

神经系统对运动的调控

Central Regulation of Motor



教学目的：掌握控制运动的神经结构、运动神经元池和运动单位等概念、基底神经节和小脑在调节运动中的作用；理解脑干对运动的调控和高位中枢对脊髓反射性行为的调控；了解大脑皮层的运动区分区

教学重点：运动神经元池活动的规律；基底神经节和小脑在调节运动中的作用

教学难点：神经系统对运动调控的机制



● **使用教材：**

《医学神经生物学基础》，阮怀珍主编

● **参考资料：**

《神经生物学——从神经元到脑》，杨雄里等译

《神经科学基础》，李继硕主编

教学内容



- 一. 概述
- 二. 脊髓的运动功能
- 三. 脑干的运动功能
- 四. 大脑皮质的运动功能
- 五. 小脑对运动的调节
- 六. 基底神经节对运动的调节

一、概述 Introduction



运动是维系动物生存和繁衍的基本功能之一

控制运动的的神经和肌肉共同构成躯体运动系统





1. 运动的分类

反射运动(reflex movement):

不受主观意识控制、运动型式固定、反应快捷的运动，是最基本和最简单的运动，所涉及的神经元数量较少，在较短时间内完成

节律运动(rhythmic movement):

受主观意识控制、运动类型和方式固定、具有节律性和连续性的运动，如呼吸、咀嚼等

随意运动(voluntary movement):

为达到某种目的而指向一定目标的运动，其全过程受主观意识的控制。大多需要反复练习才能熟练掌握



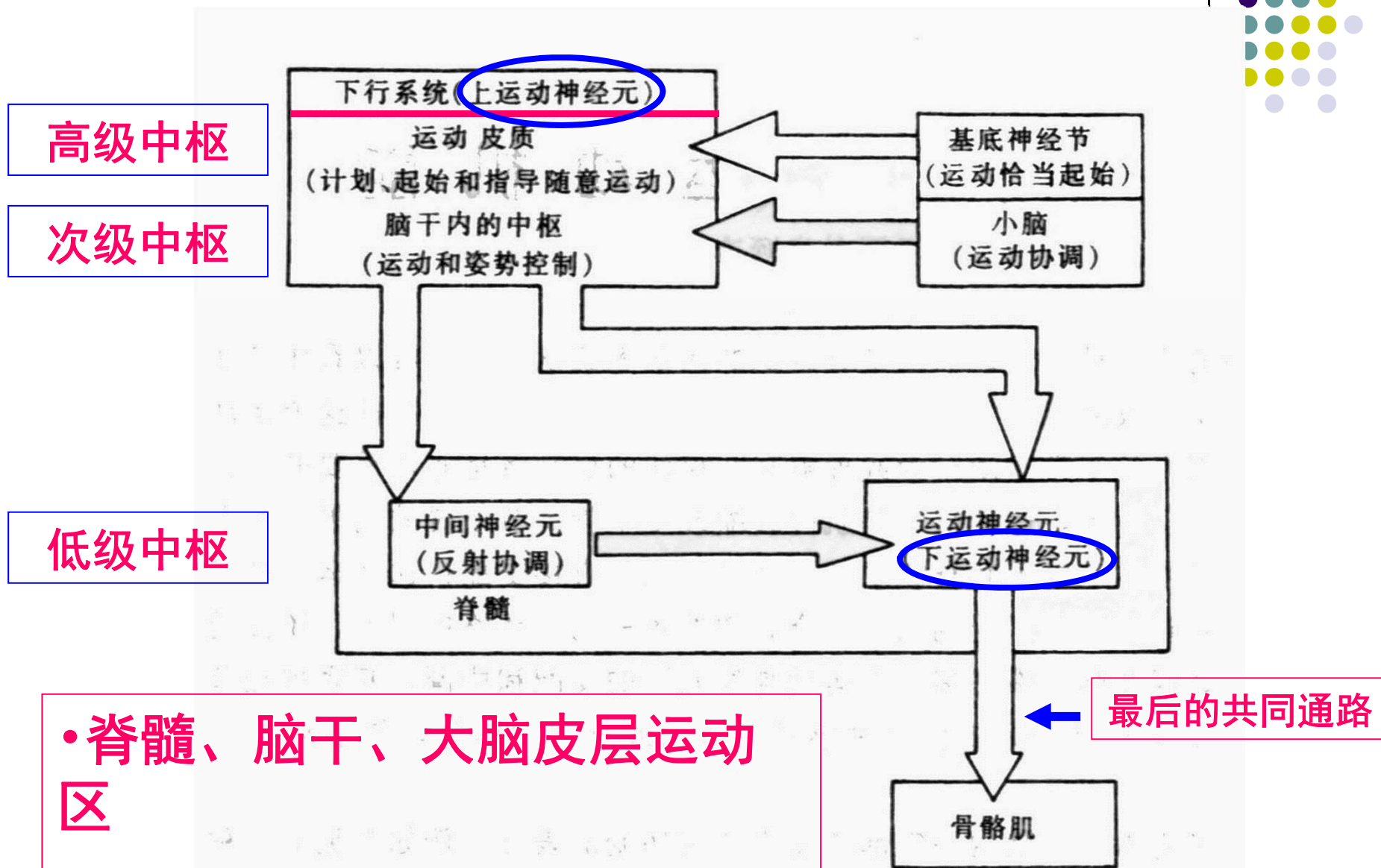
2. 运动的调控

- **运动控制需要感觉信息**：来自视觉、听觉和皮肤的感觉冲动；来自肌、腱、关节位置、身体的空间状态等信息
- **运动的控制**：是在肌肉接受神经信号后收缩或舒张而产生的，常需要很多肌肉同时参与才能完成。**CNS**必须对多块肌肉发出十分精确的指令控制运动的各种参数：位移、速度、加速度、力度等
- **运动的执行器官**：肌肉、骨、关节
- **反馈控制和前馈控制**：

3. 与运动控制有关的神经系统

• 脊髓、脑干、大脑皮层运动区、小脑、基底神经节

- 躯干、四肢肌肉运动的低级中枢在脊髓
- 头部和颈部某些肌肉的低级运动中枢在脑干
- 脑干的一些结构组成次级运动中枢
- 大脑皮质运动区是最高级运动中枢
- 基底核和小脑是皮质下调节运动的中枢
- 低级中枢发出复杂的指令；高级中枢发出更为一般的指令
- 高级中枢通过或不通过次级中枢而控制低级中枢





- 脊髓内的“**下运动神经元(Lower neurons)**”，除了受到脊髓内局部环路的影响外，还受到大脑皮质运动区及脑干中许多“**上运动神经元(Upper neurons)**”的支配和协调
- 基底神经节和小脑则向**上运动神经元**提供某种感觉、认知或感性的信息，使运动更加精确和协调



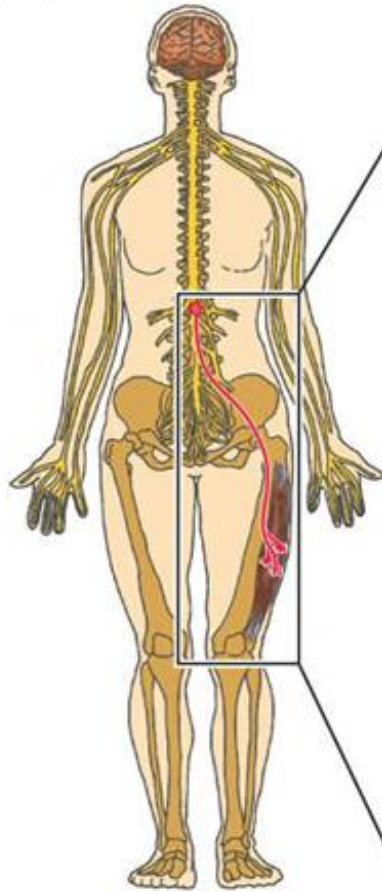
二、脊髓的运动功能

(一) 基本概念

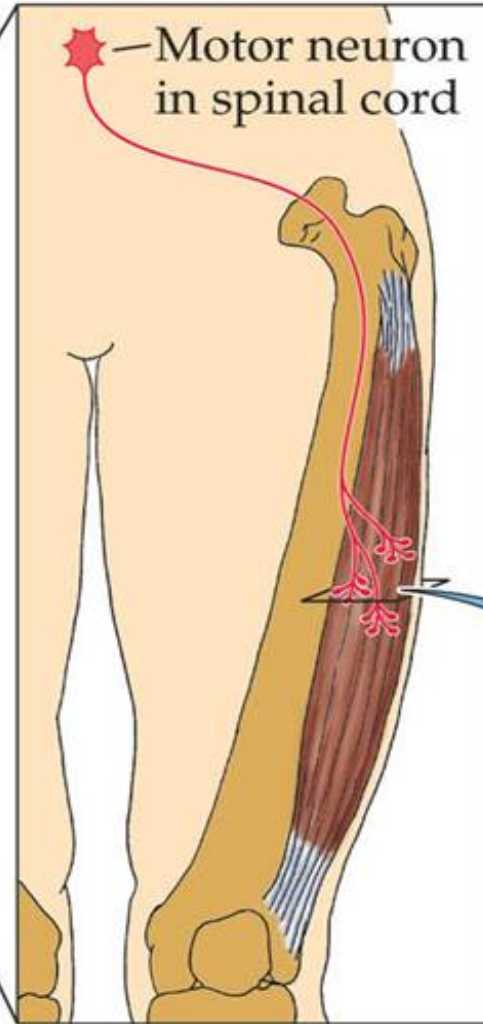


- **反射**：由特异的感觉刺激引起，产生的运动有定型的轨迹
- **脊髓反射**：指其反射弧的中枢部分局限在脊髓的一切反射
- **运动单元Motor unit**：运动神经元及其所支配的所有肌纤维
- **运动神经元池Motor neuron pool**：支配一块肌肉的运动神经元集合而成；或叫**运动核**

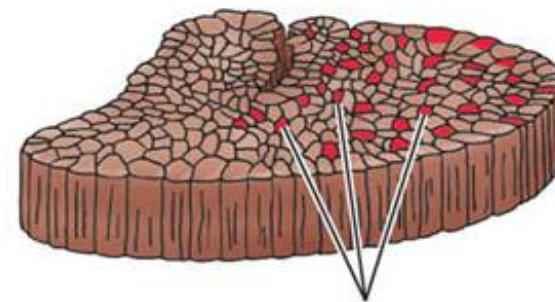
(A)



(B)



The Motor Unit



Muscle fibers innervated by a single motor neuron

Recruitment of Motor Units



我们是如何增强肌肉的收缩力的？

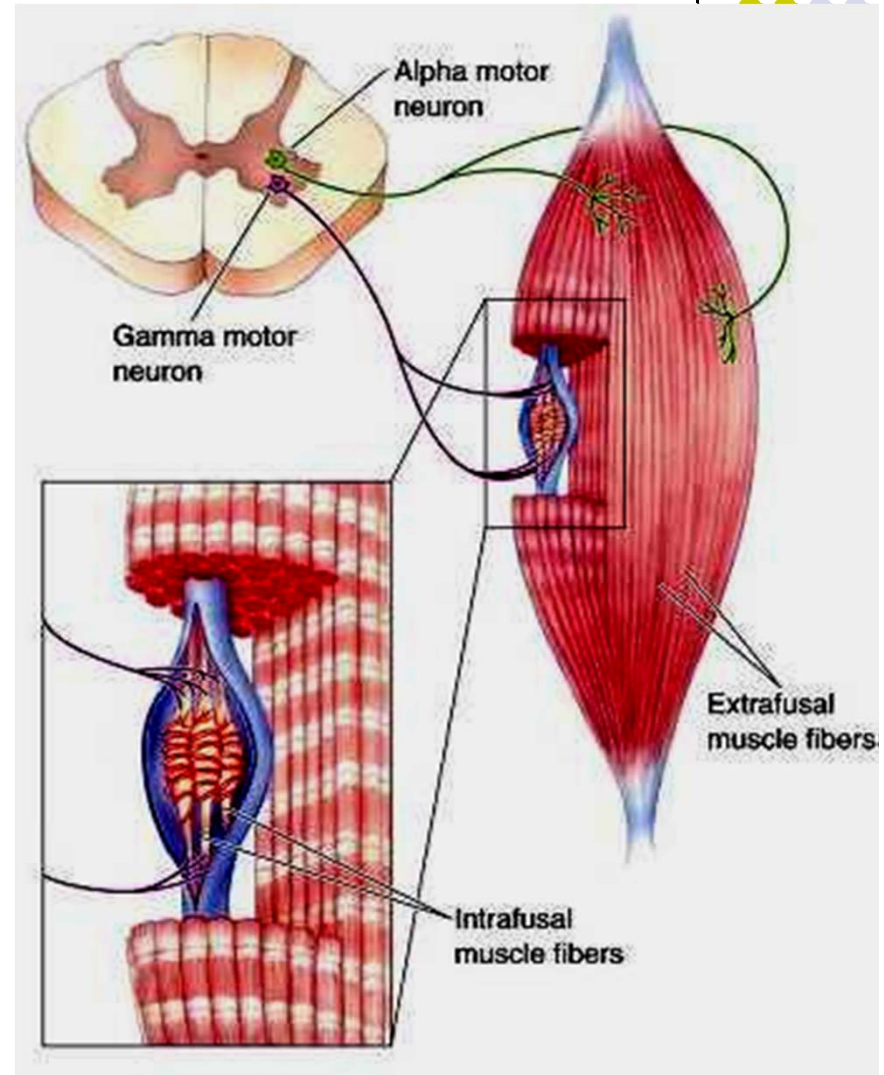
- 是通过增加运动单位来完成的
- 不同大小的运动神经元—小的运动神经元到小的、慢的运动单位；大的运动神经元到大的、快的运动单位
- 大小原则 – 最小的运动单位 (以及最小力量) 的优先; 然后才是大的运动单位

(二) 脊髓的运动神经元



α 运动神经元：脊髓
反射的最后通路

γ 运动神经元：支配梭
内肌，调节肌梭对牵
张刺激敏感性



运动神经元活动的规律



肌收缩张力的增加依赖于运动神经元池的两种活动方式：

①募集更多的运动神经元

运动神经元的募集显示“大小原则”：**神经元的兴奋性与细胞大小呈负相关；其抑制性与细胞大小呈正相关**

②增加募集运动神经元的放电频率

运动神经元的放电频率调制肌张力：**正相关**

(三) 脊髓中间神经元的整合作用

Renshaw细胞:

调节运动神经元放电频率

Ia交互抑制中间神经元:

防止相拮抗肌肉的同时收缩

Ib交互抑制中间神经元:

防止肌张力过度增高

脊髓固有神经元:

协调不同肌肉群的活动



（四）高位中枢对脊髓反射的下行调控

三种方式：

1. 高位中枢通过突触前抑制调节脊髓反射
2. 高位中枢通过中间神经元调节脊髓反射
3. 高位中枢直接调控 α 和 γ 运动神经元

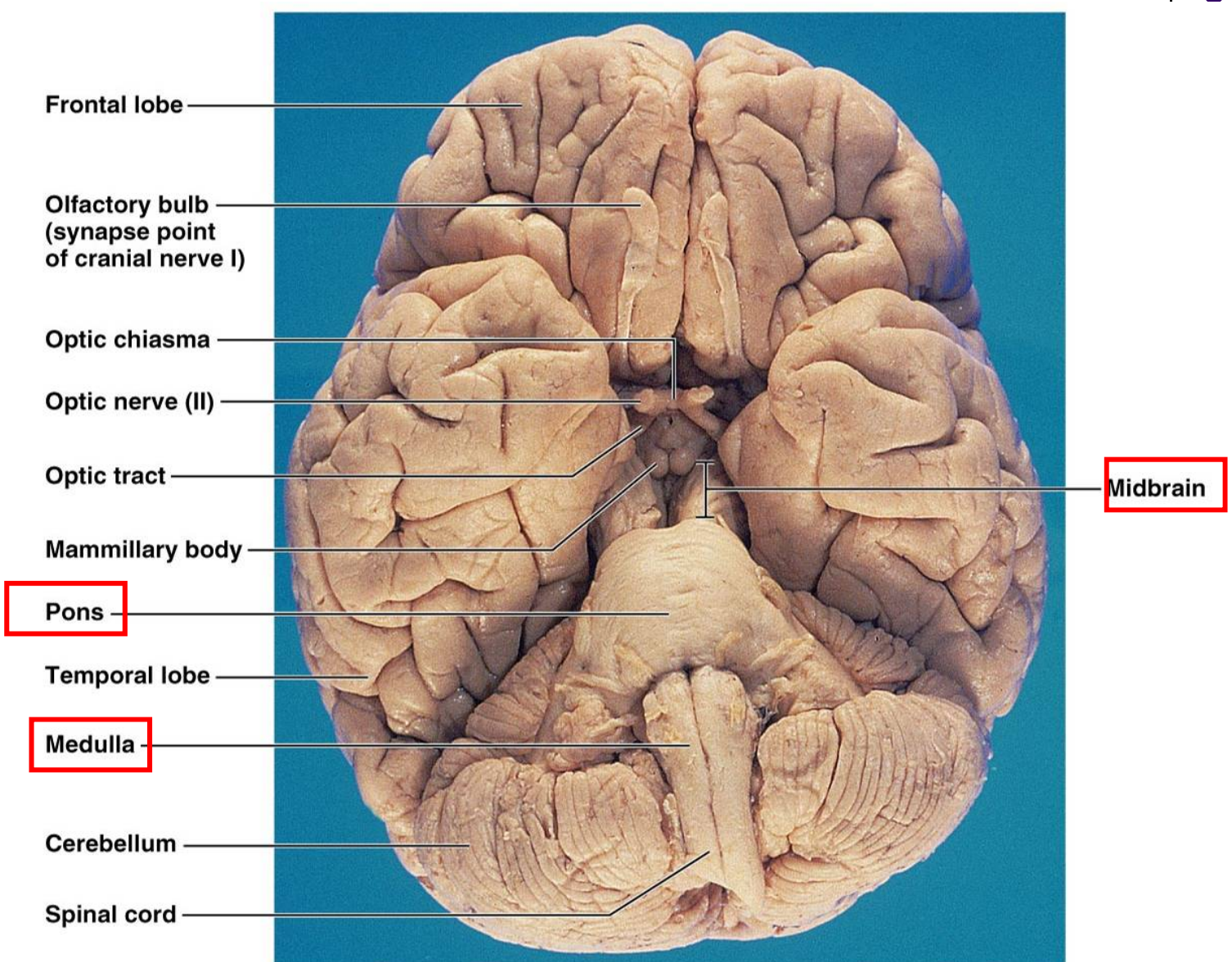
最简单的反射如膝跳反射是初级传入纤维直接兴奋运动神经元而产生的

下运动神经元的损伤表现



- **Muscle weakness and paralysis**—所支配的骨骼肌瘫痪、肌张力下降、腱反射消失(软瘫)
- 肌萎缩、纤维颤动或肌束颤动
- **肌萎缩侧索硬化症(ALS)**: **Selective damage to alpha motor neurons(degeneration)**—脊髓 α -运动神经元的进行性溃变为主

三、脑干的运动功能



脑干 (Human Brain)



脑干的低级运动中枢：

- 脑干有三叉神经、前庭蜗神经等初级躯体传入纤维，有参与脑干反射活动的各种中间神经元，有支配头颈相应肌肉的8对运动核，共同构成支配头颈部骨骼肌和反射活动的低位中枢
- 其组织结构与活动规律与脊髓大致相同



脑干有重要的次级运动中枢

通过下行通路调控脊髓和脑干的低级运动中枢

- **网状结构**是控制躯体运动和姿势的重要中枢
- **前庭系统**是控制躯体运动的另一重要中枢
- **红核与红核脊髓束**：兴奋屈肌运动神经元
- **上丘与顶盖脊髓束**：应答视、听与躯体感觉的刺激、调整头眼的位置的反射中起重要作用

网状结构



- ▶ 整个脑干中央部的神经元和纤维组成**网状结构**(reticular formation, RF)。它接受来自脊髓、皮层、基底节和小脑的投射
- ▶ **RF**接受上下行纤维投射，在功能上是一个整合中枢，对来自上述各中枢的信息进行处理，是控制躯体运动和姿势的重要中枢

网状结构(RF)的组成

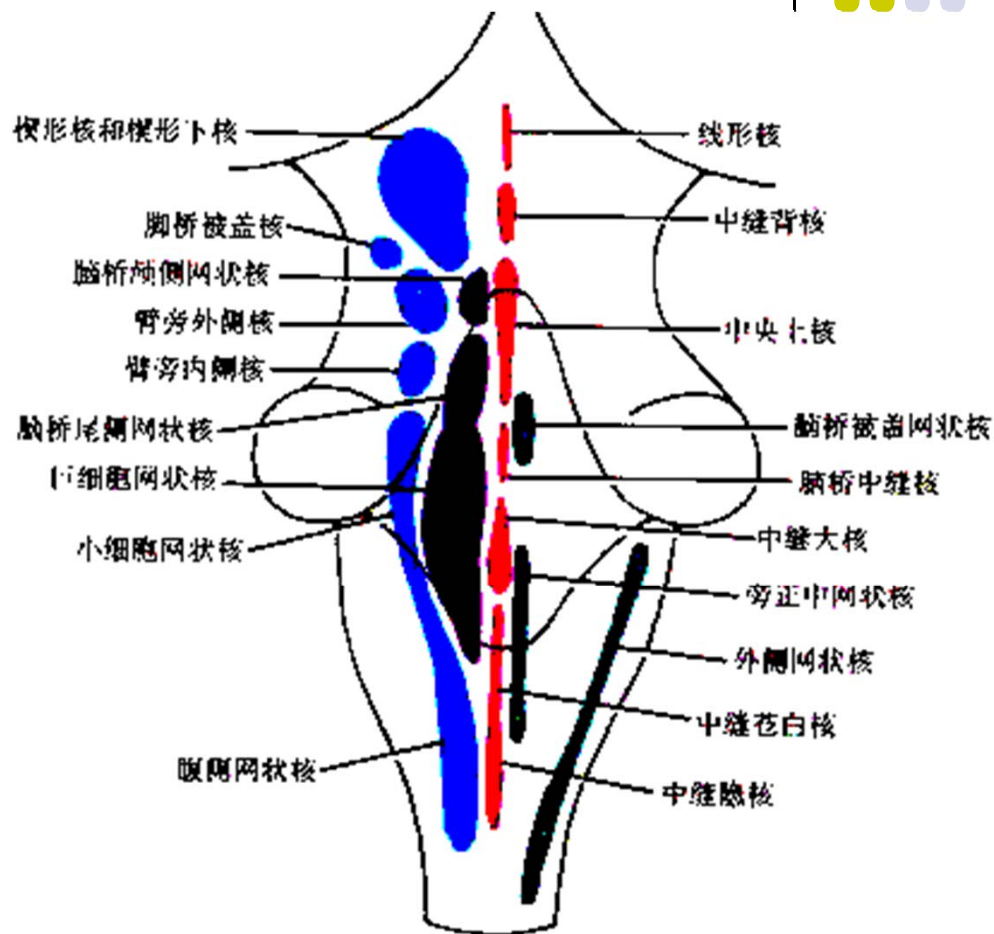


三个纵行区带:

- 正中区
- 内侧区
- 外侧区

主要核团:

巨细胞网状核、旁巨细胞核、尾端桥脑网状核、嘴端桥脑网状核、中缝核群



外侧核群
 内侧(中央)核群
 中缝核群
 向小脑投射的网状核群

图 17-31 脑干网状结构核团在脑干背面投影模式图

网状结构对肌紧张的易化和抑制

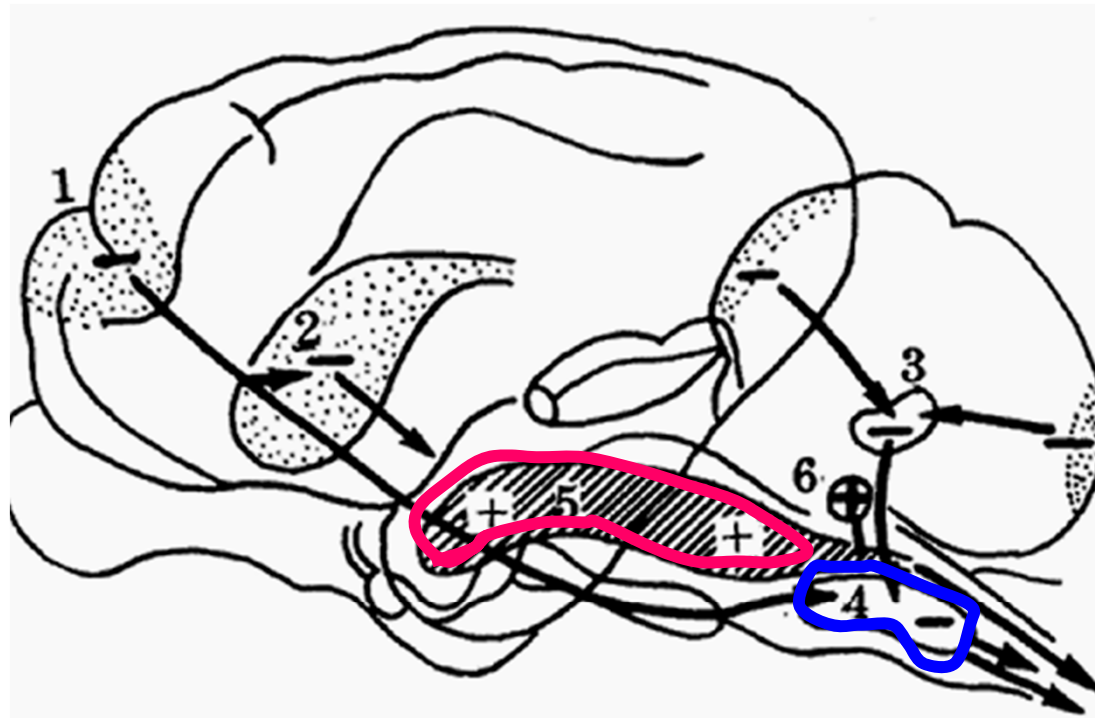


图 10-33 猫脑各部位，特别是脑干网状结构下行抑制 (-) 和易化 (+) 系统示意图

抑制作用 (-) 的路径：4 为网状结构抑制区，发放下行冲动抑制脊髓牵张反射。这一区接受大脑皮层 (1) 尾状核 (2) 和小脑 (3) 传来的冲动

易化作用 (+) 的路径：5 为网状结构易化区，发放下行冲动加强脊髓牵张反射。6 为延髓的前庭结构，有加强脊髓牵张反射的作用

前庭系统



- ▶ **前庭神经核**包括前庭上核、外侧核、内侧核和脊束核等，接受前庭神经的传入，也接受中枢许多其它部位的传入
- ▶ **前庭系统与RF有直接的神经联系，并有自己的下行通路**——前庭脊髓束和经内侧纵束至眼外肌的前庭眼反射通路，对头在空间位置的改变和各种加速刺激起反应



- 前庭神经与小脑有密切联系。脊髓上行的躯体传入除经小脑中转者外，也可直接或经RF至前庭核
- 前庭系损害的主要表现：眩晕、眼球震颤、平衡障碍、恶心、呕吐等症状

脑干对姿势的调节

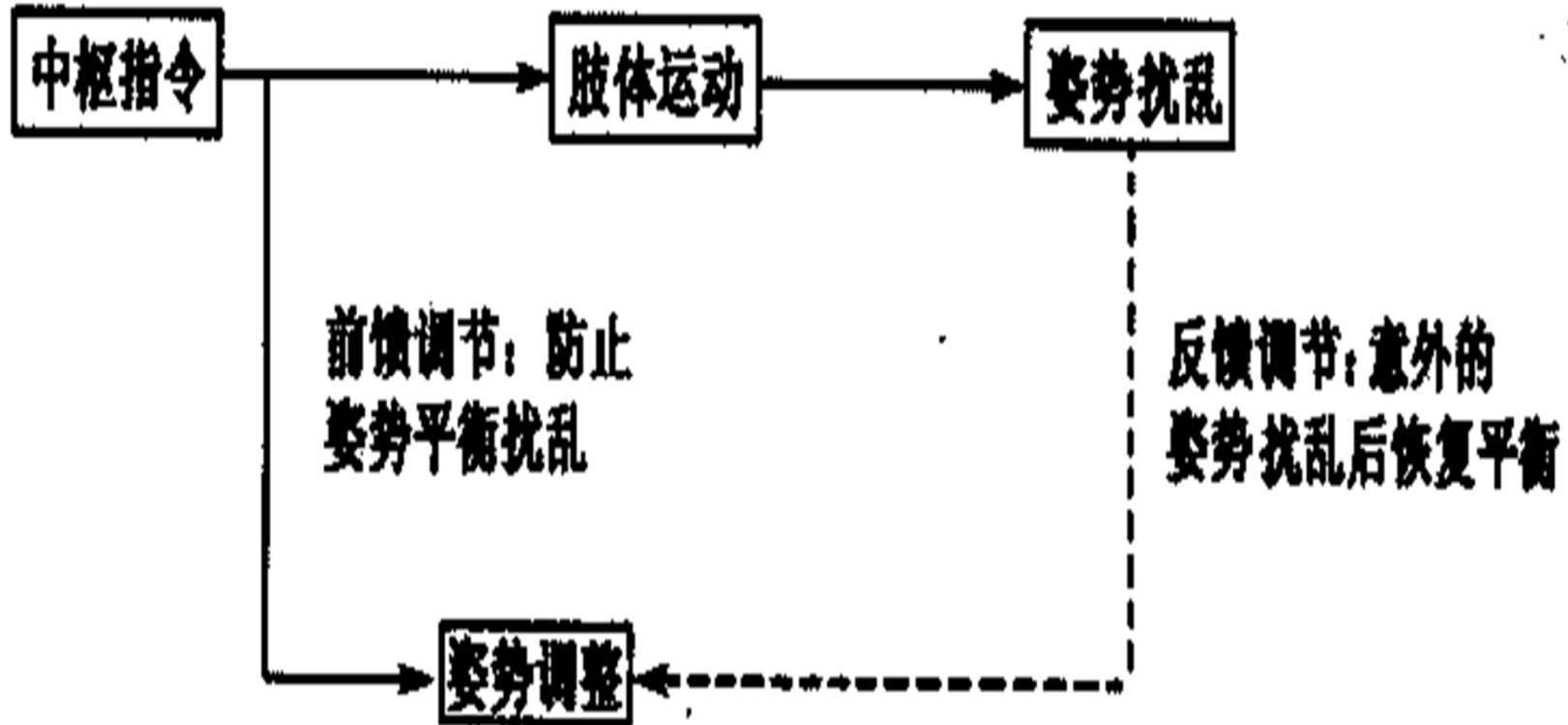


神经系统调控姿势的两种方式：

1. **前馈调节**：预先调整姿势，以防止随意运动对身体平衡的干扰
2. **反馈调节**：在平衡受扰乱时，以形式固定的快速反应来矫正意外扰乱

大脑皮层与网状结构参与姿势平衡的**前馈性调节**

前庭系统在姿势平衡的**反馈性调节**中起决定性作用



脑干对姿势的调节：涉及到大脑皮质、RF和前庭



四、大脑皮质的运动功能



1. 大脑皮质运动区

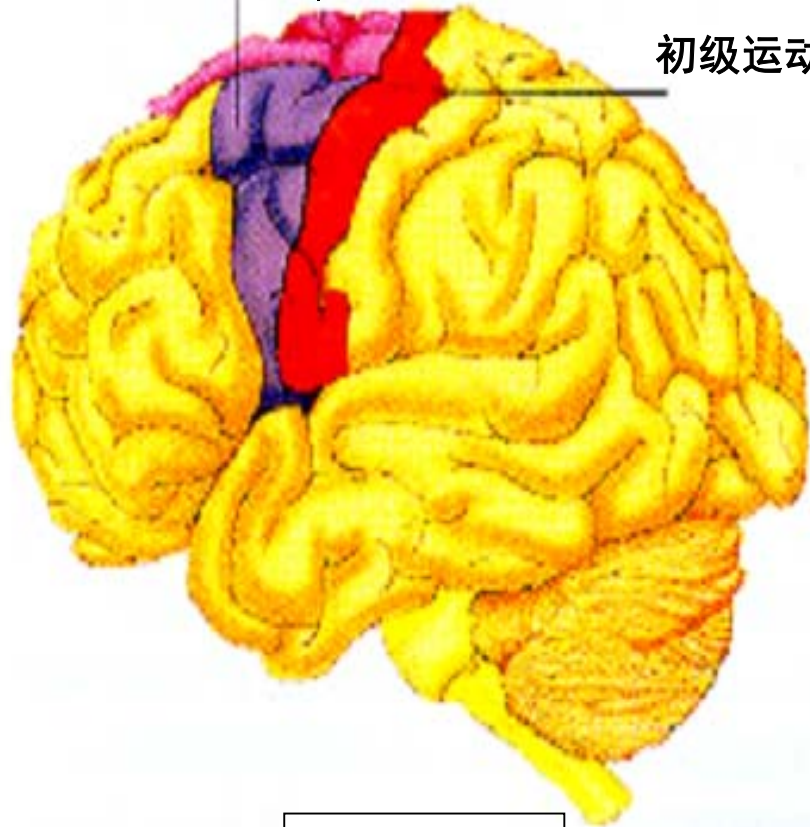
- ① 初级运动皮质 **primary motor cortex**
- ② 前运动区(次级运动区) **premotor area**
- ③ 辅助运动区 **supplementary motor area**
- ④ 后顶叶皮质 **posterior parietal cortex**

皮质初级运动区和次级运动区主要对运动进行计划并使运动高效率执行。是通过对脑干内的某些高级中枢以及脑干、脊髓中运动神经元和环路中间神经元的控制来完成的

前运动皮质

辅助运动皮质

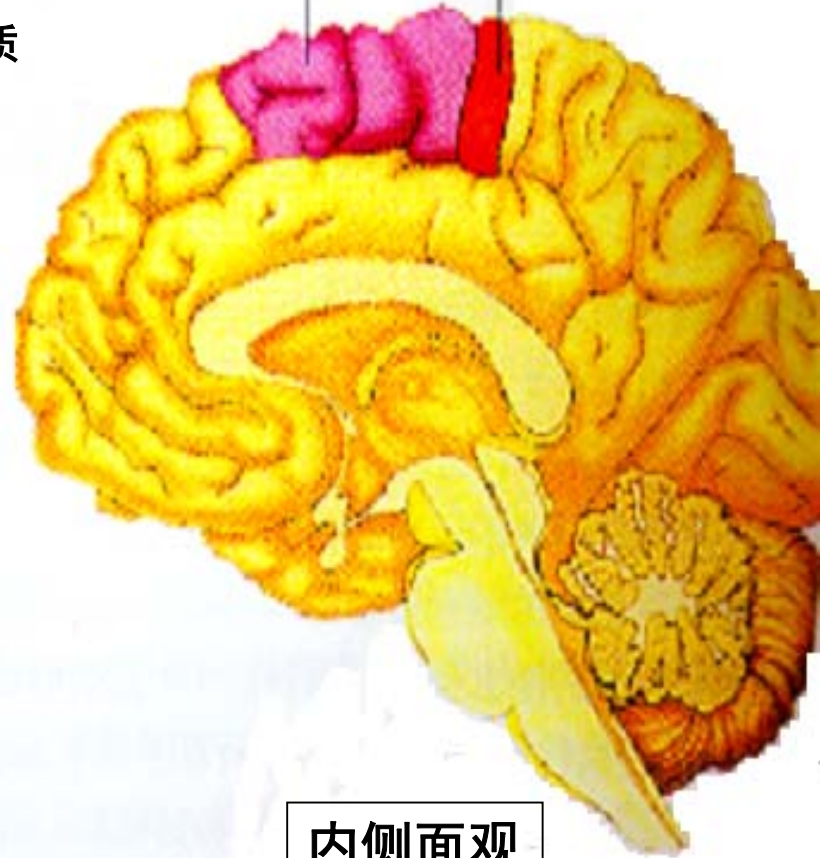
初级运动皮质



外侧面观

辅助运动皮质

初级运动皮质



内侧面观

初级运动皮层和前运动区



- 运动皮层(motor cortex)
 - 初级运动皮层(primary motor area): 即4区
 - 次级运动区或称前运动区:
 - 辅助运动区(supplementary motor area): 位于初级运动皮层前面的6区皮层的内侧部分, 大部分在大脑半球的内侧面
 - 前运动皮层(premotor cortex): 位于6区的外侧部分

皮层神经元



- 运动皮层中的神经细胞可分为两大类
 - **锥体细胞**：特征是具有向皮层表面伸展的顶树突。其轴突离开运动皮层到其他皮层或皮层下结构，是主要的传出神经元
 - **非锥体细胞**：包括星形细胞、篮状细胞和颗粒细胞，多数属于抑制性神经元

皮层各层中锥体细胞的投射



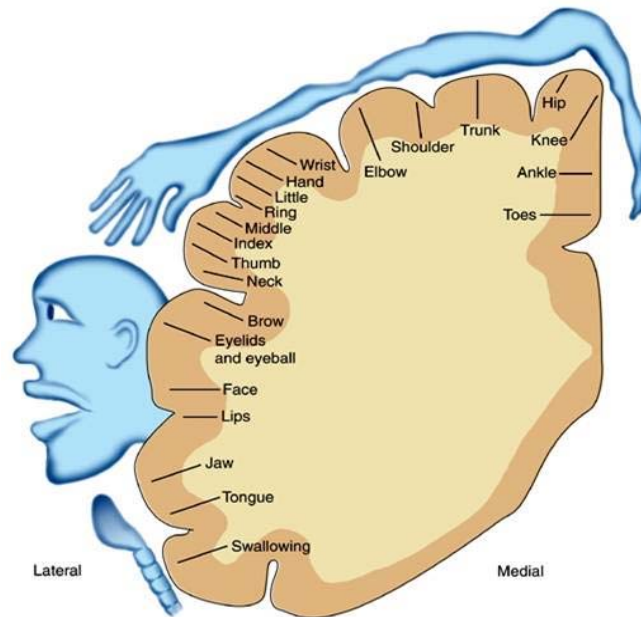
- 第II、III层中的锥体细胞投射至其他皮层区，位置较浅的细胞投射至同侧皮层(如辅助运动区、前运动皮层、中央沟后的感觉皮层)，较深的投射至对侧皮层
- 大多数向皮层下结构的投射起源于第V层的锥体细胞，皮层脊髓神经元在第V层的深部，其中包括最大的锥体细胞即Betz细胞。较浅的第V层锥体细胞则投射至延髓、桥脑和红核，最浅的第V层细胞投射至纹状体



2 .大脑皮质运动定位图 (motor map)

基本规律:

- 精细定位; 代表区大小与精细程度有关
- 交叉支配
- 倒置安排
- 可塑性



实验和临床研究都表明运动皮质的躯体定位分布是可塑的, 在运动学习和损伤后都可以被改变。

3 .运动传导路



运动皮层对脊髓运动神经元的影响：

- **直接通路**：经过锥体束直达脊髓灰质外侧和内侧的运动神经元
- **间接通路**：经过红核和网状结构的接替

直接通路

——锥体系

皮质脊髓束

间接通路

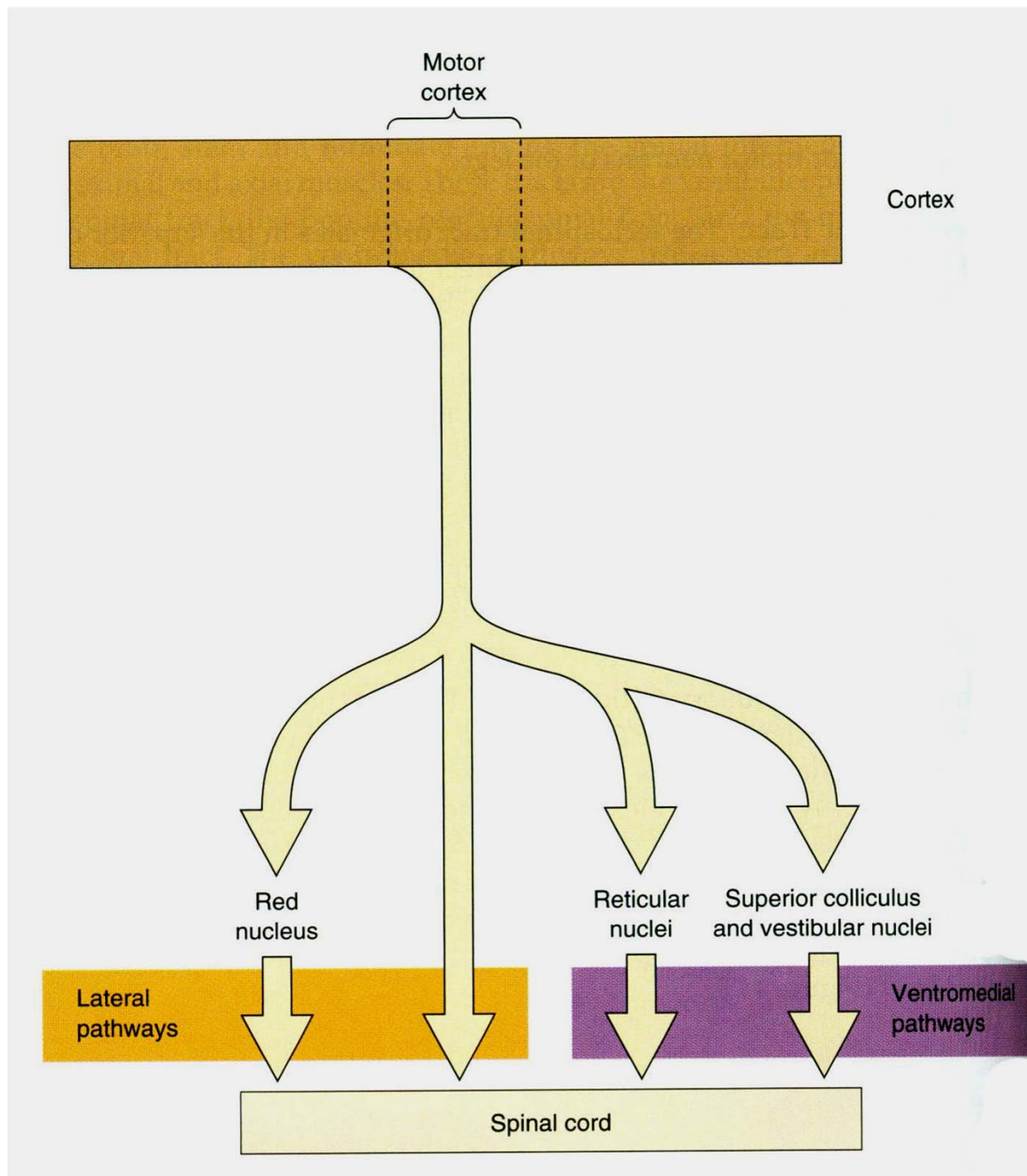
——锥体外系

红核脊髓束

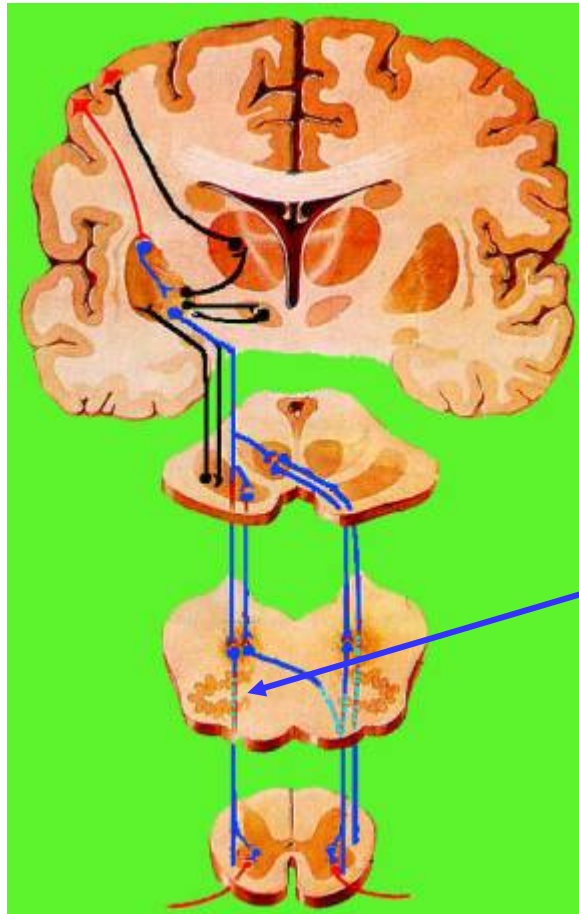
前庭脊髓束

顶盖脊髓束

网状脊髓束



The motor pathways

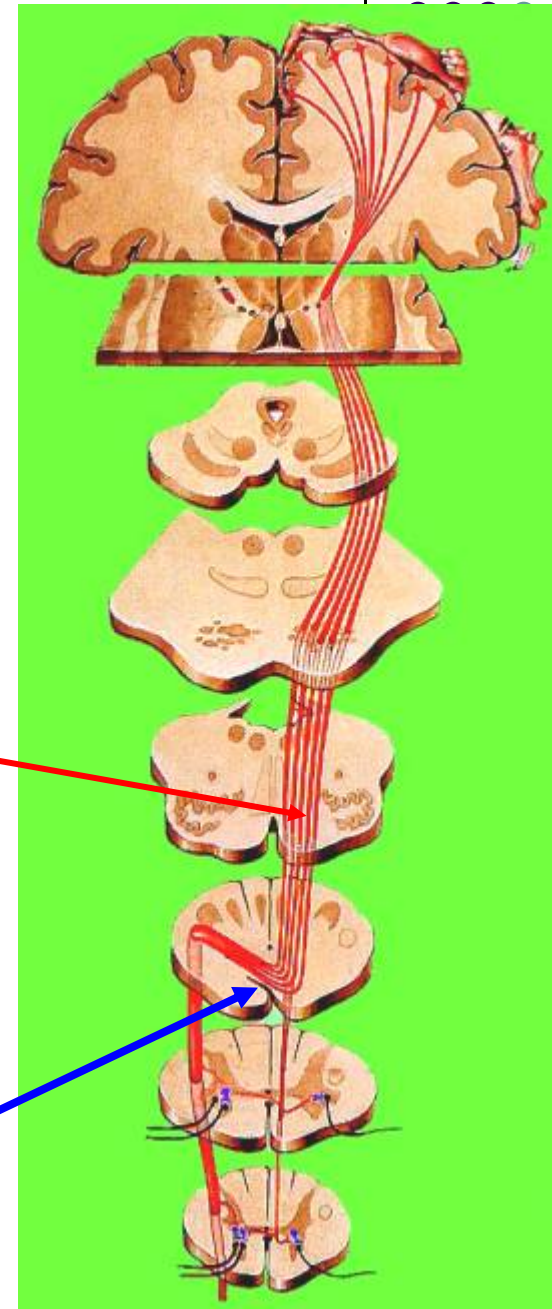


上运动N元

•锥体系

•锥体外系

锥体交叉



锥体系

皮质脊髓束(L)

- 皮质脊髓侧束
- 皮质脊髓前束

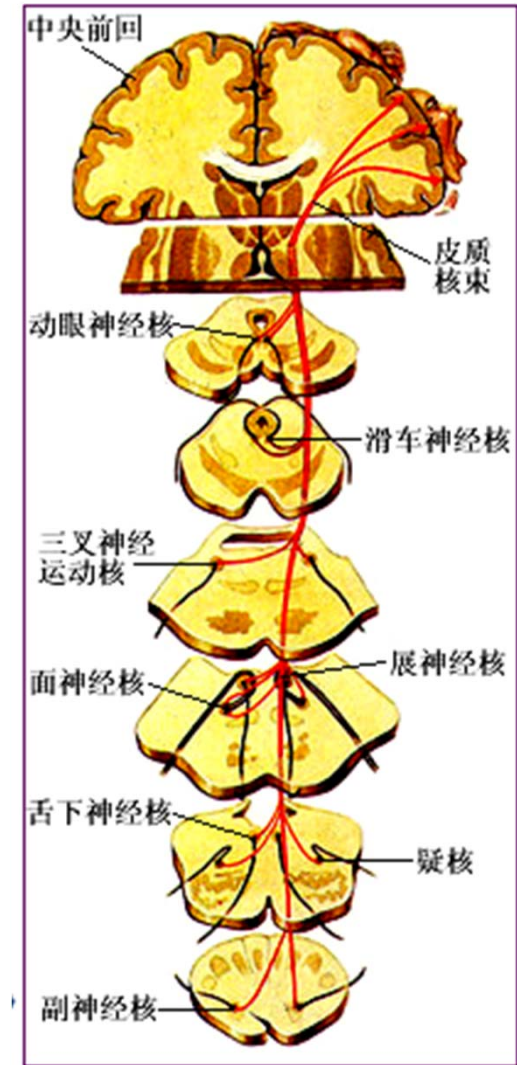
皮质核束(R)

锥体外系:古老; 调节肌张力、协调各肌群的运动; 维持和调整姿势; 保持平衡; 习惯性动作; 粗大的随意运动

皮质脊髓束



皮质核束



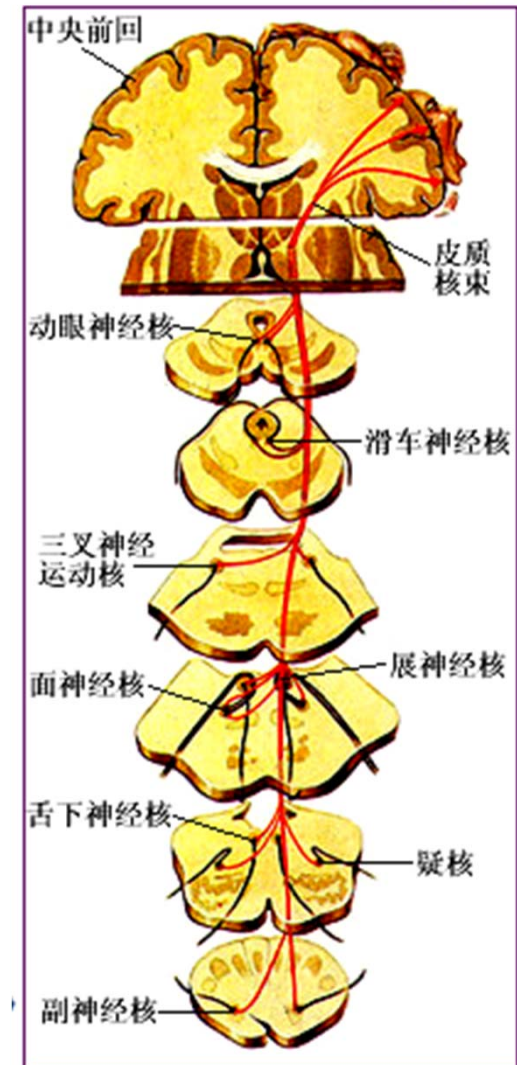
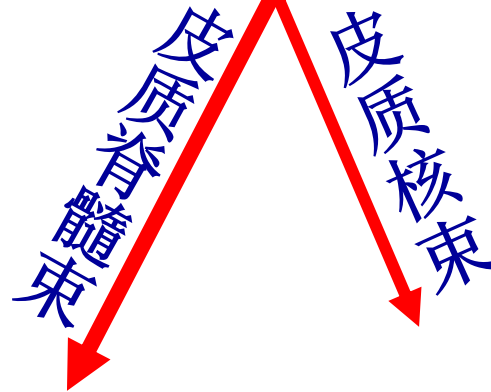


锥体系

Pyramidal system

中央前回、中央旁小叶前部、额顶叶部分皮质的锥体细胞

锥体束



皮质脊髓束

Corticospinal tract

内囊后肢的前部
大脑脚底中3/5外侧部
脑桥基底部
锥体pyramid

锥体交叉

皮质脊髓侧束

中央前回上2/3
中央旁小叶前部
锥体细胞

皮质脊髓束

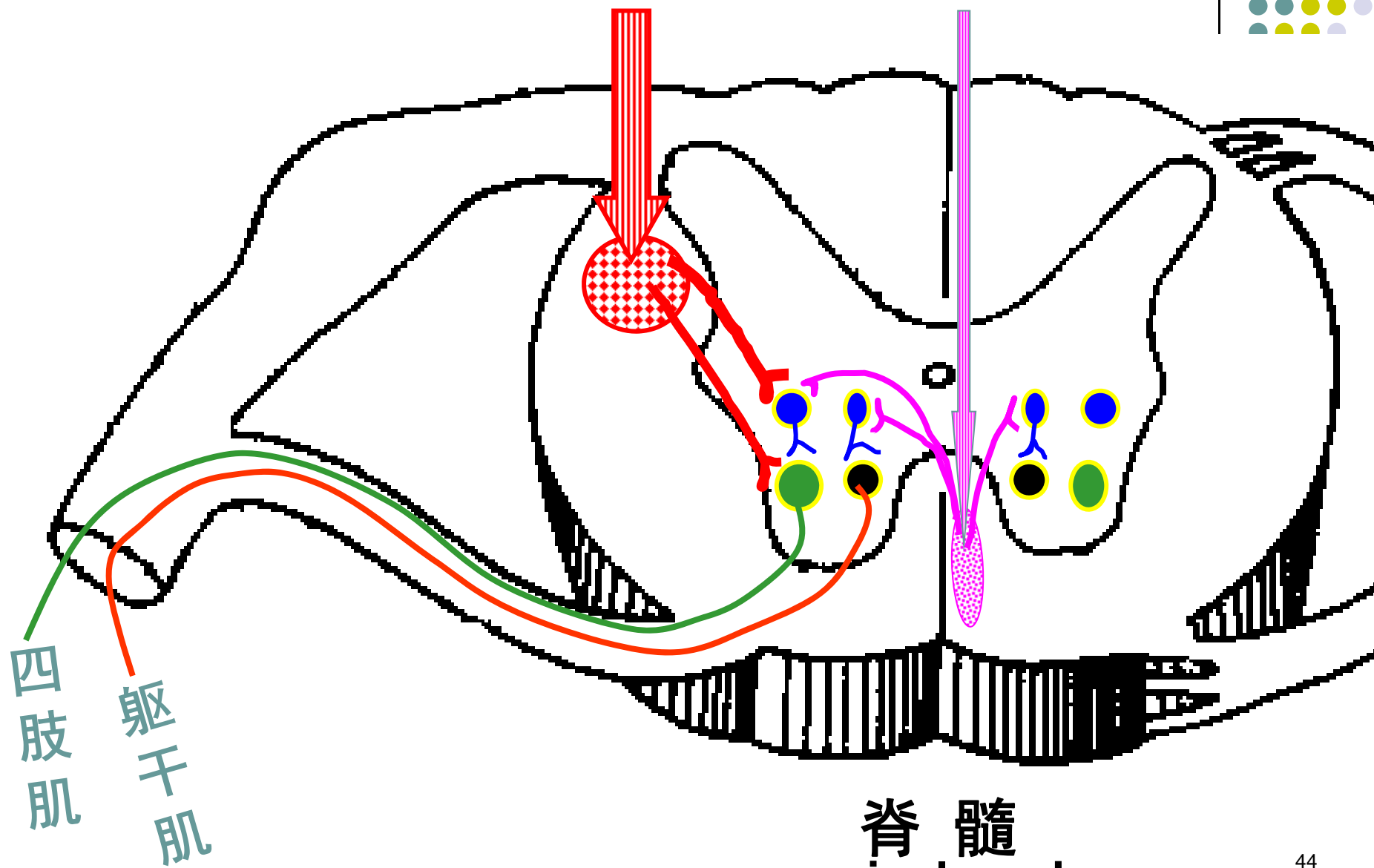
皮质脊髓前束

锥体交叉



皮质脊髓侧束

皮质脊髓前束

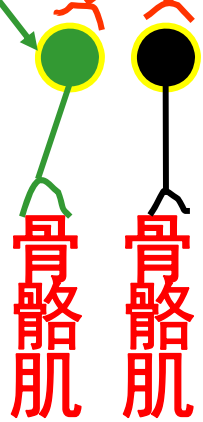


脊髓
spinal cord



皮质核束
Corticospinal tract

面N核外侧核
舌下N核：对
侧支配

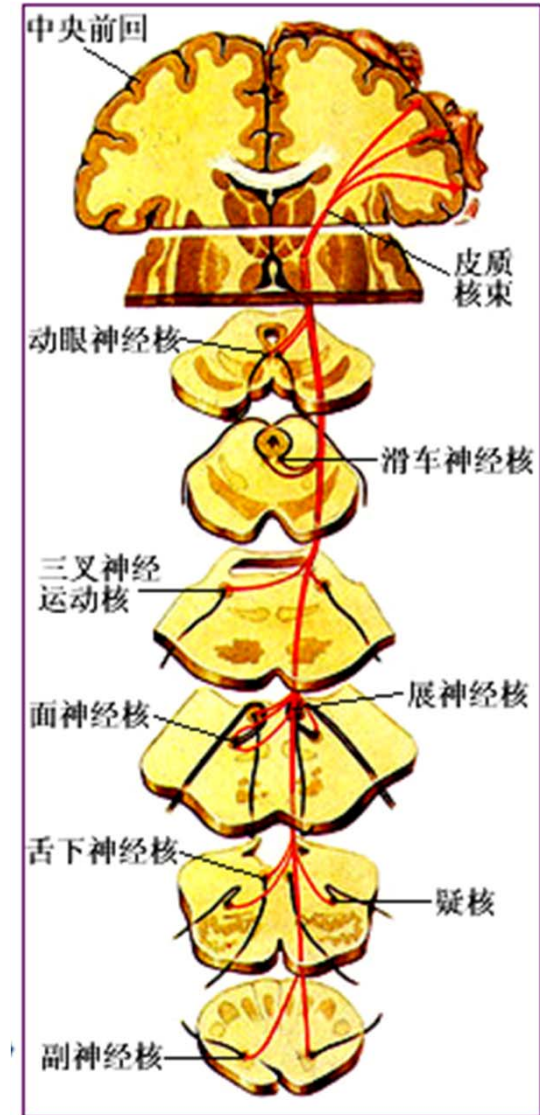


中央前回下部
锥体细胞

皮质核束

内囊膝部
大脑脚底
中3/5内侧部
脑干腹侧部

动眼N核
滑车N核
展N核
三叉N运动核
面N核内侧核
疑核
副N脊髓核

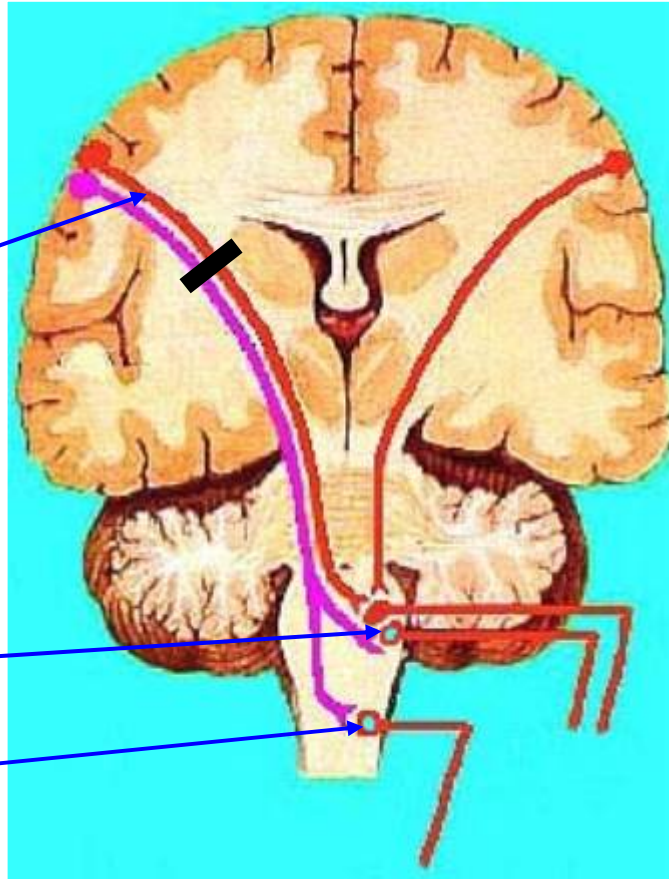




皮质核束

面N核外侧核

舌下N核



只接受对侧支配。
一侧在面神经核以上受损则引起对侧下部表情肌和舌肌瘫痪，即核上瘫。



面神经核或其传出纤维受损则引起同侧下部表情肌和舌肌瘫痪，即核下瘫。



皮质脊髓束和皮质核束的比较

相同点	不同点	
	皮质脊髓束	皮质核束
上运动神经元	中央前回上2/3 中央旁小叶前部	中央前回下部
经过内囊	内囊后肢	内囊膝部
部分交叉 管对侧肌	大部分交叉 管上、下肢肌	小部分交叉 管半面、舌肌



- 选择性损害脊髓前角、桥延脑运动神经核和锥体束会导致运动系统疾病如**运动神经元病**
- **以上and/or下运动神经元**损害引起的瘫痪为主要表现，其中以上、下运动神经元合并受损者最常见
- 主要表现为受累部位肌肉萎缩无力。运动神经元病中年起病者占**80%**，多见于男性，男女之比为**3:1**



上、下运动N元损伤的临床表现

	上运动N元损伤	下运动N元损伤
出现部位	对 侧	同 侧
肌张力	增高（上肢曲肌下肢伸肌）	降 低
瘫 痪	硬（痉挛性）瘫	软（弛缓性）瘫
腱反射	增强	减弱
延髓性麻痹	假性	真性
肌力减退	轻	中～重
	运动技巧性降低	肌肉萎缩

硬软分上下，左右看交叉



延髓内的运动神经核团，或来自延髓的颅神经(包括咽神经、迷走神经和舌下神经) 因病引起麻痹时，就会出现饮水进食呛咳，吞咽困难，声音嘶哑或失音等症状

真性延髓麻痹：病变直接损害了延髓或相关的颅神经所致的麻痹

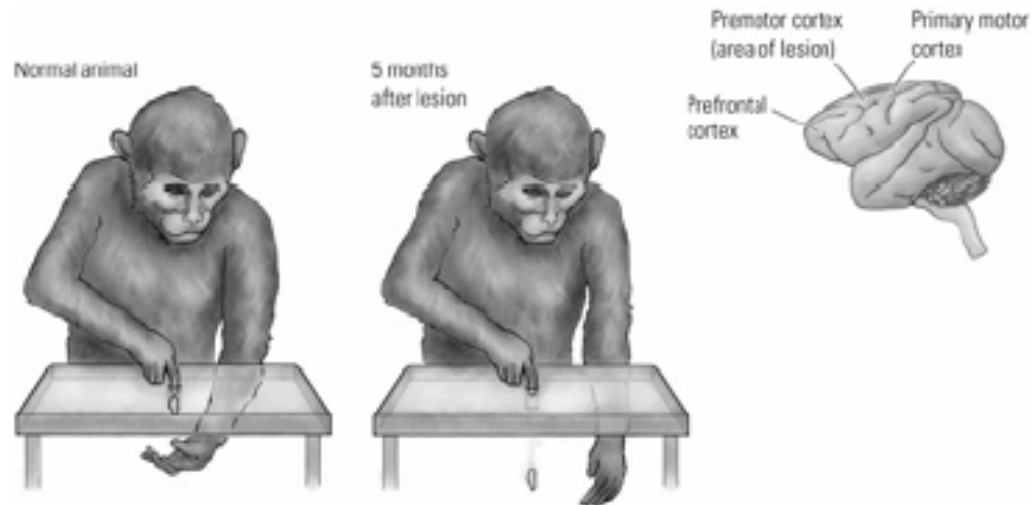
假性延髓痹：病变在脑桥或脑桥以上部位，造成延脑内运动神经核失去上部之神经支配而出现的延髓麻痹

次级运动区的运动功能



- 主要与运动的准备（策划）有关
- 次级运动区是选择正确的运动战略所必需
 - 和初级运动皮层相比，**损毁**次级运动区(前运动皮层、辅助运动区和后顶叶皮层区)**引起更为复杂的运动异常**，主要影响制定正确运动策略的能力

■一侧的辅助运动区和前运动皮层被损毁后，猴不会使用对侧前臂绕过挡在前面的透明塑料板，并通过侧面的洞去取所看见的食物，相反，猴总是试图直接去取食物而一再撞到塑料板上



■这种运动缺损和人的前额叶联络皮层或后顶叶皮层受损时引起的失用症(**apraxia**)相似。这种病人能正常进行简单的运动，但丧失了做需要有次序地收缩肌肉的较复杂的动作的能力，例如刷牙和梳头等



前运动皮层参与运动的准备过程

在前运动皮层中，有很多神经元在猴准备作一特定动作时放电，运动开始后放电即停止。在前运动皮层中，这种特殊的和“**设置有关的**”的神经元比在初级运动皮层中为多，说明前运动皮层在运动的准备中起一定作用

顶后叶皮质在运动调制中起重要作用



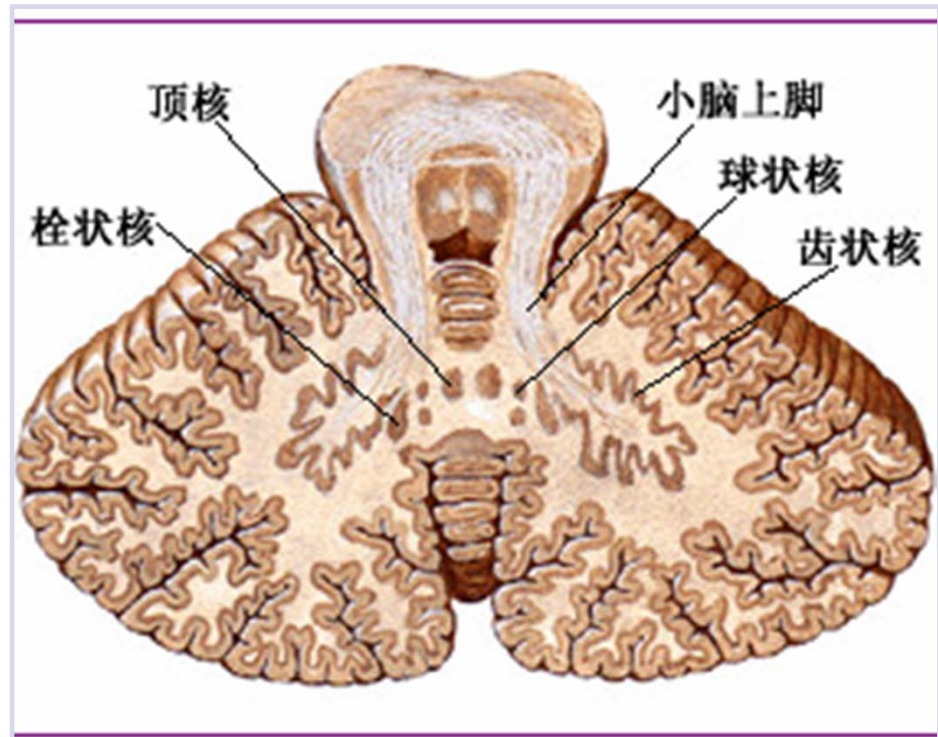
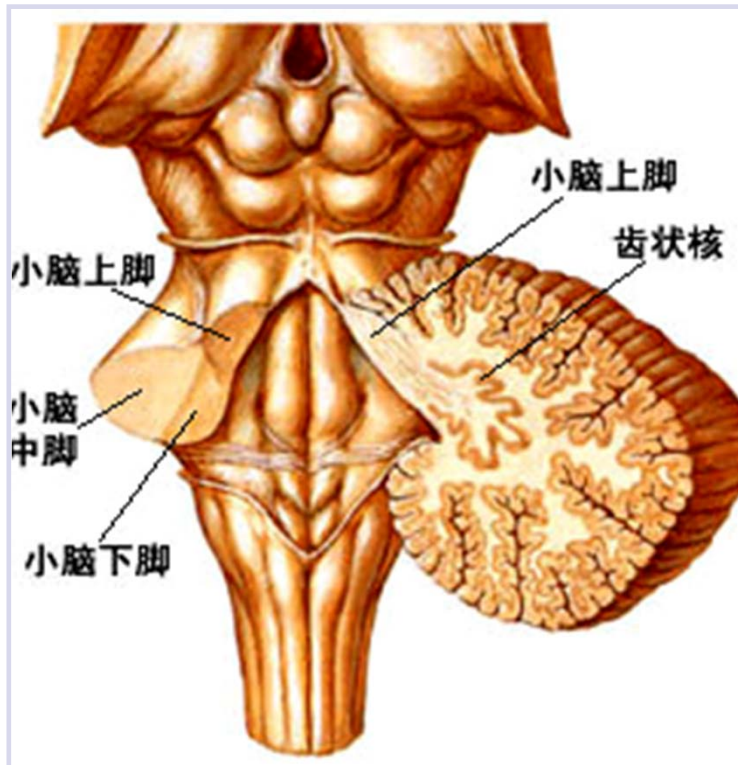
- ①辨认物体的形状和空间位置
- ②选择行动计划，决定身体何部位参与该动作及其运动方向
- ③执行运动



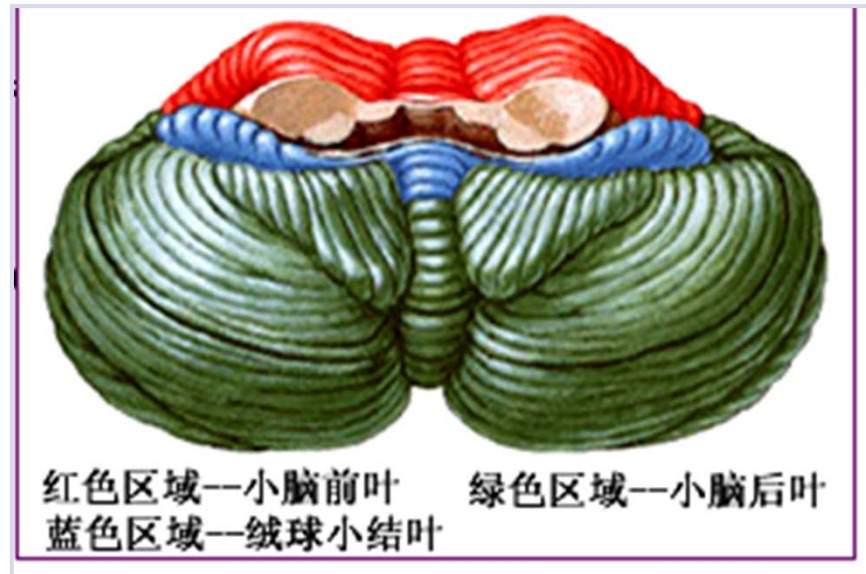
五、小脑对运动的调节



1. 位置和核团



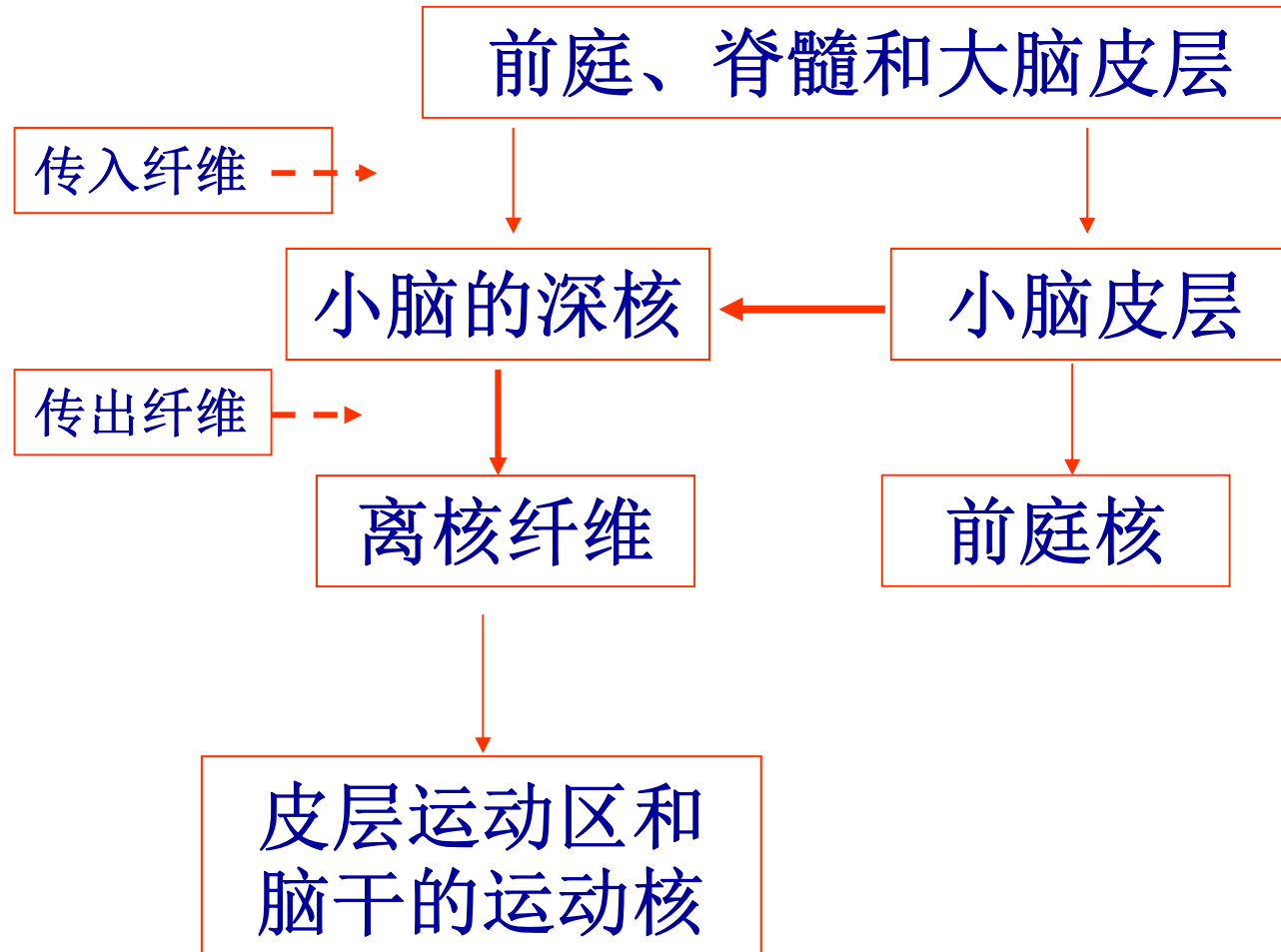
Neuroanatomy



Q:

- 小脑皮质的组织学结构;
- 小脑的纤维有几种? 传出传入的分别是?
- 小脑皮质的神经元有哪几种类型?

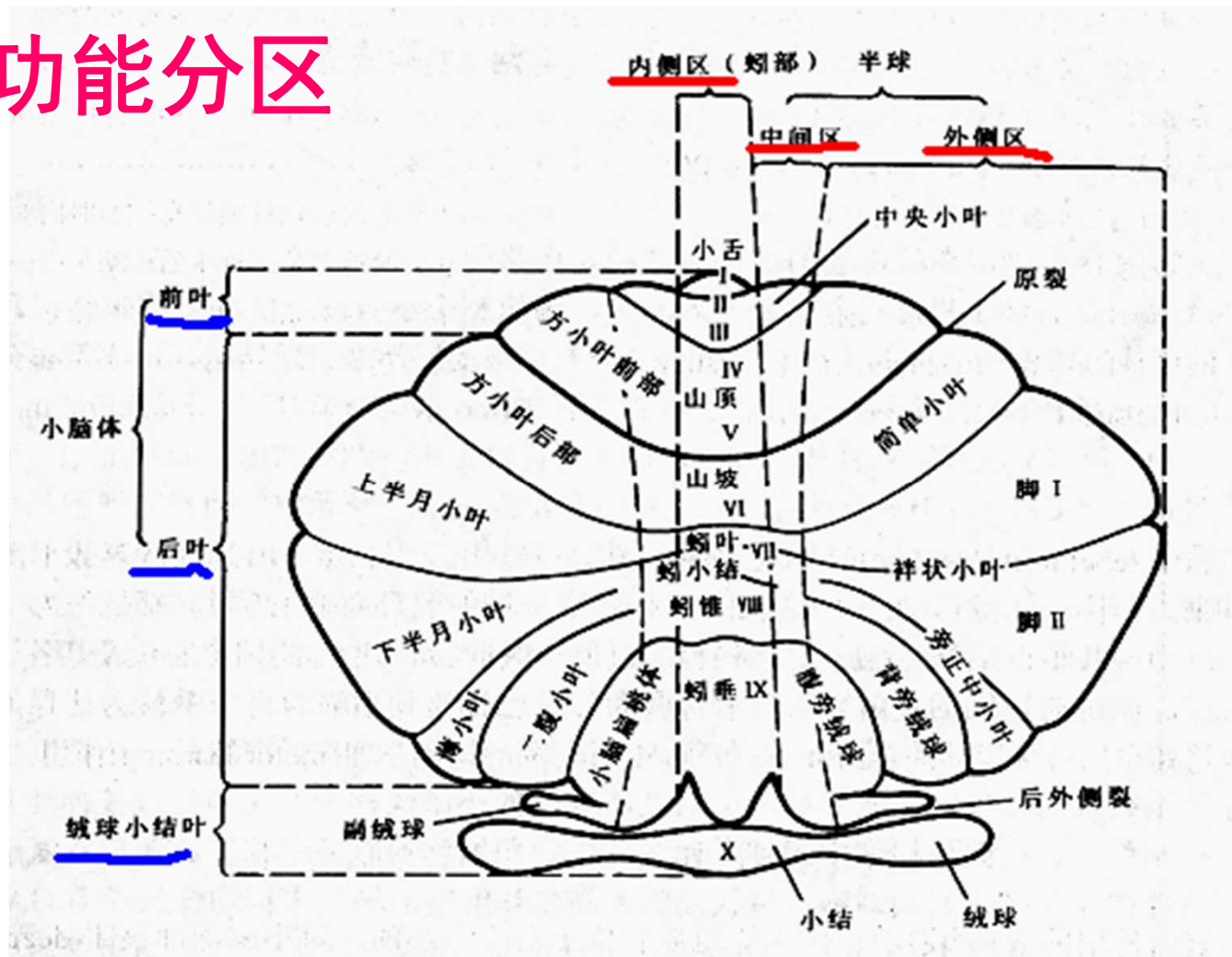
小脑的纵区组构





- 是中枢神经系统中最大的运动结构
- 主要作用是维持躯体平衡、调节肌肉张力和协调随意运动
 - 小脑并不直接发起运动和指挥肌肉的活动，而是作为一个皮层下的运动调节中枢配合皮层完成这些运动机能
 - 切除全部小脑并不妨碍运动的发起和执行，但运动是以缓慢、笨拙和不协调的方式进行的
- 另一重要功能是运动学习(motor learning): 参与技巧性运动的获得和建立过程

2. 功能分区



古（前庭）小脑：绒球小结叶
 旧（脊髓）小脑：内侧区，中间区
 新（皮层）小脑：外侧区



前庭小脑 Vestibulocerebellum



前庭神经节
前庭神经核



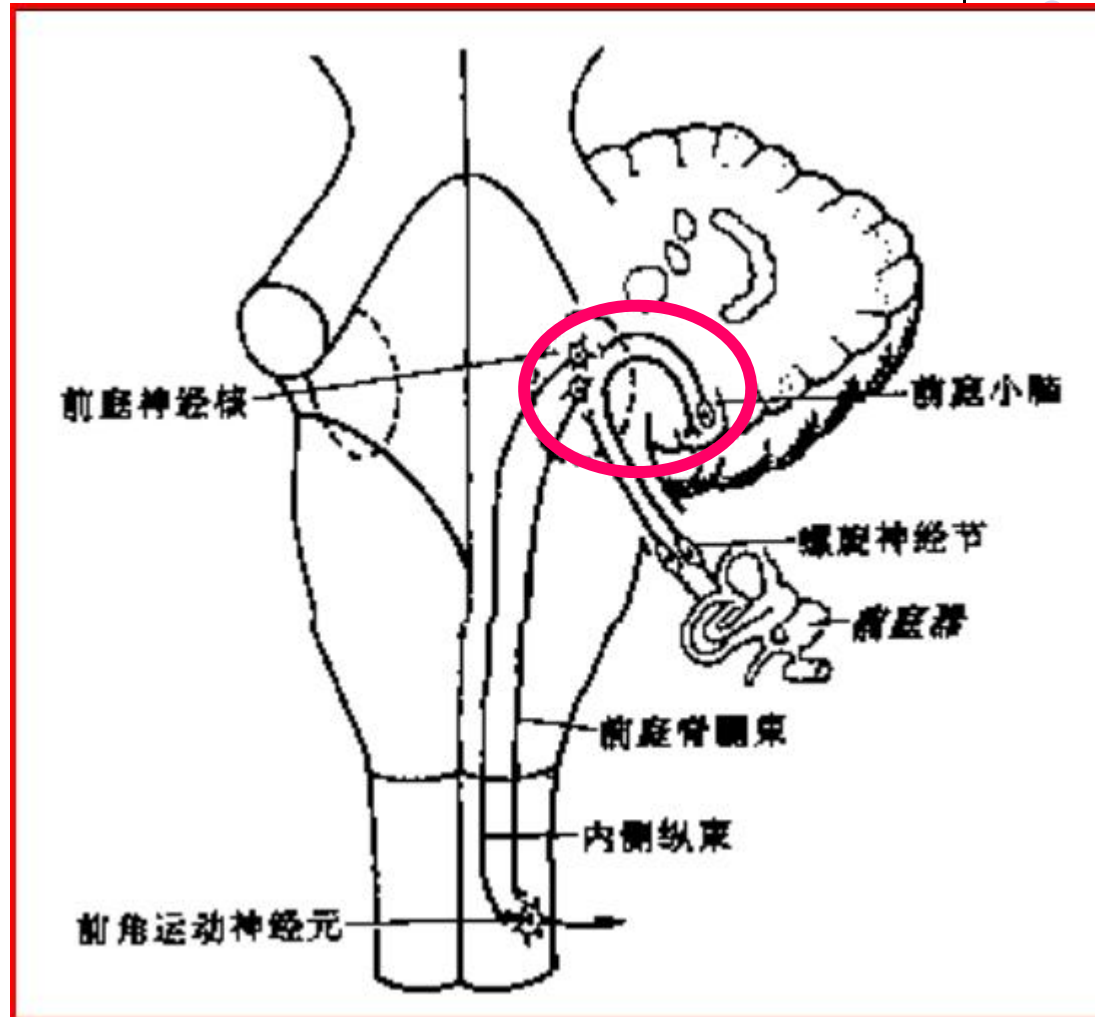
小脑下脚



前庭小脑



前庭神经核





- **功能：**维持身体平衡， 眼运动
- **伤后症状：**平衡失调（头、躯干摇晃，醉汉步态），随意运动无障碍；眼球震颤；缺乏协调躯体运动和眼球运动的能力

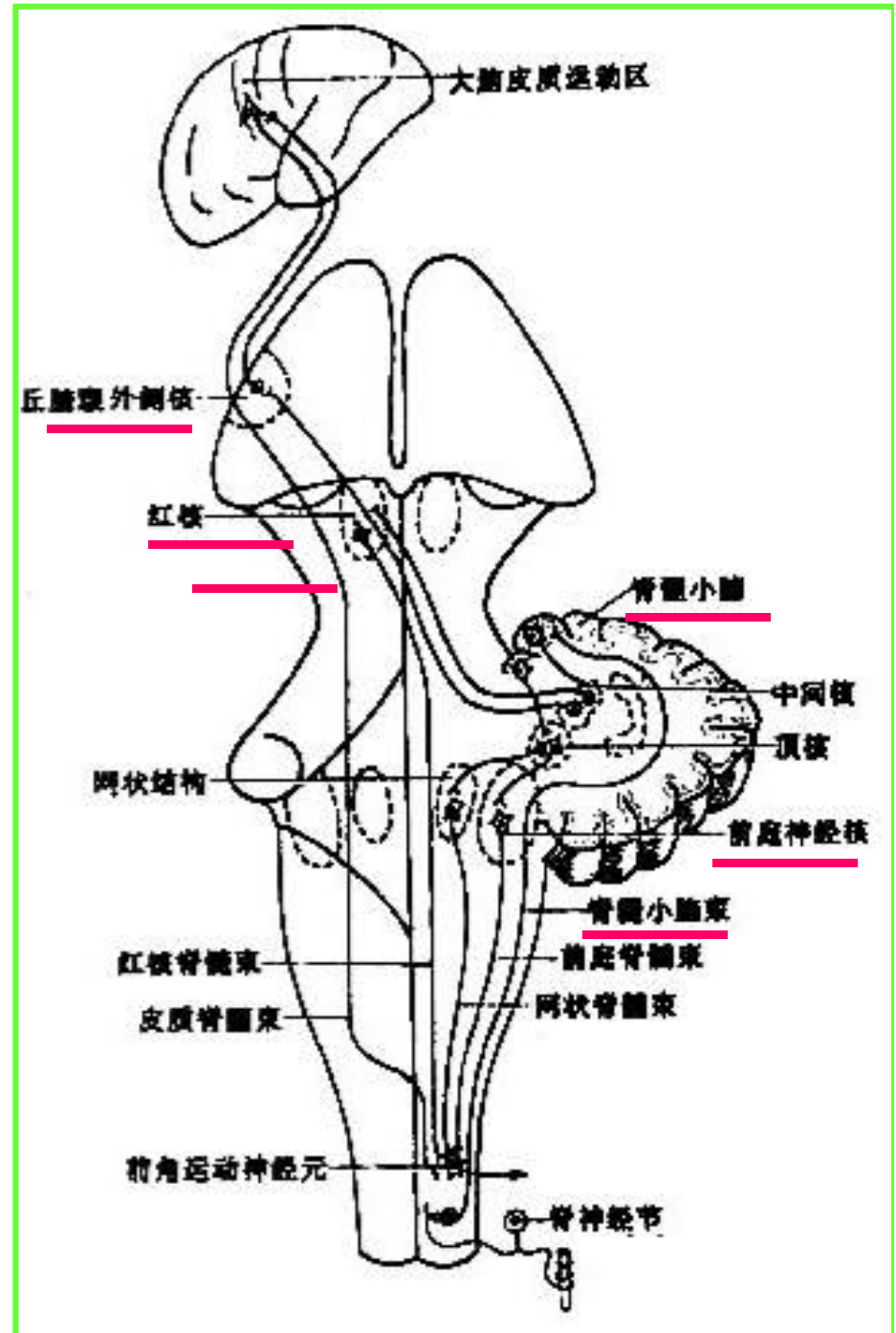
脊髓小脑

Spinocerebellum

脊髓小脑束 → 小脑上、下脚 → 脊髓小脑 → 顶核、球状核、栓状核 → 前庭神经核、网状结构、红核、丘脑腹外侧核

功能：控制肌张力

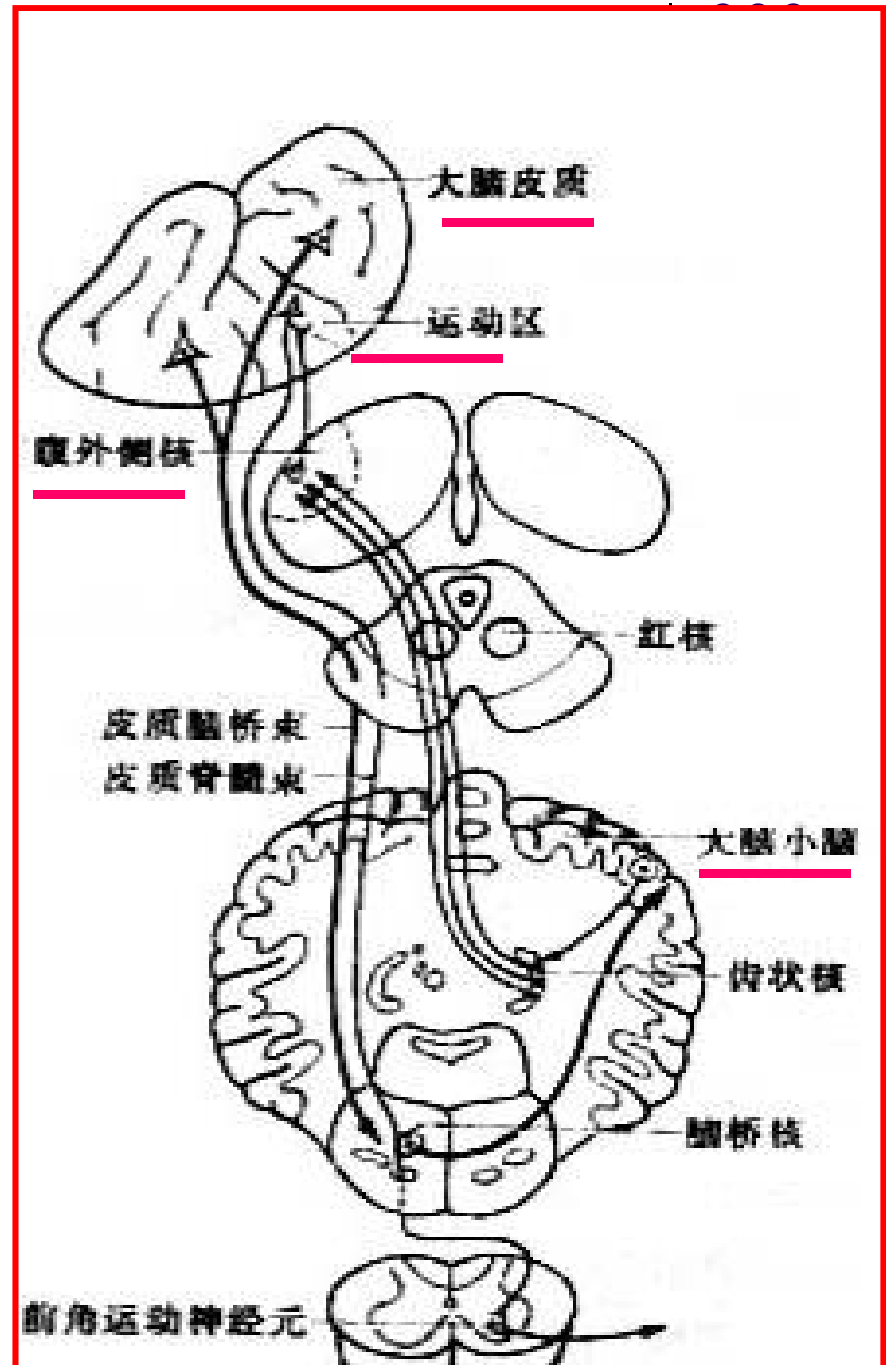
● 伤后症状：运动笨拙不准确；共济失调、辨距不良和终末性震颤；肌张力减退。

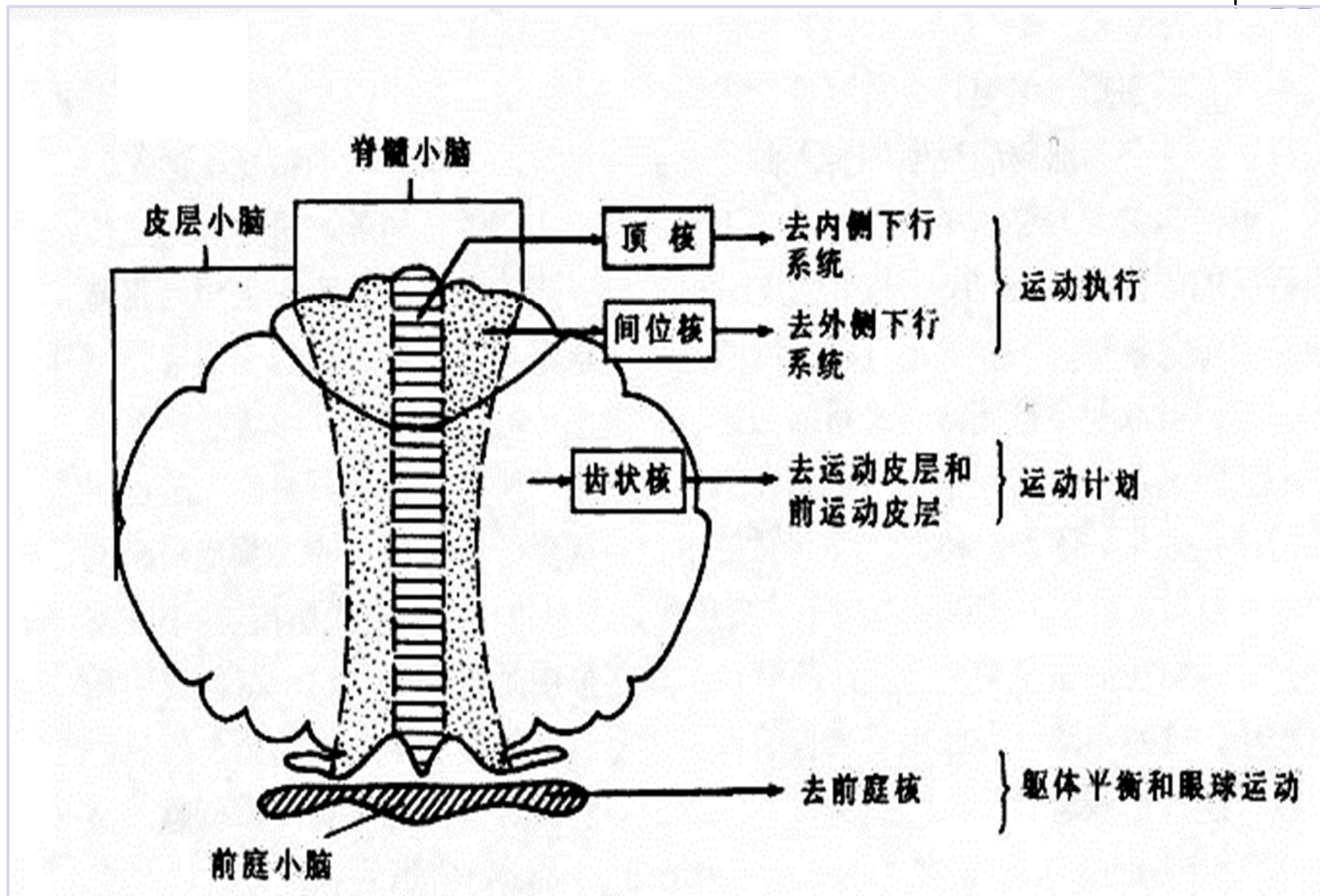


大脑小脑 cerebrocerebellum

大脑皮质 → 脑桥核
→ 小脑中脚 → 大脑
小脑 → 齿状核 → 小
脑上脚 → 丘脑腹外
侧核 → 大脑皮质运
动区

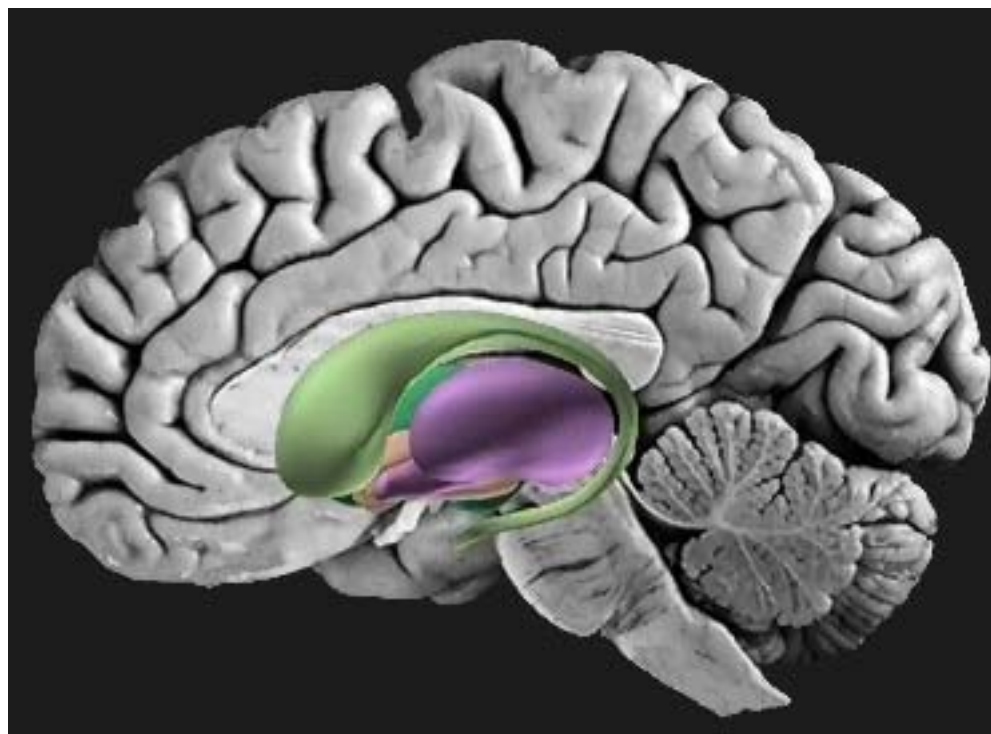
功能：运动的起始、计划、协调
伤后症状：共济失调，肌张力下降，运动起始延缓





小脑的功能分区图解

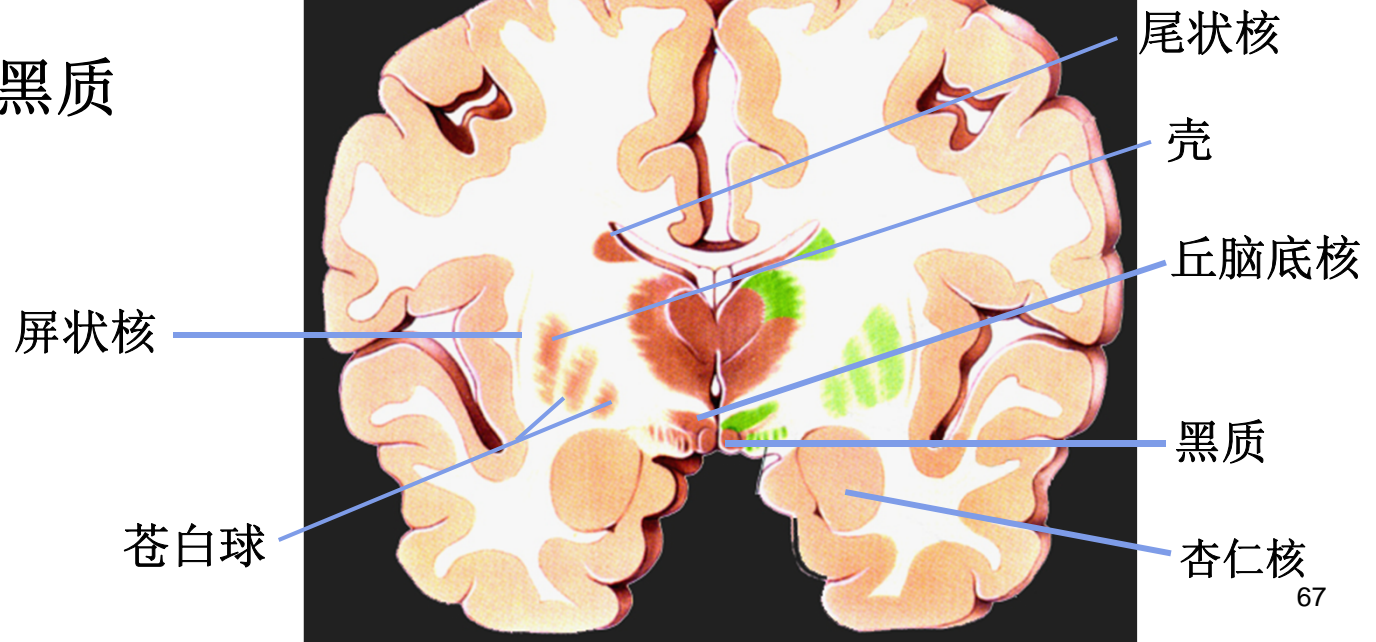
六、基底神经节对运动的调节



(一) 基底神经节的组成



基底神经节

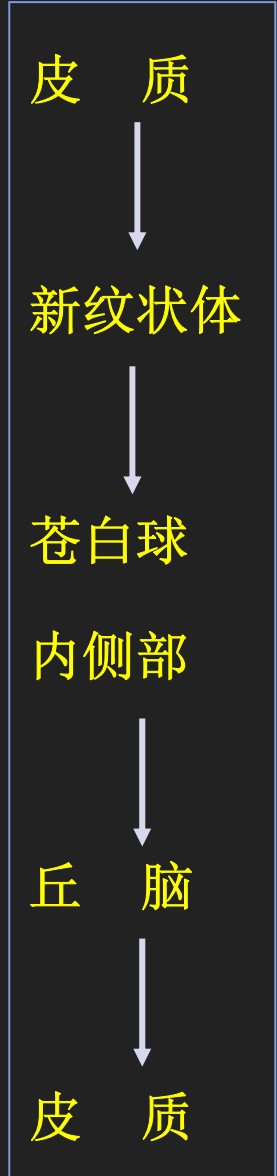
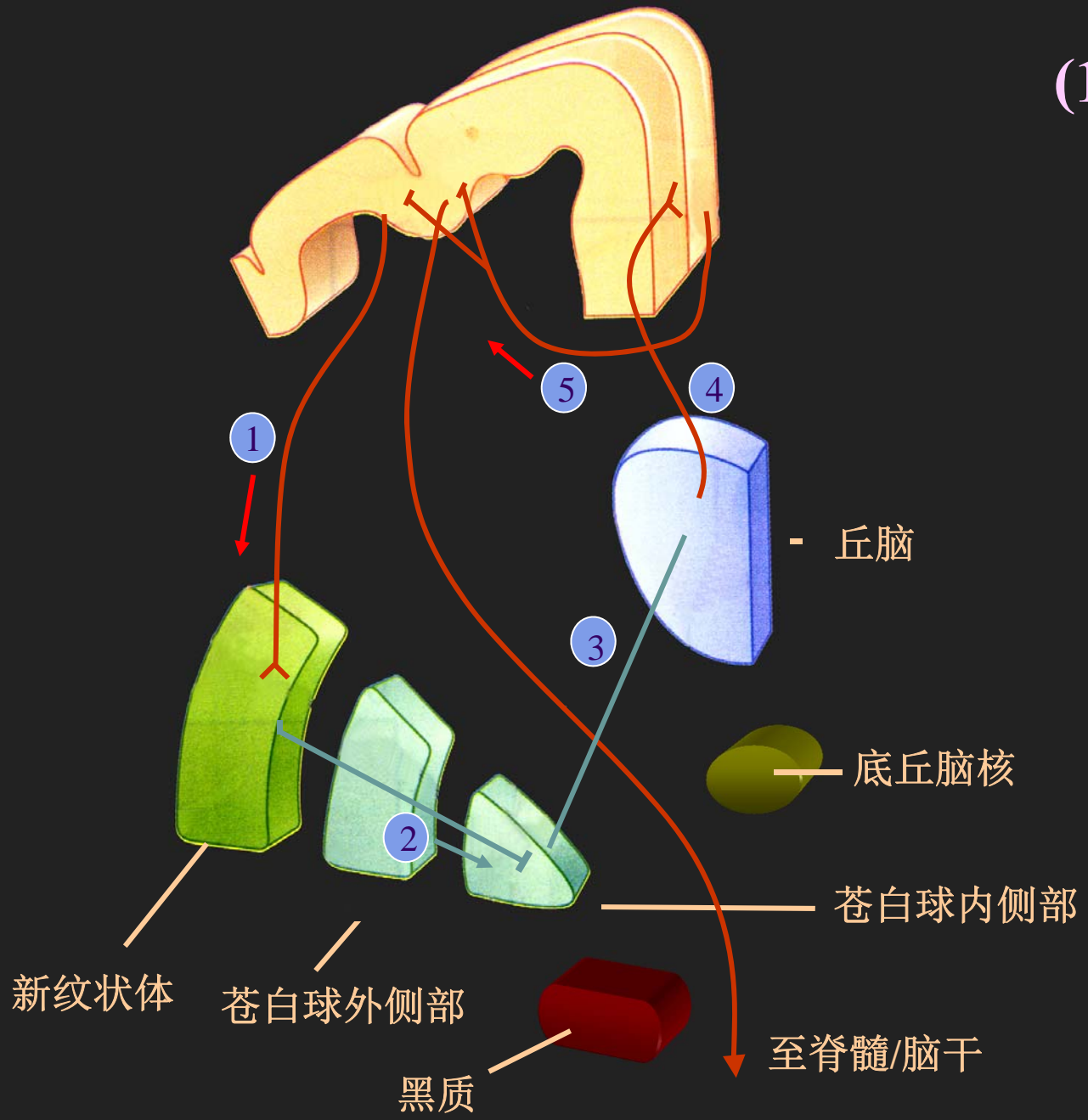




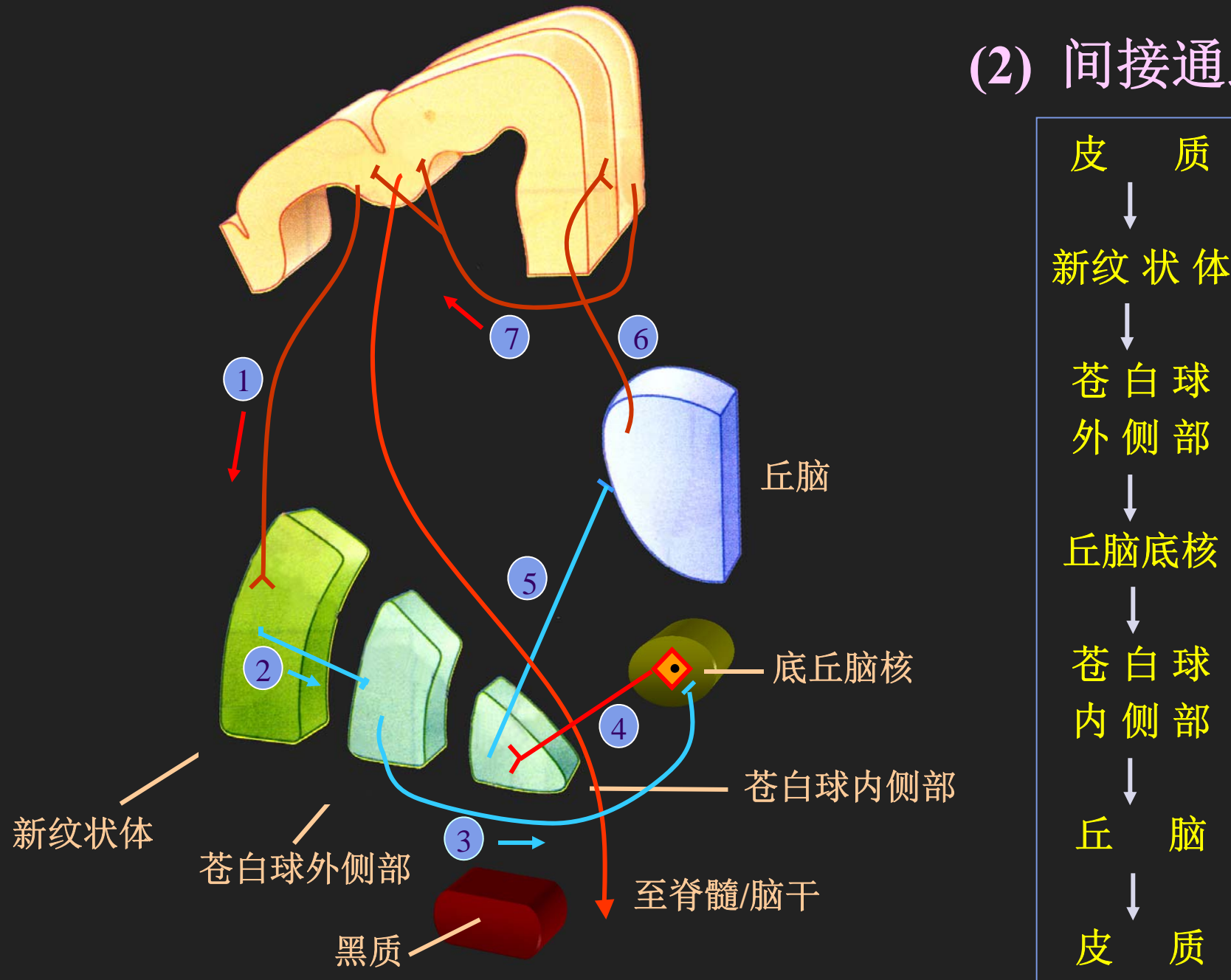
(二) 纹状体运动纤维与大脑皮层的回路

1. **直接通路 Direct pathway:** 皮层—新纹状体—苍白球内侧部—丘脑—皮层回路
2. **间接通路 Indirect pathway:** 皮层—新纹状体—苍白球外侧部—丘脑底核—苍白球内侧部—丘脑—皮层回路
3. **黑质多巴胺能投射 Dopaminergic projection pathway:** 皮层—新纹状体—黑质—丘脑—皮层回路

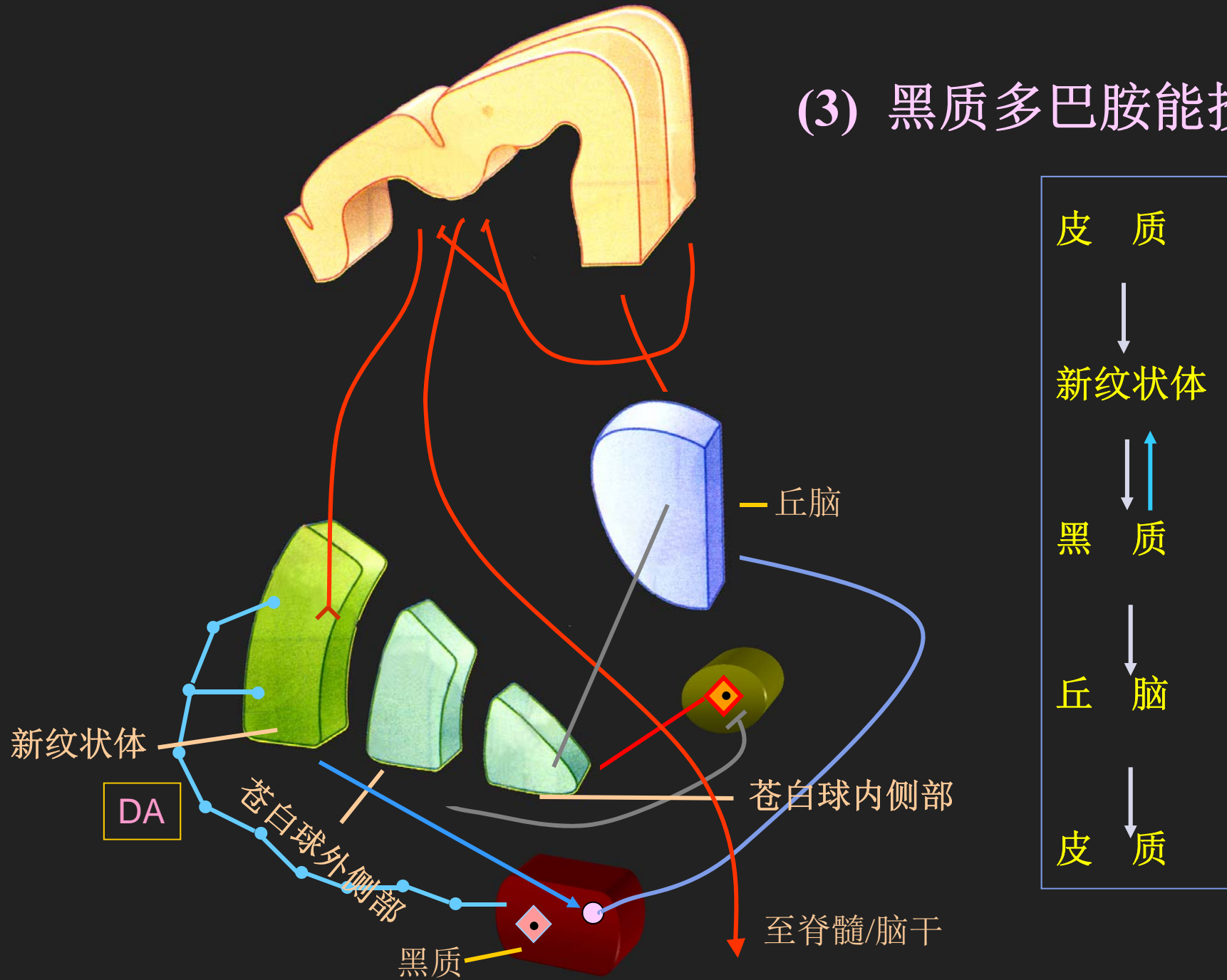
(1) 直接通路



(2) 间接通路



(3) 黑质多巴胺能投射





(三) 神经回路中的递质关系

(1) 直接通路（易化作用）

(Direct pathway)

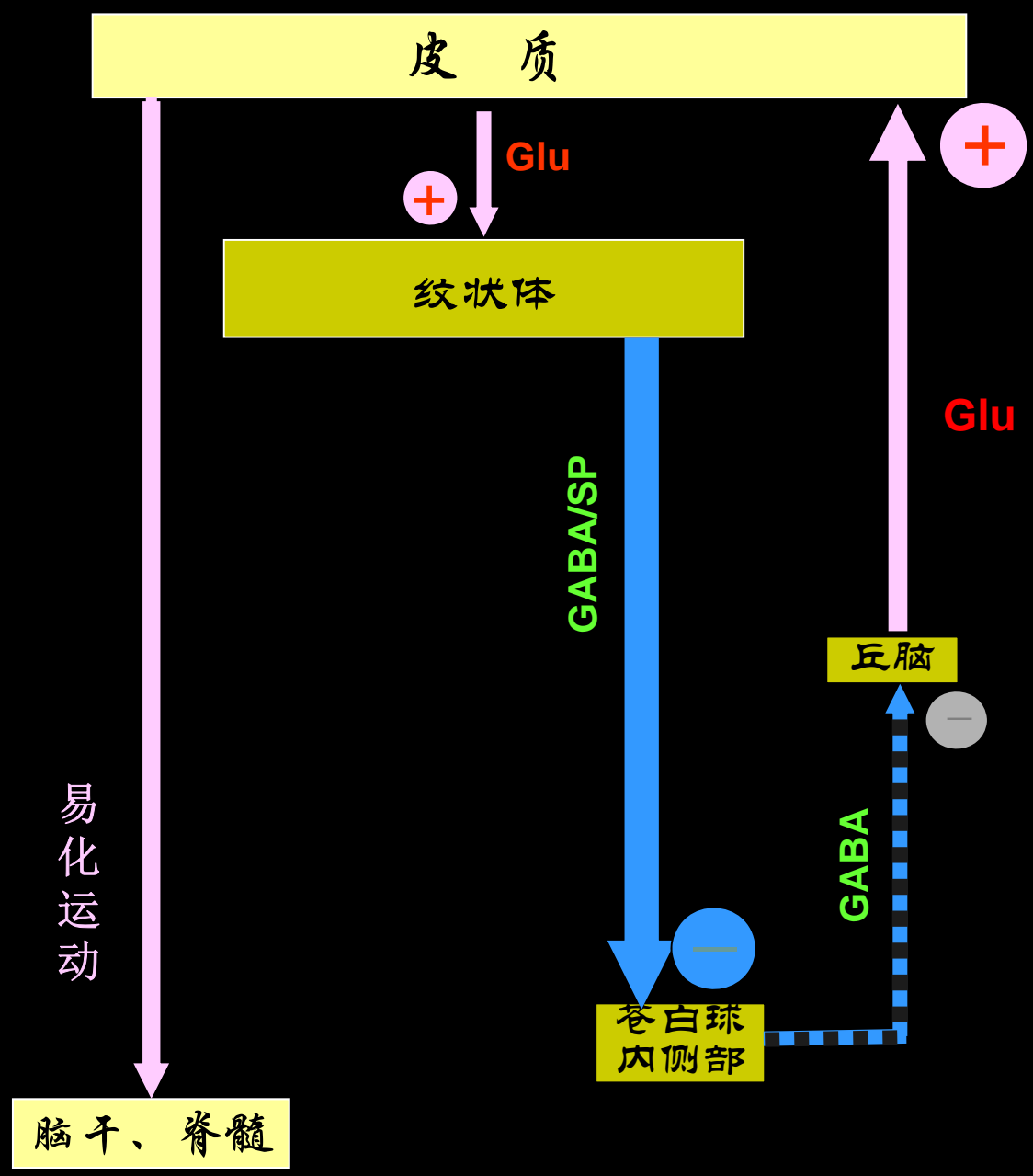
(2) 间接通路（抑制作用）

(Indirect pathway)

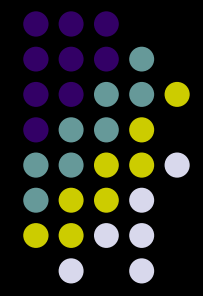
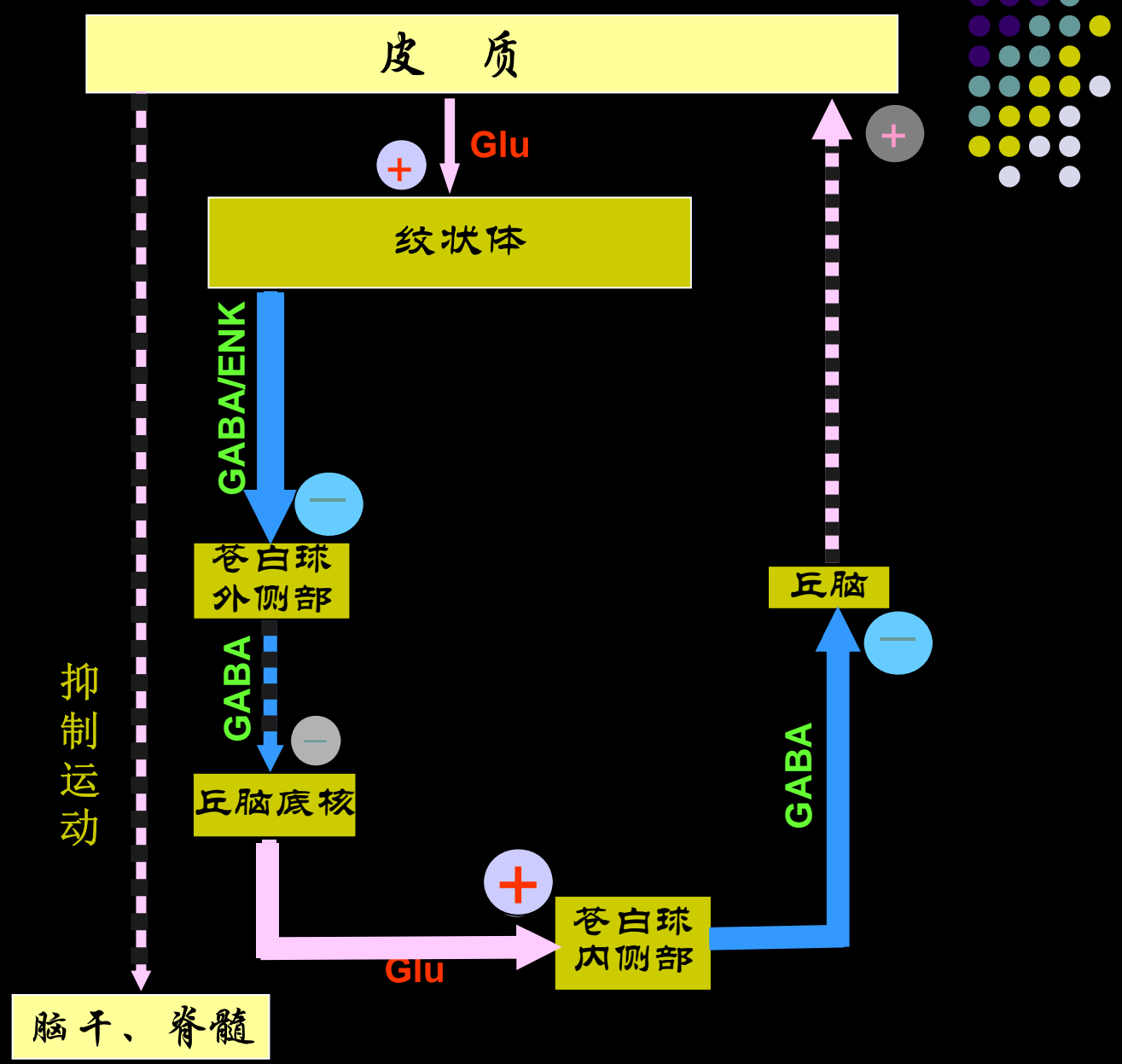
(3) 黑质多巴胺能投射（易化作用）

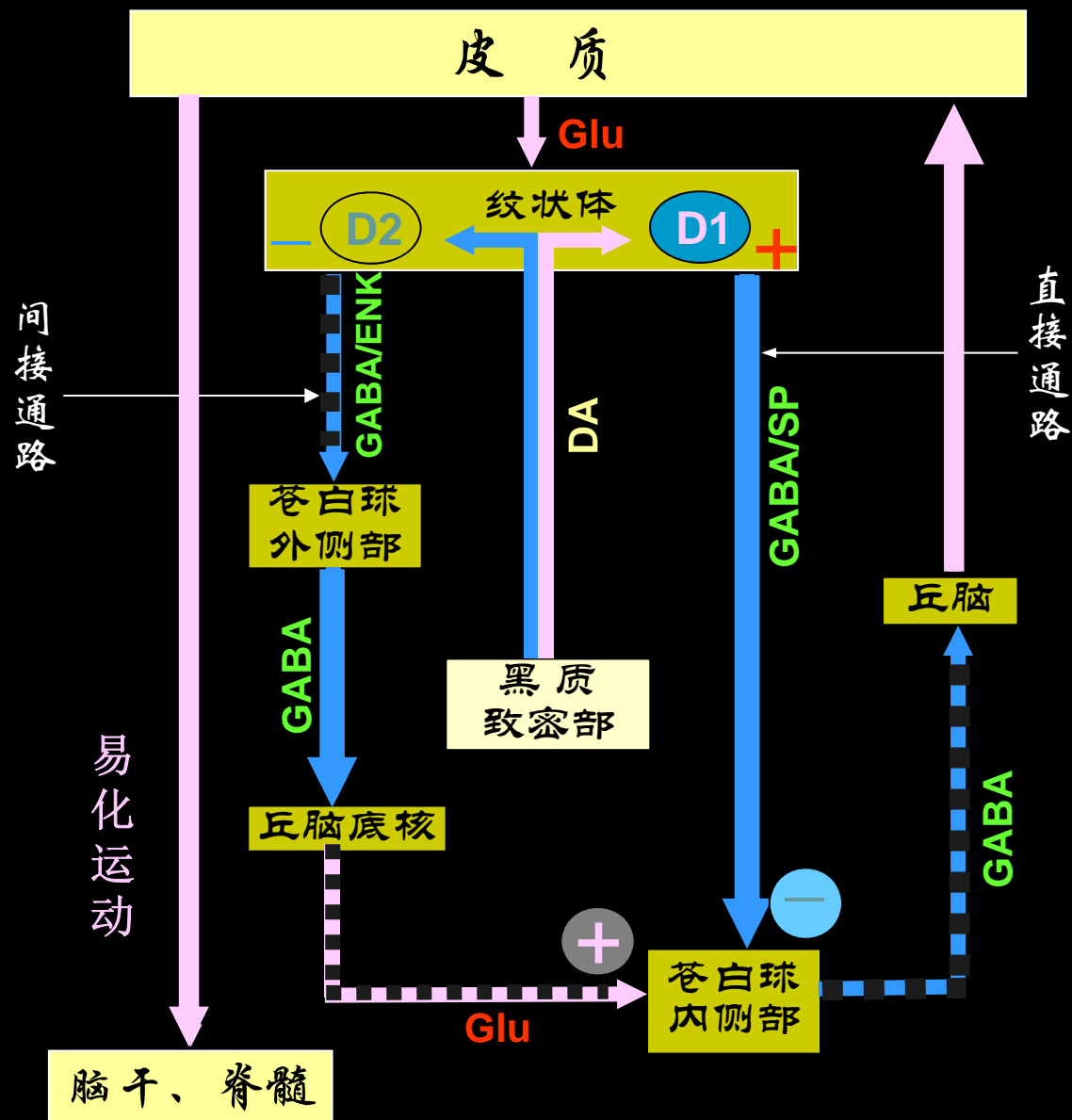
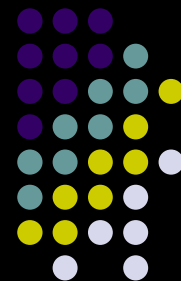
(Dopaminergic projection pathway)

直接通路对运动环路的易化作用



间接通路对运动环路的抑制作用





黑质多巴胺投射的总效应为减少基底神经节对丘脑的抑制，促进丘脑—皮质投射神经元的活动，易化运动。

基底神经节的功能

在人类主要与随意运动的稳定、肌紧张的控制、本体感觉传入信息的处理有关，对躯体运动有重要调节作用。

当肢体进行随意运动时→神经元放电明显改变

刺激运动区+刺激尾核或苍白球→运动反应被迅速抑制

与皮层小脑神经元相似，神经元放电常发生在运动起始前



与基底神经节有关的疾病

1. Parkinson 's disease : 运动过少而肌紧张过强综合症

Symptoms and signs:

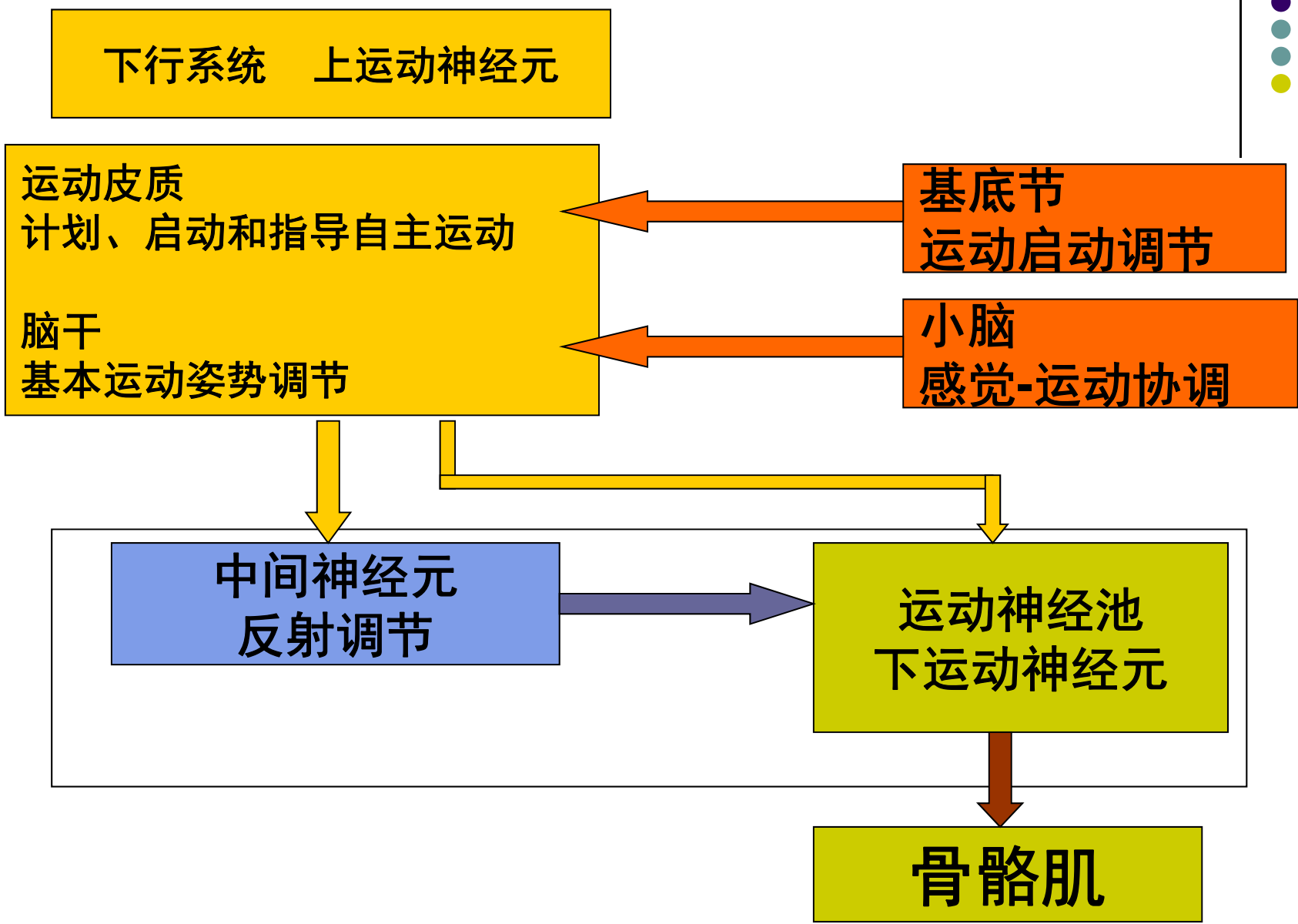
运动徐缓、静息震颤、姿势不稳定



2. Chorea (舞蹈病) : 运动过多而肌紧张不全的综合症。也称Huntington' s disease(亨廷顿病)



Summary



复习思考题



- **Final common pathway, motor unit, motor neuron pool的概念；**
- **膝跳反射的神经基础是什么？**
- **脊髓内侧和外侧下行通路包括哪些组成，它们各控制什么运动？**
- **脑干网状结构及其在肌紧张与姿势调节中的作用**
- **大脑皮层运动区；皮层运动定位图及其特点**
- **小脑机能分区，纤维联系及功能**
- **基底节组成及其在运动调控中的作用**

Thank you !

