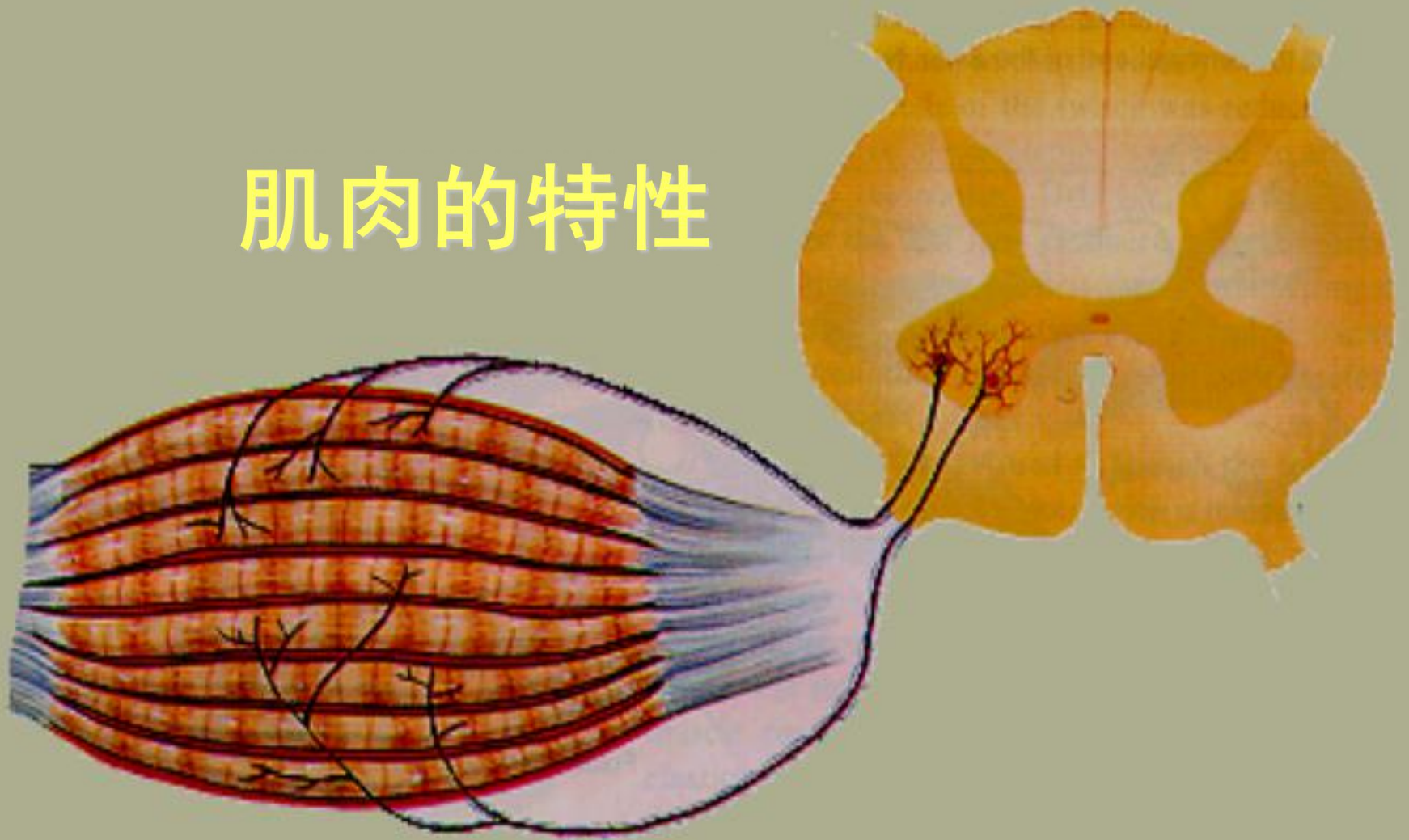


第一章 肌肉活动

主讲 郝选明教授

华南师范大学

肌肉的特性

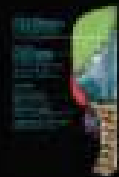


HUMAN ANATOMY - MUSCULAR & SKELETAL SYSTEM

RIGHT - SPENDING VIEW



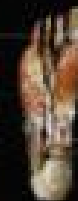
FRONT VIEW

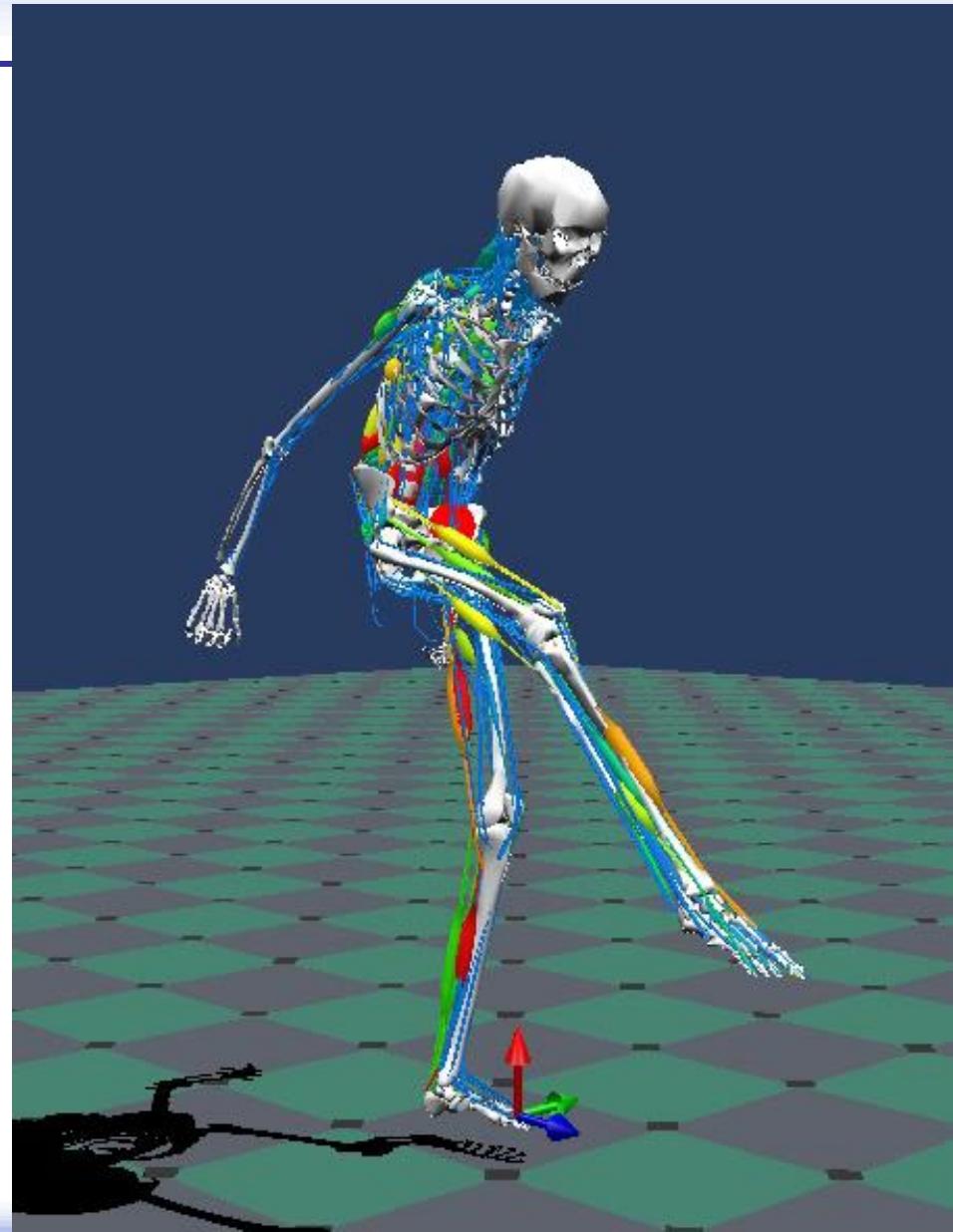
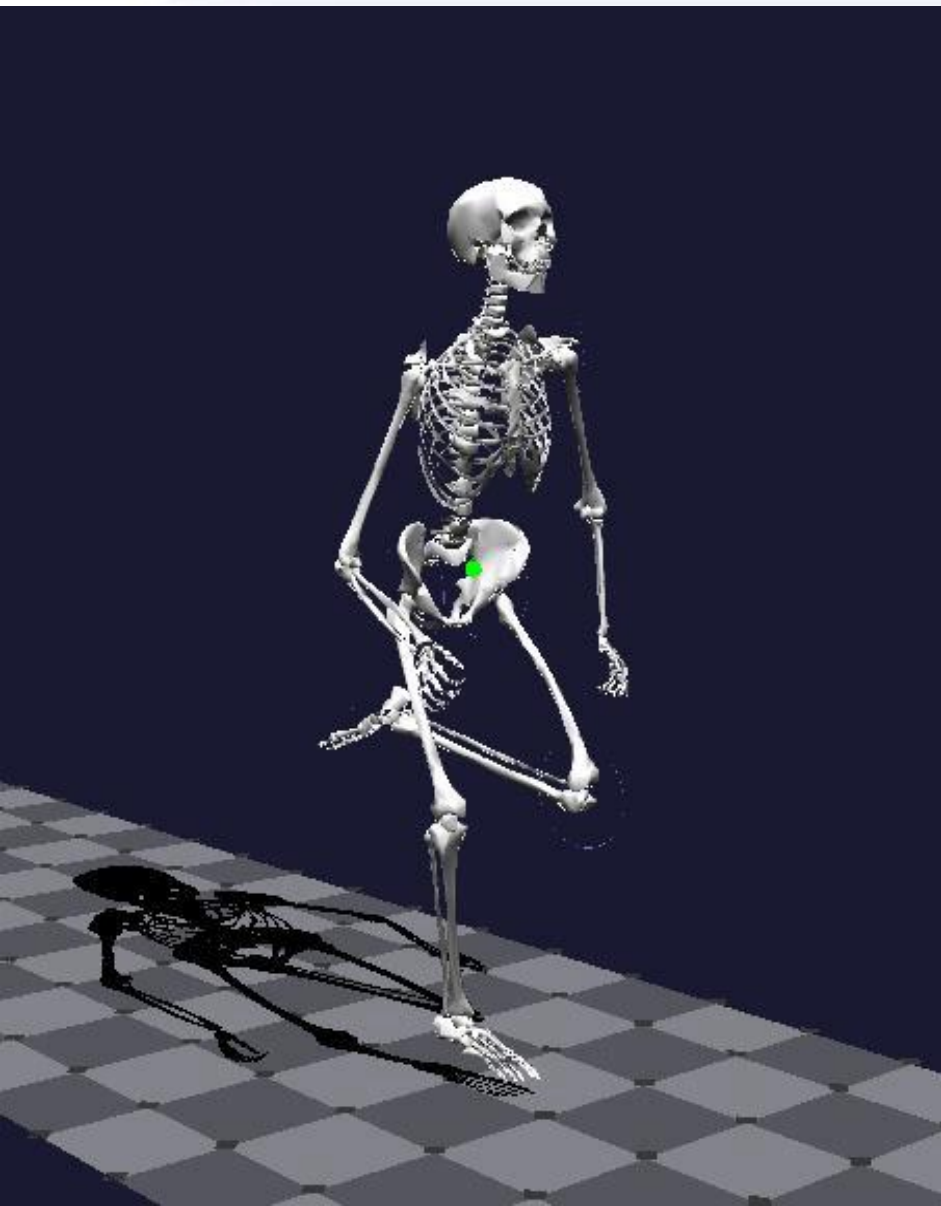


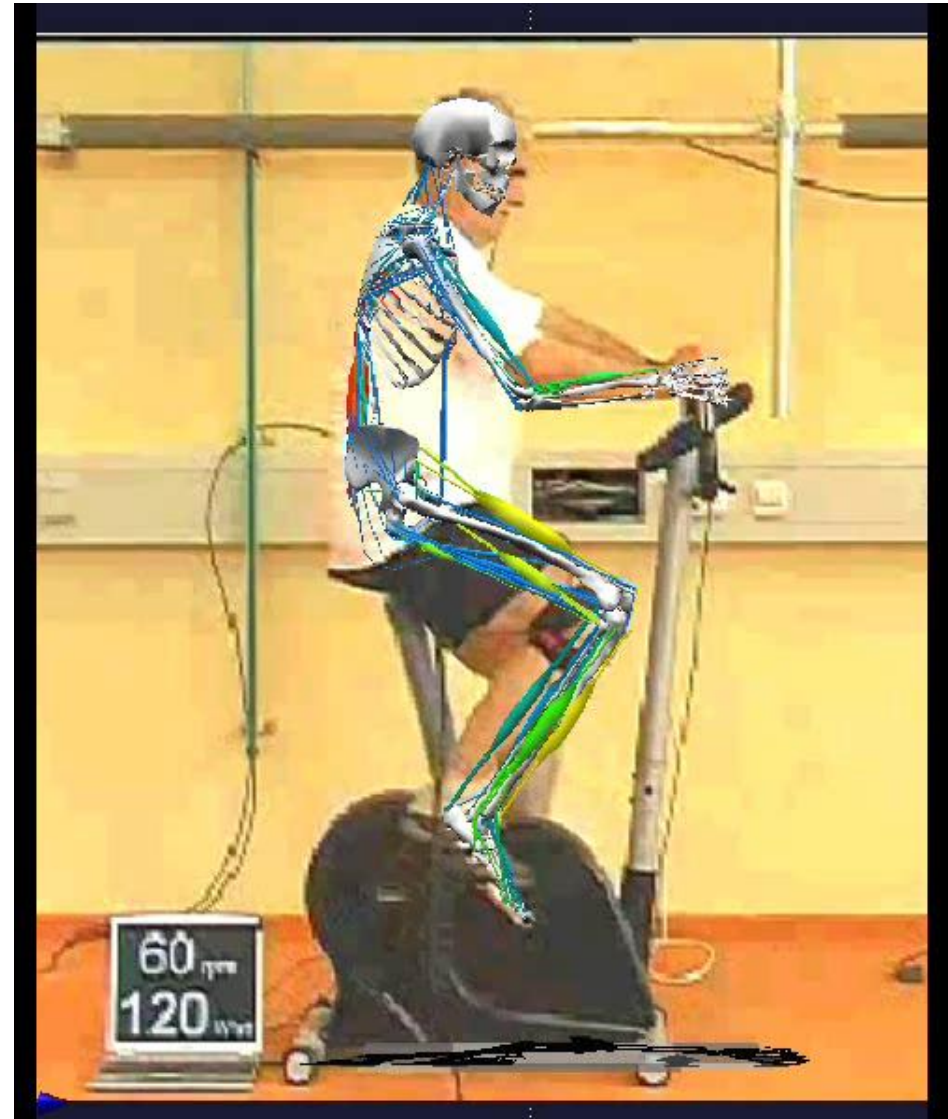
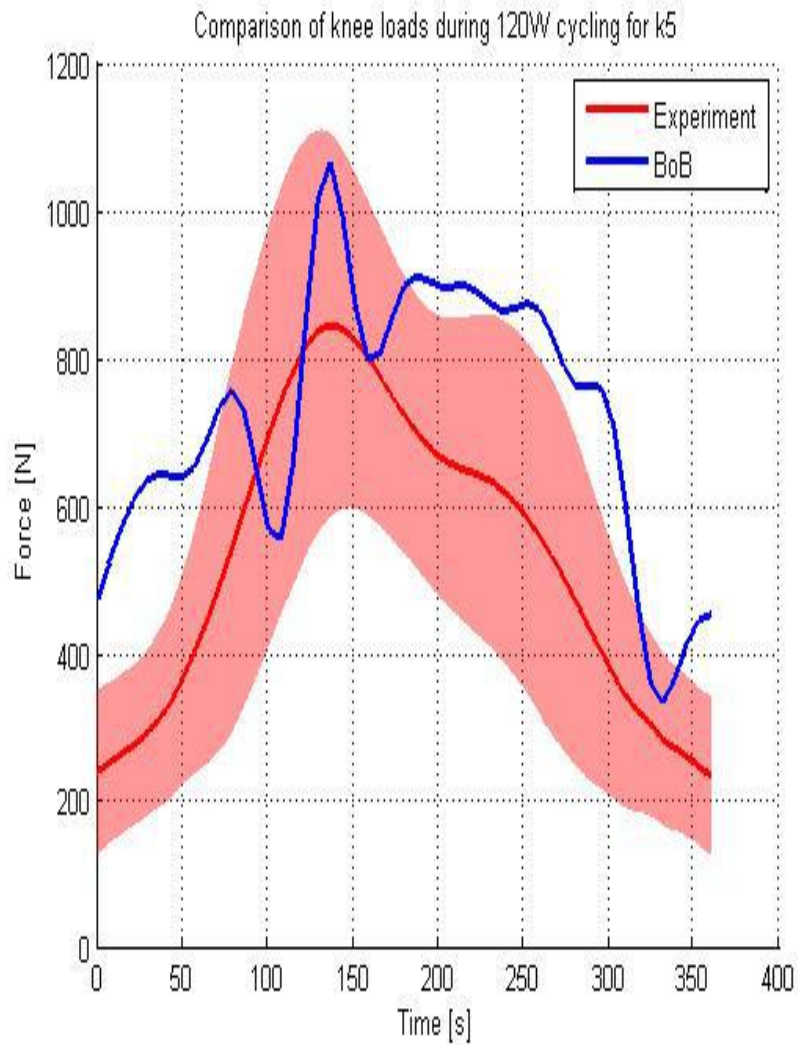
POW BELLY VIEW

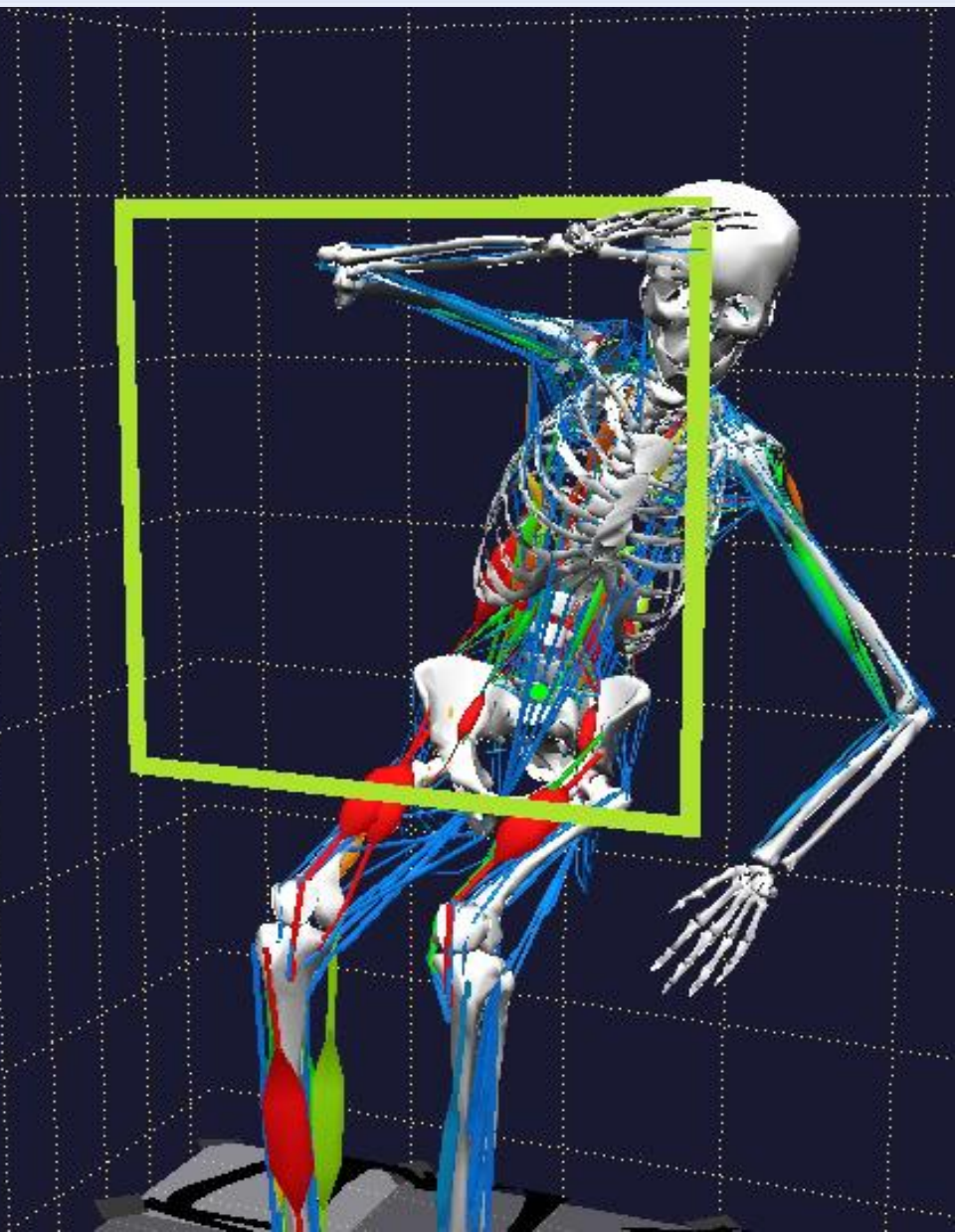
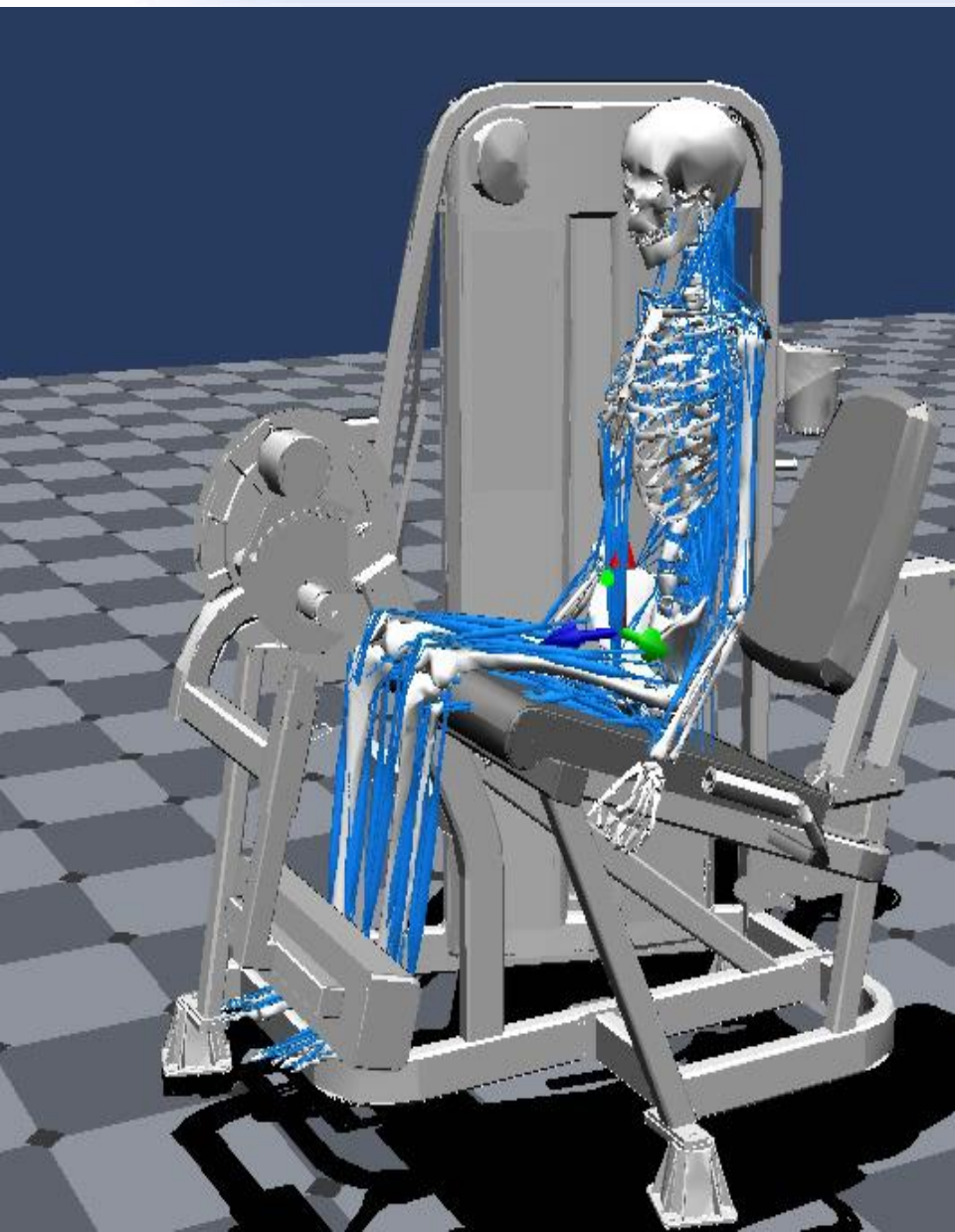


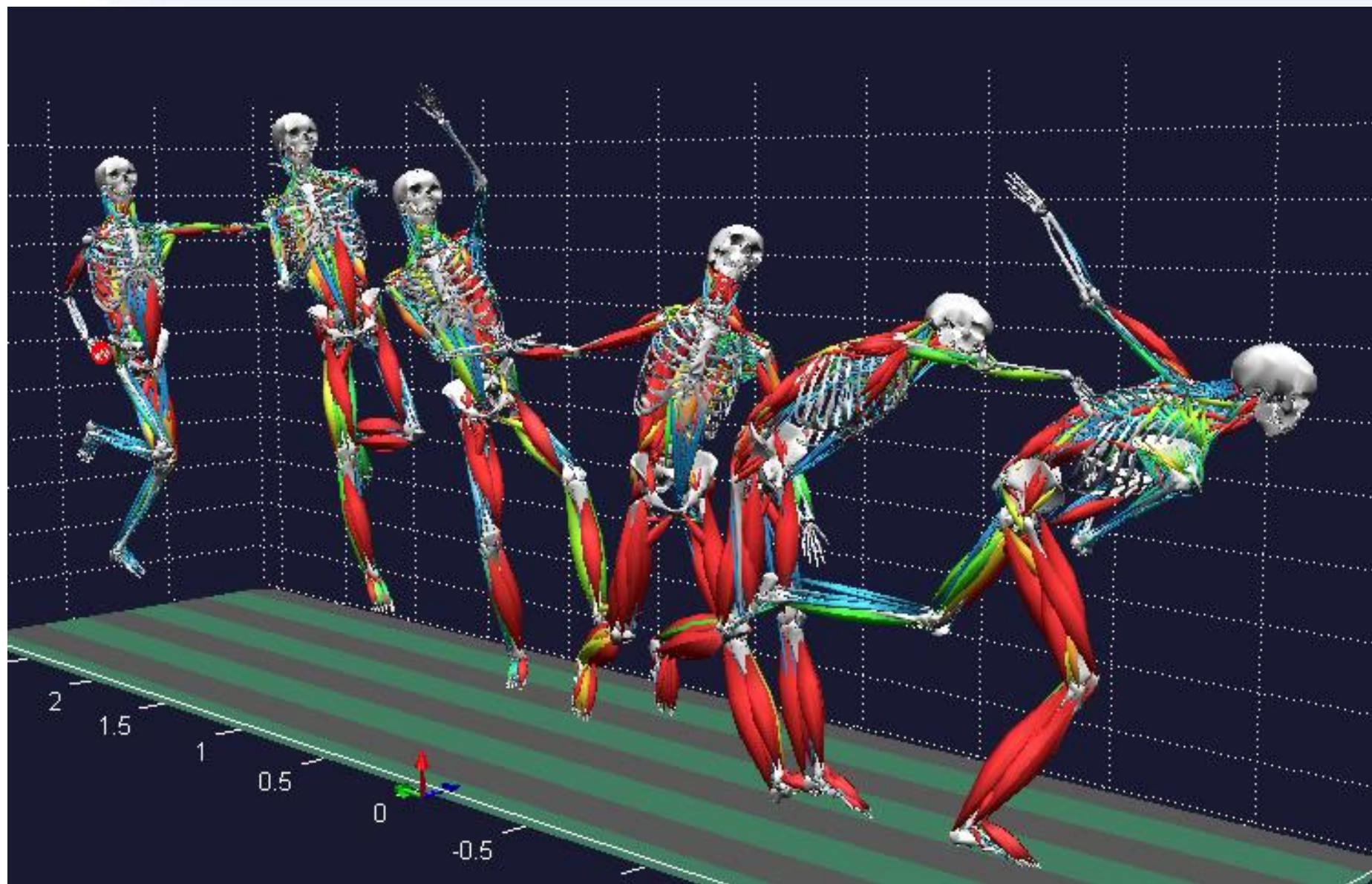
LEFT - SPENDING VIEW











关于肌肉

1. 肌肉分为骨骼肌、心肌和平滑肌三类。
2. 人体运动是在神经信号支配下，以骨骼肌收缩作为动力，关节作为枢纽，骨骼作为杠杆来完成的。
3. 所有骨骼肌都是跨关节的（单关节或多关节），起点和止点分别附着于不同骨骼，并有不同方向和角度。因此，收缩时可牵拉骨骼向不同方向运动。
4. 在身体运动过程中，按照对动作的作用，肌肉可分为主动肌、协同肌、对抗肌和支持肌。在动作的不同时相，其作用也在不断变化。

肌肉的物理特性

伸展性：肌肉在外力作用下可被拉长的特性。

弹性：当外力消失时，肌肉又逐渐恢复原来形状的特性。

黏滞性：肌肉活动时由肌肉内部各蛋白分子相互摩擦产生的内部阻力。

肌肉的生理特性

兴奋性：肌肉在刺激作用下具有产生兴奋的特性。

收缩性：肌肉兴奋后产生收缩反应的特性。



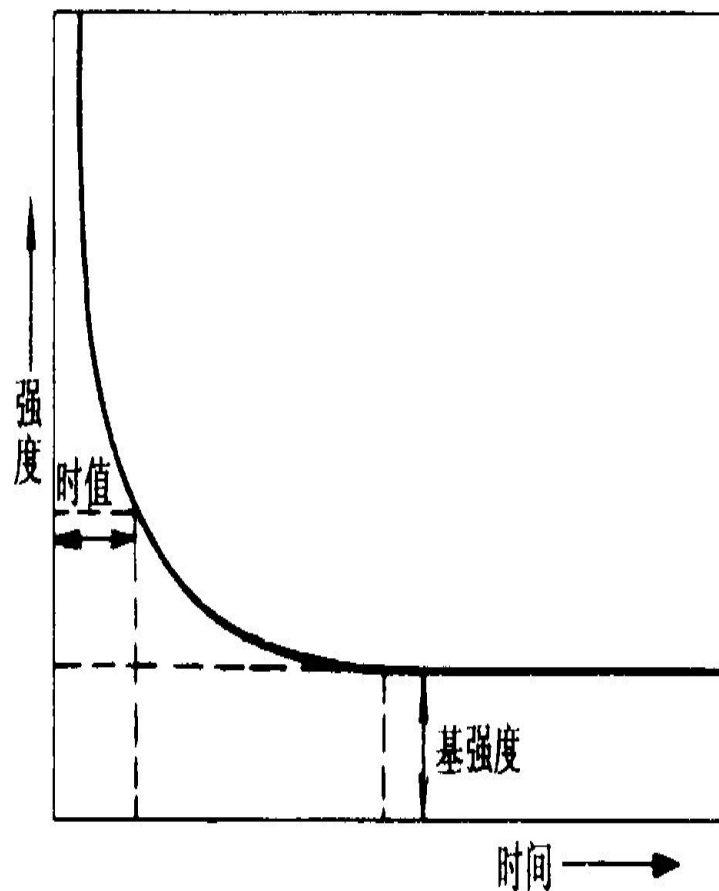
强度—时间曲线

基强度：刺激的强度低于基强度，无论刺激的作用时间怎样延长，都不能引起组织兴奋。

时值：指以2倍基强度刺激组织，刚能引起组织兴奋所需的最短作用时间。

兴奋性与阈强度关系：倒数关系。

兴奋性与时值关系：倒数关系。



- ◆ **兴奋**：是产生可传播动作电位的过程。
- ◆ **兴奋本质**：组织细胞产生动作电位及其传导是兴奋的本质。
- ◆ **静息电位**：静息时细胞膜处于某种极化状态，表现为膜的两侧存在着一个膜外为正膜内为负的电位差。电位特征：膜内为负；膜外为正。
- ◆ **动作电位**：当细胞受到刺激时，膜两侧电位的极性即发生暂时迅速的倒转，称为动作电位（峰电位）。电位特点：膜内为正；膜外为负。

本章内容

◆ 细胞的生物电现象

❖ 肌肉的收缩原理

◆ 肌肉的收缩形式与力学特征

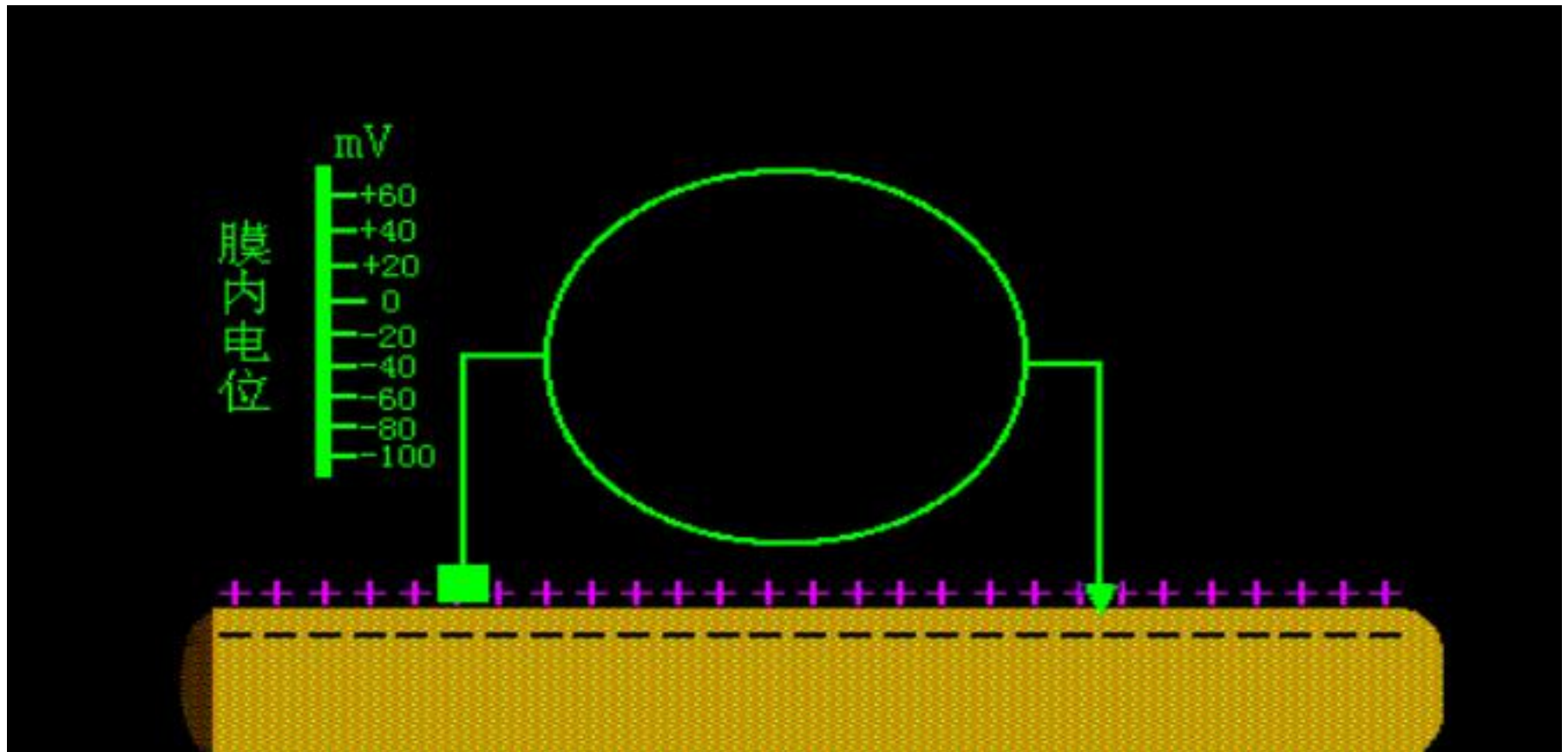
☒ 肌纤维类型与运动能力

☒ 肌电图

第一节 细胞的生物电现象

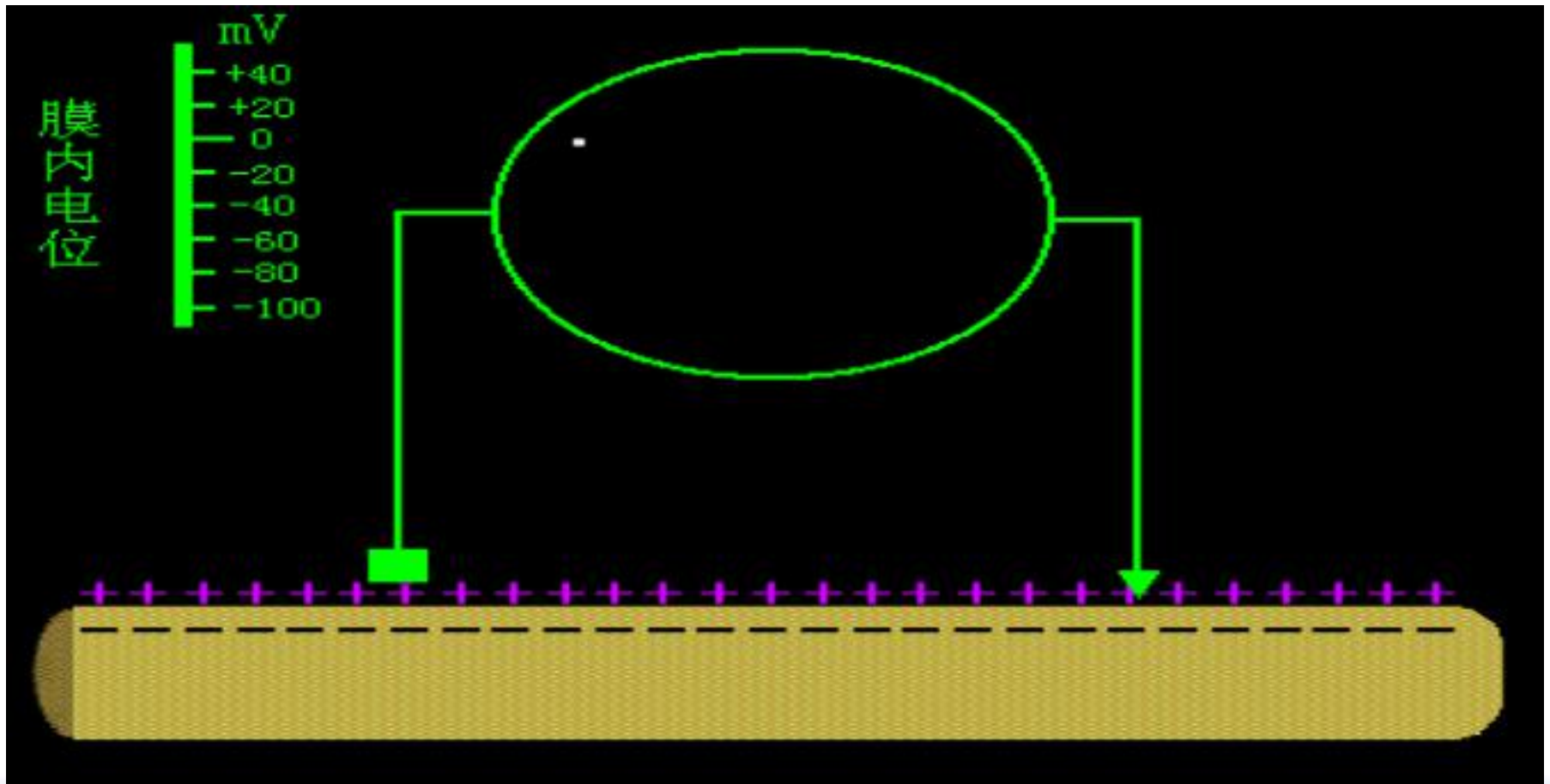
(一) 静息电位(Resting potential RP)

细胞在静息状态下，细胞膜内外存在电位差。



(二) 动作电位(Action potential AP)

细胞受刺激后产生的可传播的电变化。



去极化:

膜内电位负值减小。

超极化:

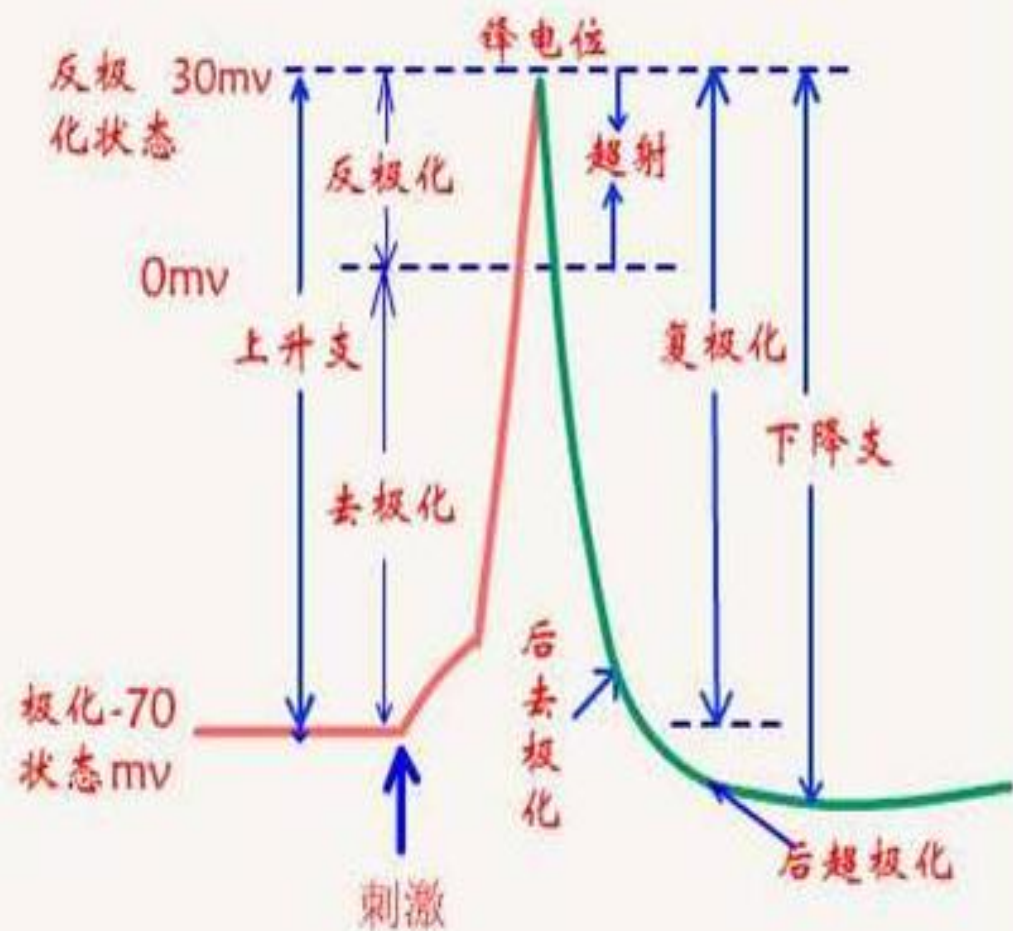
膜内电位负值增大。

复极化:

膜除极化后, 又恢复到安静时的极化状态。

除极相: 上升支。

复极相: 下降支。

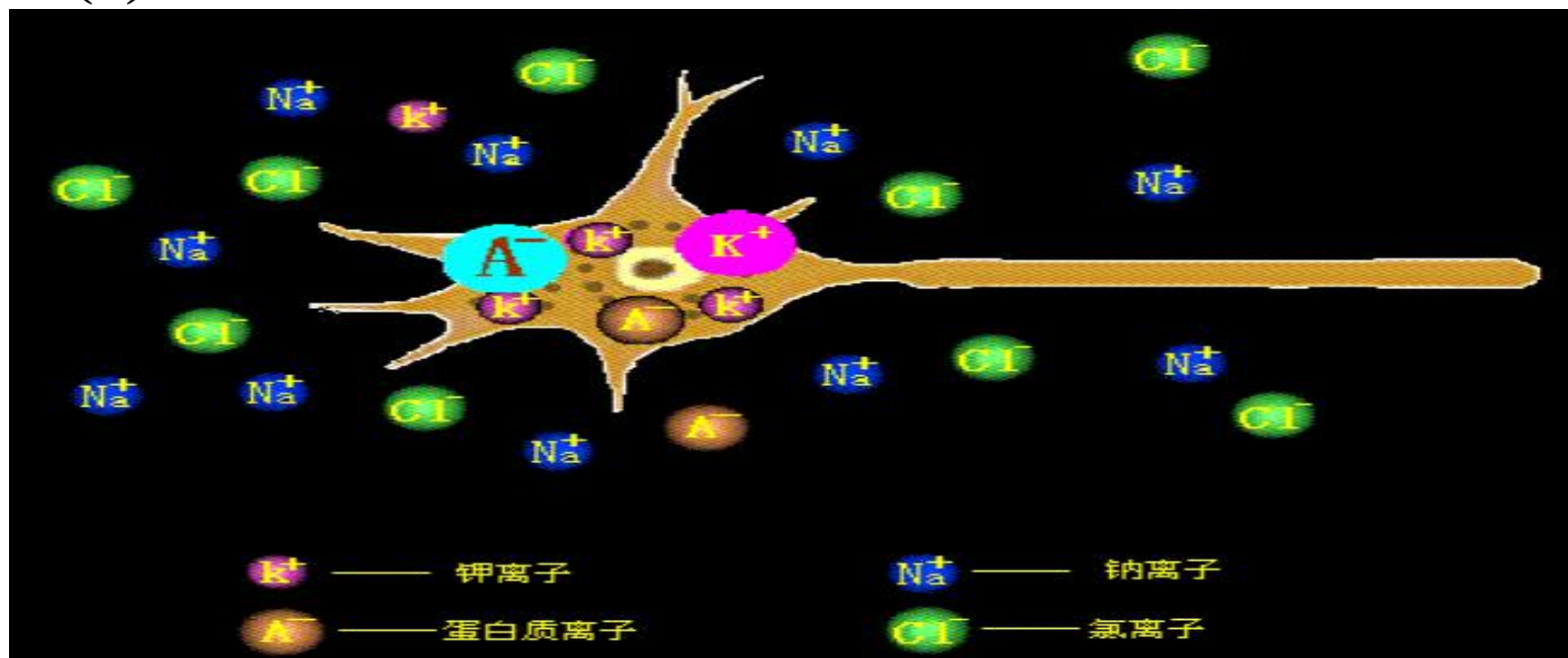


生物电现象的产生机制

(一) 静息电位的产生机制

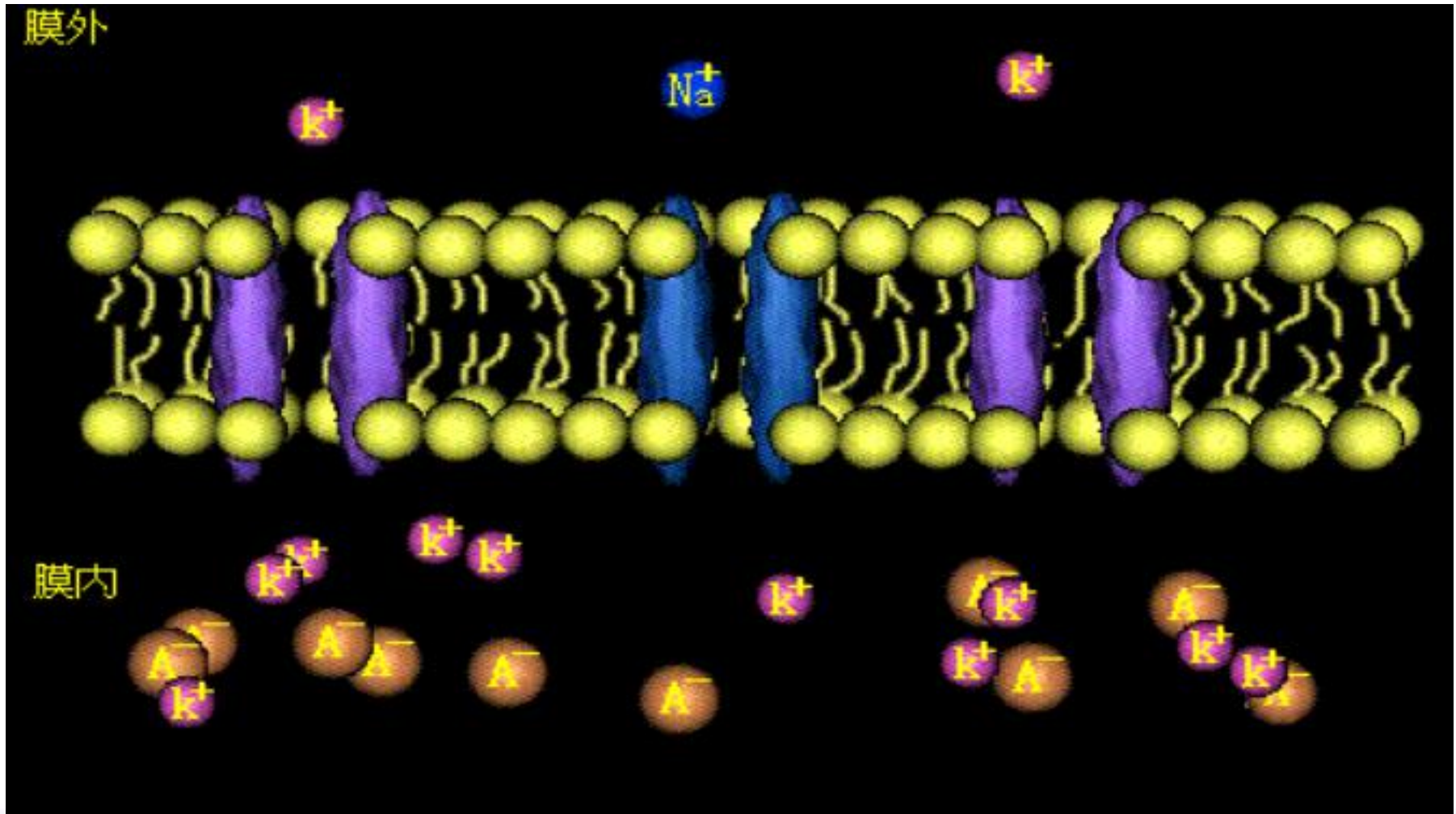
1. 条件

(1) 细胞膜内、外离子分布不均



(2) 细胞膜对离子的通透性具有选择性

通透性： $K^+ > Cl^- > Na^+ > A^-$



2. 静息电位产生机制

$[K^+]_i$ 顺浓度差向膜外扩散
 $[A^-]_i$ 不能向膜外扩散



$[K^+]_i \downarrow$ 、 $[A^-]_i \uparrow \rightarrow$ 膜内电位 \downarrow
 $[K^+]_o \uparrow \rightarrow$ 膜外电位 \uparrow

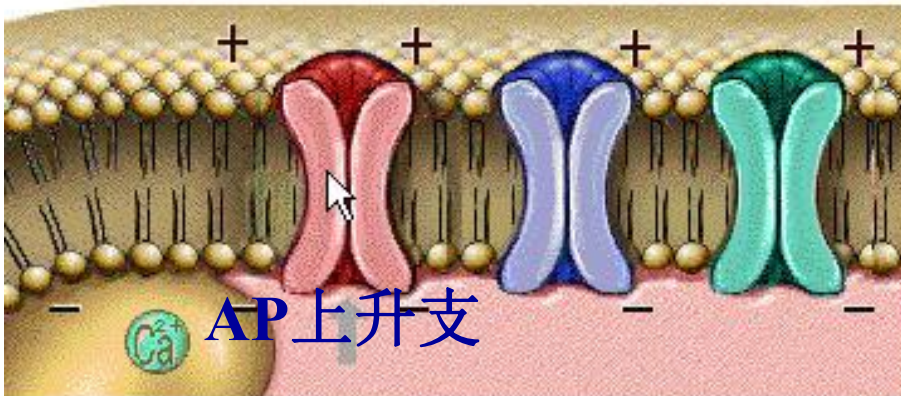
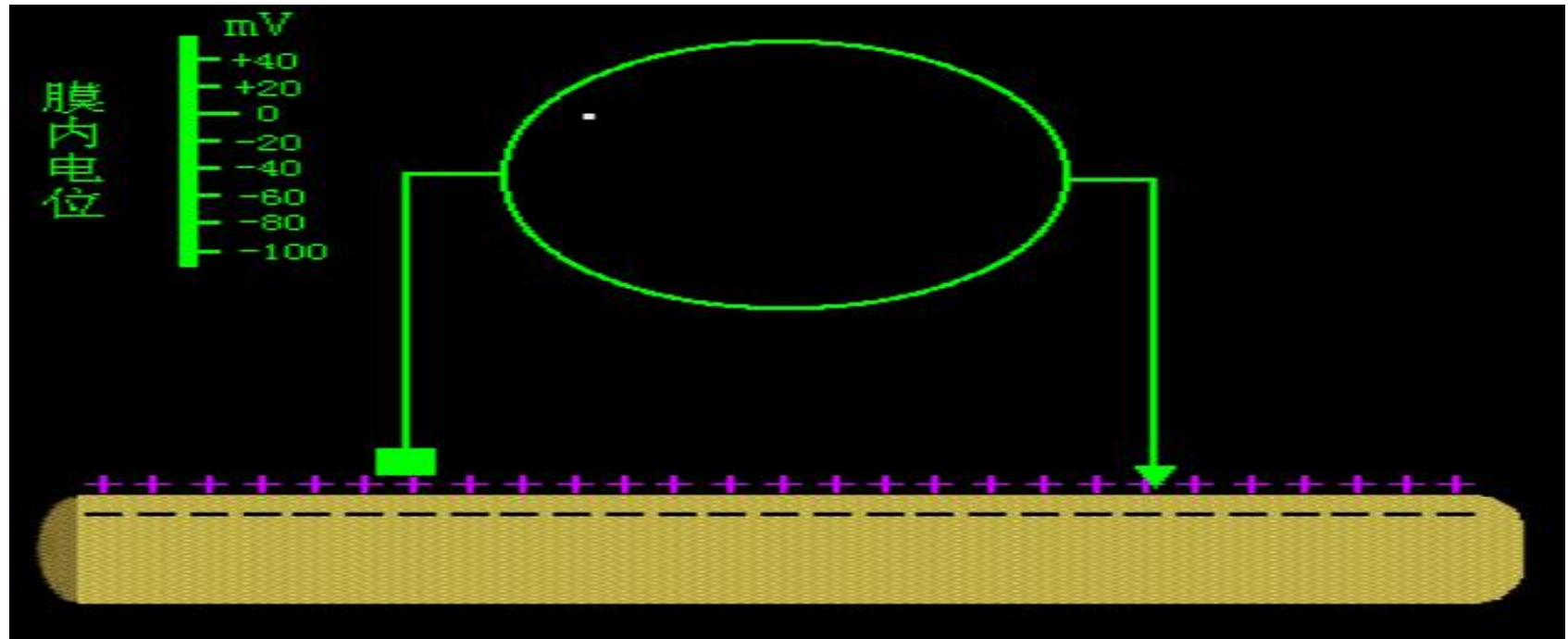


膜外为正、膜内为负的极化状态



扩散动力与阻力达到平衡 = K^+ 平衡电位

(二) 动作电位的产生机制



刺激

少量 Na^+ 通道开放

Na^+ 内流 → 膜电位 ↓ → 局部电位

阈电位 → Na^+ 通道大量开放

再生式内流

AP上升支

Na^+ 内流停 + K^+ 通道开放

K^+ 迅速外流

AP下降支

激活 $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ 泵

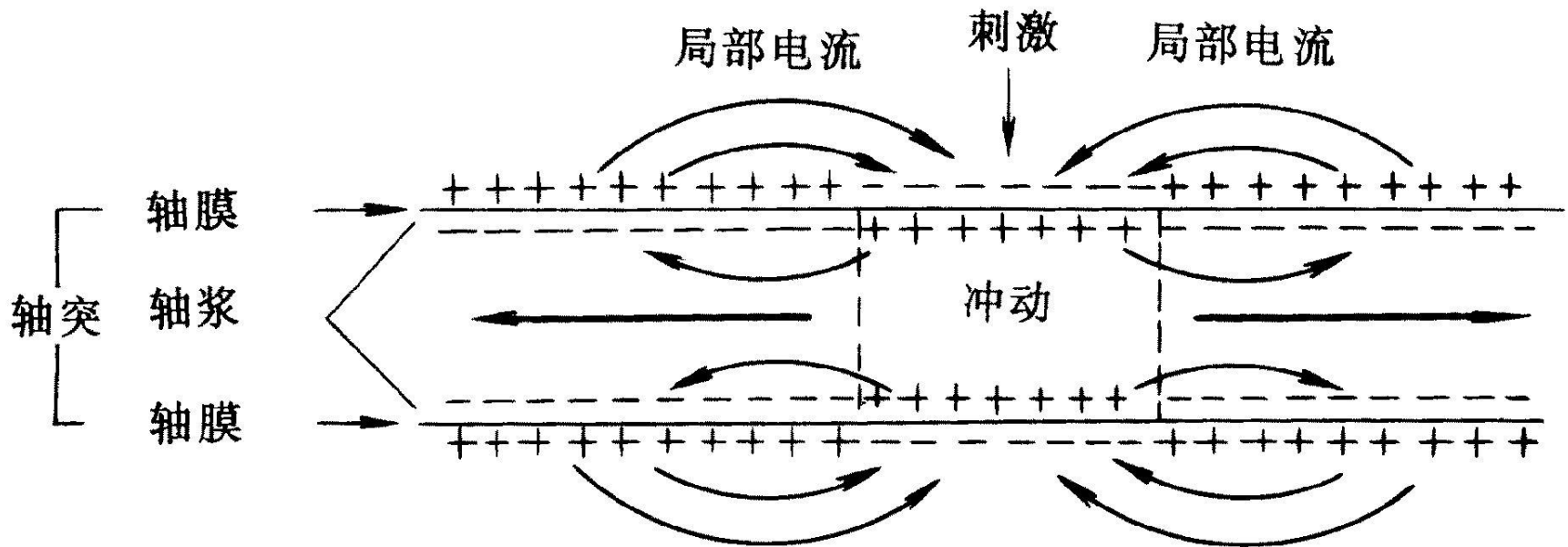
Na^+ 泵出、 K^+ 泵回



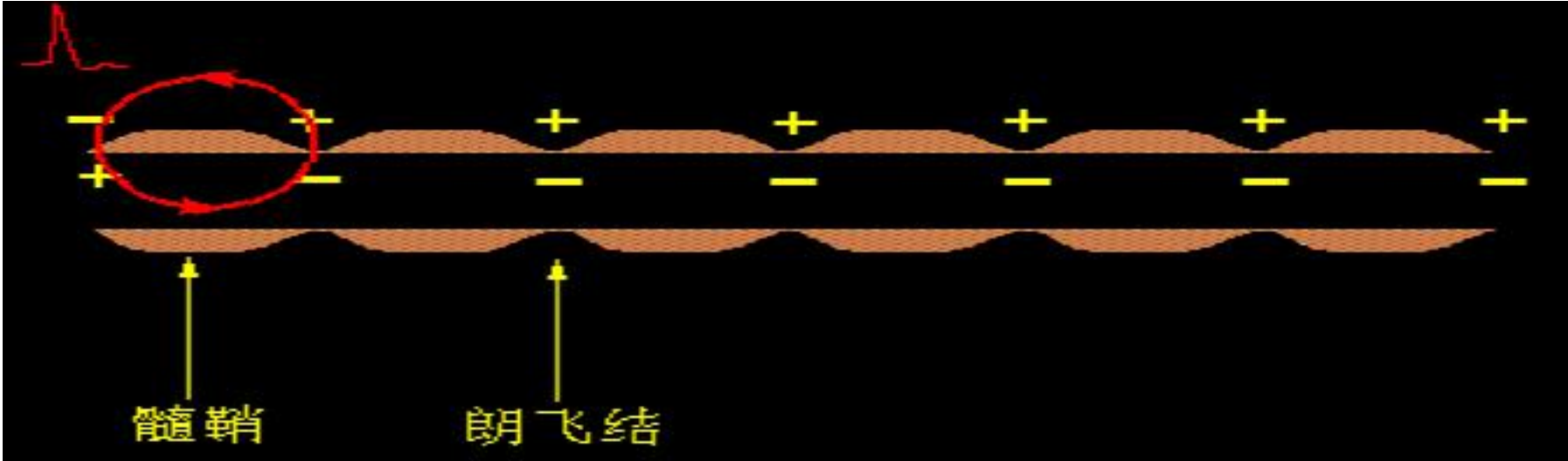
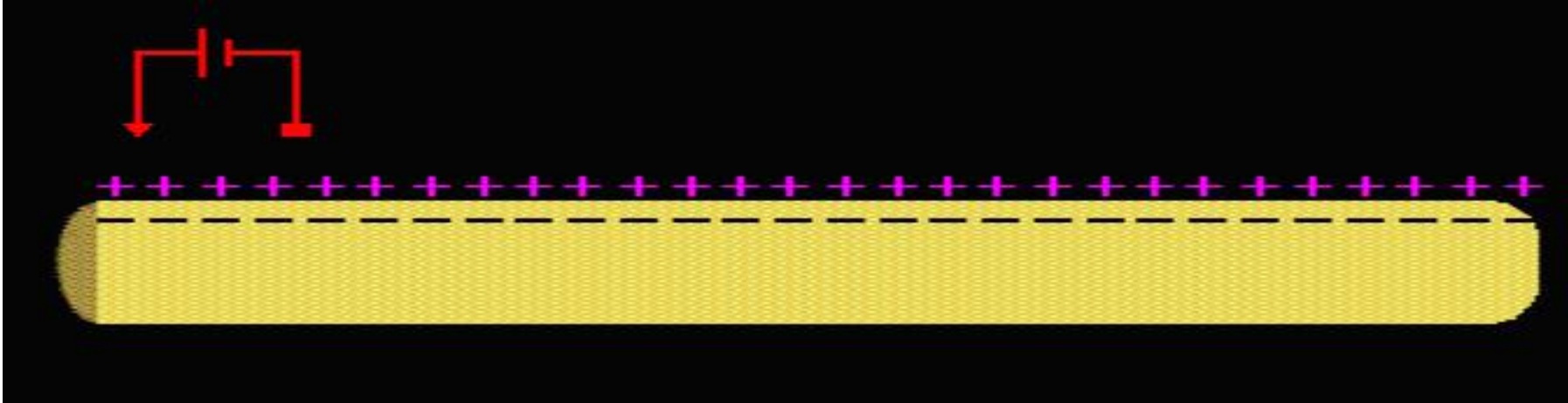
动作电位的传导

无髓鞘神经纤维的兴奋传导：

动作电位的传导机制：**局部电流学说**

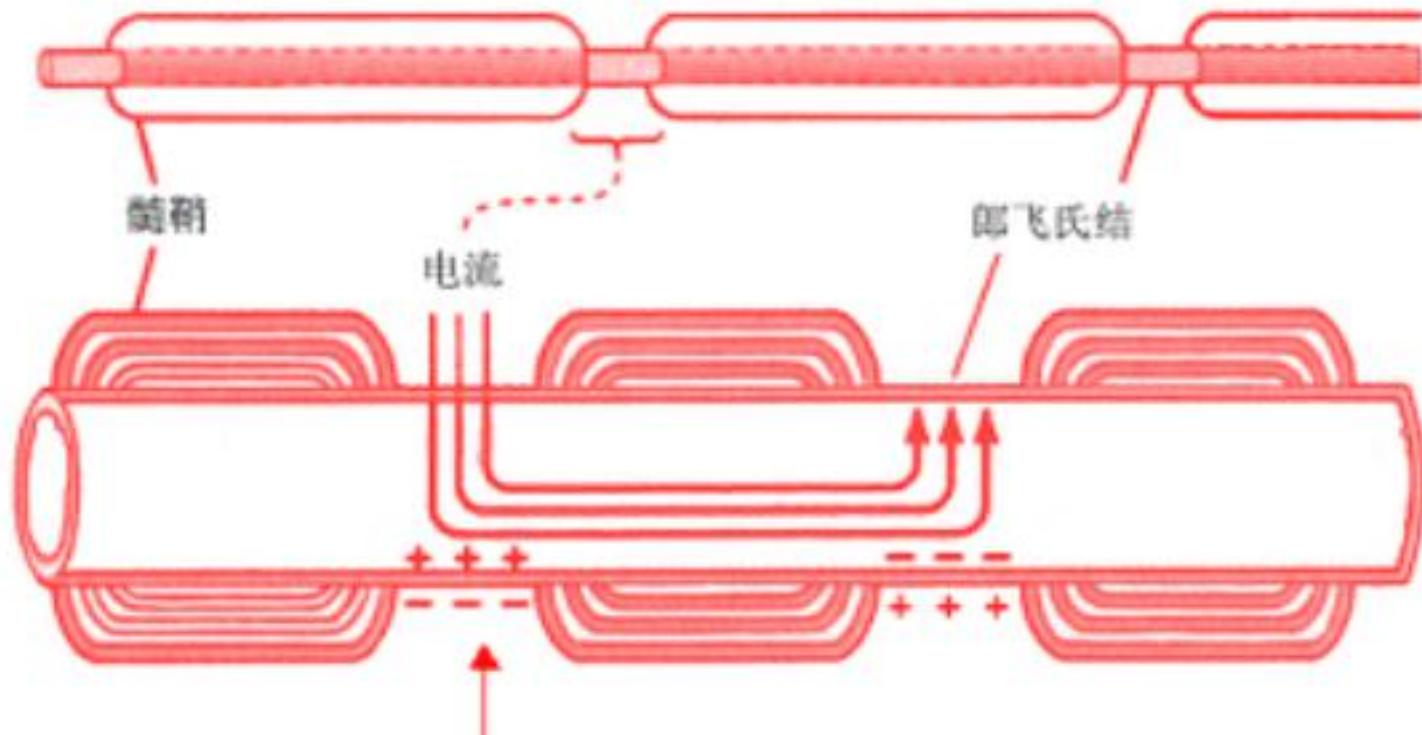


有髓鞘神经纤维的兴奋传导



跳跃式传导：

动作电位产生后，局部电流由一个郎飞氏结跳跃到邻近郎飞氏结。



动作电位在神经纤维的传导特征

1. 生理完整性

如果神经纤维局部结构或机能发生改变，神经的传导则中断。

2. 双向传导

由于局部电流可向两侧传导，刺激神经纤维的任何一点，所产生的神经冲动均可沿纤维向两侧方向传导。

3. 不衰减和相对不疲劳性

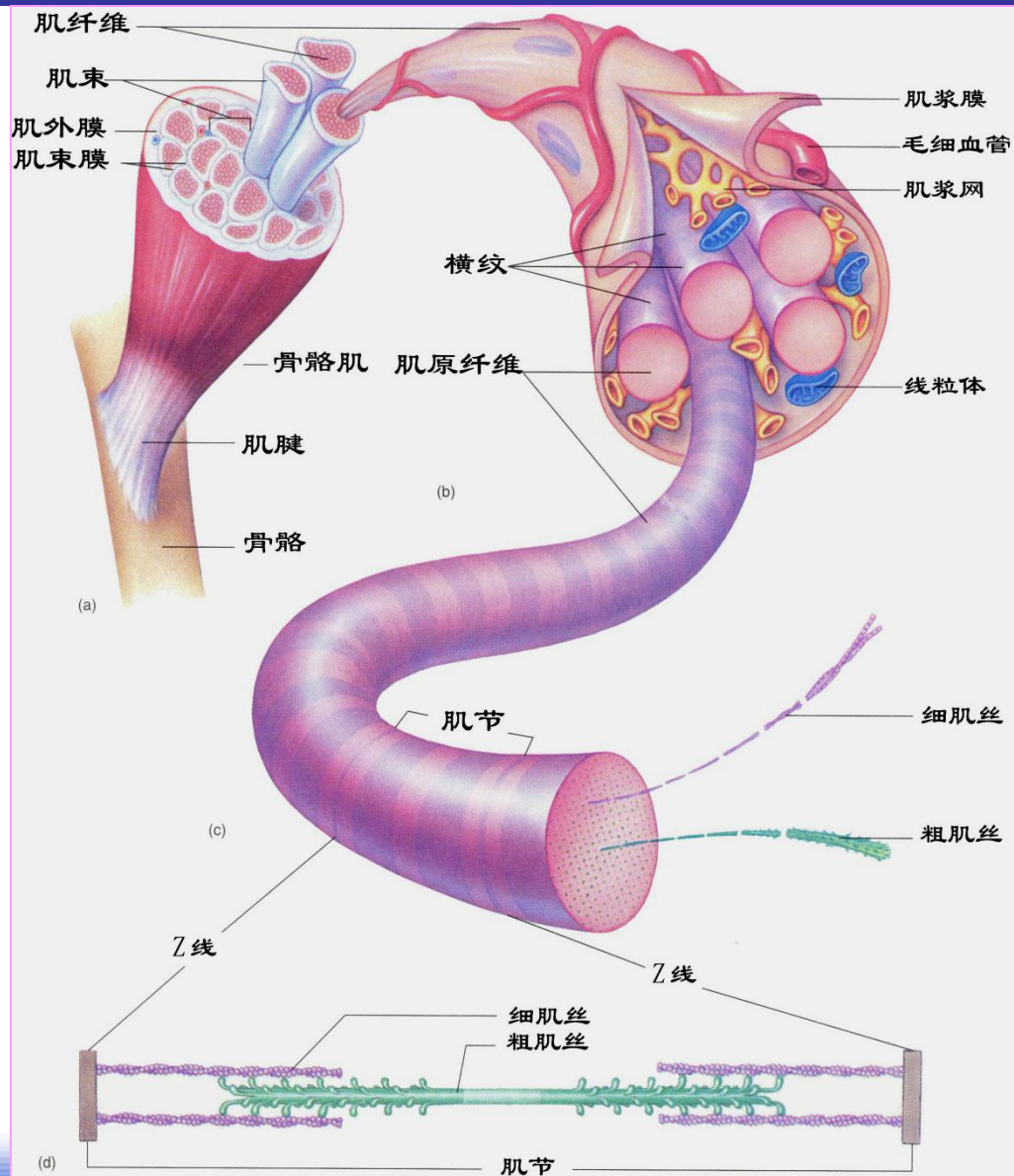
在传导过程中，锋电位的幅度和传导速度不因传导距离增大而减弱，也不因刺激作用时间延长而改变。

4. 绝缘性

在神经干内包含有许多神经纤维，而神经传导各行其道互不干扰。

第二节 肌肉收缩原理

肌肉的微细结构

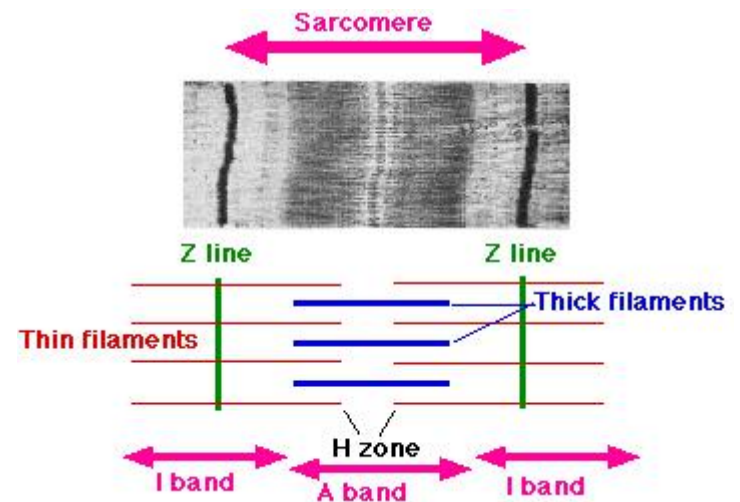


肌原纤维：长纤维状，纵贯肌纤维全长。电镜下，可见规律的明暗交替带，为明带（I带）和暗带（A带）。

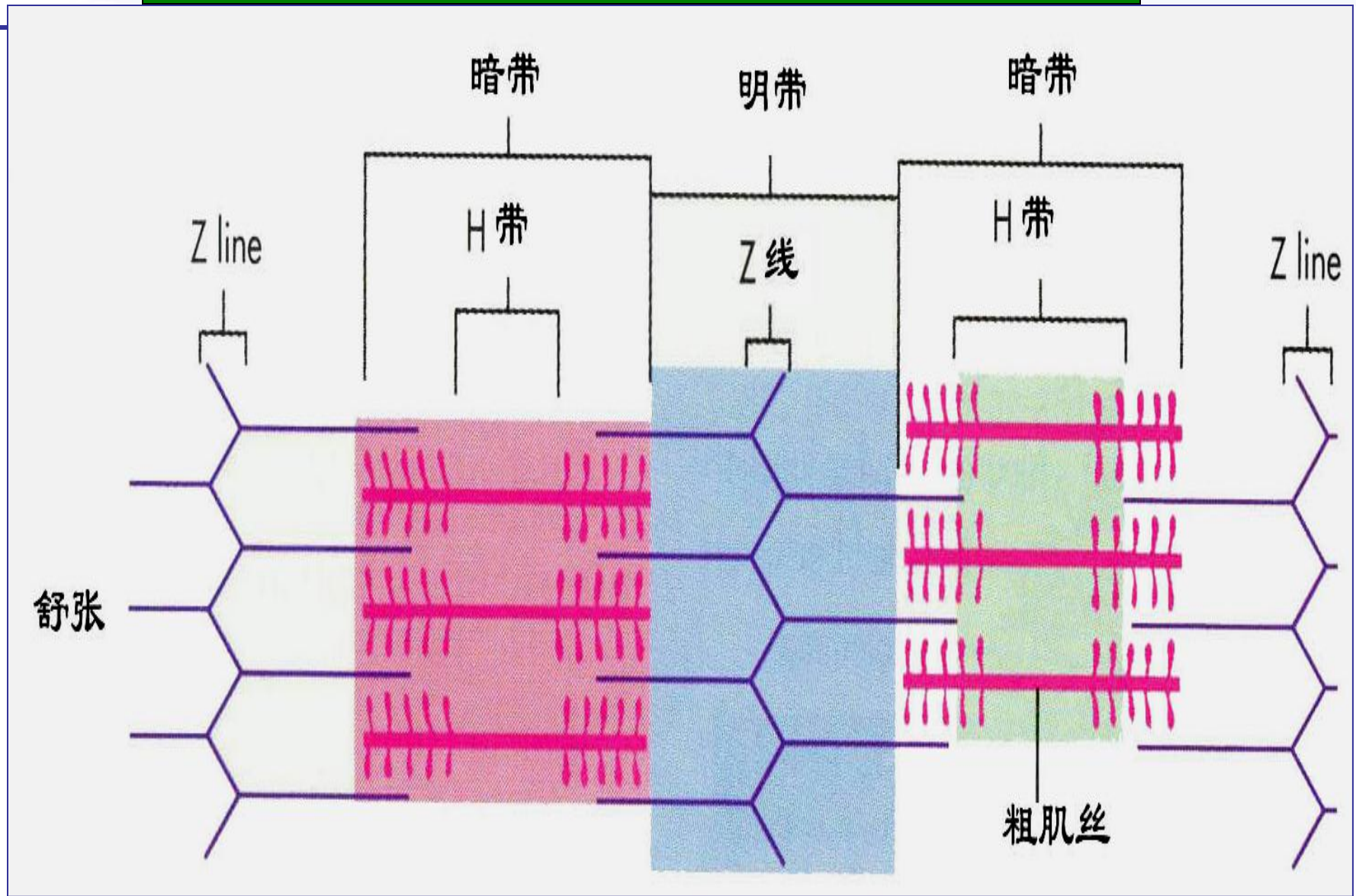
肌小节：两条Z线之间的区域

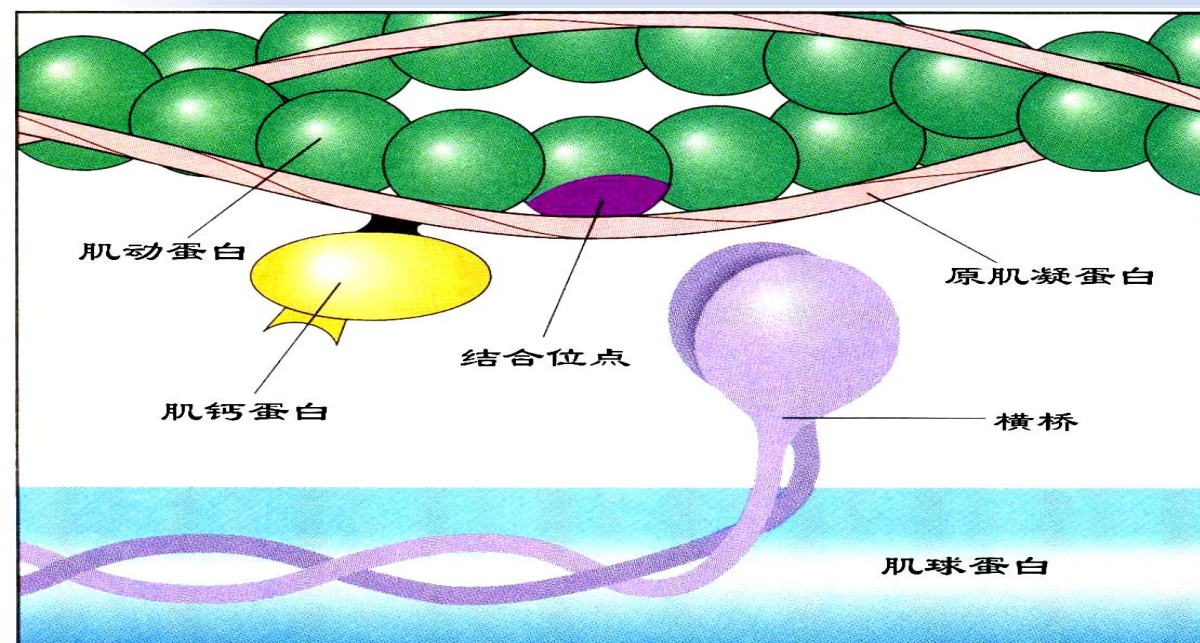
粗肌丝：直径约10nm

细肌丝：直径约5nm



粗肌丝和细肌丝的空间排列示意图

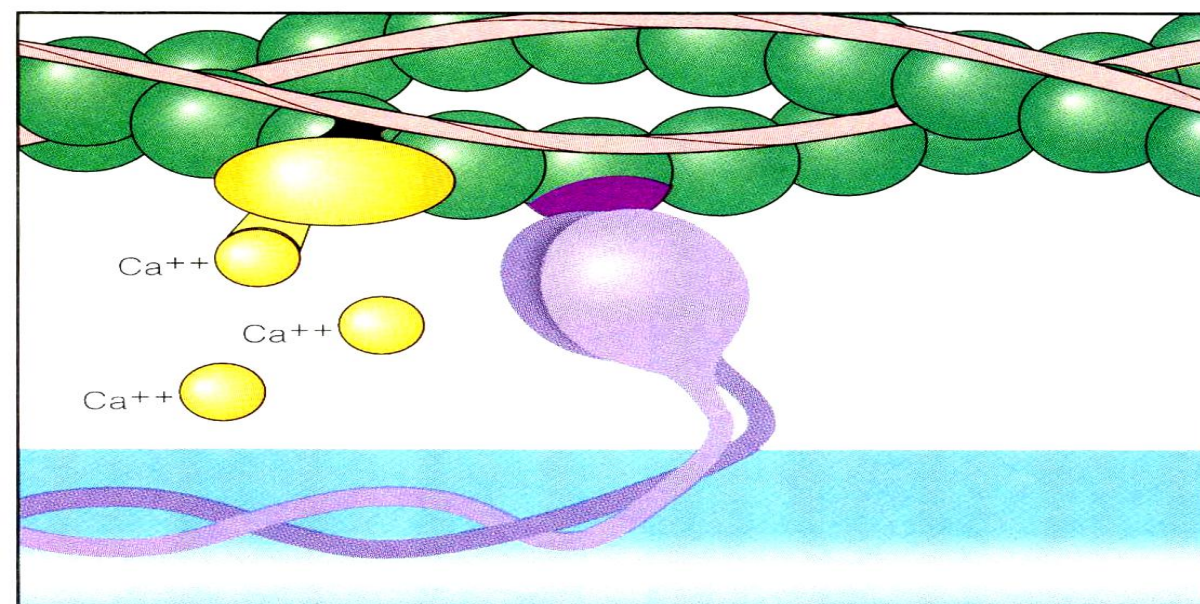




①粗肌丝头部的横桥能与细肌丝上的结合位点可逆性结合；

②静息时，细肌丝的肌钙蛋白对原肌球蛋白有抑制作用；

③原肌球蛋白对肌动蛋白上结合位点有覆盖作用。

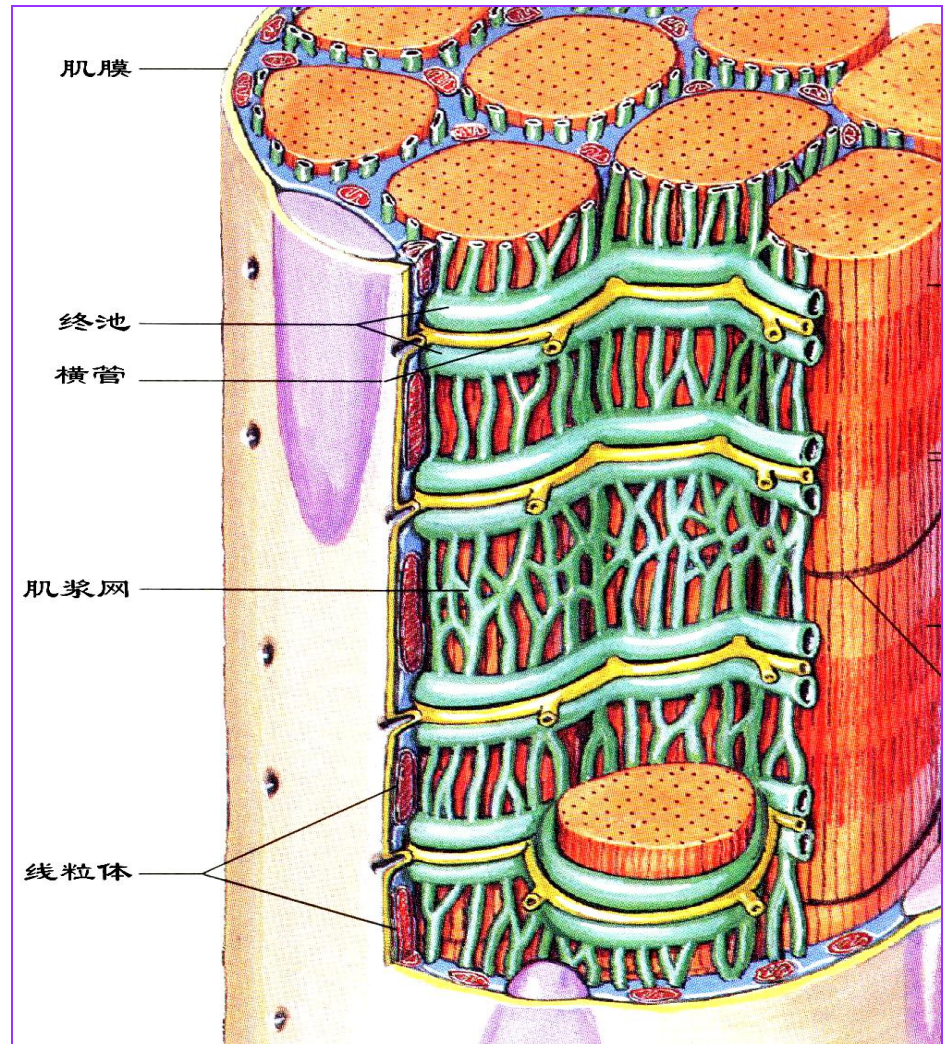


横管: 又称T管, 是肌膜向细胞内凹入而成, 凹入位置与各Z线水平。

纵管: 又称L管, 肌浆网。

终池: 肌浆网在接近横管处形成特殊的膨大。

三联管: 每一横管和两侧的终池构成。是 Ca^{2+} 的储存库, 实现 Ca^{2+} 的储存、释放和再积聚。



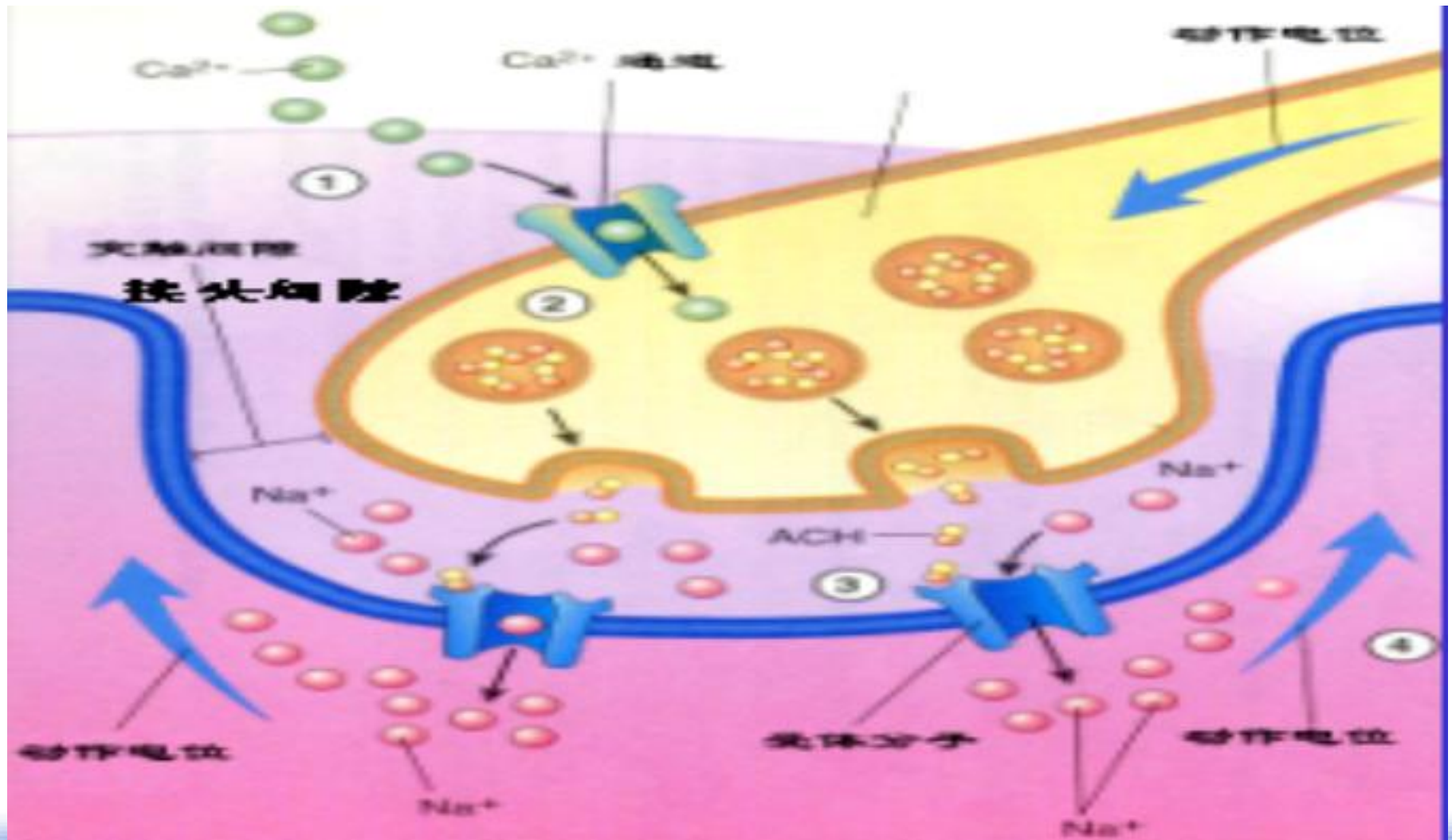
(一) 兴奋在神经—肌肉接点的传递

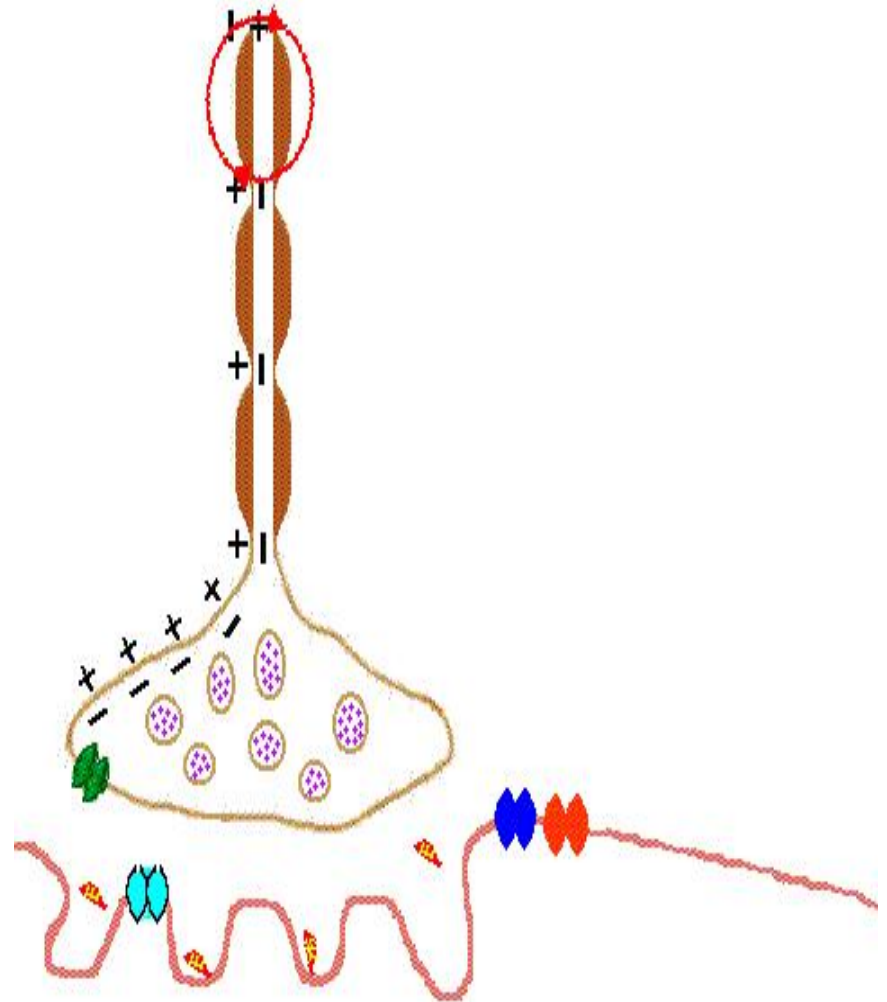
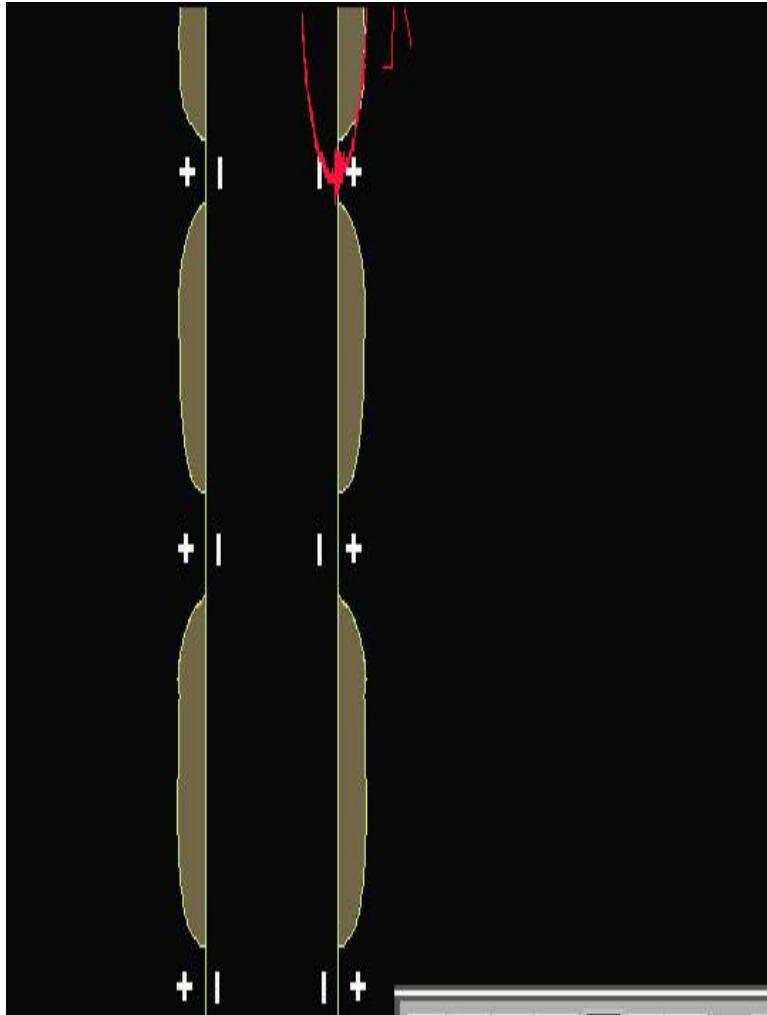
(二) 肌肉的兴奋—收缩耦联

(三) 肌肉的收缩与舒张过程



1. 神经-肌肉接点的结构





-
- 神经冲动神经纤维神经—肌肉接点 → Ca^{2+} 通道开放 → 细胞外液 Ca^{2+} 进入突触前膜 → 使突触前膜释放ACh → ACh进入突触间隙 → 扩散到达突触后膜（运动终板） → ACh与突触后膜的受体结合 → 引起运动终板对钠离子的通透性改变 → 导致运动终板去极化，形成终板电位 → 终板电位通过局部电流作用，使邻近肌细胞膜去极化产生动作电位 → 实现兴奋由神经传递给肌肉。
 - 胆碱酯酶：2ms内将ACh水解失活，维持神经—肌肉接头正常的传递功能。

①化学传递

- 通过化学递质—乙酰胆碱传递。

②兴奋传递节律是一对一的

- 每次神经纤维兴奋都可引起一次肌肉细胞兴奋。

③单向传递

- 兴奋只能由神经末梢传向肌肉，而不能相反。

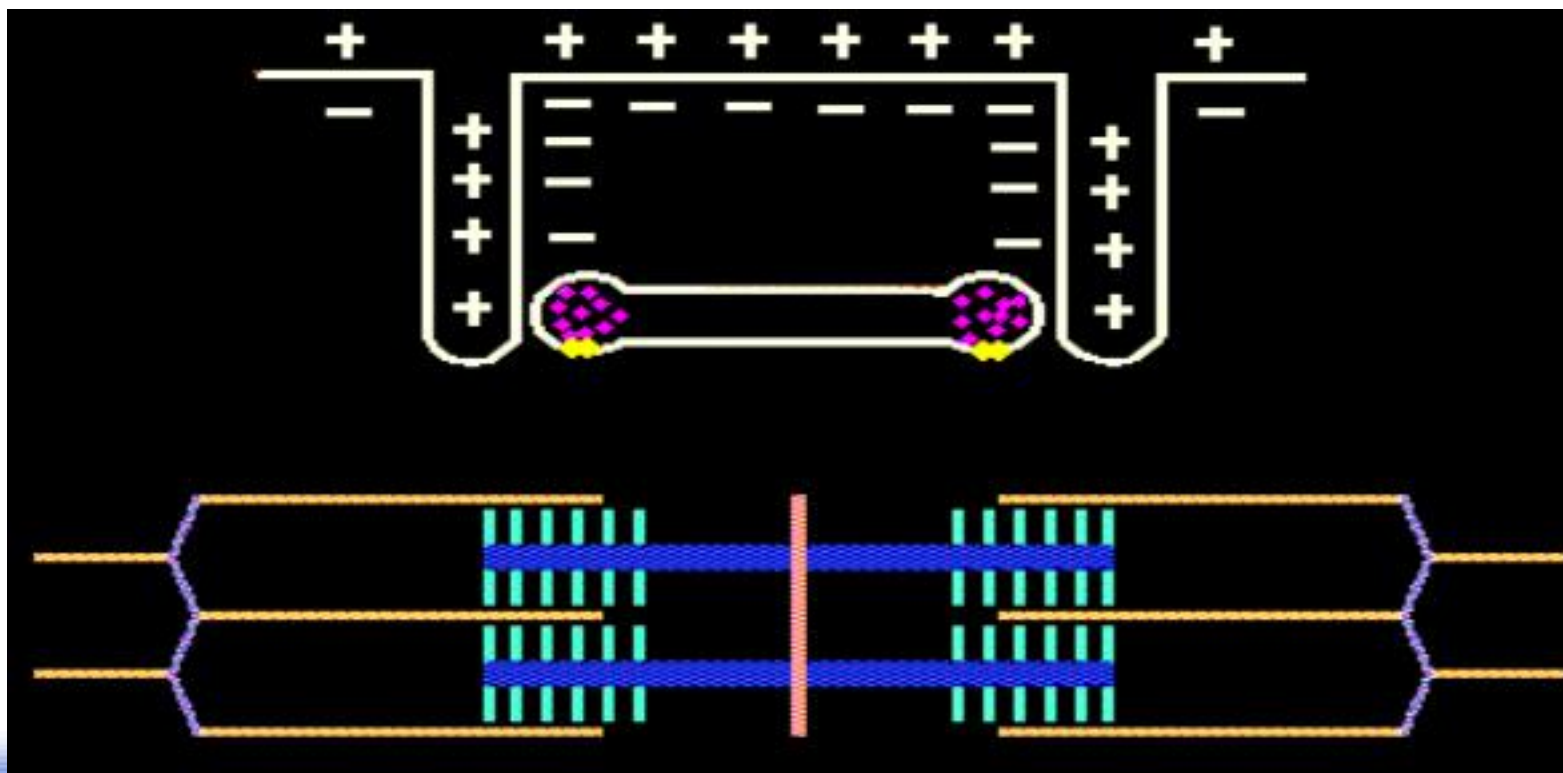
④时间延搁

- 兴奋的传递要经历递质的释放、扩散和作用等多个环节，因而传递速度缓慢。

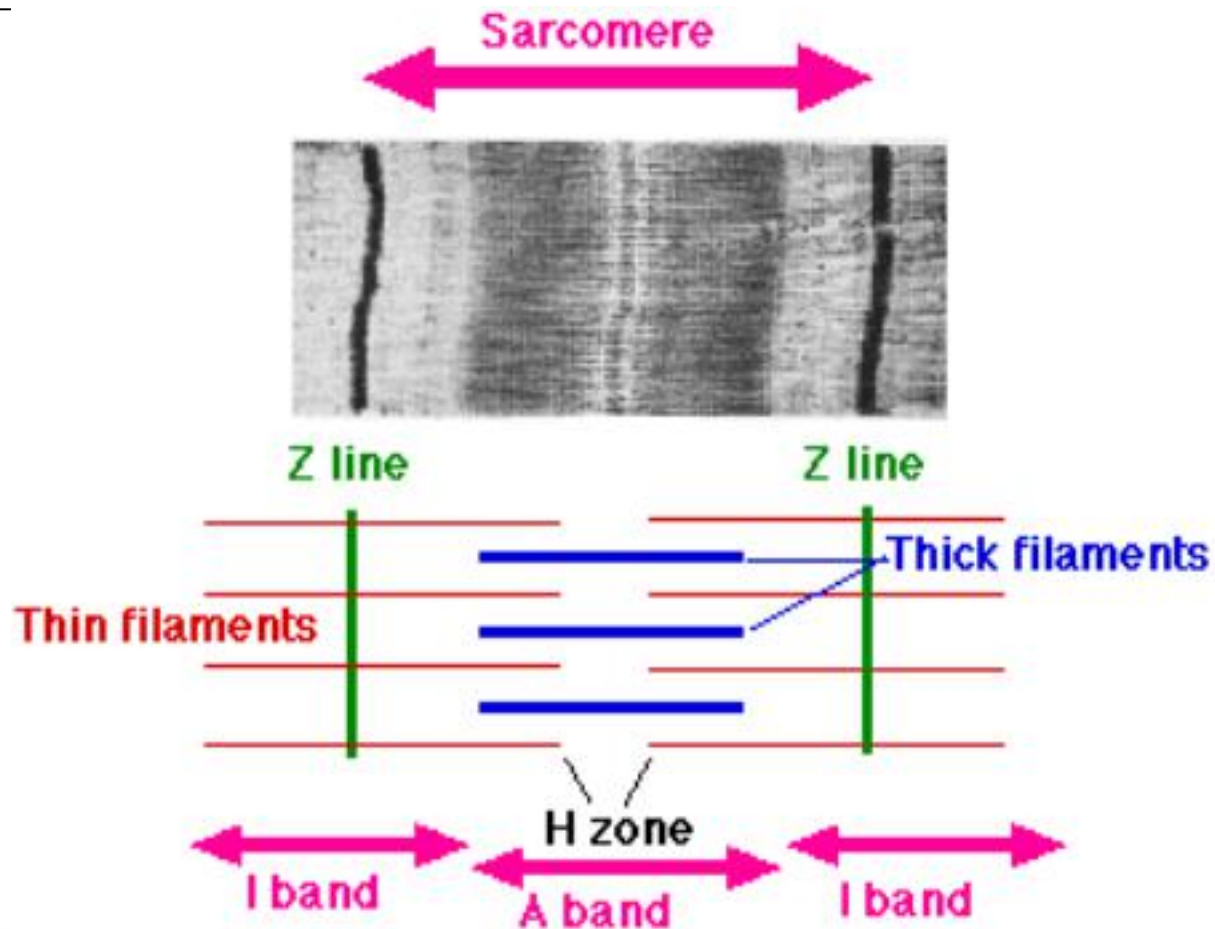
⑤高敏感性

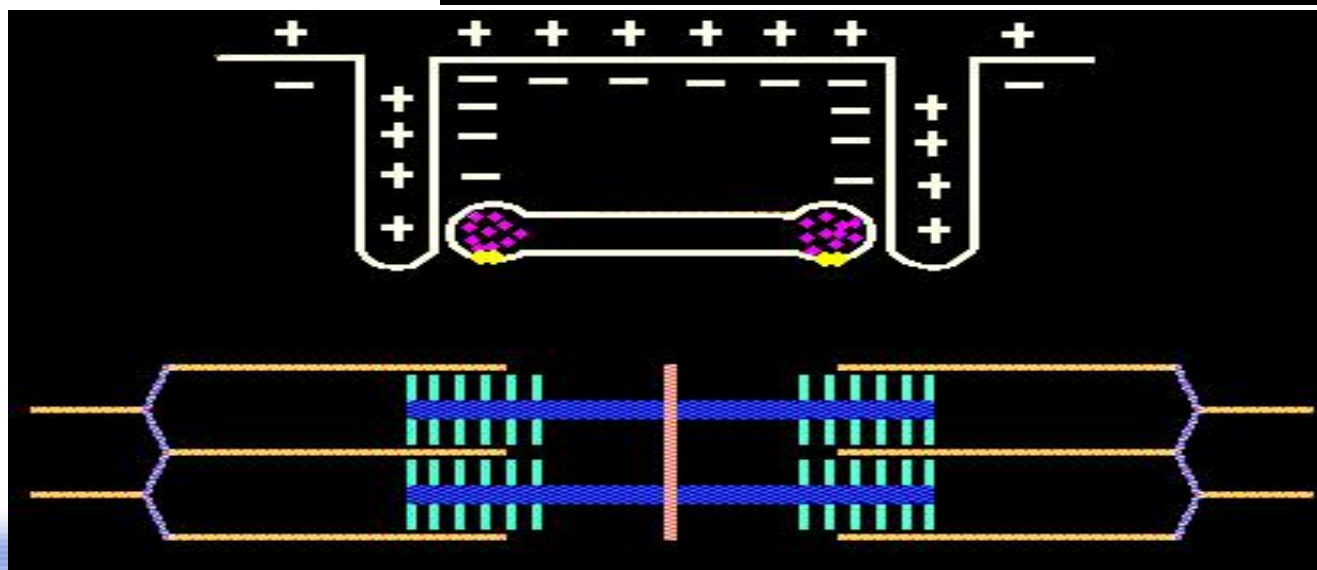
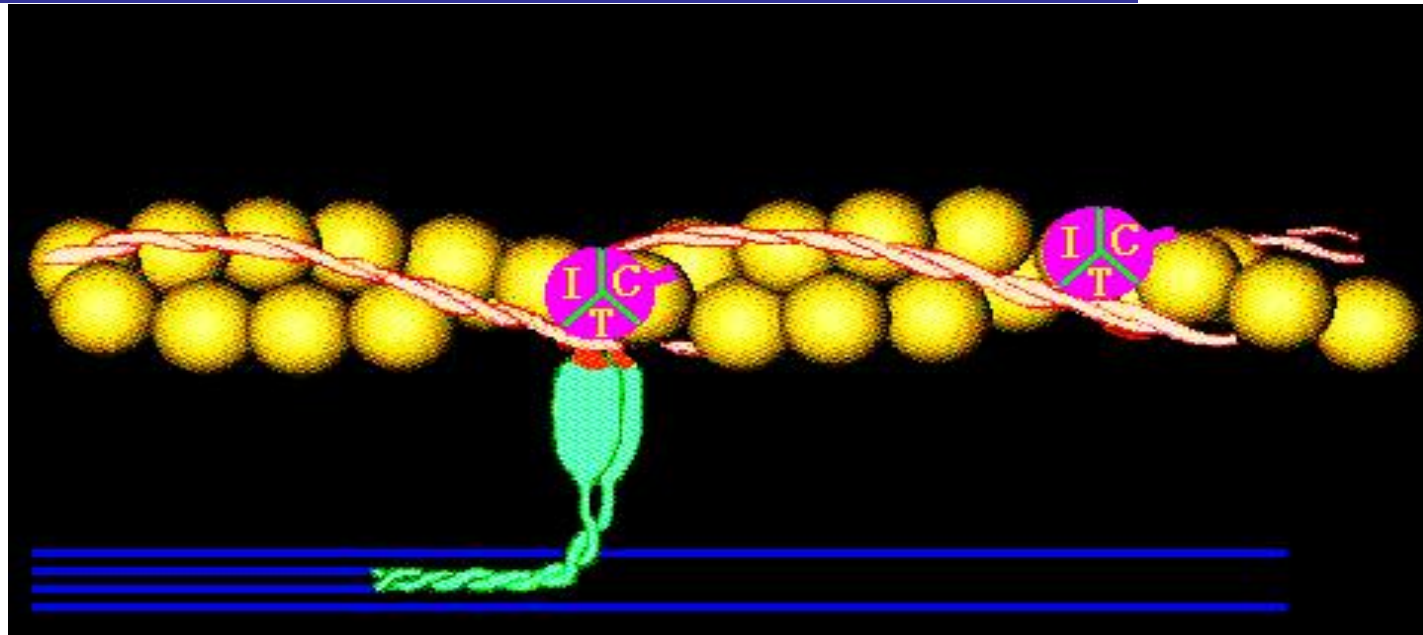
- 易受化学和其它环境因素变化的影响，易疲劳。

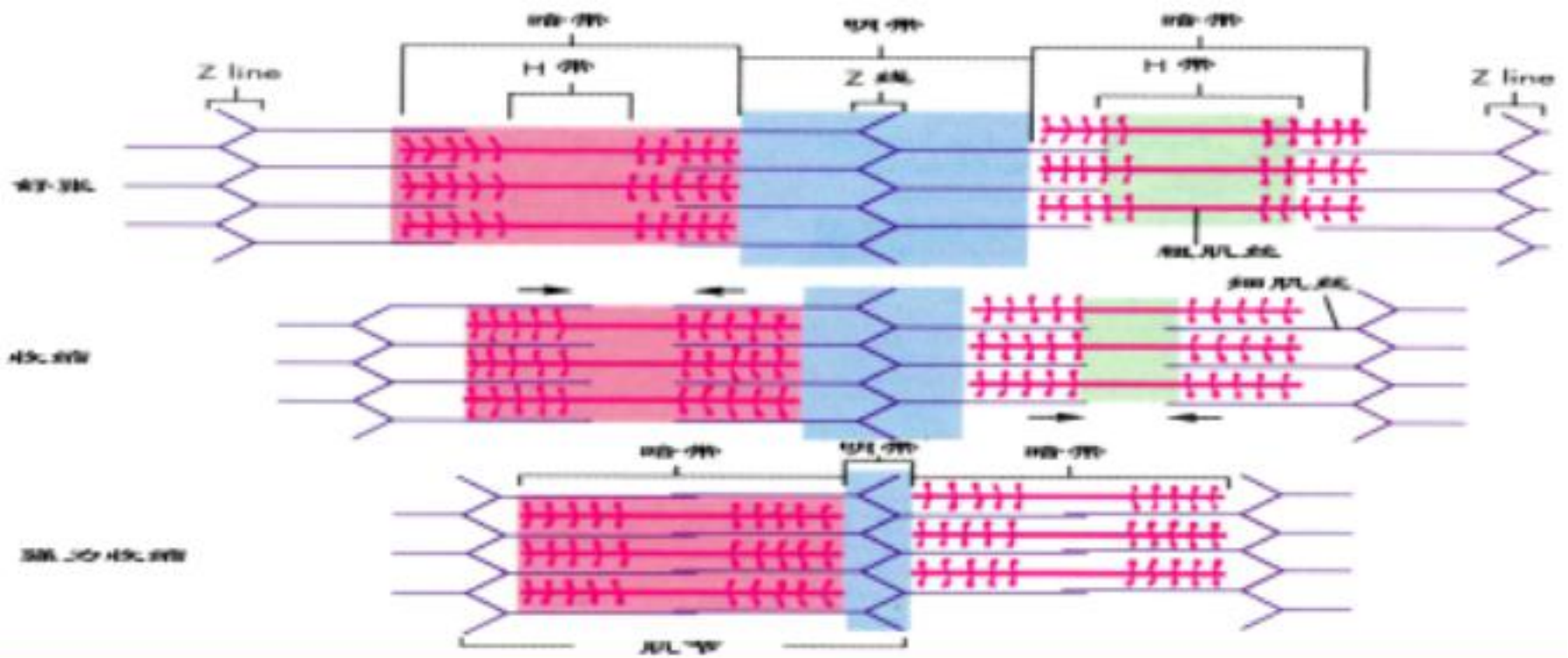
- 三个主要环节：
 - (1) 电兴奋通过横管系统传向肌细胞深处
 - (2) 三联管结构处的信息传递
 - (3) 终池中的 Ca^{2+} 释放和再聚积



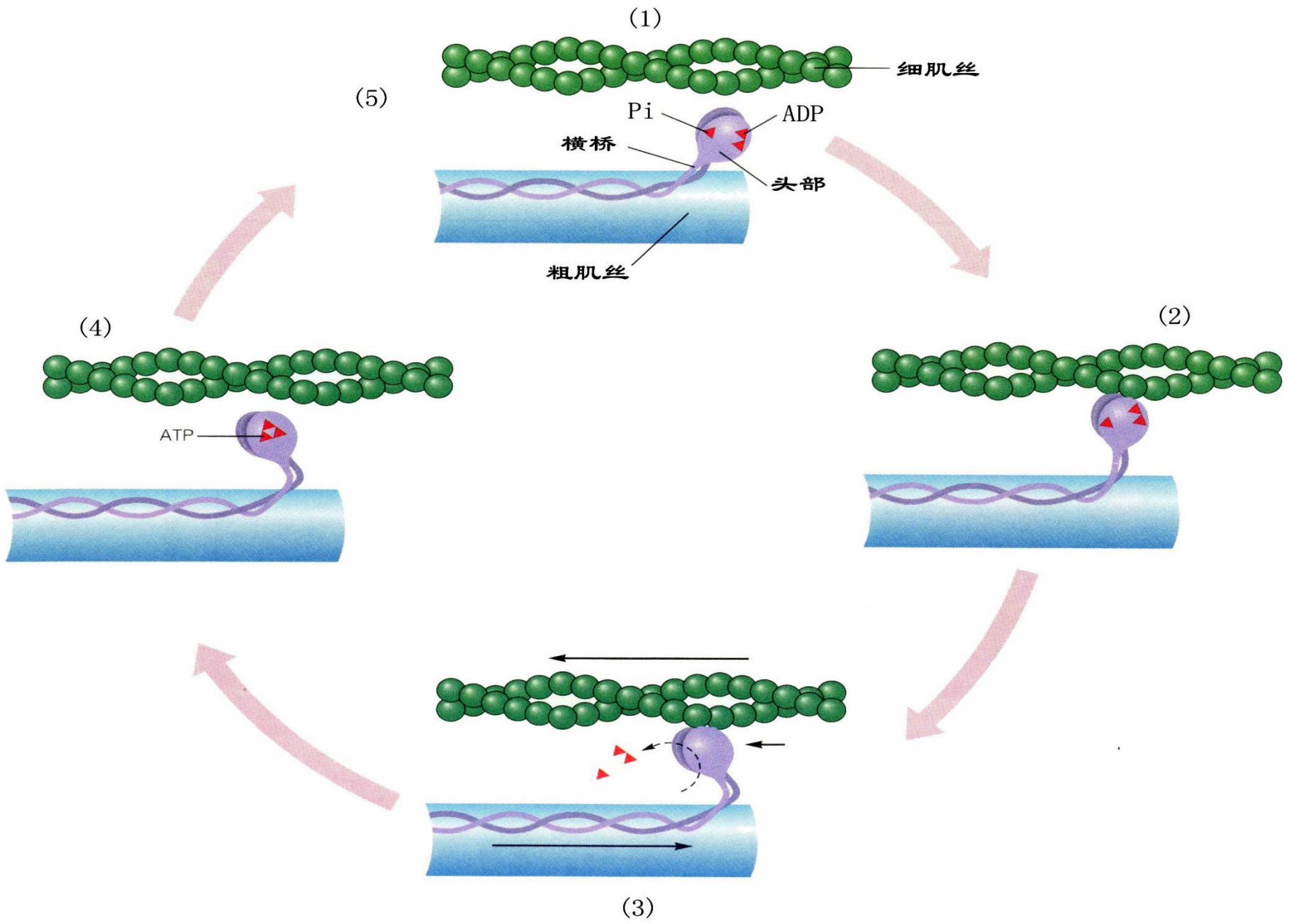
肌丝滑行理论：每个肌小节内发生细肌丝向粗肌丝之间的滑行，出现明带的长度缩短，而暗带长度不变，相应H区变窄。







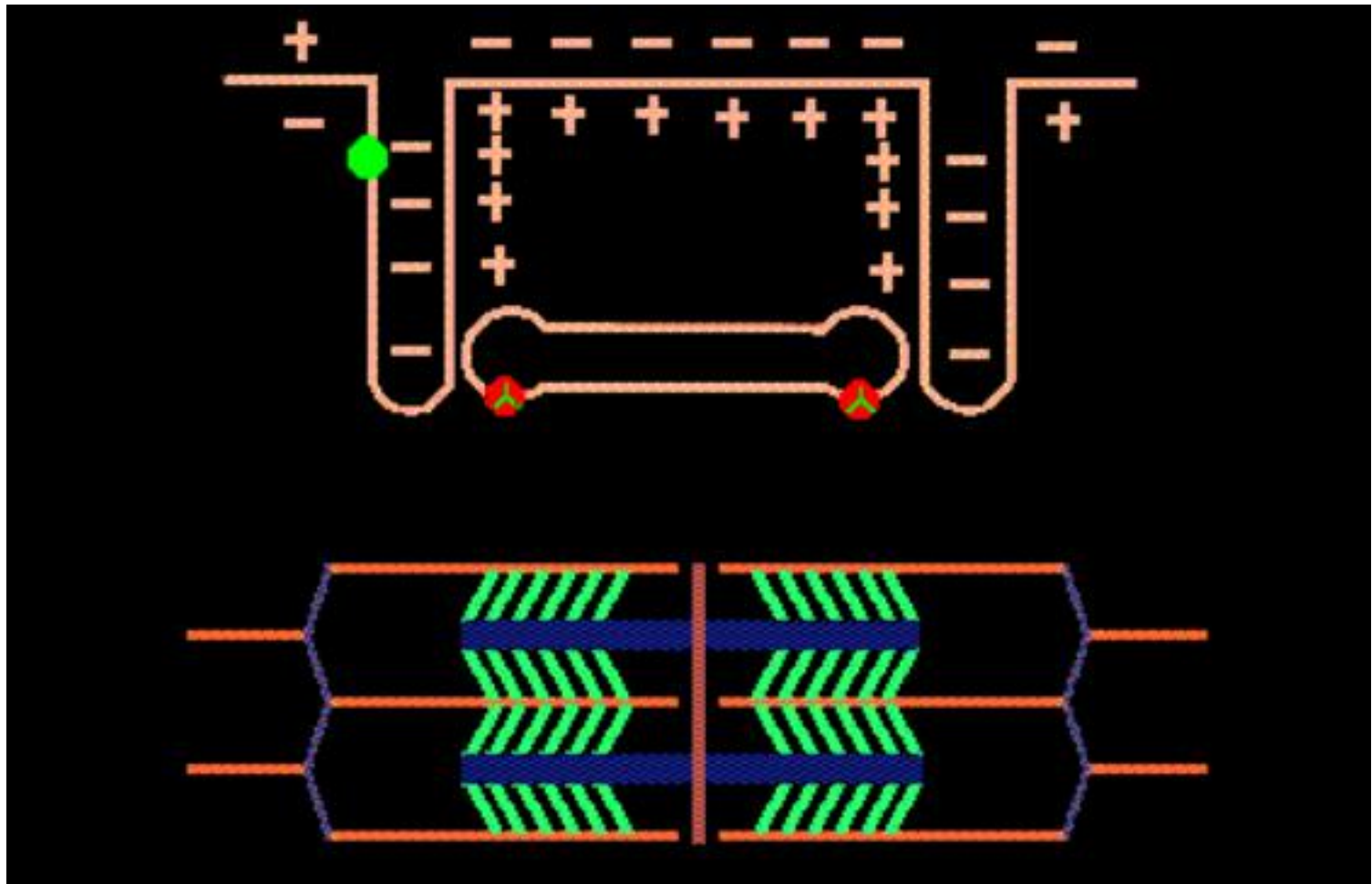
肌肉缩短图



(3)
肌丝滑行原理

-
- 肌丝滑行理论：
 - 终池释放 Ca^{2+} →粗肌丝上的横桥与细肌丝上横桥的结合位点相结合→横桥头部的 ATP 分解释放能量→横桥头部获得能量向粗肌丝中心方向倾斜摆动→牵拉细肌丝向肌节中央滑行→肌节缩短→肌纤维缩短。
 - 只要肌浆中 Ca^{2+} 浓度不下降，横桥循环运动就不断进行下去。

肌肉的舒张



肌肉的舒张

- 神经冲动停止→终池停止释放 Ca^{2+} 并通过钙泵回收 Ca^{2+} → 肌浆 Ca^{2+} 浓度下降→横桥与细肌丝分离→粗、细肌丝依本身弹性退回到原来的位置→肌节变长→肌肉舒张。



第三节 肌肉收缩的形式与力学特征

一、肌肉的收缩形式

(一) 缩短收缩

1. 非等动收缩（等张收缩）：负荷与张力不等同。
2. 等动收缩：负荷与张力等同。

(二) 拉长收缩，起着制动、减速和克服重力等作用。

(三) 等长收缩，对运动环节固定、支持和保持身体某种姿势起重要作用。

缩短收缩和拉长收缩联系在一起，形成牵张—缩短环。能产生更大的力量或输出功率。如跑步，先屈髋、屈膝等。



肌肉三种收缩形式的比较

| 工作形式 | 肌肉长度变化 | 外力与肌张力比较 | 在运动中的功能 | 肌肉对外所做的功 | 能量供给率 |
|------|--------|----------|---------|----------|--------|
| 缩短收缩 | 缩短 | 小于肌张力 | 加速 | 正 | 增加 |
| 拉长收缩 | 拉长 | 大于肌张力 | 减速 | 负 | 减少 |
| 等长收缩 | 不变 | 等于肌张力 | 固定 | 未 | 小于缩短收缩 |

肌肉收缩的张力与速度关系

后负荷：肌肉开始收缩时才遇到的负荷或阻力。

张力-速度曲线：固定前负荷不变, 让肌肉在不同的后负荷条件下进行等张收缩。把肌肉所产生的张力和缩短初速度绘成坐标曲线。

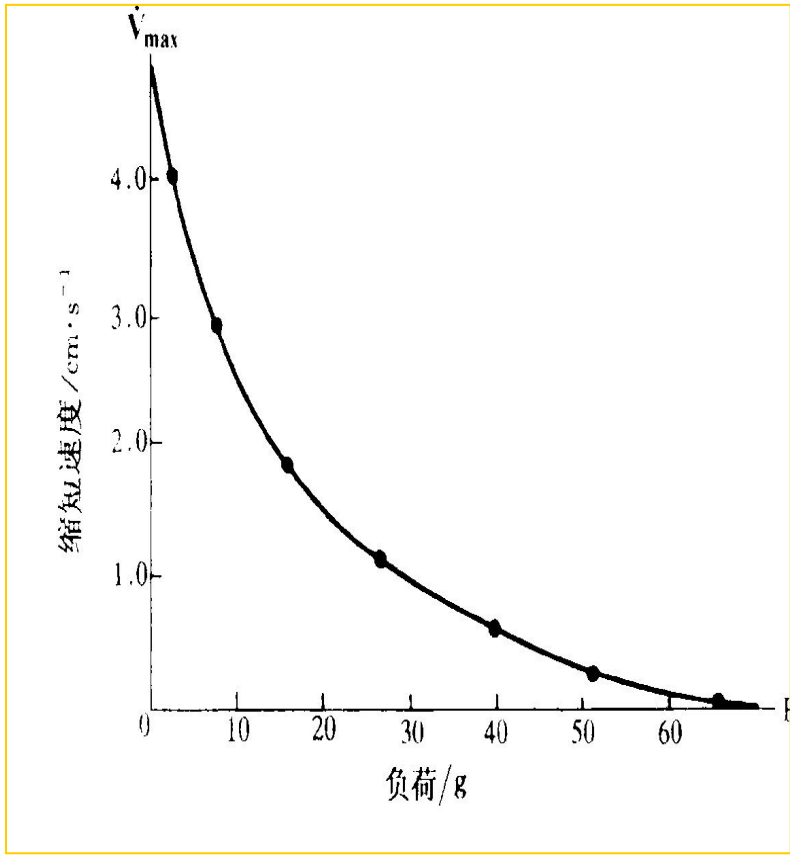
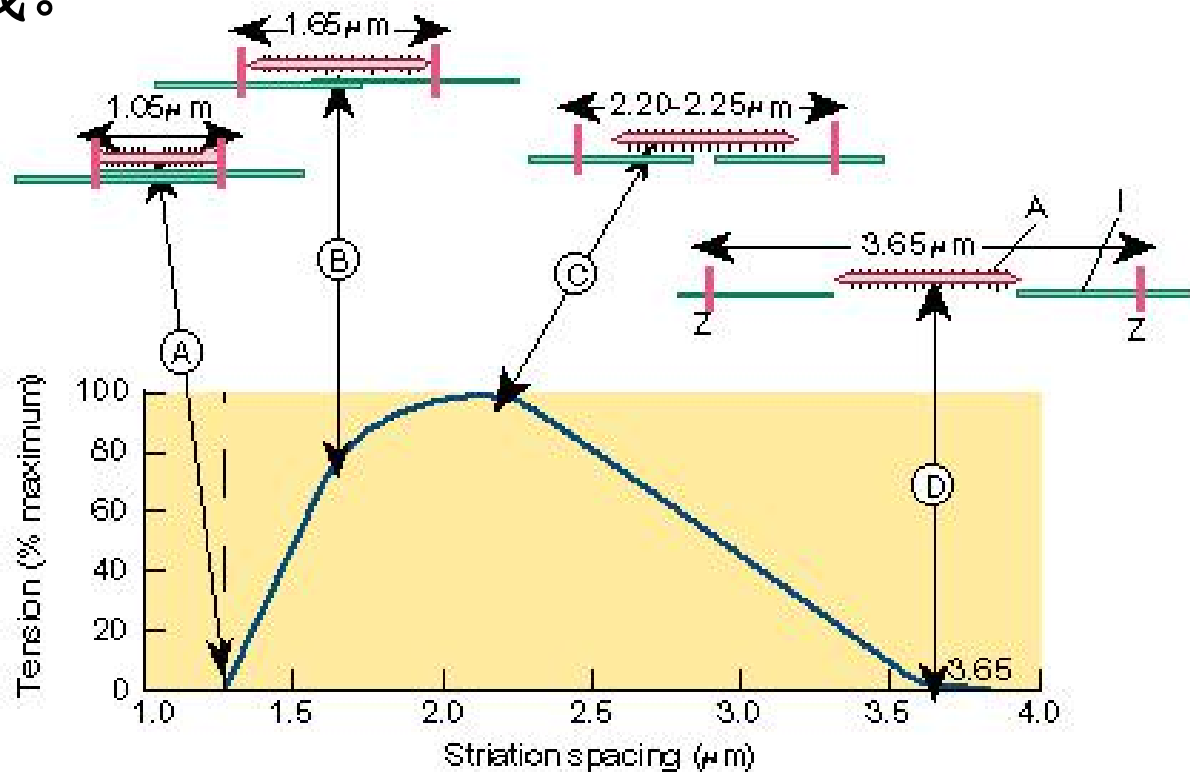


图2-10 肌肉收缩的张力-速度关系

前负荷 (preload) : 肌肉收缩之前所遇到的负荷。

初长度 (initial length) : 肌肉收缩之前的长度。

长度—张力曲线: 肌肉在不同前负荷作用下长度与张力的变化曲线。



适宜初长度：引起肌肉收缩张力最大的初长度称为适宜初长度。

生理机制：

肌肉初长度处于适宜水平时，肌节长度约**2.0~2.2**微米，粗、细肌丝正处于最理想的重叠状态，起作用的横桥数目最多，表现收缩张力最大。



第四节 肌纤维类型与运动能力

一、人类肌纤维类型的类型

慢肌（I型）**ST**

快肌（II型）**FT** { 快**A**（II**a**）（代谢兼有快、慢肌特征）
快**B**（II**b**）（典型快肌）
快**C**（II**c**）（过渡型，未完全分化，数量较少）

两类肌纤维形态特征对比

| 形态特征 | I 型（慢肌） | II 型（快肌） |
|----------|---------|----------|
| 肌原纤维直径 | 细 | 粗 |
| 肌原纤维数量 | 少 | 多 |
| 肌浆网(内质网) | 不发达 | 发达 |
| 线粒体 | 数量多，容积大 | 数量少，容积小 |

I、II型肌纤维形态特征对比

| 形态特征 | I型（慢肌） | II型（快肌） |
|-----------------|--------|---------|
| α -运动神经元 | 小 | 大 |
| 突触的囊泡数量 | 少 | 多 |
| 终板面积 | 小 | 大 |
| 毛细血管网 | 较丰富 | 不太丰富 |

I、II型肌纤维生理特征对比

| 生理特征 | I型（慢肌） | II型（快肌） |
|-------|--------|---------|
| 无氧能力 | 低 | 高 |
| 有氧能力 | 高 | 低 |
| 收缩速度 | 慢 | 快 |
| 收缩力量 | 小 | 大 |
| 抗疲劳能力 | 强 | 弱 |

- 低强度、轻负荷运动：优先动员慢肌纤维。
- 随运动强度增加：快肌纤维逐渐被动员。
- 高强度运动：快肌纤维被动用的百分比大于慢肌纤维。



第五节 肌电图 (EMG)

肌电信号的引导和记录

针电极引导出的肌电图是将针电极插入肌肉检测记录到的。

表面肌电图（sEMG）是从肌肉表面通过电极引导、记录下来的神经肌肉系统活动时的生物电信号。

运动单位电位：一个运动单位的部分肌纤维电活动的总和。

运动单位的波形有单相、双相、三相和多相之分。

正常肌肉单相波单位占**15%**、双相及三相波电位占**80%**，多相波电位较少，约占**5%**。

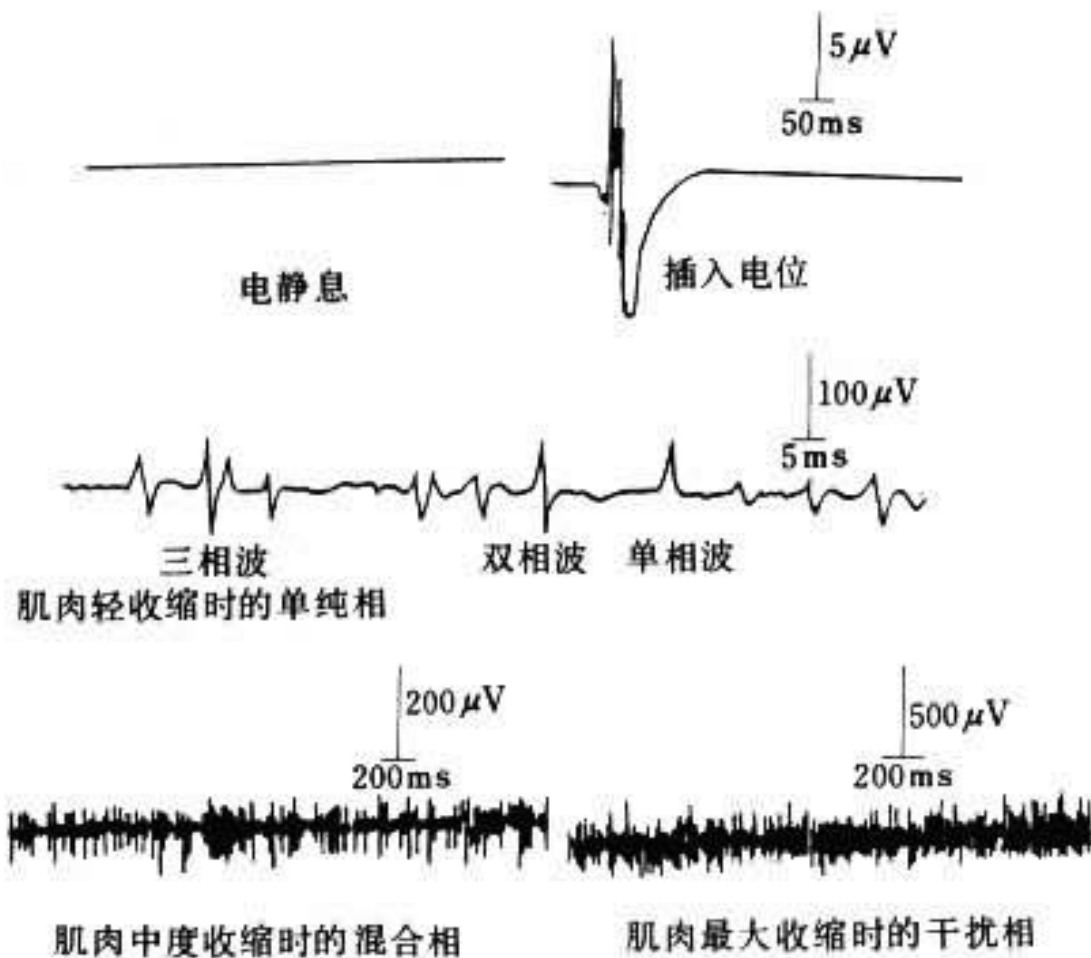


图2 正常肌电图

何为EMG（肌电图）？

肌电图(electromyography, EMG)是将单个或多个骨骼肌细胞活动时的生物电变化加以引导、放大、显示和记录所获得的一维时间序列图形。

根据生物电活动引导方法的不同分为表面肌电图(sEMG)和针电极肌电图(nEMG)。由于其可反应肌肉的兴奋程度，因此经常被用来评定神经-肌肉系统的功能状态。

目前用于评价肌电图的主要指标包括sEMG信号线性分析中时域分析的振幅、积分肌电值(iEMG)、均方根值(RMS)和频域分析的肌电功率谱、平均功率频率(MPF)和中位频率(MF)等，非线性动力学分析中的肌电复杂度、信息熵和Lyapunov指数等。

为何要进行EMG（肌电图）分析？

肌肉运动，是以肌肉收缩作为动力、关节作为枢纽、骨骼作为杠杆来完成的。运动时，全身主要关节和肌群都会参与其中，包括主动肌（原动肌）、协同肌、对抗肌和支持肌。

受制于每块肌肉的起点、止点、跨关节数目以及用力方向的不同，在步行动作的不同时相，这些肌群的角色还必须发生变化。

运动sEMG在运动评价中的作用

运动sEMG是指受试者进行一个有目的的运动活动（尤其是肢体的周期性活动，如步行、跑步等）过程中，运用多通道sEMG同步、动态地记录各个相关肌肉的运动输出。

在这些活动中，sEMG是唯一可以实时、动态观测行进过程中各个相关肌肉的作用、作用开始时间、终止时间、与其他肌肉间协同关系、身体中轴各个身体环节在动态稳定中的作用的方法。

sEMG在康复评价中的作用

∞ 为客观、定量地评价肌肉做功提供了安全、简易、无创的方法。

获取有关肌肉做功的有价值信息，不需要用针刺穿皮肤记录一个或多个运动单位电位变化，直接在皮肤表面即可获取这些信息。

∞ 观察肌肉活动的协同模式。

可以通过多通道记录肌肉在完成不同活动时不同的激活模式，以及不同肌肉或肌群参与情况。**sEMG**既可以观察肌肉静息时的紧张情况，也可以记录肌肉静态运动或动态运动过程中持续的肌肉激活情况。

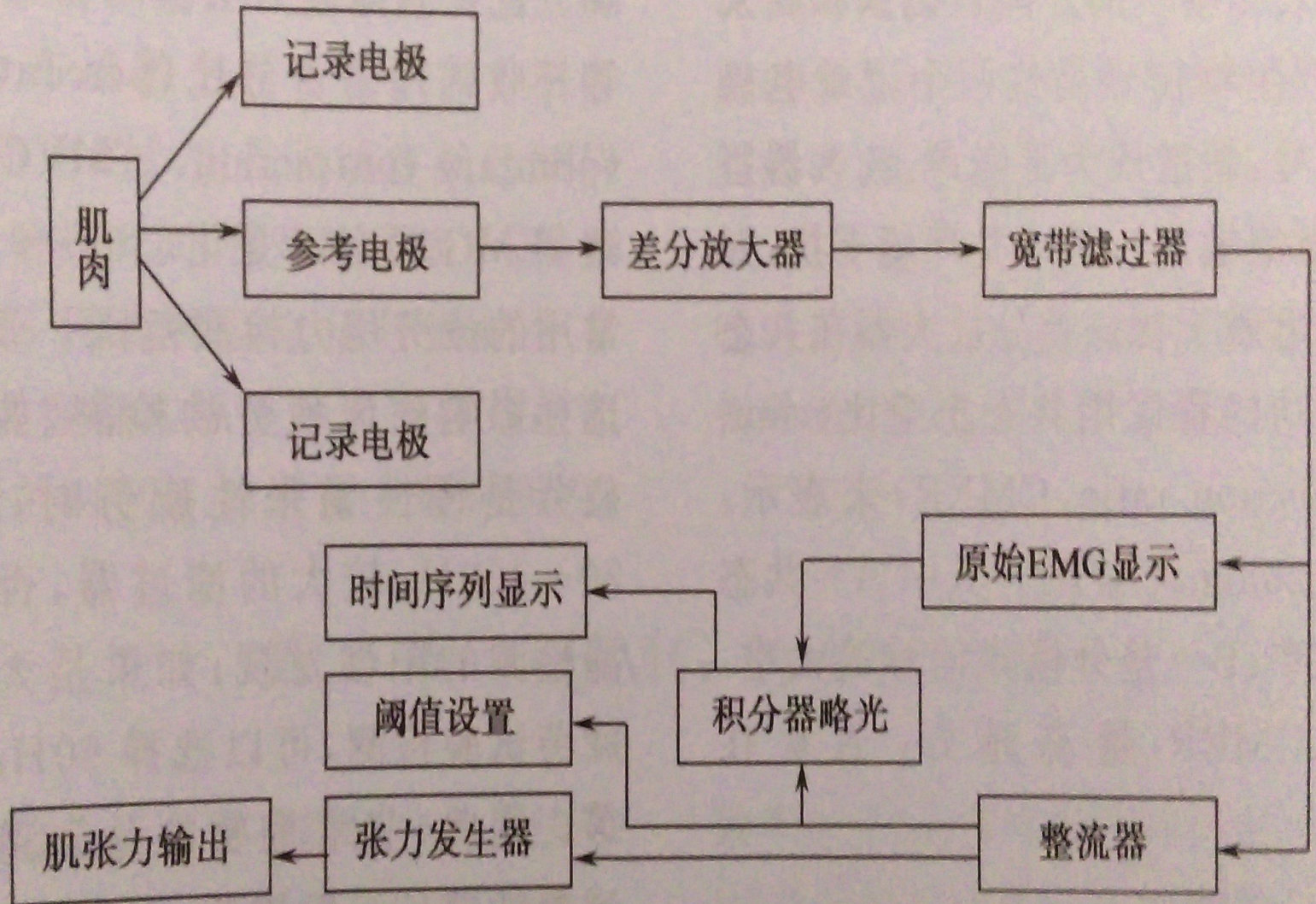
∞ 可为治疗人员提供治疗是否有效的反馈信息。

sEMG可以反映神经肌肉控制情况，因此通过所获得的**sEMG**信息可为治疗人员了解正常运动功能和功能障碍的机制提供帮助。此外，还可为患者提供神经肌肉再教育和自我调节的生物反馈训练信号。

∞ 医疗保险的重要依据。

sEMG所获得的客观信息，可为医疗保险、工伤保险等提供重要依据。

sEMG仪工作原理



sEMG仪信号来源

信号来源是运动单位电位，是肌肉收缩过程中所激活的运动单位动作电位的总和。sEMG通过皮肤表面的电极片接收到这些电变化信号，并通过放大器放大显示出来。

由于电极位于覆盖肌肉的皮肤表面，所以，越接近记录电极的运动单位电位，越容易被记录到，而距离电极较远的运动单位电位则记录的相对较少（受生物组织阻抗的影响，电传导衰减）。脂肪（不全绝缘体）越厚，肌电信号量越少。

sEMG记录时的皮肤电阻抗

皮肤电阻影响记录效果，通常皮肤电阻应位于**5000-10000ohms**或以下。皮肤电阻越低，记录信号越清晰。

影响皮肤电阻的因素包括：皮肤的湿度；皮肤上的油层厚度；皮肤角质层密度以及表面死皮等。故需要对皮肤进行适当处理：**刮毛，酒精搽拭或打磨皮肤等，并注意贴紧电极**（尤其动态肌电图）。

sEMG的分析方法

一、sEMG信号振幅定量分析（时域分析）

最常用参数是平均肌电图、积分肌电图和均方根。

平均肌电图（**AEMG**）指一定时间内**sEMG**信号的绝对值。

积分肌电图（**iEMG**）代表在一个已知时间段内整流的**sEMG**的代数平均值。

均方根（**RMS**）是将**sEMG**先行平方，使之变正值，然后对其进行总和，再用观察的信号数去除。它能够比较直接地反应**sEMG**的电功率，有更直接的生理意义。

二、sEMG信号的频谱分析（频域分析）

最常用参数是中位频率和平均功率频率。

中位频率（MF）指频率谱被分为相等的两部分的频率。

平均功率频率（MPF）整个事件段内频率谱的平均值。

典型的MF在70-120Hz，相应的时间是10-20ms。

疲劳时，MF和MPF降低。在应用中，也经常用到MF和MPF曲线的下降斜率，斜率大，表示神经肌肉疲劳快；下降慢，表明肌肉比较耐受疲劳。

三、sEMG信号的幅频联合分析

同时考虑振幅和频谱变化的一种新的疲劳测定方法。

振幅增长代表肌肉力量增长，或肌肉疲劳发生。振幅降低代表肌肉力量下降，或未疲劳。

频率功率谱曲线左移代表肌肉疲劳，或肌肉力量减小，右移则表示肌肉尚未疲劳，或肌肉力量增强。

当幅频联合分析时可以产生四种情况：

- ∞ 振幅增加，频率谱右移：肌肉力量增加。
- ∞ 振幅增加，频率谱左移：肌肉疲劳。
- ∞ 振幅减小，频率谱左移：肌肉萎缩，肌力减小。
- ∞ 振幅减小，频率谱右移：肌肉疲劳逐渐恢复。

四、sEMG多通道同步信号分析（肌肉激活顺序分析）

在评价运动效果时，更多地使用多通道sEMG。 ，同时监测肌肉激活与否，以及激活程度。

对活动进行肌肉激活顺序分析，可以了解各个肌肉在哪一时相发挥作用，发挥多大作用，并且可区分主动肌、协同肌和对抗肌，并了解该项活动的神经肌肉控制情况。

例如：运动时，同时记录臀大肌、臀中肌、股四头肌、腓绳肌、胫骨前肌和小腿三头肌，可以了解站立相和摆动相各个肌肉的动员与作用大小。

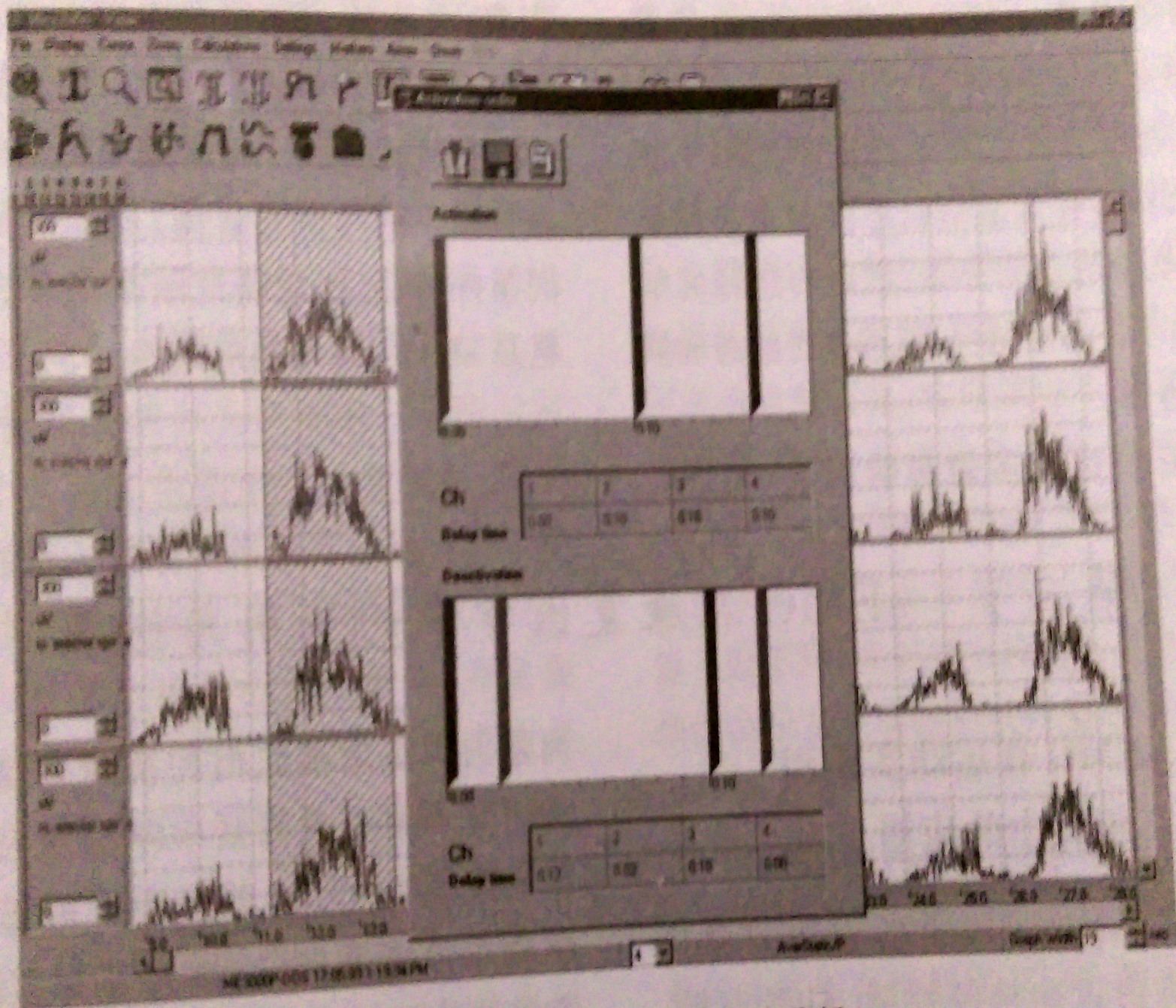


图 8-9 sEMG 激活肌肉顺序分析

sEMG监测神经-肌肉控制

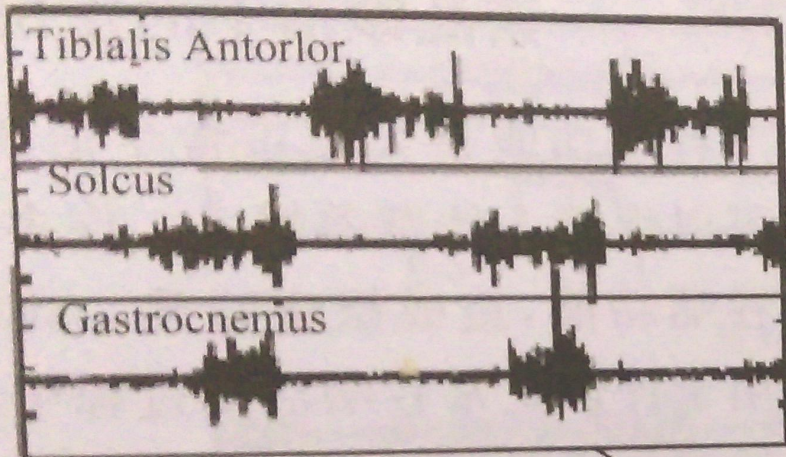
神经发放冲动的**同步性和放电频率**可以反映神经对肌肉的控制能力。

如果神经冲动发放同步性增强，或神经的放电频率增快，就能使一块肌肉（或协同用力肌群）多个运动单位的活动同步化程度提高，肌力增强，肌肉工作效率提高。

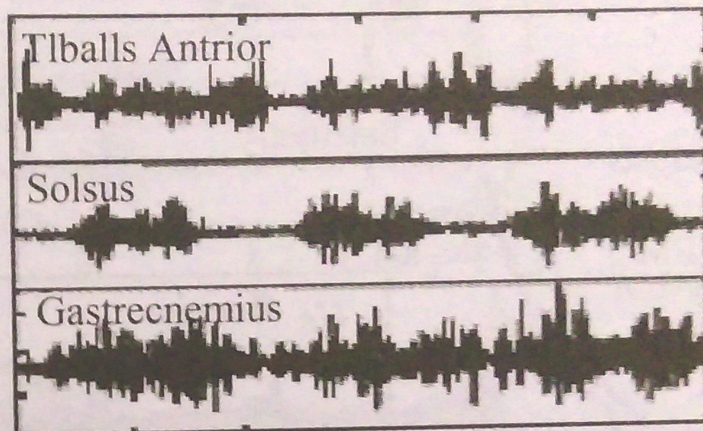
sEMG可以鉴别**增龄变化**、**各种损伤后神经肌肉控制能力的异常**，并监测**康复训练后神经肌肉控制能力的改善**。

sEMG在运动分析中的应用

Healthy Co-ordination
Surface-EMG

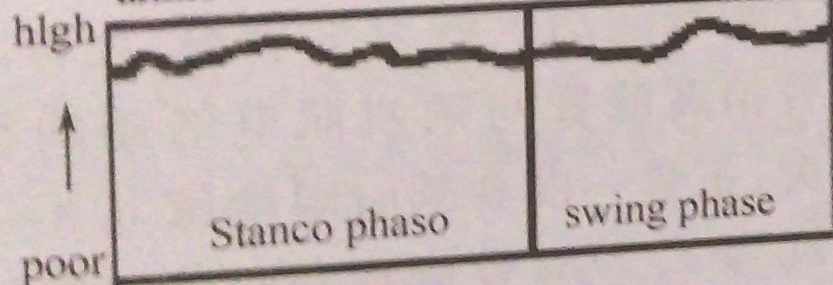


Spastic Co-ordination
Surfac-EMG

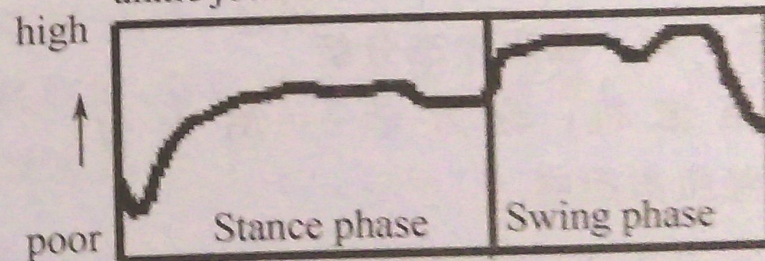


Fuzzy-Inference

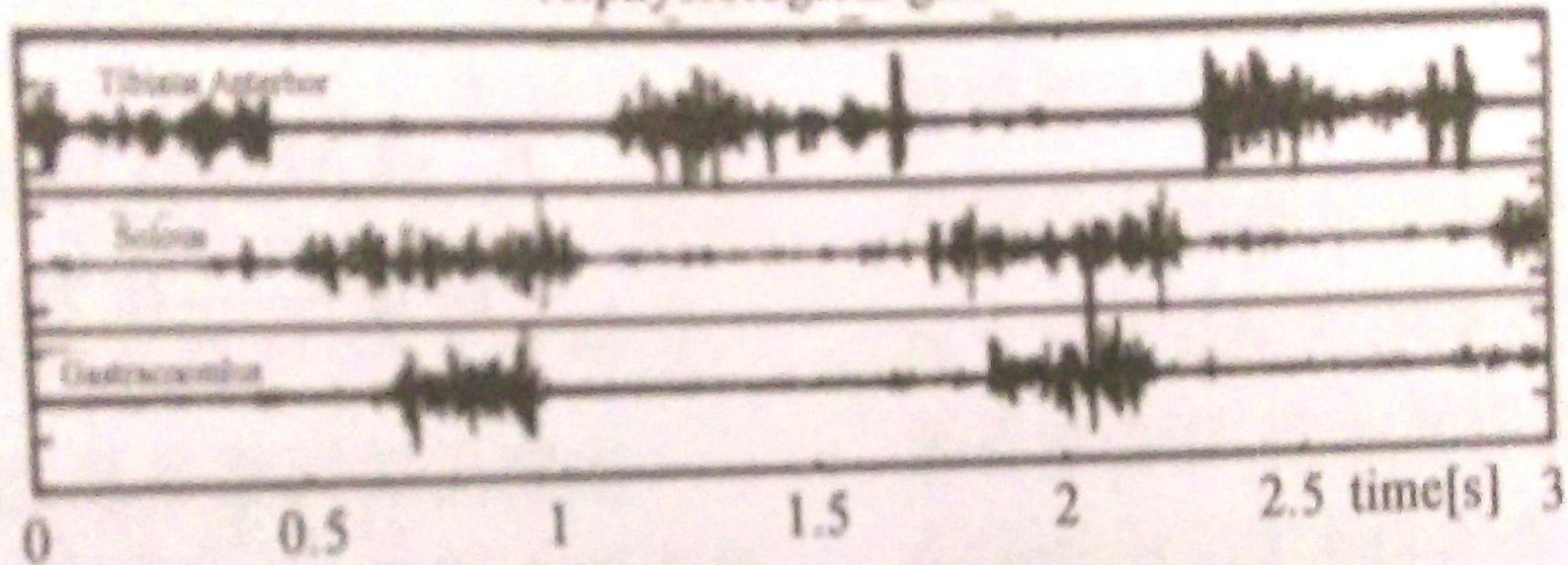
Effectivness of
ankle Joint movement



Effectivness of
ankle joint movement



A: physiological gait



B: spastic gait

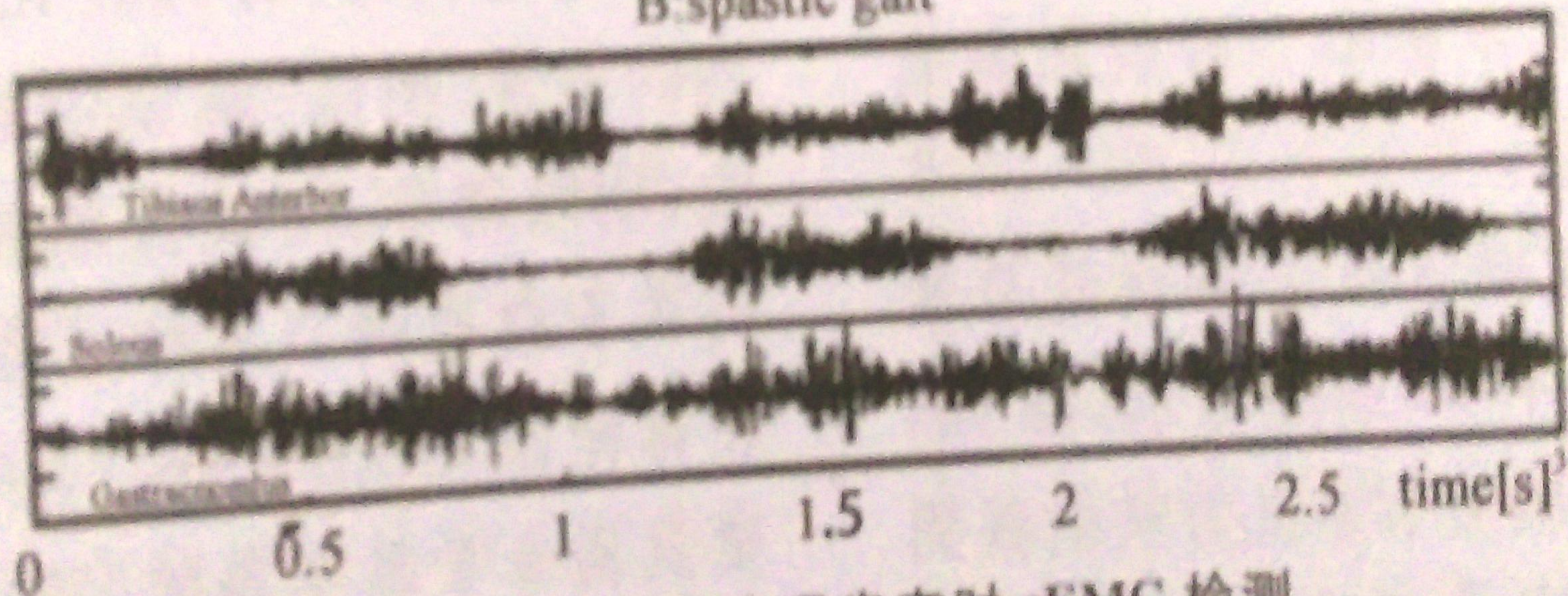
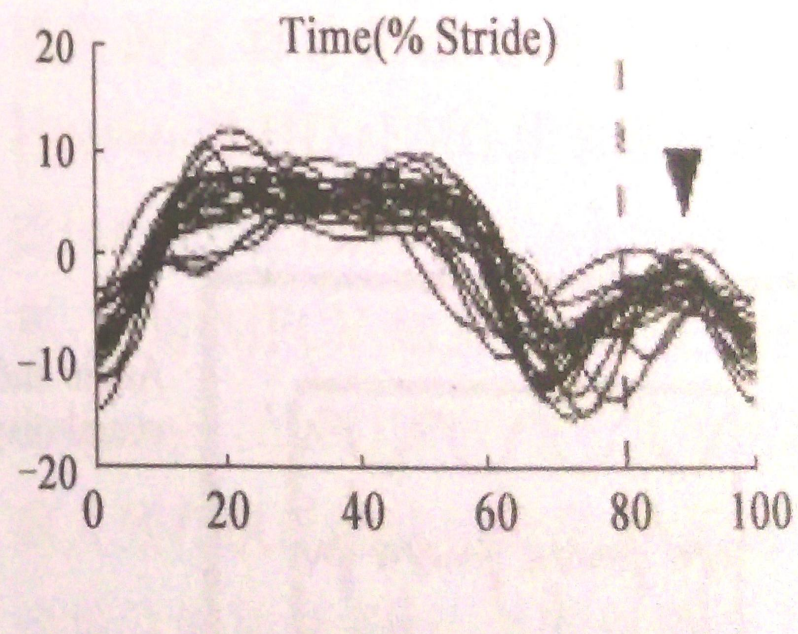
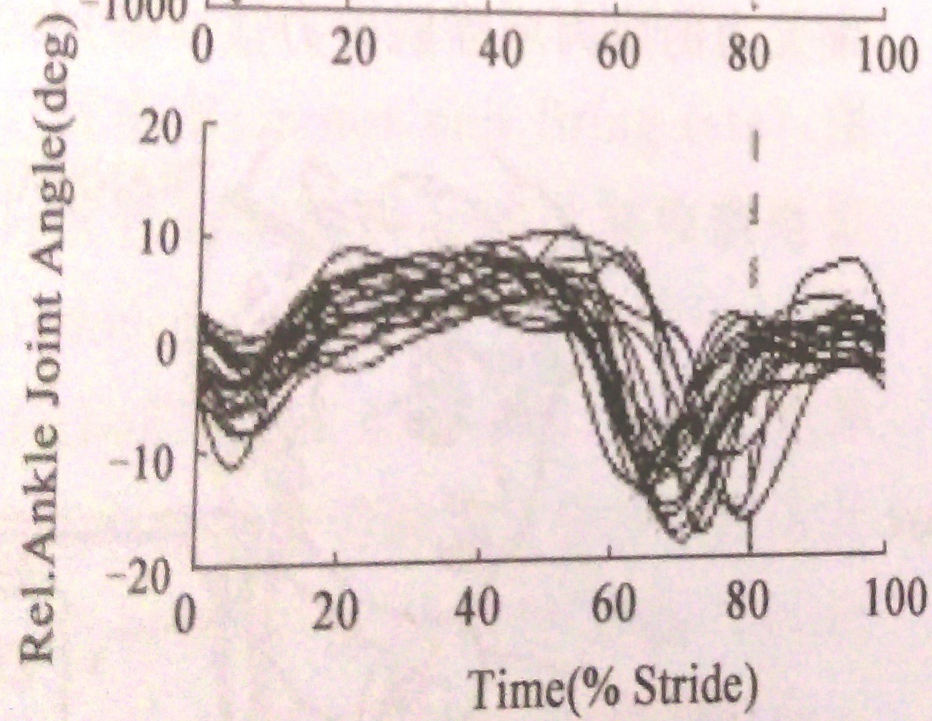
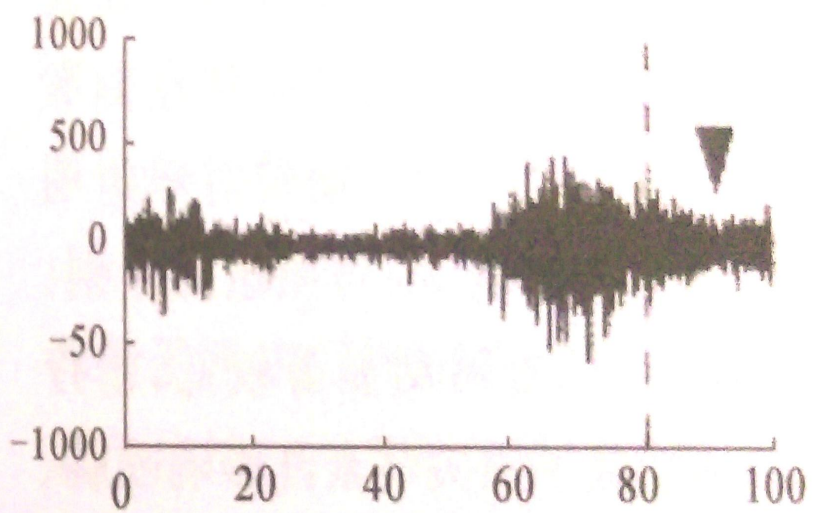
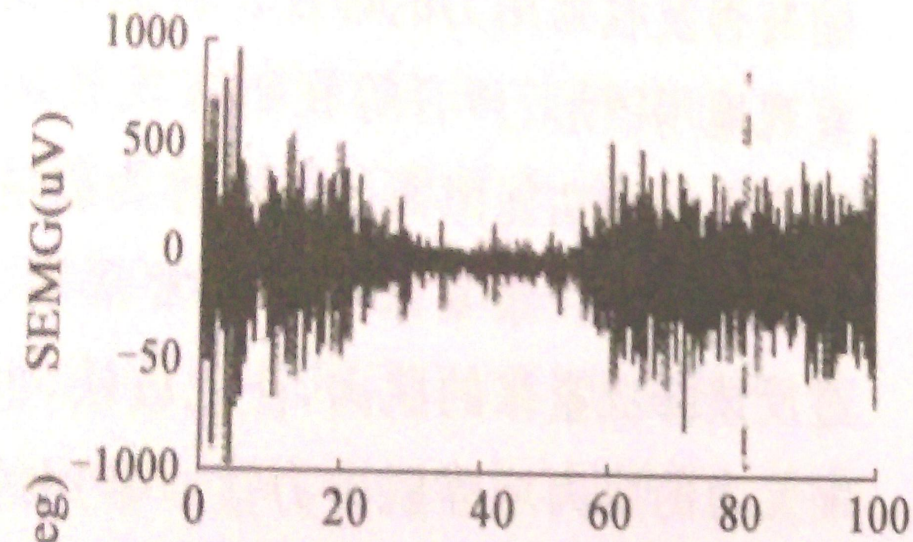


图 8-16 偏瘫病理步态时 sEMG 检测

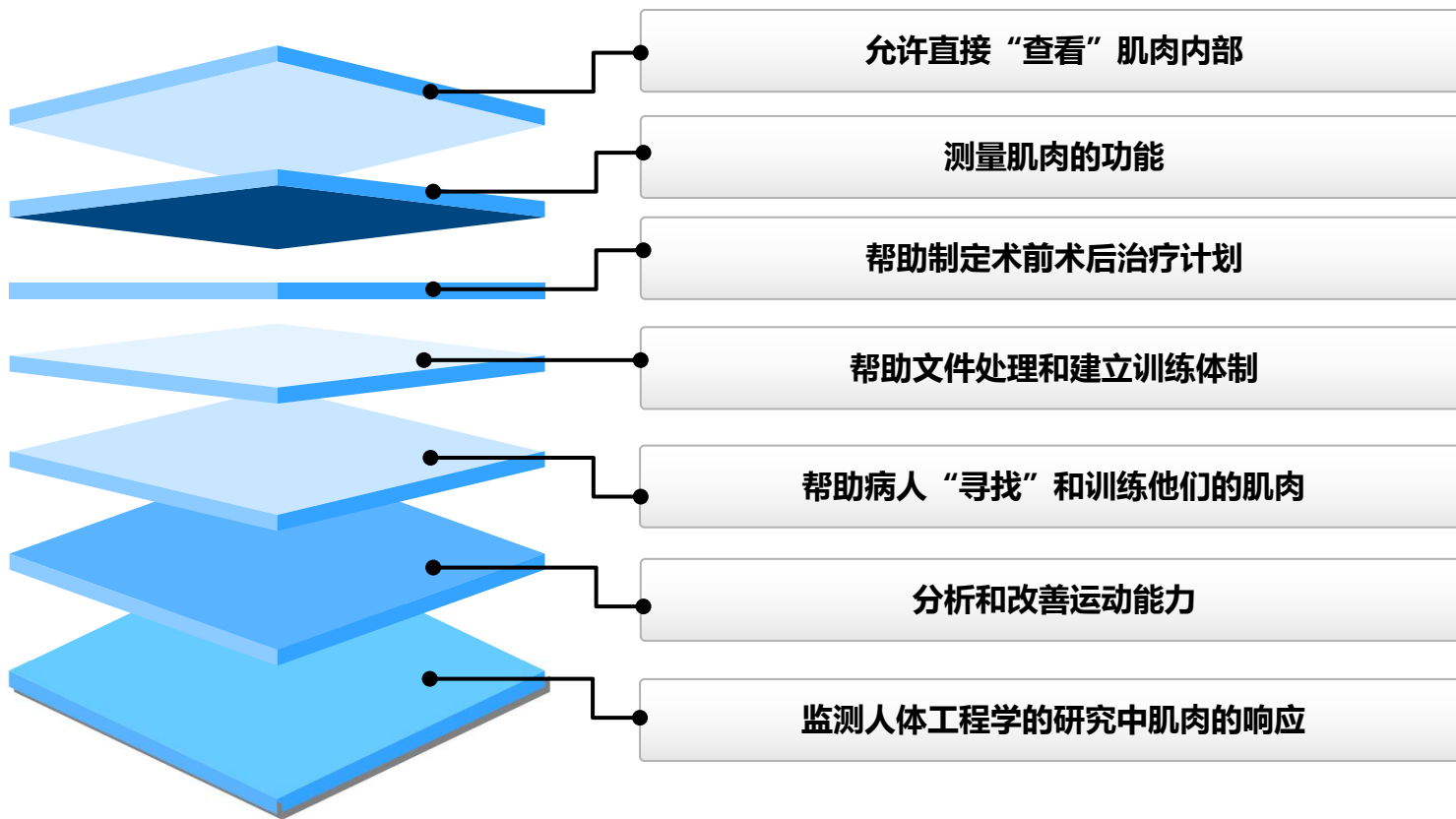
胫前肌

健側

患側



EMG的主要作用（优点）



肌电图的应用

1. 分析动作。

评价肌肉力量及肌肉活动的协调性。通过肌肉的放电情况，了解完成该项动作的主要肌群的程度和顺序。

2. 测定肌肉疲劳。

中心频率在肌肉疲劳时由高频向低频转移。

3. 评价肌肉康复。

表面肌电信号参数（主要是平均功率频率MPF）会发生相应变化。

Thanks!

