

# 第七章 呼吸与运动

## Respiration and Exercise

主讲：王松涛 教授

华南师范大学



# 带着问题去学习



## ■ 第一节 肺通气

- 1. 何种呼吸方式有益健康（胸式呼吸、腹式呼吸）？
- 2. 什么是“气胸”？
- 3. 憋气的利与弊？
- 4. 如何知道肺功能好坏？
- 5. 运动中如何正确呼吸？

## ■ 第二节 肺换气和组织换气

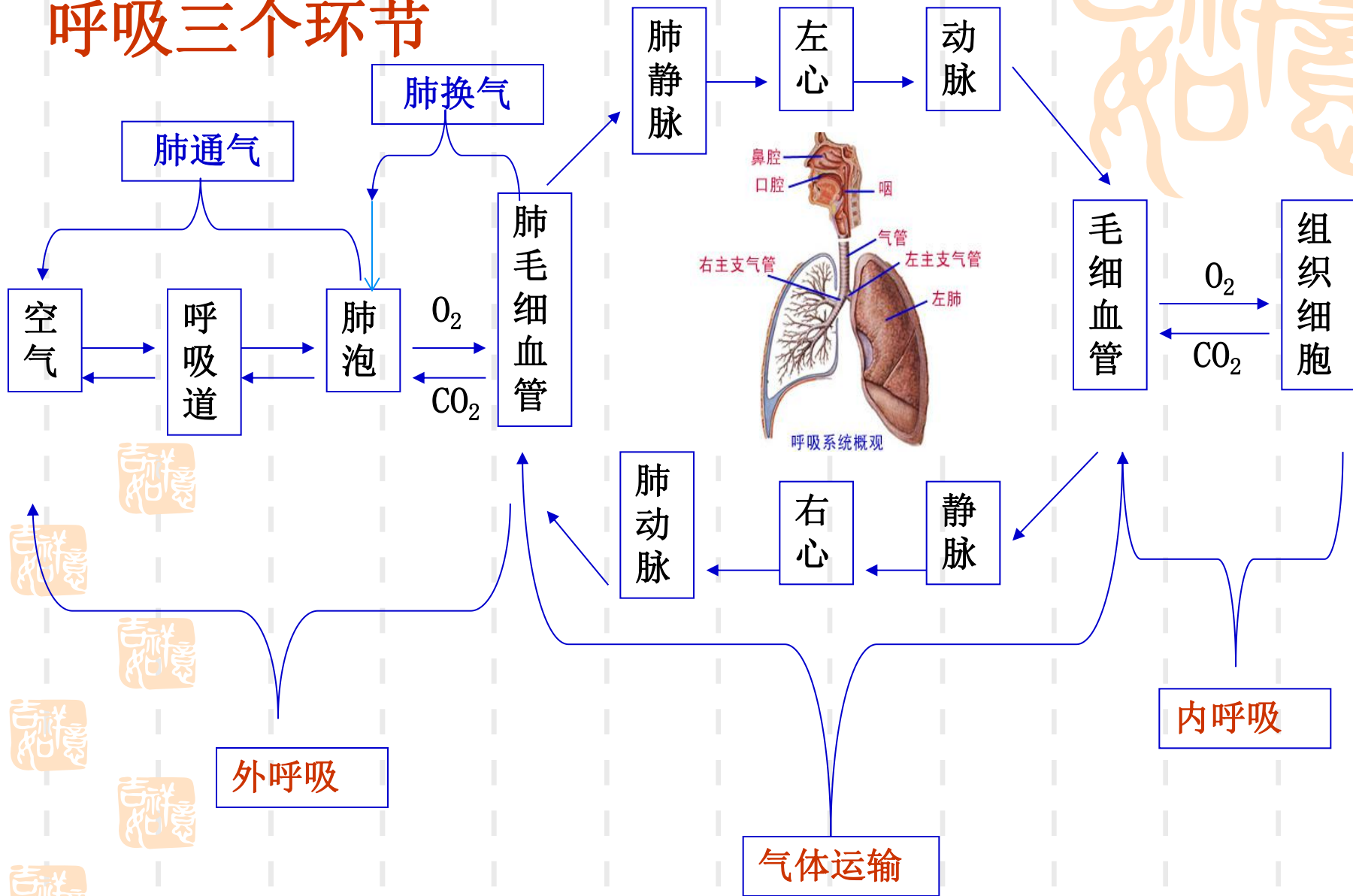
- 6. 肺功能和心泵功能哪个是决定有氧耐力的核心因素？

## ■ 第三节 气体在血液中的运输

## ■ 第四节 呼吸运动的调节



# 呼吸三个环节



**呼吸：** 机体与外界环境之间进行的气体交换过程。

**三个过程：**

**1. 外呼吸：** 外界环境与血液在肺部进行气体交换。

(1) 肺通气：肺与外界环境的气体交换。

(2) 肺换气：肺泡与肺毛细血管之间的气体交换。

**2. 内呼吸(组织换气)：** 血液与组织细胞间的气体交换。

**3. 气体在血液中的运输：**  $O_2$ 运到血液， $CO_2$ 运出肺的过程。

## 第七章 呼吸与运动

### 第一节 肺通气

# Pulmonary Ventilation



# 一、肺通气的动力学

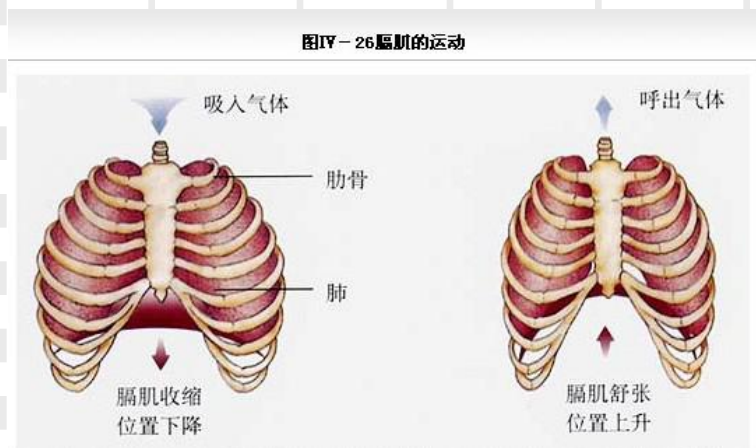
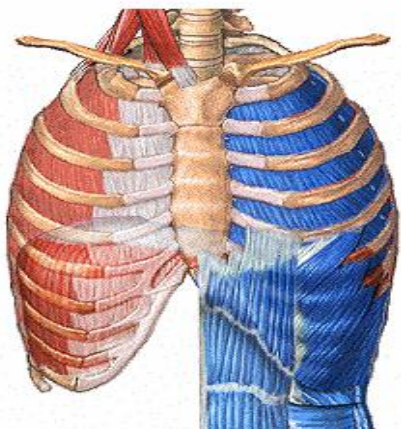
## (一) 呼吸运动

呼吸肌的收缩与舒张——胸廓容积改变——肺内压力与大气压力之间形成差异

呼吸肌：膈肌、肋间外肌、肋间内肌、腹壁肌

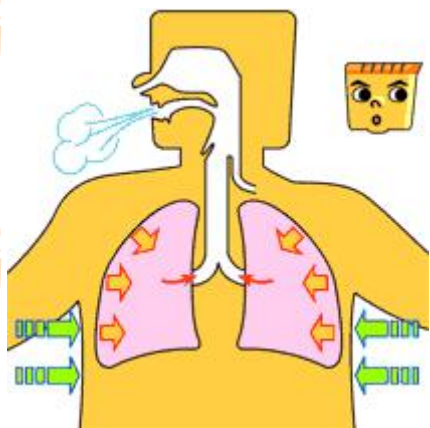
吸气时：膈肌和肋间外肌收缩、肺内压 < 大气压

呼气时：肋间内肌(用力呼气)、肺内压 > 大气压

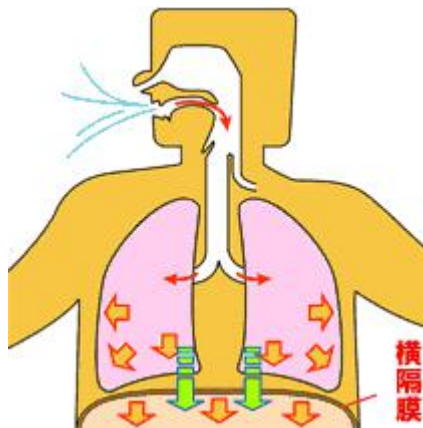


## (二) 呼吸形式

- 问题：何种呼吸方式有益健康？
- 胸式呼吸：肋间外肌舒缩为主——胸廓前后、左右径变化显著——胸部活动为主。
- 腹式呼吸：膈肌舒缩为主——胸廓上下径的变化显著——腹部活动为主。
- 混合式呼吸：两者兼有。



胸式呼吸



腹式呼吸



## (二) 呼吸形式

- 问题：何种呼吸方式有益健康？
- 胸式呼吸和腹式呼吸利弊比较：
- 胸式呼吸：主要是上肺叶工作，中和下肺叶活动少——进入肺内气体少，肺泡废用性老化；增强交感神经兴奋（兴奋、紧张）；
- 腹式呼吸：全肺呼吸、通气效果好、兴奋副交感神经（缓解精神压力）
- 腹式呼吸：对于高血压、肺气肿、失眠、便秘等多种疾病有良好的效果。
- 缩唇呼吸法

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥

吉祥



## (三) 胸膜腔内压



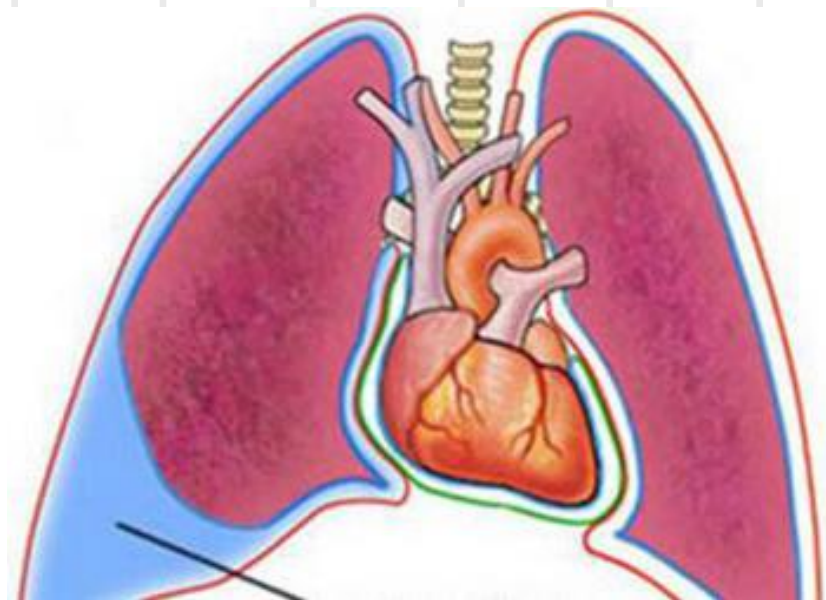
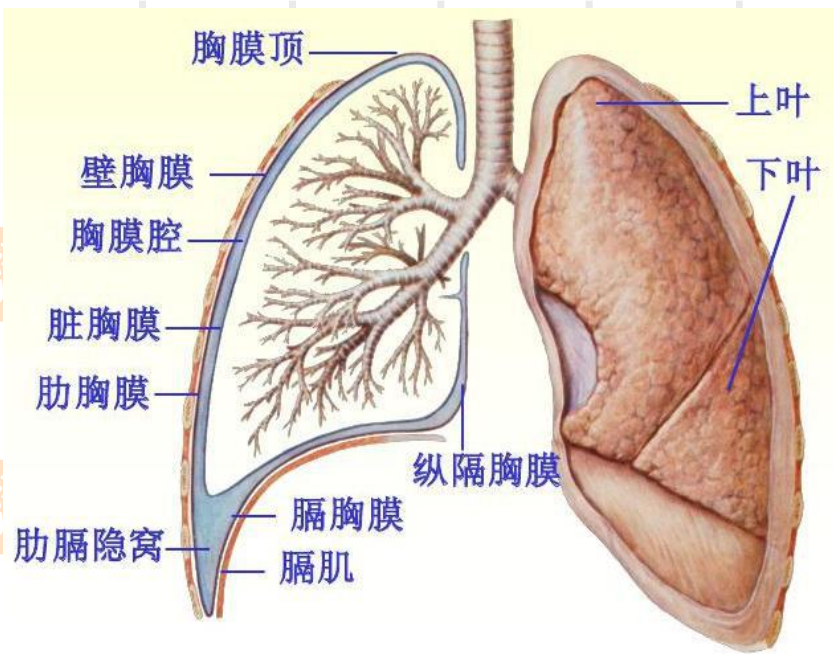
- **胸膜腔**：胸膜脏层和壁层之间的腔隙，是一个**密闭**的腔隙。
- **胸内负压**：胸膜腔的压力总是低于大气压，称为胸内负压。
- **原因**：肺的弹性回缩力造成的。
- **意义**：胸内负压是维持正常呼吸的必要条件，并促进**静脉血回流**（入心脏）。



# 气胸和胸膜腔积液

吉祥

- 胸膜腔进入气体；
- 胸膜腔内液体增多。



吉祥

吉祥

吉祥

# 问题：憋气有什么利弊？

- 憋气时反射性引起肌张力增加，使胸廓固定，为上肢发力获得稳定支撑（益处）
- 憋气时引起脑心等重要器官缺血诱发昏迷和心梗（坏处）
- 憋气时 → 胸内压 ↑ → 静脉回流受阻 → 回心血量 ↓ → 收缩期射血 ↓ → 血压 ↓ → 脑、心等重要器官缺血 → 昏迷、诱发心梗
- 停止憋气，血压一过性上升

## 二、肺通气功能的评定

吉祥

- 问题：如何知道肺功能好坏？

- (一) 肺容积

- (二) 肺活量和时间肺活量

- (三) 肺通气量和肺泡通气量



# (一) 肺总容量

- **肺容积**：肺能容纳的最大气体量。是最大吸气末肺内气体的总量。
- **由4部分组成**：潮气量、补吸气量、补呼气量和余气量，正常值约为3900~5200毫升

## 肺基本容积的定义和容量

指标	定义	容量 (ml)
补吸气量	平静吸气后再最大吸气所吸入的气体量	1500~2000
潮气量	每次呼吸呼出或吸入的气量	500
补呼气量	平静呼气后再最大吸气所呼出的气体量	900~1200
余气量	最大呼气后残余在肺内的气体量	1000 ~1500

## (二) 肺活量和时间肺活量

- 1. 肺活量 (VC)：最大吸气后，尽力呼气所能呼出的最大气体量。为潮气量、补吸气量和补呼气量之和。

■ 正常值：成年男子为3500 ml，成年女子为2500ml，优秀运动员可达7000ml。

## 2. 时间肺活量 (TVC)

- **时间肺活量 (TVC)**：即在一次尽力吸气之后，再尽力并以最快的速度呼气，计算前3秒末依次呼出的气体量占肺活量的百分比。
- **正常值**：第1秒末为83%、第2秒末为96%、第3秒末为99%。其中第一秒的时间肺活量意义最大。
- **意义**：1) 反映肺容量的大小；2) 反应呼吸所遇阻力的变化，即肺通气的速度和呼吸道畅通的程度。
- 阻塞性肺疾患的时间肺活量↓。有训练运动员的FEV1较常人高。



# (三) 肺通气量和肺泡通气量

- 1. 肺通气量（每分通气量，VE）
- 肺通气量：每分钟吸入或呼出的气体总量。
- 肺通气量 = 潮气量 × 呼吸频率
- 安静时：(12—18)次 × 500 ml = 6~8L。
- 运动时：随运动强度增加而增加，其所能达到的最大值称为每分最大通气量。一般人在120~140L/min之间；运动员为一般人的2~2.5倍。
- 最大随意通气量（MVV）：在实验条件下，最大限度地做深而快的呼吸，每分钟吸入或呼出的最大气体量。
- 正常值：一般成年男子的MVV为100~180L/min，女子的MVV为70~120L/min，有训练的耐力运动员的MVV高于一般人。



## 2. 肺泡通气量 (VA)

- **肺泡通气量**：每分钟吸入肺泡的新鲜空气量（肺泡内真正参与气体交换的那部分气体容量）。
- 肺泡通气量 = (潮气量 - 解剖无效腔) × 呼吸频率
- $500\text{ml} - 150\text{ml} \times 12 \sim 18$
- **解剖无效腔**：无气体交换能力的腔室（从上呼吸道 → 呼吸性细支气管）。
- **深而慢的呼吸的益处**（适当的呼吸深度和频率）：  
1) 节省呼吸肌工作的能量消耗； 2) 提高肺泡通气量和气体交换的效率。

## 不同呼吸频率、潮气量对肺通气量及肺泡通气量的影响

被测者	呼吸频率 (次/分)	潮气量 (毫升)	肺通气量 (毫升/分)	肺泡通气量 (毫升/分)
正常安静	16	500	8000	5600
深慢呼吸	8	1000	8000	6800
浅快呼吸	32	250	8000	3200

**结论：** 在一定的呼吸频率范围内深而慢的呼吸比浅而快的呼吸更为有效。

**问题：**运动中如何正确呼吸——与动作相配合（开吸合呼）  
深而慢的呼吸

# 三、肺通气对运动的反应和适应

## ■ (一) 肺通气对运动的反应

### ■ 运动中肺通气量变化的规律：

■ 运动强度较低时：每分通气量的增加主要依靠呼吸深度（潮气量）的增加；

■ 运动强度较大时：主要依靠呼吸频率增加。

## (二) 肺通气对训练的适应

### ■ 1、每分通气量的适应

- 训练对静息肺通气量的影响不大；
- 每分最大通气量明显较无训练者大。

### ■ 2、肺通气效率提高

■ 训练可使安静时呼吸深度增加、呼吸频率下降；

- 运动时呼吸深度和频率的匹配更加合理；

■ (运动时运动员肺通气量的增长主要是依靠呼吸深度增加——避免呼吸肌疲劳，提高肺通气效率)

### 3、氧通气当量下降

- **氧通气当量**：每分通气量和每分吸氧量的比值 ( $V_E/V_{O_2}$ )。
- 氧通气当量小表明氧的摄取效率高，是评价呼吸效率的一项重要指标。
- 安静时氧通气量当量为20，在最大强度运动中氧通气当量可达35，说明运动时肺通气能力的增加，相对高于氧化代谢能力的增加。
- 安静时，运动员与普通人无差异；在相同强度运动时，优秀耐力运动员的 $V_E/V_{O_2}$ 较一般人低。

# 四、呼吸肌训练

- 呼吸肌训练仪
- 耐力运动



# 小结

- 名词：

- 肺通气、肺换气

- 肺活量、时间肺活量

- 肺通气量、肺泡通气量

- 问题：

- 1. 憋气的利与弊

- 2. 肺通气功能的评定

- 3. 胸式呼吸和腹式呼吸的比较

- 知识点：

- 呼吸的三个过程

- 肺通气的动力

吉祥如意

吉祥如意

吉祥如意

吉祥如意

吉祥如意

吉祥如意

## 第七章 呼吸与运动

### 第二节 肺换气和组织换气

# Gas Exchange

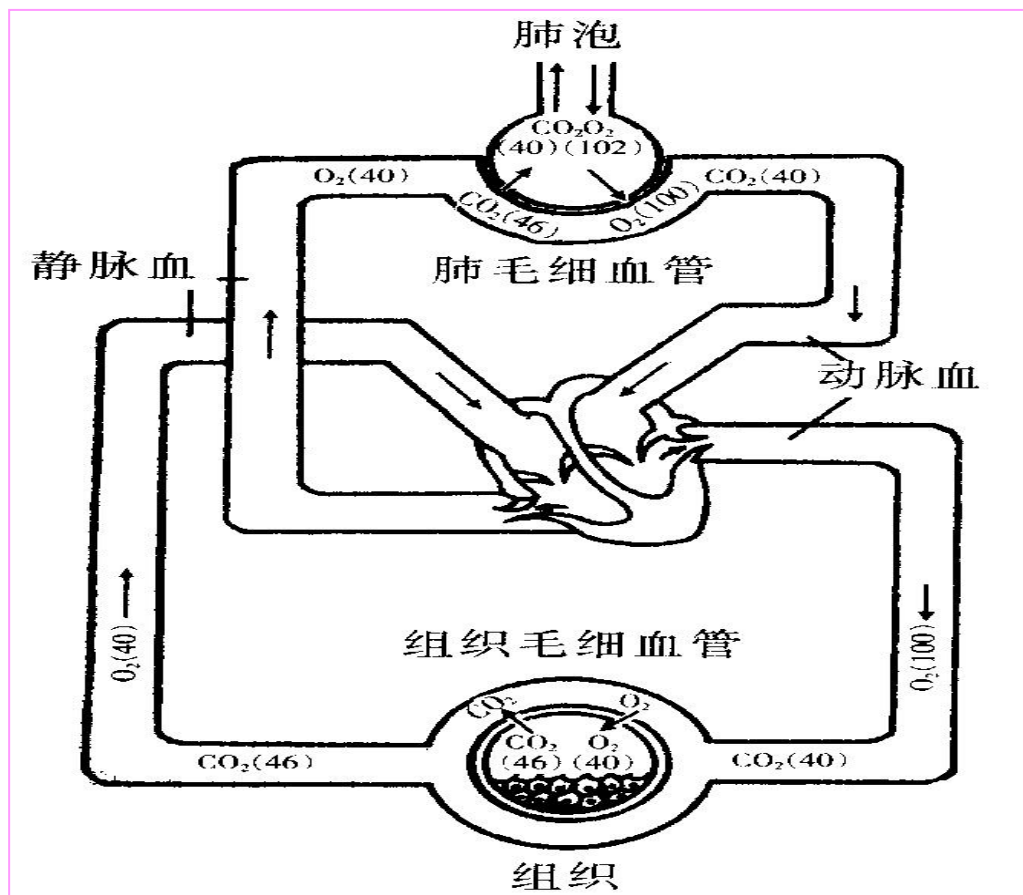




气体交换

肺换气：肺泡与血液之间的气体交换（呼吸膜）。

组织换气：血液与组织之间的气体交换(毛细血管壁和组织细胞膜)



# 一、气体交换的原理

- 气体交换的动力：气体的分压差
- 分压：混合气体中各组成气体所具有的压力。
- 气体分压的计算方法：用混合气体的总压力乘以各组成气体在混合气体中所占的容积百分比。
- 气体从分压高的地方向分压低的地方扩散（单纯扩散）。
- 分压差是实现气体交换的动力，分压差的大小决定着气体的扩散方向和扩散速率。



## 二、气体交换的过程



安静时肺泡气、血液和组织内 $PO_2$ 和 $PCO_2$

	肺泡气	静脉血	动脉血	组 织	空气
$PO_2$	13.60 (102)	5.33 (40)	13.33 (100)	4.00 (30)	101.33 (760)
$PCO_2$	5.33 (40)	6.13 (46)	5.33 (40)	6.67 (50)	0.04 (0.30)

$PO_2$ : 动脉血 > 静脉血



肺泡气 > 静脉血



动脉血 > 组织



$PCO_2$ : 动脉血 < 静脉血



肺泡气 < 静脉血



动脉血 < 组织



# 三、影响气体交换的因素



## ■ (一) 物理因素

### ■ 1. 气体的扩散速度

- 扩散速度与溶解度及分压差成正比，与相对分子质量的平方根成反比。

- 综合考虑气体的分子量、溶解度以及分压差，CO<sub>2</sub>实际的扩散速度约为O<sub>2</sub>的2倍。

### ■ 2. 呼吸膜的通透性和面积

- 呼吸膜非常薄，平均厚度 $<1\ \mu\text{m}$ ，通透性大、面积极大(70-100m<sup>2</sup>)。

- 安静状态时仅有40m<sup>2</sup>参与气体交换，故呼吸膜有相当大的贮备面积。



## (二) 通气/血流比值

- **通气/血流比值**：每分钟肺泡通气量 (VE) 和每分钟肺毛细血管血流量 (Q) 之比值 (VE/Q)。
- 正常人安静时 VE/Q 为 0.84 (4.2/5)。此时肺通气量与血流量处于最佳匹配，气体交换效率最高。
- 小于 0.84，意味着通气不足；
- 大于 0.84，意味着通气过剩，血流不足。
- 增强心脏功能，使剧烈运动时单位时间内流经肺泡的血流量增多，有利于使通气/血流比值保持在较合理水平，以提高肺换气效率。
- **问题：肺功能和心脏泵血功能谁是决定有氧耐力的核心因素？**
- 剧烈运动时，肺通气量可增加 20 倍，心输出量增加 5 倍。运动时肺通气功能**不是**限制有氧能力的主要因素，而心脏功能是。

# 小结

吉祥如意

- 名词：
  - 通气/血流比值
- 问题：
  - 肺功能和心泵功能哪个是决定有氧耐力的核心因素？
- 知识点：
  - 肺换气的动力
  - 影响气体交换的因素



## 第七章 呼吸与运动

### 第三节 气体在血液中的运输



# 一、氧的运输



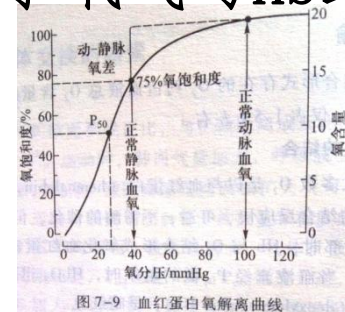
- 物理溶解 1.5%
- 化学结合98.5%
- (一) Hb与O<sub>2</sub>的结合
- 反应快、可逆、不需要酶催化、受PO<sub>2</sub>影响
- Hb氧容量：100ml血液中，Hb所能结合的最大O<sub>2</sub>量。
- Hb氧含量：100ml血液中，Hb实际结合的O<sub>2</sub>量。
- 血氧饱和度（Hb氧饱和度）：Hb氧含量/Hb氧容量





## (二) 氧解离曲线

- 氧解离曲线：血液中 $PO_2$ 和Hb氧饱和度之间的关系曲线。
- “S”型，非线性。
- 1. 氧解离曲线的分析
  - 1) 右上段： $PO_2$ 大（60-100 mmHg），血氧饱和度变化不大，氧气和Hb亲和力强，有利于氧气与Hb结合，保证血液携带充足的氧。
  - 2) 中间段： $PO_2$ （40-60 mmHg），氧气和Hb亲和力适中。
  - 3) 左下段： $PO_2$ 小（15-40 mmHg），血氧饱和度变化大，氧气和Hb亲和力弱，有利于氧气与Hb分离，保证组织有充足的氧气可利用。



## 2. 影响氧解离曲线的因素

- $P_{CO_2}$ 、pH、温度、2,3-二磷酸甘油酸、等
- (1)  $P_{CO_2}$ 升高、pH下降、温度上升：
  - 氧解离曲线右移 —  $O_2$ 与Hb结合力下降， $O_2$ 释放供组织利用
- (2) 反之：
  - 氧解离曲线左移 —  $O_2$ 与Hb结合力上升，有利于血液载氧
- 运动过程中， $P_{CO_2}$ 升高、pH下降、温度上升、2,3-二磷酸甘油酸增多

## (二) 氧解离曲线



### 3. 氧储备

- 血液、肺、肌红蛋白
- 肌红蛋白与 $O_2$ 的亲合力高于Hb，剧烈运动中肌红蛋白中 $O_2$ 释放，运动后恢复储存，构成运动后过量氧耗的一小部分。

### 4. 氧脉搏

- **氧脉搏：**人体从心脏每次搏动输出的血量所摄取的氧气量。每分钟摄氧量/每分钟心率。心肺功能评价指标。
- 心率130-140次/min时，其值最高。

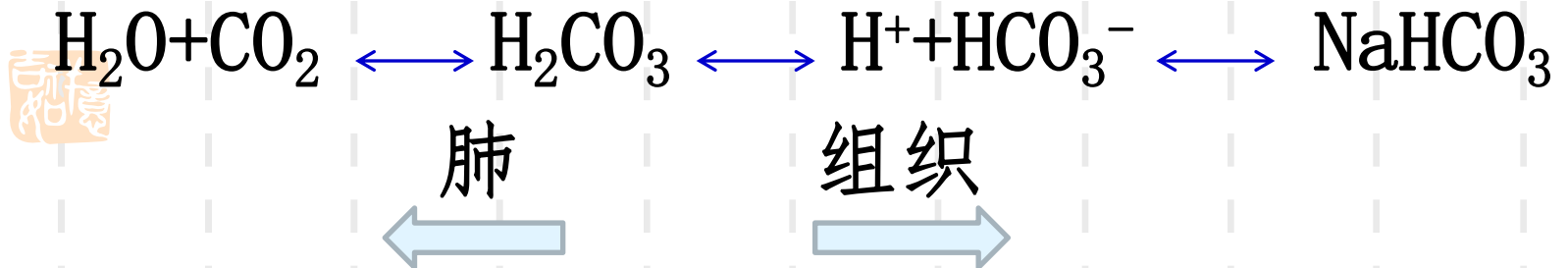


## 二、二氧化碳的运输



- 物理溶解 5%
- 化学结合95%

- (一) 碳酸氢盐形式的运输



- (二) 氨基甲酸血红蛋白形式的运输

- 血液流经组织时， $\text{CO}_2$ 与Hb形成 $\text{HbNHC00H}$

- 血液流经肺部时， $\text{HbNHC00H}$ 中的 $\text{CO}_2$ 释出



# 小结

- 名词:

- 氧解离曲线

- 氧脉搏

- 知识点:

- 气体在血液中运输的形式

- 影响氧离曲线的因素

吉祥如意



## 第七章 呼吸与运动

### 第四节 呼吸运动的调节



# 一、呼吸中枢



- 呼吸运动的节律性起源于呼吸中枢
- 呼吸运动还受体内外环境变化的影响
- 基本呼吸中枢位于延髓
- 呼吸调整中枢位于脑桥
- 呼吸分为：节律性呼吸和随意性呼吸
- 节律性呼吸由延髓和高位中枢共同控制
- 随意性呼吸有大脑皮层(运动区和运动前区)控制



## 二、人体正常呼吸运动的调节

### ■ 1. 反射性调节

- (1) 肺牵张反射：由肺扩张或缩小所引起的反射性呼吸变化。

- 吸气时，肺扩张到一定程度便能反射性地引起呼气，呼气时则相反（负反馈）。

- (2) 呼吸肌本体感受性反射：呼吸肌本体感受器传入冲动所引起的反射性呼吸变化。

- 呼吸肌被动拉长或呼吸道阻力加大时，肌梭受牵拉发动反射使呼吸肌收缩力量增强，克服气道阻力实现呼吸运动。

- (3) 防御性呼吸反射：如咳嗽反射、喷嚏反射等。



## (二) 化学性调节

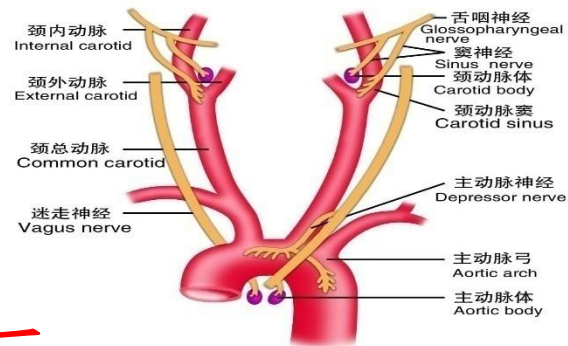


图 颈动脉窦和主动脉弓的压力感受器及化学感受器

### ■ 机体酸碱平衡的调节机制之一

■ 化学因素：血液和脑脊液中 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{H}^+$

■ 化学感受器：

■ 外周化学感受器：颈动脉体、主动脉体

■ 中枢化学感受器：延髓腹外侧部

■ 呼吸的目的：维持血液和组织中 $\text{O}_2$ 和 $\text{CO}_2$ 的适当水平，以维持正常的pH值，保证机体代谢的正常进行。

## (二) 化学性调节

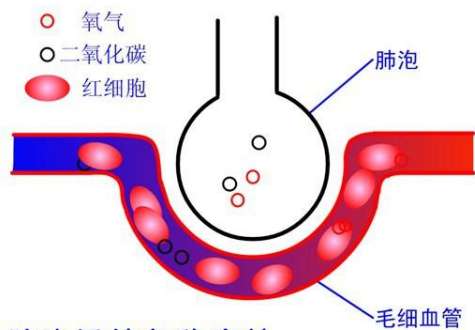
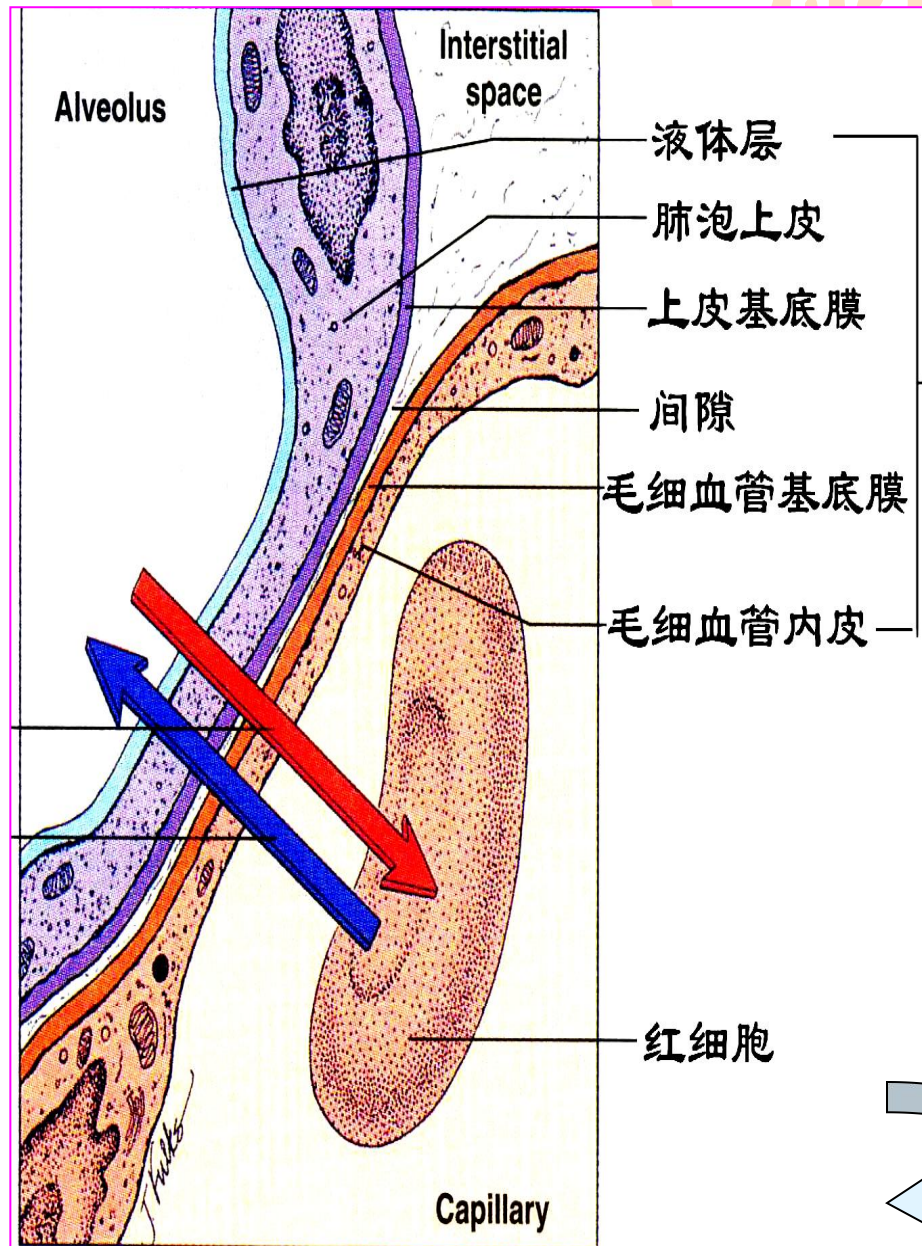
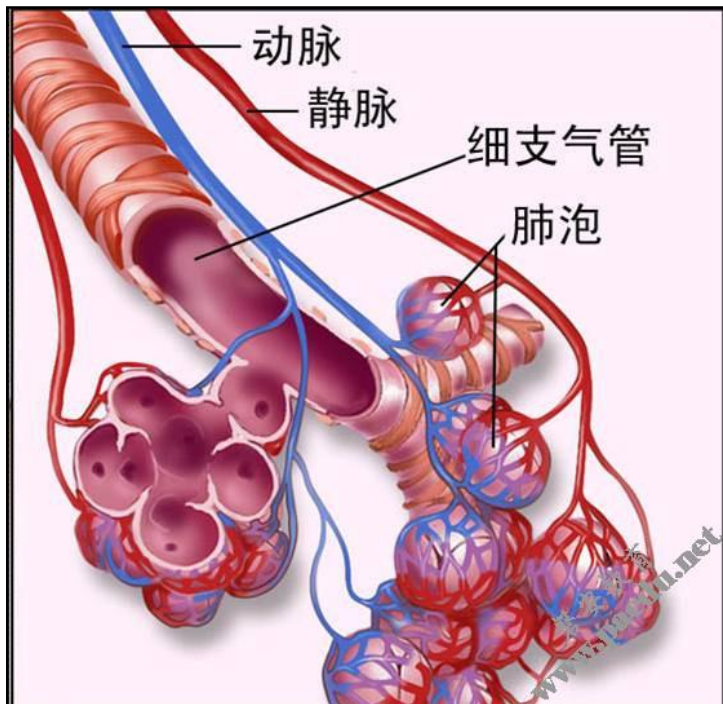


- 1.  $\text{CO}_2$ 对呼吸运动的调节
- 一定的 $\text{CO}_2$ 浓度是维持正常呼吸运动所必须的；
- $\text{CO}_2$ 主要通过中枢化学感受器来实现调控
- 2.  $\text{H}^+$ 和低 $\text{O}_2$ 对呼吸运动的调节
- $\text{H}^+$ 主要通过外周化学感受器来实现调控（ $\text{H}^+$ 不易通过血脑屏障）
- 低 $\text{O}_2$ 对呼吸中枢有抑制作用：严重缺 $\text{O}_2$ 时，外周化学感受器的传入冲动不足以对抗低 $\text{O}_2$ 对中枢的抑制作用，呼吸减弱甚至停止。

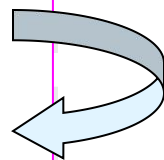
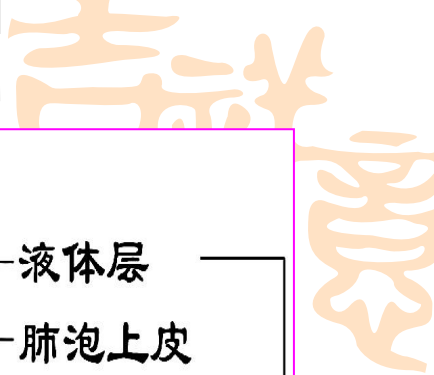


# 三、运动时呼吸变化的调节

- 运动时肺通气量增加
- 运动时呼吸的变化是多因素共同调节的结果，神经调节起主要作用，体液调节和其他因素起辅助。
- 运动前：条件反射
- 运动开始后：大脑皮层—脑干呼吸中枢、呼吸器官和运动器官的本体感受器的传入冲动
- 运动进行过程中：化学感受器
- 其他调节因素：甲状腺激素增加、肺牵张反射、心输出量增加、体温增加
- 运动中肺通气的快速增长和减少期是神经调节的结果，而慢速增长和减少期是体液调节的结果。



肺泡里的气体交换



# 小结



- 名词：
- 肺牵张反射
- 问题：
- 为什么在一定范围内深而慢的呼吸比浅而快的呼吸效果好？

## 知识点：

- 呼吸频率和幅度在运动中的意义
- 呼吸运动的调节

