

# Função e estrutura do sistema respiratório

1

## OBJETIVOS

*O leitor enuncia as funções do sistema respiratório e relaciona a organização estrutural do sistema com suas funções.*

- ▶ *Descreve a troca do oxigênio e dióxido de carbono com a atmosfera e relaciona a troca gasosa ao metabolismo dos tecidos do corpo.*
- ▶ *Define o papel do sistema respiratório no equilíbrio ácido-básico.*
- ▶ *Enumera as funções não-respiratórias dos pulmões.*
- ▶ *Define e descreve a unidade alveolocapilar, que é o local da troca gasosa nos pulmões.*
- ▶ *Descreve o transporte dos gases através das vias respiratórias condutoras para os alvéolos e a partir deles.*
- ▶ *Descreve as características estruturais das vias respiratórias.*
- ▶ *Enumera os componentes da parede torácica e relaciona as funções dos músculos da respiração com o movimento do ar para dentro e para fora dos alvéolos.*
- ▶ *Descreve o início da respiração pelo sistema nervoso central e a inervação dos músculos respiratórios.*

A maioria dos tecidos do corpo necessita de oxigênio para produzir energia; assim, deve haver um suprimento contínuo de oxigênio para que os tecidos tenham um funcionamento normal. O dióxido de carbono é um co-produto desse metabolismo aeróbico e deverá ser removido da vizinhança das células responsáveis pelo metabolismo.



As principais funções do sistema respiratório consistem em obter oxigênio do meio ambiente externo e fornecê-lo às células, bem como remover do corpo o dióxido de carbono produzido pelo metabolismo celular.

O sistema respiratório é constituído pelos pulmões, pelas vias respiratórias condutoras, partes do sistema nervoso central relacionadas com o controle dos músculos da respiração e pela parede torácica. Esta última consiste nos músculos da respiração — tais como diafragma, músculos intercostais e músculos abdominais — e o gradil costal.

## FUNÇÕES DO SISTEMA RESPIRATÓRIO



As funções do sistema respiratório incluem a troca gasosa, o equilíbrio ácido-básico, a fonação, a defesa e o metabolismo pulmonares e o manejo dos materiais bioativos.

### Troca gasosa

A troca do dióxido de carbono pelo oxigênio ocorre nos pulmões. O ar fresco, contendo oxigênio, é inspirado e penetra nos pulmões através das vias respiratórias condutoras. As forças necessárias para que o ar possa fluir são geradas pelos músculos respiratórios, que respondem aos comandos iniciados pelo sistema nervoso central. Ao mesmo tempo, o sangue venoso que retorna dos vários tecidos corporais é bombeado pelo ventrículo direito e penetra nos pulmões. Esse sangue venoso misto tem alto teor de dióxido de carbono e baixo teor de oxigênio. Nos capilares pulmonares, processa-se a troca do dióxido de carbono pelo oxigênio. O sangue que deixa os pulmões, que tem então um alto teor de oxigênio e um teor relativamente baixo de dióxido de carbono, é distribuído para os tecidos do corpo pelo lado esquerdo do coração. Durante a expiração, o gás com uma alta concentração de dióxido de carbono é expelido do corpo. Um diagrama esquemático da função da troca gasosa do sistema respiratório é mostrado na Fig. 1.1.

### Outras funções

#### EQUILÍBRIO ÁCIDO-BÁSICO

---

No corpo, os aumentos no dióxido de carbono acarretam aumentos na concentração hidrogeniônica (e vice-versa), por causa da seguinte reação:



O sistema respiratório pode, portanto, participar do equilíbrio ácido-básico removendo o  $\text{CO}_2$  do corpo. O sistema nervoso central possui sensores para o  $\text{CO}_2$  e os níveis dos íons hidrogênio no sangue arterial e no líquido cérebro-espinhal que enviam informação aos controladores da respiração. O equilíbrio ácido-básico é abordado com mais detalhes no Cap. 8; o controle da respiração é abordado no Cap. 9.

#### FONAÇÃO

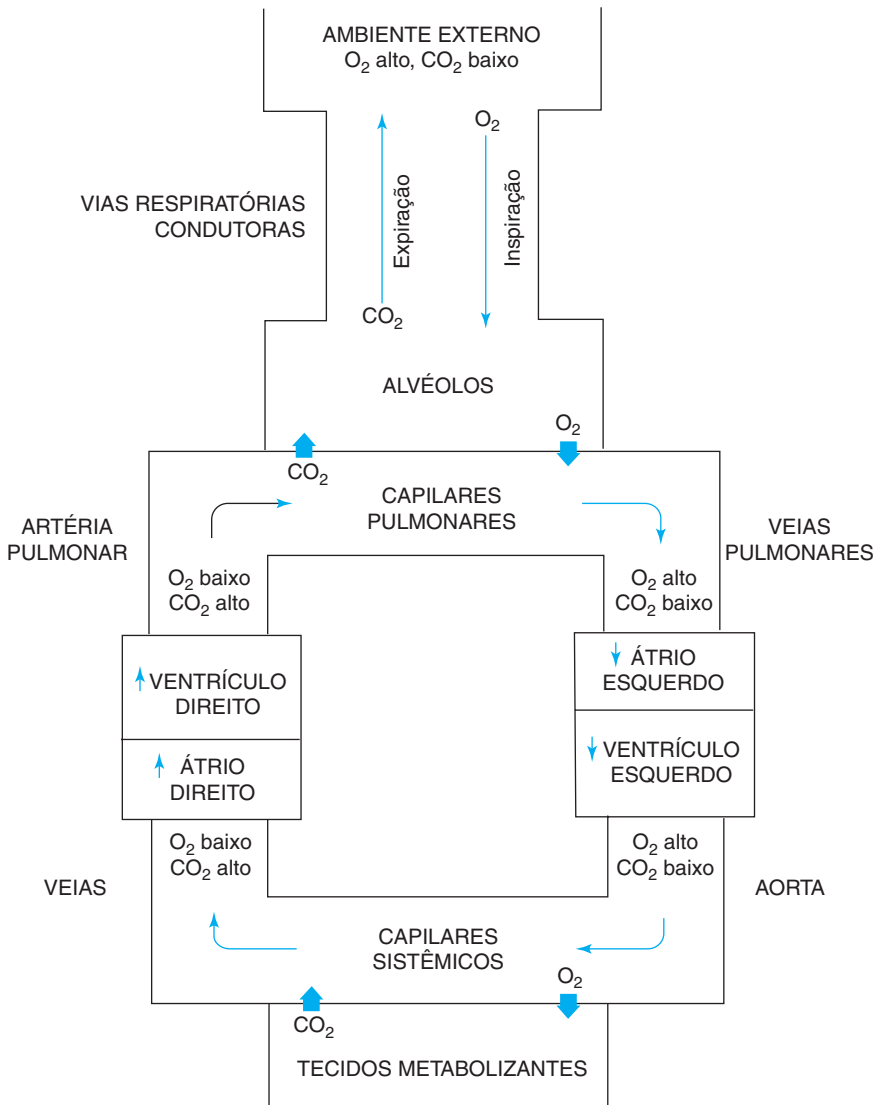
---

Fonação é a produção de sons pelo movimento do ar através das cordas vocais. A fala, o canto e outros sons são produzidos pelas ações dos controladores do sistema nervoso central sobre os músculos da respiração, acarretando o fluxo de ar através das cordas vocais e da boca. A fonação não será discutida em detalhes neste livro.

#### MECANISMOS DE DEFESA PULMONARES

---

Cada incursão respiratória traz até os pulmões uma pequena amostra do ambiente atmosférico local. Isso pode incluir microrganismos como bactérias, poeira, partículas de sílica ou asbesto, gases tóxicos, fumaça (de cigarro e de outros tipos) e outros poluentes. Além disso, a temperatura e a umidade da atmosfera local variam bastante.



**Fig. 1.1** Representação esquemática da troca gasosa entre os tecidos do corpo e o meio ambiente.

Os mecanismos pelos quais os pulmões são protegidos dessas agressões ambientais são abordados no Cap. 10.

### **METABOLISMO PULMONAR E MANEJO DOS MATERIAIS BIOATIVOS**

As células do pulmão terão que metabolizar substratos para que possam fornecer energia e nutrientes necessários para sua própria manutenção. Algumas células pulmonares especializadas produzem também substâncias necessárias para a função pulmonar normal. Além disso, o endotélio dos capilares pulmonares contém um grande número

de enzimas que podem produzir, metabolizar ou modificar as substâncias vasoativas que ocorrem naturalmente. Essas funções metabólicas do sistema respiratório são abordadas no Cap. 10.

## ESTRUTURA DO SISTEMA RESPIRATÓRIO

O ar penetra no sistema respiratório através do nariz ou da boca. O ar que entra através do nariz é filtrado, aquecido até a temperatura corporal e umedecido quando passa através do nariz e das conchas nasais. Esses mecanismos protetores são abordados no Cap. 10. As vias respiratórias superiores são mostradas na Fig. 10.1. O ar inalado através do nariz penetra nas vias respiratórias pela nasofaringe e o ar inalado através da boca penetra pela orofaringe. Em seguida passa através da glote e da laringe e penetra na árvore traqueobrônquica. Após passar pelas vias respiratórias condutoras, o ar inspirado penetra nos alvéolos, onde entra em contato com o sangue venoso misto nos capilares pulmonares.

### Unidade alveolocapilar

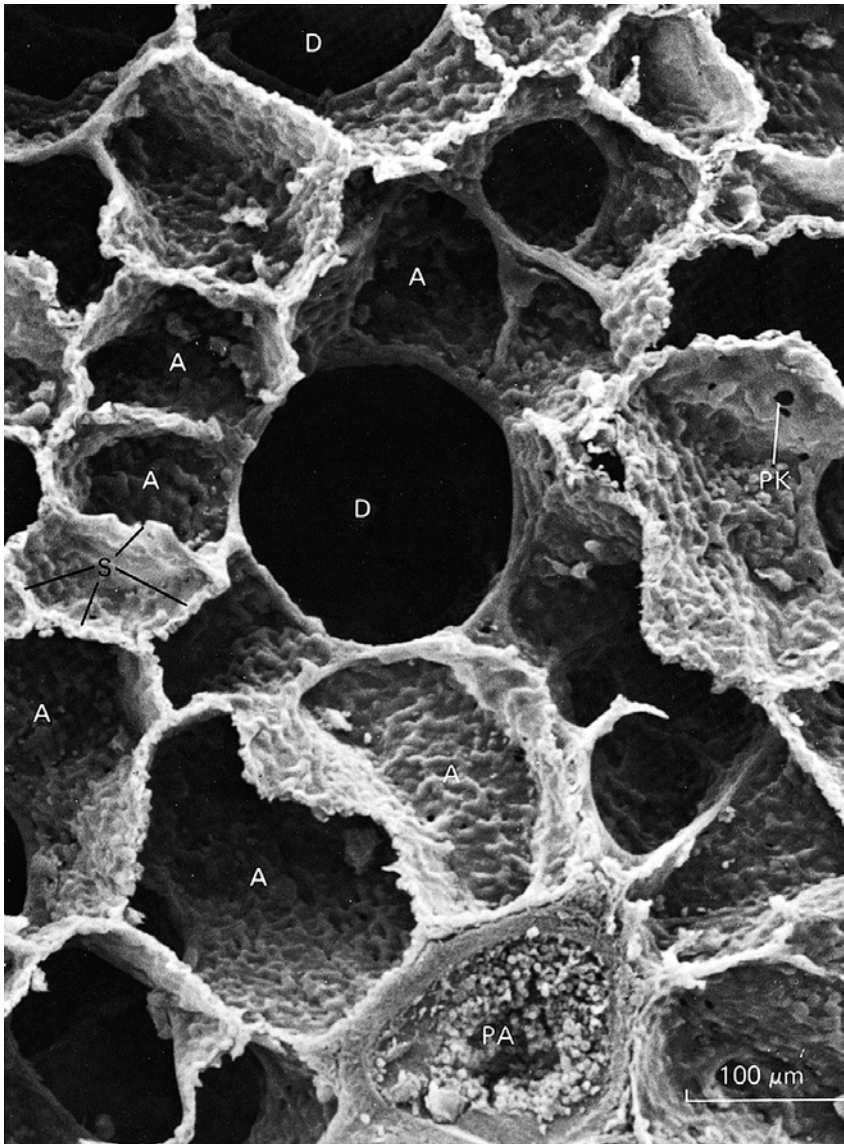
A unidade *alveolocapilar* é o local da troca gasosa no pulmão. Os alvéolos, cujo número é tradicionalmente estimado em cerca de 300 milhões no adulto (um estudo recente calculou o número médio de alvéolos como sendo de 480 milhões), estão envoltos quase completamente por capilares pulmonares. Existem até 280 bilhões de capilares pulmonares, ou cerca de 500 a 1.000 capilares pulmonares para cada alvéolo. O resultado desses extraordinários números de alvéolos e capilares pulmonares é uma enorme área de contato entre os alvéolos e os capilares pulmonares — provavelmente 50 a 100 m<sup>2</sup> de área superficial disponível para a troca gasosa por difusão. Os alvéolos têm cerca de 200 a 250 µm de diâmetro.

A Fig. 1.2 é uma micrografia eletrônica da superfície alveolocapilar e a Fig. 1.3 mostra uma ampliação ainda maior do local da troca gasosa.

O septo alveolar parece ser constituído quase inteiramente por capilares pulmonares. As hemácias (eritrócitos) podem ser vistas dentro dos capilares no ponto de secção. As fibras elásticas e de tecido conjuntivo, que não são visíveis na figura, encontram-se entre os capilares nos septos alveolares. Nessas figuras são mostrados também os poros de Kohn ou comunicações interalveolares.

### SUPERFÍCIE ALVEOLAR

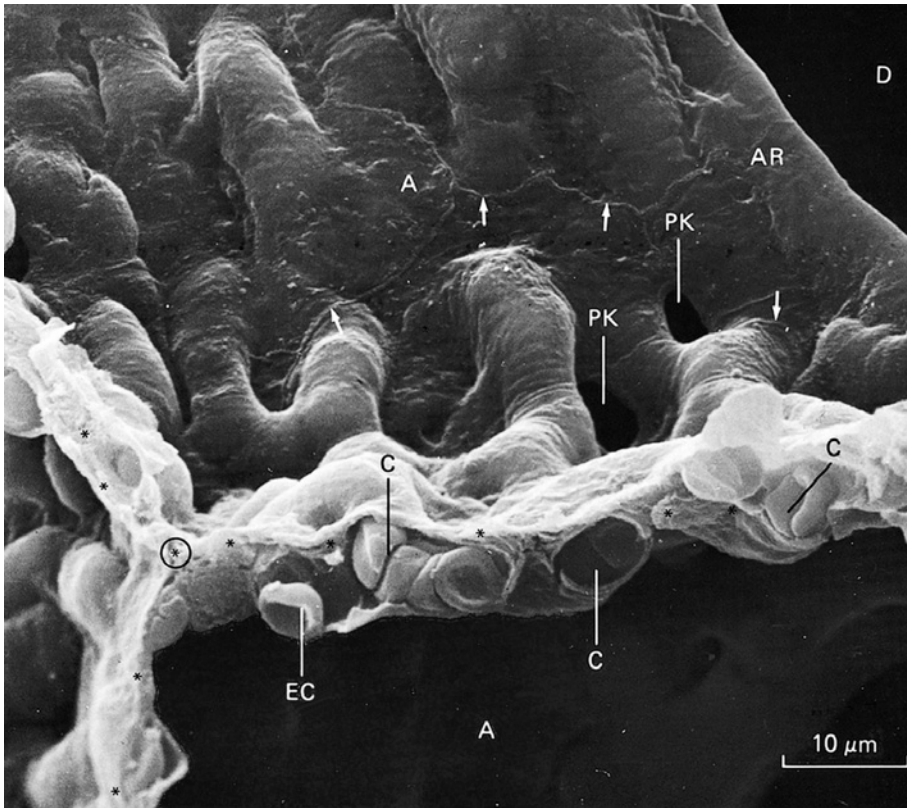
A superfície alveolar é constituída principalmente por uma única e fina camada de células epiteliais escamosas, as células alveolares tipo I, entre as quais estão entremeadas as células alveolares cubóides tipo II mais volumosas, que produzem a camada líquida que reveste os alvéolos. Existem cerca de duas vezes mais células tipo II do que células tipo I no pulmão humano, porém as células tipo I cobrem 90 a 95% da superfície alveolar, pois a célula tipo I média tem uma área superficial muito maior que a célula tipo II. A camada líquida da superfície alveolar é abordada em mais detalhes no Cap. 2. Um terceiro tipo de célula, o macrófago alveolar fagocítico móvel, é encontrado em números variáveis no revestimento extracelular da superfície alveolar. Essas células patrulham a superfície alveolar e fagocitam as partículas inspiradas, tais como bactérias. Sua função é abordada no Cap. 10.



**Fig. 1.2** Micrografia eletrônica do parênquima pulmonar humano. A, alvéolo; S, septos alveolares; D, ducto alveolar; PK, poro de Kohn; PA, pequeno ramo da artéria pulmonar. (Reproduzido, com autorização, de Weibel, 1998.)

### ENDOTÉLIO CAPILAR

Um corte transversal de um capilar pulmonar é mostrado na micrografia eletrônica de transmissão que se vê na Fig. 1.4. Um eritrócito é visualizado no corte transversal na luz do capilar. Os capilares são formados por uma única camada de células epiteliais escamosas que são alinhadas para formar tubos. O núcleo de uma das células endoteliais capilares pode ser visto na micrografia.

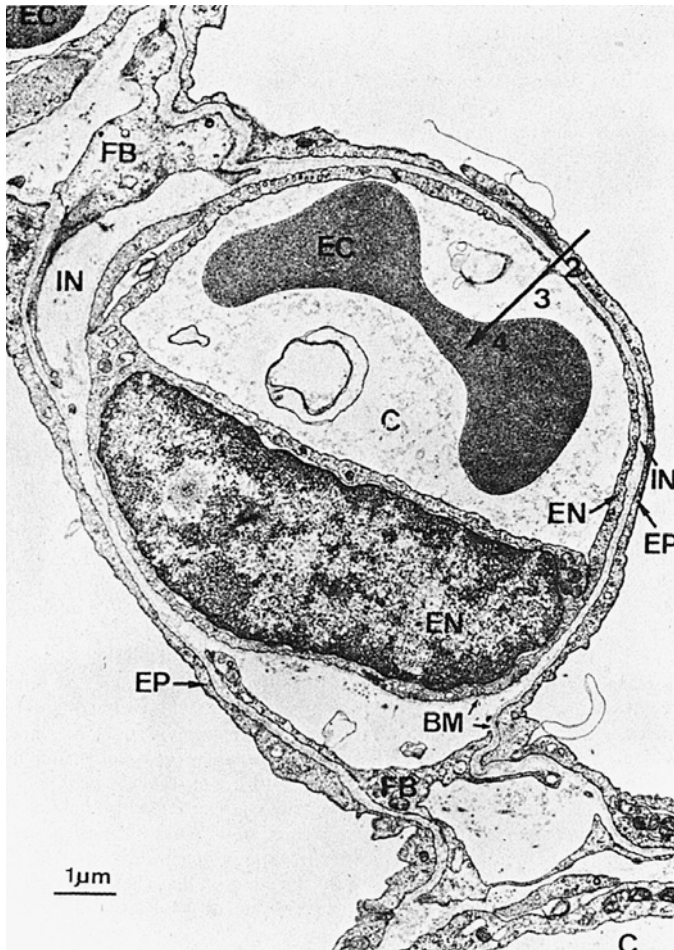


**Fig. 1.3** Micrografia eletrônica da superfície e corte transversal de um septo alveolar. Os capilares (C) são vistos seccionados no primeiro plano, com eritrócitos (EC) dentro deles. A, alvéolo; D, ducto alveolar; PK, poro de Kohn; AR, entrada alveolar para o ducto; \*, fibras de tecido conjuntivo. O asterisco circulado fica em uma junção de três septos. (Reproduzido, com autorização, de Weibel, 1998.)

A barreira para a troca gasosa entre os alvéolos e os capilares pulmonares também pode ser visualizada na Fig. 1.4 e consiste em epitélio alveolar, endotélio capilar e espaço intersticial existente entre essas estruturas. Os gases terão que passar também através do líquido que reveste a superfície alveolar (que não é visível na Fig. 1.4) e do plasma existente no capilar. A barreira para a difusão tem normalmente uma espessura de 0,2 a 0,5  $\mu\text{m}$ . A troca gasosa por difusão é abordada no Cap. 6.

### Vias respiratórias

Após passar através do nariz ou da boca, da faringe e da laringe (*as vias respiratórias superiores*), o ar penetra na árvore traqueobrônquica. Começando com a traquéia, o ar pode passar através de apenas 10 ou de até 23 *gerações*, ou ramificações, em seu trajeto até os alvéolos. As ramificações da árvore traqueobrônquica e sua nomenclatura são mostradas na Fig. 1.5. As unidades da troca gasosa alveolar são indicadas pelos sacos com formato de U.



**Fig. 1.4** Micrografia eletrônica de transmissão de um corte transversal de um capilar pulmonar. Um eritrócito (EC) é visualizado dentro do capilar. C, capilar; EN, célula endotelial capilar (observar o grande núcleo); EP, célula epitelial alveolar; IN, espaço intersticial; BM, membrana basal; FB, processos fibroblásticos; 2,3,4, via de difusão através da barreira alveolocapilar, do plasma e do eritrócito, respectivamente. (Reproduzido, com autorização, de Weibel, 1970.)

As primeiras 16 gerações de vias respiratórias, ou a *zona condutora*, não contêm alvéolos e, assim sendo, são anatomicamente incapazes de troca gasosa com o sangue venoso. Elas constituem o *espaço morto anatômico*, que é abordado no Cap. 3. Os alvéolos começam a aparecer entre a 17ª e a 19ª gerações, nos bronquíolos respiratórios, que constituem a *zona transicional*. As 20ª, 21ª e 22ª gerações são revestidas por alvéolos. Esses *ductos alveolares* e os *sacos alveolares*, que representam o final da árvore traqueobrônquica, recebem a designação de *zona respiratória*.

A porção do pulmão abastecida por um bronquíolo respiratório primário recebe a designação de *ácino*. Todas as vias respiratórias de um ácino participam na troca

	Geração		Diâmetro (cm)	Comprimento (cm)	Número	Área total em corte transversal (cm <sup>2</sup> )	
Zona condutora	traquéia	0	1,80	12,0	1	2,54	
	brônquios	1	1,22	4,8	2	2,33	
		2	0,83	1,9	4	2,13	
		3	0,56	0,8	8	2,00	
	bronquíolos	4	0,45	1,3	16	2,48	
		5	0,35	1,07	32	3,11	
bronquíolos terminais		16	0,06	0,17	$6 \times 10^4$	180,0	
Zonas transicional e respiratória	bronquíolos respiratórios	17	↓	↓	↓	↓	
		18	↓	↓	↓	↓	
		19	0,05	0,10	$5 \times 10^5$	$10^3$	
	ductos alveolares	T <sub>3</sub>	20	↓	↓	↓	↓
		T <sub>2</sub>	21	↓	↓	↓	↓
		T <sub>1</sub>	22	↓	↓	↓	↓
	sacos alveolares	T	23	0,04	0,05	$8 \times 10^6$	$10^4$

**Fig. 1.5** Representação esquemática da via respiratória ramificando-se no pulmão humano com dimensões aproximadas. (Figura extraída de Weibel, 1963. Dados de Bouhuys, 1977. Reproduzido com autorização.)

gasosa. As numerosas ramificações das vias respiratórias resultam em uma enorme área total em corte transversal das porções distais da árvore traqueobrônquica, apesar de os diâmetros das vias respiratórias individuais serem bastante pequenos, o que pode ser visto no quadro dentro da Fig. 1.5.

## ESTRUTURA DAS VIAS RESPIRATÓRIAS

A estrutura das vias respiratórias varia consideravelmente, dependendo de sua localização na árvore traqueobrônquica. A traquéia é um tubo fibromuscular apoiado em sua superfície ventrolateral por uma cartilagem com formato de C e completado dorsalmente por músculo liso. A cartilagem dos grandes brônquios é semicircular, como a cartilagem da traquéia, porém quando os brônquios penetram nos pulmões os anéis de cartilagem desaparecem e são substituídos por placas cartilaginosas de formato irregular. Essas circundam os brônquios completamente e conferem aos brônquios intrapulmonares seu formato cilíndrico. Essas placas, que ajudam no apoio das vias respiratórias mais calibrosas, diminuem progressivamente nas vias respiratórias distais e desaparecem nas vias respiratórias com cerca de 1 mm de diâmetro. Por definição, as vias respiratórias sem cartilagem são denominadas *bronquíolos*. Levando-se em conta que os bronquíolos e os ductos alveolares não possuem qualquer apoio cartilaginoso, eles estarão sujeitos a colapso quando comprimidos. Essa tendência é contrariada em parte pela fixação dos septos alveolares, que contêm tecido elástico, em suas paredes, como se vê na Fig. 1.2 e é mostrado esquematicamente na Fig. 2.18. À medida que as placas cartilaginosas passam a distribuir-se irregularmente ao redor das vias

respiratórias distais, a camada muscular acaba por circundar completamente essas estruturas. A camada muscular é entremesclada com fibras elásticas. À medida que os bronquíolos prosseguem na direção dos alvéolos, a camada muscular torna-se mais fina, apesar de o músculo liso poder ser encontrado até mesmo nas paredes dos ductos alveolares. A camada mais externa da parede bronquiolar é circundada por tecido conjuntivo denso com muitas fibras elásticas.

### **REVESTIMENTO DAS VIAS RESPIRATÓRIAS**

---

Todo o trato respiratório, com exceção de parte da faringe, do terço anterior do nariz e das unidades respiratórias distais aos bronquíolos terminais, é revestido por células cilíndricas entremeadas com células caliciformes secretoras de muco e por outras células secretórias. As células ciliadas são células colunares pseudo-estratificadas nas vias respiratórias mais calibrosas e tornam-se cubóides nos bronquíolos, onde as células caliciformes tornam-se menos frequentes e são substituídas por outro tipo de célula secretória, a célula de Clara. O epitélio ciliado, juntamente com o muco secretado pelas glândulas ao longo das vias respiratórias e as células caliciformes e os produtos secretórios das células de Clara, constitui um importante mecanismo para a proteção do pulmão, o qual será abordado em mais detalhe no Cap. 10.

### **Músculos da respiração e parede torácica**

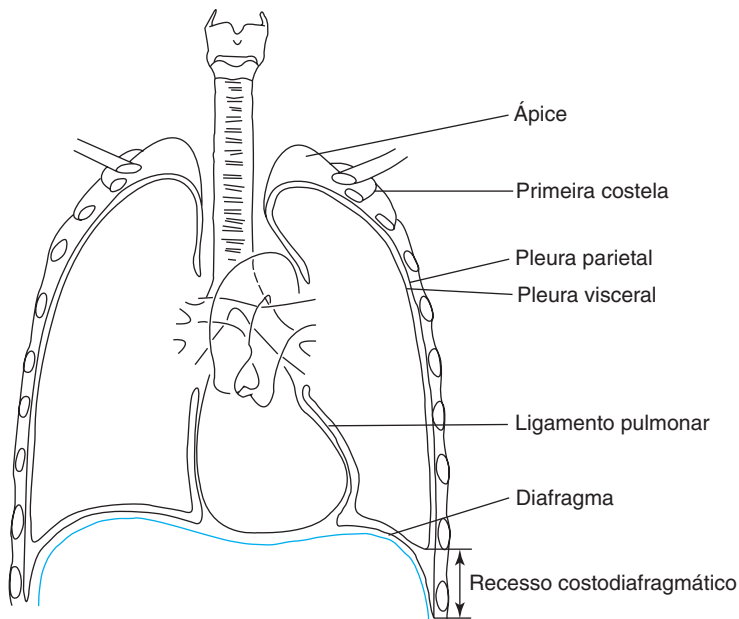
Os músculos da respiração e a parede torácica são componentes essenciais do sistema respiratório. Os pulmões não são capazes de se insuflar — a força para insuflação deve ser proporcionada pelos músculos da respiração. A parede torácica deve estar intacta e capaz de expandir-se para que o ar possa penetrar normalmente nos alvéolos. As interações entre os músculos da respiração e a parede torácica e os pulmões são discutidas em mais detalhe no próximo capítulo.

Os principais componentes da parede torácica são mostrados esquematicamente na Fig. 1.6 e incluem o gradil costal; os músculos intercostais externos e internos e o diafragma, que são os principais músculos da respiração; e o revestimento da parede torácica, representado pelas pleuras visceral e parietal. Outros músculos da respiração são os músculos abdominais, incluindo o reto do abdome; os músculos intercartilagosos paraesternais; e os músculos esternocleidomastóideos e escalenos.

### **Sistema nervoso central e vias neurais**

Outro componente importante do sistema respiratório é o sistema nervoso central. Diferentemente do músculo cardíaco, os músculos da respiração não se contraem espontaneamente. Cada incursão respiratória é desencadeada no cérebro e essa mensagem é levada aos músculos respiratórios através da medula espinhal e dos nervos que inervam os músculos respiratórios.

A respiração automática espontânea é gerada por grupos de neurônios localizados no bulbo. Esse centro respiratório bulbar é também o ponto de integração final para as influências provenientes dos centros cerebrais superiores; para a informação proporcionada pelos quimiorreceptores no sangue e no líquido cerebrospinal; e para a informação aferente proveniente dos receptores neurais existentes nas vias respiratórias, nas articulações, nos músculos, na pele e em outros locais do corpo. O controle da respiração é abordado no Cap. 9.



**Fig. 1.6** Principais componentes da parede torácica. (Reproduzido, com autorização, de Weibel, 1998.)

## PONTOS-CHAVE



1 A principal função do sistema respiratório reside na troca do oxigênio proveniente da atmosfera pelo dióxido de carbono produzido pelas células do corpo.



2 Outras funções do sistema respiratório são a participação no equilíbrio ácido-básico do corpo, a fonação, a defesa pulmonar e o metabolismo.

## BIBLIOGRAFIA

- Bouhuys A. *The Physiology of Breathing*. New York, NY: Grune & Stratton; 1977:26–42.
- Dormans JAMA. Morphology, function and response of pulmonary type I cells: a review. *Inhal Toxicol*. 1996; 8:521–536.
- Netter FH. The Ciba Collection of Medical Illustrations, vol 7: *Respiratory System*. Summit, NJ: Ciba; 1979:3–43.
- Ochs M, Nyengaard JR, Jung A, Knudsen L, Voight M, Wahlers T, Richter J, Gundersen HJG. The number of alveoli in the human lung. *Am J Respir Crit Care Med*. 2004;169:120–124.
- Weibel ER. *Morphometry of the Human Lung*. Berlin, Germany: Springer-Verlag; 1963.
- Weibel ER. Morphometric estimation of pulmonary diffusion capacity, I. Model and method. *Respir Physiol*. 1970;11:54–75.
- Weibel ER, Taylor CR. Functional design of the human lung for gas exchange. In Fishman AP et al, eds. *Pulmonary Diseases and Disorders*. 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill; 1998:21–61.