

信息学院人工智能专业方向

《脑与认知科学》

神经解剖和发展

爱因斯坦大脑的故事

KEY CLUE SOUGHT IN EINSTEIN BRAIN

Study of Blood Vessels in Its Covering May Shed Light on Secret of Genius

By WILLIAM L. LAURENCE

The brain of Dr. Albert Einstein, to be studied with the most up-to-date methods, may shed light on one of nature's greatest mysteries—the secret of genius.

The brain that, in a living body, vastly extended the horizons of man's understanding of his universe, may, as a result of the studies, open new vistas of knowledge after its death.

Studies aimed at locating the "seat of intelligence" in the human brain have been carried out for nearly a century by comparing the anatomy of the brains of men of genius with some of the really great have

those of ordinary mortals. The studies were described by Dr. Edward Podolsky, New York psychiatrist, in his book, "The Thinking Machine" (Beechurst Press, Inc., 1947).

The first such study was undertaken in 1860 by Dr. Rudolph Wagner, to whom were bequeathed the brains of three men of genius, including Karl Friedrich Gauss, one of the greatest mathematicians of all time (1777-1855).

Dr. Wagner undertook a careful study, comparing the brain of Gauss with that of an ordinary day laborer. He compared the depth of the fissures, the weights, and the number and pattern of the convolutions of the two brains. It turned out that the brain of one of the intellectual giants of all time and the brain of the common laborer were "practically identical in all respects."

On Weight and Convolutions

In other studies it was found that the brain of an idiot might weigh more than that of a man of superior talent. The brains of

been rather light in weight. The depth and number of convolutions in the brains of men of talent were found to be no more complicated than those in the brain of a moron. In fact, it was found impossible to distinguish between the brain of a genius and that of an illiterate laborer.

Attention was then focused on the frontal lobe of the brain as the possible "seat of intelligence." However, a careful study of the frontal lobes of the brain of G. Stanley Hall, eminent psychologist and university president, and of Sir William Osier, world-famous physician, revealed no essential differences from the frontal lobes of ordinary individuals.

Attention was then focused on studies of the arterial systems supplying to the brain the fuel it burns for its proper functioning. It was realized that two engines, equal in every respect, might nevertheless function very differently if one were supplied with better grade gasoline and lubrication, as well as a better supply system.

Since the fuel of the brain—

mostly sugar—is carried by the blood stream, which is carried by the blood vessels, the studies were concentrated on the brain's blood supply and the number and quality of its blood vessels.

Brain Coverings Important

The "most serious mistake made when studying the brain," Dr. Podolsky said, "was to remove and discard the brain coverings," whereas "it was not the brain itself but the membranes which covered the brain that had the most interesting story to tell."

"The brain coverings," he continued, "contain the arteries and veins that nourish the brain, hence a study of the size and complexity of these arteries may tell us more about brain power than the size, weight and complexity of the brain structure itself."

The first studies of brain coverings of individuals of superior mental power, as compared with those of ordinary mental ability, were made in 1928. These revealed, Dr. Podolsky asserts,

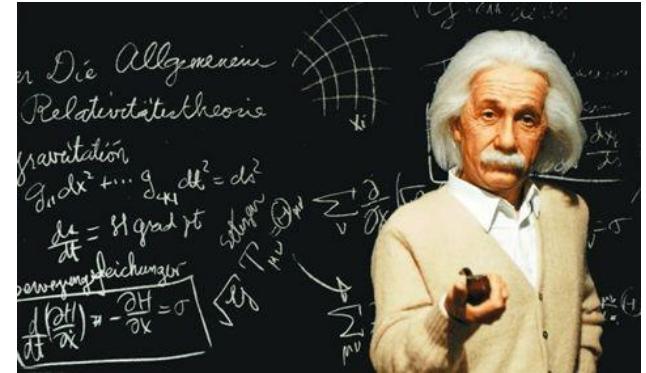
real differences between the two types of brains.

It was found that the blood supply systems of the brain coverings of those with superior mental endowment were richer and more complex. It was further found that the brain coverings (meninges) of men of genius had blood vessels of "magnificent caliber" and were rich in the number of these "pipelines." The half-wit, on the other hand, was found to have a brain covering poor in the number of these blood vessels, which were of restricted caliber.

Dr. Thomas F. Harvey, pathologist at the Princeton Hospital, where the studies on the Einstein brain will be carried out by a team of experts, was asked yesterday whether, in removing the brain for study, the brain coverings had also been saved. He replied in the affirmative.

Asked whether the brain could be reassembled after its dissection in small segments for minute studies, Dr. Harvey replied in the negative.

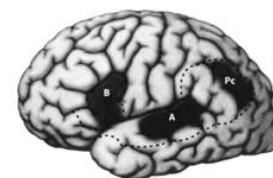
The New York Times
Published: April 20, 1955
Copyright © The New York Times



<https://www.guokr.com/article/442489/>

爱因斯坦大脑的故事

- 1985年,《实验神经学》刊登了戴蒙和哈维的论文《一个科学家的大脑:艾伯特·爱因斯坦》。论文里比较了爱因斯坦的大脑和另外11颗男性大脑的四个区域,发现在左脑39区角回处,爱因斯坦的“神经胶质细胞:神经元之比”特别高,平均多出73%的神经胶质细胞。那里是与语言相关的韦尼克区(Wernicke's area)的一部分
- 研究者认为,这可能提示,爱因斯坦那个脑区的神经元有着更多的神经胶质细胞支持,消耗了更多氧气和营养

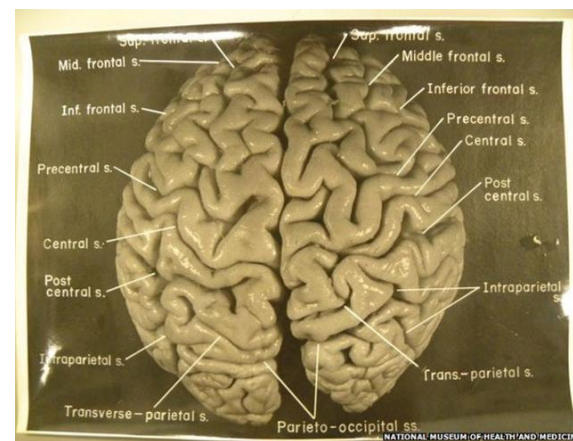


A=Wernicke 感觉语言中枢;
B=Broca语言区; Pc=与语言
理解和意义相关的Wernicke区

<https://www.guokr.com/article/442489/>

爱因斯坦大脑的故事

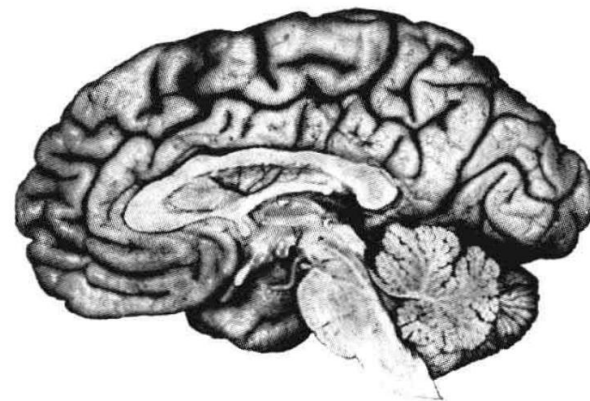
- 1996年，《神经科学快报》上发了一篇论文《爱因斯坦的额叶皮质厚度和神经元密度改变》，认为爱因斯坦的右侧前额叶皮质比其他大脑更薄，神经元密度更大。这可能让信息交换速度更快
- 1999年，《柳叶刀》上发了一篇论文《爱因斯坦的杰出大脑》，认为和另外35颗男性大脑相比，爱因斯坦的大脑负责数学能力和空间推理的顶叶大出差不多15%



<https://www.guokr.com/article/442489/>

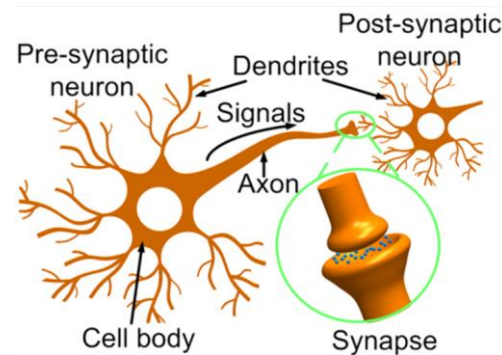
神经解剖学

- 对神经系统结构进行研究的科学，探究神经系统各部分的结构，描述这些结构之间的关联
- 主要在两个层面上进行研究
 - 大体解剖：可以用肉眼进行区分的整体结构及其联系
 - 精细解剖：神经元甚至亚细胞结构之间的组织关联



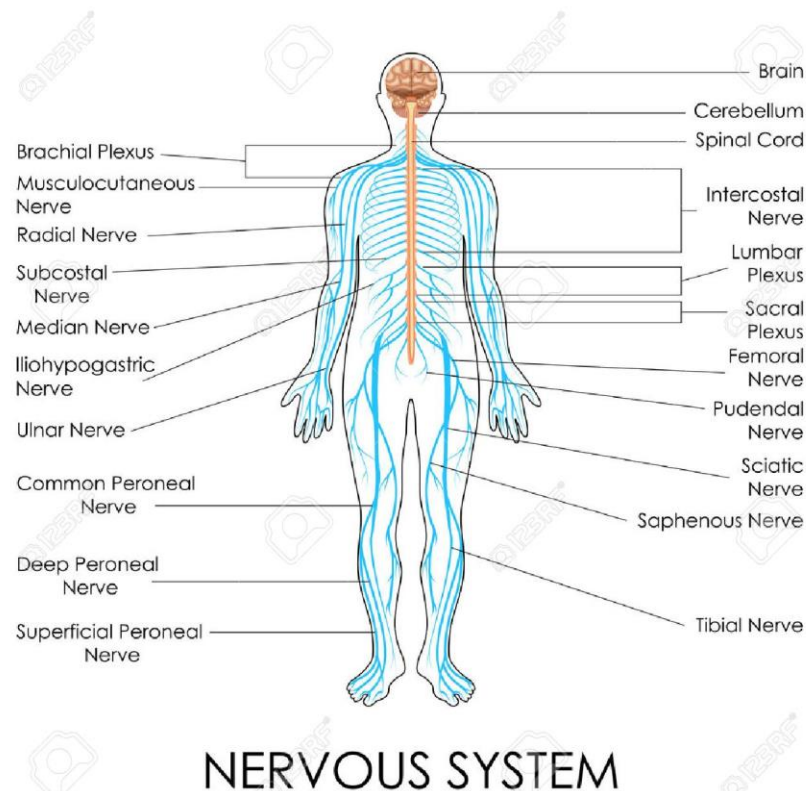
神经系统各部分的联系

- 神经元可以接受很多神经元的刺激输入，并将刺激发送给不同区域的多个神经元
- 大部分神经元轴突较短，主要连接临近的神经元；也有些轴突很长，发源自较远的皮质区域，进入另一个皮质区域、皮质下的神经核或者脊髓，才能到达目标神经元与之进行突触(synapse)连接，如皮质间联结、皮质丘脑联结等

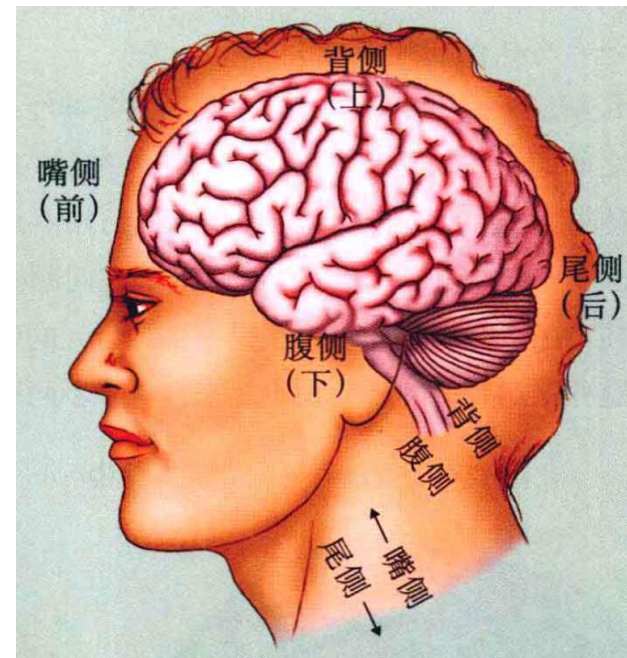
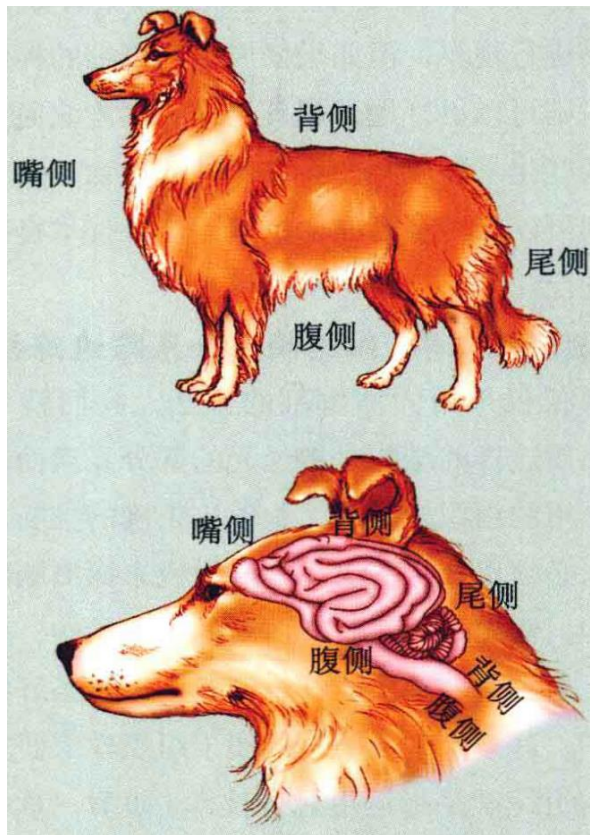


神经系统构成

- 中枢神经系统：包括脑和脊髓，是神经系统中进行命令和控制的部分
- 周围神经系统：神经系统中其他组分，负责传递信息

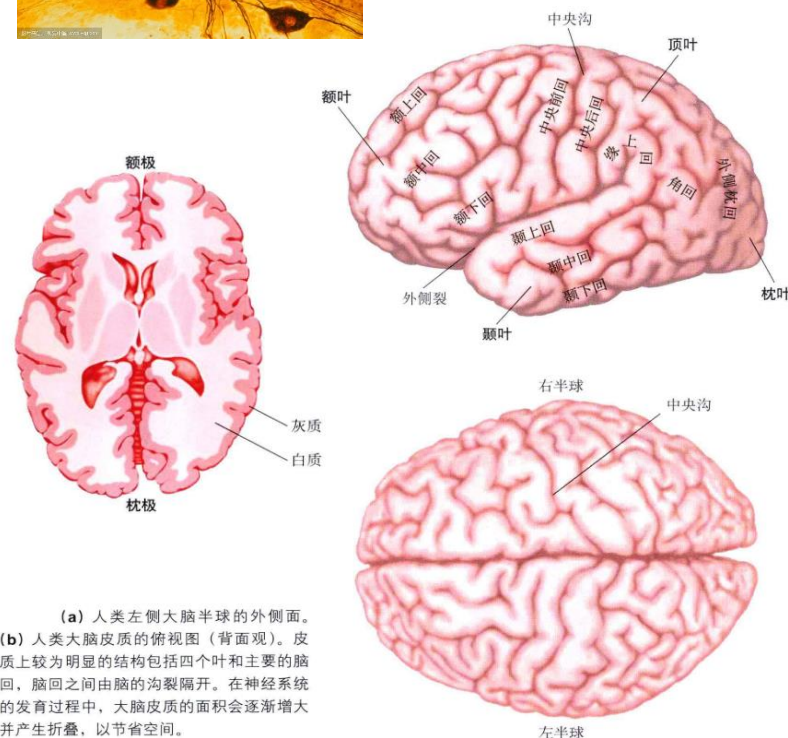
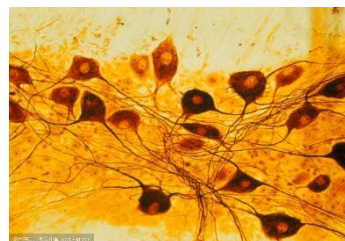


人脑的解剖学定位术语



大脑皮质 (cerebral cortex)

- 大脑皮质上存在大量沟回，增加了皮质的总面积，同时便于神经元之间形成紧密的三维联系
- 皮质：多层细胞构成，但平均厚度仅为3mm。包括神经元的胞体、树突和部分轴突
- 皮质含有大量胞体→灰质
- 皮质下由轴突构成的神经束→白质

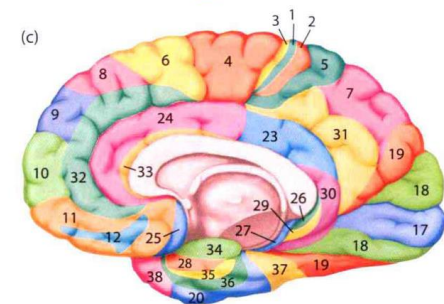
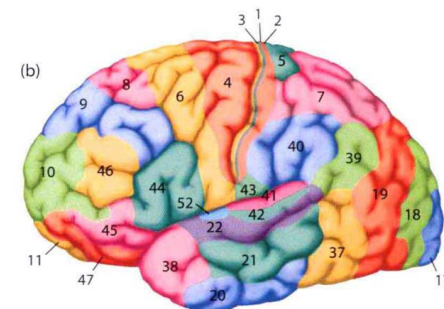
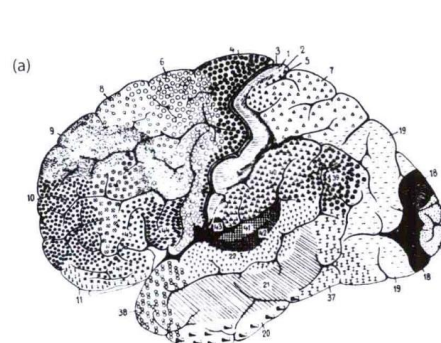
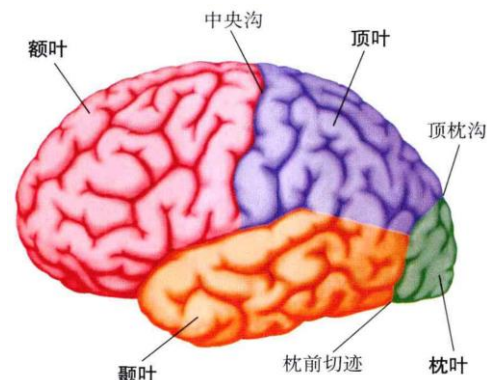


(a) 人类左侧大脑半球的外侧面。
(b) 人类大脑皮质的俯视图（背面观）。皮质上较为明显的结构包括四个叶和主要的脑回，脑回之间由脑的沟裂隔开。在神经系统的发育过程中，大脑皮质的面积会逐渐增大并产生折叠，以节省空间。

大脑解剖学分区

脑叶分为：

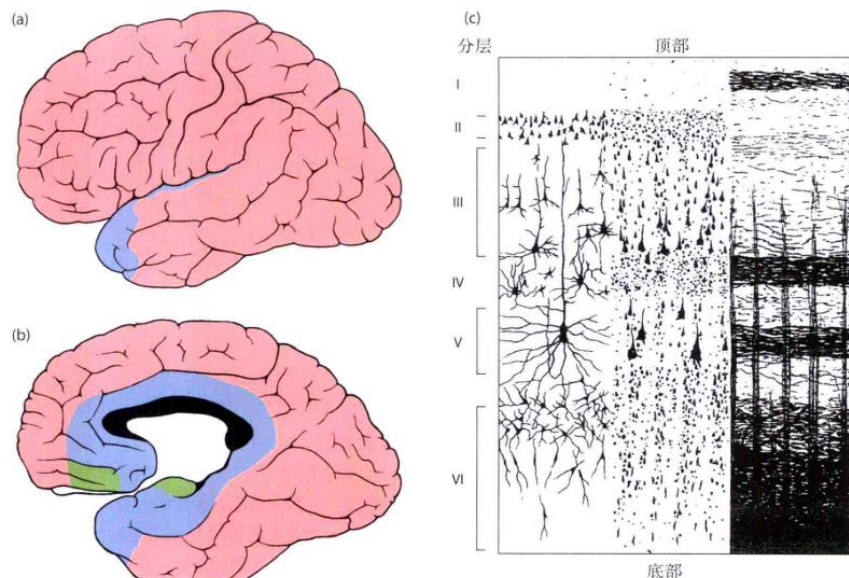
- 额叶 (Frontal Lobe)
- 顶叶 (Parietal Lobe)
- 颞叶 (Temporal Lobe)
- 枕叶 (Occipital Lobe)
- 胼胝体 (Corpus Callosum) : 神经系统最大的白质联合
- Brodmann 52 分区：按细胞形态和组织结构划分
 - 与脑功能分区不完全重合
 - 如视觉 17 区与初级视皮层 (V1 区) 重合，但 18 区与视皮质 V2 区不重合



(a) 20 世纪初 Brodmann 制作的细胞结构学图谱。根据对细胞显微解剖结构的组织学分析，Brodmann 将皮质划分为不同的区域。(b) 左半球侧面观的 Brodmann 分区。经过多年研究，研究者们对原始的图示进行了修改，现在的标准版本略去了原始版本中的一些区域。(c) 右半球内面观的 Brodmann 分区。两个半球间的分区大部分是对称的。

皮质分层模式分区

- 新皮质区：
占大脑皮质的90%，由6层细胞组成的新皮质构成，包括初级感觉皮质、运动皮质和联合皮质
- 中间皮质区：
包括扣带回、海马旁回、脑岛皮质、眶额皮质，也分为6层
- 异质皮质：
包括海马旁回、初级嗅皮质，仅含有1-4层神经元



不同颜色表示皮质之间神经元的分层存在差异。(a) 左半球的外侧面。(b) 右半球的内侧面。(c) 新皮质神经元的分层示意图，用三种染色方法可以看到多种不同的细胞结构。左侧是用 Golgi 染色法染色后的示意图：仅有很少的神经元被染色，但是每个神经元都可以看得很清楚；中间的图是 Nissl 染色法染色后的示意图，可以看到神经元的细胞体；右侧为 Weigert 染色法染色后的结果，由于 Weigert 染色法会选择性地对髓鞘进行染色，因此能够很清晰地看到神经元的纤维。

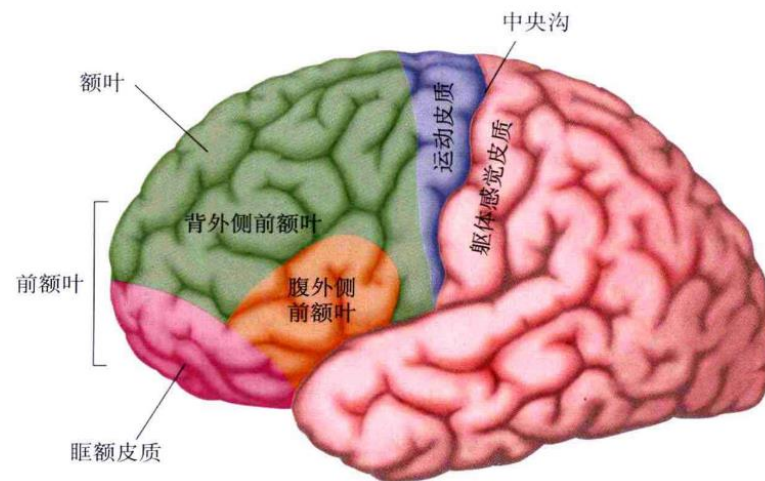
功能分区

- 大脑皮质的各叶在神经加工过程中发挥多方面的作用，虽然主要的功能系统一般都能够定位在某个脑叶中，但是也有很多系统位于多个脑叶
- 大体解剖学上把大脑皮质的进一步分区在某种程度上与不同的感觉或运动功能相关。即认知系统是由不同的神经网络组成，这些组成成分分别位于皮质的不同区域，大脑的功能需要皮质和皮质下结构的共同作用

额叶中的运动区(M1区)

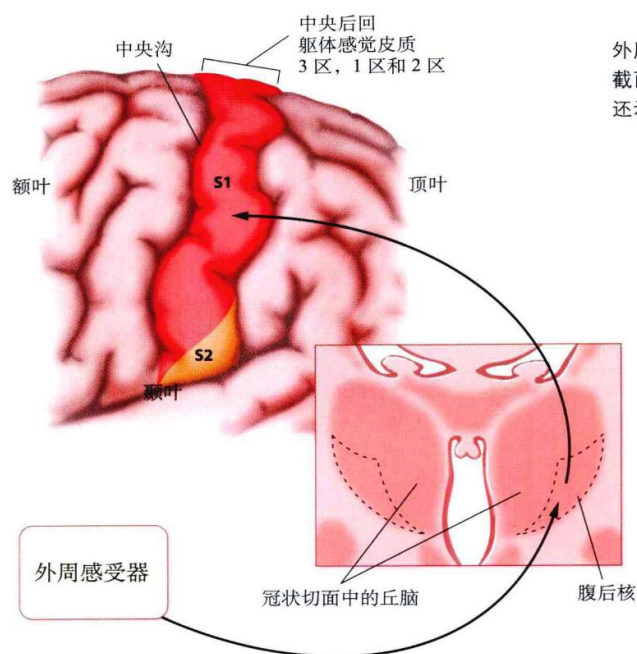
- 在运动的准备和执行方面起重要作用，包括运动皮质(Premotor Cortex)和前额叶皮质(Prefrontal Cortex)
- 前额叶皮质在计划和执行、记忆和其他认知加工方面发挥重要作用，上述功能与不同时间的信息整合有关

本图为额叶的分区：额叶既包括运动区，也包括更高级的联合皮质，例如前额叶与执行功能、记忆及其他认知加工过程有关。



顶叶中的躯体感觉区

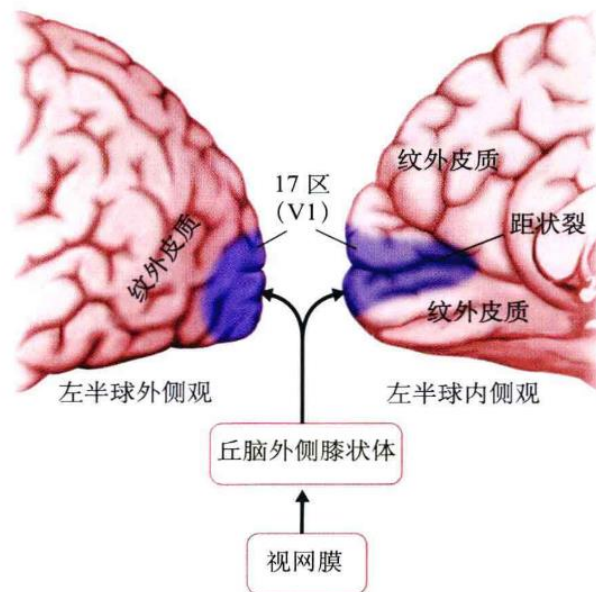
- 主要包括顶叶中的躯体感觉皮质(Somatosensory Cortex)，接受来自丘脑躯体感觉中继的输入，包括触觉、痛觉、温度和本体感觉等



位于中央后回的躯体感觉皮质。从外周感受器传入的输入信息从丘脑（本图为横截面）投射至初级躯体感觉皮质（S1）。图中还示意了次级躯体感觉皮质（S2）。

枕叶中的视觉加工区

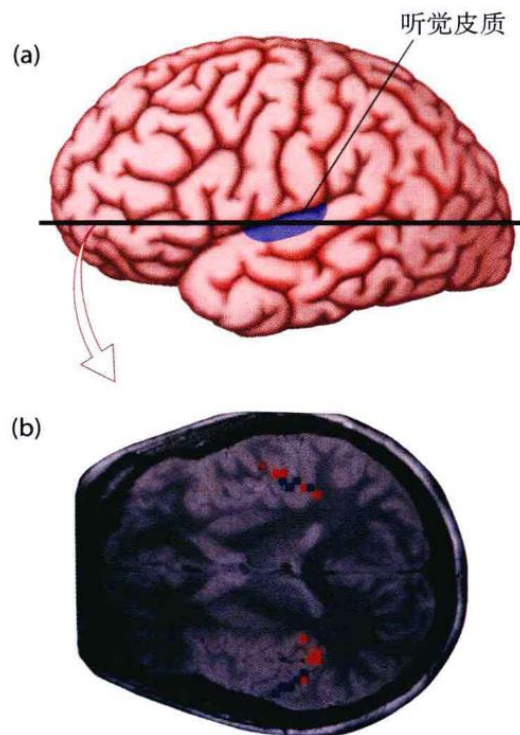
- 初级视觉皮质（Primary Visual Cortex，也称纹状皮质、V1区、BA17区）位于大脑半球的内侧，仅有少部分位于大脑表面
- 接收丘脑外侧膝状体中继的视觉输入
- 皮质内6层细胞负责对颜色、亮度、空间频率、朝向及运动等信息进行皮质编码和加工



位于枕叶的视皮质。BA17区，也称为初级视皮质（V1），位于枕极（occipital pole），并且一直延伸至半球的内侧面，大部分埋藏于距状裂中。

颞叶中的听觉加工区

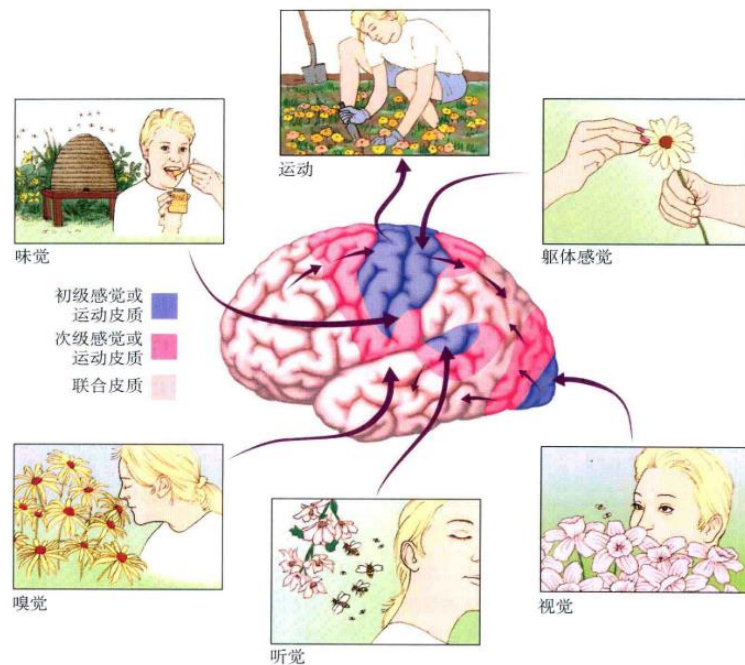
- 主要由初级听觉皮质 (Primary Auditory Cortex, A1区) 及围绕其的听觉联合区 (A2区) 构成
- 来自耳蜗的投射最终到达听觉加工区, 经信息加工后形成对声音的感觉



(a) 位于上颞叶的初级听觉皮质。初级听觉皮质以及周围的听觉联合区包含对听觉刺激的表征, 呈现为音质定位。(b) 这张磁共振成像水平切面图所呈现的是接收到许多不同频率声音刺激的上颞叶区域, 图中显示出神经激活的结果: 血流量增加。

联合皮质

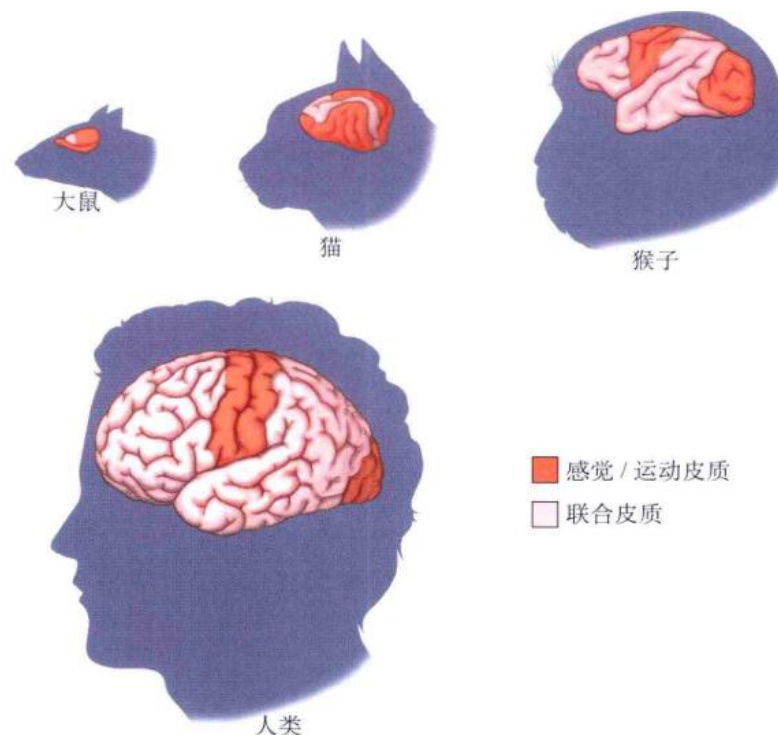
- 新皮质中不能单纯划分为感觉或运动的部分称为联合皮质
- 接收多皮质区域的输入，其中包含的细胞被不止一个感觉通道的刺激激活，其作用很难被单纯划分为感觉或运动



初级感觉和运动皮质及周围的联合皮质。蓝色的区域所代表的是初级皮质，即负责接受来自上行感觉通路信息的区域，以及负责向脊髓传送信息的初级输出区域。红色的部分是次级感觉和运动区域，其余部分则是联合皮质。

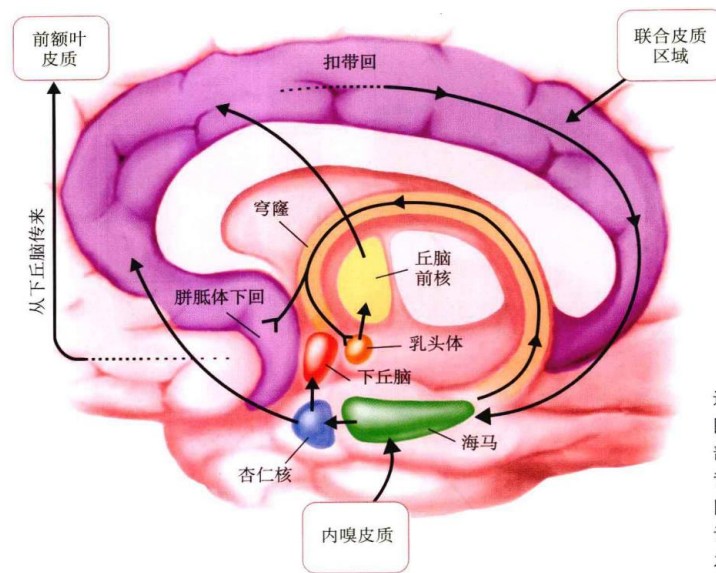
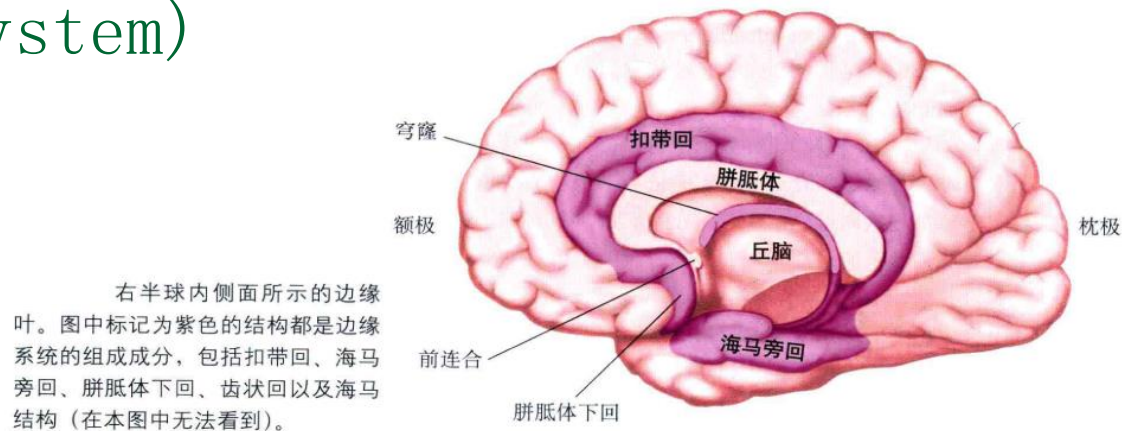
哺乳动物的大脑进化特点

哺乳动物从鼠到猫、猴和人的进化过程中，脑特别是新皮质变得越来越大，联合皮质逐渐发展，沟回的数量增加，使得皮质表面积更大



边缘系统 (limbic system)

- 包括以下多个区域：
 - 扣带回 (cingulate gyrus)
 - 下丘脑 (hypothalamus)
 - 丘脑前核
 - 海马 (hippocampus)
 - 杏仁核 (amygdala)
 - 眶额皮质
 - 基底神经节 (basal ganglia)
- 参与情绪、学习和记忆的加工



基底神经节 (basal ganglia)

- 皮质下神经组织的集合，在运动控制中起重要作用，包括苍白球、尾状核和壳核
- 基底神经节并不参与对运动的直接控制，而是参与监控运动及非运动活动的进程

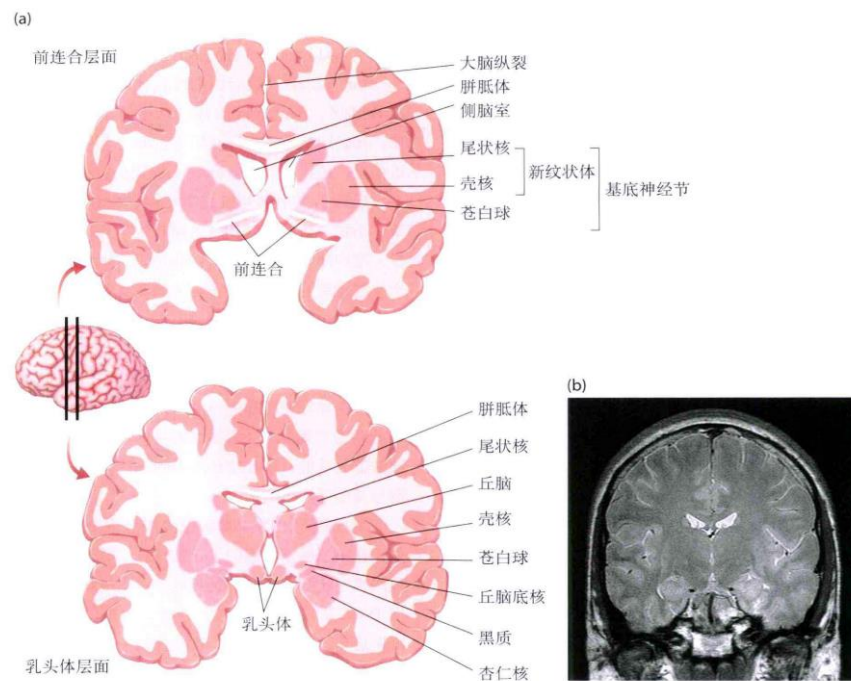
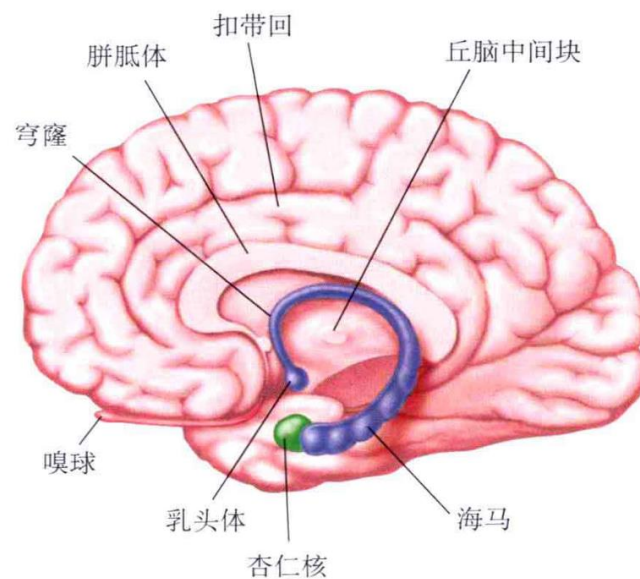


图 3.20 (a) 大脑前、后两个位置的冠状切面 (如图中所注)，图中呈现的结构是基底神经节。(b) 对应的高分辨率结构性磁共振图像 (使用 4 特斯拉扫描仪)，与 (a) 中的后一切面大致处于同一层面。与 (a) 不同，此图还包括脑干、头骨和头皮。

海马与内侧颞叶

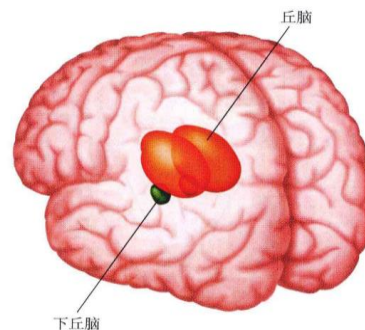
- 在记忆和学习方面有重要作用
- 前脑中颞叶的腹内侧有海马 (hippocampus)、齿状回 (dentate gyrus)、海马旁回和内嗅皮质 (entorhinal cortex)
- 海马和齿状回属于古皮质，内嗅皮质和和海马旁回属于中间皮质



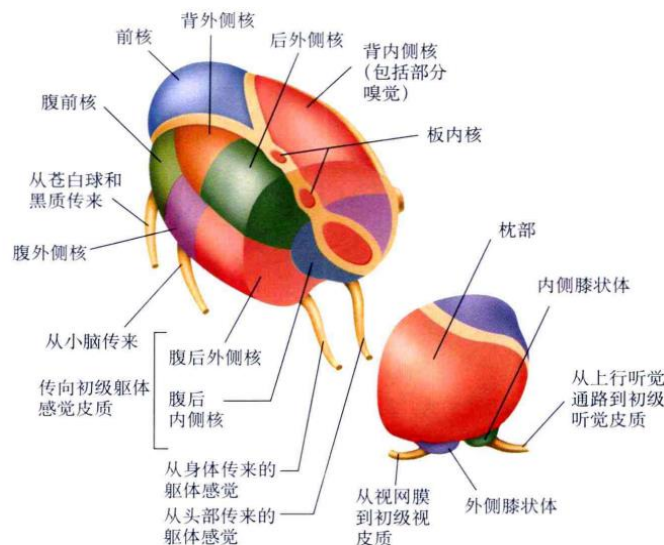
海马结构的解剖。海马位于颞叶内侧下部。

间脑

- 由丘脑(thalamus)和下丘脑(hypothalamus)共同构成
- 丘脑：被称为“皮质的关口”，除部分嗅觉输入外，其余感觉通道的信息都需经过丘脑后到达相应的初级皮质感觉区
- 视觉：视网膜神经节细胞→外侧膝状体→初级视皮质
- 听觉：内耳信息（经由脑干）→内侧膝状体→初级听皮质
- 躯体感觉：身体→腹后侧核团→初级躯体感觉皮质



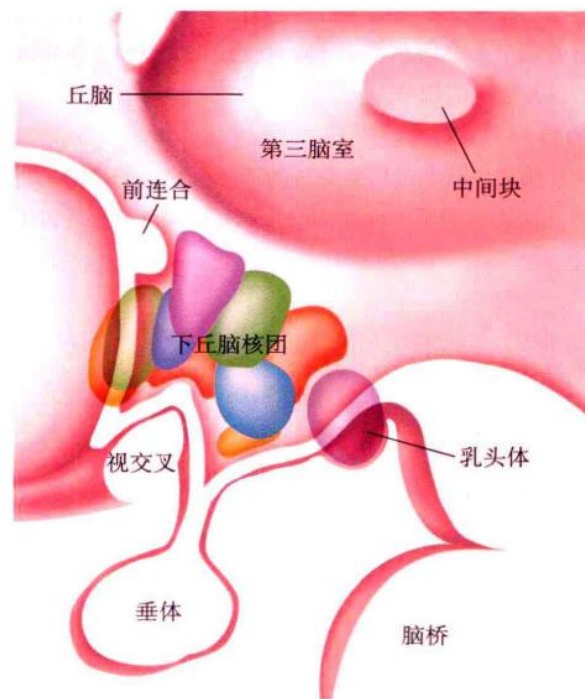
丘脑的大体解剖。这张图用一种透视的角度呈现了左、右两个半球中的丘脑。丘脑呈卵圆形状。它是感觉系统和皮质之间的门户，其不同部分与皮质中相应的区域之间存在双向环路。下丘脑同时也受到脑干投射系统的支配。



左侧丘脑。图中包括输入输出以及主要组成部分。丘脑的众多组成部分负责不同的感觉系统，参与不同的皮质-皮质下环路。丘脑的后侧部分（右下）被切下并与丘脑其余的部分区分开来，以便我们观察丘脑核团（左上）的内部结构。

下丘脑

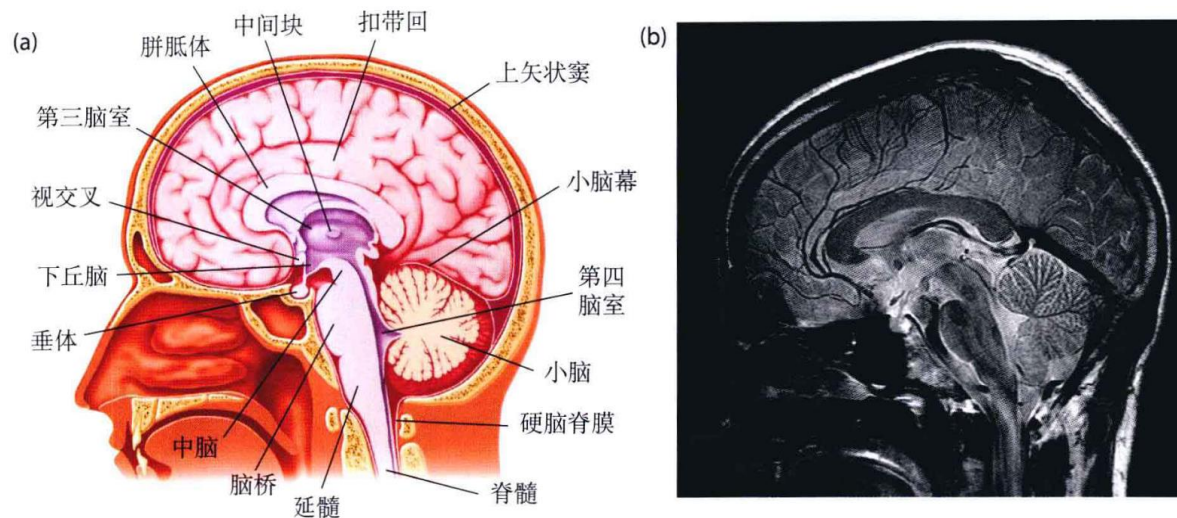
- 对自主神经系统和内分泌系统非常重要，还参与情绪过程中并控制与其底部相连的垂体
- 接收边缘系统、中脑、杏仁核、视网膜的输入，以调节生理周期的节律。
- 直接投射到前额叶皮质、杏仁核、脊髓和垂体等
- 通过血液中的激素进行神经调控



下丘脑的正中矢状切面。图中呈现了许多核群。下丘脑位于第三脑室的底部，正如其名字暗示的一样，它位于丘脑的下侧。图片的左侧代表解剖结构中的前侧。

脑干(brainstem)

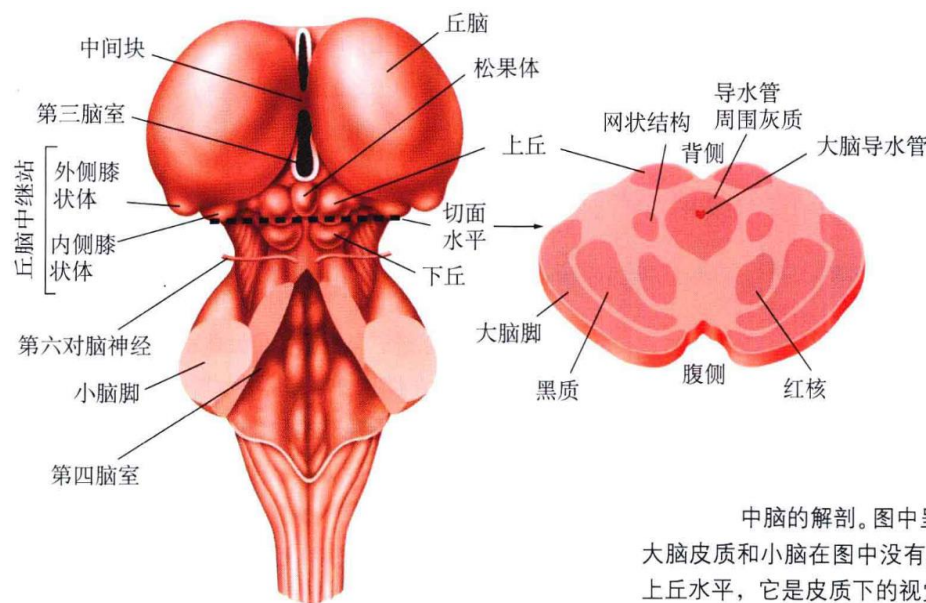
- 介于间脑和脊髓之间，包括中脑(midbrain)、脑桥(pons)和延髓(medulla)
- 脑干核团控制呼吸、睡眠和觉醒等意识，因此损伤大多致命，而皮质损伤相对影响较小



(a) 头部正中矢状切面，显示脑干、小脑以及脊髓。(b) 4 特斯拉扫描仪获取的高分辨率结构性磁共振成像，与 (a) 中显示的是同一平面。

中脑(midbrain)

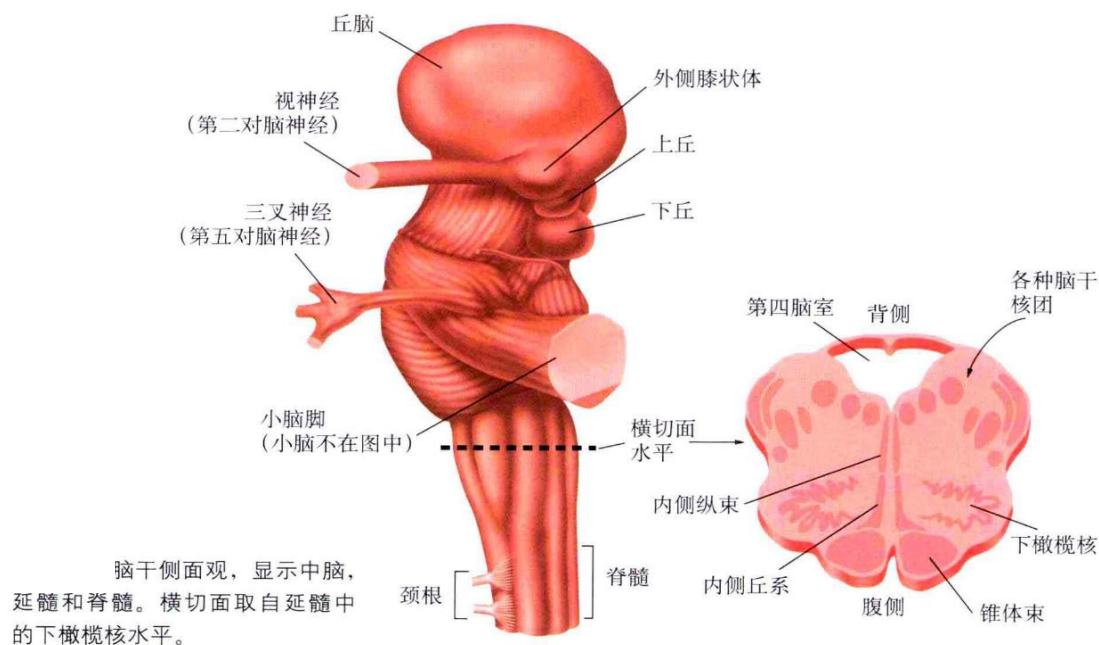
- 参与视觉运动（上丘、动眼神经核、滑车神经核等）、视觉反射（顶盖前区）、听觉中继（下丘）和运动调节（红核）等
- 脑干中网状结构是一系列运动和感觉核团的集合，参与唤醒、呼吸、心血管调节、肌肉反射活动、疼痛的调节



中脑的解剖。图中呈现的是脑干的背侧面，大脑皮质和小脑在图中没有呈现。横切面取自中脑上丘水平，它是皮质下的视觉运动核团。

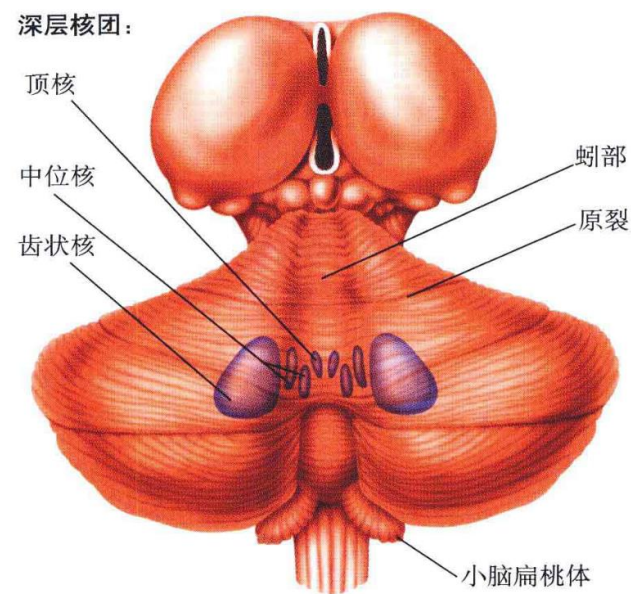
脑桥 (pons) 和延髓 (medulla)

- 脑桥主体由大量的神经束及其中散布的脑桥核团组成
- 脑桥核团功能包括：
 - 听觉和前庭觉（平衡）的功能
 - 面部、嘴部的感觉运动
 - 部分眼外肌肉的视觉运动
- 延髓位于脑部最末端，与脊髓相连，存在大量与躯体感觉、躯体运动、面/嘴/腹部感觉、心脏、颈/舌/咽等运动相关的核团



小脑(cerebellum)

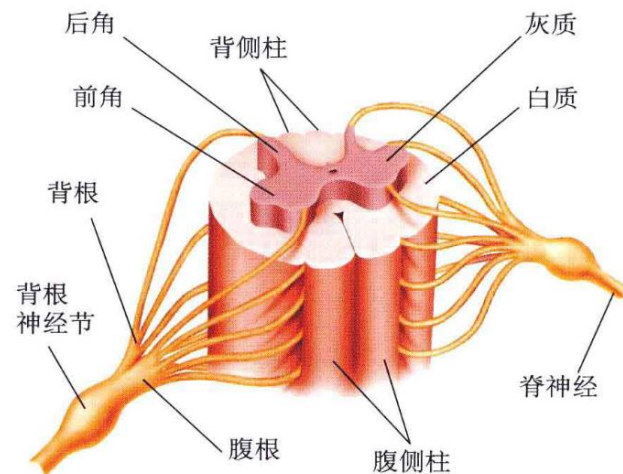
- 覆盖于脑干上部，处于脑桥水平位置
- 其中有约110亿神经元，与中枢神经系统其余部分相当
- 参与运动和感觉加工
 - 感觉输入帮助了解身体状态
 - 并不直接控制运动，而是整合有关身体和运动治疗的信息并调整运动，维持姿态、行走以及协调运动



小脑的大体解剖。图中的上侧代表脑中的前侧，脊髓应该处于底部的位置（图中并没有呈现）。这张小脑背侧观以透视的方式展示了小脑深层的核团。

脊髓

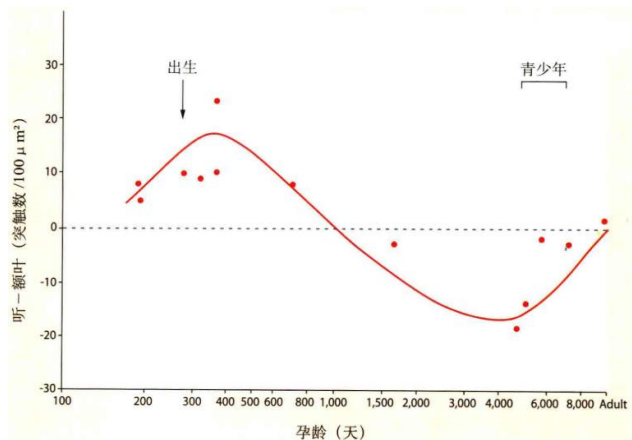
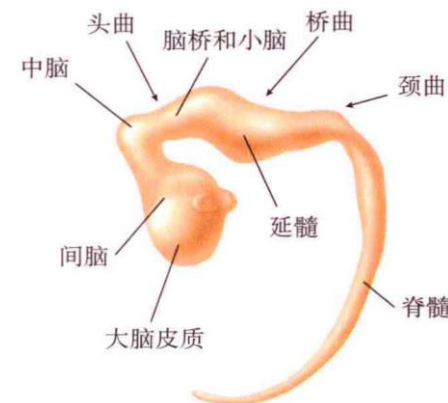
- 负责将最终的运动指令下达给肌肉，同时从身体的外周感受器中接收感觉信息并传导到脑
- 脊髓的每个部分都包含膝跳反射等反射通路
- 脊髓前角包括向肌肉投射的运动神经元，后角包括感觉神经元和中间神经元



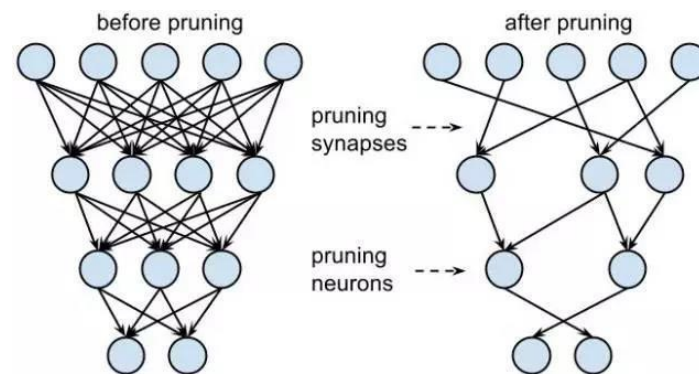
脊髓的大体解剖。图中包括脊髓的横切面和三维图示，其中可以看到中央由神经元胞体组成的蝴蝶状灰质，以及周围的白质神经束。后者负责从脑部沿着脊髓向下传递信息到脊髓中的神经元，同时也负责从外周感受器向上传递信息至脑部。图中同样呈现了进出脊髓的前根和后根；它们融合在一起形成周围神经。外周感觉输入的胞体位于后根的神经节，并在后根中通过轴突将信息传递至中枢神经系统。运动神经元位于脊髓前角，它们在前根中通过轴突传递信息支配外周肌肉组织。

出生后的的大脑皮质发育

- 皮质发育的一个特点是突触大量生成，随后缓慢削减(可持续十余年)，即神经系统对神经连接进行微调的方式，清除神经元之间那些多余或者不再起作用的连接



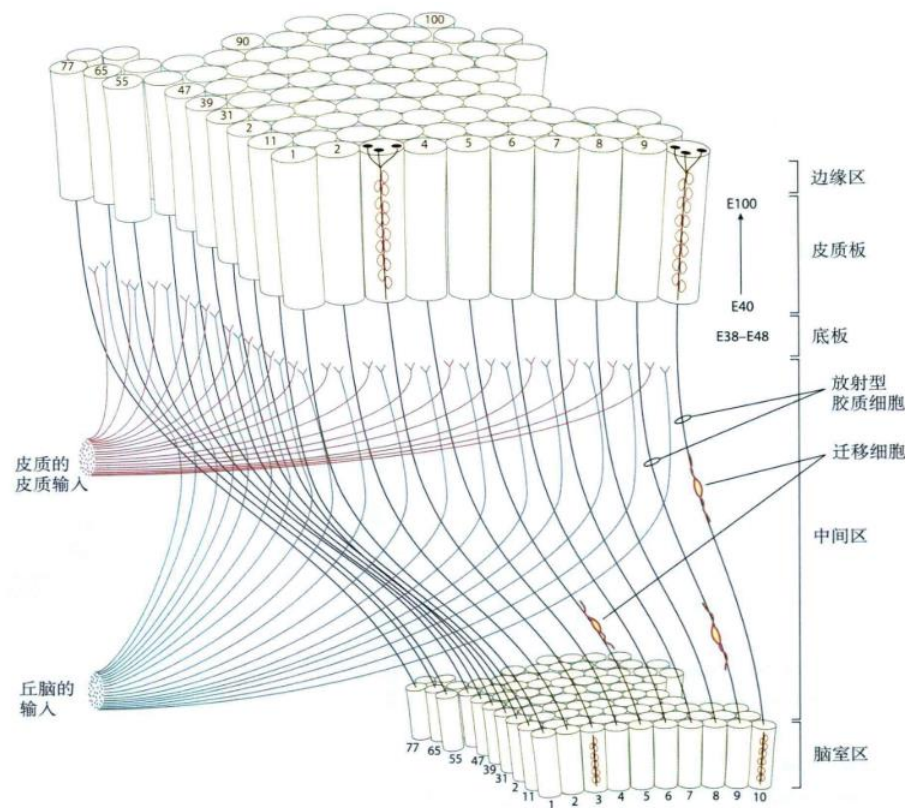
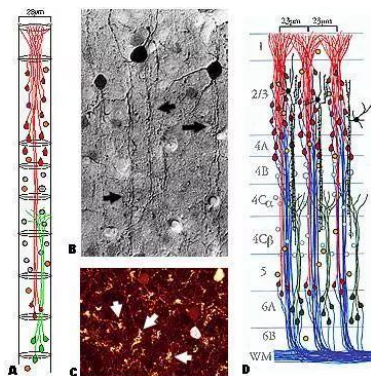
用听皮质的突触密度减额叶皮质的突触密度得到的差异图，作为人类孕龄的函数。出生前听皮质突触密度达到顶峰的时间更早，如正的差值所示；额叶皮质更晚，如负的差值所示。



人工神经网络剪枝

神经元迁移与放射单元假说

- 构成皮质的神经元沿着放射型胶质细胞形成的路径进行迁移
- 皮质柱是皮质结构的主要单位，是由脑室区分裂的细胞发育而成



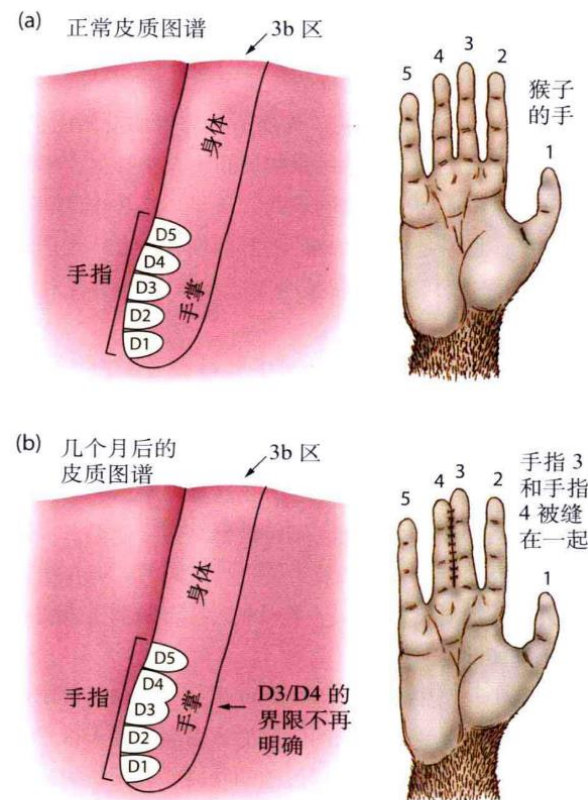
放射单元假说。脑室区的放射型胶质细胞在不同皮质分层中按有序的映射安排路径，因而在脑室分层中形成了特定的组织结构。

神经系统可塑性

- 可塑性：神经系统通过改变细胞类型、位置和相互联结的方式，实现学习、记忆等相关功能
- 在早期发育和成年后的神经系统均存在可塑性

皮质拓扑地形图

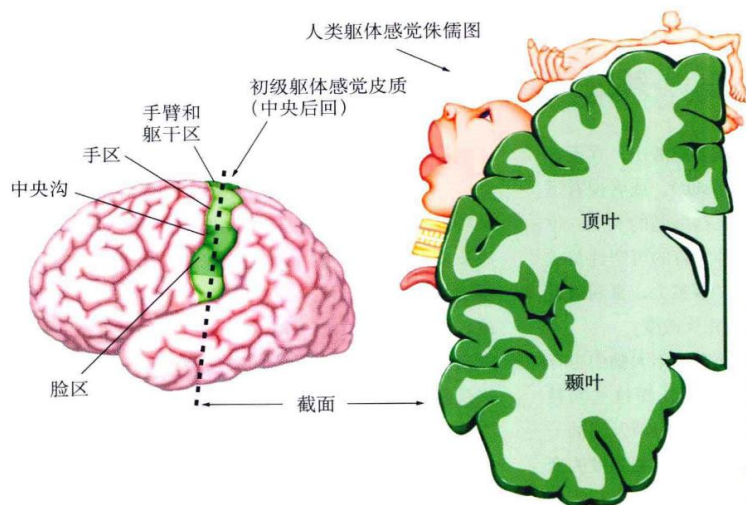
- 皮质对身体的表征与身体的结构存在一定的对应关系
- 拓扑映射的可能原因：身体相邻区域常协同工作



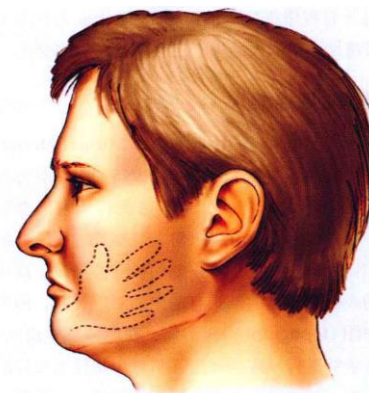
灵长类皮质感觉图谱的重构。(a) 正常猴子的皮质中手部体感区的图谱，每一手指的表征可以通过单细胞记录显示。(b) 如果将同一只手的两根手指缝在一起，几个月后皮质图谱会发生改变，被缝两手指之间曾经明显的分界现在变得模糊了。

人类的皮质拓扑地形图

- 人类大脑皮质也表现出明显拓扑分布，并在重大损伤或经验改变后呈现可塑性



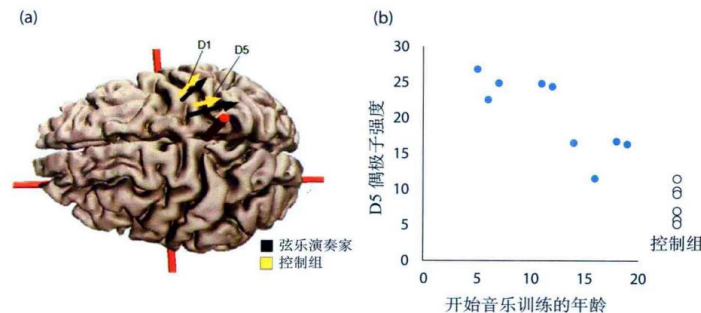
人类躯体感觉侏儒图。身体表面的表征按体感皮质定位被映射在顶叶的躯体感觉皮质上。右边是左半球的冠切图，显示了身体各部位的大概位置和相关皮质区域（由不同身体部位变形的大小所示）。冠切图的前-后平面由左图所示。



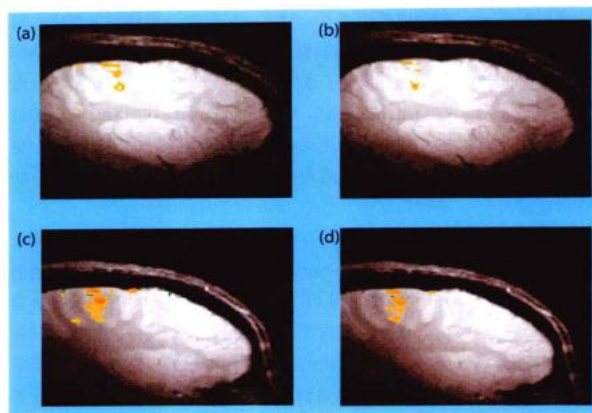
Ramachandran 所画的被截肢者脸上手部表征的草图。

成人大脑的可塑性

- 高强度训练或学习也会导致成人大脑的较快改变
- 反映了神经系统学习和保持新信息和技能的可塑性



演奏弦乐器的音乐家手指皮质表征的改变。(a) 用 MRI 重构的人类大脑的三维俯视图；左边是前部。右半球上的箭头表示用 MEG 计算的大拇指 (D1) 和小指 (D5) 的神经活动位置。黑箭头表示音乐家的大拇指和小指；黄箭头表示非音乐家的。箭头大小表示 (对大拇指和小指刺激的) 反应强度。音乐家对大拇指和小指表现出更强的反应和更大的皮质表征区域 (箭头间的距离)。(b) 皮质反应的大小，作为音乐家开始训练的年龄的函数画在图中。那些 12 岁前开始训练的人反应更强烈；控制组结果显示在图的右下角。



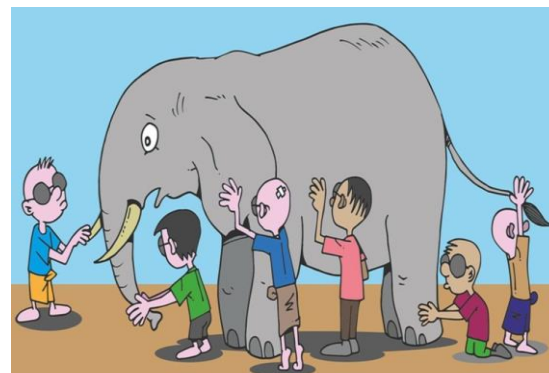
训练后手部运动引起的皮质激活程度的改变。(a) 一名典型被试右半球的矢状切面。相比于没训练过的序列运动引起的激活 (b)，对多次重复的运动序列表现出更强的激活 (更大区域被激活——橘黄色)。这些激活在 M1 区，即初级运动区。相比于没训练过的运动 (c)，对训练过的运动 (d) 的激活增强持续了 8 周，甚至在没有这一任务训练的中间时期也是这样。

皮质可塑性的机制

- 即时效应的产生可能是由于皮质抑制性突触活动的突然减弱，如调节GABA等抑制性神经递质的水平
- 经过一段时间后，皮质图谱的改变可能与原本很微弱的兴奋性突触的功能增强有关
- 更长期的变化可能与皮质内轴突联结的生长，甚至新轴突的产生相关

皮质可塑性的机制

- 某些感觉缺失后表现出异常反应的区域（包括颞叶和下顶叶中较高级的视皮质区域）一般会参与多通道感觉过程
- 一种感觉输入的缺失可能会导致联合连接突触的强度改变，导致对其余感觉输入的反应更敏感



本章作业

请通过分析回答如下问题：

- 1) 大脑的结构和功能分区方式，对于实现具有复杂感知、运动等多种功能的智能机器人，是否具有借鉴意义？
- 2) 不同大脑皮质区域之间存在大量神经元连接，以及人脑中大量增加的联合皮质区域，说明了什么问题？