



黔江区文龙街道卫生院
黔江区脑血管病防治医院

血气分析



空气中的气体组成

高原气压：56.04KPa
(421mmHg)



CO₂
21%
O₂

N₂
78%

89mmHg

159mmHg

0.031%

CO₂

21%
O₂

N₂
78%

平原气压：101.3KPa
760mmHg





肺泡中气体组成

肺泡气
(通气功能正常时)

40mmHg

CO₂

H₂O

47mmHg

104mmHg

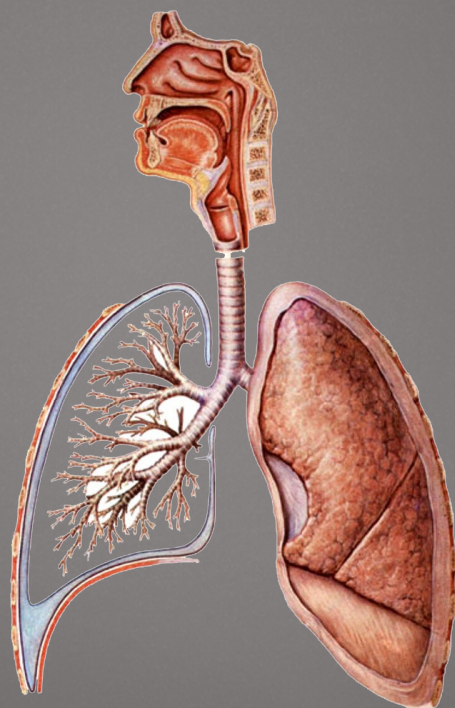
PAO₂

N₂

75%

566mmHg

交换



大气压:760mmHg

空气

CO₂

159mmHg

PO₂

N₂

78%

597mmHg

交换

空气



血液中气体组成（弥散功能正常时）

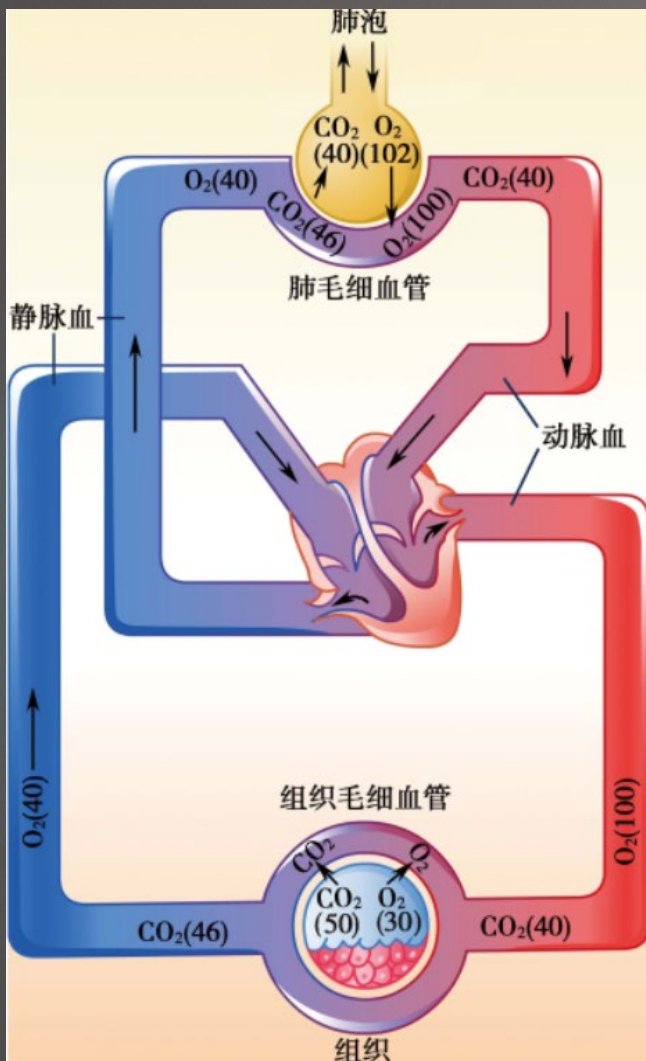


表5-3 血液中O₂和CO₂的含量 (ml / 100ml血液)

	动脉血			混合静脉血		
	物理溶解	化学结合	合计	物理溶解	化学结合	合计
O ₂	0.31	20.0	20.31	0.11	15.2	15.31
CO ₂	2.53	46.4	48.93	2.91	50.0	52.91

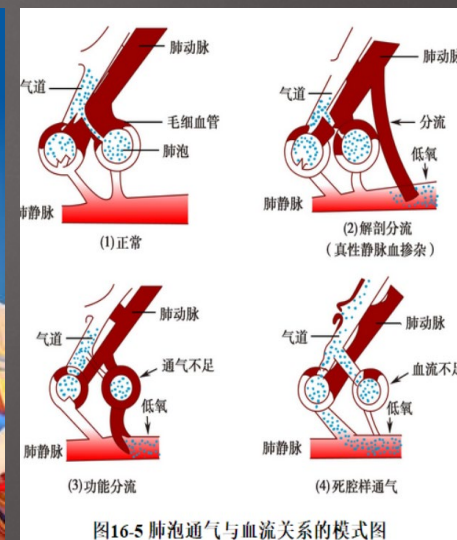
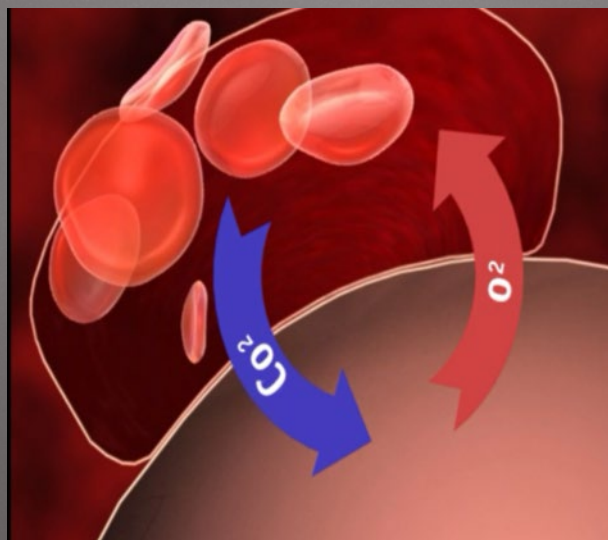


图16-5 肺泡通气与血流关系的模式图



肺泡气

40mmHg
CO₂

H₂O
47mmHg

PAO₂
104mmHg

N₂
566mmHg

动脉血 (弥散功能正常)

40mmHg
CO₂

H₂O
47mmHg

PaO₂
95mmHg

N₂
573mmHg

静脉血

46mmHg
CO₂

H₂O
47mmHg

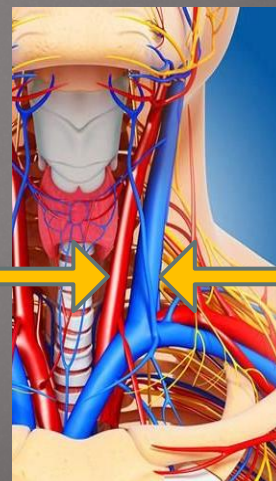
PvO₂:
40mmHg

N₂
573mmHg

SaO₂:
100%

SvO₂:
75%

>15, 弥散障碍





CO_2 (血氧含量 **content of O_2**) 分为 CaO_2 、 CvO_2

CaO_2 计算公式 (CvO_2 同理) :

$$\text{CaO}_2 (\text{ml/dl}) = 1.34 \cdot \text{Hb} \cdot \text{SaO}_2 + 0.0031 \cdot \text{PaO}_2$$

$$1.34 \cdot \text{HB} \cdot \text{SpO}_2 = 20 \text{ml/dl}$$

$$1.34 \cdot \text{HB} \cdot \text{SVO}_2 = 15 \text{ml/dl}$$

这是混合后的结果

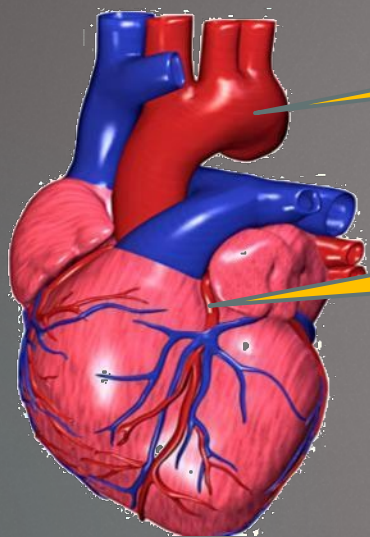
100ml 含 20ml O_2

100ml 含 15ml O_2

◎ 氧气在 20°C 时的溶解系数是 **0.0031**, (1000ml 血溶解 3.1ml 氧)



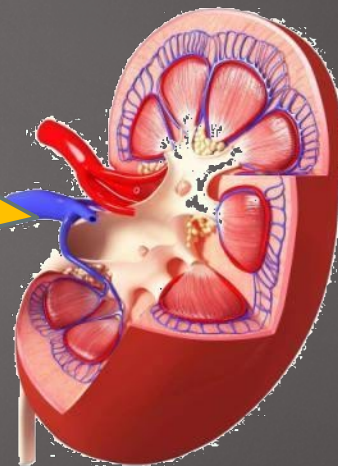
不同部位对氧气的需要是不一样的。



20 vol%. (200ml/升血)

冠状动脉的氧气利用率明显高，
回流时只有8.6VOL%。
故心肌不耐缺氧。

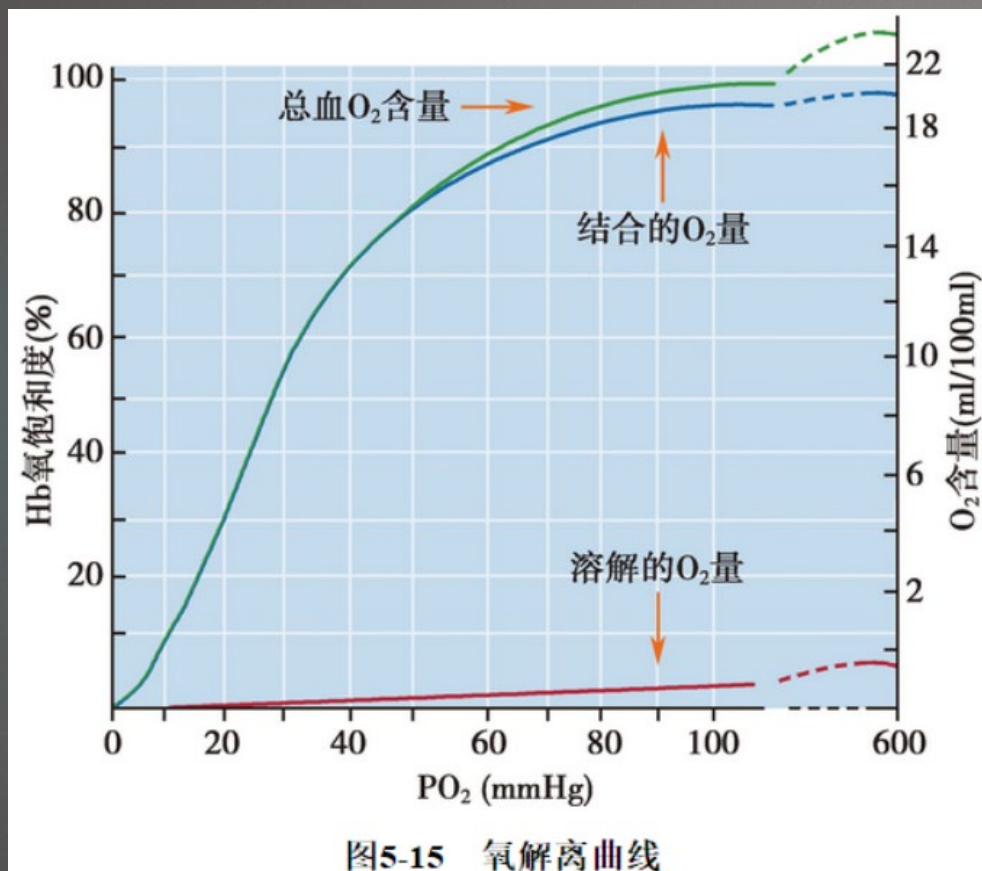
肾静脉中的血氧含量
18.7vol%,只损失1.3vol%



流经耳朵，手指、皮肤
的血流，更多是为了保
温，不被冻掉，氧气损
失很少。也耐缺氧



氧气在20℃时的溶解系数是0.0031, (网上多写成0.031)



◎ **PaO₂的意义:**

◎ 以物理形式溶解的O₂才是氧弥散的真正动力;

◎ 而Hb是弹性系数极小的可压缩库 (至少在曲线陡直段)

◎ 1升血中这3.1ml氧气非常重要



血气分析：

▶ 定义：

▶ 是指对血液不同类型气体和酸碱物质进行综合分析的技术过程。

▶ 临床作用：

▶ 判断呼吸功能

▶ 判断酸碱失衡



判断呼吸功能

- ▶ I 型呼吸衰竭：海平面平静呼吸空气的条件下，
 PaCO_2 正常或下降， $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$
 - ▶ II 型呼吸衰竭：海平面平静呼吸空气的条件下，
 $\text{PaCO}_2 > 50\text{mmHg}$ ， $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$
 - ▶ 吸氧状态下判断有无呼吸衰竭：
 - 1) 吸氧状态下，若出现 $\text{PaCO}_2 > 50\text{mmHg}$ ， $\text{PaO}_2 > 60\text{mmHg}$ ，可判断为
吸氧条件下的 II 型呼吸衰竭
 - 2) 吸氧状态下，若出现 $\text{PaCO}_2 < 50\text{mmHg}$ ， $\text{PaO}_2 > 60\text{mmHg}$ ，也不等于没有呼吸衰竭，此时需计算氧合指数： $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$
- 举例：吸氧 $2\text{L}/\text{min}$ ， $\text{PaCO}_2 < 45\text{mmHg}$ ， $\text{PaO}_2 > 80\text{mmHg}$



判断酸碱失衡

- 酸碱的来源
- 酸碱的调节（机体的代偿机制）
- 酸碱平衡的基本概念
- 电解质紊乱与酸碱失衡的关系
- 酸碱平衡的常用指标
- 酸碱失衡的类型
- 酸碱失衡的判断



➤ 酸碱的来源

- ▶ 三大营养物质代谢产生（主要），摄取的食物、药物（少量）
- ▶ 产生两种酸：

1. **挥发酸**: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$

最多,通过**肺**进行调节,称酸碱的呼吸性调节。

成人安静状态下每天产生**300-400L**的 CO_2 。

若全部结合水并释放 H^+ , H^+ 将是**15mmol/d**。

2. **固定酸**: 不能变成气体由肺呼出,仅通过**肾**排出,称酸碱的肾性调节。

如: 硫酸、磷酸、尿酸（蛋白质代谢）

甘油酸、丙酮酸、乳酸（糖酵解）

三羧酸（糖氧化）

β -羟丁酸、乙酰乙酸（脂肪代谢）



➤ 酸碱的调节（机体的代偿机制）

- ▶ 缓冲系统：碳酸氢盐缓冲系统、磷酸盐缓冲系统、血浆蛋白缓冲系统、血红蛋白缓冲系统，氧合血红蛋白缓冲系统。

反应迅速，作用不持久

- ▶ 肺调节：通过改变肺泡通气量控制 CO_2 的排出来维持

主要调节挥发酸

起效快，作用30min达最高峰，作用强

- ▶ 肾调节：泌 H^+ 、重吸收 HCO_3^- 、排 NH_4^+ 来调节

主要调节固定酸

起效慢，数小时后起作用，3-5天达高峰

- ▶ 组织细胞内液的调节：主要通过离子交换（如 $\text{H}^+ - \text{K}^+$ ， $\text{Cl}^- - \text{HCO}_3^-$ ）

作用较强，起效慢，3-4h起效



➤ 酸电解质紊乱与酸碱失衡的关系

▶ 三大理论规律：

1.电中和规律

2.等渗规律

1) 渗透压大小与溶质颗粒的多少成正比，等于体液中阴阳离子所引起渗透压的总合。

2) 血浆渗透压正常范围是280-320mOsm/L。

3) 单价元素1毫当量等于1毫渗分子，双价元素1毫当量等于0.5毫渗分子

3.维持PH正常的生理规律



➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ PH:

1. $\text{PH} = \log 1/[\text{H}^+]$, 是反映体内总酸度的指标。
2. 受呼吸因素和代谢因素共同影响。
3. 正常值: 动脉血 7.35-7.45 平均值 7.40
静静脉血较动脉血低0.03-0.05

➤ PaCO_2 :

1. 是血浆中物理溶解的 CO_2 产生的压力
2. 正常值: 动脉血 35~45mmHg, 平均值40mmHg
静静脉血较动脉血高5-7mmHg
3. 是酸碱平衡呼吸因素的唯一指标。



➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ **PO₂:**

- 1.是血浆中物理溶解的氧分子所产生的压力。
- 2.正常值：动脉血 80~100mmHg，静脉血40mmHg
- 3.动脉血PO₂正常值随年龄增加而下降
预计PO₂ (mmHg) = 102 - 0.33 × 年龄 ± 10
4. 判断呼吸功能时，一定要用P_aO₂而不能用P_vO₂替代



➤ 酸碱平衡的常用指标

▶ 血氧饱和度 (SO_2) :

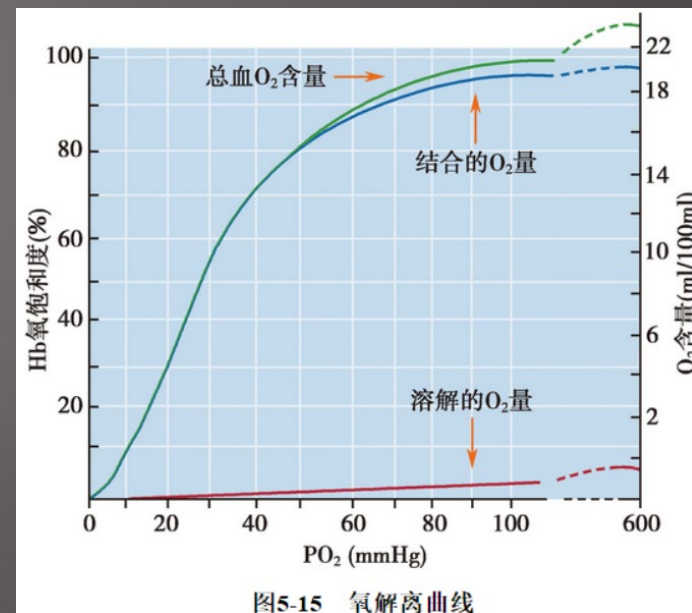
1.是指血红蛋白与氧结合的程度，即氧合血红蛋白占总血红蛋白的百分比。

$SO_2 = (\text{氧合血红蛋白} / \text{全部血红蛋白}) \times 100\%$

2.正常值：动脉血 95-99%，静脉血75%左右。

3. SO_2 与 PaO_2 的关系即是氧离解曲线。

P50:即 SO_2 为50%时的氧分压
左移时减小，右移时增大





➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ 总二氧化碳 ($T\text{-CO}_2$) :

- 1.指存在于血浆的一切形式的 CO_2 的总量
2. HCO_3^- 是血浆中 CO_2 运输的主要形式，占95%，其次为物理溶解的 CO_2 。
- 3.是反映酸碱失衡代谢因素的指标。
- 4.正常值：25.2mmol/L

➤ 二氧化碳结合力 ($\text{CO}_2\text{-CP}$) :

- 1.血浆中呈化合状态的二氧化碳量。
- 2.是反映酸碱失衡代谢因素的指标。



➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ HCO_3^- :

- 1.是指隔绝空气的血液标本在实验条件下所测得的血浆 HCO_3^- 值，即AB。
- 2.正常值：22-27mmol/L，平均值24mmol/L。
- 3.是反映酸碱失衡代谢因素的指标。
- 4.动静脉血 HCO_3^- 大致相等。

➤ 标准碳酸氢盐（SB）：

- 1.在标准条件下测得的 HCO_3^- 值。
- 2.标准条件： PCO_2 40mmHg、血红蛋白完全饱和、温度37℃
- 3.是反映酸碱失衡代谢因素的指标。
- 4.正常值：22-27mmol/L，平均值24mmol/L。



➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ 缓冲碱（BB）：

1. 血液中所有缓冲阴离子的总和

全血缓冲碱的组成

血浆 HCO_3^-	35%
---------------------	-----

红细胞 HCO_3^-	18%
----------------------	-----

氧合和还原血红蛋白	35%
-----------	-----

血浆蛋白	7%
------	----

有机、无机磷酸盐	5%
----------	----

2. 正常值：45~55mmol/L(平均50mmol/L)

3. 代酸，BB↓

代碱，BB↑



➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ 碱剩余 (BE) :

1.是在37°C、血红蛋白充分氧合、 PCO_2 40mmHg条件下，将1升全血的pH滴定到7.40所需的酸或碱量，表示血浆碱储量增加或减少的量。

2.正常范围: ± 3 , 平均值 0

3.是反映酸碱失衡代谢因素的指标。

4.BE >0, 提示缓冲碱增加

BE <0, 提示缓冲碱减少

5.指导临床补酸或碱量。

补酸(碱)量mmol=0.3×BE×体重(kg)

先补1/3~1/2, 然后依据血气结果决定再次补充量



➤ 酸碱平衡的常用指标

➤ 阴离子间隙 (**AG**) : $AG = UA - UC$

1.指血清中未测阴离子和未测阳离子之差。

2.正常值: 8-16mmol/L, 平均值 12mmol/L

3.**AG**升高的最常见原因是体内存在过多的**UA** (乳酸根、丙酮酸根、磷酸根及硫酸根等)。

4.**AG**可判断以下六型酸碱失衡:

高**AG**代酸

代碱并高**AG**代酸

呼酸并高**AG**代酸

呼碱并高**AG**代酸

混合性代酸

三重酸碱失衡

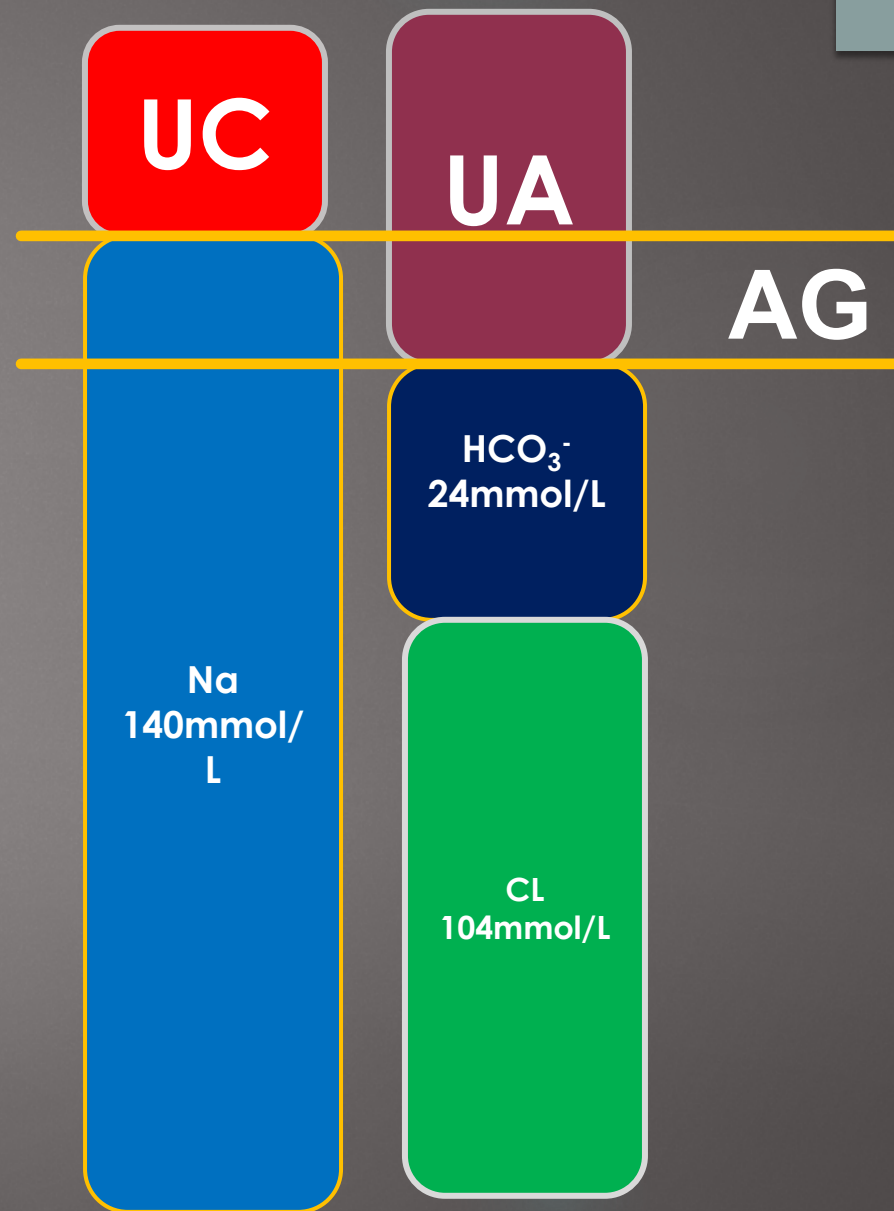


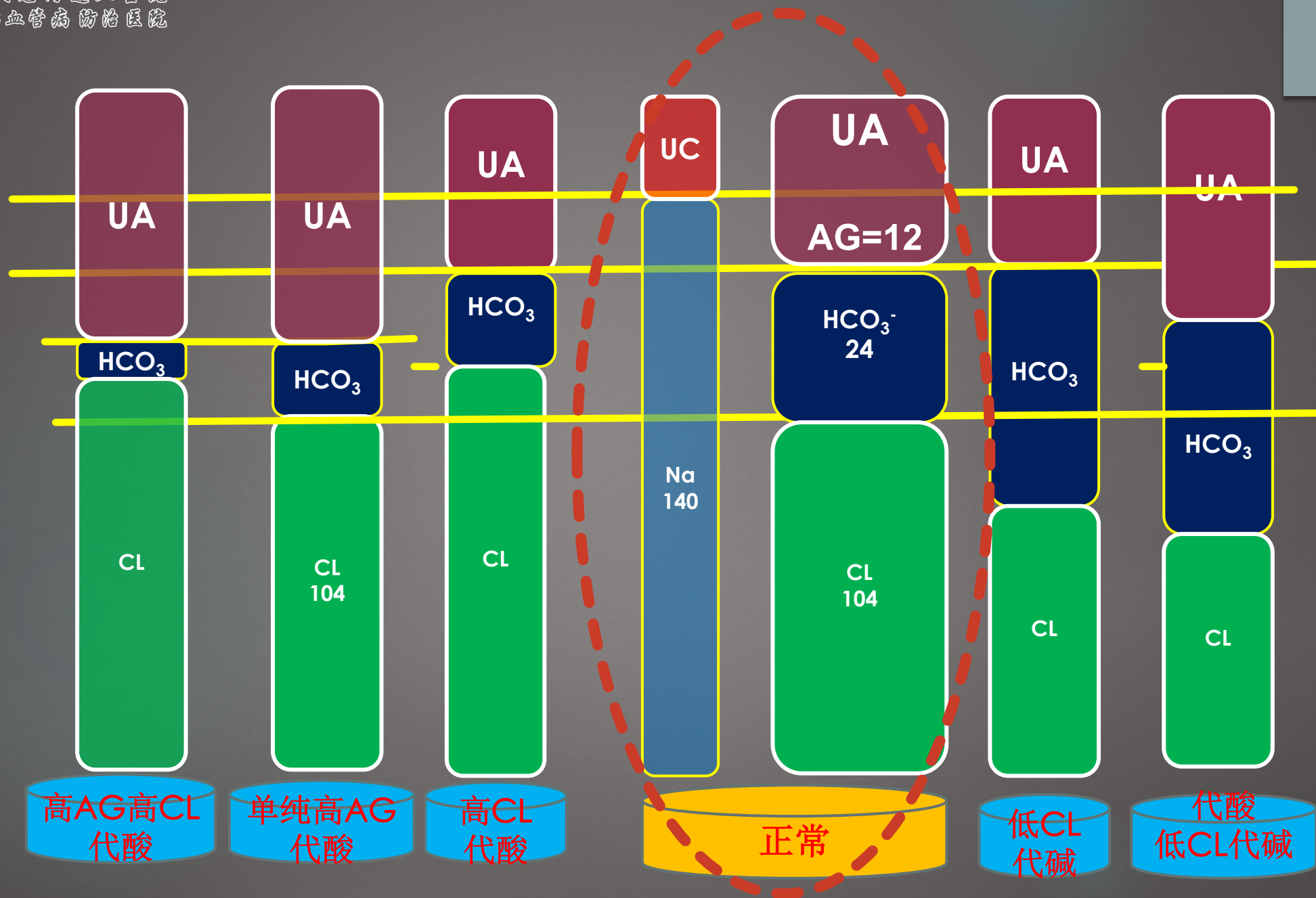
AG

- ▶ AG是诊断代酸+代碱和“三重性”酸碱紊乱不可缺少的指标。
- ▶ 一般说，AG增加就是AG代酸，AG正常就说明是失碱性（高氯性）代酸。

$$AG = Na^+ - (HCO_3^- + Cl^-)$$

参考值：8~16mmol







- ◎ 可测的阴离子减少，提示固定酸的量增加。这会消耗碱贮备，**谓之高AG代酸**
- ◎ 固定酸的排泄依赖于肾（此外，尚有消化道及皮肤）
- ◎ AG正常而出现代酸，则必为高 Cl^- 所致，**谓之高 Cl^- 代酸**



临床应用时需注意：

- a. 计算AG强调同步测定动脉血气和血电解质。
- b. 排除实验误差引起的假性AG升高。
- c. 要结合临床综合判断
- d. 凡是AG > 16mmol/L，应考虑高AG代酸的存在。

规律：

- a. 高AG代酸： $\Delta\text{HCO}_3^- \downarrow = \Delta\text{AG} \uparrow$
- b. 高CL-代酸： $\Delta\text{HCO}_3^- \downarrow = \Delta\text{CL}^- \uparrow$ ；呼碱引起的代偿性 $\text{HCO}_3^- \downarrow$ 也符合此规律。
- c. 代碱： $\Delta\text{HCO}_3^- \uparrow = \Delta\text{CL}^- \downarrow$ ，呼酸引起的代偿性 $\text{HCO}_3^- \uparrow$ 也符合此规律。
- d. 一旦 $\Delta\text{HCO}_3^- \downarrow \neq \Delta\text{AG} \uparrow$ 、 $\Delta\text{HCO}_3^- \downarrow \neq \Delta\text{CL}^- \uparrow$ 或 $\Delta\text{HCO}_3^- \uparrow \neq \Delta\text{CL}^- \downarrow$ 均应考虑混合性酸碱失衡的可能



► 潜在 HCO_3^- :

1.指排除并存高AG代酸对 HCO_3^- 掩盖作用之后的 HCO_3^-

2.潜在 $\text{HCO}_3^- = \text{实测}\text{HCO}_3^- + \Delta\text{AG}$

3.意义：揭示代碱+高AG代酸和TABD中代碱的存在

举例：PH 7.40、 Pco_2 40mmhg、 HCO_3^- 24mmol/L、K 3.8mmol/L、Na 140mmol/L、CL 90mmol/L

[分析] 单从血气看，是“完全正常”，但结合电解质水平， $\text{AG} = 26\text{mmol}$ ， $>16\text{mmol}$ ，提示伴高AG代谢性酸中毒



► 分清原发与继发变化

A.酸碱失衡代偿必须遵循以下规律：

1. HCO_3^- 、 PCO_2 任何一个变量的原发变化均可引起另一个变量的同向代偿性变化。
2. 原发失衡变化必大于代偿变化。



B.根据上述规律总结出:

1. 原发失衡决定PH值是偏酸还是偏碱。

PH 7.32、 HCO_3^- 15mmol/L、 PCO_2 30mmHg

PH 7.45、 HCO_3^- 32mmol/L、 PCO_2 48mmHg

PH 7.42、 HCO_3^- 19mmol/L、 PCO_2 29mmHg

PH 7.35、 HCO_3^- 32mmol/L、 PCO_2 60mmHg

2. HCO_3^- 、 PCO_2 呈反向变化必有混合行酸碱失衡的存在。

举例: PH 7.22、 HCO_3^- 20mmol/L、 PCO_2 50mmhg

PH 7.57、 HCO_3^- 28mmol/L、 PCO_2 32mmhg

3. HCO_3^- 、 PCO_2 明显异常同时伴PH正常, 应考虑有混合性酸碱失衡的存在



► 分析单纯性和混合性酸碱失衡：

用单纯性酸碱失衡预计代偿公式来判断。步骤：

- 1.通过PH、 PCO_2 、 HCO_3^- -三个参数，并结合临床确定原发失衡。
- 2.根据原发失衡选用合适公式。
- 3.将公式所得结果与实测 PCO_2 或 HCO_3^- -相比较做出判断。

凡落在公式计算代偿范围内的，可判断为单纯性酸碱失衡

凡落在公式计算代偿范围外的，可判断为混合性酸碱失衡

- 4.若并发高AG代酸的混合性酸碱失衡，应计算潜在 HCO_3^- ，将其与公式所得预计值比较，判断有无代碱的存在。



单纯酸碱失衡预计代偿公式

原发失衡	原发化学变化	代偿反应	预计代偿公式	代偿极限
代酸	$\text{HCO}_3^- \downarrow$	$\text{PCO}_2 \downarrow$	$\text{PCO}_2 = 1.5 \times \text{HCO}_3^- + 8 \pm 2$	10mmhg
代碱	$\text{HCO}_3^- \uparrow$	$\text{PCO}_2 \uparrow$	$\Delta \text{PCO}_2 = 0.9 \times \Delta \text{HCO}_3^- \pm 5$	55mmhg
呼酸	$\text{PCO}_2 \uparrow$	$\text{HCO}_3^- \uparrow$	急性: HCO_3^- 代偿性 $\uparrow 3-4\text{mmhg}$ 慢性: $\Delta \text{HCO}_3^- = 0.35 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 5.58$	30mmol/L 42-45
呼碱	$\text{PCO}_2 \downarrow$	$\text{HCO}_3^- \downarrow$	急性: $\Delta \text{HCO}_3^- = 0.2 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 2.5$ 慢性: $\Delta \text{HCO}_3^- = 0.49 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 1.72$	18mmol/L 12-15

来源：陆军军医大学新桥医院，钱桂生，《动脉血气分析与酸碱失衡判断进展及其临床意义》




表4-6 常用单纯型酸碱失衡的预计代偿公式

原发失衡	原发性变化	继发性代偿	预计代偿公式	代偿时限	代偿极限
代谢性酸中毒	$[\text{HCO}_3^-] \downarrow$	$\text{PaCO}_2 \downarrow$	$\Delta \text{PaCO}_2 \downarrow = 1.2 \Delta [\text{HCO}_3^-] \pm 2$	12~24 小时	10mmHg
代谢性碱中毒	$[\text{HCO}_3^-] \uparrow$	$\text{PaCO}_2 \uparrow$	$\Delta \text{PaCO}_2 \uparrow = 0.7 \Delta [\text{HCO}_3^-] \pm 5$	12~24 小时	55mmHg
呼吸性酸中毒	$\text{PaCO}_2 \uparrow$	$[\text{HCO}_3^-] \uparrow$			
急性:			$\Delta [\text{HCO}_3^-] \uparrow = 0.1 \Delta \text{PaCO}_2 \pm 1.5$	几分钟	30mmol/L
慢性:			$\Delta [\text{HCO}_3^-] \uparrow = 0.35 \times \Delta \text{PaCO}_2 \pm 3$	3~5 天	42~45mmol/L
呼吸性碱中毒	$\text{PaCO}_2 \downarrow$	$[\text{HCO}_3^-] \downarrow$			
急性:			$\Delta [\text{HCO}_3^-] = 0.2 \times \Delta \text{PaCO}_2 \pm 2.5$	几分钟	18mmol/L
慢性:			$\Delta [\text{HCO}_3^-] = 0.5 \times \Delta \text{PaCO}_2 \pm 2.5$	3~5 天	12~15mmol/L

注: ①有“ Δ ”者为变化值, 无“ Δ ”表示绝对值。②代偿极限: 指单纯型酸碱失衡代偿所能达到的最小值或最大值。③代偿时限: 指体内达到最大代偿反应所需的时间




表 5-3-4 酸碱失调预计代偿公式

原发失衡	预计代偿公式	代偿极限
呼吸性酸中毒	急性 $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 0.07 \pm 1.5$	30mmol/L
	慢性 $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 0.35 \pm 5.58$	45mmol/L
呼吸性碱中毒	急性 $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 0.2 \pm 2.5$	18mmol/L
	慢性 $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 0.5 \pm 2.5$	12mmol/L
代谢性酸中毒	$\text{PaCO}_2 = \text{HCO}_3^- \times 1.5 + 8 \pm 2$	10mmHg
代谢性碱中毒	$\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 0.9 \pm 1.5$ 	55mmHg

来源：诊断学，第八版，第552页

钟南山，呼吸病学，第二版

表 10-1-1 常用酸碱失衡预计代偿公式

原发失衡	原发化学变化	代偿反应	预计代偿公式	代偿极限
代酸	$\text{HCO}_3^- \downarrow$	$\text{PCO}_2 \downarrow$	$\text{PCO}_2 = 1.5 \times \text{HCO}_3^- + 8 \pm 2$	10mmHg
代碱	$\text{HCO}_3^- \uparrow$	$\text{PCO}_2 \uparrow$	$\Delta \text{PCO}_2 = 0.9 \times \Delta \text{HCO}_3^- \pm 5$ 	55mmHg
呼酸	$\text{PCO}_2 \uparrow$	$\text{HCO}_3^- \uparrow$	急性：代偿引起 HCO_3^- 升高 3~4mmHg	30mmol/L
			慢性： $\Delta \text{HCO}_3^- = 0.35 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 5.58$	42~45mmol/L
呼碱	$\text{PCO}_2 \downarrow$	$\text{HCO}_3^- \downarrow$	急性： $\Delta \text{HCO}_3^- = 0.2 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 2.5$	18mmol/L
			慢性： $\Delta \text{HCO}_3^- = 0.49 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 1.72$	12~15mmol/L

注：①代偿极限：指单纯性酸碱失衡代偿所能达到的最大值或最小值；②有“Δ”者为变化值；无“Δ”者为绝对值



表 1 Hamm 和周寿生单纯性酸碱失衡预计代偿公式

酸碱失衡	预计代偿应达范围	最大代偿系数	代偿时间	代偿极限
代谢性酸中毒				
Hamm	$\text{PaCO}_2 = 40 - (1 \sim 1.4) \times \Delta[\text{HCO}_3^-] \downarrow$	1.4	12 ~ 24 h	10 mm Hg
周寿生	$\text{PaCO}_2 \times 0.6 = 21 - (21 - [\text{HCO}_3^-]) \times 0.72 + (0 \sim 3)$	1.2		
代谢性碱中毒				
Hamm	$\text{PaCO}_2 = 40 + (0.4 \sim 0.9) \times \Delta[\text{HCO}_3^-] \uparrow$	0.9	12 ~ 24 h	55 mm Hg
周寿生	$\text{PaCO}_2 \times 0.6 = 27 + ([\text{HCO}_3^-] - 27) \times 0.54 - (0 \sim 3)$	0.9		
呼吸性酸中毒				
急性 Hamm	$[\text{HCO}_3^-] = 24 + (0.025 \sim 0.175) \times \Delta\text{PaCO}_2 \uparrow$	0.175	< 6 h	32 mmol/L
周寿生	$[\text{HCO}_3^-] = 27 + (\text{PaCO}_2 \times 0.6 - 27) \times 0.12 - (0 \sim 3)$	0.07		
慢性 Hamm	$[\text{HCO}_3^-] = 24 + (0.25 \sim 0.55) \times \Delta\text{PaCO}_2 \uparrow$	0.55	3 ~ 4 d	45 mmol/L
周寿生	$[\text{HCO}_3^-] = 27 + (\text{PaCO}_2 \times 0.6 - 27) \times 0.67 - (0 \sim 3)$	0.4		
呼吸性碱中毒				
急性 Hamm	$[\text{HCO}_3^-] = 24 - (0.2 \sim 0.25) \times \Delta\text{PaCO}_2 \downarrow$	0.25	< 6 h	18 mmol/L
周寿生	$[\text{HCO}_3^-] = 21 - (21 - \text{PaCO}_2 \times 0.6) \times 0.33 + (0 \sim 3)$	0.2		
慢性 Hamm	$[\text{HCO}_3^-] = 24 - (0.4 \sim 0.5) \times \Delta\text{PaCO}_2 \downarrow$	0.5	2 ~ 3 d	12 mmol/L
周寿生	$[\text{HCO}_3^-] = 21 - (21 - \text{PaCO}_2 \times 0.6) \times 0.83 + (0 \sim 3)$	0.5		

注: $\Delta[\text{HCO}_3^-] = 24 - \text{实测}[\text{HCO}_3^-]$, $\Delta\text{PaCO}_2 = 40 - \text{实测}\text{PaCO}_2$ 。↑表示高于正常数值, ↓表示低于正常数值。单位: $[\text{HCO}_3^-]$ mmol/L, PaCO_2 mm Hg。1 mm Hg = 0.133 kPa。



表 1 单纯性酸碱平衡紊乱的预计代偿范围

类型	预计代偿范围	代偿极限值
代谢性酸中毒	$\text{PaCO}_2 = 40 + (1 \sim 1.4) \times (\Delta \text{HCO}_3^-)$	10 mmHg
代谢性碱中毒	$\text{PaCO}_2 = 40 + (0.4 \sim 0.9) \times (\Delta \text{HCO}_3^-)$	55 mmHg
呼吸性酸中毒		
急性	$\text{HCO}_3^- = 24 + (0.025 \sim 0.175) \times (\Delta \text{PaCO}_2)$	32 mmol/L
慢性	$\text{HCO}_3^- = 24 + (0.25 \sim 0.55) \times (\Delta \text{PaCO}_2)$	45 mmol/L
呼吸性碱中毒		
急性	$\text{HCO}_3^- = 24 + (0.2 \sim 0.25) \times (\Delta \text{PaCO}_2)$	18 mmol/L
慢性	$\text{HCO}_3^- = 24 + (0.4 \sim 0.5) \times (\Delta \text{PaCO}_2)$	12 mmol/L

注： $\Delta \text{HCO}_3^- = \text{HCO}_3^- - 24$ ； $\Delta \text{PaCO}_2 = \text{PaCO}_2 - 40$



表 3 常用酸碱失衡预计代偿公式

原发失衡	原发化学变化	代偿反应	预计代偿公式	代偿极限
代谢性酸中毒	$[\text{HCO}_3^-] \downarrow$	$\text{PaCO}_2 \downarrow$	$\text{PaCO}_2 = 1.5 \times [\text{HCO}_3^-] + 8 \pm 2.0$	10 mm Hg(1.33 kPa)
代谢性碱中毒	$[\text{HCO}_3^-] \uparrow$	$\text{PaCO}_2 \uparrow$	$\Delta \text{PaCO}_2 = 0.9 \times \Delta [\text{HCO}_3^-] \pm 5.0$	55 mm Hg(7.33 kPa)
呼吸性酸中毒	$\text{PaCO}_2 \uparrow$	$[\text{HCO}_3^-] \uparrow$	急性: 代偿引起 $[\text{HCO}_3^-]$ 升高 3~4 mm Hg (0.4~0.53 kPa)	30 mmol/L
			慢性: $\Delta [\text{HCO}_3^-] = 0.35 \times \Delta \text{PCO}_2 \pm 5.58$	42~45 mmol/L
呼吸性碱中毒	$\text{PaCO}_2 \downarrow$	$[\text{HCO}_3^-] \downarrow$	急性: $\Delta [\text{HCO}_3^-] = 0.2 \times \Delta \text{PaCO}_2 \pm 2.5$	18 mmol/L
			慢性: $\Delta [\text{HCO}_3^-] = 0.5 \times \Delta \text{PaCO}_2 \pm 2.5$	12~15 mmol/L



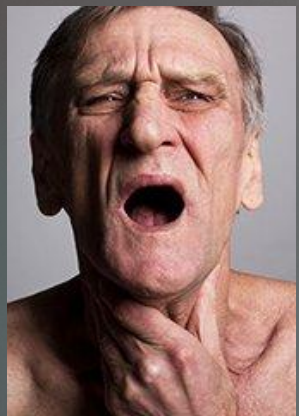
单纯的酸碱紊乱及其继发性改变 (经验估算值)

- ◎ 呼吸性酸中毒：原发性的 $\text{PaCO}_2 \uparrow$ → 继发性 $\text{HCO}_3^- \uparrow$
 - $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/10$ (急性)
 - $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/3$ (慢性)
- ◎ 呼吸性碱中毒：原发性的 $\text{PaCO}_2 \downarrow$ → 继发性 $\text{HCO}_3^- \downarrow$
 - $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/5$ (急性)
 - $\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/2$ (慢性)
- ◎ 代谢性酸中毒：原发性的 $\text{HCO}_3^- \downarrow$ → 继发性 $\text{PaCO}_2 \downarrow$
 - $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 1.2$
- ◎ 代谢性碱中毒：原发性的 $\text{HCO}_3^- \uparrow$ → 继发性 $\text{PaCO}_2 \uparrow$
 - $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 0.9$



呼吸性酸中毒，原发性 CO_2 升高，带动 HCO_3^- 升高。

$\Delta \text{PaCO}_2 \uparrow \uparrow$



$\Delta \text{HCO}_3^- \uparrow$

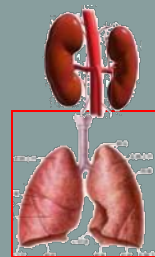


pH值取决于碳酸氢盐缓冲对

($\text{BHCO}_3/\text{H}_2\text{CO}_3$)

二者的比值保持在20:1时，血液pH值为7.40。

$$\text{pH} = 6.1 + \lg 20 = 7.40$$



$$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{H}_2\text{CO}_3} = 20$$

$$\begin{aligned} \Delta \text{HCO}_3^- &= \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/10 \quad (\text{急性}) \\ \Delta \text{HCO}_3^- &= \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/3 \quad (\text{慢性}) \end{aligned}$$

$\frac{KHb}{HHb}$



呼吸性碱中毒，原发性 CO_2 降低，带动 HCO_3^- 降低。



- ▶ 肾脏的代偿需要数小时到数天。
- ▶ （肺：你怎么老半天了才赶上来？我快撑不住了！）

$$\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/5 \quad (\text{急性})$$

$$\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/2 \quad (\text{慢性})$$



呼酸病人 (COPD)



升高
30mmHg

Pco2
40mm
Hg

急性
1/10
急性升高
3mmHg

HCO₃⁻
24mmol
/L

慢性
1/3
慢性升高
10mmHg

HCO₃⁻
24mmol
/L

呼碱病人 (ARDS)



降低
10mm
Hg

Pco2
40mm
Hg

急性 1/5

HCO₃⁻
24mmol
/L

慢性 1/2
5mmHg

HCO₃⁻
24mmol
/L



急慢酸碱呼，1.2.3.4.5.

- 呼吸性酸中毒：原发性的 $\text{PaCO}_2 \uparrow \rightarrow$ 继发性 $\text{HCO}_3^- \uparrow$

$$\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/10 \quad (\text{急性})$$

1个

$$\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/3 \quad (\text{慢性})$$

3.4个

- 呼吸性碱中毒：原发性的 $\text{PaCO}_2 \downarrow \rightarrow$ 继发性 $\text{HCO}_3^- \downarrow$

$$\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/5 \quad (\text{急性})$$

2个

$$\Delta \text{HCO}_3^- = \Delta \text{PaCO}_2 \times 1/2 \quad (\text{慢性})$$

5个

每10个 PaCO_2 ，
 HCO_3^- 变化的个数



代谢性酸中毒：原发性的 $\text{HCO}_3^- \downarrow$ 代谢性碱中毒：原发性的 $\text{HCO}_3^- \uparrow$

◎ 代谢性酸中毒：原发性的 $\text{HCO}_3^- \downarrow$



◎ 继发性 $\text{PaCO}_2 \downarrow$

◎ $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 1.2$

◎ 代谢性碱中毒：原发性的 $\text{HCO}_3^- \uparrow$



◎ 继发性 $\text{PaCO}_2 \uparrow$

◎ $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 0.9$

Disorder	Expected Compensation	Correction Factor
Metabolic acidosis	$\text{PaCO}_2 = (1.5 \times [\text{HCO}_3^-]) + 8$	± 2
Acute respiratory acidosis	$[\text{HCO}_3^-] = 24 + \Delta \text{PaCO}_2 / 10$	
Chronic respiratory acidosis (3 to 5 days)	$[\text{HCO}_3^-] = 24 + \Delta \text{PaCO}_2 / 3$	
Metabolic alkalosis	$\text{PaCO}_2 = (0.7 \times [\text{HCO}_3^-]) + 21$	± 1.5
Acute respiratory alkalosis	$[\text{HCO}_3^-] = 24 - (\Delta \text{PaCO}_2 / 5)$	
Chronic respiratory alkalosis	$[\text{HCO}_3^-] = 24 - (\Delta \text{PaCO}_2 / 2)$	

另一种计算方式

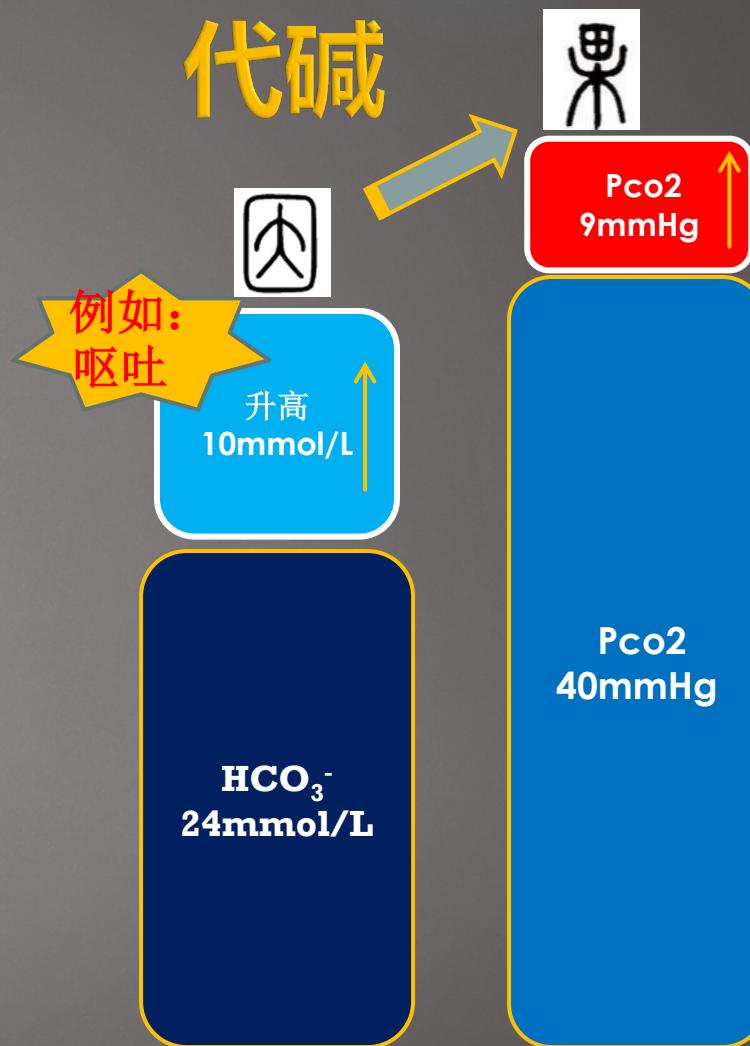


代酸



代酸: 原发性 $\text{HCO}_3^- \downarrow \rightarrow$ 继发性 $\text{PaCO}_2 \downarrow$
 $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 1.2$

代碱



代碱: 原发性 $\text{HCO}_3^- \uparrow \rightarrow$ 继发性 $\text{PaCO}_2 \uparrow$
 $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 0.9$



急慢酸碱呼， 1、 2、 3.4 5。

每10个 PaCO_2 ，
 HCO_3^- 变化的个数

急呼酸：
1个

急呼碱
2个

慢呼酸：
3.4个或1/3

慢呼碱
5个

代碱一点慢悠悠， 代酸两点呼过头

ΔHCO_3^-

代碱：（减）
 $\Delta\text{PaCO}_2 \times 0.9$ （减0.1）

代酸：
 $\Delta\text{PaCO}_2 \times 1.2$ （多0.2）

或：代碱减一点， 代酸加两点



Case 1

☞ A 22-year old man with diabetes mellitus develops a severe upper respiratory infection

☞ Na = 128 K = 5.9

☞ Cl = 94 HCO₃ = 6

☞ PCO₂ = 15 PO₂ = 102

☞ pH = 7.19 BG = 324

	pH	PaCO ₂
Acidosis		
Respiratory	↓	↑
Metabolic	↓	↓
Alkalosis		
Respiratory	↑	↓
Metabolic	↑	↑

► 显然是代酸



Case 1

代偿充分了吗？

◎ **代酸**：**原发性** $\text{HCO}_3^- \downarrow \rightarrow$ **继发性** $\text{PaCO}_2 \downarrow$
 $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 1.2$

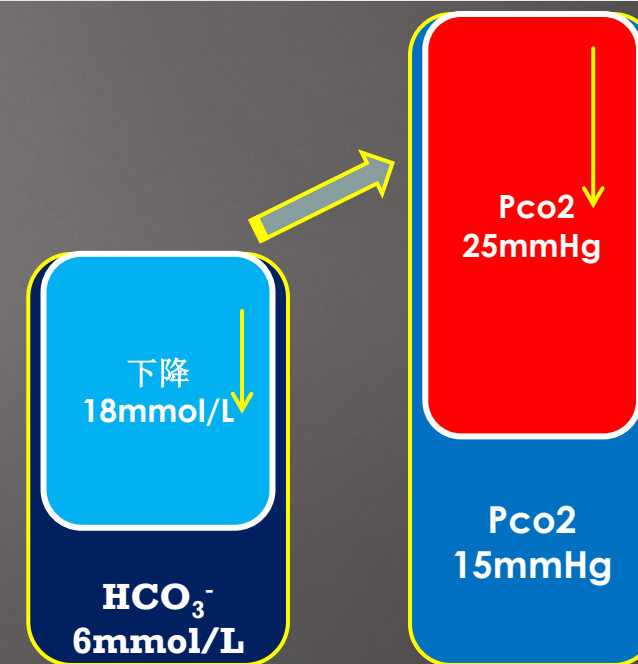
Disorder	Expected Compensation	Correction Factor
Metabolic acidosis	$\text{PaCO}_2 = (1.5 \times [\text{HCO}_3^-]) + 8$	± 2

PaCO_2 (15) 的变化是由于代偿导致的，并没有主动的呼吸的成分参与。

即 PaCO_2 的变化完全是由 HCO_3^- 的降低引起的。
该当是 15mmHg.

✎ A 22-year old man with diabetes mellitus develops a severe upper respiratory infection

✎ $\text{Na} = 128$ $\text{K} = 5.9$
✎ $\text{Cl} = 94$ $\text{HCO}_3^- = 6$
✎ $\text{PCO}_2 = 15$ $\text{PO}_2 = 102$
✎ $\text{pH} = 7.19$ $\text{BG} = 324$

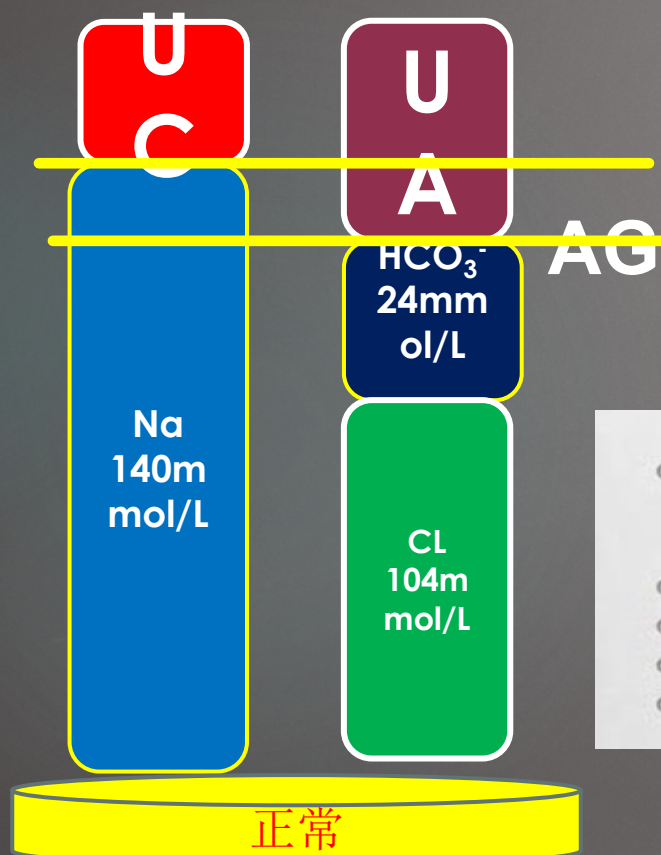




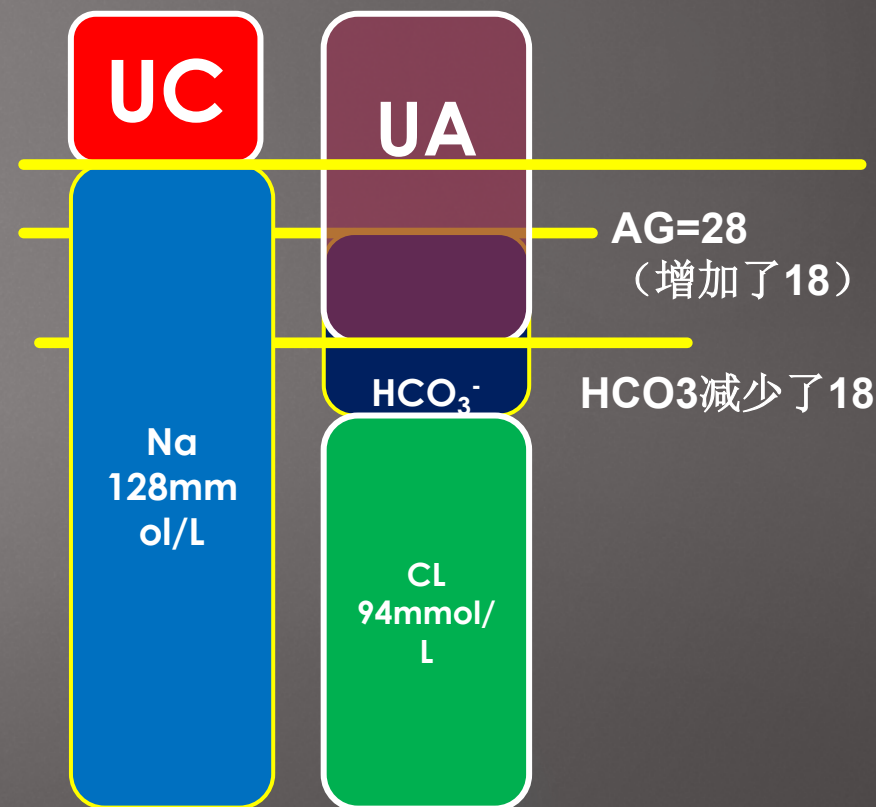
Case 1

$$AG = [Na^+] - [Cl^-] - [HCO_3^-] = 12 \pm 2$$

- AG = 128 - 94 - 6 = 28
- The normal AG is 10 to 12
- Therefore, the patient has a high anion gap metabolic acidosis



- A 22-year old man with diabetes mellitus develops a severe upper respiratory infection
- Na = 128 K = 5.9
- Cl = 94 HCO₃ = 6
- PCO₂ = 15 PO₂ = 102
- pH = 7.19 BG = 324





Case 1

- ❏ A 22-year old man with diabetes mellitus develops a severe upper respiratory infection
- ❏ Na = 128 K = 5.9
- ❏ Cl = 94 HCO₃ = 6
- ❏ PCO₂ = 15 PO₂ = 102
- ❏ pH = 7.19 BG = 324

$$\Delta AG = 28 - 10 = 18$$

$$\text{潜在HCO}_3^- = 18 + 6 = 24$$

因此没有代谢性碱中毒

故该患者为单纯性酸中毒

阴离子间隙代谢性酸中毒的原因：

1. 糖尿病酮症酸中毒

酒精性酮症酸中毒

2. 药物和毒素：有毒醇类（甲醇、乙二醇）

3. 该患者代谢性酸中毒最可能的原因是糖尿病性酸中毒



Case 2

Q A 32-year old man with h/o chronic alcohol use is brought to the emergency center after 3 days of nausea, vomiting, and abdominal pain. Four hours ago he took "something" to help with the pain. He is awake and alert, and physical examination is unremarkable.

Q Na = 132	K = 3.9
Q Cl = 82	HCO ₃ = 4
Q PCO ₂ = 10	PO ₂ = 110
Q pH = 7.25	BG = 68
Q BUN = 14	blood alcohol = 106
Q Urinalysis: no protein or ketones, +ve for crystals	

病史：32岁男性患者，患有慢性酒精中毒。因恶心、呕吐伴腹痛3天被送往急救中心就诊，4小时前曾服用“某种药物”来缓解疼痛。神志清楚，体格检查无特殊。



Case 2



正常的代偿是
24mmHg

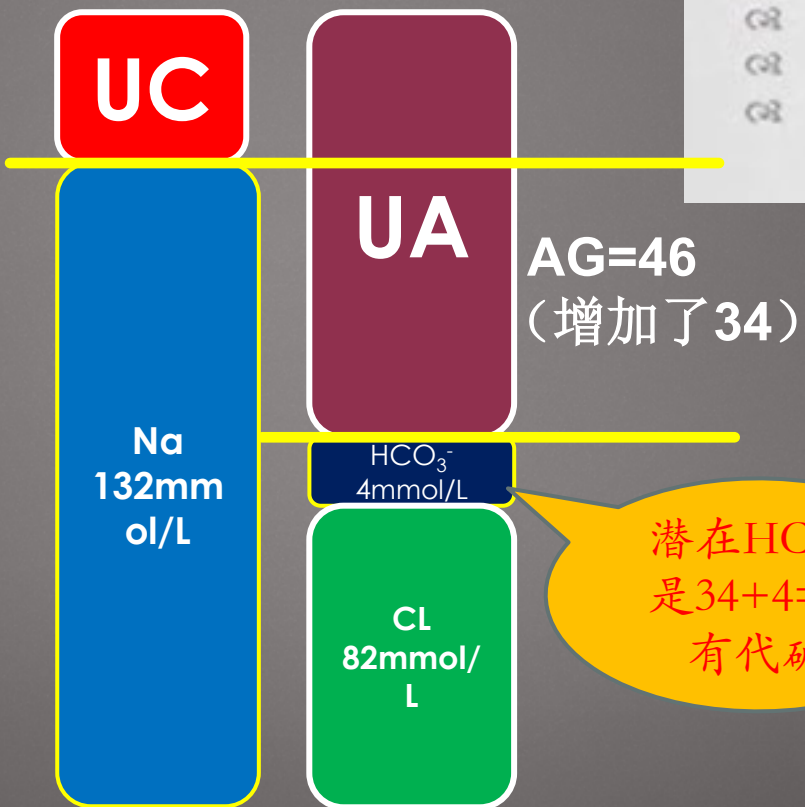
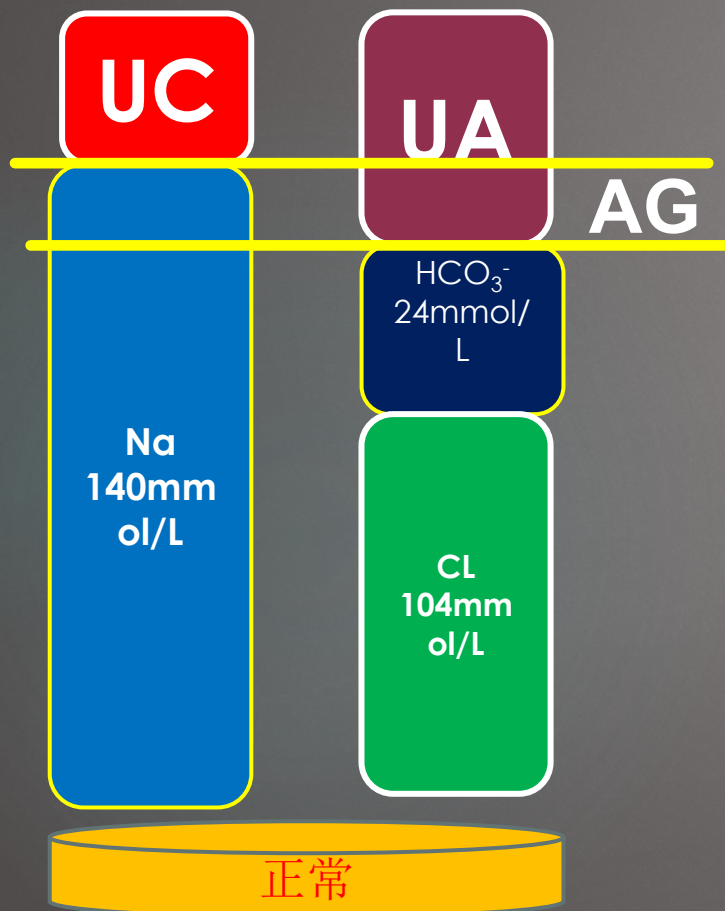
实测多下降了6mmHg,,
有过度 通气参与, +呼碱。喘过头了。

代酸: 原发性 $\text{HCO}_3^- \downarrow \rightarrow$ 继发性 $\text{PaCO}_2 \downarrow$
 $\Delta \text{PaCO}_2 = \Delta \text{HCO}_3^- \times 1.2$

Na = 132	K = 3.9
Cl = 82	$\text{HCO}_3^- = 4$
$\text{PCO}_2 = 10$	$\text{PO}_2 = 110$
pH = 7.25	BG = 68
BUN = 14	blood alcohol = 106
Urinalysis: no protein or ketones, +ve for crystals	



Case 2



Na = 132 K = 3.9
Cl = 82 HCO₃ = 4
PCO₂ = 10 PO₂ = 110
pH = 7.25 BG = 68
BUN = 14 blood alcohol = 106
Urinalysis: no protein or ketones, +ve for crystals

潜在HCO₃
是34+4=38
有代碱

内二科



Case 2

Na = 132 K = 3.9
Cl = 82 HCO₃ = 4
PCO₂ = 10 PO₂ = 110
pH = 7.25 BG = 68
BUN = 14 blood alcohol = 106
Urinalysis: no protein or ketones, +ve for crystals

$\Delta AG = 46 - 10 = 36$

The 'potential' fate of this anion is to become bicarbonate. The bicarbonate level before the acid base disturbance was $36 + 4 = 40$.

Therefore, there is an underlying metabolic alkalosis as well

$$AG = 132 - 82 - 4 = 46$$

$$\Delta AG = 46 - 12 = 34$$

$$\begin{aligned} \text{潜在HCO}_3^- &= \text{实测HCO}_3^- + \Delta AG \\ &= 4 + 34 \\ &= 38 \end{aligned}$$

阴离子潜在的目的是变成碳酸氢盐。
因此，还有潜在的代谢性碱中毒。