



第三章 酸碱平衡紊乱

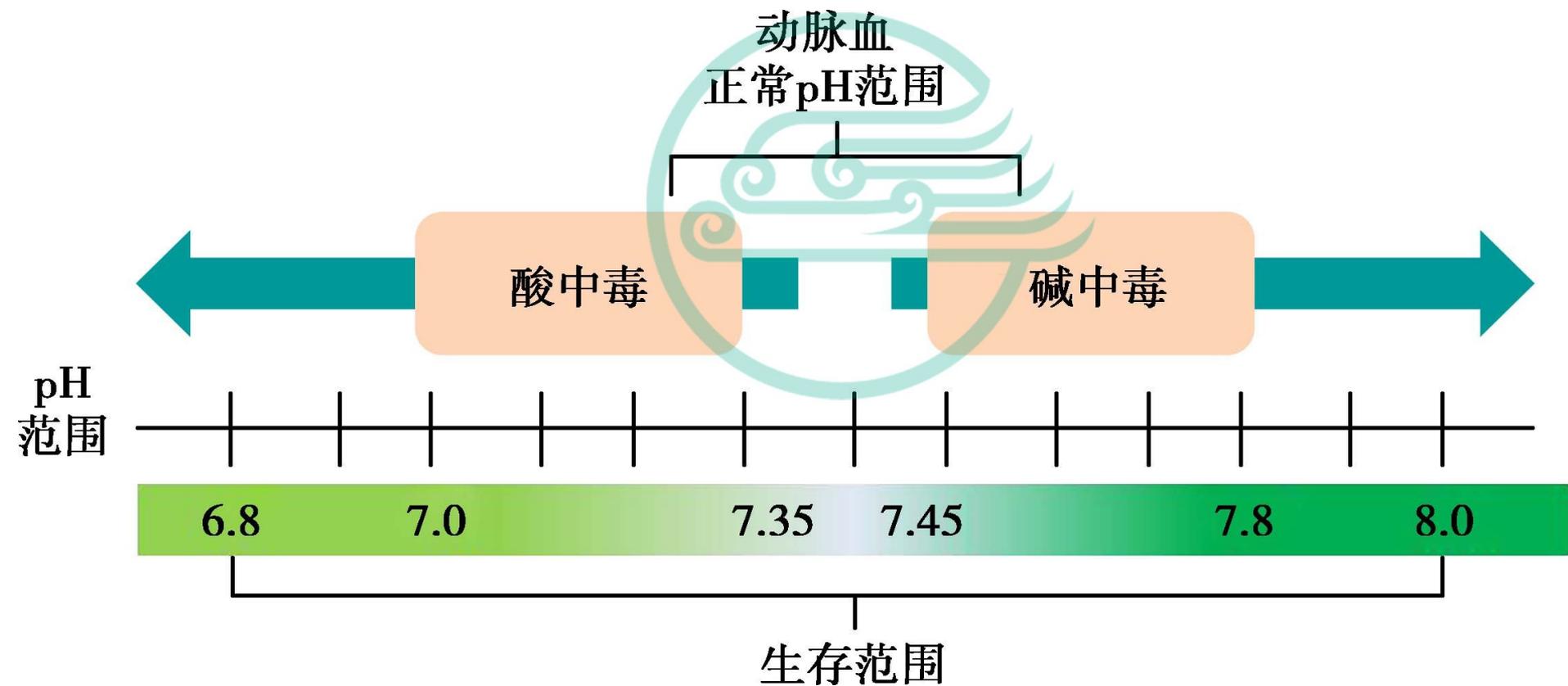




学习目标

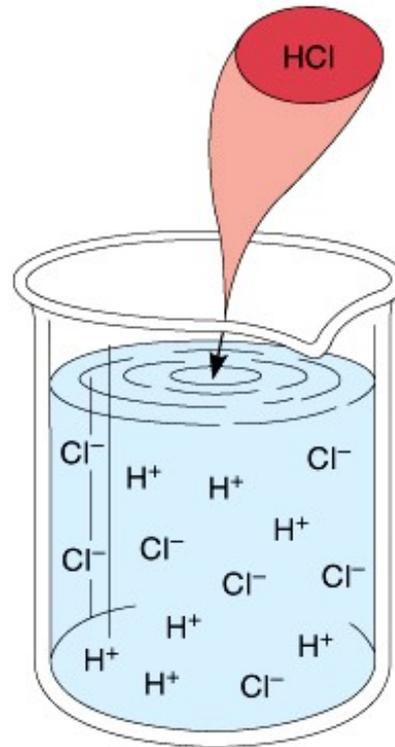
- ❖ **掌握**：四种单纯型酸碱失衡的概念、代偿调节特点、原因及对机体的影响；
 - ❖ **熟悉**：酸碱失衡的血气指标变化；
 - ❖ **了解**：酸碱失衡的防治原则。
-

酸碱平衡

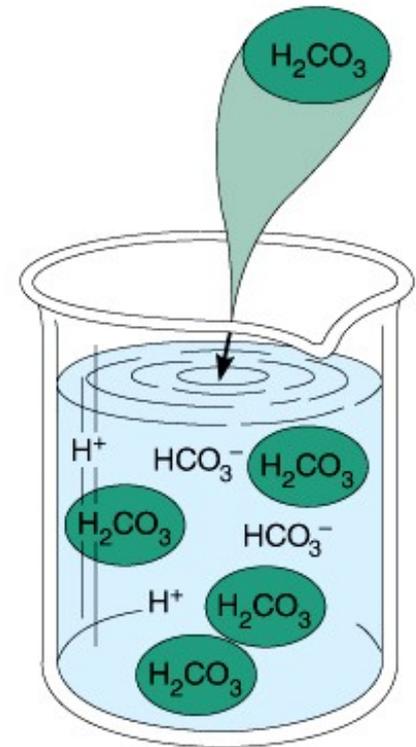


体内酸、碱物质的来源

- 酸？碱？



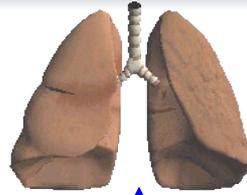
(a)



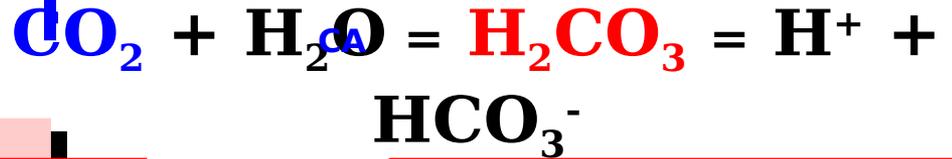
(b)

体内酸、碱物质的来源

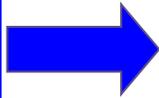
• 酸 (性物质)



呼吸性调节



代谢



酸

食物 / 药物

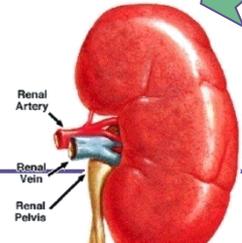


挥发酸

固定酸

H_2SO_4 , H_3PO_4
丙酮酸, 乳酸
三羧酸, β -羟基丁酸

肾脏调节

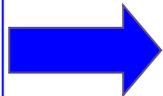


体内酸、碱物质的来源

- 碱 (性物质)



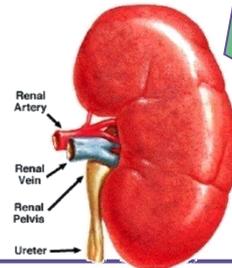
食物



代谢



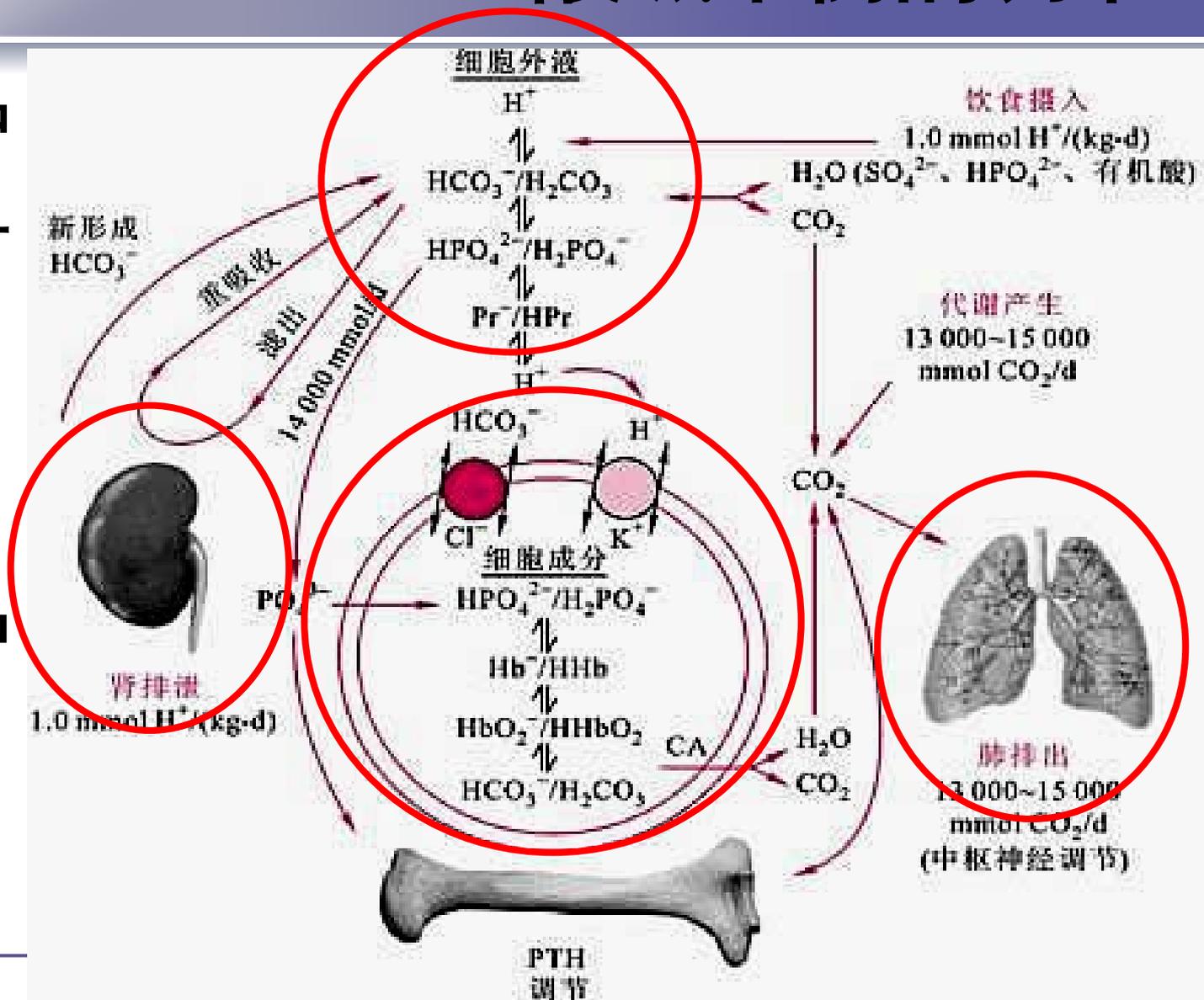
碱
有机酸盐
 HCO_3^-
氨



肾脏调节

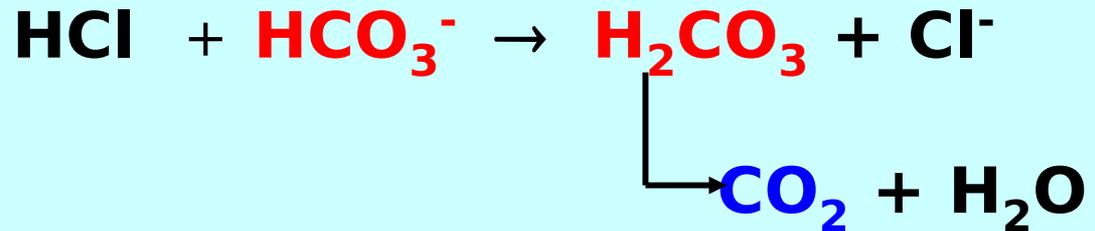
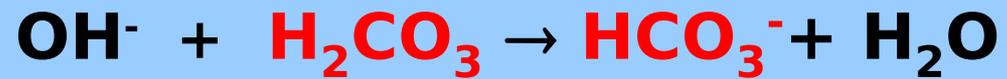
酸碱平衡的调节

1. 血液的缓冲
2. 细胞的调节
3. 肺的调节
4. 肾的调节
5. 骨骼的缓冲





1. 血液的缓冲作用





缓冲系统	占全血缓冲系统 %
血浆 HCO_3^- 缓冲对	35
细胞内 HCO_3^- 缓冲对	18
$\text{Hb}^-/\text{HbO}_2^-$ 缓冲对	35
Pr^- 缓冲对	7
HPO_4^{2-} 缓冲对	5

2. 细胞的调节作用

- 细胞内外离子交换

- $H^+ - K^+$

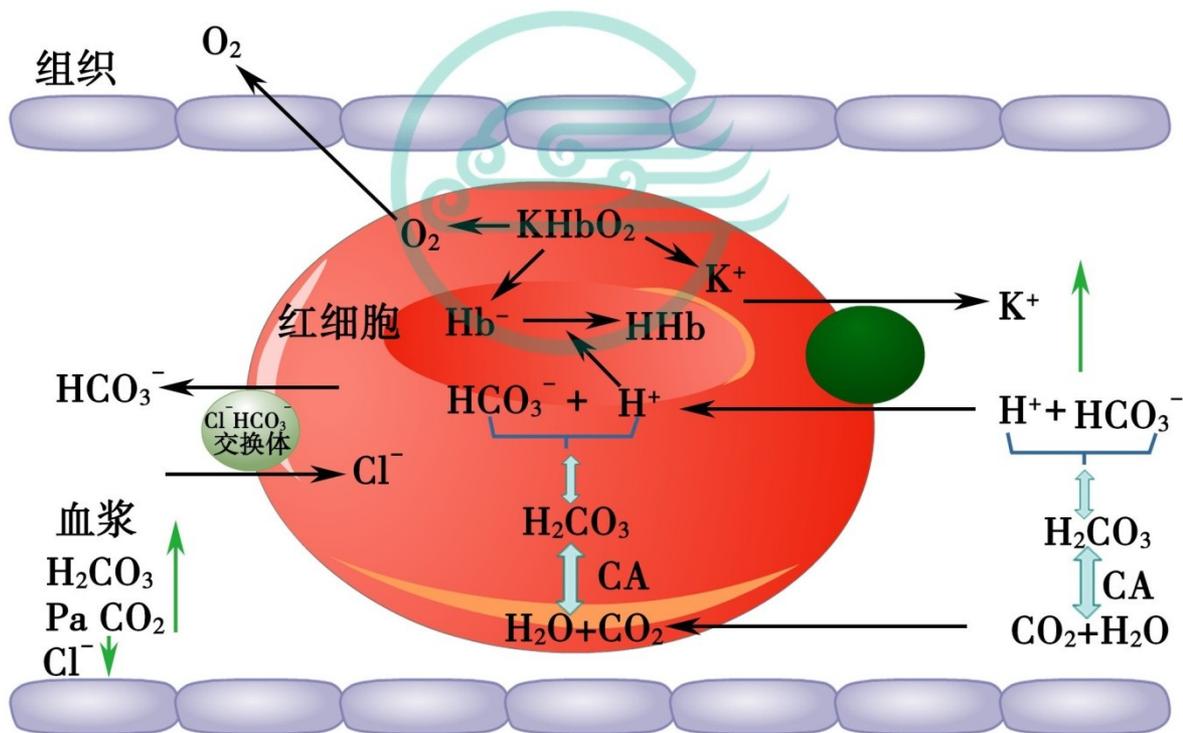
- $Cl^- - HCO_3^-$

- 细胞内液的缓冲系统

- Hb^- / HHb

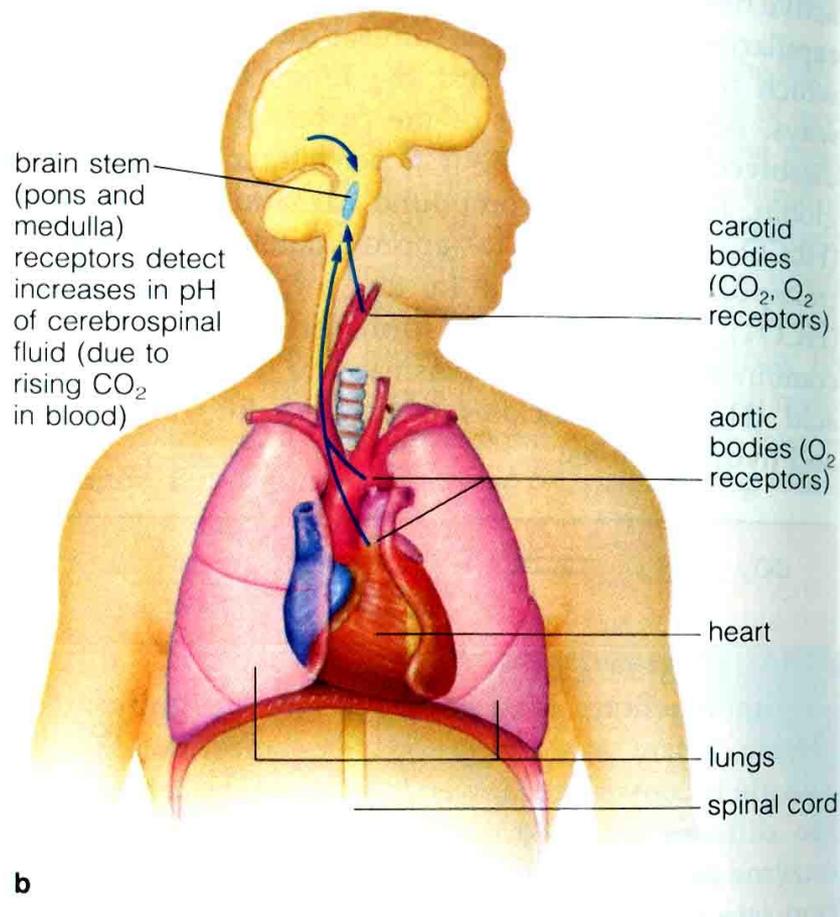
- $HbO_2^- / HHbO_2^-$

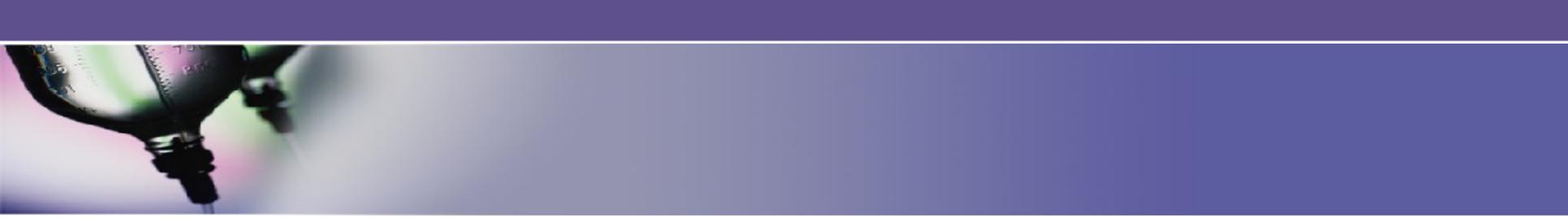
- $HPO_4^{2-} / H_2PO_4^-$



3. 肺的调节作用

PaCO_2 ↑	中枢感受器 (++ +) 外周感受器 (+)
$[\text{H}^+]$ ↑	中枢感受器 (+) 外周感受器 (+ +)
PaO_2 ↓	中枢感受器 (-) 外周感受器 (+)





4. 肾的调节：排酸（ H^+ 、 NH_4^+ ）保碱

（ HCO_3^- ）

1) 近曲小管 Na^+-H^+ 和 NaHCO_3 重吸收

2) 远曲小管和集合管泌 H^+ 和 NaHCO_3 重吸收

3) 远曲小管 K^+-Na^+ 与 H^+-Na^+ 交换

(4) 近曲小管排 NH_4^+ 和远曲小管、集合管泌 NH_3

5. 骨骼的缓冲



- 骨骼脱钙
 - 骨质软化
- (非生理性酸碱调节)

四种代偿机制的比较

代偿机制	意义	优点	缺点
血液缓冲系统	$\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3$	起效迅速 ($< 10\text{min}$)	有限, 不彻底, 维持短
细胞的调节	离子交换 细胞内缓冲	起效较快 (3-4h)	钾代谢紊乱
肺的调节	呼吸频率和幅度变化	起效快 (数分~30min)	无法直接调节固定酸
肾的调节	排酸保碱	调节固定酸 作用持久	起效慢 (数小时)

酸碱平衡常用指标

pH

$$1. \text{pH} \propto \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = \frac{20}{1}$$

2. 正常范围



7.35-7.45



:

酸中毒

碱中毒

3. 无法分析是代谢性或呼吸性，需结合其他指标

酸碱平衡常用指标

动脉血二氧化碳分压

(PaCO_2)

- 血浆中物理溶解状态的 CO_2 分子所产生的张力
- 正常值 **33-46mmHg** (平均 : **40mmHg**)
- 判断肺通气, **是反映呼吸性因素的最佳指标 :**

$\text{PaCO}_2 \downarrow$ ← **33- 46mmHg** → $\text{PaCO}_2 \uparrow$

通气过度 正常 通气不足

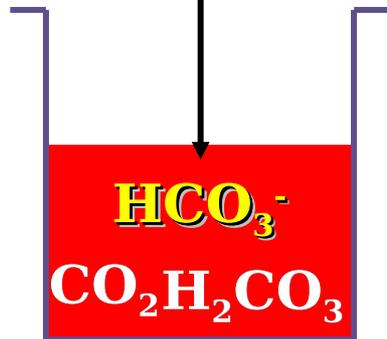
酸碱平衡常用指标

标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate,
实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate,

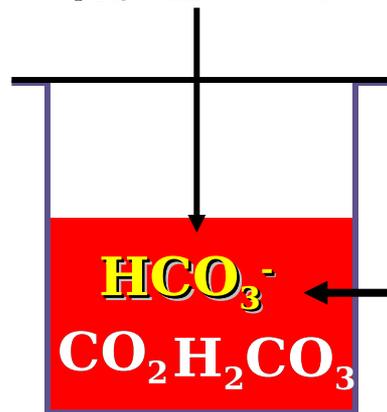
标准条件下:

PaCO_2 40mmHg

隔绝空气



SB



AB

$\text{AB} = \text{SB}$ (22-27mmol/L)

$\text{AB} > \text{SB}$ CO_2 潴留

$\text{AB} < \text{SB}$ CO_2 排出过多

- SB 是反映代谢性因素的指标
- AB 受代谢性因素和呼吸性因素的双重影响



酸碱平衡常用指标

**缓冲碱 (buffer base,
BB)**

BB:

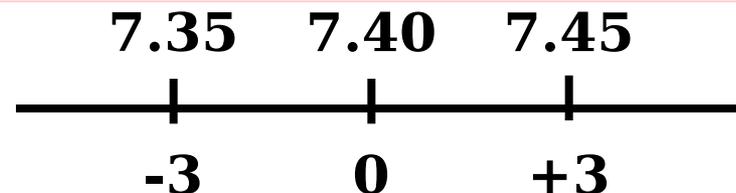
- 血液中具有缓冲作用的阴离子的总量
 - 正常值：45-52mmol/L
 - 反映代谢性因素的指标
-

酸碱平衡常用指标

碱剩余 (base excess,
BE)

BE:

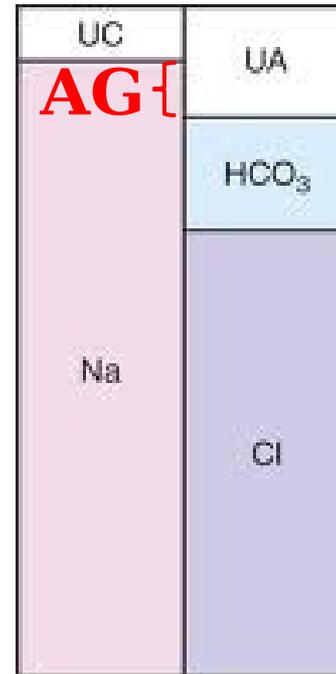
- 标准条件下，用酸或碱滴定全血标本至 pH 等于 7.40 时，所需酸或碱的量。
- 正常值： (0 ± 3) mmol/L
- 反映代谢性因素的指标



酸碱平衡常用指标

阴离子间隙 (anion gap, AG)

- 血浆中未测定的阴离子与未测定的阳离子的差值，即 $AG = UA - UC$ 。
- 反映血浆中固定酸的含量
- 正常值： (12 ± 2) mmol/L
- $AG > 16$ mmol/L 为 AG 增高
 - 区分代酸的类型
 - 诊断混合性酸碱平衡紊乱



$$Na - (Cl + HCO_3) = UA - UC$$

Since $Na - (Cl + HCO_3) = AG$,
 $UA - UC = AG$

UC: All serum cations other than Na

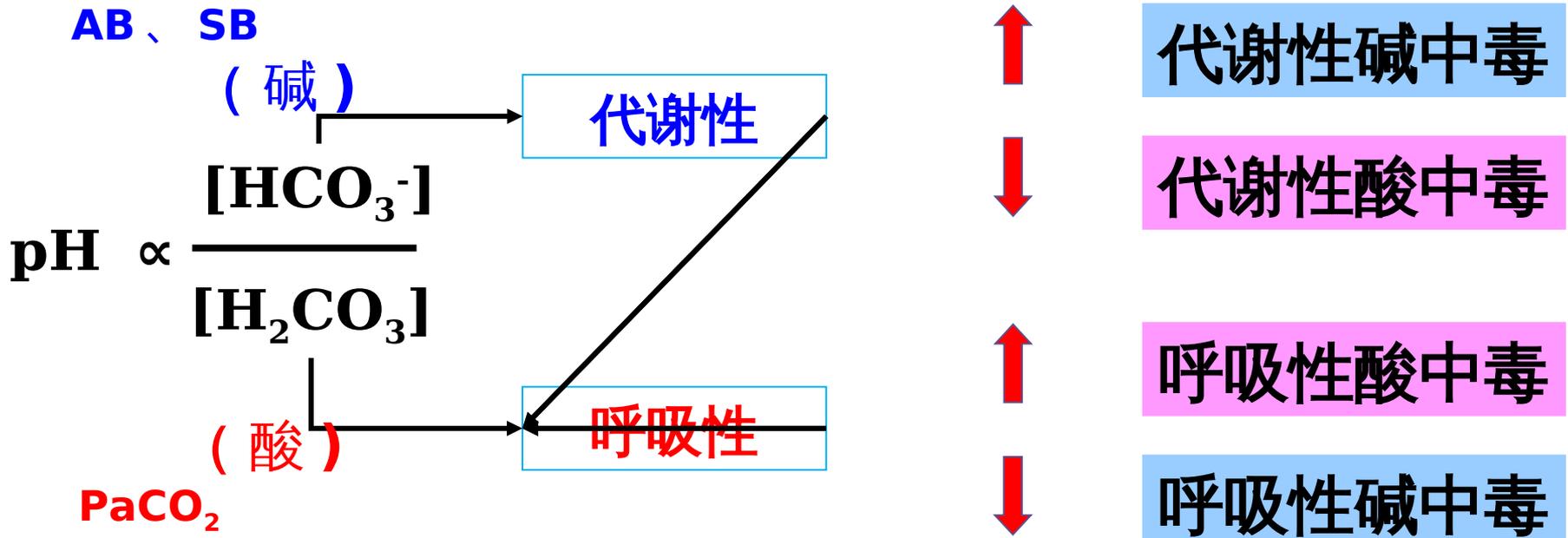
UA: All serum anions other than Cl and HCO₃

单纯性酸碱平衡紊乱的分类

病因

原发改变

分类



代谢性酸中毒（最常见）

概念

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

以血浆 HCO_3^- 原发性减少和 pH 降低为特征的酸碱紊

原因与机制

1. 酸潴留
2. 碱丢失
3. 其他原因

代谢性酸中毒

原因与机制

1. 酸潴留

① 固定酸产生↑或利用障碍

- 乳酸酸中毒、酮症酸中毒

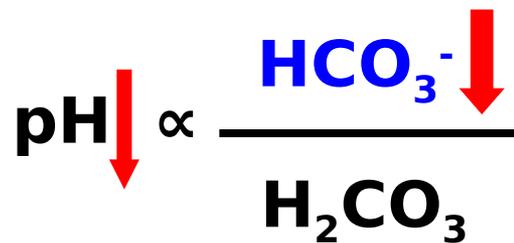
② 外源性固定酸摄入↑

- 氯化铵、盐酸精氨酸、水杨酸中毒

③ 固定酸排出↓

- 肾功能衰竭

- I型肾小管性酸中毒 (RTA-I) → 远曲肾小管泌 H^+ ↓



2. 碱丢失

① 消化道丢失 $\text{HCO}_3^- \uparrow$

- 严重腹泻、肠痿、胆痿、肠道引流

② 肾重吸收 $\text{HCO}_3^- \downarrow$

- II型肾小管性酸中毒 (RTA-II)



代谢性酸中毒

3. 其他原因

① 血液稀释

- 大量输入生理盐水→稀释性代谢性酸中毒

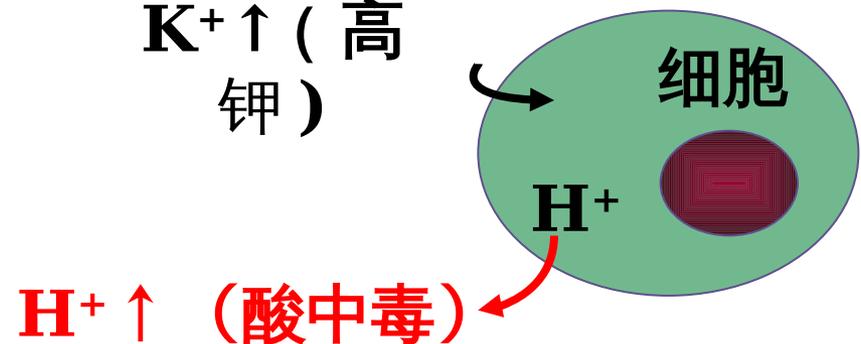
② 高钾血症→代谢性酸中毒

- 反常性碱性尿

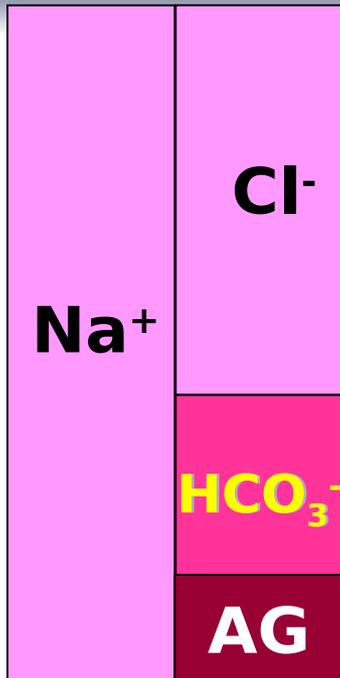
$K^+ \uparrow$ (高钾)

③ 碳酸酐酶抑制剂

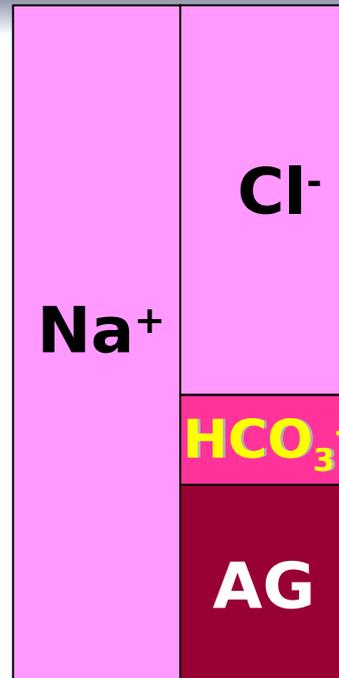
- 乙酰唑胺



代谢性酸中毒的分类

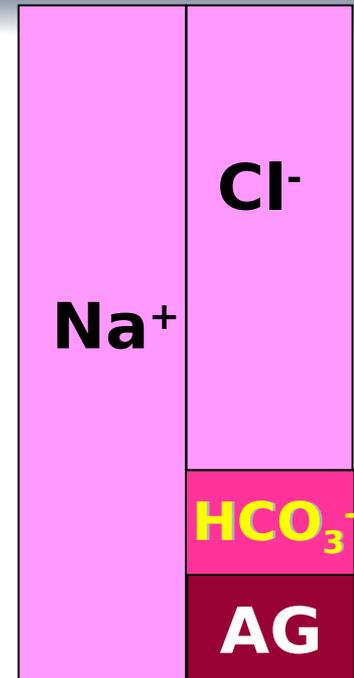


正常



AG增高型代酸（血氯正常）

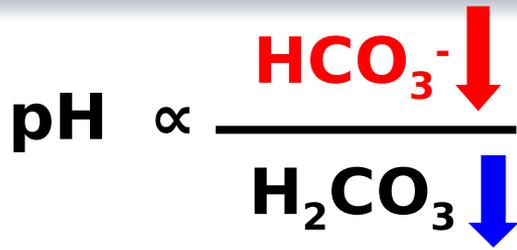
- 固定酸产生↑：乳酸、酮体
- 固定酸摄入↑：水杨酸中毒
- 固定酸排出↓：严重肾衰



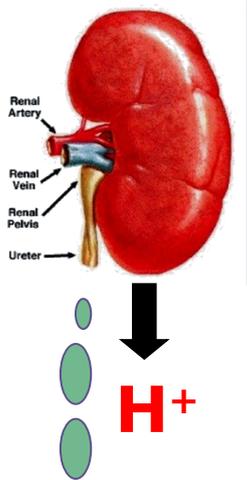
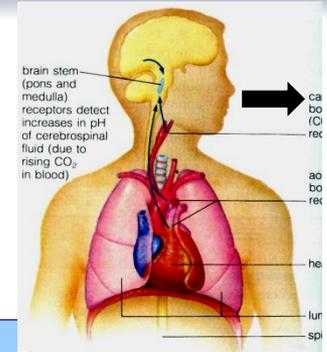
AG正常型代酸（血氯增高）

- 消化道丢失HCO₃⁻↑
- 肾HCO₃⁻重吸收↓
- 含氯的酸性药物↑
- 血液稀释和高钾血症

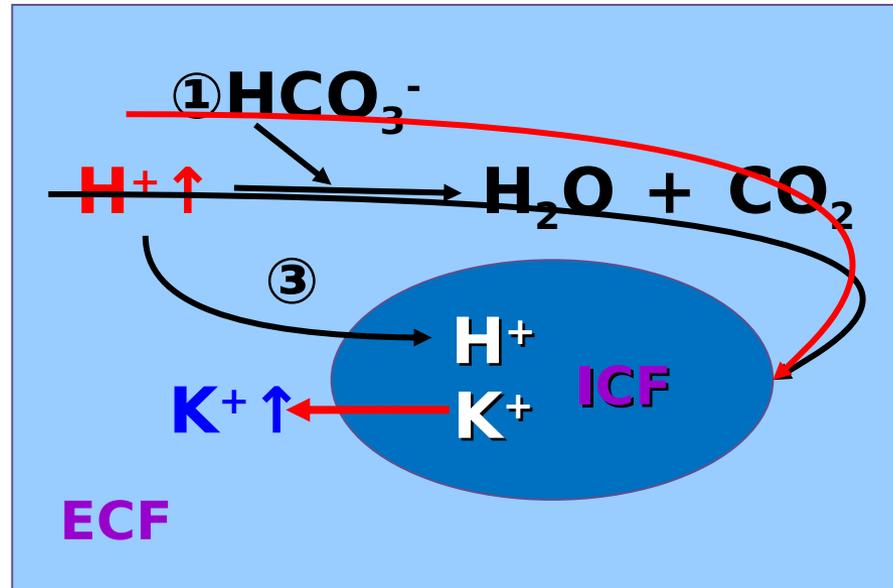
代谢性酸中毒的代偿调节



②



④



⑤



代谢性酸中毒的血气变化

1. HCO_3^- 原发性 ↓

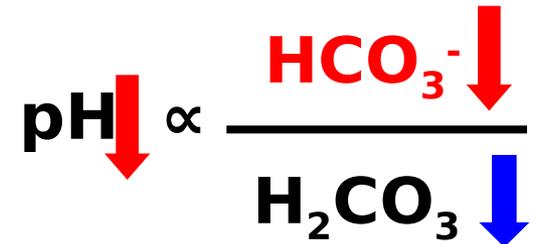
- $\text{AB} \downarrow$ 、 $\text{SB} \downarrow$ 、 $\text{BB} \downarrow$ 、 BE

负值加大

2. PaCO_2 继发性 ↓

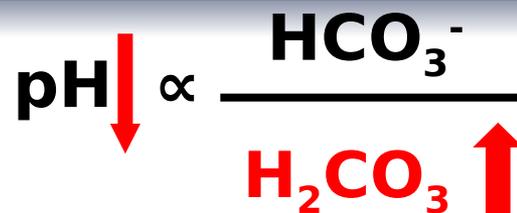
- $\text{AB} < \text{SB}$

3. 血 $\text{K}^+ \uparrow$



呼吸性酸中毒

概念



以血浆 H_2CO_3 原发性增高和 pH 降低为特征的酸碱紊

原因与机制

乱。

- ❖ CO_2 排出 \downarrow : 肺通气功能障碍：呼吸中枢抑制、呼吸肌麻痹、呼吸道阻塞、胸廓和肺病变，呼吸机通气量过小
- ❖ CO_2 吸入 \uparrow

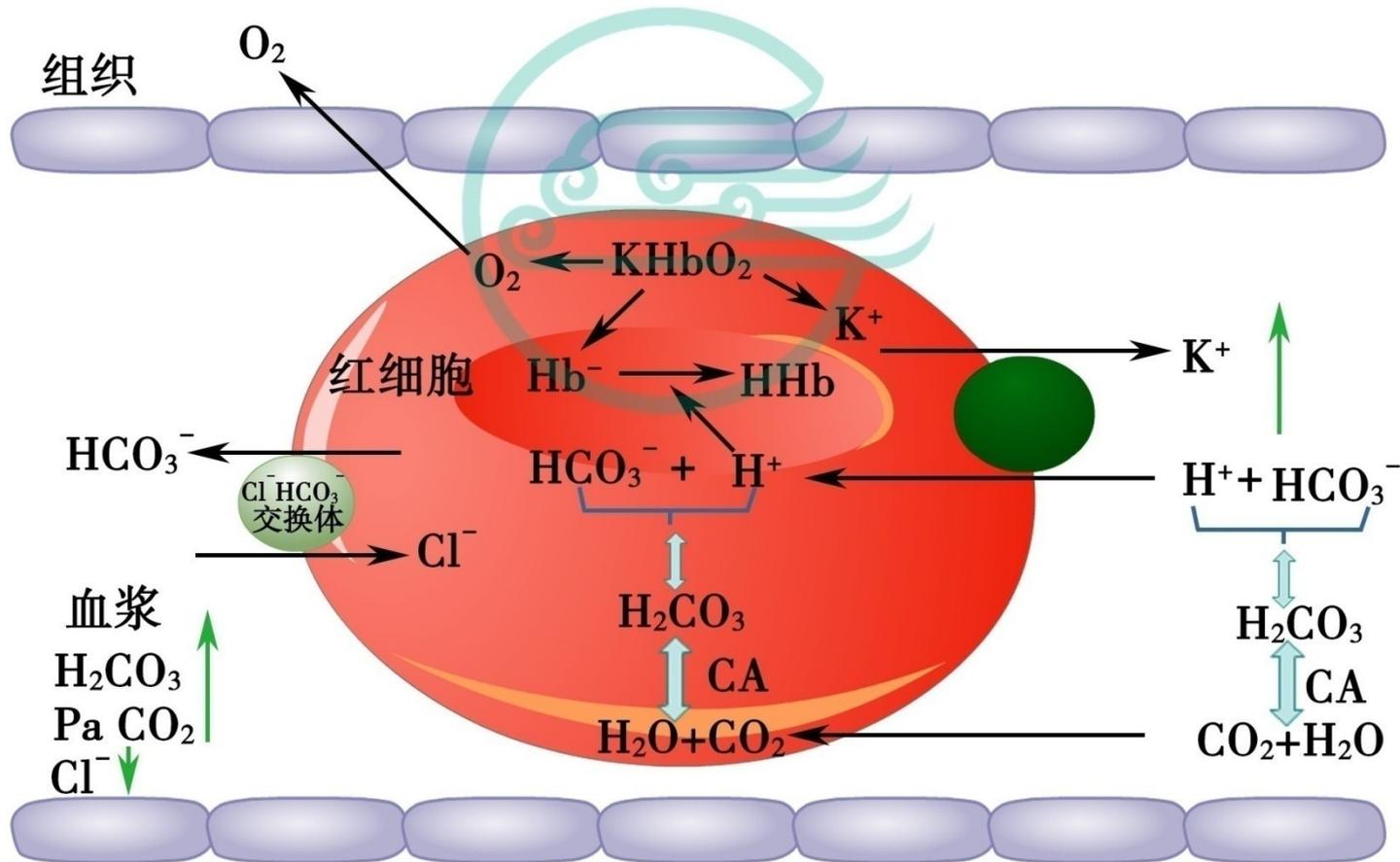
分类

- ❖ 急性呼吸性酸中毒
- ❖ 慢性呼吸性酸中毒（COPD 最常见）

呼吸性酸中毒的代偿调节

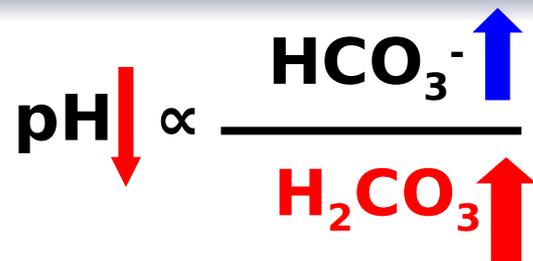
- 急性呼吸性酸中毒：(代偿不足或失代偿)
- 细胞内外离子交换和细胞内缓冲

$$\text{pH} \downarrow \propto \frac{\text{HCO}_3^-}{\text{H}_2\text{CO}_3} \uparrow$$



呼吸性酸中毒的代偿调节

• 慢性呼吸性酸中毒：



① 肾代偿为主要代偿方式

② 血气变化：

PaCO_2 原发性 \uparrow 、 pH

\downarrow
 HCO_3^- 继发性 \uparrow ：

$\text{AB} \uparrow$ 、 $\text{SB} \uparrow$ 、 $\text{AB} > \text{SB}$ 、 $\text{BB} \uparrow$ 、 BE

正值加大
血 $\text{K}^+ \uparrow$

酸中毒对机体的影响

1. 心血管系统

- 心律失常（高钾血症）
- 心肌收缩力↓

- 抑制 Ca^{2+} 内流
- 抑制肌浆网释放 Ca^{2+}
- 抑制 Ca^{2+} 与肌钙蛋白

结合

严重酸中毒

抑制心肌兴奋 - 收缩耦联

收缩力↓

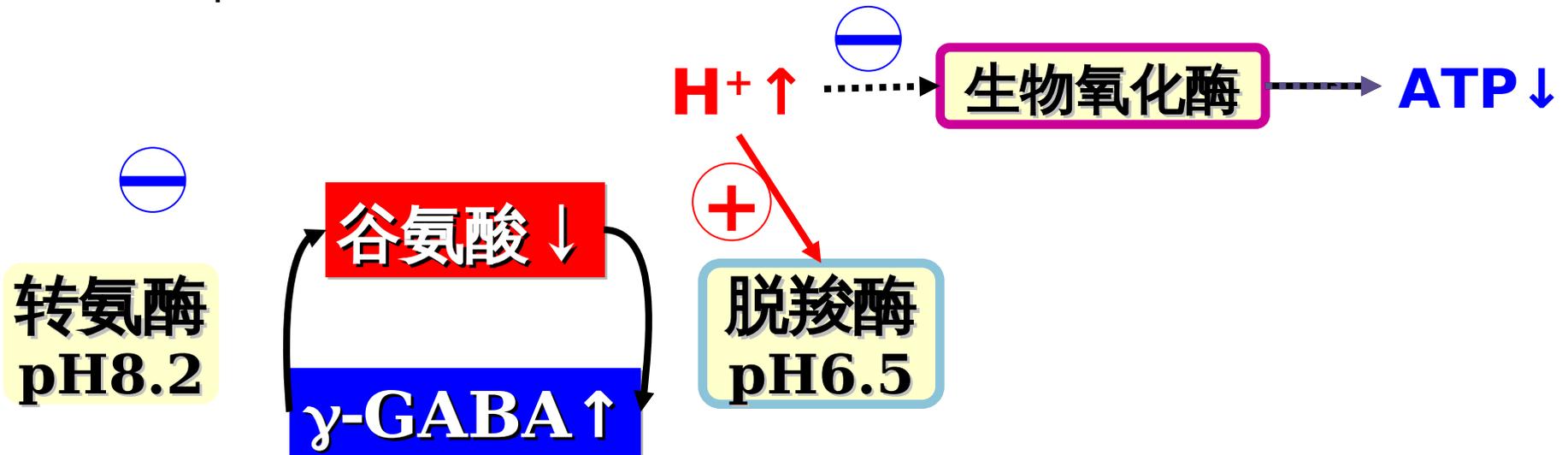
- 降低血管对儿茶酚胺的反应性

休克救治时为何要纠正酸中毒？

酸中毒对机体的影响

2. 中枢神经系统：兴奋性↓

- 表现：反应迟钝、嗜睡、甚至昏迷（儿科常见）
- 机制：能量代谢障碍；抑制性神经递质 (γ -GABA) 生成





酸中毒对机体的影响

严重的呼吸性酸中毒：

肺性脑病 ($\text{PaCO}_2 > 80\text{mmHg}$ “ CO_2 麻醉”)

- 中枢性酸中毒
- $\text{PaCO}_2 \uparrow \rightarrow$ 脑血管扩张

表现：呼吸困难、头痛、精神错乱、嗜睡、昏迷



酸中毒对机体的影响

3. 呼吸系统

- 深快呼吸或 **Kussmaul** 深大呼吸，有时可闻及尿胺味（尿毒症），或烂苹果气味（酮症酸中毒）

4. 骨骼系统

- 慢性肾衰→肾性骨病
-



酸中毒的防治

❖ 代谢性酸中毒：

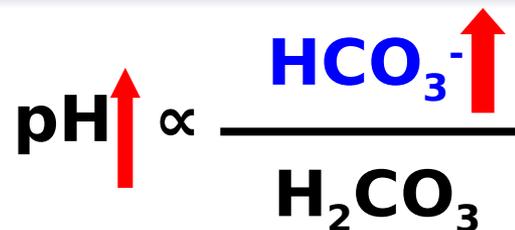
- 去除病因：纠正水和电解质紊乱，恢复有效循环血量，改善缺氧，防治糖尿病，改善肝、肾功能
- 严重：碱性药物

❖ 呼吸性酸中毒：

- 治疗原发病，**改善通气是根本措施**
 - 严重：碱性药物，但应更为**慎重**
-

代谢性碱中毒

概念



以血浆 HCO_3^- 原发性增高和 pH 升高为特征的酸碱紊

原因与机制

1. 酸丢失
2. 碱潴留
3. 其他

1. 酸丢失

(1) 经消化道丢失 H^+ \uparrow

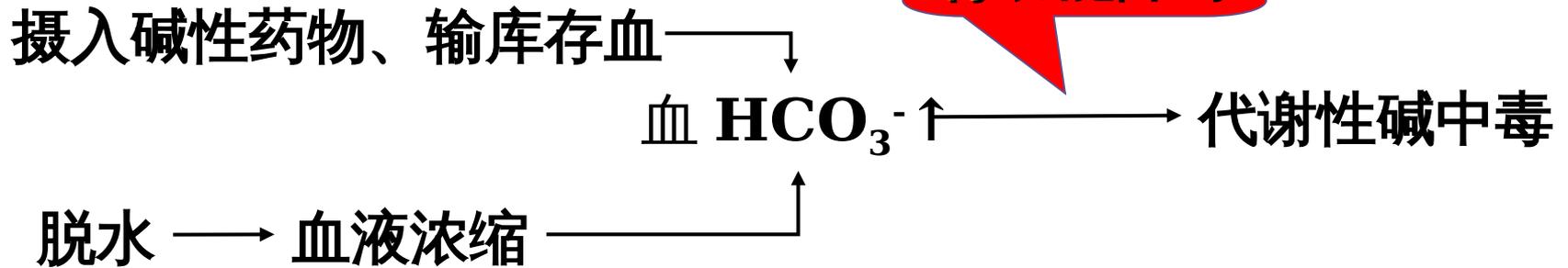
- 剧烈呕吐
- 胃液引流

(2) 经肾丢失 H^+ \uparrow

- 利尿剂的大量应用
 - 肾上腺皮质激素 \uparrow : 原发或继发性醛固酮 \uparrow

代谢性碱中毒

2. 碱潴留



3. 低钾性碱中毒：反常性酸性尿



代谢性碱中毒

分类

盐水反应性碱中毒

- 剧烈呕吐
- 利尿剂
- 浓缩性碱中毒
-

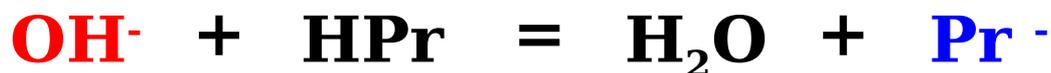
盐水抵抗性碱中毒

- 盐皮质激素 \uparrow
- 低钾性碱中毒

代谢性碱中毒的代偿调节

1. 血液缓冲

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



2. 细胞内外离子交换

- 继发性低钾血症

3. 肺代偿：抑制呼吸中枢，通气减少

4. 肾代偿：排酸保碱作用减弱

代谢性碱中毒的血气变化

1. HCO_3^- 原发性 \uparrow

- $\text{AB} \uparrow$ 、 $\text{SB} \uparrow$ 、 $\text{BB} \uparrow$ 、 BE

正值加大

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

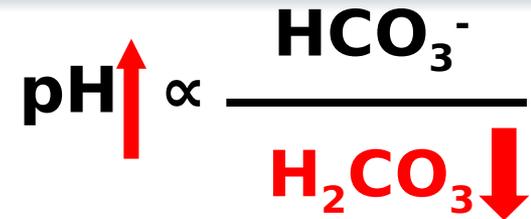
2. PaCO_2 继发性 \uparrow

- $\text{AB} > \text{SB}$

3. 血 $\text{K}^+ \downarrow$

呼吸性碱中毒

概念



以血浆 H_2CO_3 原发性降低和 pH 升高为特征的酸碱紊

原因与机制

❖ 肺通气过度， CO_2 排出增多

- ① 缺氧
- ② 肺疾患
- ③ 呼吸中枢受刺激（脑疾患、甲亢、高热、精神性障碍）
- ④ 人工呼吸机通气量过大

呼吸性碱中毒的代偿调节

分类

$$\text{pH} \uparrow \propto \frac{\text{HCO}_3^- \downarrow}{\text{H}_2\text{CO}_3 \downarrow}$$

• 急性呼吸性碱中毒：代偿不足或失代偿

- 细胞内外离子交换和细胞内缓冲

血气变化

• 慢性呼吸性碱中毒：PaCO₂ 原发性 ↓, pH ↑

- 肾代偿调节为主

HCO₃⁻ 继发性 ↓

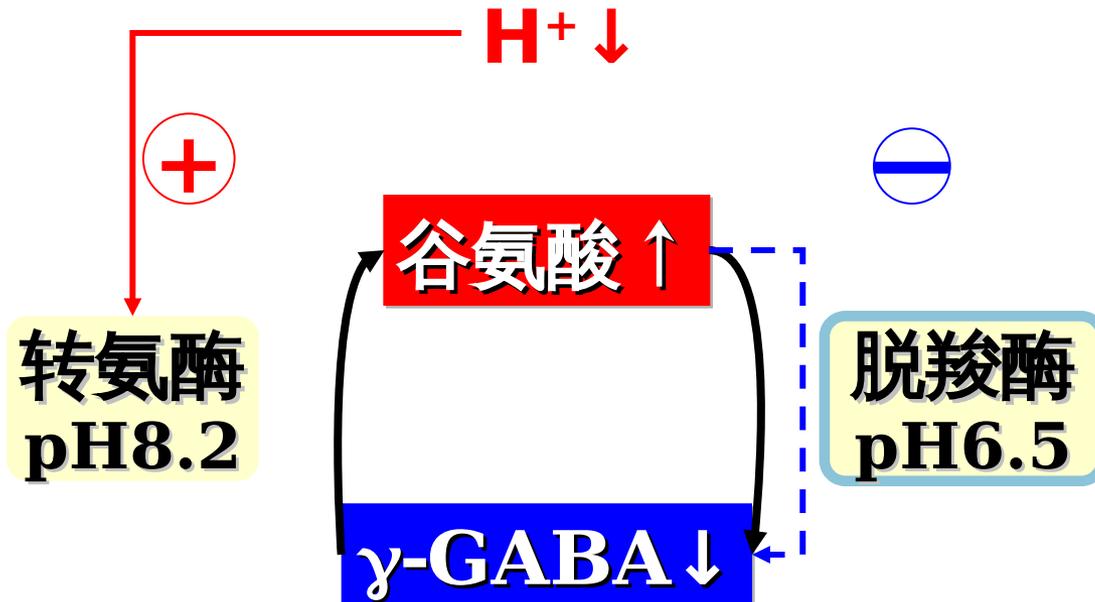
AB ↓、SB ↓、AB < SB
、BB ↓、BE 负值加大

血 K⁺ ↓

碱中毒对机体的影响

1. 中枢神经系统：兴奋性↑（烦躁不安、精神错乱、谵妄）

抑制性神经递质 γ -GABA 生成↓



急性呼碱： $PaCO_2 \downarrow \rightarrow$ 脑血管收缩，CNS 症状更为明显。

碱中毒对机体的影响

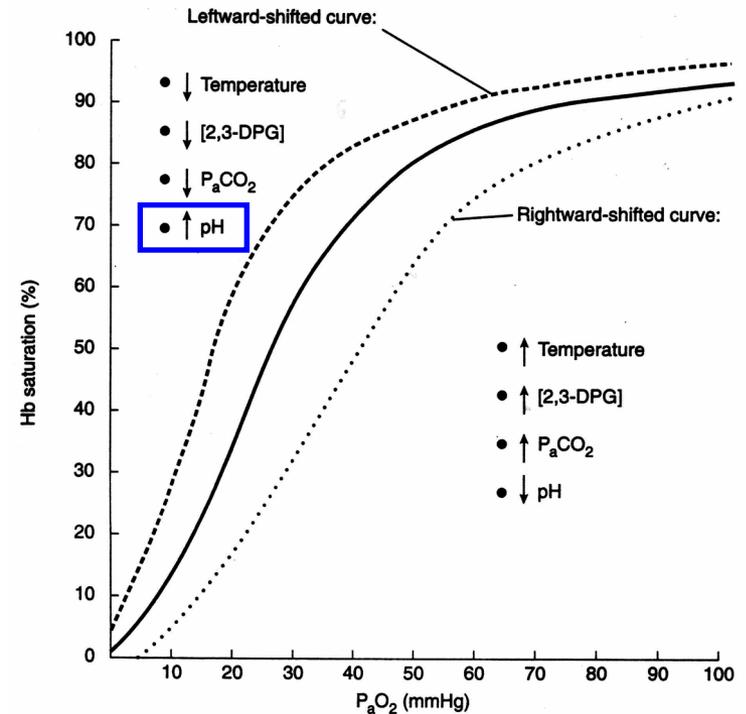
2. 神经 - 肌肉应激性 ↑

- 游离钙 ↓

$$\text{神经肌肉应激性} \uparrow \propto \frac{\text{Na}^+ + \text{K}^+}{\text{Ca}^{2+} \downarrow + \text{Mg}^{2+} + \text{H}^+}$$

3. 碱中毒 → 低钾血症

4. 氧解离曲线左移 → 组织缺氧



❖ 代谢性碱中毒：

- 盐水反应性碱中毒
- 盐水抵抗性碱中毒：醛固酮拮抗剂（螺内酯、依普利酮）、CA 抑制剂（乙酰唑胺）
- 严重：含氯酸性药物

❖ 呼吸性碱中毒：

- 治疗原发病，去除通气过度的原因
 - 严重：吸入含 5%CO₂ 的混合气体
 - 精神性过度通气：镇静剂
-

各型酸碱平衡紊乱指标的变化

		pH	PaCO ₂	AB	SB	K ⁺
代酸		↓ -	↓	↓	↓	↑
呼酸	急性	↓	↑	↑ -	↑ -	↑
	慢性	↓ -	↑	↑	↑	↑
代碱		↑ -	↑	↑	↑	↓
呼碱	急性	↑	↓	↓ -	↓ -	↓
	慢性	↑ -	↓	↓	↓	↓



混合型酸碱平衡紊乱

❖ 双重性酸碱失衡：

- 一致型：呼酸合并代酸、呼碱合并代碱
- 相消型：呼酸合并代碱、呼碱合并代酸、代酸合并代碱

❖ 三重性酸碱失衡：

- 呼酸 + 代酸 + 代碱
 - 呼碱 + 代酸 + 代碱
-



如何判断酸碱平衡紊乱？

1. 一看 pH 定酸碱

- ① pH ↓ 酸中毒
- ② pH ↑ 碱中毒

2. 二看原发因素定代、呼

根据病史找出直接引起 pH 变化的因素，确定原发因素

。

① 原发性 $[\text{HCO}_3^-]$ 变化为代谢性

② 原发性 P_aCO_2 变化为呼吸性

3. 三看症状体征，验证判断

① 酸中毒：淡漠、嗜睡、肌张力 ↓、 K^+ ↑

② 碱中毒：躁动、抽搐、 K^+ ↓

如何判读血气分析化验单？

PH	7.46	↑	7.35-7.45
二氧化碳分压	20.0	↓	35-45mmHg
氧分压	197.0	↑	80-100mmHg
碳酸氢根浓度	14.2	↓	21.4-27.3mmol/L
标准碳酸氢根	19.2	↓	21.3-24.8mmol/L
二氧化碳总量	14.8	↓	24-32mmol/L
标准剩余碱	-9.6	↓	-3- +3mmol/L
氧饱和度	100.0	↑	91.9-99%
肺泡A-a间氧压力差	-8		

❖呼吸性碱中毒

PH	7.33	↓	7.35-7.45
二氧化碳分压	21.0	↓	35-45mmHg
氧分压	74.0	↓	80-100mmHg
碳酸氢根浓度	11.1	↓	21.4-27.3mmol/L
标准碳酸氢根	14.8	↓	21.3-24.8mmol/L
二氧化碳总量	11.7	↓	24-32mmol/L
标准剩余碱	-14.8	↓	-3- +3mmol/l
氧饱和度	93.0		91.9-99%
肺泡A-a间氧压力差	114		

❖ 代谢性酸中毒



病例分析

患者男性，28岁，因腹痛、腹泻2天而急诊入院。患者有胰岛素依赖型糖尿病，入院前2天未能进食，胰岛素用量也自行减少。查体：体温 36.8°C ，血压 $100/60\text{mmHg}$ ，心率102次/分，呼吸24次/分，呼吸深大，皮肤干燥、弹性差，尿量 10ml/h 。化验检查：动脉血 $\text{pH}7.22$ ， $\text{P}_a\text{CO}_2 25\text{mmHg}$ ， $\text{Na}^+ 140\text{mmol/L}$ ， $\text{K}^+ 3.5\text{mmol/L}$ ， $\text{Cl}^- 103\text{mmol/L}$ ， $\text{HCO}_3^- 10\text{mmol/L}$ ，血糖 22mmol/L ，血和尿中酮体阳性。

问题：

1. 该患者是否发生了水、钠代谢紊乱？哪种类型？判断依据？
 2. 该患者发生了哪种酸碱平衡紊乱？分析其发生的机制。
 3. 该患者是否发生了钾代谢紊乱？为什么？
-

