



北京大學醫學出版社

酸碱平衡紊乱

(Acid-base disturbances)



北京大学医学部
生理学与病理生理学系 吴立玲



目 录

1

酸碱平衡及其调节机制

2

酸碱平衡紊乱的分类及 常用检测指标

3

单纯型酸碱平衡紊乱



掌握：

- ❖ pH、动脉血二氧化碳分压、标准碳酸氢盐、实际碳酸氢盐和碱剩余的概念、正常范围及其变化的意义
- ❖ 代谢性酸中毒、呼吸性酸中毒、代谢性碱中毒和呼吸性碱中毒的概念及机体的代偿调节反应
- ❖ 掌握酸中毒对心血管系统及中枢神经系统的损伤作用及其机制

熟悉：

- ❖ 酸碱中毒与血钾变化的相互关系
- ❖ 缓冲系统的组成及其调节酸碱平衡的原理及特点
- ❖ 引起单纯型酸碱平衡紊乱的常见原因
- ❖ 肺在酸碱平衡调节中的作用
- ❖ 肾排酸保碱的三种调节机制
- ❖ 碱中毒对神经肌肉的影响及原理

了解：

- ❖ 体内挥发酸与固定酸的来源及排泄途径
- ❖ 了解阴离子间隙的概念和计算方法



病例分析

一糖尿病患者，因血糖控制不稳定就诊。

血气分析显示：

- 血pH 7.30
- PaCO_2 32 mmHg
- $[\text{NaHCO}_3^-]$ 16 mmol/L
- $[\text{Na}^+]$ 139 mmol/L
- $[\text{Cl}^-]$ 103 mmol/L



问题？

- ❖ 人动脉血pH是多少？吃酸性食物后，血液pH会发生改变吗？
- ❖ 人体有哪些维持酸碱平衡的机制？
- ❖ 有哪些常见的酸碱平衡紊乱的类型？
- ❖ 该患者有那种类型的酸碱平衡紊乱？
- ❖ 酸中毒或碱中毒对人体有哪些危害？





酸碱平衡紊乱

(Acid-base disturbance)

在疾病过程中，多种原因引起的体内酸碱物质的含量变化或调节机制障碍，导致体液酸碱度的稳定性破坏，称为酸碱平衡紊乱。





第一节 酸碱平衡及其调节

一、酸碱物质的来源

酸：能释放 H^+ 的物质



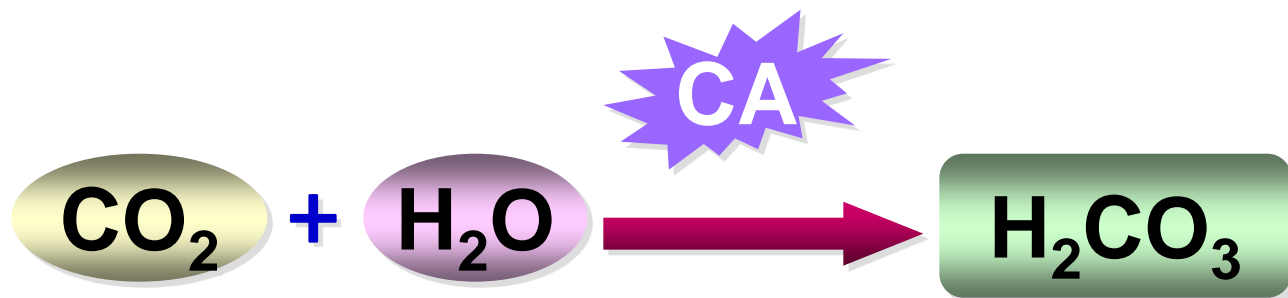
碱：能接受 H^+ 的物质



(一) 酸性物质的来源

主要在代谢过程中产生，少量来自食物，产酸量>产碱量

1. 挥发酸 (volatile acid)



◆ 体内最主要的酸性物质 $10\sim 12\text{mol H}^+$

◆ 经肺呼出



2. 固定酸 (fixed acid)

H_3PO_4 、 H_2SO_4 、有机酸等

◆ 固定酸生成量与蛋白质摄入量成正比

50~100mmol/L H^+

◆ 经肾排出





(二) 碱性物质的来源

◆ 氨基酸分解

◆ 有机酸盐转变

苹果酸盐 \longrightarrow 碳酸氢钠





二、酸碱平衡的调节机制

◆ 体液缓冲系统

◆ 肺

◆ 肾

(一) 体液缓冲系统

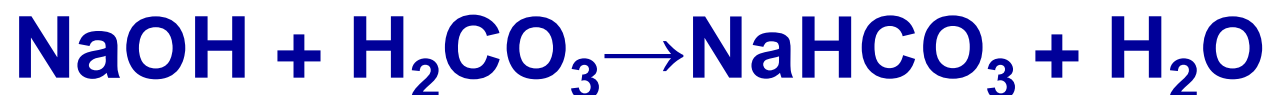
由一种弱酸和它的弱酸盐构成的具有缓冲酸或碱能力的缓冲对。

体液缓冲系统的组成

缓冲系统	构成	主要存在部位
碳酸氢盐缓冲系统	$\text{HCO}_3^-/\text{H}_2\text{CO}_3$	细胞内、外液
磷酸盐缓冲系统	$\text{HPO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{PO}_4^-$	细胞内、外液
蛋白质缓冲系统	Pr^-/HPr	血浆及细胞内
血红蛋白缓冲系统	Hb^-/HHb , $\text{HbO}_2^-/\text{HHbO}_2$	红细胞内



缓冲机制



接受 H^+ 或释放 H^+ ，减轻体液pH变动的程度



(二) 肺在酸碱平衡中的调节作用

改变 CO_2 排出量，调节血浆碳酸浓度

◆呼吸运动的中枢调节

◆呼吸运动的外周调节

二氧化碳麻醉(carbon dioxide narcosis)

当 PaCO_2 超过80mmHg时对呼吸中枢
产生的抑制作用



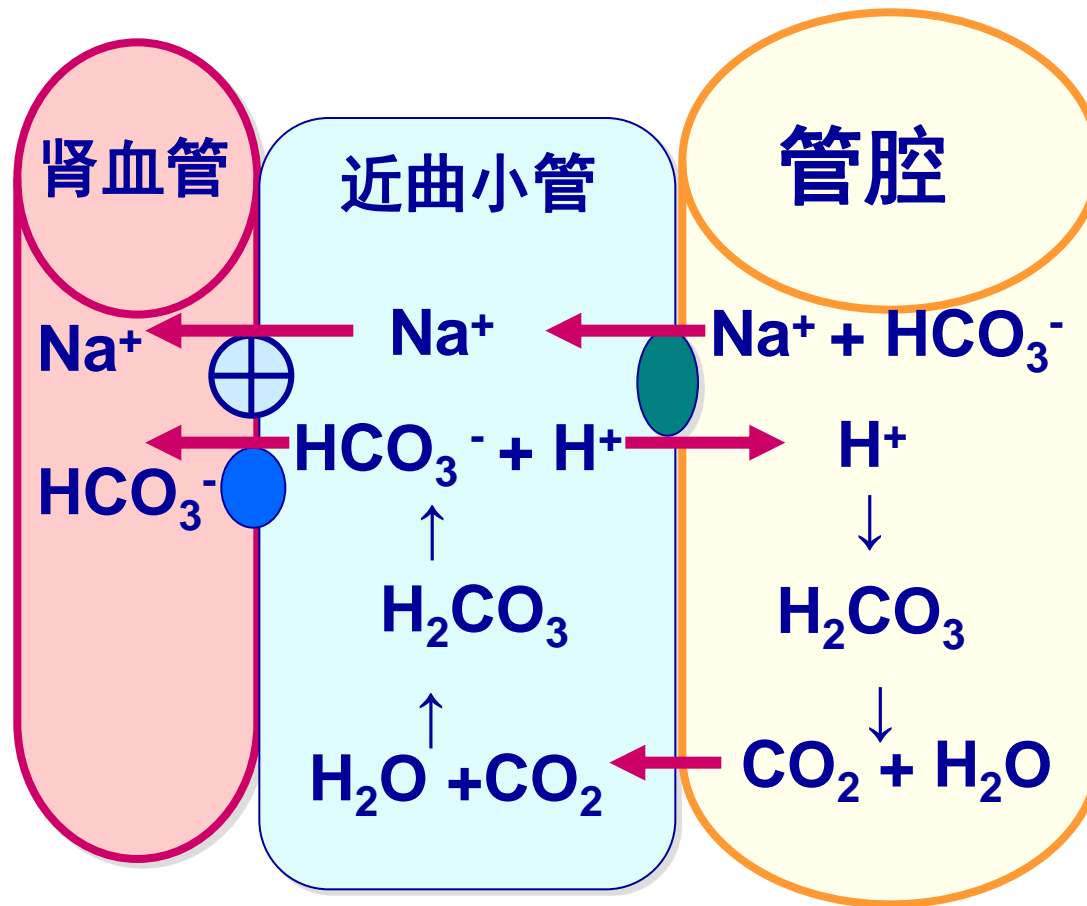


（三）肾对酸碱平衡的调节

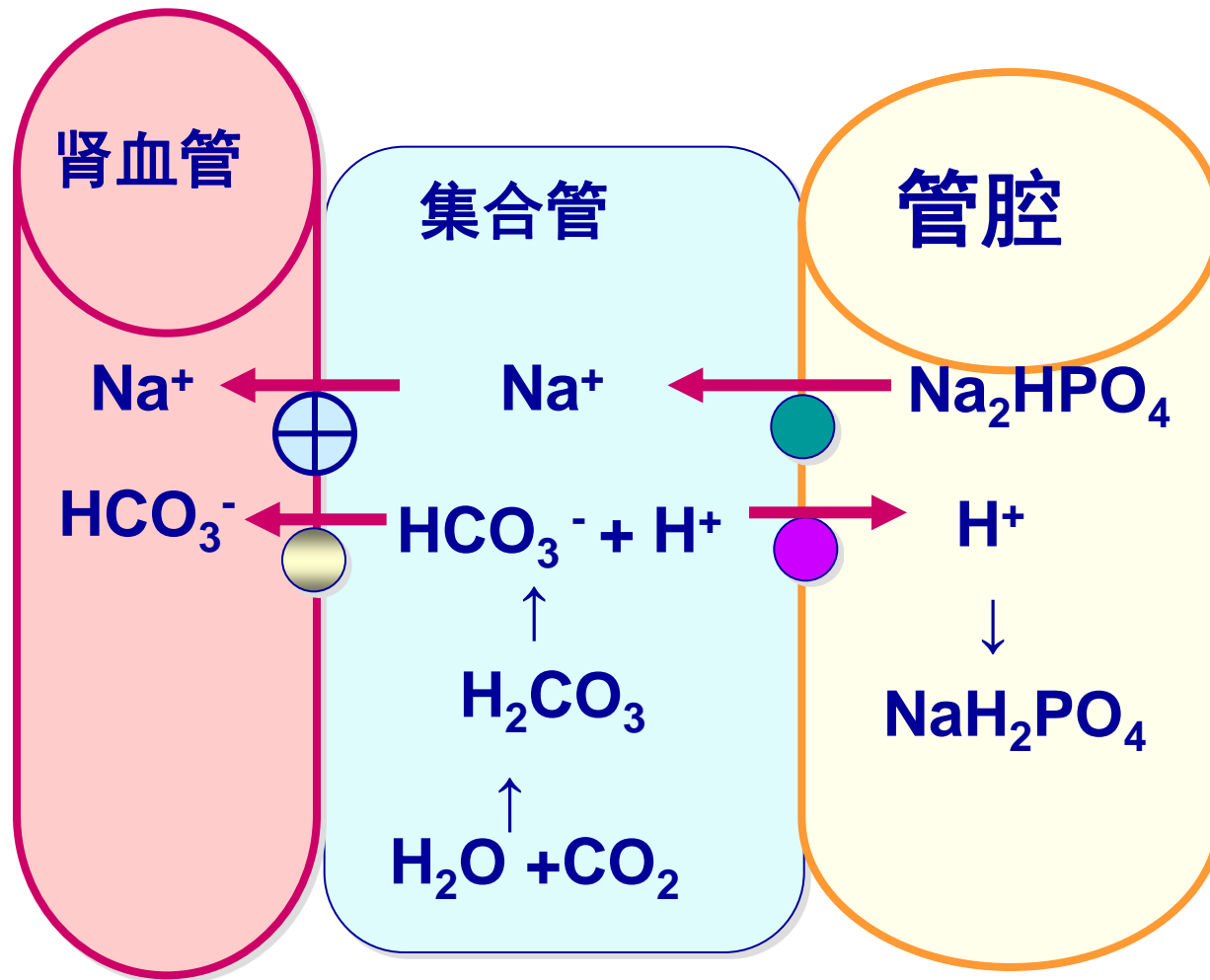
排泄固定酸，维持血浆 NaHCO_3 浓度

- ◆ NaHCO_3 的重吸收
- ◆ 磷酸盐酸化
- ◆ 氯化铵的排泄

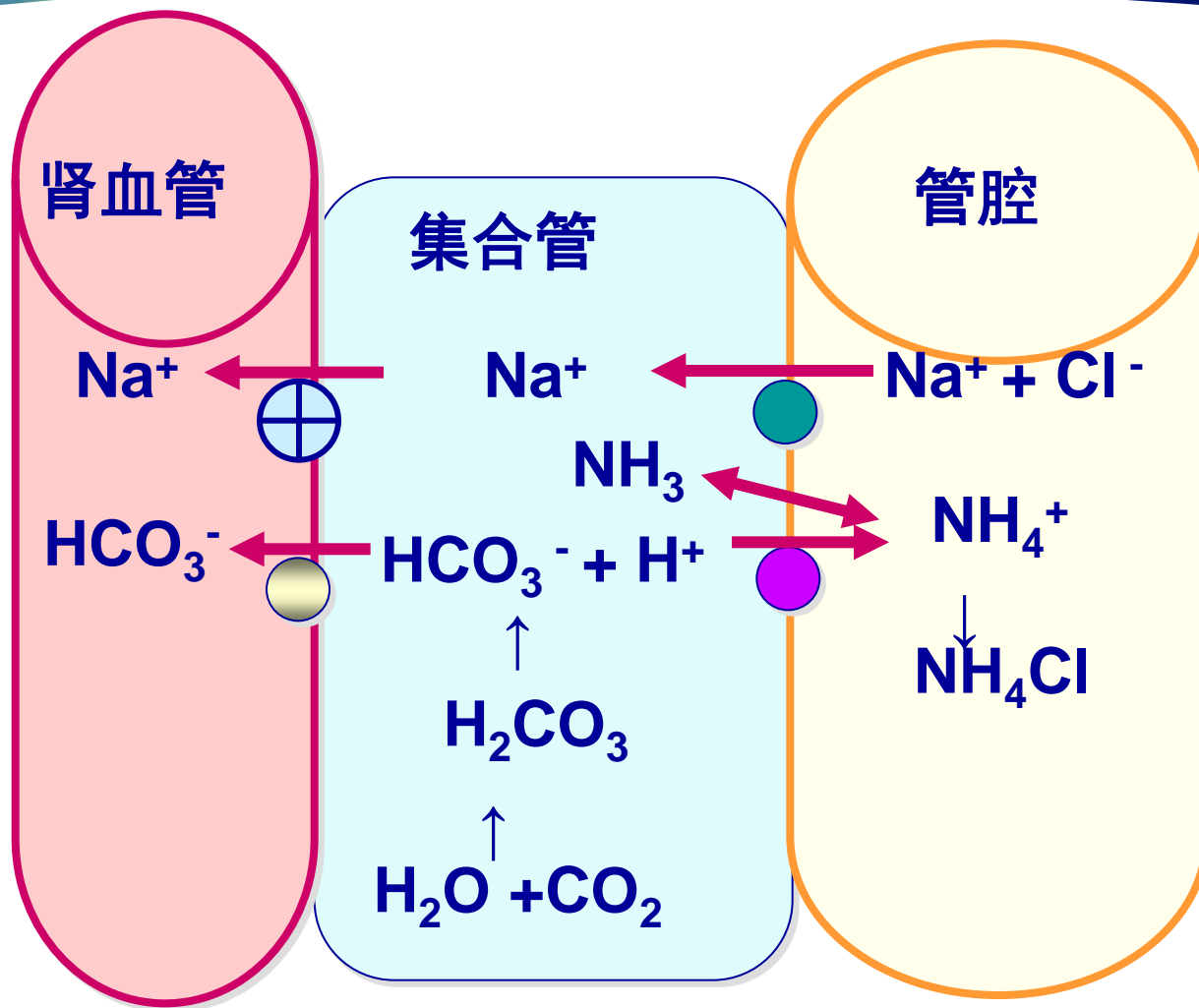
1. NaHCO_3 重吸收



2. 磷酸盐酸化



3. 氯化铵的排泄





第二节 酸碱平衡紊乱的分类及常用检测指标

一、酸碱平衡紊乱的分类

- ◆ 代谢性酸中毒
- ◆ 代谢性碱中毒
- ◆ 呼吸性酸中毒
- ◆ 呼吸性碱中毒



二、常用检测指标

1. pH

概念：溶液中 H^+ 浓度的负对数。

正常值：动脉血pH7.35~7.45

意义：pH↓：失代偿性酸中毒

pH↑：失代偿性碱中毒





2. 动脉血二氧化碳分压

(Partial pressure of carbon dioxide, PaCO_2)

概念： 溶解在动脉血浆中的
 CO_2 分子所产生的张力

正常值： 40mmHg

$$[\text{H}_2\text{CO}_3] : 40 \times 0.03 = 1.2 \text{ mmol/L}$$

意义： 原发性 \uparrow —呼酸
原发性 \downarrow —呼碱



3. 标准碳酸氢盐和实际碳酸氢盐

(Standard bicarbonate, SB; Actual bicarbonate, AB)

概念： 标准条件下 (38°C , Hb完全氧合, PCO_2 40mmHg)
或实际条件下 (隔绝空气, 实际血氧饱和度和 PCO_2) 测得的血浆 NaHCO_3 浓度。

正常值： 24 mmol/L

意义：原发性 \uparrow ...代碱
原发性 \downarrow ...代酸





4. 碱剩余

(Base excess, BE)

概念: 标准条件下, 将1升全血或血浆滴定到 pH 7.4所需的酸或碱的量。

正常值: $0 \pm 3 \text{ mmol/L}$

意义: BE正值增大一代碱
BE负值增大一代酸



第三节 单纯性酸碱平衡紊乱

一、代谢性酸中毒

(Metabolic acidosis)

(一) 概念

以血浆 NaHCO_3 浓度原发性减少和
pH降低为特征的酸碱平衡紊乱类型





(二) 原因与机制

代谢性酸中毒的原因

分类	原因举例
入酸过多	过量服用含氯或有机酸的药物
产酸过多	无氧酵解引起乳酸增加，糖代谢紊乱时酮体增加
排酸减少	肾功能不全时肾小管泌 H^+ 功能障碍以及肾小球滤过率减少导致固定酸排泄障碍
$NaHCO_3$ 丢失过多	腹泻、肠液引流时下消化道液体丢失



(三) 机体的代偿调节

1. 细胞外缓冲： $\text{H}^+ + \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

2. 肺的调节： $[\text{H}^+] \uparrow \rightarrow \text{肺通气量} \uparrow$
 \downarrow
 $\text{CO}_2 \text{排出} \uparrow$



3. 细胞内缓冲

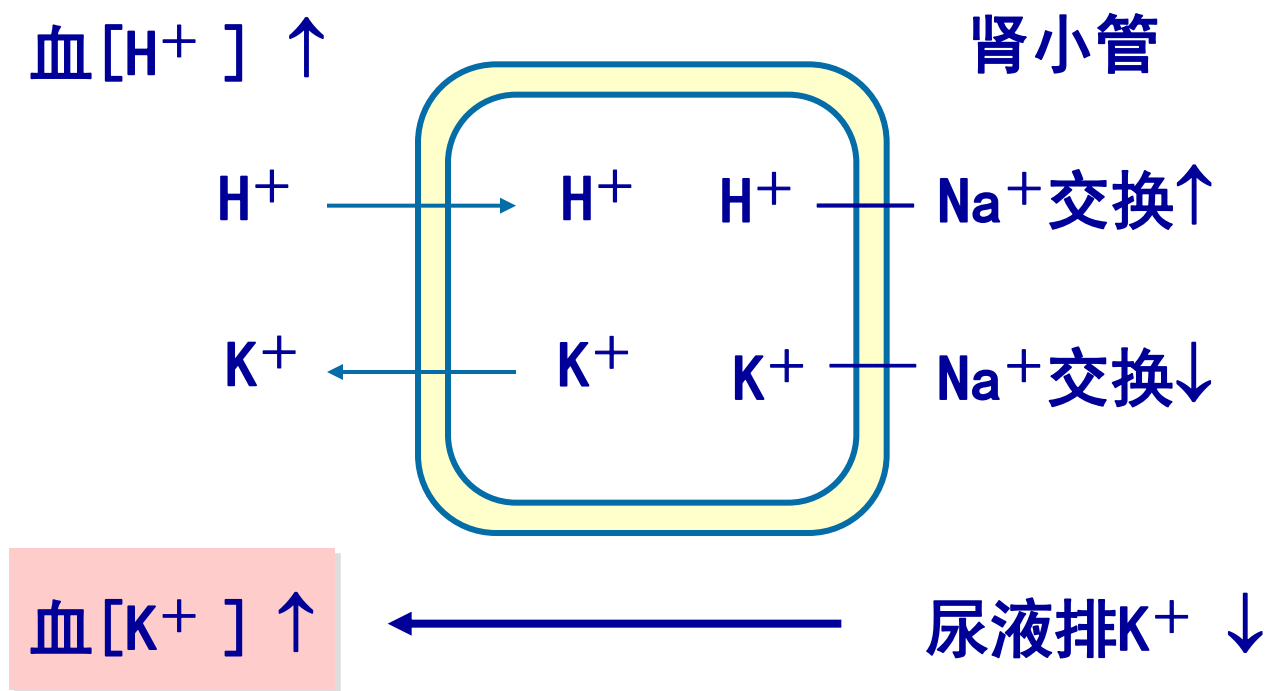


图 酸中毒引起血钾升高的机制



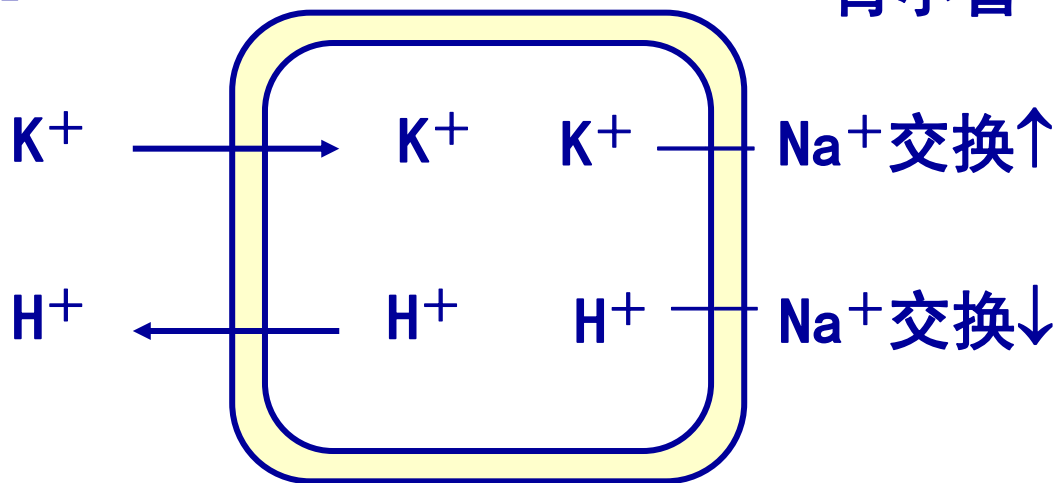
4. 肾的代偿

- ❖ 泌 H^+ ↑
- ❖ 泌氨↑
- ❖ 重吸收 HCO_3^- ↑
- ❖ 尿呈酸性



血 $[K^+]$ \uparrow

肾小管



血 $[H^+]$ \uparrow

尿液 $[H^+]$ \downarrow

图 高血钾性酸中毒时反常性碱性尿产生的机制



(四) 对机体的影响

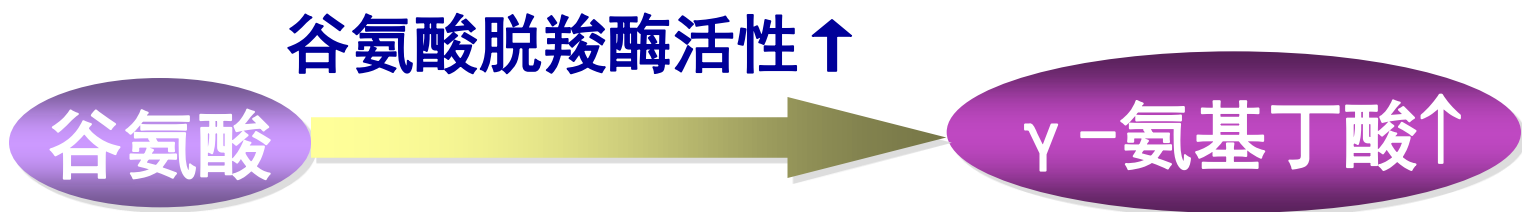
1. 心血管系统

- ◆ 心肌收缩力降低
- ◆ 心律失常
- ◆ 血管对儿茶酚胺的敏感性降低



2. 中枢神经系统功能抑制

- ◆ 脑能量生成↓
- ◆ γ -氨基丁酸↑



3. 酸碱平衡指标的变化趋势

原发性: pH ↓ NaHCO_3 ↓
BE 负值 ↑

继发性: PaCO_2 ↓ 血 $[\text{K}^+]$ ↑



(五) 防治的病理生理基础

- ◆ 治疗原发病
- ◆ 应用碱性药物





二、呼吸性酸中毒 (Respiratory acidosis)

(一) 概念

以血浆 H_2CO_3 浓度原发性增高和
pH降低为特征的酸碱平衡紊乱类型。





(二) 原因与机制

呼吸性酸中毒的常见原因

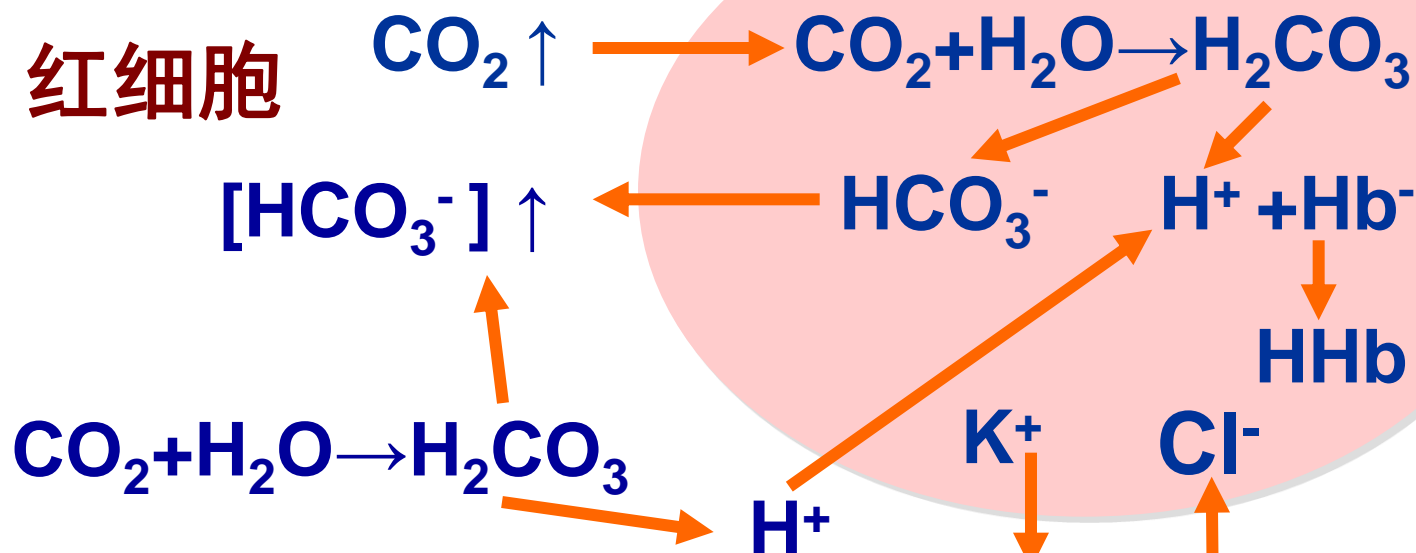
原因	常见疾病
CO ₂ 排出减少	呼吸中枢抑制：颅脑损伤、脑血管意外、麻醉镇静药过量
	呼吸肌麻痹：重症肌无力
	呼吸道阻塞：喉头痉挛、气管异物
	胸部疾病：胸部创伤、胸腔积液、胸廓畸形
	肺部疾病：肺气肿、支气管哮喘、肺炎
CO ₂ 吸入过多	通气不良



(三) 机体的代偿调节

1. 细胞内缓冲

◆ 红细胞



◆ 血浆



2. 肾的代偿

慢性呼吸性酸中毒：持续24h以上的 CO_2 潴留

- ◆ 泌 H^+ ↑
- ◆ 泌氨↑
- ◆ 重吸收 HCO_3^- ↑
- ◆ 尿呈酸性





（四）对机体的影响

中枢神经系统功能紊乱可比
代谢性酸中毒更为明显

- ◆ 中枢酸中毒明显
- ◆ 颅内压升高
- ◆ 缺氧

3. 常用指标的变化趋势

急性: pH \Downarrow PaCO₂ \Uparrow
NaHCO₃ (-) BE (-)

PaCO₂ \uparrow 10mmHg, NaHCO₃代偿性 \uparrow 1 mmol/L

慢性: pH \Downarrow PaCO₂ \Uparrow
HCO₃⁻ \Uparrow BE 正值 \Uparrow

PaCO₂ \uparrow 10mmHg, HCO₃⁻代偿性 \uparrow 3.5 mmol/L



（五）防治的病理生理基础

- ◆ 增加肺泡通气量
- ◆ 应用碱性药物



三、代谢性碱中毒 (Metabolic Alkalosis)

(一) 概念

以血浆 NaHCO_3 浓度原发性增加和pH升高为特征的酸碱平衡紊乱类型。





(二) 原因与机制

代谢性碱中毒的原因

原因	常见疾病
消化道失H ⁺	频繁呕吐、胃液引流
肾失H ⁺	低氯性碱中毒：应用利尿剂（如噻嗪类、呋塞米等）
	缺钾性碱中毒：摄钾减少、呕吐、腹泻、胃肠液引流
	高醛固酮：肾上腺皮质增生或肿瘤、脱水等
HCO ₃ ⁻ 摄入过多	输入过量NaHCO ₃ 、大量输入库存血等

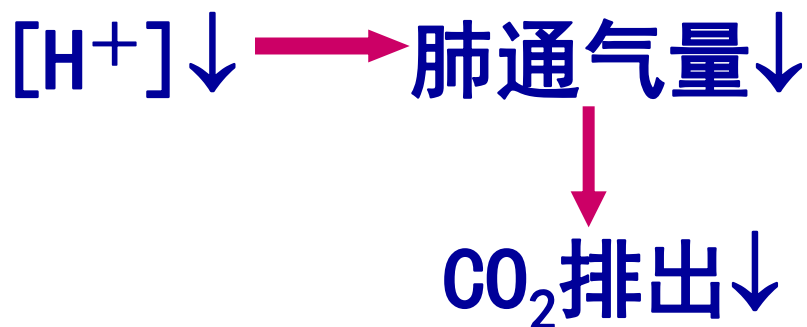


（三）机体的代偿调节

1. 血浆缓冲系统



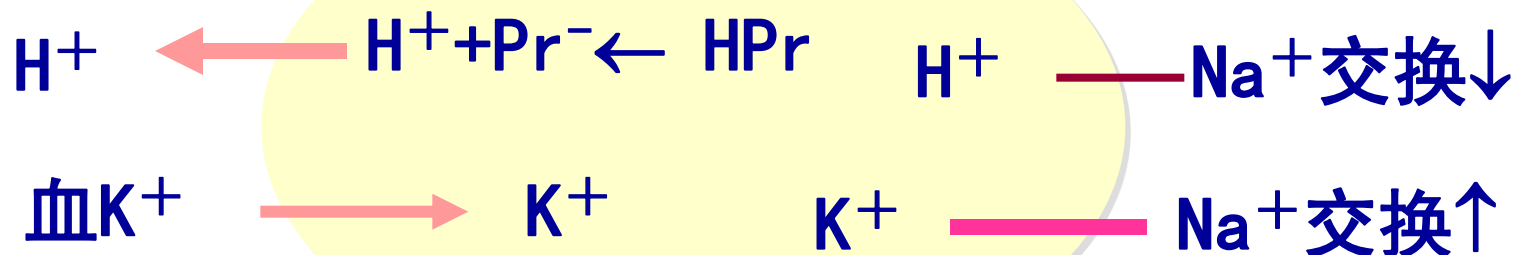
2. 呼吸调节



3. 细胞内缓冲

细胞外液 $[H^+] \downarrow$

肾小管腔



碱中毒 \rightarrow 低血钾

3. 细胞内缓冲

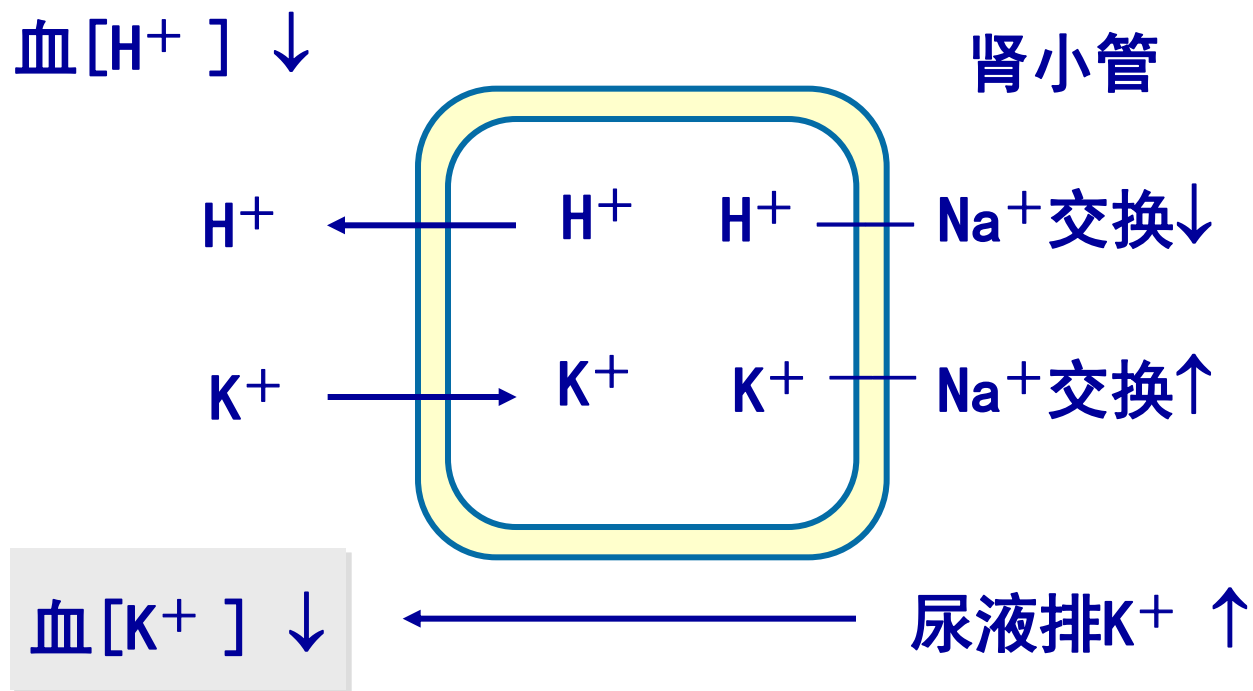


图 碱中毒引起血钾降低的机制



4. 肾的代偿

- ◆ 泌 H^+ ↓
- ◆ 泌氨 ↓
- ◆ HCO_3^- 重吸收 ↓
- ◆ 尿pH ↑

血 $[K^+]$ ↓

肾小管

K^+

K^+

K^+

Na^+ 交换 ↓

H^+

H^+

H^+

Na^+ 交换 ↑

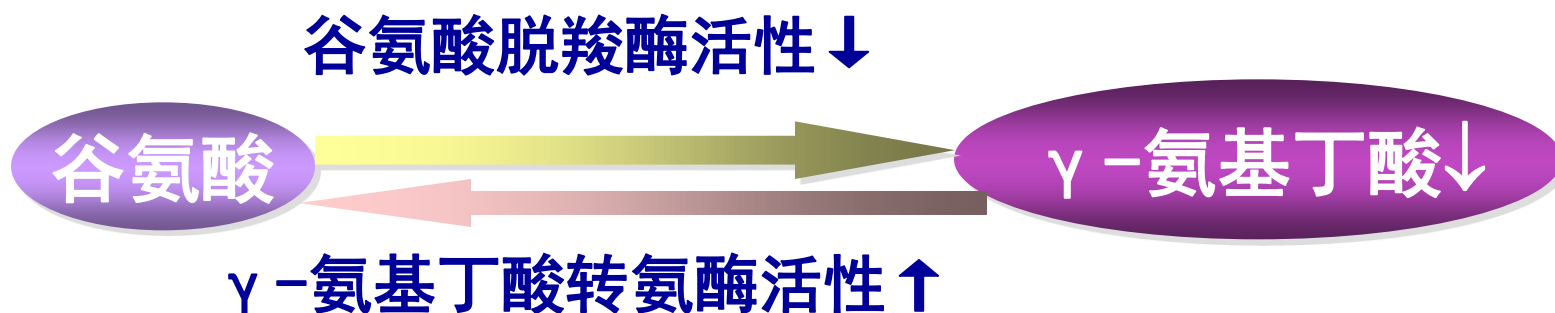
血 $[H^+]$ ↓

尿液 $[H^+]$ ↑

图 缺钾性碱中毒引起反常性酸性尿的机制

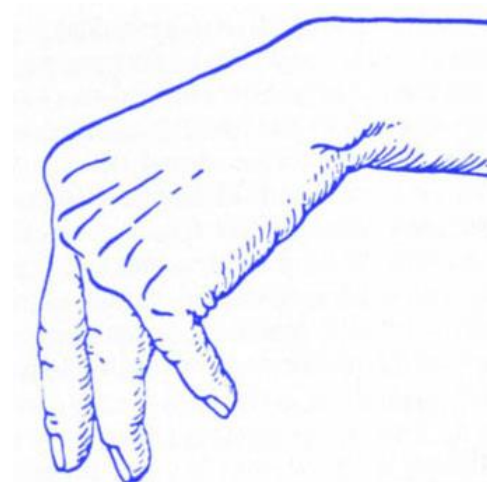
(四) 对机体的影响

1. 中枢神经系统兴奋



2. 神经肌肉兴奋性升高

机制： pH↑，
血中游离[Ca²⁺] ↓



手足搐搦



3. 常用指标的变化趋势

原发性: pH ↑ NaHCO_3 ↑

BE 正值 ↑

继发性: PaCO_2 ↑ 血 $[\text{K}^+]$ ↓



(五) 防治的病理生理基础

- ◆ 治疗原发病
- ◆ 生理盐水
- ◆ 含氯酸性药





四、呼吸性碱中毒

(Respiratory alkalosis)

(一) 概念

以血浆 H_2CO_3 浓度原发性减少和pH升高为特征的酸碱平衡紊乱类型。



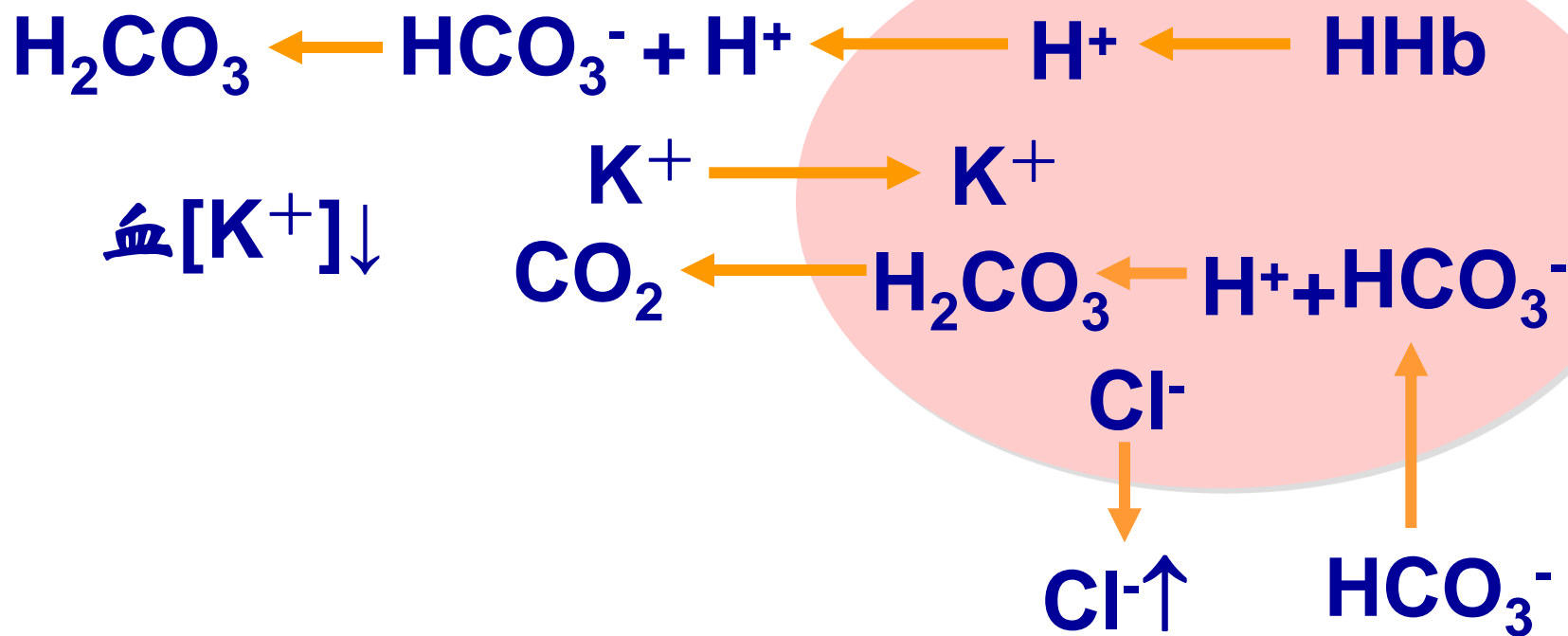
(二) 原因与机制

呼吸性碱中毒的原因

原因	常见疾病
低氧血症	高原性缺氧、肺炎、肺水肿
呼吸中枢兴奋	中枢神经系统疾患：脑血管意外、脑炎、颅脑损伤及脑肿瘤等
	精神性通气过度：癔病
	代谢亢进：高热、甲状腺功能亢进
	感染：革兰阴性杆菌感染
	药物刺激：水杨酸、氨
呼吸机使用不当	通气量过大

(三) 机体的代偿调节

1. 细胞内缓冲





4. 肾的代偿

- ◆ 泌 H^+ ↓
- ◆ 泌氨 ↓
- ◆ HCO_3^- 重吸收 ↓
- ◆ 尿pH ↑



(四) 对机体的影响

急性: pH $\uparrow\uparrow$ PaCO₂ \downarrow
NaHCO₃ (—) BE (—)

PaCO₂ \downarrow 10 mmHg, NaHCO₃代偿性 \downarrow 2 mmol/L

慢性: pH \uparrow PaCO₂ \downarrow
NaHCO₃ \downarrow BE负值 \uparrow

PaCO₂ \downarrow 10mmHg, NaHCO₃代偿性 \downarrow 4 mmol/L





(五) 防治的病理生理基础

治疗原发病



同一患者体内有两种或两种以上的酸碱平衡紊乱类型同时存在，称为混合型酸碱平衡紊乱。

两重性酸碱平衡紊乱的类型

呼酸合并代酸

呼酸合并代碱

呼碱合并代碱

呼碱合并代酸

代酸合并代碱