

## Efetividade de um modelo fotogramétrico para a análise da mecânica respiratória toracoabdominal na avaliação de manobras de isovolume em crianças\*

Effectiveness of a photogrammetric model for the analysis of thoracoabdominal respiratory mechanics in the assessment of isovolume maneuvers in children

Denise da Vinha Ricieri, Nelson Augusto Rosário Filho

### Resumo

**Objetivo:** Testar a aplicabilidade de um modelo geométrico, adaptado à postura deitada, para a análise da mecânica respiratória em relação à variação das áreas toracoabdominais laterais em crianças asmáticas. **Métodos:** Dezenove crianças (média de idade:  $11,26 \pm 1,28$  anos) realizaram manobras de isovolume (MIV) após inspiração máxima, seguida de fechamento da glote e alternância do ar entre os compartimentos abdominal e torácico. As manobras foram filmadas por uma câmera digital perpendicular ao plano de movimento, e as imagens de interesse foram selecionadas. O modelo geométrico foi traçado sobre cada imagem, orientado por marcadores de superfície em referências anatômicas. As áreas traçadas foram calculadas através de um programa, e os resultados foram convertidos para unidades métricas ( $\text{cm}^2$ ) utilizando um marcador de superfície de área conhecida. Foram calculadas as contribuições relativas (CRs) dos subcompartimentos em relação ao seu compartimento de origem e à parede torácica (PT). **Resultados:** O modelo foi medido a partir de 55 imagens de MIV torácicas e de 55 de MIV abdominais, e as áreas e subáreas entre as manobras foram comparadas, havendo diferenças significativas para todos os subcompartimentos ( $p < 0,001$ ). Todas as CRs, em relação à PT, foram também significativamente diferentes ( $p < 0,001$ ), mas não aquelas em relação às razões entre os subcompartimentos e os compartimentos de origem. **Conclusões:** Este modelo geométrico, aplicado em crianças e adaptado à postura deitada, foi efetivo na diferenciação das variações do contorno toracoabdominal durante as MIV, e os níveis de divisão propostos foram úteis na identificação das regiões mais e menos contributivas à composição da PT.

**Descritores:** Fotogrametria; Mecânica respiratória; Processamento de imagem assistida por computador.

### Abstract

**Objective:** To test the applicability of a geometric model, adapted to the supine position, for the analysis of respiratory mechanics regarding changes in lateral thoracoabdominal areas in children with asthma. **Methods:** Nineteen children (mean age,  $11.26 \pm 1.28$  years) performed isovolume maneuvers (IVMs) after maximal inspiration, followed by glottal closure and alternation of airflow between the abdominal and thoracic compartments. The maneuvers were recorded in a digital video camera placed perpendicularly to the movement plane, and the images of interest were selected. The geometric model was traced on each image based on surface landmarks of anatomical references. The traced areas were calculated using a computer program, and the results were converted into metric units ( $\text{cm}^2$ ) using a surface landmark of a known area. Relative contributions (RCs) of the subcompartments in relation to their original compartments and to the chest wall (CW) were calculated. **Results:** The model was based on 55 thoracic IVM images and 55 abdominal IVM images. Areas and subareas were compared between the maneuvers. There were significant differences in all subcompartments ( $p < 0.001$ ). All of the RCs were significantly different for the CW ( $p < 0.001$ ) but not for the ratios between the subcompartments and their original compartments. **Conclusions:** This geometric model, applied in children and adapted to the supine position, was effective in profiling changes in the thoracoabdominal silhouette during the IVMs, and the selected subdivisions were useful for the identification of areas contributing the most and the least to CW composition.

**Keywords:** Photogrammetry; Respiratory mechanics; Image processing, computer-assisted.

\* Trabalho realizado no Programa de Pós-Graduação em Saúde da Criança e do Adolescente, Departamento de Pediatria, Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba (PR) Brasil.

Endereço para correspondência: Denise da Vinha Ricieri. Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná, Pronto-atendimento Pediátrico, Serviço de Alergia, Imunologia e Pneumologia Pediátrica, Rua General Carneiro, 181, CEP 80060-900, Curitiba, PR, Brasil. Tel 55 41 3452-2919. E-mail: denise.ricieri@ufpr.br

Apoio financeiro: Nenhum.

Recebido para publicação em 29/5/2008. Aprovado, após revisão, em 7/7/2008.

## Introdução

A manobra de isovolume (MIV),<sup>(1,2)</sup> ou manobra de variação isovolumétrica toracoabdominal, foi concebida como um recurso balizador na pesquisa em mecânica respiratória para métodos de análise de superfície. A MIV é uma expressão clínica relevante da relação das forças coadjuvantes entre tórax e abdome<sup>(3)</sup> que evidenciam a ativação muscular respiratória controlada<sup>(4)</sup> durante a mobilização de volumes pulmonares.

Em 1967, dois autores descreveram a MIV pela primeira vez quando estudaram relações de movimento entre compartimentos toracoabdominais para um dado volume constante.<sup>(1)</sup> Sua execução corrige as relações entre os movimentos torácico e abdominal para uma equivalência de volume de tal modo que, durante as medidas de superfície, inflexões similares nos sinais torácicos e abdominais representem uma contribuição proporcional equivalente para o volume corrente medido.<sup>(5)</sup> Utiliza-se a MIV para se estabelecer as variações possíveis entre componentes torácicos e abdominais, na vigência de condições que determinem o fechamento do sistema condutor aéreo, como na simultânea oclusão oral e nasal. Nesta condição, o aparelho respiratório apresenta apenas um grau de liberdade de movimento, o que significa que qualquer variação de movimentação torácica será provavelmente oposta à variação abdominal, para um mesmo volume.<sup>(6)</sup>

O comportamento muscular da MIV não é usual no mecanismo muscular respiratório; ao contrário, a aspiração abdominal por ocasião da expansão do tórax é, na prática semiológica, identificada como um sinal de *distress* respiratório.<sup>(3)</sup> Por isso, a sistematização da manobra na pesquisa exige que os voluntários aprendam a realizá-la através de treinamento prévio ou *feedback* gráfico antes de utilizá-la para a determinação de medidas.<sup>(1)</sup>

A questão refere-se à mecânica envolvida no controle consciente do movimento respiratório toracoabdominal<sup>(7)</sup> e está diretamente relacionada em como e de que maneira pode-se desenvolver estratégias de cuidados para pacientes afetados por doenças respiratórias crônicas, especialmente crianças.<sup>(8,9)</sup> Trata-se de como o controle muscular é conscientemente recrutado e mobilizado de acordo com uma estratégia mecânica postural; neste caso, o sucesso está em mobi-

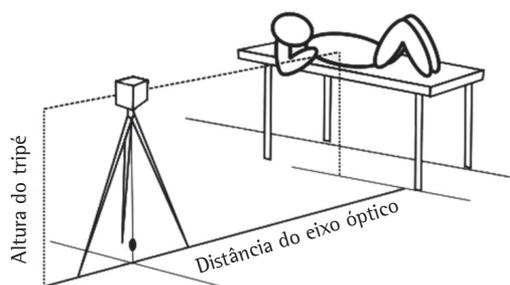
lizar o diafragma e os músculos intercostais alternadamente para induzir a alteração da distribuição do ar pelas regiões pulmonares.<sup>(10)</sup>

Este conceito é primordial na concepção de novas tecnologias que utilizem o movimento da superfície toracoabdominal para medir a variação do volume pulmonar. O objetivo deste estudo foi submeter um modelo geométrico denominado biofotogrametria para análise da mecânica respiratória (BAMER), previamente utilizado em adultos, à análise das variações do contorno da parede toracoabdominal durante a realização de MIV em crianças, após a inspiração de volume conhecido próximo à capacidade pulmonar total.

## Métodos

Os procedimentos utilizados neste estudo foram aprovados pelo Comitê de Ética do Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná (HC/UFPR), atendendo à Resolução CNS 196/96. Estudo observacional descritivo através da análise de MIV realizados por 19 crianças asmáticas com idades entre 9 e 13 anos, em tratamento há mais de 12 meses e estáveis por pelo menos 30 dias antes dos testes, após triagem no ambulatório de Imunologia, Alergia e Pneumologia Pediátrica do HC/UFPR em Curitiba (PR) e em uma unidade especializada em Paranaguá (PR) entre outubro e dezembro de 2006.

As crianças que participaram do estudo tiveram treinamento prévio para a manobra e foram submetidas à rotina padrão de avaliação muscular respiratória, composta por testes diagnósticos não-específicos: pressões respiratórias máximas, PFE e mobilidade toracoabdominal por cirtometria em manobras respiratórias máximas. Todos os testes foram realizados na postura sentada, repetidos três vezes cada, porém não serão objetos de discussão neste estudo.



**Figura 1** - Posicionamento da câmera em relação ao avaliado.

## Aquisição de imagens

Pelo fato de crianças movimentarem-se em demasia durante a realização das manobras de movimentos respiratórios máximos, optou-se pela realização das MIV na postura supina, com retificação lombar e dorsal obtida através de *pompagem* manual lombossacra, realizada pelo avaliador. Os membros superiores foram posicionados em flexão, abdução e rotação externa, com as mãos apoiadas sob a curvatura cervical, e cotovelos completamente abduzidos (Figura 1).

Após os testes iniciais, foram posicionados marcadores de superfície planos, esféricos, de 13 mm de diâmetro nos seguintes pontos: (1) espinhas ilíacas ântero-superiores; (2) nível da cicatriz umbilical, projetado lateralmente; (3) ângulo inferior da cartilagem da décima costela; (4) nível do apêndice xifoide, projetado lateralmente; e (5) nível da incisura jugular do manúbrio esternal, projetado lateralmente. Tais referências serviram de âncora para a delimitação geométrica de compartimentos toracoabdominais nas imagens adquiridas durante a realização das MIV. O traçado final resultou em adaptação para a postura deitada do modelo BAMER.<sup>(11)</sup>

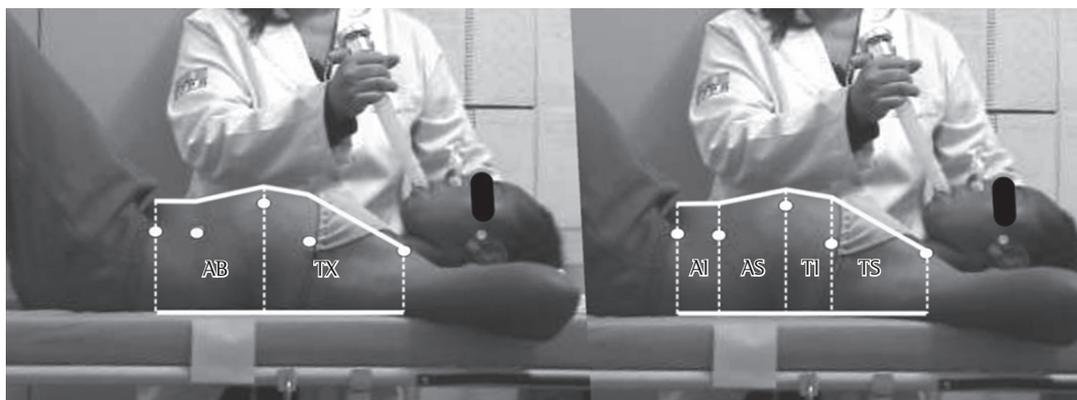
Após treinamento, procedeu-se à aquisição das imagens das MIV. Para medir o volume inspirado antes das manobras, foi estabelecida a seguinte sequência de eventos e procedimentos: (a) posicionamento do clipe nasal e bucal de um ventilômetro analógico, (modelo RM-121; Ohmeda, Boulder, CO, EUA), com sensibilidade mínima para 10 mL, e travado para medidas; (b) realização de uma inspiração moderada,

seguida de expiração ativa, até próximo do nível de volume residual; (c) destravamento do ventilômetro, seguido de uma inspiração máxima, próxima da capacidade pulmonar total; (d) apneia pós-inspiratória, para leitura do volume e acomodação da atitude inspiratória; (e) retirada do bucal com fechamento da glote para manutenção do volume inspirado; (e) execução da MIV alternando entre manobra de Müller, ou MIV abdominal (MIVA), e uma manobra de inspiração torácica com aspiração abdominal, ou MIV torácica (MIVT). Em cada manobra, as posições abdominal e torácica foram sustentadas por 5 s, e todo o processo foi repetido entre três a cinco vezes.

## Processamento das imagens

Para cada criança foi gerado um filme e, deste, foram extraídas as imagens das manobras em seus momentos de estabilidade. A extração das imagens ou fotogramas dos filmes foi realizada pelo uso do programa Corel R.A.V.E.® (Corel Corp., Ottawa, Ontário, Canadá). Cada fotograma selecionado foi exportado para o CorelDRAW®, versão 12 (Corel Corp.), através do qual os marcadores identificaram os níveis para o traçado das divisões toracoabdominais pretendidas.

A construção do modelo BAMER adaptado foi definida por quadriláteros irregulares, traçados nas imagens a partir de planos transversos ao tronco, orientados pelos marcadores de superfície. A parede torácica (PT) teve sua extensão delimitada, superiormente, a partir do nível da incisura jugular do esterno, e inferiormente, até o nível da espinha ilíaca ântero-superior. Esta



**Figura 2** – Divisão do modelo em compartimentos torácico (TX) e abdominal (AB) no nível do apêndice xifoide. Uma divisão adicional definiu os subcompartimentos torácicos superior (TS) e inferior (TI), assim como os subcompartimentos abdominais superior (AS) e inferior (AI).

extensão foi dividida no nível do apêndice xifoide em compartimentos torácico (CTX) e abdominal (CAB), e uma segunda divisão de cada compartimento foi realizada, levando o modelo a quatro subcompartimentos (Figura 2).

Estes subcompartimentos foram delimitados pelos seguintes planos de traçados: (1) nível do apêndice xifoide, onde o CTX foi dividido em subcompartimentos torácicos superior e inferior; (2) nível do ângulo inferior da cartilagem da décima costela, onde o CAB foi dividido em subcompartimentos abdominais superior e inferior. Os quadriláteros foram concluídos pela ligação, superior e inferior, entre os limites do contorno anterior e posterior toracoabdominal.

O traçado do modelo BAMER em cada manobra foi então exportado para o programa AutoCAD® 2005 (Autodesk Inc., San Rafael, CA, EUA), onde foram calculadas as áreas laterais, tendo como calibrador de conversão a área de um marcador de superfície, ou seja, 1,69 cm<sup>2</sup>. Nas divisões do modelo, o resultado da combinação matemática entre as áreas laterais permitiu o cálculo das contribuições relativas (CRs), parciais e totais, de cada subcompartimento em relação ao seu compartimento de origem, e à PT como um todo.

O tratamento estatístico dos resultados foi realizado pelo uso do programa *Statistical Package for the Social Sciences*, versão 13 (SPSS Inc., Chicago, IL, EUA), com a aplicação do teste

de Kolmogorov-Smirnov para averiguação da distribuição normal para dados, testes inferenciais paramétricos pareados para análise de cada nível de divisão do modelo, e análise das CRs entre as manobras. Para todas as análises, o nível de significância foi assumido para  $p < 0,05$ .

## Resultados

Foram submetidas à triagem 25 crianças, sendo que 22 aceitaram participar do estudo. Ao final do processo de avaliação e filmagem, os filmes de 3 crianças apresentaram problemas técnicos; com isso, a apresentação dos resultados abrange dados de 19 crianças, com média de idade de  $11,26 \pm 1,28$  anos, sendo 8 meninas e 11 meninos e, em 58% dos casos, a asma estava associada ao diagnóstico para rinite. No cômputo total, o modelo BAMER foi aplicado em imagens de 110 manobras, sendo 55 para MIVT e outras 55 para MIVA.

### *Comparação entre resultados para mesmos compartimentos vs. manobras*

A Tabela 1 apresenta a análise estatística descritiva e a distribuição em percentis dos resultados obtidos pela medida em cada nível de divisão do modelo. O teste de Kolmogorov-Smirnov mostrou uma distribuição normal das medidas, o que permitiu a utilização de testes

**Tabela 1** – Medidas obtidas, em cm<sup>2</sup>, pela aplicação do modelo BAMER, em seus diferentes níveis de divisão, nas manobras realizadas.

Divisões do Modelo BAMER	Tipo	Média	dp	Percentis			
				25°	50°	75°	
Compartimento	TX*	MIA	311,53	66,72	256,38	322,96	374,48
		MIT	315,94	67,36	265,89	325,73	379,15
	AB*	MIA	216,17	51,34	168,73	216,32	250,90
		MIT	204,10	49,78	165,41	212,20	236,02
	PT*	MIA	527,70	100,57	448,71	543,20	608,77
		MIT	520,03	99,64	450,53	535,69	604,57
Subcompartimento	TS*	MIA	163,40	37,88	142,87	155,90	178,75
		MIT	165,46	40,82	146,65	156,65	182,58
	TI*	MIA	148,14	50,79	104,64	147,13	183,73
		MIT	150,48	50,89	106,31	155,12	182,46
	AS*	MIA	130,03	30,39	106,58	127,31	142,44
		MIT	122,19	29,52	96,60	121,29	143,13
	AI*	MIA	86,14	30,44	67,77	80,91	111,52
		MIT	81,91	28,75	60,12	81,11	102,07

TX: torácico; AB: abdominal; PT: parede torácica; TS: torácico superior; TI: torácico inferior; AS: abdominal superior; AI: abdominal inferior; MIA: manobra de isovolume abdominal; MIT: manobra de isovolume torácica. \* $p < 0,001$  entre MIA e MIT.

inferenciais paramétricos para a análise comparativa entre os resultados.

Para comparar MIVA e MIVT em cada divisão do modelo BAMER, foi aplicado o teste t de Student, que mostrou haver diferenças significativas entre as divisões ( $p < 0,01$ ).

### **Análise das contribuições relativas das divisões do modelo**

As CRs são adimensionais e foram calculadas pelas seguintes razões: (1) área da divisão pela área total estimada para a PT; (2) área do subcompartimento pela área do compartimento de origem (Tabela 2).

A análise entre MIVT e MIVA pelo teste t de Student mostrou que as médias das razões de CRs relativas à PT foram significativamente diferentes entre si ( $p < 0,001$ ), enquanto que não houve

diferença para as CRs da razão dos subcompartimentos pelo compartimento de origem.

### **Discussão**

De modo geral, medidas quantitativas dos movimentos respiratórios são baseadas em medidas do volume pulmonar e nos deslocamentos das estruturas toracoabdominais por ele provocadas. Uma vez que os tecidos da PT são essencialmente incompressíveis, variações do volume pulmonar estão relacionadas aos deslocamentos verificados na superfície toracoabdominal, que podem então ser utilizados para estimativas volumétricas não-invasivas, sem a necessidade do uso de aparatos de conexão com as vias aéreas, como bocais ou máscaras.<sup>(4)</sup>

Pela teoria do sistema de duplo compartimento de Konno e Mead,<sup>(1)</sup> o tórax e o abdome movem-se independentemente durante a respiração de repouso na maioria dos sujeitos. Registros simultâneos do deslocamento torácico e abdominal são necessários para medir com precisão um deslocamento da superfície toracoabdominal que possua relação direta com a variação de volume pulmonar.<sup>(4)</sup> Se, por um lado, a ação dos músculos intercostais e acessórios inspiratórios expande a caixa torácica, promovendo reflexamente uma retração abdominal, por outro lado, os músculos abdominais contraem o abdome e apresentam uma influência tanto de expansão, via aumento da pressão abdominal, como de retração sobre a caixa torácica, via efeito direto das inserções na margem costal.<sup>(12)</sup>

Nos estudos sobre mecânica respiratória baseados em movimentos da superfície toracoabdominal, a PT é considerada um sistema linear elástico com dois graus de liberdade.<sup>(13)</sup> Dentro desse contexto, o diafragma tem efeitos diferentes sobre o CTX e o CAB. Durante a respiração de repouso, o diafragma desloca a PT para fora como um todo, enquanto que, durante a manobra de Müller, a parede abdominal é deslocada para fora, ao mesmo tempo em que o tórax retrai-se para dentro.<sup>(12)</sup> Quando a glote está fechada, o sistema apresenta apenas um grau de liberdade, e o ganho entre sinais abdominais e torácicos é similar. Nessa condição, é possível modificar o contorno do tórax e do abdome, deslocando o volume de um compartimento para outro alternadamente, ou seja, alternando entre manobra de Müller e a contração dos músculos intercostais e acessórios inspiratórios.<sup>(14,15)</sup>

**Tabela 2** – Análise estatística descritiva da contribuição relativa para a razões dos subcompartimentos pelo compartimento de origem, e para as razões dos subcompartimentos pela área total da parede torácica.

CR	Manobra	Média da CR	dp	Erro padrão
TS/TX	MIA	0,532	0,090	0,012
	MIT	0,531	0,092	0,012
TI/TX	MIA	0,468	0,090	0,012
	MIT	0,469	0,092	0,012
AS/AB	MIA	0,608	0,079	0,011
	MIT	0,604	0,080	0,011
AI/AB	MIA	0,392	0,079	0,011
	MIT	0,396	0,080	0,011
TX/PT*	MIA	0,590	0,059	0,008
	MIT	0,608	0,060	0,008
AB/PT*	MIA	0,410	0,059	0,008
	MIT	0,392	0,060	0,008
TS/PT*	MIA	0,314	0,061	0,008
	MIT	0,322	0,063	0,008
TI/PT*	MIA	0,277	0,064	0,009
	MIT	0,286	0,067	0,009
AS/PT*	MIA	0,248	0,042	0,006
	MIT	0,237	0,043	0,006
AI/PT*	MIA	0,161	0,046	0,006
	MIT	0,156	0,043	0,006

CR: contribuição relativa; TS: subcompartimento torácico superior; TI: subcompartimento torácico inferior; AS: subcompartimento abdominal superior; AI: subcompartimento abdominal inferior; TX: compartimento torácico; AB: compartimento abdominal; MIA: manobra de isovolume abdominal; MIT: manobra de isovolume torácica.  
\* $p < 0,001$  entre MIA e MIT.

Os primeiros trabalhos sobre curvas pressão-fluxo isovolume remontam à década de 60<sup>(16,17)</sup> e mostraram que o valor de estabilidade do sistema respiratório, em condições de fechamento, era determinado apenas e unicamente pelo volume pulmonar. Uma vez que o fluxo de equilíbrio independia do esforço, a única relação entre fluxo máximo e volume pulmonar seria facilmente determinada por um gráfico do fluxo pelo volume pulmonar, durante uma única expiração, no nível da CVF. Assim, a curva fluxo-volume expiratória máxima nasceu como o terceiro plano de um gráfico tridimensional da mecânica respiratória.<sup>(2)</sup>

Mas foram Konno e Mead que sistematizaram e introduziram a MIV como recurso para a calibração de instrumentos para medidas da variação dos volumes pulmonares através dos movimentos da superfície toracoabdominal.<sup>(1)</sup> Essa estratégia tem sido seguida pela maioria dos pesquisadores na área de mecânica respiratória.<sup>(15)</sup> O contorno e o movimento toracoabdominal podem ser determinados por muitos métodos de superfície, regidos por diferentes princípios físicos, como a magnetometria,<sup>(18)</sup> pletismografia por indutância,<sup>(19)</sup> cinemetria<sup>(20)</sup> e projeção de luz.<sup>(21)</sup> A informação bidimensional ou tridimensional resultante da aplicação de qualquer um desses métodos é utilizada para inferir comportamentos mecânicos respiratórios de relevante utilidade clínica.

O emprego da biofotogrametria para a análise do movimento respiratório toracoabdominal bidimensional permitiu estabelecer, de modo simples e claro, as evidências em torno das relações volume-movimento em condições conhecidas, tal qual resultados descritos anteriormente por sistemas mais robustos.<sup>(13,15)</sup> Tal efetividade estabeleceu-se pela capacidade do modelo BAMER em quantificar as diferenças na acomodação das áreas de MIVA e MIVT.<sup>(10)</sup> Além disso, a postura na qual foi testado o modelo BAMER em crianças atendeu ao corolário sobre a validade da aplicação das MIV, ou seja, que elas devem ser realizadas em uma postura fixa.<sup>(13)</sup>

Diante desses achados, é possível propor a aplicação do modelo BAMER no acompanhamento da evolução do controle muscular respiratório em estratégias complementares ao tratamento da doença respiratória, como programas de fisioterapia respiratória,<sup>(22,23)</sup> de reeducação postural global<sup>(24)</sup> e do uso da técnica de Pilates. Estes recursos complementares utilizam variações das

MIV como técnica para exercícios respiratórios, nos quais o comando sobre a manobra é consciente e voluntário. O fundamental é que as forças ativas e passivas que atuam na PT durante o movimento respiratório são controladas por elementos musculares, elásticos e pressóricos, fazendo com que, ao realizar uma MIV, todos estes elementos estejam sob controle voluntário daquele que o realiza. O modelo BAMER mostrou ser eficiente nesse contexto de mensuração.

Os níveis de divisão propostos pelo modelo BAMER identificaram aspectos de interesse ao acompanhamento da recuperação de doentes com acometimento respiratório primário ou secundário<sup>(25)</sup> através de exercícios, avaliando a magnitude do desempenho do controle muscular respiratório voluntário em uma manobra abdominal, como nos exercícios de reeducação funcional ventilatória.<sup>(22)</sup> Frequentemente, as técnicas de exercícios respiratórios estão entre as modalidades complementares da medicina mais populares, utilizadas por asmáticos e outros doentes respiratórios. Exercícios respiratórios, como yoga e respiração diafragmática, levam à redução do uso de  $\beta_2$ -agonistas de curta duração e tendem a melhorar a qualidade de vida.<sup>(26)</sup>

Ainda que seja imperiosa a continuidade do aprofundamento nos estudos com a utilização da biofotogrametria em diferentes situações clínicas e faixas etárias, um recurso como o modelo BAMER constitui-se em um instrumento promissor para o acompanhamento quantitativo da evolução dos pacientes. A quantificação da intensidade de realização das MIV e a forma de sua realização, através dos índices de CR de cada compartimento isoladamente, são importantes contribuições do modelo BAMER que pode também servir de *feedback* diário aos programas de reeducação funcional respiratória, como estratégia de incentivo terapêutico para doentes respiratórios, principalmente idosos e crianças. As limitações do método devem ser alvos de estudos futuros, para que sua contribuição possa ser estendida como recurso complementar no exame físico-funcional muscular respiratório.

Conclui-se que o modelo BAMER, adaptado à postura deitada e aplicado em crianças, mostrou-se efetivo na diferenciação das variações do contorno toracoabdominal que compõem a MIV. Os níveis de divisão do modelo acrescentaram precisão na identificação da CR à variação total da PT. Estes achados indicam a

necessidade de trabalhos futuros que explorem este modelo para análises antes e após a adoção de estratégias terapêuticas que repercutam sobre o controle muscular consciente dos músculos respiratórios, assim como para a realização de manobras terapêuticas e diagnósticas, particularmente em crianças.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Grupo de Apoio ao Programa de Educação Respiratória do município de Paranaguá a colaboração através da cessão de suas instalações para a realização deste estudo.

## Referências

- Konno K, Mead J. Measurement of the separate volume changes of rib cage and abdomen during breathing. *J Appl Physiol.* 1967;22(3):407-22.
- Macklem PT. The mechanics of breathing. *Am J Respir Crit Care Med.* 1998;157(4 Pt 2):88-94.
- Prisk GK, Hammer J, Newth CJ. Techniques for measurement of thoracoabdominal asynchrony. *Pediatr Pulmonol.* 2002;34(6):462-72.
- American Thoracic Society/European Respiratory Society. ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002;166(4):518-624.
- Gilbert R, Auchincloss JH Jr, Peppi D. Relationship of rib cage and abdomen motion to diaphragm function during quiet breathing. *Chest.* 1981;80(5):607-12.
- Sackner MA, Watson H, Belsito AS, Feinerman D, Suarez M, Gonzalez G, et al. Calibration of respiratory inductive plethysmograph during natural breathing. *J Appl Physiol.* 1989;66(1):410-20.
- Laghi F, Tobin MJ. Disorders of the respiratory muscles. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003;168(1):10-48.
- Luce JM, Culver BH. Respiratory muscle function in health and disease. *Chest.* 1982;81(1):82-90.
- Postiaux G. Fisioterapia Respiratória Pediátrica: O tratamento guiado por ausculta pulmonar. Porto Alegre: Artmed; 2004.
- De Groote A, Paiva M, Verbandt Y. Mathematical assessment of qualitative diagnostic calibration for respiratory inductive plethysmography. *J Appl Physiol.* 2001;90(3):1025-30.
- Ricieri DV, Rosário-Filho NA. Assessing the impact that external factors have on respiratory mechanics assessed using a specific photogrammetric model. *J Bras Pneumol.* 2008;34(9):702-6.
- Hillman DR, Finucane KE. A model of the respiratory pump. *J Appl Physiol.* 1987;63(3):951-61.
- Wilson TA. Mechanics of compartmental models of the chest wall. *J Appl Physiol.* 1988;65(5):2261-4.
- Faithfull D, Jones JG, Jordan C. Measurement of the relative contributions of rib cage and abdomen/diaphragm to tidal breathing in man. *Br J Anaesth.* 1979;51(5):391-8.
- Tobin MJ. Breathing pattern analysis. *Intensive Care Med.* 1992;18(4):193-201.
- Hyatt RE, Schilder DP, Fry DL. Relationship between maximum expiratory flow and degree of lung inflation. *J Appl Physiol.* 1958;13(3):331-6.
- Hyatt RE, Wilcox RE. The pressure-flow relationships of the intrathoracic airway in man. *J Clin Invest.* 1963;42:29-39.
- Russell RI, Helms PJ. Evaluation of three different techniques used to measure chest wall movements in children. *Eur Respir J.* 1994;7(11):2073-6.
- Masa JF, Corral J, Martín MJ, Riesco JA, Sojo A, Hernández M, et al. Assessment of thoracoabdominal bands to detect respiratory effort-related arousal. *Eur Respir J.* 2003;22(4):661-7.
- Sanna A, Bertoli F, Misuri G, Gigliotti F, Iandelli I, Mancini M, et al. Chest wall kinematics and respiratory muscle action in walking healthy humans. *J Appl Physiol.* 1999;87(3):938-46.
- Peacock AJ, Morgan MD, Gourlay S, Turton C, Denison DM. Optical mapping of the thoracoabdominal wall. *Thorax.* 1984;39(2):93-100.
- Paulin E, Brunetto AF, Carvalho CR. Efeitos de programa de exercícios físicos direcionado ao aumento da mobilidade torácica em pacientes portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica. *J Pneumol.* 2003;29(5):287-94.
- Kunikoshita LN, Silva YP, Silva TL, Costa D, Jamami M. Efeitos de três programas de Fisioterapia Respiratória (PFR) em portadores de DPOC. *Rev Bras Fisioter.* 2006;10(4):449-55.
- Moreno MA, Catai AM, Teodori RM, Borges BL, Cesar MC, Silva E. Effect of a muscle stretching program using the Global Postural Reeducation method on respiratory muscle strength and thoracoabdominal mobility of sedentary young males. *J Bras Pneumol.* 2007;33(6):679-86.
- Hawkins P, Davison AG, Dasgupta B, Moxham J. Diaphragm strength in acute systemic lupus erythematosus in a patient with paradoxical abdominal motion and reduced lung volumes. *Thorax.* 2001;56(4):329-30.
- Slader CA, Reddel HK, Spencer LM, Belousova EG, Armour CL, Bosnic-Anticevich SZ, et al. Double blind randomised controlled trial of two different breathing techniques in the management of asthma. *Thorax.* 2006;61(8):651-6.

## Sobre os autores

### Denise da Vinha Ricieri

Professora Assistente de Fisioterapia. Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba (PR) Brasil.

### Nelson Augusto Rosário Filho

Professor Titular. Departamento de Pediatria, Universidade Federal do Paraná – UFPR – Curitiba (PR) Brasil.