLD-fMRI

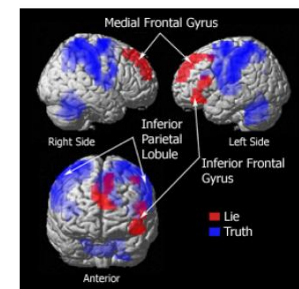
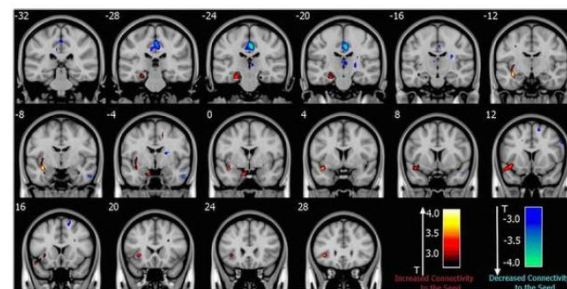
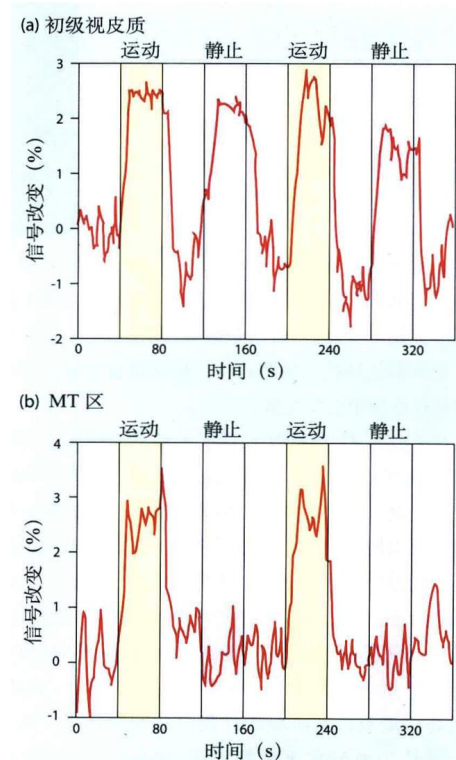
## ➤ 原理：血流量变化(血氧变化)

- 成像关注血红蛋白的磁场特性：血红蛋白在血流中携带着氧，当氧被吸收，变成脱氧血红蛋白。脱氧血红蛋白比氧合血红蛋白对磁场更为敏感。
- 测量氧合和脱氧血红蛋白之间的比率：血氧水平依赖效应（BOLD）
- Task fMRI：扫描时让被试完成认知任务，例如：记忆、语言、判断
- Resting-fMRI：扫描时被试什么也不用做，静息状态

## ➤ 优势

- 普及：大多数医院有MRI
- 无需注射放射性示踪剂
- 空间精度高：3立方毫米
- 有一定的时间精度

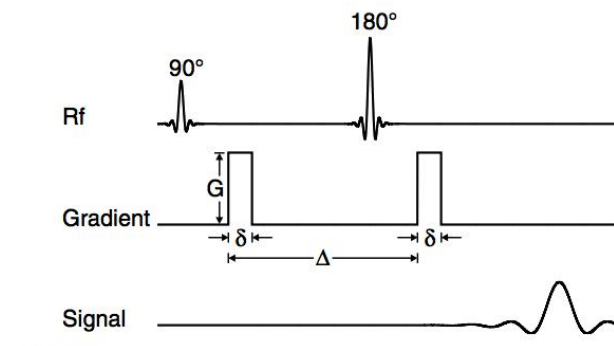
## ➤ 成为目前最流行的技术，广泛使用





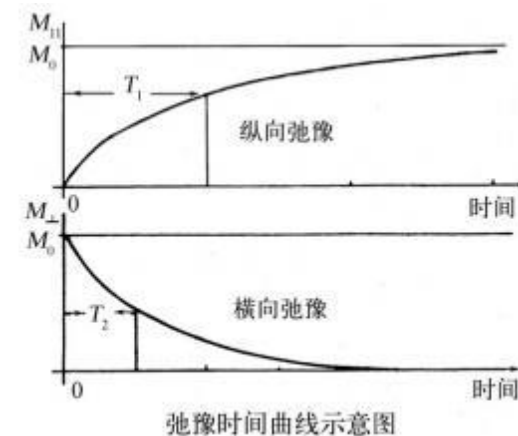
# BOLD-fMRI

- 重复时间(TR, repetition time) fMRI的信号很弱，为提高磁共振(MR, Magnetic Resonance) 的信噪比，要求重复使用同一种脉冲序列，这个重复激发的间隔时间即称TR。
- 回波时间(TE, echelaytime)，射频脉冲放射后到采集回波信号之间的时间。
- 序列指检查中使用的脉冲程序或其组合，也就是发射脉冲的方式。常用的有自旋回波(SE)、快速自旋回波(FSE)、梯度回波(GE)、翻转恢复序列(IR)、平面回波序列(EPI)。



# BOLD-fMRI

- 弛豫在射频脉冲的激发下，人体组织内氢质子吸收能量处于激发状态。射频脉冲终止后，处于激发状态的氢质子恢复其原始状态，这个过程称为弛豫。
- 弛豫时间
- 纵向弛豫时间( $T_1$ )为纵向磁化强度从零恢复到原平衡的63%大小所需的时间；
- 横向弛豫时间( $T_2$ )为横向磁化强度从最大值减小到最大值的37%大小所需要的时间。
- 因为实际磁场并不均匀 $T_2^*$ 时间是实际 $T_2$ 时间。 $T_2^*$ 是由 $T_2$ 和磁场的不均匀性决定的，若磁场绝对均匀 $T_2^*$ 等于 $T_2$ ，实际上 $T_2^*$ 比 $T_2$ 更短。
- 进动：质子在外加磁场中并非静止的，而是做快速的锥形旋转运动，质子在磁场中的这种自旋称为进动。
- 加权像(WI, WeightImage)：为了评判被检测组织的各种参数，通过调节重复时间TR。回波时间TE可以得到突出某种组织特征参数的图像，此图像称为加权像。

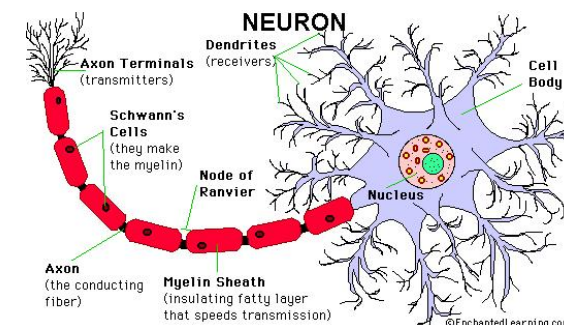
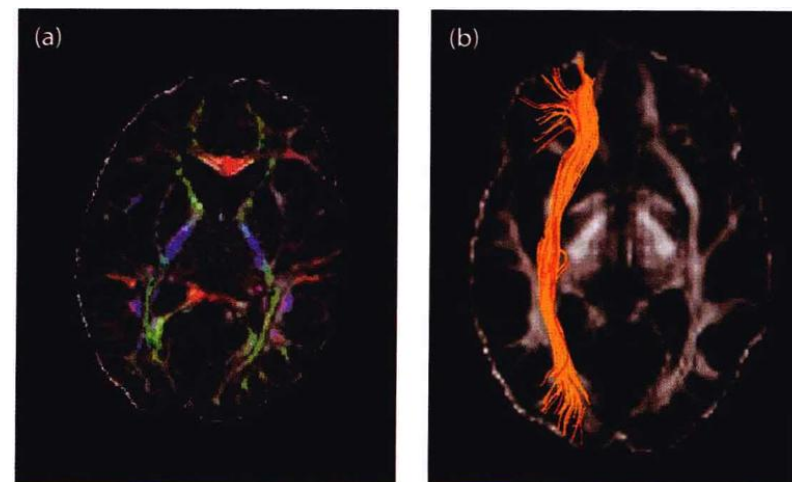


# BOLD-fMRI

- 调整成像参数，使图像主要反映组织某方面特性，而尽量抑制组织其他特性对MR信号的影响，称之加权。
- T1加权成像(T1WI)–突出组织T1弛豫（纵向弛豫） 差别由TR的长短决定；
- T2加权成像(T2WI)–突出组织T2弛豫（横向弛豫） 差别由TE的长短决定。
- 在任何序列图像上，信号采集时刻横向的磁化矢量越大，MR信号越强。
- T1像特点：组织的T1越短，恢复越快，信号就越强；组织的T1越长，恢复越慢，信号就越弱。
- T2像特点：组织的T2越长，恢复越慢，信号就越强；组织的T2越短，恢复越快，信号就越弱。
- 无论是T1加权像还是T2加权像，强信号的图像成白色。T1加权像中水是黑色，T2加权像中水是白色，因为水是长T1、T2，脂肪是短T1、T2。
- T1观察解剖结构较好，水T1黑，脂肪T1白；T2显示组织病变较好，水T2白，脂肪灰白，对出血敏感呈白色。

# DWI

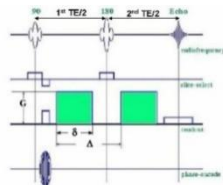
■ 扩散加权成像(DWI, diffusion-weighted imaging) 通过测量施加扩散敏感梯度场前后组织发生的信号强度变化，来检测组织中水分子的扩散状态，能够间接反映组织的微观结构特点及其变化，是能够检测活体组织内水分子扩散运动的无创方法。



脉冲梯度回波序列



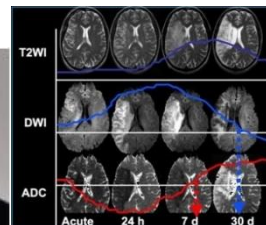
Stejskal, E.



诊断中风



Moseley, M.



FACT纤维追踪



Mori, S.

1965

1986

1990

1994

1999

Le Bihan, D.

$$S(b) = S_0 \exp(-bD)$$

b 为扩散敏感系数

D 为组织内水分子沿

梯度方向的扩散系数

$$b = |\gamma g \delta|^2 \left( \Delta - \frac{\delta}{3} \right)$$



弥散加权成像 (DWI)

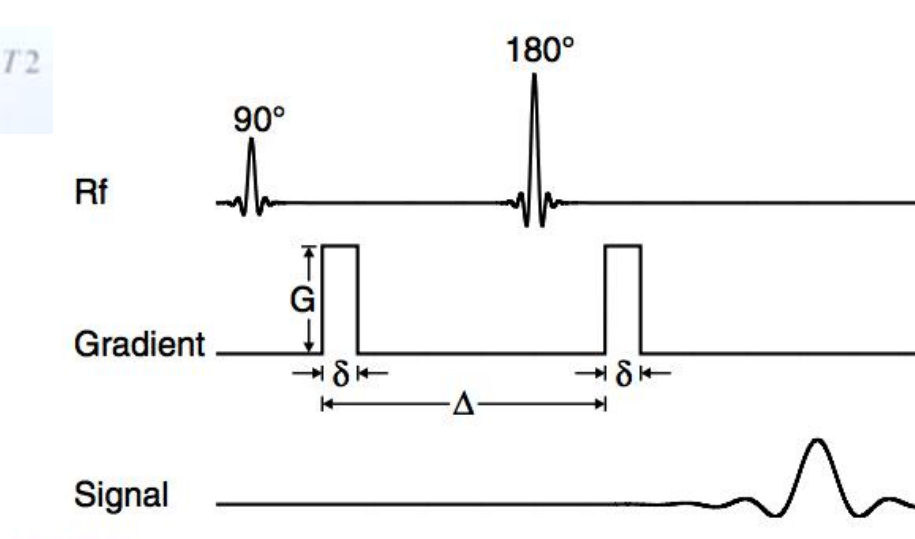
体素不相干影像 (IVIM) : 弥散+灌注

Basser, P.



扩散张量成像 (DTI)

$$S \propto \rho_H (1 - e^{-TR/T1}) e^{-TE/T2}$$



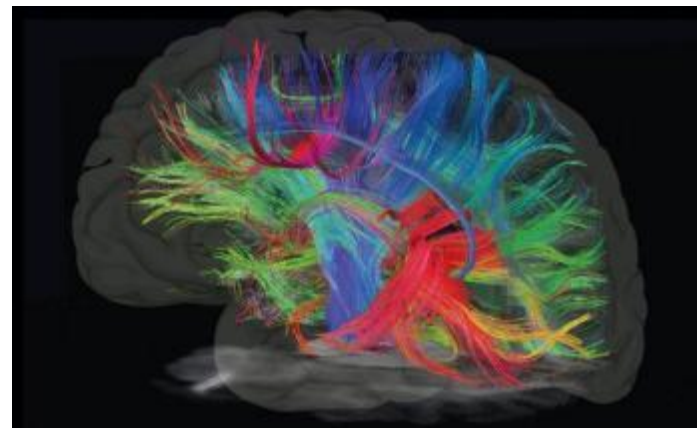
TE: echo time;  
90度脉冲到检测信号信号的时间;  
TR: repetition time;  
两个90度之间的时间;

$\gamma$  表示磁旋率,  $g$  表示脉冲梯度磁场的磁场强度,  $\delta$  表示脉冲持续时间,  $\Delta$  表示脉冲时间间隔

Johansen-Berg and Behrens, 2009

# DTI

- 扩散张量成像(diffusion tensor imaging)是基于DWI发展起来的一项检查方法，是一种追踪脑白质纤维，并反映其解剖连通性的方向的技术
- 该技术通常应用在脑皮层中水分子各向异性比较明显的区域—脑白质结构的检查中，通过水分子移动方向制图。
- 临床上，DTI 能够很好地反映肿瘤组织及其邻近白质纤维束之间的关系，如纤维束移位、水肿、浸润、破坏等改变情况，也特别适合脑网络连接分析。

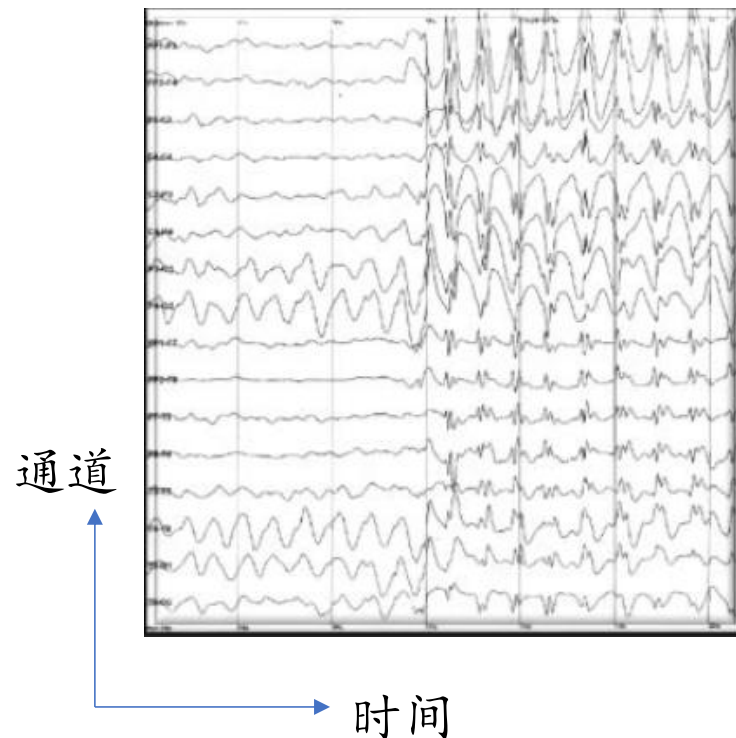




# 脑电图(electroencephalogram, EEG):

## 脑电图 (, EEG)

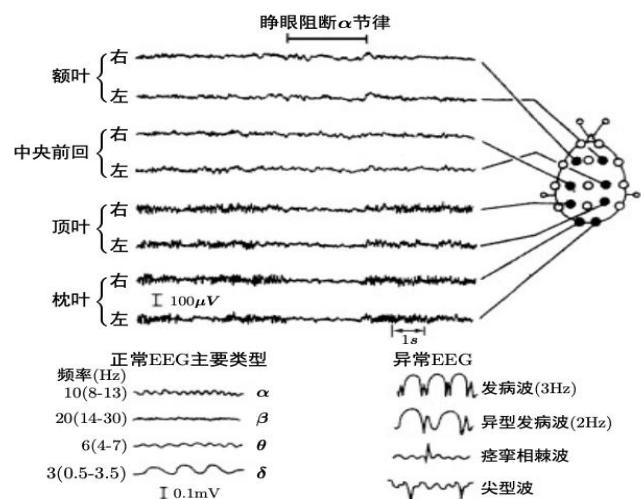
- 脑电图学或脑电描记术，是通过精密的仪器（电极）从**头皮上**将脑部的大脑皮层的生物电位加以放大记录而获得的图形。
- 这种电活动是以**电位作为纵轴**，**时间为横轴**，从而记录下来的电位与时间相互关系的平面图。





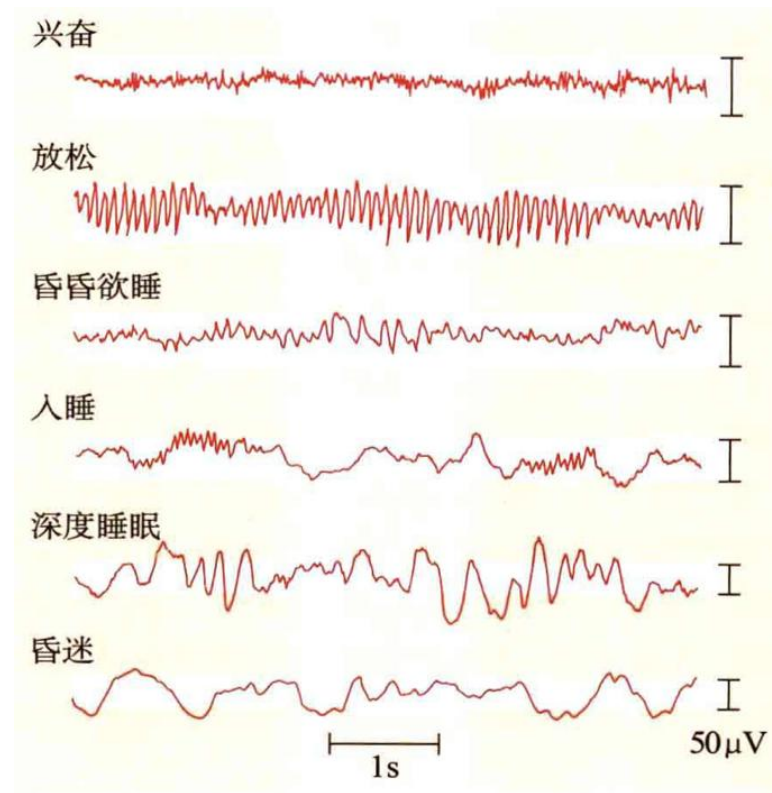
# 脑电图(EEG): 自发脑电

- 大脑在活动时，大量神经元同步发生的**突触后电位**经总和后形成的
- 能提供全脑活动的连续性记录
- 可预测的EEG信号与不同行为状态是有联系的
- 特点：自发性、节律性、随机性



## ■脑电图(EEG)自发脑电

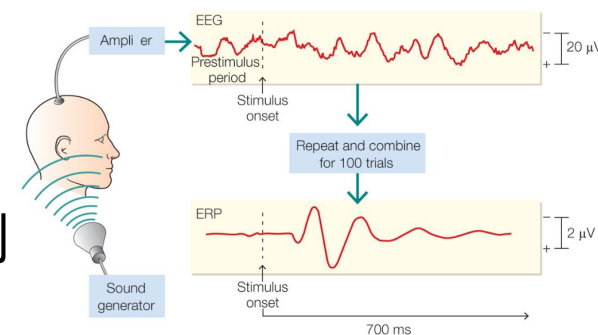
- 大脑在活动时，大量神经元同步发生的突触后电位经总和后形成的
- 能提供全脑活动的连续性记录
- 可预测的EEG信号与不同行为状态是有联系的
- 特点：自发性、节律性、随机性



- 波形由频率从低到高分为如下几类:
- $\delta$ 波: 频率0.5-3Hz, 幅度20-200 $\mu$ V, 在婴儿期 $\delta$ 波与儿童情绪变化相关, 儿童在困倦、悲伤、愤怒时可见。青少年(16-18岁)只有在额叶还可能记录到 $\delta$ 波。成年人清醒时没有 $\delta$ 波, **深眠**、脑器质性病变(如癫痫)可见 $\delta$ 波。
- $\theta$ 波: 频率4-7 Hz, 幅度100-150 $\mu$ V, 儿童的脑电图频率慢,  $\theta$ 波常见;  $\theta$ 波在成年人多见于**困倦**、悲伤、失望、精神病有时在智力活动、想象时也可见。
- $\alpha$ 波: 频率8-13Hz, 幅度20-100 $\mu$ V, 在**安静闭目、松弛**时出现。睁开眼时, 可使从顶-枕叶引出中断, 视觉成像、心理演算、自由联想、注意力集中可以引起中断。
- $\beta$ 波: 频率14-30Hz, 幅度5-20 $\mu$ V, 在额叶最容易记录到, **兴奋、觉醒**、 $\alpha$ 波中断时可见, 通常认为低幅快波反映大脑皮层被激活和正在处理信息的状态。
- $\gamma$ 波: 频率大于30赫兹, 是一种脑细胞的共振现象, 与**注意力的集中**程度有关, 也与情绪的控制有关, 也和新洞见、顿悟有关。

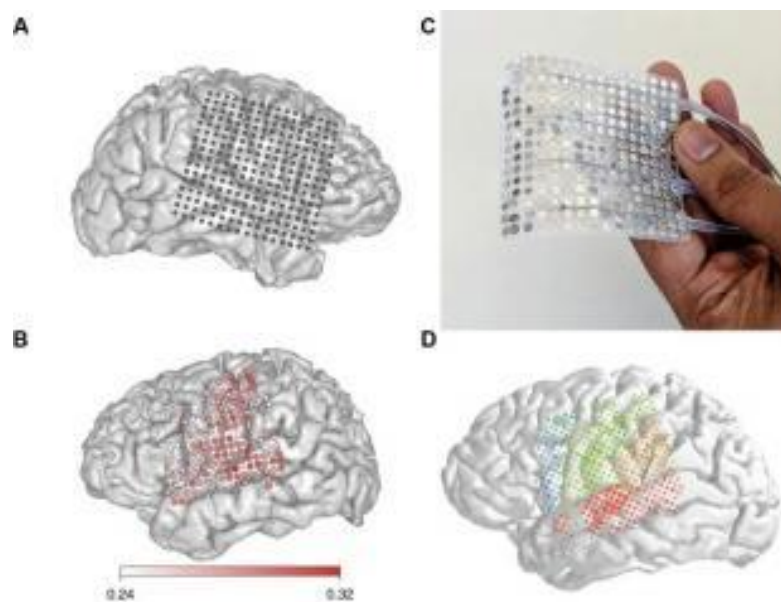
# 事件相关电位(ERP)

- 采集的是与实际刺激（听觉、视觉刺激）有固定时间关系的脑反应所形成的一系列脑电波，本质上是一种与**特定刺激或事件相关联的脑电活动**。
- 单次刺激的诱发电位信号微弱，而将**多次重复刺激诱发的脑电进行叠加**，可获取刺激所诱发的恒定脑电波形
- ERP由一系列大小、形状和正负向不同的脑电波(或成分)组成
- P表示正向成分，N表示负向成分，而它们后面的数字表示该成分相对于刺激的出现时间。P300，一般由偏差刺激引起，N400与语言功能相关。
- 时间精度高：100ms
- 空间定位精度低



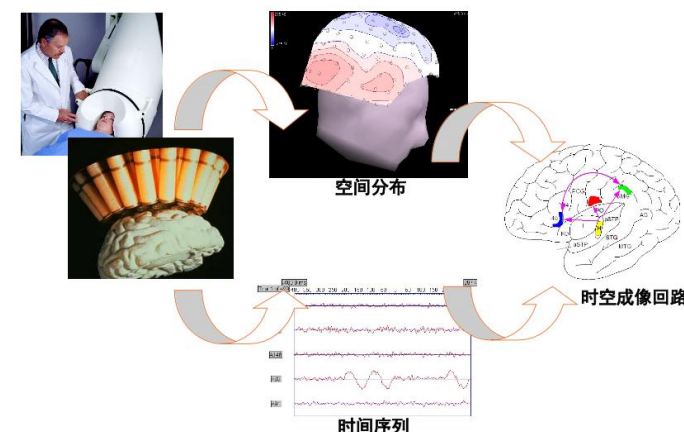
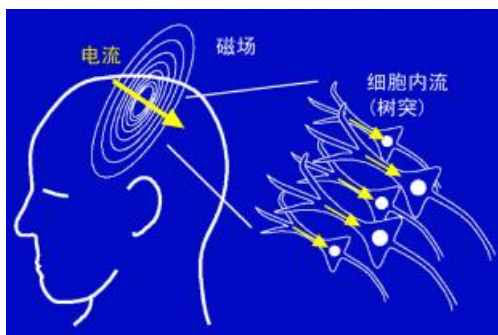
# 皮质电图 ECoG electrocortogram

- 跟EEG类似，记录脑皮质电波
- 不同的是它通过神经外科直接在脑皮质上插入电极，脑电波记录方式更直接。



# 脑磁图MEG magnetoencephalography

- 是对脑内神经电流发出的极其微弱的生物磁场信号的直接测量。在检测过程中，MEG探测器不需要固定在患者头部，测量前对患者无须作特殊准备，所以准备时间短，检测过程安全、简便，对人体无任何副作用。
- 时间分辨率极高，可达到毫秒级甚至亚毫秒级，因此对研究脑活动的动态过程特别有效，空间分辨率2mm。
- 设备价格昂贵。





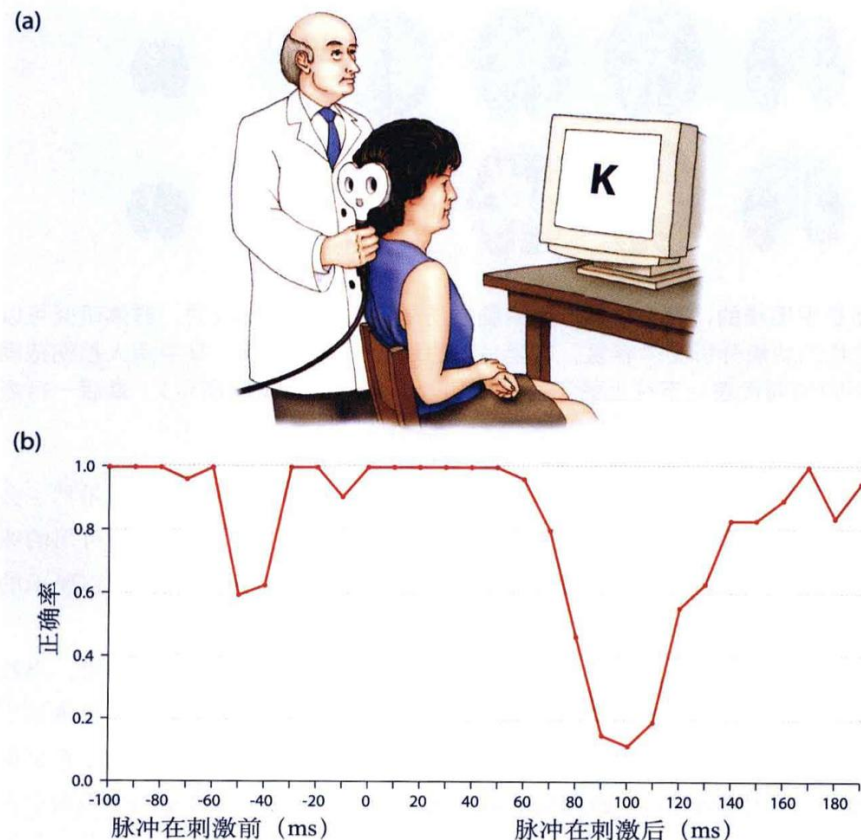
# 刺激手段

## ➤ 经颅磁刺激(TMS)

- 无创地在大脑中产生局部刺激，这种刺激可用于激发某种神经活动效果，也可以用于引发某种短暂的功能丧失

### ➤ 原理

- 由一个封装在绝缘套中，连接到强力电容并且被紧紧包裹的线圈组成
- 电容、电流、磁场、神经元放电
- 刺激范围：1立方厘米
- 效应短暂



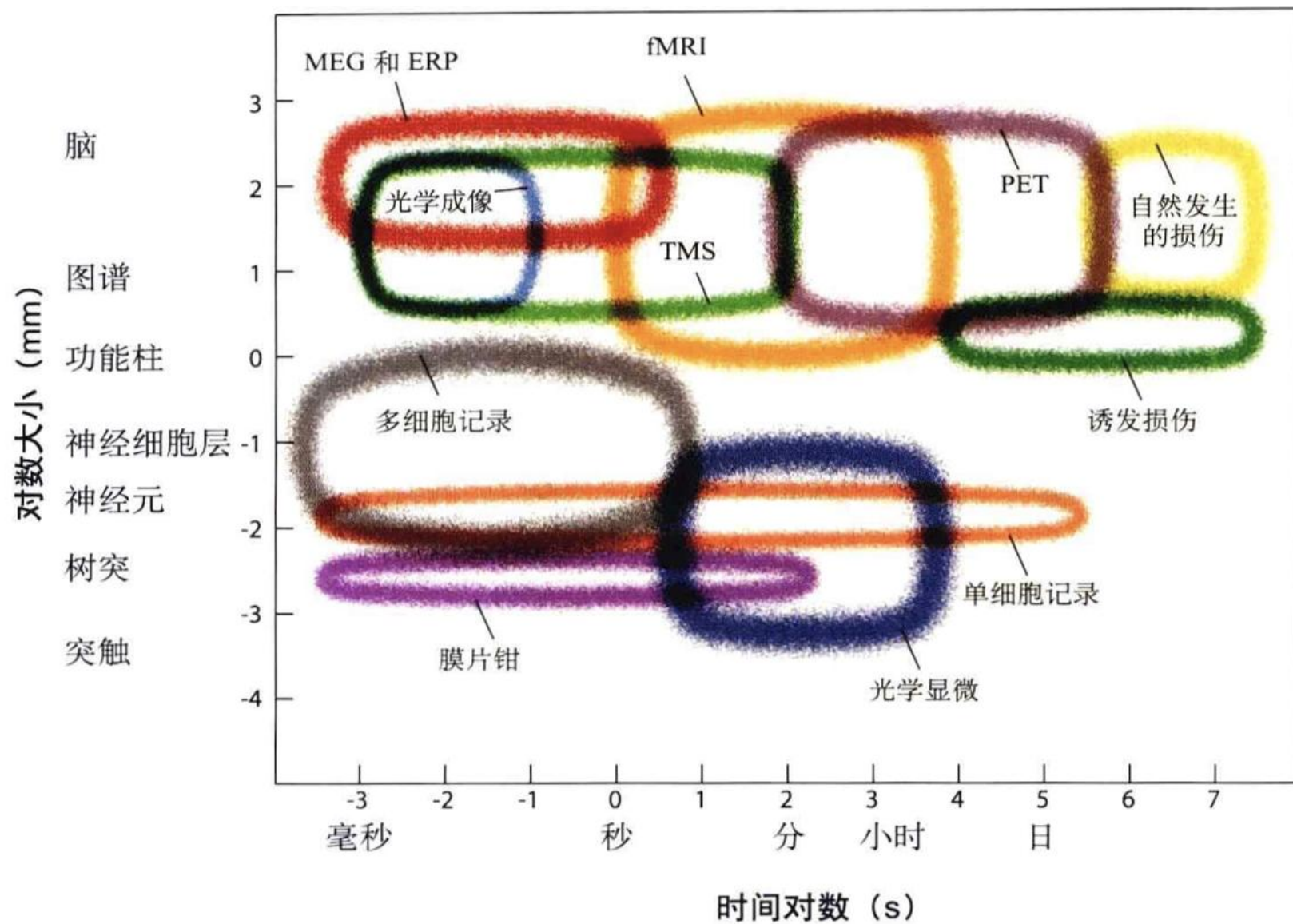


# 大纲

- 心理学方法
- 电生理学方法
- 脑成像
- 技术比较
- 设计实验范式

# 技术比较

- EEG有着极高的时间分辨率，几乎达到实时，不过空间分辨率较低。使用更多的是ERP，具有ms级的时间精确度，而空间分辨率为cm级。
- MEG对神经兴奋源的定位更加直接和准确，空间定位精度可达2mm范围以内，而且其时间分辨率可达1ms，价格约是EEG的20倍。
- PET可用来测量大脑的各种活动，包括葡萄糖代谢，耗氧量，血流量等，有较好的空间分辨率(5mm)、灵敏度、信噪比、时间分辨率、能量分辨，但系统造价高。还需要给被试服用示踪剂。
- fMRI通过检测血流进入人脑细胞的磁场变化而实现脑功能成像，它能给出更精确的结构与功能关系，空间分辨率为mm级，时间分辨率为s级。

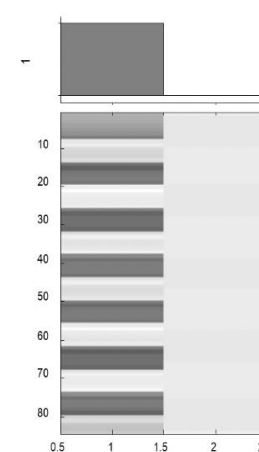


# 大纲

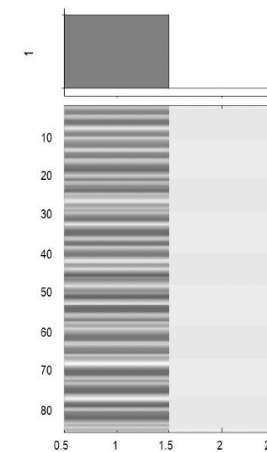
- 心理学方法
- 电生理学方法
- 脑成像
- 技术比较
- 设计实验范式

# fMRI实验设计矩阵

- 标准的fMRI实验设计有**组块设计**和**事件相关设计**。
- **组块设计**：获得的信号激活，强度更强、范围更大，有利于功能区的检出和定位。
- **事件相关设计**：获得的激活作用较弱，但可以反应功能区的活动细节，有利于研究各功能区之间的相互联系。
- 组块设计包括两种条件，分别是**任务组块**和**控制组块**，任务组块承载实验刺激的载体（刺激内容）。休息-刺激-休息-刺激，交替连续出现。
- 事件相关设计有刺激和刺激间隔两个部分。单个事件诱发的血液动力学持续时间大概为8-16s。

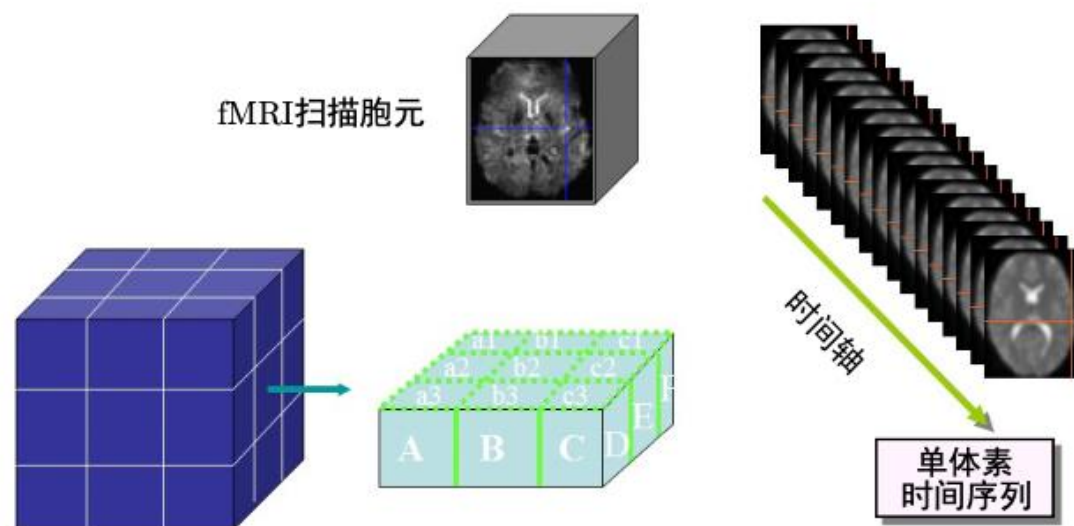


(e) 组块设计矩阵



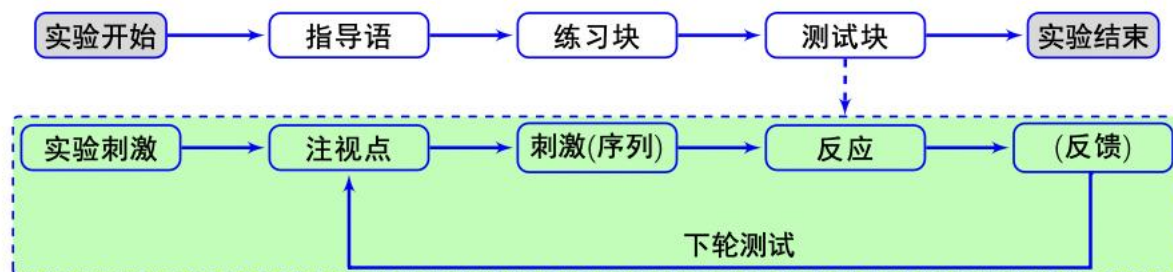
(f) 事件相关设计矩阵

# fMRI数据结构



# 以E-prime设计实验为例

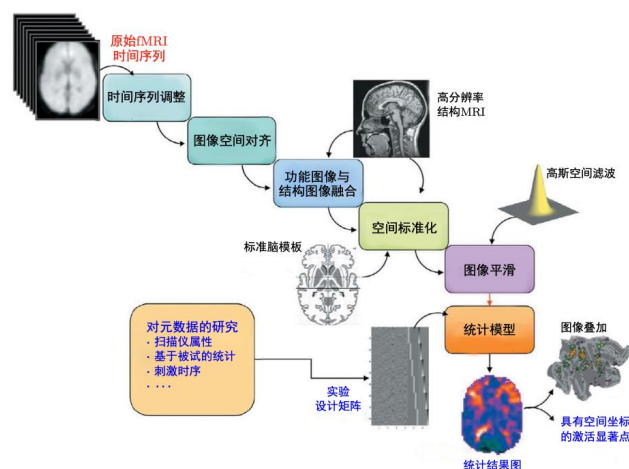
- E-prime是一套能提供毫秒精度的认知实验设计平台，它允许分块执行程序。
- 设计流程如下图
- 设计注意呈现顺序，分清实验变量，需要记录哪些数据。





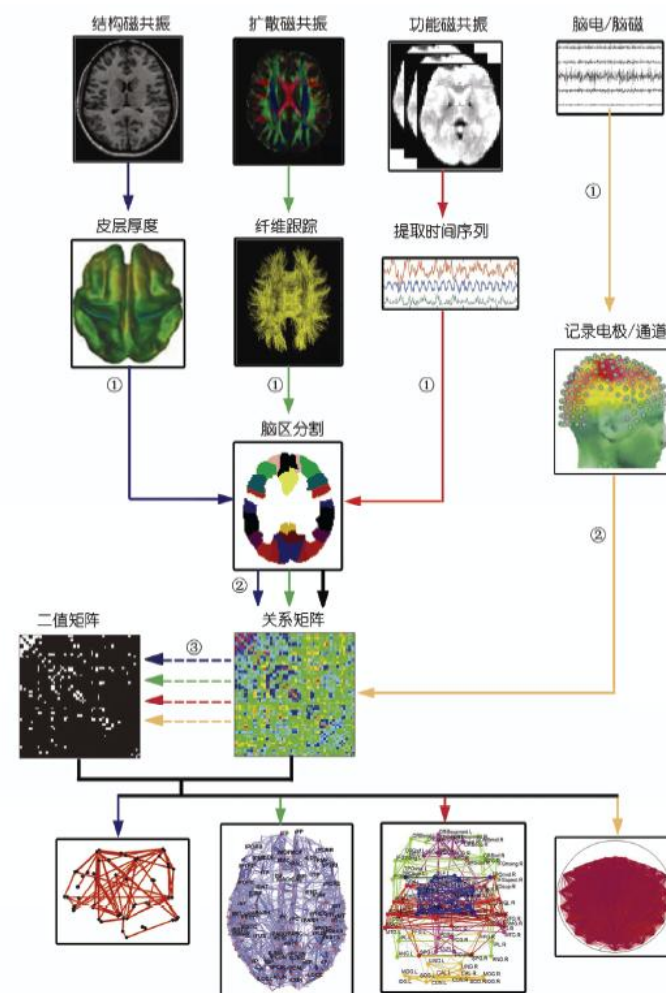
# SPM工作流程

- Statistical Parametric Mapping (SPM) 对fMRI数据的预处理、建模分析、统计推论
- 预处理包括时间校正、空间校正、标准化和平滑等步骤
- 把刺激的时间点输入，并指定估计模型，最常用的是广义线性模型



# 复杂网络及图挖掘

- 人脑连接组
- 力图从宏观(大脑脑区)到微观(单个神经元)的各个层次上、全面而精细地刻画人类从总体到个体水平的大脑结构网络图谱, 并进一步挖掘该网络的连接规律.
- 人脑连接组可以从3 个空间尺度, 即微尺度(microscale)、中间尺度(mesoscale)和大尺度(macroscale 或large-scale) (分别代表神经元、神经元集群和大脑脑区3 个水平)上进行研究
- 但鉴于现有的技术手段, 目前该领域的研究主要集中在大尺度水平上通过结构磁共振成像、扩散磁共振成像等成像技术来构建大脑结构连接网络或者采用脑电图EEG、脑磁图MEG和功能磁共振成像(fMRI)等技术建立大脑功能连接网络, 然后结合基于图论(graph theory)的复杂网络分析方法, 揭示其拓扑原理, 进而理解大脑内部的工作机制



# 研究方法小结

- 实验心理学方法：反应时法、眼动分析法、口语报告分析法、内隐联想测验和计算机模拟法
- 电生理学方法：膜片钳技术、细胞记录法、脑损伤研究法
- 脑成像方法：CT,PET,MRI,DWI,fMRI,EEG,ECOG,MEG
- 这些方法具有不同的时空分辨率

# 思考

- 试列举几种脑科学研究的基本手段，并简述其原理。
- 比较常用成像技术的时间分辨率和空间分辨率。
- 你认为将来更可能怎样研究大脑？
- 如何设计一个认知实验？

谢谢