

Artigo Original

Repercussões do pneumoperitônio na amplitude da excursão diafragmática em suínos*

Effects of pneumoperitoneum on the amplitude of diaphragmatic excursion in pigs

VALÉRIA MARQUES FERREIRA NORMANDO¹, MARCUS VINICIUS HENRIQUES BRITO²,
FRANCISCO ALVES DE ARAÚJO JÚNIOR³, BRENO COSTA MACIEL ALBUQUERQUE³

RESUMO

Objetivo: Estudar as repercussões causadas pelo pneumoperitônio induzido com dióxido de carbono na mobilidade diafragmática de suínos. **Métodos:** Foram utilizados aleatoriamente 14 suínos machos, da raça Landrace, pesando entre cinco e sete quilos, com 30 a 45 dias de idade. A amostra foi dividida igualmente em um grupo com pneumoperitônio realizado com 10 mmHg durante 60 minutos (n = 7) e em outro com pneumoperitônio com 15 mmHg durante 60 minutos (n = 7). Após a indução anestésica, os animais foram intubados e mantidos sob monitoração do volume corrente associada à análise não invasiva da amplitude diafragmática com o uso da ultra-sonografia da hem cúpula diafragmática direita. **Resultados:** Em ambos os grupos foi observada restrição da amplitude diafragmática somente durante o procedimento. Não houve diferença estatística entre os níveis de pressão estudados. **Conclusão:** Houve restrição da amplitude diafragmática durante a insuflação da cavidade abdominal, a qual se mostrou independente do nível pressórico compreendido na faixa de 10 a 15 mmHg, durante o período de tempo estudado.

Descritores: Pneumoperitônio/induzido quimicamente; Dióxido de carbono; Diafragma; Cirurgia video-assistida; Suínos

ABSTRACT

Objective: To study the effects that pneumoperitoneum achieved through carbon dioxide insufflation has on diaphragmatic excursion in pigs. **Methods:** A total of 14 male Landrace pigs, 30 to 45 days of age and weighing five to seven kilograms each, were used. The sample was randomly and equally divided into two groups: one (n = 7) in which pneumoperitoneum was maintained at 10 mmHg for 60 minutes; and another (n = 7) in which pneumoperitoneum was maintained at 15 mmHg (also for 60 minutes). After anesthetic induction, the animals were intubated. Flow volume was monitored, and the amplitude of diaphragmatic excursion was analyzed using noninvasive ultrasound imaging of the right hemidiaphragm. **Results:** In both groups, restricted diaphragmatic excursion was observed only during the procedure. There was no statistical difference between the two pressure levels studied. **Conclusion:** The amplitude of diaphragmatic excursion was restricted during abdominal insufflation, independent of the pressure level (within the 10-15 mmHg range), during the study period.

Keywords: Pneumoperitoneum/chemically induced; Carbon dioxide; Diaphragm; Video-assisted surgery; Swine

* Trabalho realizado no Laboratório de Cirurgia Experimental da Universidade do Estado do Pará - UEPA - Belém (PA) Brasil.

1. Mestre em Motricidade Humana pela Universidade do Estado do Pará - UEPA - Belém (PA) Brasil e Professora Assistente II de Fisioterapia nas enfermidades e distúrbios funcionais do sistema cardiovascular e respiratório da Universidade da Amazônia - UNAMA - Belém (PA) Brasil.

2. Professor Adjunto Coordenador da Disciplina de Técnica Operatória, Cirurgia Experimental e Anestesiologia da Universidade do Estado do Pará - UEPA - Belém (PA) Brasil.

3. Acadêmico do Curso de Medicina da Universidade do Estado do Pará - UEPA - Belém (PA) Brasil .

Endereço para correspondência: Valéria Marques Ferreira Normando. Av. Alcindo Cacela, 727, Umarizal - CEP: 66060-000, Belém - PA, Brasil. Tel.: 55 91 3246-1233. E-mail: normando@amazon.com.br

Recebido para publicação em 23/6/04. Aprovado, após revisão, em 30/6/05.

INTRODUÇÃO

A intervenção cirúrgica por via laparoscópica compreende uma gama de operações modernas denominadas “minimamente invasivas”. Esses procedimentos expandiram-se rapidamente por oferecerem diversas vantagens sobre a via convencional. A diminuição da dor pós-operatória proporcionou um impacto humanístico, a diminuição da permanência hospitalar e o retorno precoce às atividades do trabalho deram o impacto socioeconômico, e as cicatrizes mínimas favoreceram os aspectos estéticos.⁽¹⁾

Porém, apesar de esse método cirúrgico ser minimamente invasivo, não devem ser desprezadas as possibilidades de complicações pós-operatórias, entre as quais se destacam as complicações pulmonares, consideradas fator de alta taxa de morbidade nos procedimentos cirúrgicos do abdômen superior.⁽²⁾

Entre os achados técnicos revolucionários, o pneumoperitônio, indispensável à videolaparoscopia, tornou-se objetivo de importantes estudos, justificados pelo elevado grau de morbidade imposto pelo procedimento. O pneumoperitônio causa o aumento da pressão intra-abdominal (PIA), proporcionando deslocamento cefálico do diafragma e conseqüente redução dos volumes pulmonares. Portanto, este procedimento pode levar a graves complicações cardiorrespiratórias se o volume de ar for injetado aleatoriamente. À medida que se aumenta a PIA e se melhora o campo cirúrgico, aumentam as complicações não só transoperatórias, mas as pós-operatórias também, principalmente se as cirurgias incluírem o andar superior do abdômen.⁽³⁾

A restrição mecânica à mobilidade diafragmática também promove um desequilíbrio na relação ventilação/perfusão, repercutindo em hipoventilação de áreas pulmonares ventilatório-dependentes.⁽⁴⁾ Portanto, não somente a fraqueza muscular diafragmática, mas também a falência no recrutamento muscular aumentam a morbidez do pneumoperitônio. Isto propicia a ocorrência de atelectasias e subseqüentes infecções respiratórias, mais freqüentemente em regiões basais dos pulmões.⁽⁵⁾

Em que pese toda morbidez sobre um único músculo, o diafragma, a resposta ao estímulo do nervo frênico é considerada normal, e isto enfatiza o potencial para o movimento voluntário do

diafragma e a esperada resposta às manobras cinesioterapêuticas.⁽⁶⁾

Alguns autores estudaram o movimento diafragmático após colecistectomias por videolaparoscopia através de pletismografia por indutância e concluíram que o enfoque instrutivo ofertado pela abordagem fisioterapêutica no pré e pós-operatório foi um método profilático importante no combate às complicações pulmonares.⁽⁵⁾

Os caminhos para se interpretar a mobilidade diafragmática de forma não invasiva não são tão diversificados, porém a ultra-sonografia permite monitorar a excursão diafragmática por meio da amplitude, tempo inspiratório e expiratório e espessura muscular, tomando como referência a zona de aposição. Portanto, este método quantifica o músculo e o seu monitoramento permite estabelecer níveis de tolerância para se definir até onde o músculo diafragma sustentará seu deslocamento e correlacioná-lo com efeitos deletérios na mecânica respiratória.⁽⁷⁾

Sendo assim, ao se reconhecer o papel da ultra-sonografia diafragmática, justifica-se neste trabalho confirmar os níveis de PIA induzidos pela insuflação intra-abdominal de dióxido de carbono que proporcionem um campo operatório satisfatório e seguro, com o mínimo comprometimento da mobilidade diafragmática, fator de risco para as complicações pulmonares, com implicação na atenção à reabilitação funcional no período pós-operatório.

Desta forma, objetivam os autores estudar as repercussões de diferentes pressões de pneumoperitônio na amplitude diafragmática de suínos.

MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido sob aprovação do Comitê de Ética do Hospital Universitário João de Barros Barreto, de Belém (PA). O estudo foi conduzido obedecendo-se, rigorosamente, aos princípios éticos do Colégio Brasileiro de Experimentação Animal e de acordo com a Lei Federal nº 6.638, de 8 de maio de 1979.

Para a realização deste estudo, foram utilizados catorze suínos da raça Landrace, machos, com idades entre 30 e 45 dias, pesando entre cinco e sete quilos, provenientes do Sistema Penal de Americana (Belém). Os animais passaram por um período

de adaptação de quinze dias no Laboratório de Cirurgia Experimental da Universidade do Estado do Pará, onde foi realizado o experimento, tendo sido mantidos em ambiente controlado e recebido água e ração *ad libitum* durante todo o estudo.

A amostra foi dividida em dois grupos, contendo sete animais cada, a saber: grupo A, em que os animais foram submetidos à insuflação contínua da cavidade abdominal com dióxido de carbono de forma a manter uma pressão de 10 mmHg, por 60 minutos; e grupo B, em que os animais foram submetidos à insuflação contínua da cavidade abdominal com dióxido de carbono de forma a manter uma pressão de 15 mmHg, também por 60 minutos.

Antes de serem submetidos ao procedimento cirúrgico, os animais passaram por um período de doze horas de jejum.

A indução anestésica foi protocolada de forma que os animais pudessem permanecer intubados sob ventilação espontânea, facilitando assim a aferição do volume corrente. Para tanto, foi realizada injeção via intramuscular, na região glútea, de 2 ml de cloridrato de tiazina associados a 2 ml de cloridrato de ketamina. Para a manutenção anestésica, foi administrada ao animal, a cada 30 minutos, uma dose combinada de 1 ml de cloridrato de tiazina com 1 ml de cloridrato de ketamina, também por via intramuscular na região glútea.

Ao se encontrar em plano anestésico, os animais foram submetidos à tricotomia da região ântero-lateral do hemitórax direito, utilizando-se, para isso, barbeador elétrico da marca *Oster*®.

Após dez minutos de indução anestésica, os animais foram colocados em decúbito dorsal horizontal a zero grau, em uma mesa operatória dotada de calha de alumínio, forrada e revestida de espuma e campos cirúrgicos, tendo sido suas patas fixadas à mesa por meio de presilhas.

Para a insuflação da cavidade abdominal, foi utilizado um cilindro de dióxido de carbono acoplado a um manômetro devidamente ajustado de forma a liberar o gás na pressão de uma atmosfera. Associado a este sistema foi acoplado um fluxômetro para o controle da liberação do gás. A monitoração foi realizada por meio de manômetro de mercúrio no sistema de três vias, para a saída do gás. A aferição da pressão e a insuflação da cavidade abdominal foram realizadas através da agulha de Verres, devidamente inserida na cava-

de abdominal dois centímetros acima da cicatriz umbilical do animal.

A análise da mobilidade diafragmática foi realizada por meio da obtenção de imagens de ultrasonografia diafragmática, tendo sido utilizado um aparelho de ultra-som modelo SDU450 da marca *Shimadzu*®.

Para a realização do exame, um transdutor de 7,5 MHz foi devidamente posicionado na região lateral do hemitórax direito na linha axilar anterior, no plano longitudinal diafragmático, na altura do nono espaço intercostal, tendo sido tomado como referência a borda inferior do nono arco costal. Os exames foram documentados por imagens fotográficas digitais e analisados posteriormente. As imagens sagitais foram obtidas até a excursão máxima ser atingida. A excursão diafragmática foi monitorada em tempo real apenas durante a respiração basal, em que a margem superior da aposição diafragmática se tornava visivelmente acentuada entre a luminescência hepática e a opacidade causada pelo ar intrapulmonar.

A ultra-sonografia foi realizada nos seguintes tempos: pré-insuflação; cinco minutos após insuflação; trinta minutos após insuflação; sessenta minutos após insuflação; e após cinco minutos da desinsuflação parcial da cavidade abdominal. A amplitude diafragmática foi obtida a partir da diferença entre a mobilidade diafragmática durante os tempos inspiratório e expiratório.

Os dados foram anotados no protocolo do trabalho e inseridos em um banco de dados do *software Epilnfo* versão 6.04.

A análise estatística foi feita em duas etapas: na primeira analisou-se a diferença dentro de cada grupo e verificou-se a significância estatística em cada fase do procedimento cirúrgico; na segunda, foi analisada a diferença das fases entre os dois grupos estudados. Para tanto, foi aplicado o Teste t de Student, sendo na primeira etapa para dados pareados e na segunda para amostras independentes. Foi adotado como índice de significância $\alpha = 0,05$ ou 5%.

RESULTADOS

As Tabelas 1 e 2 representam o gradiente da mobilidade diafragmática no tempo inspiratório em relação ao tempo operatório (média \pm desvio padrão) dos grupos A e B. Observa-se que não hou-

TABELA 1

Valores da mobilidade diafragmática no tempo inspiratório, em cada fase do procedimento, dos animais do grupo A (pneumoperitônio a 10 mmHg)

Tempo	Animal							Média	DP
	1	2	3	4	5	6	7		
Pré Ins (mm)	16	9	9	10	10	13	10	11,0	± 2,6
5 PI (mm)	9	10	6	5	7	10	6	7,6 ^{*,**}	± 2,1
30 PI (mm)	8	7	5	7	6	9	9	7,3 ^{**}	± 1,5
60 PI (mm)	6	8	6	8	6	8	11	7,6 ^{*,**}	± 1,8
Desins (mm)	11	9	9	11	11	10	11	10,3	± 1,0

* p < 0,05 quando comparado com o tempo Pré ins (Teste t de Student – dados pareados)

** p < 0,05 quando comparado com o tempo Desins (Teste t de Student – dados pareados)

DP: desvio padrão; Pré Ins: pré-insuflação; PI: minutos após insuflação; Desins: após cinco minutos da desinsuflação parcial da cavidade abdominal.

TABELA 2

Valores da mobilidade diafragmática no tempo inspiratório, em cada fase do procedimento, dos animais do grupo B (pneumoperitônio a 15 mmHg)

Tempo	Animal							Média	DP
	1	2	3	4	5	6	7		
Pré Ins (mm)	11	8	17	9	13	13	9	11,4	± 3,2
5 PI (mm)	7	8	9	5	7	11	8	7,9 ^{*,**}	± 1,9
30 PI (mm)	5	4	6	5	6	11	8	6,4 [*]	± 2,4
60 PI (mm)	7	7	5	5	7	9	11	7,3 [*]	± 2,1
Desins (mm)	11	9	8	10	12	12	10	10,3	± 1,5

* p < 0,05 quando comparado com o tempo Pré ins e com o tempo Desins (Teste t de Student – dados pareados)

** p < 0,05 quando comparado com o tempo 30 PI (Teste t de Student – dados pareados)

DP: desvio padrão; Pré Ins: pré-insuflação; PI: minutos após insuflação; Desins: após cinco minutos da desinsuflação parcial da cavidade abdominal.

ve diferença entre os grupos (p > 0,05). Ocorreu diferença estatística somente entre alguns tempos do procedimento, analisados dentro do mesmo grupo. O mesmo é observado nas Tabelas 3 e 4, as quais representam o gradiente da mobilidade diafragmática no tempo expiratório em relação ao tempo operatório (média ± desvio padrão) dos grupos A e B.

Os níveis pressóricos aplicados não interferiram no grau de mobilidade do músculo diafragma. Logo, a restrição mecânica do diafragma ocorreu durante o procedimento, ou seja, durante o aumento da PIA. Ao cessar o pneumoperitônio, a mecânica respiratória tomou proporções fisiológicas, não revelando restrição ventilatória ao término do procedimento.

TABELA 3

Valores da mobilidade diafragmática no tempo expiratório, em cada fase do procedimento, dos animais do grupo A (pneumoperitônio a 10 mmHg)

Tempo	Animal							Média	DP
	1	2	3	4	5	6	7		
Pré Ins (mm)	12	5	5	7	6	9	6	7,1	± 2,5
5 PI (mm)	8	9	4	4	5	8	9	6,7	± 2,3
30 PI (mm)	7	5	4	6	4	6	8	5,7	± 1,5
60 PI (mm)	5	6	4	7	4	5	9	5,7	± 1,8
Desins (mm)	6	5	4	7	8	4	6	5,7	± 1,5

p > 0,05 (Teste t de Student – dados pareados); DP: desvio padrão; Pré Ins: pré-insuflação; PI: minutos após insuflação; Desins: após cinco minutos da desinsuflação parcial da cavidade abdominal.

TABELA 4

Valores da mobilidade diafragmática no tempo expiratório, em cada fase do procedimento, dos animais do grupo B (pneumoperitônio a 15 mmHg)

Tempo	Animal							Média	DP
	1	2	3	4	5	6	7		
Pré Ins (mm)	7	5	9	5	9	8	4	6,7	± 2,1
5 PI (mm)	6	6	7	4	5	9	7	6,3*	± 1,6
30 PI (mm)	4	3	5	3	4	9	6	4,9	± 2,1
60 PI (mm)	6	6	4	3	6	6	10	5,9	± 2,2
Desins (mm)	9	5	5	6	8	6	5	6,3	± 1,6

* $p < 0,05$ quando comparado com o tempo 30 PI (Teste t de Student – dados pareados); DP: desvio padrão; Pré Ins: pré-insuflação; PI: minutos após insuflação; Desins: após cinco minutos da desinsuflação parcial da cavidade abdominal.

DISCUSSÃO

A videocirurgia tornou-se tão popular nestes últimos vinte anos, que o domínio de sua técnica pertence à grande maioria dos cirurgiões e, sem dúvida, contribuiu soberbamente para o engrandecimento de cada especialidade que se propôs a colocá-la em prática.⁽⁸⁾

Este procedimento expandiu-se rapidamente por oferecer vantagens sobre a via convencional. Desta forma, esperava-se que a proporção evolutiva deste procedimento minimamente invasivo repercutisse na redução das complicações operatórias, o que não ocorreu. Foram demonstrados, em vários estudos, fatores referentes à nocividade do método, entretanto, por um caminho fisiopatológico diferente do da cirurgia tradicional.⁽⁹⁻¹⁵⁾

No presente estudo, optou-se por utilizar 10 e 15 mmHg de PIA porque o primeiro valor é considerado como valor mínimo na obtenção de um campo operatório seguro, e o segundo é o valor máximo utilizado na rotina dos procedimentos laparoscópicos.

A indução anestésica foi determinada de tal forma que os animais pudessem permanecer intubados, porém em ventilação espontânea, para o controle do volume corrente. Este procedimento teve por objetivo facilitar o estudo da amplitude diafragmática pela ultra-sonografia, método seguro de análise não invasiva, uma vez que o comportamento ventilatório revela que a complacência pulmonar se reduz, gerando, conseqüentemente, o aumento da resistência das vias aéreas, com desigualdade na distribuição da ventilação para áreas pulmonares não dependentes, haja vista que a re-

composição volumétrica traduz a estabilidade ventilatória. Estes resultados foram traduzidos em estudos que consideraram a idéia de independência para os valores pressóricos no que diz respeito à compressão volumétrica gerada pelo posicionamento cefálico do diafragma, pois ao se comparar os dois níveis de pressão (10 mmHg e 15 mmHg), a resposta não foi estatisticamente significativa, o que representou a readaptação volumétrica ao final do procedimento, ou seja, cinco minutos após a desinsuflação da cavidade abdominal, a qual perdurou por 60 minutos.⁽¹⁶⁻¹⁷⁾

A escolha de suínos como animais de experimentação deu-se por eles terem suas características anatômicas de órgãos internos similares às do ser humano, o que facilitou a execução do estudo proposto. Além disso, há relatos em que esses animais foram utilizados com êxito em experimentos anteriores.⁽¹⁸⁾

O músculo diafragma é citado em diversos estudos que correlacionam a patogênese das disfunções pulmonares pós-operatórias à configuração diafragmática. Isto pode sugerir que a restrição ventilatória associada à diminuição da mobilidade diafragmática representa fator de risco para as complicações pulmonares, principalmente em terço inferior do parênquima pulmonar bilateralmente, por serem estas regiões ventilatório-dependentes.^(5, 19)

Até a última década, a avaliação da excursão diafragmática era realizada tradicionalmente através da fluoroscopia, exame pelo qual se observa a interface de duas densidades que não necessariamente representam o diafragma. As desvantagens deste método de análise referem-se à exposição a

radiação, o que limita a duração dos estudos.⁽⁷⁾

Em contrapartida, a utilização da ultra-sonografia como método de análise por imagem foi destacada em diversos estudos, dentre eles estudos das doenças do tórax.⁽¹⁷⁾ Este exame de imagem tem sido usado como método seguro e alternativo para a avaliação qualitativa e quantitativa da excursão diafragmática, podendo ser observada uma larga variação da excursão diafragmática durante a respiração basal e profunda. Além disso, é uma forma não invasiva de se estudar a mobilidade diafragmática.⁽⁷⁾

Sendo assim, de forma não invasiva, o presente estudo revelou que a restrição mecânica do músculo diafragma ocorre durante o procedimento, ou seja, durante o aumento da PIA. Ao cessar o procedimento, a mecânica respiratória retoma proporções fisiológicas, não revelando restrição ventilatória. Portanto, considera-se que o efeito do procedimento não é o de abolir e sim de reduzir momentaneamente o estímulo contrátil do diafragma.

Um estudo chama a atenção para o pneumoperitônio residual no espaço supra-hepático avaliado duas horas após a desinsuflação intra-abdominal, porém sem correlacioná-lo a possíveis complicações pulmonares, haja vista que os valores da capacidade vital se mantiveram dentro da normalidade.⁽⁹⁾

Quanto à análise residual do pneumoperitônio, alguns autores avaliaram, por meio de telerradiografia simples e tomografia computadorizada, nove pacientes submetidos ao pneumoperitônio.⁽²⁰⁾ Utilizando o plano supino, os autores observaram a presença de gás residual localizado próximo à porção costal do diafragma. Pode ser esta a causa da irritabilidade deste músculo, o que favoreceria a diminuição de sua mobilidade.

Na abordagem geral e final dos resultados encontrados no presente estudo, em princípio, não se justificariam as possíveis complicações pulmonares pós-laparoscópicas. Entretanto, não é descartada a possibilidade de irritação frênica ocasionada pela localização do pneumoperitônio residual, o que não foi objeto de estudo neste experimento. Desta forma, esta linha metodológica poderá determinar pesquisas futuras que acompanhem e enriqueçam a literatura sobre o assunto.

Em conclusão, o pneumoperitônio causou uma diminuição da amplitude diafragmática. Entretanto,

essa diminuição foi observada somente durante a insuflação da cavidade abdominal e mostrou-se independente do nível pressórico compreendido na faixa de 10 a 15 mmHg. Portanto, essa faixa foi considerada segura para a utilização do pneumoperitônio.

REFERÊNCIAS

- Valezi AC, Rahal F. Repercussões do pneumoperitônio sobre o sistema venoso dos membros inferiores - estudo em porcas. *Rev Col Bras Cir.* 1999;26(1):45-9.
- Chuter TA, Weissman C, Starker PM, Gump FE. Effects of incentive spirometry on diaphragmatic function after surgery. *Surgery.* 1989;105(4):488-93.
- Mergh ACM, Oliveira CHS. Alterações pulmonares na cirurgia videolaparoscópica. *Rev Bras Anestesiol.* 1996;46(4):289-94.
- Sprung J, Whalley DG, Falcone T, Wilks W, Navratil JE, Bourke DL. The effects of tidal volume and respiratory rate on oxygenation and respiratory mechanics during laparoscopy in morbidly obese patients. *Anesth Analg.* 2003;97(1):268-74. Comment in: *Anesth Analg.* 2004;98(1):268; author reply 268-9.
- Chuter TA, Weissman C, Mathews DM, Starker PM. Diaphragmatic breathing maneuvers and movement of the diaphragm after cholecystectomy. *Chest.* 1990;97(5):1110-4.
- Dureuil B, Viies N, Cantineau JP, Aubier M, Desmots JM. Diaphragmatic contractility after upper abdominal surgery. *J Appl Physiol.* 1986;61(5):1775-80.
- Houston JG, Angus RM, Cowan MD, McMillan NC, Thomson NC. Ultrasound assessment of normal hemidiaphragmatic movement: relation to inspiratory volume. *Thorax.* 1994; 49(5):500-3.
- Raugh R, Hemmerling TM, Rist M, Jacobi KE. Influence of pneumoperitoneum and patient positioning on respiratory system compliance. *J Clin Anesth.* 2001;13(5):361-5.
- Benhamou D, Simonneau G, Poynard T, Goldman M, Chaput JC, Duroux P. Diaphragm function is not impaired by pneumoperitoneum after laparoscopy. *Arch Surg.* 1993;128(4):430-2.
- Moffa SM, Quinn JV, Slotman GJ. Hemodynamic effects of carbon dioxide pneumoperitoneum during mechanical ventilation and positive end-expiratory pressure. *J Trauma.* 1993;35(4):613-7; discussion 617-8.
- Cohen E, Mier A, Heywood P, Murphy K, Boulton J, Guz A. Excursion-volume relation of the right hemidiaphragm measured by ultrasonography and respiratory airflow measurements. *Thorax.* 1994; 49(9):885-9.
- McKenzie DK, Gandevia SC, Gorman RB, Southon FC. Dynamic changes in the zone of apposition and diaphragm length during maximal respiratory efforts. *Thorax.* 1994;49(7): 634-8.
- Gootesman E, McCool FD. Ultrasound evaluation of the paralyzed diaphragm. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997;155(5):1570-4.

14. Hachenberg T, Ebel C, Czorny M, Thomas H, Wendt M. Intrathoracic and pulmonary blood volume during CO₂ pneumoperitoneum in humans. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1997;42(7): 794-8.
15. Loeckinger A, Kleinsasser A, Hoermann C, Gassner M, Keller C, Lindner KH. Inert gas exchange during pneumoperitoneum at incremental values of positive end-expiratory pressure. *Anesth Analg.* 2000;90(2):466-71.
16. Normando VMF, Brito MVH, Araújo Jr FA, Albuquerque BCM. Repercussões respiratórias do pneumoperitônio induzido em suínos. *Acta Cir Bras.* 2004;19(6):664-9.
17. Andersson L, Lagerstrand L, Thorne A, Sollevi A, Brodin LA, Odenberg-Werner S. Effects of CO₂ pneumoperitoneum on ventilation-perfusion relationships during laparoscopic cholecystectomy. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2002;46(5): 552-60.
18. Rodrigues FCM. Efeitos do pneumoperitônio com gás carbônico e hélio na pressão de perfusão cerebral em modelo experimental de trauma crânio-encefálico [tese]. São Paulo: Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo; 1995.
19. Wait JL, Johnson RL. Patterns of shortening and thickening of human diaphragm. *J Appl Physiol.* 1997;83(4):1123-32.
20. Cho KC, Baker SR. Depiction of diaphragmatic muscle slips on supine plain radiographs: a sign of pneumoperitoneum. *Radiology.* 1997;203(2):431-3.