

酸碱平衡和酸碱平衡紊乱

(Acid-base balance and imbalance)

病理生理学教研室

-  **酸碱的概念及酸碱物质的来源**
-  **酸碱平衡的调节** ★
-  **酸碱平衡紊乱的类型及常用指标** ★
-  **单纯型酸碱平衡紊乱** ★
-  **混合型酸碱平衡紊乱**
-  **分析判断酸碱平衡紊乱的方法及其病理生理基础** ★

本章要解决的问题

明德博学 行方智圆

1. 什么是**酸碱平衡紊乱**？机体如何调节酸碱平衡？
2. pH**7.4**，病人有无酸碱失衡？
3. **单纯型酸碱失衡**包括哪几种类型及其定义？
4. **代谢性酸中毒**有哪些特点？对机体有何影响？
5. **呼吸性酸中毒**有哪些特点？对机体有何影响？
6. 分析酸碱平衡紊乱的**基本思路**？

【酸碱平衡】(Acid-base balance)

机体自动调节酸碱物质的含量和比例，以维持体液pH值相对稳定的过程。

【酸碱平衡紊乱】(Acid-base disturbance)

病理情况下，因酸碱负荷过度或（和）调节机制障碍，导致体液酸碱度稳态的破坏。

第一节

酸碱的概念及酸碱物质 的来源

 **酸碱的概念**

 **体液中酸碱物质的来源**

 **酸碱平衡的调节**

一、酸碱的概念

明德博学 行方智圆

酸： 凡能释放 H^+ 的物质。

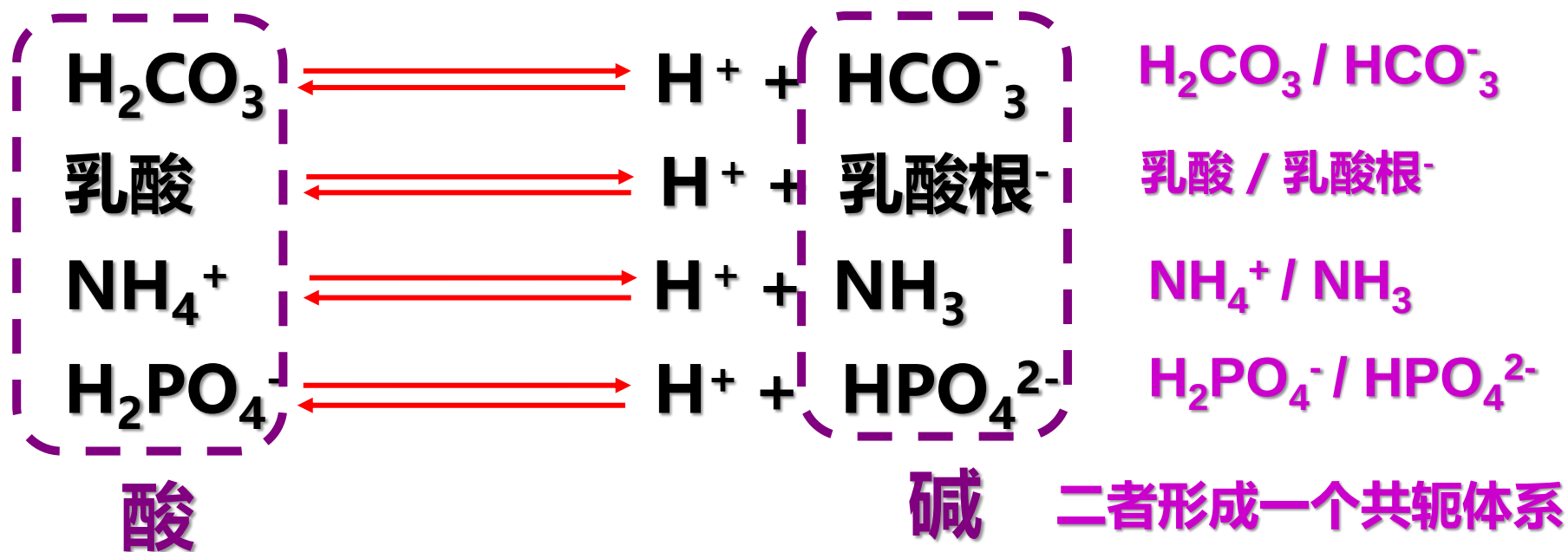
如 HCl 、 H_2SO_4 、 H_2CO_3 、 NH_4^+ 等。

碱： 凡能接受 H^+ 的物质。

如 OH^- 、 SO_4^{2-} 、 NH_3 等。

一、酸碱的概念

明德博学 行方智圆



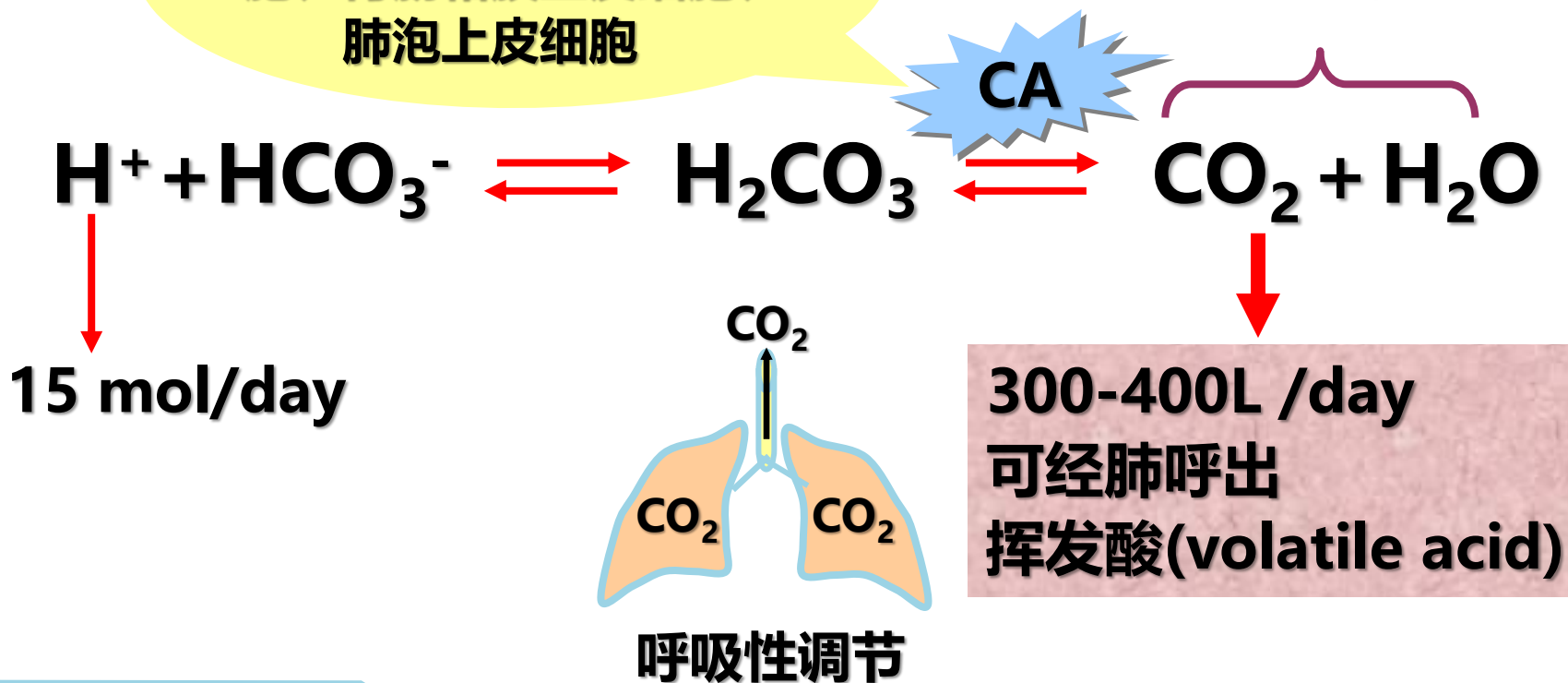
二、体液中酸的种类和来源

明德博学 行方智圆

1. 挥发酸：即 H_2CO_3

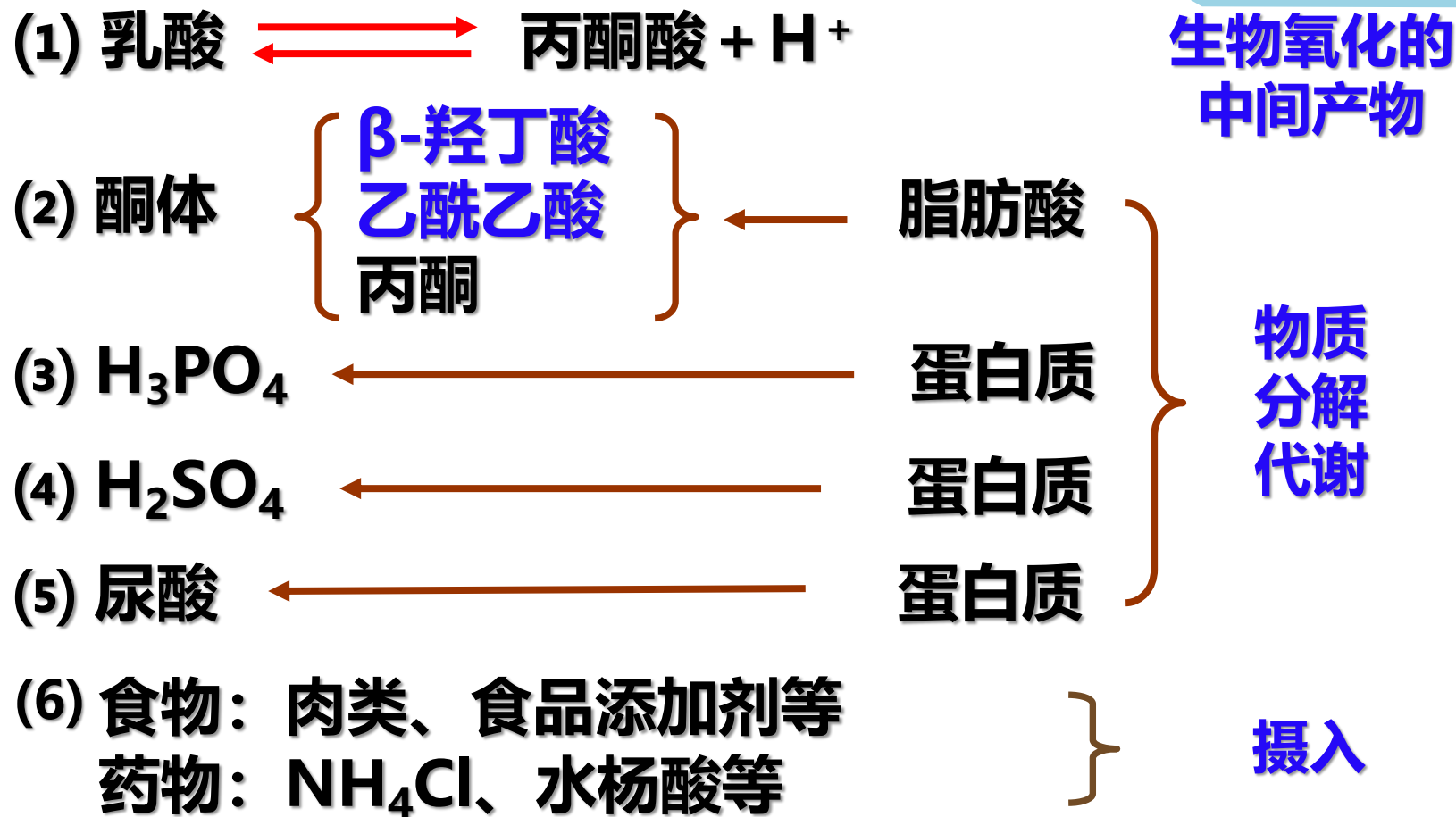
红细胞、肾小管上皮细胞、
胃肠粘膜上皮细胞、
肺泡上皮细胞

生物氧化的
终产物



2. 固定酸: 50-100mmol/d (肾性调节)

明德博学 行方智圆



体内固定酸的生成量与食物中蛋白质的摄入量成正比

三、体内碱的种类和来源

明德博学 行方智圆

1. HCO_3^- 体内最重要的碱

食物摄入：蔬菜、瓜果等

COONa

CHOH

CH_2

COOH

生物氧化

3O_2

$3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Na}^+ + \text{HCO}_3^-$

苹果酸钠的生物氧化

2. NH_3

氨基酸脱氨基

➤ 机体产酸多于产碱, 临床上酸中毒多于碱中毒

第二节

酸碱平衡的调节

 **血液的缓冲作用**

 **肺在酸碱平衡中的调节作用**

 **肾在酸碱平衡中的调节作用**

 **组织细胞在酸碱平衡中的调节作用**

一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

1. 缓冲的概念

向溶液中加入酸或碱时，溶液中的缓冲系统防止溶液中的pH发生显著变动的的作用。

一、血液的缓冲作用

2. 缓冲对的概念

由**弱酸**（缓冲酸）及其相对应的**缓冲碱**构成的具有缓冲酸或碱能力的缓冲对。

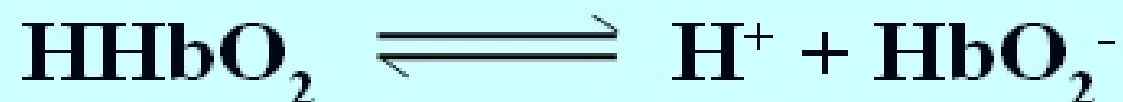
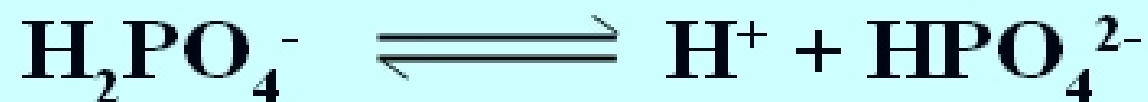
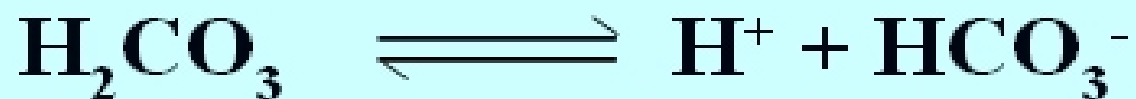


血液中的缓冲系统

明德博学 行方智圆

缓冲酸

缓冲碱



血液中各缓冲系统的含量与分布

明德博学 行方智圆

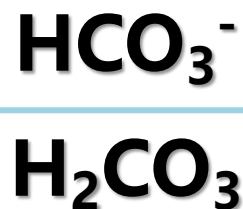
缓冲系统	占全血缓冲系统%
血浆 $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$	35
红细胞 $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$	18
$\text{Hb}^-/\text{H-Hb}$, $\text{HbO}_2^-/\text{H-HbO}_2$	35
Pr/HPr	7
$\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$	5

一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

3. 血液中的主要缓冲系统

3.1 碳酸氢盐缓冲系统



机体最重要的缓冲系统

- **含量大**，缓冲能力强大，占全血缓冲能力的53%；
- $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ 的比值（20:1）决定血液的pH；
- **开放体系**，肺及肾可对二者的浓度进行调节（后述），使其保持在20:1。
- 可缓冲所有固定酸，但不能缓冲挥发酸。

一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

Henderson-hasselbalch equation:

$$\text{血液pH} = \text{pKa} + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

pKa: 碳酸解
离常数的负对
数, 为常数。

↓ ↓

$$38^\circ\text{C时} \text{为} 6.1 + 1.3 = 7.4$$

正常时, 血液 $[\text{HCO}_3^-]$ 为24 mmol/L, $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 为1.2 mmol/L, 二者的比值为20:1, 血液的pH值正好为7.4。

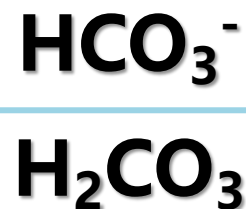
- 只要二者的比值不变, 就能保证血液的pH为7.4;
- 肺和肾的调节, 就是使二者的比值保持在20:1。

一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

3. 血液中的主要缓冲系统

3.1 碳酸氢盐缓冲系统



机体最重要的缓冲系统

- **含量大**，缓冲能力强大，占全血缓冲能力的53%；
- $\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$ 的比值（20:1）决定血液的pH；
- **开放体系**，肺及肾可对二者的浓度进行调节（后述），使其保持在20:1。
- 可缓冲所有固定酸，但不能缓冲挥发酸。

一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

3. 血液中的主要缓冲系统

3.1 碳酸氢盐缓冲系统 53%

3.2 磷酸盐缓冲系统 5% 细胞内外液,肾小管中

3.3 蛋白质缓冲系统 7% 血浆及细胞内

3.4 血红蛋白和氧合血红蛋白 35%

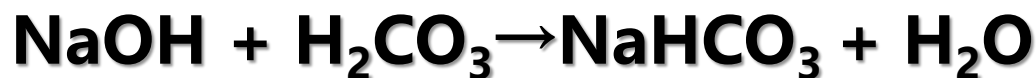
红细胞特有, 缓冲挥发酸

一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

4. 缓冲系统对酸碱的缓冲作用 — 中和反应

➤ 固定酸和碱可被所有的缓冲对缓冲



➤ 挥发酸只能被非碳酸氢盐缓冲对缓冲



一、血液的缓冲作用

明德博学 行方智圆

➤ 缓冲后的结果：强酸(碱) → 弱酸(碱)



这种变化如不能及时纠正， $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 的比值势必出现变化，进而引起血液pH的变化。肺和肾的作用就是分别对其进行调节，使其保持在20:1。

二、肺在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

1. 调节对象及目的: 血液中的 H_2CO_3

使 $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]=20:1$

2. 调节方式:

改变呼吸运动, 增加或减少 CO_2 的排出



将 H_2CO_3 称为影响酸碱平衡的呼吸性因素。

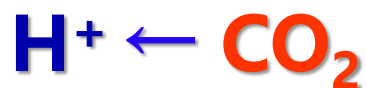
二、肺在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

3. 实现调节的手段

中枢化学感受器

延髓腹外侧浅表部位



感受PaCO₂变化

外周化学感受器

颈动脉体和主动脉体感受器

 **动脉血CO₂分压 (PaCO₂)**

 **pH或H⁺**

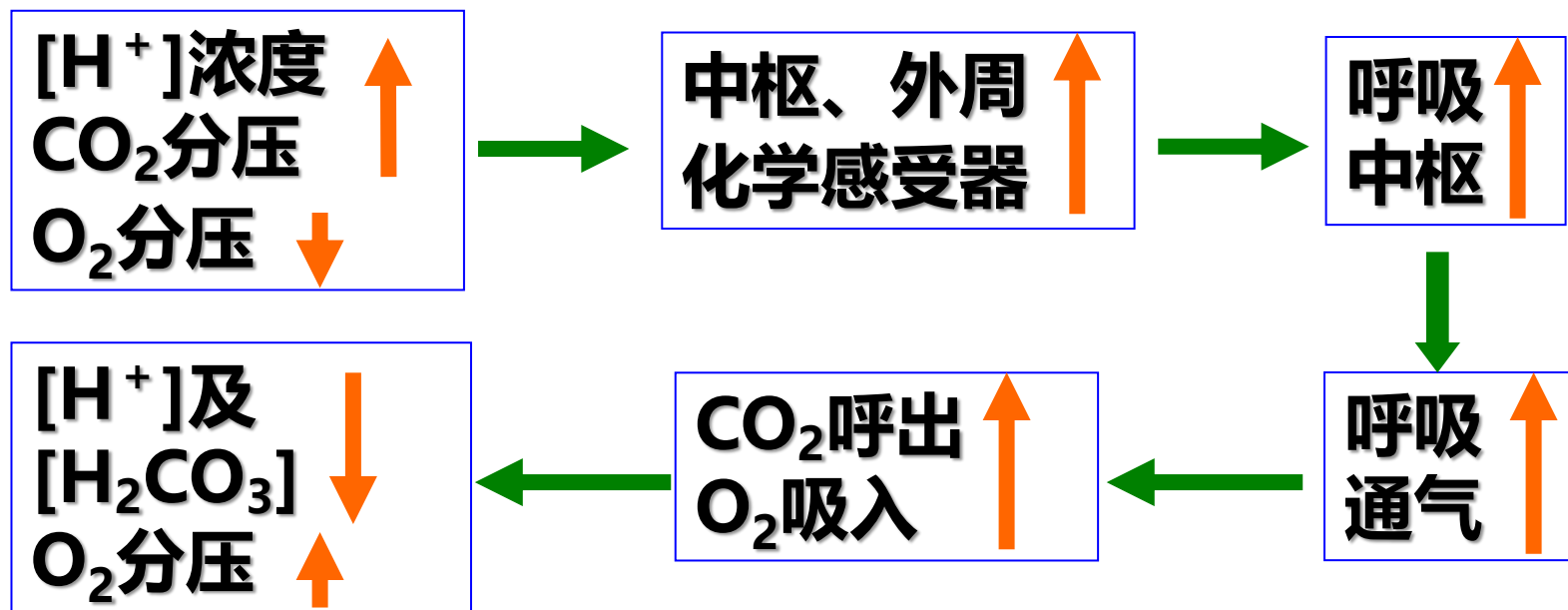
 **动脉血氧分压 (PaO₂)**

二、肺在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

4. 调节机制

中枢、外周化学感受器介导的反射性调节



三、肾在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

1. 调节对象和目的:

血液中的 HCO_3^- ，使血液中 $[\text{HCO}_3^-]$ / $[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 的比值保持在20:1。因此，将 HCO_3^- 称为影响酸碱平衡的代谢性因素。

三、肾在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

2. 调节的中心环节：排酸保碱

- 肾小管上皮细胞重吸收 HCO_3^- 入血；
- 肾小管上皮细胞排泌 H^+ 或 NH_4^+ 入肾小管腔。

三、肾在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

3. 调节的基本方式

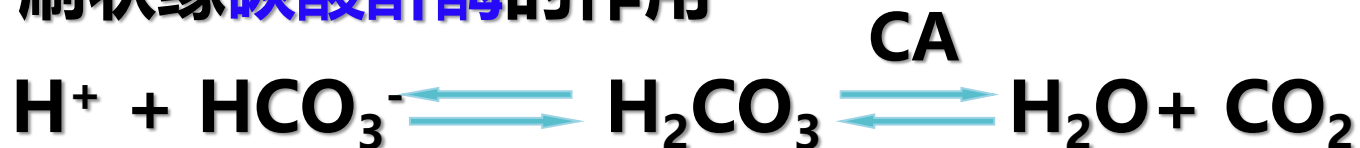
- 近曲小管泌 H^+ 和重吸收 NaHCO_3
- 远曲小管及集合管泌 H^+ 和重吸收 NaHCO_3
- NH_4^+ 的排出

三、肾在酸碱平衡中的调节作用

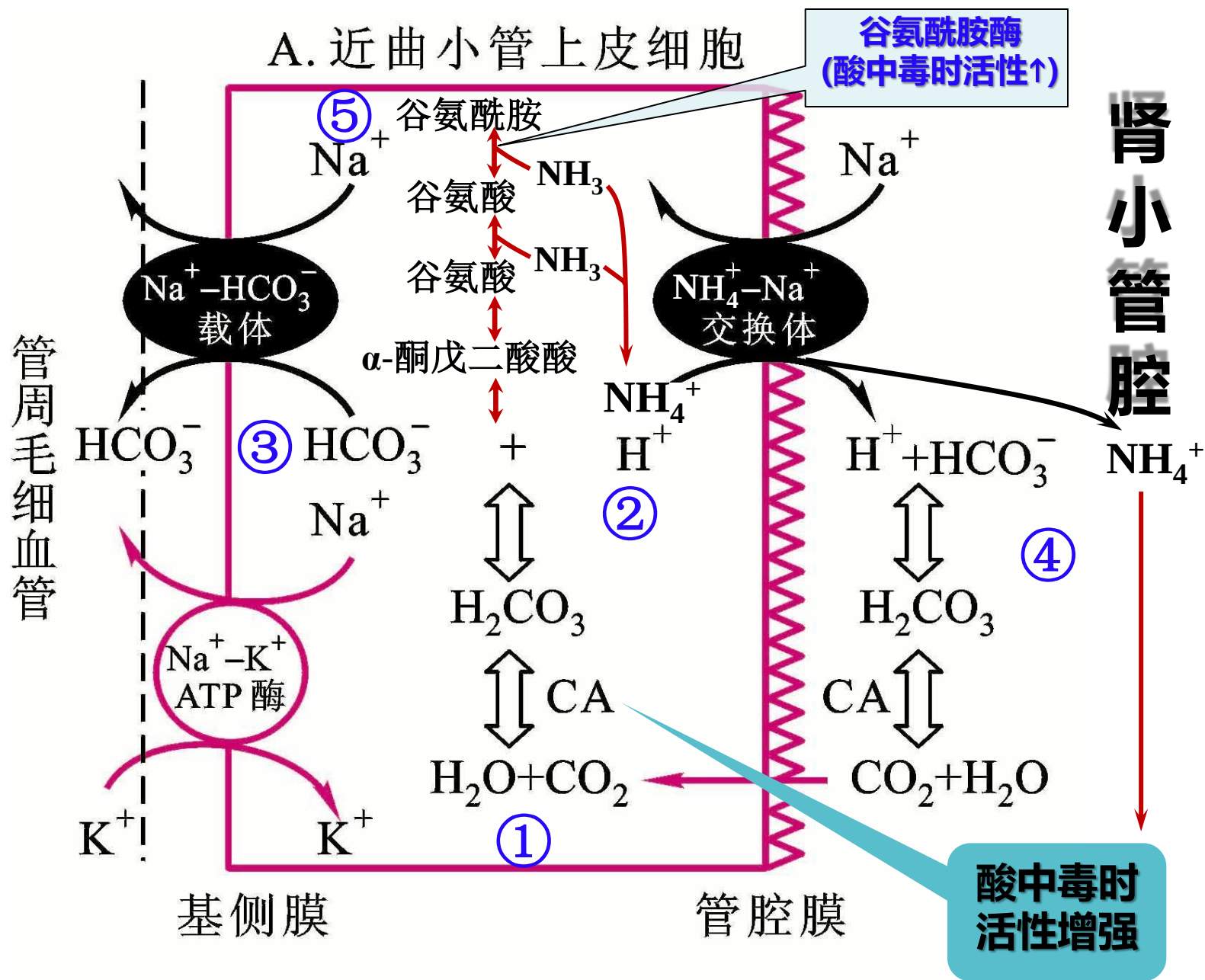
明德博学 行方智圆

3.1 近曲小管泌 H^+ 、泌 NH_4^+ 和对 NaHCO_3 的重吸收

- ① H^+ - Na^+ 交换, NH_4^+ - Na^+ 交换
- ② Na^+ - K^+ ATP酶提供能量
- ③ 基侧膜 Na^+ - HCO_3^- 载体同向转运入血
- ④ 刷状缘碳酸酐酶的作用



- ⑤ 近曲小管上皮细胞是产 NH_3 和 NH_4^+ 的主要场所(谷氨酰胺酶)。



三、肾在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

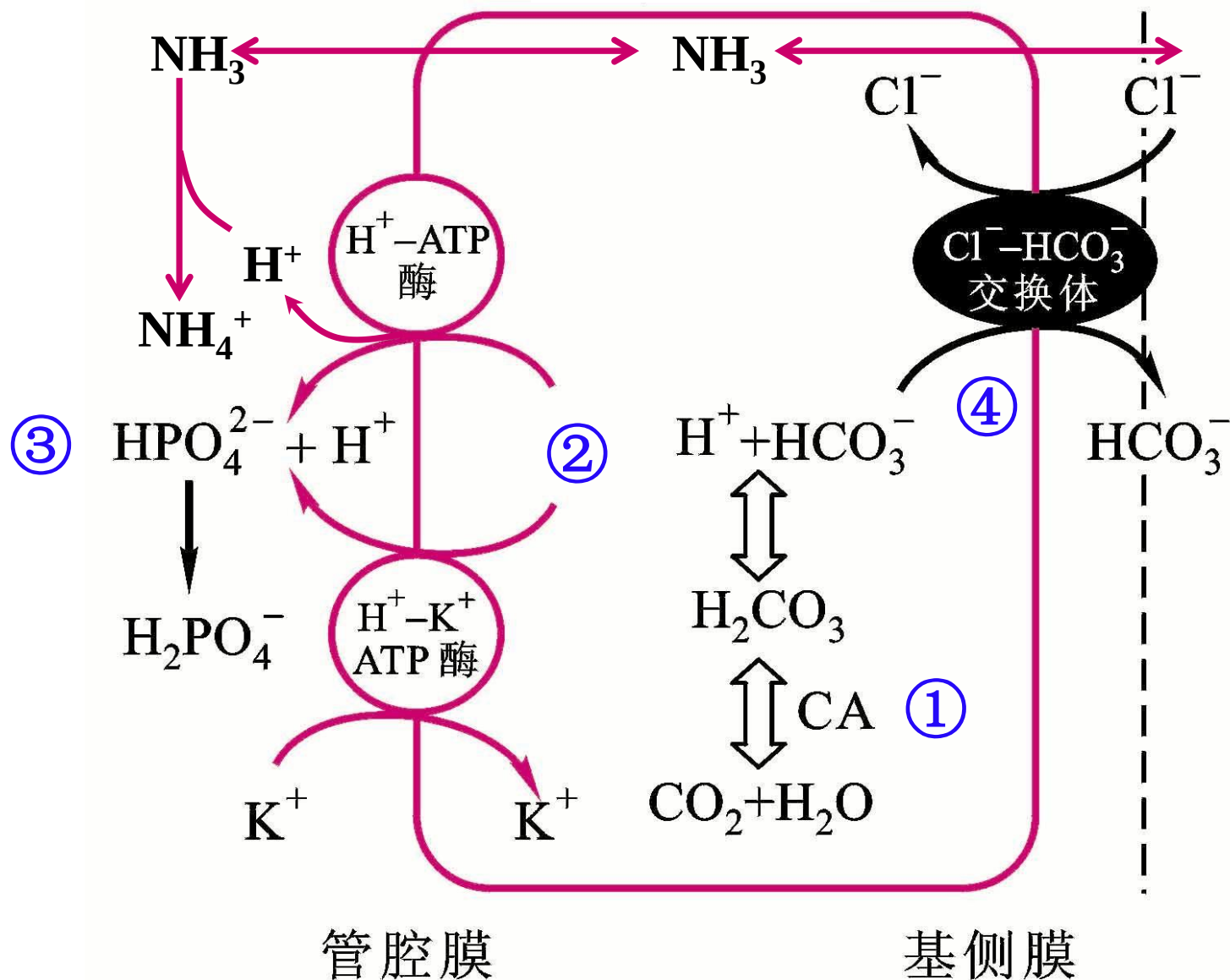
3.2 远曲小管及集合管泌 H^+ 、泌 NH_4^+ 和对 NaHCO_3 的重吸收

- ①在远曲小管和集合管，由闰细胞泌 H^+ ，无 Na^+ 的转运， H^+ -ATP酶或 H^+ - K^+ ATP酶供能， HCO_3^- 通过 Cl^- - HCO_3^- 交换重吸收。
- ② NH_3 主要通过弥散排出。
- ③ H^+ - Na^+ 交换。

远曲小管上皮细胞

肾小管腔

管周毛细血管



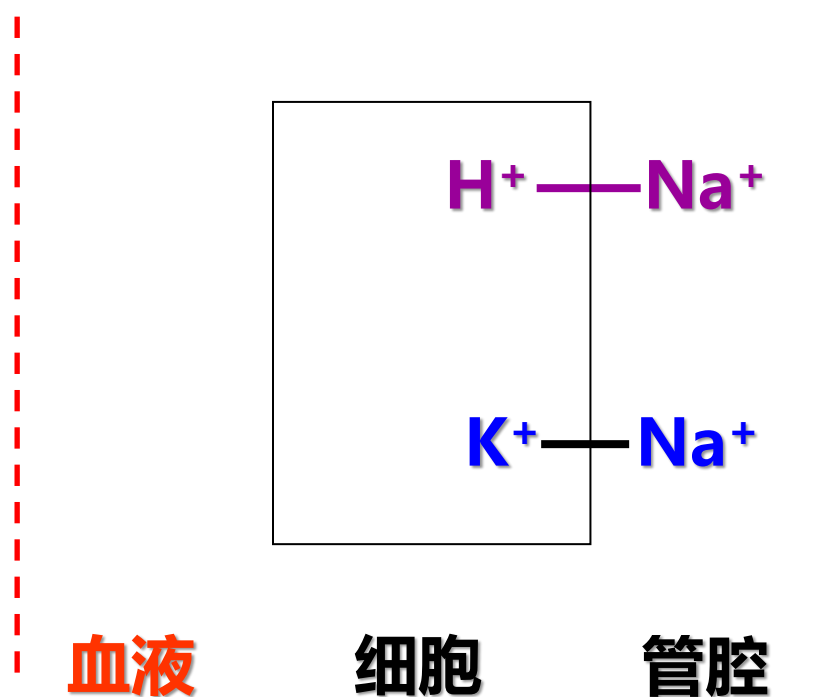
三、肾在酸碱平衡中的调节作用

明德博学 行方智圆

□ $K^+ - Na^+$ 交换与 $H^+ - Na^+$ 交换的竞争性抑制作用

在远端小管上皮细胞的管腔侧有此两种交换：

当 $K^+ - Na^+$ $\uparrow$ 时，则 $H^+ - Na^+$ $\downarrow$ ；反之亦然。

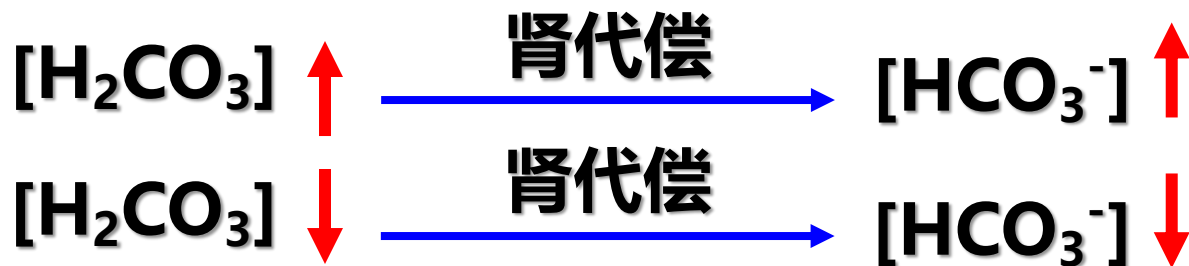


呼吸性调节和代谢性调节

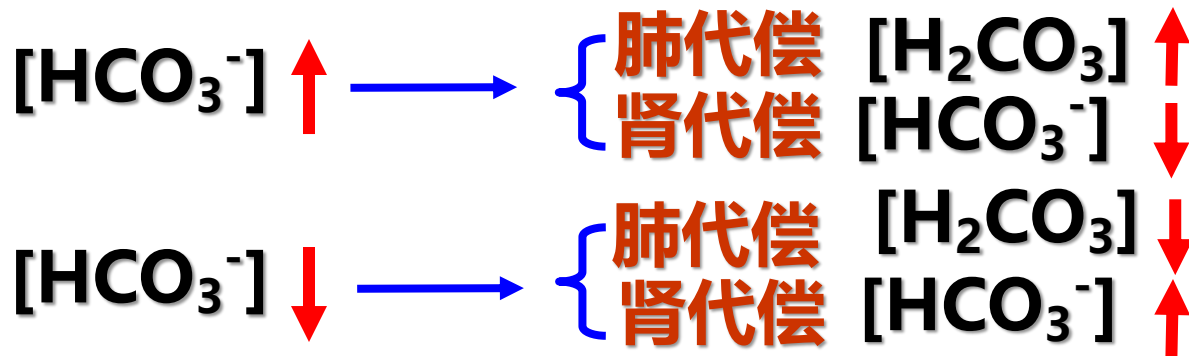
明德博学 行方智圆

互为代偿，共同调节

➤ 呼吸性因素变化后，代谢性因素代偿



➤ 代谢性因素变化后，呼吸性、代谢性因素均可代偿



四、组织细胞的调节

明德博学 行方智圆

➤ 细胞内外离子交换

$\text{H}^+ - \text{K}^+$ 交换

$\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ 交换

$\text{H}^+ - \text{Ca}^{2+}$ 交换

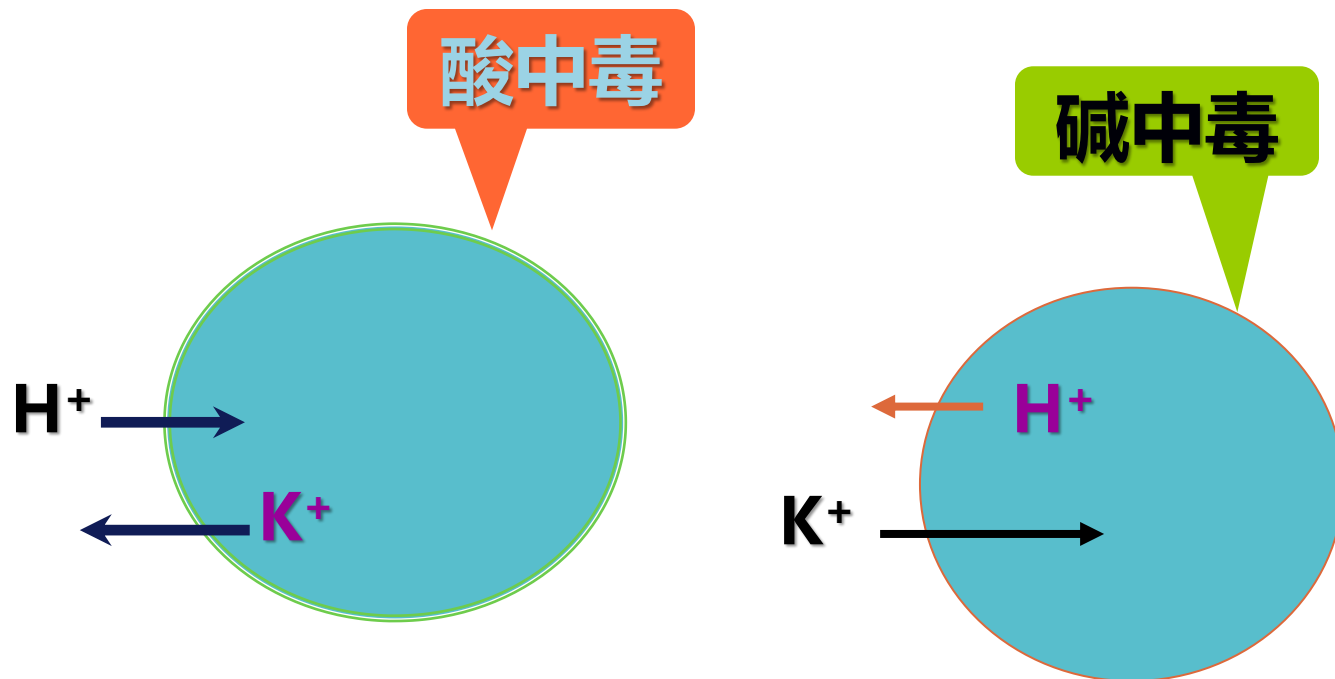
➤ 细胞内液缓冲

缓冲酸	缓冲碱
H_2CO_3	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$
H_2PO_4^-	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$
<u>HPr</u>	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Pr}^-$
<u>HHb</u>	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{Hb}^-$
HHbO_2	$\rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HbO}_2^-$

四、组织细胞的调节

明德博学 行方智圆

细胞的离子交换



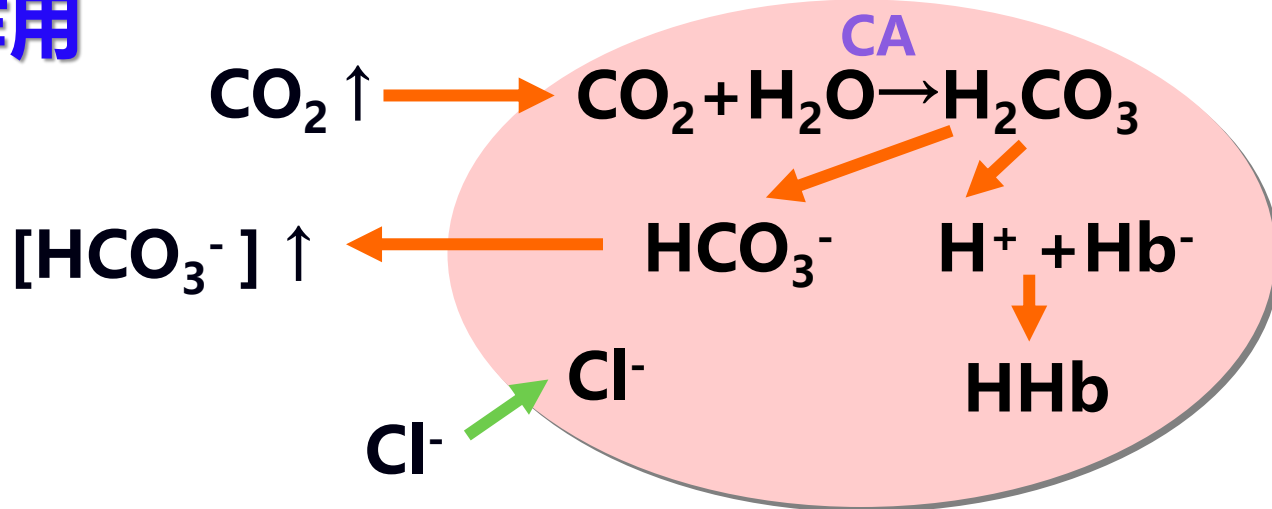
特点

缓冲能力强
引起血浆钾离子浓度变化

四、组织细胞的调节

明德博学 行方智圆

红细胞的缓冲作用



骨骼的缓冲作用



骨质脱钙、骨质软化

五、各调节系统的特点

明德博学 行方智圆

- **血液缓冲系统**：起效**迅速**，只能将强酸（碱）→弱酸(碱)，但不能改变酸(碱)性物质的总量；
- **组织细胞**：调节作用**强大**，需**3~4 h**才能显现，但可引起**血钾**浓度的异常；
- **呼吸调节**：调节作用强大，起效**快**，**30 min**可达高峰；调节血中 **H_2CO_3** 的浓度；
- **肾调节**：调节作用强大，但起效**慢**，于数小时方可发挥作用，**3~5d**达高峰；调节血中 **HCO_3^-** 的浓度。

第三节

酸碱平衡紊乱的类型及常用指标

**(Classification of acid-base disturbances
and laboratory tests)**



酸碱平衡紊乱的分类



判定酸碱平衡紊乱常用指标

一、酸碱平衡紊乱的类型

明德博学 行方智圆

$$\text{血液pH} = \text{pKa} + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

由此公式可知，血液酸碱平衡紊乱的基本特征是血液中 HCO_3^- 和 H_2CO_3 的异常变化。根据二者的变化情况，酸碱平衡紊乱可有以下几种类型：

一、酸碱平衡紊乱的类型

明德博学 行方智圆

根据pH变化

$\text{pH} \downarrow \longrightarrow$ 酸中毒

$\text{pH} \uparrow \longrightarrow$ 碱中毒

一、酸碱平衡紊乱的类型

明德博学 行方智圆

1. HCO_3^- 的变化 $\longrightarrow$ 代谢性酸碱平衡紊乱

HCO_3^- 的原发性 $\downarrow$ $\longrightarrow$ 代谢性酸中毒

HCO_3^- 的原发性 $\uparrow$ $\longrightarrow$ 代谢性碱中毒

2. H_2CO_3 的变化 $\longrightarrow$ 呼吸性酸碱平衡紊乱

H_2CO_3 的原发性 $\downarrow$ $\longrightarrow$ 呼吸性碱中毒

H_2CO_3 的原发性 $\uparrow$ $\longrightarrow$ 呼吸性酸中毒

一、酸碱平衡紊乱的类型

明德博学 行方智圆

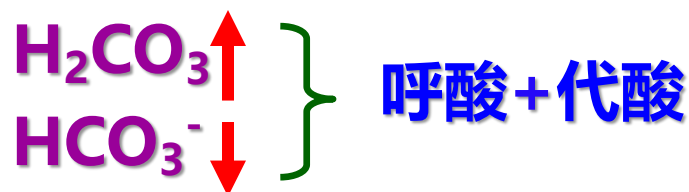
- **代偿性：** pH仍在正常范围之内，即
 $[\text{HCO}_3^-]/[\text{H}_2\text{CO}_3]$ 仍为**20:1**，但各自的**含量**出现**异常**变化。
- **失代偿性：** pH明显异常，超出正常范围。

一、酸碱平衡紊乱的类型

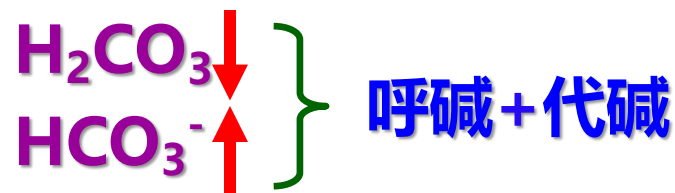
明德博学 行方智圆

3. HCO_3^- 和 H_2CO_3 均变: 混合型酸碱紊乱(P63)

3.1 酸碱一致型

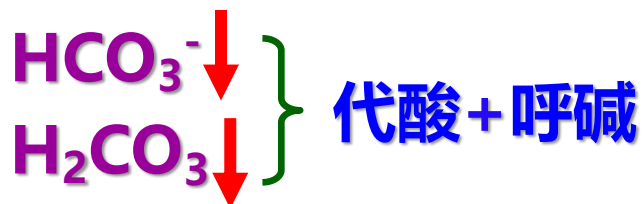


慢阻肺合并心衰

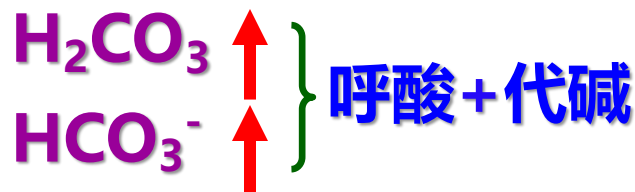


高热伴呕吐

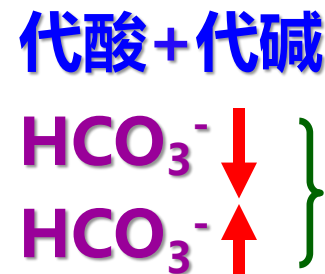
3.2 酸碱混合型



糖尿病伴有发热



慢阻肺伴有呕吐



糖尿病伴有呕吐

一、酸碱平衡紊乱的类型

明德博学 行方智圆

3.3 三重酸碱平衡紊乱

呼酸和呼碱不可能同时产生，因此三重性酸碱平衡紊乱只有两种类型：

➤ **呼酸 + 代酸 + 代碱**

II型呼衰合并呕吐或利尿剂应用不当

➤ **呼碱 + 代酸 + 代碱**

肾衰竭患者合并呕吐和发热

二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

- pH值
- 动脉血CO₂分压 (PaCO₂)
- 标准碳酸氢盐 and 实际碳酸氢盐(SB/AB)
- 缓冲碱(BB)
- 碱剩余(BE)
- 阴离子间隙(AG)

二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

1. 动脉血pH值 (7.35~7.45, 平均7.40)

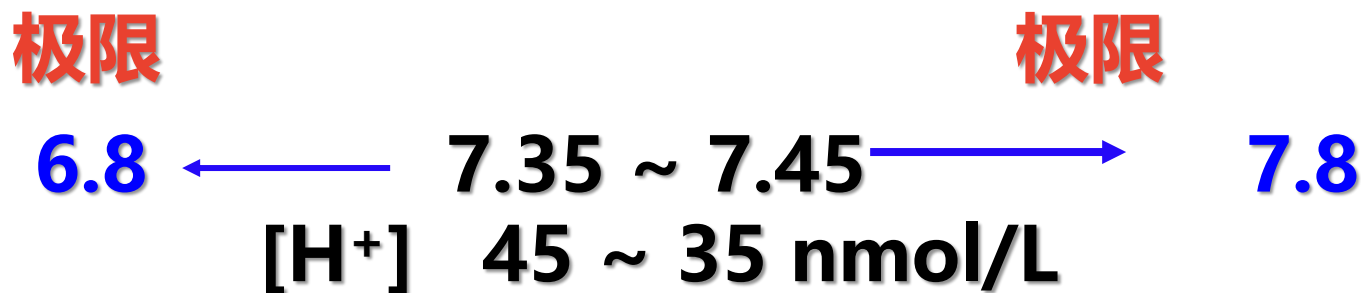
1.1 定义: 动脉血中 H^+ 浓度的负对数值

$$pH = pK_a + \lg \frac{[HCO_3^-]}{[H_2CO_3]} = pK_a + \lg \frac{[HCO_3^-]}{\alpha \cdot PaCO_2}$$

$$pH \propto \frac{[HCO_3^-]}{PaCO_2}$$

$$\begin{array}{ll} [HCO_3^-] \uparrow \text{ or } \downarrow & pH \uparrow \text{ or } \downarrow \\ PaCO_2 \uparrow \text{ or } \downarrow & pH \downarrow \text{ or } \uparrow \end{array}$$

1.2 pH的范围



1.3 意义

➤ 升高: 碱中毒

➤ 降低: 酸中毒

➤ 正常: ←

正常无酸碱平衡紊乱
代偿性酸碱平衡紊乱
混合型酸碱平衡紊乱

二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

2. PaCO_2 (动脉血 CO_2 分压)

2.1 定义：动脉血中物理溶解的 CO_2 分子所产生的张力。

2.2 正常值

33 ~ 46 mmHg	(平均：40mmHg)
(4.39~6.25kPa)	(平均5.32kPa)

2.3 意义：反映血液中 H_2CO_3 的浓度

反映呼吸对酸碱平衡的影响

← **|33 ~ 46mmHg|** →
(4.39 ~ 6.25kPa)

CO_2 呼出过多

正常

CO_2 潴留

呼碱或代偿后的代酸

呼酸或代偿后的代碱

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

$$\frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]}$$

二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

3. 实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate, AB) 标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate, SB)

3.1 AB 隔绝空气的动脉血，在实际 PaCO_2 、血氧饱和度和体温条件下，所测得的 HCO_3^- 含量。受代谢和呼吸两方面的影响。

3.2 SB 全血在标准条件下，即 PaCO_2 40mmHg， SO_2 100%，T 38°C测得的 HCO_3^- 的量。

二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

3. 实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate, AB) 标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate, SB)

3.3 正常值

正常人AB=SB, 范围: 22~27mmol/L

平均值: 24 mmol/L

3.4 意义

AB=SB, SB<正常, 见于代谢性酸中毒

AB=SB, SB>正常, 见于代谢性碱中毒



二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

- 3. 实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate, AB)
标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate, SB)

3.4 意义

两者的差值反应了呼吸因素对酸碱平衡的影响。

经标准条件的气体平衡后的变化

明德博学 行方智圆



当血样中 $\text{CO}_2 \downarrow$ (低于平衡气)时, 平衡后, 平衡气中的 CO_2 溶入血样中, 反应向**右**进行, 使 $\text{HCO}_3^- \uparrow$ 。
即 $\text{SB} > \text{AB}$ 。

当血样中 $\text{CO}_2 \uparrow$ (高于平衡气)时, 平衡后, 血样中过多的 CO_2 溢出, 反应向**左**进行, 使 $\text{HCO}_3^- \downarrow$ 。
即 $\text{SB} < \text{AB}$ 。

AB和SB的差值反应呼吸因素对酸碱平衡的影响。

二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

3. 实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate, AB) 标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate, SB)

3.4 意义

两者的差值反应了呼吸因素对酸碱平衡的影响。

如果 $AB > SB$, 说明 $PaCO_2 > 40\text{mmHg}$:

① $AB > SB$, SB正常: 急性呼吸酸 (未代偿) ;

② $AB > SB$, $SB >$ 正常: 代偿后的呼吸酸

代偿后的代碱

呼吸酸+代碱



二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

3. 实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate, AB) 标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate, SB)

3.4 意义

两者的差值反应了呼吸因素对酸碱平衡的影响。

如果 $AB < SB$, 说明 $PaCO_2 < 40\text{mmHg}$:

① $AB < SB$, SB正常: 急性呼碱 (未代偿);

② $AB < SB$, SB < 正常: 代偿后的呼碱
代偿后的代酸
呼碱+代酸



Thanks