

TEMA 1.2.2

DESEQUILIBRIOS ACIDOBÁSICOS

ÍNDICE

1. Introducción.
2. Análisis e interpretación de los gases arteriales.
3. Alteraciones del equilibrio ácido-base.
 - 3.1. Acidosis respiratoria.
 - 3.2. Alcalosis respiratoria.
 - 3.3. Acidosis metabólica.
 - 3.4. Alcalosis metabólica.

1. INTRODUCCIÓN

El equilibrio ácido-base es esencial para el correcto funcionamiento de los sistemas corporales. Los desequilibrios graves pueden resultar letales para la vida. El cuerpo contiene muchas sustancias ácidas y alcalinas (bases). Los ácidos son sustancias que disocian o pierden iones. Las bases son sustancias capaces de captar iones.

El ácido más importante en los líquidos corporales es el ácido carbónico (CO_3H_2) que se forma por la hidratación del CO_2 proveniente del metabolismo de los hidratos de carbono y grasas. El ión bicarbonato (HCO_3^-) es una base fuerte, lo que significa que la mayor parte de los H^+ , permanecen unidos a ella y que sólo una pequeña proporción queda en solución. En cambio, las bases débiles como el Cl^- tienen poca afinidad por H^+ , por lo que la mayoría de los H^+ están disueltos y disponibles para reaccionar.

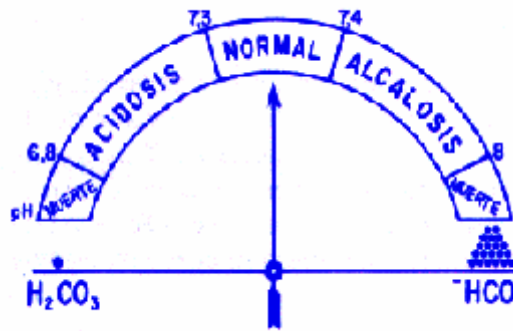
Los ácidos corporales incluyen los ácidos volátiles y no volátiles. Los ácidos volátiles, como el CO_3H_2 puede convertirse en gas (CO_2) para ser expulsado por los pulmones. Los pulmones de esta forma expulsan todos los días gran cantidad de ácido, hasta 13.000 mEq/día.

Los ácidos no volátiles (metabólicos) no pueden convertirse en gas por lo que deben ser eliminados por los riñones. Ejemplos de ácidos metabólicos, aunque existen en menos cantidad que el ácido carbónico, son: el ácido láctico, fosfórico, sulfúrico y clorhídrico. A diferencia del CO_3H_2 , que puede eliminarse como CO_2 por el pulmón ($\text{CO}_3\text{H}_2 \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$), estos ácidos deben ser excretados por vía renal o metabolizados por el hígado (ácido láctico) y lo hace muy lentamente (el riñón sólo puede eliminar de 40 a 80 mEq/día).

El pH se puede definir como el resultado de la relación existente en un líquido entre la concentración de ácidos y de bases. En la práctica es válido reconocerlo como aquello que identifica el grado de acidez o alcalinidad de una solución (Ej.: la sangre) y recordar que la célula exige para una función correcta un pH de 7,35-7,45, es decir dentro de un rango muy estrecho.

Un pH normal se mantiene si la proporción de CO_3H y CO_2 es aproximadamente de 20:1.

Por tanto, el pH arterial es una medida indirecta de la concentración de H^+ (cuanto mayor sea la concentración de H^+ , más ácida será la solución y más bajo el pH; cuanto menor sea la concentración, más alcalina será la solución y más elevado el pH), y constituye un reflejo del equilibrio entre el anhídrido carbónico (CO_2) regulado por los pulmones y el bicarbonato (CO_3H^-), una base regulada por los riñones.



2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS GASES ARTERIALES

La determinación de la gasometría es la mejor manera de evaluar el equilibrio ácido-base. Los valores de los gases arteriales son considerados normales al nivel del mar (760 mmHg), con aire ambiental (21% de oxígeno) y a una temperatura de la sangre de 37°C.

- **pH:** mide la concentración de H⁺ libres en la sangre y refleja el estado ácido-base de la sangre. Los valores indican si el pH es normal 7,40, ácido <7,40 o alcalino >7,40. Valores límites normales 7,35-7,45.
- **PaCO₂:** presión parcial del anhídrido carbónico en sangre arterial, el valor normal es de 40 mmHg. Valores límites 35-45 mmHg. Los pulmones controlan la eliminación o retención de CO₂ a través de la ventilación alveolar. La PaCO₂ >45 mmHg (hipercapnia) indica hipoventilación alveolar y acidosis respiratoria. La PaCO₂ <35 mmHg (hipocapnia) indica hiperventilación alveolar y alcalosis respiratoria.
- **CO₃H⁻:** representa la concentración de CO₃H⁻ en sangre. El valor normal es de 24 mmHg. Valores límites 22-26 mmHg. Los niveles disminuidos de bicarbonato (<22 mEq/l) indican acidosis metabólica. Los niveles elevados de bicarbonato (>26 mEq/l) indican alcalosis metabólica, bien como un trastorno metabólico primario o como una alteración compensatoria en respuesta a una acidosis respiratoria.
- **Exceso o déficit de bases:** indica, en términos generales, la cantidad de tampón sanguíneo (hemoglobina y bicarbonato plasmático) presente. El valor normal es de +/- 2. Los valores elevados (> +2) reflejan alcalosis; los bajos (< -2), acidosis.
- **PaO₂:** presión parcial de oxígeno disuelto en sangre arterial, el valor normal es de 95 mmHg. Valores límites entre 80 y 100 mmHg. No desempeña un papel importante en la regulación acidobásica si se encuentra dentro de los límites normales. La presencia de hipoxemia con una PaO₂ < 60 mmHg a veces da lugar a un metabolismo anaeróbico y provoca aumento del ácido láctico y acidosis metabólica.
- **Saturación (SatO₂):** mide el porcentaje de oxígeno combinado con la hemoglobina. El valor normal es entre 95-99%. Cuando la PO₂ desciende por debajo de 60 mmHg, se da una caída importante de la saturación, según la curva de disociación de la hemoglobina.

La interpretación de gases arteriales abarca la determinación del estado ácido-base, el nivel de compensación y el estado de oxigenación.

Para la interpretación correcta de una gasometría, se puede establecer seis pasos:

- **1º Paso:** determinar si el pH es normal. Si se desvía de 7,40, observar el alcance de la desviación. A efectos de interpretación se deben considerar todos los valores superiores a 7,40 como alcalinos y todos los valores inferiores a 7,40 como acidosis. Valorar si el pH se encuentra dentro de los límites normales de 7,35 a 7,45 o está dentro de los límites críticos $>7,55$ ó $<7,25$.
- **2º Paso:** controlar la PaCO_2 . ¿Cuánto se desvía de 40 mmHg? El pH y la PaCO_2 se deben mover en direcciones opuestas. Por ejemplo, a medida que la PaCO_2 aumenta, el pH debe descender (acidosis); y a medida que la PaCO_2 desciende, el pH debe aumentar (alcalosis).
- **3º Paso:** determinar el valor del CO_3H^- . ¿Cuanto se desvía de 24 mmHg? El CO_3H^- y el pH se deben mover en la misma dirección. Por ejemplo, si el CO_3H^- disminuye, el pH debe disminuir (acidosis); y a medida que el CO_3H^- aumenta, el pH debe aumentar (alcalosis).
- **4º Paso:** valorar qué componente individual (CO_3H^-) ó (PaCO_2) concuerda con el estado pH ácido-base. El valor que esté más relacionado con el pH y presente una mayor desviación de la normalidad señalará cuál es la principal alteración responsable de ese pH. Ejemplo, un pH de 7,21 (ácido), PaCO_2 de 60 mmHg (ácido) y un CO_3H^- de 22 mEq/l (normal). Interpretación: PH y PaCO_2 concuerdan (ácidos). Así el trastorno es una acidosis respiratoria.
- **5º Paso:** Determinar el nivel de compensación.
 - * **Descompensado:** el pH es anormal debido a que el tampón y los mecanismos reguladores no han comenzado a corregir el desequilibrio. En estas situaciones uno de los componentes, el ácido o la base es anormal. Ej.: pH= 7,30 ; CO_2 = 60 ; CO_3H^- = 24.
 - * **Parcialmente compensado:** el pH es anormal pero los mecanismos reguladores han comenzado a corregir el desequilibrio. En estas situaciones los dos componentes, el ácido y la base son anormales. Ej.: pH= 7,34 ; CO_2 = 49 ; CO_3H^- = 27.
 - * **Compensado:** el pH está normal. El desequilibrio ácido-base ha sido neutralizado pero no corregido. En esta situación, los componentes ácidos y bases son anormales pero equilibrados. Ej.: pH= 7,36 ; CO_2 = 48 ; CO_3H^- = 30.
- **6º Paso:** comprobar la PaO_2 y la saturación de oxígeno (SatO_2) para determinar si son bajas, normales o elevadas.

3. ALTERACIONES DEL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE

3.1. Acidosis respiratoria

Se caracteriza por hipoventilación alveolar y se manifiesta por una PaCO₂ superior a 45 mmHg y un pH < 7,35, y por lo tanto, un aumento de la concentración de H⁺.

La causa de la acidosis respiratoria es la insuficiencia respiratoria aguda producida por neumonía, edema agudo de pulmón, paro cardíaco, laringoespasmo o una excesiva sedación con medicamentos que deprimen el centro respiratorio (narcóticos, sedantes, hipnóticos y anestésicos).

La acidosis respiratoria crónica normalmente está asociada a enfermedades pulmonares obstructivas crónicas como la bronquitis crónica.

Para compensar la acidosis respiratoria los valores iniciales de bicarbonato son normales pero posteriormente el riñón intenta compensar con la reabsorción de bicarbonato. En la acidosis respiratoria aguda esta compensación lenta es insuficiente y el pH desciende. En la acidosis respiratoria crónica el pH se mantiene a costa de una tasa de bicarbonatos muy elevada.

El tratamiento de la acidosis está dirigido a corregir la causa de la hipoventilación alveolar. Los riñones conservan los iones CO₃H⁻ y eliminan los iones H⁺ a través de la orina ácida y la administración endovenosa de soluciones que contengan lactato sódico, ya que los iones lactato son metabolizados por las células hepáticas y transformados en iones bicarbonato.

ACIDOSIS RESPIRATORIA
Acidosis respiratoria no compensada. pH= 7,20 ; PaCO ₂ = 60 mmHg ; CO ₃ H ⁻ = 24 mEq/l.
Acidosis respiratoria parcialmente compensada. pH= 7,30 ; PaCO ₂ = 57 mmHg ; CO ₃ H ⁻ = 28 mEq/l.
Acidosis respiratoria compensada. pH= 7,37 ; PaCO ₂ = 50 mmHg ; CO ₃ H ⁻ = 31 mEq/l.

3.2. Alcalosis respiratoria

Se caracteriza por hiperventilación y se manifiesta por un descenso de la PaCO₂ inferior a 35 mmHg y un pH > 7,45, y por lo tanto, una disminución de la concentración de H⁺.

Las causas de la alcalosis respiratoria aguda son la ansiedad, dolor y los episodios agudos de hipoxia causados por trastornos pulmonares (neumonía, tromboembolismo pulmonar, edema agudo de pulmón), intoxicación por salicilatos (por la estimulación del centro respiratorio a nivel central), fiebre y traumatismo en el centro respiratorio.

Las causas de la alcalosis respiratoria crónica son los trastornos cerebrales (encefalitis y tumores), hepatopatías crónicas y embarazo, en el que el aumento de progesterona incrementa la sensibilidad del centro respiratorio al CO₂.

El bicarbonato sérico se intenta reducir pero rara vez llega a compensar la alcalosis respiratoria. Los riñones conservan los iones H⁺ y eliminan los iones CO₃H⁻ a través de la orina básica. La administración endovenosa de soluciones de cloruro sódico, ya que los iones Cl⁻ sustituyen a los iones bicarbonato.

Si la causa es la ansiedad, tranquilizar al paciente y si no se consigue, hacer que el paciente respire en una bolsa de papel para que inhale mayor concentración de CO₂. Si la causa es la hipoxia habrá que administrar oxígeno.

ALCALOSIS RESPIRATORIA

Alcalosis respiratoria no compensada.

pH= 7,51 ; PaCO₂= 23 mmHg ; CO₃H⁻= 23 mEq/l.

Alcalosis respiratoria parcialmente compensada.

pH= 7,48 ; PaCO₂= 26 mmHg ; CO₃H⁻= 19 mEq/l.

Alcalosis respiratoria compensada.

pH= 7,42 ; PaCO₂= 29 mmHg ; CO₃H⁻= 17 mEq/l.

3.3. Acidosis metabólica

Se caracteriza por un déficit de bases y se manifiesta por un $\text{CO}_3\text{H}^- < 22 \text{ mEq/l}$ y un $\text{pH} < 7,35$.

Se puede producir por cuatro situaciones diferentes:

- Aumento de la producción de ácidos, como ocurre por ejemplo en enfermos con mayor metabolismo anaeróbico (acidosis láctica), casos de shock, o mayor producción de ácidos cetónicos en el ayuno o en la diabetes mellitus descompensada.
- Disminución de la eliminación normal de ácidos, en casos de insuficiencia renal.
- Pérdidas patológicas de bicarbonato, en enfermos con diarrea, fístulas gastrointestinales, pérdida de fluidos corporales por drenajes por debajo de la zona umbilical y abuso de laxantes que produce una pérdida de sustancias alcalinas.
- Intoxicación con sustancias que generen ácidos, como el ácido acetilsalicílico y el metanol.

Cuando hay una disminución de bicarbonato, el organismo intentará compensarlo en una primera fase hiperventilando (respiración profunda, denominada de Kussmaul) y en una segunda fase, el riñón responderá con un aumento de la reabsorción tubular de bicarbonato y un aumento en la eliminación de H^+ (orina ácida). La administración endovenosa de soluciones que contengan lactato sódico también ayudan, ya que los iones lactato son metabolizados por las células hepáticas y transformados en iones bicarbonato.

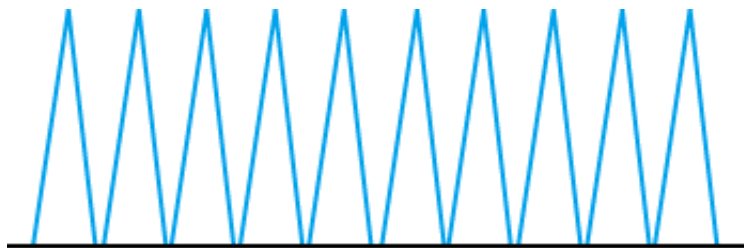


Fig. 2. Respiración acidótica o de Kussmaul.

El tratamiento de la acidosis metabólica está dirigido a corregir la causa subyacente, por ejemplo, si la causa es una cetoacidosis diabética, el tratamiento consistirá en insulina más líquidos (la insulina aumenta el paso de glucosa desde el LIV hacia las células).

ACIDOSIS METABÓLICA
Acidosis metabólica no compensada. pH= 7,27 ; PaCO ₂ = 39 mmHg ; CO ₃ H ⁻ = 16 mEq/l.
Acidosis metabólica parcialmente compensada. pH= 7,29 ; PaCO ₂ = 32 mmHg ; CO ₃ H ⁻ = 17 mEq/l.
Acidosis metabólica compensada. pH= 7,36 ; PaCO ₂ = 28 mmHg ; CO ₃ H ⁻ = 18 mEq/l.

3.4. Alcalosis metabólica

Se caracteriza por un exceso de bases y se manifiesta por un $\text{CO}_3\text{H}^- > 26 \text{ mEq/l}$ y un $\text{pH} > 7,45$.

Se puede producir, entre otros mecanismos, por:

- Pérdidas patológicas de ácido, como se observa en algunos casos de vómitos profusos.
- Uso exagerado de diuréticos, que determina un exceso de retención de bicarbonato y aumento de las pérdidas de potasio. La hipopotasemia, que también puede deberse a otros mecanismos, promueve una mayor pérdida de H^+ por el riñón.
- Aumento de mineralocorticoides (aldosterona, desoxicorticosterona) que incrementan la excreción de H^+ .
- Ingesta exagerada de álcali.

Puede acompañarse de un incremento compensador de PaCO_2 en un intento de elevar el nivel de ácido carbónico y por tanto el de H^+ , produciendo hipoventilación. Si los riñones funcionan bien responden excretando bicarbonato sódico CO_3NaH por la orina y reabsorbiendo H^+ .

El tratamiento de la alcalosis metabólica está dirigido a corregir la causa subyacente. En caso de pérdidas gástricas, se utilizará cloruro potásico y suero salino normal para compensarlas, a no ser que el paciente esté en insuficiencia cardíaca. En los cuadros hipopotasémicos está indicada la administración de K^+ .

ALCALOSIS METABÓLICA
Alcalosis metabólica no compensada. pH= 7,50 ; $\text{PaCO}_2= 38 \text{ mmHg}$; $\text{CO}_3\text{H}^- = 40 \text{ mEq/l}$.
Alcalosis metabólica parcialmente compensada. pH= 7,48 ; $\text{PaCO}_2= 50 \text{ mmHg}$; $\text{CO}_3\text{H}^- = 36 \text{ mEq/l}$.
Alcalosis metabólica compensada. pH= 7,43 ; $\text{PaCO}_2= 54 \text{ mmHg}$; $\text{CO}_3\text{H}^- = 30 \text{ mEq/l}$.

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Malick L.B. *Desequilibrios hídricos, electrolíticos y ácido-base*. En: Lewis S.M., Heitkemper M.Mc., Dirksen S.R. *Enfermería Medicoquirúrgica. Valoración y cuidados de problemas clínicos. Vol I y II*. Madrid: Elsevier. 6ª ed. 2004. 338-67.
2. Smeltzer S.C. and Bare B.G. *Líquidos y electrolitos: equilibrio y distribución*. En: Smeltzer S.C. y Bare B.G. *Enfermería Medicoquirúrgica de Brunner y Suddarth. Vol I y II*. México: McGraw-Hill Interamericana. 10ª ed. 2005. 282-332.
3. Stinson P. and Dorman K. *Equilibrio de líquidos y electrolitos*. En: Stinson P. & Dorman K. *Enfermería clínica avanzada. Atención a pacientes agudos*. 1ª ed. Madrid: Síntesis, 1997: 477-499.

5. ENLACES WEB

- <http://tratado.uninet.edu/c0501i.html>
- <http://tratado.uninet.edu/c050101.html>
- <http://tratado.uninet.edu/c050102.html>
- <http://www.uam.es/departamentos/medicina/anesnet/gtoae/acido-base/ab.htm>