

脑的组成与生长

钟圣华

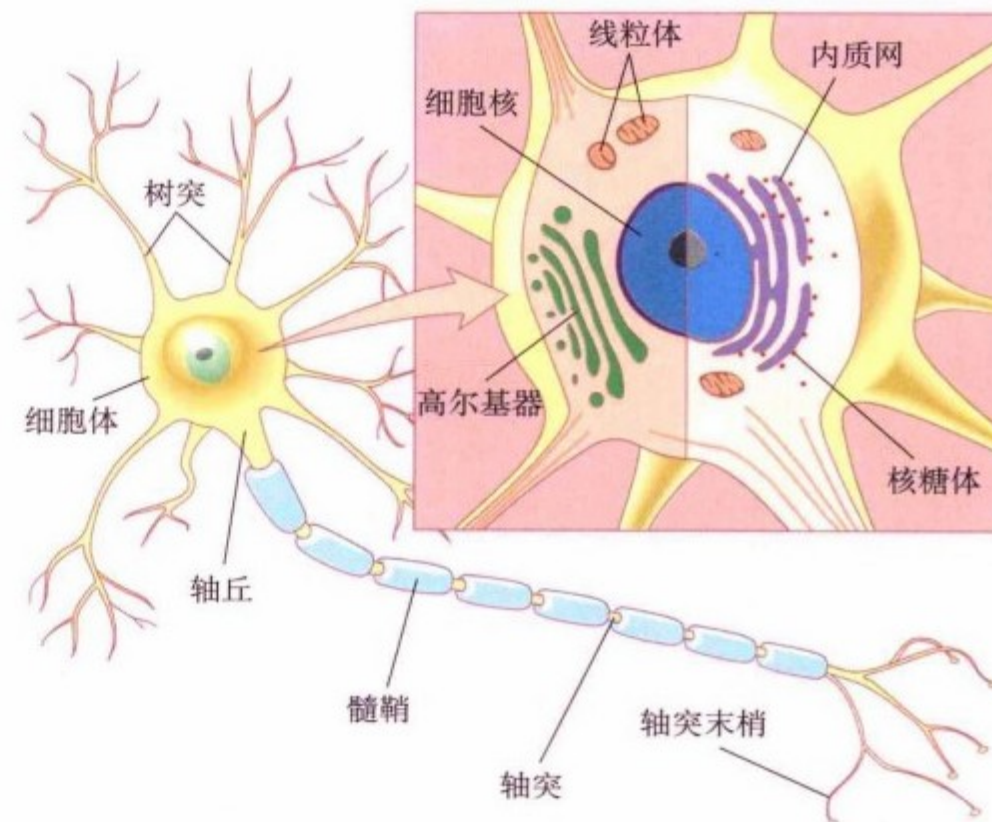
2023年秋课程

神经元的组织

- 神经元 (neuron)

- 神经元是基本的信号处理单位
- 神经元的基本组成：细胞体（细胞核、内质网、核糖体、线粒体、高尔基器以及细胞器等）、树突（dendrites）、轴突（axon）
- 树突通常是大树样的突起，接收来自其它神经元的传入信息，具体接收部位是突触（synapse）；轴突是远离胞体的突起，代表神经元的输出端。
- 对于信息流而言，轴突是位于突触前面的结构，通常被称为该突触的突触前（presynaptic）；树突位于突触后面的结构，通常被称为突触后（postsynaptic）

图 2.2 理想化的哺乳动物神经元。胞体内含有能产生蛋白和其他细胞大分子的细胞器。与其他细胞一样，神经元的细胞器包括细胞核、内质网、核糖体、线粒体、高尔基器等。这些细胞器悬浮在细胞内液体——细胞浆中，并被含有双层脂质的细胞膜所包围。从胞体延伸出去的各种突起外面也包裹着同胞体一样的细胞膜，内容也充满着同样的细胞浆。这些突起就是树突和轴突。



神经元信息交流概论

- 神经元加工信息的目的是接收信息，评估信息，然后将信息传递给其它神经元，由此构成了局部或长程神经环路
- 神经元的信号加工的几个阶段
 - 神经元接收信号，包括化学形式的信号（神经递质，也可以是环境中能够产生感觉的化学成分，如气味）、物理形式的信号（如皮肤躯体感觉感受器接收的触摸、眼睛光感受器接收的光线等）
 - 这些信号引起突触后神经元细胞膜的变化，这种变化导致电流流入或流出神经元
 - 电流在神经元内发挥信号作用，并潜在地影响远离传入突触位点的神经元膜
 - 电流是由溶于神经元内外液体的钠、钾、氯等离子流传导的
 - 长程传递的信号，即动作电位，是一些被称为锋电位启动区的区域产生的，是整合来自许多突触传入的或者来自被刺激的感受器的电流
 - 大多数情况下，动作电位的结果是一个沿轴突下行传播到轴突末梢的信号，在那里，最终引起突触神经递质的释放

爱因斯坦的大脑

- 爱因斯坦大脑的与众不同特征

- 将颞叶和额叶、顶叶分开的大脑外侧裂和中央沟在脑的外侧面表层是会聚的
- 顶叶更大，外侧比内侧更厚

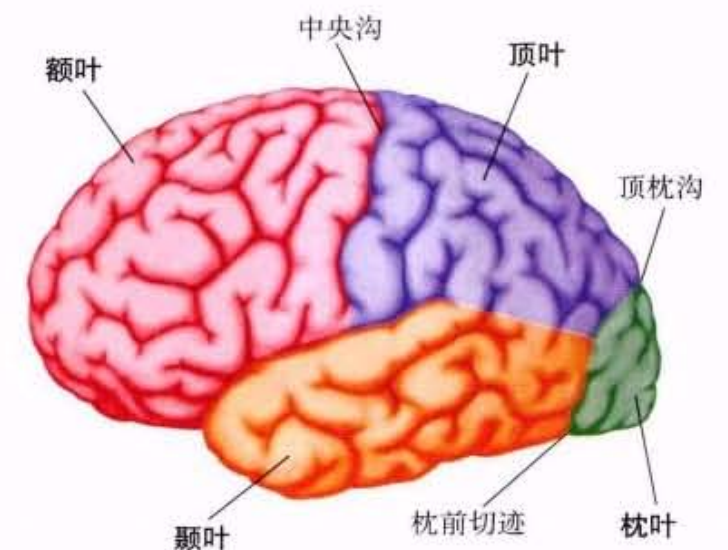
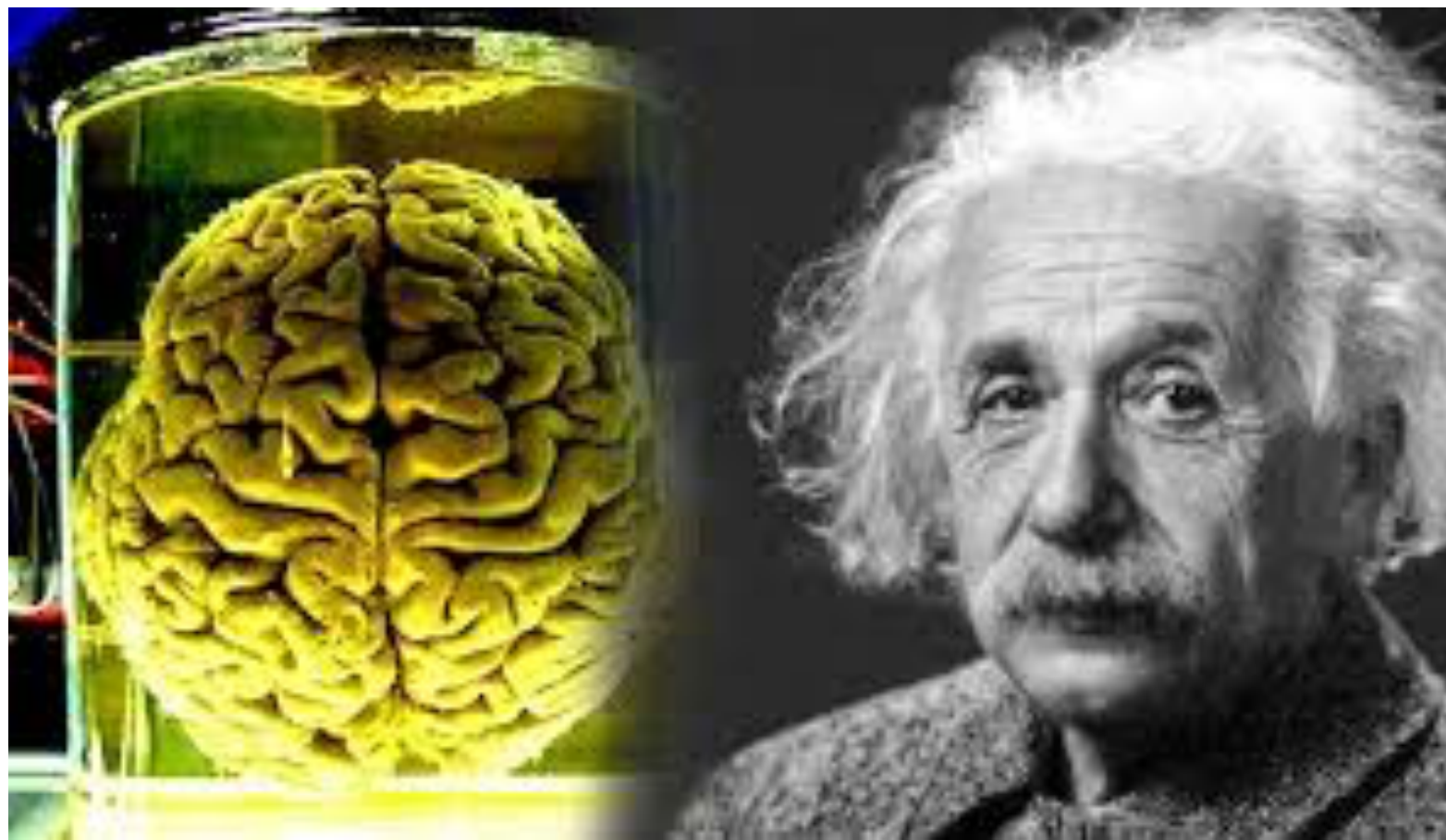


图 3.10 左半脑的侧面观，图中标出了大脑皮质的四个叶。详细介绍见正文。

推荐纪录片《爱因斯坦大脑的秘密》

<https://www.bilibili.com/video/av56630818/>

46 small portions of Einstein's brain were acquired by the Mütter Museum in Philadelphia. In 2013, these thin slices, mounted on microscope slides, went on exhibit in the museum's permanent galleries

五种神经元

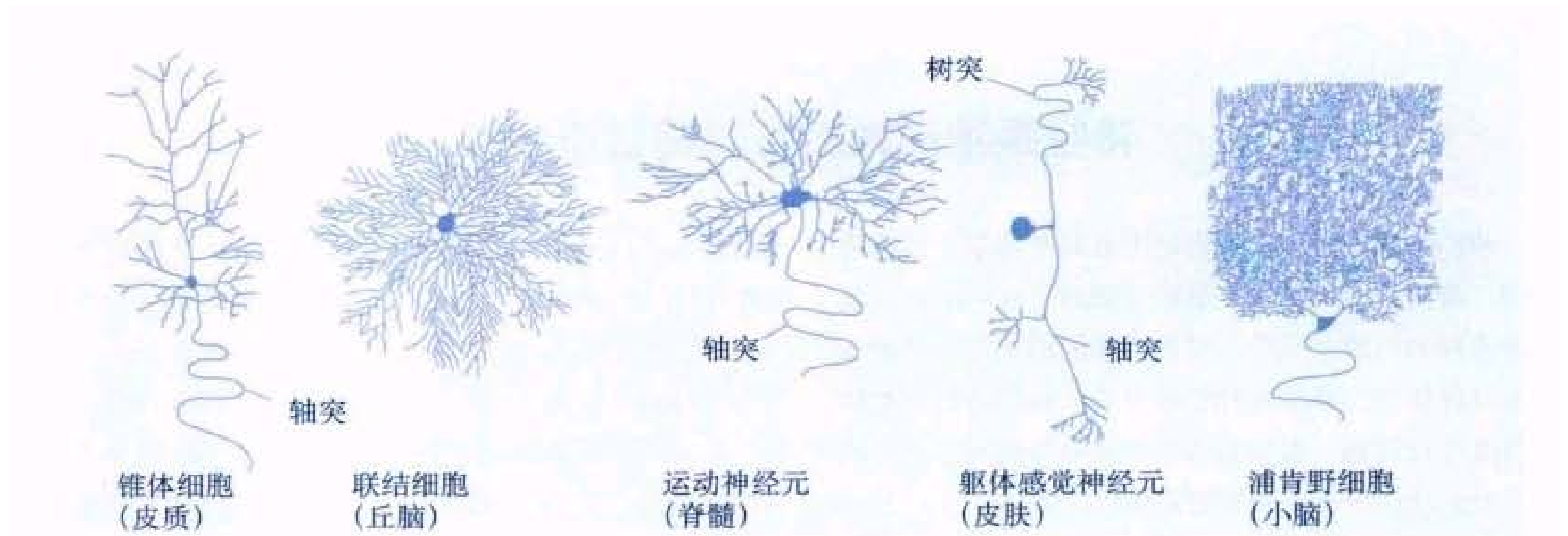


图 3.6 中枢和外周神经系统的五种神经元。这些神经元的大小有很大差异（本图并不是按照其实际大小比例所画），比如丘脑中负责联结的细胞的轴突长度小于 1mm，而锥体细胞的轴突则可能纵穿整个脊髓。

神经系统的分类

- 分类

- 中枢神经系统 (central nervous system, CNS) :神经系统中进行命令和控制的部分
- 外周神经系统 (peripheral nervous system, PNS) : 担负着传递信息的作用, 将感觉信息传递到CNS, 并将CNS发出的运动指令传递到肌肉

大脑基本结构

- 表面明显结构

- 脑回（gyri, 单数为gyrus），回是脑的表面突出而曲折的部分
- 脑沟（sulci, 单数为sulcus），沟是指较小的陷入的褶皱区域
- 裂（fissure），那些较大较深的陷入区域

- 脑的基本组成

- 灰质（gray matter）：灰质组成的连续体包围在白质外部，颜色较深，由神经元的细胞体以及神经胶质细胞组成
- 白质（white matter）：颜色比灰质浅，颜色是由包围轴突的含有很多脂肪的髓鞘导致的。由联结大脑皮质和其它脑区神经元的轴突组成

- 联结

- 大部分神经元轴突较短，主要连接较近的神经元
- 也有些神经元的轴突很长，下行穿过白质，进入另一个皮质区域进行连接
- 两个脑区之间近或远的联结被称为皮质间联结
- 皮质下结构如丘脑到皮质的投射称为丘脑皮质联结（thalamocortical connections），反之为皮质丘脑联结（corticothalamic connections）

大脑皮质 (cerebral cortex)

- 属性

- 有两个对称的半球，每个半球都由分层的神经元组成
- 皮质位于端脑的表面，在部分边缘系统和基底神经节等核心结构的上方，并包围着间脑 (diencephalon)
- 大脑皮质、基底神经节、间脑共同组成了前脑 (forebrain)
- 皮质的褶皱使得空间缩小到展开时的1/3，皮质的总面积大约为2200~2400平方厘米

大脑皮质 (cerebral cortex)

- 解剖学分区

- 额叶 (frontal lobe)、顶叶 (parietal lobe)、颞叶 (temporal lobe)、枕叶 (occipital lobe)
- 额叶和顶叶由中央沟隔开
- 外侧裂将颞叶与额叶、顶叶隔开
- 背侧的顶枕沟和腹外侧的枕前切迹将枕叶和顶叶、颞叶分隔开

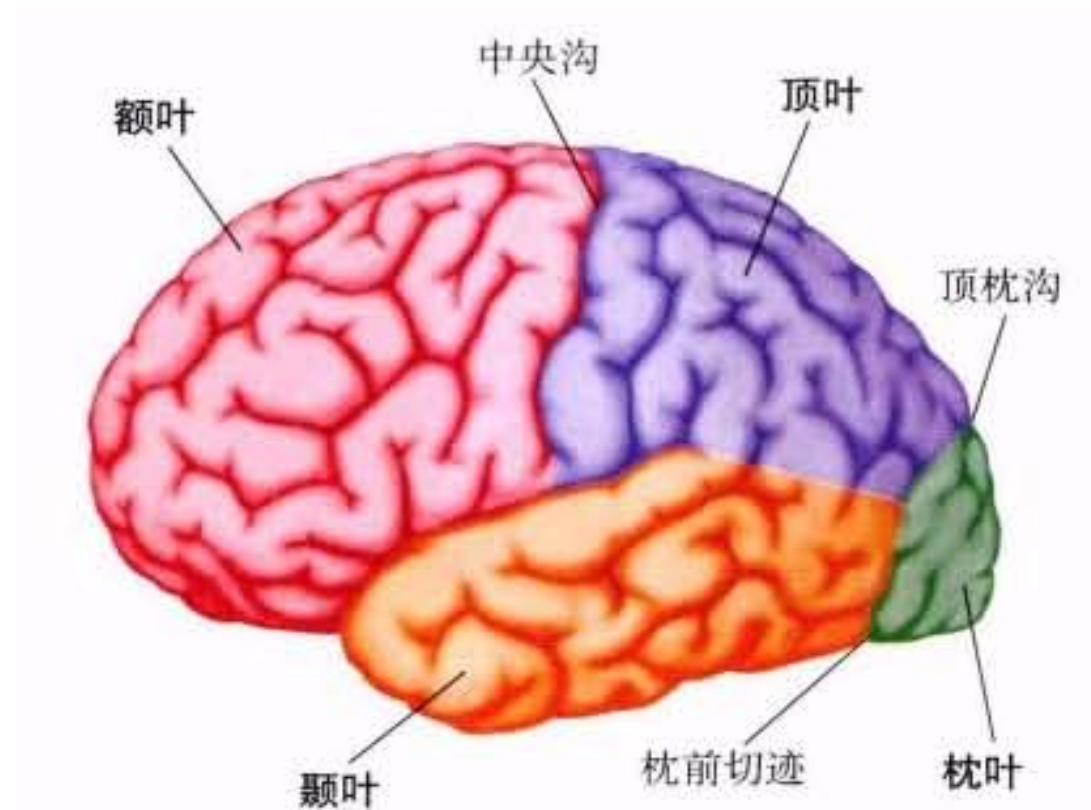
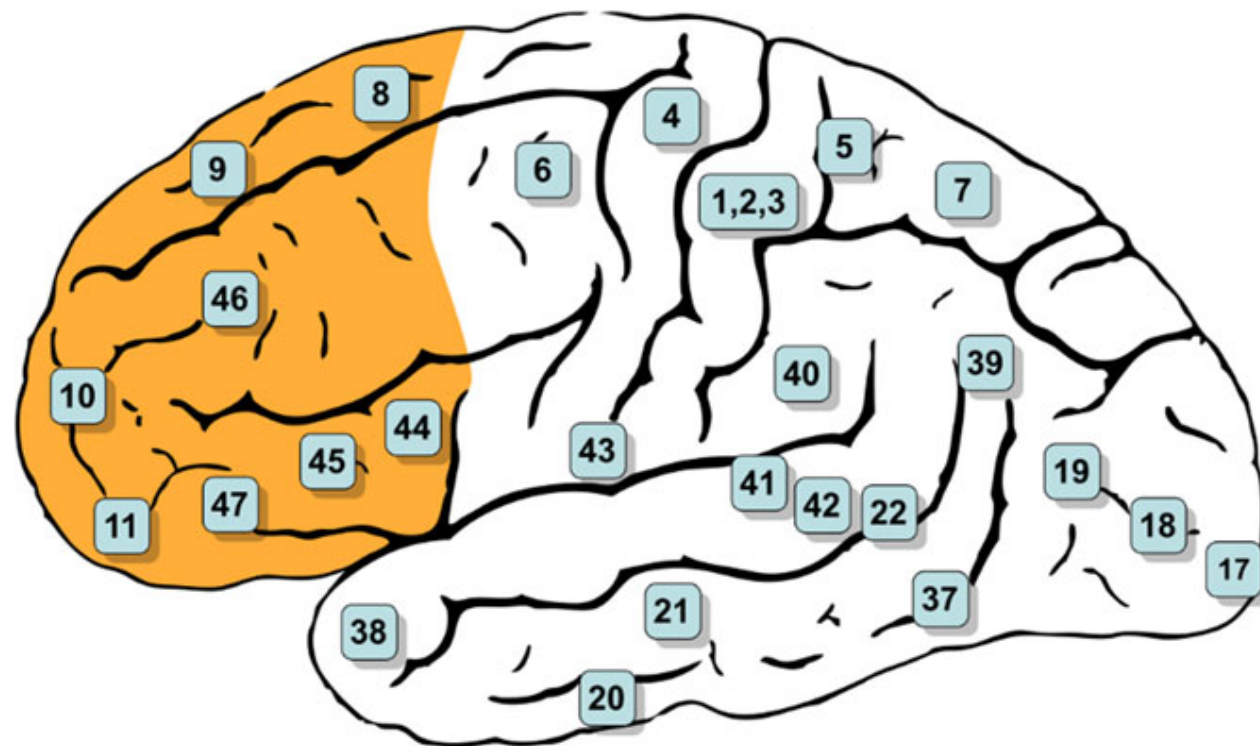


图 3.10 左半脑的侧面观，图中标出了大脑皮质的四个叶。详细介绍见正文。

大脑皮质 (cerebral cortex)

- 细胞结构学分区

- Brodmann将大脑皮质依据细胞形态和组织之间的差异大致分为52个区
- Brodmann系统常被认为是非系统的，对皮质的系统命名并不完全一致。一个区域可能会具有一个Brodmann分区名，一个细胞结构学的命名，一个大体解剖学的命名或者一个功能命名
- 初级视皮质，Brodmann分区的命名是17区，功能分区是V1区，但不同命名法所代表的区域重合并不常见



大脑皮质 (cerebral cortex)

- 大脑皮质的分层

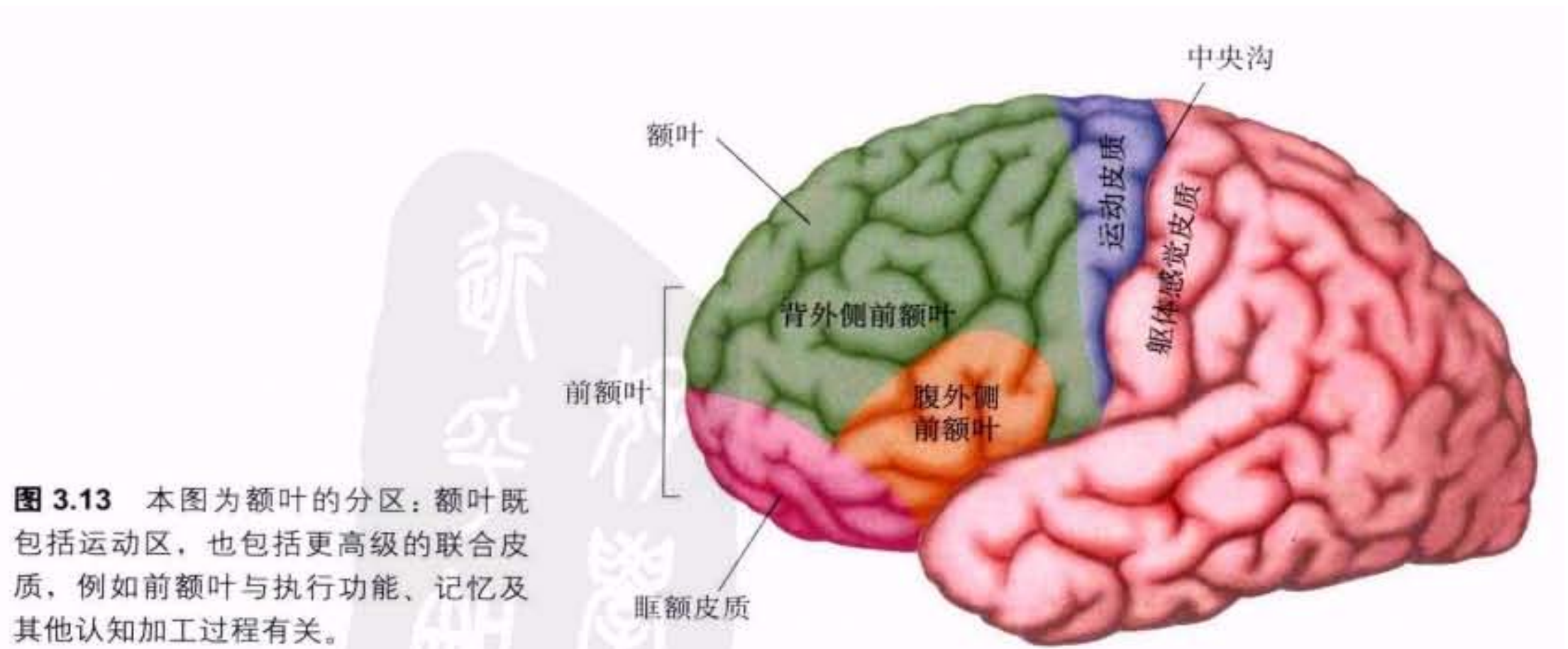
- 大脑皮质可以分为新皮质、中间皮质、异质皮质
- 大脑皮质的90%都是新皮质 (neocortex)，由6层细胞组成，第四层通常是输入层，从丘脑及其它更远的皮质区域接收信息，第六层通常起到输出信息的作用，发出信息到丘脑，从而促进反馈作用
- 新皮质包括初级感觉皮质、运动皮质以及联合皮质（即并不能明显是初级感觉和运动皮质的区域）
- 中间皮质即为旁边缘区的皮质，包括扣带回、海马旁回、脑岛皮质、眶额皮质，中间皮质位于新皮质和异质皮质之间，也分为六层
- 异质皮质通常仅含有一层到四层神经元，包括海马（有时也被称为古皮质）和初级嗅皮质（有时也被称为旧皮质）

<https://zhuanlan.zhihu.com/p/186291911>

新皮质的功能分区

• 额叶中的运动区

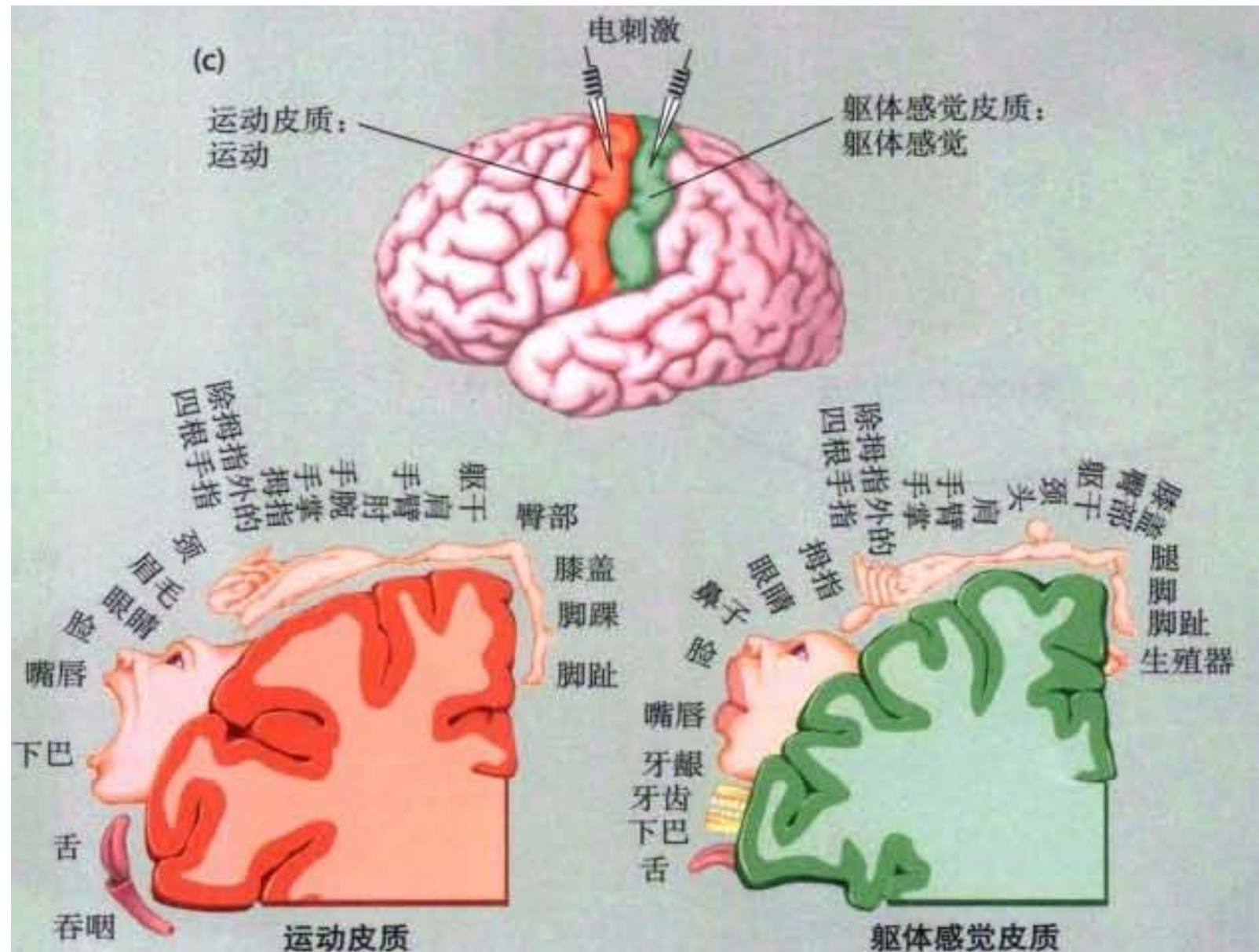
- 额叶在运动的准备和执行方面起到重要作用，主要包括运动皮质和前额叶皮质
- 初级运动皮质（M1区）对应BA4区，包括中央沟的前部和中央前回的大部分
- 在这一区域的前部是运动前区和辅助运动区，都在BA6区中
- 额叶中位置更靠前的是前额叶皮质（prefrontal cortex），在计划和执行方面发挥重要作用，对不同时间的信息进行整合，前额叶主要包括背外侧前额叶、眶额皮质、扣带前回和内侧额叶



新皮质的功能分区

- 顶叶中的躯体感觉区

- 躯体感觉皮质位于中央沟的后部。这些皮质区域接受来自丘脑躯体感觉中继的输入，包括触觉、痛觉、温度感觉以及本体感觉等



新皮质的功能分区

- 枕叶中的视觉加工区
 - 初级视觉皮质（V1区，BA17区），纹外皮质（BA18区和BA19区）

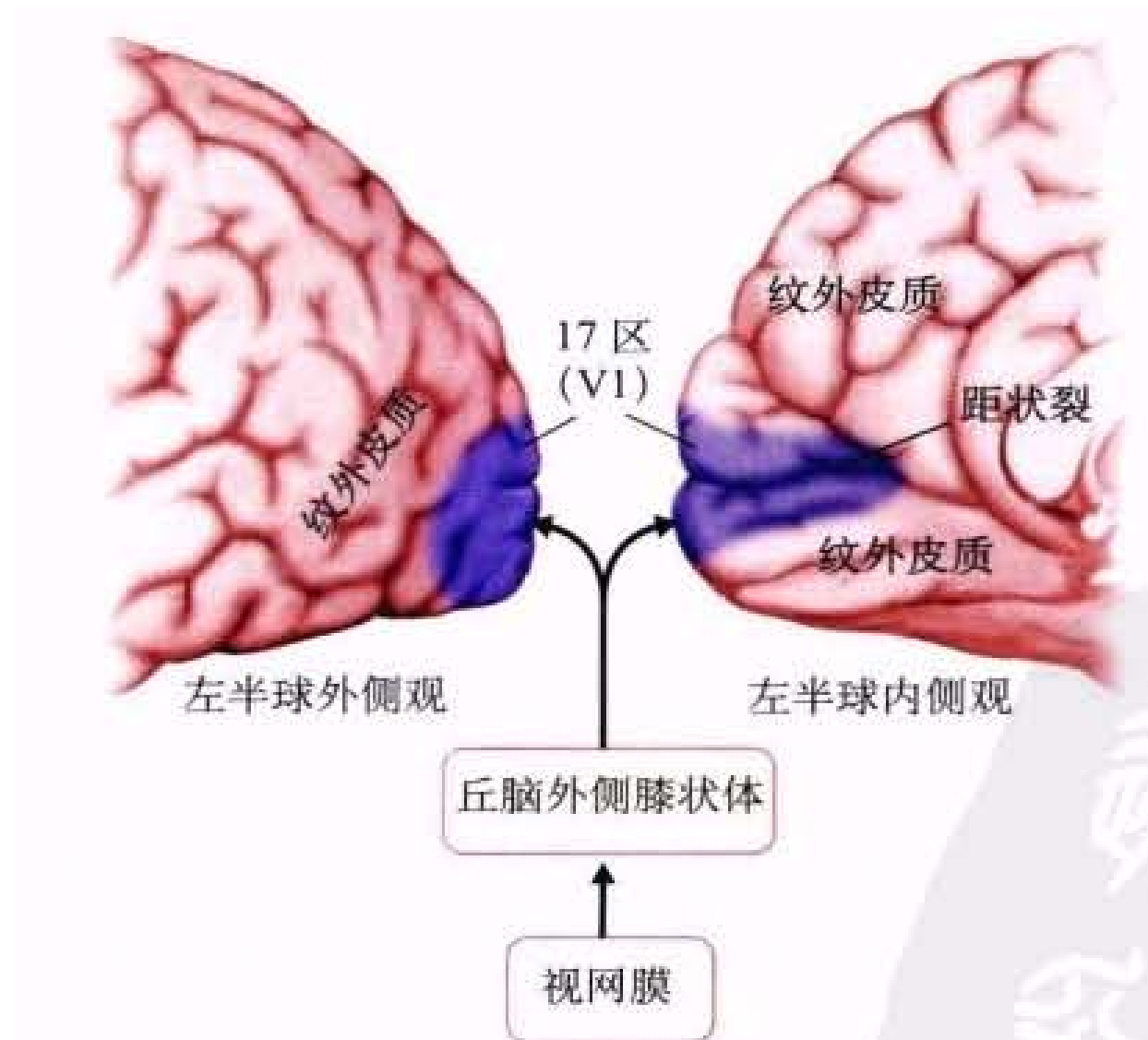


图 3.15 位于枕叶的视皮质。BA17 区，也称为初级视皮质（V1），位于枕极（occipital pole），并且一直延伸至半球的内侧面，大部分埋藏于距状裂中。

新皮质的功能分区

- 联合皮质

- 不能被单独划分为感觉或运动的部分定义为联合皮质 (association cortex)
- 这些区域接受来自许多皮质区域的输入

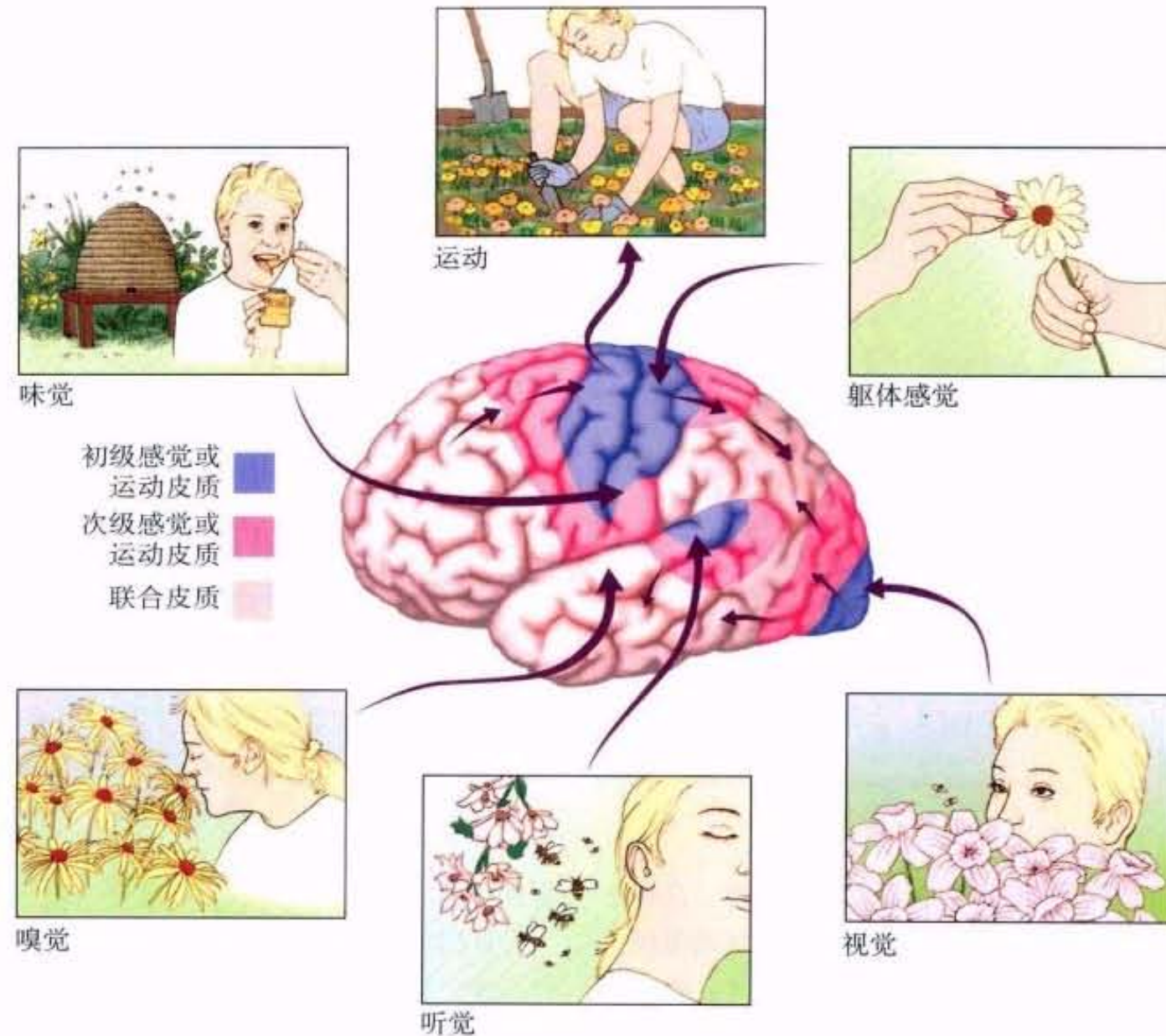
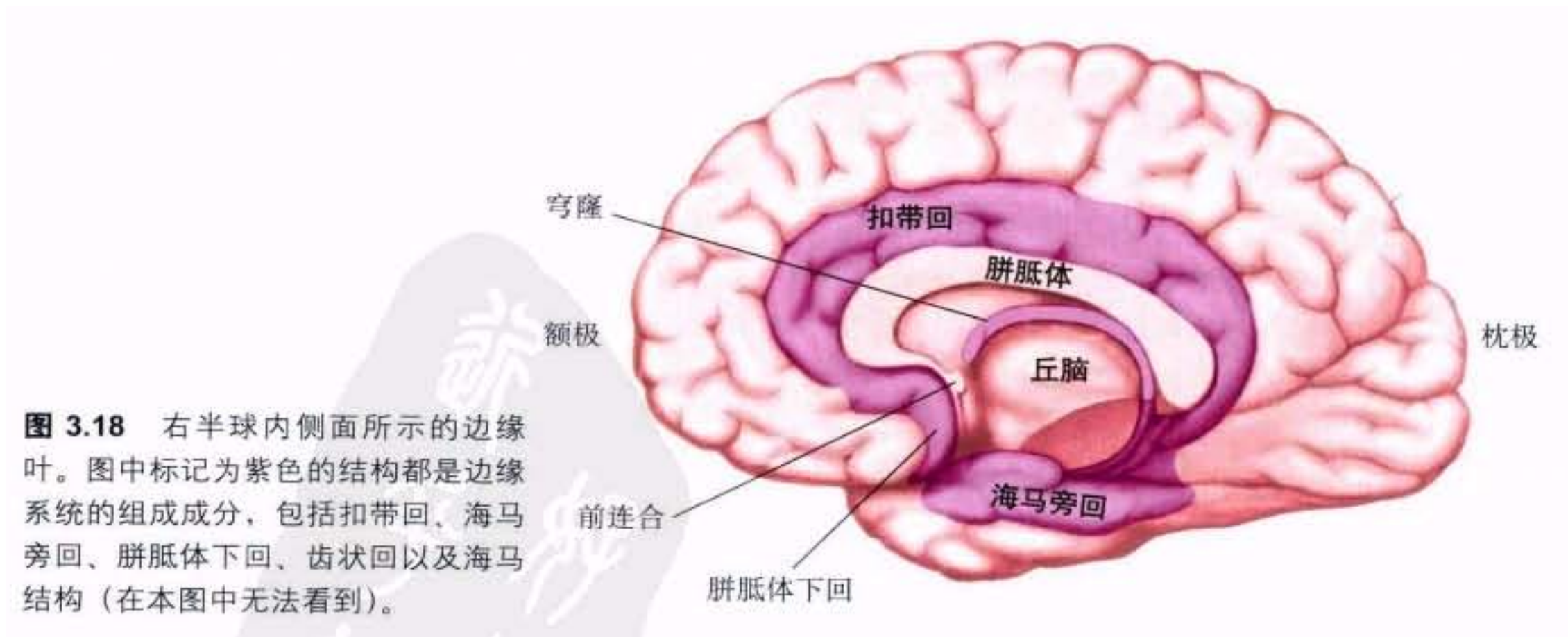


图 3.17 初级感觉和运动皮质及周围的联合皮质。蓝色的区域所代表的是初级皮质，即负责接受来自上行感觉通路信息的区域，以及负责向脊髓传送信息的初级输出区域。红色的部分是次级感觉和运动区域，其余部分则是联合皮质。

中间皮质中的边缘系统

- 边缘系统 (limbic system)

- 扣带回、下丘脑、丘脑前核以及海马共同构成“经典”的边缘叶
- 如今，杏仁核 (amygdala)、眶额皮质、基底神经节中的部分区域被认为是边缘系统的重要部分，一些划分中包括丘脑的背内侧核

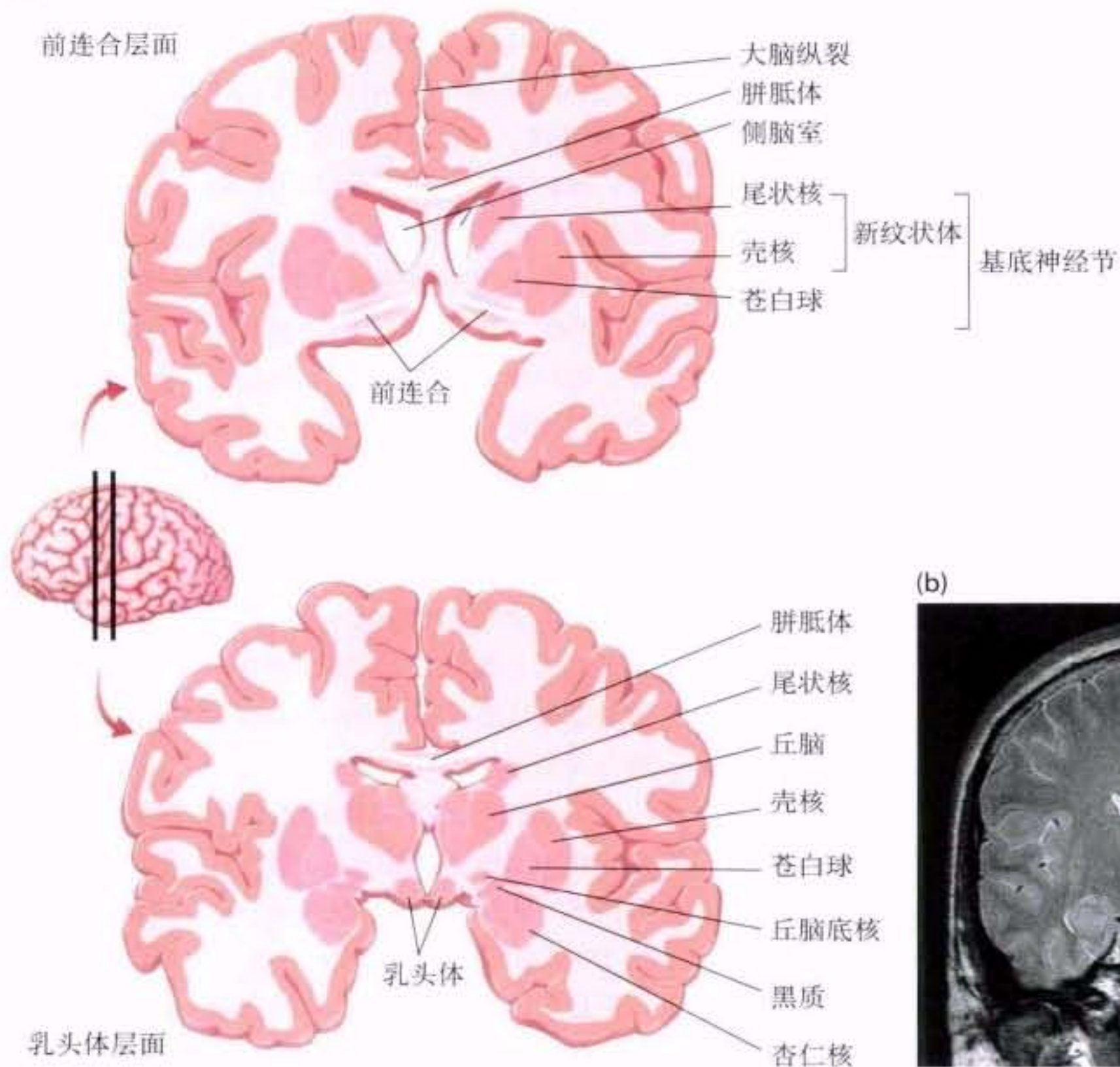


中间皮质中的基底神经节

- 基底神经节

- 基底神经节指前脑中的一系列皮质下神经组织的集合
- 在运动控制中起重要作用
- 三个重要组成是苍白球、尾状核和壳核

(a)



(b)

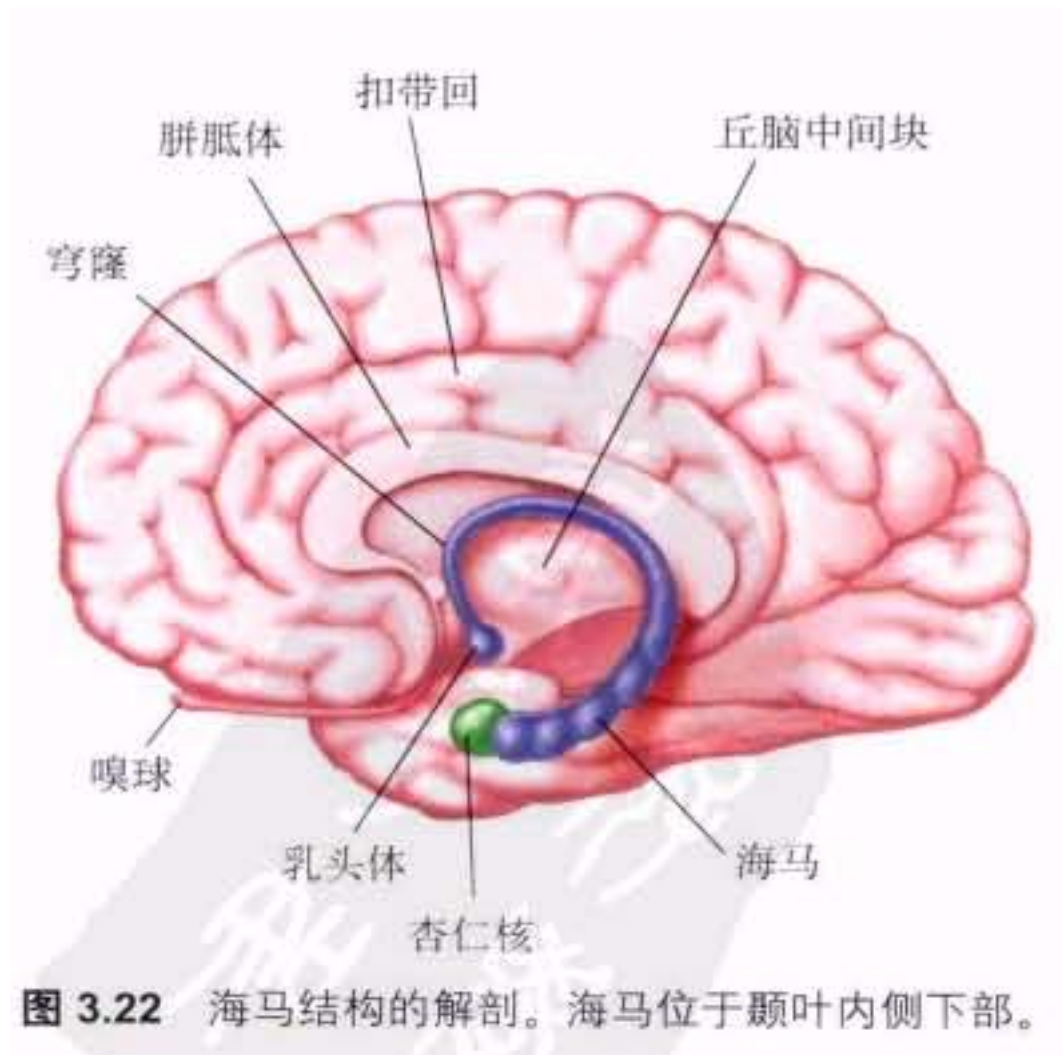


图 3.20 (a) 大脑前、后两个位置的冠状切面 (如图中所注), 图中呈现的结构是基底神经节。(b) 对应的高分辨率结构性磁共振图像 (使用 4 特斯拉扫描仪), 与 (a) 中的后一切面大致处于同一层面。与 (a) 不同, 此图还包括脑干、头骨和头皮。

中间皮质 / 异质皮质中的海马结构

- 海马结构

- 前脑中颞叶的腹内侧面上依次分布着海马（hippocampus）及与之联系的齿状回、海马旁回以及内嗅皮质
- 海马和齿状回由3/4层皮质结构组成，属于古皮质，而内嗅皮质和海马旁回则是6层的皮质结构，属于中间皮质



间脑

- 丘脑与下丘脑

- 丘脑 (thalamus) 与下丘脑 (hypothalamus) 共同构成间脑
- 丘脑位于脑干的最前端，间脑的背侧，所有感觉通道的信息在到达初级的皮质感觉接受区域前都要经过丘脑
- 下丘脑对自主神经系统和内分泌十分重要

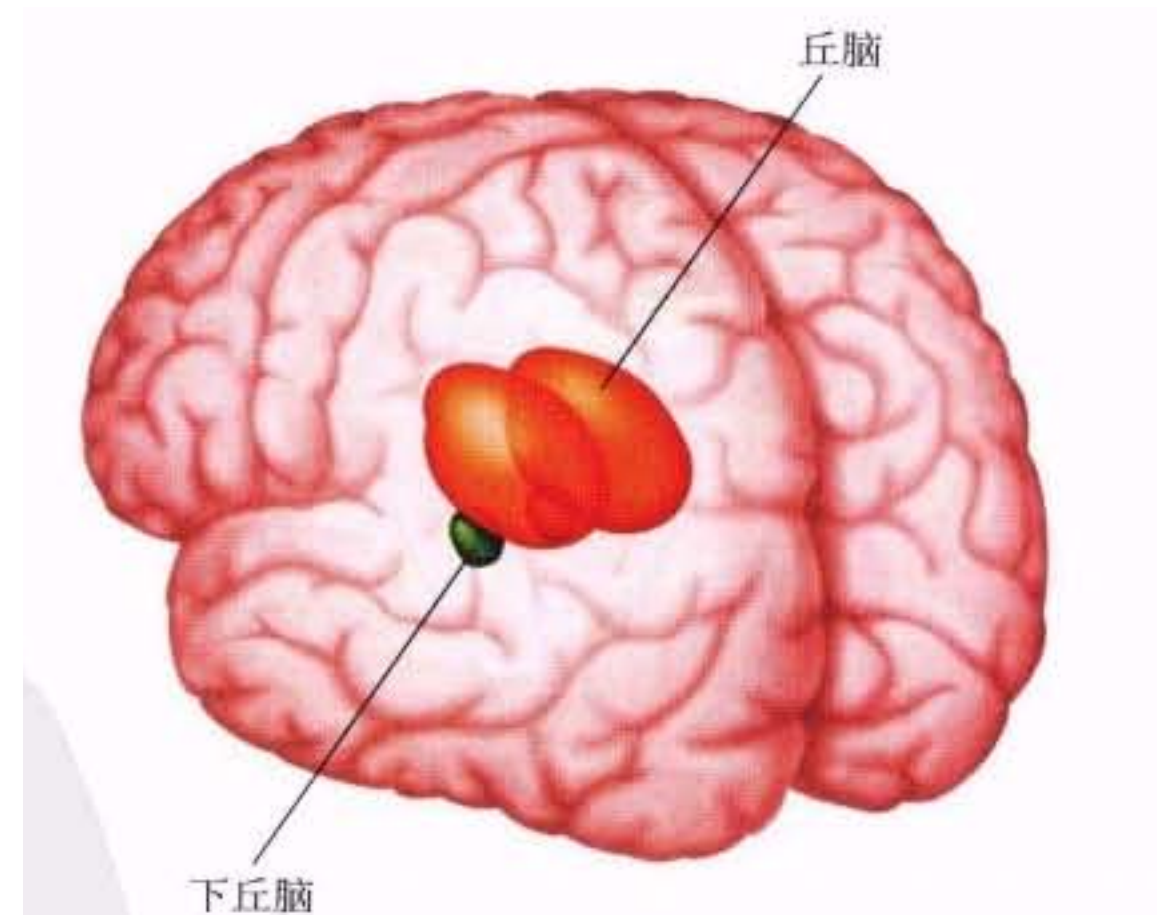


图 3.24 丘脑的大体解剖。这张图用一种透视的角度呈现了左、右两个半球中的丘脑。丘脑呈卵圆形状。它是感觉系统和皮质之间的门户，其不同部分与皮质中相应的区域之间存在双向环路。下丘脑同时也受到脑干投射系统的支配。

间脑

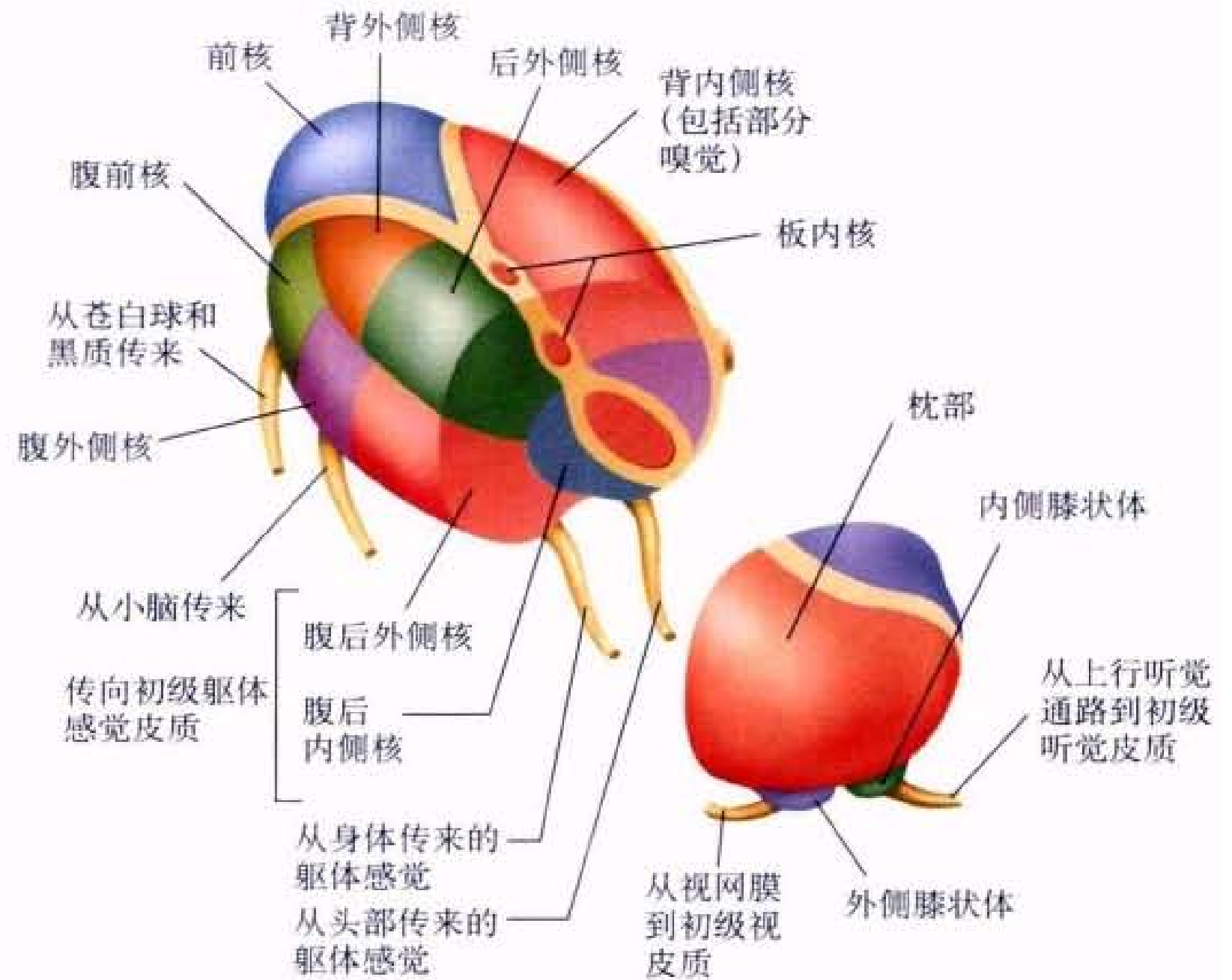


图 3.25 左侧丘脑。图中包括输入输出以及主要组成部分。丘脑的众多组成部分负责不同的感觉系统，参与不同的皮质－皮质下环路。丘脑的后侧部分（右下）被切下并与丘脑其余的部分区分开来，以便我们观察丘脑核团（左上）的内部结构。

脑干

- 脑干 (brainstem)

- 包括中脑、脑桥、延髓
- 脑干体积小，控制呼吸及意识水平如睡眠和觉醒，脑干的受伤很致命

pián zhī tǐ

大脑两半球的底部联合大脑两半球的神经纤维组织

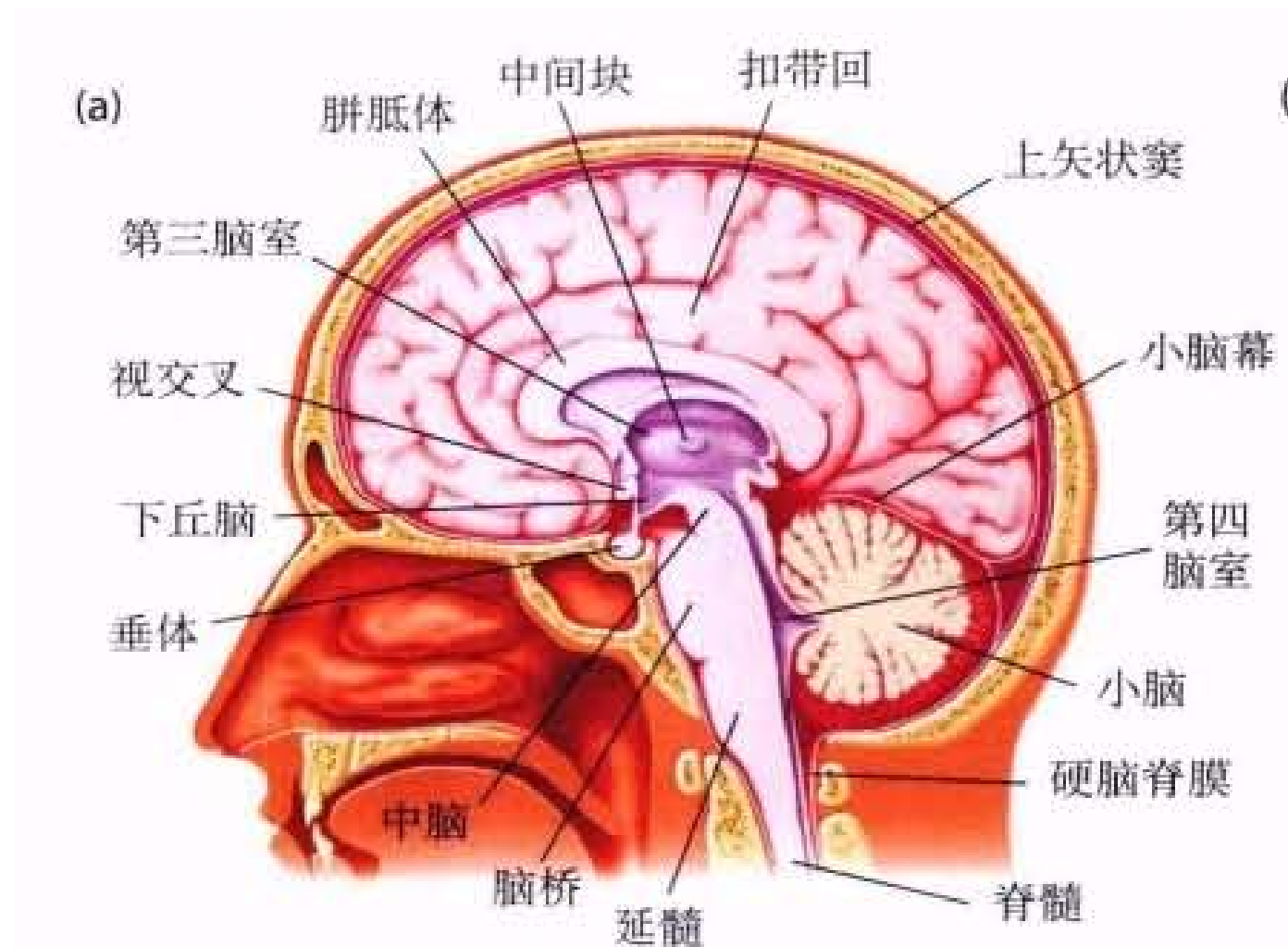


图 3.27 (a) 头部正中矢状切面，显示脑干、小脑以及脊髓。

小脑与脊髓

- 小脑 (cerebellum)

- 覆盖于脑干结构上部
- 小脑中的神经元数量约110亿
- 小脑并不直接控制运动，而是整合有关身体和运动指令的信息并调整运动

- 脊髓

- 从延髓一直延伸到其位于脊椎底部的马尾
- 主要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至脑部

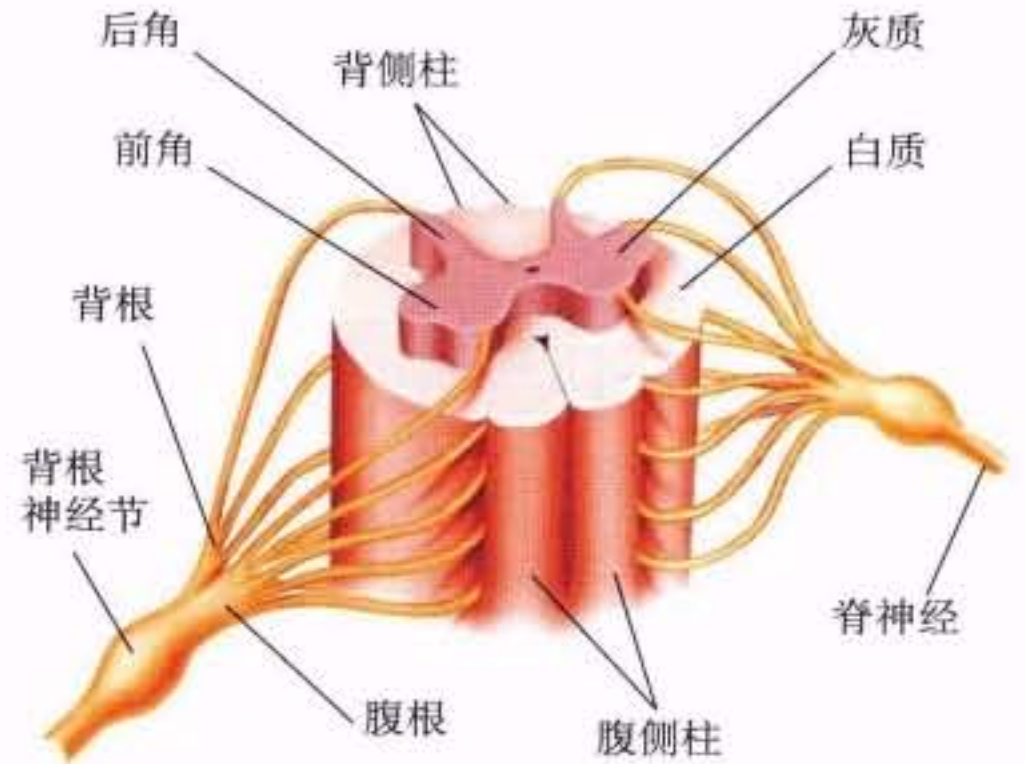


图 3.31 脊髓的大体解剖。图中包括脊髓的横切面和三维图示，其中可以看到中央由神经元胞体组成的蝴蝶状灰质，以及周围的白质神经束。后者负责从脑部沿着脊髓向下传送信息到脊髓中的神经元，同时也负责从外周感受器向上传递信息至脑部。图中同样呈现了进出脊髓的前根和后根；它们融合在一起形成周围神经。外周感觉输入的胞体位于后根的神经节，并在后根中通过轴突将信息传递至中枢神经系统。运动神经元位于脊髓前角，它们在前根中通过轴突传递信息支配外周肌肉组织。

自主神经系统

- 自主神经系统 (autonomic nervous system)
 - 外周神经系统的一部分
 - 参与对平滑肌、心脏及各种腺体运动的控制
 - 分为两个部分：交感系统和副交感系统

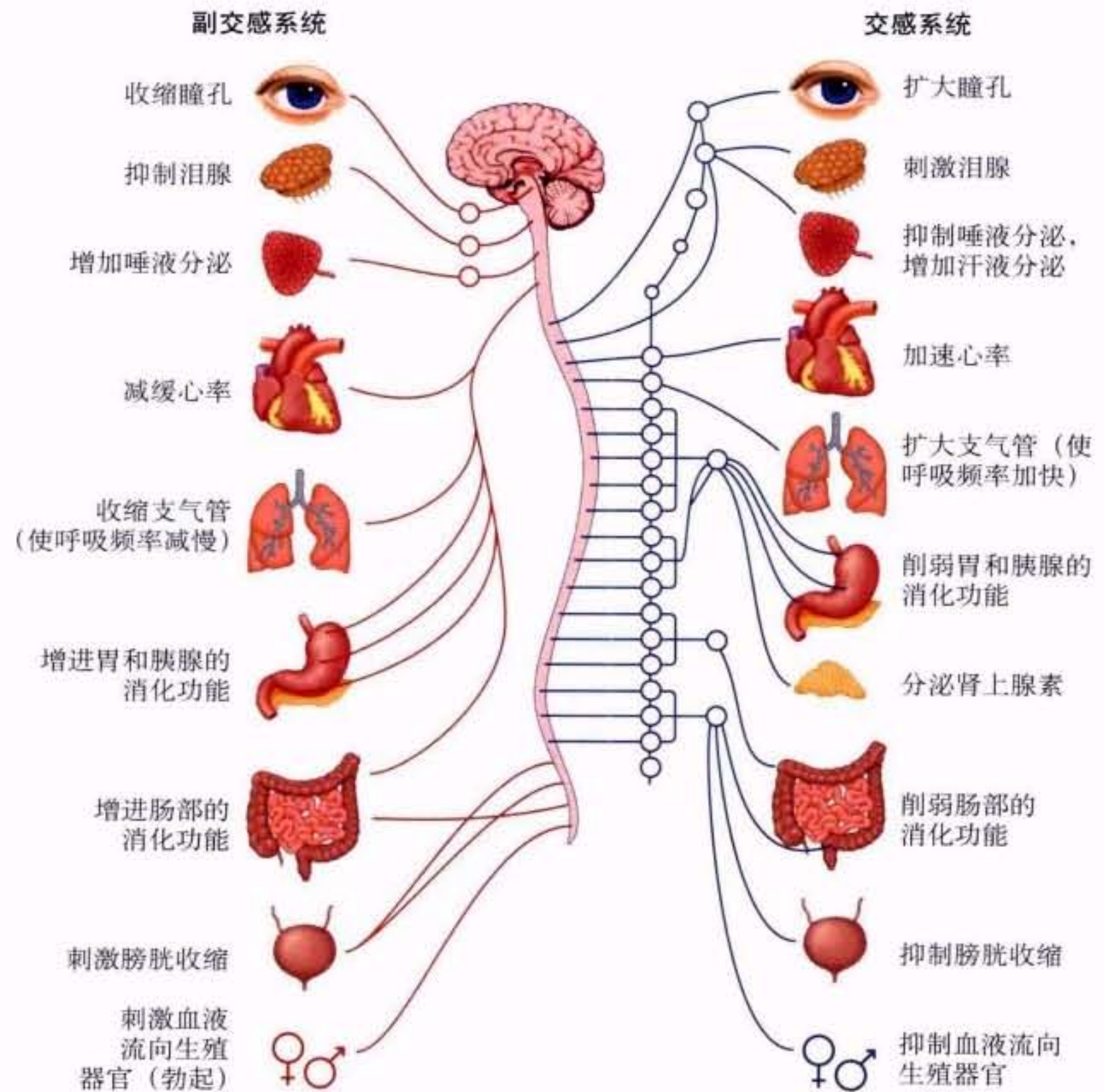


图 3.32 自主神经系统的结构，显示交感系统和副交感系统。

神经系统的发育

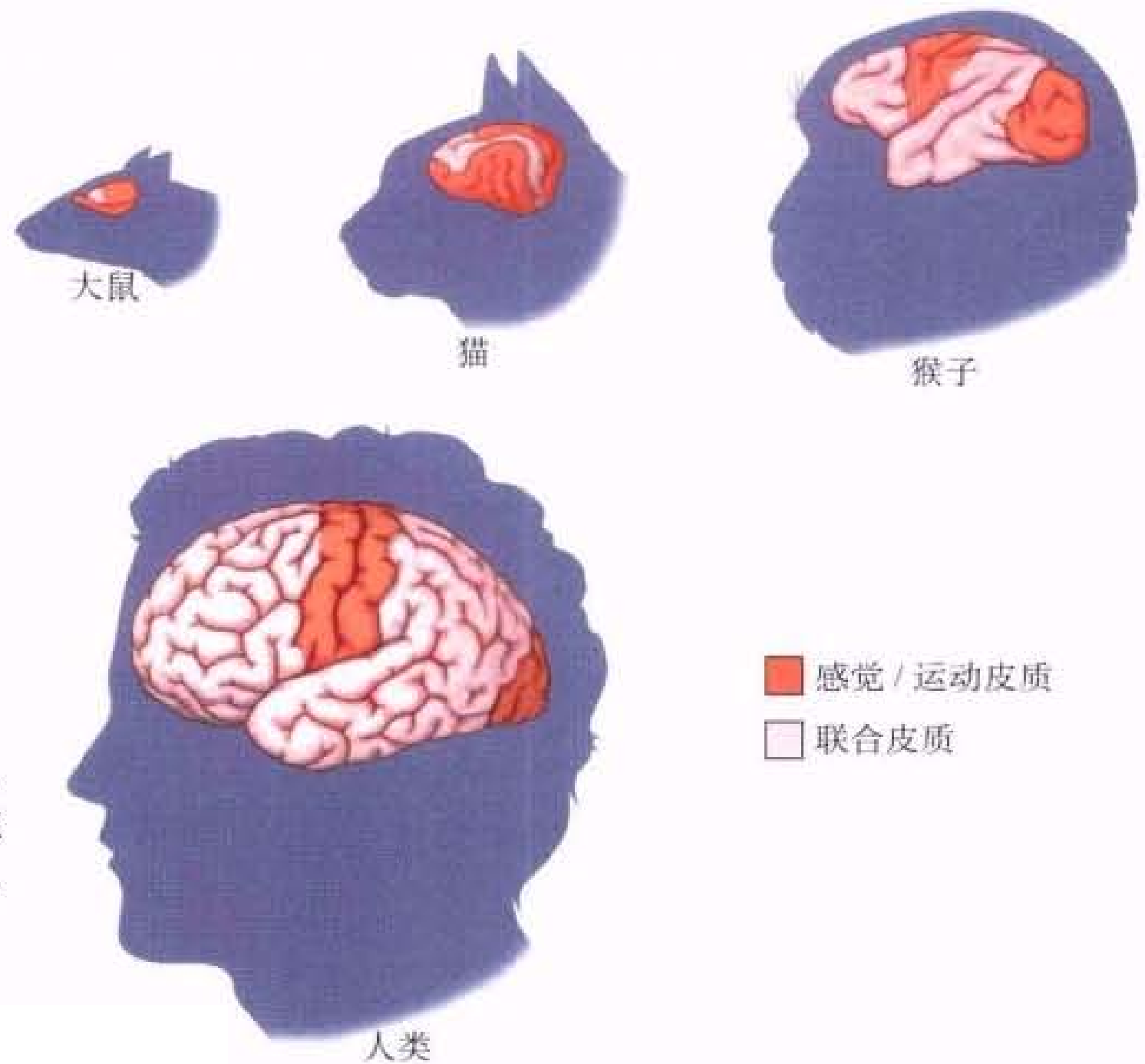


图 3.33 哺乳动物从大鼠到猫，到猴子，继而到人的进化过程中，脑（特别是新皮质）变得越来越大，联合皮质逐渐发展，沟回的数量增加，使得皮质表面积更大。

脑部生长与特异化机制

- 机制组成

- 神经元增殖：以前认为成年人不再产生新的神经元，但现在发现还是有神经元的更新
- 神经元迁移
- 神经元决定和分化
- 突触生成：大脑突触在15个月到达顶峰
- 突触削减：神经系统对神经连接进行微调，清除多余或不起作用的连接

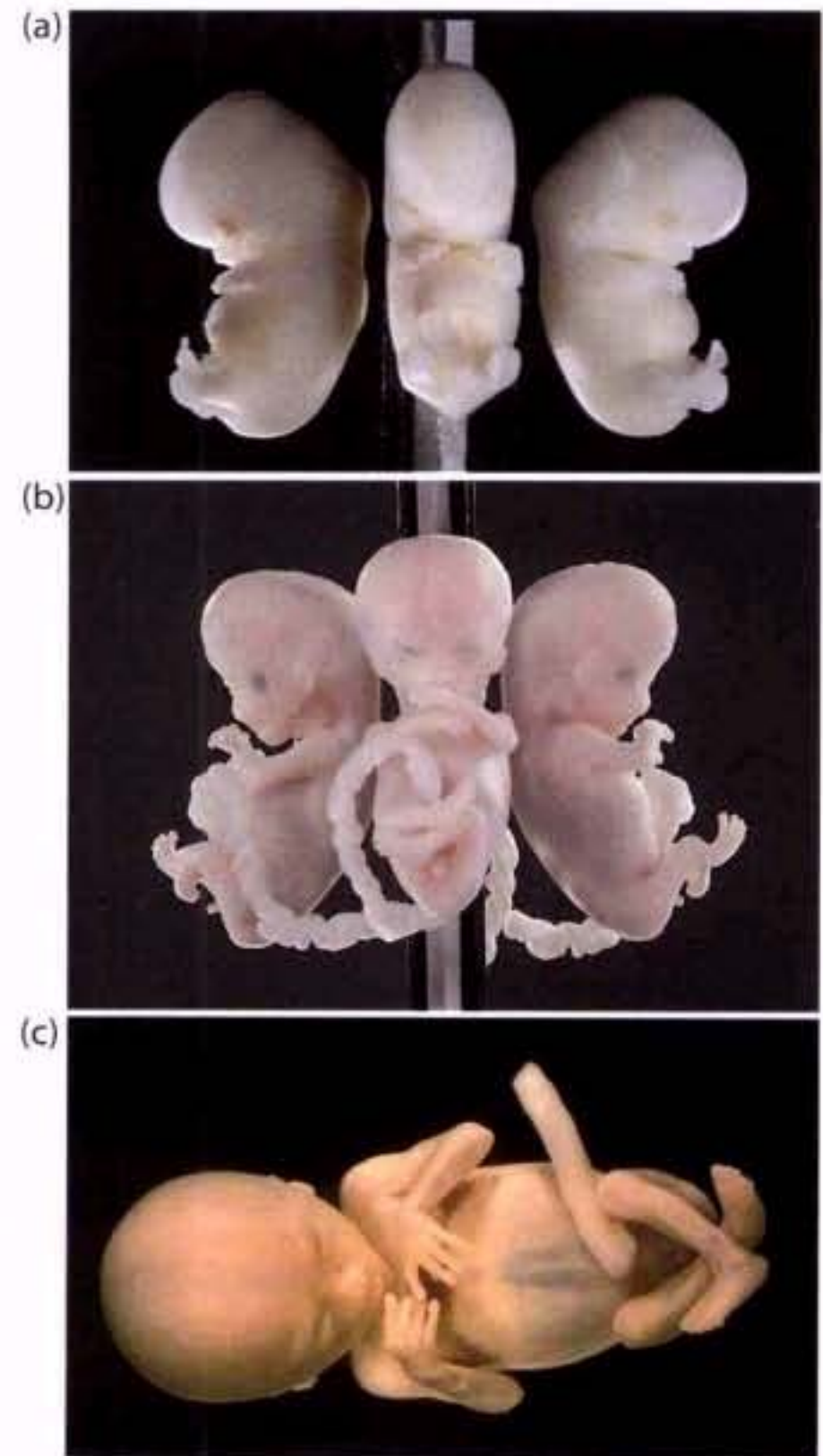


图 3.34 人类胎儿不同发展阶段的样子，7 周 (a)，9 周 (b)，7 个月 (c)。

神经系统的可塑性

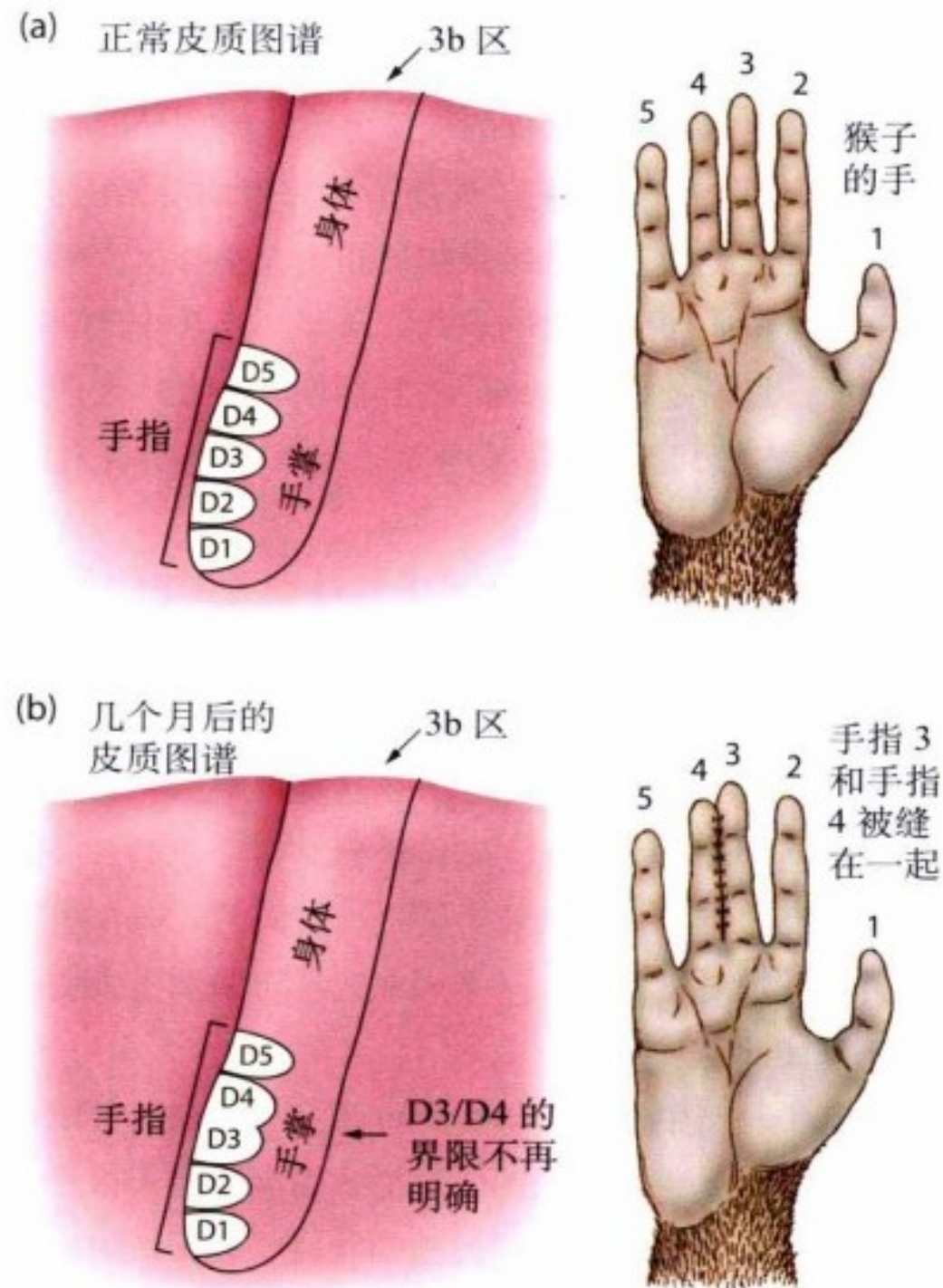


图 3.46 灵长类皮质感觉图谱的重构。(a) 正常猴子的皮质中手部体感区的图谱，每一手指的表征可以通过单细胞记录显示。(b) 如果将同一只手的两根手指缝在一起，几个月后皮质图谱会发生改变，被缝两手指之间曾经明显的分界现在变得模糊了。