

FELIPE SILVEIRA REGO MONTEIRO DE ANDRADE

Estudo clínico da mecânica respiratória em equinos sob ventilação com volume controlado durante cirurgia artroscópica

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clínica Cirúrgica Veterinária da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências

Departamento:
Cirurgia

Área de concentração:
Clínica Cirúrgica Veterinária

Orientadora:
Prof^a Dr^a Aline Magalhães Ambrósio

São Paulo
2015

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virgínia Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da
Universidade de São Paulo)

T.3123
FMVZ

Andrade, Felipe Silveira Rego Monteiro de
Estudo clínico da mecânica respiratória em equinos sob ventilação com volume controlado
durante cirurgia artroscópica / Felipe Silveira Rego Monteiro de Andrade. -- 2015.
146 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia.
Departamento de Cirurgia, São Paulo, 2015.

Programa de Pós-Graduação: Clínica Cirúrgica Veterinária.

Área de concentração: Clínica Cirúrgica Veterinária.

Orientador: Profa. Dra. Aline Magalhães Ambrósio.

1. Ventilação. 2. PEEP. 3. Manobra de recrutamento alveolar. 4. Equino

I. Título.

RESUMO

ANDRADE, F. S. R. M. de. **Estudo clínico da mecânica respiratória em equinos sob ventilação com volume controlado durante cirurgia artroscópica.** [Clinical study of respiratory mechanic in horses undergoing volume controlled ventilation during arthroscopic surgery]. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Sabe-se que a anestesia geral por si só já é capaz de causar substancial depressão cardiovascular e respiratória em equinos e tal característica pode ser potencializada ainda mais pelo posicionamento do paciente em decúbito dorsal e pela administração de elevadas pressões intratorácicas durante as manobras de recrutamento utilizadas para reverter a hipoxemia. Sendo assim, o objetivo do atual estudo foi avaliar a mecânica respiratória e hemogasometria arterial após manobra de recrutamento alveolar e aplicação de PEEP para manutenção, em equinos ASA I e II submetidos à anestesia geral inalatória para cirurgia artroscópica, bem como qual o melhor valor da PEEP para manutenção do recrutamento alveolar. Para tanto foram utilizados 30 equinos, pesando em média 454 kg, submetidos a cirurgia artroscópica em decúbito dorsal, divididos aleatoriamente em 4 grupos, sendo eles: Controle; PEEP 7; PEEP 12; e PEEP 17. Os animais receberam xilazina (0,6 mg/kg) como MPA, seguida de indução anestésica (quetamina 2,2 mg/kg associado ao diazepam 0,05 mg/kg e EGG 10% 50 mg/kg) e anestesia inalatória com isoflurano. Os animais foram posicionados em decúbito dorsal e submetidos a ventilação com volume controlado (14ml/kg), FR de 7 mpm, relação I:E 1:3, PEEP 7 cmH₂O e FiO₂ de 0,7. Após período de instrumentação foi realizada MRA por titulação da PEEP a cada 5 minutos até alcançar PEEP de 22 cmH₂O, sendo que os animais do grupo Controle não receberam MRA, apenas manutenção com PEEP de 7 cmH₂O. Os animais dos outros grupos passaram pela MRA seguido de manutenção com suas PEEP de tratamento (7, 12 ou 17 cmH₂O). Os parâmetros de mecânica respiratória e hemogasometria arterial foram avaliados imediatamente antes da MRA; e 5, 10, 15, 20, 40, 60 e 80 minutos após a MRA. Foram também avaliadas a FC, PAS, PAM e PAD, porcentagem de anestésico inalatório inspirado e expirado, ETCO₂ e consumo de fármaco vasoativo. Os animais que receberam MRA apresentaram aumento na complacência estática e nos parâmetros de oxigenação após a manobra, nos animais do grupo PEEP 12 e 17 foi observada manutenção do incremento oriundo da MRA por pelo menos 80 minutos. Já os animais do grupo PEEP 7 apresentaram queda do incremento após 20 minutos

da manobra, assim como o grupo Controle apresentou queda nos parâmetros de oxigenação e ventilação ao longo do tempo, ambos indicando uma provável fechamento pulmonar devido a PEEP insuficiente para manutenção dos alvéolos abertos. Não foram observadas alterações cardiovasculares nos animais do estudo, apenas leve taquicardia transitória no grupo PEEP 17 logo após a MRA. Portanto as PEEP de 12 e 17 cmH₂O utilizadas após a MRA foram capazes de manter os alvéolos abertos, promovendo assim melhor trocas gasosas e o incremento na oxigenação e ventilação dos pacientes. Já os animais que receberam MRA e manutenção com PEEP de 7 cmH₂O, foram capazes de manutenção dos alvéolos abertos por apenas 20 minutos.

Palavras-chave: Ventilação. PEEP. Manobra de recrutamento alveolar. Equinos.

ABSTRACT

ANDRADE, F. S. R. M. de. **Clinical study of respiratory mechanic in horses undergoing volume controlled ventilation during arthroscopic surgery.** [Estudo clínico da mecânica respiratória em equinos sob ventilação com volume controlado durante cirurgia artroscópica]. 2015. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

It is known that general anaesthesia by its self is capable of causing substantial cardiovascular and respiratory depression in horses and this characteristic can be enhanced even more by patient positioned in dorsal recumbence and the administration of high intrathoracic pressures during recruitment manoeuvres used to reverse hypoxemia. Therefore, the aim of this study was to evaluate the respiratory mechanics and arterial blood gas analysis after recruitment manoeuvre and PEEP for maintenance, in horses ASA I and II undergoing general isoflurane-anaesthesia for arthroscopic surgery and what is the best value PEEP to maintain alveolar recruitment. Therefore, we used 30 horses, weighing on average 454 kg, which underwent arthroscopic surgery in the dorsal recumbence, randomly allocated into one of the 4 groups, as follows: Control; PEEP 7; PEEP 12; and PEEP 17. Animals received xylazine (0,6 mg/kg) as pre anaesthetic medication followed by anaesthesia induction (ketamine 2,2 mg/kg associated to diazepam 0,05 mg/kg and EGG 10% 50 mg/kg) and maintenance with isoflurane-anaesthesia. The animals were positioned in dorsal recumbence and submitted the volume-controlled ventilation (14ml/kg), RR: 7 bpm, I:E ratio 1:3, 7 cmH₂O of PEEP and FiO₂ 0,7. After instrumentation period was performed RM by PEEP titration every 5 minutes until reach 22 cmH₂O of PEEP, and the animals of control group did not receive RM, only maintenance with PEEP 7 cmH₂O. The animals of other groups went through the RM followed by maintenance with their treatment PEEP (7, 12 or 17 cmH₂O). The respiratory parameters and blood gas samples were assessed immediately before the RM; and 5, 10, 15, 20, 40, 60 and 80 minutes after the manoeuvre. We also assessed the HR, SAP, MAP and DAP, percentage of inhaled anaesthetic: inhaled and exhaled, ETCO₂ and vasoactive drug consumption. Animals receiving RM showed an increase in static compliance and oxygenation parameters after the manoeuvre, maintenance of the increase coming from the RM were observed in animals from PEEP 12 and 17 group, for at least 80 minutes. The animals in PEEP 7 group decreased the increase after 20 minutes of manoeuvre and the

control group decreased the parameters of oxygenation and ventilation over time, both indicating a probable pulmonary closure due to insufficient PEEP to maintain the alveoli opened. Cardiovascular changes were observed in the study animals, only mild transient tachycardia in PEEP 17 group soon after RM. Therefore, the PEEP 12 and 17 cmH₂O used after RM were able to keep the lung opened, thereby performing better gas exchange and the increase in the oxygenation and ventilation of patients. The animals receiving RM and maintenance PEEP 7 cmH₂O were able to maintain the alveoli open for only 20 minutes.

Keywords: Ventilation. PEEP. Alveolar recruitment manoeuvre. Horses.

INTRODUÇÃO

A anestesia geral inalatória é uma prática comum em cirurgia de equinos, um vez que os fármacos inalatórios empregados e a qualidade da anestesia permitem a sua utilização em procedimentos cirúrgicos de longa duração e em pacientes de alto risco. Equinos submetidos a anestesia geral inalatória apresentam complicações associadas tanto aos anestésicos inalatórios utilizados quanto relacionados ao decúbito em que o animal se encontra. Dentre os principais problemas podemos citar as dificuldades nas trocas gasosas, devido a diminuição da relação ventilação/perfusão (V/Q), atelectasia pulmonar e queda na pressão arterial.

A atelectasia pulmonar em equinos é produzida principalmente devido ao decúbito dorsal ou lateral, pois em dorsal os pulmões recebem a compressão do diafragma produzida pela compressão das vísceras abdominais e no decúbito lateral, o pulmão superior comprime o mediastino e conseqüentemente o pulmão inferior. Devido à perda de áreas funcionais dos pulmões, ocorre queda nas trocas gasosas, causando uma redução na pressão parcial de oxigênio arterial (PaO₂) e aumento na pressão parcial de dióxido de carbono arterial (PaCO₂) e prejudicando o funcionamento correto dos processos celulares.

Como medida para evitar ou até reverter a atelectasia pulmonar é empregada a ventilação controlada com pressão positiva intermitente (IPPV). Estudos mais recentes observaram que a simples instituição da ventilação controlada não apresentava tantos benefícios, pois era necessário a aplicação de outras técnicas como as manobras de recrutamento alveolares (MRA) e/ou aplicação de pressão positiva no final da expiração (PEEP), buscando assim abrir os alvéolos atelectásicos e fazer a manutenção destes abertos.

As MRA e a PEEP são técnicas baseadas na aplicação de pressão positiva intrapulmonar, na qual as MRA visam à utilização de pressões elevadas para que ocorra a abertura dos alvéolos pulmonares que estavam em estado de atelectasia, e a PEEP, a aplicação de pressão positiva no final da expiração, visa tanto recrutar alvéolos quando esta é titulada progressivamente, assim como mantê-los abertos quando apenas mantida em determinado valor que proporcione uma ventilação alveolar adequada.

A aplicação de IPPV e MRA para abertura de áreas pulmonares colapsadas em combinação a uma PEEP capaz de manter estas áreas abertas é bem estabelecida em seres humanos e conhecida como “open-lung-concept”. Estudos em pôneis e equinos utilizando este conceito demonstrou ganho nas trocas gasosas com melhora na oxigenação do paciente, provavelmente devido a abertura das áreas pulmonares colapsadas. Porém, até o atual estudo não foi

estabelecida a melhor PEEP capaz de fazer a manutenção destas áreas pulmonares abertas após a MRA na espécie em questão.

CONCLUSÃO

A manobra de recrutamento alveolar através de titulação da PEEP a cada 5 minutos, para equinos ASA I e II posicionados em decúbito dorsal foi eficiente na abertura de áreas de atelectasia pulmonar promovendo aumento de complacência estática e da relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$.

A PEEP de 12 e 17 cmH_2O foram adequadas para a manutenção dos parâmetros de oxigenação e mecânica pulmonar durante os 80 minutos de avaliação do estudo, sendo a PEEP de 7 cmH_2O capaz de manter o pulmão aberto por apenas 20 minutos, gerando perda em complacência estática e relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ a partir de 40 minutos.

Tal manobra de recrutamento alveolar provoca alterações cardiovasculares mínimas sob a utilização de fármaco vasoativo.

O tempo para execução da manobra de recrutamento alveolar foi adequado para procedimentos de 2 horas, podendo este ser aplicado na rotina clínica.

Diferentes valores de PEEP (7, 12 e 17 cmH_2O) utilizados durante o procedimento anestésico não foram capazes de evitar hipoxemia no período de recuperação pós anestésica.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, A.; SINGH, P.; DHIRAJ, S.; PANDEY, C.; SINGH, U. Oxygen in air (FiO₂ 0.4) improves gas exchange in young healthy patients during general anesthesia. **Canadian Journal of Anaesthesia**, v. 49, p. 1040 – 1043, 2002.
- ALMARAKBI, W. A.; FAWZI, H. M.; ALHASHEMI, J. A. Effects of four intraoperative ventilatory strategies on respiratory compliance and gas exchange during laparoscopic gastric banding in obese patients. **British Journal of Anaesthesia**, v. 102, p. 862 – 868, 2009.
- AMBRÓSIO, A. M.; IDA, K. K.; SOUTO, M. T.; OSHIRO, A. H.; FANTONI, D. T. Effects of positive end-expiratory pressure titration on gas exchange, respiratory mechanics and hemodynamics in anesthetized horses. **Veterinary Anaesthesia Analgesia**, v. 40, n. 6 , p. 564-572, 2013.
- AMBROSIO, A. M.; LUO, R.; FANTONI, D.T.; GUTIERRES, C.; LU, Q.; GU, W. J.; OTSUKI, D. A.; MALBOUISSON, L. M. S.; AULER, J. O. C.; ROUBY, J. J. Effects of positive end-expiratory pressure titration and recruitment maneuver on lung inflammation and hyperinflation in experimental acid aspiration-induced lung injury. **Anesthesiology**, v.117, p. 1322–1334, 2012.
- BECHARA, J. N.; FANTONI, D. T.; BARROS, P. S. M.; MARCHIONI, G. G.; CRUZ, R. S. F.; SILVA, L. C. L. C.; BONASSA, J. Estudo comparativo entre ventilação espontânea, ventilação com pressão positiva intermitente e ventilação com pressão controlada em equinos. Avaliação de parâmetros ventilatórios. **Ars Veterinária**, v. 12, n. 1, p. 36-43, 2004.
- BERNARD, G. R.; ARTIGAS, A.; BRIGHAM, K. L.; CARLET, J.; FALKE, K.; HUDSON, L.; LAMY, M.; LEGALL, J. R.; MORRIS, A.; SPRAGG, R. The American–European consensus conference on ARDS. Definitions, mechanisms, relevant outcomes, and clinical trial coordination. **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 149, p. 818–824, 1994.
- BLISSITT, K. J.; RAISIS, A. L.; ADAMS, V. J.; ROGERS, K. H.; HENLEY, W. E.; YOUNG, L. E. The effects of halothane and isoflurane on cardiovascular function in dorsally recumbent horses undergoing surgery. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 35, n. 3, p. 208–219, 2008.
- BÖHM, S. H.; MAISCH, S.; VON SANDERSLEBEN, A.; THAMM, O.; PASSONI, I.; MARTINEZ ARCA, J.; TUSMAN, G. The effects of lung recruitment on the Phase III slope of volumetric capnography in morbidly obese patients. **Anesthesia and Analgesia**, v.109, p. 151–159, 2009.
- BREEN, P. H.; MAZUMDAR, B. How does positive end-expiratory pressure decrease CO₂ elimination from the lung? **Respiratory Physiology**, v. 103, p. 233-242, 1996.
- BRINGEWATT, T.; HOPSTER, K.; KASTNER, S. B. R.; ROHN, K.; OHNESORGE, B. Influence of modified open lung concept ventilation on the cardiovascular and pulmonary function of horses during total intravenous anaesthesia. **Veterinary Record**, v.167, n. 26, p. 1002–1006, 2010.

- CANFRAN, S.; DE SEGURA, I. A. G.; CEDIEL, R.; GARCIA-FERNANDEZ, J. Effects of a stepwise lung recruitment manoeuvre and positive end-expiratory pressure on lung compliance and arterial blood oxygenation in healthy dogs. **Veterinary Journal**, v. 194, p. 89–93, 2012.
- CELEBI, S.; KÖNER, O.; MENDA, F.; KORKUT, K.; SUZER, K.; CAKAR, N. The pulmonary and hemodynamic effects of two different recruitment maneuvers after cardiac surgery. **Anesthesia and Analgesia**, v.104, p. 384–390, 2007.
- CLARKE, K. W.; HALL, L. W. A survey of anaesthesia in small animal practice: AVA/BSAVA report. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v.17, p. 4–10, 1990.
- DAY, T. K.; GAYNOR, J. S.; MUIR III, W. W.; BEDNARSKI, R. M.; MASON, D. E. Blood gas values during intermittent positive pressure ventilation and spontaneous ventilation in 160 anesthetized horses positioned in lateral or dorsal recumbency. **Veterinary Surgery**, v. 24, n. 3, p. 266-276, 1995.
- DONALDSON, L. L.; DUNLOP, G. S.; HOLLAND, M. S.; BURTON, B. A. The recovery of horses from inhalant anesthesia: a comparison of halothane and isoflurano. **Veterinary Surgery**, v. 29, n. 1, p. 92-101, 2000.
- DYHR, T.; NYGÅRD, E.; LAURSEN, N.; LARSSON, A. Both lung recruitment maneuver and PEEP are needed to increase oxygenation and lung volume after cardiac surgery. **Acta Anaesthesiologica Scandinavica**, v. 48, p. 187–197, 2004.
- DYSON, A.; STIDWILL, R.; TAYLOR, V.; SINGER, M. Tissue oxygen monitoring in rodent models of shock. **American Journal of Physiology Heart Circulation Physiology**, v. 293, n. 1, p. H526–H533, 2007.
- DYSON, D. H.; MAXIE, M. G.; SCHNURR, D. Morbidity and mortality associated with anesthetic management in small animal veterinary practice in Ontario. **Journal of American Animal Hospital Association**, v. 34, p. 325-335, 1998.
- EDNER, A.; NYMAN, G.; ESSÉN-GUSTAVSSON, B. The effects of spontaneous and mechanical ventilation on central cardiovascular function and peripheral perfusion during isoflurane anaesthesia in horses. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 32, n. 3, p. 136 – 46, 2005.
- ESKAROS, S. M.; PAPADAKOS, P. J.; LACHMANN, B. **Respiratory Monitoring. In: Miller's Anesthesia**. Ed. Miller RD Elsevier, Philadelphia, USA, 2010, p. 1411–1442.
- FANTONI, D. T.; ALVARENGA, J.; SILVA, L. C. L. C.; CORTOPASSI, S. R. G.; MIRANDOLA, R. M. S. Ventilação controlada mecânica em cavalos com o emprego de vecurônio. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 35, n. 4, p. 182-187, 1998.
- FANTONI, D. T.; CORTOPASSI, S. R. G.; BERNARDI, M. M. Anestésicos inalatórios. In: SPINOSA, H. S.; GÓRNIK, S. L.; BERNARDI, M. M. **Farmacologia aplicada à medicina veterinária**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2002, p. 105 – 116.

FANTONI, D. T.; MARCHIONI, G. G.; IDA, K. K. Effect of ephedrine and phenylephrine on cardiopulmonary parameters in horses undergoing elective surgery. **Veterinary Anaesthesia Analgesia**, v. 40, p. 367–374, 2013.

GROSENBAUGH, D. A.; MUIR, W. W. Cardiorespiratory effects of sevoflurane, isoflurane, and halothane anesthesia in horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 59, n. 1, p. 101-106, 1998.

HALL, L. W.; GILLESPIE, J. R.; TYLER, W. S. Alveolar-arterial oxygen tension differences in anaesthetised horses. **British Journal of Anaesthesia**, v. 40, n. 8, p. 560-568, 1968.

HALTER, J. M.; STEINBERG, J. M.; SCHILLER, H. J.; DA SILVA, M.; GATTO, L.A.; LANDAS, S.; NIEMAN, G. F. Positive end-expiratory pressure after a recruitment maneuver prevents both alveolar collapse and recruitment/derecruitment. **American Journal Respiratory Critical Care Med**, v. 167, p. 1620 –1626, 2003.

HEDENSTIERNA, G. Gas exchange pathophysiology during anesthesia. **Anesthesiology Clinics of North America**, v. 1, n.1, p. 113–127, 1998.

HEDENSTIERNA, G.; EDMARK, L. Mechanisms of atelectasis in the perioperative period. **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, v. 24, n. 2, p. 157 – 169, 2010.

HEDENSTIERNA, G.; NYMAN, G.; KVART, C.; FUNKQUIST, B. Ventilation-perfusion relationships in the standing horse: an inert gas elimination study. **Equine Veterinary Journal**, v. 19, n. 6, p. 514-519, 1987.

HOPSTER, K.; KASTNER, S. B. R.; ROHN, K.; OHNESORGE, B. Intermittent positive pressure ventilation with constant positive end-expiratory pressure and alveolar recruitment manoeuvre during inhalation anaesthesia in horses undergoing surgery for colic, and its influence on the early recovery period. **Veterinary Anaesthesia Analgesia**, v. 38, n. 3, p. 169–177, 2011.

HUBBELL, J. A. E.; AARNES, T. K.; BEDNARSKI, R. M.; LERCHE, P.; MUIR, W. W. Effect of 50% and maximal inspired oxygen concentrations on respiratory variables in isoflurane-anesthetized horses. **BMC Veterinary Research**, v. 7, n. 1, p 23, 2011.

HUBBELL, J. A. E.; MUIR, W. W. Rate of rise of arterial carbon dioxide tension in the halothane anesthetized horse. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 186, n. 5, p. 374-376, 1985.

IANNUZZI, M.; DE SIO, A.; DE ROBERTIS, E.; PIAZZA, O.; SERVILLO, G.; TUFANO, R. Different patterns of lung recruitment maneuvers in primary acute respiratory distress syndrome: effects on oxygenation and central hemodynamics. **Minerva Anestesiologica**, v. 76, n. 9, p. 692–698, 2010.

IDA, K. K.; FANTONI, D. T.; SOUTO, M. T.; OTSUKI, D. A.; ZOPPA, A. L.; SILVA, L. C.; AMBRÓSIO, A. M. Effect of pressure support ventilation during weaning on ventilation and oxygenation indices in healthy horses recovering from general anesthesia. **Veterinary Anaesthesia Analgesia**, v. 40, n. 4, p. 339-350, 2013.

JOHNSTON, G. M.; EASTMENT, J. K.; TAYLOR, P. M.; WOOD, J. L. Is isoflurane safer than halothane in equine anaesthesia? Results from a prospective multicentre randomized controlled trial 2. **Equine Veterinary Journal**, v. 36, p. 64–71, 2004.

JOHNSTON, G. M.; EASTMENT, J. K.; WOOD, J. L. N.; TAYLOR, P. M. The confidential enquiry into perioperative equine fatalities (CEPEF): mortality results of phases 1 and 2. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 29, n. 4, p. 159-170, 2002.

JOHNSTON, G. M.; TAYLOR, P. M.; HOLMES, M. A.; WOOD, J. L. Confidential enquiry of perioperative equine fatalities (CEPEF-1): preliminary results. **Equine Veterinary Journal**, v. 27, n. 3, p. 193-200, 1995.

KLEMM, M.; ALVARENGA, J.; FANTONI, D. T.; SILVA, L. C. L. C.; AULER, J. O. Estudo comparativo dos efeitos da ventilação mecânica controlada (VMC) com ou sem o emprego da pressão positiva no final da expiração (PEEP) sobre a variação da pressão interpleural em anestesia equina. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 35, n. 6, p. 260-265, 1998.

LACHMANN, B. Open the lung and keep the lung open. **Intensive Care Medicine**, v. 18, p. 319 – 321, 1992.

LUCANGELO, U.; BERNABÉ, F.; BLANCH, L. Respiratory mechanics derived from signals in the ventilator circuit. **Respiratory Care**, v. 50, n. 1, p.55-65, 2005.

LUNN, J. N.; MUSHIN, W. W. Mortality associated with anaesthesia. **Anaesthesia**, v. 37, n. 8, p. 856, 1982.

MALBOUISSON, L. M. S.; HUMBERTO, F.; RODRIGES, R. R.; CARMONA, M. J. C.; AULER JR, J. O . C. Atelectasias durante anestesia: fisiopatologia e tratamento. **Revista Brasileira de Anestesiologia**, v. 58, n. 1, p. 73-83, 2008.

MARNTELL, S.; NYMAN, G.; HEDENSTIERNA, G. High inspired oxygen concentrations increase intrapulmonary shunt in anaesthetized horses. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 32, p. 338-347, 2005.

MASON, D. E.; MUIR, W. W.; WADE, A. Arterial blood gas tensions in the horse during recovery from anesthesia. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 190, n. 8, p. 989-994, 1987.

MCDONELL, W. Respiratory system. In: THURMON, J. C.; TRANQUILLI, W. J.; BENSON, G. J. **Lumb and Jones' veterinary anesthesia**. 3. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 1996. p. 928.

MCMURPHY, R. M.; CRIBB, P. H. Alleviation of postanesthetic hypoxemia in the horse. **The Canadian Veterinary Journal**, v. 30, n. 1, p. 37-41, 1989.

MELERO, A.; VALLE´S, J.; VILA, P.; CANET, J.; VIDAL, F. Anesthesia recovery, gas exchange and postoperative hepatic and renal function in patients with morbid obesity undergoing bariatric surgery: comparison of the effects of halothane, isoflurane and fentanyl. **Revista Española de Anestesiología y Reanimación**, v. 40, p. 268–272, 1993.

MOENS, Y.; BOEHM, S. Ventilating horses: moving away from old paradigms. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 38, n. 3, 2011.

NEUMANN, P.; ROTHEN, H. U.; BERGLUND, J. E.; VALTYSSON, J.; MAGNUSSON, A.; HEDENSTIERNA, G. Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anaesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. **Acta Anaesthesiologica Scandinavica**, v. 43, p. 295–301, 1999.

NIELSEN, J.; ØSTERGAARD, M.; KJAERGAARD, J.; TINGLEFF, J.; BERTHELSEN, P. G.; NYGÅRD, E.; LARSSON, A. Lung recruitment maneuver depresses central hemodynamics in patients following cardiac surgery. **Intensive Care Medicine**, v. 31, p. 1189–1194, 2005.

NYMAN, G.; FUNKQUIST, B.; KVART, C.; FROSTELL, C.; TOKICS, L.; STRANDBERG, A.; LUNDQUIST, H.; LUNDH, B.; BRISMAR, B.; HEDENSTIERNA, G. Atelectasis causes gas exchange impairment in the anaesthetised horse. **Equine Veterinary Journal**, v. 22, n. 5, p. 317–324, 1990.

NYMAN, G.; HEDENSTIERNA, G. Ventilation-perfusion relationships in the anaesthetised horse. **Equine Veterinary Journal**, v. 21, n. 4, p. 274–281, 1989.

ODENSTEDT, H.; LINDGREN, S.; OLEGÅRD, C.; ERLANDSSON, K.; LETHVALL, S.; ANEMAN, A.; STENQVIST, O.; LUNDIN, S. Slow moderate pressure recruitment maneuver minimizes negative circulatory and lung mechanic side effects: Evaluation of recruitment maneuvers using electric impedance tomography. **Intensive Care Medicine**, v. 31, p. 1706–1714, 2005.

RAISIS, A. L.; BLISSIT, K. J.; HENLEY, W.; ROGERS, K.; ADAMS, V.; YOUNG, L. E. The effects of halothane and isoflurane on cardiovascular function in laterally recumbent horses. **British Journal of Anaesthesia**, v. 95, n. 3, p. 317–325, 2005.

REIS MIRANDA, D.; GOMMERS, D.; STRUIJS, A.; MEEDER, H.; SCHEPP, R.; HOP, W.; BOGERS, A.; KLEIN, J.; LACHMANN, B. The open lung concept: effects on right ventricular afterload after cardiac surgery. **British Journal of Anaesthesia**, v. 93, p. 327–332, 2004.

RIMENSBERGER, P.; COX, P.; FRNDOVA, H.; BRYAN, A. The open lung during small tidal volume ventilation: concepts of recruitment and “optimal” positive end-expiratory pressure. **Critical Care Medicine**, v. 27, n. 9, p. 1946–1952, 1999.

SANTOS, M.; FUENTE, M.; GARCIA-ITURRALDE, P.; HERRAN, R.; LOPEZ-SANTOMAN, J.; TENDILLO, F. J. Effects of alpha-2 adrenoceptor agonists during recovery from isoflurane anaesthesia in horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 35, n. 2, p. 170–175, 2003.

SANTOS, M.; IBANCOVICH, J. A.; LÓPEZ-SANROMÁN, F. J.; TENDILLO F. J. Effects of single hyperinflation using a sustained high pressure manoeuvre during inhalation anaesthesia in horses. **The Veterinary Journal**, v. 197, p. 892–895, 2013.

SCHATZMANN, U.; KOEHLI, M.; DUDAN, F.; ROHR, W.; JONES, R. S. Effect of postural changes on certain circulatory and respiratory values in the horse. **American Journal of Veterinary Research**, v. 43, n. 6, p. 1003-1005, 1982.

SCHILLING, T.; KOZIAN, A.; HUTH, C.; BÜHLING, F.; KRETZSCHMAR, M.; WELTE T.; HACHENBERG, T. The □pulmonary immune effects of mechanical ventilation in patients undergoing □thoracic surgery. **Anesthesia and Analgesia**, v. 101, n. 4, p. 957 – 965, 2005.

SCHURMANN, P.; HOPSTER, K.; ROHN, K.; OHNESORGE, B. Optimized gas exchange during inhalant anaesthesia in horses using “open lung concept” ventilation. **Pferdeheilkunde**, v. 24, p. 236–241, 2008.

SHAWLEY, R. V.; MANDSAGER, R. O. Clinical use of positive-pressure ventilation in the horse. **The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice**, v. 6, n. 3, p. 575-585, 1990.

SLUTSKY, A. S. Lung injury caused by mechanical ventilation. **Chest**, v. 116, n. 1, p. 9S–15S, 1999.

STAFFIERI, F.; BAUQUIER, S. H.; MOATE, P. J.; DRIESSEN, B. Pulmonary gas exchange in anaesthetised horses mechanically ventilated with oxygen or a helium/oxygen mixture. **Equine Veterinary Journal**, v. 41, n. 8, p. 747–752, 2009.

STAFFIERI, F.; DE MONTE, V.; DE MARZO, C.; GRASSO, S.; CROVACE, A. Effects of two fractions of inspired oxygen on lung aeration and gas exchange in cats under inhalant anaesthesia. **Veterinary Anaesthesia and Analgesia**, v. 37, p. 483–490, 2010a.

STAFFIERI, F.; DE MONTE, V.; DE MARZO, C.; SCRASCIA, F.; CROVACE, A. Alveolar recruiting maneuver in dogs under general anesthesia: effects on alveolar ventilation, gas exchange, and respiratory mechanics. **Veterinary Research Communications**, v. 34, p. 131–134, 2010b.

STAFFIERI, F.; FRANCHINI, D.; CARELLA, G.; MONTANARO, M.; VALENTINI, V.; DRIESSEN, B.; GRASSO, S.; CROVACE, A.; Computed tomographic analysis of the effects of two inspired oxygen concentrations on pulmonary aeration in anesthetized and mechanically ventilated dogs. **American Journal of Veterinary Research**, v. 68, p. 925 – 931, 2007.

STEFFEY, E. P.; DUNLOP, C. I.; FARVER, T. B.; WOLINER, M. J.; SCHULTZ, L. J. Cardiovascular and respiratory measurements in awake and isoflurane-anesthetized horses. **American Journal of Veterinary Research**, v. 48, n. 1, p. 7-12, 1987.

STEFFEY, E. P.; KELLY, A. B.; HODGSON, D. S. Effect of body posture on cardiopulmonary function in horses during five hours of constant-dose halothane anesthesia. **American Journal of Veterinary Research**, v. 51, n. 11, p. 11–16, 1990.

STEFFEY, E. P.; WHEAT, J. D.; MEAGHER, D. M.; NORRIE, R. D.; MCKEE, J.; BROWN, M.; ARNOLD, J. Body position and mode of ventilation influences arterial pH, oxygen, and carbon dioxide tensions in halothane-anesthetized horses. **American Journal of**

Veterinary Research, v. 38, n. 3, p. 378-382, 1977.

STEINBERG, J. M.; SCHILLER, H. J.; HALTER, J. M.; GATTO, L.A.; LEE, H. M.; PAVONE, L. A. Alveolar □ instability causes early ventilator induced lung injury independent of neutro- □ phils. **American Journal Respiratory Critical Care Medicine**, v. 69, p. 57 – 63, 2004.□

TUSMAN, G.; BELDA, J. F. Treatment of anesthesia-induced lung collapse with lung recruitment maneuvers. **Current Anaesthesia & Critical Care**, v. 21, p. 244 – 249, 2010.

TUSMAN, G.; BÖHM, S. H. Prevention and reveral of lung collapse during the intra-operative period. **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, v. 24, n. 2, p.183–97, 2010.

TUSMAN, G.; BÖHM, S.; TEMPRA, A.; MELKUN, F.; GARCÍA, E.; TURCHETTO, E.; MULDER, P.; LACHMANN, B. Effects of recruitment maneuver on atelectasis in anesthetized children. **Anesthesiology**, v. 98, p. 14–22, 2003.

TUSMAN, G.; BOHM, S. H.; SUAREZ-SIPMANN, F.; SCANDURRA, A.; HEDENSTIERNA, G. Lung recruitment and positive end-expiratory pressure have different effects on CO2 elimination in healthy and sick lung. **Anesthesia and Analgesia**, v. 111, n. 4, p. 968-977, 2010.

TUSMAN, G.; BÖHM, S. H.; SUAREZ-SIPMANN, F.; TURCHETTO, E. Alveolar recruitment improves ventilatory efficiency of the lungs during anesthesia. **Canadian Journal of Anaesthesia**, v. 51, p. 723–727, 2004.

TUSMAN, G.; BÖHM, S.; VAZQUEZ DE ANDA, G.; DO CAMPO, J.; LACHMANN, B.; ‘Alveolar recruitment strategy’ improves arterial oxygenation during general anaesthesia. **British Journal of Anaesthesia**, v. 82, p. 8–13, 1999.

WEAVER, B. M.;WALLEY, R. V. Ventilation and cardiovascular studies during mechanical control of ventilation in horses. **Equine Veterinary Journal**, v. 7, p. 9-15, 1975.

WETTSTEIN, D.; MOENS, Y.; JAEGGIN-SCHMUCKER, N.; BÖHM, S. H.; ROTHEN, H. U.; MOSING, M.; KÄSTNER, S. B. R.; SCHATZMANN, U. Effects of an alveolar recruitment maneuver on cardiovascular and respiratory parameters during total intravenous anesthesia in ponies. **American Journal of Veterinary Research**, v. 67, n. 1, p. 152–159, 2006.

WHITEHAIR, K. J.; STEFFEY, E. P.; WILLITS, N. H.; WOLINER, M. J. Recovery of horses from inhalation anesthesia. **American Journal of Veterinary Research**, v. 54, n. 10, p. 1693-1702, 1993.

WILSON, D. V.; MCFEELY, A. M. Positive end-expiratory pressure during colic surgery in horses: 74 cases (1986- 1988). **Journal of the American Veterinary Medical Association** v. 199, p. 917-921, 1991.

WOLTHUIS, E. K.; VLAAR, A. P.; CHOI, G.; ROELOFS, J. J.; JUFFERMANS, N. P.; SCHULTZ, M. J. Mechanical ventilation using non-injurious □ ventilation settings causes lung injury in the absence of pre-existing lung □ injury in healthy mice. **Critical Care**, v. 13, n. 1, p. R1, 2009.

WRIGHT, B. D.; HILDEBRAND, S. V. An evaluation of apnea or spontaneous ventilation in early recovery following mechanical ventilation in the anesthetized horse. **Veterinary Anesthesia and Analgesia**, v. 28, n. 1, p. 26-33, 2001.