

## Revisão

# Propriedades físicas e transporte do muco respiratório

## *Physical properties and transport of respiratory mucus*

Renata Claudia Zanchet

.....

*Fisioterapeuta, MSc., Curso de Fisioterapia – Universidade Católica de Brasília (UCB), Brasília – DF*

### **Palavras-chave:**

Depuração mucociliar,  
tosse, reologia, muco.

### **Resumo**

O presente trabalho tem por objetivo apresentar aspectos básicos do transporte do muco por ação ciliar e por tosse. Para isto, são apresentados, além dos mecanismos de transporte do muco, as formas de coleta do muco, sua composição e suas principais propriedades físicas, com seus respectivos métodos de estudo.

### **Key-words:**

Mucociliary clearance, cough,  
rheology, mucus.

### **Abstract**

This work presents basic aspects of mucus transport by cilius and cough action. It presents types of mucus collection, composition, principal physical properties and methods of study.

---

*Artigo recebido em 1 de dezembro de 2002; aprovado em 15 de fevereiro de 2003.*

**Endereço para correspondência:** Renata Claudia Zanchet, Curso de Fisioterapia, Universidade Católica de Brasília – UCB, QS 07, Lote 01, Águas Claras 72022-900 Taguatinga DF, Tel: (61) 356 9205, Fax: (61) 356 3010, E-mail: renatazanchet@loreno.net

---

## Introdução

O muco e os cílios constituem o sistema mucociliar, cuja função primordial é a defesa das vias aéreas e pulmões.

Na árvore traqueobrônquica, o sistema mucociliar é formado pelo epitélio de revestimento de superfície do tipo pseudo-estratificado cilíndrico ciliado e pelo muco, o qual é produzido por células caliciformes, situadas no epitélio, e por células serosas e mucosas, localizadas nas glândulas da submucosa de traquéia e brônquios [1].

Em indivíduos normais, o muco recobre o epitélio traqueobrônquico, formando uma película de dois a cinco micrômetros de espessura, que protege o epitélio contra gases tóxicos e oxidantes, além de transportar as partículas nela depositadas [2]. Esta última função depende da ação dos cílios, que em condições normais proporcionam um equilíbrio entre a produção e a eliminação do muco [3,4]. No entanto, na presença de doenças hipersecretivas, que cursam com a hipertrofia e hiperplasia das células produtoras de muco, como na bronquite crônica, fibrose cística e bronquiectasia, torna-se necessária a ação da tosse para eliminar o excesso de muco das vias aéreas [3,5,6].

O objetivo deste artigo é focalizar os mecanismos de transporte do muco, assim como as principais propriedades físicas relacionadas a este transporte.

### A coleta do muco

Para que as propriedades físico-químicas e o transporte do muco humano traqueobrônquico sejam estudados, existem diferentes métodos de coleta.

A expectoração é uma forma de coleta não-invasiva, cujo produto é o escarro, conceituado como a matéria expelida pela boca, consistindo em secreções da árvore respiratória misturada com saliva [7]. Esta é uma forma de coleta amplamente utilizada na prática clínica. Porém, sempre se considerou que o muco expectorado pode ser contaminado por componentes de descamação epitelial e saliva, que poderiam alterar suas propriedades físico-químicas [8]. A despeito desta hipótese, Gastaldi [9] demonstrou que não existe diferença entre o transporte do muco expectorado e aquele coletado por broncoscopia.

A coleta não-invasiva do muco em indivíduos "normais", ou seja, indivíduos sem doença pulmonar, apresenta limitações, uma vez que estes não produzem quantidade de muco suficiente para a expectoração. Neste caso, utilizam-se métodos invasivos, como a broncoscopia [10,11] ou a raspagem do tubo endotraqueal após anestesia geral, quando o indivíduo sem doença pulmonar, submetido à cirurgia extratorácica, é extubado [12,13,14].

## As propriedades físicas do muco

Dentre as propriedades físicas ou reológicas do muco, estão a viscosidade, a elasticidade, a adesividade, a *spinnability* e a dispersibilidade ou *wettability*.

A elasticidade é conceituada como a capacidade de deformação e armazenamento de energia pelo muco, em resposta a uma força aplicada, enquanto que a viscosidade é tida como o deslocamento do muco também em resposta à força aplicada, mas com perda de energia [15]. Estas duas propriedades podem ser medidas por diferentes modelos de reômetros. O microreômetro magnético é um aparelho apropriado porque exige pequena quantidade de muco para mensurar a viscoelasticidade.

A adesividade é a força necessária para separar duas superfícies inicialmente aderidas e pode ser avaliada pelo método do anel de platina [16].

A *wettability*, medida pelo ângulo de adesão ou ângulo de contato, expressa a capacidade do muco de se espalhar, ou a conformação adquirida, quando colocado sobre uma superfície plana [5]. A tradução purista desta palavra seria umidescibilidade, que indica somente o grau de umidade do muco. Como esta propriedade é influenciada por todos os componentes do muco, sugerimos que seja usado o termo dispersibilidade, que expressa melhor o significado da propriedade. Em termos de análise, quando observamos um elevado ângulo de adesão, significa que o muco apresenta uma baixa dispersibilidade (*wettability*).

O ângulo de adesão ( $\theta$ ) e a tensão superficial do muco ( $\tilde{\alpha}_{LV}$ ) podem ser utilizados para o cálculo do trabalho de adesão entre o muco e a superfície sólida:  $W_{ad} = \gamma_{LV} (1 + \cos \theta)$  [5].

A *spinnability*, medida pelo filancemeter, expressa a capacidade do muco formar fios, sem que haja rompimento deste, perante uma força de tração [17]. Esta propriedade prediz o grau de coesão inter-molecular.

### A relação entre a composição do muco e suas propriedades físicas

O muco normal é constituído por cerca de 95% de água e os outros 5% apresentam, entre outras substâncias, proteínas, glicoproteínas, lipídeos, íons e um pequeno número de células de defesa [2].

O principal determinante das propriedades físicas do muco é o arranjo espacial das moléculas de glicoproteínas, que são formadas por um filamento protéico, no qual estão acopladas pequenas cadeias laterais de polissacarídeos [5,18].

Por outro lado, o muco purulento, por ser parte integrante de um processo inflamatório e/ou infeccioso, é mais complexo e heterogêneo. Apresenta um elevado número de glicoproteínas mucosas e serosas, células de defesa, bactérias e enzimas. Além disso, também são encontradas quantidades

significativas de DNA (ácido desoxirribonucléico), derivado da destruição de bactérias e células de defesa, principalmente leucócitos [19].

Em termos reológicos, o muco purulento, quando comparado com o muco não-purulento, é menos elástico [20] e mais viscoso [20,21]. Além disto, o muco purulento apresenta menor adesividade [5] e dispersibilidade [14,21] que o muco não-purulento.

### O transporte do muco

O estudo do transporte do muco, por ação ciliar e por tosse, pode ser realizado tanto *in vivo*, como *in vitro*. A vantagem dos métodos *in vitro* está em permitir o isolamento das variáveis que se deseja estudar. Consegue-se, então, avaliar o epitélio ciliar, as propriedades físico-químicas do muco e o seu transporte como variáveis independentes, o que não é possível *in vivo*.

Dessa forma, o transporte do muco pelo sistema ciliar pode ser avaliado *in vitro*, por meio do método do palato isolado de rã, amplamente utilizado devido à semelhança estrutural com o epitélio ciliar dos mamíferos [6, 20], à facilidade de manuseio [20], à preservação da atividade ciliar, mesmo após o esgotamento do muco [16], além de apresentar correlação positiva com o transporte muco-ciliar do trato respiratório de humanos [22] e cães [23]. Mais recentemente surgiram trabalhos que utilizam a traquéia de boi como método de estudo [4].

O transporte mucociliar é favorecido pela baixa relação viscosidade/elasticidade e por uma baixa impedância total, que é a soma da viscosidade e da elasticidade [11]. Deste modo, para que haja um transporte mucociliar eficiente, a viscosidade deve estar entre 1000 e 3000 poises e o módulo elástico entre 10 e 25 dinas/cm<sup>2</sup> [24]. Se os valores de viscosidade e elasticidade estiverem acima ou abaixo desta variação, a velocidade do transporte do muco no palato de rã diminui, pois, quando a visco-elasticidade é muito baixa, há um menor armazenamento de energia durante o batimento ciliar, e como consequência, um menor deslocamento do muco. Por outro lado, quando a visco-elasticidade está muito elevada, o muco é muito coeso e oferece uma carga mecânica muito grande ao movimento ciliar.

O transporte mucociliar também apresenta uma forte correlação com a *spinnability* do muco, sendo que quanto maior a *spinnability*, melhor o transporte mucociliar [25].

A avaliação *in vitro* do transporte do muco por tosse pode ser realizada com um equipamento denominado máquina simuladora de tosse, desenvolvido por King *et al.* [26]. Este equipamento consiste em uma fonte pressurizada de oxigênio e um tubo rígido de acrílico, utilizado como modelo de via aérea.

A eliminação do muco por tosse pode ser facilitada por

uma alta relação viscosidade/elasticidade, e uma baixa impedância total [3,11]. Além disto, a tosse *in vitro* apresenta correlação negativa com o ângulo de adesão [21], a adesividade e a *spinnability* do muco [3,5].

A quantidade de bactérias presentes no muco é outro fator determinante do seu transporte. Deneuille *et al.* [21] demonstraram que quanto maior o número de *Pseudomonas aeruginosa*, pior o deslocamento do muco na máquina simuladora de tosse.

### Referências

1. Junqueira LC, Carneiro J. Aparelho respiratório. In: Histologia básica. 9ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1999. p. 287-302.
2. Kaliner M et al. Human respiratory mucus. Am Rev Respir Dis 1986;134: 612-21.
3. King M et al. The role of mucus gel viscosity, spinnability, and adhesive properties in clearance by simulated cough. Biorheology 1989;26:737-45.
4. WILLS PJ et al. Short-term recombinant human DNase in bronchiectasis: effect on clinical state and in vitro sputum transportability. Am J Resp Crit Care Med 1996;154:413-7.
5. Girod S et al. Role of the physicochemical properties of mucus in the protection of the respiratory epithelium. Eur Respir J 1992;5:477-87.
6. Puchelle E et al. Mucociliary transport in vivo and in vitro. Eur J Respir Dis 1980;61:254-64.
7. Rey L. Dicionário de termos técnicos de medicina e saúde. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 1999. p.281.
8. Puchelle E et al. Rheology of sputum collected by a simple technique limiting salivary contamination. J Lab Clin Med 1984;103:347-53.
9. Gastaldi AC. Estudo comparativo entre secreções brônquicas obtidas com material expectorado, de orofaringe, traquéia, brônquio principal e brônquio lobar, analisando sua transportabilidade no palato de rã e na máquina de tosse. [tese] São Paulo: Escola Paulista de Medicina; 1994.
10. BOSSI R. Methods for collecting and measuring airway mucus in humans. In: Braga PC, Allegra L, ed. Methods in bronchial mucology. New York: Raven Press; 1988. p.13-20.
11. Zayas JG et al. Tracheal mucus rheology in patients undergoing diagnostic bronchoscopy. Am Rev Respir Dis 1990; 141: 1107-13.
12. Rubin BK et al. Collection and analysis of respiratory mucus from subjects without lung disease. Am Rev Respir Dis 1990; 141: 1040-3.
13. Zanchet RC et al. A influência da temperatura e tempo de armazenamento sobre o transporte e ângulo de adesão do muco humano traqueobrônquico. Revista

- Colombiana de Neumologia 2000a; 12 (supl): S208.
14. Zanchet RC et al. Medidas do transporte e ângulo de adesão do muco humano traqueobrônquico “normal” e de aspecto purulento. *Revista Colombiana de Neumologia* 2000b; 12 (supl): S209.
  15. Saldiva PHN. Aparelho muco-ciliar: aspectos funcionais e métodos de estudo. *J Pneumol* 1990;16:161-70.
  16. Puchelle E et al. A simple technique for measuring adhesion tension properties of human bronchial secretions. *Eur J Respir Dis* 1987;71:281-2.
  17. Zahm JM et al. Spinability of respiratory mucus. Validation of a new apparatus: the filancemeter. *Bull Eur Physiopathol Respir* 1986;22:609-13.
  18. Sheehan JK et al. Mucin structure: the structure and heterogeneity of respiratory mucus glycoproteins. *Am Rev Respir Dis* 1991;144:S4-9.
  19. Moretti M. Proteins, deoxyribonucleid acid and ion identification. In: Braga PC, Allegra L. *Methods in bronchial mucology*. New York: Raven Press; 1988. p. 171-88.
  20. Dulfano MJ, Adler KB. Physical properties of sputum: rheologic properties and mucociliary transport. *Am Rev Respir Dis* 1975;112:341-7.
  21. Deneuille E et al. Revisited physicochemical and transport properties of respiratory mucus in genotyped cystic fibrosis patients. *Am J Respir Crit Care Med* 1997;156:166-72.
  22. Puchelle E et al. Effects of rhDNase on purulent airway secretions in chronic bronchitis. *Eur Respir J* 1996;9:765-9.
  23. Giordano Jr A et al. Mucus clearance: in vivo canine tracheal vs. in vitro bullfrog palate studies. *J Appl Physiol* 1977;42:761-6.
  24. Chen TM, Dulfano MJ. Mucus viscoelasticity and mucociliary transport rate. *J Lab Clin Med* 1978;91:423-31.
  25. Puchelle E et al. Spinability of bronchial mucus. Relationship with viscoelasticity and mucus transport properties. *Biorheology* 1983;20:239-49.
  26. King M et al. Clearance of mucus by simulated cough. *J Appl Physiol* 1985;58:1776-82. ■
-