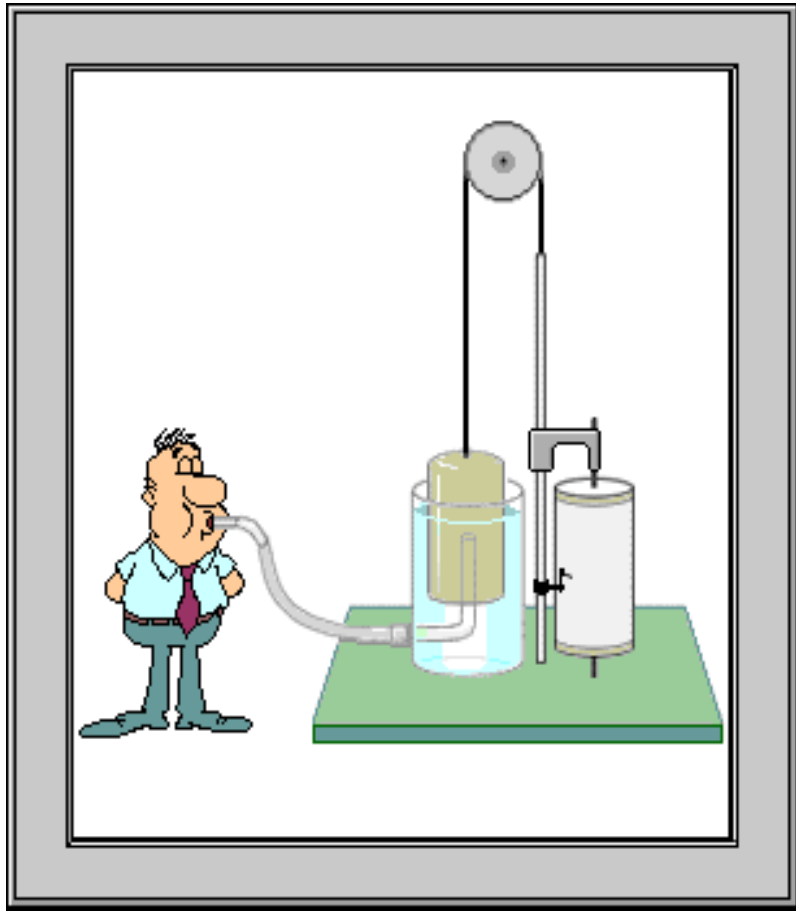


第五章

呼 吸



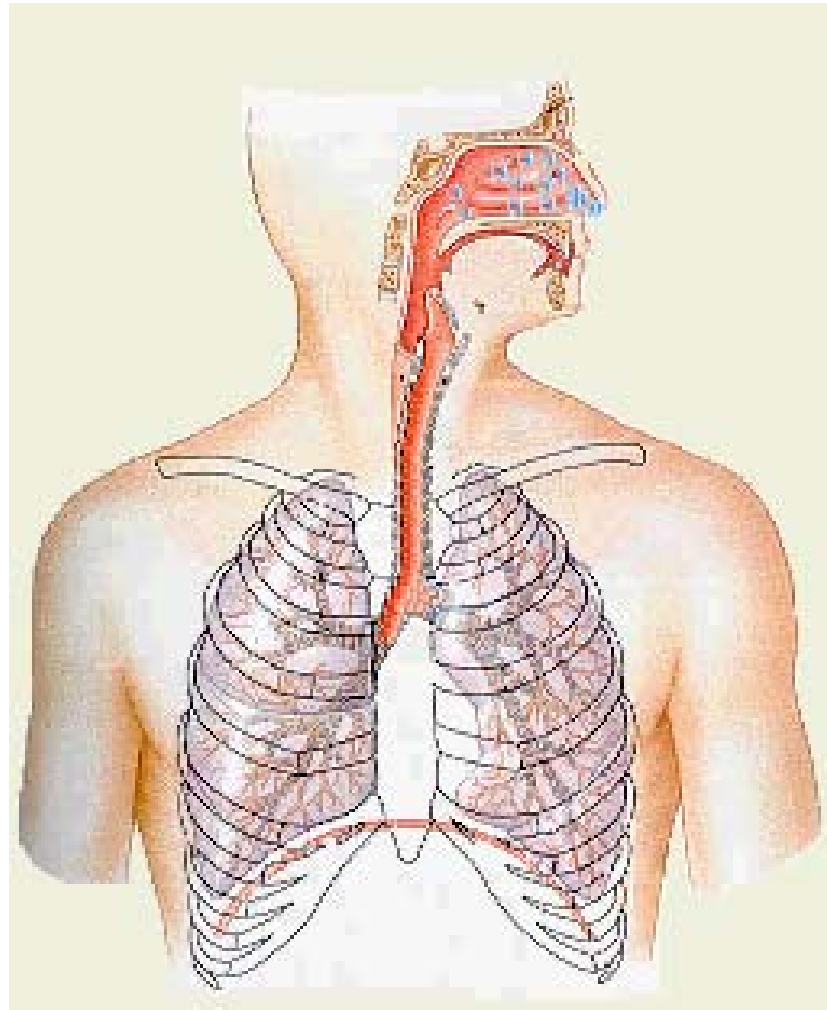
生理学教研室 于洋

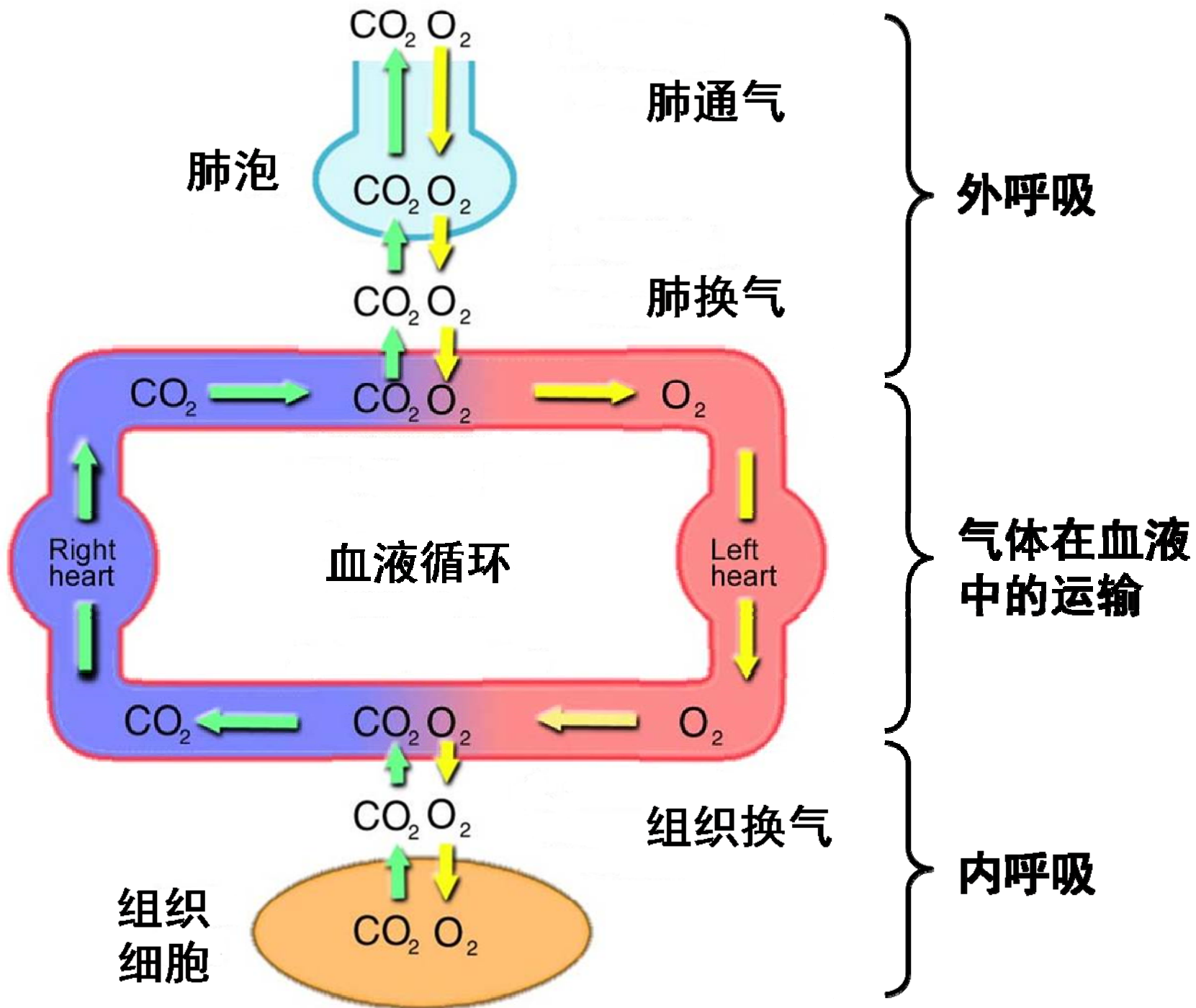
本章内容 (6h)

- 肺通气
 - 肺换气和组织换气
 - 气体在血液中的运输
 - 呼吸活动的调节
-

呼吸 (Respiration) *:

机体与外界环境之间的气体交换过程。





呼吸过程的三个环节：

- 1、外呼吸 { 肺通气
肺换气
- 2、气体在血液中的运输
- 3、内呼吸：组织换气
C内生物氧化

第一节 肺通气

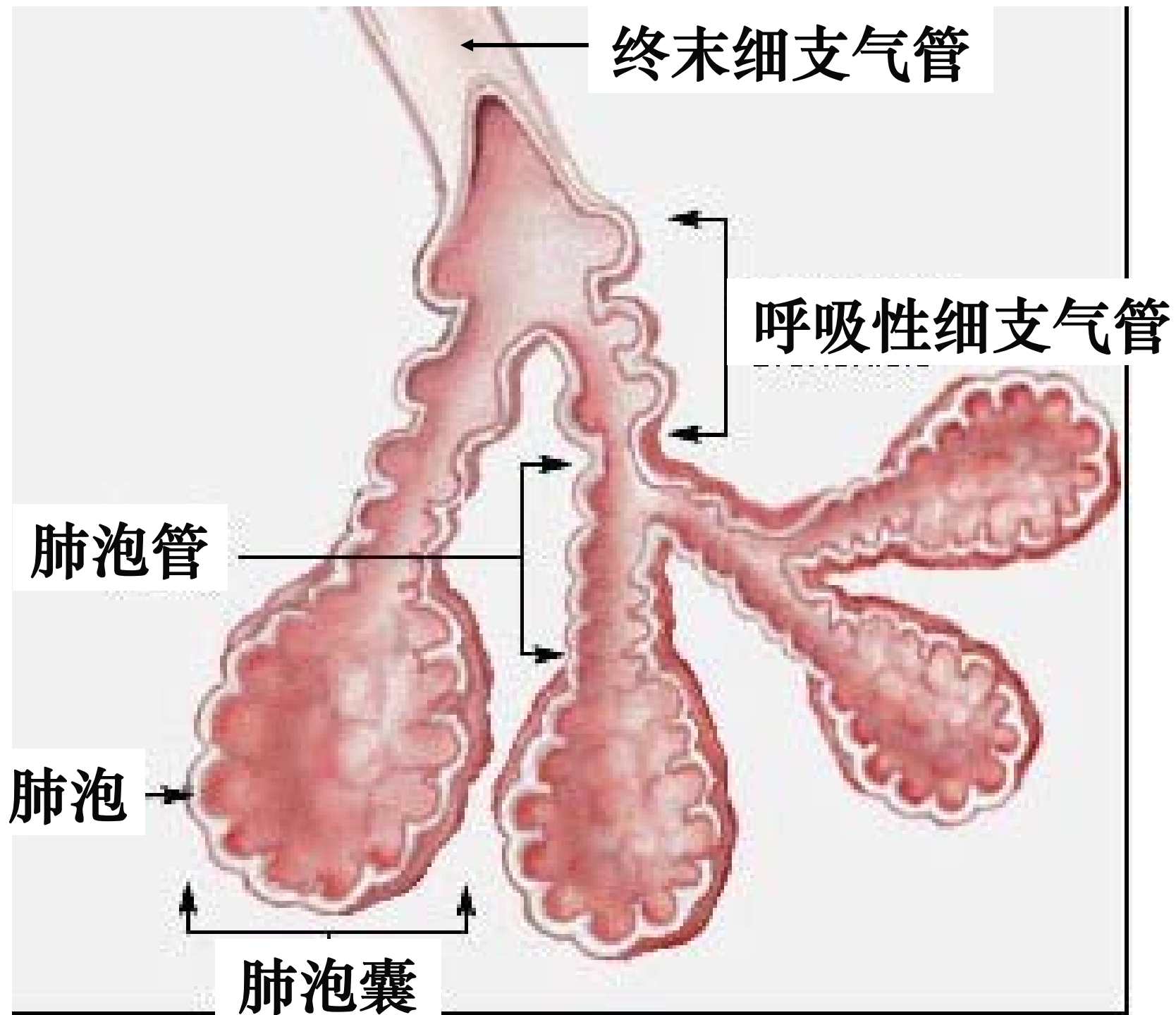
肺通气 (Pulmonary ventilation) *:
肺与外界环境之间的气体交换过程。

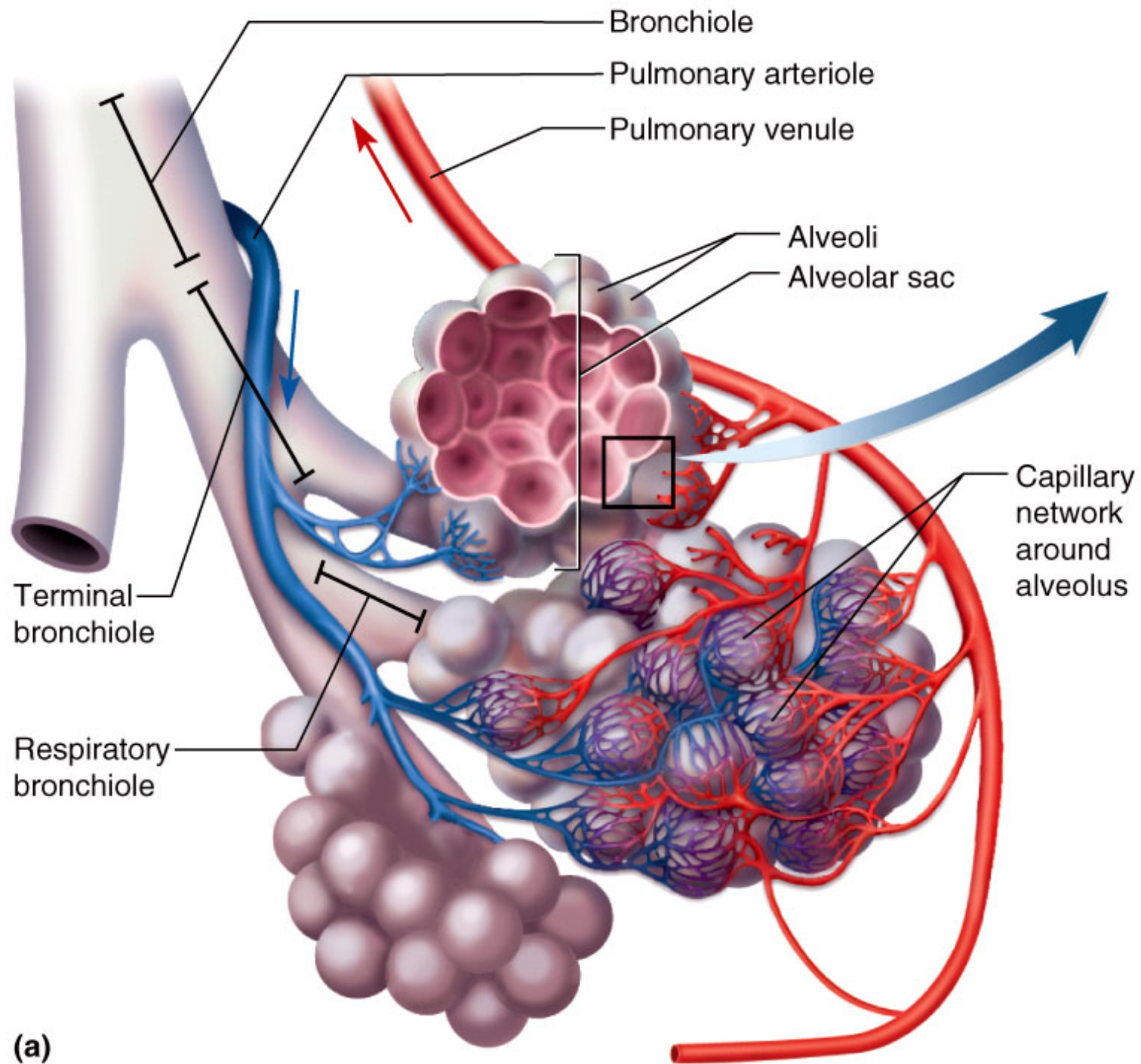
实现肺通气的结构:

呼吸道: 通道、保护功能

肺泡: 肺换气

胸廓: 节律性呼吸运动

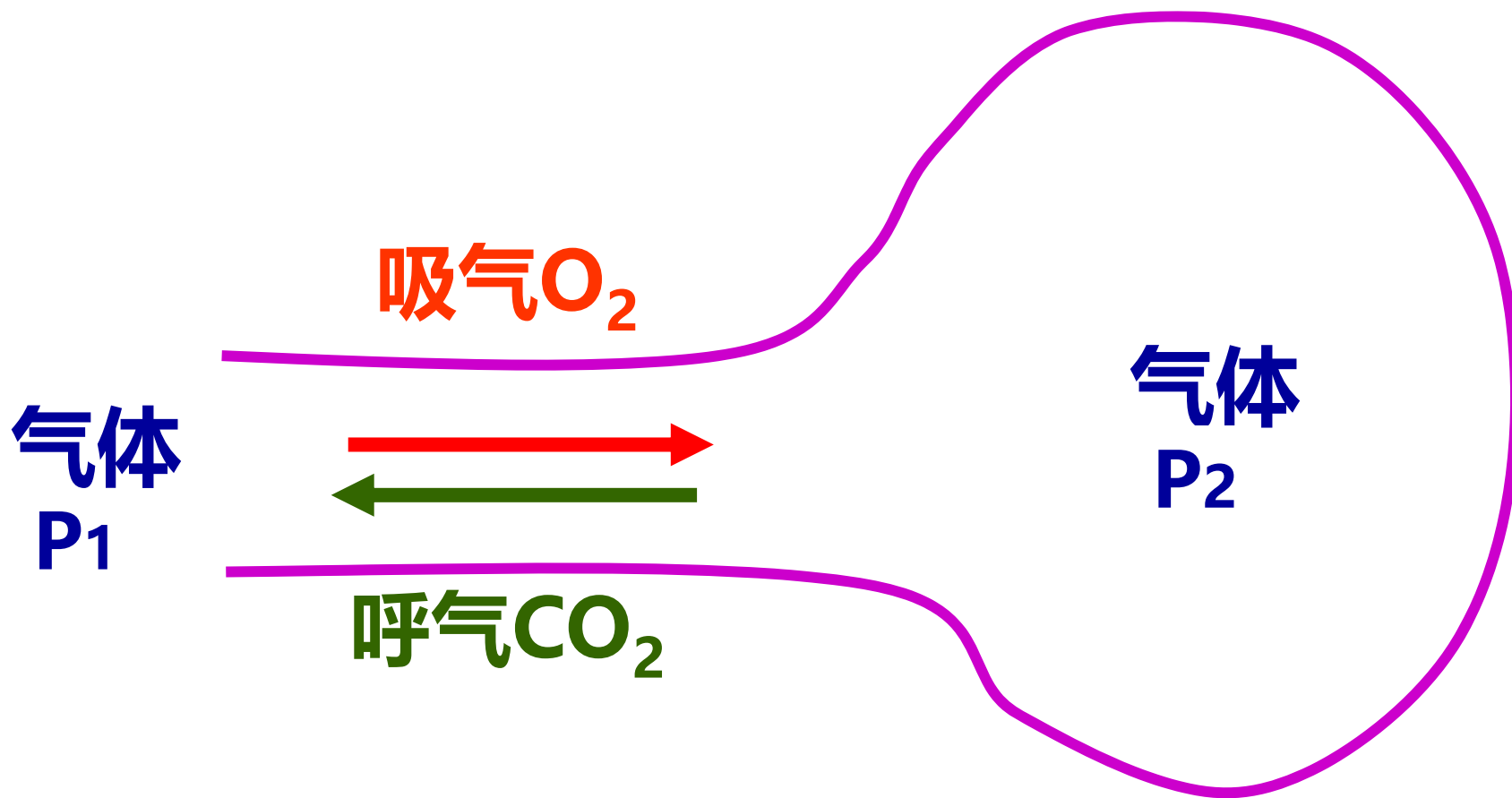




(a)

一、肺通气原理

(一) 肺通气的动力



直接动力 *:

肺泡与外界大气之间的压力差。

原动力 *:

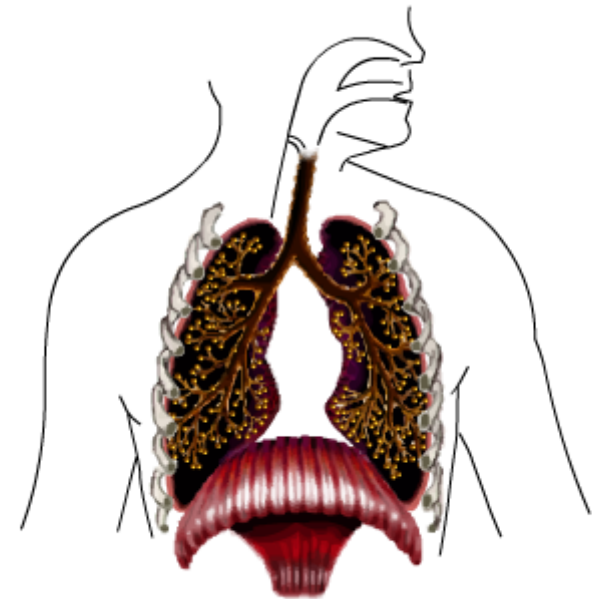
呼吸肌的收缩舒张所引起的节律性呼吸运动。

1、呼吸运动

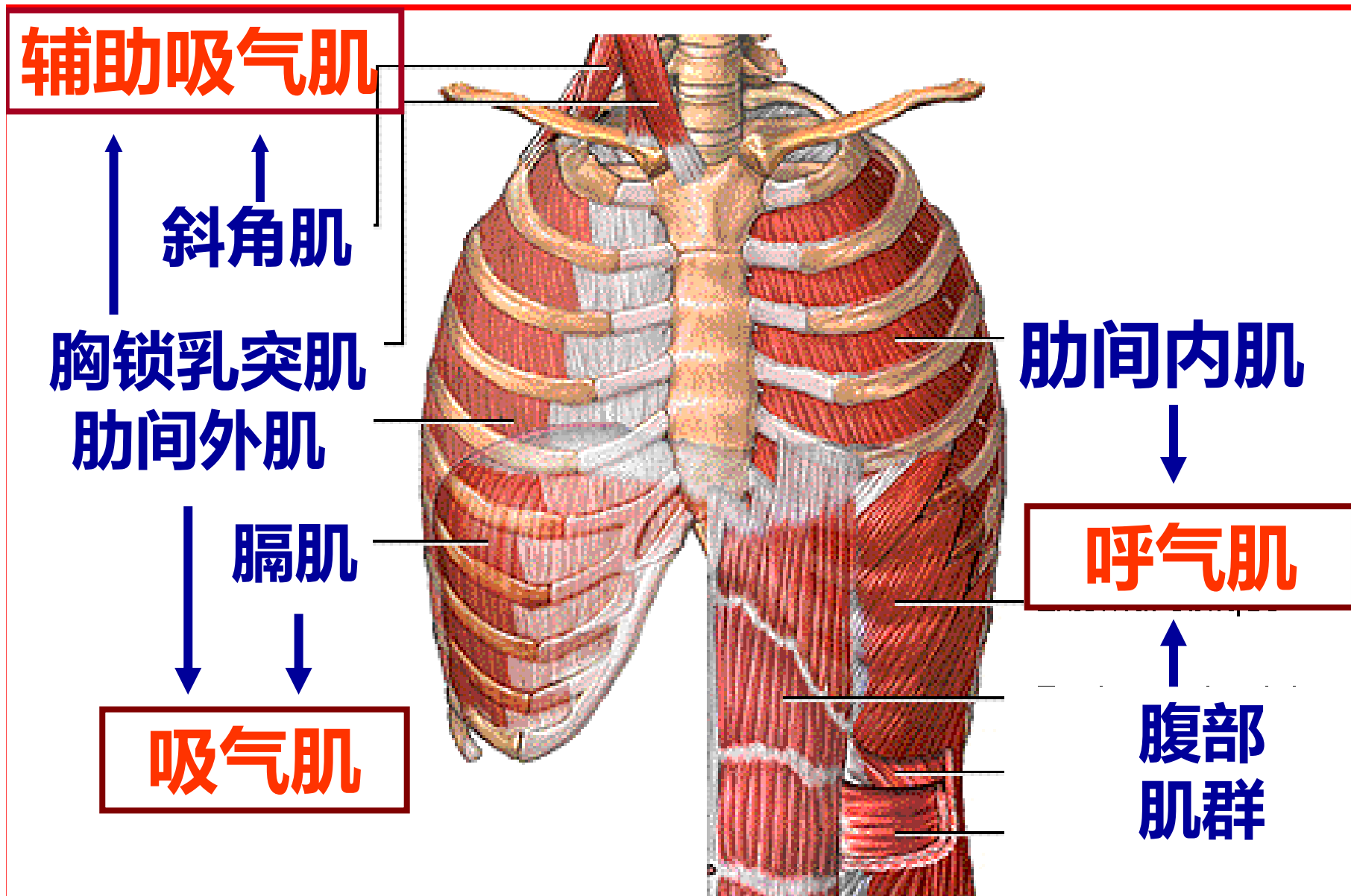
(Respiratory movement)

(1) 概念*：呼吸肌收缩和舒张引起的胸廓节律性扩大和缩小。

{ 吸气运动
呼气运动



(2) 呼吸肌



(3) 呼吸过程

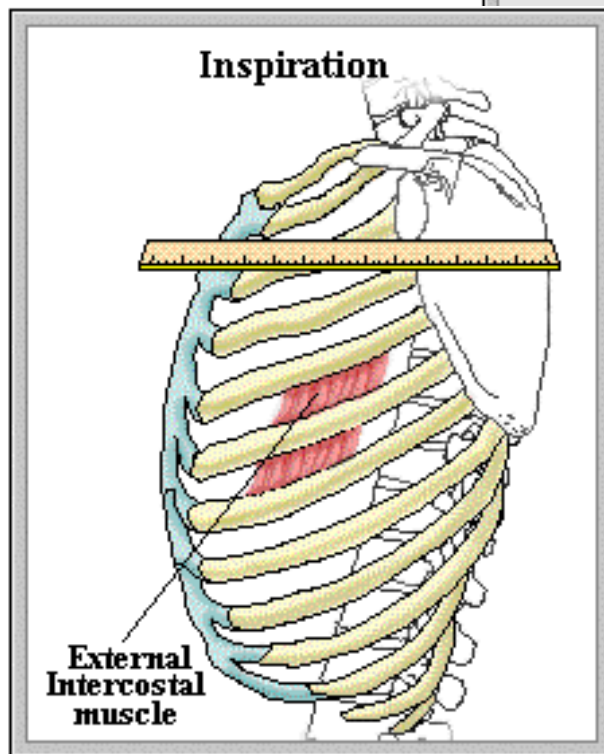
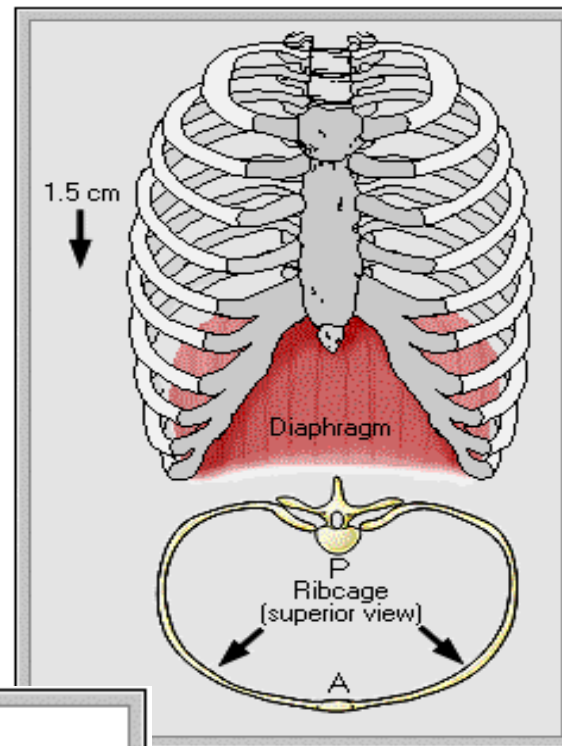
① 平静呼吸

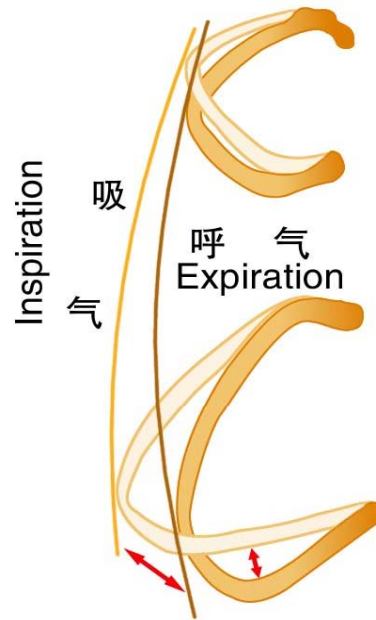
吸气运动：
吸气肌收缩

—— 主动

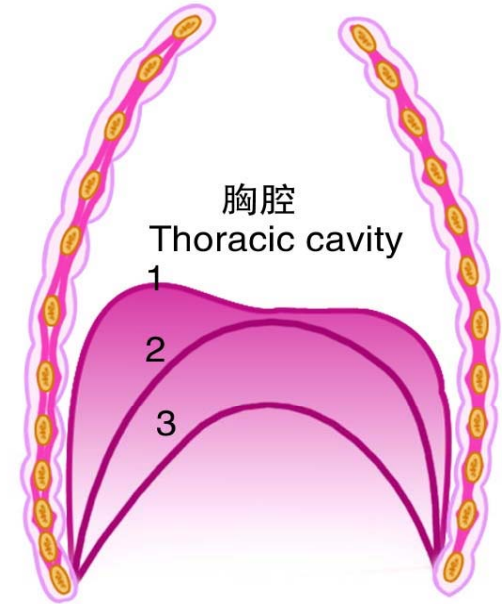
呼气运动：
吸气肌舒张

—— 被动





呼吸时肋骨位置的变化



呼吸时膈肌位置的变化
1. 平静呼气 2. 平静吸气 3. 深吸气

图 - 呼吸时肋骨和膈肌位置的变化示意图

② 用力呼吸

用力吸气:

吸气肌收缩

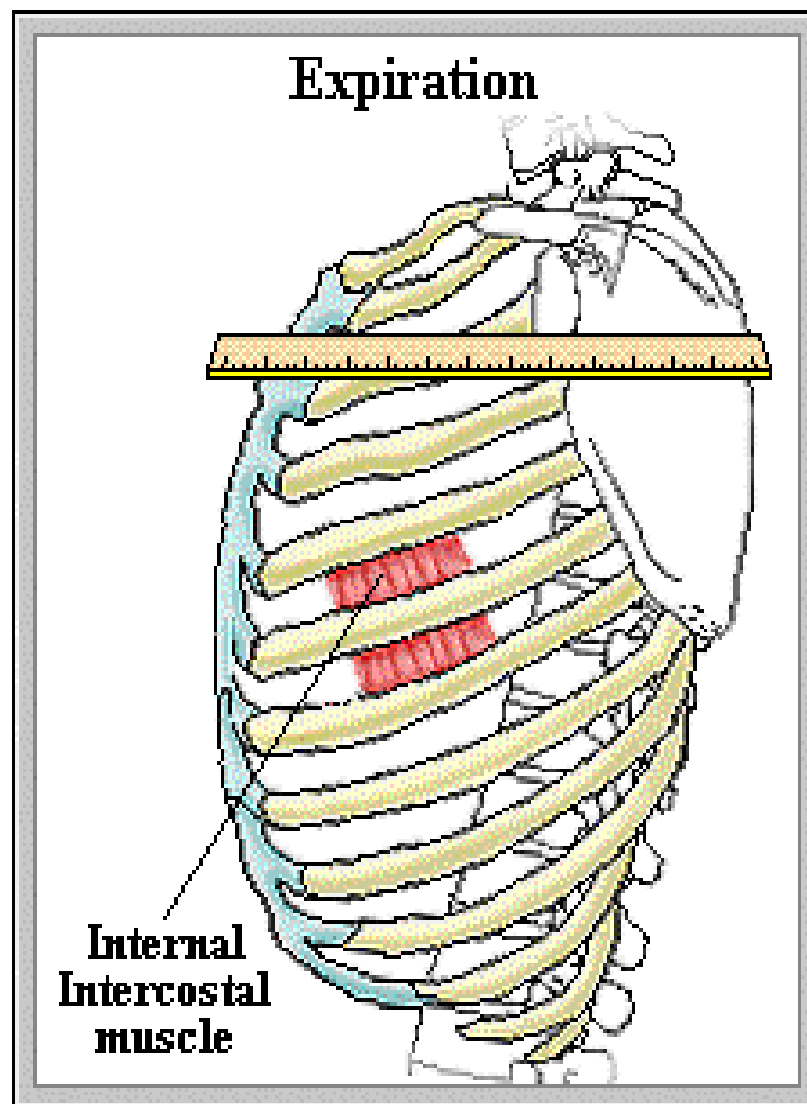
辅助吸气肌收缩

用力呼气:

吸气肌舒张

呼气肌收缩

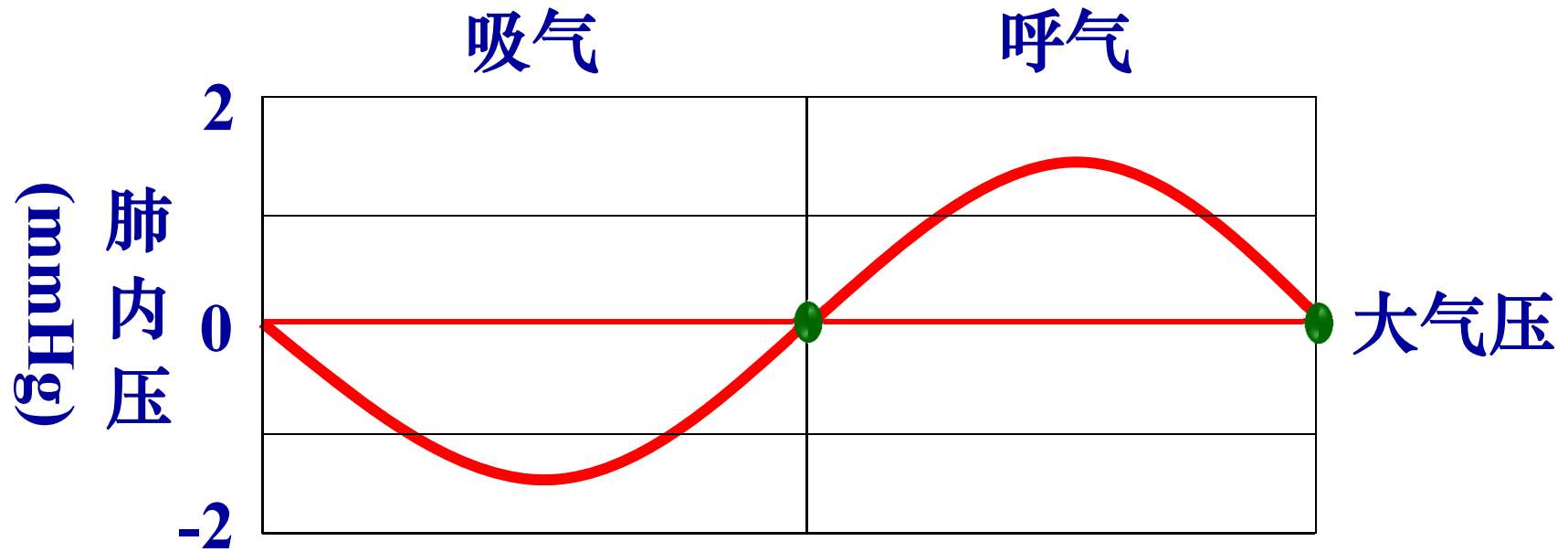
吸气和呼气都是**主动的**



(4) 呼吸运动的形式

- ① **腹式呼吸 (Abdominal breathing) :**
以膈肌舒缩活动为主的呼吸运动。
- ② **胸式呼吸 (Thoracic breathing) :**
以肋间外肌舒缩活动为主的呼吸运动。
- ③ **平静呼吸: 安静状态下的呼吸运动。**
12 ~ 18次/min
- ④ **用力呼吸 (深呼吸) : 呼吸运动加深
加快。 呼吸困难**

2、肺内压：肺泡内的压力



吸气：肺内压
< 大气压

呼气：肺内压
> 大气压

吸气末、呼气末：
肺内压 = 大气压

人工呼吸

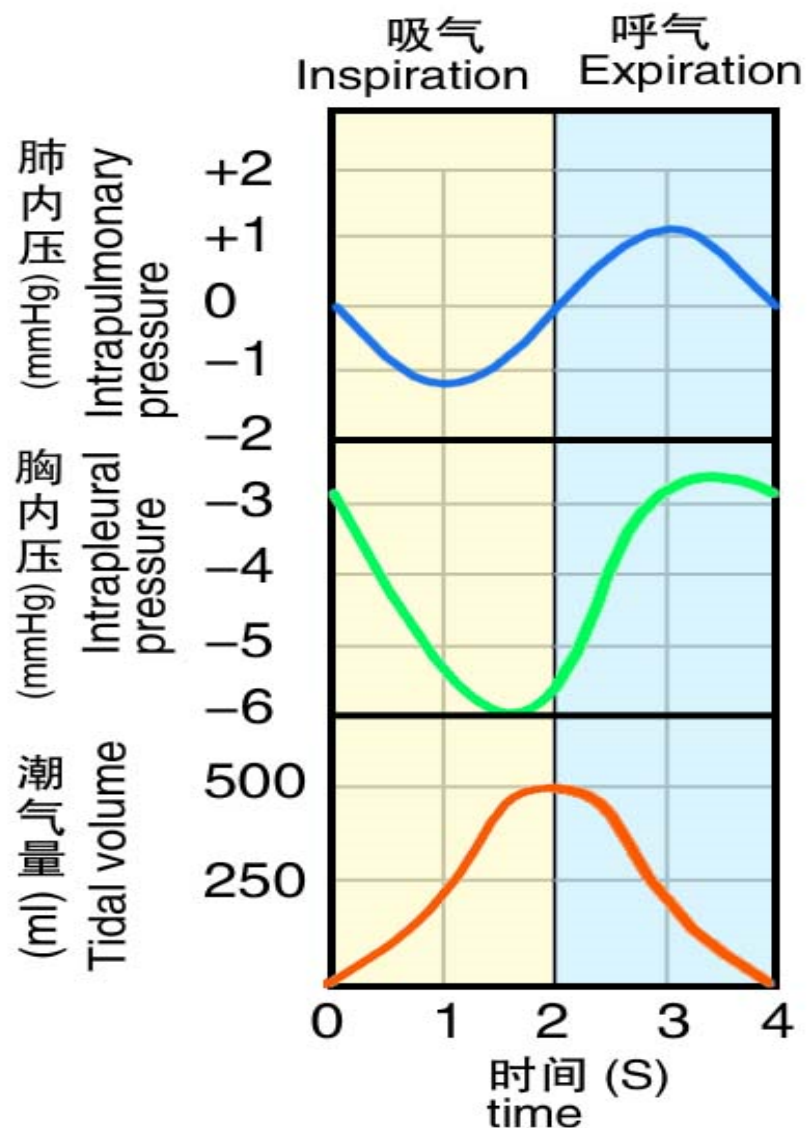
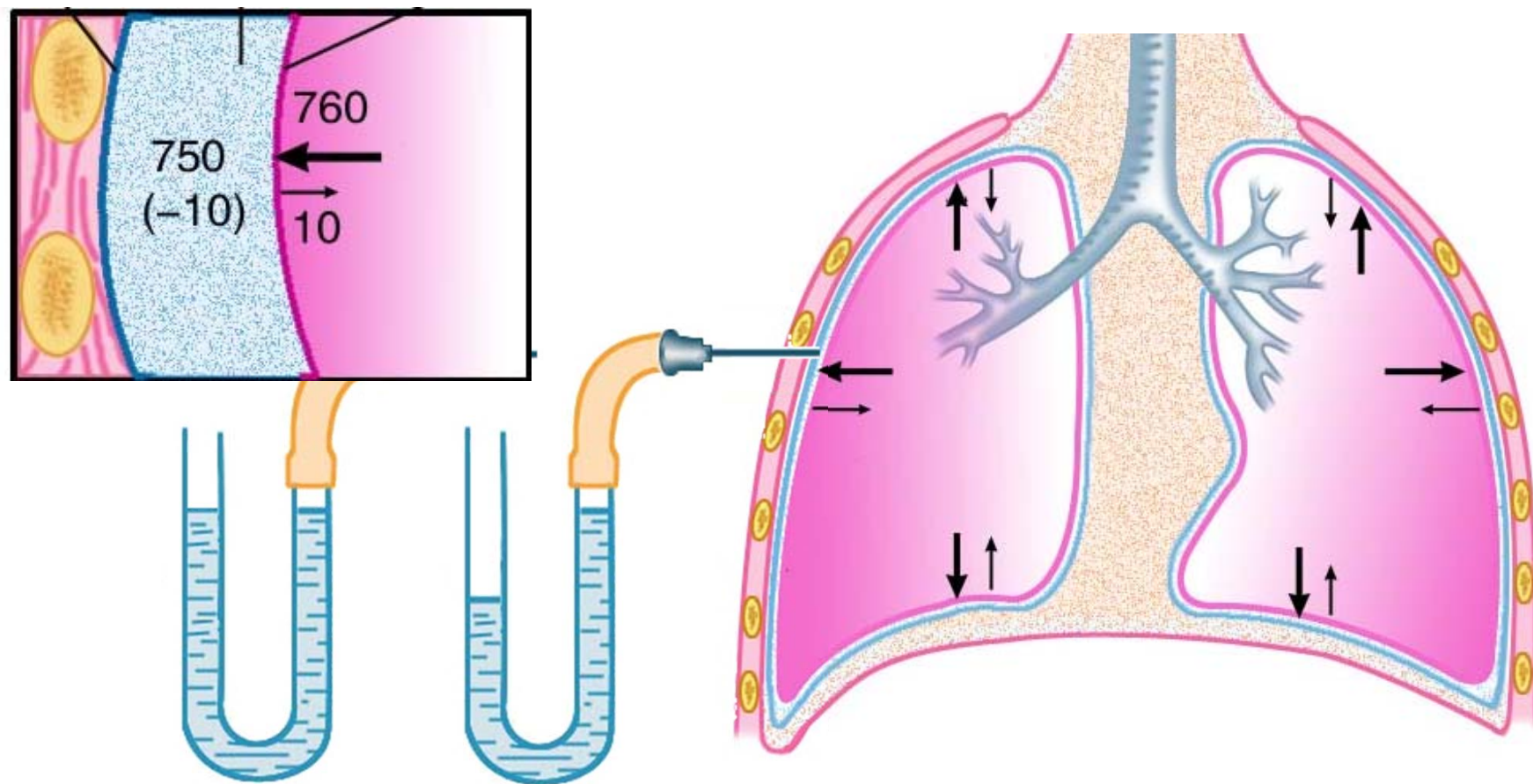


图 - 呼吸时肺内压、胸内压及呼吸气量的变化

3、胸膜腔内压 (胸内压)

胸内压 < 大气压 → 胸内负压



(1) 形成:

$$\text{胸内压} = \text{肺内压} - \text{肺回缩力}$$

吸气末、呼气末



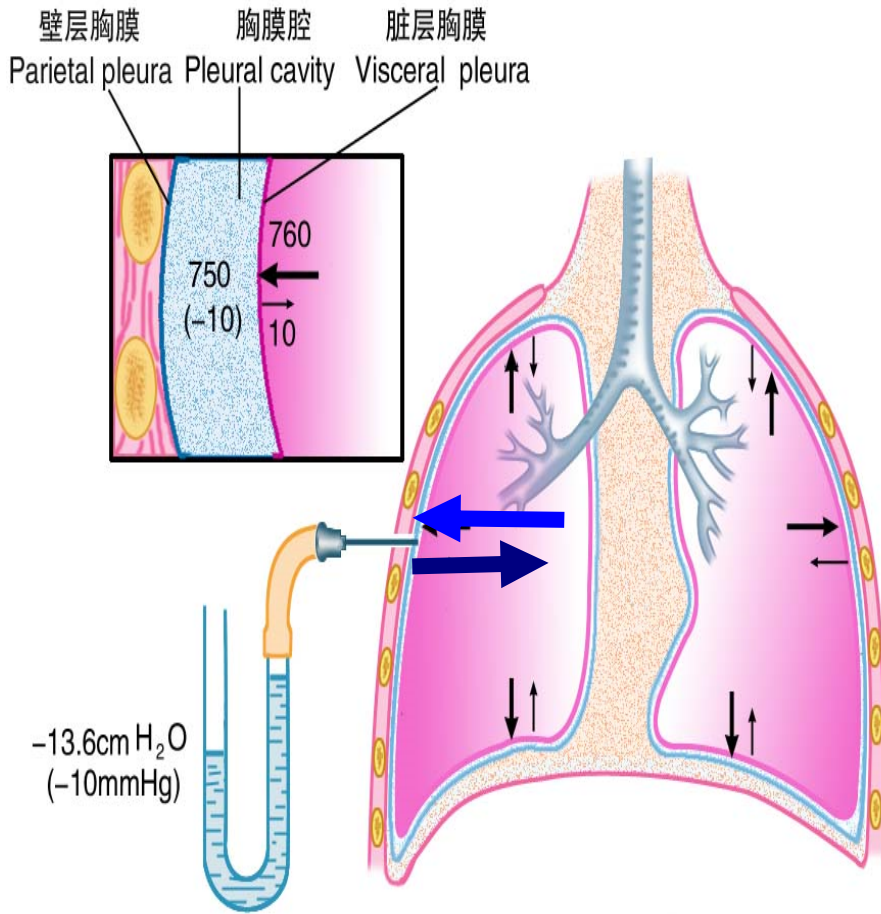
$$\text{肺内压} = \text{大气压}$$

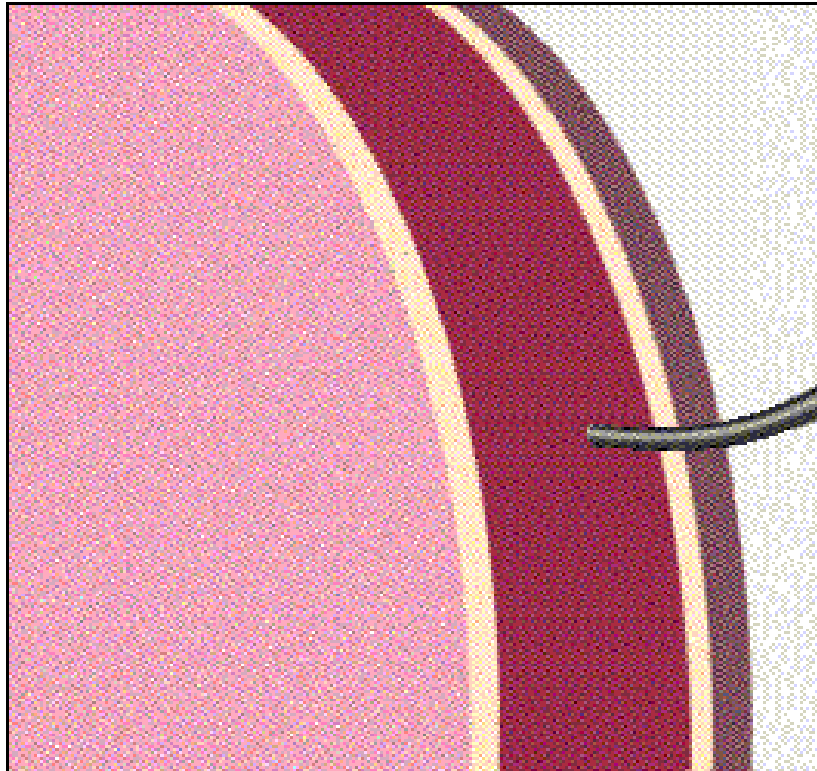
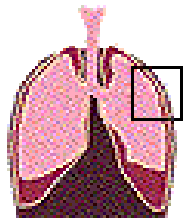
$$\text{大气压} = 0$$

$$\text{胸内压} = - \text{肺回缩力}$$

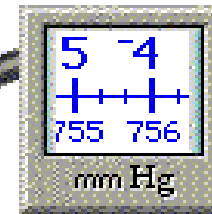
呼气末: $-5 \sim -3\text{mmHg}$

吸气末: $-10 \sim -5\text{mmHg}$

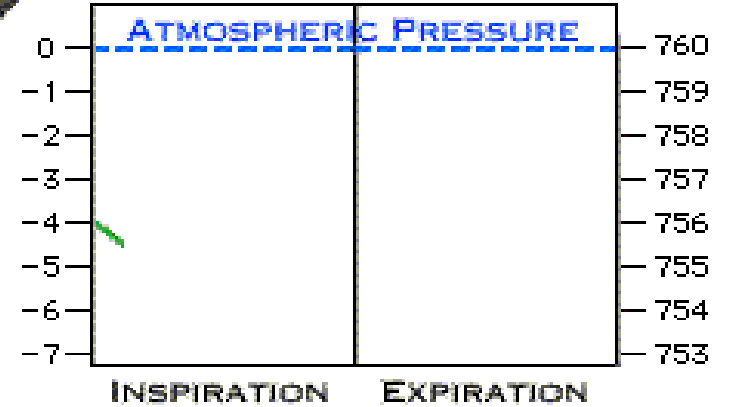




INTRAPLEURAL
PRESSURE

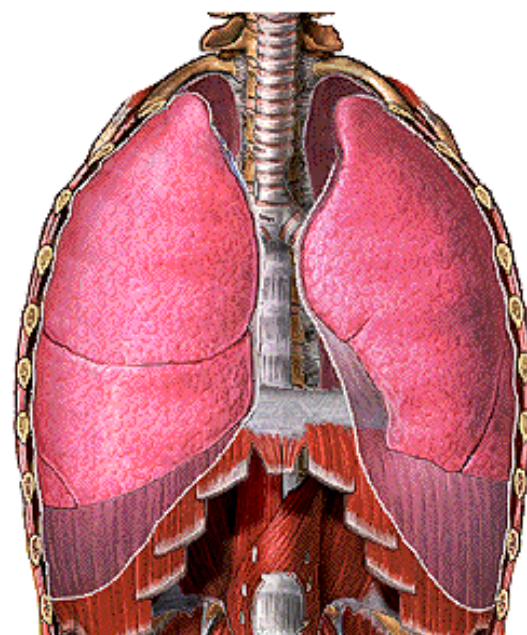
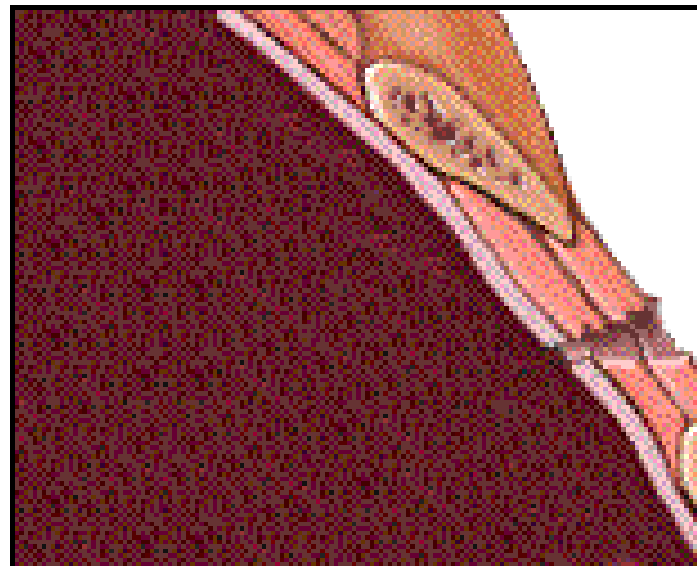


INTRAPLEURAL PRESSURE mm (Hg)

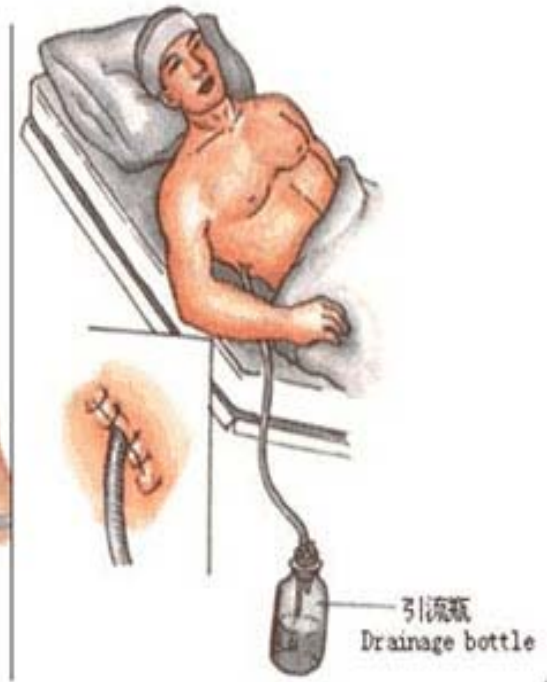


(2) 生理意义*:

- ① 维持肺扩张，并使肺跟随胸廓的运动而张缩。
- ② 促进血液与淋巴液回流



气胸



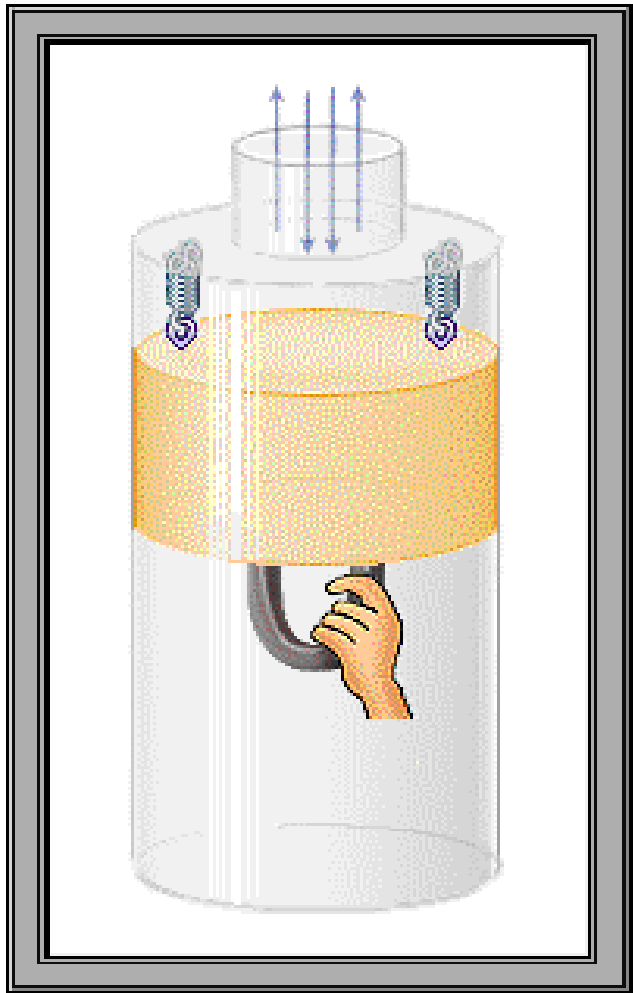
(二) 肺通气的阻力

**弹性阻力 (70%) : 肺的弹性阻力
胸廓的弹性阻力**

非弹性阻力 (30%) :
气道阻力 (为主)
惯性阻力
组织的粘滞阻力

1、弹性阻力和顺应性

弹性阻力 (Elastic resistance, R) :
物体对抗外力作用所引起变形的力。



顺应性 (Compliance, C)
弹性体在外力作用下发生变形的难易程度, 单位跨壁压 (ΔP) 引起的容积变化 (ΔV) 。

二者关系: 反变

$$C = \frac{1}{R} = \frac{\Delta V}{\Delta P} \text{ (L/cmH}_2\text{O)}$$

(1) 肺的弹性阻力和顺应性

1) 肺顺应性 (C_L) :

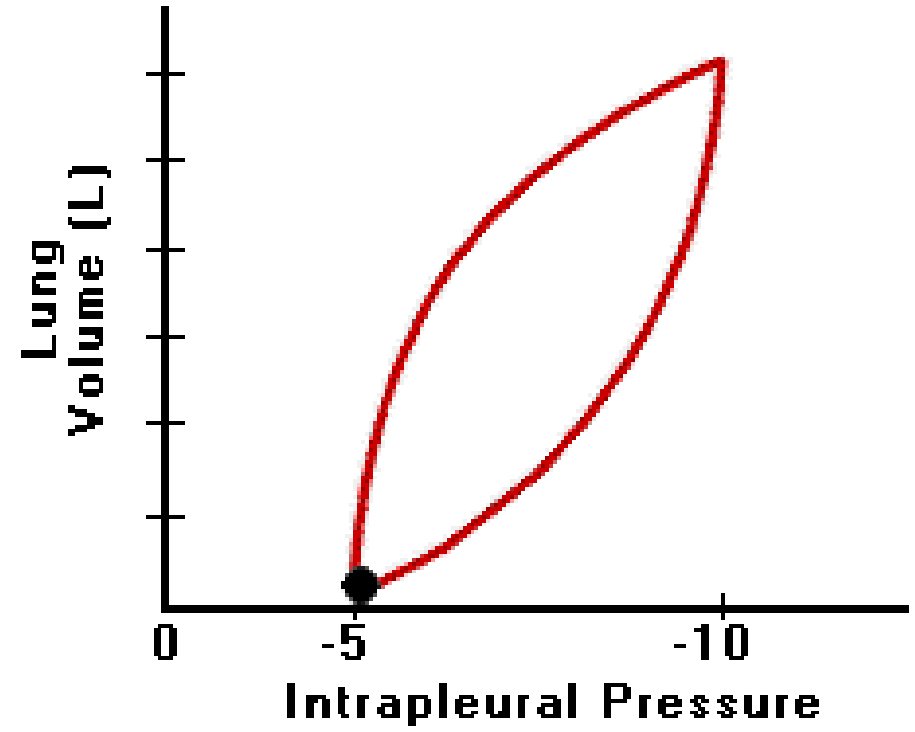
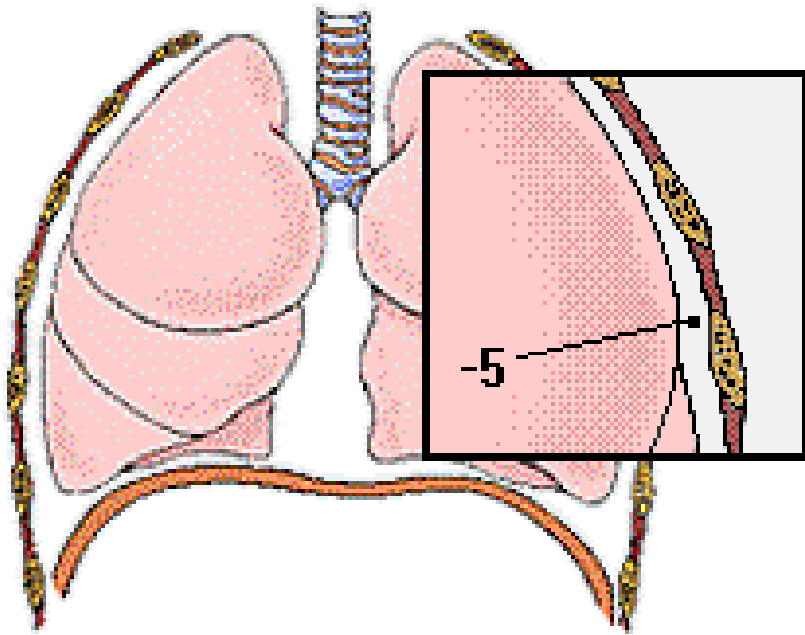
$$C_L = \frac{\Delta V}{\Delta P} \quad (0.2 \text{ L/cmH}_2\text{O})$$

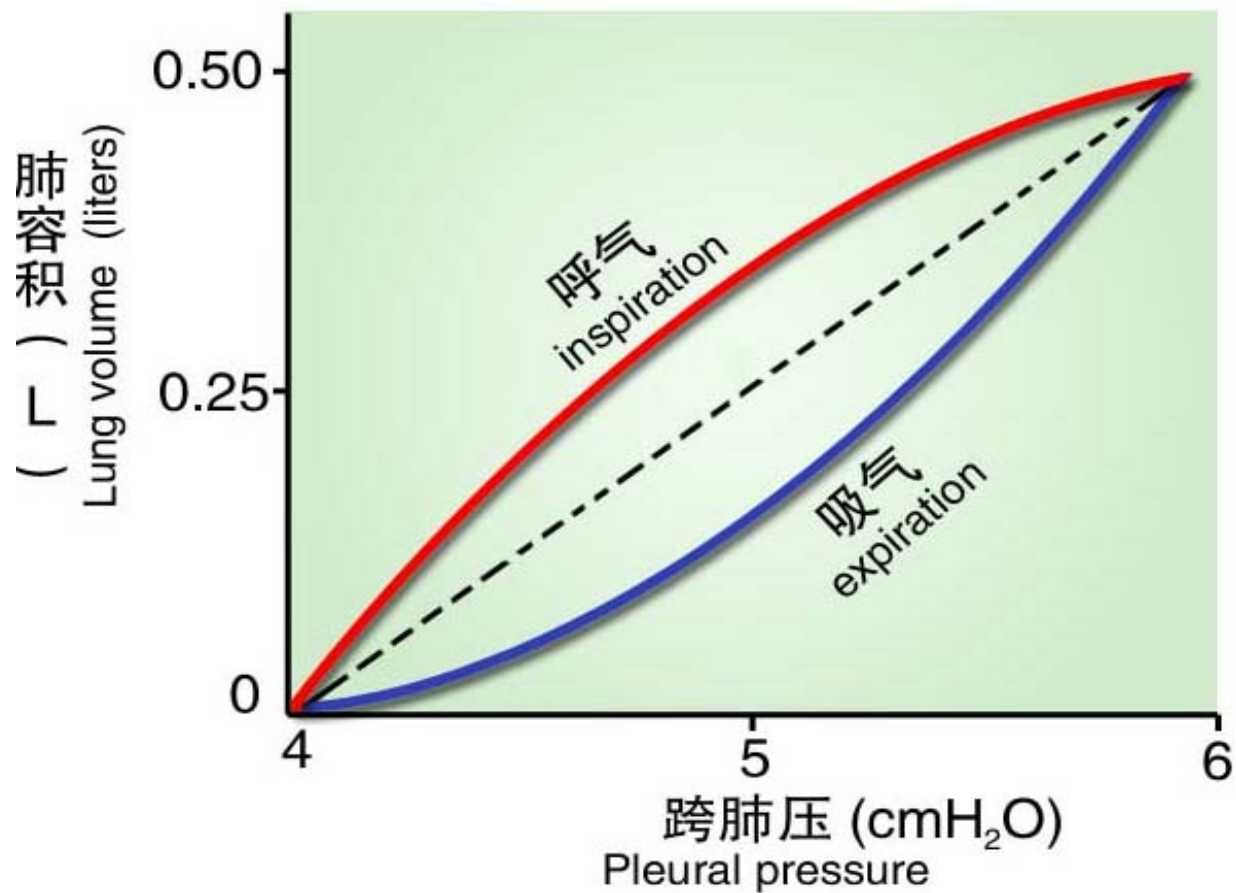
ΔP : 跨肺压 (肺内压 - 胸内压)

2) 比顺应性 (Specific compliance) :

单位肺容量下的顺应性
= 肺顺应性 / 肺容量







滞后现象

图 - 肺的静态顺应性曲线
(1cmH₂O=0.098kPa)

曲线斜率↑/↓→肺顺应性↑/↓→弹性阻力↓/↑



3) 肺弹性阻力的来源

{ 肺的弹性回缩力 (1/3)
肺泡表面张力 (2/3)

① 肺泡表面张力

a、前提：液-气界面

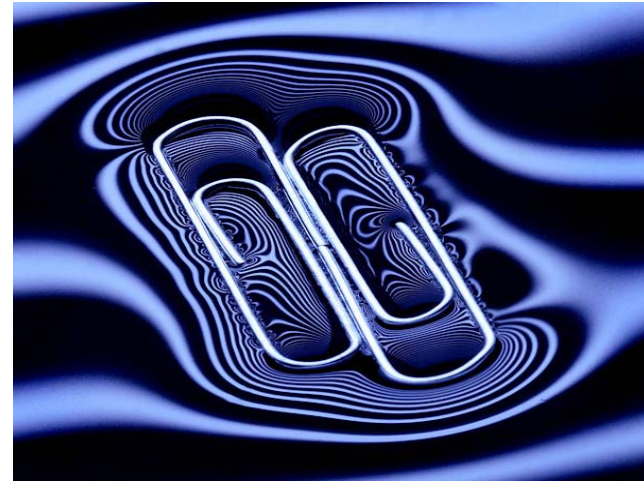
b、作用：使肺具有回缩倾向



表面张力



Insect



Paper clip

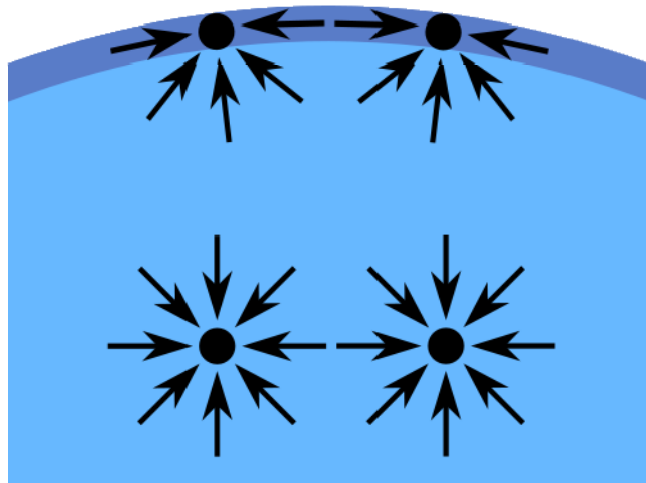
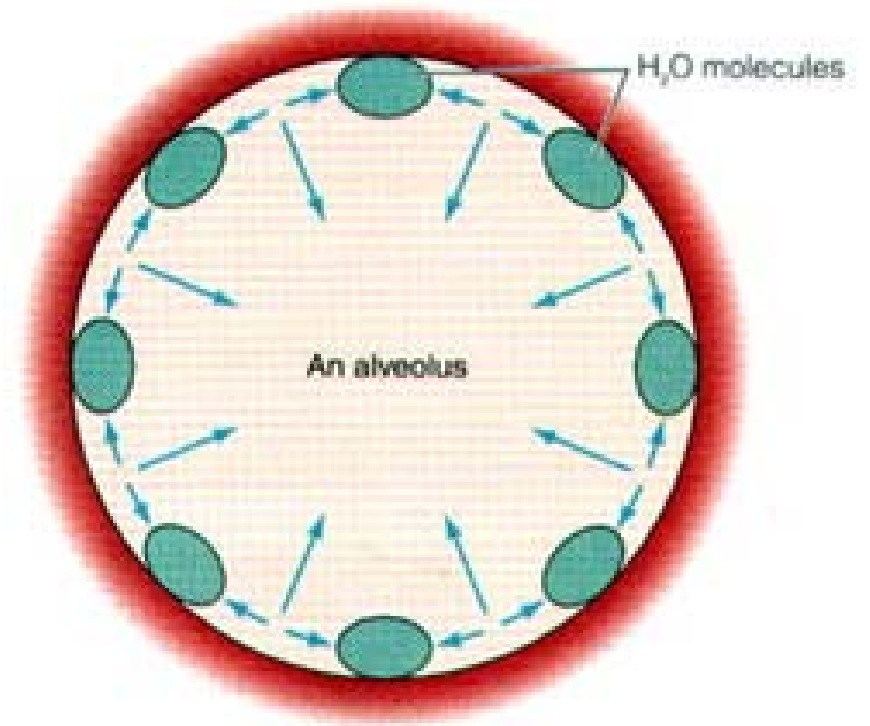
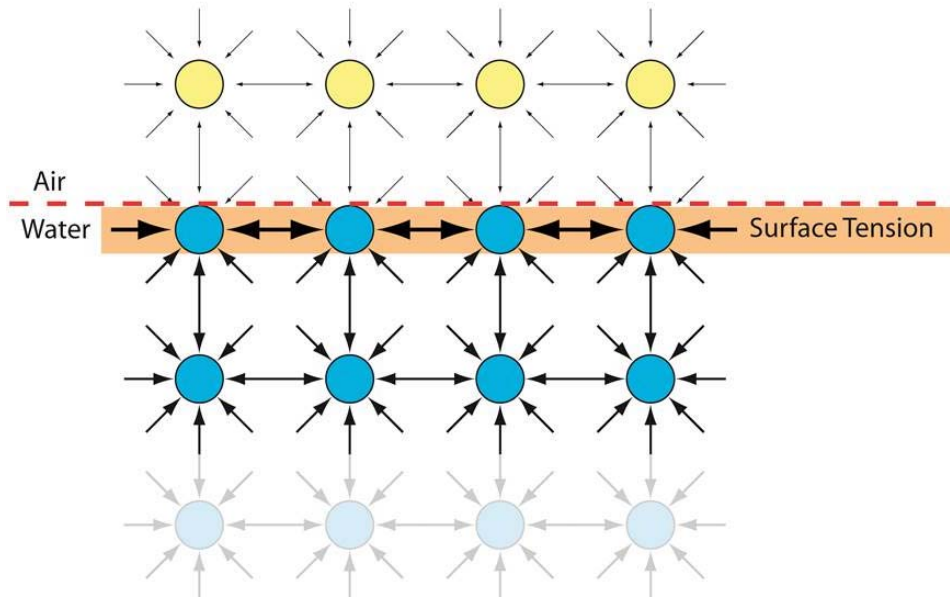


Droplets



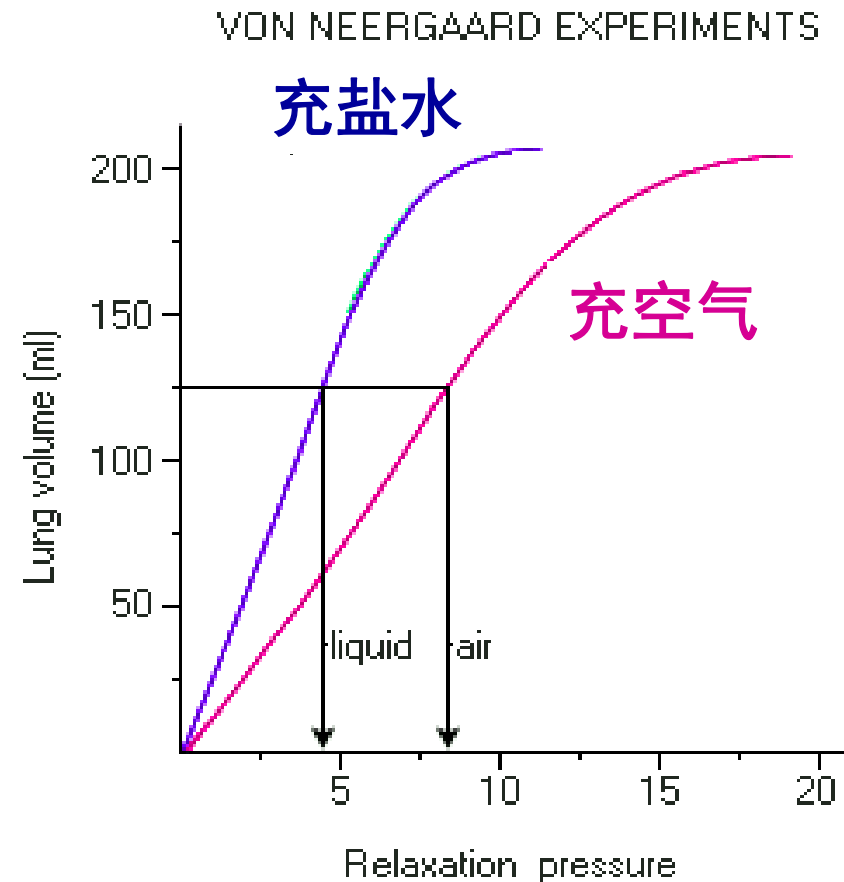
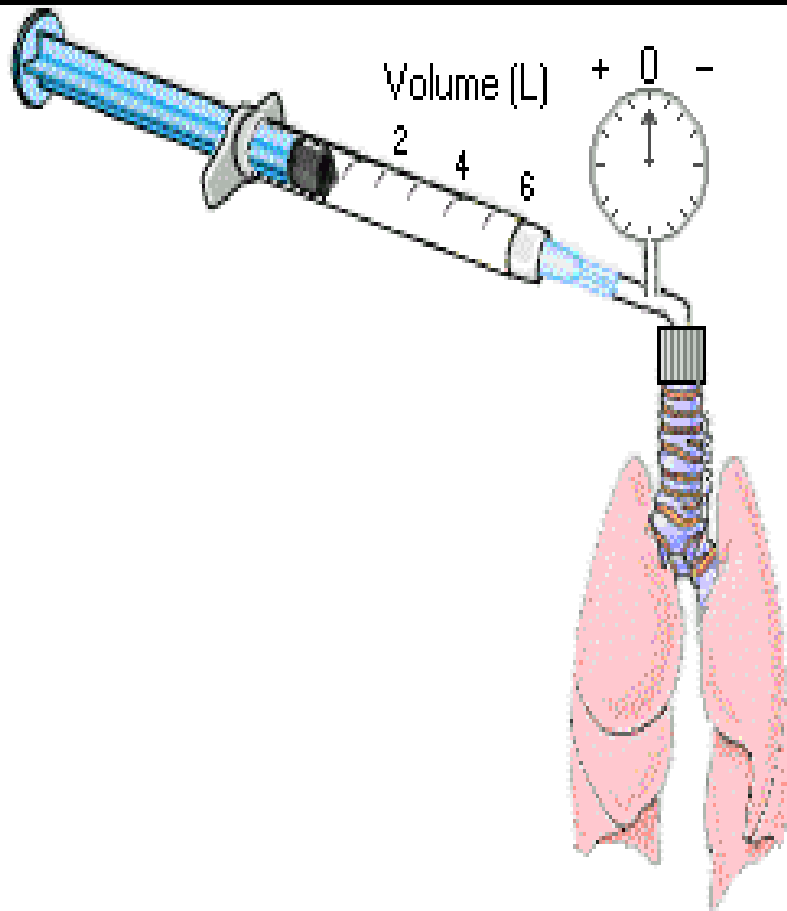
Dews

表面张力

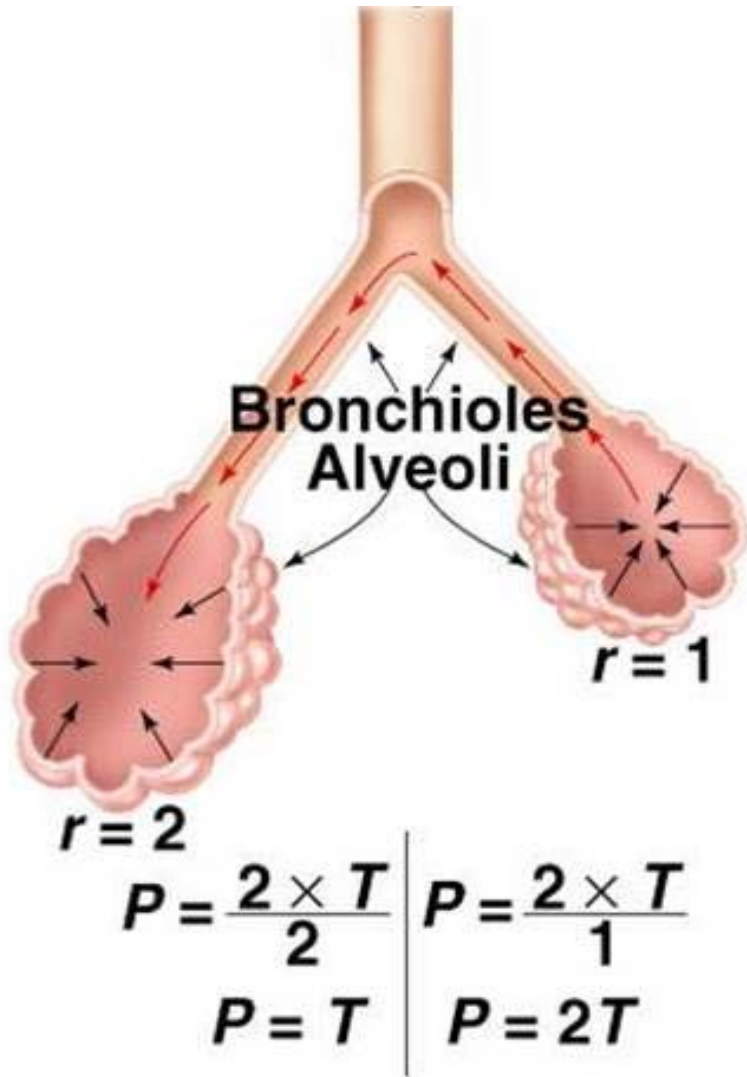


c、实验：用同等压力向离体肺充空气和生理盐水，何者易扩张肺？ Why? ?

充生理盐水



d、Laplace定律

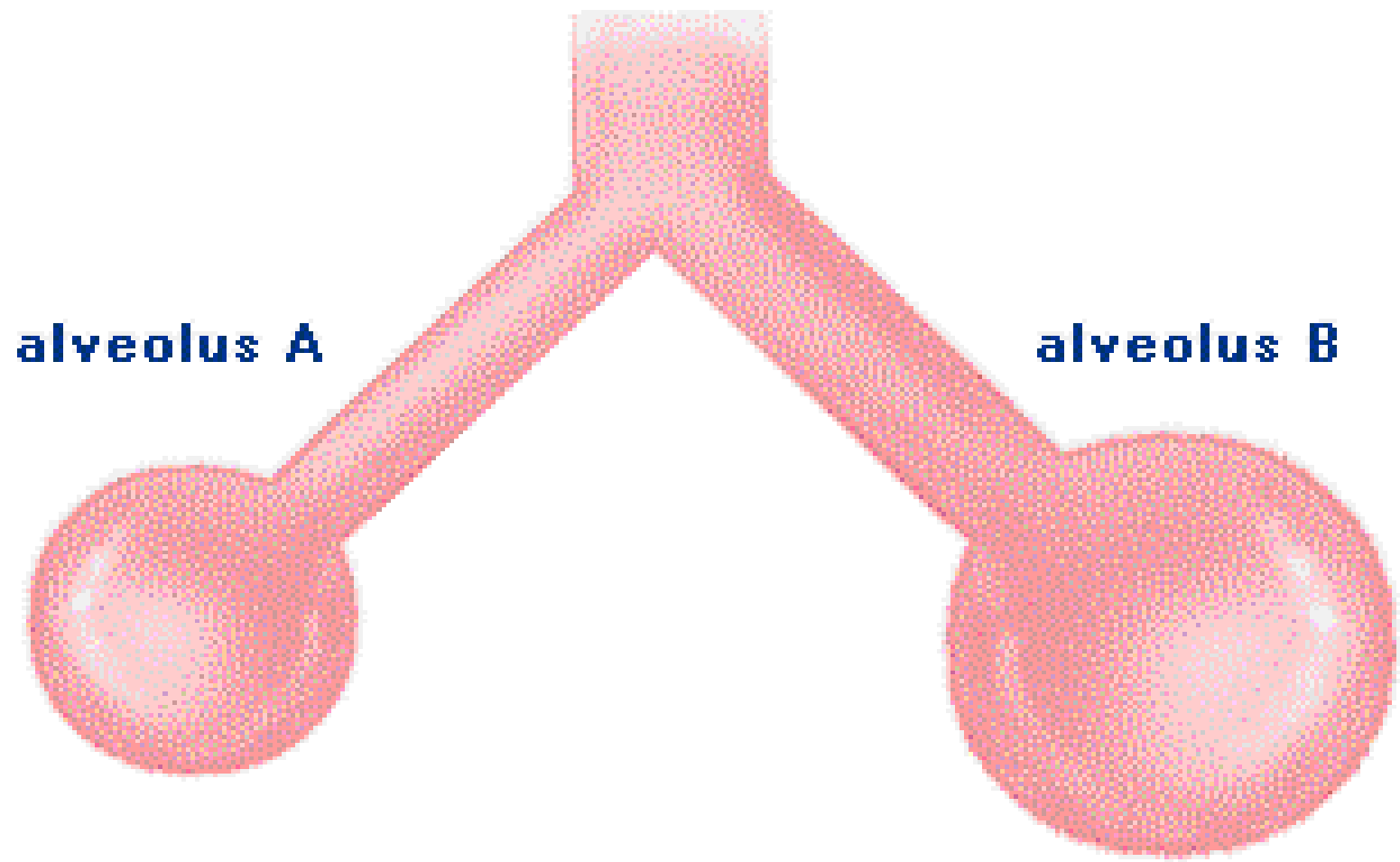


$$P = \frac{2T}{r}$$

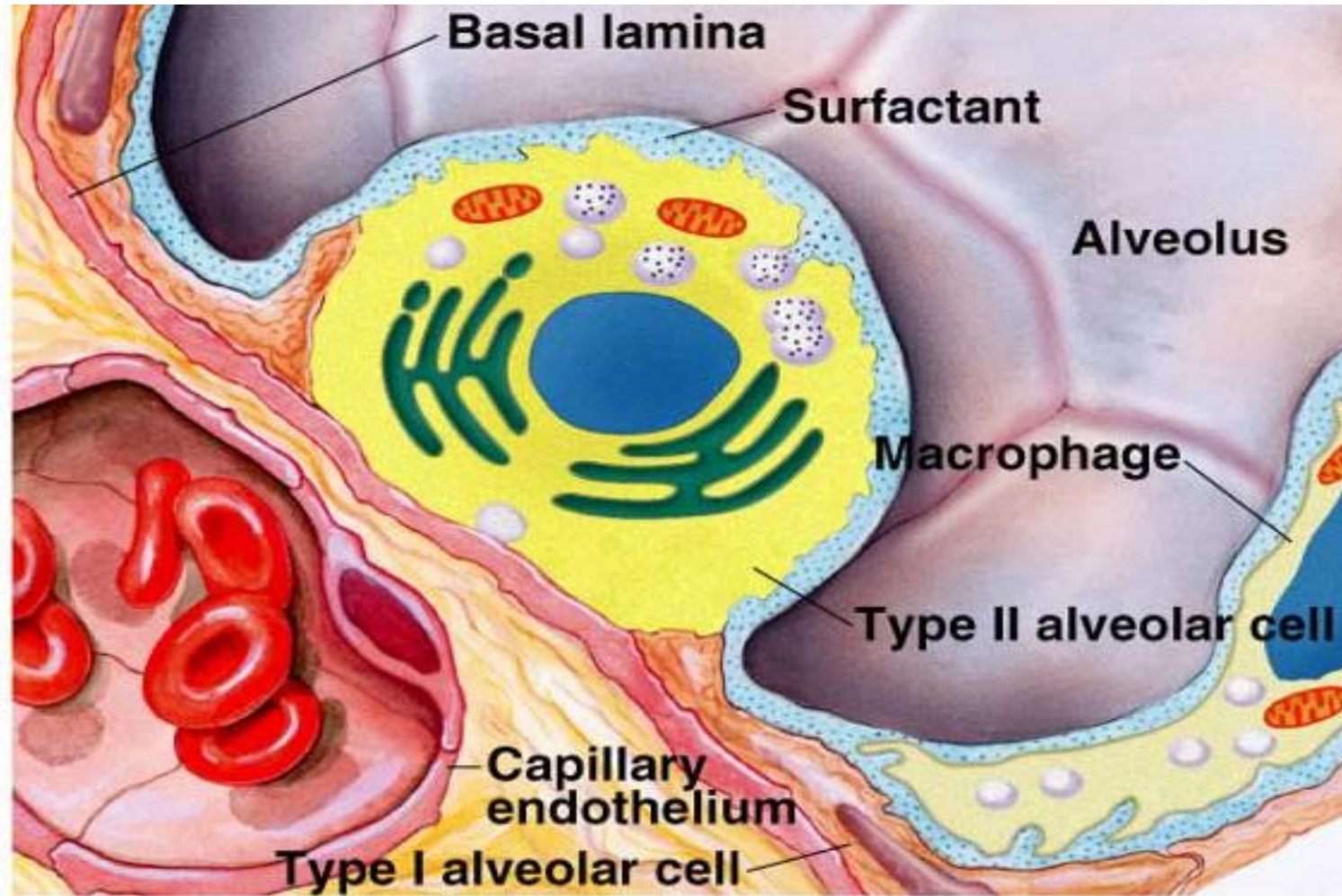
P: 肺泡液-气界面的压强 (肺泡回缩力, N/m^2)

T: 肺泡表面张力系数 (N/m)

r: 肺泡半径 (m)



② 肺泡表面活性物质 * (Pulmonary surfactant)



脂蛋白混合物

a、主要成分：

**二软脂酰卵磷脂/二棕榈酰卵磷脂
(DPPC/DPL)**

表面活性物质结合蛋白 (SP)

b、合成部位：肺泡II型细胞

c、分布：单分子层分布在液-气界面上

d、作用：

降低肺泡表面张力，使肺泡回缩力减小。

e、生理意义：

① 维持大小肺泡的稳定性。

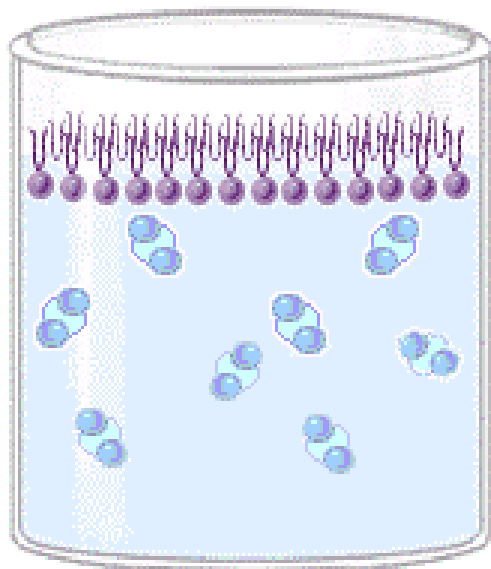
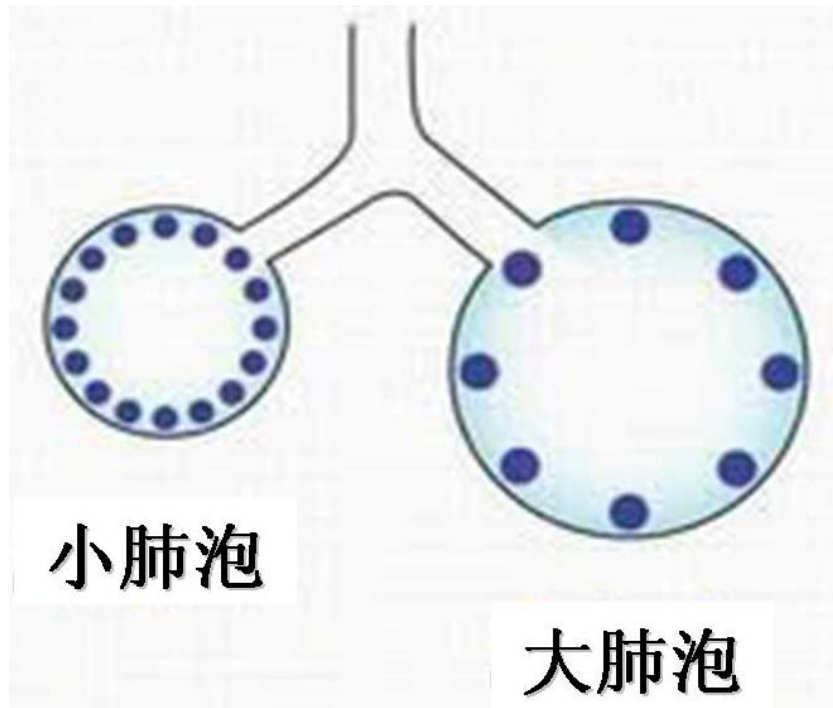


② 减少肺间质与肺泡内组织液生成，防止肺水肿。

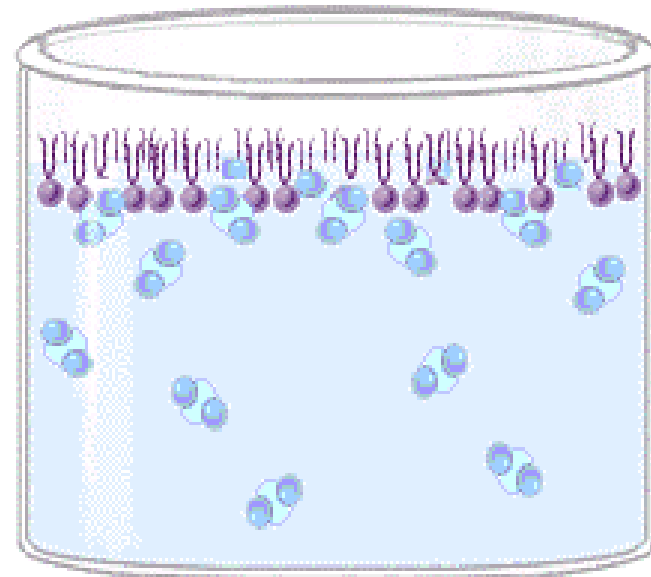
③ 降低吸气阻力，减少吸气做功。

新生儿呼吸窘迫综合症





↓ Surface area =
low surface tension



↑ Surface area =
high surface tension

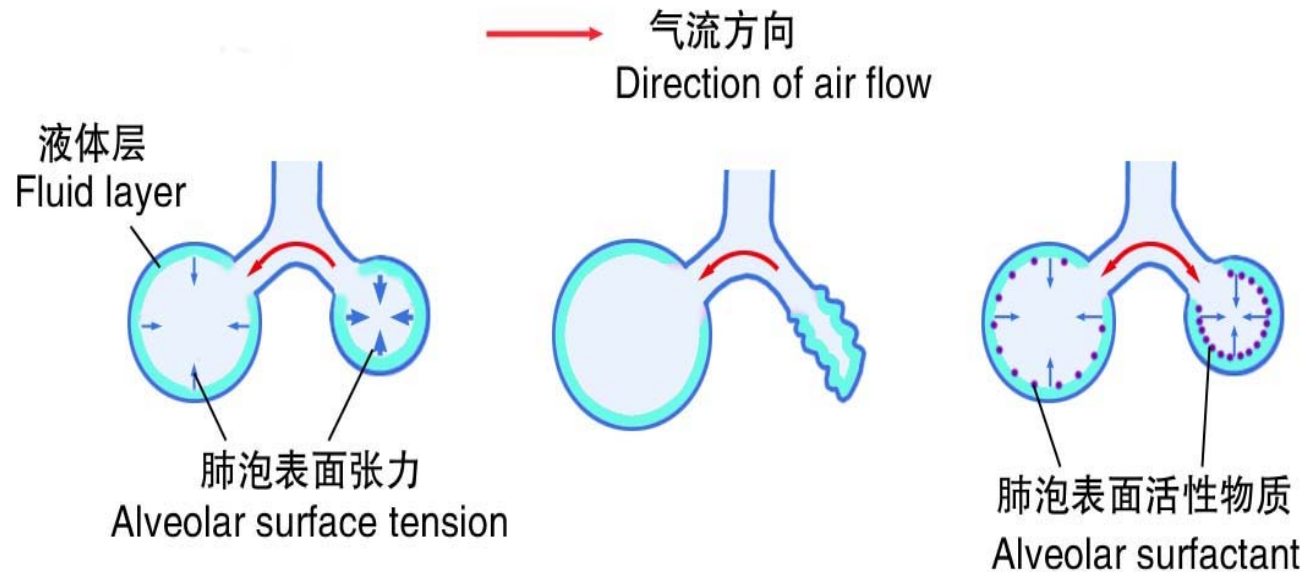
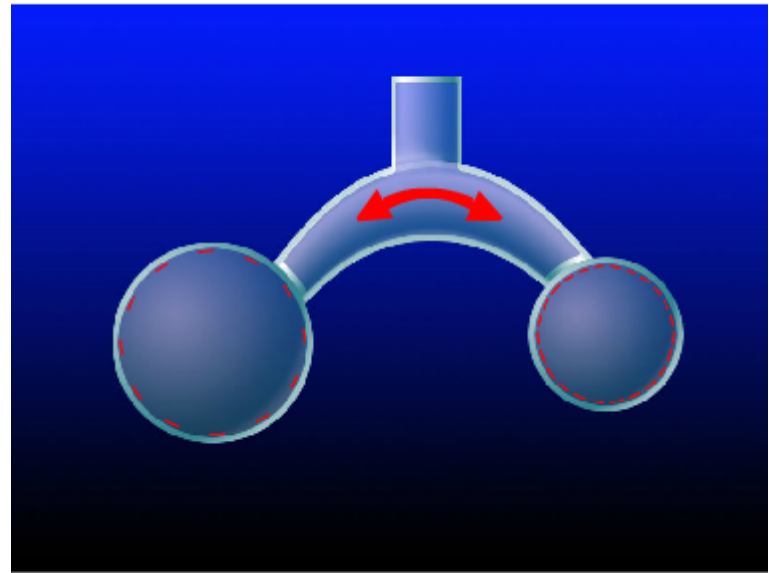
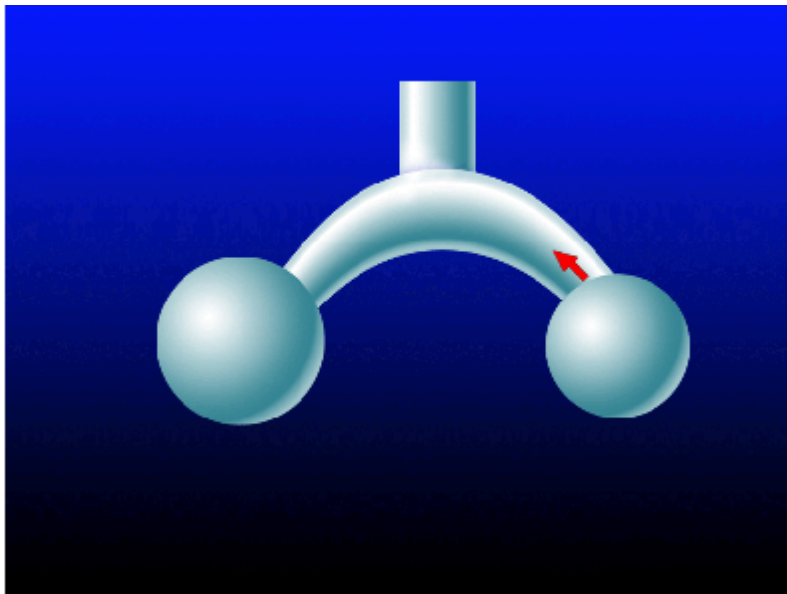
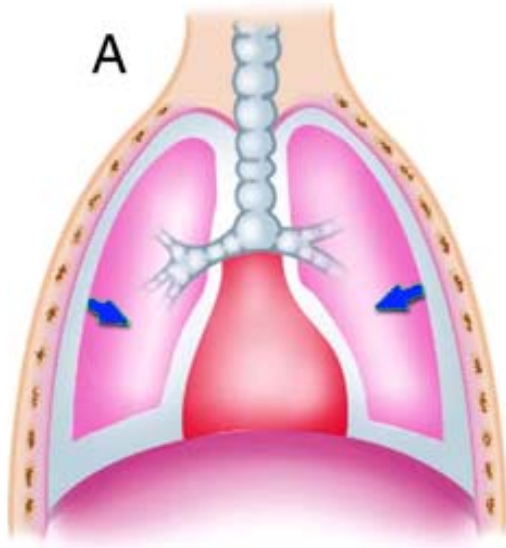


图 - 肺泡表面张力和肺泡表面活性物质作用示意图



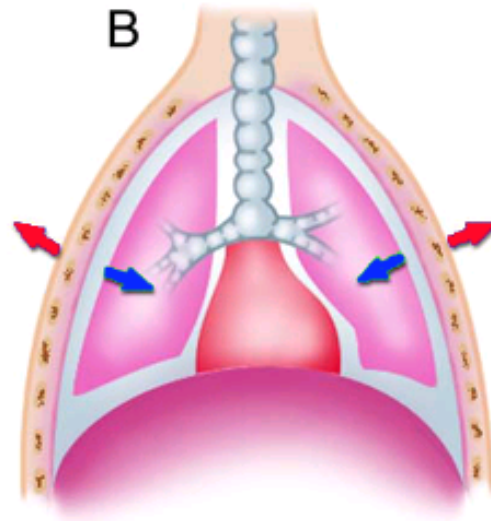
(2) 胸廓的弹性阻力和顺应性

①弹性阻力：视胸廓位置而定，双向弹性体。



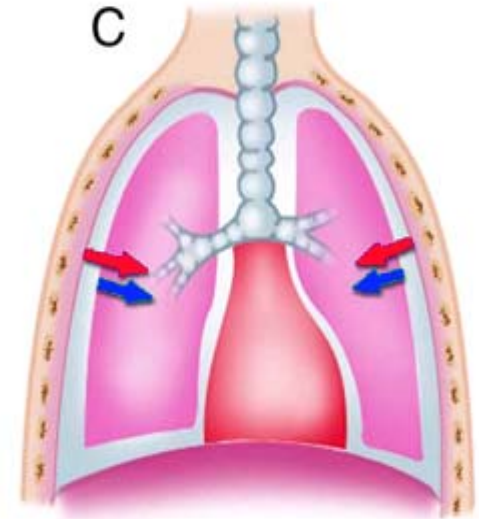
胸廓处于自然位置
= 67%

平静吸气末
胸廓无变形
无弹性阻力



胸廓小于自然位置
< 67%

平静呼气末/深呼气
吸气的动力
呼气的阻力



胸廓大于自然位置
> 67%

深吸气
吸气的阻力
呼气的动力

②胸廓的顺应性 (C_{chw}) :

$$C_{chw} = \frac{\Delta V}{\Delta P} = 0.2 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

ΔP : 跨胸壁压
(胸内压 - 胸壁外大气压)

(3) 肺和胸廓的总弹性阻力和总顺应性

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_L} + \frac{1}{C_{chw}}$$

$$\text{总顺应性} = 0.1 \text{ L/cmH}_2\text{O}$$

2、非弹性阻力

(1) 惯性阻力:

(2) 粘滞阻力:

(3) 气道阻力: 80% ~ 90%

主要在直径2mm细支气管以上部位

影响气道阻力的因素：

(1) 气流速度：

流速快→阻力大

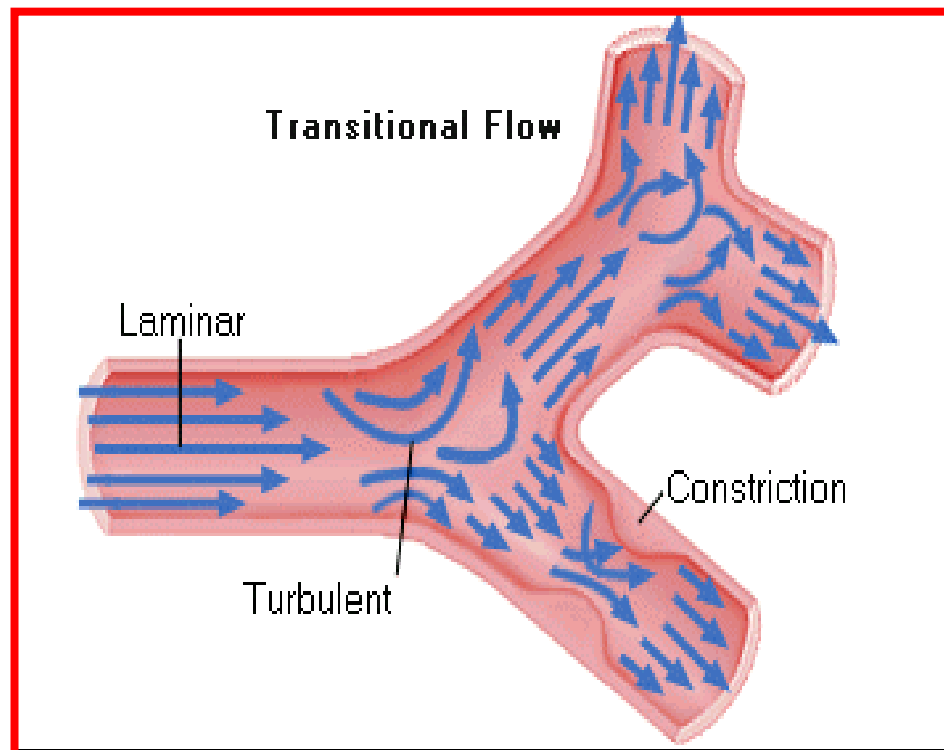
(2) 气流形式：

层流→小

湍流→大

(3) 气道管径：

$R \propto 1/r^4$



影响气道管径的因素：

① 跨壁压：跨壁压 \uparrow →口径 \uparrow →阻力 \downarrow

② 肺实质对气道壁的牵引

③ 自主N：

副交感N→平滑肌收缩→管径 \downarrow →阻力 \uparrow

交感N→平滑肌舒张→管径 \uparrow →阻力 \downarrow

④ 化学因素：

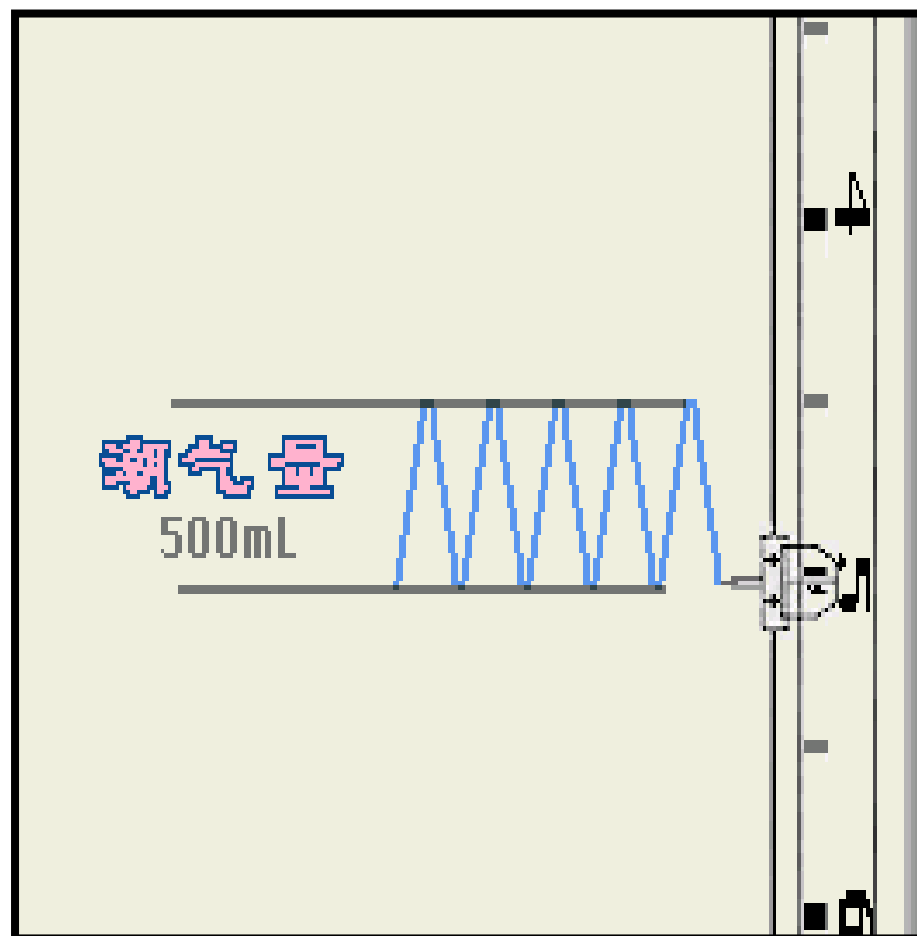
PGF_{2 α} 、内皮素
组胺、白三烯 } → 气道平滑肌收缩

PGE₂、儿茶酚胺 → 气道平滑肌舒张

二、肺通气功能的评价

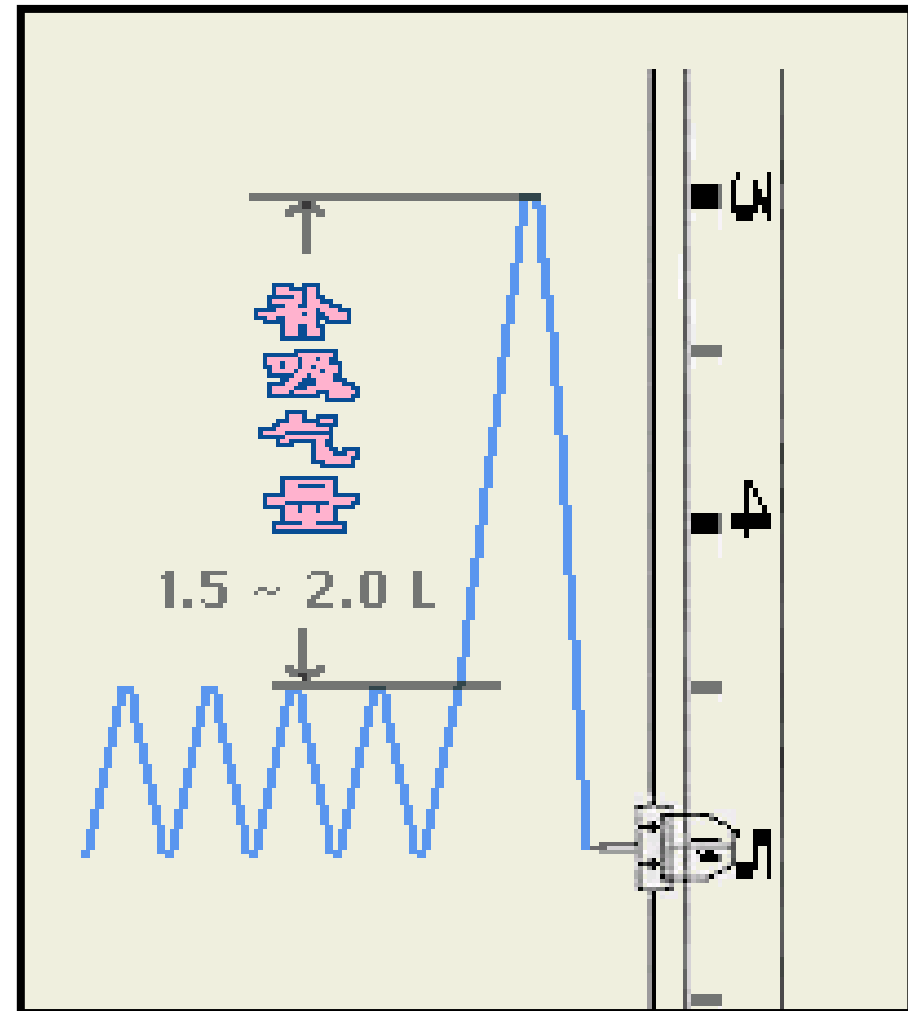
(一) 肺容积*：4种，互不重叠

- 1、潮气量 (Tidal volume, TV) :
平静呼吸时每次吸入或呼出的气体量,
400ml ~ 600ml
(500ml)



2、补吸气量/吸气贮备量 (Inspiratory reserve volume, IRV)

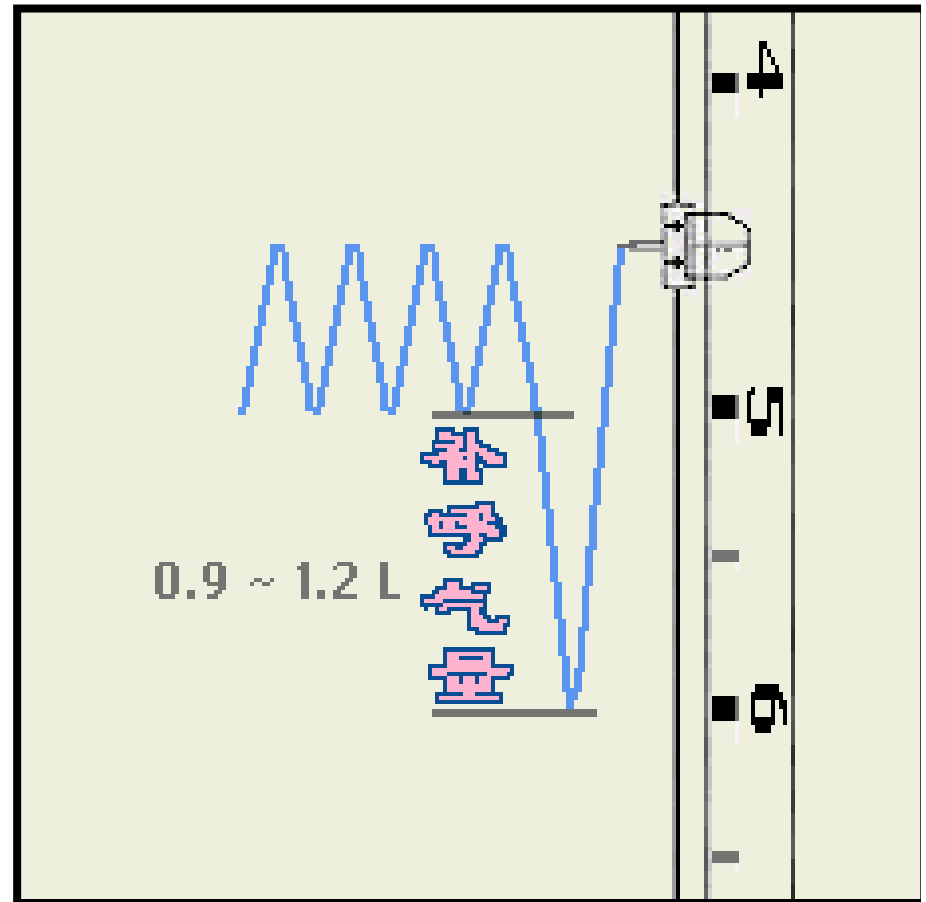
平静吸气末，再
尽力吸气所能吸入的
气体量，
1500 ~ 2000ml



3、补呼气量/呼气贮备量 (Expiratory reserve volume, ERV)

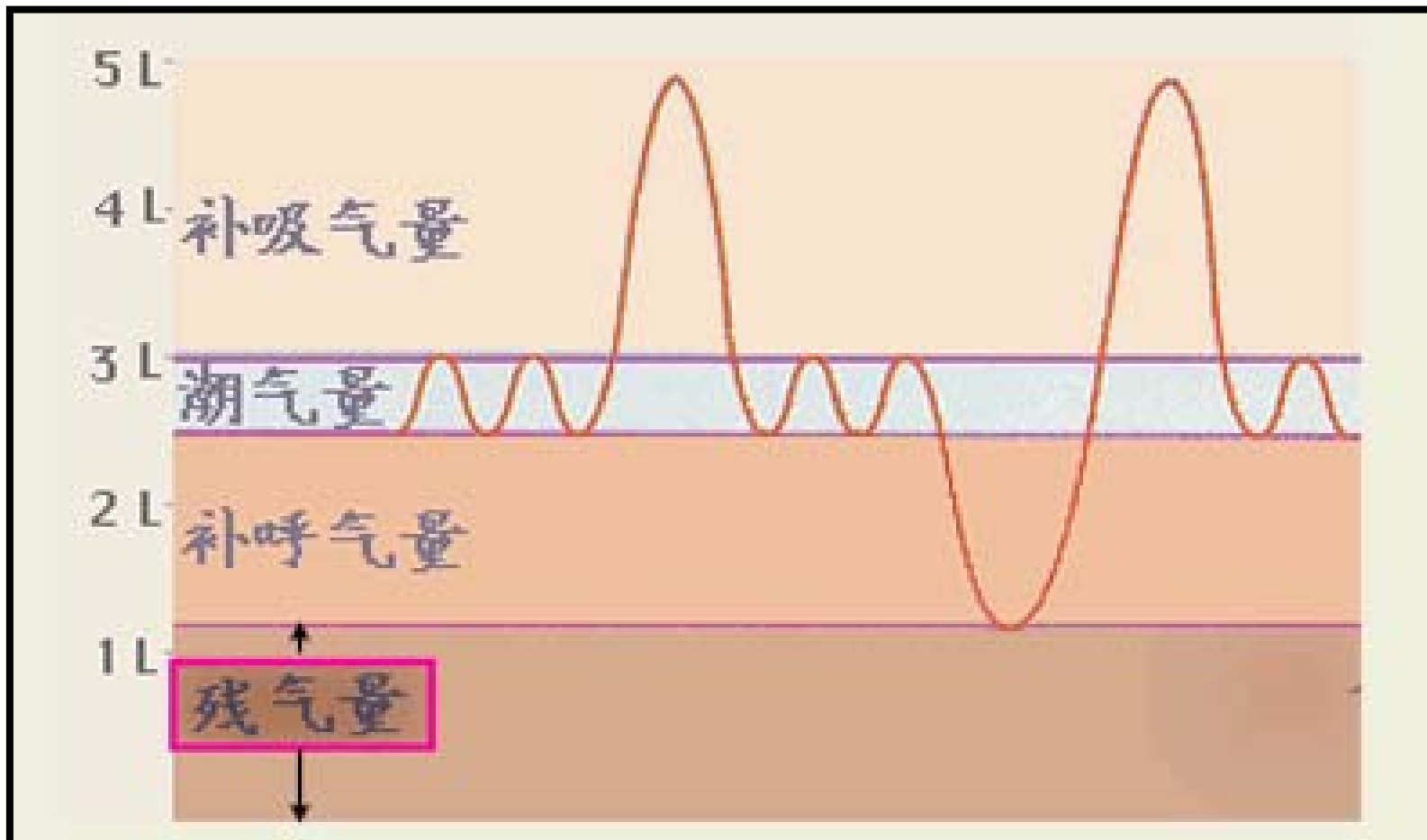
平静呼气末，再尽力呼气所能呼出的气体量，

900 ~ 1200 ml



4、余气量 (Residual volume, RV)

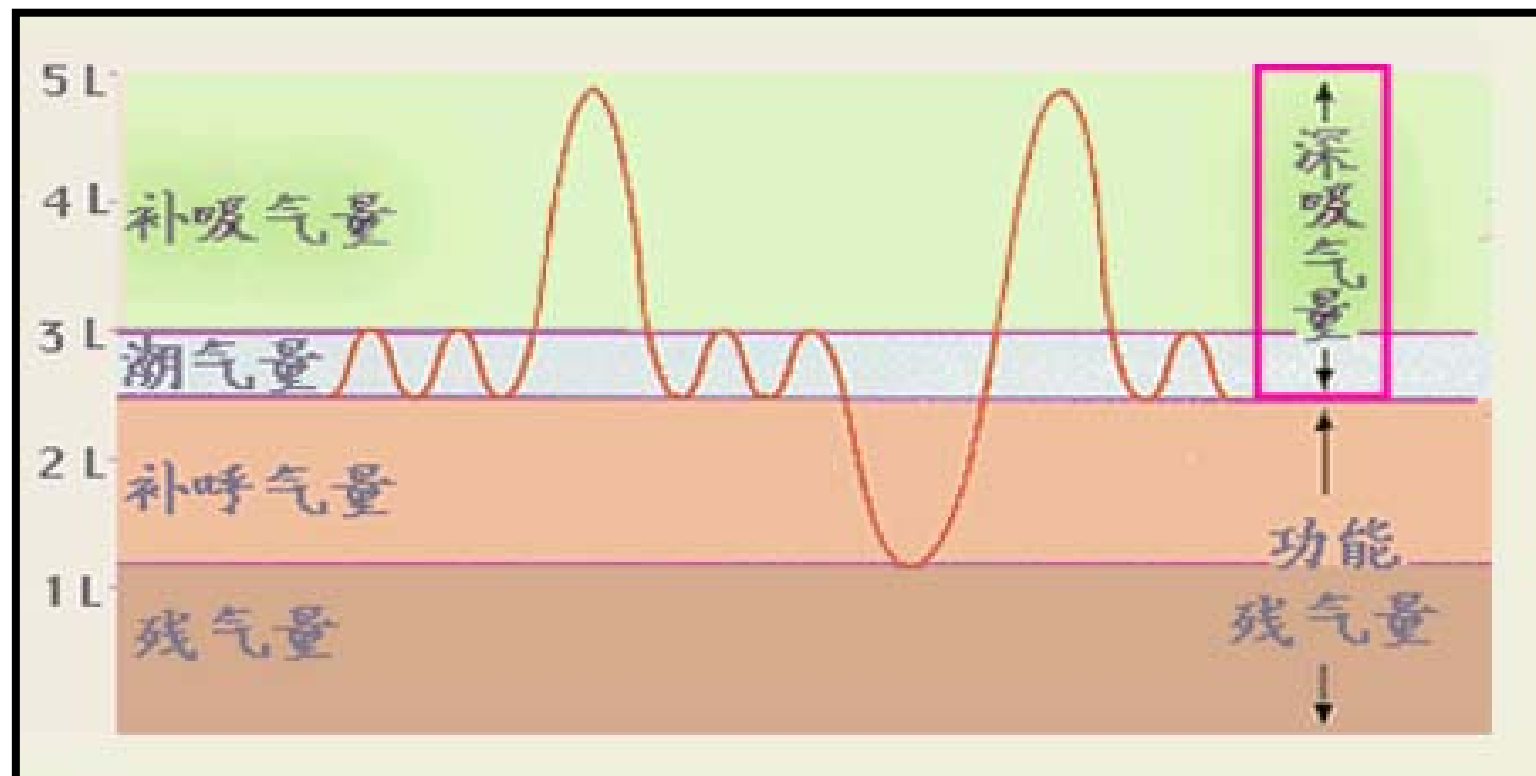
最大呼气末尚存留于肺内不能再呼出的气体量, 1000 ~ 1500ml



(二) 肺容量*：肺容积中二种或以上的联合气体量

1、深吸气量 (Inspiratory capacity, IC)

平静呼气末作最大吸气时所能吸入的气体
量, $TV+IRV$, 衡量最大通气潜力的指标。

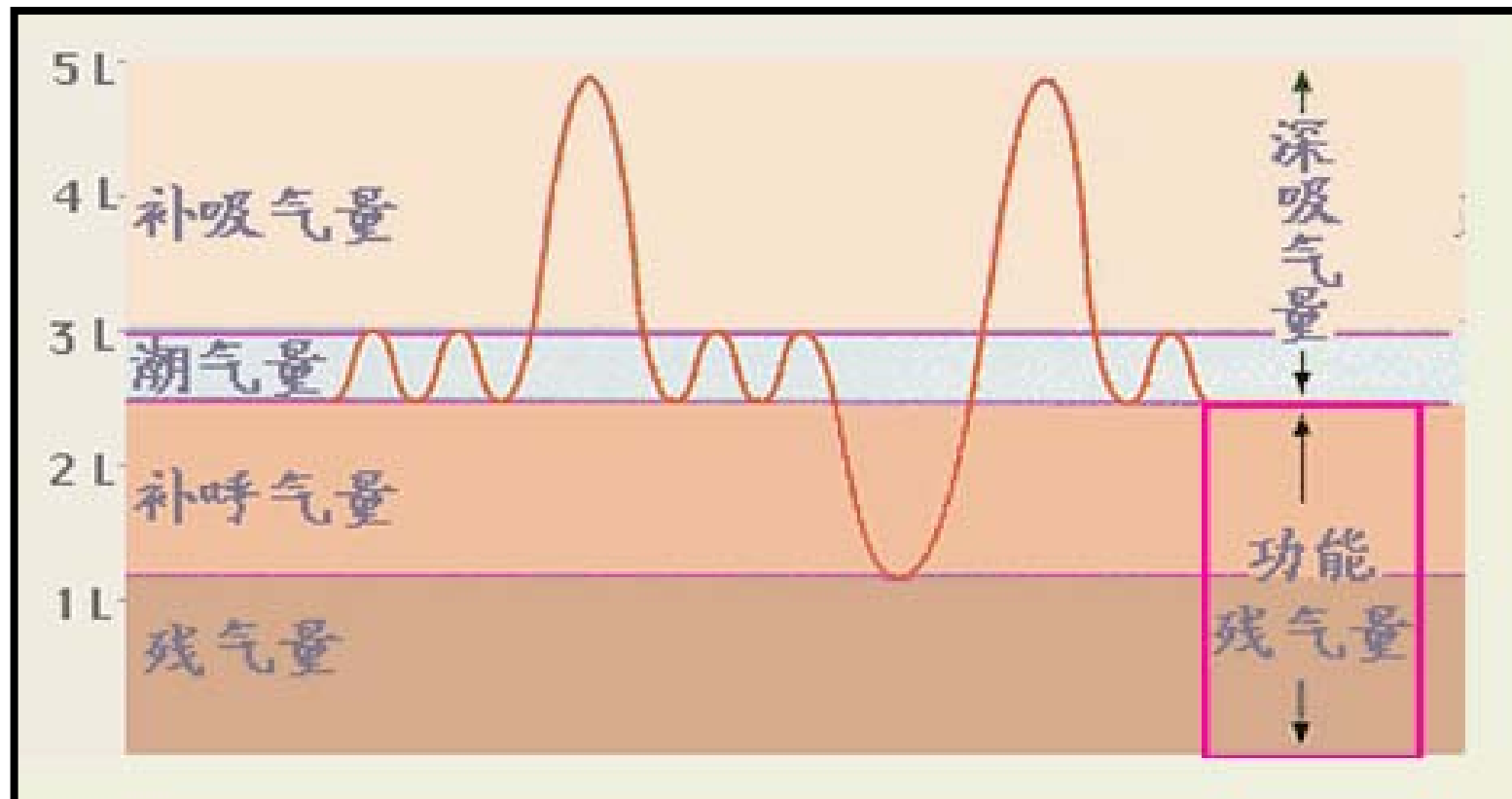


2、功能余气量*

(Functional residual capacity, FRC)

平静呼气末尚存留于肺内的气体量,
RV+ERV, 2500ml

意义: 缓冲呼吸中肺泡内 PO_2 和 PCO_2 的变化



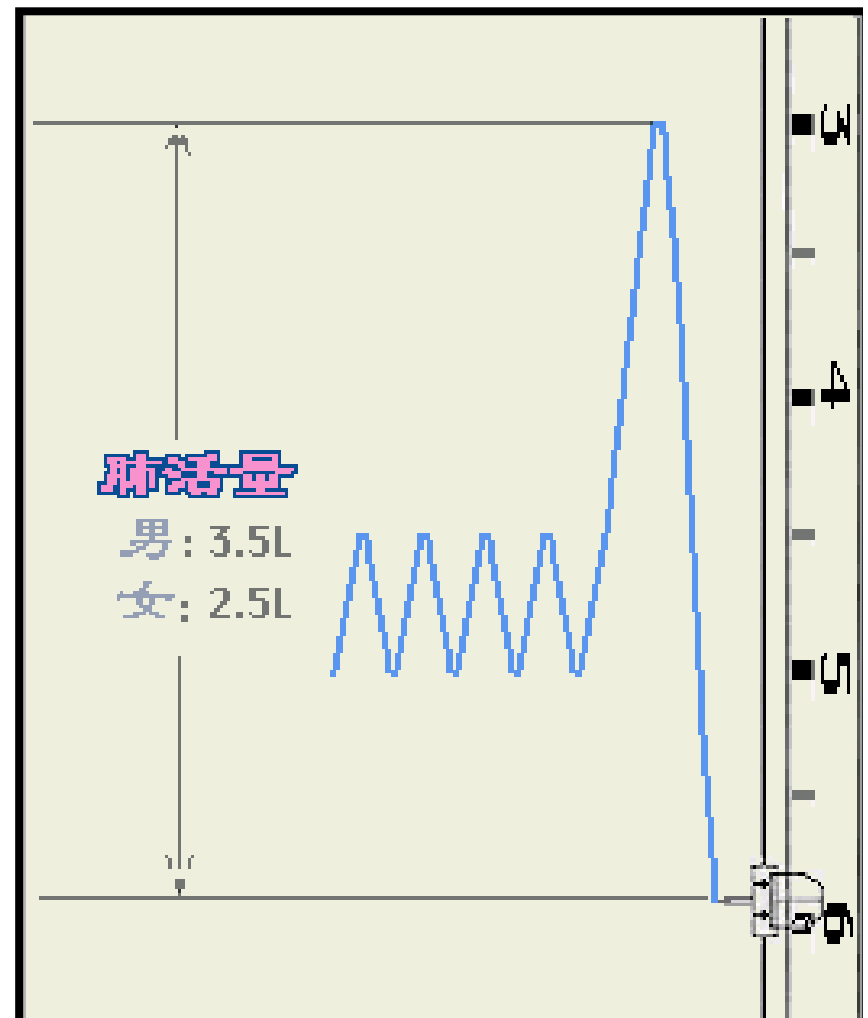
3、肺活量 (Vital capacity, VC) *

尽力吸气后，从肺内所能呼出的最大气体量，
TV+IRV+ERV，男性：3500ml，女性：2500ml

评价肺**静态**通气功能较好的指标。

用力肺活量 (Forced vital capacity, FVC) :

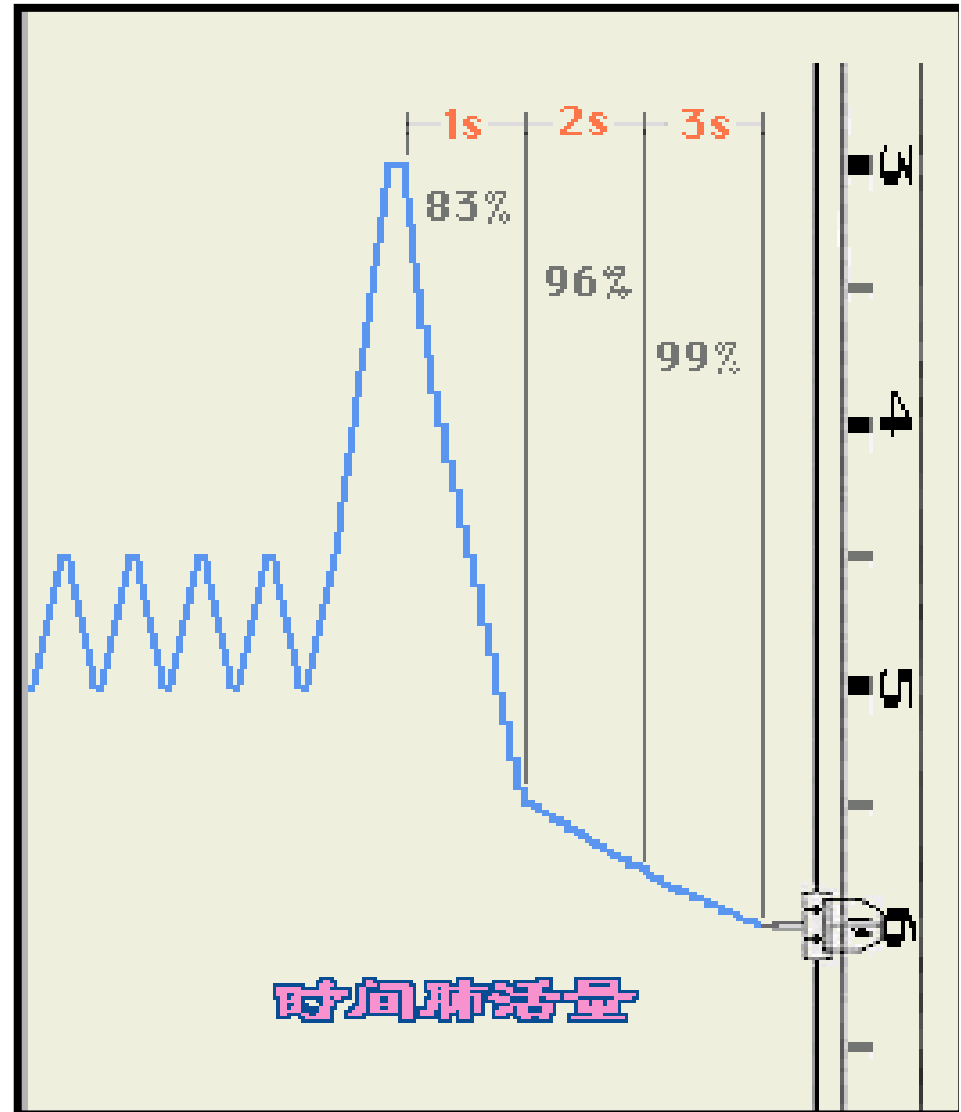
一次最大吸气后，尽力尽快呼气所能呼出的最大气体量。（略小于肺活量）

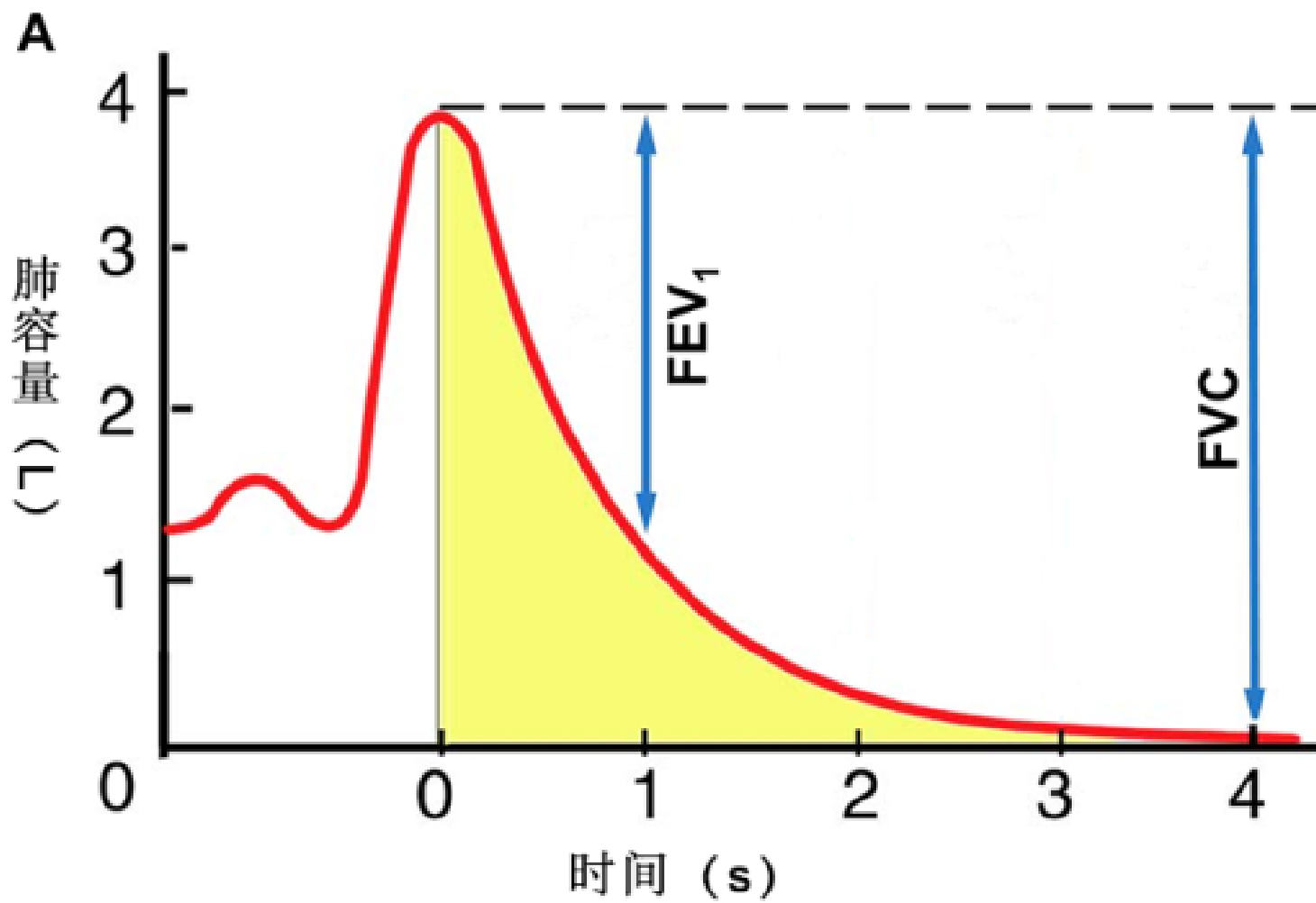


用力呼气量 (Forced expiratory volume, FEV) /时间肺活量

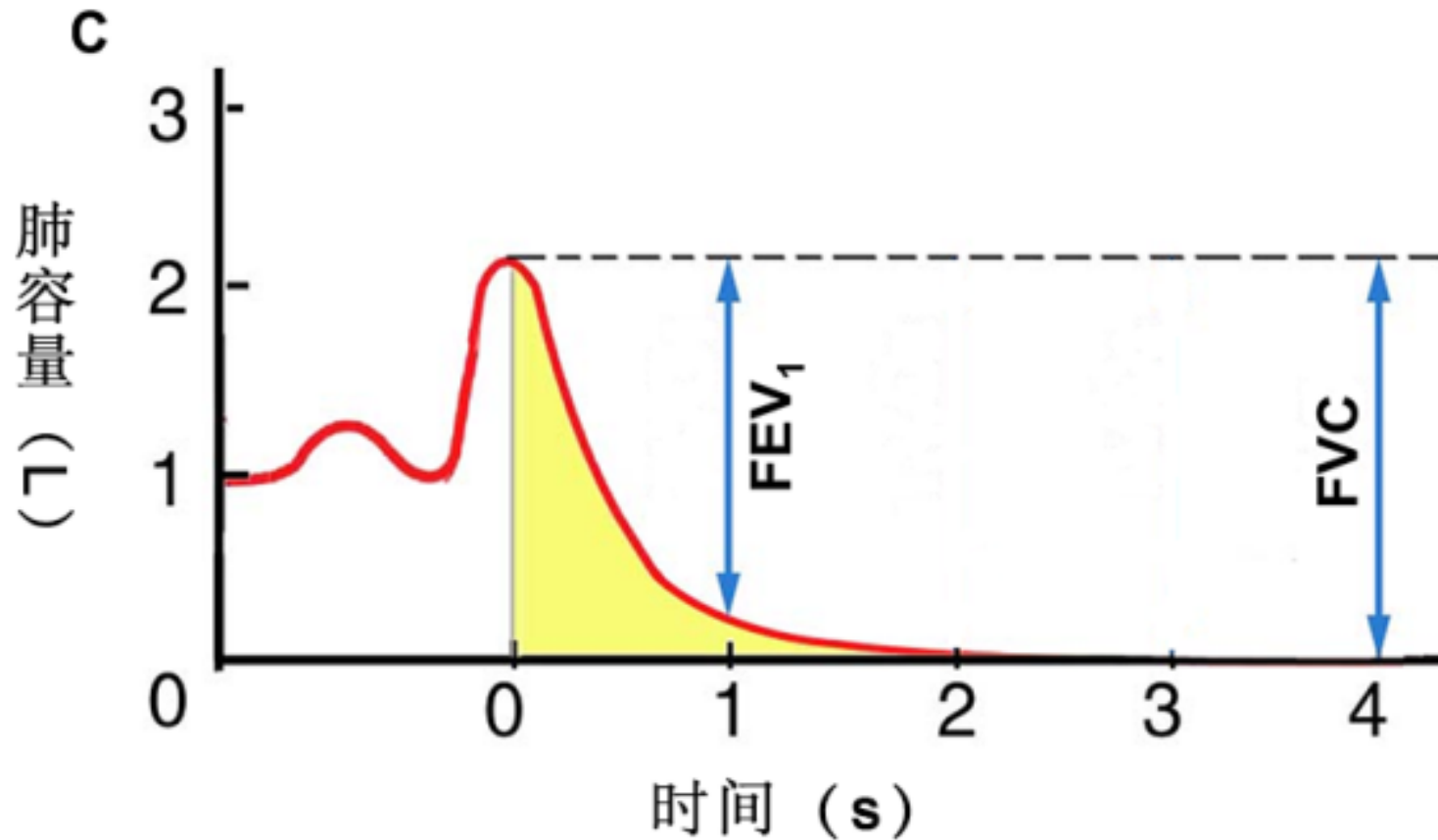
一次最大吸气后，在尽力尽快呼气，在一定时间内呼出的气体量占用力肺活量的百分比(FEV/FVC)。

***评价肺通气功能较好的指标**

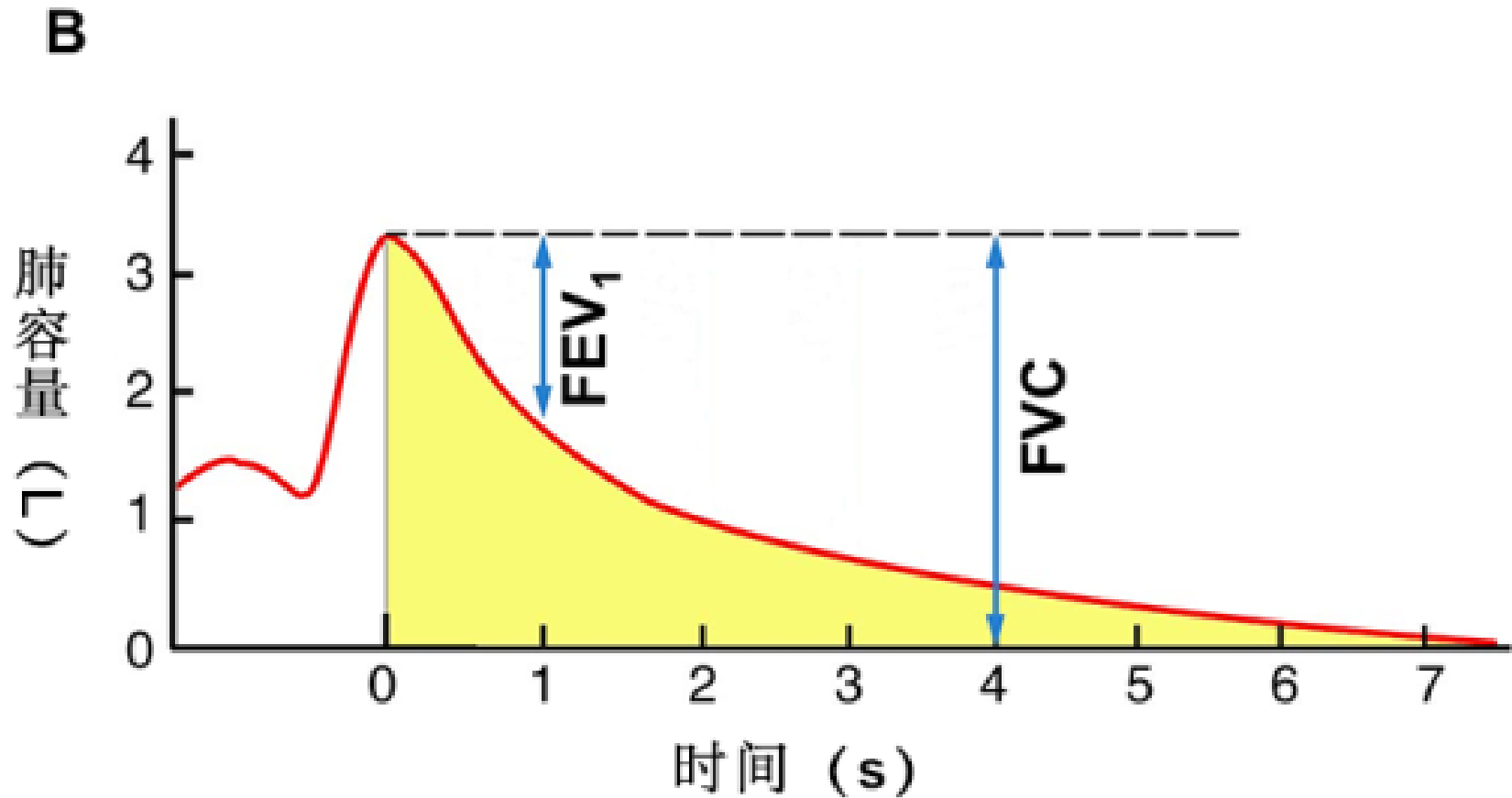




正常人



**肺纤维化、肺部炎症：FEV₁和FVC均↓，
FEV₁/FVC ≥ 80%**



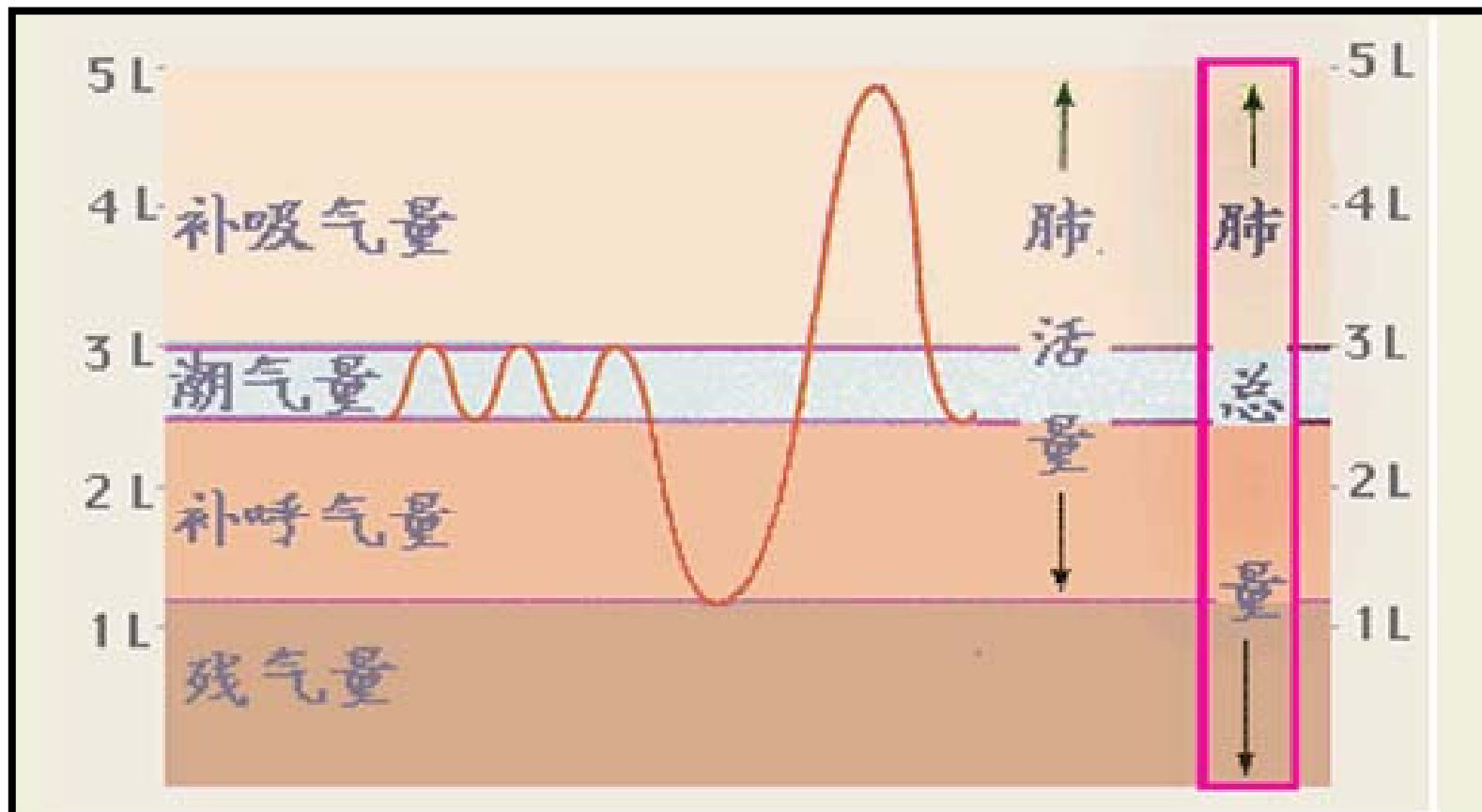
**支气管哮喘、肺气肿： $FEV_1 \downarrow \downarrow$ ，FVC
均 \downarrow ， $FEV_1/FVC \downarrow$**

4、肺总量(Total lung capacity, TLC)

肺所能容纳的最大气体量, $VC+RV$ 。

男性: 5000 ml

女性: 3500 ml



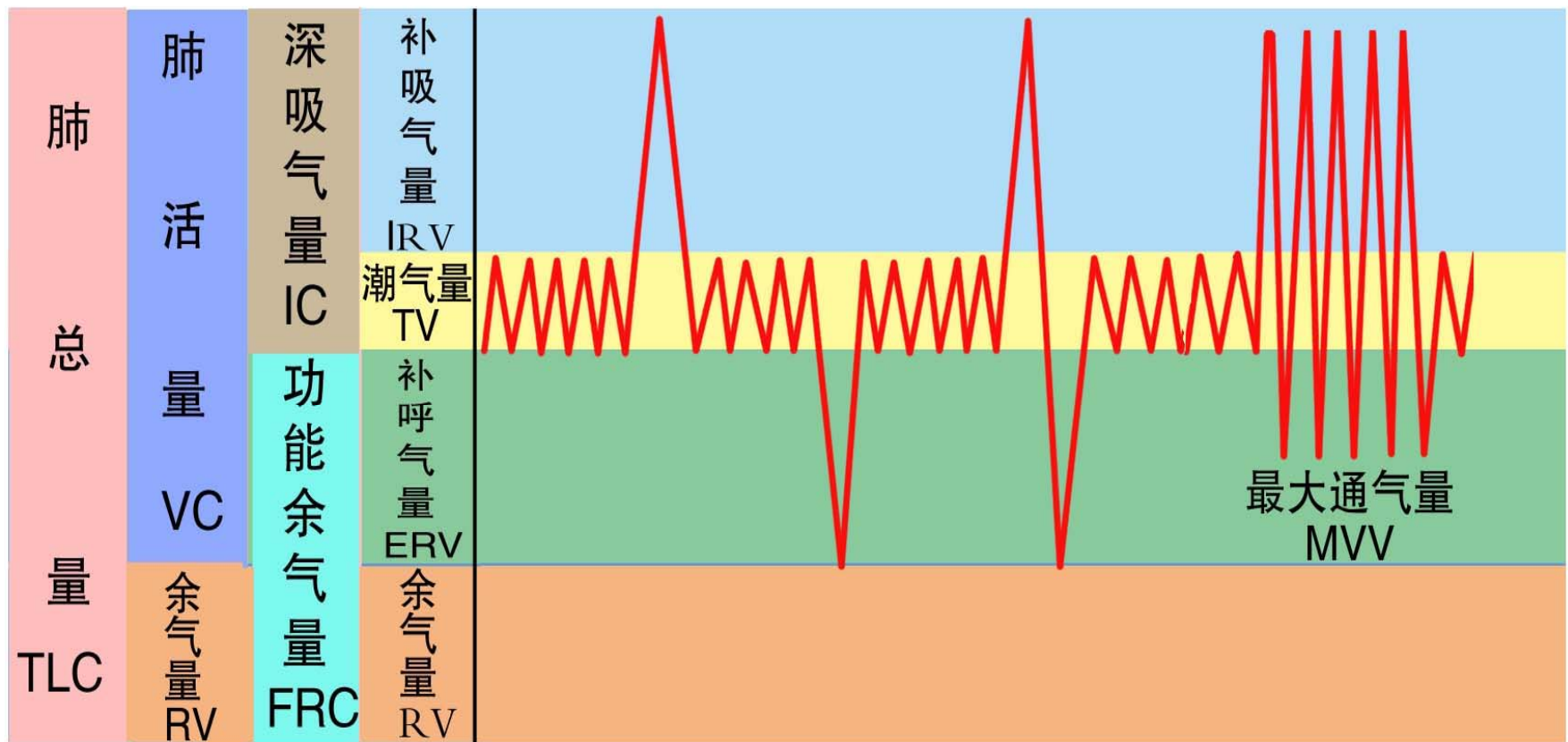


图 - 肺容量和最大通气量示意图

(三) 肺通气量和肺泡通气量

1、肺通气量/每分通气量*

(Pulmonary ventilation)

每分钟吸入或呼出肺的气体总量。

= 潮气量 × 呼吸频率

(6 ~ 9 L/min)

最大随意通气量:

尽力作深快呼吸时, 每分钟吸入或呼出的最大气量(150L/min)。

通气贮量百分比=

$$\frac{\text{最大通气量} - \text{每分平静通气量}}{\text{最大通气量}} \times 100\%$$

正常值 $\geq 93\%$

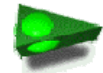
2、无效腔 (Dead space) :
不与血液进行气体交换的空间, 约150ml。



3、肺泡通气量 (Alveolar ventilation) *:
每分钟吸入肺泡的**新鲜**空气量。
= (潮气量 - 无效腔气量) × 呼吸频率

潮气量为500ml, 无效腔气量为150ml, 呼吸频率为12次/min, 则肺泡通气量为:

$$\begin{aligned} & (500 - 150) \times 12 \\ & = 350 \times 12 \\ & = 4200 \text{ ml} \end{aligned}$$



(四) 呼吸功

呼吸肌为克服通气阻力所作的功。

$$= \Delta P \times \Delta V = 0.25 \text{ J/次}$$

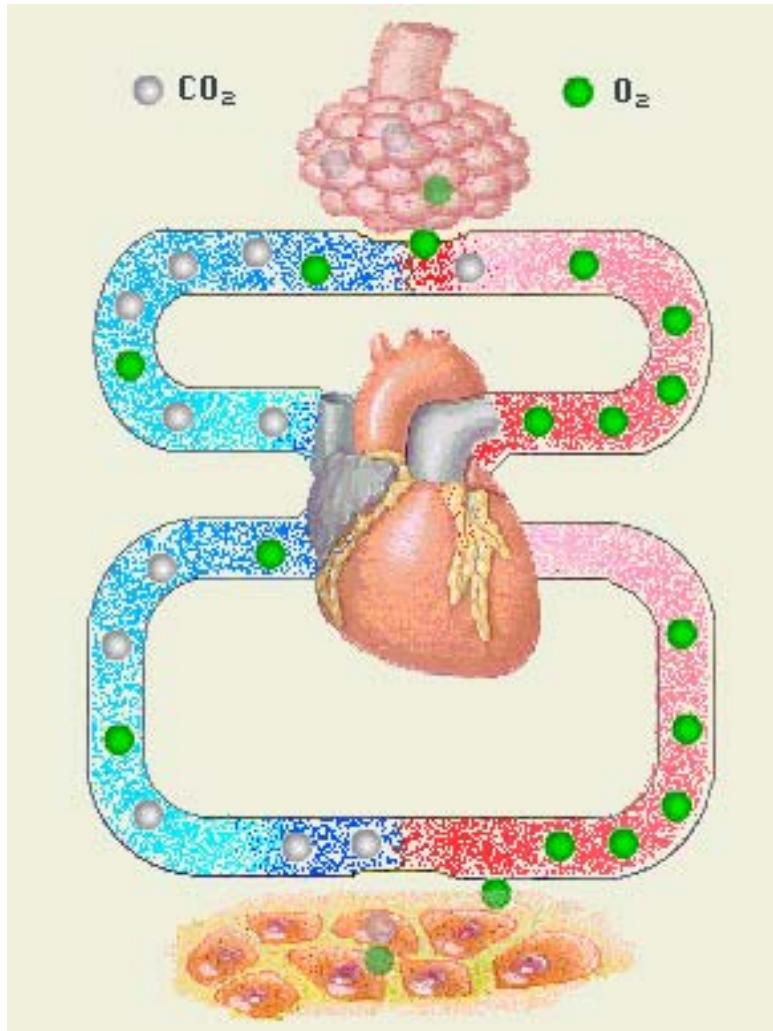


不同呼吸的肺通气量和肺泡通气量

呼吸频率 (次/min)	潮气量 (ml)	肺通气量 (ml/min)	肺泡通气量 (ml/min)
16 (平静呼吸)	500	8000	5600
8 (深慢呼吸)	1000	8000	6800
32 (浅快呼吸)	250	8000	3200

适当的**深而慢**的呼吸可提高肺通气功能





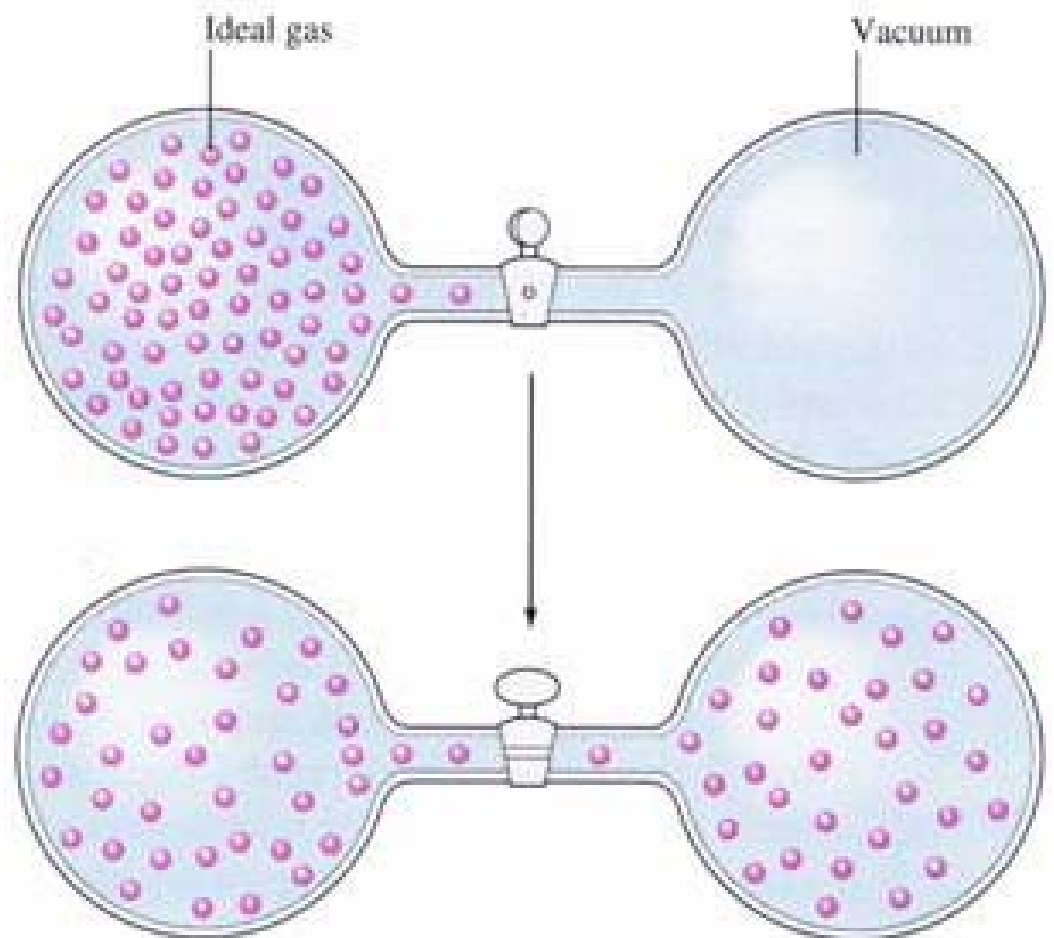
第二节

肺换气 与组织换气

一、基本原理

(一) 气体的扩散

1、扩散：
压力高→低



一、基本原理

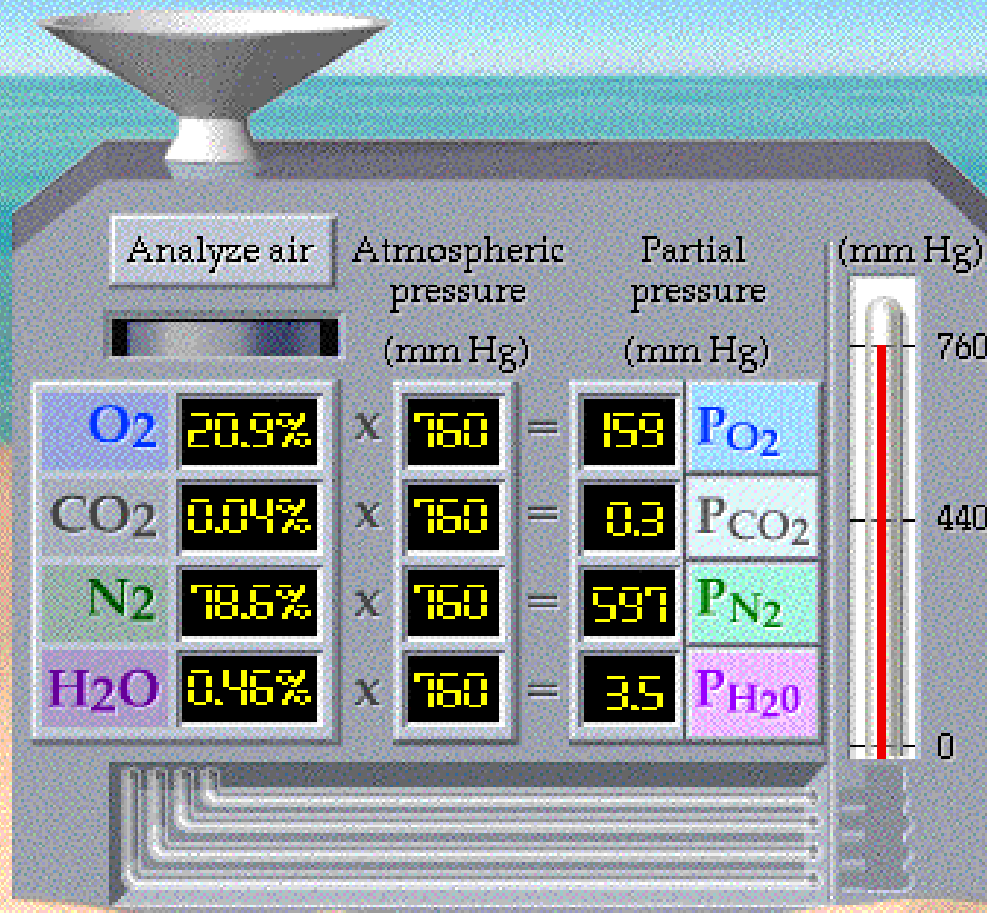
2、气体扩散速率 (D) :

单位时间内气体扩散的容积。

$$D \propto \frac{\Delta P \times T \times A \times S}{d \times \sqrt{MW}}$$

3、影响因素：

道尔顿分压定律



The partial pressures of the 4 gases add up to 760 mm Hg.

Dalton's Law: in a mixture of gases, the total pressure equals the sum of the partial pressures exerted by each gas.

**(2) 气体的分子量 (MW) : 与 \sqrt{MW} 成反比
溶解度 (S) : 正比**

$$\frac{S}{\sqrt{MW}} = \text{扩散系数(DC)}$$

	S	MW	DC
O₂:	2.14 ml/L	32	0.378
CO₂:	51.5 ml/L	44	7.764

CO₂ 的扩散系数是氧的20.52倍

(3) 扩散面积 (A) : 正比; 距离 (d) : 反比

(4) 温度 (T) : 正比

(二) 呼吸气体和人体不同部位气体的分压

1、呼吸气和肺泡气的成分和分压:

PO_2 : 大气 > 吸入气 > 呼出气 > 肺泡气

PCO_2 : 大气 < 呼出气 < 肺泡气

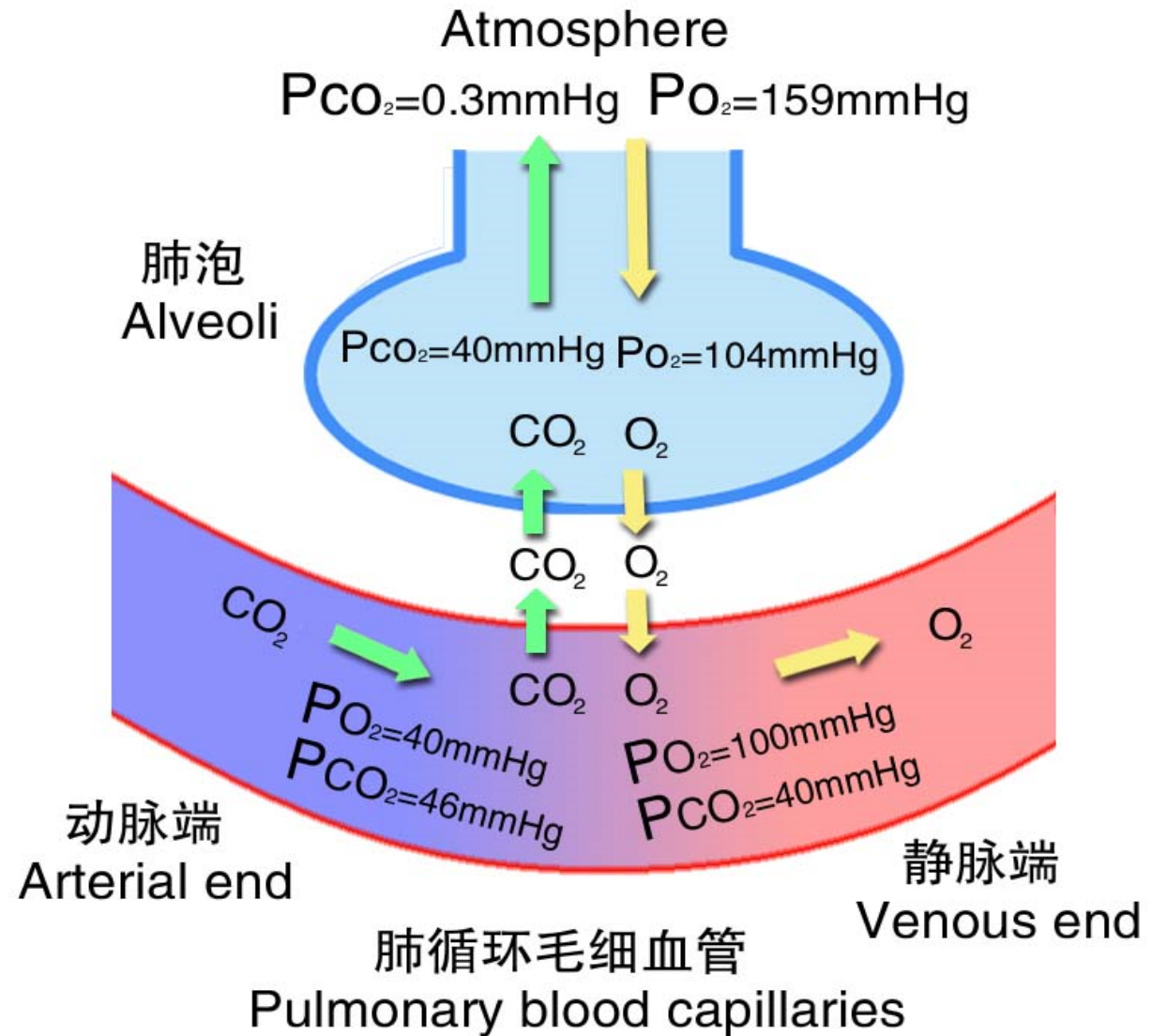
2、血液气体和组织气体的分压 (张力)

PO_2 : A血 > 混合V血 > 组织

PCO_2 : A血 < 混合V血 < 组织

二、肺换气

(一) 过程



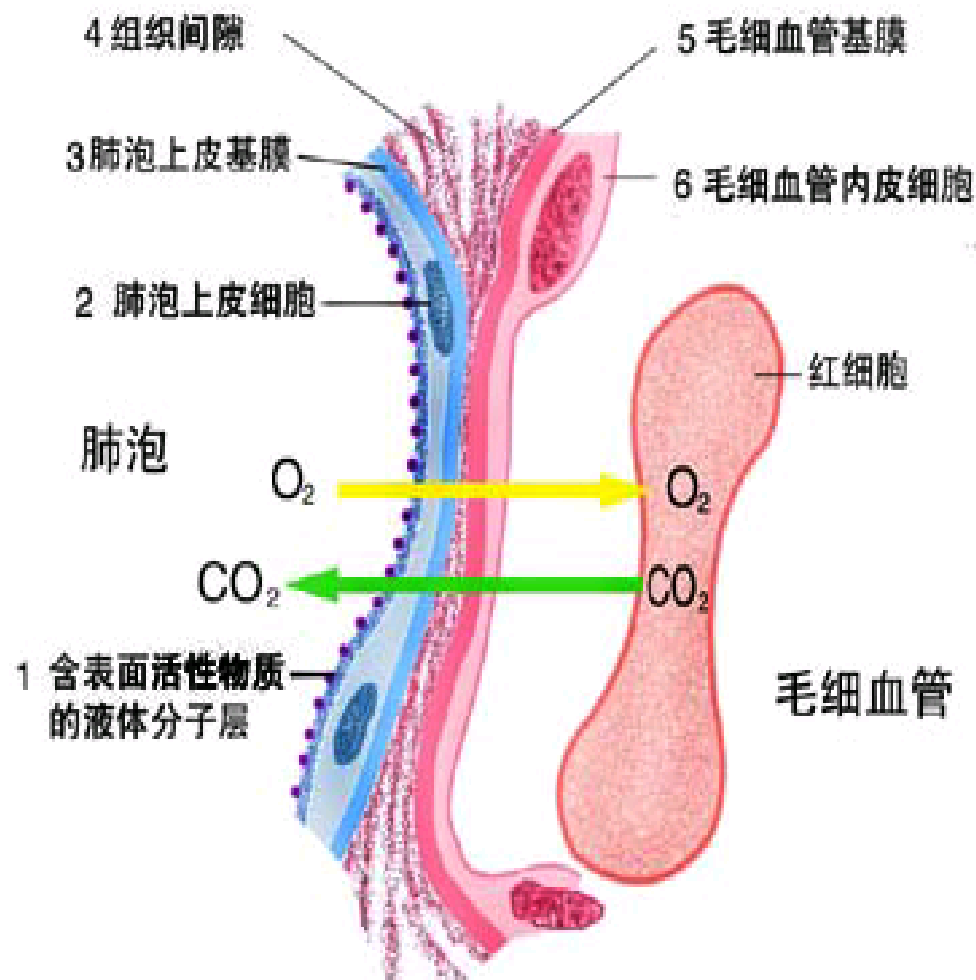
(二) 影响肺换气的因素 *

1、呼吸膜的厚度 (肺泡-Cap膜)

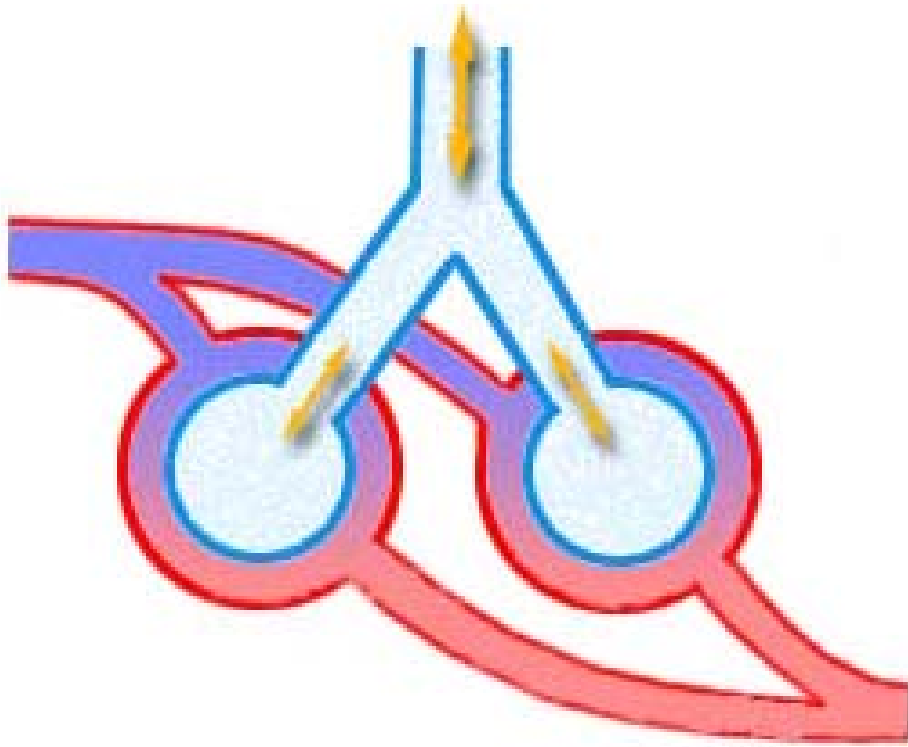
六层
反比

2、呼吸膜的面积

正比



3、通气/血流比值 (V_A/Q)



V/Q 正常

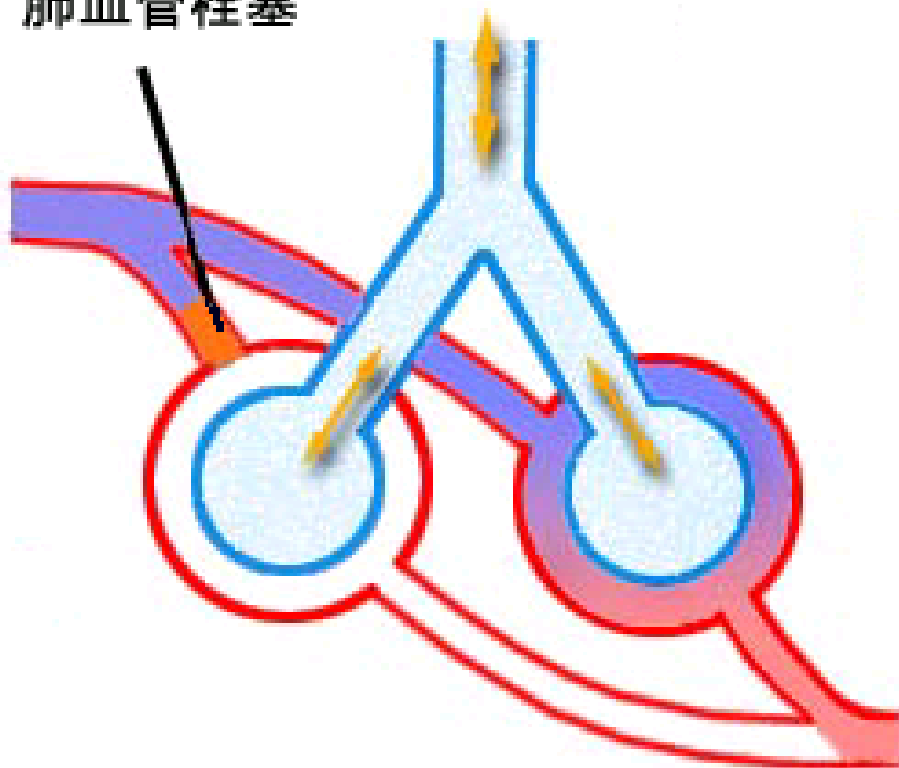
概念：每分钟肺泡通气量与每分钟肺血流量的比值。

意义：

$$V_A/Q = 4.2/5 \\ = 0.84$$

流经肺的混合V
血全部变为A血

肺血管栓塞



V/Q 增大

V/Q比值 $\uparrow > 0.84$

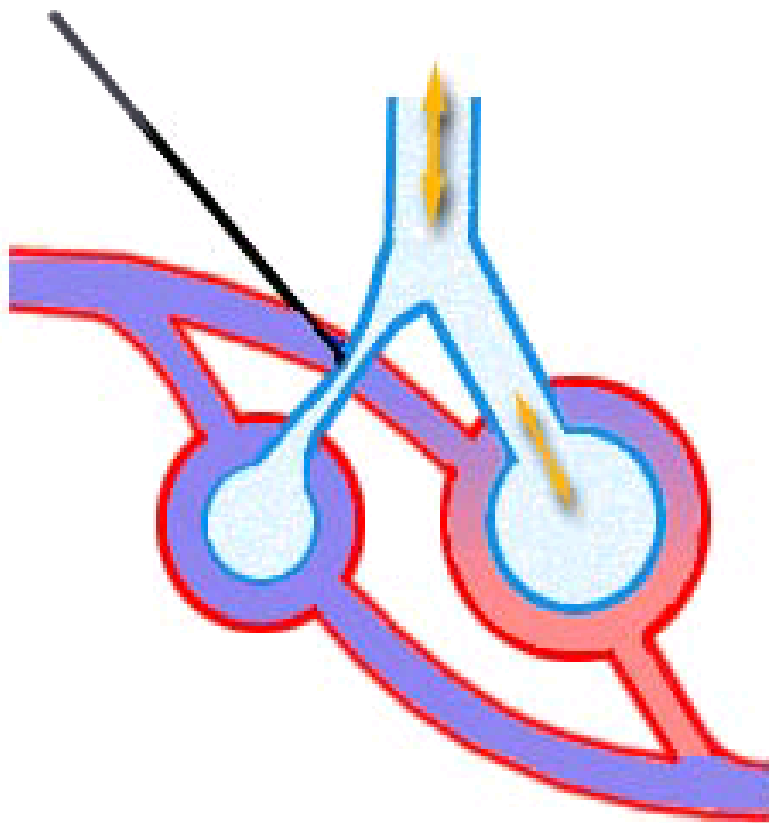
肺血管栓塞

通气过度,

血流不足,

肺泡无效腔增大

支气管痉挛



V/Q 减小

V/Q比值 $\downarrow < 0.84$

支气管痉挛

通气不足,

血流过多,

功能性A-V短路

V/Q比值 \uparrow > 0.84 V/Q比值 \downarrow < 0.84



肺换气效率 \downarrow



缺O₂明显, CO₂潴留不明显

原因:

- ① PO_2 下降程度 $>$ PCO_2 升高程度
- ② CO_2 扩散比 O_2 快, 不易潴留
- ③ $PO_2 \downarrow$, $PCO_2 \uparrow \rightarrow (+)$ 呼吸, 利于 CO_2 排出

整个肺: $V/Q = 0.84$

肺尖部: V/Q 比值 \uparrow 3.3

肺底部: V/Q 比值 \downarrow 0.63

V/Q 比值是衡量肺换气功能的指标。

(三) 肺扩散容量 (D_L)

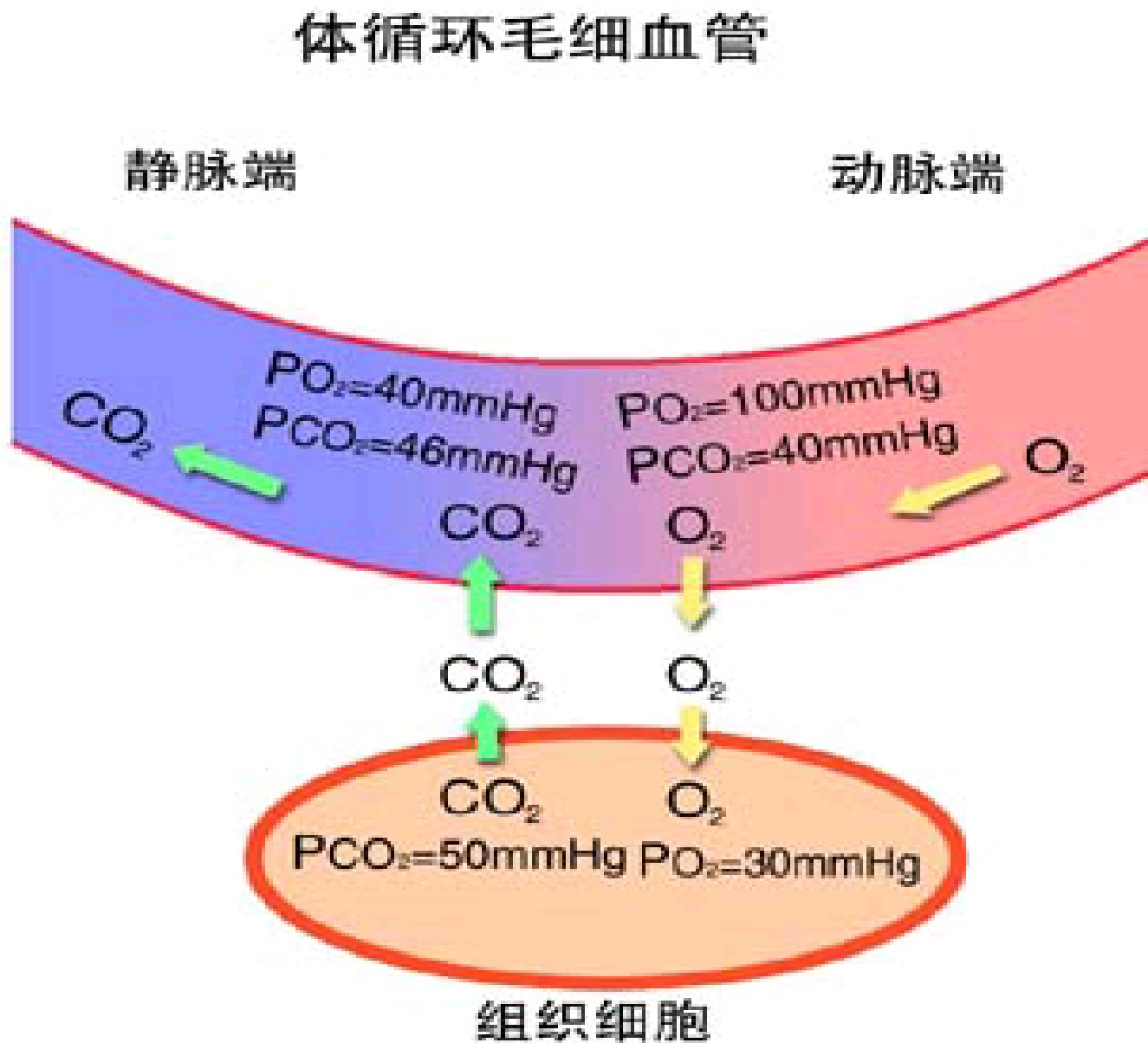
单位分压差 (1mmHg)下, 每分钟通过呼吸膜扩散的气体ml数。

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

(肺泡气) (肺Cap血液)

是衡量呼吸气体通过呼吸膜的能力的一种指标。

三、组织 换气



第三节

气体在血液中的运输

一、气体在血液中的存在形式

O_2 、 CO_2 $\left\{ \begin{array}{l} \text{物理溶解：量少} \\ \text{化学结合：量多} \end{array} \right.$

气体 → 溶解 → 化学结合 → 溶解

二、氧的运输

物理溶解：1.5%

化学结合：98.5%，

与血红蛋白(Hb)结合

(一) Hb的分子结构

由4个单体构成的四聚体

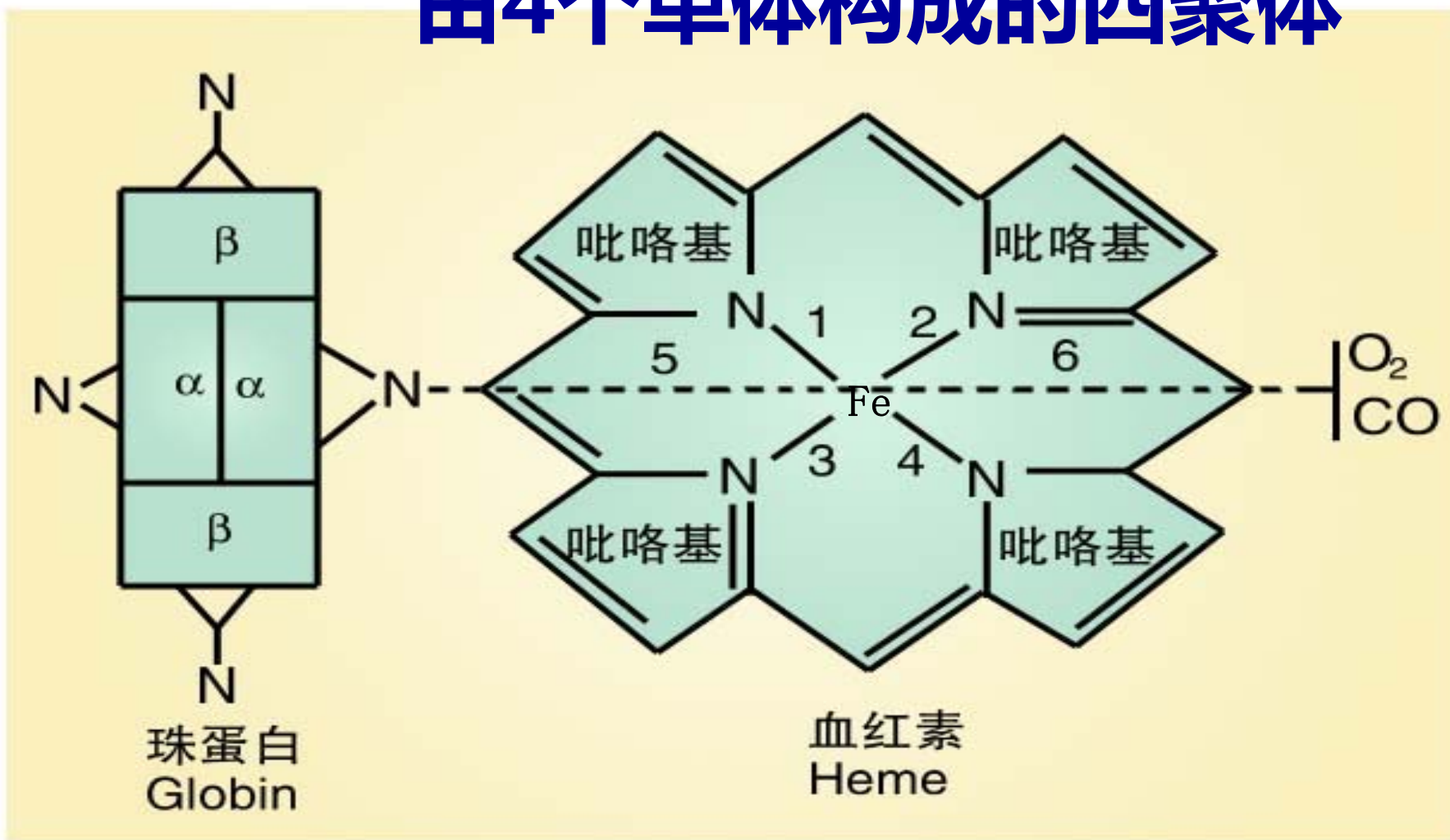
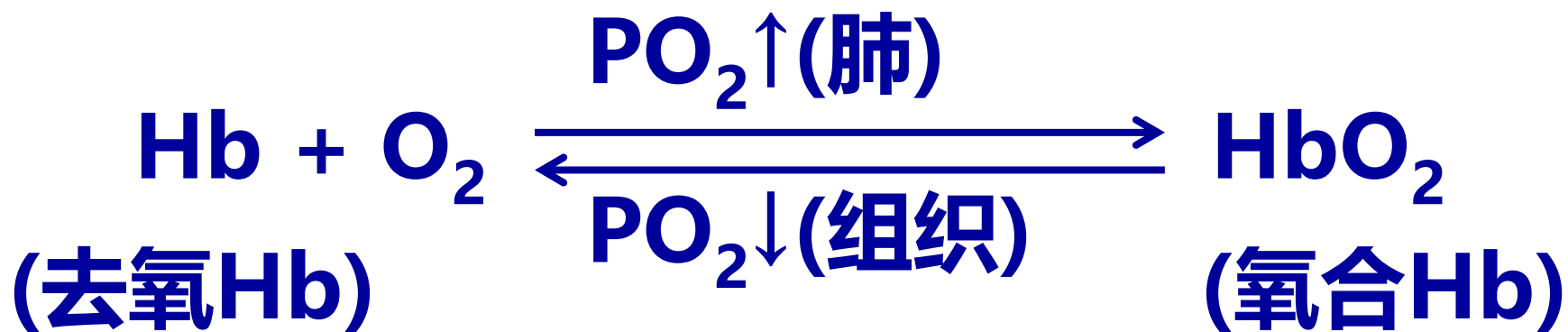


图 一 血红蛋白组成示意图

(二) Hb 与 O₂结合的特征

1、快速、可逆，不需酶，受PO₂影响



去氧Hb ≥ 5g/100ml, 皮肤浅蓝色 → 发绀

CO中毒: 樱桃红色



发绀



**CO中毒：
樱桃红色**

2、是氧合 (Fe^{2+}) , 不是氧化。

3、1分子 Hb 结合4分子 O_2 :

1g Hb 可结合 1.34 ~ 1.39 ml O_2

Hb氧容量/血氧容量 * (Oxygen capacity)

100ml血液中Hb所能结合的最大 O_2 量。

= $1.34 \times 15 = 20.1 \text{ ml}/100\text{ml}$

Hb氧含量/血氧含量 * (Oxygen content)

100ml血液中Hb实际结合的 O_2 量。

Hb氧饱和度/血氧饱和度 *

(Oxygen saturation)

**Hb氧含量和氧容量的百分比，
= (Hb氧含量 / Hb氧容量) × 100%**

设 Hb 浓度为15g% ， 每100ml血液中氧含量为10ml， 若1g Hb可以结合1.34ml氧， 则此时Hb的氧饱和度为：

$$= [10 / (1.34 \times 15)] \times 100\%$$

$$= [10 / 20.1] \times 100\%$$

$$= 50 \%$$

$$V: 75\% \quad A: 100\%$$

4、Hb与O₂的结合或解离曲线呈S形：

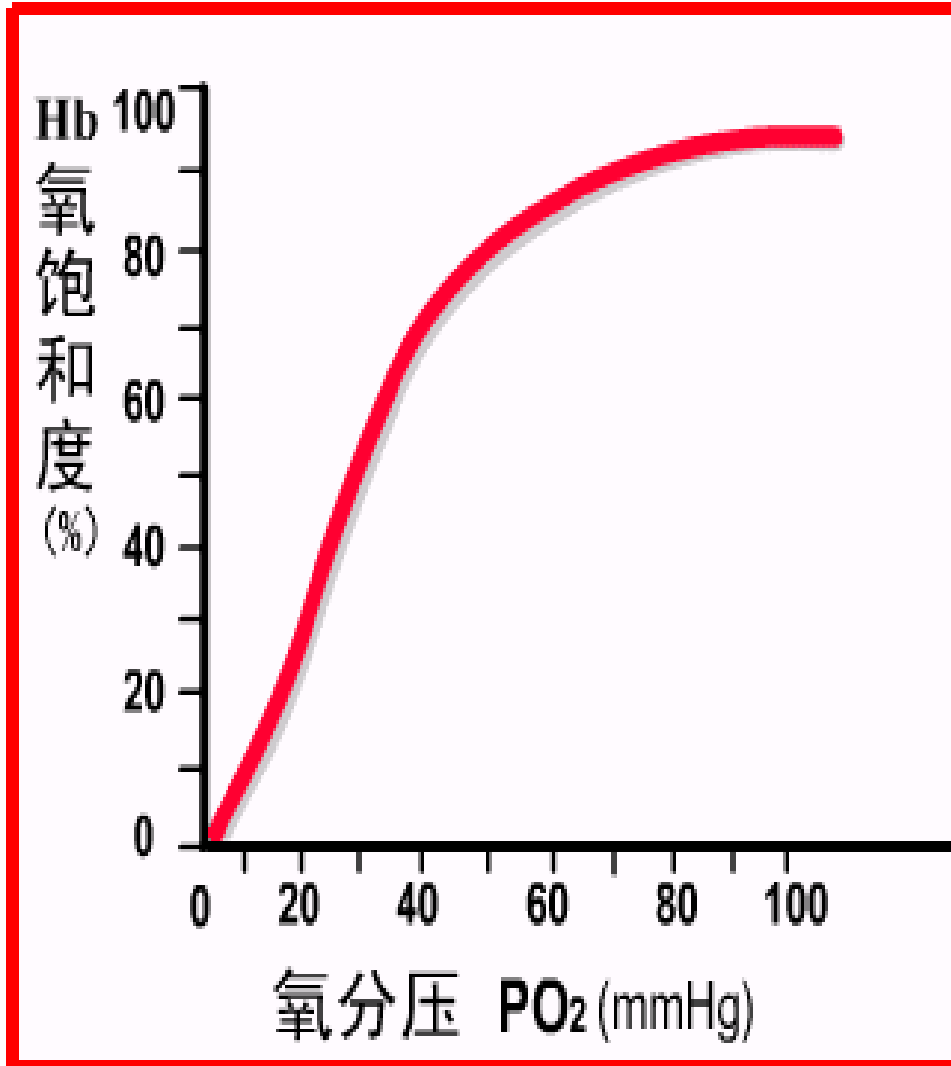
Hb的两种构型：

去氧Hb：紧密型(T型)

氧合Hb：疏松型(R型)

Hb与O₂的亲合力： R型 > T型

(三) 氧解离曲线*



1、定义：表示 PO₂与Hb氧饱和度关系的曲线。

2、特点：呈S形

3、分段及生理意义

(1) 上段: PO_2 在60 ~ 100mmHg, Hb与 O_2 结合的部分。

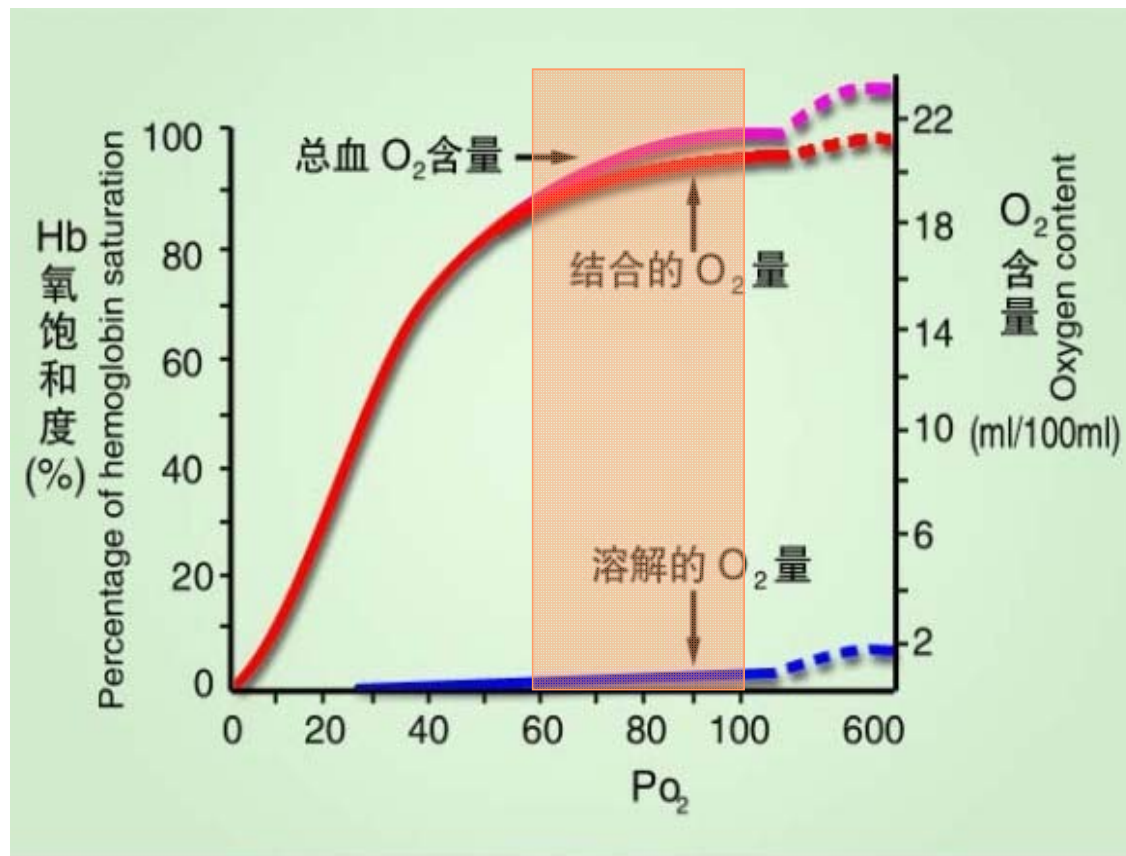


图 - 氧解离曲线

在 pH7.4, P_{CO_2} 40mmHg, 温度 37°C, Hb 浓度为 15g/100ml 血液时测定的 (1mmHg=0.133kPa)

① 特点: 平坦, PO_2 的变化对 Hb 氧饱和度影响不大。

② 意义: 只要 PO_2 不低于 60mmHg, 氧饱和度仍维持在 90% 以上, 不发生明显的低氧血症。

(2) 中段: PO_2 在40 ~ 60mmHg, HbO_2 释放 O_2 的部分。

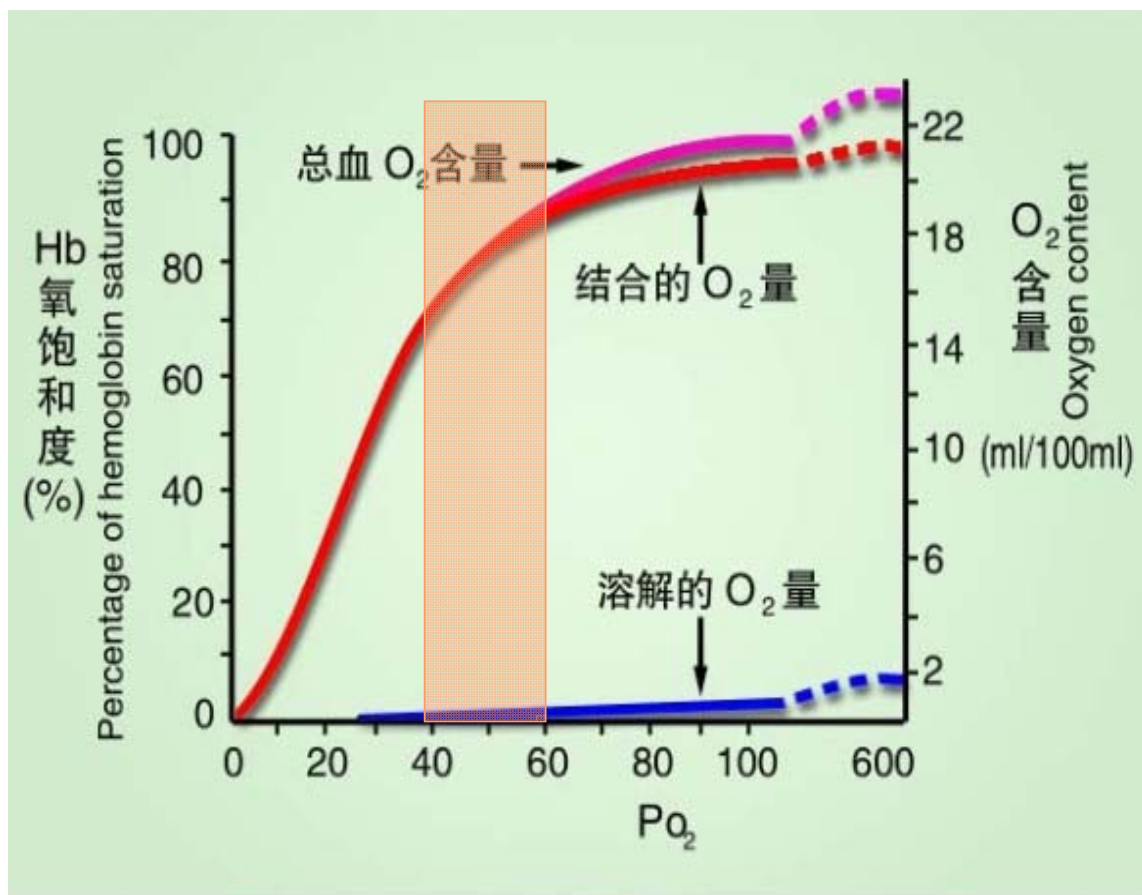


图 - 氧解离曲线

在 pH7.4, P_{CO_2} 40mmHg, 温度 37°C, Hb 浓度为 15g/100ml 血液时测定的 (1mmHg=0.133kPa)

① 特点: 较陡, PO_2 下降使 Hb 氧饱和度降低。

② 意义: 安静时机体供氧情况。

氧利用系数: 血液流经组织时释放的 O_2 占血氧含量的百分比。

(3) 下段: PO_2 在15 ~ 40mmHg, HbO_2 解离 O_2 的部分。

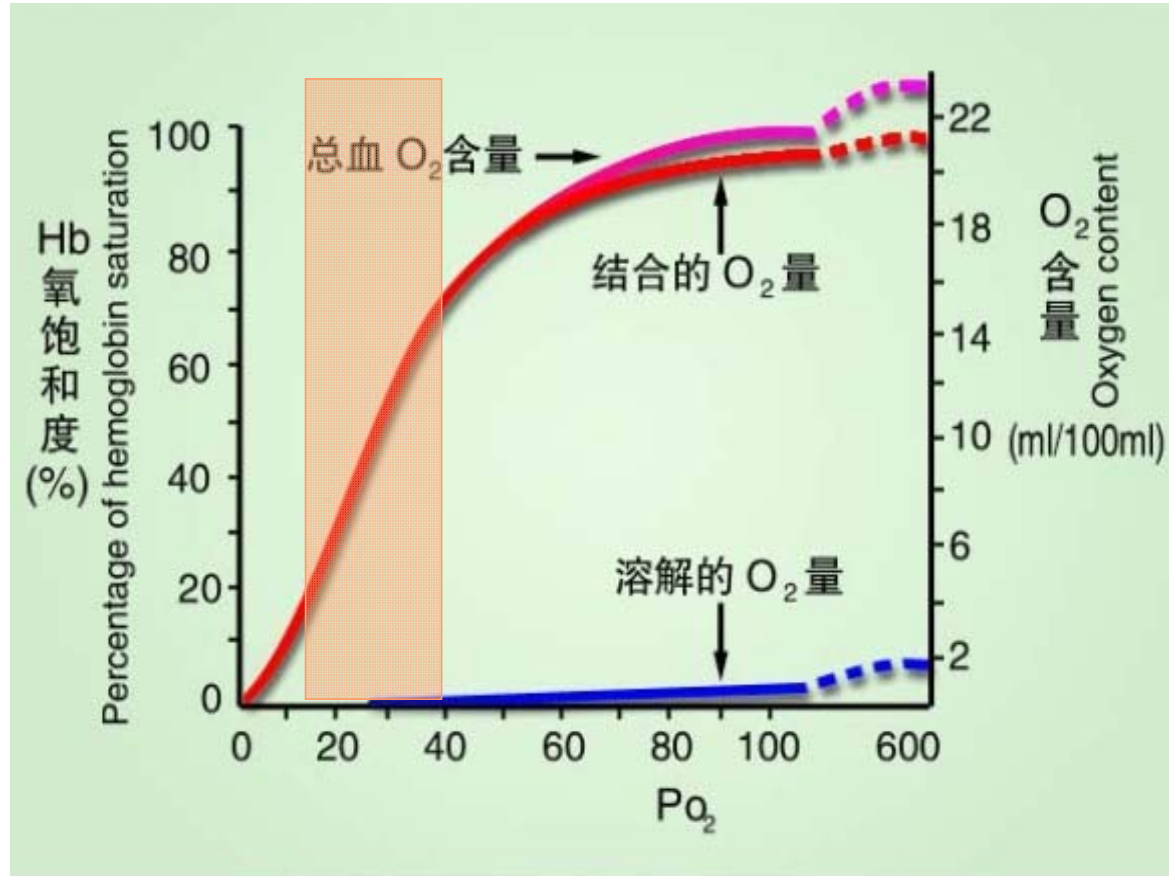


图 - 氧解离曲线

在 pH7.4, P_{CO_2} 40mmHg, 温度 37°C, Hb 浓度为 15g/100ml 血液时测定的 (1mmHg=0.133kPa)

① 特点: 最陡, PO_2 稍有下降, Hb 氧饱和度即明显下降。

② 意义: 血液供 O_2 储备能力。

(四) 影响氧解离曲线的因素 *

P_{50} : Hb氧饱和度达 50% 时的 PO_2 ,
(26.5mmHg)

$P_{50} \uparrow \rightarrow$ Hb与 O_2 的亲合力 $\downarrow \rightarrow$ 氧离曲线右移

$P_{50} \downarrow \rightarrow$ Hb与 O_2 的亲合力 $\uparrow \rightarrow$ 氧离曲线左移

MOGLOBIN SATURATION

P_{50} :

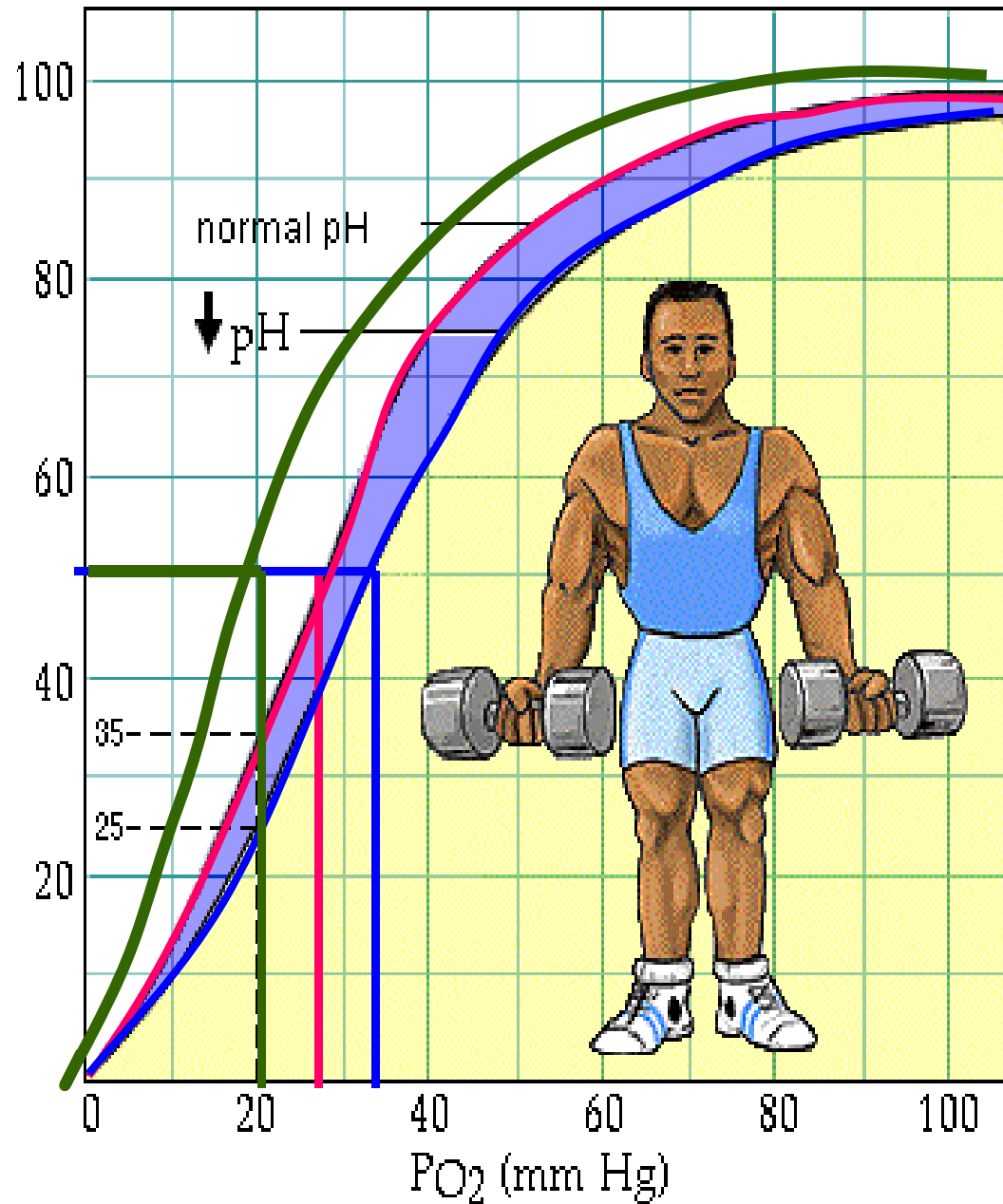
26.5mmHg

$P_{50} \uparrow$:

氧离曲线右移

$P_{50} \downarrow$:

氧离曲线左移



pH ↓

PCO₂ ↑

温度 ↑

2,3-二磷酸甘油酸
(2,3-DPG) ↑

Hb与O₂的亲合力 ↓
(P₅₀ ↑)

氧离曲线右移

反之，氧离曲线左移

其它： CO、Fe³⁺

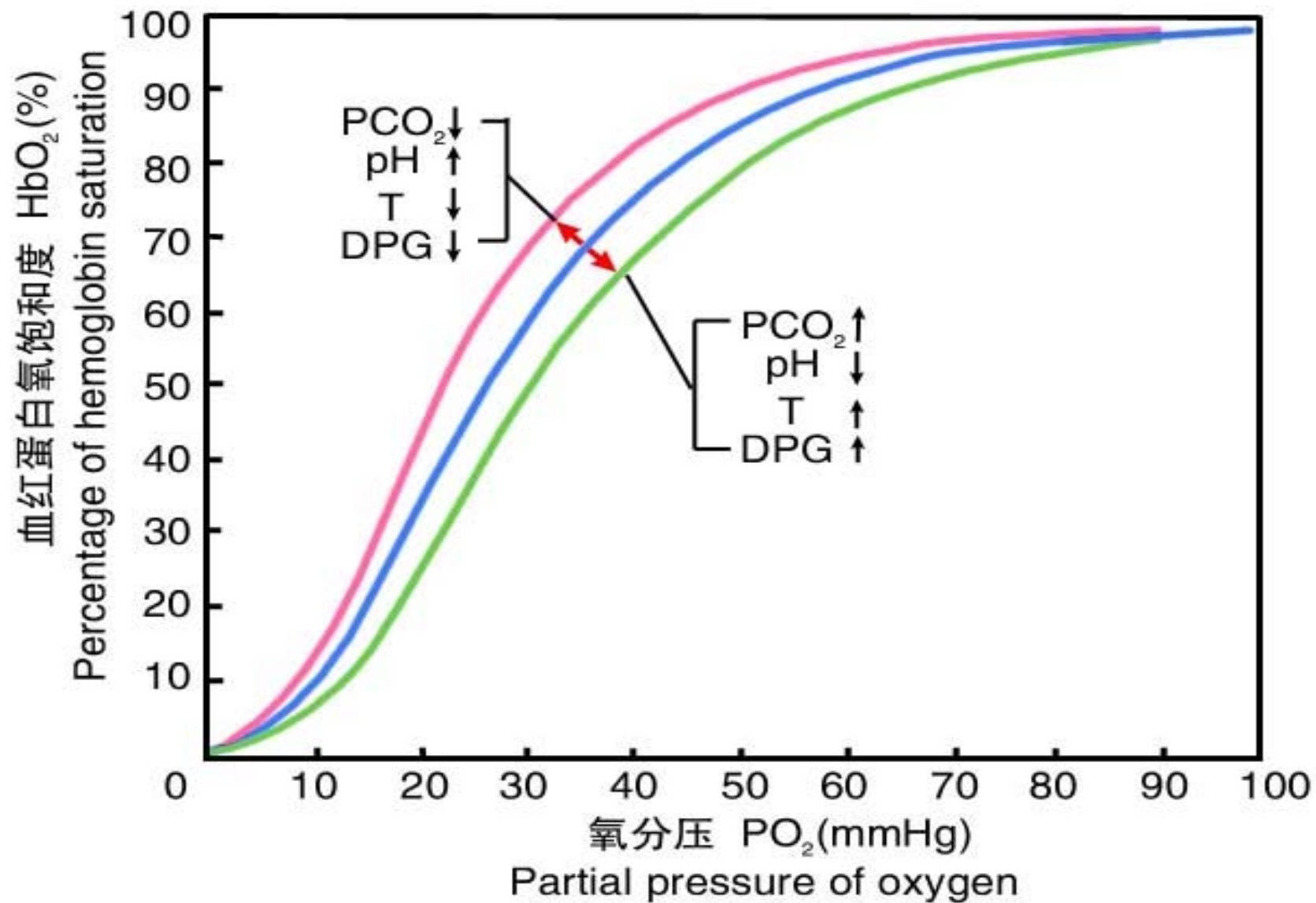
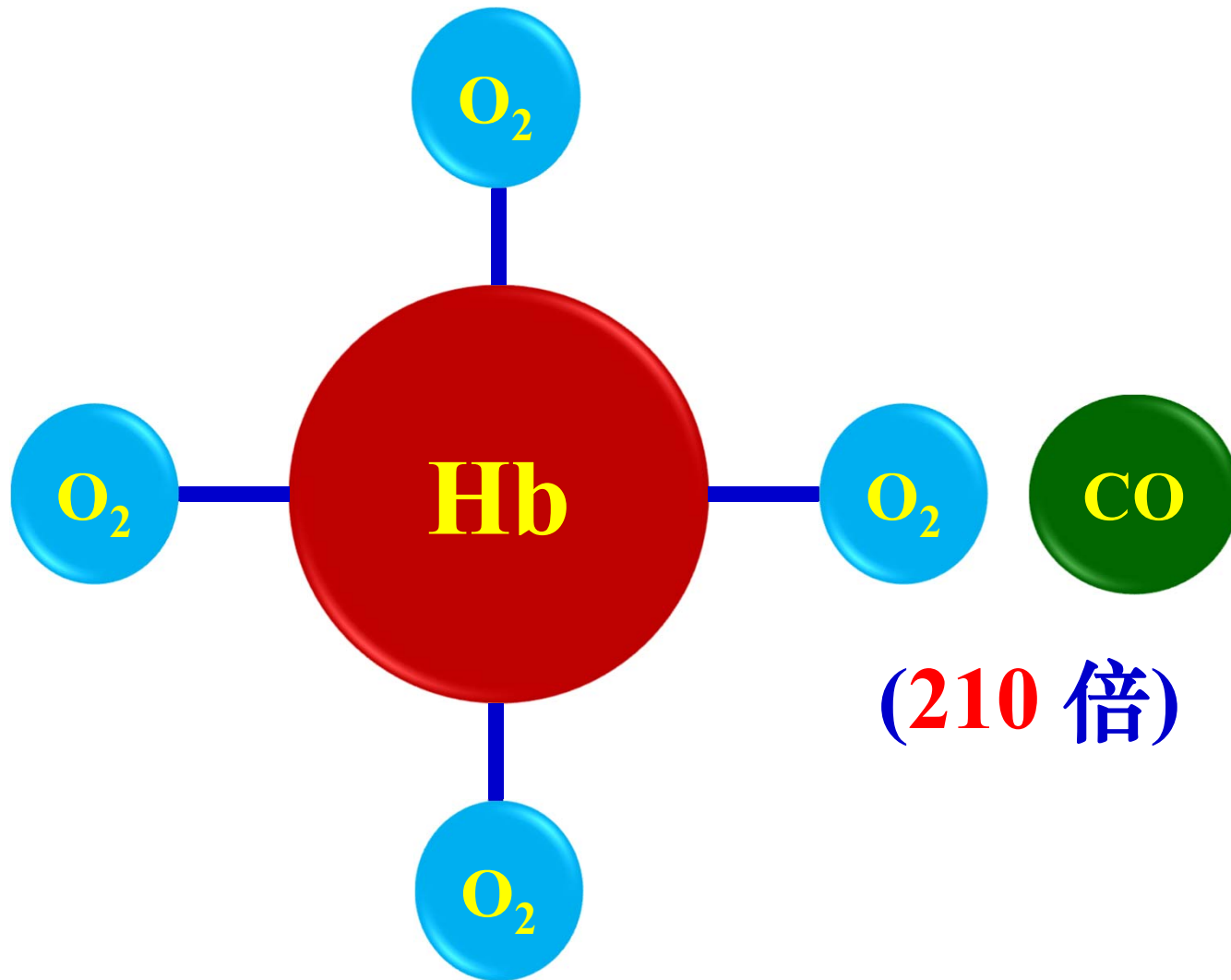


图 - 氧离曲线及其影响因素

波尔效应 (Bohr effect) :

定义：酸度对Hb与O₂亲和力的这种影响称为波尔效应。

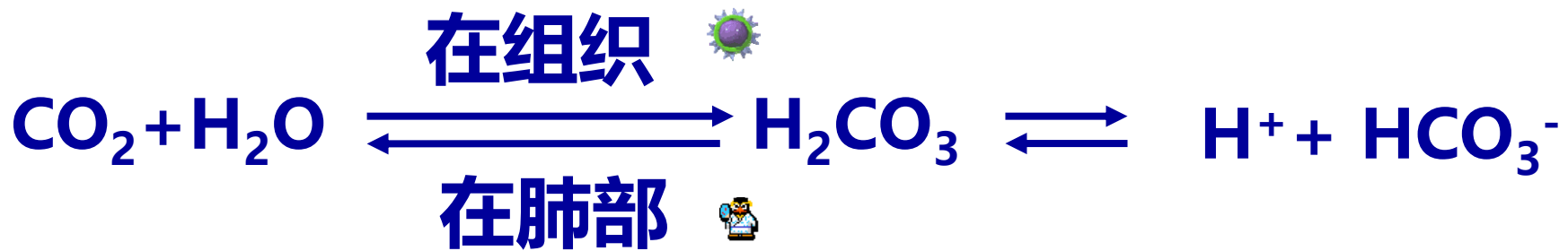
意义：既可促进肺Cap血液的氧合，又有利于组织Cap血液释放O₂。



三、二氧化碳的运输

(一) 运输形式 { 物理溶解: 5%
 { 化学结合: 95%

1、碳酸氢盐: 88%



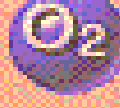
2、氨基甲酰血红蛋白: 7%, 无需酶



在组织

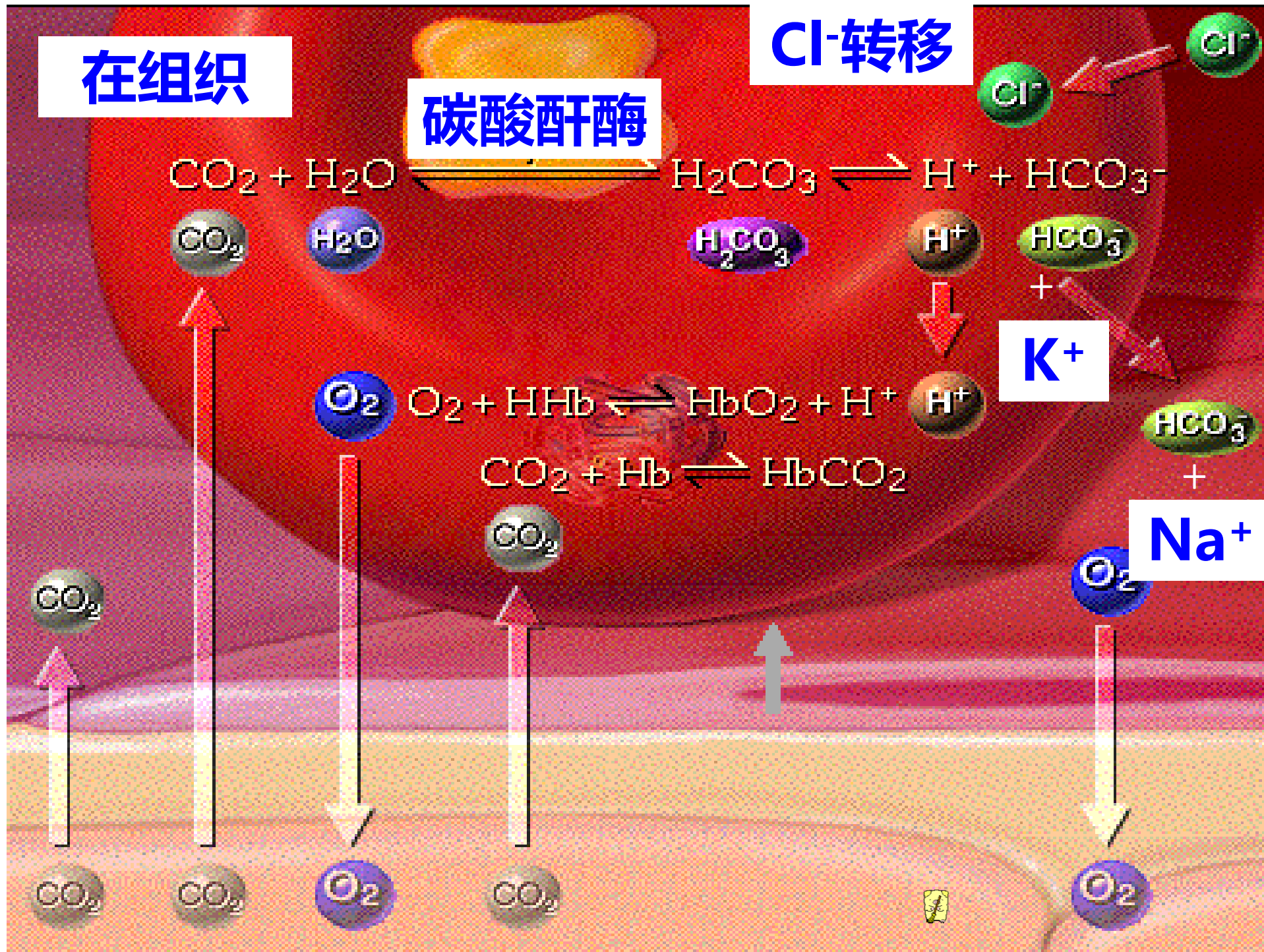
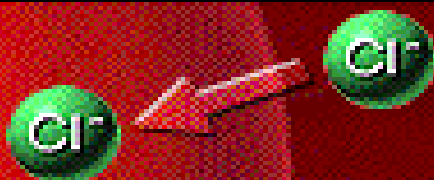
Cl⁻转移

碳酸酐酶



K⁺

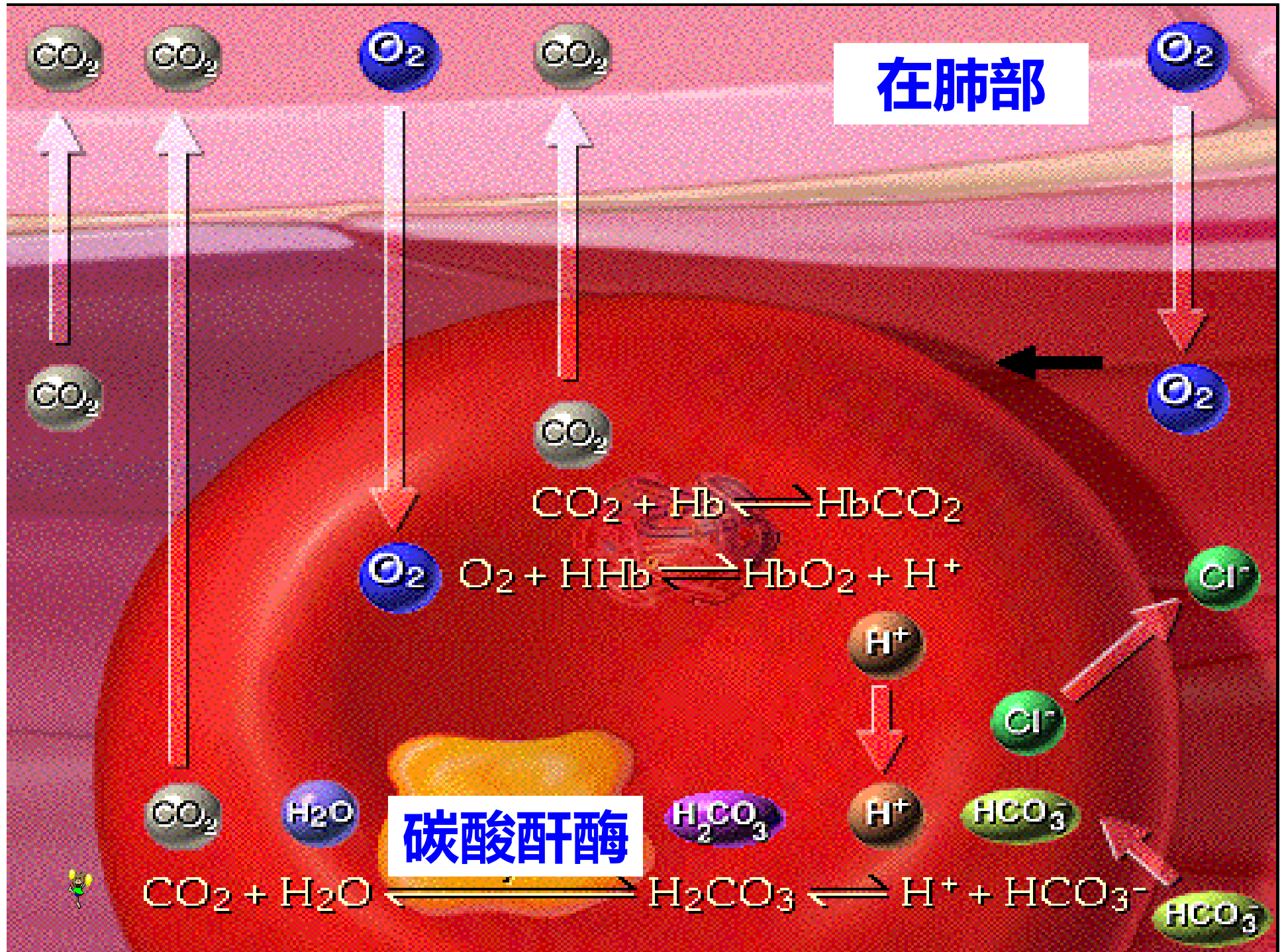
Na⁺



在肺部



碳酸酐酶



(二) CO₂ 解离曲线

1、概念：血中CO₂ 含量与PCO₂关系的曲线

2、特点：CO₂ 含量随PCO₂升高而增加，成线性关系，没有饱和点。

何尔登效应

(Haldane effect)

Hb与O₂结合可促使CO₂释放，去氧Hb容易与CO₂结合。

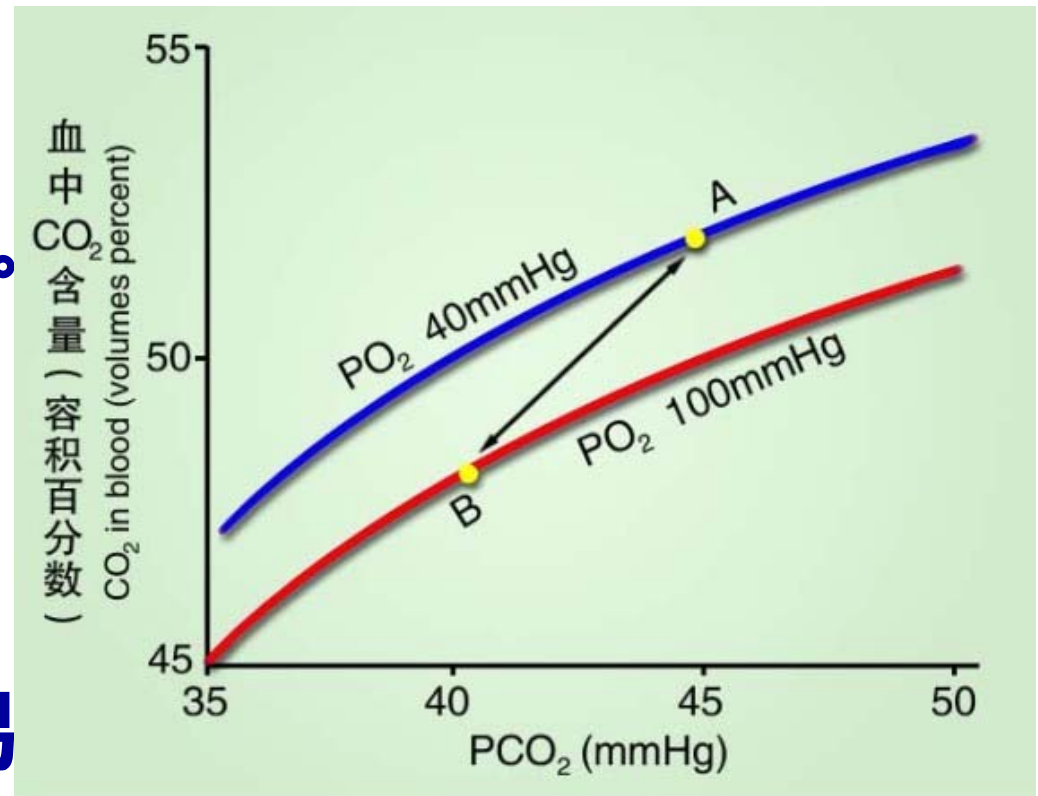


图 - CO₂解离曲线

A：静脉血 B：动脉血 (1mmHg=0.133kPa)

第四节

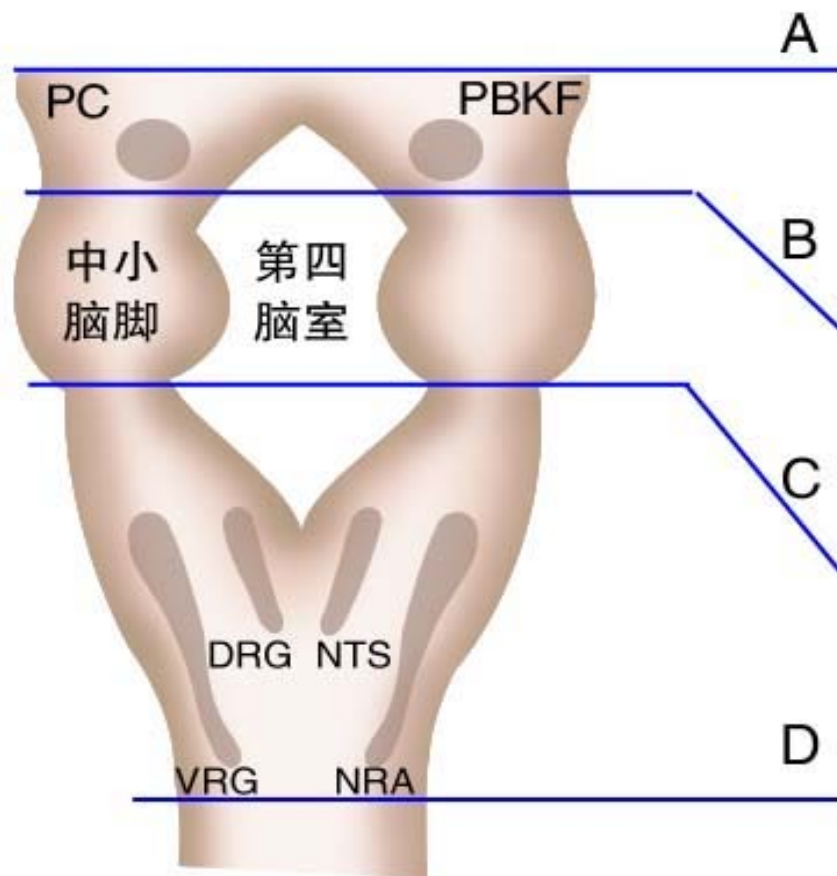
呼吸运动的调节

一、呼吸中枢与呼吸节律的形成

(一) 呼吸中枢

指CNS内产生和调节呼吸运动的NC群。

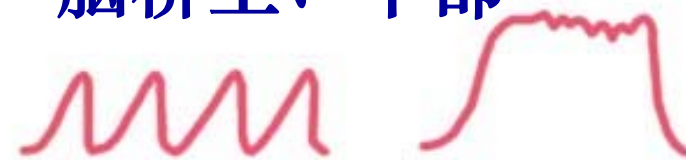
1、脊髓：呼吸肌→呼吸运动



中脑—脑桥



脑桥上、中部



脑桥—延髓



延髓—脊髓

迷走神经完整 切断迷走神经

图 - 脑干内呼吸核团和在不同平面横断脑干后呼吸的变化

2、低位脑干：

延髓：基本呼吸中枢（喘息中枢）

DRG：吸气

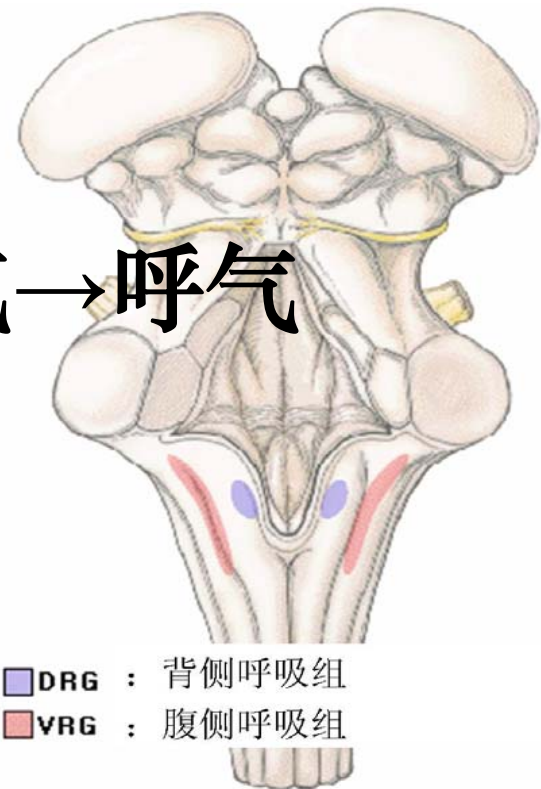
VRG：主动呼气（前包钦格复合体：呼吸节律起源）

脑桥：下部：长吸中枢

上部：呼吸调整中枢

PRG（PBKF核群）：吸气→呼气

3、高位脑：大脑皮层等 调节随意呼吸



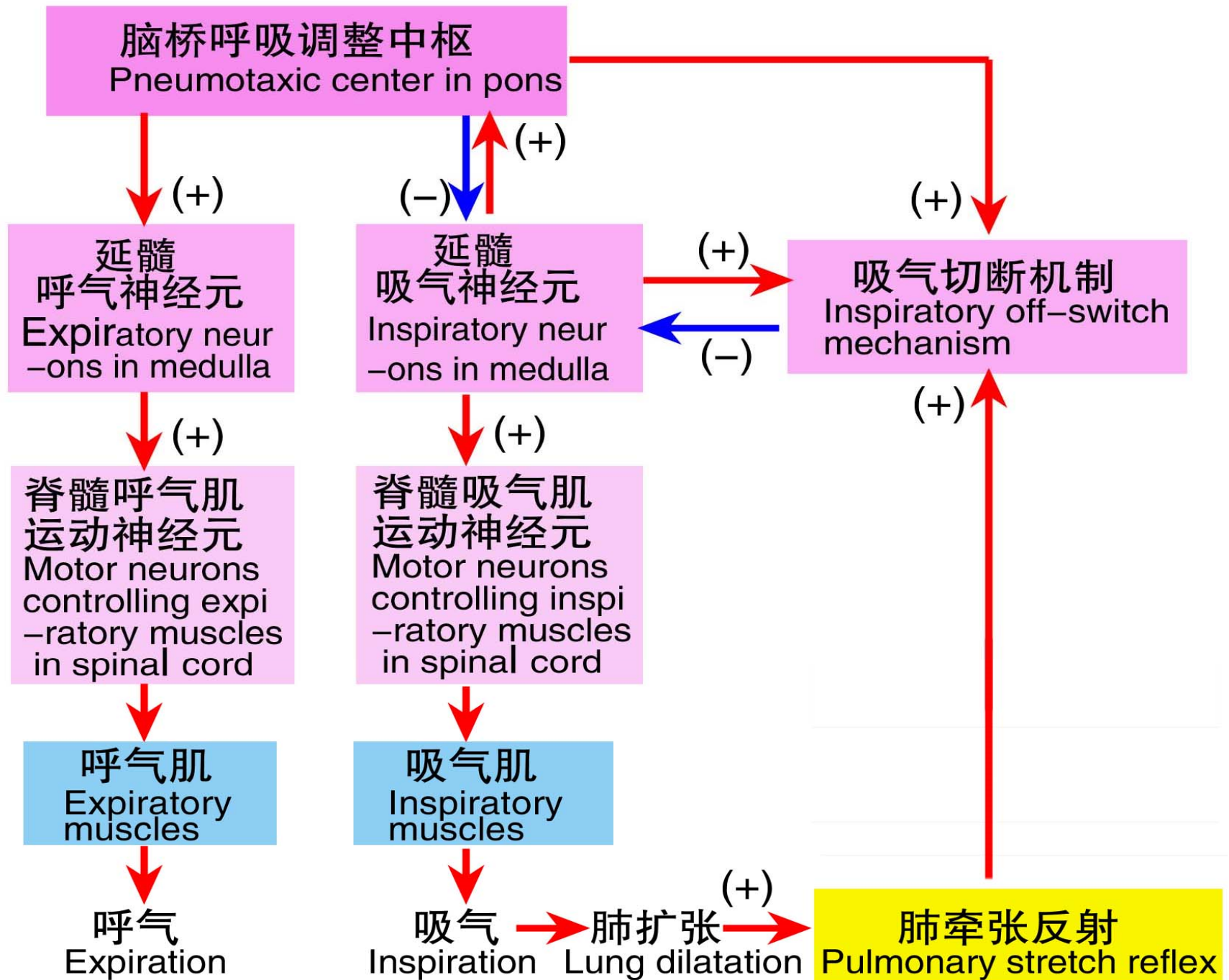
(二) 呼吸节律的形成

1、起步细胞学说：

延髓头端腹外侧区—前包钦格复合体。

2、N元网络学说：

N元之间的联系及相互作用。

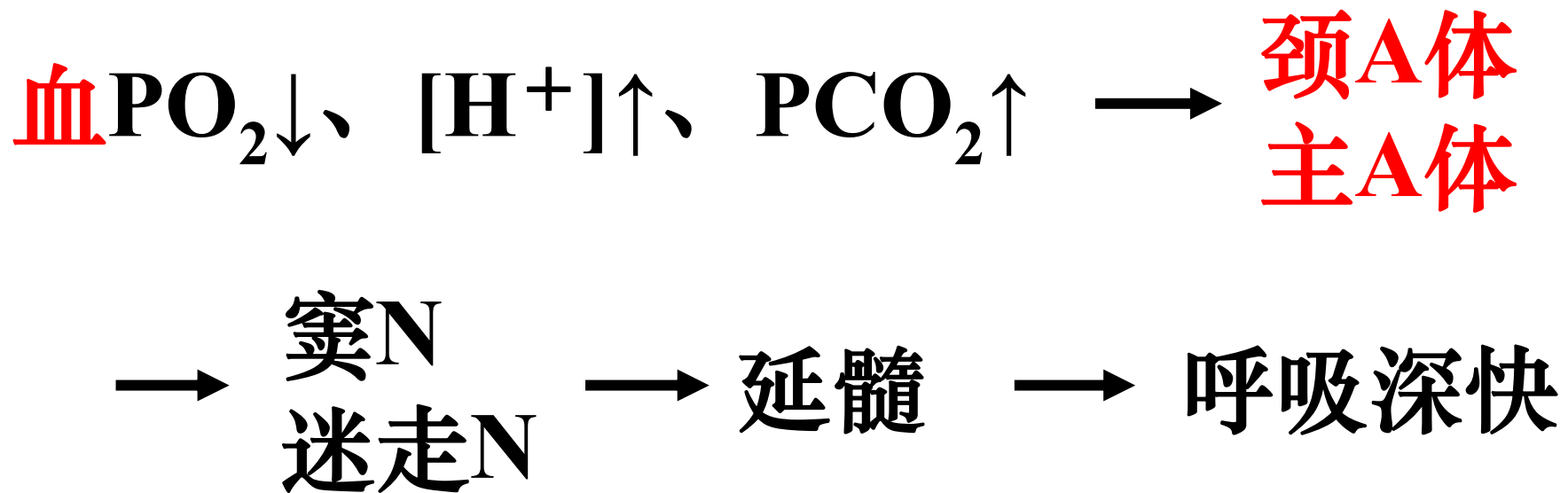


二、呼吸反射性调节 *

(一) 化学感受性呼吸反射

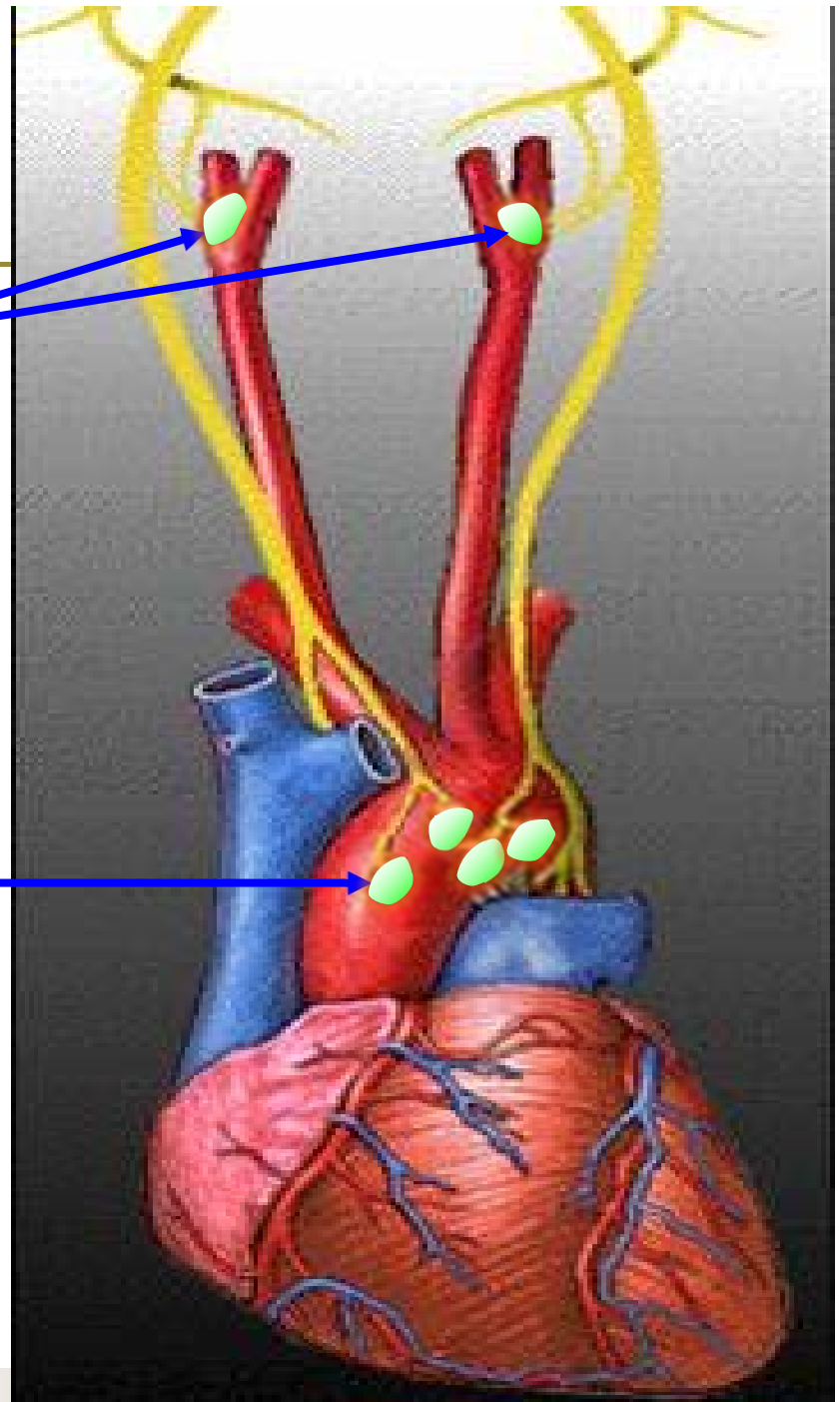
1、化学感受器

(1) 外周化学感受器



颈动脉体

主动脉体



(2) 中枢化学感受器

① 位置：延髓腹外侧浅表部位

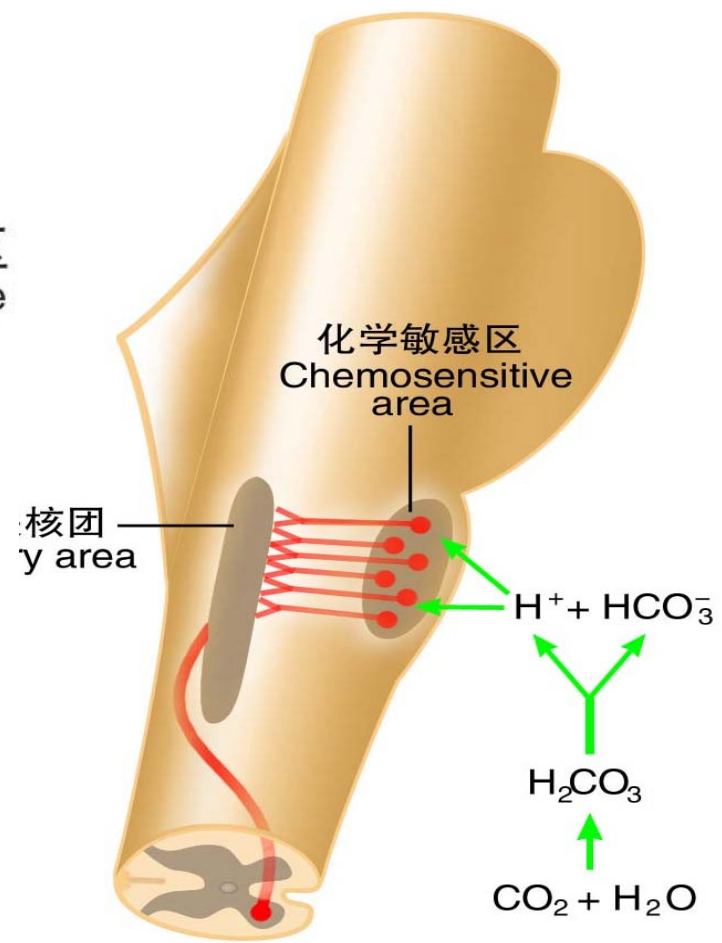
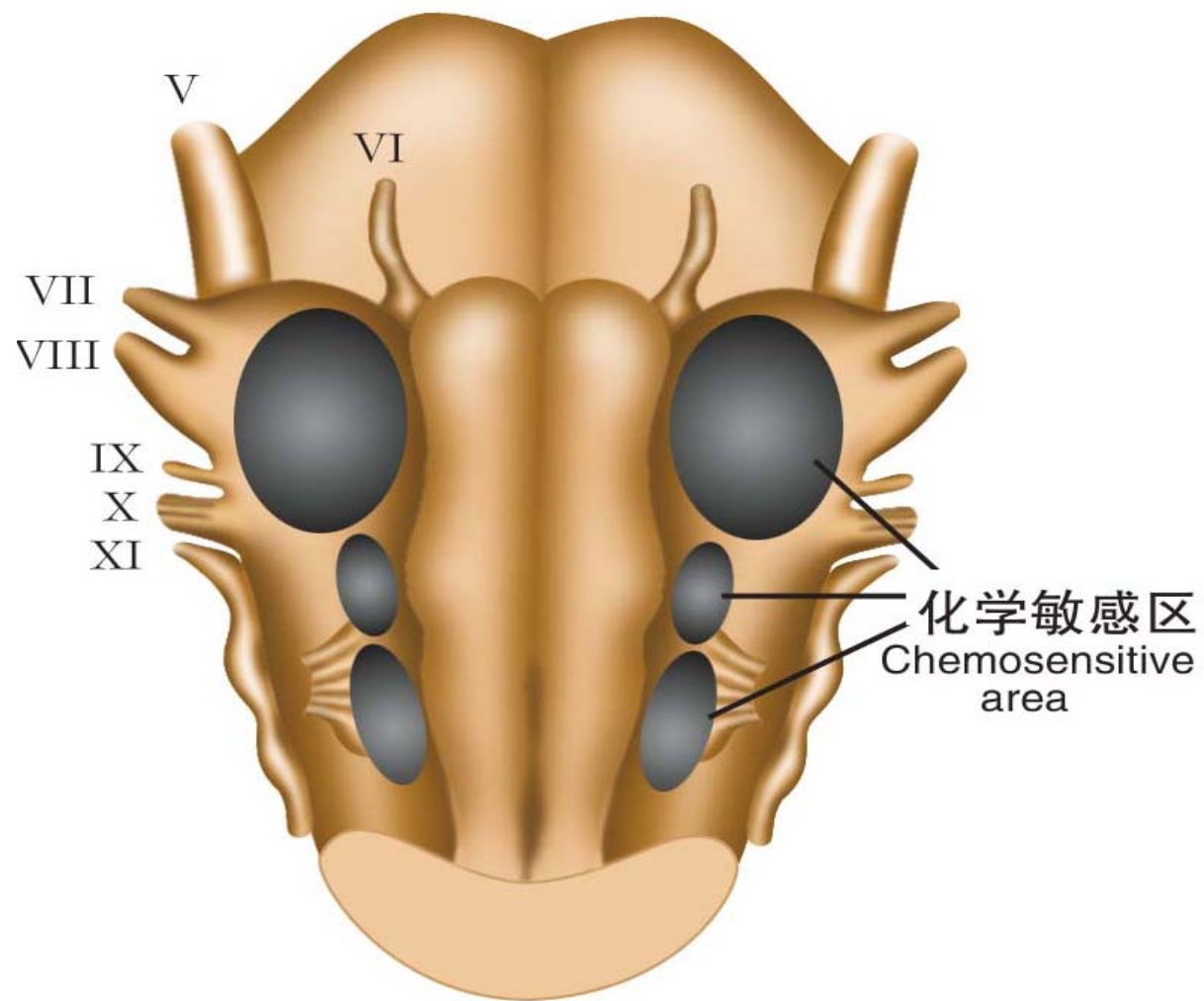
② 有效刺激：

脑脊液和局部脑C外液的 H^+

血中 CO_2 \longrightarrow 血脑屏障 \longrightarrow 脑脊液

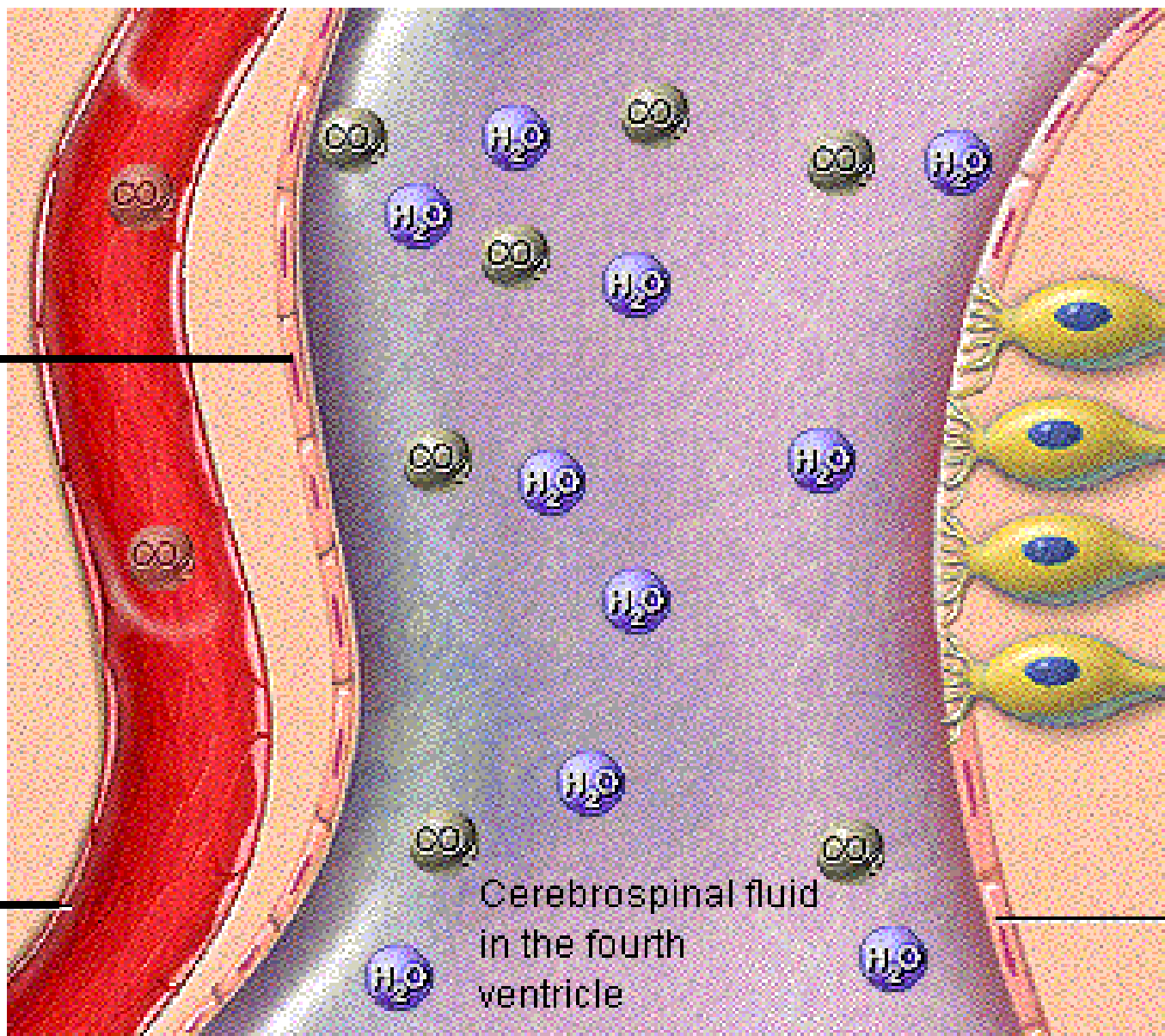


呼吸 \uparrow \longleftarrow 呼吸中枢 \longleftarrow 中枢化学感受器



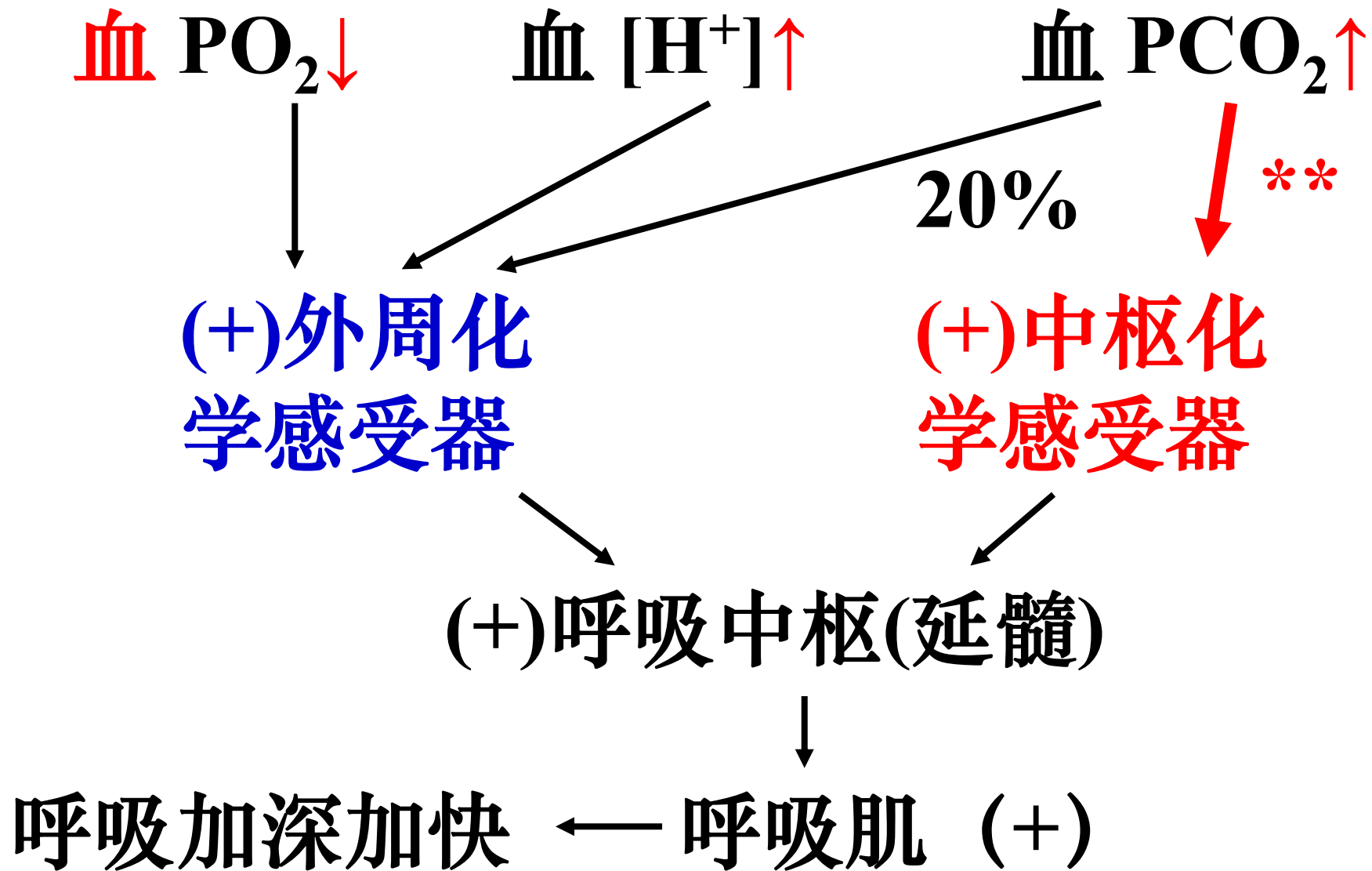
血脑屏障

Cap



中枢化学感受器

2、 O_2 CO_2 和 H^+ 对呼吸的调节



- 1、 CO_2 是调节呼吸运动的**最重要的**生理性化学因素， PCO_2 升高**超过**一定限度，则有**抑制**呼吸中枢和 **CO_2 麻醉**效应。
- 2、**血**中的 **H^+ 不易**透过血—脑屏障。
- 3、**低 O_2** 对呼吸中枢的**直接**作用是**抑制**。

3、 O_2 CO_2 和 H^+ 在呼吸调节中的相互作用

相互影响，共同调节。



CO_2 对呼吸的刺激作用最强， H^+ 的作用次之，低 O_2 作用最弱。



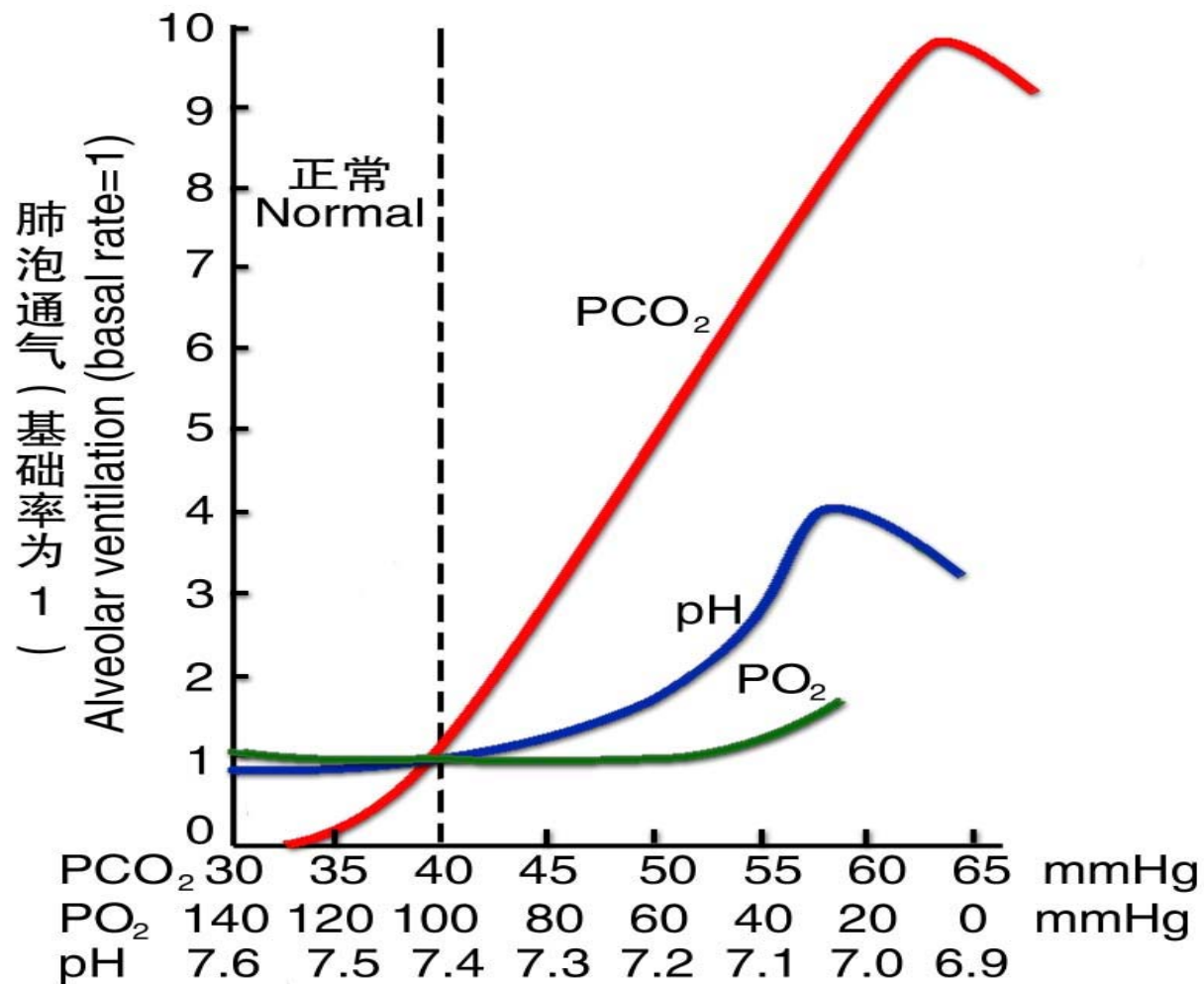


图 - 动脉血液 PCO₂升高、P₂O 降低、pH 降低对肺泡通气率的影响
(1mmHg=0.133kPa)



(二) 肺牵张反射/黑-伯反射 (Pulmonary stretch reflex / Hering- Breuer reflex, 1868)

肺扩张或肺萎陷引起的吸气抑制或吸气兴奋的反射。

二种类型：

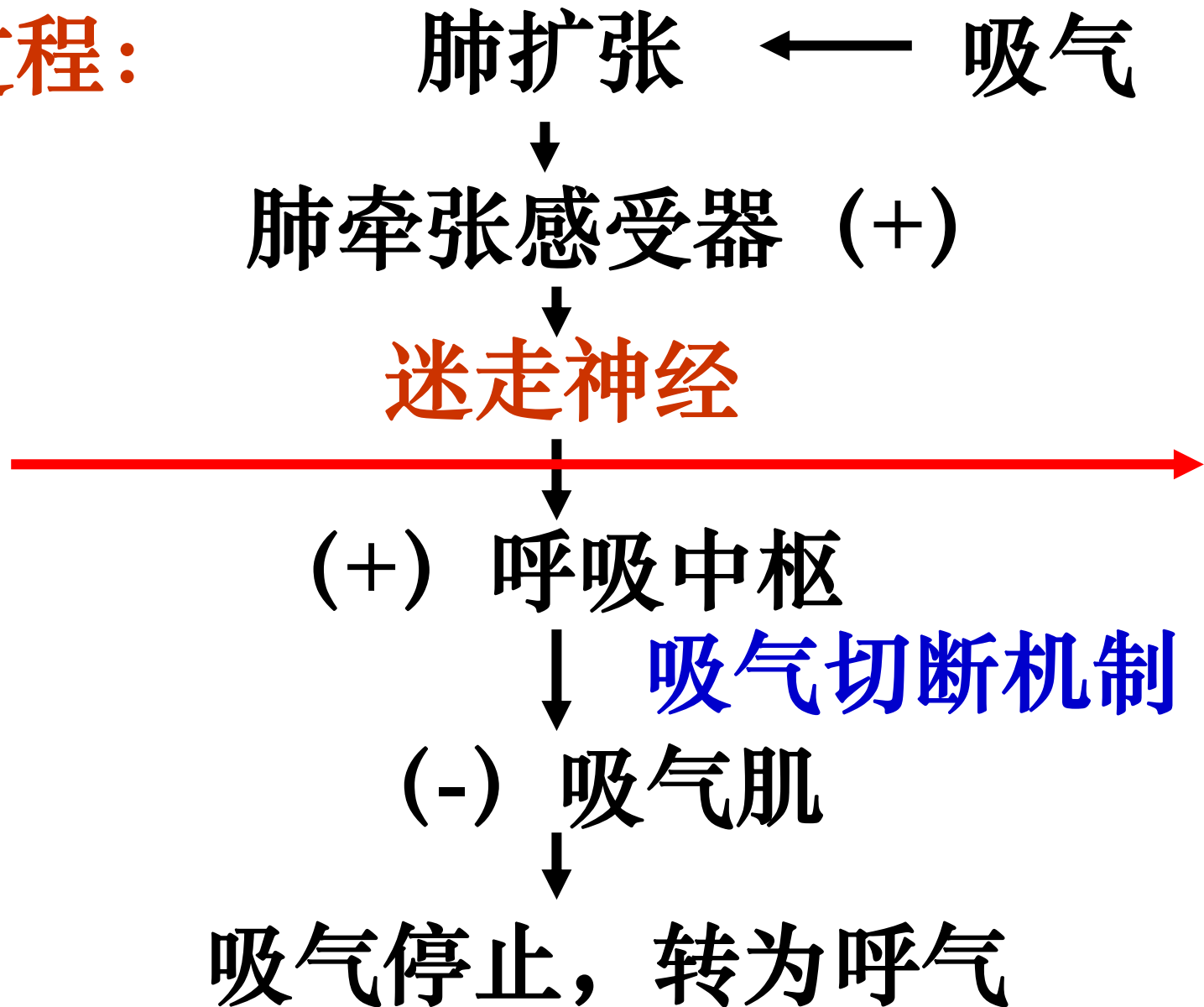
(1) 肺扩张反射：

肺扩张引起的吸气抑制反射。

(2) 肺萎陷反射：

肺萎陷引起的吸气兴奋反射。

过程:



切断
双侧
迷走
神经
?

意义: 加速吸气向呼气转换, 呼吸频率↑

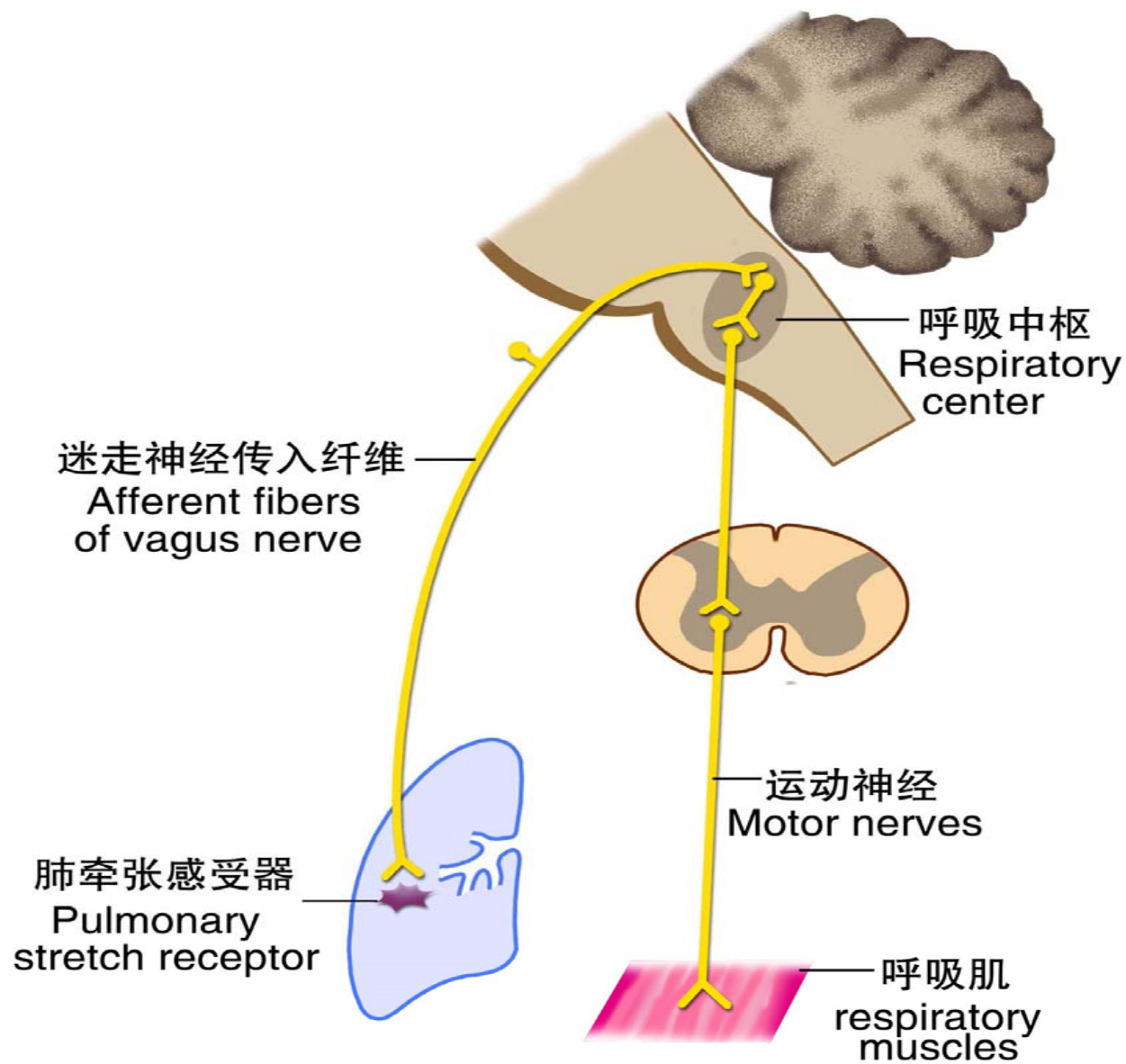


图 - 肺牵张反射示意图