

IMPORTÂNCIA DO EQUILÍBRIO HIDROELETROLÍTICO PARA O ANESTESIOLOGISTA

DR. RUY GOMIDE DO AMARAL, E.A. (*)

O presente artigo resume as principais alterações do Equilíbrio Hidroeletrolítico, notadamente aquelas que se referem ao uso dos relaxantes musculares.

Como introdução, e tendo por base a teoria de Brönsted, são apresentados os conceitos de eletrólito, ácido e base, partindo para uma definição de Equilíbrio Ácido-Básico e Equilíbrio eletrolítico.

Finalmente, são discorridas as principais alterações que são referidas em especial ao Potássio, Sódio, Cálcio e Magnésio.

As causas do excesso ou deficiência destes eletrólitos são sumarizadas, sendo enfatizadas suas repercussões sobre a anestesia, e especialmente relacionadas com o manuseio de relaxantes musculares.

Para melhor compreensão do equilíbrio hidroeletrolítico e para diferenciá-lo do equilíbrio ácido-básico é imprescindível a conceituação moderna dos termos eletrólito, ácido e base.

CONCEITO DE ELETRÓLITO

As substâncias que em solução aquosa se dissociam em partículas carregadas de eletricidade chamam-se eletrólitos. As partículas recebem o nome de iontes ou ions. As de carga positiva denominam-se cationtes ou cations e as de carga negativa aniontes ou anions.

Em uma solução o número de cargas elétricas positivas deve igualar o número de cargas elétricas negativas, o que constitui a lei da neutralidade elétrica. A soma dos números de cargas elétricas com que um ion enriquece uma solução é expressa em equivalentes por litro (Eq/l). Um equivalente é definido como o peso molecular de um ion dividido pela sua carga. Em biologia a concentração iônica é muito pequena

(*) Anestesista do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo — S. Paulo.

e, por êste motivo, utiliza-se miliequivalente por litro (mEq/l), isto é, a milésima parte de um equivalente. Para substâncias com uma única carga o miliequivalente é igual ao pêso molecular em miligramas ou milimol. Para as de duas (bivalentes) é metade do milimol e assim por diante. A vantagem do emprêgo de equivalentes resume-se no fato de que o número de miliequivalentes de anions de uma solução deve ser igual ao de cations. Em miligramas esta igualdade não existe, sendo a diferença geralmente muito grande. Apesar das trocas que se sucedem na concentração dos vários ions durante a dinâmica fisiológica e os eventos biológicos, a concentração total de cations em um determinado compartimento deve igualar a de anions, ambas expressas em miliequivalentes por litro.

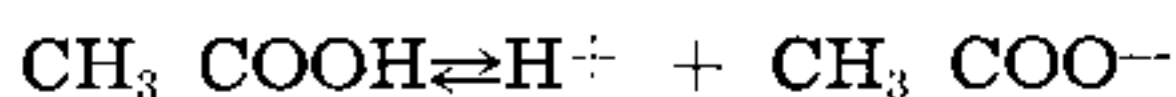
CONCEITO DE ÁCIDO E BASE

De acôrdo com a teoria de ionização de Arrhenius, **ácido** é toda substância que dissolvida em água se dissocia em ion H (hidrogênio) e em ions de carga negativa; **base** é aquela que se dissocia em ions OH (oxidrila) e em ions de carga positiva. A interação de um ácido com uma base teria como resultado a formação de água e de um sal.

Esta teoria, embora amplamente aceita por muitos anos, não oferece meios de interpretação para vários fenômenos químicos orgânicos e, com o evoluir dos conhecimentos de fisiologia, acarretou confusão na literatura mundial, principalmente em relação ao estudo dos equilíbrios ácido-básico e hidroeletrolítico.

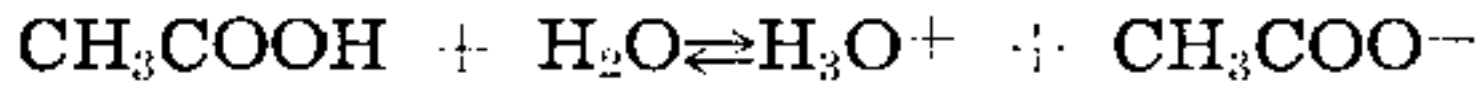
Uma interpretação mais geral de ácido e base foi fornecida pela **teoria de Brönsted**, emitida em 1923 a qual tem ganho popularidade e tem sido amplamente aceita, porquanto permite melhor compreensão das reações químicas que se processam em nosso organismo e possibilita a explicação de vários fenômenos correlatos.

Conforme esta teoria, **ácido** é toda substância que em meio aquoso libera ions H e **base** é toda substância que aceita êsse ions. Assim, o ácido acético, por exemplo, é ácido porque libera ions H e o ion acetato resultante é base porque aceita o ions H, para formar ácido acético.

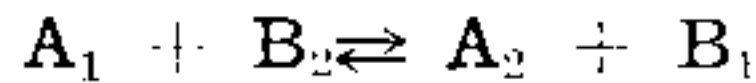


No meio líquido, portanto, estabelece-se um equilíbrio entre ions H, acetato e ácido acético.

Porém, um ácido somente é ácido, isto é, libera ions H se em presença da água (Lowry). A reação acima, portanto, deveria ser assim expressa:



O ion é extremamente instável e não se mantém isolado em meio aquoso. Ele se une imediatamente a uma substância ou então à molécula, formando o ion hidrônio H_3O . Tôdas as vèzes em que é determinada a concentração de ions H em uma solução, a determinação se refere ao ion H ligado à água. A reação poderia também ser assim expressa:



Onde A_1 e B_1 (ácido e base) e A_2 e B_2 são compostos conjugados. Portanto, a todo ácido corresponde uma base conjugada. A base conjugada do ácido acético é o ion acetato; a do hidrogênio, a água.

Por convenção, no entanto, o solvente (água) não é escrito na reação, não aparecendo também o ion hidrônio e sim o ion H.

CONCEITO DE EQUILÍBRIO ÁCIDO-BÁSICO E DE EQUILÍBRIO ELETROLÍTICO

Antes da prevalência da teoria de Brønsted-Lowry, vários autores erroneamente chamavam os cations de bases e, infelizmente esta nomenclatura se generalizou. Para êles, e posteriormente para quase todos, base era igual a cation e ácido igual a anion. Com êstes conceitos é muito difícil descrever com precisão os processos de transferência de ions H, titulação de soluções tampões e regulação renal do equilíbrio ácido-básico. A confusão aumentou mais ainda, assim permanecendo após os conceitos de "ácido fixo" e "base fixa", têrmos êstes que descrevem os ions, cuja carga elétrica não muda quando varia a concentração de ions H da solução. Outros autores chamam êstes ions de não voláteis, isto é, que não se modificam com alterações respiratórias.

Para a compreensão do que atualmente se admite como certo, êstes têrmos e êstes conceitos devem ser totalmente abandonados.

Hoje em dia está estabelecido o seguinte: os cations, tais como Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} etc., que não aceitam ou liberam H, não constituem o fundamento do estudo do equilíbrio ácido-básico. O estudo dêstes cations e de vários anions

constitui o fundamento do equilíbrio hidroeletrolítico. Os cations, conforme se reconhece há vários anos, são essencialmente ions fixos, qualquer que seja a definição utilizada.

Os anions, porém, se distinguem em 2 grupos: 1) aquêles que aceitam o ion H para formar ácido. Por exemplo: o HCO_3^- , as proteínas (que normalmente se comportam como base), a hemoglobina reduzida, etc. Êstes anions são estudados no equilíbrio ácido-básico. 2) os anions que não aceitam o ion H e, portanto, resultam da dissociação de um eletrólito. Êstes são estudados conjuntamente com os cations como parte do equilíbrio hidroeletrolítico. O anion Cl, nas condições normais de nosso meio líquido interno não se une ao H para formar o HCl. Ê, por isso, estudado como eletrólito.

Para melhor elucidação, é importante realçar que, praticamente, todos os eletrólitos do líquido extracelular estão completamente dissociados. Não há bicarbonato de sódio ou cloreto de sódio ou de potássio, mas sim, ions sódio, cloro, potássio, bicarbonato, etc. Cada anion, entretanto, deve ser contrabalançado por um cation, para manter a neutralidade elétrica do meio. Em consequência, a transferência de ions H, de um compartimento líquido para outro, ou do interior de uma célula para o exterior, acarreta a mobilidade de cations e anions de um meio para outro, do meio intracelular para o extracelular ou vice-versa.

A troca na concentração individual de cations nos diferentes compartimentos do organismo, como resultado da transferência de ions H, na manutenção da concentração hidrogênica, e as trocas dos ions completamente dissociados, para a manutenção da neutralidade elétrica, aliadas à excreção renal, explicam a maioria das alterações eletrolíticas que acompanham as alterações do equilíbrio ácido-básico.

PRINCIPAIS ALTERAÇÕES ELETROLÍTICAS DE INTERESSE PARA O ANESTESISTA

Potássio — O potássio intracelular varia em sua concentração na vigência de alterações do equilíbrio ácido-básico e em situações anormais de ingestão e excreção.

Nos quadros de acidose, respiratória ou metabólica, a concentração plasmática de potássio aumenta, proporcionalmente à intensidade da queda do pH. Durante a alcalose, respiratória ou metabólica, o potássio extracelular diminui, proporcionalmente à intensidade da queda do pH.

De todos os cations, o potássio é o que mais varia, quando o ion H se transfere de um meio líquido para outro, ou quando sua concentração se altera em um mesmo meio.

As variações de potássio têm muita importância na ação dos relaxantes musculares. O assunto poderá ser assim esquematizado: considerando **Ki** como potássio intracelular e **Ke** como potássio extracelular, pode-se escrever:

$$\frac{K_i}{K_e} = Pr = \text{potencial de repouso da membrana}$$

$$\frac{K_i}{K_e} = \frac{90 \text{ a } 150 \text{ mEq/l}}{3,9 \text{ a } 5,0 \text{ mEq/l}} = 70 \text{ a } 90 \text{ milivolts}$$

As alterações de **Ki** e **Ke** podem ser assim resumidas:

- 1) **Ki** normal } maior potencial de repouso
Ke baixo } (hiperpolarização)

Resultados: resistência à ação da acetilcolina, potenciação dos relaxantes musculares não despolarizantes, antagonismo à ação dos relaxantes musculares despolarizantes.

- 2) **Ki** normal } menor potencial de repouso
Ke alto }

Resultado: maior sensibilidade à ação da acetilcolina, menor sensibilidade à ação dos relaxantes musculares não despolarizantes, maior sensibilidade aos relaxantes musculares despolarizantes.

- 3) **Ki** baixo } não se altera o potencial de repouso, po-
Ke baixo } rém há instabilidade no (K^+) intra e
extracelular.

Ke→*Ki* — Quando (alcalose respiratória ou alcalose metabólica) existe maior potência dos relaxantes musculares não despolarizantes e antagonismo à ação dos relaxantes musculares despolarizantes, com perigo de recurarização. Solução salina *Ki*→*Ke*.

Ki→*Ke* (acidose respiratória e acidose metabólica) há menor sensibilidade aos relaxantes musculares não despolarizantes com maior sensibilidade aos relaxantes musculares despolarizantes.

Clínicamente a avaliação da concentração de potássio se faz pela determinação desse ion no plasma ou no sôro. Tanto a hipo como a hiperpotassemia plasmática têm a sua importância em anestesiologia, além daquela vista em relação dos relaxantes musculares.

Hipopotassemia (2,5 mEq/l ou menos) resumidamente as alterações podem ser assim esquematizadas: sinais neurológicos: sonolência, irritabilidade, confusão mental, (coma); Sinais musculares: flacidez muscular, paralisia respiratória (tetanias); Sinais cardíacos: ECG com onda T deprimida, espaço Q-T alongado, tendência à hipotensão contribuição ao choque (cirúrgico ou pós-operatório) e potencialização dos relaxantes musculares não despolarizantes.

CAUSAS DA DEFICIÊNCIA DE POTÁSSIO

- 1 — Ingestão inadequada
- 2 — Perdas gastro-intestinais:
 - a) vômitos
 - b) diarreia
 - c) ureterosigmoidostomia
 - d) fístulas intestinais e biliares
- 3 — Perdas renais:
 - a) corticóides suprarrenais
 - b) hiperaldosteronismo primário
 - c) alcalose metabólica ou respiratória
 - d) perda primária de potássio pelos rins (diuréticos)

NB — As perdas de potássio se acentuam com ingestão elevada de sódio e com a alcalose.

Em anestesia há uma situação que deve ser lembrada. Os doentes que vêm recebendo corticóides e/ou diuréticos por períodos longos, freqüentemente, no decurso de uma cirurgia ou no pós-operatório imediato podem apresentar alterações graves do ritmo cardíaco, que se precipitam na vigência da alcalose respiratória (hiperventilação) imposta pelo anestesista. Em tais casos a simples diminuição da alcalose respiratória pode normalizar os batimentos cardíacos. Caso isso não aconteça, torna-se necessário a administração de cloreto de potássio (19,1%) diluído em sôro glicosado, por gotejamento endovenoso, até a normalização circulatória.

Outro aspecto de importância diz respeito aos mesmos pacientes que recebem diuréticos por períodos longos. A eliminação exagerada de potássio pela urina acarreta diminuição na concentração de ions H no sangue e, êstes pacientes, via de regra se apresentam em alcalose metabólica. A associação dessa alcalose com a alcalose respiratória imposta pelo anestesista e com a hipopotassemia devida aos medica-

mentos precipita as alterações do ritmo cardíaco. A alcalose metabólica nêstes casos é conhecida como alcalose hipopotassêmica.

Hiperpotassemia: (valôres acima de 7 mEq/l) hipotonia dos músculos esqueléticos, alterações cardíacas: ECG — onda T elevada, ponteaguda, intervalo P-R alongado, desaparecimento da onda P, alargamento do complexo QRS (bloqueio AV).

O coração torna-se mais sensível à ação vagal (parada vagal). Os efeitos cardiotóxicos podem ser combatidos com infusão de solução salina hipertônica ou sais de cálcio. O NaHCO_3 faz com que o potássio penetre na célula e seja trocado por ions H^+ . Os digitálicos protegem o coração contra o potássio e revertem os sinais eletrocardiográficos.

Glicose hipertônica, com ou sem insulina, obriga o potássio a penetrar na célula.

NB — o *sódio baixo* favorece estas alterações, e o *cálcio alto* antagoniza estas alterações.

CAUSAS DA HIPERPOTASSEMIA

- 1 — Insuficiência renal
- 2 — Ingestão exagerada ou metabólica
- 3 — Acidose severa respiratória ou metabólica
- 4 — Insuficiência suprarrenal.

Sódio — A concentração de sódio é a determinante mais importante da pressão osmótica efetiva dos líquidos intersticiais e, por conseguinte, de grau de hidratação celular. Embora variações na concentração de sódio no líquido extracelular leve o organismo a uma compensação homeostática pela maior ou menor excreção desse ion pelos rins, existem situações que levam à hipo ou hipernatremia.

As principais causas da hiponatremia são as seguintes: a) ingestão insuficiente; b) perdas persistentes: renais diuréticos, lesão renal, insuficiência suprarrenal, diluição dos líquidos do organismo por água, cutâneas (sudorese) e gastrointestinais (vômitos, diarreia). A baixa de sódio no soro pode também ser devida a um excesso de água, por vários mecanismos: a) ingestão excessiva; b) diminuição da diurese aquosa por aumento do hormônio antidiurético, ou por fatores renais (insuficiência cardíaca congestiva, cirrose hepática, hipoalbuminemia, desnutrição, anemia, insuficiência renal).

A hiponatremia acentuada ocasiona desatenção e fadiga, sonolência ou obnubilação e freqüentemente câimbras musculares dolorosas. O volume plasmático diminuição do débito cardíaco com conseqüente queda da pressão arterial e redução da função renal. Geralmente êstes fenômenos se observam quando a concentração de sódio se aproxima de 120 mEq/l.

A hiponatremia dêste nível pode prolongar o bloqueio neuromuscular no homem e favorece as alterações devidas à hiperpotassemia. O tratamento consiste na restrição de água ou administração de solução salina hipertônica. Geralmente, para a solução salina hipertônica produzir efeito é necessário restringir concomitantemente a água. A simples restrição de água produz efeito somente nas chamadas hiponatremias por diluição. Para o cálculo da quantidade necessária de sódio, em mEq, toma-se como base que a água total do corpo é igual a 60% do pêso corporal. Multiplica-se a diferença em mEq entre a concentração encontrada e a concentração normal de sódio pelo número de litros de água do organismo. A solução salina hipertônica administrada geralmente é de 5% e contém, portanto, 850 mEq/l. Nos casos de hiperpotassemia, a administração do sódio faz com que o potássio penetre na célula, melhorando as condições circulatórias.

Excesso de água: A hiperhidratação, a intoxicação aquosa ou a hiponatremia assintomática são síndromes que correspondem provavelmente a uma liberação persistente de hormônio anti-diurético, não homeostática, que ocasiona um excesso absoluto ou relativo da água do corpo. Pode associar-se ou não com edema evidente ou com diminuição da função renal. O tratamento consiste na restrição rígida de água, ou na utilização de um diurético osmótico, tais como uréia ou manitol, que provocam a excreção de mais água que sal.

Deficiência de água: Nos casos de desidratação intensa, associada a uma diminuição proporcional de sódio, os cuidados anestésicos devem ser redobrados, porquanto há uma potencialização na ação dos relaxantes musculares, dos anestésicos em geral, devidos principalmente à maior concentração do agente, à diminuição da função renal e a menor redistribuição hídrica. Nesses casos a recurarização pode ser freqüente.

Em pacientes muito velhos ou inconscientes, com entubação gástrica ou em dieta com alto conteúdo protéico (Uréia), é comum observar-se desidratação hipertônica, isto é, uma desidratação ocasionada por perda de mais água do

que sódio do líquido extracelular. O paciente apresenta sede intensíssima, hiperpnéia e alterações acentuadas do sensorio, como confusão, torpor e por vêzes coma. Não é infreqüente o líquido se apresentar xantocrônico ou sanguinolento e a pele eritematosa. É comum verificar-se hipotensão, taquicardia e hipertemia. O tratamento consiste em calcular o déficit de água pelo aumento percentual da concentração de sódio. Por exemplo, se o sódio aumentou 20% na sua concentração, são necessários 20% do total de água do organismo. Esse total é calculado em litros, à base de 60% do peso corpóreo em kg. A reposição da água é feita com soro glicosado a 5%.

Magnésio — A intoxicação pelo magnésio é semelhante a curarização. Há depressão da formação ou da liberação da acetilcolina e conseqüente redução do potencial da placa neuromuscular. O tratamento consiste na administração de sódio.

Cálcio — Diminuição na concentração de cálcio acarreta menor quantidade de acetilcolina na placa terminal e redução na transmissão neuromuscular, e que facilita a despolarização. A hipocalcemia acentuada leva ao bloqueio neuromuscular pela grande redução na concentração da acetilcolina.

SUMMARY

WATER AND ELECTROLYTE BALANCE FOR THE ANESTHESIOLOGIST

This review article shows the main acid-base and water imbalances important to the anesthesiologist, notably those related with the use of muscle relaxants.

As an introduction Bronsted's concepts of acid, base and electrolyte are reviewed to define properly what electrolyte balance really means. Special reference is given to the alterations of potassium, sodium, calcium and magnesium. The causes for excesses or increased losses of these are discussed, as well as their influence on the course of anesthesia and the use of muscle relaxants.