# 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”；凝血过程 | 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

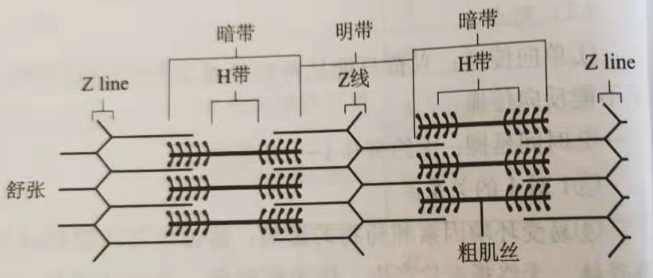
#### 神经-骨骼肌接头处的兴奋传递

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



#### 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

### 血液的组成及理化特性

#### 血液的组成

##### 血浆

|  |  |
| --- | --- |
| 水 | 91-92% |
| 无机盐 | Na+、Cl-、K+、HCO3-等 |
| 小分子物质 | O2、CO2、氨基酸、葡萄糖、尿素和对氨马尿酸等 |
| 分子物质血浆蛋白 | 正常成年人血浆蛋白含量为65-85g/L   1. 白蛋白（A）:40-48g/L。分子量最小、最多 2. 球蛋白（G）：15-30g/L。分子量较大，较少 3. 纤维蛋白原：分子量最大，最少 |

##### 血细胞

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 寿命 | 调节 | 功能 | 正常值 |
| 红细胞 | 120天 | 爆式促进激活物、促进红细胞生成素（EPO）和雄激素 | 运输O2及CO2 | 男性平均为5.0\*1012/L，女性平均为4.2 \* 1012/L |
| 白细胞 | 不确定 | 各种集落刺激因子 | 防御功能 | (4.0 – 10.0) \* 109/L |
| 血小板 | 7-14天 | 血小板生成素 | 生理性止血 | (100 – 300) \* 109/L |

#### 血液的理化特性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 定义或正常值 | 意义 |
| 比重 | 红细胞比重最大，其次是全血比重，血浆比重最小，血浆的比重为1.025-1.030 | 血浆比重的大小与血浆蛋白的浓度成正比 |
| 黏度 | 血浆黏滞性为1.6-2.4，小于全血的黏滞性 | 全血的黏滞性与红细胞数量有关，血浆黏滞性的大小与血浆蛋白的含量成正比 |
| 渗透压 | 溶液所具有的吸引和保留水分子的力量称为渗透压，是一切溶液所固有的特性，其大小与溶液中溶质颗粒的数目成正比，与颗粒大小无关 | 血浆渗透压约为300mmol/L（770kPa），包括晶体渗透压和胶体渗透压（3.3kPa），由于血浆中晶体溶质数目远大于胶体溶质数目，所以血浆渗透压主要由晶体渗透压构成 |
| 酸碱度 | 正常人的血浆pH为7.35-7.45 | 变动范围很小，主要决定于血浆中NaHCO3/H2CO3的比值（正常时为20:1） |

#### 两种渗透压的比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 来源 | 作用 |
| 胶体渗透压（仅1.3mmol/L或25mmHg） | 主要来源于白蛋白 | 维持血管内外水平衡；因为蛋白质等大分子胶体物质不能通过毛细血管壁 |
| 晶体渗透压（298.7mmol/L） | 80%来自Na+和Cl- | 维持细胞内外水平衡：因为警惕物质不能自由通过细胞膜 |

### 血细胞生理

#### 红细胞的特性

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 可塑性变形 | 红细胞（Red Blood Cell，简记为RBC）在通过口径比它的直径小的毛细血管和血窦孔隙时，常发生卷曲变形，在通过血管或血窦后又恢复原状 | 正常的红细胞为双凹圆盘形，有利于可塑性变形 |
| 悬浮稳定性 | RBC能够较稳定地悬浮在血浆中而不易下沉的特性，可用红细胞沉降率（血沉，ESR）来测量红细胞的悬浮稳定性 | 男性为0-15mm/h，女性为0-20mm/h。红细胞沉降率越小，表示悬浮稳定性越大。红细胞沉降率快慢与红细胞叠连现象有密切关系。当红细胞叠连时，红细胞与血浆接触总面积减少，单位面积的重量增加，血沉加快 |
| 渗透脆性 | 红细胞膜抵抗低渗溶液而不发生破裂的能力。正常红细胞呈双凹圆碟状，在0.35%-0.45%NaCl溶液中开始破裂，而球状红细胞渗透脆性增加，在0.64%NaCl溶液中开始破裂 | 在渗透压较低的溶液中容易破裂而发生溶血的红细胞，其脆性大；在低渗溶液中不易破裂的红细胞，其脆性小，不易发生溶血 |

注意：致血沉降低的因素：白蛋白、卵磷脂；致血沉升高的因素：胆固醇、球蛋白、纤维蛋白原

#### 红细胞（RBC）的破坏

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 血管内破坏 | 10%的衰老红细胞在血管中受机械冲击而破损，称为血管内破坏 | 释放的血红蛋白立即与血浆中的触珠蛋白结合而被运送到肝脏，经脱铁以铁黄素的形式沉积在肝脏内。若大量的溶血后释放的血红蛋白超过触珠蛋白结合的能力时，未结合血红蛋白将经肾脏排出，称为血红蛋白尿 |
| 血管外破坏 | 90%的红细胞在脾和骨髓中被吞噬细胞所吞噬 | 铁可再利用，脱铁血红素变为胆色素，运送到肝内被处理 |

#### 白细胞生理

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 种类 |  | 比例 | 作用 |
| 粒细胞 | 中性粒细胞 | 占白细胞总数的50%~70% | 1. 中性粒细胞是血液中主要的吞噬细胞，其变形游走能力和吞噬活性都很强 2. 中性粒细胞内含有大量溶酶体酶，能将吞噬入细胞的细菌和组织碎片分解，防止病原微生物在体内扩散 3. 中性粒细胞还可吞噬和清除衰老的红细胞及其抗原-抗体复合物等 |
|  | 嗜酸性粒细胞 | 占白细胞总数的2%~4% | 1. 限制嗜碱性粒细胞和肥大细胞在速发型过敏反应中的作用 2. 参与对蠕虫的免疫反应 |
|  | 嗜碱性粒细胞 | 占白细胞总数的0.5%~1% | 1. 其胞质颗粒内含有肝素、组胺、嗜酸性粒细胞趋化因子A和过敏性慢反应物质等多种生物活性物质 2. 肝素：具有抗凝血作用，有利于保持血管通畅，使吞噬细胞能够到达抗原入侵部位而将其破坏 3. 组胺和过敏性慢反应物质：可使毛细血管壁通透性增加，局部充血水肿，并可使支气管平滑肌收缩，从而引起荨麻疹、哮喘等过敏反应症状 4. 嗜酸性粒细胞趋化因子A：可吸引嗜酸性粒细胞，使之聚集于局部，以限制嗜碱性粒细胞在过敏反应中的作用 |
| 无粒细胞 | 单核细胞 | 占白细胞总数的4%~8% | 具有很强的吞噬功能，参与机体防卫机制。激活了的单核-巨噬细胞也能合成、释放多种细胞因子，参与其他细胞生长的调控；单核-巨噬细胞还在特异性免疫应答的诱导和调节中起关键作用 |
|  | 淋巴细胞 | 占白细胞总数的20%~40% | T细胞主要与细胞免疫有关，B细胞主要与体液免疫有关 |

#### 血小板的生成特性

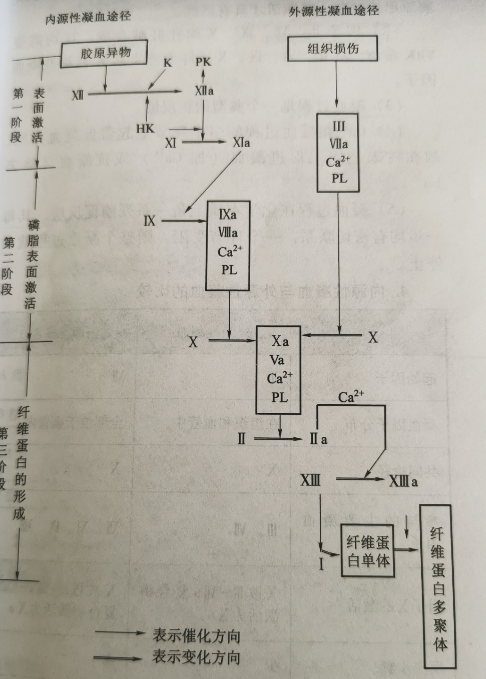
|  |  |
| --- | --- |
| 黏附 | 血小板与非血小板表面的黏着。血小板黏附需要血小板膜上的糖蛋白（GP）、内皮下成分（主要是胶原纤维）及血浆von Willebrand因子（vWF是血小板黏附于胶原纤维的桥梁） |
| 释放 | 血小板受刺激后将储存在致密体（ADP、ATP、5-HT、Ca2+）、α颗粒（释放β血小板巨球蛋白、血小板因子PF4、PF5、vWF、纤维蛋白原、凝血酶敏感蛋白、PDGF）或溶酶体内的物质排出。临时合成并释放的物质主要有血栓烷A2（TXA2） |
| 聚集 | 血小板与血小板之间的相互黏着。需要纤维蛋白原、Ca2+及血小板膜上GPIIb/IIIa的参与。生理性致聚剂主要有ADP、肾上腺素、5-HT、组胺、胶原、凝血酶、TXA2（有强烈的聚集血小板和缩血管作用） |
| 收缩 | 血小板具有收缩能力。血小板活化后，胞质内的Ca2+增高可引起血小板的收缩反应。当血凝块中的血小板发生收缩时，可使血块回缩。 |
| 吸附 | 血小板表面可吸附血浆中多种凝血因子（如凝血因子I、V、XI、XIII等） |

### 生理性止血

#### 凝血因子及其某些特征

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 因子 | 同义名 | 合成部位 | 主要激活物 | 主要抑制物 | 主要功能 |
| I | 纤维蛋白原 | 肝细胞 | - | - | 形成纤维蛋白 |
| II | 凝血原酶 | 肝细胞（需维生素K） | 凝血酶原酶复合物 | 抗凝血酶III | 凝血酶促进纤维蛋白原转变为纤维蛋白；激活V、VIII和血小板，正反馈促进凝血 |
| III | 组织因子 | 内皮细胞和其他细胞 | - | - | 作为VIIa的辅因子，是生理性凝血反应过程的起始因子 |
| IV | 钙离子 | - | - | - | 辅因子 |
| V | 前加速素易变因子 | 内皮细胞和血小板 | 凝血酶和Xa，以凝血酶为主 | 活性的蛋白质C | 加速Xa对凝血酶原的激活 |
| VII | 前转变素稳定因子 | 肝细胞（需维生素K） | Xa | 组织因子途径抑制物，抗凝血酶II | 与组织因子形成VIIa-组织因子复合物，激活X和IX |
| VIII | 抗血友病因子 | 肝细胞 | 凝血酶，Xa | 不稳定、自发失活、活化的蛋白质C | 作为辅助因子，加速IXa对X的激活 |
| IX | 血浆凝血活酶成分 | 肝细胞（需维生素K） | XIa-VIIa-组织因子复合物 | 抗凝血酶III | XIa与VIIIa形成因子X酶复合物，激活X为Xa |
| X | Stuart-Prower因子 | 肝细胞（需维生素K） | VIIa-组织因子复合物，IXa-VIIa复合物 | 抗凝血酶III | 形成凝血酶复合物激活凝血原，Xa还可以激活VIII和V（？） |
| XI | 血浆凝血活酶前质 | 肝细胞 | XIIa, 凝血酶 | α1抗胰蛋白酶，抗凝血酶III | 激活IX为IXa |
| XII | 接触因子或Hageman因子 | 肝细胞 | 胶原、带负电的异物表面 | 抗凝血酶III | 激活IX为IXa |
| XIII | 纤维蛋白稳定因子 | 肝细胞和血小板 | 凝血酶 | - | 使纤维蛋白单体相互交联聚合形成纤维蛋白网 |
| - | 高分子量激肽原 | 肝细胞 | - | - | 辅因子，促进XIIa对XI和PK的激活，促进PK对XII的激活（？） |
| - | 前激肽释放酶 | 肝细胞 | XIIa | 抗凝血酶III | 激活XII为XIIa |

#### 凝血过程示意图



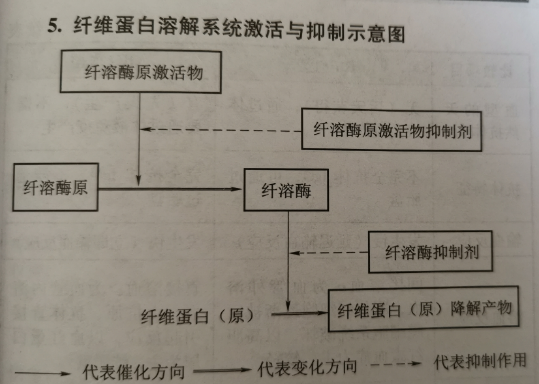
#### 凝血过程的特征

1. 凝血因子多数为蛋白质，且多为酶类，正常时以酶原形式存在，需激活才具有活性。
2. 因子II、VII、IX、X（2、7、9、10）均在肝脏合成，且均需要维生素K（VitK）参与，故II、VII、IX、X又称为VitK依赖性凝血因子。
3. 凝血过程是一个典型的正反馈。
4. Ca2+在凝血过程的多个环节上起着促凝血作用，故在临床上用于促进凝血（加Ca2+）或抗凝血（除去Ca2+）。
5. 凝血过程在化学本质上式一系列酶促反应，其每一步均有密切联系，一个环节受阻，则整个凝血过程就会停止。

#### 内源性凝血与外源性凝血比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 外源性凝血 | 内源性凝血 |
| 起始因子 | III | XII |
| 凝血因子分布 | 在组织和血管中 | 全部位于血管内 |
| 共同途径 | X | |
| 参与的主要凝血因子 | III、VII | XII、XI、IX、VIII |
| 因子X的激活 | X被III-VIIa复合物激活为Xa | X被IXa-VIIIa-Ca2+复合物激活为Xa |
| 反应步骤 | 少 | 多 |
| 反应速度 | 较快 | 较慢 |

#### 纤维蛋白溶解系统激活与抑制示意图



### 血型和输血原则

#### ABO血型系统

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 血型 | | RBC上的凝集原 | 血清中的凝集素 |
| A型 | A1 | A+A1 | 抗B |
| A2 | A | 抗B+抗A1 |
| B型 | B | 抗A | - |
| AB型 | A1B | A+ A1+B | - |
| A2B | A+B | 抗A1 |
| O型 | | 无A无B | 抗A+抗B |

#### ABO血型与Rh血型的比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 比较项目 | Rh血型 | ABO血型 |
| 抗原类型 | 有C、c、D、d、E和e六种，但以D的抗原性最强。通常所说的Rh血型即红细胞上D抗原的有无，有者称为阳性，无则称为阴性 | A和B两种，根据红细胞膜A、B抗原的类型分为AB、A、B和O四类血型 |
| 血型的天然抗体 | 无（后天获得），通过体液免疫产生 | 有（先天产生），不需要通过体液免疫产生 |
| 抗体特征 | 不完全抗体IgG，可通过胎盘 | 完全抗体IgM，不能通过胎盘 |
| 输血反应 | 发生慢（延迟输血反应） | 发生快（立即输血反应） |
| 溶血反应 | 间接溶血：为血管外溶血，凝集红细胞逐渐被巨噬细胞系统破坏，以高胆红素血症为主，较轻 | 直接溶血：为血管内溶血，由抗原、抗体直接引起反应，以血红蛋白尿为主，较重 |
| 基因定位 | 第1号染色体 | 第9号染色体 |

## 血液循环系统

### 心脏的泵血功能

#### 心脏泵血的过程

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 时期 | 心室内压 | 瓣膜 | 血流 | 心室容积 |
| 等容收缩期 | 心室开始收缩，室内压急剧升高，心房压<室内压<动脉压 | 房室瓣关闭，动脉瓣尚未开放 | 心室无射血 | 不变，仍保持最大 |
| 快速射血期 | 心室继续收缩，室内压>动脉压，且室内压继续升高，于该期末达峰值 | 动脉瓣被冲开，房室瓣仍关闭 | 心室快速射血入动脉（70%），动脉压相应升高，该期达峰值 | 快速减小 |
| 减慢射血期 | 室内压从峰值逐渐下降，并稍低于动脉压 | 动脉瓣开放，房室瓣关闭 | 心室依靠血流惯性逆压力差缓慢射血入动脉（30%） | 缓慢减小，该期末达最小 |
| 等容舒张期 | 心室开始舒张，室内压急剧下降，心房压<室内压<动脉压 | 动脉瓣关闭，房室瓣尚未开放 | 心室无充盈 | 不变，仍保持最小 |
| 快速充盈期 | 心室继续舒张，室内压<心房压 | 房室瓣开放，动脉瓣关闭 | 心室抽吸血液，快速充盈心室（2/3） | 快速增大 |
| 减慢充盈期 | 室内压稍低于心房压 | 房室瓣开放，动脉瓣关闭 | 血液缓慢充盈心室 | 缓慢继续增大 |
| 心室舒张期的后1/3，心房收缩，又进入一个新的心动周期 | | | | |

#### 心脏泵血的机制

|  |  |
| --- | --- |
| 等容收缩期 | 心室收缩开始，室内压迅速升高，当室内压高于房内压时，房室瓣关闭。此时室内压仍低于主动脉压，动脉瓣处于关闭状态，故心室处于压力不断增加的等容封闭状态。当室内压增加到超过动脉压时，主动脉瓣打开，进入射血期 |
| 快速和减速射血期 | 在射血期最初1/3左右时间内，心室射入主动脉的血流量很大，流速也很快，心室容积明显缩小，这段时期称为快速射血期；随后，心室内压开始下降，射血速度逐渐变慢，这段时期称为减慢射血期。由于大部分血液在快速射血期进入动脉，故在心室不过分增大时，每搏输出量不会明显减小，每分输出量则在一定心律范围内随心率增加而增加。但当心率过快使快速射血期缩短时，每搏输出量将明显降低 |
| 等容舒张期 | 心室开始舒张，当心室内压低于动脉压时，动脉瓣关闭。此时室内压仍高于房内压，房室瓣处于关闭状态，故心室处于压力不断下降的等容封闭状态。到等容舒张期末期，室内压下降为整个心动周期中最低点。 |
| 快速和减速充盈期 | 当心室舒张至室内压低于房内压时，房室瓣开放，等容舒张期结束，进入心室充盈期。在充盈初期，由于心室与心房间压力差较大，血液充盈心室量比较大、速度也较快，称为快速充盈期。随后心室被不断充盈，心室内压与心房内压压差值减小，血液充盈速度变慢，称为减慢充盈期。 |
| 房缩期 | 在心室舒张期的末期，心房收缩，心房内压升高，进一步将血液挤入心室。随后心室开始收缩，进入下一个心动周期。 |

#### 心音

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 第一心音 | 第二心音 | 第三心音 | 第四心音 |
| 主要形成原因 | 房室瓣突然关闭（二尖瓣、三尖瓣）的振动所引起 | 主动脉瓣及肺动脉瓣突然关闭的振动所引起 | 血流从心房突然冲入心室，使心室壁和乳头肌发生的振动 | 出现在心室舒张的晚期，与心房收缩有关，发生在心室收缩前的振动，也称为心房音 |
| 生理意义 | 标志着心室收缩期的开始 | 标志着心室舒张期的开始 | 其形成可能与早期快速充盈有关 | 正常心房收缩不出现，在异常强烈的心房收缩和在左心室壁顺应性下降时可产生 |
| 听诊最强部分 | 以心尖部最强而清晰 | 以心底部最强 | 在儿童及年轻人可听到 | 老年人可出现 |
| 与颈动脉搏动间关系 | 与劲动脉搏动同时出现 | 在劲动脉搏动之后出现 |  |  |
| 音调 | 较低 | 较高 | 低频率振动 |  |
| 持续时间 | 较长 | 较短 |  |  |

参考音频资料：<http://m.ximalaya.com/jiaoyu/268480/3216148>

#### 心输出量与心脏做功

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 指标 | | 定义及测定原理 | 正常值 | 意义 |
| 每搏输出量（SV） | | 一次心跳一侧心室射出的血量 | 60-80ml/次 | 最基本指标 |
| 射血分数（EF） | | 每搏输出量占心室舒张末期容积的百分比，即 | 55%~65% | 较SV全面 |
| 每分输血量（CO） | | 一侧心室每分钟射出的血量（MV），又叫心输出量（CO），（heart rate） | 男性约5L/min |
| 心（脏）指数（CI） | | 空腹和静息时每平方米体表面积的CO， |  | 能进行不同个体间的比较 |
| 心脏做功 | 搏功（W） | 左心室一次收缩所做的功， | 约0.8J | 比CO更全面地评价心功能（还考虑到后负荷等因素的影响） |
| 每分功（MV） |  | 约60J/min |

#### 影响心输出量的因素

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | 调节情况 | 机理 | 意义 |
| 每搏输出量的调节 | 前负荷（异长自身调节） | 在一定范围内，增加心肌前负荷（初长度），其收缩强度和做功能力相应增加 | 前负荷大->初长度长->粗、细肌丝有效重叠程度大，横桥连接的数量多，收缩强度就大 | 能精细调节每搏输出量 |
| 心肌收缩能力（等长自身调节） | 通过改变心肌性能即本身收缩活动的强度和速度实现的调节，与其初长度无关 | 心肌收缩的能力（即心肌细胞的功能状况）发生了改变。通过改变心肌细胞兴奋-收缩偶联各个环节及收缩机构的生化和能量释放转换过程的强度和效率等内在因素而实现的 | 对持续的、剧烈的循环变化有强大的调节作用 |
| 后负荷 | 其他因素不变时，后负荷（动脉高压）升高，则心输出量减少 | 后负荷大：   1. 等容收缩期长，射血期短 2. 心室肌收缩速度慢、射血速度慢、每搏输出量少 | 若动脉压持续增高，则心室长期加强收缩而肥厚，可使泵血功能降低 |
| 心率的影响 | 心率为80~140次/分 | 心率快，心输出量也高 |  | 心率过快或过慢，心输出量将减少 |
| 心率大于180次/分 | 心率进一步加快时，心输出量将减少 | 舒张期过短，回心血量少，每搏输出量少 |
| 心率少于40次/分 | 心输出量减少 | 每搏输出量已达最大值而心率太慢 |

#### 前后负荷比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 后负荷 | 前负荷 |
| 定义 | 心肌开始收缩时所遇到的负荷 | 心肌收缩前所负载的负荷 |
| 含义 | 大动脉压 | 心室舒张末期压（心室舒张末期容积、心房内压力） |
| 影响 | 动脉血压 | 静脉回心血量、射血后心室内剩余血量 |
| 调节 | 异长调节+等长调节 | 异长调节 |

#### 等长和异常调节的比较

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 等长调节 | 异长调节 |
| 定义 | 初长度无改变，通过改变心肌收缩力调节泵血 | 初长度有改变，通过改变心肌细胞初长度调节心脏泵血 |
| 方式 | 神经调节、体液调节 | Starling自身调节，无神经、体液因素参与 |
| 调节 | 对持续、剧烈循环变化的调节 | 对搏出量的微小变化进行精细的调节，只适合短期、细微变化的调节 |
| 作用 | 缺氧、酸中毒、心衰使心搏量减少时的调节 | 体位的突然改变、动脉压突然升高等的调节 |

### 心脏的生物电活性和生理特性

#### 心脏的生物电活动

##### 心肌细胞的分类

|  |  |
| --- | --- |
| 工作细胞 | 心房肌、心室肌细胞，为快反应细胞，具有兴奋性、传导性、收缩性，无自律性 |
| 特殊传导系统 | 具有兴奋性、传导性、自律性（除结区），但无收缩性。包括：1. 窦房结、房室交界（房结区、结区、结希区）为慢反应细胞。其中，房室交界的结区细胞无自律性，传导速度最慢，是形成房室延搁的原因。2. 房室束、左右束支、浦肯野纤维为快反应细胞 |

##### 骨骼肌细胞与心室肌细胞的异同

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | 骨骼肌细胞 | 心室肌细胞 |
| 自律性 | 无 | |
| 产生静息电位的例子 | 主要是K+（K+平衡电位、少量Na+内流和生电性Na+-K+泵活动的综合反映） | |
| 动作电位去极化速度及离子 | 去极化速度快，为Na+内流 | |
| 最大去极化幅变 | 120mV | |
| 静息电位 | 稳定（-70~-90mV） | 稳定（-90mV） |
| 动作电位复极化速度及离子 | 复极化速度慢，形成离子较为复杂 | 复极化速度快，为K+外流 |
| 绝对不应期 | 短 | 长 |
| 动作电位持续时间 | 1~2ms | 300~400ms |
| 收缩形式 | 通常为强制性收缩 | 通常为节律性收缩 |
| Na+释放形式 | 电诱发性钙释放 | 钙诱导性钙释放 |
| 对细胞外Ca2+依赖性 | 小（肌质网发达、贮存Ca2+多） | 大（肌质网不发达、贮存Ca2+少） |
| 意识控制情况 | 受意识控制 | 不受意识控制 |
| 神经支配 | 躯体运动神经 | 内脏植物性神经 |
| 肌膜受体 | N受体 | 受体、M受体 |

##### 心室肌细胞的动作电位

##### 窦房结细胞的跨膜电位及形成机制

##### 心室肌细胞与窦房结P细胞的比较

##### 窦房结细胞与浦肯野细胞动作电位的比较

##### 自律细胞的4期自动去极化比较

##### L型Ca2+通道和T型Ca2+通道的比较

##### 两种Na+通道的比较

#### 心肌的电生理特性

### 血管生理

### 心血管活动的调节

### 器官循环

## 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