# 生理学

生理学（physiology）是生物学的一个主要分支，是**研究生物机体的各种生命现象**，特别是**组织、组织系统、器官、细胞以及具有生化功能的各类生物大分子等**机体各系统的**功能**及实现其功能的**内在机制**的一门学科。（整合百度百科“生理学”和维基百科词条“Physiology”），详细参考链接：

* <https://baike.baidu.com/item/%E7%94%9F%E7%90%86%E5%AD%A6/308500?fr=aladdin#1>
* <https://en.wikipedia.org/wiki/Physiology>

## 绪论

### 体液

|  |  |
| --- | --- |
| 体液的**2/3**分布于**细胞内**，称为**细胞内液** | |
| 体液的1/3 分布于细胞外，称为细胞外液 | 细胞外液中的3/4分布于细胞间隙内，称为组织间液或组织液 |
| 细胞外液中的1/4在血管中不断地循环流动，即为血浆 |
| 少量的淋巴和脑脊液 |

注意：多细胞动物体内**细胞周围的体液**叫做**细胞外液**，也称**机体内环境**，占**体重的60%**。它区别于整个机体所处的外环境。内环境的**理化性质相对稳定**，是一种**动态平衡**。

### 机体生理功能调节

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 神经调节  （最主要形式） | 体液调节 | 自身调节 |
| 定义 | 通过**神经系统的活动**，对生物体的**功能**所进行的调节 | 体内某些特殊的**化学物质**通过体液途径而影响生理功能 | 组织和细胞自身对刺激发生的**适应性反应**过程 |
| 方式 | 神经系统活动的基本过程是**反射**，即在**中枢神经**系统参与**下**对刺激发生的**规律性反应**。反射活动的**基础**是**反射弧**。反射弧的任何一个环节被阻断，反射将不能完成。 | 1. 激素 2. 旁分泌 3. 神经分泌：**下丘脑视上核和室旁核**合成**血管升压素**和**催产素**，由**神经轴突**运送至**垂体后叶**，再从**神经末梢**释放入血液作用于靶细胞 | 不依赖外来神经调节和体液调节 |
| 特点 | 自动化、快速、准确、持续时间短暂 | 反应速度较慢、不够精确，但作用广泛而持久 | 范围较小、只限于该器官、组织或细胞，幅度小，不够灵敏 |
| 举例 | 非条件反射，如食物入口的唾液分泌反射。条件反射，如“望梅止渴” | 1. 胰岛素和胰高血糖素对血糖浓度的调节 2. 交感神经兴奋时，除交感神经的直接效应外，还引起**肾上腺髓质激素**的分泌（神经-体液调节），共同参与心血管的调节，但神经起主导作用 | 1. 心肌收缩力在一定范围内与收缩前心肌纤维长度成正比 2. 肾和脑血流量保持不变。肾的灌注压在80-180 mmHg，脑的平均脉动圧在60-140 mmHg。 3. 甲状腺对碘的吸收也存在自身调节 |

### 正反馈与负反馈比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 负反馈 | 正反馈 |
| 定义 | 受控制部分发出的反馈信息调整控制部分的活动，最终使受控部分的活动朝着与它原先活动相反的方向改变 | 受控部分发出的反馈信息促进与加强控制部分有关的活动，最终使受控部分的活动朝着与它原先活动相同的方向改变 |
| 比例 | 较常见 | 较罕见 |
| 意义 | 维持机体生理功能的稳态 | 使某一生理活动过程很快达到高潮并发挥最大效应 |
| 举例 | 动脉血压压力感受性反射；神经、体液和自身调节中通过负反馈实现“自动控制” | 正常排尿、排便、分娩、血液凝固、射精、神经细胞发生动作电位时Na+的内流；发生心衰时的恶性循环 |
| 机制 | 负反馈控制都有一个调定点，指自动控制系统内所设定的一个工作点，使受控部分的活动只能在这个设定的工作点附近的一个狭小范围内变动 | 感受器不断发出反馈信息进一步加强中枢的活动 |

### 本章其他速记知识点

人体九大系统是指运动系统、消化系统、呼吸系统、泌尿系统、生殖系统、内分泌系统、免疫系统、神经系统和循环系统。（百度百科：“九大系统”），详见链接：<https://baike.baidu.com/item/%E4%B9%9D%E5%A4%A7%E7%B3%BB%E7%BB%9F/4809250?fr=aladdin>

## 细胞的基本功能

### 物质的跨膜运输

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 转运方式 | | 转运方向 | 耗能情况 | 转运物质 | 主要特征 |
| 单纯扩散 | | 高浓度->低浓度 | 自由扩散，不耗能 | 气体（O2, CO2, NH3, N2）、水、乙醇、尿素 | 扩散量取决于被转运物质浓度差与膜的通透性 |
| 易化扩散 | 经通道易化扩散 | 顺离子浓度差和电势差，但不消耗细胞本身能量 | 无机离子（Na+, K+, H+, Ca2+等） | 1. 借助于膜上蛋白质的变构形成水相通道 2. 相对特异性 |
| 经载体易化扩散 | 小分子物质（氨基酸、葡萄糖），进入一般细胞 | 1. 借助膜载体蛋白 2. 高度特异性 3. 饱和性 4. 竞争抑制性 |
| 主动转运 | | 低浓度->高浓度 | 需分解ATP提供能量 | 1. 原发性：无机离子（Na+, K+, H+, Ca2+等） 2. 继发性：葡萄糖进入小肠和肾小管 | 1. 借助于膜上具有酶活性特殊蛋白质，即泵 2. 高度特异性 3. 易受理化因素影响 |

#### 经通道易化扩散和经载体易化扩散的对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 经通道易化扩散 | 经载体易化扩散 |
| 方式 | 膜上具有特异结构的通道蛋白质（Na+通道、 K+通道、 Ca2+通道等），属跨膜蛋白，内部形成水相通道 | 细胞膜上某些蛋白质具有载体功能，属跨膜蛋白，引发其空间构象的改变而实现的 |
| 举例 | 带电离子（如Na+, K+, Ca2+,Cl-等）的快速移动 | 葡萄糖及氨基酸等进出一般细胞 |
| 特点 | 1. 相对特异性，但不如载体蛋白严格 2. 无饱和现象 3. 有门控制性 | 1. 载体与溶质结合有化学结构特异性 2. 出现饱和现象（载体和载体结合位点都是有限的） 3. 竞争抑制性（结构相似经同一载体转运时出现） |
| 速度 | 快（类比开门抛出东西） | 慢（类比背着东西走路） |

#### 原发性主动转运与继发性主动转运

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 原发性主动转运 | 继发性主动转运 |
| 特点 | **直接耗能** | 1. 有饱和现象 2. 可同时转运两种以上的物质 |
| 能量 | 钠泵直接分解ATP供能 | 间接利用钠泵分解ATP的能量 |
| 例子 | 1. Na+移出细胞膜外 2. K+移入细胞膜内 | 1. 葡萄糖和氨基酸在小肠黏膜上皮以及在肾小管上皮被吸收的过程 2. 神经递质在突触间隙被神经末梢重新摄取的过程 3. 甲状腺聚碘过程 4. Na+-Ca2+交换和Na+-H+交换 |

#### 大分子物质转运方式

大分子物质转运时都需要**间接耗能**。

|  |  |
| --- | --- |
| 入胞 | 吞噬：物质颗粒或团块进入细胞的过程，只发生在单核细胞、巨噬细胞、中性粒细胞等特殊细胞 |
| 吞饮过程几乎可在所有的细胞中发生 |
| 液相入胞：细胞外液及其所含的溶质以吞饮泡的形式连续不断地进入细胞内，是细胞本身固有的活动 |
| 受体介导入胞：通过被动转运物与膜受体的特异性结合，选择性促进被转运物进入细胞 |
| 举例：部分多肽类激素、抗体、运铁蛋白、LDL病毒（流感、脊灰）、营养物质等 |
| 出胞 | 1. 分泌腺细胞将合成的激素分泌到血液、组织液 2. 外分泌腺细胞将酶原、黏液分泌到腺管的官腔中（持续性出胞） 3. 神经纤维末梢突触囊泡内神经递质的释放（调节性出胞），就是由动作电位的刺激引起的出胞过程 |

#### 钠泵的生理功能

**毒毛花苷**是钠泵的特异性抑制剂。

|  |  |
| --- | --- |
| 作用 | 意义 |
| 使细胞内外离子分布不均匀 | 1. 是可兴奋组织，细胞产生兴奋的基础 2. 钠泵的活动有利于维持细胞内pH的稳定 3. 钠泵活动行程的膜内、外Na+浓度差也是Na+-Ca2+交换的动力，在维持细胞内Ca2+浓度的稳定中也起到重要的作用 |
| 使细胞内高钾 | 1. 提高细胞内K+浓度，是细胞质内许多代谢反应所必需的，例如，核糖体合成蛋白质就需要高K+环境 2. 钠泵活动造成膜内外Na+和K+浓度差，是生物电活动产生的前提 |
| 使细胞外高钠 | 1. 是大多数可兴奋细胞产生动作电位的前提 2. Na+在膜两侧的浓度差是其他继发性主动转运（如葡萄糖、氨基酸的主动吸收、Na+-H+交换和Na+-Ca2+交换等）的动力 3. 钠泵每分解1分子ATP，可排出3个Na+，转入两个K+，因而它的活动是生电的，可增加膜内电位的负值，在一定程度上影响静息电位的数值 |
| 阻止细胞外Na+进入细胞内 | 1. 钠泵活动能维持细胞质渗透压和细胞容积的相对稳定 2. 有助于维持静息膜电位 3. 减少水随Na+进入细胞内，防止细胞肿胀 |

### 细胞的信号转导

#### 离子通道受体介导的信号转导

离子通道受体介导的信号转导，又称促离子型受体的信号转导。

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | 化学门控通道 | 电压门控通道 | 机械门控通道 |
| 机制 | 受体蛋白本身就是离子通道。通道的开放（或关闭）实现化学信号的跨膜传导 | 是电信号的“受体”，通过此类通道的开放、关闭和例子跨膜移动完成信号传递 | 是机械信号的“受体” |
| 例子 | 1. N2型Ach受体：骨骼肌终板膜上Ach受体与Ach结合后，引起Na+和K+经通道的跨膜流动，它们的跨膜流动造成膜的去极化，并以终板电位的形式将信号传给周围肌膜，引发肌膜的兴奋和肌细胞的收缩 2. 神经元细胞膜上A型γ-氨基丁酸受体与配体结合后，导致氯通道开放，Cl-的跨膜流动使膜产生抑制性突触后电位 3. 甘氨酸受体 | 心肌细胞T管膜上的L型钙通道：因T管膜去极化而被激活时既有Ca2+内流入肌浆，又可激活肌质网的钙释放通道，使肌浆内Ca2+浓度升高，并引起肌细胞收缩 | 1. 血流切应力->通过非选择性阳离子通道、K+选择性通道->Ca2+进入内皮细胞->激活NO合酶->NO释放、血管舒张 2. 血压升高->牵张血管平滑肌->激活机械门控制通道->Ca2+内流入平滑肌细胞->血管收缩 3. 血浆渗透压升高->牵张下丘脑渗透压神经元->机械门控阳离子通道失活->ADH释放增加 |

Ach：乙酰胆碱

#### G蛋白偶联受体信号转导

|  |  |
| --- | --- |
| 类型 | 信号转导 |
| 受体-G蛋白-AC-cAMP-PKA通路：受体-> G蛋白->腺苷酸环化酶->cAMP->蛋白激酶A | G蛋白属于Gs和Gi家族。后者是位于细胞膜上的G蛋白效应器酶之一，它的催化活性部位位于胞质侧，可催化细胞内的ATP生成cAMP |
| 受体-G蛋白-PLC途径：受体->G蛋白->磷脂酶C->IP3->Ca2+和DG->PKC通路 | 许多配体与受体结合后，可经Gi家族和Gq家族中的某些亚型激活磷脂酶C（PLC），PLC可将膜脂质中含量甚少的二磷酸磷脂酰肌醇迅速水解为三磷酸肌醇（IP3）和二酰甘油（DG） |
| Ca2+信号系统 | 1. IP3是水溶性的小分子物质，它在生成后离开细胞膜，与内质网或肌质网膜上的IP3受体（IP3 receptor，IP3R）结合 2. IP3R是化学门控的该释放通道，激活后可导致内质网或肌质网中Ca2+释放和胞质中Ca2+浓度升高 3. 脂溶性的DG生成后仍留在细胞膜内，它与Ca2+和膜磷脂中的磷脂酰丝氨酸共同将胞质中的蛋白酶C（PKC）结合于膜的内表面，并使之激活 |

要点提示：常见的第二信使有：cAMP，cGMP，IP3，DG, Ca2+

#### 酶偶联受体介导的信号转导

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 类型 | 特点 | 举例 |
| 酪氨酸激酶受体 | 只有一个跨膜α螺旋，受体与酶是同一个蛋白质分子 | 大部分生长因子、胰岛素和一部分肽类激素 |
| 酪氨酸激酶结合型受体 | 本身并不具有酶活性部位，可直接与胞质中的酪氨酸激酶结合 | 细胞因子和一些肽类激素，如干扰素、白细胞介素、生长激素、催乳素和促红细胞生成素 |
| 鸟苷酸环化酶受体 | 只有一个跨膜α螺旋，一旦配体结合于受体，将激活CG。与AC激活不同的是此过程不需要G蛋白参与 | 心房钠尿肽、脑钠尿肽、一氧化氮 |
| 丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶受体 | 胞内结构域有丝氨酸/苏氨酸蛋白激酶活性 | TNF-β |

注：酪（读作lao，第四声）

### 细胞的电活动

#### 静息电位与动作电位的比较

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 特点 | | | 产生原理 | |
| 静息电位 | | 稳定的直流电位，呈膜外为正，膜内为负的极化状态 | 细胞内外离子分布不均匀；细胞内K+及带负电的蛋白质多，细胞外Na+、Ca2+及Cl-多 | |
| 膜的选择通透性；安静时膜对K+的通透性大 | |
| 膜内带负电荷的蛋白质有外流的倾向，但不能出膜，形成内负外正极化状态 | |
| 静息电位相当于K+的平衡电位 | |
| 动作电位 | 锋电位 | 去极化 | 膜受刺激后发生快速去极化达到反极化状态 | 刺激达阈值，莫部分去极化达阈电位，钠通道大量开放，钠离子迅速内流 |
| 复极化 | 膜迅速复极化 | 1. 钠通道迅速关闭，钠离子内流停止 2. 膜对钾离子的通透性增高，钾离子迅速外流 |
| 后电位 | 负后电位 | 膜仍轻度去极化（未完全恢复到静息电位水平） | 复极化时，膜外钾离子蓄积妨碍钾离子继续外流 |
| 正后电位 | 膜轻度超级化 | 主要为生电性钠泵活动的加强 |

注意：计算所得的数值与实际测得的动作电位的超射值相接近，由于还有K+外流的干扰，所以实际要小。

#### 动作电位的特点

|  |  |
| --- | --- |
| 特点 | 解释 |
| “全”或“无“ | 1. 动作电位要么产生，要么不产生。只有达到阈电位的去极化才能爆发动作电位 2. 动作电位一旦产生即达到最大值，不会因为刺激强度的增加而改变，Na+通道已全部开放，再增大刺激强度 |
| 可传播性（不衰减性传导） | 动作电位能够以相同的幅度、形状在同一个细胞膜上传导，知道整个细胞都兴奋为止，不会因为传到距离的延长而减弱或消失 |

#### 电紧张性扩布与动作电位传导比较

电紧张性扩布是生理学里的一个名词，是指局部电位只能沿着膜向临近做短距离的扩布，并随着扩布距离的增加而迅速衰减乃至消失。（参考链接： <https://baike.baidu.com/item/%E7%94%B5%E7%B4%A7%E5%BC%A0%E6%80%A7%E6%89%A9%E5%B8%83/3889296?fr=aladdin>）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 电紧张性扩布 | 动作电位传导 |
| 传导速度 | 慢 | 快 |
| 传导距离 | 很短（有限） | 远 |
| 不应期 | 无 | 有 |
| 信息衰减 | 随时间和距离的延长而迅速衰减 | 不衰减（信号不失真） |
| 总和 | 可进行时间性和空间性总和 | 不能总和（“全”或“无”） |
| 机理 | 依靠膜的基本电学特性向周围扩布（膜电位只发生被动改变） | 膜的已兴奋部分通过局部电流刺激了邻接的未兴奋部分（膜阻抗能发生主动改变） |

#### 兴奋及其变化

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 兴奋性 | 时间（ms） | 机制 | 与动作电位关系 |
| 绝对不应期 | 降至零 | 0.3~0.4 | 钠通道开放后迅速完全失活，不能立即被再次激活 | 锋电位 |
| 相对不应期 | 逐渐恢复 | 3 | 钠通道功能部分恢复 | 负后电位前期 |
| 超常期 | 超过正常 | 12 | 1. 钠通道功能大部分或绝大部分恢复 2. 膜电位靠近阈电位 | 负后电位前后期 |
| 低常期 | 低于正常 | 20 | 钠泵活动增强，使膜电位值加大，膜电位与阈电位间的距离加大 | 正后电位 |

#### 局部电位与动作电位比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 对比项目 | 局部电位 | 动作电位 |
| 刺激强度 | 阈下刺激 | 阈刺激或阈上刺激 |
| 不应期 | 无 | 有 |
| 开放的钠通道 | 较少 | 多 |
| 电位变化幅度 | 小（在阈电位以下波动） | 大（达阈电位或以上） |
| 总和 | 有（包括时间或空间总和） | 无 |
| “全”或“无”特点 | 无 | 有 |
| 传播特点 | 呈电紧张性扩布，随时间和距离的延长迅速衰减，不能连续向远处传播 | 以局部电流的形式连续而不衰减地向远处传播 |

【注意】局部电位包括：骨骼肌兴奋产生的终板电位、神经元的兴奋性和抑制性突触后电位（EPSP和IPSP）、感觉器官的感受器电位、发生器电位。

### 肌细胞的收缩

#### 神经-骨骼肌接头处的兴奋传递

1. 过程：当动作电位沿着神经纤维传至神经末梢时，引起接头前膜电压门控制Ca2+通道的开放->膜对Ca2+通透性增加->Ca2+内流进入轴突末梢->触发囊泡向前膜靠近、融合、破裂、释放递质ACh->ACh通过接头间隙扩散到接头后膜（或板膜），并与后膜上的ACh门控通道上的两个α亚单位结合->终板膜对Na+、K+（以Na+为主）通透性增高->Na+内流（为主）和K+外流->后膜去极化，称为终板电位->终板电位是局部电位可以求总和->邻近肌细胞膜去极化达到阈电位水平而产生动作电位。ACh 发挥作用后被接头间隙中的胆碱酯酶分解失活。
2. 特点：
3. 单向传递：兴奋只能从神经纤维末梢传向终板膜，而不能反向传递。
4. 时间延搁：大约有0.1~1.0毫秒。
5. 1对1的关系。
6. 易受环境因素和药物的影响：箭毒可与乙酰胆碱竞争受体，无终板电位产生，作为肌松药。肉毒杆菌毒素可抑制接头前膜释放乙酰胆碱。有机磷中毒是由于它可与胆碱酯酶结合并使之失活，抑制乙酰胆碱不能降解至堆积，产生肌肉震颤。

兴奋在神经-肌肉接头处传递和在同一神经纤维传导的比较：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 神经-肌肉接头传递 | 神经纤维传导 |
| 方式 | 化学递质传递 | 以局部电流形式 |
| 电位性质 | 1. 在接头后膜产生终板电位（为局部电位），通过时间总和、空间总和作用而爆发动作电位 2. 为电-化学-电变化 | 1. “全”或“无” 2. 为电变化 |
| 方向性 | 单向传递 | 双向传导 |
| 速度 | 较慢、有时间延搁 | 较快 |
| 疲劳性 | 具有疲劳性 | 具有相对不疲劳性 |
| 影响因素 | 易受环境因素和药物的影响 | 一般不易出现阻滞 |

#### 骨骼肌细胞的细微结构

**（待补充图案）**

#### 肌丝的分子组成及其功能

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 组成 | | 功能 |
| 粗肌丝（肌凝蛋白） | | 1. 直接参与肌细胞收缩的蛋白质（收缩蛋白） 2. 粗肌丝横桥作用。a：具有ATP酶活性，当其被激活时，可以分解ATP提供能量，供横桥摆动时利用。b：横桥与细肌丝的位点结合时，引起横桥向M线方向摆动，这种结合是可逆的，继而出现分离，再与细肌丝上新的位点结合，这样产生同方向连续摆动，拉动细肌丝向M线方向滑行 |
| 细肌丝 | 肌动蛋白 | 1. 肌动蛋白多聚体构成细肌丝主体，在肌球蛋白上有与横桥结合的位点 2. 直接参与肌细胞的收缩过程（收缩蛋白） |
| 原肌凝蛋白 | 正常情况下，遮盖肌动蛋白的结合位点，阻碍肌凝蛋白与肌动蛋白的结合，对收缩过程起调控作用（调节蛋白） |
| 肌钙蛋白 | 由三个亚单位组成，其作用是与肌浆中Ca2+的结合与解离，引发肌肉的收缩与舒张的过程，对收缩过程起调控作用（调节蛋白） |

#### 横管系统与纵管系统的比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 纵管系统（L管） | 横管系统（T管） |
| 来源 | 内质网（肌质网） | 肌膜内陷 |
| 方向 | 与肌原纤维平行 | 与肌原纤维垂直 |
| 作用 | 储存、释放和再摄取钙离子 | 把肌细胞膜的兴奋以局部电流的形式传向肌细胞深部（三联管处） |

#### 等长收缩和等张收缩

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 等张收缩 | 等长收缩 |
| 长度变化 | 缩短 | 不变 |
| 张力变化 | 不变 | 增加 |
| 肌小节变化 | 肌小节均缩短 | 有的被拉长，有的缩短 |
| 肌丝滑行 | 明显 | 不明显 |
| 做功 | 可做外功 | 不做外功 |
| 举例 | 人左右上肢移动小于其肌肉收缩力的物体时，肌肉发生的收缩 | 1. 心动周期中左心室等容收缩期和等张收缩期时心机的收缩 2. 人站立时，为了对抗重力和维持一定姿势而发生的有关肌肉的收缩 |

#### 单收缩和复合收缩

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 收缩形式 | 概念 | 发生条件 | 特点及意义 |
| 单收缩 | 肌肉受到一次刺激产生动作电位（兴奋）后出现的一次机械收缩，可分为收缩期和舒张期 | 刺激时间间隙>肌缩短+舒张 | 1. 动作电位先出现，机械收缩后出现 2. 心脏的收缩是单收缩，有利于完成其射血功能 |
| 复合收缩 | 刺激频率增加到一定程度后，可使后一个刺激的收缩波形与前一个刺激的收缩波形发生重叠 | - | 1. 收缩波可相互融合，但每次兴奋产生的动作电位不会融合 2. 骨骼肌常以强直收缩的形式活动，以产生更大的收缩效果 |
| 不完全强直收缩 | 每次新的收缩都出现在前一收缩的舒张过程中 | 肌缩短时间<刺激时间间隙<肌缩短+舒张 |
| 完全强直收缩 | 每次新的收缩都出现在前一次收缩的收缩期中，每次收缩的张力或长度变化融合而叠加 | 刺激时间间隙<肌缩短时间 |

#### 影响骨骼肌收缩的主要因素

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 前负荷（初长度） | 1. 指肌肉收缩以前就遇到的负荷或阻力。决定了肌肉收缩的初长度 2. 在一定范围内，前负荷增加，肌肉初长度增加，收缩力增加 3. 当负荷增大大于一定范围，肌肉收缩力不但不增加，反而下降 | 1. 最适初长度时肌节长度为2.0-2.2μm 2. 最适初长度时，粗细肌丝处于最适重叠状态 3. 最适初长度时所有横桥都能与肌动蛋白活化位点结合 |
| 后负荷 | 1. 肌肉在收缩过程开始后所遇到的负荷或阻力 2. 阻碍肌肉的缩短，不利于肌肉收缩做功 | 收缩张力取决于肌动蛋白结合横桥的数目，缩短速度取决于横桥周期的长短 |
| 肌肉收缩力 | 1. 是指与前、后负荷无关的，决定肌肉收缩效能的内在特性 2. 肌肉收缩力主要决定于兴奋收缩-偶联期间胞浆Ca2+的水平和肌球蛋白ATP酶活性 3. 许多神经递质、体液物质、病理因素和药物等均可能影响和调节肌肉收缩力（特别是对于心肌） | 钙、肾上腺素、咖啡因提高肌肉收缩力  缺氧、酸中毒、低血糖等降低肌肉收缩力 |

## 血液

## 血液循环系统

## 呼吸系统

## 消化系统

## 神经系统（“感觉器官”属于此类）

## 内分泌系统

## 生殖系统

## 能量代谢与体温调节

# 病理学

# 生物化学

# 内科学

# 外科学

# 妇科学

# 儿科学

# 诊断学

# 参考资料