

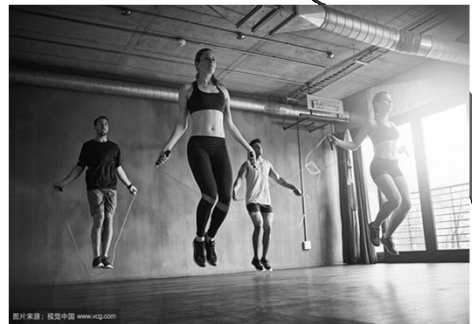
第五章

躯体运动及其中枢控制

- 第一节 概述
- 第二节 脊髓运动神经元和肌肉感受器
- 第三节 反射性运动和节律性运动
- 第四节 随意运动的发起和管理

第一节 概述

运动系统



运动系统

- 大脑皮层的初级运动皮层和次级运动皮层 \longrightarrow 骨骼肌收缩 \longrightarrow 躯体运动 \longrightarrow 躯体运动系统;
- 下丘脑 \longrightarrow 平滑肌收缩 \longrightarrow 内脏器官运动 \longrightarrow 内脏运动系统 (自主神经系统)

什么是躯体运动系统?

躯体运动系统是中枢神经系统中与躯体运动控制相关的结构总称,包括大脑皮层、脑干、脊髓、基底神经节、小脑和外周躯体运动神经纤维等。躯体运动系统的作用是生成运动计划、编制运动程序,并向骨骼肌发出运动指令,以引起骨骼肌的收缩活动,从而产生躯体运动。

运动与感觉的不同

- 感觉是一种由下（外周）至上（中枢）的神经活动过程，
- 运动则是一种由上（中枢）至下（外周）的神经活动过程。
- 实验--身体不同部位写字

一. 运动的三种类型

反射运动、随意运动和节律运动

二. 感觉信息在运动控制中的作用

三. 控制运动的神经结构

脊髓
脑干
大脑皮层运动区
小脑和基底神经节

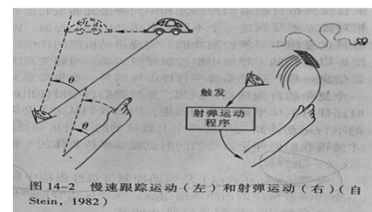
一. 运动的三种类型

- 反射运动是最简单和最基本的运动形式。由特定的感觉刺激引起，产生的运动具有固定的轨迹，因而又称为定型运动。很少受到意识的影响。
膝跳反射、吞咽反射、屈反射
- 随意运动是为了达到某种目的而指向一定目标的运动。可以是对感觉刺激的反应，也可以是主观的运动意愿而发生，例如写字、开汽车和弹钢琴。
- 节律运动是介于反射运动和随意运动之间的一类运动。行走、跑步、呼吸、咀嚼都是典型的节律运动。

上述三种不同类型的运动都是由骨骼肌的收缩和舒张活动所造成的。

二. 感觉信息在运动控制中的作用

- 慢速跟踪运动—闭环环路
- 弹射运动—开放环路

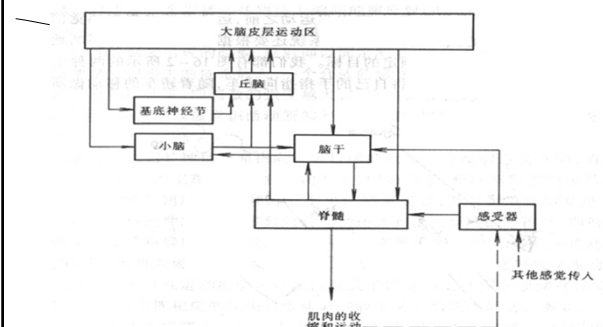


- 与运动控制有关的感觉信息有两大类

二. 感觉信息在运动控制中的作用

- 与运动控制有关的感觉信息有两大类
 1. 由视觉、听觉和皮肤感受所提供的关于运动目标的空间位置，以及运动目标与我们自己所在位置之间相互关系的信息。
 2. 由肌肉、关节感受器和前庭器官所提供的关于肌肉的长度和张力、关节的位置，以及身体的空间位置等方面的信息。

三. 控制运动的神经结构



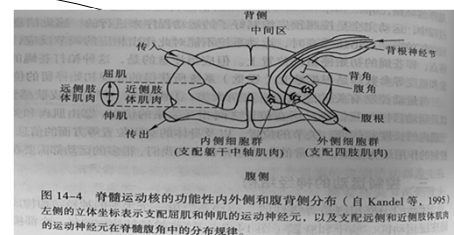
- 运动系统由三个水平的神经结构构成，即大脑皮层运动区、脑干和脊髓。它们之间的关系既是一种高级结构与低级结构之间的等级性关系，又是一种既相对独立而各有分工的平行性关系。
这种构架的意义？

运动系统等级性和平行性并存的意义

- 允许运动系统的低级中枢自主地产生反射活动，高级中枢不做过多的参与。
- 允许高级中枢直接控制该系统最低一级神经元的活动。
- 允许某些运动能够相对独立地收到三个不同水平运动中枢的控制。损伤时，实现运动机能的代偿。
- 允许脑同时控制不同的下行运动通路，从而完成一个复杂的行为活动。

一. 控制运动的神经结构—脊髓

- 脊髓是运动控制等级系统中层次最低的一个结构。
- 支配不同肌肉的运动神经元在脊髓中有一定的排列规律



- 近侧-远侧规律：支配最靠近躯干中轴和肢体近侧部位肌肉的运动神经元位于脊髓腹角的内侧，支配肢体远侧（手和足）肌肉的运动神经元位于脊髓腹角的外侧。
- 屈肌-伸肌规律：支配屈肌的神经元位于腹角的背侧，支配伸肌的运动神经元位于屈肌神经元群的腹侧。

一. 控制运动的神经结构—脊髓

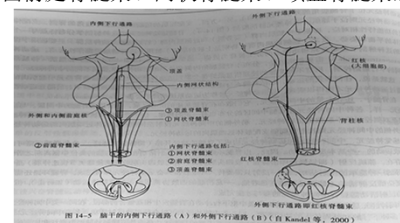
- 任何形式的运动，包括脊髓本身能够完成的反射性运动和由大脑皮层所引起的随意运动都需要通过运动神经元才能得以实现，所以，运动神经元被称为运动系统的最后公路。
- 脊髓中还存在大量中间神经元，感觉神经元、中间神经元和运动神经元构成了脊髓的神经环路。

控制运动的神经结构—脑干

根据脑干神经元下行通路在脊髓中的行走位置和终止部位

● 内侧下行通路

起源于前庭核、脑桥和延髓的核团，终止于脊髓灰质的腹内侧部，与姿势控制有关
由前庭脊髓束、网状脊髓束、顶盖脊髓束组成



控制运动的神经结构—脑干

根据脑干神经元下行通路在脊髓中的行走位置和终止部位

● 外侧下行通路

起源于脑干的红核脊髓束，终止于脊髓灰质的背外侧部。支配肢体远侧的肌肉，指挥精细的手和手指运动，

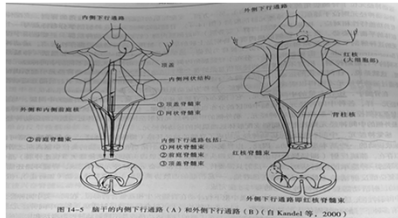


图 14-5 脑干的内侧下行通路 (A) 和外侧下行通路 (B) (自 Kandel 等, 2000)

控制运动的神经结构—大脑皮层

- 大脑皮层运动区包括初级运动皮层、前运动皮层、辅助运动皮层。

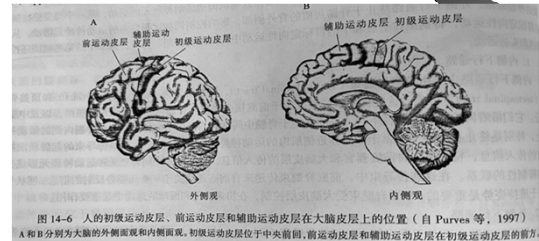


图 14-6 人的初级运动皮层、前运动皮层和辅助运动皮层在大脑皮层上的位置 (自 Purves 等, 1997)
A 和 B 分别为大脑的外侧面和内侧观。初级运动皮层位于中央前回, 前运动皮层和辅助运动皮层在初级运动皮层的前方

控制运动的神经结构—大脑皮层

- 大脑皮层的运动指令经皮层延髓束和皮层脊髓束两条通路下行。

皮层延髓束纤维经脑运动神经核控制面部肌肉的收缩活动;

皮质脊髓束纤维则直接作用于脊髓的运动神经元和中间神经元, 控制躯干和四肢肌肉的收缩活动。

控制运动的神经结构 --小脑和基底神经节

- 小脑通过对皮层的下行运动指令和实际运动执行情况的反馈信息进行比较来提高运动的精确性。
- 基底神经节接受所有皮层区域的传入, 其传出纤维主要投射到与运动计划有关的额叶皮层。

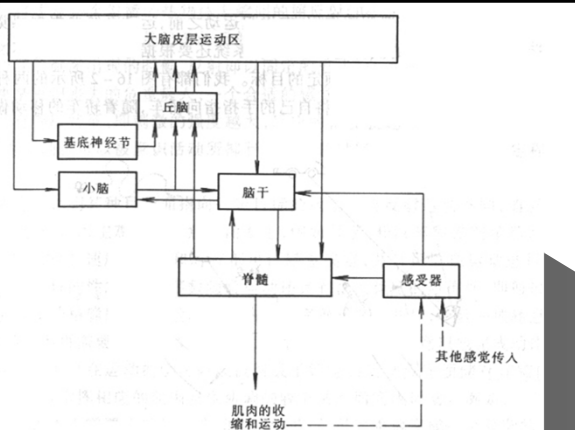


图 16-3 运动系统各结构之间的相互关系示意图 (自 Kandel 等, 1991)

第二节 脊髓运动神经元和肌肉感受器

- 一. 脊髓运动神经元与运动单位
- 二. 肌肉收缩张力的调节
- 三. 肌肉长度和张力变化的感受装置——肌梭和高尔基腱器官

运动神经元

根据运动神经元细胞体的大小和对肌纤维支配情况的不同

- α 运动神经元胞体较大，胞体直径25-150 μm 。其轴突支配梭外肌——直接支配骨骼肌。
- γ 运动神经比较小，胞体直径15-25 μm 。分散在 α 神经元间，支配梭内肌，兴奋性较高，常持续放电调节肌梭敏感性。

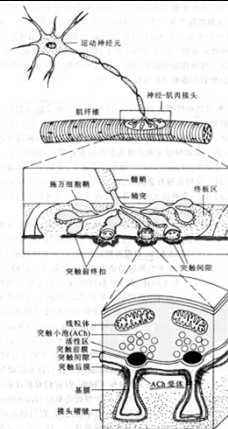


图 16-8 神经-肌肉接头的结构，从上到下显示其逐步放大的细胞(自 Kandel 等, 1991)
在突触前的运动神经元终末中有线粒体和含有神经递质 ACh 的囊泡，当动作电位在突触前神经末梢释放 ACh 的部位，在突触后终末膜上就有大量的 ACh 受体，而基底膜上亦有可以水解 ACh 的胆碱酯酶

α 运动神经元引起骨骼肌收缩活动过程

- 首先经过一个将神经元的兴奋传递到肌细胞上去的接头传递的过程，以及一个将沿肌细胞膜传导的动作电位转变成肌细胞机械收缩的兴奋-收缩偶联。
- 神经递质ACh通过接头间隙与终板膜上的受体结合，并在终板膜上引起一个类似于神经元兴奋性突触后电位的去极化性局部电位变化——终板电位。再由终板电位触发肌细胞产生一个可沿细胞膜扩散的动作电位。
- 终板电位幅度很大，大约有70mV，是触发肌细胞动作电位所需要阈值的3~4倍。

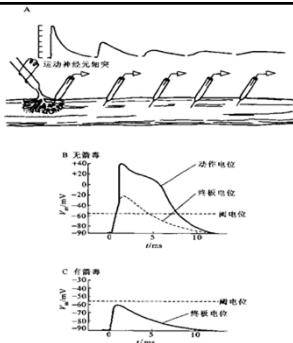


图 16-9 用微电极在骨骼肌终板区记录的终板电位和肌细胞动作电位(自 Kandel, 1991)

A. 记录装置示意图，显示将微电极插入到骨骼肌的终板区(最左面的微电极记录终板电位，右侧的微电极记录肌细胞内的动作电位)。可见终板区所记录的终板电位幅度最大，随着记录点离终板区的位置越远，终板电位幅度越小，表明这是一个有剌于可兴奋细胞的动作电位，而类似于神经元的突触后电位的一种电位变化过程。
B. 在正常条件下，终板电位使神经元的动作电位触发了肌细胞的一个大幅度的终板电位(虚线)，并触发了肌细胞产生一个动作电位(实线)。
C. 向记录电极中加入一定剂量的 N 型 ACh 受体拮抗剂阿托品后，终板电位大大减小，从而不能触发动作电位

运动单位

一个 α 运动神经元与其所支配的所有肌纤维组成了一个完成肌肉收缩活动的基本功能单位。

- 受到一个运动神经元支配的肌纤维是弥散的分布在一块肌肉中的。

一个运动神经元与其所支配的肌纤维数量之比称为神经支配率。其大小大致与肌肉的大小相当。
眼外肌10；腓肠肌2000

三种类型的运动单位

根据运动单位的收缩速度，收缩时所能达到的最大张力和发生疲劳的速率：

- 快速收缩易疲劳运动单位-FF
- 慢速收缩抗疲劳运动单位-S
- 快速收缩抗疲劳运动单位-FR

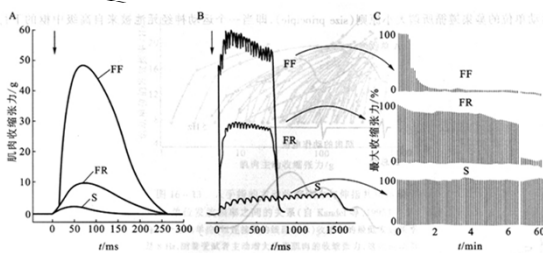
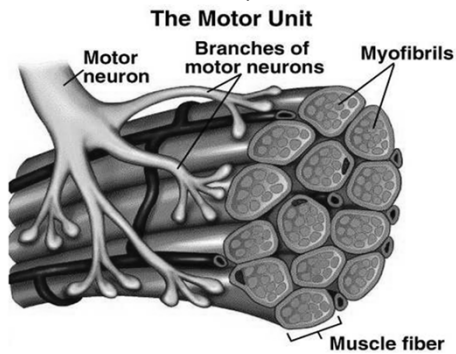


图 16-11 三种不同类型运动单位生理特性的比较(自 Purves 等, 1997)

A. 对单个刺激的收缩反应

B. 对重复刺激的收缩反应, 快速收缩易疲劳型(FF)和快速收缩抗疲劳型(FR)

运动单位所产生的收缩张力比慢速收缩抗疲劳型(S)运动单位要大得多

C. 对引起最大收缩张力的重复刺激的反应(慢扫描记录), 慢速收缩抗疲劳型

运动单位对持续长达 1h 之久的重复刺激依然能保持最大的收缩张力, 而快速收缩易疲劳型运动单位在接受重复刺激 1 min 后就发生疲劳, 收缩张力迅

疾消失, 快速收缩抗疲劳型运动单位在接受重复刺激时表现出一定的抗疲劳性, 收缩

张力缓慢地衰减, 到 50 min 后还有一些残余的张力

图例: 在 A 和 B 左上方的箭头头指示刺激的时刻

二. 肌肉收缩张力的调节

- 增加单位时间里运动神经元动作电位的数量，即运动神经元的发放频率越高，运动单位产生的张力越大，这一机制被称为运动单位的发放速率调制现象。
- 激活更多的运动单位，是他们参与到肌肉的收缩运动中来。激活的运动单位越多，则肌肉产生的张力越大，这一机制称为运动单位的募集。

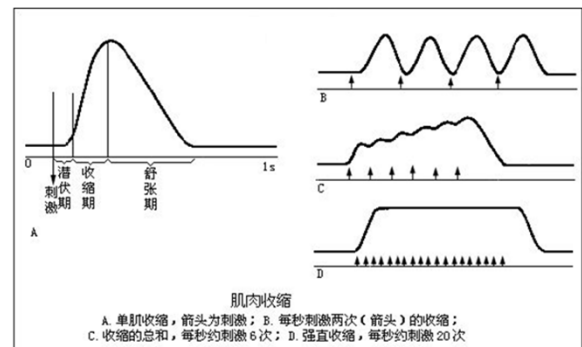
肌肉收缩张力的调节

运动单位的发放速率调制

- 单收缩：肌肉对一次刺激所产生的收缩
- 强直：如果运动神经元的发放频率足够高，使得肌肉在相继两次动作电位之间来不及舒张，则肌肉每次的单收缩将融合起来，产生一个平台，这一现象成为强直。

不完全强直收缩

完全强直收缩



肌肉收缩张力的调节

- 增加单位时间里运动神经元动作电位的数量，即运动神经元的发放频率越高，运动单位产生的张力越大，这一机制被称为运动单位的发放速率调制现象。
- 激活更多的运动单位，使他们参与到肌肉的收缩运动中来。激活的运动单位越多，则肌肉产生的张力越大，这一机制称为运动单位的募集。

- 运动单位的募集遵循大小原则
- 意义：使调节肌肉张力的任务简单化

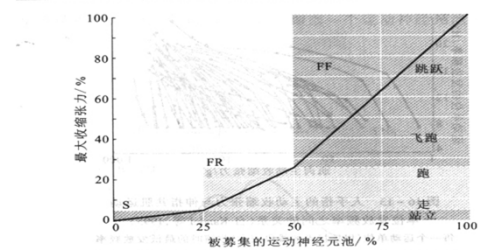


图 16-14 猫内侧腓肠肌运动神经元在不同行为状态下的募集(自 Purves 等, 1997)

当一个运动任务需要缓慢的增加肌肉张力时，运动单位会逐步地被募集，而他们的发放频率也会同时逐渐地增加。

三. 肌肉长度和张力变化的感受装置

- 肌梭和高尔基腱器官，分别向中枢神经系统提供肌肉的长度和张力变化信息。
- 1. 肌梭位于肌肉内部，其长轴与骨骼肌纤维长轴平行排列，呈并联关系，肌梭被两类有髓鞘传入纤维，即大直径的Ia和小直径的Ib类感觉传入神经纤维所支配。
- 2. 腱器官位于肌肉和肌腱的接头处，与骨骼肌纤维呈串联关系，它仅被Ib传入纤维所支配。这两种感受器都广泛的分布在肌肉中。

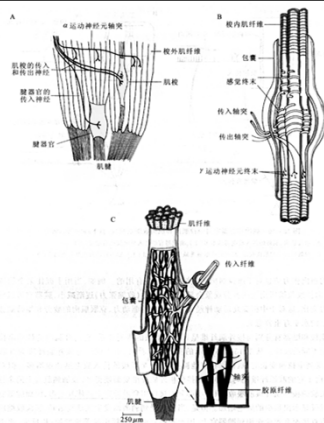
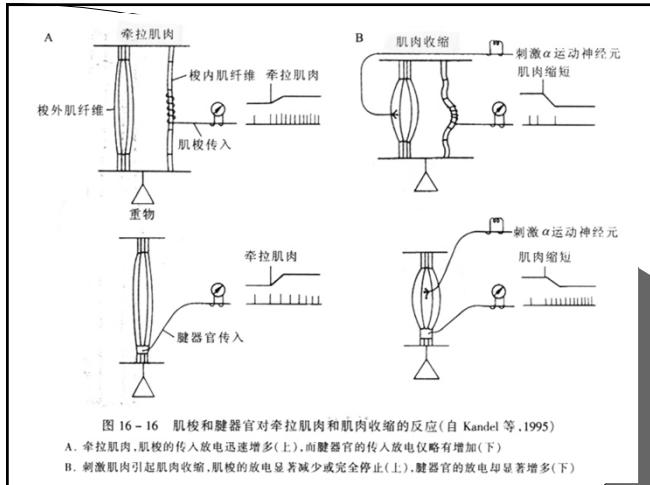


图 16-15 肌梭和腱器官在肌肉中的位置以及它们的结构(自 Kandel 等, 1995)
A. 显示肌梭和腱器官在肌肉中的位置，两者分别与感觉传入纤维和运动传入纤维支配
B. 肌梭的结构及其神经支配，除了传入神经纤维以外，肌梭还受到来自脊髓的 γ 运动神经元的传出支配
C. 腱器官的结构及其神经支配

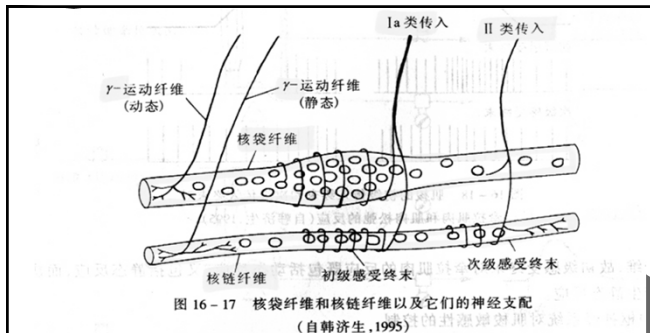
1. 肌梭的结构以及感受装置

- 梭内肌纤维上有感觉神经末梢和脊髓 γ 神经末梢的支配，感觉末梢负责向中枢传递肌梭所感受到的肌肉长度的变化信息，而 γ 运动神经元末梢则是中枢调节肌梭感觉敏感性的传出途径。
- 当梭内肌纤维被牵拉，感觉传入末梢也相应的被拉长，感觉传入纤维上的发放就会增多，从而激活这些神经末梢上的牵拉敏感离子通道，使细胞膜去极化产生动作电位。



肌梭初级和次级感受末梢的反应特征

- 肌梭的梭内肌纤维分为核链和核袋两种纤维
- 肌梭的感受器, 即感受末梢可以分为初级感受末梢和次级感受末梢两类。初级的传入纤维属于Ia类神经纤维, 次级的传入纤维属于II类神经纤维。初级感受末梢同时支配核袋和核链纤维, 次级往往只支配核链纤维。
- 功能上初级末梢对长度变化的敏感性比次级末梢更大一些。



- 初级感受末梢对肌肉动态相高度敏感: 检测肌肉长度的变化, 以及变化的速率
- 次级感受末梢主要检测肌肉静态长度。

一个问题

肌肉收缩的时候, 梭内肌纤维的放松将会导致肌梭感受末梢在肌肉缩短的时候停止发放——肌肉发生收缩时, 肌梭不能执行向中枢传递肌肉长度信息的任务。

中枢神经系统对肌梭敏感性的控制

α - γ 共激活

在刺激 α 运动神经元的同时也刺激 γ 运动神经元, 从而造成 α - γ 共激活时, Ia纤维的传入冲动就不会中断, 这一现象说明中枢神经系统可以通过 γ 运动神经元调节肌梭的传入活动。

