

ÁGUA E ELETRÓLITOS

Dr. M. SANTOS SILVA *

Os progressos da cirurgia têm sido muito justamente atribuídos ao concurso que lhe têm prestado as ciências médicas básicas, notadamente a fisiologia. As técnicas cirúrgicas cada vez mais alargadas exigem que o cirurgião também alargue seus conhecimentos, pois há que cuidar do paciente preparando-o para ato cirúrgico e período pós-operatório em condições ideais.

Para que tal seja possível, um dos pontos necessários é a perfeita compreensão do que chamamos equilíbrio líquido, eletrolítico, ácido básico e calórico. Há pois que estudar-se cuidadosamente como administrar água, eletrólitos, sangue, calorias e nitrogênio, de maneira racional, a fim de realmente beneficiar o doente.

Para a compreensão desse importante parâmetro, as noções que seguem são fundamentais:

* Diretor do Serviço Nacional de Câncer.

"Water... is the image of the ungraspable phantom of life; and this is the key to it all".
Melville in *Moby Dick*, apud Ellinton and Donowskin in "Body Fluids".

A — ÁGUA — A frase de Melville não foi escrita em livro de medicina, mas muito bem ficaria no início de uma dissertação sobre equilíbrio hidro-salino, pois chama a atenção para a importância universal da água. É, na realidade, impossível corrigir e manter o organismo em equilíbrio eletrolítico e ácido-básico sem certos conhecimentos relativos à distribuição da água corporal, pois ela é o solvente universal e "a chave de tudo".

1) *Água corpórea total* — No homem adulto, não obêso, a água corpórea é em média 23 litros por metro quadrado de superfície corporal, ou seja, 60% do peso corporal. Nas mulheres e nas mesmas condições de eutrofia, 18 litros por metro quadrado de superfície corporal, isto é, 50% do peso. Nos recém-nascidos, a água total chega a ser 77% do peso corporal; entre 1 a 9 anos de idade, a proporção cai para 59%. A diferença da quantidade de água entre os sexos, só se faz sentir após a puberdade e depende fundamentalmente da diferente proporção de tecido gorduroso, maior nas mulheres.

2) *Água extracelular* — Para fim clínico, considera-se a água extracelular como representando de 15 a 20% do peso

corporal, ou sejam, 14 litros para o indivíduo de 70 quilos. O conhecimento deste detalhe é imprescindível para que se possa fazer a correção das eventuais deficiências de eletrólitos.

A quarta parte da água extracelular, (5% do peso corporal) é representada pelo plasma. Os restantes 15%, constituem a água intersticial.

3) *Água celular* — É medida indiretamente. Vem a ser a diferença entre a água corporal total e a água extracelular. No que define água celular está incluído a água transcelular. Água celular e intracelular são sinônimos. Por água transcelular entendemos as secreções gastrointestinais, o suor, o líquido céfalo-raquideano e o líquido das sinoviais. (Weston). Verifica-se que a água intracelular representa o dobro da água extracelular. A água intracelular é a responsável pelo equilíbrio líquido extracelular, sendo que desta depende o volume do plasma. Na desidratação o que se perde é água extracelular.

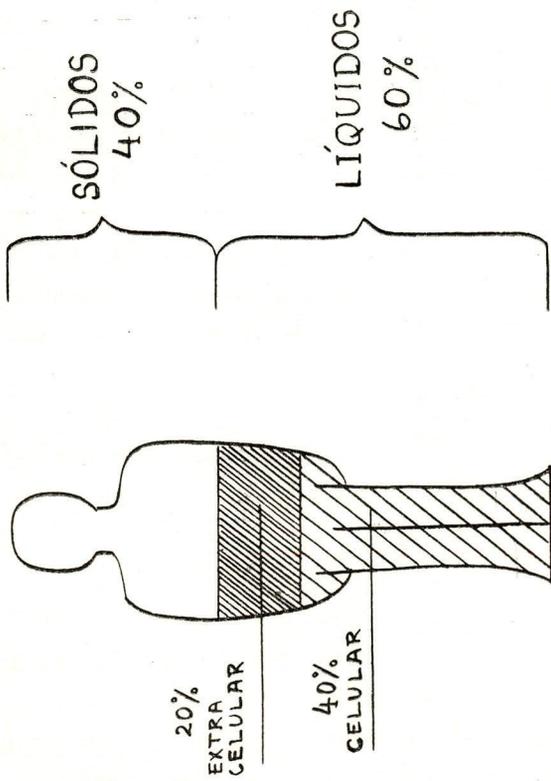
O tecido gorduroso é inativo metabolicamente e contém pouca água. Entre os indivíduos de mesma altura e com igual massa muscular a quantidade total de

Pêso (100%)	Sólidos (40%)	Gordura 18% Outros sólidos 22%
	Água (60%)	Celular e Transcelular 40%
		Extracelular 20% <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin: 5px auto; width: 80%;"> Intersticial 15% Plasma 5% </div>

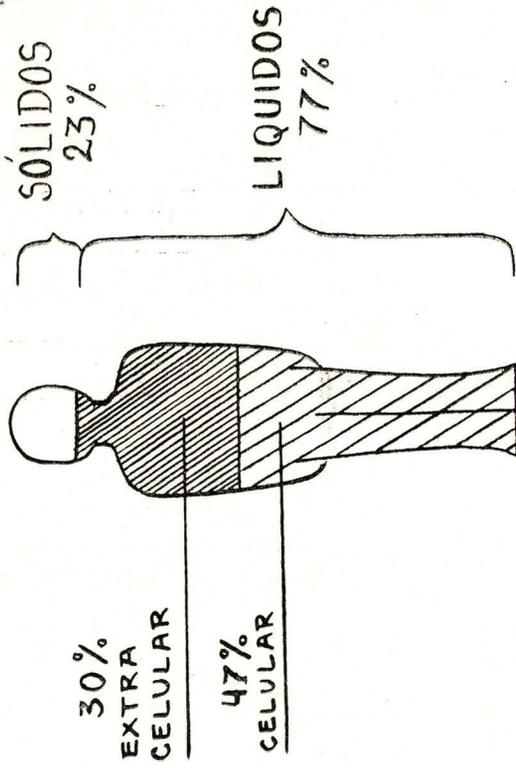
água é igual, independentemente do grau de obesidade. Por isso, quando se calcula água e eletrólitos para reposição, levar em conta apenas o pêso corporal sem outras considerações, induz sempre a erro. Em relação às pessoas obesas os cálculos devem ser baseados não no pêso atual, e sim, no pêso teórico ideal para a idade, estatura e sexo. Nos indivíduos muito gordos a água total representa apenas 40% do pêso corporal, enquanto que nos muito magros, até 75%. Porque têm mais tecido gorduroso, as mulheres têm menos água corpórea que o homem de menos pêso e estatura. No recém-nascido, como já foi visto, a água total representa 77% do pêso corpóreo sendo 23% a parte de sólidos, inclusive a gordura. Dos 77, trinta por cento é representado

por água extracelular, o que vem a ser quase o dôbro da água extracelular do adulto. A razão principal dessa diferença repousa no fato de, em relação ao pêso, ser a superfície corporal do recém-nascido de duas a três vezes maior que a do adulto. A área da superfície intestinal é levada em conta nesse cálculo. A analogia dos regadores, copiada de W. D. Snively, ilustra bem o caso de ser mais rápida e mais grave a desidratação no recém-nascido: menor massa, maior superfície corporal, fonte principal das perdas de líquidos nêle e no adulto.

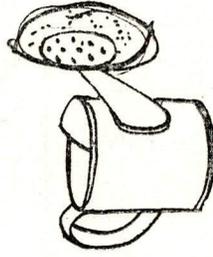
Cinco dias sem ingerir líquidos é o suficiente para que o recém-nascido perca tôda a água extracelular. Em igualdade de condições o adulto requer o dôbro do tempo para sofrer igual espoliação.



ADULTO



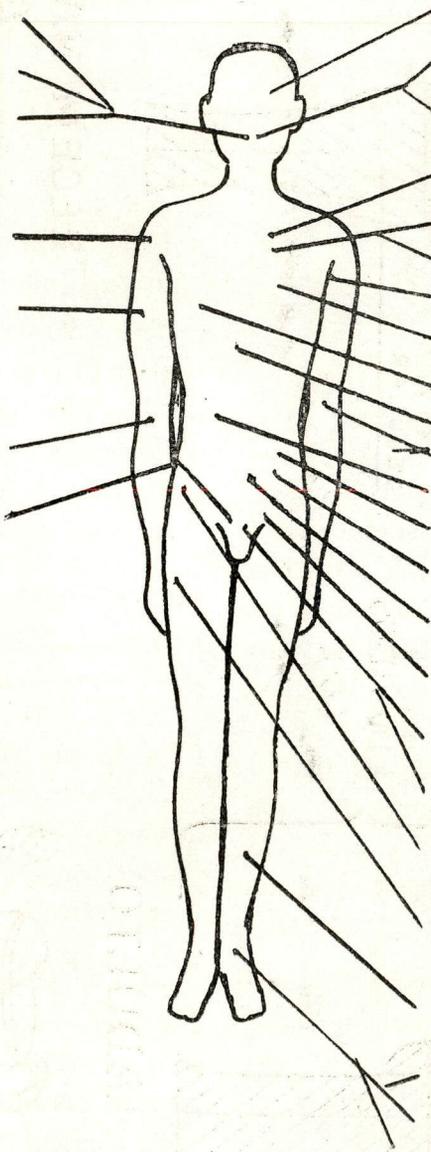
RECEM NASCIDO



GANHOS E PERDAS DE LÍQUIDOS

GANHOS

Água ingerida
Alimento ingerido
Alimentação por tubo
Oxidação de alimentos
Oxidação dos tecidos
Infusão venosa
Infusão retal



PERDAS

Lacrimejamento
Salivação
Vômitos
Broncorréia
Vapôr pulmonar
Polípneia
Transpiração
Lactação
Exudato de queimadura
Aspiração gástrica
Perda cutânea insensível
Redistribuição (3.º espaço)
Paracentese
Colite
Drenage intestinal
Fístula intestinal, cólica, canal linfático, abscesso biliar
Diarréia
Fezes
Urina
Úlcera de decúbito
Exudato de úlcera
Edema, urticária maciça

(W. D. Snively)

4) *Necessidade diária de água* — Em condições normais as perdas diárias de líquidos do adulto podem ser assim esquematizadas:

- a) — 1.200 mls. — urina
- b) — 1.000 mls. — perda insensível (pele — pulmão)
- c) — 300 mls. — fezes

Total: 2.500 mls.

Conjuntamente, perdem-se de 6 a 8 gm. de cloreto de sódio, ou sejam de 102 a 136 mEq. aproximadamente e 80 mEq. de potássio (6 grms. de cloreto de potássio).

5) *Movimentação da água* (diária) — A perda externa de água como foi visto acima resume-se a 2.500 mls. Todavia, o organismo, diariamente só através dos rins e do intestino, mobiliza 188 litros de água. Os glomérulos filtram 180 litros de urina por dia, dos quais a absorção tubular conserva 179. Dos 8 litros de líquido mobilizados diariamente pelo aparelho digestivo, o intestino conserva tudo, deixando apenas escapar, para umedecer as fezes, 300 mls.

Para que o balanço não seja negativo a água diariamente perdida, 2.500 mls. têm que ser repostas e isso é realizado através da ingestão de líquidos, do aproveitamento da água contida nos alimentos sólidos e da água formada pelas oxidações que têm lugar no organismo (500 mls.)

Será importante lembrar neste ponto que o organismo humano pela oxidação dos tecidos forma 500 mls. de água, di-

ariamente, mesmo se mantido em jejum, absoluto. Este fato é muito importante e deve ser levado em conta quando se está tratando insuficiência renal aguda na fase anúrica, a fim de evitar-se administração de líquidos em excesso.

Em casos especiais de doença e no pós-operatório imediato, as perdas podem de muito exceder a possibilidade de ganho de líquido. O quadro esquemático abaixo retirado de Snively, ilustra bem as possibilidades gerais e especiais de ganho e perda de líquidos pelo organismo.

B — ELETRÓLITOS — A maioria dos sais inorgânicos, como por exemplo, o Cloreto de sódio (NaCl) quando dissolvidos em água sofrem dissociação iônica, como mostra a equação: NaCl +

$H^2O \rightleftharpoons Na^+ + \bar{Cl} + H^2O$, onde se vê que o sódio (Na) e o cloro (Cl) se separam da molécula do Cloreto de sódio

(NaCl) em partículas Na^+ e \bar{Cl} possuidoras de cargas elétricas. Isso é o que acontece com o Cloreto de sódio dos líquidos orgânicos. Nêles a substância deixa de existir como um sal (NaCl) pois a ionização desdobra-se em íons Na^+ e \bar{Cl} . As soluções dessa natureza conduzem a corrente elétrica que, passada pela solução, encaminha as partículas para os polos elétricos de carga oposta: para o cátodo (polo negativo) as de carga positiva (cationes) e para o ânodo (polo positivo), as de carga negativa (anions). A este fenômeno, dá-se o nome de eletrólise, sendo eletrolíticas as soluções que assim se comportam. *Eletrólitos* são com-

postos que em solução conduzem a corrente elétrica e se desdobram em íons.

Os íons em solução acham-se sempre em equilíbrio ou em *equivalência iônica*. Isto quer dizer: para que a solução eletrolítica possa existir em equilíbrio, deve haver nela perfeita equivalência de cargas elétricas. Para cada carga positiva há de haver uma negativa. Para um íon Na^+ deve haver um íon $\overline{\text{Cl}}$ ou outro íon negativo equivalente, como por exemplo $\overline{\text{HCO}^3}$ (bicarbonato), caso a solução iônica ou eletrolítica seja de bicarbonato de sódio (NaHCO^3). Se existem vários íons na solução, como por exemplo Na^+ , K^+ , Ca^{++} , $\overline{\text{Cl}}$, $\overline{\text{HCO}^3}$, $\overline{\text{HPO}^4}$, a soma total dos íons de carga positiva deve, igualar a soma total dos íons de carga negativa.

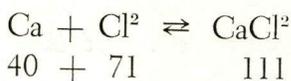
O que mantém o equilíbrio termodinâmico e a eletroneutralidade das soluções eletrolíticas é a equivalência iônica. Quando um íon negativo migra através da membrana celular, para que se mantenha a neutralidade da fase interna celular, um íon positivo deve acompanhá-lo. O que é importante é a *equivalência elétrica* e essa equivalência *independe do peso* do íon. Por isso, quando se compara concentração de soluções eletrolíticas deve falar-se em concentração de *equivalentes iônicos* ou *equivalentes químicos* e não na concentração barimétrica das substâncias em questão. Daí a necessidade de saber-se o que significa um *equivalente químico*. (Eq).

1) — EQUIVALENTES — As reações químicas processam-se sempre em relações fixas e definidas. Assim, o cloro

combina-se sempre com o sódio na seguinte proporção: $\text{Na} + \text{Cl} \rightleftharpoons \text{NaCl}$

23	35,5	58,5
----	------	------

enquanto que o Cálcio (Ca), por ser divalente, combina-se com o Cloro na proporção abaixo:



Para cálculo de *equivalente grama*, toma-se por base o átomo grama do hidrogênio e daí a definição: equivalente grama é o peso em gramas de quantidade da substância capaz de combinar-se com ou substituir um átomo grama de hidrogênio. Assim, na reação: $\text{Cl}^2 + \text{H}^2 \rightarrow 2\text{HCl}$, vemos que um átomo grama de cloro, combina-se com um átomo grama de hidrogênio. Daí ser o equivalente grama do cloro igual ao átomo grama, isto é, 35,5 gm. Na reação a seguir: $2\text{HCl} + \text{Ca} \rightleftharpoons \text{CaCl}^2 + \text{H}^2$, vemos que um átomo grama do Ca (40) substitui 2 átomos gramas de hidrogênio.

Pela definição de equivalente grama, temos que o equivalente grama do Cálcio

$$\text{será: } \frac{\text{Ca}}{2} = \frac{40}{2} = 20 \text{ gm}$$

Dêsse raciocínio surge regra geral: o equivalente grama de um elemento químico é igual ao peso atômico dêsse elemento dividido pela valência:

$$\text{Eq} = \frac{\text{Peso atômico}}{\text{Valência}}$$

2) — MILEQUIVALENTES — (mEq) — É a milésima parte do equi-

valente. Se o equivalente grama do cloro é 35,5 gramas, um milequivalente (mEq) será

$$\frac{35,5}{1000} = 0,03555 \text{ gr.}$$

ou 35,5 mgs., enquanto que o do cálcio

(20) é igual a $\frac{20}{1000}$ ou sejam, 20 mgs.

Como as quantidades dos eletrólitos existentes nos líquidos orgânicos são muito pequenas, êsses valores são expressos em milequivalentes (mEq).

3) — CONVERSÃO EM EQUIVALENTES — Para convertermos em mEq de cloro e de sódio, 9 gm. de Cloreto de sódio, fazemos o seguinte raciocínio:

$\text{ClNa} = 33,5 + 23 = 58,5$. Se em 58,5 gm. de Cloreto de sódio temos 35,5 gm. de cloro, em 9 gm. de Cloreto de sódio teremos X gm. de cloro, 58,5 :

$$35,5 : 9 : X = \frac{35,5 \times 9}{58,6} = 5 \text{ gm } 461$$

de cloro. Ora, se o equivalente grama do cloro é 35,5 gm., em 5,461 gm. tere-

mos $\frac{5,461}{35,5}$ equivalentes grama, ou seja

0,154 equivalente. Transformando 0,154 equivalente em mEq. teremos que em 9 gm. de ClNa existem 154 mEq. de cloro. Em relação ao sódio, fazemos o mesmo raciocínio: se em 58,5 gm de Cloreto de sódio existem 23 gm. de sódio, em 9 gm. de Cloreto de sódio existirão

X gm. de sódio: 58,5 : 23 : : 9 : X

$$\text{isto é } \frac{23 \times 9}{58,5} = 3,538 \text{ gm. de}$$

sódio. Como um equivalente de sódio é igual a 23 gm., em 3,538 gm. teremos

$\frac{3,538}{23}$ equivalentes gm. ou 0,154 equi-

valente ou 154 mEq, isto é, 154 é o número que representa a quantidade de mEq de sódio existente em 9 mg. de Cloreto de sódio.

Vemos pois que numa solução que contém 9 mg. de Cloreto de sódio (9 gm. de ClNa é a quantidade de sal presente em um litro de solução fisiológica de cloreto de sódio) existem 154 mEq de cloro e 154 mEq de sódio, cifras que dão de imediato idéia que na referida solução existem 154 mEq de íons negativos, havendo portanto *equilíbrio* iônico. O mesmo não aconteceria se disséssemos que numa solução contendo 9 mg. de Cloreto de sódio há 3gm538 de sódio e 5gm461 de cloro. Essas cifras seriam completamente inexpressivas. Compreendido bem o problema, o seguinte cálculo, extremamente mais simples pode ser feito; se numa molécula grama de cloreto de sódio (NaCl) há 1 equivalente ou 1000 milequivalentes grama de sódio e 1 Eq ou 1000 mEq de cloro em 9 gms de cloreto de sódio, haverá "X" mEq de sódio e "X" mEq de cloro ou seja o seguinte:

$$\text{NaCl} = 23 + 35,5 = 58,5$$

$$58,5 : : 1000 : 9 : X$$

$$X = \frac{1000 \times 9}{58,5}$$

$X = 154$ mEq de sódio e 154 mEq de cloro.

Repetindo aqui: como os principais elementos ou radicais responsáveis pelo equilíbrio electrolítico dos líquidos orgânicos existem em forma iônica e o que é importante saber no caso, é a concentração dos íons positivos e negativos — as taxas dos referidos elementos e radicais devem ser expressos em *equivalentes* e não em gm. ou miligramas.

4) — CONVERSÃO DE MG EM MILEQUIVALENTES — O mEq é a milésima parte do equivalente. Para converter mg. em mEq. raciocina-se assim, por exemplo: se um mEq de sódio é igual a 23 mg., 230 mg. de sódio representam

$\frac{230}{23}$ mEq ou seja 10 mEq.

Generalizando, podemos dizer: para converter mg. em mEq basta dividir o

pêso em mg. pelo pêso do mEq. da substância em questão. Em relação às taxas dos electrólitos do sangue, há que notar o seguinte: os resultados são geralmente dados em mg. da substância por cento enquanto que os resultados em mEq referem-se à concentração por mil, ou seja, por litro. Por isso, para converter mg. % em mEq % multiplica-se a quantidade de mg. por 10 e divide-se pelo mEq da substância:

$$\frac{\text{mg. \%} \times 10}{\text{mEq}} = \text{mEq/L.}$$

Para que se possa fazer essa conversão cumpre saber o pêso atômico dos diversos electrólitos e componentes dos radicais que funcionam como aníons nos líquidos orgânicos, bem como a valência dos referidos componentes, a fim de calcular-se o mEq.

	IONTES	PÊSO ATÔMICO	VALENCIA	EQUIVALENTE GRAMA
CATIONTES	SÓDIO	23	1	23
	POTÁSIO	39	1	39
	CÁLCIO	40	2	20
	MAGNÉSIO	24	2	12
	HIDROGÊNIO	1	1	1
ANIONTES	FÓSFORO (nos fosfatos)	31	1,8 (média)	16,1
	ENXOFRE (nos sulfatos)	32	2	16
	CLORO	35,5	1	35,1

A valência 1,8 dada para o fósforo presente no sôro sanguíneo resulta do fato de 80% dos fosfatos inorgânicos do sôro sanguíneo existirem sob a forma de fosfato básico — radical divalente e 20% sob a forma de fosfato ácido, monovalente.

5) — MILEQUIVALENTES DAS PROTEÍNAS — Para converter-se a taxa de proteínas plasmáticas representada por gm.% em mEq, basta que se multiplique a referida cifra por 2,43. Assim: 7 gm. de proteínas % = $7 \times 2,43 = 17$ mEq/L.

6) — MILEQUIVALENTE DO CO₂ — A conversão do CO₂ em volu-

mes de CO₂ por cento em mEq/L se faz dividindo essa taxa por 2,22 ou multiplicando por 0,450.

7) — OUTROS FATORES DE CONVERSÃO — Para converter mg.% em mEq por litro basta multiplicar o pêso em mg. pelos fatores seguintes:

FATORES PARA A CONVERSÃO DE MGS% — mEq/L.

Sódio	0,435
Potássio	0,256
Cálcio	0,500
Cloretos	0,173
Cloro	0,282

8) — VALORES NORMAIS EM mEq.:

ELETRÓLITO	LIMITES	MÉDIA
Sódio	137,0 - 147,0	142
Potássio	4,0 - 5,6	5
Cálcio	4,5 - 5,8	5
Bicarbonato	25,0 - 29,0	27
Cloro	98,0 - 106,0	103

9) — COMPARAÇÃO PÊSO — mEq.: Basta que se examine o quadro que segue para compreender a racionalidade de expressarem-se as concentrações dos electrólitos em equivalência química e não em pêso. As reações químicas

cas como já foi dito antes processam-se em proporções definidas, isto é, um equivalente de uma, combina-se com um equivalente de outra. As reações químicas não se dão pêso a pêso e sim, equivalente a equivalente.

<u>ELETRÓLITOS</u>	<u>MG.%</u>	<u>mEq./L.</u>
<u>Cationes (Base)</u>		
Sódio	326,0	142
Potássio	20,0	5
Cálcio	10,0	5
Magnésio	2,4	2
<u>BASE TOTAL</u>	358,4	154
<u>Aniontes (ácido)</u>		
Bicarbonato	60,5	27
Cloro	365,7	103
Fosfato	3,4	2
Sulfato	1,6	1
Ácidos orgânicos	17,5	5
Proteínas	6500,00	16
<u>ÁCIDO TOTAL</u>	6948,7	154

Da mesma forma que não se compara o rendimento dos motores pelos respectivos pesos, e sim, pela potência, a energia química disponível, deve ser representada em equivalentes químicos e não em peso das substâncias que estão presentes.

Pelo quadro verificamos que nas condições de saúde o organismo é eletricamente estável e que essa estabilidade é assegurada pela concentração ideal dos

diferentes eletrólitos, que também, devido suas propriedades ácidas e básicas são responsáveis pelo equilíbrio ácido-básico.

Além, como será visto mais tarde, os eletrólitos são ainda importante fator no controle da distribuição e na conservação da água no organismo, pois mantém a pressão osmótica das soluções, responsável pelo transporte ativo dos solutos de um lado para outro da membrana celular.

10) — MOLE OU MOLECULAGRAMA (M) Vem a ser o pêsso da molécula expresso em gramas e eventualmente é usado em substituição ao equivalente.

Basta aqui saber que o $\frac{\text{Mole}}{\text{M}}$ (M independe da valência e que portanto é igual ao Eq da molécula monovalente e ao dôbro do Eq da molécula divalente etc. Por isso, para converter-se M em Eq

basta dividir o $\frac{M}{\text{Valência}}$ do elemento em questão.

11) — MILEMOLE (mM) — Vem a ser a milésima parte do Mole.

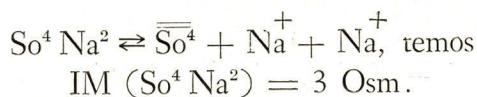
12) — OSMOLE (Osm) — É a unidade usada para medir a pressão osmótica de uma solução, isto é, a capacidade que têm as partículas dissolvidas de fazer passar líquido de um lado para outro da membrana semipermeável. Define-se como sendo a pressão osmótica produzida pela dissolução de uma molécula grama de substância não ionizável em um litro de água.

13) — MILIOSMOLE (mOsm) — É a milésima parte do osmole. Para saber-se a pressão osmótica de uma determinada solução cuja concentração é expressa em mg., divide-se êsse número pela molécula grama para determinar-se quantas moléculas gramas existem na solução. A molécula grama do cloreto do sódio (ClNa) pesa 58,5 gm. Uma solução dessa substância que contém 9

gm. por litro tem pois: $\frac{9}{58,5} = 0,154$

moles ou sejam 154 milimoles. Sabe-se por definição que a pressão osmótica total exercida por uma solução vem a ser a soma das pressões parciais exercidas pelas partículas dissolvidas e como a molécula $\overline{\text{ClNa}}^+ \rightleftharpoons \text{Cl} + \text{Na}^+$, contribui com duas partículas para produzir pressão osmótica: $1 \text{ M ClNa} = 2 \text{ Osm}$. Assim, a solução de cloreto de sódio a 9 por mil exerce pressão osmótica igual a 308 mOsm. Quando não há dissociação iônica, ou esta é muito fraca, como no caso da glicose, $1 \text{ M} = 1 \text{ Osm}$.

Se a dissociação produz três íons, como no caso de sulfato de sódio :



Nêste ponto é importante comparar milequivalente e miliosmole, pois o primeiro mede atividade elétrica e o segundo, atividade osmótica. A não ser em relação aos íons monovalentes $1 \text{ mM} = 1 \text{ mOsm}$, as soluções contendo íons polivalentes são mais ativas eletricamente que osmolarmente. No exemplo dado anteriormente vemos que:

$$\text{So}^4 \text{Na}^2 \rightleftharpoons \overline{\text{So}}^4 + \text{Na}^+ + \text{Na}^+$$

tem 4 cargas elétricas e apenas 3 partículas "osmóticas".

Consideramos para fins práticos a osmolaridade normal dos líquidos extracelulares, igual a 308 mOsm. Como a solução a 9 por mil de cloreto de sódio tem pressão osmótica também igual a 308

mOsm, dizemos que êsses líquidos são, em relação um ao outro, isotônicos.

A glicose ($M = 180$) não é ionizável; portanto, $1 M = 1 \text{ Osm}$. A solução de glicose a 5% contém 50 gm. da substância

por litro sendo $\frac{50}{180} = 278 \text{ Osm}$

a pressão osmótica que produz — sendo hipotônica em relação ao plasma.

O sôro misto, cloreto de sódio a 9/1.000 (308 mOsm) + glicose a 50/mil (278 mOsm) tem osmolaridade total igual a $308 + 278 = 586 \text{ mOsm}$. É portanto solução hipertônica e não deve ser dada no tecido sub-cutâneo e sim na veia.

C — COMPOSIÇÃO DOS LÍQUIDOS ORGÂNICOS

1) — Os líquidos extracelulares são representados pela soma do plasma e dos líquidos intersticiais e tanto num quanto no outro estão presentes os cationes sódio, potássio, cálcio e magnésio. O sódio é o mais importante catione dos líquidos extracelulares. Cloreto, bicarbonato, fosfato, sulfato, ácidos orgânicos e proteínas são os aniontes. Dêstes predominam os cloretos. Do ponto-de-vista químico, a mais importante diferença entre o plasma e os líquidos intersticiais reside no teor de proteínas, consideravelmente maior no plasma. Com exceção do sódio, ligeiramente em maior concentração nos líquidos intersticiais, todos os demais cationtes predominam no plasma. Os clo-

retos igual que o sódio são mais abundantes no líquido intersticial, o mesmo acontecendo com os ácidos orgânicos.

2) — O líquido celular é composto dos mesmos elementos e radicais existentes nos líquidos intersticiais, com a diferença de ser o potássio o mais importante cationte celular. Os fosfatos são o anionte predominante.

As diferenças entre potássio celular e extracelular são muito importantes de apreciar. O homem de 70 quilos tem 14 litros de líquido extracelular. Levando em conta que cada litro dêste líquido contém 5 mEq. de potássio temos que: $5 \times 14 = 70 \text{ mEq}$ representa a quantidade total de potássio extracelular.

O líquido celular contém 155 mEq. de potássio por litro, portanto, o total do potássio celular é: $155 \times 28 = 3340 \text{ mEq}$.

D — CORREÇÃO DO DEFICIT DOS ELECTRÓLITOS EXTRACELULARES

Toma-se como ponto de partida a concentração atual dos electrólitos no sangue circulante, pois os cationtes e os aniontes aí contidos estão em equilíbrio osmótico com o líquido intersticial.

Quem tem 3mEq/L de potássio apresenta deficiência de

$5\text{mEq/L} - 3 \text{ mEq/L} = 2\text{mEq/L}$, isto é, apresenta menos 2 mEq/L de potássio por litro de líquido extracelular. Para o homem de 70 quilos nessas condi-

ções, a deficiência total será: 2 mEq
× Volume de líquido extracelular ou seja

$$2 \text{ mEq/L} \times \frac{\text{Pêso} \times 20}{100}$$

$$\text{ou } 2 \times \frac{70 \times 20}{100}$$

isto é: $2 \times 14 = 28$ mEq de potássio.

Daí resulta a fórmula geral:

Deficit total = mEq/L normal -

$$\text{mEq/L atual} \times \frac{\text{Pêso} \times 20}{100}$$

Esta fórmula geral se aplica para calcular todos os electrólitos extracelulares, cationte ou anionte que seja, com exceção do sódio pela razão que segue.

E - CORREÇÃO DO DEFICIT DO SÓDIO

A pressão osmótica dos líquidos extracelulares é mantida pelos cationtes e pelos aniontes nêles presentes. Devido estar em concentração elevada nesse compartimento, 142 mEq/L, (K = 5mEq/L; Ca = 5 mEq/L; Mg = 2 mEq/L), o sódio é obviamente, entre os cationtes, o mais importante para manter essa pressão ou tonicidade. O primeiro mecanismo de defesa contra as modificações da tonicidade orgânica é a troca de líquidos entre o meio intracelular e intersticial ou vice versa. O meio intracelular contém duas vêzes mais água que o extracelular.

Uma perda de sódio equivalente à 126 mEq alterará grandemente a tonicidade do líquido extracelular que passará a ser hipotônico de 16,5 mOsm/L, (1mEq ClNa = 2mOsm; 126 mEq ClNa = 252 mOsm; 252 mOsm sendo o déficit mileosmolar total, teremos que

$$\frac{252}{14(20\% \text{ pêso, } 70 \text{ quilos})} = 16,5 \text{ Osm/L),}$$

em relação ao líquido intracelular. Essa hipotonicidade extracelular leva à imediata passagem de água extracelular para o meio intracelular, o que acarreta concentração relativa do meio extracelular.

A prática mostra que a referida perda de 126 mEq de sódio se traduz bioquimicamente por queda de 3 mEq/L de sódio no sangue. Se o sódio necessário para a reposição dessa deficiência fôsse calculado em função do compartimento extracelular teríamos para o homem de 70 quilos:

$$3 \times \frac{(70 \times 20)}{100} = 42 \text{ mEq de sódio}$$

o que representa na realidade um têrço da necessidade.

Todavia o cálculo feito em função da quantidade total de líquidos, 60% do pêso

$$\text{corporal, } 3 \times \frac{70 \times 60}{100} = 126 \text{ mEq}$$

de sódio, corrige exatamente a deficiência total do sódio.

F — CONSIDERAÇÕES PRÁTICAS

1) — Em condições básicas existem as seguintes necessidades diárias de água, sódio, potássio e cloro:

	Água	Na	K	Cl
Adulto normal	35 ml/Kg	80 mEq	30-40 mEq	110 mEq
Adulto magro ou jovem adulto	40-50/Kg	80 mEq	30-40 mEq	110 mEq
Velhos ou obesos	25-30 ml/ Kg	80 mEq	30-40 mEq	100 mEq
Crianças de 1 a 5 anos	50-60 ml/ Kg	30 mEq	10 mEq	30 mEq
Recém-nascido	150 ml/Kg			

Os valores dados para o sódio referem-se às pessoas em equilíbrio-salino, com função renal normal.

2) — As necessidades básicas aumentam em função dos seguintes fatores:

- a) Pêso sêco
- b) Menor idade
- c) Insuficiência renal com diurese osmótica
- d) Hipermetabolismo
- e) febre
- f) Temperatura ambiente

3) — As necessidades básicas diminuem de acôrdo com:

- a) Obesidade
- b) Velhice
- c) Hipometabolismo
- d) Insuficiência cardíaca
- e) Insuficiência renal aguda

Cada grau centígrado de temperatura acima do normal eleva o metabolismo basal de 10%.

4) — *Forma de substituição parenteral das perdas gastrointestinal:*

a) Osuco gástrico contém íontes Cloro (90-160 mEq), potássio (10-20 mEq) e sódio (20-60 mEq). Portanto a perda exagerada de suco gástrico leva à hipoclo-

remia, à hipokalemia com produção de alcalose hipokalêmica visto a perda principal ser de íonte ácido.

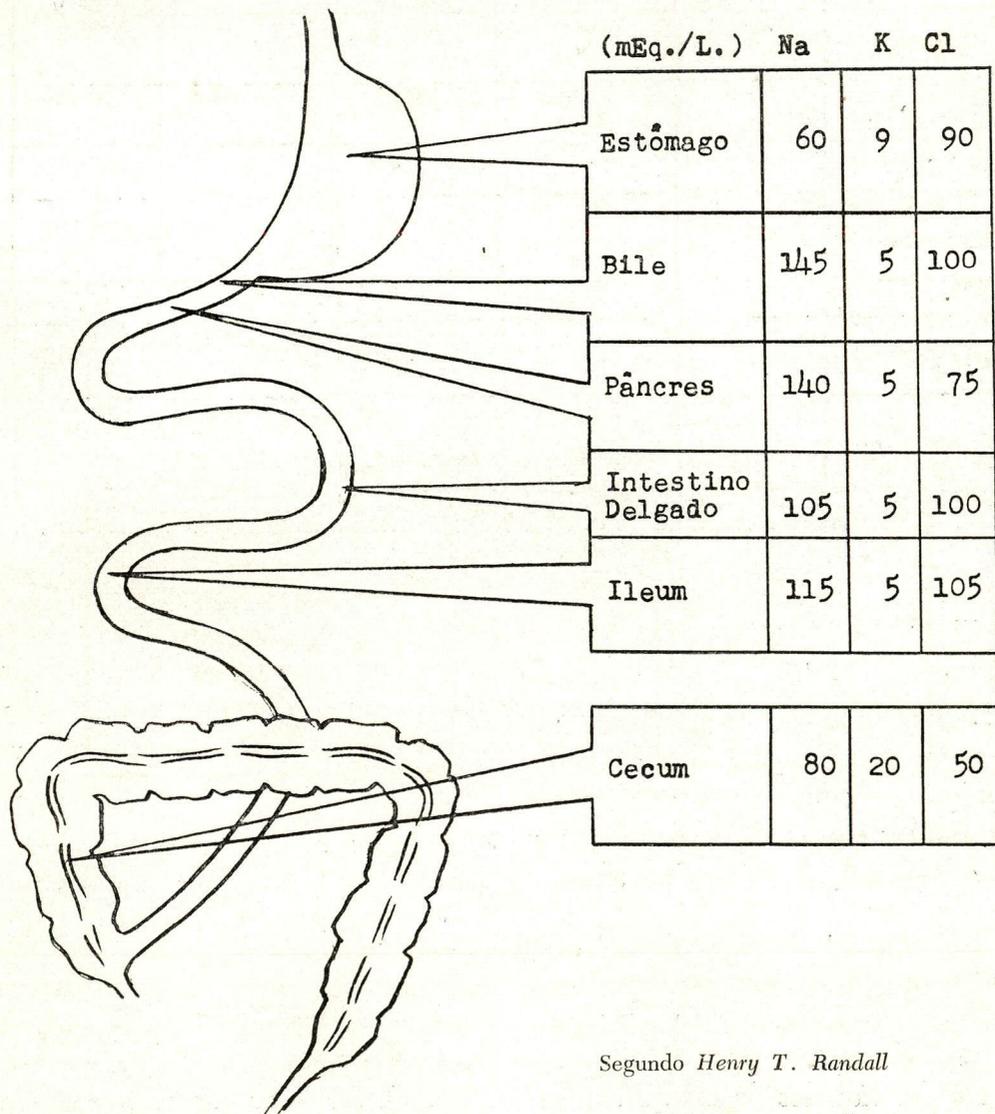
b) No quadro que apareceu anteriormente e que é original de Randall, do Memorial Cancer Center, a composição dos diferentes líquidos existentes no tubo digestivo pode ser bem apreciada e o desequilíbrio ácido básico e iônico que acarreta a perda específica de cada um deles, compreendida. Assim, verifica-se que a perda de grande quantidade de bile leva à hiponatremia com produção de acidose metabólica, enquanto que uma oclusão de intestino delgado praticamente

te não produz desequilíbrio ácido básico importante, visto ser o conteúdo do intestino delgado composto de quantidades praticamente iguais de íons ácidos e básicos.

O quadro abaixo esquematiza a forma de substituir as perdas dos líquidos gastrointestinais.

A substituição se faz da seguinte maneira, percentagem calculada em relação ao volume da perda.

COMPOSIÇÃO ELETROLÍTICA DOS LÍQUIDOS DO TUBO DIGESTIVO



Segundo Henry T. Randall

REPOSIÇÃO DAS PERDAS PELOS LÍQUIDOS DIGESTIVOS

	Sol. de glicose a 5%	Soro misto	Sol. de Lactato de sodio M/6	Sol. a 0,75% de Cloreto de amonio	mEq K/l
Suco gástrico normal	33%	67%	-	-	
úlcera hipocloridria	20% 67%	30% 33%	- -	50% -	10
Intestino delgado	20%	70%	10%	-	10
Ileostomia	10%	75%	15%	-	10
Bile	-	67%	33%	-	10
Suco pancreático	-	50%	50%	-	10

Segundo Henry T. Randall

5) - Terceiro espaço

a) Quando os líquidos extracelulares sofrem redistribuição dentro do próprio organismo, isto é, se "perdem" para dentro do próprio organismo, diz-se que foi criado um terceiro espaço. Forma-se um terceiro espaço nas seguintes situações:

1) Expansão ou aumento dos líquidos extracelulares como parte das reações de alarme. No caso, não se cria um verdadeiro terceiro espaço, pois o que há é aumento dos líquidos do espaço extracelular.

Todavia, para facilidade, consideramos esse aumento de líquidos extracelulares, como ocupando mais um espaço, ainda que esse espaço seja normalmente existente;

2) Criação de um verdadeiro 3.º espaço, onde se localizam líquidos previamente extracelular, intersticial e ou plasmático:

- a) Queimaduras
- b) Derrames serosos
- c) Coleção no aparelho digestivo:

Obstrução pilórica — Ileus parálítico

d) Hemorragia interna, Edema, Urticária generalizada

6) *Regra de Evans para administração de líquidos nas queimaduras:*

1) — Nunca dar nas primeiras 48 horas quantidades de líquidos que ultrapasse 10% do peso corporal;

2) — Deve procurar manter-se produção de urina horária variando entre 25-50 ml por hora. Isso exige a medição da urina produzida cada hora, a fim de aumentar-se ou diminuir-se a velocidade do fluxo da infusão venosa;

3) — Esquemáticamente tratar o queimado da seguinte forma:

a) Nas primeiras vinte e quatro horas (dando-se a maior parte dos líquidos nas primeiras 12 horas);

Glicose a 5% (Básico) 2.000 mls + 1 ml de plasma ou san-

gue por cada 1% da superfície queimada por quilo de peso + 1 cc. de solução de cloreto de sódio 9g/ Litro para cada 1% por quilo de peso, em função da área da queimadura;

b) Nas segundas 244 horas: Glicose a 5% (Básico) 2.000 Plasma ou sangue e eletrólitos — metade da dose da véspera.

7) — *Cálculos da velocidade das infusões*

Para sabermos quantas gotas por minuto deverão ser dadas para que se administre determinada quantidade de solução continuamente durante 24 horas, basta multiplicar por onze o volume que se quer aplicar nas 24 horas, para ter-se o número de gotas por minuto. Assim, se quisermos que o doente tome três litros de sôro através das 24 horas, teremos que administrar $3 \times 11 = 33$ gotas por minuto. Se 4 litros fôsse a quantidade, $4 \times 11 = 44$ gotas.

Para a aplicação em 12 horas, o fator de multiplicação é 22. Para 6 horas, 44 e assim por diante.

INSUFICIÊNCIA RENAL AGUDA

Dois novos conceitos relativos ao funcionamento do rim na saúde e na doença, modificaram profundamente as antigas noções da fisiologia renal.

Acreditava-se que na doença, a unidade renal comprometida continuava a produzir urina, sendo as alterações nos diferentes segmentos do "nefrom" res-

ponsáveis pelos distúrbios da secreção e da absorção, isto é, pela concentração ou pela diluição da urina e pelos elementos anormais que continha.

Hoje em dia as evidências parecem provar que o elemento renal doente deixa de produzir urina. Essa continua a ser formada pelos nefrons não lesados que

ficam submetidos a grande sobrecarga e se dilatam. Resulta daí a diurese osmótica, responsável pela poliúria e pela perda de sódio. Os nefrons assim sobrecarregados e dilatados são incapazes de concentrar a urina e de responder prontamente com aumento da diurese à sobrecarga de água. Aliás, uma das melhores provas de função renal satisfatória é a da sobrecarga de água. O rim que conserva o poder de diluir a urina com pronto aumento da diurese quando submetido à sobrecarga de água, é rim com boa função. Na insuficiência renal crônica o rim perde a flexibilidade, isto é, o poder de concentrar e diluir a urina de acordo com o volume de água e solutos que lhe são fornecidos. Disso se infere que dar mais água ao doente de insuficiência renal crônica não é racional, pois nessa situação o rim só é capaz de eliminar água, que arrasta sódio, uma vez que perdeu o poder de concentrar. A resposta à sobrecarga de água é demorada na insuficiência renal crônica, pois os nefrons em atividade já estão funcionando na capacidade máxima de filtração, reabsorção e excreção.

O outro conceito novo explica como a urina é concentrada e diluída. As referências bibliográficas da última página devem ser consultadas e estudadas para que se adquiram essas novas noções, fundamentalmente importantes para a compreensão do mecanismo e do tratamento racional das modificações eletrolíticas que aparecem no curso da insuficiência renal crônica e na fase de diurese osmótica da insuficiência renal aguda.

INSUFICIÊNCIA RENAL: — É a situação na qual o rim perde a capacidade de eliminar os produtos destinados à excreção renal.

Alguns autores de língua inglesa fazem diferença entre insuficiência renal (Renal insufficiency) e falência renal (renal failure). Para Merrill a primeira é uma deficiência latente de função, isto é, só aparente através dos exames de função renal ou quando há solicitação renal máxima. Na falência (failure) renal, o rim é incapaz de dar conta das necessidades normais de excreção.

A rigor, a concepção de Merrill é mais precisa. Todavia, em nosso texto faremos as duas designações sinônimas, pois a concepção de latência só caberia nos casos de insuficiência renal crônica. Então diríamos, para evitar novas denominações: insuficiência renal crônica "compensada" ou "descompensada". Toda insuficiência renal descompensada é acompanhada de sintomas que apontam para deficiência de formação e excreção de urina.

Insuficiência renal descompensada crônica é caracterizada pela diurese osmótica, isto é, pela formação de urina com osmolaridade muito próxima da do plasma sanguíneo. A osmolaridade normal do plasma sanguíneo é de cerca de 308 mOsm/L. O rim na saúde é capaz de concentrar a urina até osmolaridade de 1.000 — 1.400 mOsm/L. Na diurese osmótica, onde a urina tem densidade fixa entre 1010 e 1005, a osmolaridade da urina fica em torno de 300 mOsm/L. Depreende-se pois que para

eliminar os produtos de excreção urinária, o rim necessita de volume de água 3 a 4 vezes maior, isto é, de 3 a 4 litros de urina para eliminar 1.000 — 1.200 mOsm com a diurese total.

A urina da diurese osmótica contém grandes quantidades de sódio, mesmo quando há deficiência global deste catione nos líquidos orgânicos. Tudo que leva à perda de sódio (febre, transpiração, diarreias, inclusive a restrição drástica de sódio), agrava a situação do doente de insuficiência renal crônica.

Como a resposta renal à sobrecarga é nula ou muito demorada neste caso, dar excesso de água e sódio ao doente leva irremediavelmente à formação de edema. Por outro lado, forçar a quota de água só consegue agravar, por diluição, a hiponatremia, provocando intoxicação pela água.

O tratamento do doente com insuficiência renal crônica, no que diz respeito a administração de água, restrição ou administração de sódio, constitui problema clínico complexo que necessita apurado exame por parte do médico. Quando o doente pode alimentar-se livremente, deixá-lo beber água, de acordo com a sede, parece o melhor princípio de regular os volumes de líquidos a administrar. Na presença de hipertensão ou de insuficiência cardíaca congestiva, restringir sódio pode ser necessário. Todavia, mesmo nesse caso, a restrição exagerada de sódio pode ser prejudicial e a melhor forma para julgar-se esse parâmetro é a pela verificação da azotemia. O aumento progressivo da taxa de uréia no sangue

aponta para depleção de sódio, caso em que há indicação para administrar solução hipertônica de cloreto de sódio (5 por cento).

Quando o doente não pode beber líquidos e a administração parenteral de solutos é necessária, as regras gerais de hidratação devem ser levadas em conta, sendo útil a administração de líquidos em pequeno excesso.

CARACTERÍSTICAS DA DIURESE OSMÓTICA:

- 1.º) Urina de osmolaridade igual ou próxima a do plasma sanguíneo.
- 2.º) Filtração glomerular diária abaixo de 15% do normal. Considera-se filtração glomerular diária F. G. D. normal, 100% = 180 L/dia.
- 3.º) Fluxo urinário limitado e fixo, com urina de densidade fixa e baixa (hipostenúria).
- 4.º) Volume urinário diurno menor que o noturno.
- 5.º) Urina total contendo excesso de sódio, mesmo quando há deficiência de sódio nos líquidos extracelulares (hiponatremia).

INSUFICIÊNCIA RENAL AGUDA
— é caracterizada por redução do volume urinário, que não ultrapassa 400 ml nas 24 horas, ao lado de sintomatologia clínica e humoral resultante do comprometimento da função renal. Usa-se o termo anúria para designar diurese que vai de 0 a 400 mls de urina nas 24 horas e oli-

gúria, quando o total de urina vai de 400 mls até o ponto mínimo em que é possível a eliminação dos produtos de excreção urinária.

É necessário chamar a atenção para o fato de a anúria nem sempre ser o primeiro sintoma da insuficiência renal aguda. Na insuficiência renal aguda produzida por agentes tóxicos, tais como toxinas de cogumelos, sublimado corrosivo e te-

tracloro de carbono, a criada pelos distúrbios eletrolíticos (vêr quadro) a anúria pode ser tardia e posterior aos outros sintomas de retenção dos produtos de excreção urinária.

Antes de iniciar-se o tratamento da insuficiência renal aguda é necessário ter conhecimento do mecanismo desencadeador da situação clínica.

CAUSAS DESENCADEANTES DA INSUFICIÊNCIA RENAL AGUDA

(Segundo Atlas e Gaberman — Resumido)

I — CHOQUE (Hipotensão arterial prolongada)

De causa médica:

Infarto do miocárdio
Infarto pulmonar
Embolia arterial
Ictus cerebral
Coemia
Hipoglicemia

De causa cirúrgica:

Hipoglicemia
Abdomé agudo
Síndrome de esmagamento
Queimadura extensa
Anemia aguda
Fraturas

De causa obstétrica:

Hemorragia pós-parto
Abôrto infectado
Placenta prévia
Toxemia da gravidez
Rutura uterina
Placenta prévia

II — DISTÚRBIOS DE ÁGUA E ELETRÓLITOS

Acidose

Depleção de sódio
Depleção do potássio
Fístula biliar ou ileal
Intubação intestinal
Diarréia
Cetose diabética e do jejum prolongado
Intoxicação por cloretos (de amônio e de cálcio)

Acidose respiratória

Alcalose

Vômitos (depleção de cloretos)
Fístula pancreática
Excessiva ingestão de alcalizantes

Depleção de água

Privação de água
Diurese osmótica (solução hipertônica de glicose)
Excessiva diurese (mercuriais, clorotiazidas)

III — NEFROTOXINAS

Sulfato de cobre
Tetracloro de carbono
Metais pesados (Hg, Bi, Ur, Pb.)
Sulfamidas
Fósforo
Clorofórmio
Veneno de cobra
Acetazolamida (diamo)
Neomicina
DDT
Glicol etilênico
Tolueno
Cloreto de potássio
Toxinas de cogumelos

IV — HEMÓLISE INTRAVASCULAR

Transfusão incompatível
Infusão por água destilada
Irrigação vesical
Terça maligna (febre hemoglobinúrica)
Quinino em doses elevadas (abôrto)
Septicemias por *Chlostridium wellchii* e *Strep. piogenes*
Cloreto de metila, alcatrão de ulha
Hemoglobinúria paroxística
Doença de Carrion

Verifica-se pelo exame do quadro apresentado que a insuficiência renal aguda pode ser desencadeada por uma série de fatores, cobrindo o âmbito de todos os ramos da medicina. Os fatores que levam à insuficiência renal aguda são vários e por isso um mecanismo patogênico único dificilmente poderá ser encontrado. Apenas a anóxia parece ser o denominador comum na insuficiência renal aguda.

NEFROSE DO NEFRON INFERIOR

— É a denominação mais em voga para designar a insuficiência renal aguda. A expressão é todavia incorreta, pois estudos patológicos recentes, principalmente os de Oliver em 1957, mostraram que na síndrome da insuficiência renal aguda existem ou podem existir lesão em qualquer altura do nefron, gromerular e ou tubular, não se limitando as alterações, como dá a entender a denominação — “Nefrose do nefron inferior” à modificação da parte tubular distal.

REFERÊNCIAS E SUGESTÕES PARA LEITURA

- 1 — The Body Fluids. — J. R. E. e KINTON e T.S. DANOWSKI. — The W. & W. Co. Baltimore, 1955.
- 2 — Clinical Disorders of Hidratation and Acid. Base Equilibrium. — L. G. WELT, LITTLE, BROWN & Co. Boston, 1955.
- 3 — The ABC of Acid — Base Chemistry. — H. W. DAVENPORT. — The University of Chicago Press, 1954.
- 4 — Fluids & Electrolytes. — R. E. WESTON, Med. Cl. of N. Am Volume 39, Maio 1955.
- 5 — Body Fluid Disturbances. Série de aulas dadas na 109.^a Reunião da A.M.A., Miami Beach, Junho 13-15, 1960.
- 6 — Renal Aspect of Acid Base Balance. — K. E. ROBERTS, FORMAN & TULLMAN.
- 7 — Fluid Therapy. — J.D. HARDY, LEA & FEBRIGER, 1954.
- 8 — MERRILL, J.P. — The Treatment of Renal Failure, Grune and Stratton, Inc. New York, 233 pp, 1955.
- 9 — MERRILL, J. P. — Accute Renal Failure, Annual Review of Medicine, 11: 127-150, 1960.
- 10 — LAMBIN, E. — Mechanism of Urinary Concentration and Dilution, Arch. of Int. Med. Vol. 103, n.º 148, 1959.
- 11 — Reflexions on Renal Function. — ROBINSON, J.R. CHARLES C. THOMAS, 1954.
- 12 — The Kdorey in Health; The Nephron in Diesase. — FRANKLIN, S. S. e MERRILL, Editoreal. Am. J. of Med. Janv. 1960.
- 13 — Reversible Renal Insufficiency. — D. H. ATLAS e P. GABERMAN. — The Williams e Wilkins Co. Baltimore, 1958.