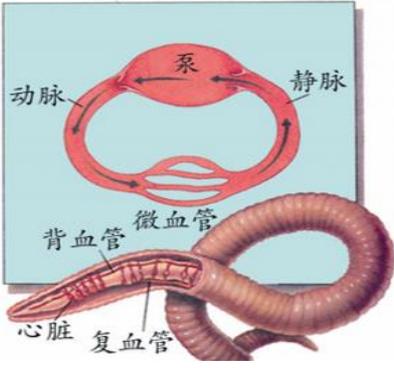
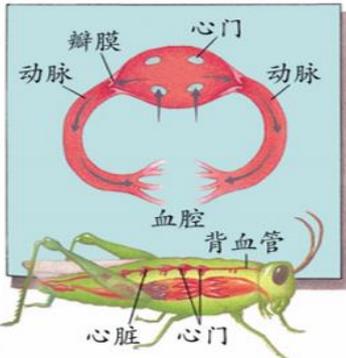


## 动物的运输

- 为了满足细胞代谢的需求，循环系统可完成提供细胞需要的食物和氧气和将产生的废物排出体外

单细胞生物（草履虫、变形虫）	生活于外环境水中，通过细胞膜直接跟外界进行物质交换 要靠鞭毛的摆动使水流动，以获得足够的赖以生存的养料和空气
海绵动物和腔肠动物等低等多细胞动物	环境中的水是它们跟外界进行物质交换的介质 靠鞭毛或肌肉的活动让水流经体内空腔（如海绵的中央腔、水螅的消化循环腔等），使体内细胞直接跟流水接触，进行物质交换
从软体动物、节肢动物起较高级的多细胞动物乃至人类的体内细胞	体液循环，体内细胞可以高效地获得由消化器官和呼吸器官从外环境中摄取的营养物质、氧气，还可以及时排出代谢产物

<p>闭锁式循环系统 (closed circulatory system)</p> 	<p>有单循环系统和双循环系统之分，还有心血管系统和淋巴系统之分 体液以肌肉收缩为动力，沿着一定的途径在体内循环</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 环节动物（蚯蚓） <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 具有动脉弧、血管和血液（封闭的管道中）</li> <li>○ 有心脏，将血压入腹血管，分支流到身体各个部分，通过小血管流回背血管，进入动脉弧</li> </ul> </li> </ul>
<p>开放式循环系统 (open circulatory system)</p> 	<p>体液是带有血细胞的组织液，叫血淋巴 (haemolymph) 血液中缺少微血管，在心脏推动下血管进入组织间隙 分节心脏将血液通过唯一的血管压向头部，血液流出血管，进入体腔各组织间 组织间血液由后向前，经心室返回心脏，重复流动</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 虾</li> </ul>

- 虾的血淋巴中有呼吸色素血蓝蛋白，靠它运输氧气

- 昆虫血液循环的主要功能
  - 将身体所需的各种营养物质、水和激素送到作用部位
  - 将组织中产生的代谢物和废物送到其它组织或排泄器官中进行中间代谢或排出体外
  - 维持身体各部位的渗透压、离子平衡和 PH 值
  - 抗逆性(血细胞)
- 各种动物循环类型和特征的比较

动物门类	循环类型	心脏结构	血管结构	血压	血流速度
原生动物	细胞质流动	无	无	-	-
多孔动物	开放型	无	无	-	-
腔肠动物	开放型	无	无	-	-
环节动物	开放型，少数封闭型（蚯蚓）	出现能搏动背血管（管状心）	开始出现动脉、静脉、毛细血管、有或微循环	低	慢
棘皮动物	开放型，由体腔血管、水管系统组成	有	有动脉、静脉、无微循环	低	慢
软体动物	多为开放型，少数为封闭型（章鱼、乌贼）	有发育良好的心脏、头足类的心脏发育更好，出现肌性心室，1~2心房、1心室、另有辅助心，有房室瓣，可保证心血单向流动	有动静脉毛细血管，头足清晰的微循环	头足血压较高，气体开放型循环较低	头足较快，其他较慢

节肢动物	开放型	有搏动带瓣膜的管状心，肢体、翅、触角有副心帮助，推动血流	有动静脉	低 在运动时血压升高	慢
圆口纲动物(盲鳗)	开放型	一心房、一心室、三副心	有动静脉和毛细血管	低	慢
鱼纲	封闭型，软、硬骨鱼通过鳃循环行气体交换；肺鱼以肺循环行气体交换为主，鳃循环趋向退化	一心房，一心室，心房接受静脉窦血液，心室与动脉圆锥相连，动脉圆锥内有防止血液逆流的瓣膜	有动静脉毛细血管之分	高（静脉窦内血压较低，动脉圆锥内血压较高）	较快
两栖纲	封闭型	二心房，一心室	动静脉毛细血管分得更清楚	高	较快
爬行纲	封闭型	二心房，二心室，鳄的心室分隔完全，形成双循环，非鳄动物内分隔不全	动静脉毛细血管分得更清楚	高	较快

鸟纲	封闭型	二心房，二心室，心室分隔完全，形成完善典型的双循环	动静脉毛细血管分得更清楚（保留右主动脉）	最高	最快
哺乳纲	封闭型	二心房，二心室，心室分隔完全，形成完善典型的双循环	动静脉毛细血管分得更清楚（保留左主动脉）	仅次于鸟纲动物	很快

- 循环系统

单循环(single circulation)	血液只做单次和单方向流动 如鱼类，心室将血液由动脉送到鳃，进行气体交换后，充氧血由微血管流回动脉，再送到身体各个部分的微血管，由静脉流回心房
半双循环	不完整的双循环 如两栖类和爬行类（除了鳄鱼）心脏有二心房一心室，血液由心脏出去后的肺循环和体循环有两个途径，但来自左右心室的充氧血和缺氧血无法完全分开
双循环(double circulation)	左右心房和心室的血液不相混和，具有完整的腔室 如鸟类和哺乳类

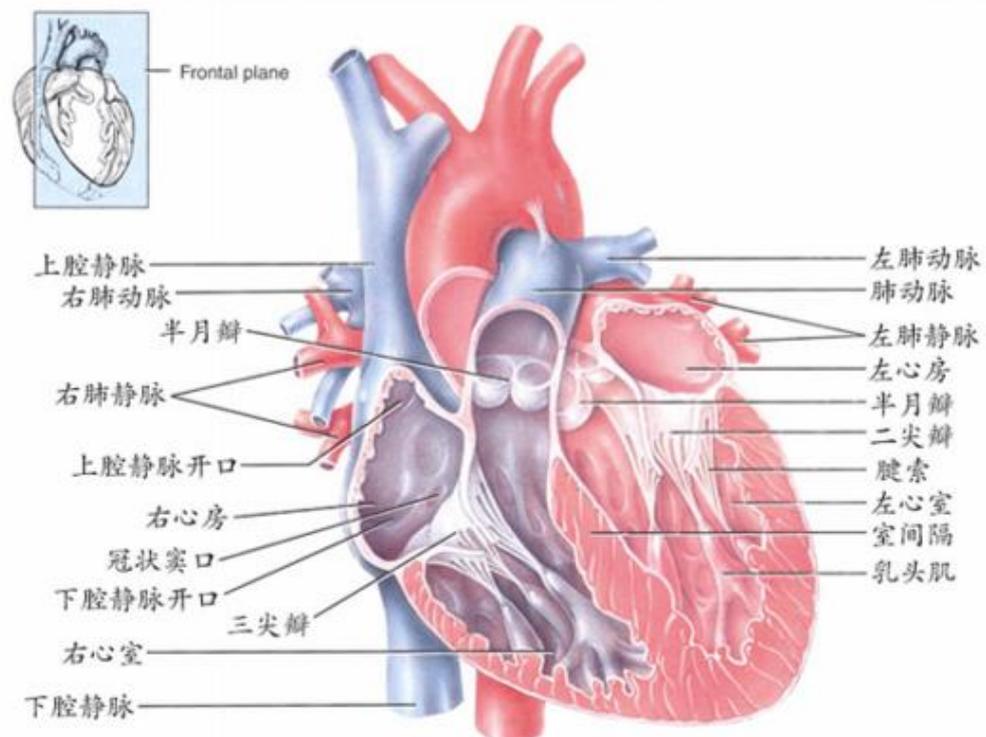
- 人体血液血液循环途径

肺循环 (pulmonary circulation)	心脏和肺之间的循环 从身体各个部分的缺氧血流向心脏，泵入肺动脉，输往肺，进行气体交换后，才经肺静脉将充氧血带回心脏
体循环 (systemic circulation)	心脏与身体其他部分的循环 充氧血由心脏泵入主动脉，运到身体各个器官和组织（除了肺），进行物质交换后，经上、下腔静脉将缺氧血带回心脏

肝门循环 (hepatic portal circulation)	将小肠微血管内经过消化的养分汇集，送到肝脏微血管由肝细胞处理和运用，再将血液重新注入肝静脉返回心脏
冠状循环 (coronary circulation)	供应养料和氧气于心脏 循环途径： 左心室 → 主动脉 → 冠状动脉 → 小动脉 → 微血管 → 小静脉 → 冠状静脉 → 右心房

● 心脏结构

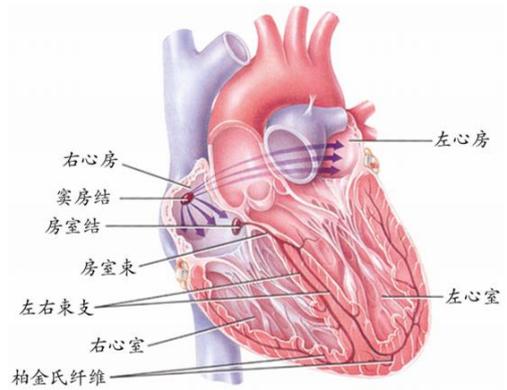
- 心脏是人体全身血液循环的血泵，使血液在血管内朝单一方向流动，供应全身各部的养分
- 心脏外面有一层光滑的心包膜
- 心脏壁绝大部分是由心肌构成，称为心肌层(myocardium)
  - 形成心脏壁的中层，心肌层之外覆有一层薄而润滑的浆膜，称为心外膜(pericardium)
  - 紧贴在心肌层内面的一层薄膜，是内皮构成，称为心内膜(endocardium)



- 浆膜和内皮虽都是由单层的扁平细胞形成，但他们在胚胎期的来源不同，性质各异，故有不同的名称
- 心壁在心室的部分远比心房为厚，且左心室又比右心室厚
- 心脏内腔中的活瓣，是由心内膜延伸而成的瓣膜，用以控制使血液作单向流动，防止其倒流

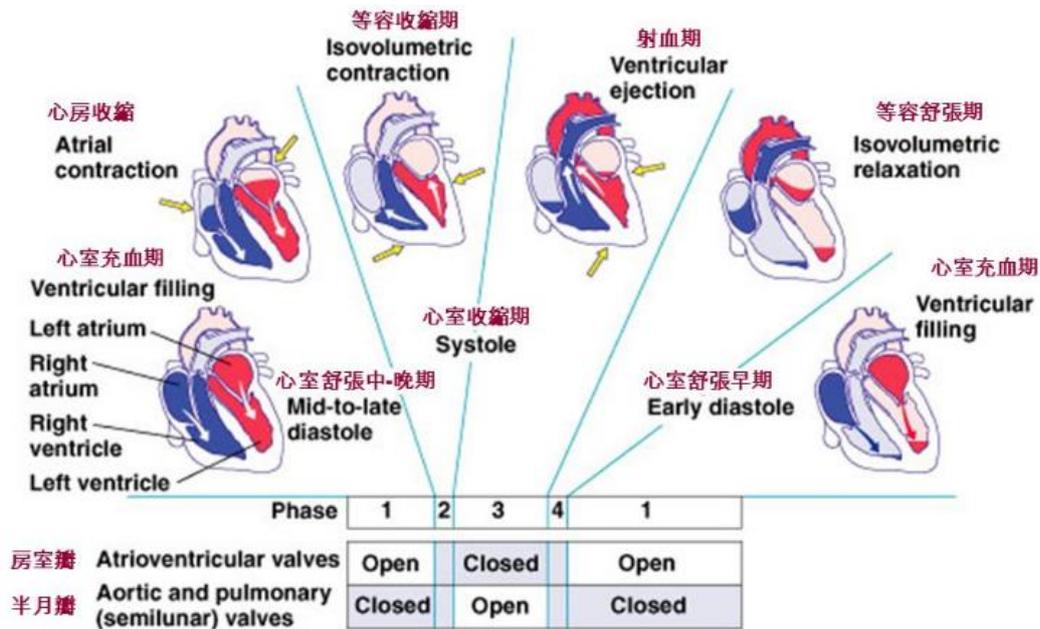
- 活瓣的形状因所在的部位而异，位于左侧房、室之间者，是由两片尖形的瓣膜围合而成，称为二尖瓣（bicuspid valve）
- 右侧房、室之间的活瓣，是由三片尖形瓣膜组成，故称三尖瓣（tricuspid valve）。
- 在三尖瓣及二尖瓣之瓣膜尖端，则有许多像琴弦一样的腱索，把它紧系在心室内面凸起的乳头肌（papillary muscle）上，其作用是在增强活瓣的功能，以免心室收缩时，急剧升高的压力使血液倒流
- 在大动脉（主动脉）及肺动脉之基部，管腔内也各有一活瓣，是由三片略呈半月形之袋状瓣膜组成，称半月瓣
- 脊椎动物的心脏，因其心肌的收缩（心搏）具有自动自律的特性，而非起源于神经的控制，故属肌原性心脏（myogenic heart）
- 其心壁内部含有一种特殊心肌形成的结组织（nodal tissue），为发动并控制心脏搏动的所在。这种组织在鱼类和两栖类则位于心脏背侧的静脉窦（sinus venosus）
- 高等的脊椎动物如哺乳类，其静脉窦已告退化而消失不见，但即另有一些结组织残留在右心房的后壁，靠近上腔静脉通入之处，称为窦房结能以一定的频率，引发刺激心肌收缩的讯号，这一发动心搏频率之部位，称为节律点。
- 心脏的自动节律性
  - 离体心脏或脱离神经支配的心脏，在适宜的条件下和在一定的时间内，仍能发生自动地节律性地舒缩活动
  - 这种自动节律性来源于心脏的特殊传导系统的自律细胞（心肌细胞的一种）。
  - 自律细胞能自动发生节律性兴奋（心房肌和心室肌无自律性），再传导到其他心肌细胞，引起心脏的舒缩活动。
  - 心脏的特殊传导系统，主要包括窦房结、房室结、结间束、房室束（atrioventricular bundle）等
  - 由于窦房结的节律性最高，因此，正常心脏的节律性活动实际上受窦房结控制的。这种由窦房结控制节律的心脏搏动，叫做窦性心律
    - 正常人的窦房结一般每分钟可以自动地、有节律地发生兴奋 60-100 次。
    - 在正常情况下，兴奋总是先由窦房结产生，并且沿着结间束传向左、右心房，引起心房收缩；同时，兴奋也经过结间束传到房室结，再沿着房室束传到左、右心室，引起心室收缩。于是心房和心室便按照窦房结的节律依次进行搏动

- 正常人窦房结的自动节律性经常处于迷走神经的抑制作用下，因此，窦房结每分钟产生兴奋只有60-80次，也就是说，心脏每分钟搏动60-80次。
- 如果窦房结兴奋的频率过高，每分钟超过100次，叫做窦性心动过速
- 如果每分钟低于60次，则叫做窦性心动过缓。
- 窦房结是正常心脏兴奋和搏动的起源地，所以把它叫做正常起搏点。其他具有自律性的结构（如房室结），在某些异常情况下，才起作用，成为异位起搏点。



• 心脏搏动包含四个连续阶段

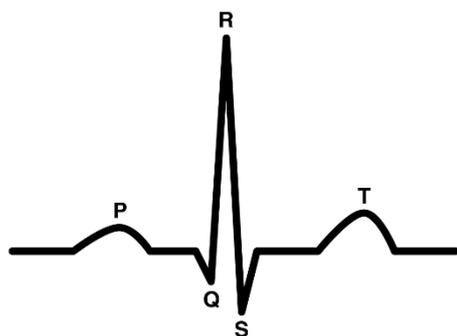
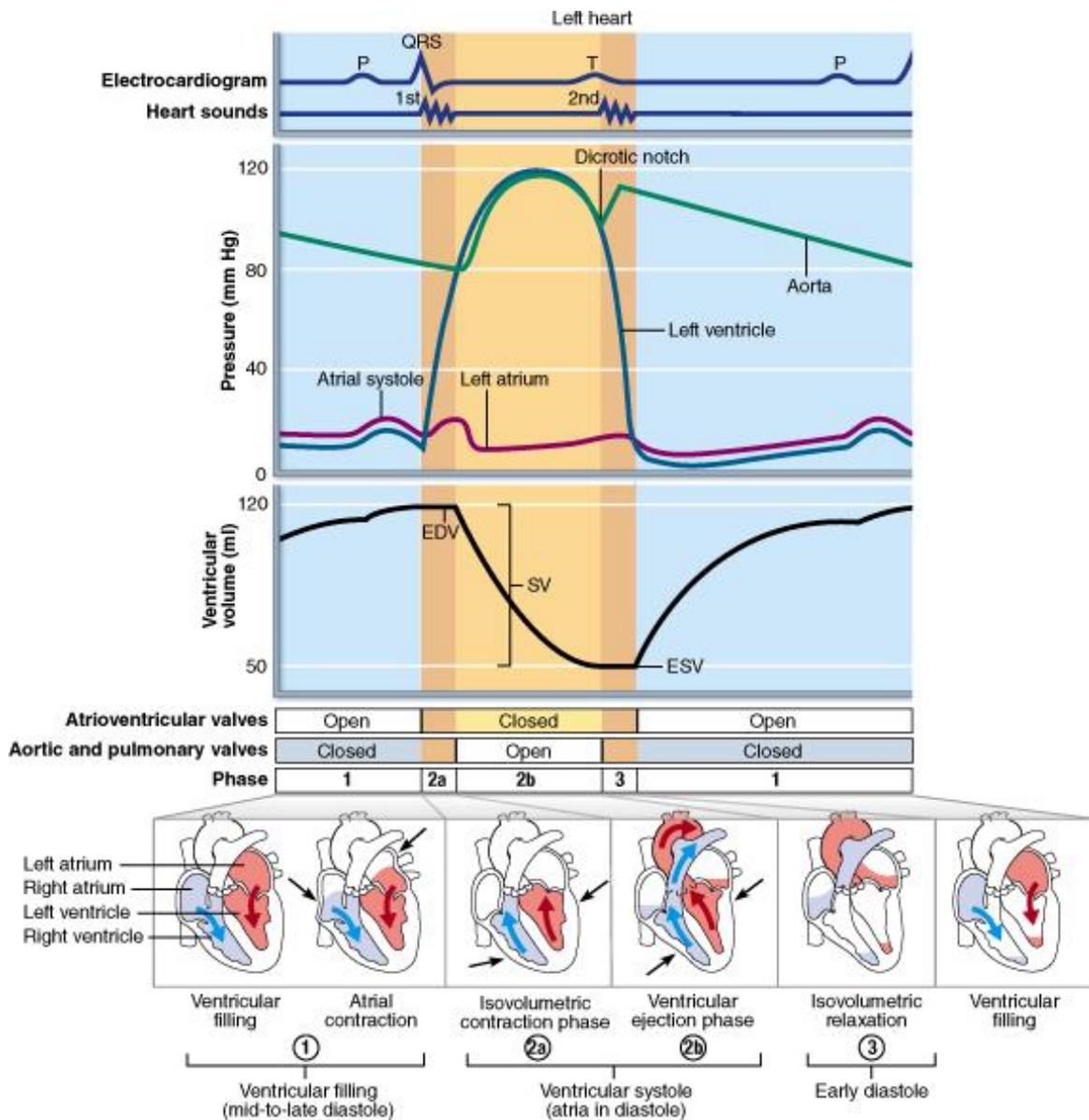
心房收缩期 (atrial systole)	时间：约 0.1s 压力：房内压>室内压 瓣膜：二尖瓣、三尖瓣开，半月瓣关 容积：心室容积增大 血液：血液由上下静脉流入左右心房，血液从心房流向心室
心室收缩期 (ventricular systole)	时间：约 0.3s 压力：室内压>房内压 瓣膜：二尖瓣、三尖瓣关，半月瓣开 容积：缩小 血液：心室内的血液泵入主动脉和肺动脉 声音：第一心音“lub”声
心房舒张期 (atrial diastole)	时间：约 0.7s 压力：下降，使肺静脉、上下腔静脉内血液流入左右心房
心室舒张期 (ventricular diastole)	时间：约 0.5s 压力：下降，血液流入心室 瓣膜：二尖瓣、三尖瓣开，半月瓣关 容积：增大 声音：第二心音“dup”声



- 心电图 (Electrocardiogram, ECG)
  - 细胞在传导兴奋时的电位变化



SJUEC.COM



P	左右心房兴奋时的电位变化
Q	左右心室兴奋传播时的电位变化
R	
S	
T	心室兴奋后的恢复程度

- 心绞痛 (Angina)
  - 胸腔出现暂时性的痛楚或抽搐
  - 原因：脂肪（胆固醇）沉积在冠状动脉，导致血管壁变狭窄，阻塞血液运输，使周围的心肌缺乏氧气或养料产生痛楚
- 动脉硬化 (Atherosclerosis)

- 胆固醇、动物性脂肪、使血液中脂肪和胆固醇浓度增加，沉积在动脉管壁，管腔变狭窄、管壁变脆弱
- 心肌梗塞 (Coronary thrombosis)
  - 冠状动脉完全阻塞，心肌得不到血液、氧气供应而产生缺氧、坏死
- 血压
  - 血液在血管内流动时对血管壁造成的压力

收缩压(systolic pressure)	动脉血压在心室收缩时最高 一般是 120mmHg
舒张压(diastolic pressure)	在心室舒张时最低 一般是 80mmHg

- 血管管壁

内层	由光滑扁平细胞组成内膜(endothelium)
中层	平滑肌形成中膜(mesothelium)
外层	由结缔组织组成的外膜 (adventitious layer)

- 血管( blood vessel)

动脉 (artery)	将血液带离心脏的血管 管壁厚、口径小 含有较多的平滑肌和弹性纤维 收缩性和弹性强，适应较高的血压和较快的血流
静脉 (vein)	从组织细胞将血液带回心脏的血管 管壁薄、口径大 容易扩展，容量大 具有静脉瓣，使血流能对抗地心引力流回心脏，避免倒流
微血管 (capillary)	连接小动脉与小静脉，最细小的血管 口径极小 管壁只有内皮细胞 血液里的养分和氧气借扩散作用透过管壁和细胞的代谢废物交换

- 血液

- 血液由有形成分和血浆两部分组成。有形成分就是血细胞（血球），包括红细胞（红血球）、白细胞（白血球）和血小板。血浆是血液的液体部分。
- 红血球
  - 红细胞人和哺乳动物的红细胞呈双凹圆盘状，没有细胞核

- 细胞质里充满血红蛋白。血红蛋白由球蛋白和一种含铁的色素(血红素)结合而成，它容易跟氧和二氧化碳结合或分离，所以有运输这两种气体的功能
- 正常男子每立方毫米血液平均含 400~500 万个红细胞，女子平均含 350~450 万个红细胞
- 高山居民和婴儿的血液里，红细胞的含量较多
- 红细胞和血红蛋白数量减少到正常值以下，就叫贫血
- 成年人扁骨中的红骨髓，胎儿时期的骨髓、肝脏等都能制造红细胞
- 人的红细胞寿命是 100~120 天
- 衰老的红细胞主要被脾脏、肝脏等破坏
- 红血球的结构
  - 四级结构的蛋白质（由 4 个血基质和两种蛋白肽形成）
  - 血基质呈红色，每个血基质中心都具有一个  $\text{Fe}^{2+}$ ，和氧结合

○ 白血球

- 无色，有细胞核，直径是 10~20 $\mu\text{m}$ ，能作变形运动
- 正常成年人每立方毫米血液里含 5000~10000 个白细胞
- 根据细胞质里有没有特殊颗粒，白细胞分颗粒白细胞和无颗粒白细胞两类。按颗粒染色性质的不同颗粒白细胞又分为嗜中性白细胞、嗜酸性白细胞和嗜硷性白细胞。无颗粒白细胞包括淋巴细胞和单核细胞
- 在正常情况下，各种细胞的数量各有一定比例；在机体患病时，白细胞总数和各种白细胞的比例发生变化
- 如急性炎症时，嗜中性白细胞数量大增，这种白细胞有吞噬和消化侵入机体的各种病原菌的作用
- 白细胞寿命从几小时到 100 天不等

● 正常人包细胞分类计数范围和主要机能

名称		占白细胞总数的百分比	机能
颗粒白细胞	嗜中性白细胞	50 - 70%	吞噬和消化侵入机体的病原菌，急性感染时增多
	嗜酸性白细胞	0.5 - 3%	发生过敏或有寄生虫病时增多
	嗜硷性白细胞	0 - 0.75%	产生和贮存组织胺以及肝素，参与人体过敏反应
无颗粒白细胞	淋巴细胞	20 - 30%	
	T、B 淋巴细胞		T 淋巴细胞参与细胞免疫反应；B 淋巴细胞参与体液免疫反应

	单核细胞	3 – 8%	在亚急性和慢性感染中有活跃的吞噬功能
--	------	--------	--------------------

• 血小板

- 也叫血栓细胞，没有细胞核，是骨髓内巨核细胞分离出的细胞质小块
- 血小板的直径为 2~4μm，在循环的血液中呈圆盘或椭圆形，在体外有伪足伸出，形状不规则
- 它能消耗氧，产生二氧化碳进行代谢活动，说明是活细胞
- 正常人每立方毫米血液里含 10~30 万个血小板
- 血小板的主要功能是促进止血和加速凝血，同时还有保持血管内皮完整性的作用，平均寿命 10 天左右，衰老和死亡的血小板被肝、脾和骨髓的网状内皮细胞吞噬或破坏

• 血浆

- 是血液的液体部分，呈半透明淡黄色粘稠状
- 在抽出的血液里加入适量的抗凝剂，如草酸钾或柠檬酸钠等，混匀，经离心沉淀，管里的血液分成两层
- 上层是淡黄色半透明血浆，下层是暗红色的红细胞
- 在红细胞上面的一层白色物质是白细胞和血小板
- 血浆占全血 55%，它包括血清和纤维蛋白原。用竹签除去血浆里的纤维蛋白原，就得到血清
- 血浆里 91~92%是水，8~9%是其他物质，其中以血浆蛋白为主
- 血浆蛋白是多种蛋白质的总称，在营养、运输、免疫和维持渗透压中起重要作用。其他物质中还有葡萄糖、氨基酸、脂肪、酶、激素、维生素、尿素和无机盐等
- 血浆的理化特性相当稳定，它的渗透压跟 0.9%氯化钠溶液的渗透压相当。所以 0.9%氯化钠溶液叫生理溶液
- 血浆的酸硷度即 pH 值在 7.35~7.45 之间

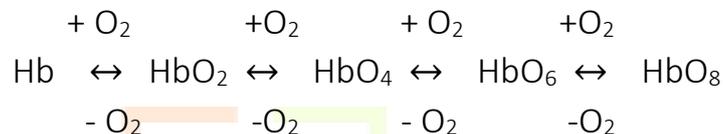
• 血液的功能

运输功能	气体运输	氧气由血液带到身体各个细胞核组织，二氧化碳运到肺部排出体外
	运送养料	葡萄糖、氨基酸和无机盐在小肠吸收后，运到肝脏和身体各个部分
	运送代谢废物	血液从身体各个组织细胞收集代谢废物，运到排泄器官
	运输热量	产生的热量由血液送到全身，保持体温
	运送激素	将激素从内分泌腺运送到目标器官，发挥效能
防御功能	白血球	吞噬病原体、细菌和外来物质

		制造抗体杀灭病菌
	血小板	促使凝血反应，防止失血过多或外物从伤口进入体内
体温调节		控制血流动速度和流经表皮血液量的多少 如表皮微血管舒张，使大量血液流经表皮，帮助散热

- 氧气的运输

- 血液中的 O<sub>2</sub> 主要靠化学结合进行运输。O<sub>2</sub> 的化学结合是 O<sub>2</sub> 和 Hb 结合，形成氧合血红蛋白 (HbO<sub>2</sub>)
- 一分子氧可以和一个铁离子疏松地结合，一个血红素可以和四个氧分子起氧合作用



- 氧合血红素是不稳定化合物，血红素和氧的结合反应可逆
- 氧对血红素和氧的亲合力影响

氧的分压高 (肺泡处)	血红素和氧结合
氧的分压低 (组织处)	血红素放出氧，让氧分子扩散如组织

- 二氧化碳对血红素和氧的亲合力影响 (波尔效应 Bohr Effect)

二氧化碳分压增加 (组织处)	血红素对氧的亲合力锐减，氧被释放到组织中造成血液中氧饱和度减少
二氧化碳分压降低 (肺泡中)	血红素和氧结合能力强，增加血中氧的饱和点

- pH 对血红素和氧的亲合力影响

- 正常温度下，血中二氧化碳浓度增加或 pH 值降低，使血红素释放更多氧，因此代谢率较高
- 活动较旺盛的组织能产生较多二氧化碳和氢离子，促进微血管内氧合红血球放出氧

- 一氧化碳中毒

- 对血红素有超强的亲合力 (氧的 200-300 倍)
- 能抑制血红素运输氧气

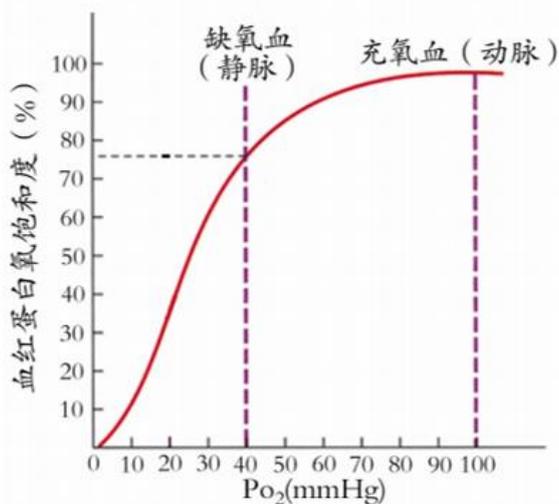


图9.9 氧解离曲线

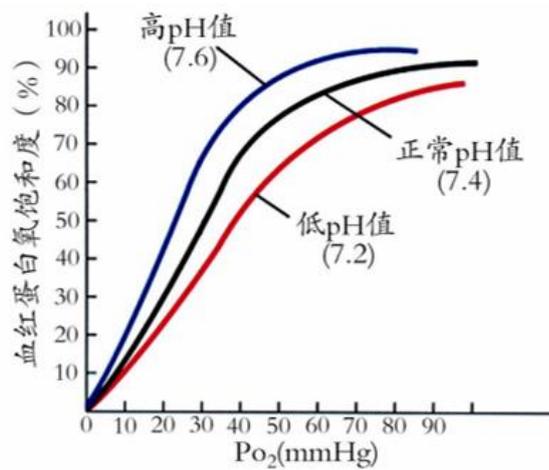


图9.10 pH对氧解离曲线的影响

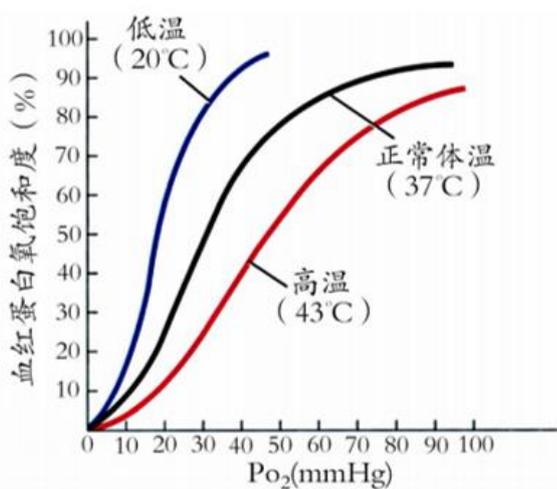
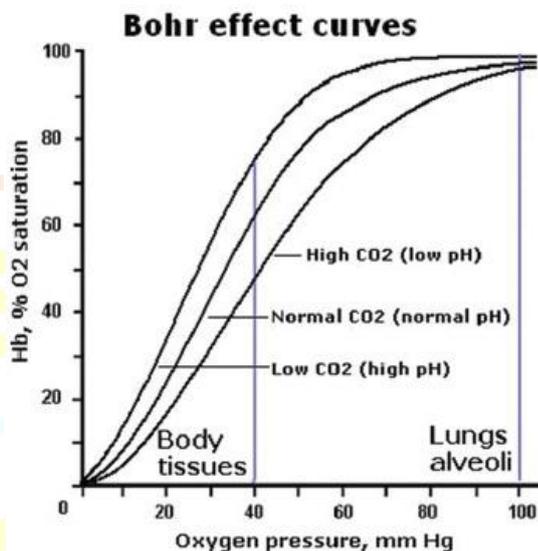


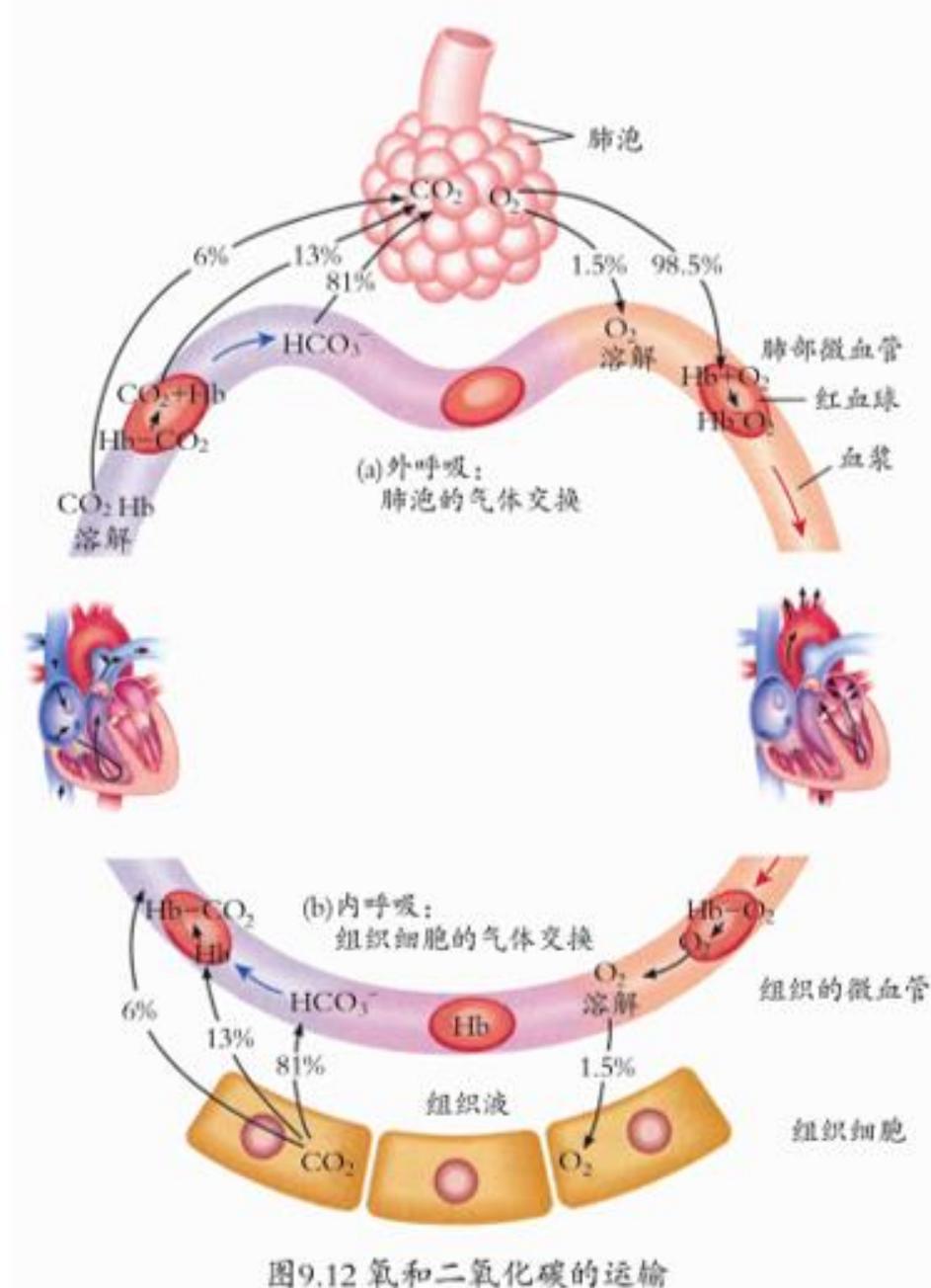
图9.11 温度对氧解离曲线的影响



● 二氧化碳的运输

直接溶在水中形成碳酸 (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> )	约 5% 代谢后的二氧化碳通过微血管进入红血球和水结合，在碳酸酐酶(carbonic anhydrase)作用下形成碳酸 碳酸分解成氢离子和碳酸氢离子 碳酸氢离子由红血球进入血浆，使静脉血浆中的碳酸氢离子浓度比动脉血高
与血红素结合成氨基酰血红素(carbaminohaemoglobin)	约 10-20% 血红素与氢离子暂时形成血红素酸 为了维持正负电荷的均衡，血浆中的氯负离子涌入红血球（氯离子转移 chloride shift)
以碳酸氢离子形式 (hydrogen carbonate ion)	约 75- 85% 透出红血球进入血浆，输送至肺部

- 血浆中的碳酸氢离子回到红血球和氢离子结合成碳酸，再将二氧化碳释放到肺泡排出体外
- 缓冲酶：血红蛋白，将血液维持在一个适当的酸碱范围内，保持理智平衡



- 淋巴系统
  - 淋巴系统由淋巴管、淋巴结和其他淋巴器官组成。它是静脉回流的辅助装置，又是机体的防御系统的一部分
- 淋巴的形成
  - 血液通过毛细血管时，其中一部分液体成分渗出到组织间隙，形成组织液，大部分由毛细血管回流入血，大约有 1/10 组织液进入毛细淋巴管，形成淋巴，再由毛细淋巴管汇入淋巴管，经一系列淋巴管和淋巴结，最后通过淋巴导管注入静脉

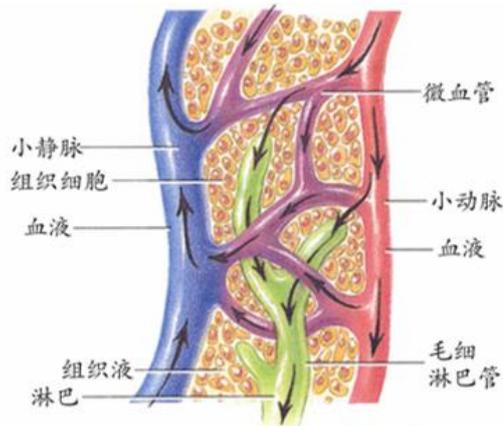


图9.13 毛细孔淋巴管及微血管网

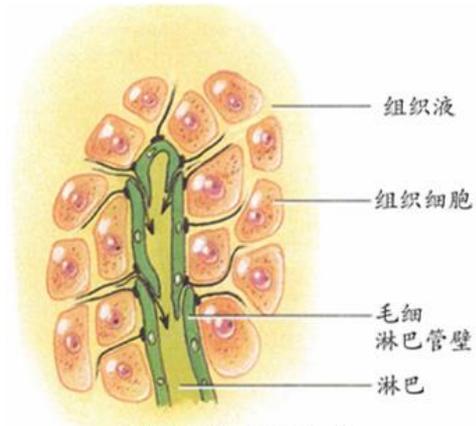


图9.14 淋巴的形成

• 淋巴管道

- 淋巴管按管径大小可分为毛细淋巴管（盲管 blind tube）、淋巴管、淋巴干和淋巴导管
- 毛细淋巴管以稍膨大的盲端起于组织间隙，互相吻合成网，它的通透性比毛细血管大，所以组织液里的大分子蛋白质、脂类和入侵的细菌、癌细胞等较易进入，淋巴管的结构和静脉相似，管壁薄、瓣膜多，有利于淋巴液回流
- 由淋巴管接受相应部位流入的淋巴液逐渐汇合进入9条淋巴干，最后再汇合进入左、右淋巴导管(lymphatic duct)。右淋巴导管很短，收集身体右上1/4区域的淋巴。左淋巴导管又叫胸导管（胸管 thoracic duct），收集身体的其他3/4区域的淋巴

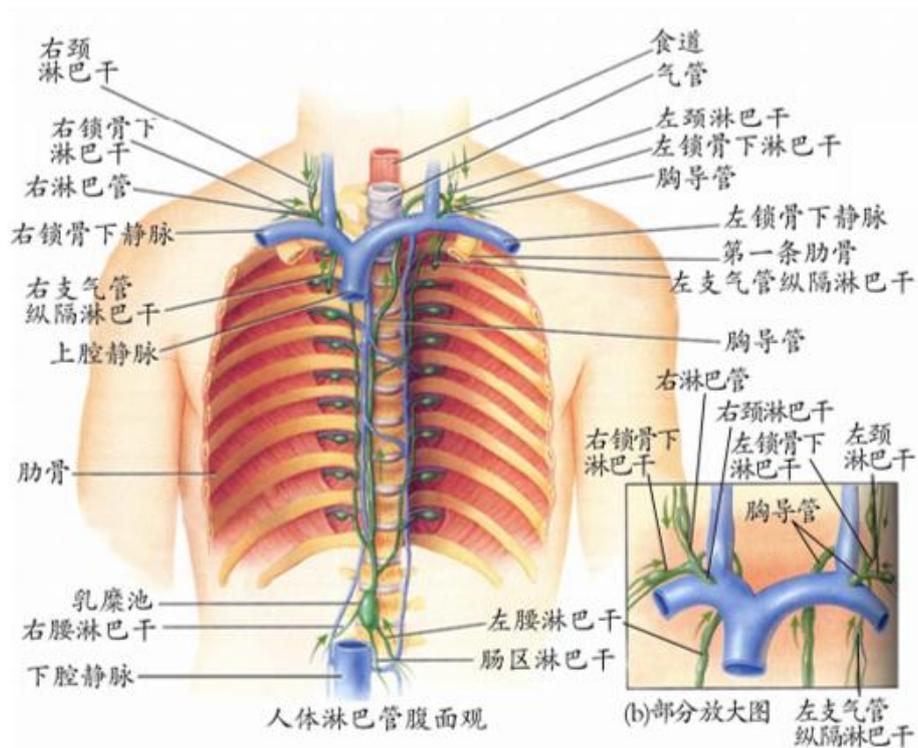


图9.15 淋巴流回血液循环的途径

- 淋巴结
  - 淋巴结是机体的防御器官之一，它产生淋巴细胞和抗体，也是淋巴液的过滤器官。淋巴结是呈圆形或椭圆形小体，它的凸面有许多输入淋巴管，凹面除了有输出淋巴管以外，还有血管和神经入淋巴。在回到静脉以前，绝大部分要经过一个以上的淋巴结
  - 淋巴结大多集中在颈部、肠系膜、腋窝、腹股沟和肺门等处。肠系膜淋巴结和腹腔淋巴结的输出管共同组成肠干，汇入乳糜池 (cisterna chyli)
  - 乳糜池是胸导管的起始部，呈膨大的梭形囊，位于最后胸椎和前 1-3 腰椎腹侧乳糜池收集由左、右下肢及消化道来的淋巴，再进入胸导管
  - 某处淋巴结肿大，常常提示它引流区域的器官有炎症、癌肿等病变
- 其他淋巴器官如脾脏(spleen)、胸腺(thymus)、扁桃体(tonsil gland)，可制造淋巴细胞，脾脏能储存血液，分解衰老的红血球

