

Teoria da Aula-Prática

Variações do Volume Celular: Osmoticidade e Tonicidade

Os primeiros sistemas vivos surgiram, provavelmente, nos mares pouco profundos e, mesmo atualmente, os líquidos extracelulares, onde as células vivas se encontram mergulhadas, continuam a refletir a composição do mar primitivo, a partir do qual a vida evoluiu.

Em um ser humano adulto de porte médio com cerca de 70 Kg, aproximadamente 65 % do seu peso é de água corporal o que corresponde ao volume de 45,5 L. Essa água está distribuída dentro das células e fora delas, sendo que a maior porção é intracelular (67% do total de água), e a água extracelular ainda é subdividida entre líquido intersticial (20%) e plasma ($\cong$ 10%, a porção líquida do sangue).

A composição dos meios extra e intracelular é distinta (Tabela 1). Enquanto o meio extracelular de vertebrados tem uma concentração iônica de aproximadamente 1/3 da água do mar, o meio intracelular é caracterizado por baixa concentração do íon Na^+ e alta do íon K^+ , além de proteínas. A presença da membrana celular, separando os meios intra e extracelular, mantém a diferença na composição iônica dos meios, mas isso não resulta em diferença osmótica (fluxo de água) entre os meios.

Tabela 1. Concentrações iônicas internas e externas de músculo de vertebrado (Ânions orgânicos = moléculas orgânicas, principalmente proteínas, que não passam pela membrana) (Eckert et al., 2000).

Íons	[Íons] no meio extracelular (mM)	[Íons] no meio intracelular (mM)
Na^+	120	10
K^+	2,5	140
Ca^{2+}	2,0	$< 10^{-3}$
Cl^-	120	4
Ânions Orgânicos	2,0	100

Equilíbrio osmótico entre os líquidos intracelular e extracelular

Princípios básicos de osmose

A membrana celular é bastante permeável à água e pouco aos solutos, mesmo aqueles bem pequenos, como é o caso de alguns íons. Assim, numa situação onde há diferença de concentração de solutos entre os dois compartimentos (intra e extracelular) a água se move rapidamente para o compartimento mais concentrado até que se igualem as concentrações osmóticas em ambos.

E o que de fato significa concentração osmótica? Concentração osmótica nada mais é do que o número de partículas osmoticamente ativas em uma dada solução. As partículas osmoticamente ativas são aquelas capazes de atrair água, ou seja, de promover o fluxo de água em sua direção.

E osmose, que é osmose? Osmose trata-se da *difusão* da água, ou seja, do movimento passivo (sem gasto de energia) de água do compartimento onde a água está mais concentrada para o compartimento onde a água está menos concentrada, até que as concentrações nos dois compartimentos sejam as mesmas. Falar em concentração de água pode parecer estranho, mas está correto! Note que onde a água está mais concentrada, o soluto está menos concentrado e vice-versa.

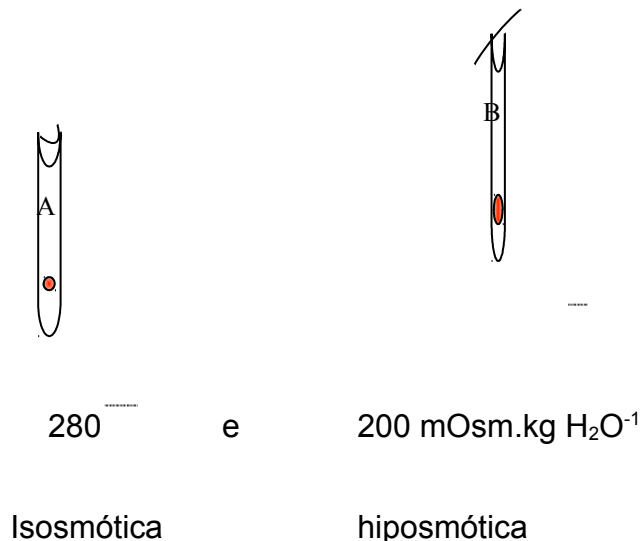
Osmoticidade x Tonicidade

Os termos osmotividade e tonicidade são muitas vezes usados sem cuidado, como sinônimos, o que não é verdade. Precisamos então, entender bem o que é o quê e para isso vamos considerar uma situação prática:

Cuidar do corpo é uma moda quase antiga, praticar exercício faz bem para o corpo, tanto no que diz respeito à aparência quanto ao seu funcionamento, faz bem para a mente, para a consciência, para o astral... Mas precisa-se de muito cuidado para que não haja exageros e para que se tenha um bom desempenho, sem complicações. Um dos cuidados que se deve ter, após os exercícios, é ingerir bebidas conhecidas como isotônicas, o famoso “Gatorade®”. Mas esse cuidado muitas vezes parece tão “modismo” quanto a prática do exercício. Geralmente, as pessoas não sabem exatamente porque tomam isotônico e qual é sua função no organismo.

O que seria um isotônico? Seria uma bebida isosmótica? Para entendermos o isotônico que as pessoas tomam, precisamos entender osmoticidade e tonicidade. Já falamos que concentração osmótica de uma solução representa o número de partículas osmoticamente ativas contidas nela, certo? Nosso plasma tem aproximadamente $280 \text{ mOsm.kg H}_2\text{O}^{-1}$ (quantidade de partículas decorrente da separação iônica dos sais dissolvidos no meio). Toda solução com a mesma concentração osmótica, seja no nosso corpo ou aquela que a gente prepare no laboratório, recebe a denominação de solução **isosmótica**, ou seja, que tem a mesma concentração osmótica. Em caso de menor concentração osmótica, a solução é chamada de **hiposmótica** e se de maior concentração será denominada de solução **hiperosmótica**. Tranquilo, não?! E assim esclarecemos osmoticidade.

Quanto à **tonicidade**, temos uma particularidade que é a resposta (em termos de variação de volume) de um organismo, tecido ou célula a uma dada solução. **Por exemplo, se imaginarmos uma célula do nosso corpo, como as hemácias, submetidas a uma solução de $200 \text{ mOsm.kg H}_2\text{O}^{-1}$ o que observaremos? E como classificaremos a solução quanto à osmoticidade e à tonicidade?**



Considerando que a célula passou de uma solução isosmótica (A) para uma hiposmótica (B), e que solução hiposmótica tem menos solutos, ou seja, menos partículas em solução e, consequentemente, mais água, logo a concentração de água é maior em B do que em A.

Nossas células estão, normalmente, em equilíbrio osmótico com o meio extracelular (aproximadamente $280 \text{ mOsm.kg H}_2\text{O}^{-1}$), então o meio intracelular também tem $280 \text{ mOsm.kg H}_2\text{O}^{-1}$. Logo, quando a célula é transferida para uma solução hiposmótica (B), de maior concentração de água do que na condição isosmótica de $280 \text{ mOsm.kg H}_2\text{O}^{-1}$ (A), a água vai do meio extracelular

para o intracelular, o que é chamado *fluxo osmótico* e, nesse caso, a célula incha. Em havendo, na solução B, um fluxo osmótico para a célula e ela inchando, dizemos que a solução foi hipotônica para a célula, além de hiposmótica (como já definida segundo a osmoticidade).

Assim, fica claro que quando consideramos uma solução ou um compartimento, segundo a sua concentração osmótica, estamos falando de *osmoticidade*, enquanto que, se estamos falando de fluxo osmótico gerando alteração de volume na célula, tecido ou mesmo no animal, estamos falando de *tonicidade*.

Além de fluxo osmótico, fluxo de solutos que passem pela membrana (e levem junto água) e conseqüentemente alterem o volume da célula implica em diferença de tonicidade; esses solutos são classificados como solutos permeantes. Por exemplo, ovos de ouriço-do-mar (um invertebrado, equinoderma) quando em uma solução de cloreto de sódio (NaCl) isosmótica à água do mar mantêm seu volume, logo a solução é isotônica. No entanto, se colocados em solução isosmótica agora de cloreto de cálcio (CaCl_2) os ovos incham. *Por quê?! A membrana dos ovos deixa o cálcio passar facilmente para o interior dos mesmos até que se equilibre com o exterior, esse movimento de íons é acompanhado por água, e acaba por promover o inchaço dos ovos.* Isso porque a membrana dessas células é bastante permeável ao Ca^{2+} e esse íon no meio intracelular é mais baixo que no exterior. Assim, embora a solução seja isosmótica ela é hipotônica para a célula; ou seja, além de fluxos osmóticos, fluxos de solutos (acompanhados de água) que passem pela célula alterando seu volume nos leva a classificar a solução quanto à tonicidade, independentemente da osmoticidade. Se a resposta celular for aumento de volume a solução é hipotônica para a célula, caso a célula murche a solução é hipertônica à mesma.

Resumindo, osmoticidade de uma solução ou compartimento diz respeito à concentração osmótica do referido meio, enquanto que tonicidade refere-se ao fluxo osmótico ou fluxo de solutos que passam pela membrana celular alterando o volume da célula, ou do tecido ou do animal, independentemente da osmoticidade.

Agora podemos voltar aos isotônicos que bebemos, eles visam repor não somente água perdida, mas também os sais perdidos durante o exercício (e em outras situações como diarreia ...), sendo a bebida isosmótica aos nossos fluidos e além disso isotônica. A bebida repõe líquido + sais perdidos, e não causa alteração de volume em nossas células.

Osmolalidade e Osmolaridade

Aproveitando os conceitos discutidos acima, vamos esclarecer que a concentração osmótica de uma solução se for expressa em osmoles por quilograma de água ($\text{Osm.kg H}_2\text{O}^{-1}$) é denominada *Osmolalidade* e se expressa em osmoles por litro de solução ($\text{Osm.L H}_2\text{O}^{-1}$) é denominada *Osmolaridade*. Em soluções diluídas como os líquidos corporais as definições acima podem ser utilizadas como sinônimos. No meio biológico é natural usar concentrações na faixa de mM, assim como $\text{mOsm.kg H}_2\text{O}^{-1}$ e $\text{mOsm.L H}_2\text{O}^{-1}$.

Como calcular a concentração osmótica de uma solução?

Quando temos acesso a um osmômetro, não precisamos calcular a osmolalidade de uma solução, basta medirmos. Os osmômetros se baseiam no ponto de ebulição ou de congelamento da amostra (solução), já que ambos variam em função do número de partículas em solução, sendo então chamados de osmômetro a vapor ou criosmômetro, respectivamente.

Mas também podemos calcular a concentração osmótica aproximada das soluções com base na relação entre a osmolalidade e a molaridade. Para o cálculo é importante:

- 1- Saber que solutos fazem parte da composição da solução
- 2- Se o soluto se dissocia em solução ou não

$$1 \text{ mol glicose} = 1 \text{ Osmol}$$

$$1 \text{ mol/L} = 1 \text{ M (glicose)}$$

$$1 \text{ Osm/L} = 1 \text{ OsM}$$

Então temos uma relação direta entre molaridade e osmolalidade, isso para aqueles solutos que não se dissociam, como a glicose. Já os solutos, que quando em solução, se dissociam como NaCl, para cada molaridade multiplicaremos tantas vezes o soluto se dissociar, ou seja, o NaCl se dissocia em Na^+ e Cl^- , então a molaridade será multiplicada por 2 (2 partículas dissociadas) e assim chegaremos à osmolalidade da solução. Logo quando temos uma solução de 300 mM de NaCl, isso corresponderá em 600 mOsm.kg H_2O^{-1} .

Nosso organismo trabalha para manter nossos líquidos corporais osmoticamente equilibrados às nossas células. A capacidade de manter o meio extracelular estável diante de uma variação osmótica teve um papel importante na evolução animal. Os animais são capazes de sobreviver a vários meios osmóticos, quando o meio extracelular é estável os tecidos ficam protegidos.

Essa manutenção do nosso meio interno (extracelular) é alcançada com o trabalho de nossos rins, de forma sofisticada e precisa. Primeiramente, quando se pensa em função renal se pensa como sua principal função a excreção de produtos indesejáveis ao nosso organismo. Mas na verdade além de ser um órgão excretor o rim é um importante regulador (controlador) do líquido extracelular, sendo a urina resultado dessa manutenção. Podemos definir os rins como órgãos reguladores e excretores; dentre as funções renais podemos destacar:

- regulação do volume do líquido extracelular;
- regulação da osmolalidade do líquido extracelular;
- manutenção do equilíbrio iônico;
- regulação do pH
- excreção de resíduos e substâncias estranhas;
- conservação de nutrientes;

- manutenção da pressão arterial;
- produção de hormônios.

... mas isso é assunto para outra aula.

Bibliografia Sugerida

Randall, D., Burggren, W., French. 2000. Eckert Fisiologia Animal - Mecanismos e Adaptações. Editora Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil, 729 p.

Schmidt-Nielsen, K. 2002. Fisiologia Animal - Adaptação e Meio Ambiente. 2ª Edição, Santos Editora, São Paulo, Brasil, 611 p.

Questões de Revisão

- 1- Calcule a osmolalidade (em mOsm.KgH₂O⁻¹) de cada uma das soluções utilizadas nessa aula prática.
- 2- Para cada uma das condições experimentais testadas na vídeo-aula, esquematize uma hemácia em um frasco da solução e indique o sentido dos fluxos resultantes de soluto e solvente, explicando o resultado final do processo.
- 3- O que são soluções iso, hipo e hiperosmóticas?
- 4- O que são soluções iso, hipo e hipertônicas?
- 5- Por que o soro fisiológico utilizado clinicamente tem 0,9% de NaCl, ao invés de, por exemplo, 0,45 ou 1,8 %?

Respostas

1- Sacarose – como soluto que não dissocia, a osmolalidade é igual à molaridade

0,1 M de sacarose corresponde a 0,1 Osmol

0,3 M de sacarose corresponde a 0,3 Osmol

1,0 M de sacarose corresponde a 1,0 Osmol

Ureia, assim como a sacarose, não se dissocia e a osmolalidade é igual à molaridade

0,1 M de ureia corresponde a 0,1 Osmol

0,3 M de ureia corresponde a 0,3 Osmol

1,0 M de ureia corresponde a 1,0 Osmol

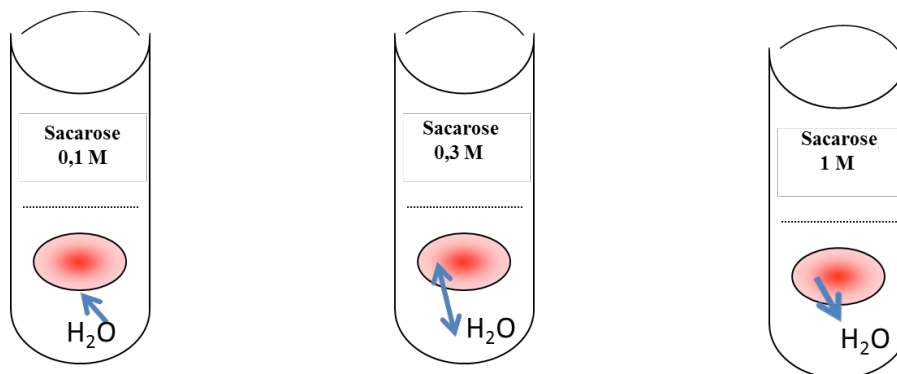
No caso das soluções de NaCl, que se dissocia em Na e Cl quando em solução, como o soluto se dissocia em dois, o valor da osmolalidade será o dobro da molaridade.

0,1 M de NaCl corresponde a 0,2 Osmol

0,3 M de NaCl corresponde a 0,6 Osmol

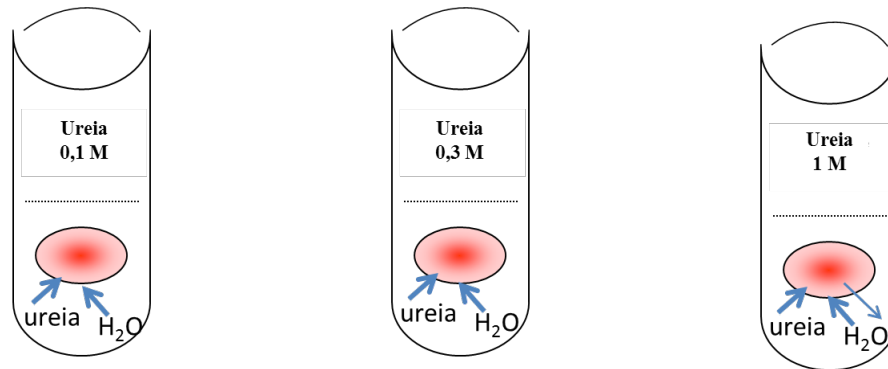
1,0 M de NaCl corresponde a 2,0 Osmóis

2- Sacarose



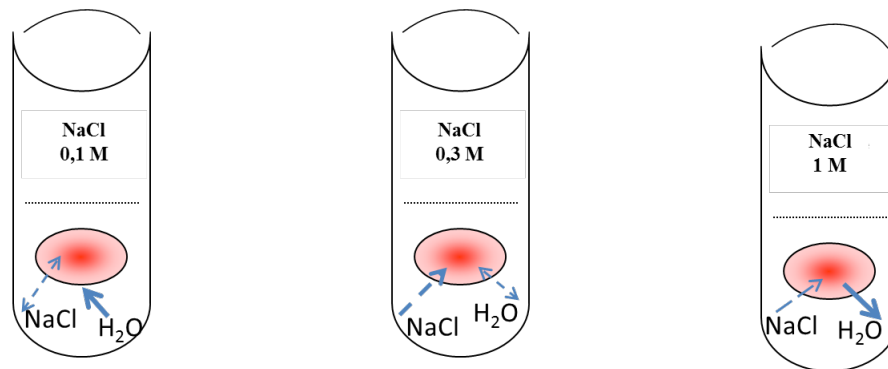
A sacarose é um soluto que não permeia as células, assim, os fluxos observados serão somente os osmóticos.

Ureia



Como a ureia é um soluto permeante não presente nas células, ocorre sua entrada nas células de todas as soluções, o que gerará um fluxo osmótico extra ao esperado em função das concentrações osmóticas das soluções..

NaCl



O NaCl é um soluto com baixa permeabilidade às células, sendo observado principalmente os fluxos osmóticos. As setas sólidas representam fluxo unidirecional e as setas descontínuas indicam fluxo bidirecional.

3- Uma solução hiposmótica é uma solução que apresenta menor número de partículas osmoticamente ativas do que outra solução, logo, mais diluída. Uma solução isosmótica apresenta o mesmo número de partículas osmoticamente ativado que outra solução. Já uma solução hiperosmótica é aquela que apresenta um maior número de partículas osmoticamente ativas do que outra solução.

4- Uma solução hipotônica é aquela que leva a um inchaço celular, uma solução isotônica não altera o volume celular enquanto uma solução hipertônica é aquela que leva ao murchamento celular. Logo a tonicidade está relacionada à alteração de volume celular que pode ser decorrente de fluxos osmóticos assim como também de solutos permeantes.

5- 0,9% de NaCl corresponde a 0,9 g de NaCl em 100mL (=9g em 1000mL)... sabendo que o peso molecular do NaCl é 58,5 g:

58,5 g em 1000mL = 1M
9g em 1000mL = xM

0,9 % de NaCl é igual a 0,153 M como o NaCl se dissocia em solução, esta concentração corresponde a 0,3 Osmol (300 mOsmol) que é a concentração osmótica do líquido extracelular dos vertebrados. As demais concentrações ficariam abaixo ou acima da concentração osmótica do líquido extracelular, gerando um choque osmótico sobre as células.