

高参考价值的真题、答案、学长笔记、辅导班课程，访问：[www.kaoyancas.net](http://www.kaoyancas.net)

# 第五章 呼吸

完整版，请访问[www.kaoyancas.net](http://www.kaoyancas.net) 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

# 呼吸概念及其意义：

## 呼吸过程的三环节：

- 1) 外呼吸（肺通气和肺换气）。
- 2) 气体在血液中的运输。
- 3) 内呼吸（组织换气、组织呼吸）

# 第一节 肺通气

**概念：**是肺与外界环境之间的气体交换过程。

**实现肺通气的器官：**呼吸道、肺泡和胸廓等。

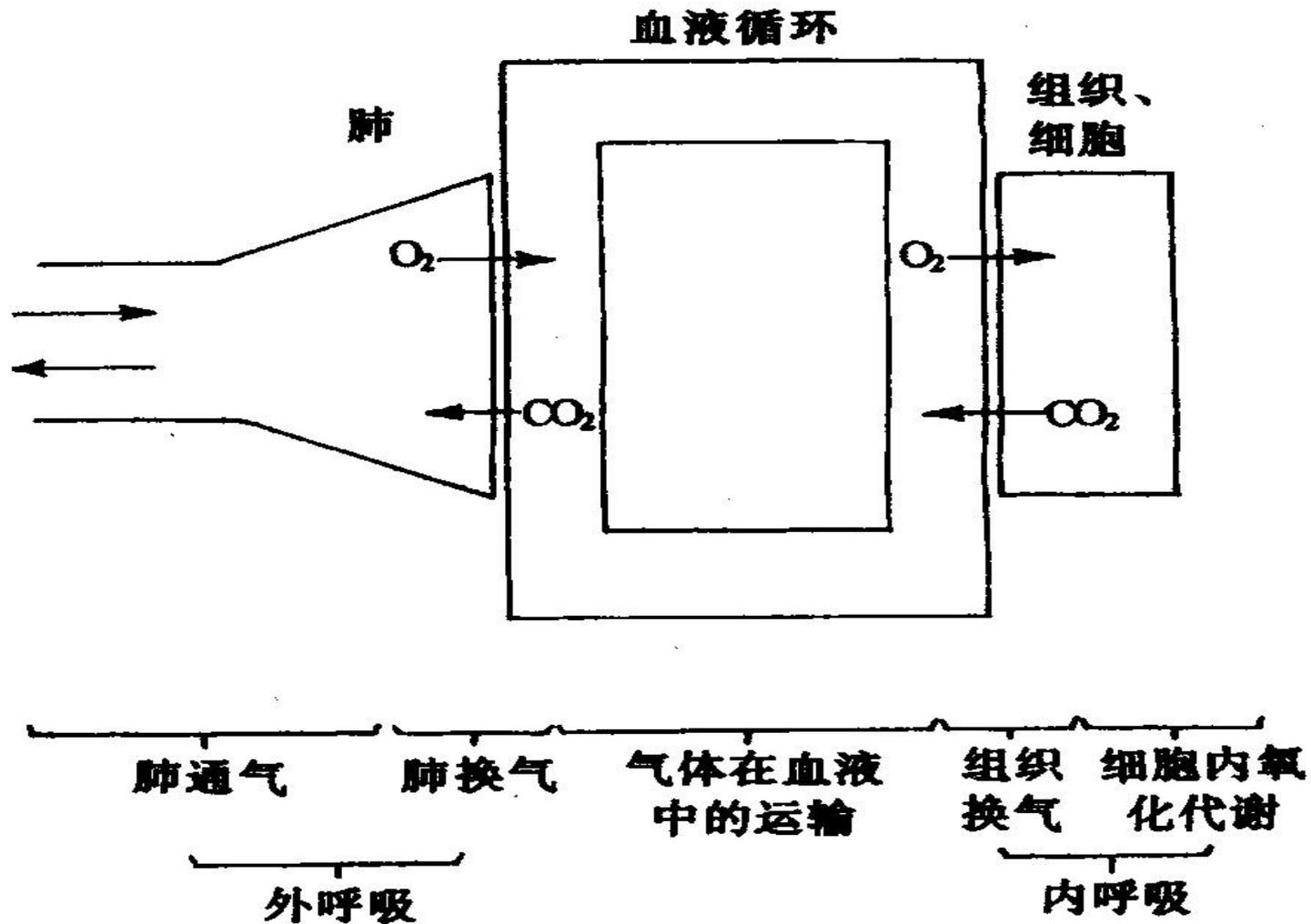


图 5-1 呼吸全过程示意图

# 一、肺通气原理

## （一）肺通气的动力

原动力：呼吸运动

直接动力：大气与肺泡之间的  
压力差

# 1. 呼吸运动

**定义：**是指呼吸肌收缩舒张引起的胸廓扩大和缩小。

**参与呼吸的肌肉：**

**主要吸气肌：**膈肌和肋间外肌

**主要呼气肌：**肋间内肌和腹肌

**辅助吸气肌：**斜角肌、胸锁乳突肌等

# (1) 呼吸过程

## (2) 型式

- 1) 腹式呼吸和胸式呼吸
- 2) 平静呼吸和用力呼吸

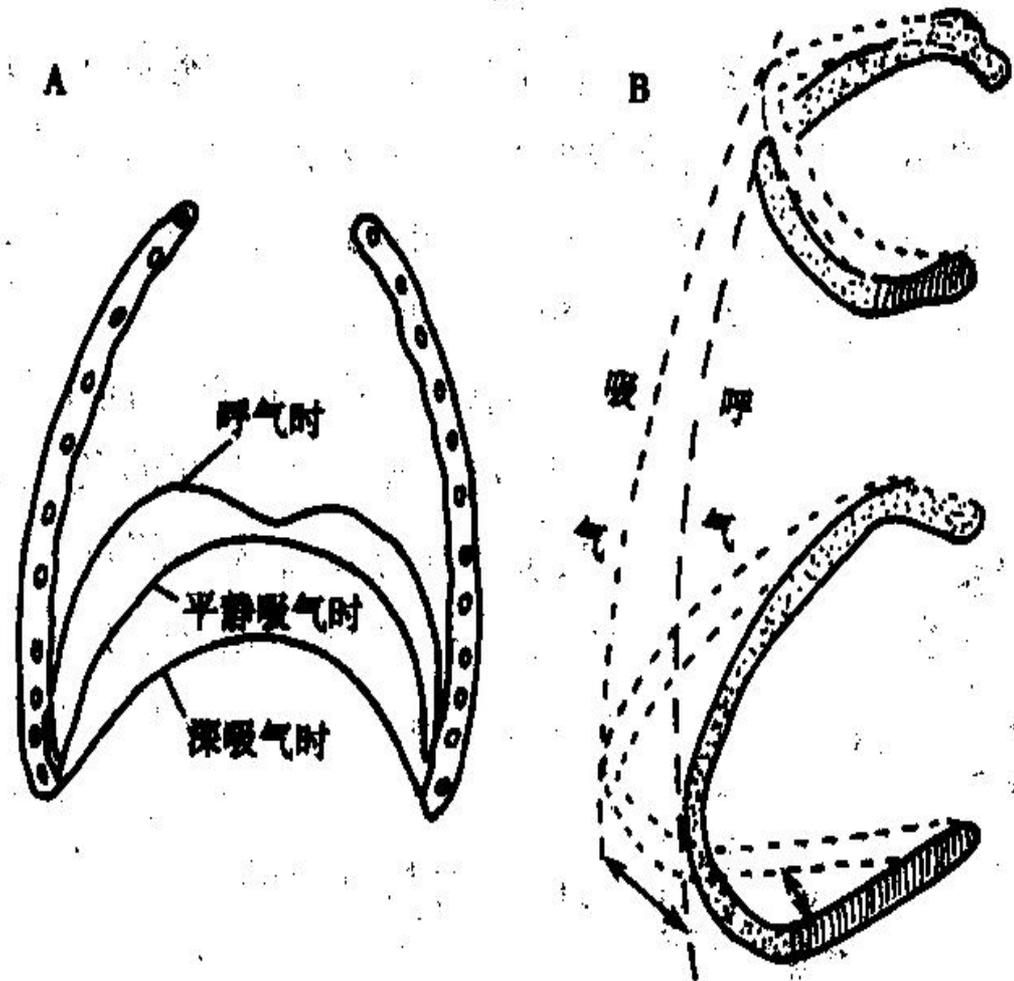


图 5-2 呼吸肌活动引起的胸腔容积变化示意图

A: 膈肌和腹肌收缩引起的变化; B: 肋间内、外肌收缩引起的变化

## 2. 肺内压

- 1) 变化过程
- 2) 变化程度
- 3) 人工呼吸

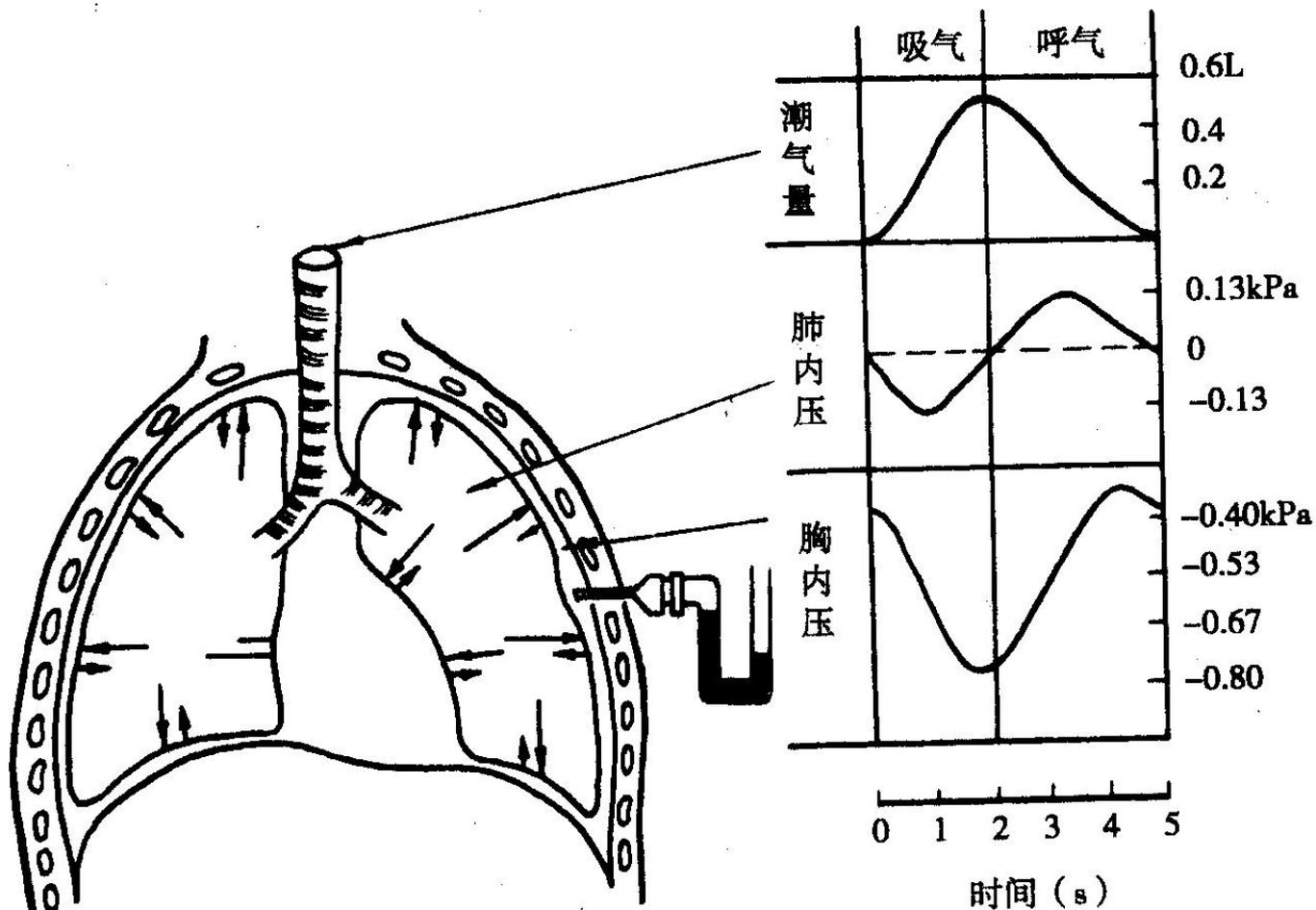


图 5-3 呼吸时肺内压、胸膜腔内压的变化

向外的箭头表示肺内压

向内的箭头表示肺回缩力

### 3. 胸膜腔内压

1) 胸膜腔：密闭性，胸膜间浆液分子的内聚力

2) 胸膜腔内压

A: 测定方式

B: 胸膜腔内压=肺内压-肺回缩力  
= -肺回缩力

C: 变化过程（见上图）

D: 胸膜腔内负值存在的原因

E: 胸膜腔负压的生理意义

## (二) 肺通气的阻力

弹性阻力，占70%；非弹性阻力，占30%

### 1. 弹性阻力 (R) 和顺应性 (C)

顺应性  $C=1/R$ ，或  $C=\text{容积变化}/\text{压力变化}$  (L/CmH<sub>2</sub>O)

## (1) 肺的弹性阻力与顺应性

肺顺应性 (CL) = 肺容积的变化 ( $\Delta V$ )  
/ 跨肺压的变化 ( $\Delta P$ )

1) 肺静态顺应性曲线 (自学)

2) 比顺应性 (自学)

### 3) 肺弹性阻力的来源

A: 肺组织的弹性回缩力 (占1/3)

B: 肺的液-气界面的表面张力 (占2/3)

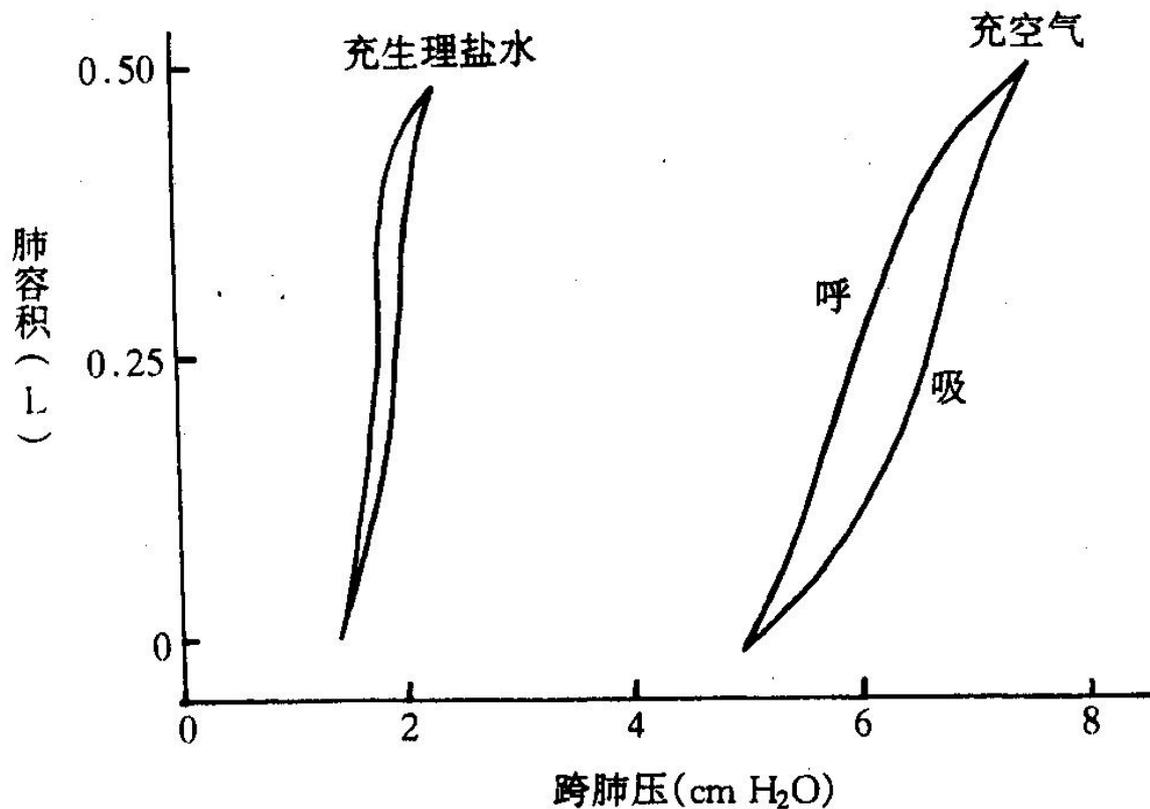


图 5-3 充空气和充生理盐水时肺的顺应性曲线

## C: 肺表面活性物质

A)、成分：二棕榈酰卵磷脂 (DPPC)。

B)、作用：降低肺泡液-气界面的表面张力。

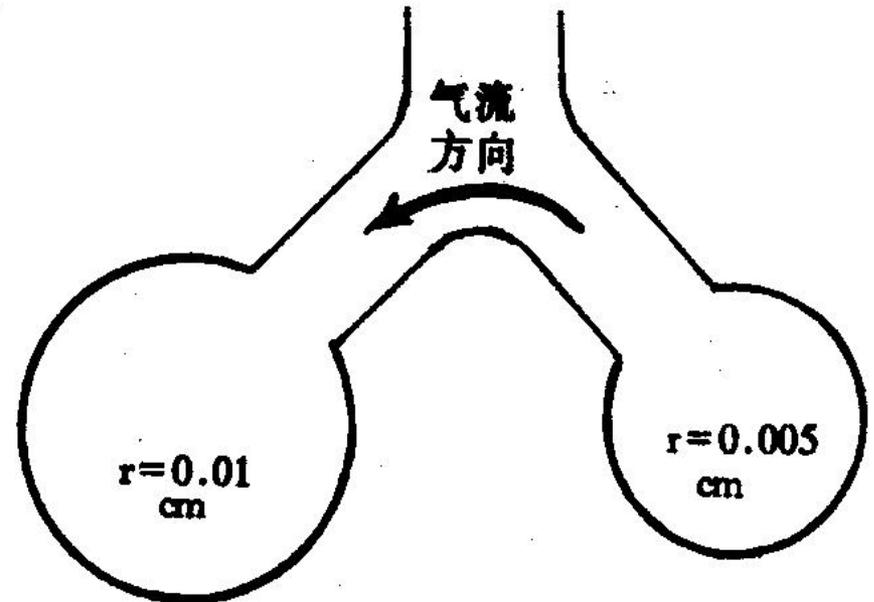
C)、生理意义

a: 维持肺泡的稳定性;

b: 减少肺间质和肺泡内的组织液生成，防止肺水肿;

c: 降低吸气阻力，减少

吸气做功。



$$P = \frac{2 \times 20}{0.01}$$

$$= 4 \times 10^{-2} \text{N/cm}^2$$

$$\div 4.0 \text{cmH}_2\text{O}$$

$$P = \frac{2 \times 20}{0.005}$$

$$= 8 \times 10^{-2} \text{N/cm}^2$$

$$\div 8.0 \text{cmH}_2\text{O}$$

图 5-5 相连通的大小不同的液泡内压及气流方向示意图

( $1 \text{cmH}_2\text{O} = 0.098 \text{kPa}$ )

## (2) 胸廓的弹性阻力和顺应性

胸廓的弹性阻力方向视胸廓的位置而定。

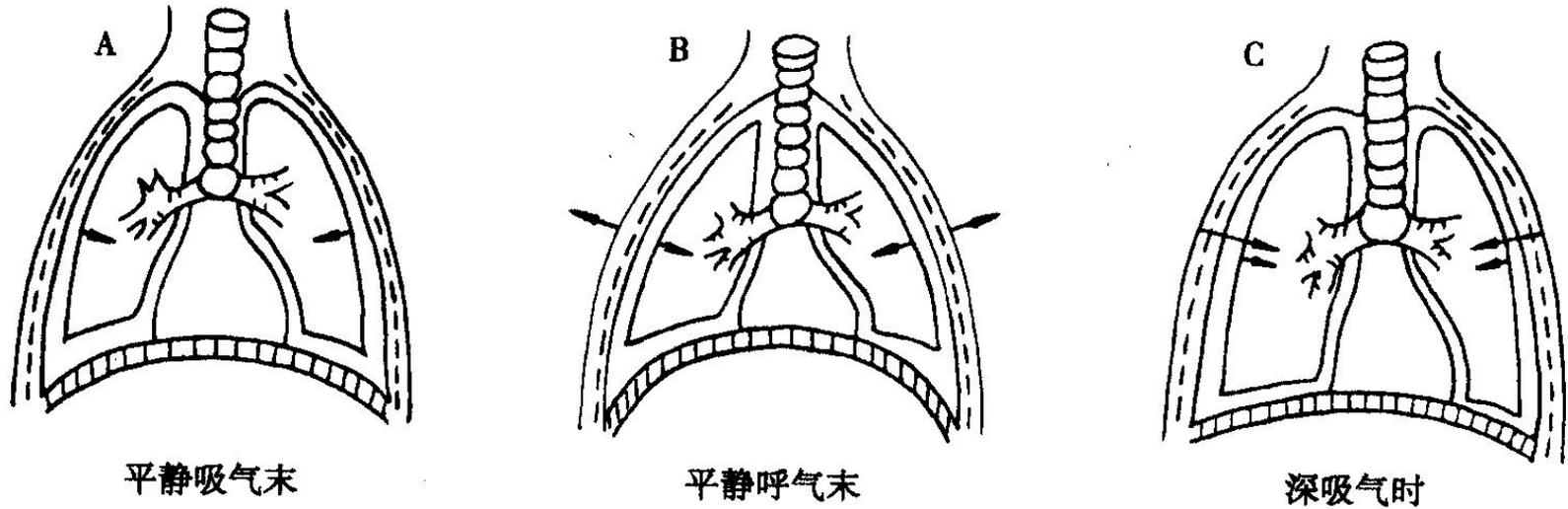


图 5-5 不同情况下肺与胸廓弹性阻力关系

$C_{chw}$  = 胸腔容积的变化 / 跨胸壁压的变化 (L/CmH<sub>2</sub>O)

## (3) 肺和胸廓的总顺应性 $C_{L+chw}$

$$1/C_{L+chw} = 1/C_L + 1/C_{chw}$$

## 2、非弹性阻力

包括惯性阻力、粘滞阻力和气道阻力

气道阻力是主要成分，约占80-90%。

### 1) 影响气道阻力的因素

气流速度，气流形式，管径大小

## 2) 影响气道管径的主要因素

A: 跨壁压

B: 肺实质对气道壁的外向反射状牵引作用

C: 自主神经系统对气道管壁平滑肌舒缩活动的调节

D: 化学因素的影响

## 二、肺容积和肺容量

### (一) 肺容积

1. 潮气量
2. 补吸气量
3. 补呼气量
4. 残气量

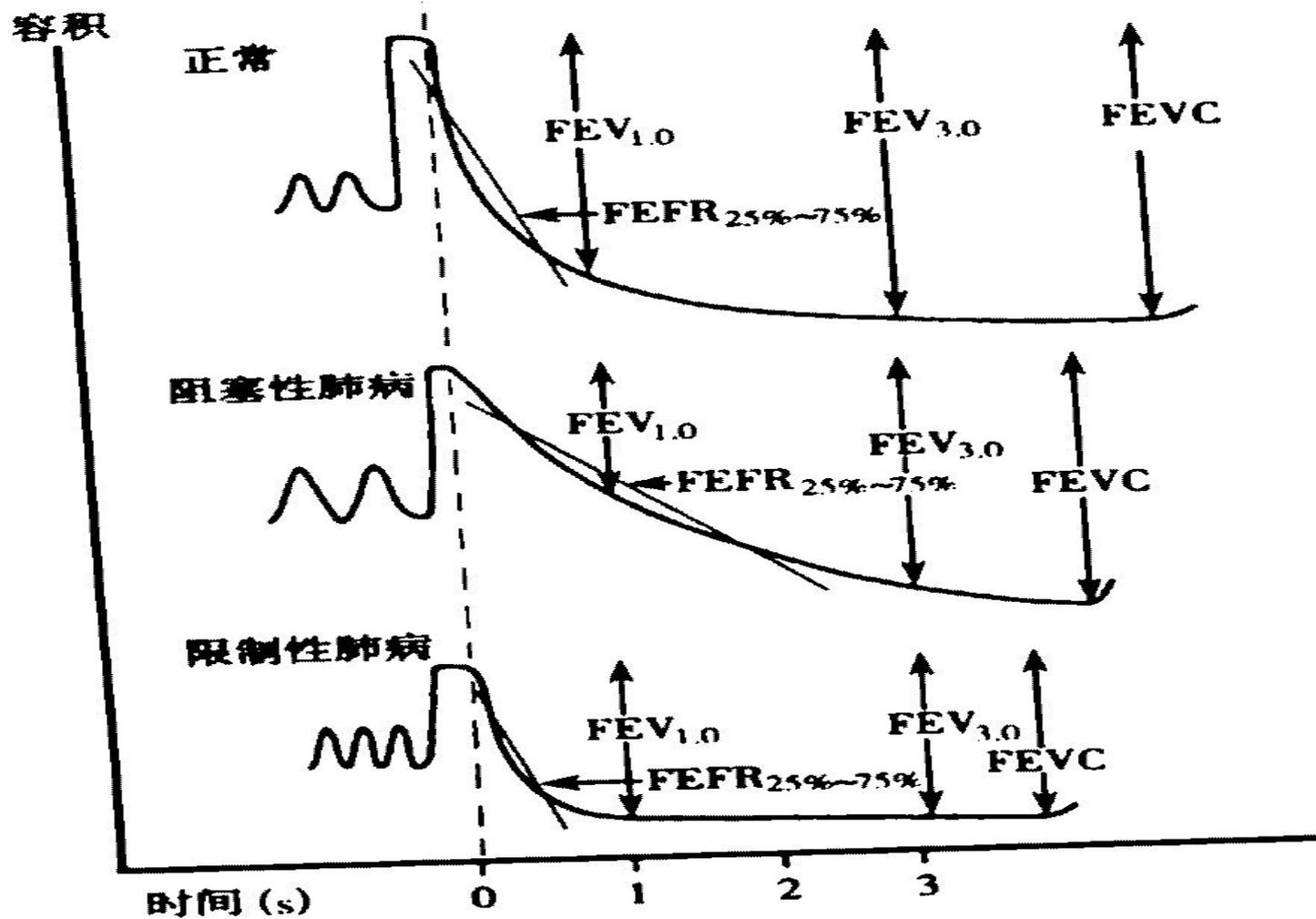


图 5-11 用力肺活量

# 三、肺通气量

## (一) 每分通气量

每分通气量，最大随意通气量，通气贮量百分比

## (二) 无效腔和肺泡通气量

1、解剖无效腔：呼出气与肺泡气的  
差异：

2、肺泡无效腔和生理无效腔

3、肺泡通气量= (潮气量-无效腔量)  
×呼吸频率

## 深慢呼吸比浅快呼吸的肺通气效率高

表 5-1 不同呼吸频率和潮气量时的肺通气量和肺泡通气量

呼吸频率 (次/分钟)	潮气量 (ml)	肺通气量 (ml/min)	肺泡通气量 (ml/min)
16	500	8000	5600
8	1000	8000	6800
32	250	8000	3200

# 第二节 肺换气和组 织换气

## 一、气体交换的原理

## (一) 气体的扩散

### 影响气体扩散速率的因素

1. 气体的分压差
2. 气体的分子量和溶解度
3. 扩散面积和距离
4. 温度

## (二) 呼吸气体和人体不同部位气体的分压

表 5-2 海平面空气、肺泡气、血液和组织内  $O_2$  和  $CO_2$  的分压 (mmHg)

	空气	肺泡气	动脉血	混合静脉血	组织
$PO_2$	159	104	100	40	30
$PCO_2$	0.3	40	40	46	50

# 二、肺换气

## (一) 肺换气过程

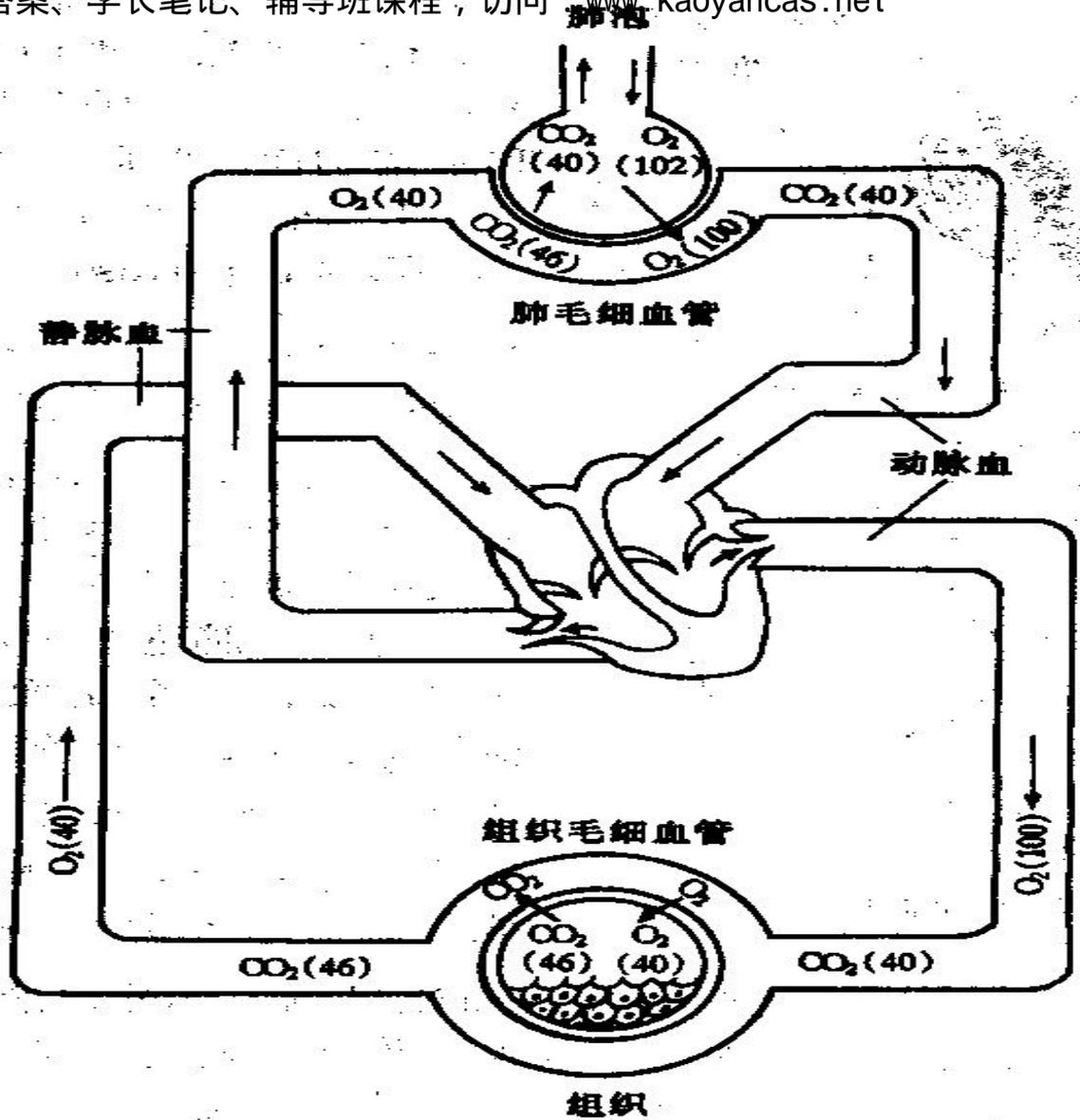


图 5-8 肺换气和组织换气示意图

## (二) 影响肺换气的因素

1. 呼吸膜的厚度
2. 呼吸膜的面积

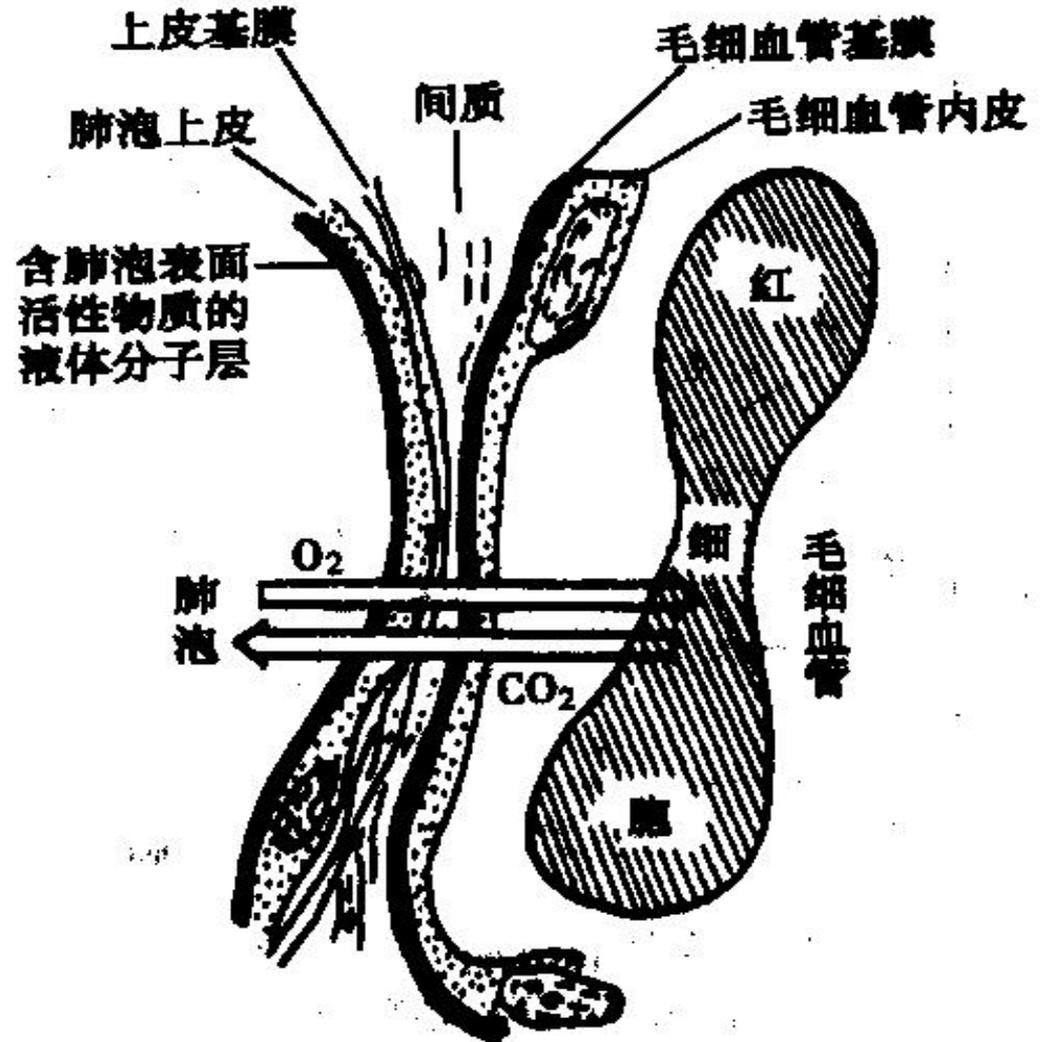


图 5-13 呼吸膜示意图

### 3. 通气/血流比值

A: 正常值为0.84

B: 比值增大：肺泡无效腔增大

C: 比值减小：功能性动静脉短路

D: 比值异常，均妨碍了有效的气体交换，

可致血液缺 $O_2$ 和  $CO_2$ 潴留，但主要是缺 $O_2$ ，原因如下：

a: 动静脉血液间 $O_2$ 分压差远大于 $CO_2$ 分压差

b:  $CO_2$ 扩散较  $O_2$ 快

c: 血液缺 $O_2$ 和 $CO_2$ 潴留可刺激呼吸，增加 $CO_2$ 的排出，但无助于 $O_2$  的摄取。

## (三) 肺扩散容量

$$D_L = \frac{V}{\bar{P}_A - \bar{P}_C}$$

## 三、组织换气

# 第三节 气体在血液中的运输

## 一、氧和二氧化碳在血液中存在的形式

物理溶解、化学结合两种形式。

在1个大气压、温度38℃血液中溶解系数：

$O_2$ ——2.36ml/100ml；  $CO_2$ ——  
48ml/100ml

表 5-4 血液  $O_2$  和  $CO_2$  的含量 (ml /100ml 血液)

	动 脉 血			混 合 静 脉 血		
	物理溶解	化学结合	合计	物理溶解	化学结合	合计
$O_2$	0.31	20.0	20.31	0.11	15.2	15.31
$CO_2$	2.53	46.4	48.93	2.91	50.0	52.91

## 二、氧的运输

物理溶解占1.5%；化学结合占98.5%，形式为 $\text{HbO}_2$

### (一) Hb分子结构简介

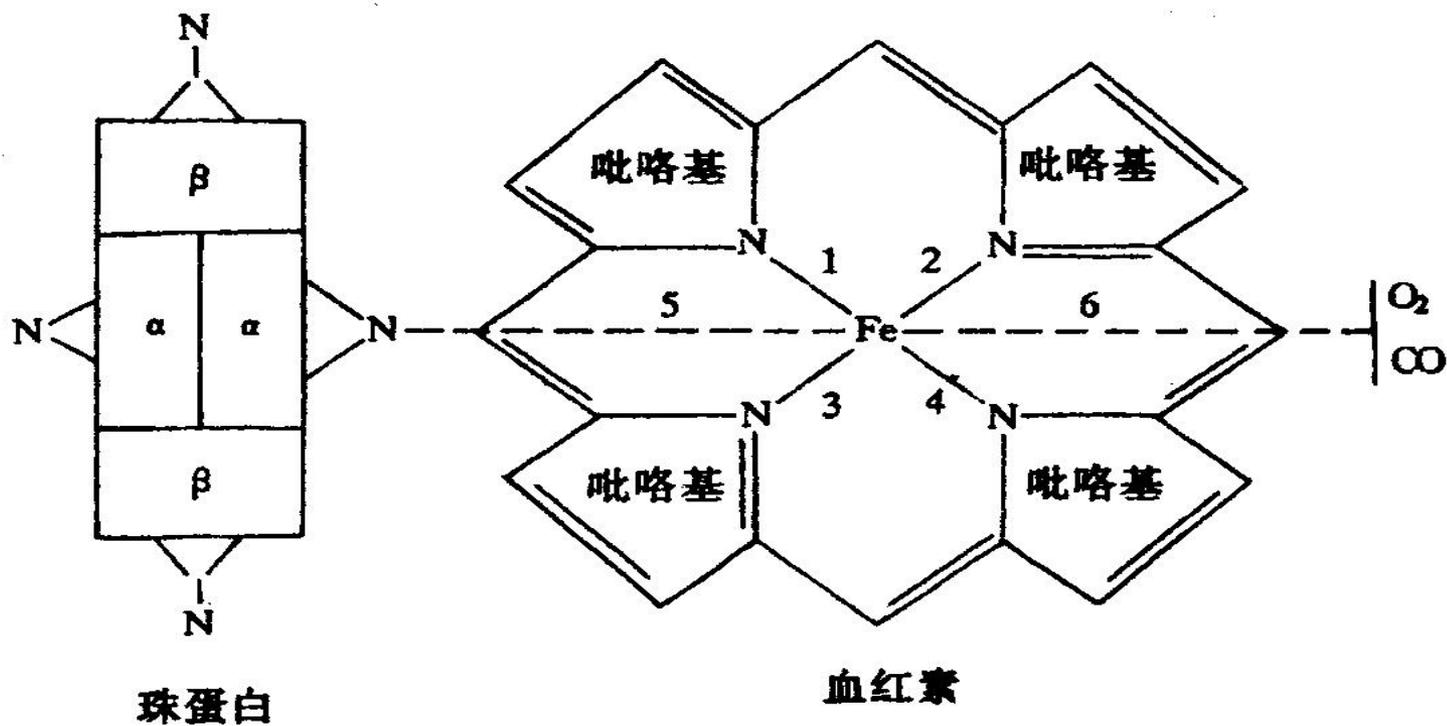
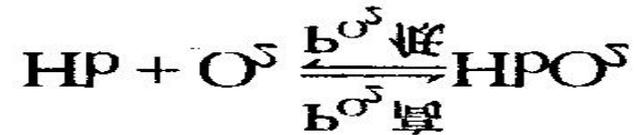


图 5-11 血红蛋白组成示意图

## (二) Hb与O<sub>2</sub> 结合的特征

1. 反应快、可逆、不需酶的催化、受P<sub>O2</sub>的影响。



2. Fe<sup>2+</sup>与O<sub>2</sub>结合后仍是二价铁，所以该反应是氧合，不是氧化。

3. 1分子可以结合4分子。

氧容量，氧含量，氧饱和度，发绀

4. Hb与 $O_2$ 的结合或解离曲线呈S形，  
与的变构效应有关

## (三) 氧解离曲线

1、概念：表示 $P_{O_2}$ 与Hb氧结合量或Hb氧饱和度关系的曲线。

### 2、氧解离曲线图

$O_2$ 含量  
(ml/100ml) :

$P_{O_2}$ 为100mmHg——19.4;

$P_{O_2}$ 为40mmHg——14.4;

$P_{O_2}$ 为15mmHg——4.4;

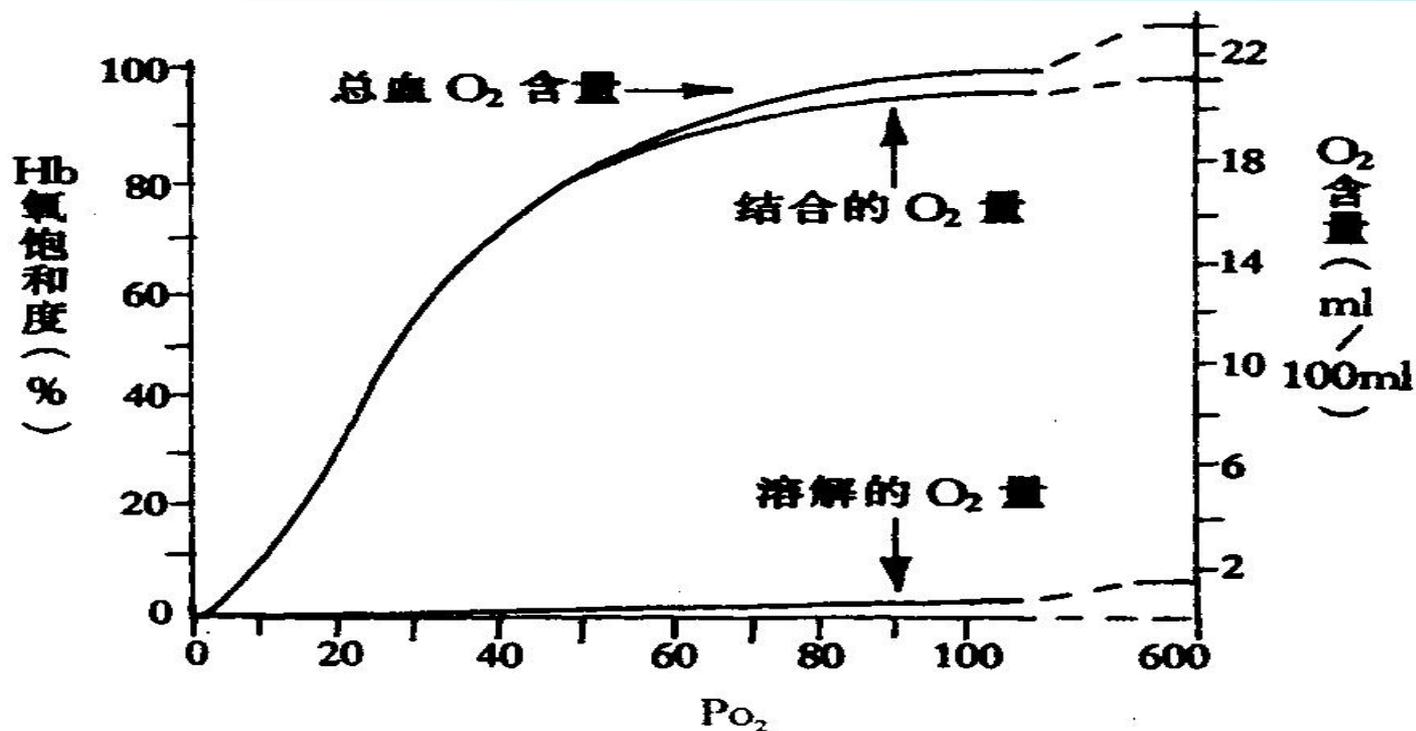


图 5-12 氧解离曲线

在 pH 7.4,  $P_{CO_2}$  40mmHg, 温度 37℃, Hb 浓度为 15g/100ml 血液时测定的 (1mmHg = 0.133kPa)

### 3. 氧解离曲线的形态特征

A、上段： 相当于 $P_{O_2}$ 在60-100mmHg，是Hb与 $O_2$  结合的部分。

特征： 曲线较平坦。

生理意义： 只要吸入气或肺泡气 $P_{O_2}$ 不低于60mmHg，Hb氧饱和度仍能保持在90%之上。

**B、中段：相当于 $P_{O_2}$ 在40~60mmHg，是HbO<sub>2</sub>释放O<sub>2</sub>的部分。**

**特征：曲线较陡。**

**生理意义： $P_{O_2}$ 在此范围内，稍有下降，Hb氧饱和度下降较大因而释放大量的O<sub>2</sub>，满足机体正常代谢的需要。**

C: 下段：相当于 $P_{O_2}$ 在15-60mmHg，是Hb  $O_2$ 与 $O_2$ 解离的部分。

特征：曲线最陡。

生理意义：代表 $O_2$ 的储备。

## (四) 影响氧解离曲线的因素

1、 $P_{50}$ ： 正常值26.5mmHg。

2、影响因素：

1) pH和 $PCO_2$ 的影响——波尔效应

2) 温度的影响

3) 2,3二磷酸甘油酸

4) 其它因素

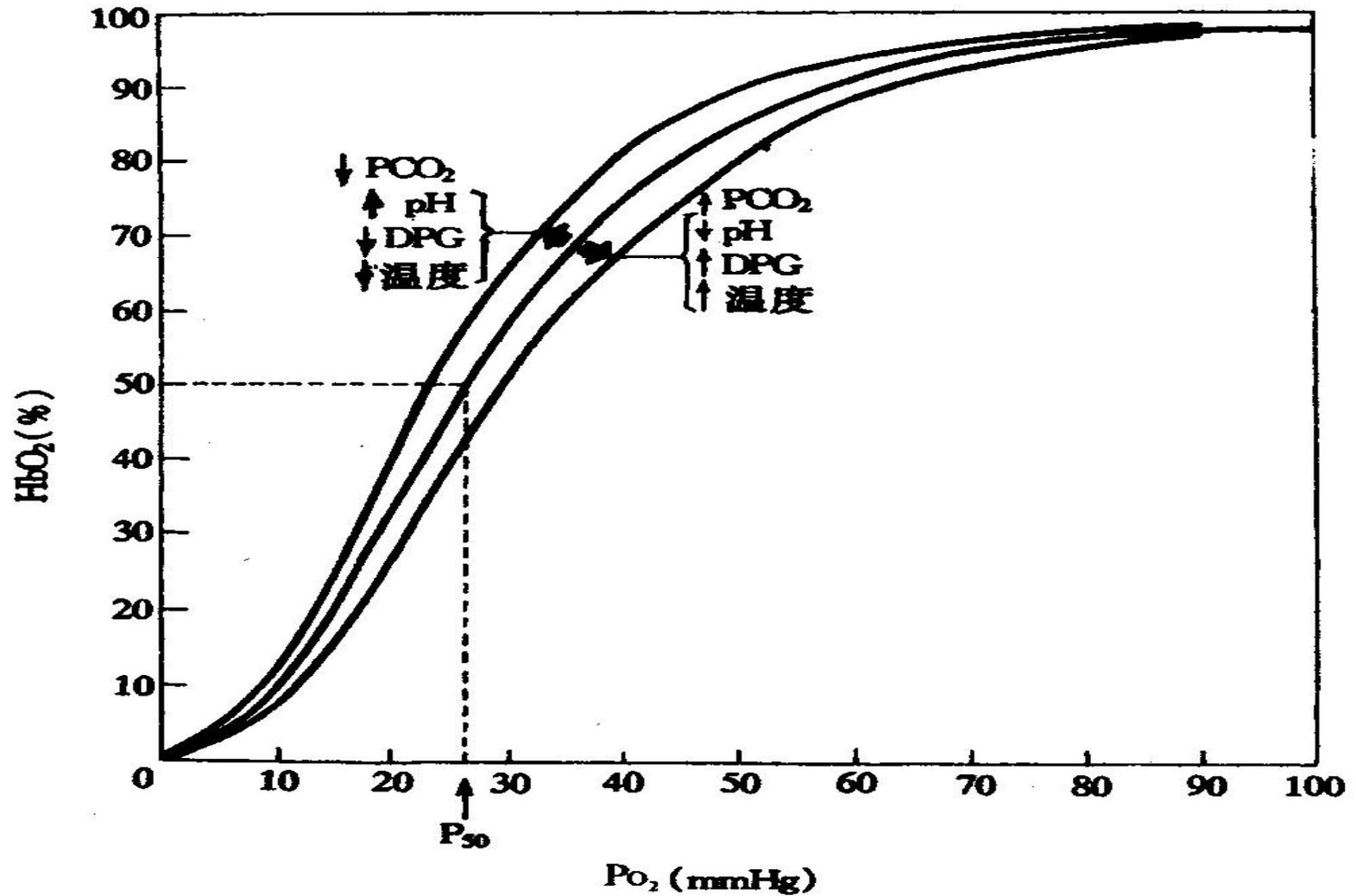


图 5-13 影响氧解离曲线位置的主要因素

(1mmHg = 0.133kPa)

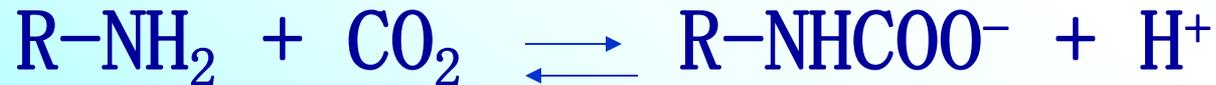
# 三、二氧化碳的运输

## (一) CO<sub>2</sub>的运输形式

物理溶解——5%，化学结合的占95%。

结合形式主要是碳酸氢盐（88%）和氨基甲酸血红蛋白（7%）。

### 1、血浆中的CO<sub>2</sub>：



## 2、红细胞内的CO<sub>2</sub>碳酸氢盐

### 1) 溶解状态

### 2) 碳酸氢盐形式——出现氯转移



### 3) 氨基甲酸血红蛋白



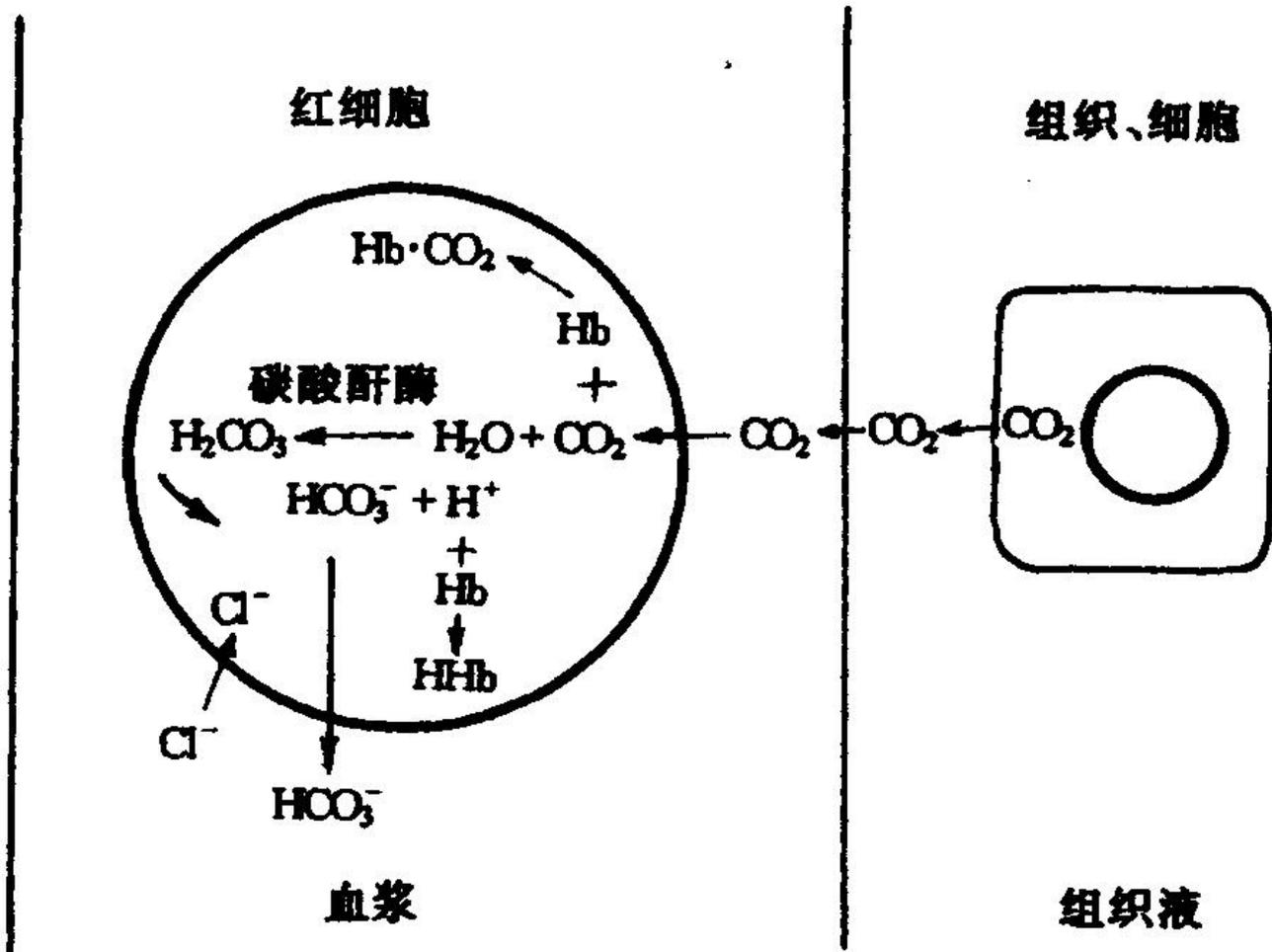


图 5-14  $\text{CO}_2$  在血液中的运输示意图

## (二) $\text{CO}_2$ 解离曲线

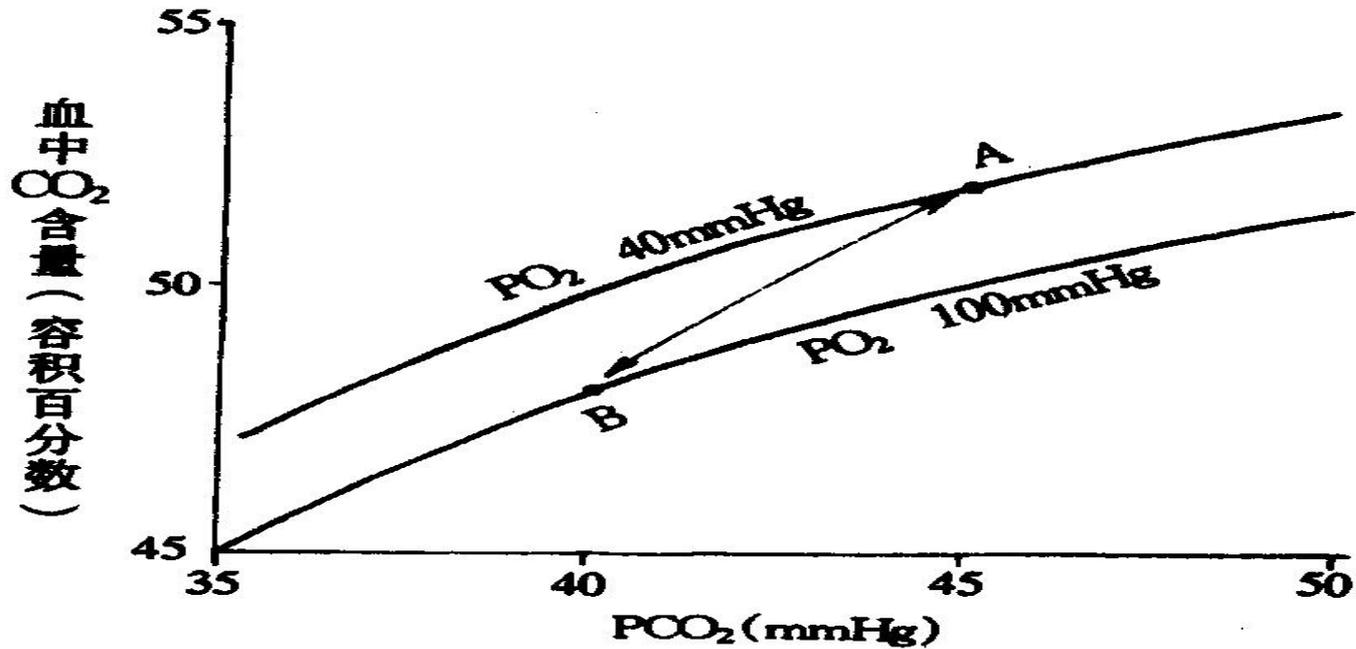


图 5-15  $\text{CO}_2$  解离曲线

A: 静脉血 B: 动脉血 (1mmHg = 0.133kPa)

## (三) $O_2$ 与Hb的结合对 $CO_2$ 运输的影响

$O_2$ 与Hb结合可促使 $CO_2$ 释放，这一现象称霍尔登效应。

综上所述， $O_2$ 及 $CO_2$ 的运输不是孤立进行的，而是相互影响的。 $CO_2$ 通过波尔效应影响 $O_2$ 的结合和释放， $O_2$ 又通过何而登效应影响 $CO_2$ 的结合和释放。

# 第四节 呼吸运动的调节

## 一、呼吸中枢与呼吸节律的形成

### (一) 呼吸中枢

1、概念：是指中枢神经系统内产生和调节呼吸运动的神经细胞群。

## 2、各级呼吸中枢的作用

- 1) 脊髓：是联系脑和呼吸肌的中继站和整合某些呼吸反射的初级中枢。

## 2) 低位脑干：指脑桥和延髓。

延髓是产生节律性呼吸的基本中枢。

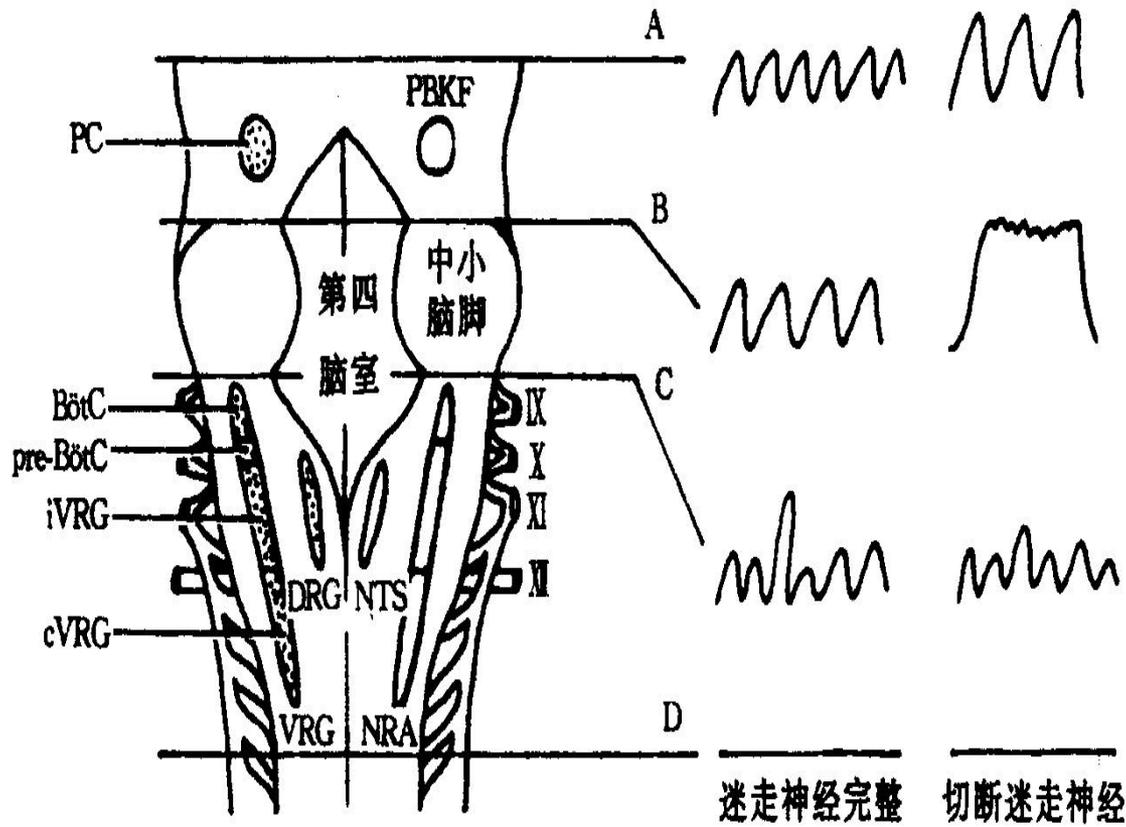
脑桥上部有抑制吸气的中枢结构，称为呼吸调整中枢。

其主要功能是限制吸气，控制吸气深度

•

3) 高位脑：指大脑皮层、边缘系统、下丘脑等脑桥以上部位。

大脑皮层对呼吸的调节系统是随意的调节系统，其下行通路 with 低位脑干的不随意的呼吸调节系统是分开的。



A平面（中脑与脑桥间）切断：呼吸节律无明显变化

B平面（脑桥上、中部之间）切断：长吸呼吸（呼吸调整中枢）

C平面（脑桥和延髓间）切断：喘息样呼吸

D平面（延髓与脊髓间）切断：呼吸停止

图 5-16 脑干呼吸有关核团（左）和在不同平面横切脑干后呼吸的变化（右）示意图

Bötc: 包钦格复合体 cVRG: 尾段 VRG DRG: 背侧呼吸组 iVRG: 中段 VRG NRA: 后疑核 NTS: 孤束核 PBKF: 臂旁内侧核和 Kölliker-Fuse 核 PC: 呼吸调整中枢  
pre-Bötc: 前包钦格复合体 VRG: 腹侧呼吸组 IX、X、XI、XII 分别为

# (二) 呼吸节律 的形成

神经元网络  
学说

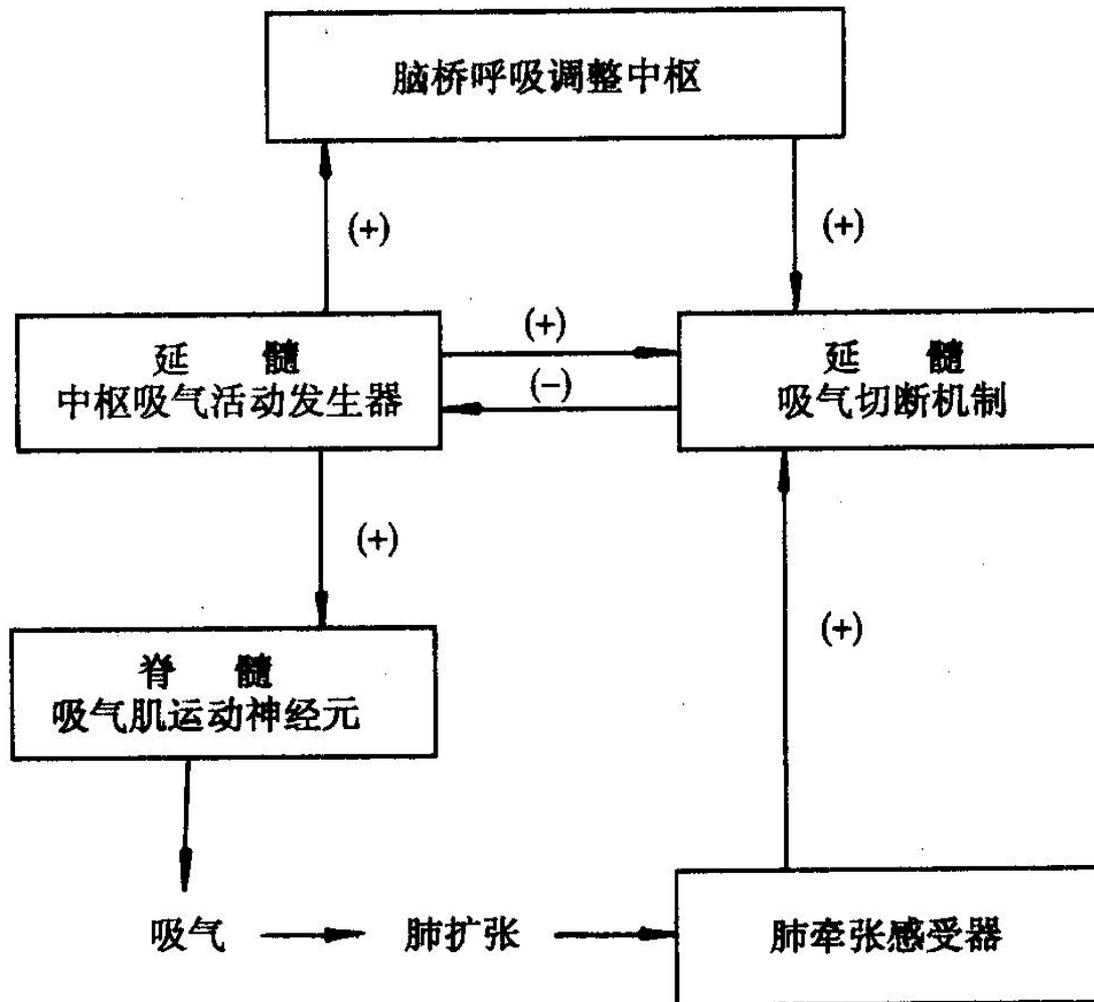


图 5-13 呼吸节律形成机制模式图

“+”：表示兴奋 “-”：表示抑制

## 二、呼吸的反射性调节

### （一）肺牵张反射 包括：

- 1、肺扩张反射：是肺充气或扩张时抑制吸气的反射。
- 2、肺萎陷反射：是肺萎陷时引起吸气的反射。

## 1) 机制：

吸气 → 肺扩张 → 支气管、细支气管牵张感受器兴奋

迷走神经传入冲动增多 → 延髓吸气神经元抑制

脊髓前角吸气肌运动神经元抑制 → 脊神经传出冲动减少 → 吸气肌舒张 → 吸气停止，转入呼气

## 2) 作用：使吸气不至于过长过深，防止肺通气过度

## (二) 化学感受性反射

适宜刺激—主要指动脉血或脑脊液  
中的 $O_2$ 、 $CO_2$ 和 $H^+$

### 1、化学感受器

## 1) 外周化学感受器：

部位—颈动脉体和主动脉体；

适宜刺激—动脉血 $P_{O_2}$ 降低、 $P_{CO_2}$ 或 $H^+$ 浓度升高；

传入神经—窦神经和迷走神经；

中枢—延髓；

效应——颈动脉体传入的冲动主要引起呼吸加深加快；

主动脉体传入的冲动主要引起血液循环的变化；

生理作用—机体低 $O_2$ 时维持呼吸

## 2) 中枢化学感受器：

部位—延髓腹外侧浅表部分（头、中、尾）；

适宜刺激—脑脊液和局部细胞外液中的 $H^+$ ；

效应—兴奋呼吸中枢，引起呼吸加深加快；

生理作用—调节脑脊液的 $H^+$ 浓度，维持神经系统pH值稳定

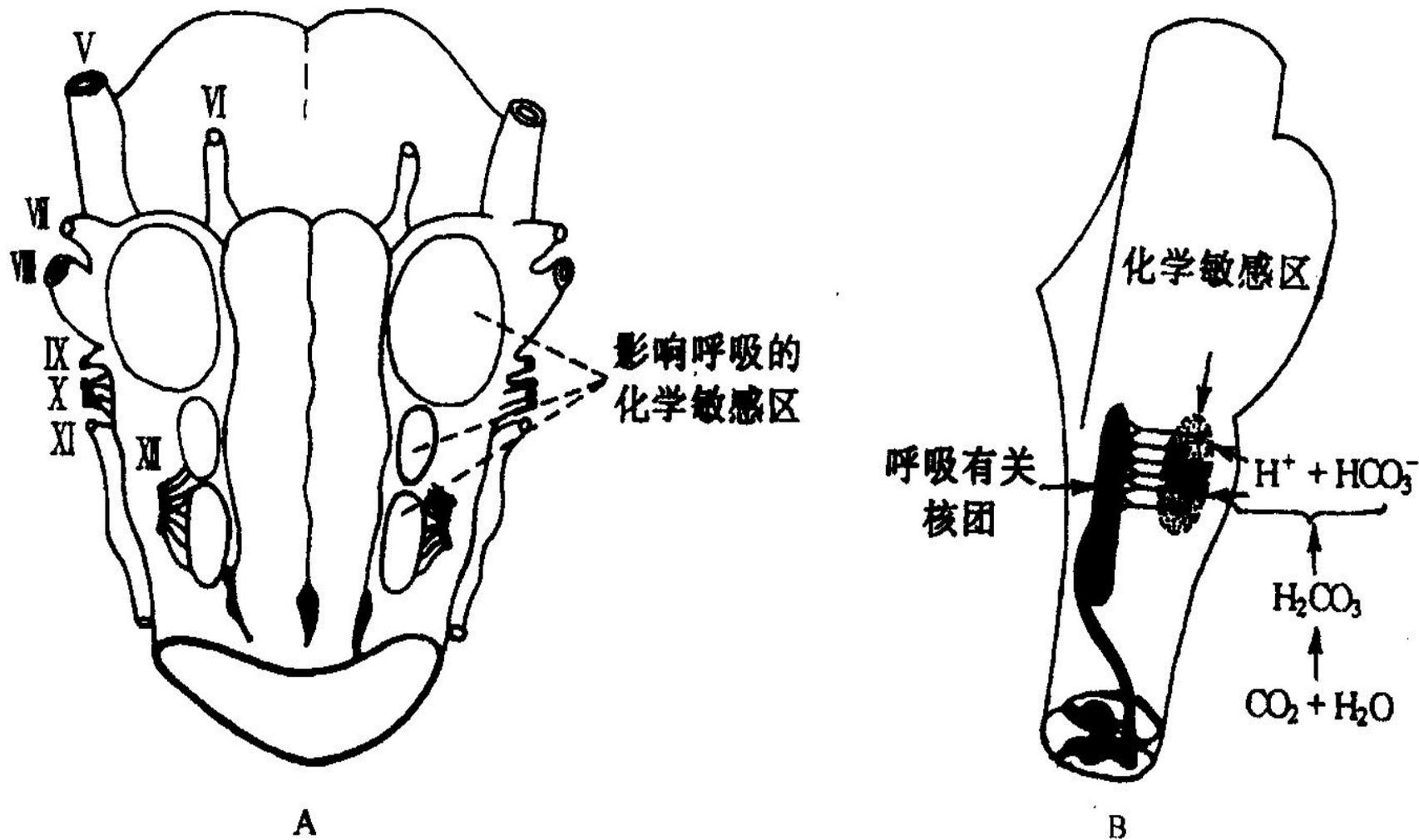


图 5-18 中枢化学感受器

A: 延髓腹外侧的三个化学敏感区 B: 血液或脑脊液  $\text{P}_{\text{CO}_2}$  升高刺激呼吸的中枢机制

## 2、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}^+$ 和 $\text{O}_2$ 对呼吸的调节

### (1) $\text{CO}_2$

吸入气中 $\text{CO}_2$ 适当增加，对呼吸有刺激作用。

机制：1) 刺激外周化学感受器。

2) 刺激中枢化学感受器。

这两条途径中，后一条途径是主要的。

### (2) $\text{H}^+$

动脉血 $[\text{H}^+]$ 增加，呼吸加深加快

机制：1) 刺激外周化学感受器。

2) 刺激中枢化学感受器。

3) 以刺激外周化学感受器为主。

### (3) $O_2$

吸入气 $PO_2$ 降低时，一般在动脉血 $PO_2$ 降低至80mmHg以下时，出现肺通气增加。严重低 $O_2$ 时，呼吸障碍。

机制：1) 低 $O_2$ 对呼吸中枢的直接作用是抑制。

2) 低 $O_2$ 刺激外周化学感受器而兴奋呼吸。

3) 轻、中度低 $O_2$ 对外周化学感受器的刺激作用大于对呼吸中枢的抑制作用。

4) 严重低 $O_2$ 时，外周化学感受器反射不足以克服低 $O_2$ 对呼吸中枢的直接抑制作用。

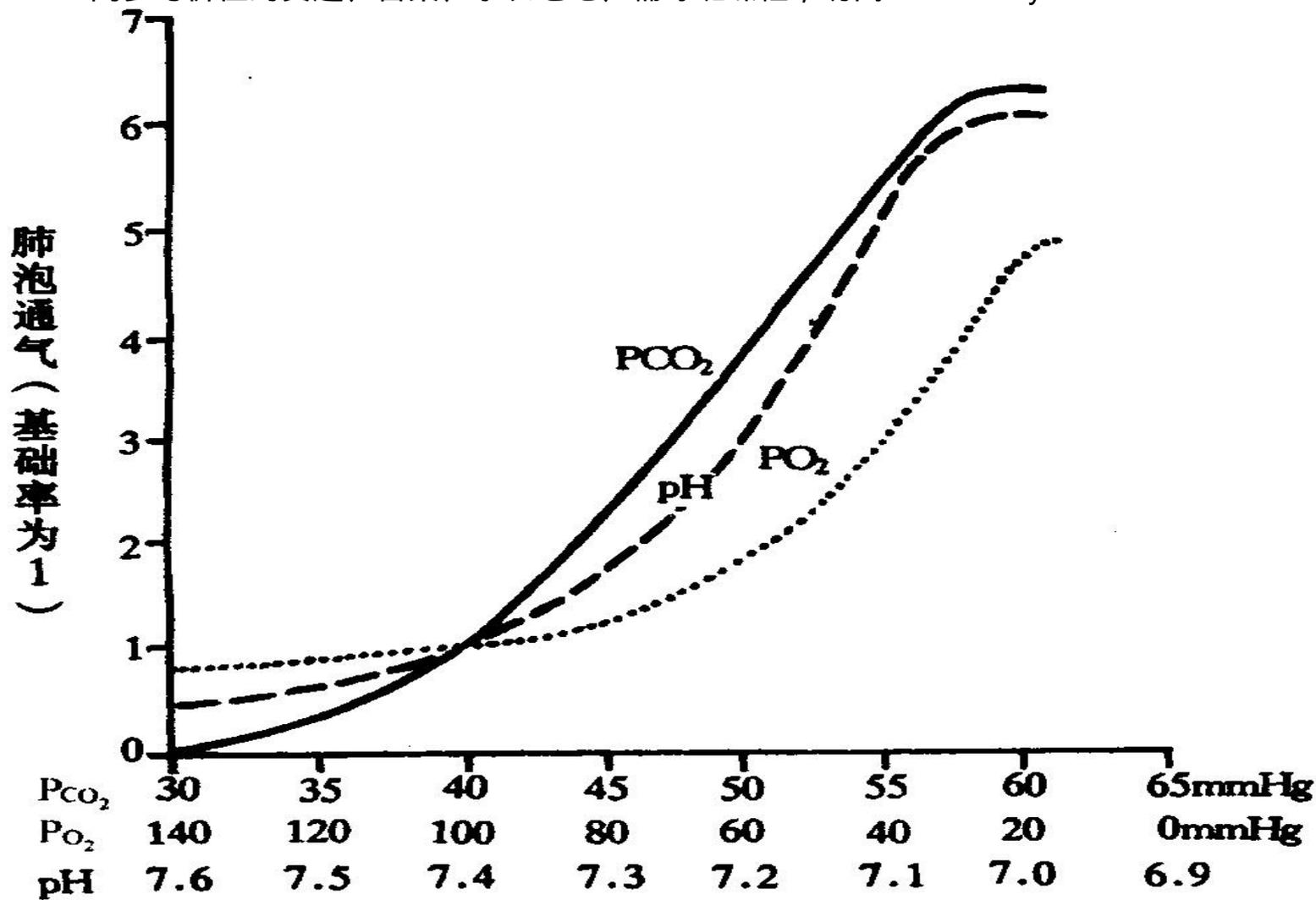


图 5-19 改变动脉血液  $P_{CO_2}$ 、 $P_{O_2}$ 、pH 三因素之一而维持

另外两个因素正常时的肺泡通气反应 ( $1\text{mmHg} = 0.133\text{kPa}$ )

### 3、 $O_2$ 、 $CO_2$ 、 $H^+$ 在呼吸调节中的相互作用

$CO_2$ 的作用最强，而且比单因素作用时强； $H^+$ 的作用次之； $O_2$ 的作用最弱。

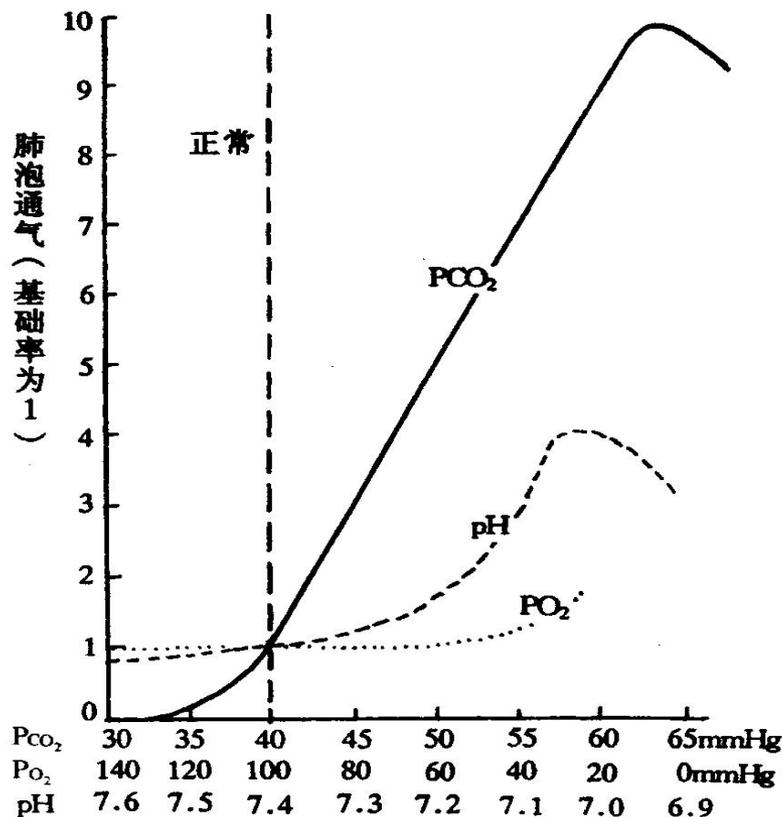


图 5-20 改变动脉血液  $P_{CO_2}$ 、 $P_{O_2}$ 、pH 三因素之一而不完全版，请访问 [www.kaoyancas.net](http://www.kaoyancas.net) 科大科院考研网，专注于中科大、中科院考研

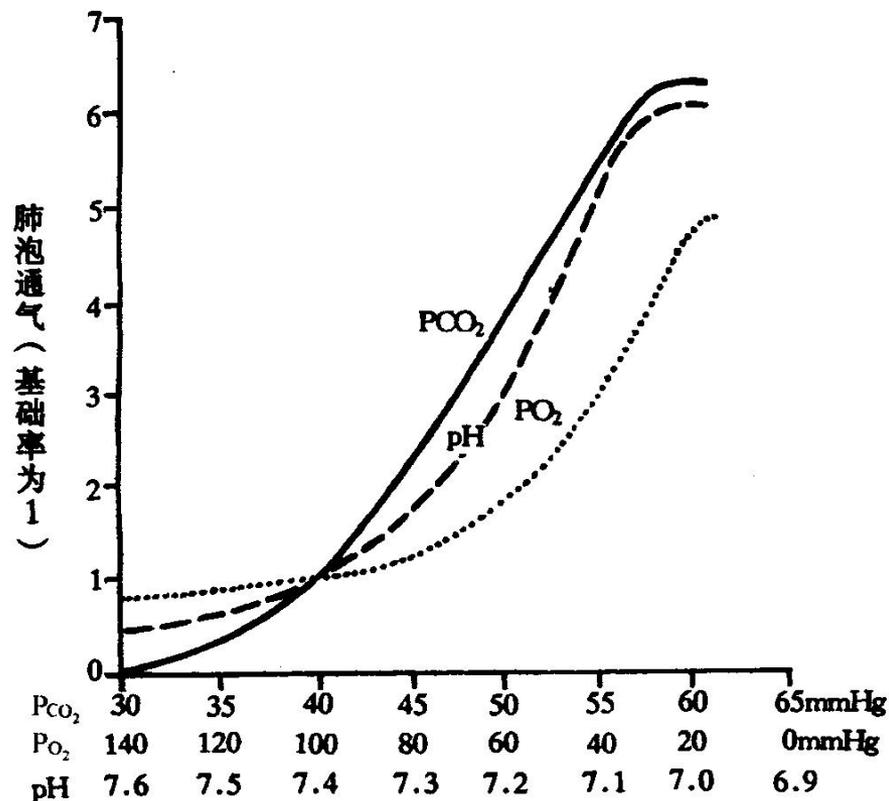


图 5-19 改变动脉血液  $P_{CO_2}$ 、 $P_{O_2}$ 、pH 三因素之一而维持另外两个因素正常时的肺泡通气反应 (1mmHg=0.133kPa)