

# 脑与认知总结（下）

## • 五、感觉和知觉

- 1. 知觉是一系列组织并解释外界事物的感觉信息（视、听、躯体、嗅、味）加工过程。知觉的产生以感觉为前提，同时进行。感觉是个别属性的认知，知觉是整体认识，受个人知识经验的影响。
- 2. 嗅觉是最古老的感觉信息，相关基因约占人体全部编码基因的3%。
  - 1. 感受器直接暴露于外界，鼻黏膜有超过1000种感受器（双极神经元），感觉信息与嗅小体整合，通过嗅神经不经过下丘脑直接到达初级嗅皮质。初级嗅皮质与探测气味变化相关，次级嗅皮质与分辨气味类型相关。
  - 2. 每种气味都由特定的嗅小体激活空间模式进行表征。
  - 3. 嗅觉信息传递过程中有大量局部中间抑制性神经元参与，构成侧抑制神经回路。提高对相似物体的分辨率、增益控制、控制动作电位的时间间隔用于编码
  - 4. 高气体流速鼻孔（大）对高吸收率气体敏感，低对低敏感，左右鼻孔大小随时间变化，可以同时感知具有不同吸收率的气体分子。
  - 5. 气味与个人记忆存在密切联系，因为嗅皮质与边缘系统直接连接。海马损伤的病人气味识别能力也严重受损。
- 3. 有约10000个味蕾。味蕾中的味觉感受器被激活后，味觉信息传递至丘脑中的腹后内侧核，然后进入初级味觉皮质和次级味觉皮质，形成复杂的味知觉。
- 4. 躯体感觉包括触觉、温度、疼痛、本体感觉等信息，有不同的感受器。通过脊髓、脑干传递至对侧丘脑，进入初级躯体感觉皮质、次级躯体感觉皮质、小脑等。初级躯体感觉皮质的面积取决于相应感觉信息的重要性，次级躯体感觉皮质中的神经元可以编码更复杂的物体纹理和大小等信息。
- 5. 听觉的主要功能包括对环境的感知和同类的识别交流：
  - 1. 声波引起耳鼓振动及内耳中的液体振荡，刺激内耳耳蜗中的初级听觉感受器毛细胞将机械信号转换成动作电位。听觉信息通过丘脑的内侧膝状体后到达初级听觉皮质。
  - 2. 听力范围20-20k，最敏感1k-4k。低频信号，动作电位每个周期都发放，高频信号，单个神经元只在部分周期发放。
  - 3. 单个神经元不能给出精确的频率信息，感受野频率范围较宽，频率选择特性不好。听觉信息传递过程中，神经元的频率选择特性逐渐增强。
  - 4. 听觉信号依赖于多个神经元的联合编码。大脑听觉区具有特定的频率激活空间模式，有助于联合编码。
  - 5. 空间定位：耳间时差（时间同步编码，有同步检测器，确定水平位置），耳间强差（信号强度编码，通过神经元的发放率编码，确定竖直位置），再整合两者信息。
- 6. 视网膜感光细胞接收光子并转换为电信号，由视网膜上的神经元进行处理，通过视神经传入大脑。

- 7. 视杆细胞：分布在整個視網膜，感受低光刺激，產生低精度視覺，主要在晚上工作，響應慢；視錐細胞：集中在中央凹，強光、高精度、對不同顏色敏感、白天、響應快。
- 8. 視錐細胞根據感光度可分為藍色、綠色和紅色。視覺對長波光更加敏銳，紅綠占大多數。紅綠色盲。
- 9. 視覺處理從外界的光信號中提取出有效的（有價值的）特徵信息，1億-100萬
- 10. 感受野：視覺神經元僅對有限區域的光信號產生反應。中間興奮-外周抑制神經元，通過側抑制的神經回路，將抑制信號傳輸給鄰近的視覺神經元突觸前末梢，可放大感光細胞之間的興奮性差異，提升信噪比。
- 11. 視神經的顳側分支沿同側傳遞，鼻側分支沿對側，使左視野進入右側大腦，右視野進入左腦。
- 12. 視神經進入大腦通路：
  - 1. 90%：丘腦外側膝狀體，初級視皮質
  - 2. 10%：皮質下結構
- 13. 視神經通路（通路1）的功能特異化：
  - 1. P通路，沿外側膝狀體的小細胞層，神經元感受野小，傳遞高敏銳度和色覺的視覺信息
  - 2. M通路，沿外側膝狀體的大細胞層，感受野大，傳遞亮度的視覺信息，具有好的對比和時間分辨率。
- 14. 外側膝狀體的神經元具有和視網膜神經元相似的中心-外周型感受野，對圓形光斑信號敏感。
- 15. Hubel和Wiesel：
  - 1. 初級視皮質簡單細胞對特定方向光條敏感，具有中間興奮-外周抑制的條狀感受野，具有檢測線條和輪廓的功能。
  - 2. 初級視皮質複雜細胞有更大更複雜的感受野，對任何位置上特定方向的光條均非常敏感，對空間信息做進一步整合，識別感受野中所有線條輪廓，比簡單細胞具有更抽象的線條和輪廓檢測能力。
  - 3. 外側膝狀體神經元感受野線性排列組成簡單細胞感受野，之後相鄰區域同向排列組成複雜細胞感受野。
  - 4. 前饋模型假說：視覺通路的神經元感受野組織在一起構成層次化的前饋計算模型，每個層級都對上一個層級內神經元傳來的信息進行處理和表征，最終提取出重要的視覺信息。（CNN）
  - 5. 初級視皮質的兩個組織原則：視網膜拓撲學映射，視皮質特定部位接受來自視網膜對應部位的信息。功能架構，相同特性的神經元排在与皮質表面垂直的軸上（皮質柱）
  - 6. 初級視皮質以垂直的皮質柱為基本單位發揮功能，同一個皮質柱內的神經元具有相似的功能特性。
- 16. 皮質柱內的神經環路：LGN(外側膝狀體) - L4 - L2/3 - L5 - L6

- 17. 视觉信息的分布式处理假说：不同的视皮质区域分别从V1（初级视皮质）的视觉信息中形成颜色、运动等知觉，再进一步形成对事物的全面感知。
  - 1. MT (V5) 区神经元：运动知觉，朝特定方向运动时，兴奋性最强，兴奋性与运动速度有关。单侧半球MT区损伤对运动知觉影响较小，双侧半球损伤会导致运动知觉丧失。
  - 2. V4区：颜色知觉，全色盲是由V4区受损引起的，对所有颜色均无法感知。V4还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。患者无法识别渐变颜色的细微差别，从而丧失了对莫奈作品中人物的形状知觉。
  - 3. 深度视觉来自于：双眼视差、运动遮挡、物体在视网膜上的成像大小。因存在多种信息来源，所以深度视觉完全丧失的现象极为罕见。
  - 4. 空间通路/背侧通路：处理运动和深度信息，V1-V2-V3-MT，由M通路输入，由顶叶皮质输出。
  - 5. 内容通路/腹侧通路：处理形态和颜色信息，V1-V2-V4，由MP输入，颞下皮质输出。
- 18. 多种感觉信息的整合形成对外界环境统一的多感觉表征，使知觉更加准确、高效。

## • 六、物体识别

- 1. 背侧通路流入的顶叶皮质神经元：可被物体的空间变化激活，对大小形状不敏感。40%的神经元感受野位于视野中央（中央凹），其他在中心视野两侧。检测物体空间位置/运动信息。
- 2. 腹侧通路流入的颞下皮质神经元：感受野全都位于中央凹，一部分神经元可被不同形状、大小的物体所激活，其他神经元仅能被特定复杂物体激活（如被手特异性激活）。物体识别。
- 3. 背侧通路损伤，视觉性共济失调。可以识别物体，但不能通过视觉信息引导动作。
- 4. 腹侧通路损伤，视觉失认症。物体识别能力严重下降，对物体三维方向知觉存在障碍，但基于视觉的动作控制和记忆表现正常。
- 5. 背侧和腹侧通路在功能上存在密切联系：顶叶对腹侧通路的视觉注意控制起关键作用，深度等空间信息对复杂场景中的物体识别也有帮助。
- 6. 物体恒常性：在视角、距离、光照等因素发生变化的前提下，对物体的视知觉仍然保持不变。同时恒常性现象不会影响对相似物体之间细微差别的感知。影响恒常性的因素：观察者位置、亮度变化、遮挡。
- 7. 大脑用于物体识别的信息：物体形状（最重要），物体表面颜色、纹理，物体的运动。
- 8. 外侧膝状体神经元（点）- V1简单细胞（边）- V1复杂细胞（平行边、拐角）- 腹侧通路神经元（复杂形状、物体局部）- 颞下皮质神经元（物体）
- 9. V1区皮质柱的长程水平连接可能与复杂形状表征有关。
- 10. 物体识别编码假说：
  - 1. 单一神经元编码假说：一个可识别复杂物体的神经元（知识单元）被激活。独热表征，噪声大，太脆弱，泛化能力差。

- 2. 集群神经元编码假说：多个相关神经元集体被激活。分布式表征，符合视觉信息的分布式处理假说，噪声小，反脆弱，泛化能力强。（能识别不同的手，包括手套）
- 11. 视角相关性：
  - 1. 视角相关假说：物体识别需要依赖特定视角下的物体表征，记忆中保存大量视角，物体识别即快速匹配。若视角非常罕见，则需要对新视角下的视觉信息与记忆中视角相关表征的关系进行推理，视角差异增加，判断时间变长。（神经网络全新视角合成）
  - 2. 视角不变假说：建立不受视角影响的物体基本表征进行物体识别。Marr视觉计算理论，基本表征是主轴和次轴。
  - 3. 可能同时存在视角相关和视角不变识别机制。左脑腹侧通路对重复出现物体的表现与视角无关，右脑有关。
- 12. 视觉的物体失认症：对物体的形状、颜色和动作知觉均正常，但不能根据视觉信息正确识别物体，是一种视觉认知障碍。
  - 1. 统觉性失认症：无法形成正常的物体视觉表征，与腹侧通路损伤有关。对常见物体的形状、颜色知觉无明显异常，但无法正常识别物体，尤其是形状信息不显著时。
  - 2. 患者的物体恒常性丧失，可以识别常见视角和光照，不能识别非常见视角和光照。当视觉信息不能和记忆中存储的物体表征快速匹配，需要进一步推理时，物体识别能力显著下降。与右侧大脑半球视觉皮质损伤密切相关（右脑在物体恒常性起主导作用）
  - 3. 复杂场景中的恒常性丧失：可以识别单个物体的不同视角和光照，但不能识别重叠物体。缺乏对物体的整体表征，导致无法分离物体。
  - 4. 联络性失认症：恒常性正常，但无法对物体进行命名和描述。左侧大脑半球皮质损伤。
  - 5. 两种患者都不能完成物体的功能匹配任务：统觉性在视觉信息不常见时无法形成物体表征，联络性能形成物体表征，但是无法获得功能、名称等信息。
- 13. 物体识别的认知模型包括：
  - 1. 知觉分类：两侧大脑半球腹侧通路协同形成物体的视觉表征，然后在右侧大脑半球中与记忆存储的物体表征匹配，产生物体知觉。
  - 2. 语义分类：在左侧大脑半球中将物体知觉与记忆存储的物体名称、功能等相联系。
- 14. 联络性失认症患者对不同物体范畴的识别能力存在明显差异。物体知识组织方式产生了物体识别的范畴特异化现象，不会破坏全部物体知识。
  - 1. 基于范畴的物体知识组织方式假说：依据不同的范畴关系进行层次化组织（动物、工具）
  - 2. 基于表征的物体知识组织方式假说：依据不同的表征方式（视觉表征：不同的形状颜色纹理，功能表征：切割）
  - 3. 建立包含物体视觉、功能表征的人工神经网络模型（分布式），可以验证假说
  - 2. 视觉表征神经元无法激活，难以识别生物，对无生命物体的识别能力降低相



对有限。功能表征相反。

- 4. 范畴特异化的本质是识别生物和非生物的信息来源不同。失认症患者通常对无生命物体的识别能力更好，因为使用物体时的其他感觉表征补充了视觉识别能力的不足。
- 15. 面孔失认症：人脑存在独立于其他物体识别的面孔识别系统（物体失认症患者可以识别面孔、面孔失认症患者可以识别精细物体，对倒立面孔识别能力更好）
- 16. 颞下皮质存在可被面孔特异性激活的神经元。面孔视觉信息流动方向：ML/MF区：被特定视角的面孔激活 -> AL区：能被特定视角+镜像激活 -> AM区：能被不同视角激活。
- 17. 颞叶中存在梭状回面孔区（FFA），在面孔识别中起重要作用。对其它物体进行精细识别时，除面孔区之外的梭状回区域被激活。
- 18. 面孔识别的核心皮质通路：视皮质 -> 枕叶面孔区（面孔局部）/ 颞上沟（面孔表情） -> 梭状回面孔区（面孔整体信息处理、面孔识别）
- 19. 右脑在自己面孔的识别中起主导作用。在看到自己照片时有更明显的激活，（癫痫）可以从合成照片中识别自己的面孔。
- 20. 物体识别的双系统假说：大脑存在整体视觉信息处理系统和局部视觉信息处理系统。
  - 1. 单词：局部
  - 2. 面孔：整体。面孔失认症患者无法通过面孔的整体视觉信息进行识别
  - 3. 其他物体：整体局部双系统
- 21. 马尔视觉计算理论，物体推得形状信息三个表征阶段：
  - 1. 初始简图：亮度变化和局部几何特征。
  - 2. 2.5维简图：处理初始简图，得到表面几何特征的表征，表面朝向，观察者的距离，提供表面形状的多方面信息。
  - 3. 三维简图：2.5维简图坐标系以观察者为中心，变为以物体为中心。
  - 该理论的困难：
    - 1. 根据图像数据确定表面点的特性需要增加附加的约束条件
    - 2. 逐点运算计算量巨大
    - 3. 缺乏目的性和高层知识反馈，导致三维重建框架不可行
    - 4. 缺乏利用机器学习手
- 七、记忆和学习
  - 1. 什么是记忆
    - 记忆：动物通过感受和反应的过程进行学习，并通过大脑神经结构带来持续性的改变，从而将所学知识存储起来的过程
  - 2. 记忆的类型
    - 感觉记忆(sensory memory)：几毫秒-几秒，不需要特别注意
    - 短期记忆(short-term memory)：几秒-几分钟，短期内记忆信息

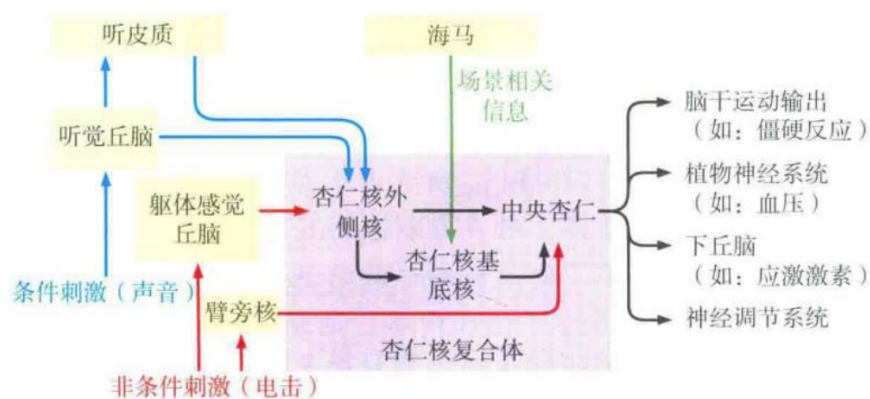
- 工作记忆(working memory)是短期记忆的一种，指在认知过程中（如进行多步数学运算的过程，或在拨号前短暂记住某个电话号码）对信息和事物的短期存储，作为一种容量有限、仅在短期间内保存的信息，工作记忆可源于感觉记忆的输入，也可以从长期记忆中提取获得
  - 工作记忆的认知机制：
    - 1.感觉信息形成短暂的感觉记忆
    - 2.通过注意过程，选择信息进入短期存储(工作记忆)
    - 3.通过复述转入长期存储（长期记忆）
    - 此外，研究显示感觉记忆也有可能通过直接编码形成长期记忆
- 长期记忆(long-term memory): 几天-数年，又分为长期陈述性记忆和长期非陈述性记忆
  - 陈述性(declarative)记忆：也被称为外显(explicit)记忆，是指那些对先前已知事物（如姓名、事实、事件）有意识的回忆，我们在日常生活中经常提到的记忆通常都属于外显记忆
    - 情节记忆（事件）：自传式记忆，对以往事件的个人意识
    - 语义记忆（事实）：世界知识，通常与情节记忆无关
  - 非陈述性(nondeclarative)记忆：又叫内隐 (implicit)记忆，帮助人们通过已有的经验掌握完成某项任务的技能，这一过程不需要有意识的记忆
    - 程序性(procedural)记忆：包含各种自动技能（运动等）和认知技能（读写等）的学习
    - 知觉表征系统：感知系统中发挥作用，更快地识别以前出现过的物体或词语（知觉启动）
    - 非联想学习：
      - 习惯化：因反复刺激而对刺激的敏感性降低
      - 敏感化：因反复刺激而对刺激的敏感性增高
    - 经典的条件反射
- 3.记忆的过程
  - 记忆分为三个主要阶段：
    - 1.编码(coding): 对输入信息的处理和临时存储
      - 获得(acquisition):经历或学习某项事物后记忆的最初形成阶段
      - 巩固(consolidation):新获取的记忆被巩固加深
    - 2.存储(storage):记忆被存储在神经系统某处的过程
    - 3.提取(retrieval):回想已有记忆的过程
    - 遗忘(forgotten):记忆的遗忘是必要的，记性太好也是病！
- 4.大脑损伤与记忆
  - 短期记忆遗忘症：由脑损伤等原因引起的短期记忆缺陷
  - 长期记忆遗忘症：对长期记忆产生影响

- 逆行性遗忘症：对遗忘症发生以前的事件记忆丧失
- 顺行性遗忘症：形成新记忆能力的丧失
- 5.记忆的神经机制
  - 目前普遍认为记忆通过强化神经回路中的突触连接进行存储
  - 突触权值矩阵 (synaptic weight matrix) 在理论上可以存储巨量信息，从而将特定的输入模式 (事件) 与特定的输出模式 (记忆提取) 联系起来
    - 哺乳动物海马的神经回路中存在明显的突触权值矩阵，每个神经元都与几千甚至几万个其他神经元相连组成庞大的突触矩阵，为记忆的获得和存储提供了巨大的容量
- 6.学习的神经机制
  - 学习的本质就是根据经历的事件改编突触矩阵的权值，即改变突触连接的方式，如形成、消失、增强、减弱，也称为突触可塑性(synapse plasticity)
  - 赫布法则：如果神经元A重复或持续刺激神经元B，则它们的活动模式相关，导致它们之间的突触连接增强
  - 赫布法则的延伸理论：如果神经元A对神经元B的兴奋性刺激反复失败，使得他们的活动模式不相关，则它们之间的突触连接减弱
- 7.突触可塑性
  - 1.现象：
    - 对海马中的神经元施加高频电刺激后，可记录到兴奋性突触后电位(EPSP)增大，表明神经元的突触传递效率提高，而且可以持续几个小时甚至几天，被称为长时程增强 (long-term potentiation, LTP)
    - 与LTP相对的机制是长时程抑制 (long-term depression, LTD) ,由低频刺激诱导产生
  - 2.LTP的特性：
    - LTP具有输入特异性、协同性和关联性的特点
    - 1.输入特异性(input specificity): LTP只发生在经历了高频刺激的突触，而不发生在其他未被刺激的突触上
    - 2.协同性(cooperativity):与赫布法则类似，通过诱发突触后神经元的去极化，能够仅通过弱刺激(如单次刺激) 即可诱导LTP
    - 3.关联性(associativity):一个不能单独产生LTP的弱刺激，当和强刺激共同作用时可以引发LTP
    - LTP的上述特点有利于调节对记忆获取非常重要的突触权值矩阵，使得个体的经历能够在单一突触水平上改变突触权值矩阵中每一个突触的强度
      - 输入特异性使得同一个突触后神经元与不同突触前神经元形成的突触强度能够被独立的调控
      - 协同性使得某一个输入信号能够通过同时去极化多个突触后神经元，从而调节一组突触的强度
      - 关联性使得同时发生的输入信号能够互相作用，从而影响对方信号通路上的突触强度，这一点对联想学习十分重要

- 3.突触的双向调节:
  - 如果突触连接只能被强化，整个突触权值矩阵将最终饱和从而失去编码新记忆的空间，因此除LTP外还有许多其他可塑性机制存在，使得突触权重能够被双向调节
  - LTP/LTD代表了对突触强度不间断的双向修饰调控，从而大幅度增加了突触记忆网络的机动性和存储能力
  - LTP和LTD能够先后影响同一个突触，即低频刺激能够抑制曾被LTP加强的突触，而高频刺激也能够增强曾被LTD弱化的突触
- 4.脉冲时序相关可塑性:
  - 除LTP/LTD外，另外一种突触可塑性机制被称为脉冲时序相关可塑性(spike-timing dependent plasticity, STDP)
  - 在STDP中，突触前和突触后兴奋的精确时序性对于突触强度改变极为关键
  - 如果突触前神经元和突触后神经元的先后兴奋且间隔很短（通常在几十毫秒），且这种成对兴奋模式多次出现，则该突触的连接强度增大,如果突触前神经元在突触后神经元兴奋后的几十毫秒内也产生兴奋，则多次反复后突触的连接强度降低
  - 利用赫布法则解释STDP：如果突触前神经元重复在突触后神经元之前兴奋，则这一突触前兴奋应参与了造成突触后神经元兴奋的刺激过程，因此两个神经元之间的突触应该被加强,如果突触前神经元重复性在突触后神经元之后兴奋，则这一突触前兴奋就不可能参与造成突触后神经元兴奋的刺激过程，因此两个神经元之间的突触应该被削弱
- 8.学习的类型:
  - 简单学习类型:
    - 习惯化(habituation): 对重复出现的刺激响应强度降低，反映神经系统对于环境刺激的响应可以发生快速变化
    - 敏化(sensitization): 对出现在某有害刺激之后的刺激响应强度增加的过程
    - 突触效能抑制造成习惯化，而突触效能增强造成敏化
  - 高级的学习类型:
    - 经典条件化(classical conditioning, 又称条件反射): 对条件刺激产生新反应的能力，在人和动物中广泛存在
      - 食物（非条件刺激）和一个本来不能导致流涎的声音（条件刺激）同时成对出现并重复多次后，这一声音便可以导致流涎
      - 条件刺激一般早于非条件刺激，属于一种联想学习(associative learning)
    - 操作性条件化(operant conditioning, 也称工具性条件化): 在操作性条件反射中，一个强化因子只在动物表现出特定行为时出现，也属于一种联想学习
      - 当强化因子（食物）在大鼠每一次按压平板都出现时，老鼠渐渐将按压平板（它自身的动作）与食物奖赏联系起来
    - 经典条件化和操作性条件化的共同特点
      - 时机(发生顺序和间隔时间)对条件化的有效性极为重要



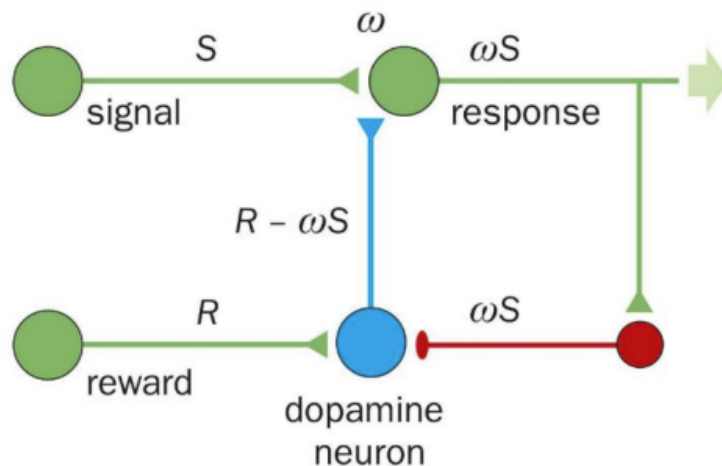
- 经典条件化：条件刺激→非条件刺激
- 操作性条件化：行为→强化因子,间隔短条件化效果最好
- 条件化学习的消退(extinction)现象
  - 经典条件化：当条件刺激重复性地不与非条件刺激配对出现时，条件化的反应会逐渐消失
  - 操作性条件化：当强化因子没有在特定行为出现后重复性出现时，这一行动也会消失
- 恐惧条件化的神经回路：
  - 杏仁核是高等动物的情绪记忆和信息处理中心，在恐惧条件化学习中具有核心作用，而中央杏仁核是对恐惧反应的输出部分
  - 听觉条件刺激：听觉丘脑/听皮质→杏仁核外侧核→中央杏仁核
  - 场景条件刺激：海马→杏仁核基底核→中央杏仁核
  - 引发恐惧反应的非条件刺激(电击)：
    - 1) 躯体感觉丘脑→杏仁核外侧核→中央杏仁核
    - 2) 痛觉通路(臂旁核)→中央杏仁核



- 9.探索学习的神经机制：
  - 进一步确定学习与突触强度改变的因果关系，需要在脑科学研究中实现以下目标：
    - 确定与某个特定学习过程相关的具体神经元和突触可塑性
    - 确定突触权值矩阵在学习前后的特定状态
    - 对突触权值矩阵进行人为修改，使其无需学习即可由一个特定状态直接变成另一个特定状态
    - 验证修改后的生物行为与经过学习后所形成的行为类似
- 10.认知学习：
  - 除可被视为依据经验而改变行为的过程外，学习也可以被解释为对新知识的获取，因此被称为认知学习(cognitive learning)
  - 从认知学习的角度理解条件化过程
    - 动物学习到了条件刺激（如声音）后会发生非条件刺激（如食物）这一新知识

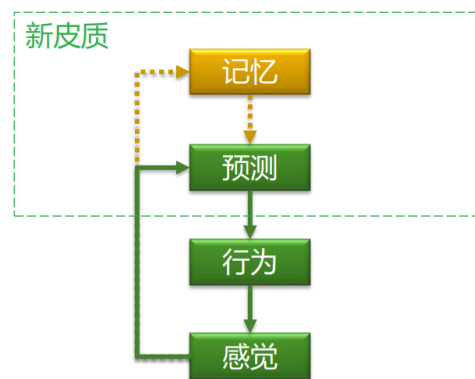
- 条件反射行为则是运用这一知识预测即将发生的非条件刺激的反应（如流涎），而非是对条件刺激本身的反应
- 11.海马与空间记忆：
  - 海马参与了与空间认知相关的长期空间记忆（spatial memory）
- 12.与长期记忆相关的皮质区域：
  - 海马及内侧颞叶的相关皮质：与短期记忆无关，但在外显记忆的最初存储并形成长期记忆的过程中极为重要
    - 并不参与长期记忆的存储和提取，因此对大脑受损前获得的旧记忆影响有限
  - 外显长期记忆在哪里存储？
    - 大脑中的新皮质参与长期外显记忆的存储
    - 特定种类的记忆存储在特定的皮质区域
- 13.长期记忆形成的巩固假说：
  - 巩固是指长期记忆从开始获得后随时间而逐渐形成的过程，包括以下阶段：
  - 快速巩固阶段：最初记忆形成时，包括海马在内的内侧颞叶参与了长期记忆的编码和提取，将分散到各个皮质区域的信号联系起来
  - 缓慢巩固阶段：海马和皮质区域之间通过持续的相互作用，使得皮质区域之间逐渐建立内部联系，逐渐减少长期记忆对海马的依赖
  - 长期记忆形成：长期外显记忆通过皮质区域间的联系逐渐巩固，在提取时不再依赖海马，海马和皮质区域之间的联系完全消失
  - 除海马外，额叶也参与了短期和长期记忆过程，研究显示左侧额叶参与情节记忆的编码、语义记忆的编码和提取，而右侧额叶参与情节信息的记忆提取，也有观点认为，左侧额叶更多参与语言表征的编码过程，而右侧额叶更多参与物体和空间记忆信息的加工
- 14.多巴胺与奖赏学习：
  - 哪些脑区控制动物在奖励刺激下不断重复行为？
    - 电流刺激的操作性条件化实验显示，中脑的腹侧被盖区(VTA)和黑质中多巴胺神经元在奖赏学习中起重要作用
    - 研究显示，VTA→伏隔核和黑质→纹状体两条通路均参与学习有助于获得奖励性刺激的行为反应
  - 多巴胺神经元以两种不同的模式产生兴奋：
    - 紧张性(tonic)模式：维持较低但较为稳定的基本放电频率
    - 相位性(phasic)模式：响应特定刺激以集中放电的形式兴奋
  - 实验显示，多巴胺神经元的相位性兴奋并不是针对奖赏本身，而是反映了实际奖赏和预期奖赏直接的差异，又叫奖励预测误差(reward prediction error)
    - 学习前：奖励的出现产生相位性兴奋
    - 学习后：条件刺激产生相位性兴奋，奖励出现却无相位性兴奋
    - 学习后无奖励：条件刺激产生相位性兴奋，奖励消失导致紧张性兴奋被抑制
  - 多巴胺介导的奖赏学习回路模型：

- 多巴胺神经元同时接受奖励信号 $R$ 和负反馈信号 $\omega S$ ，输出信号 $R - \omega S$ 即为奖励预测误差，利用其对 $\omega$ 进行调节
- 在学习之前，因 $\omega$ 很小导致奖励预测误差很大，导致多巴胺神经元输出较大的信号以增加 $\omega$
- 随着学习的进行， $\omega$ 不断增加导致奖励预测误差减小
- 当奖励预测误差为0时学习完成，多巴胺神经元不再因响应奖励信号而产生相位性兴奋



- 15.智能的本质：
  - 智能的本质是预测，预测是大脑新皮质的主要功能和智能的基础
  - 智能是衡量对世界中模式的记忆和预测能力，这些模式包括语言、数学、物体的物理属性以及社会环境
  - 大脑从外界接收模式，将它们存储成记忆，然后结合正在发生的事情进行预测
  - 人类大脑中新皮质的进化导致智能的出现
    - 拥有了更强大的记忆，从而以更复杂的关系为基础进行预测
    - 接管了人类大部分的运动行为，通过预测的方式控制行为
- 预测和行为之间的关系：
  - 大脑中的新皮质是在动物进化出复杂的行为之后才被进化出来的，因此先有行为然后才有智能
    - 新皮质的主要功能是为了提供对外部世界的记忆，进化出大量新皮质的动物，可以和人类一样感知这个世界
  - 大脑所感知到的大多数事物，在很大程度上都依赖于行为
  - 为什么人类有语言、工具使用等智能行为而其他动物没有？
    - 人类大脑的新皮质在运动控制上取代了大脑的其他部分，因此在产生和控制行为方面起着主导和超前的作用

一种基于大脑新皮质的智能理论：“记忆-预测框架”



以上内容整理于 [幕布文档](#)