

A Química do Corpo Humano:

Tensão Superficial nos Pulmões

Marcos Gugliotti

Dentro dos nossos pulmões, nos alvéolos pulmonares, as células alveolares tipo II produzem uma mistura de vital importância para o ser humano, conhecida como surfactante pulmonar. Composta em sua maioria por fosfolipídios, essa mistura nos auxilia durante o processo de respiração, facilitando a absorção de oxigênio pelos pulmões por meio da diminuição da tensão superficial das paredes dos alvéolos e evitando seu colapso durante o ciclo respiratório. Este trabalho utiliza o mecanismo de ação do surfactante pulmonar como um interessante exemplo para a introdução dos conceitos de tensão superficial e surfactantes.

► surfactante pulmonar, tensão superficial, surfactantes ◀

Recebido em 13/11/01, aceito em 17/06/02

3

Analisando cuidadosamente o funcionamento do corpo humano, vemos que há tantas reações químicas ocorrendo ao mesmo tempo que ele poderia ser comparado a uma indústria química! O mecanismo de ação de alguns órgãos do nosso corpo pode ser relacionado com procedimentos bastante comuns aos químicos. Por exemplo, os rins funcionam como filtros, limpando nosso sangue, o que é um exemplo de um processo de separação. Além de outras funções, o fígado é responsável pela síntese de açúcar, uréia, e outras substâncias, o que nos lembra a síntese orgânica.

Mas algo realmente interessante ocorre nos pulmões. Esses órgãos possuem o papel fundamental de extrair oxigênio (O_2) do ar para que possamos respirar. Eles são feitos de um tecido esponjoso, com pequenos sacos em seu interior, chamados de alvéolos pulmonares (Figura 1). A parede externa dos alvéolos é circundada por vasos sanguíneos muito

finos, os vasos capilares. Quando respiramos, o oxigênio contido no ar difunde através das paredes dos alvéolos, atingindo os vasos capilares e sendo então transportado pelo sangue para todas as partes do corpo. De forma semelhante, porém em sentido oposto, o gás carbônico (CO_2) é expelido dos nossos pulmões. Para facilitar o processo de absorção de O_2 , as células alveolares tipo II, localizadas no interior dos alvéolos, sintetizam uma mistura de proteínas (~10%) e fosfolipídios (~90%) conhecida como surfactante pulmonar (*Biochimica et Biophysica Acta*). A palavra "surfactante" é a contração da expressão em inglês "surface active agents" (agentes de atividade superficial) e é empregada devido à capacidade das moléculas de fosfolipídios de reduzir a tensão interfacial das paredes dos alvéolos para valores baixos, facilitando a difusão de O_2 . Esta é a principal função do surfactante pulmonar, e para entendermos seu mecanismo de ação devemos estudar o fenômeno

físico-químico da tensão superficial.

Tensão superficial

Vamos tomar como exemplo a interface ar-água. As moléculas de água (H_2O) são fortemente atraídas umas pelas outras, e aquelas localizadas na superfície estão sujeitas a uma distri-

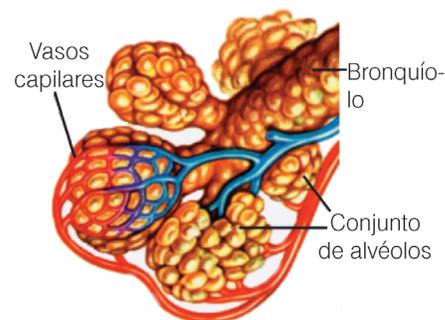


Figura 1: Representação artística de conjuntos de alvéolos pulmonares na extremidade de uma ramificação das vias respiratórias (bronquíolo). O oxigênio atravessa as paredes dos alvéolos e segue pelos capilares em vermelho, enquanto o gás carbônico chega aos alvéolos pelos capilares em azul, de onde é expelido (adaptado de: FISHBEIN, M. *Enciclopédia familiar de medicina e saúde*. Edição exclusiva para a Enciclopédia Barsa, 1967. v. 2, p. 653.)

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre Ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da Ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais. Neste número a seção apresenta dois artigos.

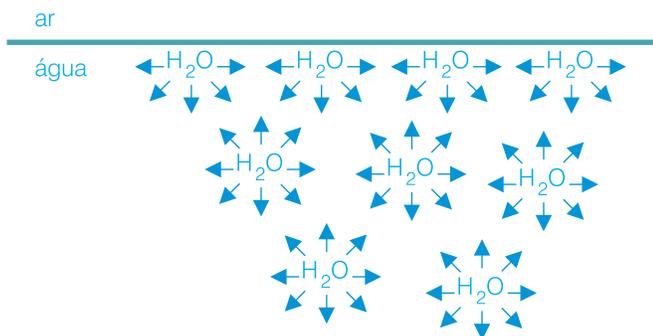


Figura 2: Distribuição de forças nas moléculas de água. Note a diferença entre as forças que atuam nas moléculas próximas à superfície e naquelas localizadas mais abaixo. O efeito da tensão superficial tem sua origem no desbalanceamento das forças de atração entre as moléculas e produz uma força que atua no plano da superfície (não mostrada na Figura).

buição de forças diferente daquelas em solução. Já que não há moléculas de H_2O acima (no ar), as moléculas da superfície são atraídas por aquelas localizadas ao lado e abaixo, conforme representado na Figura 2. Assim, a força resultante que atua sobre as moléculas de H_2O aponta para o interior do líquido e recebe o nome de “pressão interna”. As componentes tangenciais a essa força fazem que a superfície da água comporte-se como uma membrana elástica que tende a se contrair, ocupando a menor área possível. Para um mesmo volume, a esfera é o sólido com a menor área superficial, e é por isso que as gotas tendem a ser esféricas.

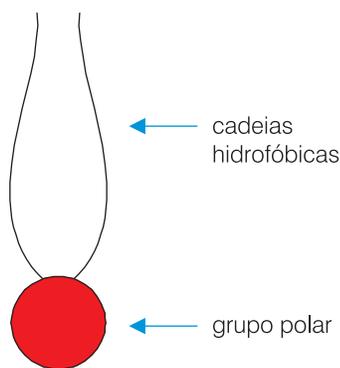


Figura 3: Representação da molécula de um fosfolípido típico presente na mistura do surfactante pulmonar, com duas cadeias hidrocarbônicas e um grupo polar. Há surfactantes com diferentes estruturas. Os mais comuns possuem um grupo polar e uma cadeia hidrocarbônica. Outros, como a cardiolipina (não presente no surfactante pulmonar), apresentam dois grupos polares e quatro cadeias hidrocarbônicas!

fície, usualmente expressa em milinewtons por metro (mN/m), no Sistema Internacional de Unidades (SI). A tensão superficial varia com a temperatura e a composição e depende da interação entre as moléculas. Por exemplo, o valor da tensão superficial da água pura a $50\text{ }^\circ\text{C}$ é de $67,90\text{ mN/m}$, e a $20\text{ }^\circ\text{C}$ é de $72,75\text{ mN/m}$. Esse valor é considerado alto para os líquidos em geral e, no caso da água, ocorre devido às pontes de hidrogênio entre as moléculas. A tensão superficial do etanol a $20\text{ }^\circ\text{C}$ é de $22,55\text{ mN/m}$, enquanto a do mercúrio é de 476 mN/m !

Surfactantes e monocamadas

Mas, o que são os surfactantes, e como essas moléculas diminuem a tensão superficial dos líquidos? A molécula de um surfactante (Castellan, 1986), como no caso dos fosfolípídios, possui duas partes distintas: uma hidrofóbica, constituída de cadeias hidrocarbônicas (“cauda”), e outra hidrofílica (“grupo polar”) (Figura 3). Como os nomes sugerem, uma parte interage com a água, enquanto a outra a repele. Quando uma pequena quantidade de fosfolípídios é misturada com água, suas moléculas se orientam na interface formando uma “monocamada” (Figura 4), uma fina camada com a espessura de apenas uma molécula (Shaw, 1975). Devido a essa orientação,

A tensão superficial é um fenômeno coesivo e, como faz a superfície se contrair, uma das formas de medir sua intensidade é esticar a superfície, ou seja, aumentar sua área. Podemos então definir tensão superficial (Castellan, 1986) como sendo o *trabalho necessário para aumentar a área da superfície*, ou também a força necessária para cortar a super-

os fosfolípídios diminuem a atração entre as moléculas de H_2O da superfície. Isto pode ser entendido como se elas estivessem causando “defeitos” na membrana elástica, diminuindo a tensão superficial da água (ou a tensão interfacial ar-água).

A função do surfactante pulmonar

Durante o ciclo respiratório, os fosfolípídios adsorvem nas paredes internas dos alvéolos, formando uma monocamada. Além de evitar que as paredes dos alvéolos grudem, o que impediria a passagem de ar, a monocamada aumenta a permeabilidade das moléculas de O_2 . Entretanto, para que esse processo seja eficiente, a tensão superficial deve ser reduzida para um valor muito baixo ($<10\text{ mN/m}$), o que somente é possível pela *compressão da monocamada* na superfície (Shaw, 1975). Quando isso ocorre, as cadeias hidrocarbônicas dos surfactantes ficam mais próximas, aumentando o empacotamento da monocamada. Isto representa um aumento do número de defeitos na membrana elástica por unidade de área, tornando-a ainda mais fraca, reduzindo assim a tensão superficial para valores muito baixos.

Mas como a monocamada de fosfolípídios é comprimida na parede interna dos alvéolos? Para resolver esse problema, nosso corpo utiliza um truque interessante. Durante o ciclo respiratório, o volume alveolar varia em função da presença de ar. Quando respiramos, os alvéolos inflam, aumentando sua área superficial, e nesse instante as moléculas de fosfolípídios adsorvem na parede interna. Durante a expiração, os alvéolos murcham, diminuindo sua área superficial e comprimindo as moléculas adsorvidas. Assim, a tensão interfacial da parede interna dos alvéolos é reduzida para um valor mínimo, facilitando a difusão

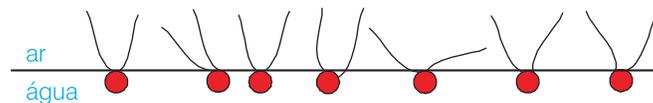


Figura 4: Orientação das moléculas de surfactante na interface ar-água. As cadeias hidrocarbônicas ficam voltadas para o ar, enquanto o grupo polar comporta-se como se estivesse realmente dissolvido na água.

de oxigênio para os vasos capilares.

Em 1917, muito antes da descoberta da real função do surfactante pulmonar, em 1955 (Pattle), o engenheiro metalúrgico chamado Irving Langmuir, ganhador do prêmio Nobel de Química em 1932, construiu um instrumento conhecido atualmente por “balança de Langmuir” (Castellan, 1986; Shaw, 1975 e Langmuir, 1917). Esse instrumento é usado para comprimir monocamadas na interface ar-água e estudar suas interações com proteínas e outras substâncias. Devido à semelhança com o processo que ocorre dentro dos alvéolos, a balança de Langmuir é o instrumento mais utilizado para se estudar o mecanismo de ação do surfactante pulmonar (Figura 5).

Comentários finais

Se nosso corpo não produzir a quantidade necessária de surfactante pulmonar, teremos problemas para respirar. Essa doença é conhecida por Síndrome do Desconforto Respiratório (SDR), que afeta principalmente bebês prematuros e, em muitos casos, é fatal.

Diversos grupos de pesquisa têm estudado o mecanismo de ação do surfactante pulmonar, mas a função de cada componente da mistura ainda é motivo de debates. Por exemplo, as proteínas, que constituem aproximadamente 10% de toda a mistura, parecem acelerar a adsorção dos fosfolipídios na parede alveolar, mas ainda não está claro como esse processo ocorre. Por outro lado, o surfactante pulmonar extraído de bois ou porcos possui uma composição semelhante àquela do surfactante pulmonar humano, e tais misturas têm sido utilizadas com sucesso em terapias de reposição em diversos países, inclusive no Brasil, reduzindo a taxa de mortalidade de prematuros em até 50%. Mais recentemente, misturas sintéticas contendo os principais componentes do surfactante pulmonar natural têm sido desenvolvidas e testadas, constituindo uma nova alternativa para a terapia de reposição em prematuros.

Em todos esses casos, os estudos sobre Química de Superfícies são muito importantes, na esperança de que químicos e bioquímicos possam encontrar a chave para o mecanismo

Diversos grupos de pesquisa têm estudado o mecanismo de ação do surfactante pulmonar, mas a função de cada componente da mistura ainda é motivo de debates

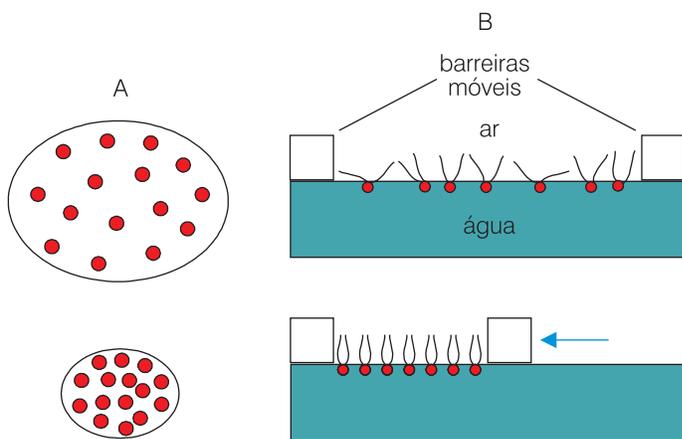


Figura 5: (A) Representação da compressão das moléculas de fosfolipídios (pontos vermelhos) na parede dos alvéolos durante o ciclo respiratório; (B) Compressão do surfactante numa balança de Langmuir. (Maiores detalhes sobre as propriedades das monocamadas e o funcionamento de uma balança de Langmuir podem ser encontrados nos trabalhos de Castellan (1986), Shaw (1975) e Langmuir (1917).

de ação do surfactante pulmonar. Isso permitirá a identificação da melhor mistura (sintética ou extraída de outros animais) que poderá ser utilizada para substituir o surfactante pulmonar humano, o que é vital no caso de prematuros portadores de SDR.

Nota

O presente trabalho é uma adaptação do texto premiado em segundo lugar na “International Young Chemistry Writer of the Year – Competition 2000”, organizada pelo grupo Chemweb (chemweb.com) e pela Sociedade Americana de Química. O artigo original, em inglês, está publicado na revista eletrônica “The Alchemist”, e pode ser encontrado na Internet no endereço <http://www.chemweb.com/alchem/articles/985883680339.html>, sendo necessário obter uma senha (gratuita) para acesso ao artigo.

Marcos Gugliotti (marcosgugliotti@hotmail.com), engenheiro químico pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI, São Bernardo do Campo – SP) e doutor em Ciências (Físico-Química) pela USP, é docente do Instituto de Química da USP, em São Paulo.

Referências Bibliográficas

Biochimica et Biophysica Acta, edição especial: “Pulmonary surfactant”, v. 1408, n. 2-3, 1998.

CASTELLAN, G. *Fundamentos de Físico-Química*. Trad. C.M. Pereira e R.B. Faria. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 1986.

LANGMUIR, I. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. II. Liquids. *Journal of the American Chemical Society*, v. 39, p. 1848-1906, 1917.

PATTLE, R. E. Properties, fuction, and origin of the alveolar lining layer. *Nature*, v. 175, p. 1125-1126, 1955.

SHAW, D.J. *Introdução à Química dos Colóides e de Superfícies*. Trad. J.H. Maar. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1975.

Para saber mais

GUGLIOTTI, M. *Jornal da USP*, n. 519, p. 5, 2000.

Revista Pediatria Moderna, edição especial: “Asma aguda grave na criança”, v. 36, n. 7, 2000.

Abstract: *The Chemistry of the Human Body: Surface Tension in the Lungs* - Inside our lungs, in the pulmonary alveoli, type II alveolar cells produce a mixture of vital importance for human beings, known as pulmonary surfactant. Mostly composed of phospholipids, this mixture help us during the respiration process, facilitating the absorption of oxygen by the lungs through a decrease in the surface tension in the alveoli walls and avoiding their collapse during the respiratory cycle. This paper uses the action mechanism of the pulmonary surfactant as an interesting example for the introduction of the concepts of surface tension and surfactants.

Keywords: pulmonary surfactant, surface tension, surfactants