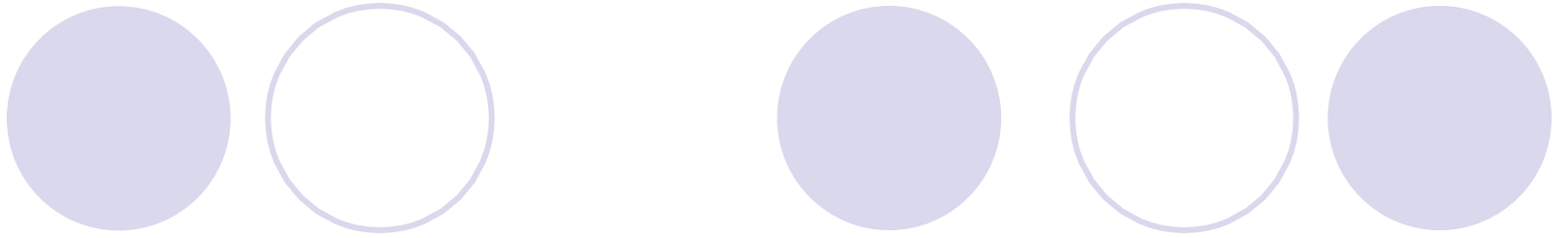


动脉血气分析 六步法

湖南省人民医院 急诊科

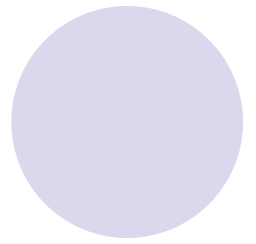
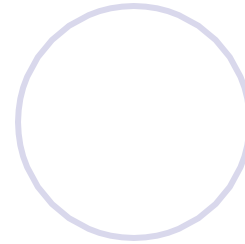
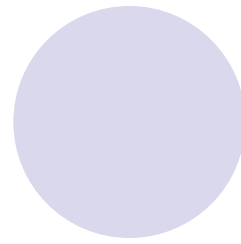
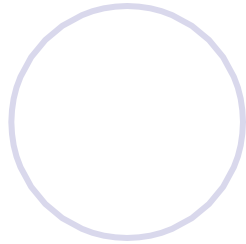
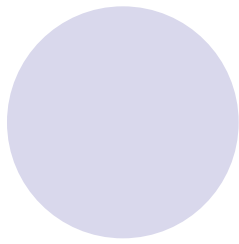
韩小彤



一、动脉血气分析作用

可以判断

- 呼吸功能
- 酸碱失衡

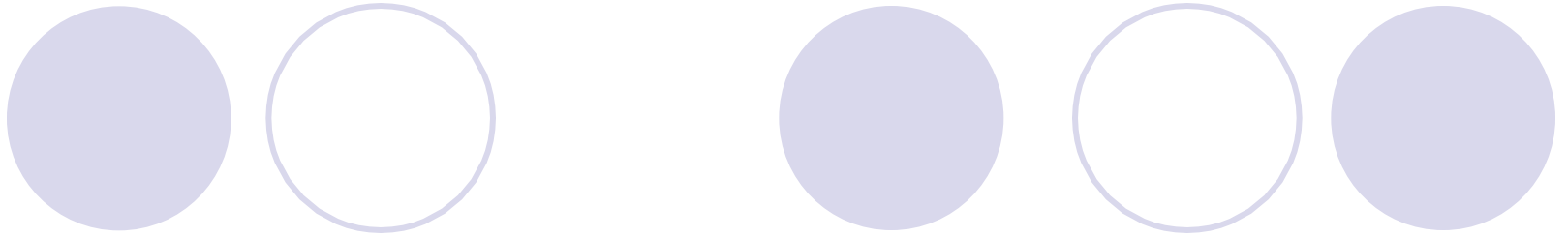


(一)判断呼吸功能

动脉血气分析是判断呼吸衰竭最客观指标，根据动脉血气分析可以将呼吸衰竭分为 I 型和 II 型。

标准为海平面平静呼吸空气条件下：

1. I 型呼吸衰竭 $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$
 PaCO_2 正常或下降
2. II 型呼吸衰竭 $\text{PaO}_2 < 60\text{mmHg}$
 $\text{PaCO}_2 > 50\text{mmHg}$



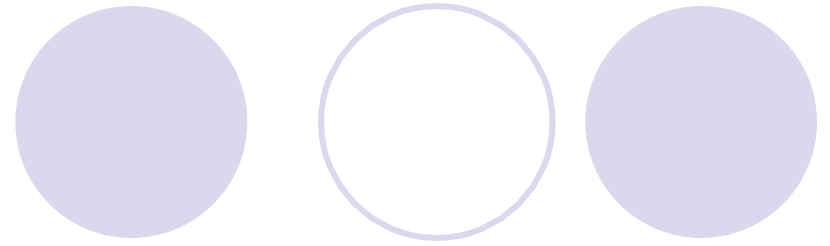
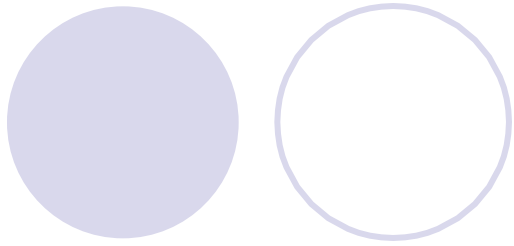
3. 吸 O_2 条件下判断有无呼吸衰竭可见于以下两种情况

(1) 若 $PaCO_2 > 50\text{mmHg}$ ， $PaO_2 > 60\text{mmHg}$
可判断为吸 O_2 条件下 II 型呼吸衰竭

(2) 若 $PaCO_2 < 50\text{mmHg}$ ， $PaO_2 > 60\text{mmHg}$
可计算氧合指数，其公式为：

氧合指数= $PaO_2 / FiO_2 < 300\text{mmHg}$

提示：呼吸衰竭



举例：鼻导管吸 O_2 流量2 L/min

PaO_2 80 mmHg

$$FiO_2 = 0.21 + 0.04 \times 2 = 0.29$$

氧合指数= PaO_2/FiO_2

$$= 80/0.29 < 300 \text{ mmHg}$$

提示：呼吸衰竭

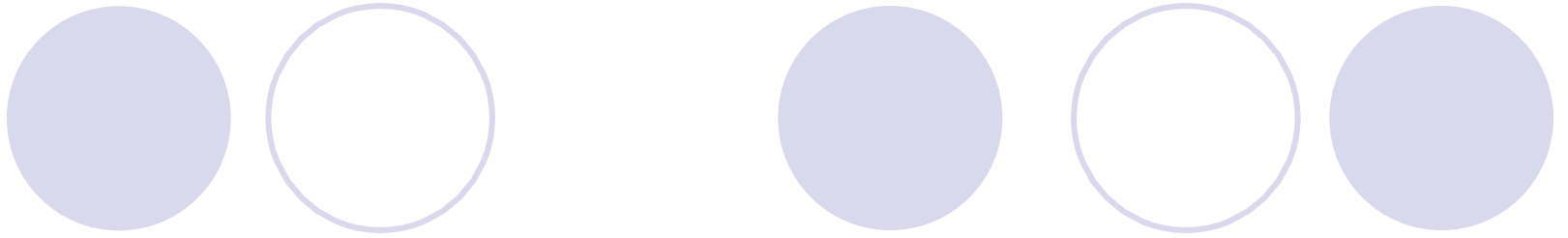
血气分析指导呼吸参数的调节

- 为达到理想PaCO₂所需的每分钟通气量 (V_E)
- 1、新的 $V_E = \text{现在的} V_E \times \text{现在的PaCO}_2 / \text{理想的PaCO}_2$

例如：现在的 $V_E = 8\text{L}/\text{min}$ ，现在的PaCO₂ = 50mmHg，要达到理想的PaCO₂ 40mmHg

$$\text{新的} V_E = 8 \times 50 / 40 = 10\text{L}/\text{min}$$

新的 V_E 可以通过增加潮气量 (V_T) 或呼吸频率 (f) 来达到。但需要考虑 V_D / V_T 的比例这一因素。如果 V_T 保持不变，通过调节呼吸频率来达到新的 V_E ，这一公式相当精确。如果调整 V_T ， V_D / V_T 的比例发生变化，这一公式有一定的误差。

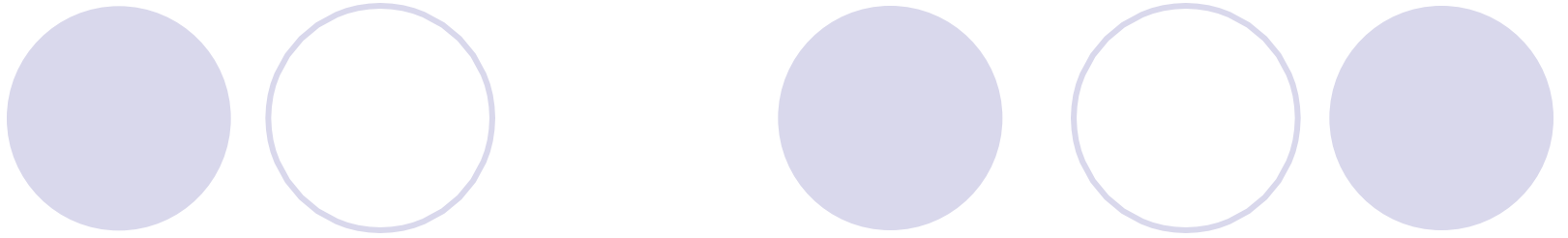


2、通过调整呼吸频率达到理想PaCO₂的方法

新的呼吸频率=现在的呼吸频率x 现在的PaCO₂/理想的PaCO₂

例如：现在的呼吸频率为12次/分，现在的PaCO₂为80mmHg，欲达到理想的PaCO₂ 40mmHg：

新的呼吸频率=12x 80/40=24次/分



(二) 判断酸碱失衡

应用动脉血气分析可对酸碱失衡作出正确的判断，传统认为有单纯性酸碱失衡四型和混合性酸碱失衡四型。

由于预计代偿公式、阴离子隙和潜在 HCO_3^- 在酸碱失衡领域中应用，目前可判断新的混合性酸碱失衡有五型。



1. 单纯性酸碱失衡

(Simple Acid Base Disorders)

常见有四型

- 呼吸性酸中毒 (呼酸)
- 呼吸性碱中毒 (呼碱)
- 代谢性酸中毒 (代酸)
- 代谢性碱中毒 (代碱)

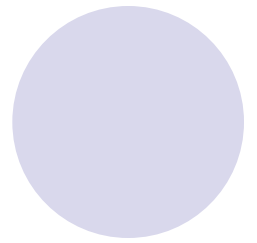
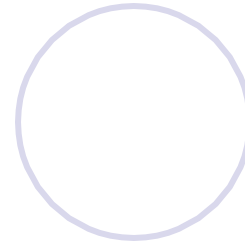
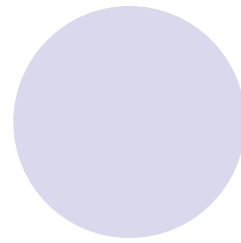
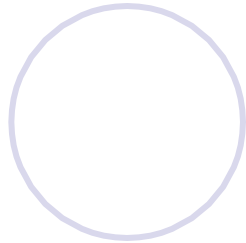
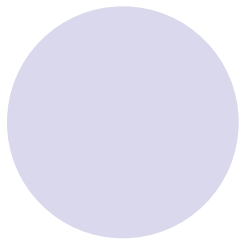


2. 混合型酸碱失衡

(Mixed Acid Base Disorders)

(1) 传统认为有四型

- 呼酸并代酸
- 呼酸并代碱
- 呼碱并代酸
- 呼碱并代碱



(2) 新的混合性酸碱失衡类型

- 混合性代酸 (高AG代酸 + 高Cl⁻性代酸)

- 代碱并代酸

 - 包括代碱并高AG代酸

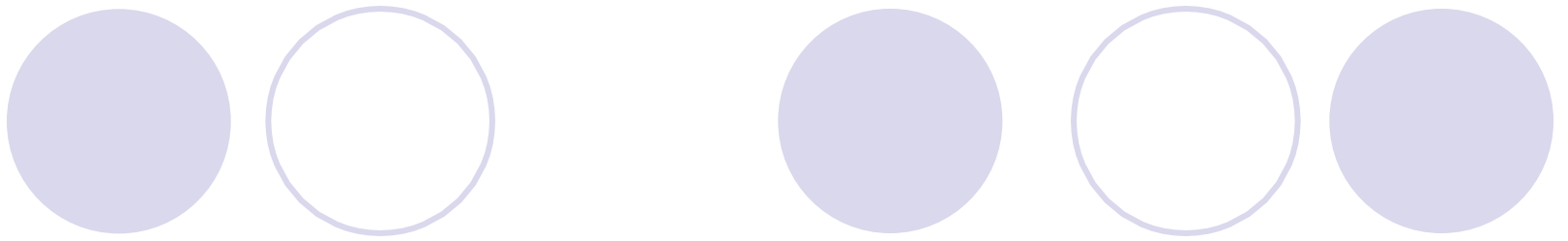
 - 代碱并高Cl⁻性代酸

- 三重酸碱失衡

 - (Triple Acid Base Disorders, TABD)

 - 包括呼酸型三重酸碱失衡

 - 呼碱型三重酸碱失衡



二、常用的考核酸碱失衡的指标

1. pH

指体液内氢离子浓度的反对数即

$$\text{pH} = -\log 1/\text{H}^+$$

是反映体液总酸度的指标，受呼吸和代谢因素共同影响。

正常值：

动脉血pH 7.35~7.45，平均值7.40

静脉血pH较动脉血低0.03~0.05

pH < 7.35时为酸血症

pH > 7.45时为碱血症



2. PCO_2

血浆中物理溶解的 CO_2 分子所产生的压力称 PCO_2

正常值:

动脉血 35~45mmHg

平均值 40 mmHg

静脉血 较动脉血高 5~7mmHg

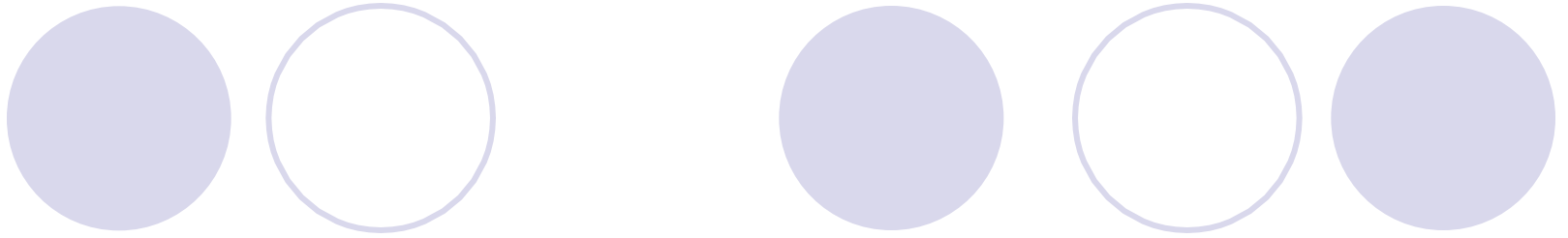
PCO_2 是酸碱平衡呼吸因素的唯一指标

● $PCO_2 > 45\text{mmHg}$ 时, 为呼酸

代碱的呼吸代偿

● $PCO_2 < 35\text{mmHg}$ 时, 为呼碱

代酸的呼吸代偿



3. HCO_3^-

即实际碳酸氢盐 (actual bicarbonate, AB)

是指隔绝空气的血液标本在实验条件下所测的血浆 HCO_3^- 值

正常值: 22~27 mmol / L

平均值: 24 mmol / L

动、静脉血 HCO_3^- 大致相等

它是反映酸碱平衡代谢因素的指标

$\text{HCO}_3^- < 22 \text{ mmol/L}$, 可见于代酸或呼碱代偿

$\text{HCO}_3^- > 27 \text{ mmol/L}$, 可见于代碱或呼酸代偿



4. 标准碳酸氢盐 (standard bicarbonate, SB)

在标准条件下 (PCO_2 40mmHg、
Hb完全饱和、温度 $37^\circ C$) 测得的 HCO_3^- 值
它是反映酸碱平衡代谢因素的指标

正常值: 22~27 mmol / L

平均值: 24 mmol / L

正常情况下 $AB = SB$

$AB \uparrow > SB \uparrow$ 见于代碱或呼酸代偿

$AB \downarrow < SB \downarrow$ 见于代酸或呼碱代偿



5. 阴离子间隙 (AG)

AG是按 $AG = Na^+ - (HCO_3^- + Cl^-)$ 计算所得。其反映了未测阳离子和未测阴离子之差。AG升高的最常见原因是体内存在过多的阴离子，即乳酸根、丙酮酸根、磷酸根及硫酸根等。这些未测定阴离子在体内堆积，必定要取代 HCO_3^- 的，使 HCO_3^- 下降，称之为高AG代酸。AG可判断以下六型酸碱失衡。

高AG代酸、代碱并高AG代酸、混合性代酸、呼酸并高AG代酸、呼碱并高AG代酸、三重酸碱失衡。

正常范围AC正常值是8-16mmol/L



6. 碱剩余 (base excess, BE)

它是表示血浆碱储量增加或减少的量

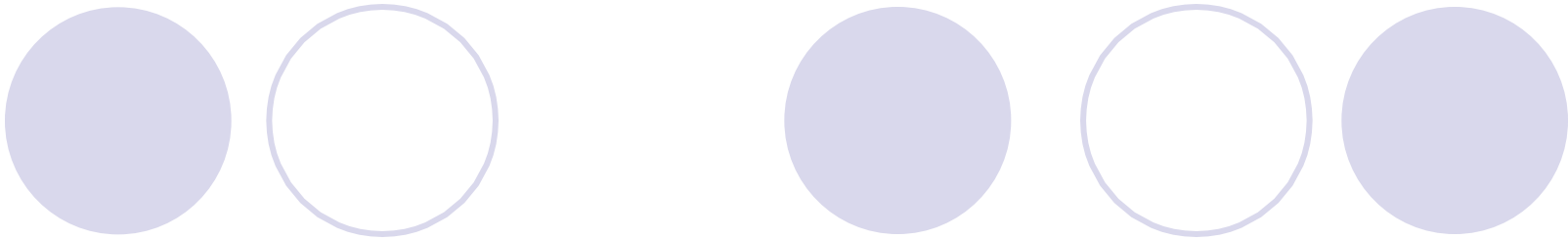
正常范围 $\pm 3 \text{ mmol / L}$

平均为0

BE正值时表示缓冲碱增加

BE负值时表示缓冲碱减少或缺失

它是反映酸碱失衡代谢性因素的指标



7. PO_2 PO_2 是指血浆中物理溶解的 O_2 分子所产生的压力。

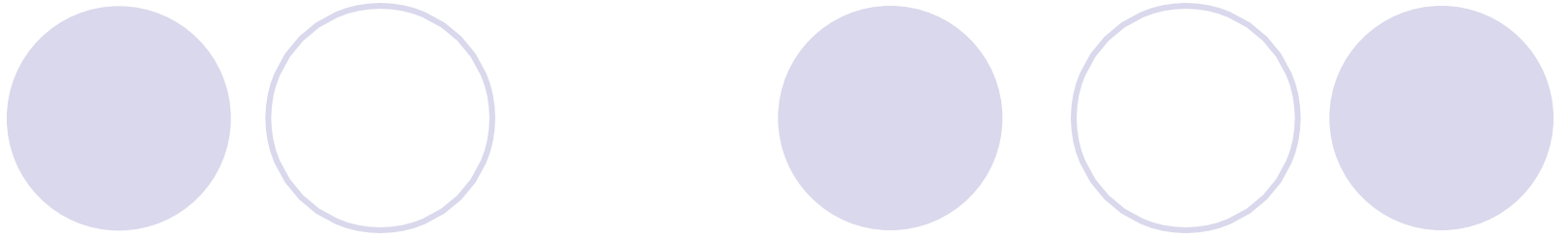
● PaO_2 正常值80~100mmHg

其正常值随着年龄增加而下降

预计 PaO_2 值 (mmHg)

$= 102 - 0.33 \times \text{年龄} \pm 10.0$

● PvO_2 正常值40mmHg

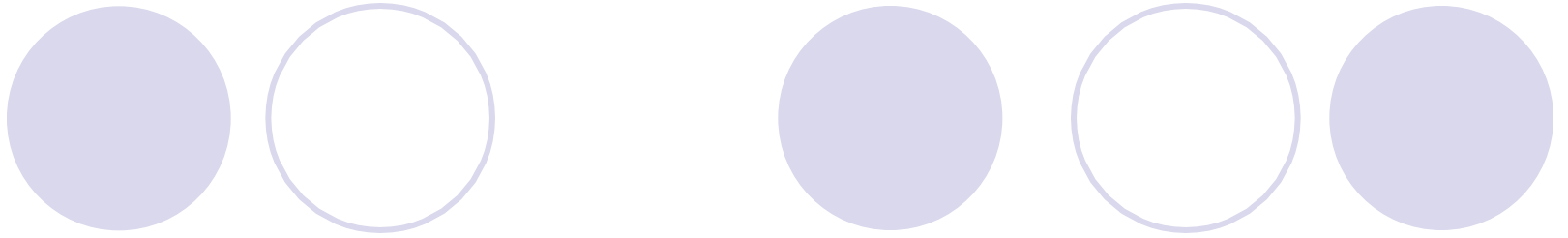


8. 血氧饱和度 (SO_2) 是指血红蛋白实际上所结合的氧含量被全部血红蛋白能够结合的氧除得的百分率。

动脉血氧饱和度以 SaO_2 表示

正常范围为95%~99%。

SaO_2 与 PaO_2 间的关系即是氧离解曲线。 SaO_2 可直接测定所得，但目前血气分析仪上所提供的 SaO_2 是依 PaO_2 和pH推算所得。



三、酸碱失衡的判断方法

六步法

评价血液酸碱平衡状态的指标较多， PCO_2 作为判定呼吸性酸碱失衡的指标，pH作为血液酸碱度的指标，看法是一致的，然而对于判定代谢性酸碱失衡的指标尚无一致意见。主张用 HCO_3^- ，或BE作为判断标准但不管使用哪几项指标，其判断的结果基本上是一致的。

血气分析六步法


【第一步】根据 Henderseon-Hasselbach

公式评估血气数值的内在一致性

$$[H^+] = 24 \times (PaCO_2) / [HCO_3^-]$$

如果 pH 和 $[H^+]$ 数值不一致，
该血气结果可能是错误的

pH (mmol/L)	估测 $[H^+]$
7.00	100
7.05	89
7.10	79
7.15	71
7.20	63
7.25	56
7.30	50
7.35	45
7.40	40
7.45	35
7.50	32
7.55	28
7.60	25
7.65	22



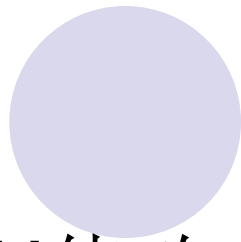
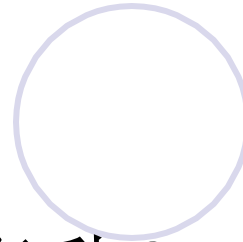
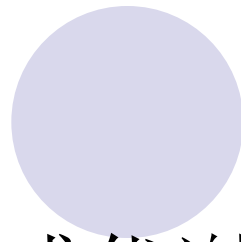
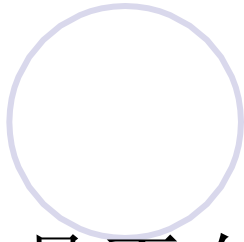
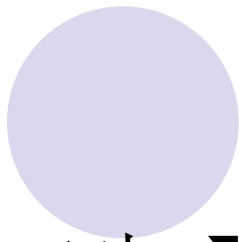
【 第二步 】 是否存在碱血症或酸血症？

pH < 7.35 酸血症

pH > 7.45 碱血症

通常这就是 **原发性异常**

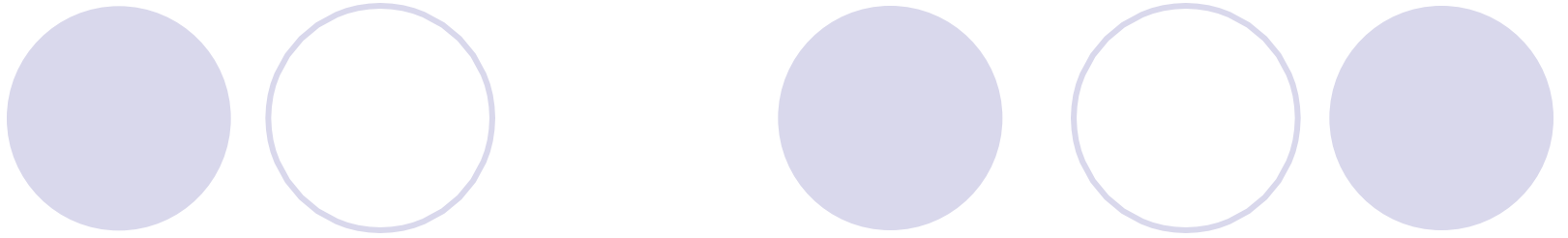
记住：即使pH值在正常范围（ 7.35—7.45 ），也可能存在酸中毒或碱中毒



【 第三步 】 是否存在呼吸或代谢紊乱？ pH值改变的方向与PaCO₂改变方向的关系如何？

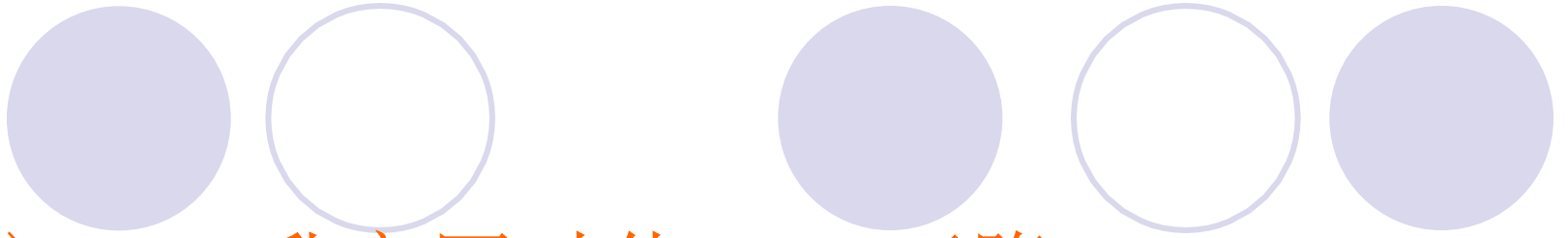
在原发呼吸障碍时， pH值和PaCO₂改变方向相反； 在原发代谢障碍时， pH值和PaCO₂改变方向相同

酸中毒	呼吸性	pH ↓	PaCO ₂ ↑
酸中毒	代谢性	pH ↓	PaCO ₂ ↓
碱中毒	呼吸性	pH ↑	PaCO ₂ ↓
碱中毒	代谢性	pH ↑	PaCO ₂ ↑



分析单纯性和混合性酸碱失衡

根据上述代偿规律，一旦 HCO_3^- 和 PCO_2 呈相反方向变化，必定为混合性性酸碱失衡，临床上常见有以下三种情况。



(1) PaCO_2 升高同时伴 HCO_3^- 下降,

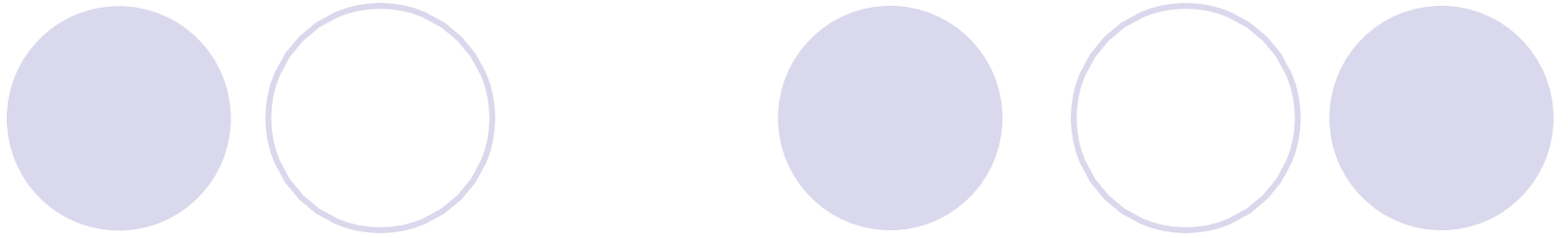
肯定为呼酸合并代酸

(2) PaCO_2 下降同时伴 HCO_3^- 升高,

肯定为呼碱并代碱

(3) PaCO_2 和 HCO_3^- 明显异常同时伴pH正常,

应考虑有混合性酸碱失衡的可能。



(4) 部分混合性酸碱失衡的判断需要用单纯性酸碱失衡预计代偿公式

在临床上所见的混合性酸碱失衡，除了上述三种比较容易诊断，尚有一部分诊断较为困难，即它们可以 PCO_2 与 HCO_3^- 同时升高或者同时下降。此时要正确认识混合性酸碱失衡的关键是要正确地应用酸碱失衡预计代偿公式、AG和潜在 HCO_3^- 。

【第四步】 针对原发异常是否产生适当的代偿？

通常情况下，代偿反应不能使pH恢复正常（7.35 - 7.45）

原发酸碱异常 预期代偿反应

代谢性酸中毒 $\text{PaCO}_2 = (1.5 \times [\text{HCO}_3^-]) + 8 \pm 2$

急性呼吸性酸中毒 $[\text{HCO}_3^-]$ 升高 = $\Delta \text{PaCO}_2 / 10 \pm 3$

慢性呼吸性酸中毒（3-5天） $[\text{HCO}_3^-]$ 升高 = $3.5 \times (\Delta \text{PaCO}_2 / 10)$

代谢性碱中毒 PaCO_2 升高 = $0.6 \times (\Delta \text{HCO}_3^-)$

急性呼吸性碱中毒 $[\text{HCO}_3^-]$ 下降 = $2 \times (\Delta \text{PaCO}_2 / 10)$

慢性呼吸性碱中毒 $[\text{HCO}_3^-]$ 下降 = $5 \times (\Delta \text{PaCO}_2 / 10)$ 至 $7 \times (\Delta \text{PaCO}_2 / 10)$

如果观察到的代偿程度与预期代偿反应不符，很可能存在一种以上的酸碱异常

【第五步】 计算阴离子间隙（如果存在代谢性酸中毒）

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

正常的阴离子间隙约为 12 mEq/L

对于低白蛋白血症患者, 阴离子间隙正常值低于 12 mEq/L

低白蛋白血症患者血浆白蛋白浓度每下降 1 gm/dL, 阴离子间隙“正常值”下降约 2.5 mEq/L

（例如, 血浆白蛋白 2.0 gm/dL 患者约为 7 mEq/L）

如果阴离子间隙增加, 在以下情况下应计算渗透压间隙

AG升高不能用明显的原因（DKA, 乳酸酸中毒, 肾功能衰竭）

解释怀疑中毒

$$OSM \text{ 间隙} = \text{测定 OSM} - (2 \times [Na^+] - \text{血糖} / 18 - \text{BUN} / 2.8$$

)
OSM 间隙应当 < 10

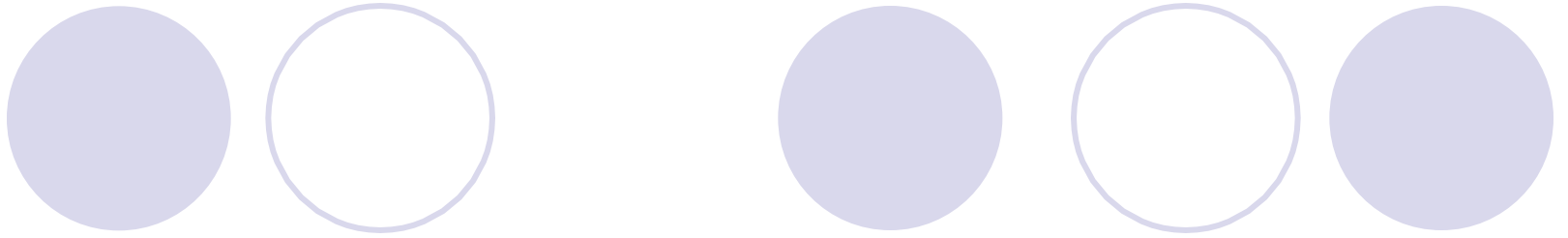


潜在 HCO_3^-

定义：高AG代酸（继发性 HCO_3^- 降低）掩盖 HCO_3^- 升高，潜在 $\text{HCO}_3^- = \text{实测}\text{HCO}_3^- + \Delta\text{AG}$ ，即无高AG代酸时，体内应有的 HCO_3^- 值。

意义：

- 1) 排除并存高AG代酸对 HCO_3^- 掩盖作用，正确反映高AG代酸时等量的 HCO_3^- 下降
- 2) 揭示被高AG代酸掩盖的代碱和三重酸碱失衡中代碱的存在



[第六步] 如果阴离子间隙升高, 评价阴离子间隙升高与 $[\text{HCO}_3^-]$ 降低的关系

- 计算阴离子间隙改变 (ΔAG) 与 $[\text{HCO}_3^-]$ 改变 ($\Delta [\text{HCO}_3^-]$) 的比值: $\Delta \text{AG} / \Delta [\text{HCO}_3^-]$

如果为非复杂性阴离子间隙升高代谢性酸中毒, 此比值应当介于1.0和2.0之间

如果这一比值在正常值以外, 则存在其他代谢紊乱

- 如果 $\Delta \text{AG} / \Delta [\text{HCO}_3^-] < 1.0$, 则可能并存阴离子间隙正常的代谢性酸中毒

- 如果 $\Delta \text{AG} / \Delta [\text{HCO}_3^-] > 2.0$, 则可能并存代谢性碱中毒

- 记住患者阴离子间隙的预期“正常值”非常重要, 且这一正常值须根据低白蛋白血症情况进行校正 (见第五步)

表1: 酸碱失衡的特征

异常	pH	原发性异常	代偿反应
代谢性酸中毒	↓	HCO₃⁻ ↓	PaCO₂ ↓
代谢性碱中毒	↑	HCO₃⁻ ↑	PaCO₂ ↑
呼吸性酸中毒	↓	PaCO₂ ↑	HCO₃⁻ ↑
呼吸性碱中毒	↑	PaCO₂ ↓	HCO₃⁻ ↓

表2: 呼吸性酸中毒部分病因

- 气道梗阻
- 上呼吸道
- 下呼吸道

COPD

哮喘

其他阻塞性肺疾病

CNS抑制

睡眠呼吸障碍 (**OSA** 或 **OHS**)

神经肌肉异常

通气受限

CO₂产量增加;

震颤, 寒战, 癫痫, 恶性高热, 高代谢, 碳水化合物摄入增加

错误的机械通气设置

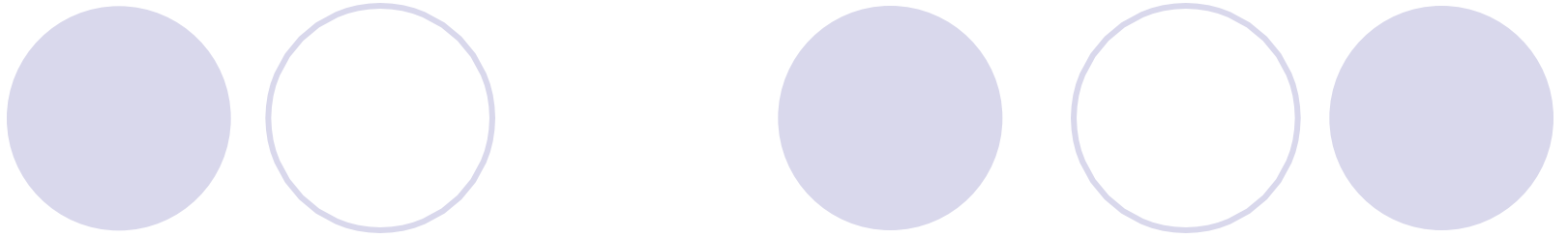


表3：呼吸性碱中毒部分病因

CNS刺激：

发热, 疼痛, 恐惧, 焦虑, CVA, 脑水肿, 脑创伤, 脑肿瘤,

CNS感染

低氧血症或缺氧：肺疾病, 严重贫血, 低FiO₂

化学感受器刺激：肺水肿, 胸腔积液, 肺炎, 气胸, 肺动脉栓塞

药物, 激素：水杨酸, 儿茶酚胺, 安宫黄体酮, 黄体激素

妊娠, 肝脏疾病, 全身性感染, 甲状腺机能亢进

错误的机械通气设置

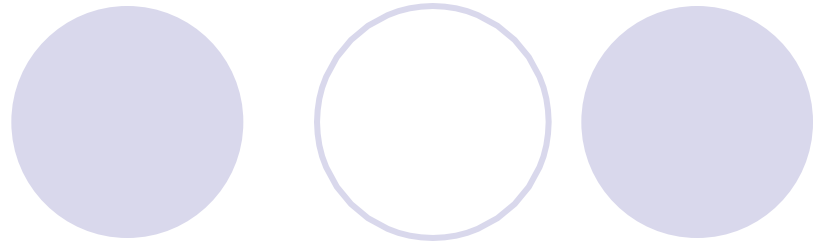


表4：代谢性碱中毒部分病因

低血容量伴 Cl^- 缺乏

GI 丢失 H^+ :

呕吐，胃肠吸引，绒毛腺瘤，腹泻时丢失富含 Cl 的液体染

肾脏丢失 H^+ :

袢利尿剂和噻嗪类利尿剂， CO_2 潴留后（尤其开始机械通气后）

低血容量

肾脏丢失 H^+ :

水肿状态（心功能衰竭，肝硬化，肾病综合征），

醛固酮增多症，皮质醇增多症，**ACTH**过量，外源性皮质激

素，

高肾素血症，严重低钾血症，肾动脉狭窄，碳酸盐治疗

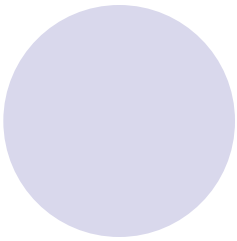
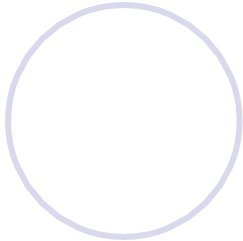
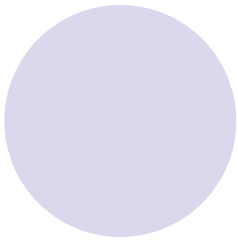


表5: 代谢性酸中毒部分病因
阴离子间隙升高

- 甲醇中毒
- 尿毒症
- 糖尿病酮症酸中毒^a, 酒精性酮症酸中毒, 饥饿性酮症酸中毒
- 三聚乙醛中毒
- 异烟肼
- 尿毒症
- 甲醇中毒
- 乳酸酸中毒^a
- 乙醇^b 或乙二醇^b 中毒
- 水杨酸中毒

^a 阴离子间隙升高代谢性酸中毒最常见的原因

^b 常伴随渗透压间隙升高



阴离子间隙正常：[Cl^-]升高

○ GI 丢失 HCO_3^-

腹泻，回肠造瘘术，近端结肠造瘘术，尿路改道

○ 肾脏丢失 HCO_3^-

近端 RTA

碳酸酐酶抑制剂（乙酰唑胺）

○ 肾小管疾病

ATN，慢性肾脏疾病，远端RTA，

醛固酮抑制剂或缺乏，

输注 NaCl ，TPN（全胃肠外营养），输注 NH_4^+

表6: 部分混合性和复杂性酸碱失衡

异常

特点

部分病因

呼吸性酸中毒 伴 代谢性酸中毒 pH ↓ HCO₃⁻ ↓ PaCO₂ ↑

- 心跳骤停
- 中毒
- 多器官功能衰竭

呼吸性碱中毒 伴 代谢性碱中毒 pH ↑ HCO₃⁻ ↓ PaCO₂ ↓

- 肝硬化应用利尿剂
- 妊娠合并呕吐
- COPD 过度通气

呼吸性酸中毒 伴 代谢性碱中毒 pH 正常 HCO₃⁻ ↑ PaCO₂ ↑

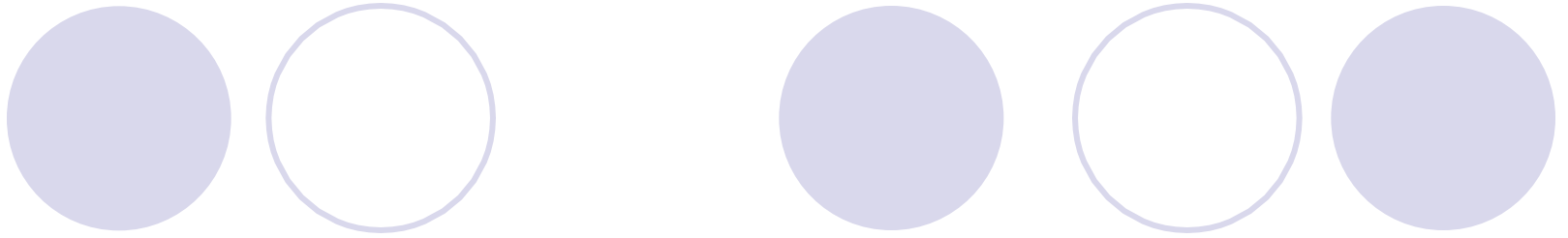
- NG吸引
- 严重低钾血症
- COPD 应用利尿剂, 呕吐

呼吸性碱中毒 伴 代谢性酸中毒 pH 正常 HCO₃⁻ ↓ PaCO₂ ↓

- 全身性感染
- 肾功能衰竭伴CHF或肺炎
- 晚期肝脏疾病
- 水杨酸中毒

代谢性酸中毒 伴 代谢性碱中毒 pH 正常 HCO₃⁻ 正常

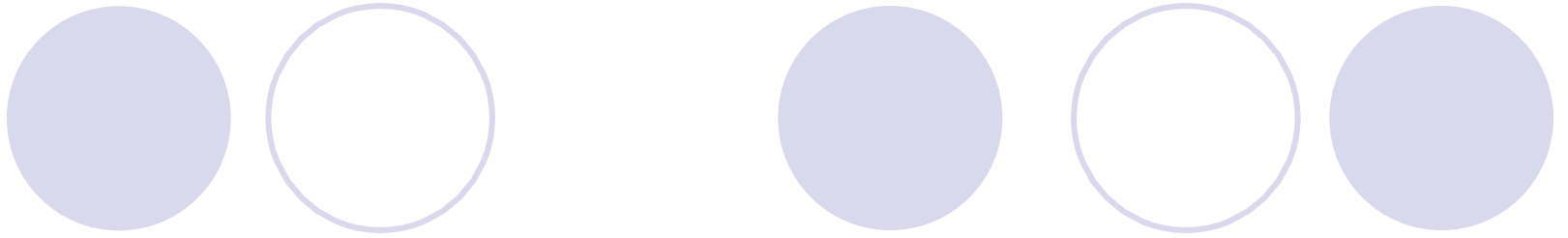
- 尿毒症或酮症酸中毒伴呕吐, NG吸引, 利尿剂等



用单纯性酸碱失衡预计代偿公式来判断

正确使用公式必须要遵从以下步骤：

- ①必须首先通过动脉血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将公式计算所得结果与实测 HCO_3^- 或 PCO_2 相比作出判断，凡落在公式计算代偿范围内判断为单纯性酸碱失衡，落在范围外判断为混合性酸碱失衡；
- ④若为并发高AG代酸的混合性酸碱失衡，则应计算潜在 HCO_3^- ，将潜在 HCO_3^- 替代实测 HCO_3^- 与公式计算所得的预计 HCO_3^- 相比。

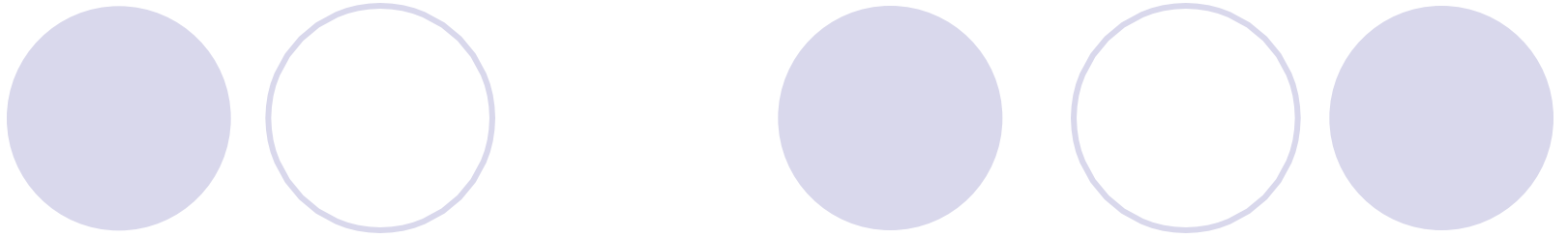


结合临床表现、病史综合判断

动脉血气分析虽对酸碱失衡的判断甚为重要，但单凭一张血气分析报告单作出的诊断，有时难免有错误的。为使诊断符合病人的情况，必须结合临床、其它检查及多次动脉血气分析的动态观察。



四、酸碱失衡举例分析



举例一：

pH 7.28、PaCO₂ 75 mmHg、

HCO₃⁻ 34 mmol/L、K⁺ 4.5mmol/L

Na⁺ 139mmol/L Cl⁻ 96mmol/L



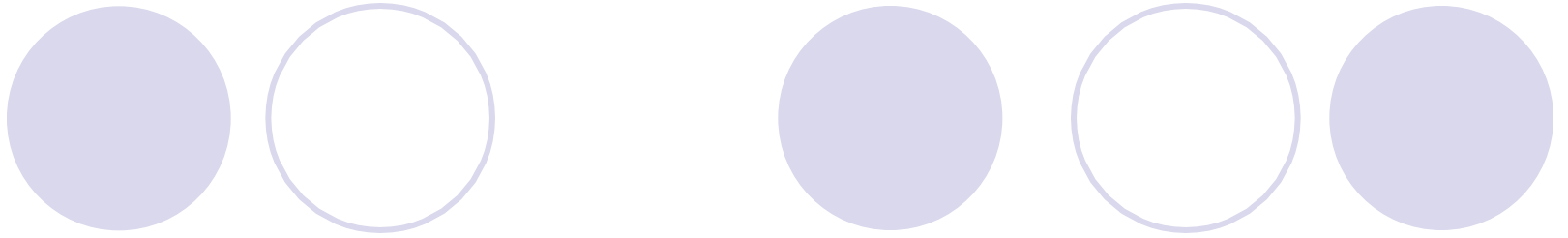
判断方法

- PaCO_2 75 mmHg $>40\text{mmHg}$, 可能为呼酸;
 HCO_3^- 34 mmol/L $>24\text{mmol/L}$, 可能为代碱; 但pH 7.28 <7.40 , 偏酸性, 提示: 可能为呼酸。
- 结合病史, 若此病人急性气道阻塞, 病程短, 此时虽pH 7.28 偏酸性, 但 HCO_3^- 34 mmol/L >24 mmol/L, 超过了急性呼酸代偿极限范围, 也应考虑急性呼酸并代碱可能。若此病人是COPD, 此时按慢性呼酸公式计算, 预计 HCO_3^- 在30.67–41.83mmol/L, 实测的 HCO_3^- 34mmol/L在此代偿范围内, 结论为单纯慢性呼酸。



呼酸临床注意点

- 对呼酸处理原则是通畅气道，尽快解除二氧化碳潴留，随着 PaCO_2 下降、pH值随之趋向正常。
- 补充碱性药物的原则：原则上不需要补充碱性药物，但pH值 <7.20 时，可适当补充小苏打，只要将pH升至7.20以上即可。
- 尽快纠正低氧血症。
- 注意区分急、慢性呼酸和慢性呼酸急性加剧。
- 严防二氧化碳排出后碱中毒，特别是使用机械通气治疗时不宜通气量过大，二氧化碳排出过多。
- 注意高血钾对心脏的损害。



举例二:

pH 7.45、PaCO₂ 30 mmHg、

HCO₃⁻ 20 mmol/L、K⁺ 3.6mmol/L

Na⁺ 139mmol/L Cl⁻ 106mmol/L



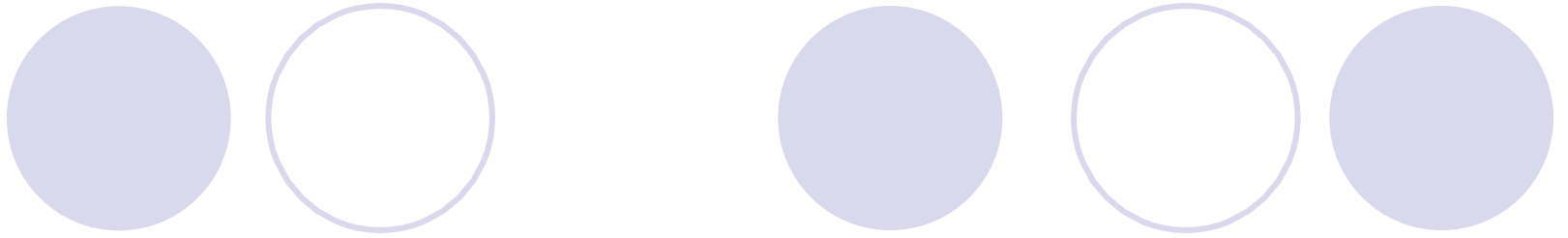
判断方法

- PaCO_2 30 mmHg < 40mmHg, 可能为呼碱;
 HCO_3^- 20 mmol/L < 24mmol/L, 可能为代酸;
但pH 7.45 > 7.40, 偏碱性, 提示: 可能为呼碱。
- 结合病史, 若此病人系急性起病, 可按急性呼碱公式计算, 预计 HCO_3^- 在19.5-24.5mmol/L, HCO_3^- 20mmol/L在此代偿范围内, 结论急性呼碱。若此病人慢起病, 可按慢性呼碱公式计算, 预计 HCO_3^- 在17.38-20.82mmol/L, 实测的 HCO_3^- 20mmol/L在此代偿范围内, 结论慢性呼碱。



呼碱临床注意点

- 处理原则是治疗原发病，注意纠正缺氧，对于呼碱不须特殊处理。
- 值得注意的是：呼碱必伴有代偿性 HCO_3^- 下降，此时若将 HCO_3^- 代偿性下降误为代酸，不适当的补充碱液，势必造成在原来呼碱的基础上再合并代碱。
- 若 HCO_3^- 下降同时伴有血 K^+ 下降，应想到呼碱的可能，不应再补充碱性药物
- 牢记：“低钾碱中毒，碱中毒并低钾”这一规律。



举例三：

pH 7.29、PaCO₂ 30 mmHg、

HCO₃⁻ 14 mmol/L、K⁺ 5.8mmol/L

Na⁺ 140mmol/L Cl⁻ 112mmol/L



判断方法

- PaCO_2 30 mmHg < 40mmHg, 可能为呼碱;
 HCO_3^- 14 mmol/L < 24mmol/L, 可能为代酸;
但pH 7.29 < 7.40, 偏酸性, 提示: 可能为代酸。
- 若按代酸预计代偿公式计算, 预计 PaCO_2 在27-31mmHg, 实测的 PaCO_2 30 mmHg在此代偿范围内, 结论为单纯代酸。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/155124302213011302>