

酸碱平衡和酸碱平衡紊乱

(Acid-base balance and imbalance)

病理生理学教研室

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

极限

极限

6.8 ← **7.35 ~ 7.45** → **7.8**
[H⁺] 45 ~ 35 nmol/L

1.3 意义

- **升高:** 失代偿性碱中毒
- **降低:** 失代偿性酸中毒
- **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

- 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

2. PaCO_2 (动脉血 CO_2 分压)

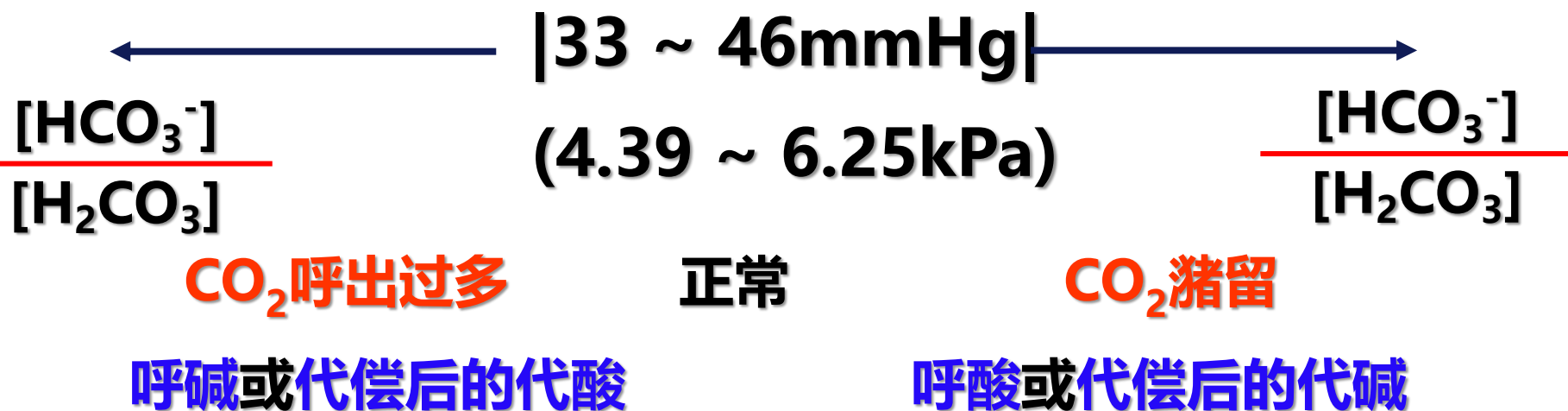
2.1 定义：动脉血中物理溶解的 CO_2 分子所产生的张力。

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



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 $AB < SB$, $SB < \text{正常}$: 代偿后的呼碱

代偿后的代酸

呼碱+代酸



二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

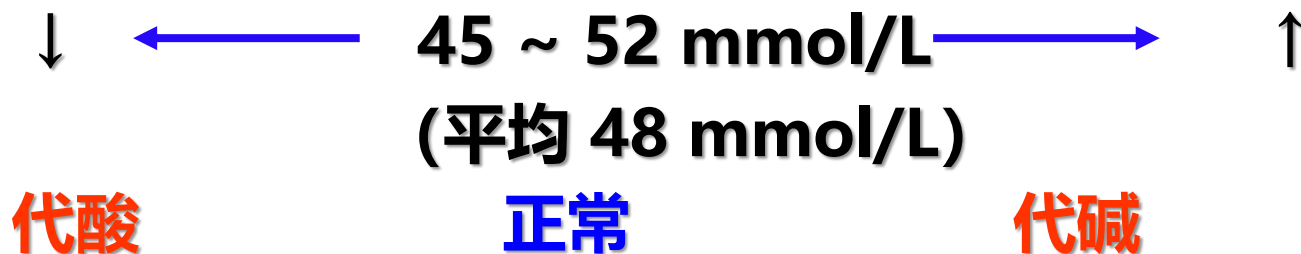
明德博学 行方智圆

4. 缓冲碱 (buffer base, BB)

4.1 定义：标准条件下，血液中一切具有缓冲作用的负离子的总和。包括血浆和红细胞中的 HCO_3^- 、 Hb^- 、 HbO_2^- 、 Pr^- 和 HPO_4^{2-} 。

4.2 正常值：45 ~ 52 mmol/L (平均48 mmol/L)

4.3 意义：反映代谢性因素的指标。



二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

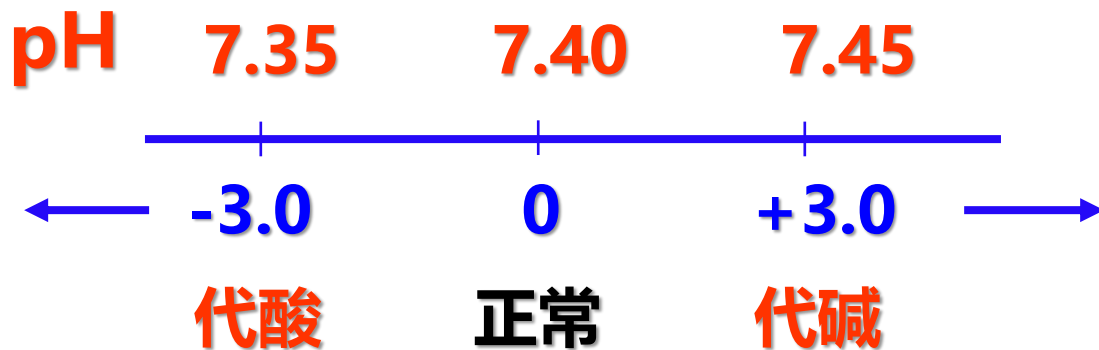
明德博学 行方智圆

5. 碱剩余 (base excess, BE)

5.1 定义：标准条件下(PaCO_2 为40mmHg, 血温为38°C, 血氧饱和度为100%), 用酸或碱滴定全血标本至pH=7.40时所需的酸或碱的量 (mmol/L)。

5.2 正常值： -3.0 ~ +3.0 mmol/L

5.3 意义：



二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

6. 阴离子间隙(anion gap, AG)(10~14 (12) mmol/L)

AG是指血浆中**未测定阴离子** (undetermined anion, UA) 与**未测定阳离子** (undetermined cation, UC) 的差值。反映血浆中**固定酸根**的含量。

阴离子 { HCO_3^- , Cl^- : 已测定的阴离子
除上2者之外的阴离子: 未测定的阴离子, UA

阳离子 { Na^+ : 已测定的阳离子
除 Na^+ 之外: 未测定的阳离子, UC

根据电中性定律：

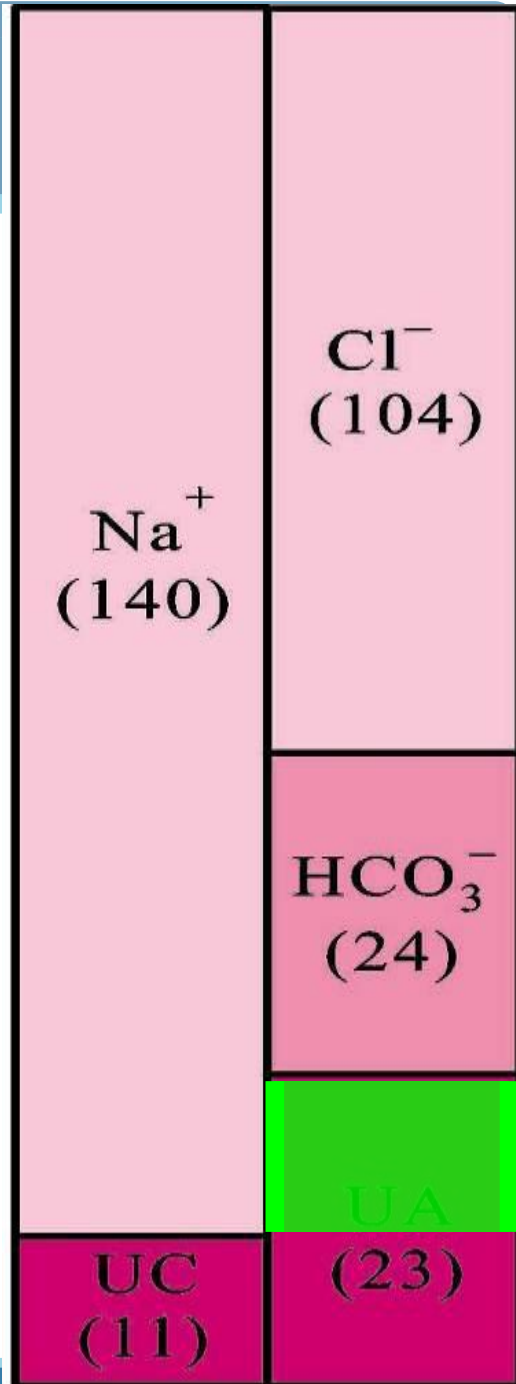
$$\text{Na}^+ + \text{UC} = (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-) + \text{UA}$$

$$\text{AG} = \text{UA} - \text{UC}$$

$$= \text{Na}^+ - (\text{HCO}_3^- + \text{Cl}^-)$$

$$= 12 \pm 2 \text{ mmol/L}$$

AG↑ { 肾功能减退 → 酸性产物↑
乳酸血症
酮血症
外源性阴离子存积（甲醇中毒、
水杨酸中毒）



二、判定酸碱平衡紊乱的常用指标

明德博学 行方智圆

AG在酸碱平衡紊乱判定中的意义:

判定体内有无**固定酸根**增多。

AG增大，表明体内固定酸根增多。

➤ 区别不同类型的代酸，了解代酸的原因

体内固定酸生成增多所致？AG增大型

HCO_3^- 丢失过多所致？AG正常型

➤ 帮助三重性酸碱平衡紊乱的诊断

确定**有无代酸**(有无固定酸增多)

常用指标的意义

明德博学 行方智圆

- pH ← 酸碱度
- PaCO₂ } ← 呼吸性因素
- AB }
- SB } ← 代谢性因素
- BB }
- BE }
- AG ← 代谢性酸中毒

第四节

单纯型酸碱平衡紊乱

(Simple acid-base disturbance)

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

	碱, 代谢性	酸, 呼吸性
● 代谢性酸中毒	$[\text{HCO}_3^-] \downarrow *$	
● 代谢性碱中毒	$[\text{HCO}_3^-] \uparrow$	
● 呼吸性酸中毒	$[\text{H}_2\text{CO}_3] \uparrow *$	
● 呼吸性碱中毒	$[\text{H}_2\text{CO}_3] \downarrow$	

- | | 碱, 代谢性 | 酸, 呼吸性 |
|----------|--------------------------------------|--------|
| ● 代谢性酸中毒 | $[\text{HCO}_3^-] \downarrow *$ | |
| ● 代谢性碱中毒 | $[\text{HCO}_3^-] \uparrow$ | |
| ● 呼吸性酸中毒 | $[\text{H}_2\text{CO}_3] \uparrow *$ | |
| ● 呼吸性碱中毒 | $[\text{H}_2\text{CO}_3] \downarrow$ | |

一、代谢性酸中毒 (Metabolic acidosis)

- (一) 定义 (concept)**
- (二) 原因 (causes)**
- (三) 分类 (classification)**
- (四) 机体的代偿 (compensation)**
- (五) 血气参数 (blood-gas parameters)**
- (六) 对机体的影响 (effects on organism)**
- (七) 防治原则 (principle of treatment)**

(一) 定义

明德博学 行方智圆

【代谢性酸中毒】(Metabolic acidosis)

指**固定酸增多**和（或） **HCO_3^- 丢失**引起的**pH下降**，以血浆 **HCO_3^- 原发性减少**为特征。

(二) 原因与机制

1. 肾脏排酸保碱功能障碍

➤ **肾衰竭：**不能排泄固定酸

➤ **肾小管功能障碍**

I 型肾小管性酸中毒：远曲小管泌H⁺障碍

II型肾小管性酸中毒：近曲小管重吸收HCO₃⁻减少

➤ **应用碳酸酐酶抑制剂**



肾小管性酸中毒:

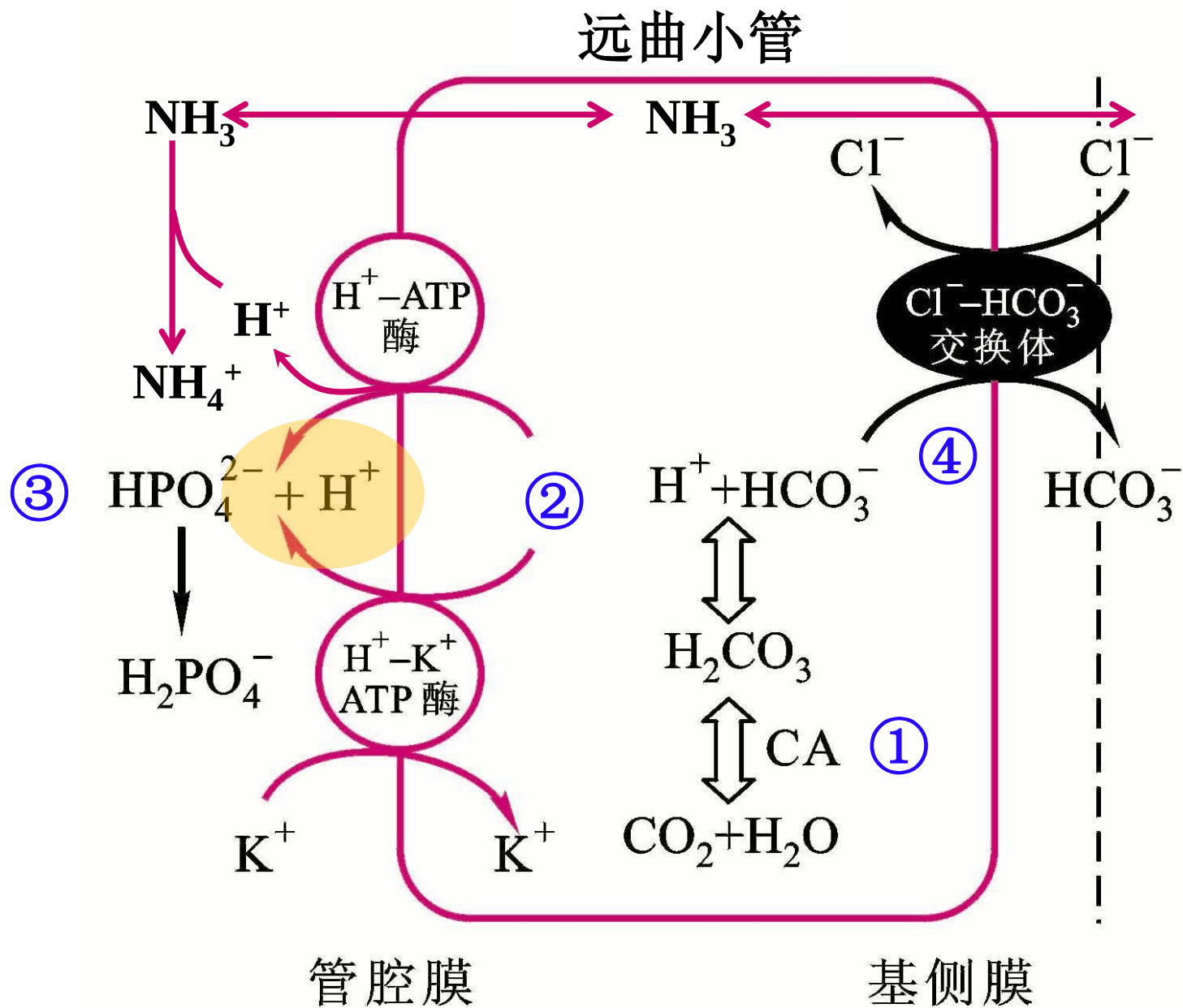
(renal tubular acidosis, RTA)

是指一种以**肾小管排酸障碍**为主的疾病，而**肾小球功能**一般正常。**严重酸中毒时**，尿液却呈**碱性或中性**。常见两种类型:

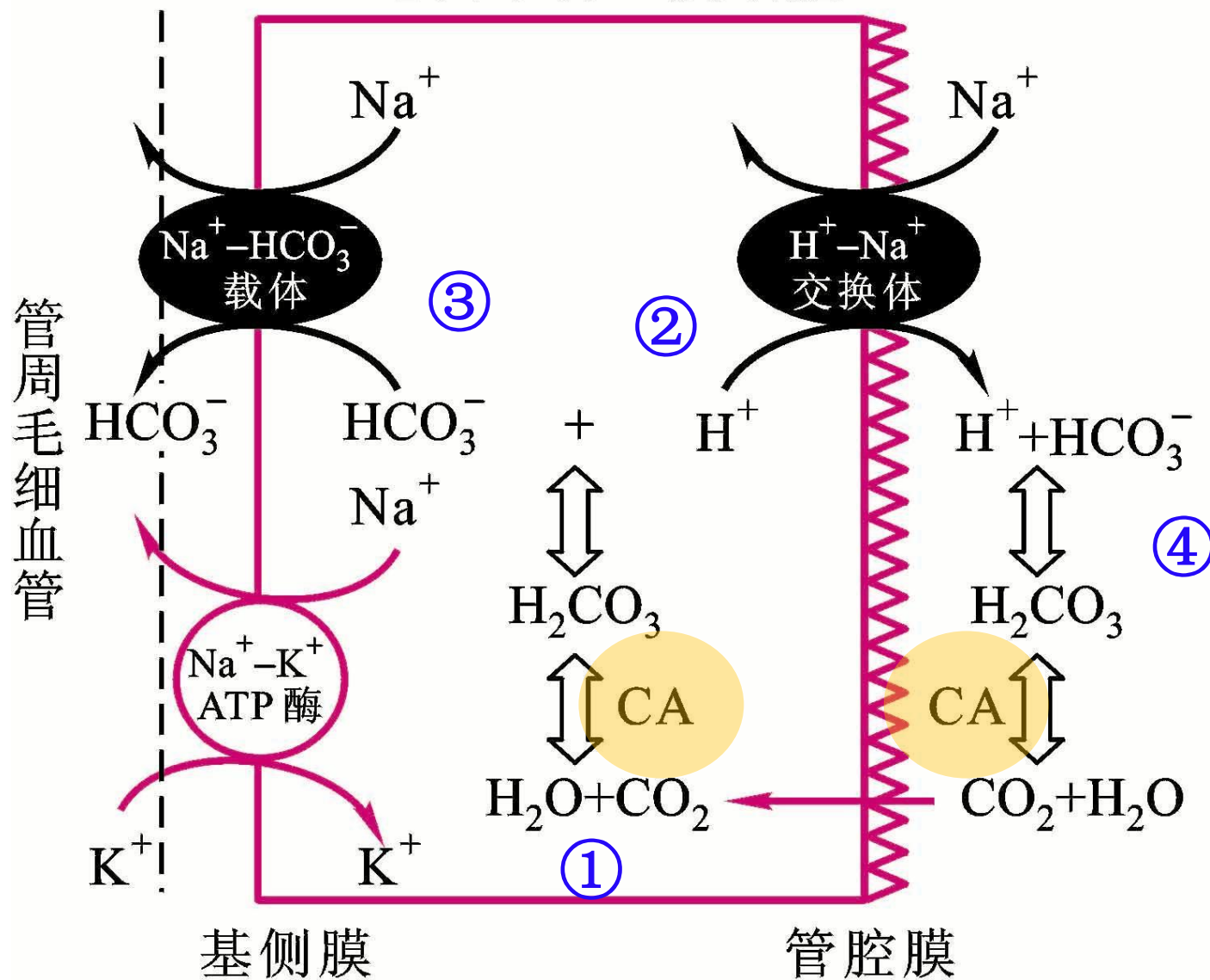
I型（远端）肾小管性酸中毒：集合管主动泌 H^+ 功能↓，造成 H^+ 在体内蓄积，导致血浆 HCO_3^- ↓。

II型（近端）肾小管性酸中毒：碳酸酐酶活性↓，使近曲小管上皮细胞重吸收 HCO_3^- ↓而随尿排出。

肾小管腔



A. 近曲小管上皮细胞



(二) 原因与机制

明德博学 行方智圆

1. 肾脏排酸保碱功能障碍

➤ **肾衰竭：**不能排泄固定酸

➤ **肾小管功能障碍**

I 型肾小管性酸中毒：远曲小管泌H⁺障碍

II型肾小管性酸中毒：近曲小管重吸收HCO₃⁻减少

➤ **应用碳酸酐酶抑制剂**



2. HCO_3^- 直接丢失过多

- 严重腹泻、肠道瘘管或肠道引流
- 大面积烧伤血浆渗出

3. 代谢功能障碍

- 乳酸酸中毒：缺氧、组织低灌流，如休克、心搏骤停、低氧血症等
- 酮症酸中毒：脂肪被大量动员，如糖尿病、严重饥饿、酒精中毒等

4. 其他原因

➤ 外源性固定酸摄入过多， HCO_3^- 缓冲消耗：

- 水杨酸中毒（阿司匹林）
- 含氯的成酸性药物摄入过多



尿素

➤ 高钾血症 { 细胞内外离子交换；
肾小管排钾多，排氢少，重吸收 HCO_3^- 减少。

➤ 血液稀释，使 HCO_3^- 浓度下降（快速大量输入NS）

(三) 分类

明德博学 行方智圆

- **AG增大型代谢性酸中毒**
- **AG正常型代谢性酸中毒**

1. AG增大型代酸

(metabolic acidosis with increased anion gap)

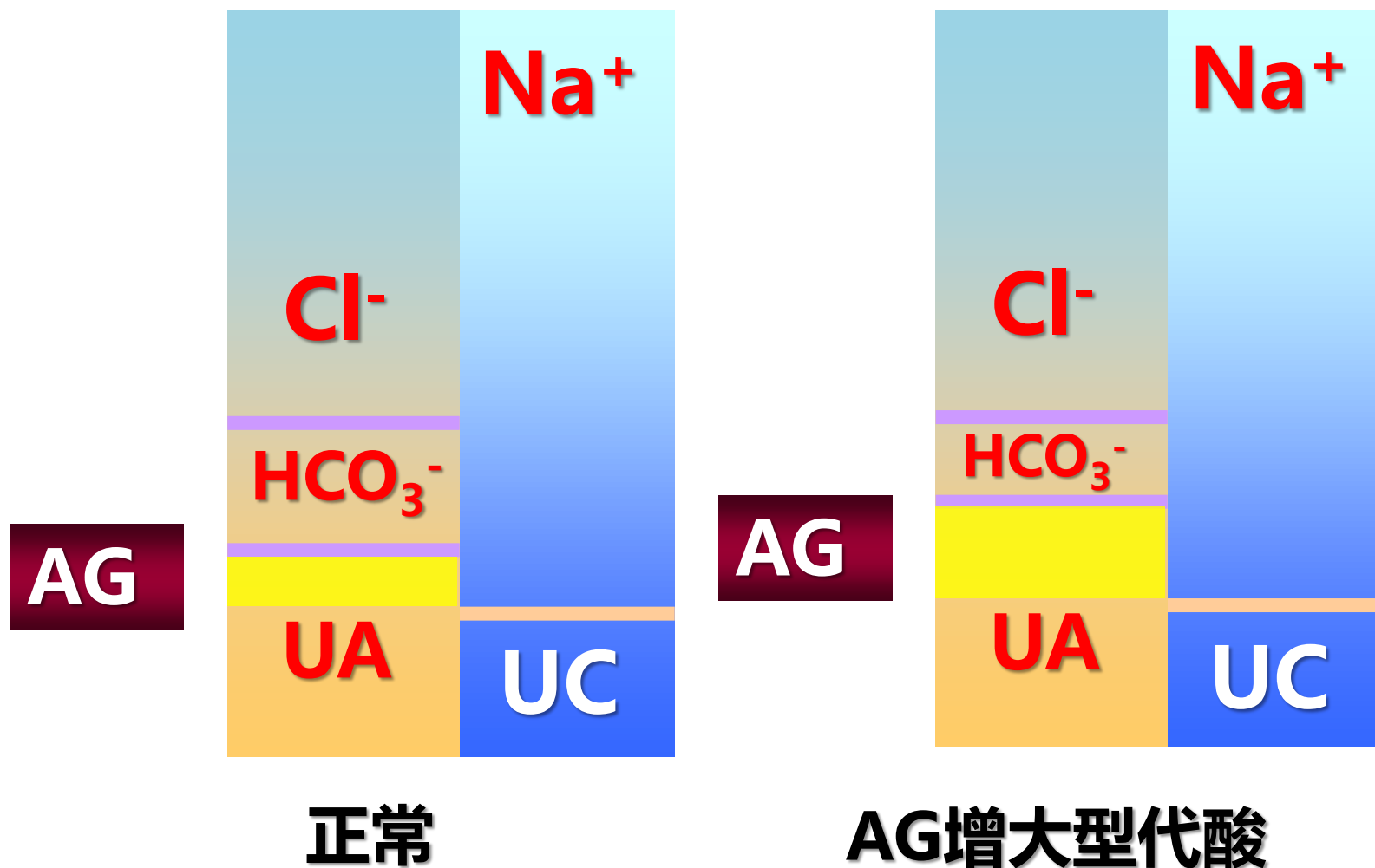
指血中不含氯的**任何固定酸**的浓度升高的
代谢性酸中毒。

- **特点**

- 血浆 HCO_3^- 减少
- AG增大 (固定酸增加)
- 血 Cl^- 含量正常

1. AG增大型代酸

明德博学 行方智圆



1. AG增大型代酸

- **原因 (causes)**

- **入酸增多：**摄入水杨酸类药（固定酸）过多
- **产酸增多：**乳酸酸中毒（lactic acidosis）
酮症酸中毒（ketoacidosis）
- **排酸减少：**急、慢性肾衰排泄固定酸减少

2. AG正常型代酸

(metabolic acidosis with normal anion gap)

指 HCO_3^- 浓度降低，同时伴有 Cl^- 浓度代偿性增高，呈AG正常型或高血氯性代谢性酸中毒。

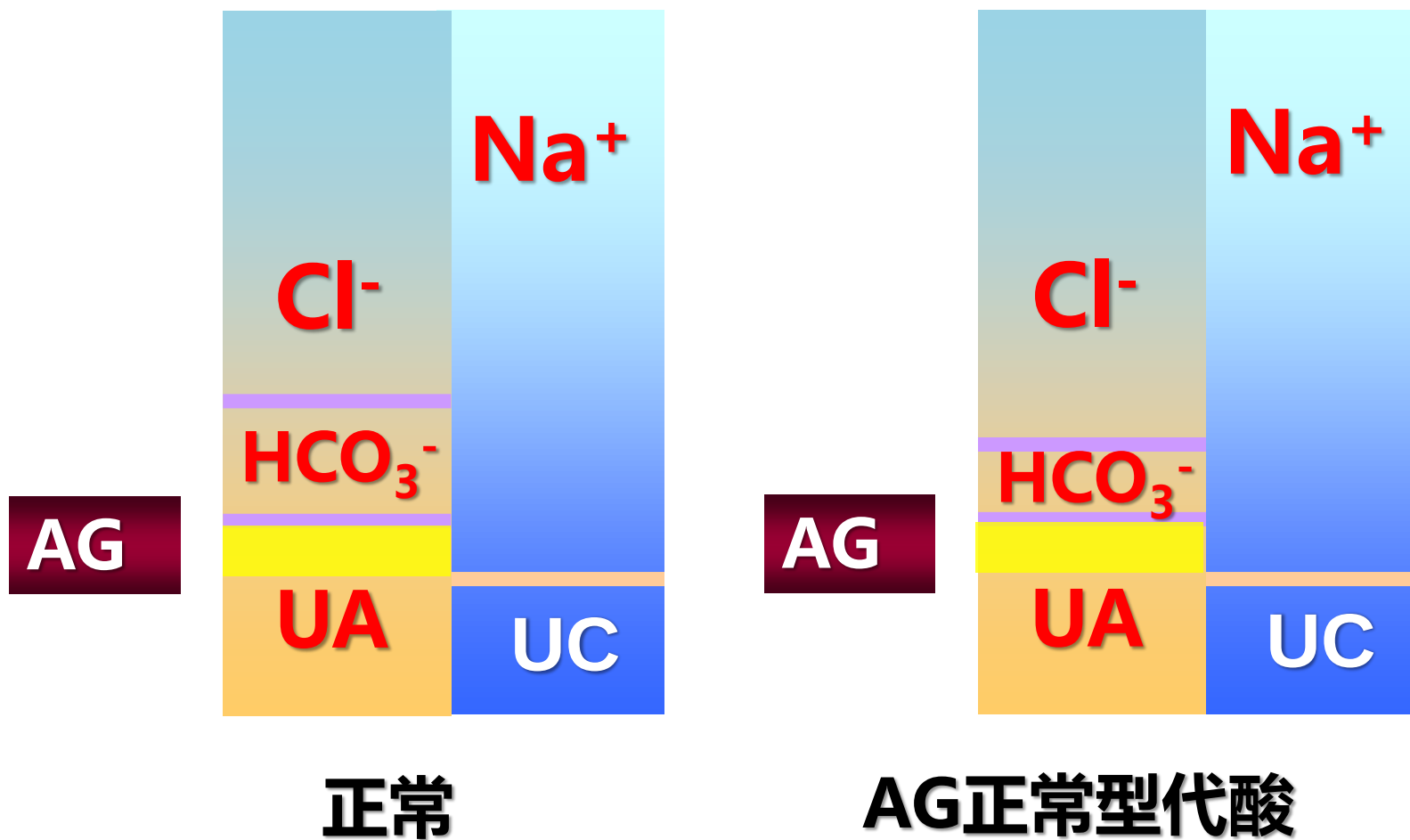
- 特点

- 血浆 HCO_3^- 减少

- AG正常

- 血 Cl^- 含量增加

2. AG正常型代酸



2. AG正常型代酸

- 原因 (causes)

- 入酸增多：摄入含氯酸性药过多
- HCO_3^- 丢失：严重腹泻、小肠及胆道瘘管、肠吸引术等
- 排酸减少：急、慢性肾衰泌 H^+ 减少（轻中度）、使用碳酸酐酶抑制剂
- 其他：高钾血症、稀释性酸中毒

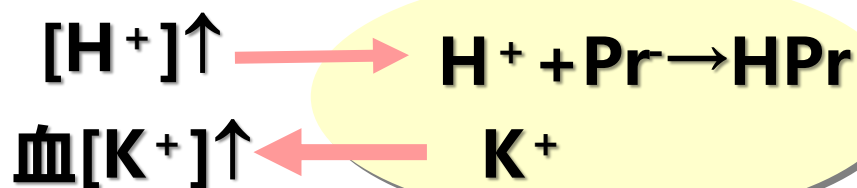
(四) 机体的代偿调节

明德博学 行方智圆

1. 血液的缓冲

- $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 其它缓冲对作用

2. 细胞内外离子交换和细胞内液缓冲



酸中毒 $\rightarrow$ 高血钾

3. 肺的代偿

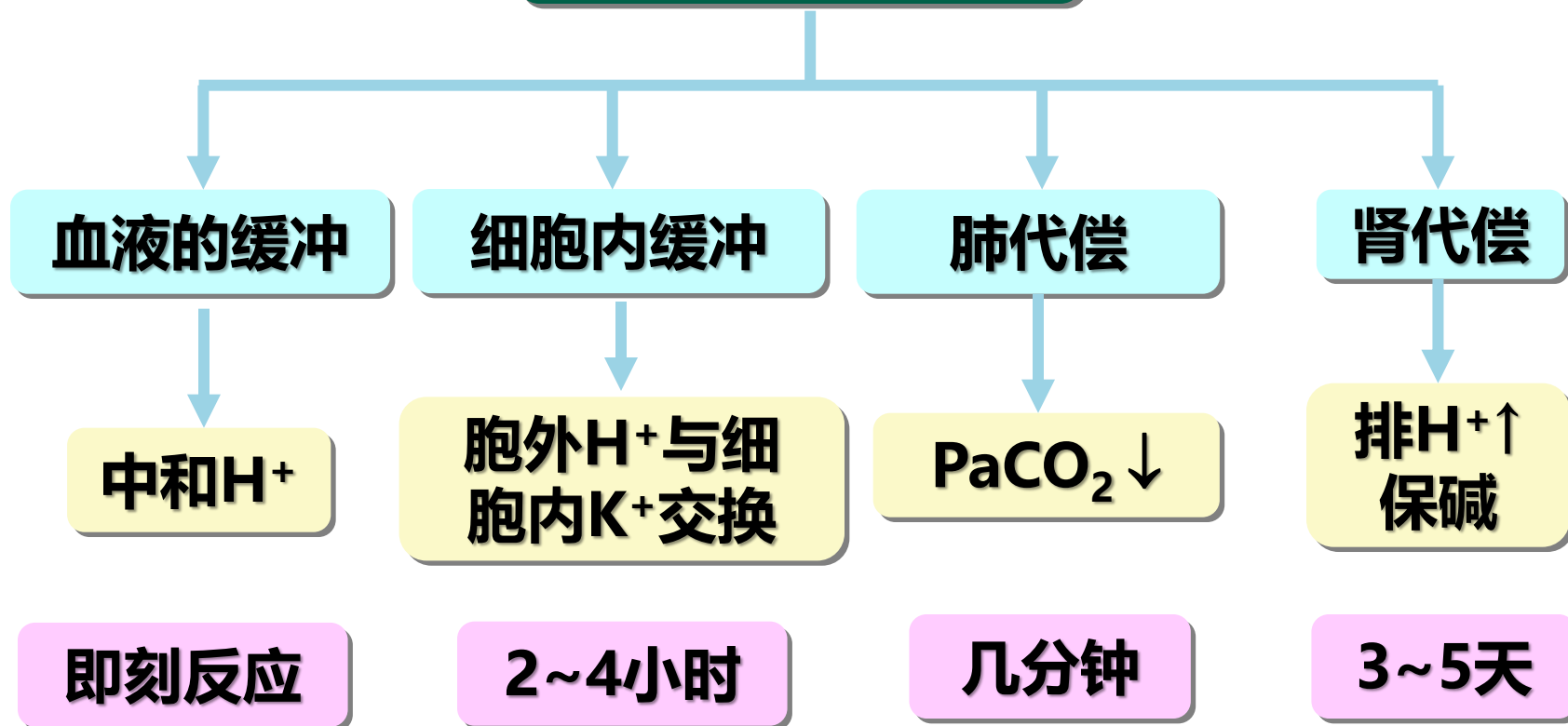
$[H^+] \uparrow \rightarrow$ 刺激外周化学感受器 $\rightarrow$ 反射性兴奋呼吸中枢 $\rightarrow$ 肺通气量 $\uparrow \rightarrow CO_2$ 排出 $\uparrow \rightarrow$ 血浆 $H_2CO_3 \downarrow \rightarrow$ 维持pH相对恒定

4. 肾的代偿（肾外原因时进行代偿）

碳酸酐酶和**谷氨酰胺酶**活性增强，肾的排酸保碱能力明显增强。表现为：泌 $H^+ \uparrow$ ，泌 $NH_4^+ \uparrow$ ，重吸收 $HCO_3^- \uparrow$ ，血浆中 HCO_3^- 趋向正常，尿呈酸性。

机体对代谢性酸中毒的代偿反应

代谢性酸中毒



肺的代偿是主要的代偿调节方式

代偿极限 $\text{PaCO}_2 = 10 \text{ mmHg}$

代偿公式：

$$\Delta \text{PaCO}_2 = 1.2 \times \Delta [\text{HCO}_3^-] \pm 2$$

$$\text{或 } \text{PaCO}_2 = 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$$

HCO_3^- 的单位为 mmol/L, PaCO_2 单位为 mmHg 。

肺的代偿调节

代偿公式：预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$

判断：

如**实测** PaCO_2 在预测 PaCO_2 范围之内，**单纯型代酸**；

如**实测值** > 预测值的最大值， CO_2 潴留，**代酸+呼酸**；

如**实测值** < 预测值的最小值， CO_2 排出过多，**代酸+呼碱**。

例题

明德博学 行方智圆

代偿公式：预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$

1.1 糖尿病患者：

pH 7.32, HCO_3^- 15mmol/L, PaCO_2 30mmHg;

预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times 15 + 8 \pm 2 = 30.5 \pm 2 = 28.5 \sim 32.5$

实际 $\text{PaCO}_2 = 30$, 在(28.5~32.5)范围内, 单纯代酸

实测与预测相符, 单纯型代酸。

实测 > 预测, CO_2 潴留, 代酸+呼酸。

实测 < 预测, CO_2 排出过多, 代酸+呼碱

代偿公式：预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$

1.2 休克合并肺炎患者：

pH 7.26, HCO_3^- 16mmol/L, PaCO_2 37mmHg;

预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times 16 + 8 \pm 2 = 32 \pm 2 = 30 \sim 34$

实际 $\text{PaCO}_2 = 37$ ，超过预测最高值34，为代酸+呼酸

实测与预测相符，单纯型代酸。

实测 > 预测， CO_2 潴留，代酸+呼酸。

实测 < 预测， CO_2 排出过多，代酸+呼碱

代偿公式：预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2$

1.3 肾炎合并发热患者：

pH 7.39, HCO_3^- 14mmol/L, PaCO_2 24mmHg;

预测 $\text{PaCO}_2 = 1.5 \times 14 + 8 \pm 2 = 29 \pm 2 = 27 \sim 31$

实际 $\text{PaCO}_2 = 24$ ，低于预测最低值27，为代酸+呼碱

实测与预测相符，单纯型代酸。

实测 > 预测， CO_2 潴留，代酸+呼酸。

实测 < 预测， CO_2 排出过多，代酸+呼碱

(五) 实验室常用指标的变化

明德博学 行方智圆

原发性: pH ↓ SB ↓ AB ↓
BB ↓ BE负值 ↑

继发性: PaCO₂ ↓ AB < SB



反应向左进行, HCO_3^- (SB) ↑

(六) 对机体的影响

明德博学 行方智圆

1. 心血管系统

➤ 室性心律失常：高血钾引起

➤ 心肌收缩力降低：抑制兴奋-收缩耦联

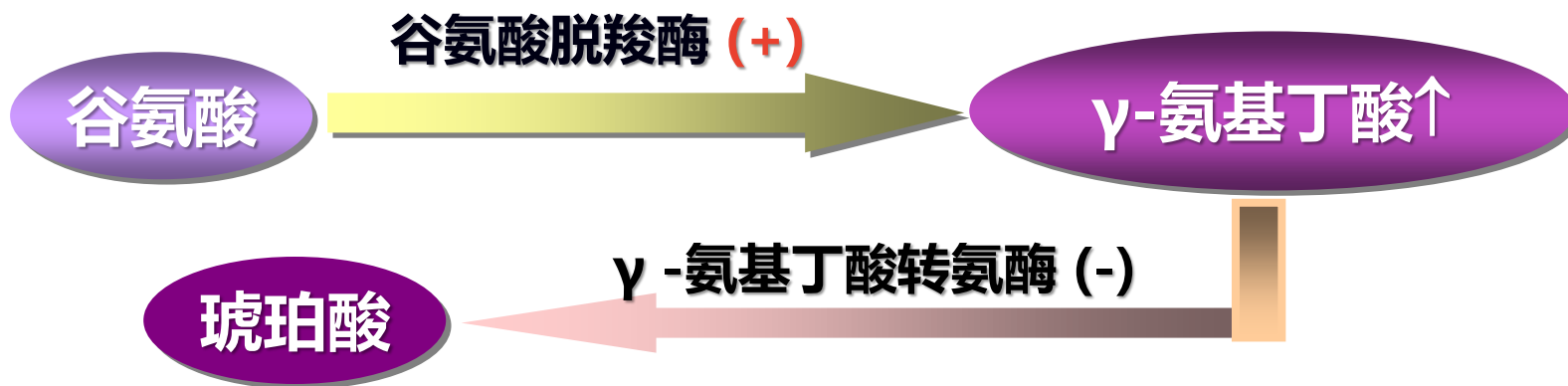
$H^+ \uparrow$ { 竞争性抑制 Ca^{2+} 与肌钙蛋白结合;
减少 Ca^{2+} 内流 (酸中毒 $\rightarrow$ 高血钾 $\rightarrow$ 抑制 Ca^{2+} 内流);
抑制心肌细胞肌浆网(SR)释放 Ca^{2+} ;

➤ 血管对儿茶酚胺的反应性降低

2. 中枢神经系统

主要为抑制性表现：嗜睡、意识障碍、昏迷

- 氧化磷酸化障碍 $\rightarrow$ ATP $\downarrow$ $\rightarrow$ 脑能量生成 $\downarrow$
- 神经递质代谢障碍： γ -氨基丁酸 $\uparrow$

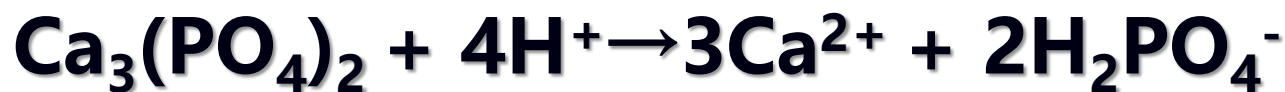


3. 呼吸系统

$\text{H}^+ \uparrow \rightarrow$ 外周化学感受器 $\xrightarrow{\text{反射性}}$ 兴奋呼吸中枢

Kussmal (酸中毒) 大呼吸

4. 骨骼系统



骨质脱钙：小儿发育迟缓、骨骼畸形；成人可发生骨质软化等

5. 酸中毒→高钾血症

原因：① 细胞内外的交换；

② 肾泌 H^+ 增多，排钾减少。

但也有例外，酸中毒→低钾血症，如：

① 肾小管性酸中毒（泌 H^+ 少，泌钾多）；

② 严重腹泻，丢失 HCO_3^- ，也丢失钾。

(七) 防治的病理生理基础

明德博学 行方智圆

1. 治疗原发病

2. 应用碱性药物

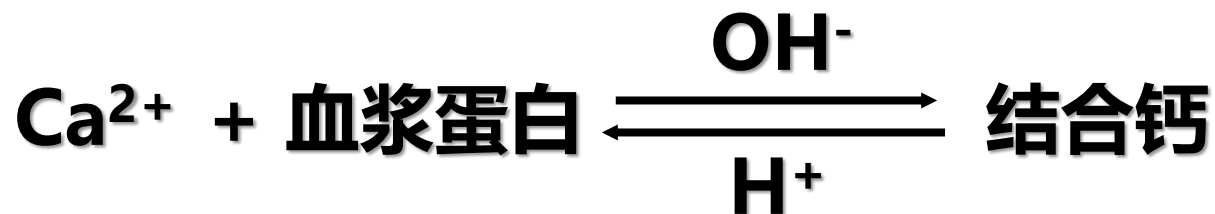
➤ NaHCO_3

➤ 乳酸钠

➤ 三羟甲基氨基甲烷 (THAM)

3. 纠正水、电解质紊乱

★ 补碱时特别注意防止纠酸后发生：
低血钾与低血钙



Thanks