

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor ,
o texto completo desta dissertação
será disponibilizado somente a partir
de 16/02/2020.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

CARACTERIZAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTIVIDADE RENAL E
PADRONIZAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA E
DOPPLERFLUXOMÉTRICA RENAL DE MUARES

MARIA CRISTINA REIS CASTIGLIONI

Botucatu, SP
Fevereiro 2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

CARACTERIZAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTIVIDADE RENAL E
PADRONIZAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA E DOPPLERFLUXOMÉTRICA
RENAL DE MUARES

MARIA CRISTINA REIS CASTIGLIONI

Dissertação apresentada junto ao
Programa de Pós-Graduação em
Biotecnologia Animal para obtenção do
título de Mestre.

Orientadora: Prof^a Dr^a Vânia Maria de
Vasconcelos Machado

Co-Orientador: Prof. Dr. José Nicolau
Próspero Puoli Filho

Botucatu, SP
Fevereiro 2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÊC. AQUIS. TRATAMENTO DA INFORM.
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CÂMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: ROSANGELA APARECIDA LOBO-CRB 8/7500

Castiglioni, Maria Cristina Reis.

Caracterização do índice de resistividade renal e padronização ultrassonográfica e dopplerfluxométrica renal de mueres / Maria Cristina Reis Castiglioni. - Botucatu, 2018

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

Orientador: Vânia Maria de Vasconcelos Machado
Coorientador: José Nicolau Próspero Puoli Filho
Capes: 50501038

1. Muar. 2. Equino - Doenças. 3. Cavalo - Doenças.
4. Ultrassonografia veterinária. 5. Rins - Doenças.

Palavras-chave: Cavalo; Equino; Histograma; Rim;
Ultrassonografia trans-abdominal.

Nome do Autor: Maria Cristina Reis Castiglioni

Título: CARACTERIZAÇÃO DO ÍNDICE DE RESISTIVIDADE RENAL E
PADRONIZAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA E DOPPLERFLUXOMÉTRICA
RENAL DE MUARES

Data da defesa: 16 de fevereiro de 2018.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Vânia Maria de Vasconcelos Machado

Presidente e Orientadora

Departamento de Reprodução Animal e Radiologia Veterinária, FMVZ –
UNESP, campus Botucatu

Prof. Dr. Alexandre Secorun Borges

Membro Titular

Departamento de Clínica Veterinária, FMVZ – UNESP, campus Botucatu

Prof. Dr. Stefano Carlo Filippo Hagen

Membro Titular

Departamento de Cirurgia, FMVZ – USP, campus Cidade Universitária

*“Algo só é impossível até que alguém
duvide e resolva provar ao contrário”.*

(Albert Einstein)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, por sempre apoiarem e incentivarem a minha busca por conhecimento:

Meus pais, Antônio Carlos e Maria Fátima, meus modelos de ética e de vida, que nunca duvidaram da minha capacidade e sempre me incentivaram a querer mais, a aprender mais.

À minha falecida avó Mabília, que sempre esteve presente durante meu crescimento e que me apresentou a grande paixão da minha vida: os animais. Obrigada por ter incentivado o meu amor a tudo que é vivo, seja planta ou animal.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço aos meus amigos, Jeana Pereira da Silva, Jéssica Leite Fogaça e Michel de Campos Vettorato, que permitiram que este trabalho fosse realizado. Agradeço a colaboração dos meus colegas do setor de imagem.

À minha orientadora, professora Vânia Maria de Vasconcelos Machado, que me orientou e apoio neste longo caminho. Obrigada pela paciência, disponibilidade e ensinamentos.

À paciência e atenção do meu co-orientador, professor José Nicolau Próspero Puoli Filho, que permitiu que meu trabalho fosse realizado. Agradeço em especial todos os ensinamentos sobre a etologia equina, um aprendizado que sempre carregarei comigo.

Agradeço à pós-graduação da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia de Botucatu (FMVZ – UNESP Botucatu), por disponibilizar todos os recursos necessários para a realização desta pesquisa, e em especial ao Setor de Radiologia Animal, Laboratório Clínico Veterinário e Setor de Equideocultura da Fazenda Experimental da Edgárdia.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro através da Bolsa de Mestrado concedida.

Por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer a Imagem S.A. pelo apoio fornecido. Sem sua ajuda não seria possível realizar este trabalho.

LISTA DE TABELAS

Table 1. Descriptive analyses of the renal RI and PI obtained in 11 mules and 11 horses	- 50 -
Table 2. Descriptive analysis of MEAN, MODE and MODE COUNT:COUNT ratio (%) of the renal cortex, renal medullar, liver and spleen from 12 mules and 12 horses	- 64 -
Table 3. Descriptive analysis of MEAN and MODE COUNT:COUNT ratios from 12 mules and 12 horses.....	Erro! Indicador não definido. - 65 -
Table 4. Descriptive analysis of renal topography measurements (cm) of 12 mules and 12 horses.....	- 77 -
Table 5. Descriptive analysis of renal dimensions in 12 mules and 12 horses.....	- 77 -
Table 6. Descriptive analysis of weight, wither's height and thoracic circumference of 12 mules and 12 horses.....	- 78 -

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Esquema representativo das estruturas funcionais do rim (néfrons). Adaptado de KÖNIG et al., 2004. - 23 -
- Figura 2 - Vasos sanguíneos profundos do rim esquerdo de um gato, peça de corrosão. Adaptado de KÖNIG et al., 2004. - 24 -
- Figura 3 – Rim direito e esquerdo de uma mula com cápsula renal preservada, aspecto lateral. Arquivo pessoal. - 26 -
- Figura 4 - Corte seccional do rim direito de uma mula. Arquivo pessoal. - 27 -
- Figura 5 - À esquerda: vasos sanguíneos superficiais do rim direito de um cavalo (peça de corrosão). À direita: vasos sanguíneos profundos do rim esquerdo de um cavalo (peça de corrosão). Adaptado de KÖNIG et al., 2004 - 27 -
- Figura 6 - Mensuração do índice de resistividade (IR) no traçado espectral da artéria arqueada de um animal da espécie equina, adulto e saudável. Sendo: SVp = pico da velocidade sistólica; EDV = velocidade diastólica final. Arquivo pessoal. - 29 -
- Figura 7 - Mensuração do índice de pulsatividade (IP) no traçado espectral da artéria arqueada de um animal da espécie equina, adulto e saudável. Arquivo pessoal. .. - 31 -
- Figura 8 – Topografia do rim esquerdo (A) e direito (B) no abdômen equino demarcada pelo círculo preto. Linha tracejada conectando a tuberosidade ilíaca a articulação escapulo-umeral. Adaptado de POPESKO, 2011. - 33 -
- Figura 9 – Corte seccional do abdômen equino ilustrando a abordagem transbdominal na avaliação dos rins, ao nível da 17ª vertebra torácica. Áreas sombreadas representam os planos de escaneamento para examinar os rins. A seta aponta o duodeno. S = baço; Cb = base do ceco; C = corpo do ceco; RVC = cólon ventral direito; TC = cólon transverso; LDC = cólon dorsal esquerdo; LVC = cólon ventral esquerdo. Adaptado de SERTICH; TURNER, 1998. - 34 -
- Figura 10 – Imagem ultrassonográfica bidimensional do rim direito (à esquerda) e rim esquerdo (à direita). À esquerda pode-se observar a córtex (1), medular (2), pelve renal (3) e junção corticomedular (seta aberta) do rim direito. À direita pode-se observar o baço (B) superficial ao rim, córtex (1), medula (2), pelve (3) e a cápsula renal (seta fechada) do rim esquerdo. Arquivo pessoal. - 36 -
- Figura 11 – Histograma em escalas de cinza (HEC) do parênquima esplênico de um equino. À esquerda imagem ultrassonográfica bidimensional mostrando o baço (B) e o rim esquerdo (RE), com a região de interesse (ROI) delimitada pelo retângulo. À direita o HEC em forma de gráfico (x) e seus valores descritivos (y). Escala de tons de cinza utilizada demonstrada pela seta aberta. Arquivo pessoal. - 38 -
- Figura 12 - Color Doppler imaging of renal vascularization of horse (A, C) and mule (B, D): higher quality of Doppler signal captation within renal parenchyma in horse (A)

when comparing to mule (B); visualization of more than one renal artery (arrows) in horse (C); and of only one renal artery (arrowhead) in mule (D).....	- 49 -
Figura 13 - Spectral wave of renal artery from a healthy adult mule obtained using pulsed Doppler: ample systolic peak, with gradual decrease of velocity during the diastolic phase, indicating low resistance flow of parabolic profile. Systolic-diastolic cycle delimited by the dashed lines. Early systolic peak (ESP) represented by the arrow. pVS: peak of sistolic velocity, fDV: final diastolic velocity.....	- 49 -
Figura 14 - Graphic of residuals demonstrating how renal resistive index (RI) and renal pulsatile index (PI) correlate in 11 mules (left) and 11 horses (right). Presence of regression line and 95% confidence interval in both graphics.....	- 50 -
Figura 15 - Sonographic images in bidimensional mode divided in half allowing echogenicity and echotexture comparison between tissues. (A) Comparison between the splenic parenchyma (S) and left kidney (LK). (B) Comparison between the hepatic parenchyma (L) and right kidney (RK).....	- 61 -
Figura 16 – Sonographic images in bidimensional mode (up) and the respective gray-level histogram (down) of liver (A), renal cortex (B), renal medulla (C) and spleen (D). The region of interest (ROI) is marked by the rectangle.....	- 62 -
Figura 17 - Sonographic images of the kidney in bidimensional mode in transverse (A) and longitudinal (B and C) scans. Measurement of the renal width (a), length (b), height (c), maximum deepness (e) and minimum deepness (f).....	- 76 -

LISTA DE ABREVIações

%	Porcento
cm	Centímetros
g	Gramas
kg	Quilogramas
m/s	Metros por segundo

SUMÁRIO

PÁGINA

RESUMO	- 1 -
ABSTRACT	- 1 -
CAPÍTULO 1	- 21 -
1. Introdução e justificativa	- 17 -
2. Objetivos	- 19 -
3. Revisão de literatura.....	- 20 -
3.1. Os muares	- 20 -
3.1.1. Definição	- 20 -
3.1.2. Influências de origem paterna	- 20 -
3.1.3. Importância socioeconômica.....	- 21 -
3.2. O sistema renal dos mamíferos	- 22 -
3.2.1. Características renais no gênero <i>equus</i>	- 25 -
3.3. Avaliação ultrassonográfica renal	- 28 -
3.3.1. Cavalo doméstico.....	- 31 -
3.4. Ultrassonografia quantitativa – histograma em escala de cinza	- 37 -
4. Referências	- 39 -
CAPÍTULO 2	- 44 -
Original Research – Dopplerfluxometric evaluation of renal arteries on health non-sedated mules: comparison with horses	- 45 -
Abstract	- 46 -
1. Introduction.....	- 46 -
2. Methods.....	- 47 -
2.1. Sample population	- 47 -
2.2. Ultrasonographic examination.....	- 47 -
2.3. Data analysis	- 47 -
3. Results	- 48 -
3.1. Color Doppler imaging	- 48 -
3.2. Arterial spectral wave.....	- 49 -
3.3. RI and PI.....	- 50 -
4. Discussion	- 51 -
References	- 54 -

CAPÍTULO 3	- 57 -
Original Research – Equine renal quantitative ultrasound: comparison between mule and horse	- 58 -
Abstract	- 59 -
1. Introduction.....	- 59 -
2. Materials and methods	- 60 -
2.1. Sample population	- 60 -
2.2. Images acquisition	- 60 -
2.3. Gray-level histogram.....	- 61 -
2.4. Statistical analysis	- 60 -
3. Results	- 63 -
4. Discussion	- 63 -
5. Conclusion.....	- 68 -
References	- 68 -
CAPÍTULO 4	- 71 -
Original Research: Renal topography and ultrasonographic dimensions in mules: comparison with horses	- 72 -
Abstract	- 73 -
1. Introduction.....	- 73 -
2. Materials and methods	- 74 -
2.1. Animals.....	- 74 -
2.2. Data and image acquisition.....	- 74 -
2.3. Statistical analysis	- 74 -
3. Results	- 76 -
4. Discussion	- 78 -
References	- 80 -

CASTIGLIONI, M.C.R. **Caracterização do índice de resistividade renal e padronização ultrassonográfica e dopplerfluxométrica renal de muares.** Botucatu, 2017. 82p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

RESUMO

Por ser um híbrido entre égua e jumento, o muar apresenta características anatômicas e fisiológicas intermediárias. Existem poucos estudos sobre esse híbrido e mesmo com a extensa literatura sobre cavalos domésticos não está claro se esta serve como referência para os muares. O propósito deste estudo foi caracterizar os rins dos muares por meio do exame ultrassonográfico modo Bidimensional e Doppler (colorido e pulsado). Foram avaliados os rins de 12 muares sendo os achados formam comparados com rins de 12 cavalos e dados pré-existentes. Foram observados os seguintes achados: 1) topografia renal semelhante, salvo maior distância do rim direito à coluna lombar nos muares; 2) dimensões renais semelhantes, salvo a zona medular mais espessas nos muares; 3) ecogenicidade renal menor no muar; 4) menor captação do sinal Doppler renal nos muares; e 5) índices de resistividade e de pulsatividade menores nos muares, indicando menor resistência vascular e maior perfusão sanguínea. Embora os rins de muares possuam diversas semelhanças com os dos cavalos, existem particularidades anatomo-fisiológicas que resultam em diferenças ultrassonográficas significantes.

Palavras-chave: Equino; Cavalos; Ultrassom trans-abdominal; Histograma; Rim; Características sonográficas.

CASTIGLIONI, M.C.R. **Renal resistive index characterization and renal ultrasonographic and dopplefluxometric padronization of mules.** Botucatu, 2017. 82p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Campus de Botucatu, Universidade Estadual Paulista.

ABSTRACT

As hybrids of mare and jack donkey, mules are expected to present intermediary anatomical and physiological characteristics. There are few studies and even with the extensive literature about horses, it is not clear if it serves as reference for mules. The purpose of this study is characterize the kidneys of mules using ultrasonographic examination on Bidimensional and Doppler (color and spectral) modes. Kidneys from 12 mules were evaluated and compared to kidneys of 12 horses and pre-existent data. The following results were obtained: 1) similar renal topography with the exception of a higher distance between the right kidney and lumbar column in mules; 2) similar renal dimensions with the exception of a thicker renal medulla in mules; 3) lower renal echogenicity in mules; 4) worse Doppler signal reception in mules; and 5) smaller resistive and pulsatile indexes in mules, inferring a lower vascular resistance and higher blood perfusion. Although the kidneys of mules are similar to that of horses there are anatomical and physiological particularities that results in significant ultrasonographic differences.

Keywords: Equine; Horse; Trans abdominal ultrasound; Histogram; Kidney; Sonographic characteristics

ecotextura tecidual dos órgãos de cães saudáveis e doentes (IVANCIC; MAI, 2008; LAM et al., 2014).

4. REFERÊNCIAS

BURDEN, F.; THIEMANN, A. Donkeys are different. *J Eq Vet Science*, v. 35, n. 5, p. 376-382, 2015.

BURNHAN, S.L. Anatomical differences of the donkey and mule. *AAEP PROCEEDINGS*, Orlando, n. 48, p. 102-109, 2002.

CARVALHO, C.F. *Ultrassonografia Doppler em pequenos animais*. 1ª edição. São Paulo: Roca Ltda, 2009.

DRAPER, A.C.E.; BOWEN, I.M.; HALLOWELL, G.D. Reference ranges and reliability of transabdominal ultrasonographic renal dimensions in throughbred horses. *Vet Radiol Ultrasound*, v. 5, n.3, p. 336-341, 2012.

ELLENBERG, G.B. *Mule south to tractor south: mules, machines and the transformation of the cotton south*. Tuscaloosa: University of Alabama Press, 2007.

GEOR, R.J. Acute renal failure in horses. *Vet Clinics of North America: Equine Practice*, v. 23, n.3, p. 577-579, 2007.

GINTHER, O.J. *Ultrasonic imaging and animal reproduction: Color-Doppler ultrasonography*. 1st edition. [local desconhecido]:Cross Plains Equiservices, 2007.

HABERSHON-BUTCHER, J.; BOWEN, M.; HALLOWEL, G. Validation of a novel translumbar ultrasound technique for measuring renal dimensions in horses. *Vet Radiol Ultrasound*, v. 55, n. 3, p. 323-330, 2014.

HERSHKOVITZ, R.; AMICHAY, K.; STEIN, G.Y.; TEPPER, R. The echogenicity of the normal fetal kidneys during different stages of pregnancy determined objectively. *Arch Ginecol Obstet*. v. 284, n. 4, p. 807-811, 2011.

HOFFMANN, K.L.; WOOD, A.K.; KIRBY, A.C. Use of Doppler ultrasonography to evaluate renal arterial blood flow in horses. *Am J Vet Res*, v.58, n.7, p.697-701, 1997

IVANCIC, M.; MAI, W. Qualitative and quantitative comparison of renal vs. Hepatic ultrasonographic intensity in healthy dogs. *Vet Radiol Ultrasound*, v. 49, n. 4, p. 368-373, 2008.

IZRAELY, H.; CHOSHNIAC, I.; STEVENS, C.E.; DEMMENT, M.W.; SHKOLNIK, A. Factors determining the digestive efficiency of the domestic donkey (*Equus asinus asinus*). *Am J Physiol*, v. 74, p. 1-6, 1989.

KASIRER-IZRAELI, H.; SHKOLNIK, A.; CHOSHNIAC, I. Kidney response to rapid rehydration in the donkey. *Isr J Zool*, v.47, n.1, p. 29-39, 2001.

KÖNIG, H.E.; MAIERL, J.; LIEBICH, H.G. Chapter 9: urinary system (organa urinaria). In: KÖNIG, H.E; LIEBICH, H.G. (Org.) *Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and colour atlas*. 1st edition. Germany: SchattauerGmbH, 2004. p. 365-380.

LAM, R.; NIESSEN, S.J.; LAMB, C.R. X-ray attenuation of the liver and kidney in cats considered at varying risk of hepatic lipidosis. *Vet Radiol Ultrasound*, v. 55, p. 141-146, 2014.

LEE, C.H.; CHOI, J.W.; KIM, K.A.; SEO, T.S.; LEE, J.M.; PARK, C.M. Usefulness of standard deviation on the histogram of ultrasound as a quantitative value for hepatic parenchymal echo texture: preliminary study. *Ultrasound Med Biol*, v. 32, n. 12, p. 1817-1826, 2006.

MACRI, F.; PUGLIESE, M.; PIETRO, S.D.; COCO, L.L.; NIUTTA, P.P.; NARDI, S.; QUARTUCCIO, M.; LANTERI, G.; PICCIONELLO, A.P. Doppler ultrasonographic estimation of renal resistive index in horse: comparison between left and right kidneys. *J Equine Vet Science*, v. 35, n. 2, p. 111-115, 2015.

MAEDA, K.; UTSU, M.; YAMAMOTO, N.; SERIZAWA, M.; ITO, T. Chapter 4: ultrasonic tissue characteriation with gray level histogram width. In: KURJAK, A.; ARENAS, J.B. (Ed.). *Donald school textbook of transvaginal sonograph*. 2nd edition. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publisher Ltd, 2013. p. 17-20.

MALOY, G.M.O. Water economy of the Somali donkey. *Am J Physiol*. v. 219, n. 5, p.1522-1527, 1970.

MARTIN, A.; MACDONALD, J.; MOORE, J. Renal failure and its treatment. *Anest Intensive Care Med*, v. 16, n. 6, p. 267-274, 2015.

MATOON, J.S.; NYLAND, T.G. *Small animal diagnostic ultrasound*. 3th edition. Philadelphia: Elsevier Saunders, 2015.

MATTHEWS, H.K.; TOAL, R.L. A review of equine renal imaging techniques. *Vet Radiol Ultrasound*, v. 37, n. 3, p. 163-173, 1996.

- MATTHEWS, N.S.; TAYLOR, T.S.; HARTSFIELD, S.M. Anaesthesia of donkeys and mules. *Equine Vet Educ*, v. 15, p. 102-107, 2005.
- MATTHEWS, N.; VAN LOON, J.P.A.M. Anaesthesia and analgesia of the donkey and the mule. *Equine Vet Educ*, v. 25, n. 1, p. 47-51, 2013.
- MCLELAND, S. Diseases of the equine urinary system. *Vet Clin Equine*, v. 31, p. 377-387, 2015.
- NEWMAN, S.J.; CONFER, A.W.; PANCIERA, R.J. Sistema urinário. In: MCGAVIN, M.D.; ZACHARY, J.F. (Org). *Bases da patologia em veterinária*. 4ª edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. p. 613-692.
- ORSINI, J.A.; DIVERS, T.J. *Equine emergencies: treatment and procedures*. 4th edition. St Louis: Elsevier Mosby, 2014.
- PENNINCK, D.G.; EISENBERG, H.M.; TEUSCHER, E.E.; VRINS, A. Equine renal ultrasonography: normal and abnormal. *Vet Rad Ultrasound*, v. 27, n. 3, p. 81-84, 1986.
- PENNINCK, D.; D'ANJOU, M.C. *Atlas of small animal ultrasonography*. 2nd edition. Iowa: Wiley Blackwell, 2015.
- PETERSEN, L.J.; PETERSEN, J.R.; TALLERUPHUUS, U.; LADEFOGED, S.D.; MEHLSSEN, J.; JENSEN, H.A. The pulsatility index and the resistive index in renal arteries: associations with long-term progression in chronic renal failure. *Nephrol Dial Transplant*, v.12, n. 7, p. 1376-1380, 1997.
- PLATT, J.F. Doppler ultrasound of the kidney. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*, v. 18, n. 1, p. 22-32, 1997.
- POPESKO, P. *Atlas de Anatomia Topográfica dos Animais Domésticos*. 5ª edição. [local desconhecido]: Manole, 2011.
- PROOPS, L.; BURDEN, F.; OSTHAUS, B. Mule cognition: a case of hybrid vigour? *Anim Cogn*, v. 12, n. 1, p. 75-84, 2009.
- PROOPS, L.; BURDEN, F.; OSTHAUS, B. Social relations in a mixed group of mules, ponies and donkeys reflect differences in equid type. *Behavioral Process*, v. 90, n. 3, p. 337-342, 2012.
- REED, S.M.; BAYLY, W.M.; SELLON, D.C. *Equine Internal Medicine*. 3th edition. St Louis: Saunders Elsevier, 2010.
- REEF, V.B. *Equine diagnostic ultrasound*. 1st edition. Philadelphia: Saunders, 1998.

- SAVAGE, C.J. Urinary clinical pathologic findings and glomerular filtration rate in the horse. *Vet Clin Equine*, v. 24, p. 387-404, 2008.
- SCHOTT II, H.C.; WOODIE, J.B. Chapter 64: kidneys and ureters. In: AUER, J.A.; STICK, J.A. (Ed.). *Equine surgery*. 4th edition. St Louis: Elsevier Saunders; 2012.
- SERTICH, P.L.; TURNER, R.M. *Equine diagnostic ultrasound*. 1st edition. Philadelphia: W.B. Saunders Company, 1998.
- SLOVIS, N. Chapter 23: ultrasonography of the liver, spleen, kidney, bladder, and peritoneal cavity. In: KIDD, J.; LU, K.G.; FRAZER, M.L. (Ed.). *Atlas of equine ultrasonography*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2014. p. 409–27.
- SMITH, D.C. *The book of mules: selecting, breeding and caring for equine hybrids*. Connecticut: The Lyons Press, 2009.
- SMITH, D.G.; BURDEN, F.A. Chapter 16: practical donkey and mule nutrition. In: GEOR, R.J.; HARRIS, P.A.; COENEN, M. (Ed.). *Equine applied and clinical nutrition: importance of nutrition for health, welfare and performance*. London: Elsevier Saunders; 2013. p. 304-318.
- TAYLOR, K.J.; HOLLAND, S. DOPPLER US Part I. Basic principles, instrumentation and pitfalls. *Radiology*, v. 174, n. 2, p. 297-307, 1990.
- The Donkey Sanctuary [Internet]. 2017. Disponível em: <<https://www.thedonkeysanctuary.org.uk>>. Acesso em: 07 jul. 2017.
- THOMPSON, R.S.; TRUDINGER, B.J.; COOK, C.M. Doppler ultrasound waveform indices: A/B ratio, pulsatility index and Pourcelot ratio. *Br J Obstet Gynaecol*, v. 95, n. 5, p. 581-588, 1988.
- TORIBIO, R.E. Essentials of equine renal and urinary tract physiology. *Vet Clin North Am Equine Pract*. v. 23, n. 3, p. 533-561, 2007.
- TUBLIN, M.E.; BUDE, R.O.; PLATT, J.F. The resistive index in renal Doppler sonography: where do we stand? *Am J Roetgen*, v. 180, n. 4, p. 885-892, 2003.
- VAN METRE, D.C.; SOTO, D.R.D. Chapter 34: diseases of the renal system. In: SMITH, B.P (Ed.). *Large animal internal medicine*. 5th edition. St. Louis: Elsevier Mosby, 2015. p. 873-895.
- VERLANDER, J.W. Section VII renal physiology. In: KLEIN, B.G. (Ed.). *Cunningham's Textbook of Veterinary Physiology*. 5th edition. Missouri: Elsevier Saunders, 2013. p. 460-494.

WILSON, M.E. Examination of the urinary tract in the horse. *Vet Clinics of North America*, v. 23, n. 3, p. 563-575, 2007.

This difference between mules and horses could be correlated to anatomical and physiological characteristics that mules inherits from its progenitor. Different than horses, donkeys are originated from arid and semi-arid environments and are capable to survive long periods without water and abrupt re-hydration.^[21, 22, 23] Donkeys have thicker renal medulla and longer Henle loops, allowing higher concentration of sodium chloride and urea concentration, factors that increase the osmotic pressure, water reabsorption and urine concentration.^[21] This way the donkeys and mules can have a renal medulla with higher water content and more hypoechoic than horses.^[21]

5. Conclusion

In this study it was observed that in mules the renal cortex is 6.59 times less echoic and 0.17 times more homogeneous than the spleen (horses: 3.04 more echoic and 0.47 more homogeneous), but 1.46 times more hypoechoic and 0.81 times more homogeneous than the liver, similar to domestic horses. It was also observed that renal cortex is 3.49 more echoic and 0.45 more heterogeneous than medulla in mules, but in horses the renal cortex is 2.07 more echoic and 0.63 more heterogeneous, indicating a more hypoechoic and homogeneous renal medulla in mules, that could be related to a higher water content inherit from donkeys. However it becomes necessary of undertake new studies with donkeys and animals of different body score conditions, to observe if mules' renal medulla is similar to donkeys and if the proportion found in this study can be used with different weights and sizes.

Acknowledgements

We thank S.A. Image, Brazil, for providing the necessary equipment. This project had support by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Brazil.

References

- [1] Penninck DG, Eisenberg HM, Teuscher EE, Vrinz A. Equine renal ultrasonography: normal and abnormal. *Vet Rad Ultrasound*. 1986; 27(3):81-4.
- [2] Reef VB. *Equine diagnostic ultrasound*. 1st ed. Philadelphia: Saunders; 1998.

- [3] Geor RJ. Acute renal failure in horses. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2007; 23(3):577-9.
- [4] Mattoon JS, Nyland TG. *Small animal diagnostic ultrasound.* 3rd ed. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2015.
- [5] Penninck D, D'Anjou MC. *Atlas of small animal ultrasonography.* 2nd ed. Iowa: Wiley Blackwell; 2015.
- [6] Ivancić M, Mai W. Qualitative and quantitative comparison of renal vs. hepatic ultrasonographic intensity in healthy dogs. *Vet Radiol Ultrasound.* 2008; 49(4):368-73.
- [7] Lee CH, Chol JW, Kim KA, et al. Usefulness of standard deviation on the histogram of ultrasound as a quantitative value for hepatic parenchymal echo texture: preliminary study. *Ultrasound Med Biol.* 2006; 32(12):1817-26.
- [8] Matthews HK, Toal RL. A review of equine renal imaging techniques. *Vet Radiol Ultrasound.* 1996; 37(3):163-73.
- [9] Schott II HC, Woodie JB. Chapter 64: kidneys and ureters. In: Auer JA, Stick JA (Eds.). *Equine surgery.* 4th ed. St Louis: Elsevier Saunders; 2012.
- [10] Sertich PL, Turner RM. *Equine diagnostic ultrasound.* 1st ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 1998.
- [11] Toribio RE. Essentials of equine renal and urinary tract physiology. *Vet Clin North Am Equine Pract.* 2007; 23(3):533-61.
- [12] Maeda K, Utsu M, Yamamoto N, et al. Chapter 4: ultrasonic tissue characterization with gray level histogram width. In: Kurjak A, Arenas JB (Eds.). *Donald school textbook of transvaginal sonograph.* 2nd ed. New Delhi: Jaypee Brothers Medical Publisher Ltd; 2013. p.17-20.
- [13] Kimpe T, Tuytschaever T. Increasing the number of gray shades in medical display systems: how much is enough? *J Digit Imaging.* 2007; 20(4):422-32.
- [14] Allison JW, Barrm LL, Massoth RJ, et al. Understanding the process of quantitative ultrasonic tissue characterization. *Radiographics.* 1994; 14(5):1099-108.
- Bifelow TA, Labyed Y. Chapter 4: attenuation compensation and estimation. In: Mamou J, Oelze ML (Eds.). *Quantitative ultrasound in soft tissues,* New York: Springer; 2014. p. 71-94.
- [15] Smith-Levitin M, Blicstein I, Albrecht-Shach AA, et al. Quantitative assessment of gray-level perception: observers' accuracy is dependent on density differences. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 1997; 10(5):346-9.

- [16] Ghoshal G, Oelze ML, O'Brien Jr WD. Chapter 2: quantitative ultrasound history and success. In: Mamou J, Oelze ML. (Eds.). *Quantitative ultrasound in soft tissues*, New York: Springer; 2014. p. 21-42.
- [17] Slovis N. Chapter 23: ultrasonography of the liver, spleen, kidney, bladder, and peritoneal Cavity. In: Kidd J, Lu KG, Frazer ML. (Eds.). *Atlas of equine ultrasonography*. West Sussex: John Wiley & Sons; 2014. p.409–27.
- [18] Quaresma M, Payan-Carreira R, Silva SR. Relationship between ultrasound measurements of body fat reserves and body condition score in female donkeys. *Vet J*. 2013; 197(2):329-34.
- [19] Smith DG, Burden FA. Chapter 16: practical donkey and mule nutrition. In: Geor RJ, Harris PA, Coenen M. (Eds.). *Equine applied and clinical nutrition: importance of nutrition for health, welfare and performance*. London: Elsevier Saunders; 2013. p.304-18.
- [20] Manley JA, O'Neill WC. How echogenic is echogenic? Quantitative acoustics of renal cortex. *Am J Kidney Dis*. 2001; 37(4):706-11.
- [21] Hill RW, Wyse GA, Anderson M. *Animal physiology*. 3rd ed. Massachusetts: Sinauer Associates; 2012.
- [22] Kasirer-Izraeli H, Shkolnik A, Choshniak I. Kidney response to rapid rehydration in the donkey. *Isr J Zool*. 2001; 47(1):29-39.
- [23] Maloiy GMO. Water economy of the Somali donkey. *Am J Physiol*. 1970; 219(5):1522-7.

horses the renal cortex is 1 to 2cm thick and the corticomedullary junction is not well defined by the ultrasonographic evaluation, but there isn't information about the medulla width or cortex:medulla ratio (Penninck *et al.*, 1986; Reff *et al.*, 1998; Sertich & Turner, 1998; Slovis *et al.*, 2014). The cortical thickness obtained in this study did not differ between mules or horses and was within this reference range. However it was observed difference of the medulla values, being thicker in mule ($1.99 \pm 0.32\text{cm}$) than in horses ($1.74 \pm 0.35\text{cm}$). It was also observed a higher cortical:medulla ratio and a more defined corticomedullary junction in mules.

Thicker renal medulla is normally found in desert mammals and its related to longer Henle loops, a characteristic that increase water reabsorption and urine concentration (Hill *et al.*, 2012). This particularity can be found in donkeys but not in horses, and due to hybrid vigor mules can inherit this particularity (Maloiy, 1970; Kasirer-Izraeli *et al.*, 2001; Burnhan, 2002; Smith, 2009; Burden & Thiemann, 2015).

Due to the being a hybrid, mules present intermediary characteristics of both parents. In this study it was possible to observe that the mule's kidneys are very similar to horses, with a similar topography and dimensions, with the exception of a more ventral location and a thicker medulla. These particularities can be due paternal influence, turning necessary new studies evaluating the renal characteristics between donkeys, horses and mules.

Acknowledgements

This work was supported by the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) Brasília, Brazil [grant number 131555/2016-2].

Conflict of Interest Statement

The authors declare that there are no potential sources of conflict of interest.

References

- Barr, F. J. (1990). Evaluation of ultrasound as a method of assessing renal size in the dog. *Journal of Small Animal Surgery*, 31, 174-179.
- Burden, F., & Thiemann, A. (2015). Donkeys are different. *Journal of Equine Veterinary Science*, 35, 5, 376-382.

- Burham, S. L. (2002). Anatomical differences of the donkey and mule. *AAEP Proceedings*, 48, 102-109.
- Draper, A. C. E., Bowen, I. M., Hallowell, G. D. (2012). Reference ranges and reliability of transabdominal ultrasonographic renal dimensions in thoroughbred horses. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 5, 3, 336-341.
- Kasirer-Izraeli, H., Shkolnik, A., Choshniak, I. (2001). Kidney response to rapid rehydration in the donkey. *Israel Journal of Zoology*, 47, 1, 29-39.
- König, H. E., Maierl, J., Liebich, H. G. Chapter 9: urinary system (organa urinaria). In: König, H. E., Liebich, H. G. (2004). *Veterinary anatomy of domestic mammals: textbook and color atlas* (1st ed.) Germany: SchattauerGmbH, 365-380.
- Maloiy, G. M. O. (1970). Water economy of the Somali donkey. *American Journal of Physiology*, 219, 5, 1522-1527.
- Matoon, J. S., & Nyland, T. G. (2015) *Small animal diagnostic ultrasound* (3th ed.) Philadelphia: Elsevier Saunders.
- Matthews, N. S., Taylor, T. S., Hartsfield, S. M. (2005). Anesthesia of donkeys and mules. *Equine Veterinary Education*, 15, 102-107.
- Matthews, N., & Van Loon, J. P. A. M. (2013). Anesthesia and analgesia of the donkey and the mule. *Equine Veterinary Education*, 25, 1, 47-51.
- Nyland, T. G., Kantrowitz, B. M., Fisher, P., Olander, H. J., Hornof, W. J. (1989). Ultrasonic determination of kidney volume in the dog. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 30, 3, 174-180.
- Pazvant, G., Sahin, B., Kahvecioglu, K. O., Gunes, H., Gezer Ince, N., Bacinoglu, D. (2009). The volume fraction method for the evaluation of kidney: a stereological study. *Ankara Üniv Fak Derg*, 56, 233-239.
- Penninck, D. G., Eisenberg, H. M., Teuscher, E. E., Vrins, A. (2010). Equine renal ultrasonography: normal and abnormal. *Veterinary Radiology and Ultrasound*, 27, 3, 81-84.
- Reed, S. M., Bayly, W. M., Sellon, D. C. (2010). *Equine internal medicine* (3th ed.). St Louis: Saunders Elsevier.
- Reef, V. B. (1998). *Equine diagnostic ultrasound* (1st ed.). Philadelphia: Saunders.
- Schott II, H. C., Woodie, J. B. (2012). Chapter 64: kidneys and ureters. In: Auer, J. A., Stick, J. A. (Ed.). *Equine surgery* (4th ed.). St Louis: Elsevier Saunders.
- Sertich, P. L., Turner, R. M. (1998) *Equine diagnostic ultrasound* (1st ed). Philadelphia: W.B. Saunders Company.

- Slovis, N. (2014). Chapter 23: ultrasonography of the liver, spleen, kidney, bladder, and peritoneal Cavity. In: Kidd, J., Lu, K. G., Frazer, M. L. (Ed.). Atlas of equine ultrasonography. West Sussex: John Wiley & Sons, 409–27.
- Smith, D. C. (2009). The book of mules: selecting, breeding and caring for equine hybrids. Connecticut: The Lyons Press.
- Toribio, R. E. (2007). Essentials of equine renal and urinary tract physiology. *Veterinary Clinics of North American: Equine Practice*. 23, 3, 533-561.
- Walter, P. A.; Feeney, D. A.; Johnston, G. R.; Flether, T. F. (1987) Feline renal ultrasonography: quantitative analyses of imaged anatomy. *American Journal of Veterinary Research*, 48, 569-599.