

第1部分

生 理 学

第1章 绪论

一、机体的内环境和稳态

(一) 体液

1. 正常成年人体液量约占体重的 60%，包括细胞内液和细胞外液。
2. 细胞外液包括组织间液和血浆，血浆是各部分体液中最为活跃的部分。
3. 各部分体液彼此隔开，成分有较大差别，又相互沟通。

【真题】2010-1A 下列关于体液的叙述，正确的是 (B)

- | | |
|-------------------|--------------------|
| A. 分布在各部分的体液量大体相等 | B. 各部分体液彼此隔开又相互沟通 |
| C. 各部分体液的成分几乎没有差别 | D. 各部分体液中最活跃的是细胞内液 |

(二) 机体的内环境和稳态

细胞外液 ← 内环境 $\xrightarrow{\text{相对稳定}}$ 稳态 ← 负反馈调节 → 神经调节

二、机体生理功能的调节

(一) 神经调节

神经调节是通过反射而影响生理功能的一种调节方式，是人体生理功能调节中最重要的作用形式。神经调节迅速、精确、短暂。

1. 条件 反射弧的完整性。反射弧由五个基本成分组成，即感受器、传入神经、神经中枢、传出神经、效应器。
2. 举例 反射可简单（膝反射），也可复杂（心血管反射、呼吸反射）。

【真题】2014-1A 下列生理功能活动中，主要通过神经反射而完成的调节是 (C)

- | | |
|--------------------|--------------------|
| A. 正常人体的生长与发育过程 | B. 育龄期女性月经周期的正常进行 |
| C. 肢体在受伤害性刺激时的回撤动作 | D. 餐后血糖很快恢复正常水平的过程 |

(二) 体液调节

体液调节是指体内某些特殊的化学物质通过体液途径而影响生理功能的一种调节方式。体液调节相对缓慢、持久。

1. 方式

(1) 远距分泌：内分泌细胞分泌的激素通过血液途径作用于全身各处的靶细胞，产生一定的调节作用，这种方式称为远距分泌。如甲状腺激素分泌后由血液运送到全身组织。

(2) 旁分泌：在组织液中扩散，作用于邻旁细胞，称为旁分泌。如生长抑素在胰岛内抑制 α 细胞分泌胰高血糖素。

(3) 神经分泌：如血管加压素的合成与释放。

2. 神经-体液调节 若内分泌腺或内分泌细胞接受神经的支配，体液调节便成为神经调节反射弧的传出部分，这种调节称为神经-体液调节。如交感神经兴奋时，肾上腺髓质释放肾上腺素和去甲肾上腺素。

A. 旁分泌调节 B. 血分泌调节 C. 自分泌调节 D. 腔分泌调节

【真题】2013-121B 胰岛素抑制胰岛 A 细胞分泌胰高血糖素属于 (A)

【真题】2013-122B 血管升压素促进集合管上皮细胞重吸收水属于 (B)

(三) 自身调节

自身调节是指组织细胞对环境刺激发生的一种适应性反应。自身调节局限、快速, 调节能力较小, 如脑血流、肾血流的稳定。

A. 神经调节 B. 体液调节 C. 自身调节 D. 神经-体液调节

【真题】2012-121B 当平均动脉压在 $60 \sim 140 \text{ mmHg}$ ^① 波动时, 维持脑血流量恒定的调节属于 (C)

【真题】2012-122B 交感-肾上腺髓质系统兴奋引起血压升高的调节属于 (D)

三、体内的控制系统

(一) 反馈控制系统

由受控部分发出的信息反过来影响控制部分的活动, 称为反馈。

1. 负反馈 负反馈控制在调定点水平波动。

(1) 作用: 维持各种生理功能的稳态。

(2) 举例: 减压反射 (动脉血压的压力感受性反射); 肺牵张反射; 血糖浓度调节; 体温维持相对稳定。

【真题】2009-1A 人体功能保持相对稳定依靠的调控系统是 (B)

A. 非自动控制系统 B. 负反馈控制系统 C. 正反馈控制系统 D. 前馈控制系统

【真题】2011-1A 下列生理活动中, 存在负反馈控制的是 (B)

A. 动作电位的产生 B. 血糖浓度的调节 C. 排便反射的过程 D. 兴奋的突触传递

2. 正反馈

(1) 作用: 加速和加强生理过程。

(2) 举例: 排尿反射; 射乳反射; 排便反射; 分娩过程; 动作电位产生 (神经纤维膜上达到阈电位时 Na^+ 通道开放、心室肌细胞动作电位 0 期去极化时 Na^+ 内流); 血凝过程; 胰蛋白酶原激活; 排卵前期成熟的卵泡分泌大量雌激素对腺垂体分泌黄体生成素的影响。

(二) 前馈控制系统

1. 体温调节中有反馈调节机制, 也有前馈调节机制。

2. 条件反射也是一种前馈控制, 如食物信号 (外观、气味) 致唾液、胃液分泌等消化活动; 运动员到达运动场地尚未开始比赛前循环和呼吸的活动改变都属于条件反射, 也属于前馈控制。

3. 前馈控制对受控部分活动的调控比较快速, 有预见性。

4. 前馈控制有时会发生失误, 这是前馈控制的一个缺点。

① $1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$

第2章 细胞的基本功能

一、细胞的跨膜物质转运

(一) 单纯扩散

物质经单纯扩散转运的速率主要取决于被转运物在膜两侧的浓度差和膜对该物质的通透性。单纯扩散的物质有 NH_3 、 O_2 、 CO_2 、 N_2 、水、类固醇激素、乙醇、尿素、甘油等。

【真题】2012-1A 人体内 NH_3 通过细胞膜的方式是 (A)

- A. 单纯扩散 B. 易化扩散 C. 原发性主动转运 D. 继发性主动转运

【真题】2012-151X 离子通过细胞膜的扩散量取决于 (ABD)

- A. 膜两侧该离子的浓度梯度 B. 膜对该离子的通透性
C. 该离子的化学性质 D. 该离子所受的电场力

(二) 易化扩散

1. 经通道易化扩散 经通道转运的溶质几乎都是离子，主要有 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 。这类通道也称离子通道，分为电压门控通道、化学门控通道、机械门控通道。离子通道具有离子选择性和门控特性两个重要的基本特征。经通道易化扩散的转运速率远大于经载体易化扩散的转运速率。

2. 经载体易化扩散

(1) 特点：饱和现象；结构特异性；竞争性抑制。

(2) 举例：葡萄糖、氨基酸的跨膜转运。

记忆：无饱和现象者——单纯扩散、经通道易化扩散；有饱和现象者——经载体易化扩散、原发性主动转运、继发性主动转运、钠泵、钙泵。

(三) 主动转运

1. 原发性主动转运

(1) 钠泵：钠泵也称 $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶，钠泵每分解 1 分子 ATP 可将 3 个 Na^+ 移出细胞外，2 个 K^+ 移入细胞内。钠泵抑制剂哇巴因可阻断钠泵活动。钠泵活动的生理意义：① 钠泵活动造成的细胞内高 K^+ 为胞质内许多代谢反应所必需；② 维持胞内渗透压和细胞容积；③ 钠泵活动建立的 Na^+ 跨膜浓度梯度为继发性主动转运提供势能储备；④ 由钠泵活动形成的 Na^+ 和 K^+ 跨膜浓度梯度是细胞发生电活动的基础；⑤ 钠泵活动是生电效应，可直接使膜内电位的负值增大。

【真题】2008-151X 用哇巴因抑制钠泵活动后，细胞功能发生的变化有 (ABD)

- A. 静息电位绝对值减小 B. 动作电位幅度降低
C. $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换增加 D. 胞质渗透压升高

分析：当钠泵活动被哇巴因抑制后，膜内外正常的 Na^+ 、 K^+ 浓度梯度不能维持，静息电位绝对值减小，动作电位幅度降低。 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换减弱，胞质渗透压升高。

(2) 钙泵：钙泵也称 $\text{Ca}^{2+} - \text{ATP}$ 酶。① 质膜中的钙泵称为质膜钙 ATP 酶 (plasma membrane calcium ATPase, PMCA)，其每分解 1 分子 ATP，可将 1 个 Ca^{2+} 由细胞内转运至细胞外；② 肌质网或内质网中的钙泵称为肌质网和内质网钙 ATP 酶 (SERCA)，其每分解 1 分子 ATP，可将 2 个 Ca^{2+} 由胞质内转运至内质网中。

(3) 质子泵：人体内有两种重要的质子泵，即 $\text{H}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶、 $\text{H}^+ - \text{ATP}$ 酶。

【真题】2009-156X 与发生细胞生物电有关的跨膜物质转运形式有 (BCD)

- A. 经载体易化扩散
- B. 经化学门控通道易化扩散
- C. 经电压门控通道易化扩散
- D. 原发性主动转运

分析: 细胞生物电的产生与细胞膜内外的离子分布与转运有关, 主要是 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} , 这些离子通道可以是化学门控的, 也可以是电压门控的。这些离子也可以通过钠泵、钙泵进行原发性主动转运。

2. 继发性主动转运

(1) 继发性主动转运分为同向转运和反向转运。① 同向转运: Na^+ -葡萄糖同向转运 (葡萄糖在小肠黏膜上皮的吸收和在近端肾小管上皮的重吸收)、 Na^+ -氨基酸同向转运 (氨基酸在小肠的吸收); ② 反向转运: Na^+ - H^+ 交换、 Na^+ - Ca^{2+} 交换。

(2) 大多数情况下, 溶质跨质膜转运的动力来自钠泵活动建立的 Na^+ 的跨膜浓度梯度, 而溶质跨细胞器膜转运的动力来自质子泵活动建立的 H^+ 的跨膜浓度梯度。

【真题】2013-1A 葡萄糖从肠道进入肠上皮细胞的方式是 (D)

- A. 入胞
- B. 单纯扩散
- C. 易化扩散
- D. 主动转运

【真题】2014-2A 葡萄糖在肾小管管腔面被重吸收的跨膜转运方式是 (C)

- A. 经通道易化扩散
- B. 原发性主动转运
- C. 继发性主动转运
- D. 入胞作用

(四) 出胞和入胞

1. 出胞 细胞内的大分子物质以分泌囊泡的形式排出细胞的过程, 如外分泌腺细胞排放酶原颗粒和黏液、内分泌腺细胞分泌激素、小肠黏膜杯状细胞分泌黏液、运动神经纤维末梢释放的乙酰胆碱。

2. 入胞 大分子物质或物质团块借助于细胞膜形成吞噬泡或吞饮泡的方式进入细胞的过程, 如铁运蛋白、低密度脂蛋白、维生素 B_{12} 转运蛋白、多种生长因子、胰岛素等物质的入胞。

二、细胞的跨膜信号转导

(一) G 蛋白耦联受体介导的信号转导

G 蛋白耦联受体 (guanosine-binding protein coupled receptor, GPCR) 介导的信号转导所涉及的信号分子包括多种信号蛋白和第二信使, 信号蛋白包括 G 蛋白、G 蛋白耦联受体、G 蛋白效应器、蛋白激酶等。

1. G 蛋白 即鸟苷酸结合蛋白, 由 α 、 β 、 γ 三个亚单位形成的异源三聚体 G 蛋白。 α 亚单位具有结合 GTP 或 GDP 的能力, 又具有 GTP 酶活性。

2. G 蛋白耦联受体 (7 次跨膜受体) 激活这类受体的配体有儿茶酚胺、5-羟色胺、乙酰胆碱、氨基酸类递质等。

3. G 蛋白效应器 腺苷酸环化酶 (AC)、磷脂酶 C (PLC)、磷脂酶 A_2 (PLA_2)。

4. 第二信使 包括环-磷酸腺苷 (cAMP)、环-磷酸鸟苷 (cGMP)、三磷酸肌醇 (IP_3)、二酰甘油 (DG)、 Ca^{2+} 。

【真题】2012-39A 与 7 次跨膜结构受体耦联的蛋白质是 (D)

- A. 蛋白激酶 A
- B. 小 G 蛋白
- C. 酪氨酸蛋白激酶
- D. 异源三聚体结构的 G 蛋白

【真题】2013-156X 在激素作用的机制中发挥第二信使作用的物质有 (ABCD)

- A. cGMP B. Ca^{2+} C. cAMP D. DG

【真题】2014-151X 既可作用于 G 蛋白耦联受体又可作用于通道型受体的配体有 (BC)

- A. 肾上腺素 B. 乙酰胆碱 C. γ -氨基丁酸 D. 心房钠尿肽

(二) 主要的信号转导通路

1. 受体-G 蛋白-AC-cAMP-PKA 通路。
2. 受体-G 蛋白-PLC- IP_3 - Ca^{2+} 和 DG-PKC 通路。

- A. 磷脂酶 A B. 磷脂酶 C C. 腺苷酸环化酶 D. 鸟苷酸环化酶

【真题】2008-121B 与胞质中 cAMP 生成有直接关系的 G 蛋白效应器是 (C)

【真题】2008-122B 与 IP_3 和 DG 生成有直接关系的 G 蛋白效应器是 (B)

【真题】2010-2A 需要依靠细胞内 cAMP 来完成跨膜信号转导的膜受体是 (A)

- A. G 蛋白耦联受体 B. 离子通道型受体 C. 酪氨酸激酶受体 D. 鸟苷酸环化酶受体

(三) 离子通道型受体介导的信号转导

1. 化学门控通道是一类兼有通道和受体功能的膜蛋白。如骨骼肌终板膜上的 ACh 受体阳离子通道；神经元膜上 A 型 γ -氨基丁酸受体在被递质激活后，氯通道开放引起 Cl^- 内流，对突触后神经元产生抑制效应。
2. 电压门控通道和机械门控通道不称为受体，但它们也具有与化学门控通道类似的信号转导功能。

(四) 酶联型受体介导的信号转导

1. 酪氨酸激酶受体 胞内结构域具有酪氨酸激酶活性，配体如生长因子、胰岛素等。
2. 酪氨酸激酶结合型受体 本身没有酶活性，配体如促红细胞生成素、干扰素、白细胞介素、生长激素、催乳素、瘦素。
3. 鸟苷酸环化酶受体 鸟苷酸环化酶受体的配体如心房钠尿肽 (ANP)、脑钠尿肽 (BNP)。

三、神经和骨骼肌细胞的静息电位和动作电位

(一) 静息电位 (resting potential, RP)

安静情况下细胞膜两侧存在的外正内负且相对平稳的电位差，称为静息电位。

1. 产生机制 静息状态下，膜对 K^+ 的通透性最大，静息电位非常接近 K^+ 的平衡电位。某种离子在膜两侧的电位差和浓度差两个驱动力的代数和为电-化学驱动力。电-化学驱动力由大到小的顺序是 Ca^{2+} 、 Na^+ 、 Cl^- 、 K^+ 。

2. 影响因素

- (1) 细胞外液 K^+ 浓度。
- (2) 膜对 K^+ 和 Na^+ 的通透性：如果膜对 K^+ 的通透性增大，静息电位将增大；如果膜对 Na^+ 的通透性增大，静息电位减小。
- (3) 钠泵活动水平。

(二) 动作电位 (action potential, AP)

1. 特点 峰电位是动作电位的主要部分，是动作电位的标志。动作电位上升支 Na^+ 内移，下降支 K^+ 外流。动作电位有以下特点：“全或无”现象；不衰减传播；脉冲式发放。“全或无”现象是指若刺激未达到一定强度，动作电位就不会产生。当刺激达到一定强度时，所产生的动作电位，

其幅度到达该细胞动作电位的最大值，不会随刺激强度的继续增大而增大。

2. 产生机制 当膜电位等于某离子的平衡电位时，该离子的电-化学驱动力为零。因此，某离子的电-化学驱动力应等于膜电位与该离子平衡电位之差。神经细胞膜上钠泵活动受抑制时，静息电位绝对值和动作电位幅度均减小。

3. Na^+ - K^+ 通道 Na^+ 通道有静息、激活和失活三种状态。 K^+ 通道有静息和激活两种状态。 Na^+ 通道阻断剂为河豚毒（TTX）。 K^+ 通道阻断剂为四乙胺（TEA）。

【真题】2008-2A 神经细胞在兴奋过程中， Na^+ 内流和 K^+ 外流的量取决于（A）

- A. 各自平衡电位 B. 细胞的阈电位 C. 钠泵活动程度 D. 所给刺激强度

【真题】2009-2A 神经细胞膜上钠泵活动受抑制时，可导致的变化是（C）

- A. 静息电位绝对值减小，动作电位幅度增大 B. 静息电位绝对值增大，动作电位幅度减小
C. 静息电位绝对值和动作电位幅度均减小 D. 静息电位绝对值和动作电位幅度均增大

- A. Na^+ B. K^+ C. Ca^{2+} D. Cl^-

【真题】2010-121B 当神经细胞处于静息电位时，电-化学驱动力最小的离子是（B）

【真题】2010-122B 当神经细胞处于静息电位时，电-化学驱动力最大的离子是（C）

【真题】2011-3A 与 Nernst 公式计算所得相比，实际测得的神经细胞静息电位值（D）

- A. 恰等于 K^+ 平衡电位 B. 恰等于 Na^+ 平衡电位
C. 接近于 Na^+ 平衡电位 D. 接近于 K^+ 平衡电位

【真题】2013-3A 下列关于动作电位的描述，正确的是（D）

- A. 刺激强度小于阈值时，出现低幅度动作电位
B. 刺激强度达到阈值后，再增加刺激强度能使动作电位幅度增大
C. 动作电位一经产生，便可沿细胞膜作电紧张性扩布
D. 传导距离较长时，动作电位的大小不发生改变

【真题】2014-3A 下列情况下，能加大神经细胞动作电位幅度的是（D）

- A. 增大刺激强度 B. 延长刺激持续时间
C. 降低细胞膜阈电位 D. 增加细胞外液中 Na^+ 浓度

四、兴奋、电紧张电位和局部电位

（一）兴奋

动作电位本身或动作电位产生的过程称为兴奋。可兴奋细胞如神经细胞、肌细胞和腺细胞能产生动作电位，它们都具有电压门控钠通道或钙通道。肌细胞→兴奋-收缩耦联→收缩；腺细胞→兴奋-分泌耦联→分泌。

各期变化规律见表 1-2-1。

表 1-2-1 各期变化规律

分期	兴奋性	对应关系	引起反应的刺激
绝对不应期	0	峰电位	无
相对不应期	渐恢复	负后电位前期	阈上刺激
超常期	>正常	负后电位后期	阈下刺激
低常期	<正常	正后电位	阈上刺激

（二）电紧张电位和局部电位

1. 电紧张电位 指由膜的被动电学特性决定其空间分布和时间变化的膜电位。

2. 局部电位 阈下刺激引起的低于阈电位水平的去极化电位称为局部电位，其特点：等级性电位，幅度随刺激强度增加而增加，不具有“全或无”的特征；衰减性传导，局部电位以电紧张的方式向周围扩布；没有不应期，反应可以叠加总和。

举例：终板电位、兴奋性突触后电位（excitatory postsynaptic potential, EPSP）、抑制性突触后电位（inhibitory postsynaptic potential, IPSP）、感受器电位。

五、动作电位的引起和它在同一细胞的传导

（一）阈刺激

阈强度（阈值）是使细胞产生动作电位的最小刺激强度，相当于阈强度的刺激，称为阈刺激。大于或小于阈强度的刺激分别称为阈上刺激和阈下刺激。阈下刺激通常不能触发动作电位。刺激量包括三个参数：刺激强度、刺激的持续时间、刺激强度-时间变化率。

（二）阈电位

阈电位是指膜对 Na^+ 通透性突然增大使膜去极化达到动作电位的临界膜电位。

（三）有髓神经纤维动作电位传导特点

跳跃式传导（局部电流仅在郎飞结之间发生）；速度快；髓鞘可增加传导速度。

【真题】2010-3A 外加刺激引起细胞兴奋的必要条件是（C）

- A. 刺激达到一定的强度
- B. 刺激达到一定的持续时间
- C. 膜去极化达到阈电位
- D. 局部兴奋必须发生总和

六、神经-骨骼肌接头处的兴奋传递

（一）结构及物质

接头前膜、接头间隙、接头后膜（终板膜）、突触囊泡、乙酰胆碱酯酶。

（二）兴奋传递过程

神经纤维传来动作电位达神经末梢→神经兴奋→接头前膜去极化→ Ca^{2+} 内流→囊泡中 ACh 释放→ACh 激活终板膜中 N_2 型 ACh 受体阳离子通道→终板膜对 Na^+ 通透性增高→ Na^+ 内流→产生终板电位→间接刺激肌膜→产生肌细胞动作电位。终板膜没有电压门控 Na^+ 通道，因而不会产生动作电位，但可通过电紧张电位刺激周围的电压门控 Na^+ 通道的肌膜，使之产生动作电位。ACh 释放是一个关键性步骤。接头前膜处 Ca^{2+} 内流对于 ACh 的释放是至关重要的。

1. 终板电位（end-plate potential, EPP） Na^+ 的净内流使终板膜发生去极化，这一电位改变称为终板电位，终板电位属局部电位。

2. 微终板电位（miniature end-plate potential, MEPP）在安静状态下，因囊泡的随机运动也会发生单个囊泡的自发释放，并引起终板膜电位的微小去极化，称为微终板电位。

【真题】2009-3A 在神经-骨骼肌接头完成信息传递后，能消除接头处神经递质的酶是（B）

- A. $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATP}$ 酶
- B. 乙酰胆碱酯酶
- C. 腺苷酸环化酶
- D. 磷酸二酯酶

【真题】2010-151X 下列选项中，可使骨骼肌松弛的途径有（BC）

- A. 促使 Ca^{2+} 进入运动神经末梢
- B. 抑制运动神经末梢释放递质
- C. 阻断终板膜上一价非选择性阳离子通道
- D. 抑制胆碱酯酶活性

分析：若抑制运动神经末梢释放递质，将使兴奋不能完成从“接头前膜→接头间隙→接头后膜”的传递，从而使骨骼肌松弛。阻断终板膜上一价非选择性阳离子通道（即 N_2 型 ACh 阳离子通道），将不能在终模板上产生终板电位，也不能产生肌细胞动作电位，导致骨骼肌松弛。抑制胆碱酯酶活性可引起骨骼肌强烈收缩。

【真题】2011-2A 在神经-肌接头的终板膜上，实现跨膜信号转导的方式是（C）

- A. 受体-G 蛋白-AC 途径
- B. 受体-G 蛋白-PLC 途径
- C. 离子通道受体途径
- D. 酪氨酸激酶受体途径

【真题】2012-2A 微终板电位产生的原因是（C）

- A. 运动神经末梢释放一个递质分子引起的终板膜电活动
- B. 肌接头后膜上单个受体离子通道开放
- C. 单囊泡递质自发释放引起终板膜多个离子通道开放
- D. 神经末梢单个动作电位引起终板膜多个离子通道开放

【真题】2013-2A 神经冲动到达肌接头前膜时，引起开放的通道是（B）

- A. Na^+ 通道
- B. Ca^{2+} 通道
- C. K^+ 通道
- D. Cl^- 通道

七、横纹肌

肌组织分为随意肌（骨骼肌）和非随意肌（心肌和平滑肌），前者受躯体运动神经的支配和控制，后者受自主神经的支配和控制。心肌和骨骼肌同属横纹肌。

（一）肌丝滑行理论

肌丝本身长度不变的理论证据是横纹肌收缩时肌肉缩短，暗带长度不变，明带缩短，H 带相应变窄。

（二）肌丝的分子组成

肌球蛋白的横桥与肌动蛋白结合、扭动、复位的过程，称为横桥周期，其长短决定肌肉的缩短速度。肌肉收缩是在肌动蛋白与肌球蛋白的相互作用下将分解 ATP 释放的化学能转变为机械能的过程。

1. 粗肌丝 由肌球蛋白（肌凝蛋白）构成，其头部横桥。横桥具有 ATP 酶活性，并能与肌动蛋白结合。

2. 细肌丝

（1）肌动蛋白：与粗肌丝横桥头部结合。

（2）原肌球蛋白：阻止肌动蛋白与横桥结合，调节肌肉收缩。

（3）肌钙蛋白：与钙离子结合通过构象改变启动收缩。

【真题】2012-3A 与粗肌丝横桥头部结合，引起肌小节缩短的蛋白质是（B）

- A. 肌球蛋白
- B. 肌动蛋白
- C. 原肌球蛋白
- D. 肌钙蛋白

（三）横纹肌细胞的兴奋-收缩耦联

1. 肌膜上的动作电位沿 T 管膜传至肌细胞内部，同时激活 T 管膜和肌膜上 L 型钙通道。

2. 连接肌质网（sarcoplasmic reticulum, JSR）内的 Ca^{2+} 释放。

3. 胞质内的 Ca^{2+} 浓度升高促使 Ca^{2+} 与肌钙蛋白（TnC）结合引发肌肉收缩。

4. 在骨骼肌的一次收缩中，细胞质内增加的 Ca^{2+} 几乎 100% 由 JSR 释放；在心肌，JSR 释放的 Ca^{2+} 仅占 80%~90%。

5. 当骨骼肌舒张时，细胞质内增加的 Ca^{2+} 几乎全部经 LSR 膜中的钙泵活动被回收，而心肌

细胞胞质内 Ca^{2+} 大部分经 LSR 膜中的钙泵活动被回收。

【真题】2013-151X 属于骨骼肌的兴奋-收缩耦联过程的有（ABC）

- A. 电兴奋通过横管传向肌细胞的深处
- B. 三联管的信息传递，导致终池 Ca^{2+} 释放
- C. 肌浆中的 Ca^{2+} 与肌钙蛋白结合可触发肌丝滑行
- D. 钙泵活动将 Ca^{2+} 泵到细胞外，降低肌浆中 Ca^{2+} 浓度

- A. 30%~40%
- B. 50%~60%
- C. 80%~90%
- D. 100%

【真题】2014-121B 在心肌兴奋-收缩耦联中，由肌质网释放的 Ca^{2+} 占胞质 Ca^{2+} 增量的百分比是（C）

【真题】2014-122B 在骨骼肌兴奋-收缩耦联中，由肌质网释放的 Ca^{2+} 占胞质 Ca^{2+} 增量的百分比是（D）

（四）影响横纹肌收缩效能的因素

影响横纹肌收缩效能的因素见表 1-2-2。

表 1-2-2 影响横纹肌收缩效能的因素

影响因素	具体内容
前负荷	长度-张力关系曲线表明，肌肉收缩存在一个最适初长度，即产生最大收缩张力的初长度
后负荷	张力-速度关系曲线表明，负荷在理论上为零时，肌肉缩短可达最大缩短速度（ V_{max} ），肌肉收缩表现为等张收缩；随着后负荷的增加，收缩张力增加而缩短速度减小；当后负荷增加到使肌肉不能缩短时，肌肉可产生最大收缩张力（ P_0 ），肌肉收缩表现为等长收缩。后负荷影响横桥周期
肌肉收缩能力	肌肉收缩能力提高，表现为长度-张力曲线上移和张力-速度曲线向右上移动
收缩的总和	① 收缩的总和包括多纤维总和和频率总和；② 不完全强直收缩：后一次收缩过程叠加在前一次收缩过程的舒张期；③ 完全性强直收缩：后一次收缩过程叠加在前一次收缩过程的收缩期，在生理情况下骨骼肌的收缩几乎都以完全强直收缩的形式进行；④ 心肌不会发生心肌收缩的总和，骨骼肌可发生收缩总和

【真题】2008-3A 能使骨骼肌发生完全强直收缩的刺激条件是（C）

- A. 足够强度的单个阈刺激
- B. 足够持续时间的单个阈刺激
- C. 间隔小于收缩期的一串阈刺激
- D. 间隔大于收缩期的一串阈刺激

第3章 血 液

一、血液的组成和理化特性

(一) 组成

1. 血浆 血浆蛋白是血浆中多种蛋白质(白蛋白、球蛋白、纤维蛋白原)的总称。除 γ -球蛋白来自浆细胞外,白蛋白和大多数球蛋白主要由肝脏产生。肝病时常引起血浆白蛋白/球蛋白的比值下降(正常人为1.5~2.5)。

2. 血细胞 分为红细胞(red blood cell, RBC)、白细胞(white blood cell, WBC)、血小板。其中红细胞的数量最多,约占血细胞总数的99%,白细胞最少。血细胞在血液中所占容积百分比,称为血细胞比容。

(二) 血液理化性质

血液的理化性质见表1-3-1。

表 1-3-1 血液的理化性质

性质	正常值	临床意义
血液比重	全血 1.050~1.060	利用红细胞和血浆比重的差异,可进行血细胞比容、红细胞沉降率的测定,以及红细胞与血浆的分离
血液黏度	全血相对黏度为4~5	全血黏度主要取决于血细胞比容、血流切率;血浆黏度主要取决于血浆蛋白含量。水、血浆等液体的黏度不随切率的改变而变化。血液黏度是形成血流阻力的重要因素之一
渗透压	300mmol/L	血浆渗透压主要由晶体渗透压和胶体渗透压构成,胶体渗透压所占比例较小。①晶体渗透压:来自 Na^+ 、 Cl^- ,对保持细胞内、外水的平衡和细胞正常体积起重要作用;②胶体渗透压:来自白蛋白,对调节血管内、外水的平衡和维持正常血浆容量起重要作用
pH	7.35~7.45	血浆pH的相对恒定取决于血液内的缓冲物质和肺、肾的正常功能。血浆内的缓冲物质最重要的是 $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$

【真题】2009-4A 维持血浆 pH 相对恒定最重要的缓冲对是 (B)

A. $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$ B. $\text{NaHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$ C. $\text{K}_2\text{HPO}_4/\text{KH}_2\text{PO}_4$ D. $\text{KHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$

【真题】2009-24A 血浆渗透压的高低主要取决于 (C)

A. 血浆蛋白总量 B. 白蛋白含量 C. NaCl 浓度 D. KCl 浓度

二、血细胞生理

(一) 红细胞

红细胞是血液中数量最多的血细胞,我国成年男性为 $(4.0\sim5.5)\times10^{12}/\text{L}$,女性为 $(3.5\sim5.0)\times10^{12}/\text{L}$ 。

1. 生理特性

(1) 可塑变形性:红细胞的变形能力取决于红细胞的几何形状、红细胞内的黏度和红细胞膜的弹性,其中红细胞正常的双凹圆碟形的几何形状最重要。如果红细胞变成球形,变形能力减弱。红细胞内的黏度增大或红细胞膜的弹性降低时,也会使红细胞的变形能力降低。

【真题】2014-4A 红细胞在流经狭小毛细血管和血窦时不易被挤破,最主要的原因是 (A)

A. 红细胞呈双凹圆碟形 B. 红细胞内的黏度较高 C. 红细胞膜的弹性较好 D. 此处的血流速度缓慢

(2) 悬浮稳定性:红细胞在第1小时末下沉的距离称为红细胞沉降率(erythrocyte sedimentation

rate, ESR), 简称血沉。红细胞叠连时红细胞沉降率加快。决定红细胞叠连快慢的因素在于血浆成分变化。沉降率越快, 表示红细胞的悬浮稳定性越小。① ESR 加速: 血浆纤维蛋白原、球蛋白、胆固醇含量增多; ② ESR 减慢: 白蛋白、卵磷脂增多。

(3) 渗透脆性: 是指红细胞在低渗盐溶液中发生破裂特性。生理情况下, 衰老红细胞对低渗盐溶液的抵抗力弱, 即脆性高; 初成熟的红细胞抵抗力强, 即脆性低。遗传性球形红细胞增多症患者红细胞脆性变大。

2. 功能 运输氧和二氧化碳、缓冲(酸、碱)作用、免疫功能。

【真题】2011-4A 可导致红细胞沉降速率增快的影响因素是 (B)

A. 血细胞比容增大 B. 血浆球蛋白含量增多 C. 红细胞脆性增大 D. 血浆白蛋白含量增多

【真题】2013-4A 红细胞悬浮稳定性降低的原因是 (C)

A. 血浆白蛋白增多 B. 血浆纤维蛋白原减少 C. 红细胞叠连加速 D. 红细胞脆性增加

(二) 白细胞

白细胞包括中性粒细胞、单核细胞、嗜酸性粒细胞、嗜碱性粒细胞、淋巴细胞(T淋巴细胞、B淋巴细胞、NK细胞)。

1. 中性粒细胞 变形游走能力和吞噬活性都很强。

2. 单核细胞 具有比中性粒细胞更强的吞噬能力。

3. 嗜酸性粒细胞 胞质内含有椭圆形嗜酸性颗粒, 有较弱的吞噬能力, 基本上无杀菌作用, 主要作用有: 限制嗜碱性粒细胞和肥大细胞在 I 型超敏反应中的作用; 参与对蠕虫的免疫反应。

4. 嗜碱性粒细胞 主要参与过敏反应。

5. 淋巴细胞 T 细胞与细胞免疫有关; B 细胞与体液免疫有关; 固有免疫由 NK 细胞执行。

(三) 血小板

1. 血小板的数量 正常成人血小板计数为 $(100 \sim 300) \times 10^9 / L$ 。

2. 生理特性

(1) 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 GPIIb/IX/V 复合物、胶原纤维和血浆 vWF 的参与。

(2) 释放: 血小板受刺激后将贮存在致密体、 α -颗粒或溶酶体内的物质排出现象, 称为释放。受刺激后释放的物质有 ADP、ATP、5-HT、 Ca^{2+} 、 β -血小板球蛋白、血小板因子 4 (PF₄)、vWF、纤维蛋白原、血栓烷 A₂ (TXA₂) 等。

(3) 聚集: 血小板与血小板之间的相互黏着, 这一过程需要纤维蛋白原、 Ca^{2+} 和血小板膜上 GP II b/III a 的参与。

(4) 收缩: 血小板具有收缩能力。血小板的收缩与收缩蛋白系统(肌动蛋白、肌球蛋白、微管)有关。当血凝块中的血小板收缩时, 可使血块回缩。

(5) 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)。

3. 功能 维持血管内皮的完整; 释放血管内皮生长因子和血小板源生长因子, 有利于受损血管的修复; 生理性止血。

三、红细胞的生成与破坏

(一) 生成

1. 红细胞生成所需要的物质 骨髓是成年人生成红细胞的唯一场所。铁和蛋白质是合成血红

蛋白的主要原料，叶酸和维生素 B₁₂ 是红细胞成熟所必需的辅酶物质，维生素 B₁₂ 或叶酸缺乏可导致巨幼红细胞性贫血。叶酸在体内需转化成四氢叶酸后才能参与 DNA 的合成，维生素 B₁₂ 的吸收需要内因子的参与，维生素 B₁₂ 在回肠远端被吸收。

【真题】2010-4A 发生巨幼细胞贫血的原因是 (C)

- A. 缺铁 B. 蛋白质摄入不足 C. 缺乏维生素 B₁₂ 和叶酸 D. EPO 生成不足

【真题】2011-23A 合成血红蛋白的基本原料是 (C)

- A. 铁和叶酸 B. 钴和维生素 B₁₂ C. 铁和蛋白质 D. 蛋白质和内因子

2. 红细胞生成的调节

(1) 促红细胞生成素 (erythropoietin, EPO): 肾脏是产生 EPO 的主要部位，晚期肾脏疾病患者因缺乏 EPO 发生肾性贫血。缺氧可引起 EPO 增加。

(2) 性激素: 雄激素可提高血浆中 EPO 的浓度和刺激骨髓，促进红细胞的生成。此外，甲状腺素、生长激素也可促进红细胞的生成。

【真题】2008-4A 调节红细胞生成的特异性体液因子是 (D)

- A. CSF B. GH C. IGF D. EPO

【真题】2008-69A 下列选项中，属于肾分泌的非血管活性激素是 (A)

- A. 红细胞生成素 B. 肾素 C. 前列腺素 D. 激肽类

【真题】2014-152X 下列生物活性物质中，能促进红细胞生成的有 (ABD)

- A. 促红细胞生成素 B. 雄激素 C. 雌激素 D. 甲状腺激素

(二) 破坏

红细胞的破坏见表 1-3-2。

表 1-3-2 红细胞的破坏

破坏	血管外破坏 (90%)	血管内破坏 (10%)
破坏场所	血管外 (脾、骨髓)	血管内
机制	衰老红细胞被巨噬细胞吞噬后，将血红蛋白消化，释放出铁、氨基酸、胆红素。铁和氨基酸被重新利用，胆红素由肝脏排入胆汁，最后排出体外	衰老红细胞在血管中受机械冲击而破损。血管内破坏所释放的血红蛋白与血浆中的触珠蛋白结合，进而被肝摄取
临床联系	—	当血管内的红细胞大量破坏，血浆中血红蛋白浓度高而超出触珠蛋白结合能力时，未能与触珠蛋白结合的血浆蛋白经肾排出，出现血红蛋白尿

【真题】2012-4A 血管外破坏红细胞的主要场所是 (B)

- A. 肝脏 B. 脾脏 C. 肾脏 D. 淋巴结

四、生理性止血

(一) 止血过程

生理性止血主要包括血管收缩、血小板血栓形成、血液凝固三个过程，且相继发生并相互重叠，彼此密切相关。

1. 血管收缩 首先表现为受损血管局部及附近的小血管收缩，其原因：

(1) 损伤性刺激反射性使血管收缩。

(2) 血管壁损伤引起局部血管肌源性收缩。

(3) 黏附于损伤处的血小板释放缩血管物质, 引起血管收缩。

2. 血小板止血栓的形成 血管损伤使内皮下胶原暴露, 血小板黏附于内皮下胶原上。在 ADP 和凝血酶作用下, 血小板活化而释放内源性 ADP 及 TXA_2 , 促使血小板发生不可逆聚集而形成血小板止血栓, 堵塞伤口达到初步止血。受损血管内皮的前列环素 (PGI_2) 生成减少, 有利于血小板的聚集。

【真题】2008-152X 血小板在生理性止血中的作用有 (ABCD)

- A. 黏附于内皮下成分 B. 释放 ADP 和 TXA_2 , 引起血小板聚集
C. 释放 TXA_2 促进血管收缩 D. 释放 PF_3 促进凝血

3. 血液凝固 血管受损启动凝血系统, 在局部迅速发生血液凝固使纤维蛋白原转变成纤维蛋白以加固止血栓, 称二期止血。局部纤维组织增生而达到永久性止血。活化的血小板可为血液凝固过程中凝血因子的激活提供磷脂表面。血凝块中血小板的收缩可引起血凝块回缩。血小板在生理性止血过程中居于中心地位。血小板减少或功能降低时, 出血时间 (bleeding time, BT) 就会延长。

【真题】2012-5A 血凝块回缩的原因是 (D)

- A. 血凝块中纤维蛋白收缩 B. 红细胞叠连而压缩
C. 白细胞变形运动 D. 血小板的收缩蛋白收缩

(二) 血液凝固

血液凝固是一系列复杂的酶促反应过程, 需要多种凝血因子的参与。

1. 凝血因子 主要有 14 种, 即凝血因子 I ~ XIII (其中 FVI 除外) 及前激肽释放酶、高分子激肽原等。除 FIV 是 Ca^{2+} 外, 其余均为蛋白质。除 FIII (内皮细胞和其他细胞)、FIV、FV (内皮细胞和血小板) 外, 其余均在肝内合成, 故当肝病时可出现凝血功能障碍。FI (纤维蛋白原)、FII (凝血酶原)、FIII (组织因子, 血浆中不存在)、FIV (Ca^{2+})、FV (易变因子, 最不稳定)、FVII (稳定因子, 最稳定)、FVIII (抗血友病因子, 不稳定)。依赖维生素 K 的凝血因子有 FII、FVII、FIX、FX, 分子中均含有 γ -羧基谷氨酸, 和 Ca^{2+} 结合后可发生变构而参与凝血。

【真题】2009-5A 凝血因子 II、VII、IX、X 在肝合成依赖于 (D)

- A. 维生素 A B. 维生素 C C. 维生素 D D. 维生素 K

【真题】2010-5A 肝硬化患者易发生凝血障碍和出血现象, 其主要原因是 (A)

- A. 凝血因子合成减少 B. 血小板生成减少 C. 维生素 K 缺乏 D. 抗凝血酶灭活延缓

2. 凝血过程 血液凝固是由凝血因子按一定顺序相继激活而生成的凝血酶最终使纤维蛋白原变为纤维蛋白的过程 (图 1-3-1)。

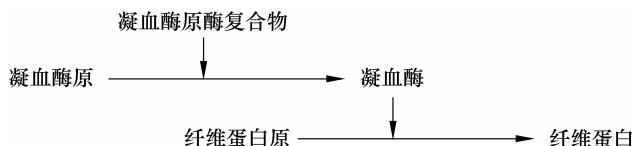


图 1-3-1 凝血过程

【真题】2013-5A 凝血酶的主要作用是 (B)

- A. 激活因子 XIII B. 分解因子 I C. 活化血小板 D. 激活因子 VIII

(1) 凝血酶原酶复合物 (FX a-FV a-Ca^{2+} -磷脂复合物) 的形成: 可通过内源性凝血途径和外

源性凝血途径生成。内源性凝血途径和外源性凝血途径的比较见表 1-3-3。

表 1-3-3 内源性凝血途径和外源性凝血途径的比较

比较	内源性凝血途径	外源性凝血途径
凝血因子分布	全部来自血液	存在于组织和血液中
启动方式	血管内膜下胶原纤维或异物激活 FⅩⅡ	受损的组织释放出 FⅢ
因子Ⅹ激活物	FⅨa-FⅧa-Ca ²⁺ -血小板膜磷脂复合物	FⅦa-FⅢ复合物
凝血速度	较慢	较快

(2) 凝血酶原的激活和纤维蛋白的生成。

3. 血液凝固的调控 体内的生理性凝血过程在时间和空间上受到严格的控制。

(1) 体内抗凝系统：见表 1-3-4。

表 1-3-4 体内抗凝系统

途径	作用
血管内皮的抗凝作用	① 正常血管内皮可防止凝血因子、血小板与内皮下成分接触，从而避免凝血系统的激活和血小板的活化；② 血管内皮具有抗凝血和抗血小板的功能；③ 血管内皮细胞可以合成、释放前列环素（PGI ₂ ）和一氧化氮（NO），抑制血小板的聚集
纤维蛋白、血液及单核-巨噬细胞	纤维蛋白的吸附，血液的稀释及单核-巨噬细胞的吞噬作用
生理性抗凝物质	
丝氨酸蛋白酶抑制物	抗凝血酶是最重要的抑制物，负责灭活 60%~70%的凝血酶。抗凝血酶由肝和血管内皮细胞产生，通过与多种凝血因子丝氨酸残基结合而抑制其活性
蛋白质 C 系统	蛋白质 C 系统可使 FⅧa 和 FⅤa 灭活
组织因子途径抑制物（TFPI）	一种糖蛋白，由血管内皮细胞产生，是外源性凝血途径特异性抑制剂
肝素	主要由肥大细胞和嗜碱性粒细胞产生。① 通过增强抗凝血酶的活性而间接发挥抗凝作用；② 肝素可刺激血管内皮细胞释放 TFPI

(2) 临床应用：见表 1-3-5。

表 1-3-5 临床应用

措施	机制	临床应用
温热盐水纱布	纱布是异物，可激活因子 FⅫ 和血小板；凝血过程为一系列酶促反应，适当加温可使凝血反应加速	外科手术、压迫止血
柠檬酸钠、草酸钾、草酸铵	与 Ca ²⁺ 结合除去血浆中 Ca ²⁺	体外抗凝
维生素 K 拮抗剂（如华法林）	抑制 FⅡ、FⅦ、FⅨ、FⅩ 等维生素 K 依赖性凝血因子的合成	体内抗凝
天然肝素	与抗凝血酶结合外，还能与血小板结合，不仅可抑制血小板表面凝血酶的形成，而且能抑制血小板的聚集与释放	体内、体外抗凝
低分子量肝素	只能与抗凝血酶结合，对 FⅩa 的抑制大于对凝血酶的抑制	体内、体外抗凝

【真题】2008-5A 实验中常用柠檬酸钠（枸橼酸钠）抗凝血，其机制是（D）

A. 抑制凝血酶的活性 B. 加强抗凝血酶Ⅲ的作用 C. 防止血小板激活 D. 螯合血浆中的 Ca²⁺

【真题】2014-5A 下列凝血因子中，需要维生素 K 参与其合成的是（B）

A. 因子Ⅰ、因子Ⅲ、因子Ⅷ、因子Ⅻ B. 因子Ⅱ、因子Ⅶ、因子Ⅸ、因子Ⅹ
C. 因子Ⅲ、因子Ⅶ、因子Ⅹ、因子Ⅺ D. 因子Ⅴ、因子Ⅷ、因子Ⅸ、因子Ⅺ

(三) 纤维蛋白的溶解

止血栓的溶解主要依赖纤维蛋白溶解系统(纤溶系统)。纤溶系统主要包括纤维蛋白溶解酶原(纤溶酶原)、纤溶酶、纤溶酶原激活物和纤溶抑制物。

1. 纤溶酶原激活物 纤溶酶原激活物有组织型纤溶酶原激活物、尿激酶型纤溶酶原激活物。
2. 纤维蛋白与纤维蛋白原的降解 纤溶酶属于丝氨酸蛋白酶,是血浆中活性最强的蛋白酶。当纤溶亢进时,有出血倾向。纤溶蛋白降解产物具有抗凝作用。
3. 纤溶抑制物 维持凝血和纤溶之间的动态平衡作用。

五、红细胞血型与输血

(一) ABO 血型

1. 特点 A型血红细胞有A抗原,血浆中有抗B抗体。B型血细胞有B抗原,血浆中有抗A抗体。AB型血红细胞有A与B抗原,血浆中无抗体。O型血红细胞有H抗原,血浆中有抗A及抗B抗体。ABO血型系统存在天然抗体,多属IgM,不通过胎盘。
2. 注意 同型输血,交叉配血。

(二) Rh 血型

1. 特点 多数人为Rh阳性。Rh系统的抗体主要是IgG,可以通过胎盘。
2. 注意 Rh阴性母体怀第一胎Rh阳性胎儿时,很少出现新生儿溶血;但在第二次妊娠时,母体内的抗Rh抗体可进入胎儿体内引起新生儿溶血性贫血致胎儿死亡。

(三) 输血原则

1. 准备输血时,首先鉴定血型,保证供血者与受血者血型相合。对于在生育年龄的妇女和需要反复输血的患者还需Rh血型相合。
2. 即使已知ABO血型相同,给患者输血前仍应进行交叉配血试验,将供血者红细胞与受血者血清配合试验(主侧)和将受血者红细胞与供血者血清配合试验(次侧)。主侧、次侧都不发生凝集,配血相合可以输血。主侧发生凝集则配血不合禁止输血。主侧不发生凝集,次侧凝集,在紧急情况下可少量、缓慢输入。
3. 将O型血的人称“万能供血者”,将AB型血的人称“万能受血者”均是不可取的。
4. 提倡成分输血,即将人血中的各种不同成分分别制备成高纯度和高浓度制品,再输给患者。

【真题】2011-5A Rh阴性的母亲生下Rh阳性子女,有可能患(C)

- A. 巨幼红细胞性贫血 B. 血友病 C. 新生儿溶血性贫血 D. 红细胞增多症

【真题】2012-6A Rh血型的主要抗体是(C)

- A. IgA B. IgD C. IgG D. IgE

【真题】2013-6A ABO血型系统的主要抗体是(B)

- A. IgA B. IgM C. IgE D. IgG

第4章 血液循环

一、心肌细胞的跨膜电位及其形成机制

(一) 心室肌细胞的跨膜电位及其简要形成机制

1. 静息电位 约为 -90mV ，接近于 K^+ 的平衡电位。

2. 动作电位 可分为五期：

(1) 0期：即去极化期。 Na^+ 内流。0期去极化主要由 Na^+ 内向电流引起。当心肌细胞受刺激使膜去极化达到阈电位水平（ -70mV ）时， I_{Na} 通道开放。 I_{Na} 通道是一种快通道，激活快，失活也快。快 I_{Na} 通道可被河豚毒阻断，但心室肌细胞 Na^+ 通道的特性与骨骼肌细胞和神经细胞的 Na^+ 通道不同，一般对河豚毒不敏感。

(2) 1期：即快速复极初期。 K^+ 外流（ I_{to} ）。常将0期和1期两部分合称为峰电位。

(3) 2期：即平台期。 Ca^{2+} 内流、 K^+ 外流。此期是心室肌细胞动作电位持续时间长的主要原因，也是区别骨骼肌、神经细胞动作电位的主要特征。L型钙电流是主要的去极化电流， Ca^{2+} 通道是慢钙通道，可被维拉帕米阻断。

(4) 3期：即快速复极末期。 Ca^{2+} 内流停止， K^+ 外流增加。

(5) 4期：即静息期。有钠泵、 $\text{Na}^+-\text{Ca}^{2+}$ 交换体、钙泵参与。

注：瞬间外向电流（ I_{to} ）是引起心室肌细胞1期快速复极的主要跨膜电流。

(二) 窦房结细胞的跨膜电位及其简要形成机制

动作电位特点为：

1. 0期 Ca^{2+} 缓慢内流。去极化速度较慢，持续时间较长，由慢钙通道介导。

2. 3期 K^+ 外流。

3. 4期 K^+ 外流减少（最主要）， Na^+ （ I_{f} ）、 Ca^{2+} 内流增加（T型钙通道激活开放）。窦房结P细胞4期自动去极化机制为外向电流减弱和内向电流增强。

【真题】2010-6A 下列关于窦房结P细胞4期自动去极化机制的叙述，错误的是（D）

A. Na^+ 内流进行性增强

B. K^+ 外流进行性衰减

C. Ca^{2+} 内流进行性增强

D. Cl^- 内流进行性衰减

二、心肌的生理特性

(一) 兴奋性

1. 影响因素

(1) 静息电位：若阈电位的水平不变，而静息电位或最大复极电位的绝对值越大，则与阈电位之间的差距就越大，引起兴奋所需要的刺激强度就越大，兴奋性越低。

(2) 阈电位水平：若静息电位或最大复极电位不变，阈电位水平越高，则与静息电位之间的差距就越大，引起兴奋所需要的刺激阈值就越大，兴奋性越低。

(3) 0期去极化的离子通道性状：在快反应动作电位，兴奋性取决于 Na^+ 通道是否处于静息状态；在慢反应动作电位，细胞的兴奋性取决于L型 Ca^{2+} 通道的功能状态。

2. 兴奋性的周期变化 见表1-4-1。

表 1-4-1 兴奋性的周期变化

变化	有效不应期		相对不应期	超常期
	绝对不应期	局部反应期		
动作电位	无论任何刺激都不能产生新的动作电位	仍不能产生新的动作电位	给予阈上刺激可以产生新的动作电位	给予阈下刺激就可以产生新的动作电位
兴奋性	无	极低	低于正常	大于正常

(二) 自律性

1. 自律性的产生 动作电位 4 期自动去极化。
2. 自律性的高低 窦房结（P 细胞）最高，因此为正常起搏点。浦肯野细胞的自律性最低。
3. 影响因素
- (1) 最大复极电位与阈电位之间的差距越小，自律性就越高。
- (2) 4 期自动去极化的速度越快，自律性就越高。

【真题】2012-8A 衡量心肌自律性高低的主要指标是（C）

- A. 动作电位的幅值
- B. 最大复极电位水平
- C. 4 期膜电位自动去极化速率
- D. 0 期去极化速度

【真题】2013-8A 窦房结能成为心脏正常起搏点的原因是（D）

- A. 静息电位仅为 -70mV
- B. 阈电位为 -40mV
- C. 0 期去极化速度快
- D. 4 期去极化速率快

(三) 传导性

1. 兴奋在心脏内的传导
- (1) 心脏内兴奋的传导是以心肌细胞间的缝隙连接为基础的。
- (2) 正常情况下，起源于窦房结的兴奋能直接传给心房肌纤维。心房中还有一些小的肌束组成优势传导通路，可将兴奋直接传到房室结（也称房室交界）。
- (3) 房室结区传导速度缓慢，兴奋由心房传至心室要经过一段延搁，称为房-室延搁，从而避免心房和心室的收缩在时间上的重叠。
- (4) 兴奋在浦肯野纤维内的传导速度在心内传导系统中是最快的。

【真题】2009-6A 心房和心室收缩在时间上不重叠，后者必定落在前者完毕后的原因是（C）

- A. 窦房结到心房距离近，而到心室距离远
- B. 心房肌传导速度快，心室肌传导速度慢
- C. 房室交界处传导速度慢而形成房-室延搁
- D. 窦房结分别通过不同传导通路到达心房和心室

2. 影响传导性的因素

- (1) 结构因素：① 细胞直径：细胞直径大，兴奋的传导速度就快，成正比；浦肯野细胞的直径大，因此传导兴奋的速度很快；房室结区细胞直径小，传导速度最慢；② 细胞间缝隙连接的数量和功能状态：细胞间的缝隙连接数量少，传导速度慢。病理情况下，如心肌缺血，细胞间的缝隙连接可以关闭，兴奋的传导明显减慢。
- (2) 生理因素：① 动作电位 0 期去极化的速度和幅度：动作电位 0 期去极化的速度越快和幅度越大，兴奋传导就越快；② 邻旁未兴奋区心肌膜的兴奋性。

(四) 收缩性

心肌细胞的收缩由动作电位触发，也可通过兴奋-收缩耦联使肌丝滑行而引起。另外，心肌收

缩还有其自身特点。

1. 特点

- (1) 对细胞外 Ca^{2+} 依赖性：心肌细胞的兴奋-收缩耦联过程高度依赖细胞外 Ca^{2+} 的浓度。
- (2) 不发生强直收缩：心肌细胞的有效不应期特别长，在正常情况下心肌不会发生强直收缩。
- (3) 同步收缩：兴奋通过缝隙连接在心肌细胞间迅速传播。心肌兴奋后，心房和心室的心肌细胞同步收缩，即称为“全或无”式收缩。

2. 影响因素 前、后负荷和心肌收缩力及细胞外 Ca^{2+} 浓度。另外，还有运动、肾上腺素和洋地黄类药物。

三、心脏的泵血功能

(一) 心动周期

心脏的一次收缩和舒张构成一个机械活动周期，称为心动周期。心动周期的长度与心率有反变关系。心率加快时，心动周期缩短，收缩期和舒张期都相应缩短，但舒张期缩短的程度更大，这对心脏的持久活动是不利的。

(二) 心脏的泵血过程和机制

- 1. 心室回心血量主要靠心室舒张的抽吸作用。
- 2. 心脏泵血的过程和机制 见表 1-4-2。

表 1-4-2 心脏泵血的过程和机制

时期	心室收缩期			心室舒张期			
	等容收缩期	快速射血期	减慢射血期	等容舒张期	快速充盈期	减慢充盈期	心房收缩期
压力变化	房内压<室内压<主动脉压	房内压<室内压>主动脉压	房内压<室内压<主动脉压	房内压<室内压<主动脉压	房内压>室内压<主动脉压	房内压>室内压<主动脉压	房内压>室内压<主动脉压
房室瓣	关闭	关闭	关闭	关闭	开放	开放	开放
动脉瓣	关闭	开放	开放	关闭	关闭	关闭	关闭
特点	左室压升高最快，主动脉压最低（末）	主动脉血流量最大，主动脉压最高（末），左心室压最高（末）	—	左心室容积最小（末）	—	—	左心室容积最大（末）

【真题】2011-6A 一个心动周期中，心室内容积达到最大的时刻是（A）
A. 心房收缩期末 B. 减慢充盈期末 C. 减慢射血期末 D. 快速充盈期末

(三) 心音

- 1. 第一心音 房室瓣关闭引起，标志着心室收缩的开始。音调低、时间长，在心尖搏动处听诊最清楚。
- 2. 第二心音 主动脉瓣和肺动脉瓣关闭引起，标志着心室舒张的开始。频率高、时间短。

(四) 心脏泵血功能的评定

1. 心脏的输出量

- (1) 每搏输出量：一侧心室一次心脏搏动所射出的血液量，称为每搏输出量，简称搏出量。正常成年人在安静状态下，每搏输出量约为 70ml。
- (2) 射血分数：搏出量占心室舒张末期容积的百分比，称为射血分数。健康成年人的射血分

数为55%~65%。与搏出量相比,射血分数能更准确地反映心脏泵血功能,对早期发现心脏泵血功能异常具有重要意义。

(3) 每分输出量:一侧心室每分钟射出的血液量,称为每分输出量,简称心输出量。心输出量等于心率与搏出量的乘积。左、右两心室的心输出量基本相等,男性大于女性,青年人大于老年人,剧烈运动时可升高,麻醉情况下可降低。

(4) 心指数:以单位体表面积(m^2)计算的心输出量称为心指数,可作为比较不同个体心功能的评价指标。心指数随年龄增长而下降。运动、妊娠、情绪激动和进食时,心指数均可升高。

2. 心脏做功量

(1) 每搏功:心室一次收缩射血所做的功。

(2) 每分功:即心室每分钟收缩射血所做的功。每分功=每搏功 $\times$ 心率。动脉血压升高,心脏做功量增加。心脏做功量是评定心脏泵血功能更为全面的指标。正常情况下,左右心室的排血量基本相等,但肺动脉平均压仅为主动脉平均压的1/6左右,故右心室的做功量也只有左心室的1/6。高血压患者比正常人的心脏做功量明显升高。

【真题】2008-6A 高血压患者较正常人明显增高的心泵功能指标是(D)

A. 心输出量 B. 射血分数 C. 心指数 D. 心脏做功量

(五) 影响心输出量的因素

1. 前负荷的调节(异长调节)

(1) 概念:心室舒张末期容积相当于心室的前负荷。在心室最适前负荷和最适初长度时,粗、细肌丝处于最佳重叠状态,收缩时可产生的张力最大。

(2) 调节途径:Starling机制。前负荷增加 $\rightarrow$ 心室舒张末期压增高 $\rightarrow$ 心室肌初长度增加 $\rightarrow$ 心肌收缩力增强 $\rightarrow$ 输出量增加。

(3) 特点:异长调节是对搏出量的微小变化进行精细的调节。如在改变体位时、动脉压突然升高、左右心室搏出量不平衡时的微细调节。

(4) 影响因素:心室的前负荷主要取决于心室舒张末期充盈的血液量。

1) 静脉回心血量(主要):包括以下四个方面。①心室充盈时间:心率加快 $\rightarrow$ 充盈时间缩短 $\rightarrow$ 充盈不完全 $\rightarrow$ 静脉回心血量减少;②静脉回流速度:静脉回流速度越快,静脉回心血量越多;反之,则静脉回心血量越少;静脉回流速度取决于外周静脉压与心房、心室内压之差;③心室顺应性:心室顺应性降低时(如心肌纤维化、心肌肥厚等),心室充盈量将减少,搏出量减少;④心包内压:正常情况下,心包的存在有助于防止心室的过度充盈。当发生心包积液时,心包内压增高,可使心室充盈受到限制,导致静脉回心血量减少。

2) 射血后心室内的剩余血量。

【真题】2012-7A 生理情况下,能代表心室肌前负荷的指标是(B)

A. 收缩末期容积或压力 B. 舒张末期容积或压力 C. 等容收缩期容积或压力 D. 等容舒张期容积或压力

2. 后负荷的调节 大动脉血压是心室收缩时所遇到的后负荷。动脉压升高 $\rightarrow$ 等容收缩期延长而射血期缩短 $\rightarrow$ 搏出量减少 $\rightarrow$ 心室内剩余血量增加 $\rightarrow$ 通过自身调节机制使搏出量恢复正常水平。后负荷可以通过异长调节和等长调节机制改变。

【真题】2013-7A 心室肌收缩的后负荷是(B)

A. 等容收缩期初心室内压 B. 大动脉血压 C. 快速射血期心室内压 D. 减慢射血期心室内压