

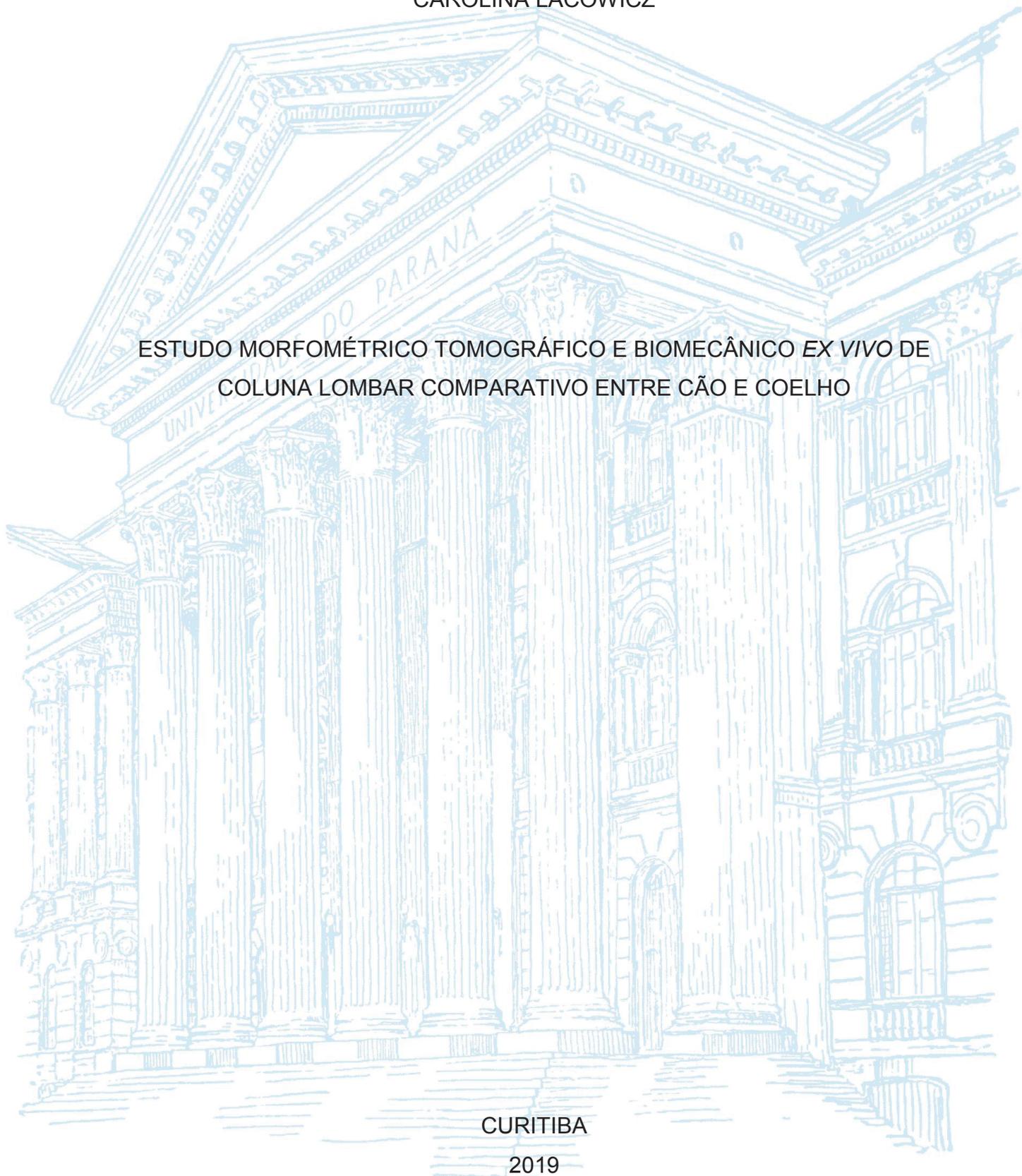
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA LACOWICZ

ESTUDO MORFOMÉTRICO TOMOGRÁFICO E BIOMECÂNICO *EX VIVO* DE
COLUNA LOMBAR COMPARATIVO ENTRE CÃO E COELHO

CURITIBA

2019



CAROLINA LACOWICZ

ESTUDO MORFOMÉTRICO TOMOGRÁFICO E BIOMECÂNICO *EX VIVO* DE
COLUNA LOMBAR COMPARATIVO ENTRE CÃO E COELHO

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Veterinárias.

Orientador: Prof. Dr. Peterson Triches Dornbusch

CURITIBA

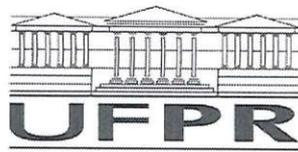
2019

L145ee Lacowicz, Carolina
Estudo morfométrico tomográfico e biomecânico ex vivo de
coluna lombar comparativo entre cão e coelho / Carolina
Lacowicz. - Curitiba, 2019.
49 p.: il.,

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná.
Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Veterinárias.
Orientador: Peterson Triches Dornbusch

1. Cirurgia veterinária. 2. Coluna vertebral - cirurgia. 3.
Tomografia computadorizada. 4. Cão. 5. Coelho. I. Dornbusch,
Peterson Triches (Orientador). II. Título. III. Universidade Federal
do Paraná.

CDU 616-089.5(636.7+639.112)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR SETOR DE CIÊNCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIAS
VETERINÁRIAS - 40001016023P3

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS VETERINÁRIAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **CAROLINA LACOWICZ** intitulada: **ESTUDO MORFOMÉTRICO TOMOGRÁFICO E BIOMECÂNICO EX VIVO DE COLUNA LOMBAR COMPARATIVO ENTRE CÃO E COELHO**, após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 25 de Março de 2019.

PETERSON TRICHES DORNBUSCH
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

JOSE FERNANDO IBANEZ
Avaliador Interno (UFPR)

JOSÉ ADEMAR VILLANOVA JUNIOR
Avaliador Externo (PUC/PR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me concedeu o dom da vida e me ofereceu as capacidades intelectuais para desenvolver esse trabalho.

Ao prof. Rodrigo Dias que contribuiu com a orientação e execução dos ensaios biomecânicos. Agradeço pelo tempo dispensado ao estudo e desenvolvimento dessa etapa tão importante do meu projeto.

À Universidade Tuiuti do Paraná que permitiu o uso do laboratório de Ciências dos Materiais no Núcleo de Mecânica para o desenvolvimento dos ensaios biomecânicos e do laboratório de Patologia Veterinária para o preparo dos espécimes de cães e coelhos.

Ao prof. Carlos Amaral por gentilmente ter realizado os exames radiográficos com seu aparelho radiográfico digital particular. Agradeço pelo cuidado com a qualidade dos exames e por dispor do seu tempo para ajudar na execução desse projeto.

Aos professores Ângela Fernandes e Vinicius Maciel do curso de odontologia, que abriram as portas do Laboratório de Ensino e Pesquisa de Imaginologia da UFPR para a realização dos exames tomográficos desse trabalho. Agradeço pela paciência e ensinamentos.

Às Aprimorandas em Diagnóstico por Imagem em Pequenos Animais da UTP Camila Brunkow e Carolina Penteado Mondini por auxiliarem nos exames radiográficos da fase inicial do meu trabalho.

Ao aluno de graduação Leandro J. M. Ribeiro por dispor do seu tempo e trabalho para ajudar a preparar os corpos de prova utilizados nesse projeto de pesquisa.

Aos meus colegas de mestrado Ariele Ferreira e William Timboni que ajudaram na coleta dos espécimes de coelho. Agradeço a parceria durante esses dois anos e principalmente pela amizade.

Aos meus amigos Mayara T. Bansho, Carolina Trochmann, Marília M. Augusto, Matheus Cruz e Katlyn B. Meyer que fizeram a gentileza de auxiliar na correção do texto dessa dissertação de mestrado. Agradeço à esses amigos queridos por sempre me apoiarem e estarem dispostos a ajudar.

Aos meus pais Leodiceia Maria F. Lacowicz e Indalécio José Lacowicz, meu irmão Julio César Lacowicz e minha tia Lamíria Sur Ferreira que são os meus maiores fãs e sempre me apoiaram e me incentivaram em todos os meus projetos e desafios.

Ao meu amor Guber Eduardo Guerrero que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e tolerando o meu estresse com a dissertação e organização do nosso casamento. Agradeço por entender a minha falta de tempo e me ajudar com os conceitos de engenharia mecânica que tive que estudar para compreender melhor os resultados obtidos no ensaio biomecânico desse trabalho.

Aos professores Jose Ademar Villanova Junior e Jose Fernando Ibañez que gentilmente aceitaram fazer parte da minha banca de defesa de dissertação. Agradeço imensamente por todas as sugestões e correções que sinto que foram feitas com tanto carinho e critério.

Ao meu orientado Prof. Dr. Peterson T. Dornbusch pela oportunidade de cursar o mestrado e principalmente pelas orientações e conversas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro durante o primeiro ano do meu mestrado.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias da UFPR pela oportunidade de desenvolver essa dissertação.

Aos animais que são a verdadeira motivação para esse projeto e fazem todo o esforço valer a pena.

“Ninguém é tão grande que não possa aprender, nem tão pequeno que não possa ensinar.”

Esopo (620 a.C. – 564 a.C.).

RESUMO

O desenvolvimento de cirurgia experimental da coluna vertebral de cães é um desafio. O coelho é uma opção de modelo animal para pesquisas *in vivo*, mas estudos comparativos entre as duas espécies são necessários para avaliar se a extrapolação de resultados é viável. Além desse aspecto, coelhos estão se tornando importantes animais de companhia e apresentam fratura ou luxação vertebral idiopática comum na coluna lombar caudal. Pouca informação sobre o tratamento cirúrgico desses animais está disponível. Os cirurgiões ortopedistas veterinários estão familiarizados com a anatomia cirúrgica do cão e possivelmente se beneficiarão em compreender a anatomia dos coelhos de forma comparativa. Foram realizados dois estudos comparativos de coluna lombar entre cadáveres de cães e coelhos, entre 3 e 5 kg de massa corpórea, adultos, sem predileção por sexo. O primeiro, refere-se à avaliação morfométrica utilizando a tomografia computadorizada de feixe cônico, no qual foram mensurados o comprimento, largura e altura do corpo e forame vertebral, além da espessura do osso cortical. O segundo, refere-se a ensaio de flexibilidade no eixo flexão-extensão, sob carga pré-estabelecida, das articulações intervertebrais L4-L5, L5-L6 e L6-L7. Foi realizado também ensaio destrutivo dos corpos de prova. Os resultados encontrados foram que o comprimento do corpo e forames vertebrais do coelho é maior do que o de cães de mesmo porte, mas apresenta altura e largura menores. A espessura do osso cortical é semelhante em ambas as espécies. A amplitude de movimento das articulações L4-L5 e L5-L6 do coelho é maior do que a do cão. A articulação L6-L7 do coelho apresenta movimento paradoxal, o que pode estar relacionado com a ocorrência comum de fraturas em L7 dessa espécie. A força máxima ao ponto de fratura do segmento de coluna vertebral do cão foi superior ao dobro da observada no coelho. Conclui-se que devido as diferenças morfométricas e biomecânicas encontradas, o coelho não é um bom modelo animal para o cão. As vértebras lombares do coelho são frágeis e com anatomia mais delicada do que as do cão de mesmo porte e idade equivalente, o que aumenta o risco de complicações em cirurgias dessa região.

Palavras-chave: Coluna vertebral. Tomografia Computadorizada de Feixe Cônico. Resistência à Flexão. Resistência à Tração. Osso cortical.

ABSTRACT

The development of experimental spinal surgery in dogs is a challenge. Rabbit is an animal model option for *in vivo* research, but comparative studies between the two species are needed to assess whether extrapolation of results is feasible. Besides this aspect, rabbits are becoming important companion animals and present common idiopathic vertebral fracture or dislocation in the caudal lumbar spine. Little information on the surgical treatment of these animals is available. Veterinary orthopedic surgeons are familiar with the dog's surgical anatomy and would possibly benefit from understanding the anatomy of rabbits in a comparative way. Two comparative studies of lumbar spine were performed between cadavers of dogs and rabbits, between 3 and 5 kg of body mass, adults, without predilection for sex. The first one refers to the morphometric evaluation using conical beam computed tomography, in which the length, width and height of the body and vertebral foramen were measured, as well as the thickness of the cortical bone. The second, refers to flexibility test in the flexion-extension axis, under pre-established load, of intervertebral joints L4-L5, L5-L6 and L6-L7. A destructive test of the specimens was also carried out. The results were that the length of the body and vertebral foramina of the rabbit is larger than that of dogs of the same size, but presents smaller height and width. The thickness of the cortical bone is similar in both species. The range of motion of the rabbit's L4-L5 and L5-L6 joints is greater than that of the dog. The rabbit L6-L7 joint presents paradoxical movement, which may be related to the common occurrence of L7 fractures of this species. The maximum strength at the point of fracture of the vertebral column of the dog was more than twice that observed in the rabbit. It is concluded that due to the morphometric and biomechanical differences found, the rabbit is not a good animal model for the dog. The lumbar vertebrae of the rabbit are fragile and have a more delicate anatomy than the dog of the same size and age, which increases the risk of complications in the surgeries of this region.

Keywords: Spine. Cone Beam Computed Tomography. Flexural Strength. Resistance to traction. Cortical bone.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 2.1. - Cortes tomográficos da quarta vértebra lombar de cão, raça Lhasa Apso, macho, quatro anos, com eixos de direção posicionados no ponto central do corpo vertebral, utilizando a ferramenta de Reconstrução Multiplanar.....21
- FIGURA 2.2. - Cortes tomográficos da quarta vértebra lombar de cão, raça Lhasa Apso, macho, quatro anos, utilizando a ferramenta de Reconstrução Multiplanar para mensurar (a) altura e (b) comprimento do forame vertebral; (c) altura do corpo vertebral no plano sagital (1); (d) largura e (e) comprimento do corpo vertebral no plano longitudinal (2); (f) largura do forame vertebral e (g) espessura do osso cortical no plano transversal (3).....22
- FIGURA 3.1. - Laboratório de Ciências dos Materiais onde foi realizado o ensaio biomecânico comparativo *ex vivo* de coluna lombar de cão e coelho.33
- FIGURA 3.2. - Molde de silicone utilizado para fazer bloco de resina acrílica autopolimerizável na extremidade cranial (L2-L3) e caudal (osso sacro) para fixar segmento de coluna vertebral lombar em Máquina de Ensaio Universal EMIC® e realizar estudo biomecânico *ex vivo* comparativo entre cão e coelho33
- FIGURA 3.3. - Os espécimes foram fixados a Máquina de Ensaio Universal EMIC® utilizando bloco de resina acrílica autopolimerizável nas extremidades (L1, L2 e osso sacro) e parafusado em bloco de madeira com sistema de ajuste de distância.....34
- FIGURA 3.4. - Estudo biomecânico *ex vivo* da coluna lombar de cão (animal 6), sem raça definida, macho, dois anos de idade.....36

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 3.1. - Curva de carga-deslocamento comparativa entre a coluna lombar caudal de cão (N=9) e coelho (N=9), referente a ensaio destrutivo no eixo flexão-extensão, sob carga de fratura, em posição dorsal (extensão).....39
- GRÁFICO 3.2. - Curva de carga-deslocamento referente a ensaio destrutivo, com dados do período pós-fratura, na posição de extensão, de coluna lombar caudal comparativo entre cão (N=9) e coelho (N=9)40

LISTA DE TABELAS

- TABELA 2.1. - Média e erro padrão da média das mensurações do comprimento, altura e largura do corpo vertebral de vértebras lombares comparativo entre cães (n=8) e coelhos (n=8), em milímetros.....23
- TABELA 2.2. - Média e Erro Padrão das mensurações do comprimento, altura e largura do forame vertebral de vértebras lombares comparativo entre cães (n=8) e coelhos (n=8), em milímetros.....23
- TABELA 2.3. - Média e Erro Padrão da espessura do osso cortical de vértebras lombares comparativo entre cães (n=8) e coelhos (n=8), em milímetros.....24
- TABELA 3.1. - Média e erro padrão das mensurações da diferença angular (DA) na flexão e extensão e da amplitude de movimento (AM) flexão-extensão da coluna lombar caudal, comparativo entre cães (n=9) e coelhos (n=9), sob carga (60N grupo cão e 40N grupo coelho), em graus37

LISTA DE SIGLAS

AM	- Amplitude de movimento
cm	- Centímetro
CTCB	- <i>Cone beam computed tomography</i>
DA	- Diferença angular
EMIC	- Equipamentos e Sistemas de Ensaios Ltda
EUA	- Estados Unidos da América
FOV	- <i>Field of view</i>
kg	- Quilograma
KVp	- Quilovoltagem
L1	- Primeira vértebra lombar
L2	- Segunda vértebra lombar
L3	- Terceira vértebra lombar
L4	- Quarta vértebra lombar
L5	- Quinta vértebra lombar
L6	- Sexta vértebra lombar
L7	- Sétima vértebra lombar
mA	- <i>Miliampère</i>
mm	- Milímetro
MPR	- Reconstrução multiplanar
N	- Newton
n	- Tamanho da amostra
p	- Probabilidade de significância
PR	- Paraná
PVC	- Policloreto de Polivinila
s	- Segundos
S3	- Terceira vértebra sacral
UVM	- Unidade vertebral móvel

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVOS GERAIS	14
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.3. REFERÊNCIAS	15
2. ESTUDO MORFOMÉTRICO TOMOGRÁFICO <i>EX VIVO</i> DE COLUNA LOMBAR COMPARATIVO ENTRE CÃES E COELHOS	17
2.1. RESUMO	17
2.2. ABSTRACT	17
2.3. INTRODUÇÃO	18
2.4. MATERIAL E MÉTODOS	19
2.5. RESULTADOS	22
2.6. DISCUSSÃO	24
2.7. CONCLUSÃO	26
2.8. REFERÊNCIAS	26
3. ESTUDO BIOMECÂNICO COMPARATIVO DE COLUNA LOMBAR CAUDAL DE CÃO E COELHO <i>EX VIVO</i>	29
3.1. RESUMO	29
3.2. ABSTRACT	29
3.3. INTRODUÇÃO	30
3.4. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
3.5.1. Ensaio de flexibilidade no eixo flexão-extensão sob carga pré-estabelecida ..	37
3.5.2. Ensaio destrutivo	38
3.6. CONCLUSÃO	40
3.7. REFERÊNCIAS	40
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
5. REFERÊNCIAS	45
ANEXO: AUTORIZAÇÃO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS	49

1. INTRODUÇÃO

A primeira proposta de projeto de pesquisa para essa dissertação era o desenvolvimento de placa dedicada para artrodese e distração intervertebral, visando o tratamento de protusão de disco em coluna cervical de cães de pequeno porte. Para avaliar o método de fixação, havia interesse em mensurar a tolerância do implante sob carga cíclica. Esforços biomecânicos de origem cíclica causam fadiga nos materiais implantados, o que é um dos modos de falha mais crítica observada em implantes (CAMPELLO et al., 2009), principalmente na ausência de fusão óssea adequada na artrodese intervertebral (BUDSBERG, 2005). Essas forças podem ser avaliadas *in vivo* ou usando máquina de ensaio biomecânico específica, a qual não estava disponível.

Devido às limitações em se realizar estudo *in vivo* em cães, pela dificuldade de aquisição de animais de biotério e devido ao apelo social, optou-se por utilizar o coelho como modelo experimental. Diversas são as justificativas para se utilizar essa espécie, como a formação de amostras homogêneas, fácil aquisição e manuseio, além de serem os animais de laboratório de maior porte disponíveis (FAGUNDES; TAHA, 2004).

Ao iniciar o estudo piloto em cadáveres, pode-se observar várias limitações. O corpo vertebral da coluna cervical de coelhos exibia formato de ampulheta, apresentando crista ventral bem desenvolvida, o que exigia que a placa fosse excessivamente moldada para se acomodar perfeitamente a anatomia vertebral dessa espécie. Pode-se observar também que no momento da aplicação dos parafusos, um a cada quatro espanavam, e era necessário o uso do parafuso de emergência. Além disso, durante o desenvolvimento da técnica cirúrgica, houve fratura da epífise caudal em dois animais. Essas ocorrências evidenciaram a fragilidade óssea das vertebra cervicais do coelho. Pelo corpo vertebral ser fino, foi observada a invasão do canal vertebral e/ou do forame transversal em 60 % dos casos, mesmo utilizando parafusos de apenas 4 mm de comprimento e posicionados obliquamente. As dificuldades encontradas, demonstraram a necessidade de se realizar estudos comparativos entre cães e coelhos para avaliar a possibilidade de extrapolação de resultados entre as espécies.

Frente a essa questão, foi realizada revisão de literatura e pode-se observar que não existem estudos comparativos de coluna vertebral entre cães e coelhos. Além

disso, os coelhos estão se tornando animais de companhia e os seus tutores exigem do médico veterinário a mesma dedicação oferecida para cães e gatos (RICHARDSON, 2000). Durante o curso de sua domesticação e seleção genética, a proporção de músculo aumentou significativamente, sendo que o esqueleto representa apenas 6% do peso corporal total em raças grandes e 7 a 8% em coelhos anões, enquanto que nos gatos a proporção é de 12% (REESE; FEHR, 2011; QUINTON, 2005). O esqueleto frágil associado a membros pélvicos musculosos e potentes, faz com que esses animais sejam susceptíveis a fraturas e/ou luxação vertebral lombar caudal, quando contidos de maneira inadequada, o que gera consequente quadros clínicos de paraparesia ou paraplegia (FISHER; CARPENTER, 2012; GREENAWAY et al., 2001; HARCOURT-BROWN, 2002; WHITTINGTON; BENNETT, 2011; McCULLOUGH et al., 2012). Devido a necessidade clínica do melhor entendimento da anatomia e biomecânica da coluna lombar de coelhos, foi optado por realizar o estudo comparativo dessa região.

O primeiro artigo apresentado nesse trabalho refere-se a estudo morfométrico tomográfico comparativo que visa a mensuração do comprimento, altura e largura do corpo e forame vertebral e da espessura da região cortical óssea do corpo vertebral. O segundo artigo apresenta estudo biomecânico *ex vivo* também comparativo da coluna lombar caudal entre cão e coelho. Foram realizados ensaio de flexibilidade no eixo flexão-extensão sob carga e ensaio destrutivo, para avaliar a carga máxima suportada até a fratura do corpo de prova.

1.1. OBJETIVOS GERAIS

- Avaliar se o coelho é um bom modelo animal para o desenvolvimento de cirurgias experimentais para a coluna vertebral lombar de cães;
- Melhorar a compreensão da anatomia e biomecânica da coluna lombar de coelhos e oferecer subsídio para o desenvolvimento da ortopedia de lagomorfos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o tamanho do corpo e do forame vertebral, quanto ao comprimento, largura e altura no ponto central de vértebras lombares de cães e coelhos;
- Avaliar a espessura do osso cortical de vértebras lombares de cães e coelhos.
- Avaliar a diferença angular na flexão e extensão das articulações intervertebrais de L4-L5, L5-L6 e L6-L7 de maneira comparativa entre cães e coelhos;
- Avaliar comparativamente a amplitude de movimento no eixo flexão-extensão das articulações intervertebrais de L4-L5, L5-L6 e L6-L7 de cães e coelhos;
- Comparar a força máxima ao ponto de fratura da coluna lombar caudal de cães e coelhos.

1.3. REFERÊNCIAS

BUDSBERG, S. C. **Implant failure**. In: JOHNSON, A. L.; HOULTON J. E. F.; VANNINI, R. (Eds.). **Principles of fracture management in the dog and cat**. Davos, Suíça/Stuttgart, Alemanha: AO Publishing/Thieme, 2005. p. 425-426.

CAMPELLO, T. N.; SILVA, I. N. L.; SIMÕES, M. S. **Prótese para substituição total de disco intervertebral**: desenvolvimento de modelo computacional e análise por elementos finitos, 2009. v. 8. p. 38-42.

FAGUNDES, D. J.; TAHA M. O. **Modelo animal de doença**: critérios de escolha e espécies de animais de uso corrente. Acta Cir Bras, 2004 Jan-Fev. p.19.

FISHER, P.G.; CARPENTER, J. W. **Neurologic and musculoskeletal diseases**. In: **Quesenberry KE**, Carpenter JW, editors. Ferrets, rabbits, and rodents: clinical medicine and surgery. 3rd ed. St Louis, Missouri: Saunders Elsevier, 2012. p. 245–256.

GREENAWAY, J. et al. (2001). **Anatomy of the lumbosacral spinal cord in rabbits**. 37ed. Journal of the American Animal Hospital Association. p. 27–34.

HARCOUT-BROWN, F. **Neurological and locomotor disorders**. In: Harcourt-Brown F (ed. Textbook of Rabbit Medicine) 1st ed. Oxford UK, Butterworth-Heinemann, 2002. p. 307–323.

McCULLOUGH, A. W. et al. **Medical management of multiple traumatic vertebral subluxations and fractures in a rabbit (*Oryctolagus cuniculus*)**. 21 ed. J Exot Pet Med, 2012. p. 172–180.

QUINTON, J-F. Lagmorfos: Coelho. In _____. **Novos animais de estimação: pequenos mamíferos**. São Paulo, Roca, 2005. Parte II, p. 69-166.

REESE, S.; FEHR, M. **Radioanatomy: Skeletal system**. In: **Krautwald-Junghanns, M-E.; Pees, M.; REESE, S. et al. Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds/Small Mammals/Reptiles**. Schlütersche, 2011. Cap 2.2, p. 158

RICHARDSON, V. **Rabbits: Health, Husbandry & Diseases**. Oxford, Uk: Blackwell Science Ltd, 2000. p. 1-172.

WHITTINGTON, J. K.; BENNETT, R. A. **Clinical technique: myelography in rabbits**. 20 ed. J Exot Pet Med, 2011. p. 217-221.

2. ESTUDO MORFOMÉTRICO TOMOGRÁFICO *EX VIVO* DE COLUNA LOMBAR COMPARATIVO ENTRE CÃES E COELHOS

*Experimental tomographic morphometric study of lumbar spine comparative
between dogs and rabbits*

2.1. RESUMO

O estudo de cirurgias da coluna vertebral de cães apresenta limitações para a padronização da amostra, devido dificuldade de se conseguir animais da mesma raça, sexo e idade. Dessa forma, sugere-se o uso do coelho como modelo animal. Estudos morfométricos são importantes para avaliar a compatibilidade anatômica entre as duas espécies. Além disso, o crescente interesse pelo coelho como animal de estimação e a ocorrência comum de fraturas iatrogênicas em sua coluna lombar caudal, enfatizam a necessidade desses estudos. Oito segmentos de coluna vertebral (L1-S3) de cães, entre 3 e 5 kg, adultos, sem predileção por raça ou sexo e oito de coelhos, da raça Nova Zelândia, entre 3 e 5 kg, adultos, sem predileção por sexo, foram submetidos a exame tomográfico computadorizado de feixe cônico. Nas imagens geradas, foi mensurado o comprimento, altura e a largura do corpo e do forame vertebral, além da espessura do osso cortical. Pode-se observar que as vértebras lombares dos coelhos são mais compridas do que as dos cães, porém apresentam largura e altura menores. A espessura do osso cortical das duas espécies é semelhante. As diferenças morfométricas encontradas restringem o uso do coelho como modelo animal para o desenvolvimento de cirurgias experimentais de cães.

Palavras-chave: Tomógrafo Computadorizado de Feixe Cônico. Osso cortical. Coluna vertebral.

2.2. ABSTRACT

The study of spinal surgery of dogs presents limitations for the standardization of the sample, due to the difficulty of obtaining animals of the same race, sex and age. Thus, the use of rabbit as an animal model is suggested. Morphometric studies are important to evaluate the anatomical compatibility between the two species. In addition, the growing interest in the rabbit as a pet and the common occurrence of iatrogenic fractures in its caudal lumbar spine, emphasize the need for such studies. Eight segments of the vertebral column (L1-S3) of dogs, between 3 and 5 kg, adults, with no predilection for race or sex, and eight of New Zealand rabbits between 3 and 5 kg, were submitted to a computerized tomographic examination of conical bundle. In the generated images, the length, height and width of the vertebral body and vertebral foramen were measured, as well as the thickness of the cortical bone. It is concluded that the lumbar vertebrae of the rabbits are longer than those of the dogs, but they have smaller width and height. The thickness of the cortical bone of the two species is similar. The morphometric differences found restrict rabbit use as an animal model for the development of experimental dog surgeries.

Keywords: Cone Beam Computed Tomography. Cortical bone. Spine.

2.3. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novas técnicas cirúrgicas para o tratamento de afecções da coluna vertebral de cães é um desafio. Vários estudos biomecânicos de segmentos vertebrais isolados *in vitro* já foram realizados em cães para quantificar os efeitos das alterações cirúrgicas na coluna vertebral (CORSE et al., 2003; ADAMO et al., 2007; HOFSTETTER et al., 2009; BÖSCH, N. et al., 2017). Entretanto, nas artrodeses intervertebrais, a ausência de testes de fadiga para o método de fixação, o nível de rigidez requerido para a estabilidade e fusão a longo prazo permanecem incertos, sendo necessários novos estudos *in vivo* para que se possa recomendar o uso rotineiro do método (SCHÖLLHORN et al., 2013).

Na cirurgia experimental procura-se se utilizar cada vez menos os animais de médio porte, como o cão e o porco, e progressivamente passar a utilizar os de pequeno porte, como o rato, camundongo, cobaia e o coelho, devido ao menor custo, facilidade de obtenção, manuseio e manutenção (HOSSNE, 2003). Dessa forma, a escolha do coelho como modelo animal para o desenvolvimento de cirurgias experimentais da coluna vertebral de cães, deve-se ao fato de serem os mamíferos de maior porte, dentre os animais de laboratório disponíveis e por apresentarem menor apelo social do que os cães (FAGUNDES; TAHA, 2004). Faz-se necessário validar a extrapolação de uma espécie para a outra, sendo necessária a análise crítica das limitações inerentes as diferenças anatômicas.

Além disso, a procura por mini coelhos, como animais de companhia, cresce anualmente, principalmente por famílias que moram em apartamentos e que buscam um animal de estimação exótico com manutenção barata e ausência de barulho (FERREIRA; MACHADO, 2007). É comum nesses animais a ocorrência de fraturas e luxações da coluna vertebral lombar devido ao seu esqueleto frágil e musculatura bem desenvolvida nos membros pélvicos. A atividade muscular súbita e explosiva, causa a hiperextensão da articulação lombossacra, podendo gerar trauma vertebro-medular, envolvendo com maior frequência a sétima vértebra lombar (GREENAWAY et al., 2001; HARCOURT-BROWN, 2002; VERNAU et al., 2007; GRUBER et al., 2009; WHITTINGTON e BENNETT, 2011; FISHER; CARPENTER, 2012; McCULLOUGH et al., 2012). Classicamente, esse tipo de lesão é resultado de contenção inadequada (GREENAWAY et al., 2001; FISHER; HARCOURT-BROWN, 2002; GRUBER et al., 2009; WHITTINGTON; BENNETT, 2011; CARPENTER, 2012) Os animais afetados

podem apresentar uma série de sinais clínicos e vários graus de comprometimento neural (GREENAWAY et al., 2001; VERNAU et al., 2007; GRUBER et al., 2009; FISHER; CARPENTER, 2012; MCCULLOUGH et al., 2012). Apesar da natureza relativamente comum da lesão, pouca informação sobre o tratamento está disponível (MORAN et al., 2017).

O uso de coelhos em pesquisa, bem como a crescente popularidade como animais de estimação, enfatiza a necessidade de informações detalhadas sobre a anatomia das vértebras dos coelhos. Os cirurgiões ortopedistas veterinários estão familiarizados com a anatomia cirúrgica do cão e possivelmente se beneficiariam em compreender a anatomia dos coelhos de forma comparativa.

Frente ao exposto, o presente estudo morfométrico tomográfico teve como objetivo comparar a estrutura anatômica das vértebras lombares e a espessura do osso cortical entre cães e coelhos. Essas informações são importantes para avaliar as limitações da utilização do coelho como modelo animal para técnicas cirúrgicas da coluna vertebral lombar de cães, e oferecer subsídio para o planejamento do tratamento cirúrgico de afecções dessa região em coelhos.

2.4. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dezesseis segmentos de colunas vertebral (L1-S3), sendo oito de cadáveres de cães (*Canis lupus familiaris*) e oito de coelhos (*Oryctolagus cuniculus*). Os animais apresentavam entre 3 e 5 kg de massa corpórea, eram adultos jovens e não houve predileção por sexo. Os cães eram provenientes de clínicas e hospitais veterinários de Curitiba-PR, sendo cadáveres éticos, ou seja, vieram a óbito por condições não relacionadas ao estudo. Os coelhos eram da raça Nova Zelândia e foram provenientes de outro experimento científico, com autorização do comitê de ética sob número 056/2017 (anexo). Para ambas as espécies, o critério de inclusão no estudo foi a ausência de histórico de sinais neurológicos de lesão vertebro-medular lombar, doenças óssea ou nutricional, fraturas, luxações, neoplasias vertebrais, doenças congênitas ou histórico de cirurgia de coluna lombar. Também não foram incluídos animais com anormalidades anatômicas visíveis em exame radiográfico digital em dupla exposição.

Para a produção dos espécimes, a musculatura epaxial, as articulações e os ligamentos dos segmentos de coluna vertebral foram mantidos intactos, sendo

armazenados a temperatura de -20°C , umedecidos por solução fisiológica e embalados com papel filme PVC (policloreto de polivinila). Visando o descongelamento para a realização de exame tomográfico, no dia anterior ao estudo, os espécimes foram transferidos e armazenados em refrigerador a $+4^{\circ}\text{C}$.

As imagens tomográficas foram obtidas utilizando o Tomógrafo Computadorizado de Feixe Cônico (TCFC), modelo i-CAT[®] Next Generation (Imaging Sciences International, Hatfield, PA, EUA), pertencente ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Imaginologia da Universidade Federal do Paraná (LABIM – UFPR). O FOV (*field of view ou campo de visão*) e o tamanho do voxel foram fixados em 16 por 8 cm e 0,2 mm, respectivamente. A corrente e a tensão do tubo e o tempo de exposição foram pré-ajustados em 5 mA, 120 kVp e 14,7 s, respectivamente. Os espécimes foram acomodados sobre suporte fixado com base de 15 cm de comprimento por 15 cm de largura e posicionadas em sentido craniocaudal e dorsoventral. As imagens foram adquiridas pelo software *Imaging Sciences International*, desenvolvido pelo mesmo fabricante do TCFC e as reconstruções posteriormente analisadas utilizando o *software* livre RadiAnt DICOM Viewer BETA 4.9.15.

Para comparar aspectos anatômicos entre cães e coelhos, as imagens foram reconstruídas utilizando a ferramenta de Reconstrução Multiplanar (MPR). Os eixos de direção foram posicionados de forma que cruzassem no ponto central do corpo vertebral da vértebra em análise nos planos sagital, transversal e longitudinal ao mesmo tempo (figura 2.1).



Figura 2.1. Cortes tomográficos da quarta vértebra lombar de cão, raça Lhasa Apso, macho, quatro anos, com eixos de direção posicionados no ponto central do corpo vertebral, utilizando a ferramenta de Reconstrução Multiplanar. 1 – Plano sagital com eixo X posicionado paralelo ao dorso do corpo vertebral; 2 – Plano longitudinal; 3 – Plano transversal com eixo Y sobre o processo espinhoso de L4.

Com a vértebra devidamente posicionada de acordo com os eixos de referência, foram mensurados o comprimento, largura e altura do corpo e do forame vertebral. No plano sagital, foram mensurados o comprimento (figura 2.2.1b) e a altura (figura 2.2.1a) do forame vertebral, além da altura do corpo vertebral (figura 2.2.1c). No plano longitudinal, foram medidas a largura (figura 2.2.2d) e o comprimento (figura 2.2.2e) do corpo vertebral. A largura do forame vertebral foi mensurada no plano transversal (figura 2.2.3f). Além disso, foi mensurada a espessura do osso cortical na parte ventral do corpo vertebral, também no plano transversal (figura 2.2.3e).

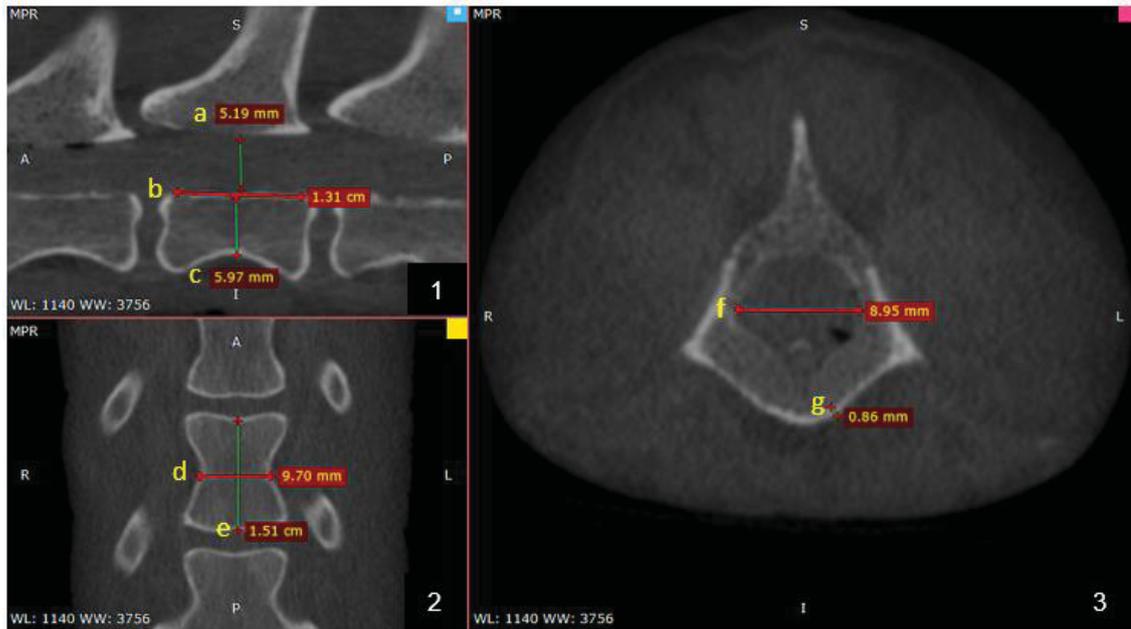


Figura 2.2. Cortes tomográficos da quarta vértebra lombar de cão, raça Lhasa Apso, macho, quatro anos, utilizando a ferramenta de Reconstrução Multiplanar para mensurar (a) altura e (b) comprimento do forame vertebral; (c) altura do corpo vertebral no plano sagital (1); (d) largura e (e) comprimento do corpo vertebral no plano longitudinal (2); (f) largura do forame vertebral e (g) espessura do osso cortical no plano transversal (3).

Para avaliar o grau de confiabilidade da avaliação morfométrica, todas as medidas foram repetidas 3 vezes com intervalo de pelo menos 1 semana entre as mensurações, sendo realizadas sempre pelo mesmo avaliador.

Os dados foram tabulados no programa Excel e a estatística foi realizado utilizando o programa *Graphpad prism v5*. Foi calculada a estatística descritiva dos parâmetros estudados, como média, desvio padrão, mediana, valor mínimo e máximo. Para a escolha do teste estatístico, foi realizado teste de Grubbs para descartar valores discrepantes (outlier) e o teste de normalidade de D'Agostino-Pearson. Os dados apresentaram distribuição normal e por serem amostras não pareadas, o teste T foi utilizado para análise estatística e comparação entre os grupos.

2.5. RESULTADOS

Os dois grupos se mostraram uniformes com relação a massa corpórea dos animais, não havendo diferença estatística ($p < 0,05$), sendo que a média do peso dos cães foi de 4,188 kg (Erro Padrão $\pm 0,3969$, $n=8$) enquanto que a dos coelhos foi de 3,288 kg (Erro Padrão $\pm 0,3054$, $n=8$).

O comprimento do corpo vertebral (L1-L7) do coelho é 23% maior que o do cão ($p < 0,0001$). Enquanto que a altura e a largura são significativamente menores do que a da vértebra lombar do cão, sendo 36% e 96% menores, em média, respectivamente ($p < 0,0001$; tabela 2.1).

Tabela 2.1. Média e Erro Padrão da média das mensurações do comprimento, altura e largura do corpo vertebral de vértebras lombares comparativo entre cães (n=8) e coelhos (n=8), em milímetros.

Vertebra	Corpo Vertebral					
	Comprimento (mm)		Altura (mm)		Largura (mm)	
	Cão	Coelho	Cão	Coelho	Cão	Coelho
L1	13.12 ± 0.37*	17.94 ± 0.49*	5.71 ± 0.22*	3.62 ± 0.13*	10.46 ± 0.29*	4.56 ± 0.11*
L2	13.69 ± 0.37*	18.83 ± 0.38*	5.99 ± 0.22*	3.93 ± 0.15*	10.66 ± 0.30*	4.71 ± 0.12*
L3	14.41 ± 0.37*	19.25 ± 0.37*	5.96 ± 0.26*	3.64 ± 0.08*	11.44 ± 0.42*	4.82 ± 0.14*
L4	14.77 ± 0.38*	19.30 ± 0.34*	6.01 ± 0.29*	3.36 ± 0.09*	10.77 ± 0.39*	5.52 ± 0.12*
L5	15.16 ± 0.41*	19.02 ± 0.35*	5.61 ± 0.27*	3.58 ± 0.13*	10.31 ± 0.31*	5.85 ± 0.14*
L6	14.53 ± 0.38*	18.36 ± 0.32*	5.76 ± 0.29*	3.63 ± 0.12*	11.42 ± 0.44*	6.72 ± 0.13*
L7	12.41 ± 0.33*	16.03 ± 0.30*	6.50 ± 0.31*	4.54 ± 0.14*	13.86 ± 0.58*	8.03 ± 0.19*

*diferença estatística, considerando $p < 0,0001$

Com relação ao forame vertebral do coelho, o comprimento é 23% maior, enquanto que a altura e a largura são 33% e 26% menores quando comparado a vértebra lombar do cão ($p < 0,0001$; tabela 2.2).

Tabela 2.2. Média e Erro Padrão das mensurações do comprimento, altura e largura do forame vertebral de vértebras lombares comparativo entre cães (n=8) e coelhos (n=8), em milímetros.

Vertebra	Forame Vertebral					
	Comprimento (mm)		Altura (mm)		Largura (mm)	
	Cão	Coelho	Cão	Coelho	Cão	Coelho
L1	11.43 ± 0.38*	15.15 ± 0.37*	5.53 ± 0.18*	3.65 ± 0.12*	6.83 ± 0.19*	4.89 ± 0.18*
L2	11.93 ± 0.34*	15.79 ± 0.32*	5.78 ± 0.17*	3.73 ± 0.12*	7.22 ± 0.19*	5.07 ± 0.14*
L3	12.37 ± 0.39*	16.29 ± 0.27*	6.18 ± 0.17*	3.45 ± 0.09*	7.89 ± 0.20*	5.17 ± 0.11*
L4	12.74 ± 0.35*	16.07 ± 0.26*	6.37 ± 0.19*	3.64 ± 0.08*	8.72 ± 0.20*	5.38 ± 0.08*
L5	12.93 ± 0.36*	15.90 ± 0.27*	5.72 ± 0.20*	4.15 ± 0.10*	8.96 ± 0.27*	6.29 ± 0.15*
L6	11.81 ± 0.30*	15.29 ± 0.29*	5.07 ± 0.16*	4.14 ± 0.09*	8.88 ± 0.24*	7.03 ± 0.18*
L7	9.26 ± 0.25*	12.76 ± 0.32*	4.40 ± 0.14*	3.39 ± 0.11*	9.66 ± 0.19*	7.94 ± 0.22*

*diferença estatística, considerando $p < 0,0001$

Não houve diferença estatística entre a espessura do osso cortical da parte ventral do corpo vertebral na região lombar entre cães e coelhos (tabela 2.3).

Tabela 2.3. Média e Erro Padrão da espessura do osso cortical de vértebras lombares comparativo entre cães (n=8) e coelhos (n=8), em milímetros.

Espécie	Espessura do osso cortical ± Erro Padrão (mm)						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Cão	0.65 ± 0.03	0.70 ± 0.03	0.70 ± 0.03	0.71 ± 0.02	0.75 ± 0.03	0.73 ± 0.02	0.73 ± 0.02
Coelho	0.62 ± 0.02	0.63 ± 0.02	0.64 ± 0.02	0.68 ± 0.02	0.68 ± 0.02	0.69 ± 0.02	0.72 ± 0.02

2.6. DISCUSSÃO

A escolha da TCFC foi devida aos espécimes serem pequenos e o aparelho permitir cortes de até 0,2 mm, sendo que os tomógrafos tradicionais apresentam cortes mais espessos, variando entre 0,5 a 20 mm (GARIB et al., 2007). Este tipo de tomógrafo é relativamente pequeno, apresenta menor custo e foi originalmente desenvolvido para a região buco-maxilo-facial. A principal vantagem é a reprodução da imagem tridimensional dos tecidos mineralizados, com mínima distorção (SCARFE et al., 2006), sendo interessante para estudos morfométricos. Vários estudos já validaram a precisão das medidas realizadas nessas imagens e a confiabilidade desse método de mensuração, considerado como padrão ouro (FARMAN; SCARFE, 2006; KUMAR; LUDLOW, 2008; MOSHIRI et al., 2007; NA et al., 2005).

Além de apresentar alta acurácia, a imagem da TCFC distingue esmalte, dentina, cavidade pulpar e cortical alveolar (HASHIMOTO et al., 2003), o que permitiu nesse estudo a avaliação da espessura do osso cortical. Apesar de constar nos livros de clínica de animais exóticos que o osso cortical dos coelhos é mais delgado do que o de carnívoros e que essa característica dificulta a colocação de placas ósseas (FISHER; CARPENTER, 2012; PESSOA, 2014; QUINTON, 2005), não houve diferença estatística nesse quesito, quando comparada às vértebras da região lombar do grupo cão e coelho. Sendo a espessura do osso cortical do coelho semelhante ao do cão, mais estudos devem ser realizados para verificar outros parâmetros que possam justificar essa maior dificuldade em utilizar placas ósseas na espécie, como estudos comparativos da densidade óssea entre as duas espécies. Essa característica não pode ser avaliada nesse estudo, devido a TCFC não permitir a mensuração, diferente do tomógrafo tradicional.

Esse estudo morfométrico tomográfico comparativo, permitiu observar que o corpo vertebral do coelho é mais comprido, mas a parte central apresenta largura e

altura significativamente menores do que as do cão, chegando a apresentar redução de 96% na largura, ou seja, o comprimento vertebral é maior, mas a região central é muito estreita. Esse fator pode ajudar a explicar a maior fragilidade vertebral observada em coelhos e a ocorrência comum de fraturas iatrogênicas (FISHER; CARPENTER, 2012; WHITTINGTON; BENNETT, 2011; MCCULLOUGH et al., 2012)

Moran e colaboradores (2017) realizaram estudo tomográfico *ex vivo* de coluna toracolombar de coelhos, que objetivou avaliar a anatomia e definir corredores seguros para a colocação de implante, além de colocar pinos e testar esses corredores previamente estabelecidos. Os autores observam que apesar de existirem corredores seguros, existe alto risco de erros de inserção, devido ao pequeno tamanho das vértebras do coelho. Enquanto todo o comprimento vertebral pode ser utilizado para a colocação de implantes em cães, a anatomia vertebral limitada dos coelhos não permite esse uso. Os autores relatam que o maior volume ósseo está contido nas estreitas epífises cranial e caudal, enquanto que no centro do corpo vertebral, o osso se afina até o ponto em que a espessura é inadequada para a colocação de implantes. A dificuldade relatada pelos autores foi comprovada e melhor delimitada no presente estudo. O planejamento cirúrgico do tratamento de fraturas e luxações da coluna vertebral de coelhos, da raça Nova Zelândia, adultos, com aproximadamente 3,2 kg de massa corpórea, deve considerar que o comprimento médio do corpo vertebral dos coelhos é de 18,39 mm e a altura e a largura, na região central, são de aproximadamente 3,75 mm e 5,75 mm, respectivamente. Essas dificuldades podem ser contornadas com o uso de guias cirúrgicos gerados em impressoras 3D a partir de exames tomográficos.

O forame vertebral do coelho apresentou o mesmo padrão do corpo vertebral, sendo mais comprido, porém com largura e altura inferiores às do cão. Sendo o forame vertebral do coelho mais estreito, esse fato sugere maior facilidade em lesões compressivas da medula espinhal nessa espécie. Os coelhos apresentam cauda equina mínima e a medula espinhal termina ao nível da segunda vértebra sacral (GREENAWAY et al., 2001), enquanto que no cão, termina na sexta ou sétima vértebra lombar (SISSON, 2013), o que justifica o maior grau de comprometimento neural em fraturas da sétima vértebra lombar de coelhos.

Devido as diferenças anatômicas observadas nesse estudo morfométrico, não podemos considerar o coelho como modelo animal adequado para o desenvolvimento de cirurgias experimentais da coluna vertebral lombar do cão, uma vez que implantes

dedicados a anatomia vertebral do coelho, não se aplicam ao cão. Além disso, devido a anatomia delicada da vértebra do coelho, há maior risco de complicações trans e pós-operatórias nessa espécie do que no cão, portanto, se uma técnica experimentada no coelho for considerada mal-sucedida, a extrapolação dessa informação para o cão poderá ser um equívoco.

Contudo, nosso estudo possui algumas limitações, primeiro, apenas uma raça de coelho foi examinada e podem ocorrer variações na morfologia vertebral entre raças. O grupo dos cães não foi uniforme por apresentar animais de diferentes raças, tanto condrodistróficas quanto não-condrodistróficas. E por fim, um único observador realizou todas as mensurações, impossibilitando a avaliação da correlação interobservador.

2.7. CONCLUSÃO

As vértebras lombares do coelho são mais compridas, porém apresentam largura e altura menores quando comparadas com as de cães de pequeno porte. A espessura do osso cortical vertebral de cães e coelhos são semelhantes. As diferenças morfométricas observadas na região lombar da coluna vertebral limitam o uso do coelho como modelo animal para o desenvolvimento de cirurgia experimental de cães.

2.8. REFERÊNCIAS

ADAMO, F. et al. **In vitro biomechanical comparison of cervical disc arthroplasty, ventral slot procedure, and smooth pins with polymethylmethacrylate fixation at treated and adjacent canine cervical motion units.** 36 ed. Veterinary Surgery, 2007. p. 729–741.

BÖSCH, N. et al. **Effect of Facetectomy on the Three-Dimensional Biomechanical Properties of the Fourth Canine Cervical Functional Spinal Unit: A Cadaveric Study.** Vet Comp Orthop Traumatol. 2017 Nov 30(6). p.430-437.

CORSE, M. R.; RENBERG, W. C.; FRIIS, E. A. **In vitro evaluation of biomechanical effects of multiple hemilaminectomies on the canine lumbar vertebral column.** 64 ed. Am J Vet Res., 2003. p. 1139–1145.

DELAMAIDE, G. J. A. et al. **Surgical management of vertebral synovial cysts in a rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 7 ed. J Am Vet Med Assoc., 2014. p. 830-834.

FAGUNDES, D. J.; TAHA M. O. **Modelo animal de doença: critérios de escolha e espécies de animais de uso corrente.** Acta Cir Bras, 2004 Jan-Fev. p.19.

FARMAN, A. G.; SCARFE W. C. **Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography.** Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. p.257-65

FERREIRA, W. M.; MACHADO, L. C. **Perspectivas da Cunicultura Brasileira.** Revista Veterinária e Zootecnia em Minas, Belo Horizonte, março 2007. p. 41 – 44.

FISHER, P.G.; CARPENTER, J. W. **Neurologic and musculoskeletal diseases.** In: **Quesenberry KE, Carpenter JW, editors. Ferrets, rabbits, and rodents: clinical medicine and surgery.** 3rd ed. St Louis, Missouri: Saunders Elsevier, 2012. p. 245–256.

GARIB, D. G. et al. **Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia.** Maringá: mar./abr. 2007. v. 12, n. 2, p. 139-156.

GREENAWAY, J. et al. (2001). **Anatomy of the lumbosacral spinal cord in rabbits.** 37ed. Journal of the American Animal Hospital Association. p. 27–34.

GRUBER A. et al. **A retrospective study of neurological disease in 118 rabbits.** J Comp Pathol, 2009. p.31–37.

HARCOUT-BROWN, F. **Neurological and locomotor disorders.** In: Harcourt-Brown F (ed. Textbook of Rabbit Medicine) 1st ed. Oxford UK, Butterworth-Heinemann, 2002. p. 307–323.

HASHIMOTO, K. et al. **A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine.** Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics, 2003. p.1-7.

HIRAIZUMI, Y.; FUJIMAKI E.; TACHIKAWA, T. **Long-term morphology of spastic or flaccid muscles in spinal cord-transected rabbits.** Clin Orth Rel Res, 1990. p. 287–296.

HOFSTETTER, M. et al. **Biomechanical analysis of the three-dimensional motion pattern of the canine cervical spine segment.** 38 ed. Veterinary Surgery, 2009. p.C4–C5.

HOSSNE, W. S. **O cirurgião acadêmico.** Vol. 18. Acta Cir. Bras., São Paulo, Sep./Oct. 2003.

KUMAR, V. et al. **In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms.** 78 ed. Angle Orthod, 2008. p. 873-879.

MCCULLOUGH, A. W. et al. **Medical management of multiple traumatic vertebral subluxations and fractures in a rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 21 ed. J Exot Pet Med, 2012. p. 172–180.

MORAN C. E. et al. **Computed tomographic study of safe implantation corridors in rabbit lumbar vertebrae**. 30 ed. Vet Comp Orthop Traumatol, 2017. p. 357-363.

MOSHIRI, M. et al. **Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from cone-beam computed tomography**. 132 ed. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007. p. 550-560.

NA, E. R. et al. **A comparative study of the reproducibility of landmark identification on posteroanterior and anteroposterior cephalograms generated from cone-beam computed tomography scans**. Korean journal of orthodontics, 2019. p. 41-48.

PESSOA, C. A.; **Lagomorpha (Coelho, Lebre e Tapiti)** In: CUBAS, Z.S.; SILVA, J.C.R.; CATÃO-DIAS, J.L. Tratado de Animais Selvagens: Medicina Veterinária. 2da ed. 56 cap., 2014. p. 1210-1237.

QUINTON, J-F. Lagmorfos: Coelho. In____. **Novos animais de estimação: pequenos mamíferos**. São Paulo, Roca, 2005. Parte II, p. 69-166.

SCARFE, W. C.; FARMAN, A. G.; SUKOVIC, P. **Clinical applications of cone-beam compute tomography in dental practice**. V. 72, J Can Dent Assoc, Ottawa, Feb. 2006. p. 75-80.

SCHÖLLHORN, B. et al. **Comparison of the Biomechanical Properties of a Ventral Cervical Intervertebral Anchored Fusion Device With Locking Plate Fixation Applied to Cadaveric Canine Cervical Spines**. 42 ed. Veterinary Surgery, 2013. p. 825–831.

SISSON, S. **Osteologia do carnívoro. Parte 1 – Cão: coluna vertebral**. In: SISSON & GROSSMAN: Anatomia dos animais domésticos (Alzido de Oliveita et al. tradução), Rio de Janeiro: Guanaba Koogan, 2013.

VERNAU, K. M.; OSOFSKY A.; LECOUTEUR, R. A. **The neurological examination and lesion localization in the companion rabbit (*Oryctolagus cuniculus*)**. 10 ed. Vet Clinic North Am Exotic Pract, 2007. p. 731–758.

3. ESTUDO BIOMECÂNICO COMPARATIVO DE COLUNA LOMBAR CAUDAL DE CÃO E COELHO *EX VIVO*

Comparative biomechanical study of caudal lumbar spine of dog and rabbit ex vivo

3.1. RESUMO

Estudos biomecânicos *in vitro* são meios importantes para testar novos conceitos em cirurgia da coluna vertebral em medicina veterinária. A aquisição de amostras homogêneas de cadáveres de cães é difícil, sendo interessante estudos comparativos com outras espécies que possam servir de modelo animal. Devido ao porte, coelhos parecem ser uma boa opção. Esses animais são susceptíveis a fraturas iatrogênicas da coluna lombar caudal, havendo interesse no melhor entendimento da biomecânica da coluna dessa região. Nove segmentos de coluna vertebral (L2-S3) de cães, entre 3 e 5 kg, adultos, sem predileção por raça ou sexo e nove de coelhos, da raça Nova Zelândia, entre 3 e 5 kg, adultos, sem predileção por sexo, foram submetidos a ensaio de flexibilidade no eixo flexão-extensão sob carga pré-estabelecida de 60 N no grupo cão e 40 N para o grupo coelho. Os espécimes foram radiografados na posição neutra, flexão e extensão. Nas imagens, foi mensurado o ângulo formado entre os corpos vertebrais das articulações intervertebrais L4-L5, L5-L6 e L6-L7 e calculado a Amplitude de Movimento (AM) flexão-extensão e a Diferença Angular (DA) na posição de flexão e extensão. Além disso, foi realizado estudo destrutivo na posição de extensão. A AM das articulações intervertebrais de L4-L5 e L5-L6 do coelho é superior à de cães. A articulação L6-L7 de coelhos apresenta movimento paradoxal, o que pode contribuir para a ocorrência de fraturas nessa região. A coluna lombar de cães suporta carga superior ao dobro da suportada por coelhos.

Palavras-chave: Coluna vertebral. Resistência à Flexão. Resistência à Tração. Cinestesia.

3.2. ABSTRACT

In vitro biomechanical studies are an important way to test new concepts in spinal surgery on veterinary medicine. The acquirement of homogeneous samples in dog corpses is difficult, so comparative studies using other species that can serve as animal models are interesting. Due to its size, rabbits appear to be a good option. These animals are susceptible to iatrogenic fractures of the caudal lumbar spine, and there is large interest in a better understanding of the spine biomechanics in this region. Nine segments of the spine (L2-S3) of dogs, between 3 and 5 kg, adults, without predilection for race or gender, and nine of New Zealand rabbits, between 3 and 5 kg, adults, without gender preference, were submitted to flexion-extension flexion test under pre-established load of 60 N in the dog group and 40 N for the rabbit group. The specimens were radiographed in the neutral position, flexion and extension. On the images, the angle formed between the vertebral bodies of the intervertebral joints L4-L5, L5-L6 and L6-L7 was calculated. The Range of Motion (RM) the flexion-extension and Angular Difference (AD) were calculated in the flexion and extension position. In addition, a destructive study was carried out in the extension position. RM of the intervertebral joints of L4-L5 and L5-L6 of rabbit is superior to that of dogs. The L6-L7 joint of rabbits presents paradoxical movement, which may contribute to the occurrence of fractures

at this region. The lumbar spine of dogs supports twice as more charges than that of the rabbits.

Keywords: Spine. Flexural Strength. Resistance to traction. Kinesthesia.

3.3. INTRODUÇÃO

Estudos biomecânicos da coluna vertebral tem como objetivo avaliar o comportamento desse sistema biológico, sob efeito de cargas aplicadas, usando conceitos físicos, visando simular situações *in vivo* para orientar o tratamento clínico. Entretanto, em decorrência das limitações dos estudos *in vivo*, a maioria dos experimentos biomecânicos são realizados em cadáveres, e posteriormente confirmados clinicamente (GRAUER; PANJABI, 2007; MIELE et al., 2011; BÖSCH, N. et al., 2017).

A pesquisa biomecânica *in vitro* é meio importante e viável para testar novos conceitos e os efeitos das cirurgias na coluna vertebral (BUSSCHER et al., 2010). Vários estudos já foram realizados em cães (CORSE et al., 2003; ADAMO et al., 2007; HOFSTETTER et al., 2009). Fraturas e luxações vertebrais são uma das principais causas de lesão neurológica nessa espécie, representando 6% dos casos em que há disfunção medular, sendo que a causa mais comum são os traumas externos (MARIONI-HENRY et al., 2004; FLUEHMANN et al., 2006). O tratamento cirúrgico da região lombar caudal é mais complexo pelo difícil acesso a face lateral do corpo vertebral e pela necessidade em se preservar as raízes nervosas, devido a inervação dos músculos dos membros pélvicos, fazendo com que essa seja uma região de interesse para o desenvolvimento de cirurgia experimental (JEFFERY, 2010).

Comumente, utilizam-se espécimes de cadáver de cães para testes, porém, por conta de uma série de dificuldade encontradas para padronizar a amostra e a escassez de cadáver, devido ao apego afetivo do tutor com seu animal de estimação e crescimento dos serviços de crematório e cemitérios específico para animais, o modelo animal tem sido utilizado como comparativo. No caso da experimentação ortopédica, o coelho se destaca por apresentar rápida consolidação e remodelamento ósseo (MATOS et al. 2001). Além disso, apresenta várias vantagens, como a facilidade em conseguir os espécimes e a padronização do tamanho, idade, sexo, raça, tipo de criação e alimentação (FAGUNDES; TAHA, 2004). Porém, estudos comparativos são importantes para que os pesquisadores usem modelos animais

adequados e evitam experimentos desnecessários que não permitem a aplicação na espécie de interesse, devido a incompatibilidade (ALINI et al., 2008).

Além disso, os coelhos estão ocupando papel importante como animais de companhia (PESSOA, 2014). São animais inteligentes e de fácil treinamento, sendo criados como membros da família. Seus tutores exigem do médico veterinário a mesma qualidade de atendimento dada aos cães e gatos (RICHARDSON, 2000). As fraturas ou luxações/subluxações vertebrais lombares caudais são comuns nesses animais (GRUBER et al., 2009; VERNAU et al., 2007). O trauma geralmente ocorre por contenção inadequada, uma vez que apresentam o esqueleto frágil e membros pélvicos com musculatura bem desenvolvida e potente. Um movimento súbito e sem suporte adequado dos membros pélvicos, pode causar uma fratura vertebral, geralmente em L7, com consequente paraparesia ou paraplegia (FISHER; CARPENTER, 2012; GREENAWAY et al., 2001; HARCOURT-BROWN, 2002; WHITTINGTON; BENNETT, 2011; McCULLOUGH et al., 2012). No coelho, a cauda equina é muito curta e a medula espinhal se estende até a região sacral, portanto, traumas da coluna lombar caudal geram danos na medula espinhal (GREENAWAY et al., 2001). Há pouca informação sobre o tratamento cirúrgico dessas lesões (MORAN et al., 2017).

O uso de coelhos em pesquisas, bem como sua crescente popularidade como animais de estimação, enfatiza a necessidade do entendimento da biomecânica da coluna lombar. Estudos comparativos entre o coelho e o cão, permitem avaliar a possibilidade do uso do coelho como modelo animal para desenvolvimento de cirurgias da coluna lombar de cães e fornecem base literária para o desenvolvimento da ortopedia de lagomorfos.

O objetivo desse estudo biomecânico comparativo foi de avaliar a amplitude de movimento no eixo de flexão-extensão das articulações intervertebrais da coluna lombar caudal de cães e coelhos. Além disso, avaliar a carga necessária para que ocorra a fratura das vertebbras lombares nessas duas espécies.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Esse estudo foi desenvolvido em duas espécies de animais, cães e coelhos, que compuseram dois grupos distintos de indivíduos nos quais foram analisados os segmentos de coluna vertebral (L2-S3). O primeiro grupo era composto por nove

cadáveres de cães de pequeno porte (3-5 kg), adultos jovens, não havendo predileção por raça ou sexo, provenientes de clínicas e hospitais veterinários de Curitiba-PR, que vieram a óbito por condições não relacionadas ao estudo. O segundo grupo, era composto por nove coelhos (3-5 kg), raça Nova Zelândia, adultos jovens, sem predileção por sexo. Os coelhos eram provenientes de outro estudo científico e foram utilizados nesse estudo com a autorização do comitê de ética sob número 056/2017 (anexo).

Os animais selecionados para o estudo não podiam apresentar histórico de sinais neurológicos de lesão em coluna lombar; fraturas, luxações e neoplasias vertebrais; doenças ósseas ou nutricionais. Os espécimes foram submetidos a exame radiográfico em projeção lateral e dorsoventral, sendo excluídos do estudo os que apresentavam anormalidades anatômicas. No caso de exclusão, foi coletada nova espécime para substituição.

No preparo dos corpos de prova, a musculatura epaxial, as articulações e os ligamentos foram mantidos intactos. Os segmentos de coluna vertebral foram armazenados a temperatura de -20°C , umedecidas por solução fisiológica e embaladas com papel filme PVC (Policloreto de Polivinila). No dia anterior aos ensaios biomecânicos, as colunas foram transferidas e armazenadas num refrigerador a 4°C para descongelamento e mantidas umedecidas em solução fisiológica.

Os ensaios biomecânicos comparativos foram realizados no Laboratório de Ciências dos Materiais no Núcleo de Mecânica da Universidade Tuiuti do Paraná (figura 3.1). Para o estudo, foi utilizado dispositivo para ensaios de flexão na máquina universal de ensaios da EMIC (Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda) (figura 3.1A), a qual dispõe de *software* de ensaios para ambiente *Windows* (figura 3.1B). Antes dos testes, a superfície óssea do sacro e dos corpos vertebrais de L2 e L3 foram fixados com bloco de resina acrílica autopolimerizável utilizando molde de silicone com formato retangular com 2 cm de comprimento, 3 cm de largura e 2 cm de altura (figura 3.2). Esses blocos de resina foram fixados na máquina de ensaios, com o auxílio de parafusos (figura 3.3), na posição neutra. Em seguida, foram submetidas a movimentos de extensão e flexão ventral por meio da aplicação de carga de aproximadamente 60 N no grupo cão e de 40 N no grupo coelho.



Figura 3.1. Laboratório de Ciências dos Materiais onde foi realizado o ensaio biomecânico comparativo *ex vivo* de coluna lombar de cão e coelho. Observar em A- Máquina Universal de Ensaio da EMIC®; B- Computador com *software* de ensaios da EMIC®; C- Raio-X portátil.



Figura 3.2. Molde de silicone utilizado para fazer bloco de resina acrílica autopolimerizável na extremidade cranial (L2-L3) e caudal (osso sacro) para fixar segmento de coluna vertebral lombar em Máquina de Ensaio Universal EMIC® e realizar estudo biomecânico *ex vivo* comparativo entre cão e coelho.

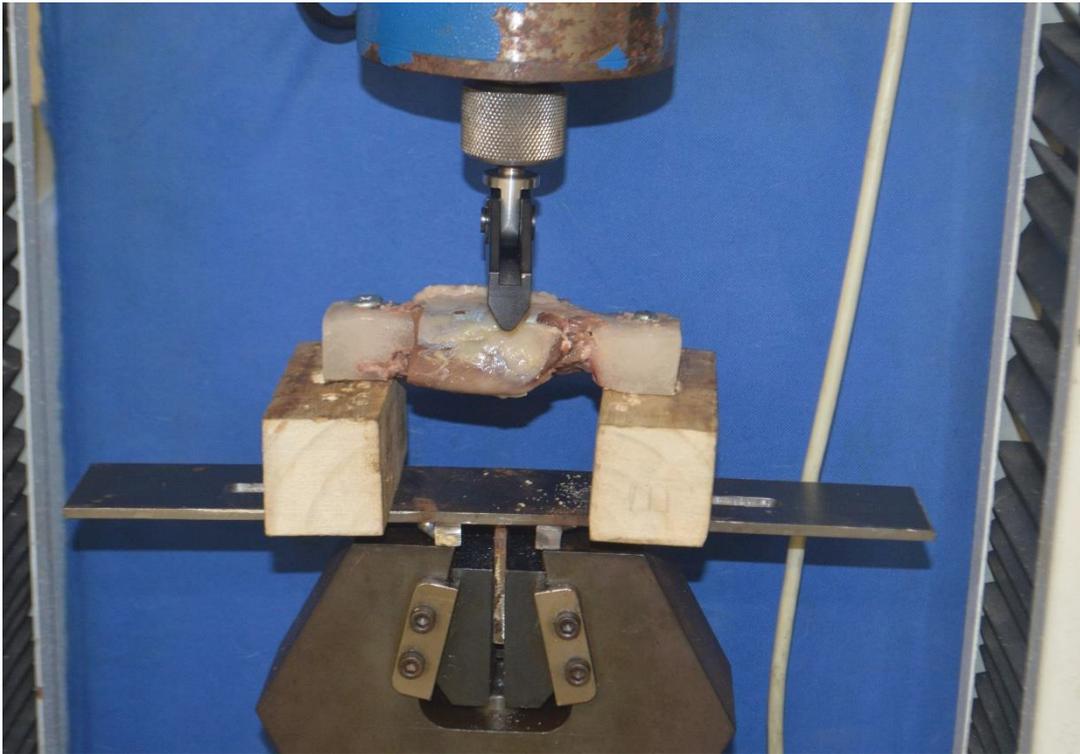


Figura 3.3. Os espécimes foram fixados a Máquina de Ensaios Universal EMIC® utilizando bloco de resina acrílica autopolimerizável nas extremidades (L1, L2 e osso sacro) e parafusado em bloco de madeira com sistema de ajuste de distância.

Foram realizadas radiografias digitais (figura 3.1C) em projeção lateral com os corpos de prova na posição neutra, e nas posições de flexão e extensão sob carga, sendo padronizada a distância entre o tubo do Raio-X e a placa digitalizadora. Foram realizadas três repetições para cada movimento, em ambos os grupos. Por último foi realizado ensaio destrutivo em posição de extensão

O software livre RadiAnt DICOM Viewer BETA 4.9.15. foi utilizado para análise das imagens e mensuração do ângulo formado entre as Unidades Vertebrais Móveis (UVMs) na posição neutra (figura 3.4A), flexão (figura 3.4B) e extensão (figura 3.4C). Entende-se por UVM o conjunto de dois corpos vertebrais adjacentes unidos por meio do disco intervertebral, facetas articulares e ligamentos, sendo essa considerada a menor unidade para a qual os resultados podem ser extrapolados para segmentos vertebrais maiores (HOERLEIN, 1979; GRAUER; PANJABI, 2007). As UVMs consideradas para este estudo foram L4-L5, L5-L6, L6-L7. Para avaliar a confiabilidade da avaliação, todas as aferições foram repetidas três vezes com pelo menos o intervalo de uma semana. Foi calculada a média das três repetições dos ângulos mensurados. Com a média desses ângulos, foi possível determinar a

diferença entre os ângulos das vértebras na posição neutra para a posição de flexão e da neutra para a extensão, ambas sob carga, as quais foram chamadas de diferença angular (DA). A amplitude de movimento (AM) flexão-extensão foi dada pela diferença angular entre a posição de flexão e extensão.

Foram determinadas as curvas de carga-deslocamento dos ensaios destrutivos na posição de extensão, para observação da força máxima ao ponto de ruptura (força necessária para fraturar o corpo de prova, expressa em Newton).

A análise estatística e a comparação entre os grupos, foram realizadas através do teste T. Para a escolha desse teste estatístico, primeiramente foi aplicado o teste de normalidade de D'Agostino-Pearson e para descartar valores discrepantes (outlier), o teste de Grubbs. Os dados apresentaram distribuição normal e as amostras eram não pareadas. Além disso, foi calculada a estatística descritiva dos parâmetros estudados.

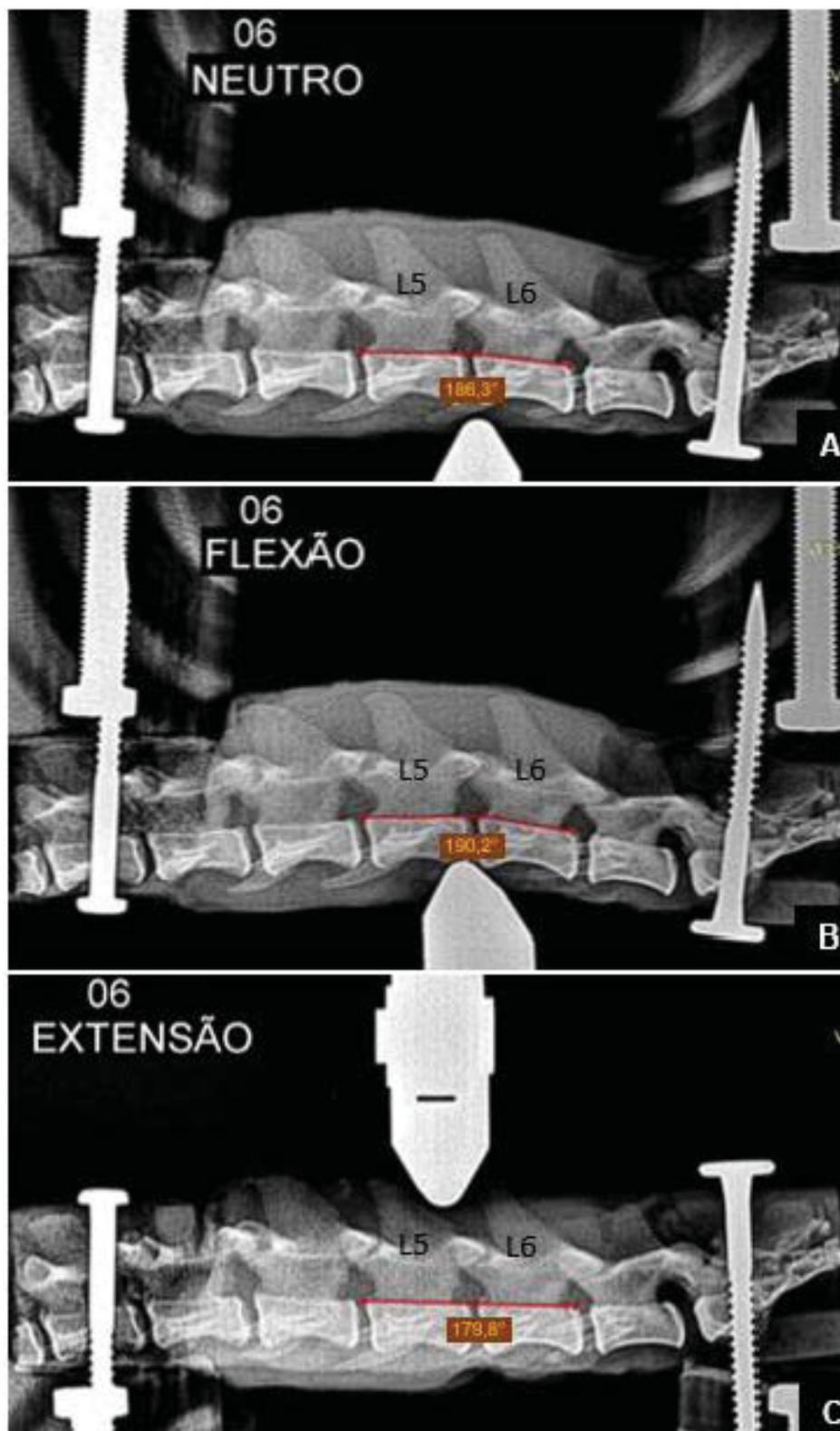


Figura 3.4. Estudo biomecânico *ex vivo* da coluna lombar de cão (animal 6), sem raça definida, macho, 2 anos de idade. A segunda e terceira vertebrae lombares e o osso sacro foram fixados com resina e parafuso na máquina de ensaios universal EMIC®. Foi realizado estudo radiográfico com a coluna em posição neutra (A), e sob carga de 60 N, na posição flexão (B) e extensão (C). Foi utilizada a ferramenta de mensuração de ângulo do *software* RadiAnt para medir o ângulo formado, no interior do canal vertebral, entre os corpos vertebrais da quinta e da sexta vertebrae lombares.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Ensaio de flexibilidade no eixo flexão-extensão sob carga pré-estabelecida

A carga aplicada no grupo cão foi maior do que a aplicada no grupo coelho, devido a falha precoce observada durante os ensaios dos espécimes de coelho. Houve a necessidade de reduzir a carga de 60 N para 40 N no grupo coelho para permitir a comparação e validar o estudo. Apesar desse fator, foi possível observar que a AM flexão-extensão é estatisticamente maior nos coelhos do que nos cães, nas UVMs L4-L5 e L5-L6 (tabela 3.1). Na UVM L4-L5 do coelho, a DA flexão foi em média 58% e a DA extensão foi 38% superior quando comparadas ao cão. Já com relação a UVM L5-L6, houve diferença estatística apenas na DA flexão, não havendo diferença na DA extensão. Esses resultados demonstram que a mobilidade articular vertebral lombar dos coelhos é maior do que a dos cães, especialmente no eixo de flexão, o que está associado as características da locomoção dessa espécie. Os coelhos apresentam a capacidade de saltar em alta velocidade, o que lhes confere uma vantagem energética e maior exigência articular da coluna lombossacra em comparação com os mamíferos quadrupedais não-saltantes como o cão (TENCADE, 1964; OSOFSKY et al., 2007).

Tabela 3.1. Média e erro padrão das mensurações da diferença angular (DA) na flexão e extensão e da amplitude de movimento (AM) flexão-extensão da coluna lombar caudal, comparativo entre cães (n=9) e coelhos (n=9), sob carga (60N grupo cão e 40N grupo coelho), em graus.

Articulação intervertebral	DA flexão		DA extensão		AM flexão-extensão	
	Cão	Coelho	Cão	Coelho	Cão	Coelho
L4-L5	5.55 ± 0.82*	13.43 ± 1.42*	-4.28 ± 0.77*	-6.97 ± 0.76*	9.83 ± 1.33*	20.40 ± 1.14*
L5-L6	6.13 ± 0.67*	11.97 ± 1.35*	-6.80 ± 0.87	-6.25 ± 0.82	12.93 ± 1.18*	18.21 ± 1.92*
L6-L7	5.48 ± 0.95*	-1.75 ± 1.73*	-3.42 ± 1.15	-2.05 ± 1.30	8.90 ± 1.09*	0.30 ± 2.52*

*diferença estatística, considerando $p < 0,03$

Quando se analisa os resultados comparativos da UVM L6-L7 (tabela 3.1), percebe-se que no grupo cão, a DA flexão segue o padrão esperado e observado nas articulações intervertebrais anteriores, resultando no aumento do ângulo formado entre as vértebras no interior do canal vertebral. Já no grupo coelho, observa-se a redução desse ângulo, sendo o resultado da DA flexão um valor negativo, o que afetou

o resultado da AM flexão-extensão e gerou uma diferença estatística importante, apesar da DA extensão ter apresentado resultados semelhantes entre os dois grupos. Isso demonstra que, nesse estudo, mesmo sob a ação de carga ventral, essa articulação apresentou o comportamento de extensão e não flexão, como seria o esperado. O comportamento contrário da UVM L6-L7, pode atuar como sistema de alavanca e ajudar a explicar a ocorrência comum de fraturas ou luxação em L7, a qual geralmente resulta da atividade muscular súbita e explosiva, que segundo a literatura, causa a hiperextensão da articulação lombossacra que atua como um eixo de rotação axial em coelhos (FISHER; CARPENTER, 2012; HARCOURT-BROWN, 2002; GRUBER et al., 2009; WHITTINGTON; BENNETT, 2011).

Para a interpretação desses dados, deve-se considerar que o movimento de flexão diminui sob uma força compressiva sobreposta devido a artefatos aplicados as UVMs, como o aumento do contato das facetas articulares (POLLINTINE et al., 2004), e/ou o aumento da rigidez do disco intervertebral sob compressão (IATRIDIS et al., 1998). Dessa forma, os resultados encontrados nesse estudo apresentam apenas valor comparativo entre as espécies, uma vez que esse resultado subestima o esperado para estudos cinemáticos *in vivo*.

Uma limitação importante desse ensaio de flexibilidade foi a aplicação de carga em apenas um ponto do espécime. O método experimental ideal para a avaliação de multi-UVMs, deve ser capaz de gerar múltiplos movimentos segmentados e sob pré-cargas compressivas com distribuição homogênea, da mesma magnitude com que ocorreria *in vivo*, enquanto que simultaneamente permite a mobilidade fisiológica (OXLAND, 2015). Dessa forma, quando se usa apenas um ponto de compressão, o vetor de carga não permanece perpendicular ao plano médio de cada disco à medida que a amostra é fletida e estendida, induzindo forças de cisalhamento de artefatos nos segmentos da coluna vertebral (PATWARDHAN et al., 2003).

3.5.2. Ensaio destrutivo

O ensaio destrutivo dos espécimes permitiu observar que em ambos os grupos, o coeficiente de determinação (R^2) foi alto (gráfico 3.1), ou seja, que em 81,82% no grupo cão e em 82,49% no grupo coelho, a variável dependente consegue ser explicada pelos regressores presentes no modelo, o que demonstra que os dados foram homogêneos e com boa correlação entre si.

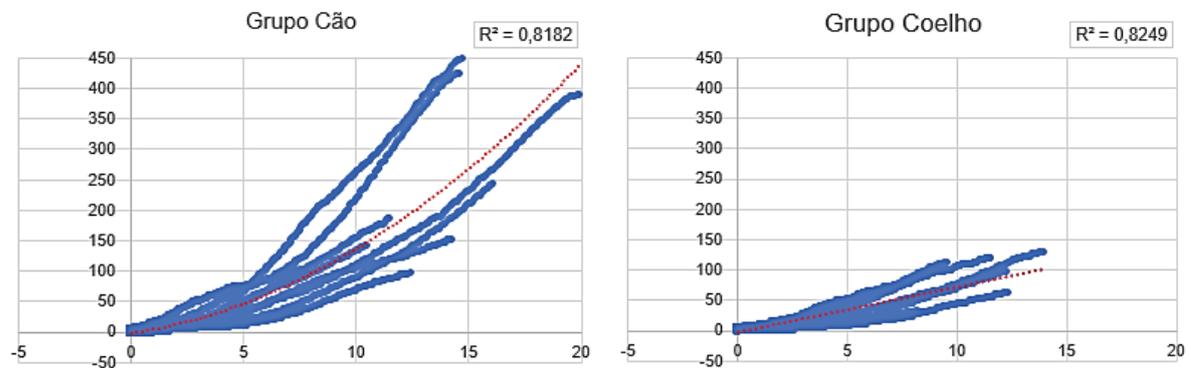


Gráfico 3.1. Curva de carga-deslocamento comparativa entre a coluna lombar caudal de cão (N=9) e coelho (N=9), referente a ensaio destrutivo no eixo flexão-extensão, sob carga de fratura, em posição dorsal (extensão). Observa-se a linha de tendência dos gráficos em vermelho e o coeficiente de determinação (R^2).

A força máxima ao ponto de fratura no grupo cão foi em média de 241,12 N (Erro Padrão \pm 47,11; Desvio Padrão \pm 141,34; n=9), enquanto que nos coelhos foi em média de 90,38 N (Erro Padrão \pm 10,83; Desvio Padrão \pm 32,48; n=9), apresentando diferença estatística entre os grupos com $p < 0,007$. Esse resultado nos sugere que a coluna lombar de cães suporta carga 62% superior à de coelhos, antes de haver a falha da estrutura anatômica. Entretanto, experimentos *ex vivo* demonstram que, na ausência do tono muscular, a coluna lombar não pode suportar cargas compressivas com a mesma magnitude *in vivo* (PATWARDHAN et al., 2003). Dessa forma, as forças máximas ao ponto de ruptura encontradas nesse estudo, estão subestimando as cargas suportadas por indivíduos vivos.

O desvio padrão da média da força máxima observado no grupo cão foi muito superior ao do grupo coelho. Os cadáveres utilizados para o grupo cão foram provenientes de clínicas veterinárias, o que dificulta a padronização das amostras com relação a idade, peso, raça, densidade mineral e alterações degenerativas, gerando um grupo heterogêneo. Já os cadáveres do grupo coelho foram provenientes de criadouro, o que faz com que esses animais sejam submetidos a mesma alimentação e nível de atividade física, além de facilitar a seleção de animais por idade, sexo e raça, o que conseqüentemente gera um grupo mais homogêneo. Todos esses fatos influenciam na qualidade do tecido muscular, ósseo e conjuntivo, interferindo diretamente na força suportada pelo corpo de prova (BUSSCHER et al., 2010).

Observando os gráficos de carga-deslocamento e considerando o comportamento dos espécimes após o evento de fratura (gráfico 3.2), pode se

perceber que no caso dos cães, há queda brusca de força, enquanto que nos coelhos, ocorre queda sutil, com rápida recuperação na sustentação da carga. Esse comportamento provavelmente se deve ao coelho apresentar massa muscular mais desenvolvida do que os cães (FISHER; CARPENTER, 2012; PESSOA, 2014; QUINTON, 2005), o que ajuda na sustentação de cargas aplicadas na coluna, mesmo após a fratura vertebral. Deve-se ressaltar que a musculatura epaxial, ao contrário dos músculos esqueléticos do restante do corpo, que visam promover movimentos, tem como função primária a estabilidade da coluna (MIELE et al., 2011).

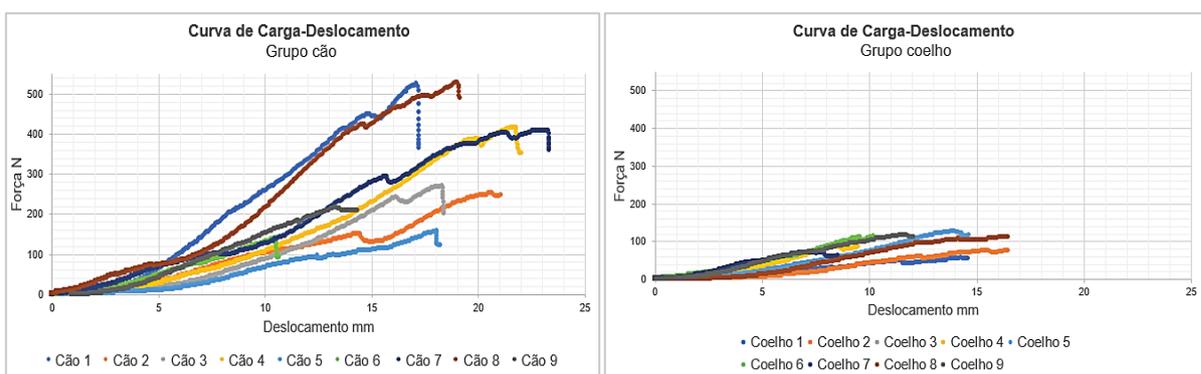


Gráfico 3.2. Curva de carga-deslocamento referente a ensaio destrutivo, com dados do período pós-fratura, na posição de extensão, de coluna lombar caudal comparativo entre cão (N=9) e coelho (N=9).

3.6. CONCLUSÃO

A amplitude de movimento flexão-extensão das articulações intervertebrais L4-L5 e L5-L6 dos coelhos é maior do que a dos cães, especialmente na posição de flexão. A articulação L6-L7 de coelhos apresenta movimento paradoxal na posição flexão, o que poderia contribuir com a elucidação do mecanismo de fraturas comuns em L7 nessa espécie. Para ocorrer a fratura da coluna lombar de cães entre 3 e 5 kg, é necessário a aplicação de carga superior ao dobro da suportada por coelhos de mesmo porte.

3.7. REFERÊNCIAS

ADAMO, F. et al. **In vitro biomechanical comparison of cervical disc arthroplasty, ventral slot procedure, and smooth pins with polymethylmethacrylate fixation at treated and adjacent canine cervical motion units.** 36 ed. Veterinary Surgery, 2007. p. 729–741.

ALINI, M. et al. **Are animal models useful for studying human disc disorders/degenerativos?** 17 ed. European Spine Journal, 2008. p. 2-19.

BÖSCH, N. et al. **Effect of Facetectomy on the Three-Dimensional Biomechanical Properties of the Fourth Canine Cervical Functional Spinal Unit: A Cadaveric Study.** Vet Comp Orthop Traumatol. 2017 Nov 30(6). p.430-437.

TECANTE, J. **Locomotory movements of the hind limbs in rabbits after isolation of the lumbosacral.** 41 ed. cord. J Exp Biol, 1964. p.359.

BUSSCHER, I. et al. **In vitro biomechanical characteristics of the spine. A comparison between human and porcine spinal segments.** Spine. V. 35 Jan 2010. p. E35-E42.

CORSE, M. R.; RENBERG, W. C.; FRIIS, E. A. **In vitro evaluation of biomechanical effects of multiple hemilaminectomies on the canine lumbar vertebral column.** 64 ed. Am J Vet Res., 2003. p. 1139–1145.

FAGUNDES, D. J.; TAHA M. O. **Modelo animal de doença: critérios de escolha e espécies de animais de uso corrente.** Acta Cir Bras, 2004 Jan-Fev. p.19.

FISHER, P.G.; CARPENTER, J. W. **Neurologic and musculoskeletal diseases.** In: Quesenberry KE, Carpenter JW, editors. Ferrets, rabbits, and rodents: clinical medicine and surgery. 3rd ed. St Louis, Missouri: Saunders Elsevier, 2012. p. 245-256.

FLUEHMANN, G.; DOHERR, M. G.; JAGGY, A. **Canine neurological diseases in a referral hospital population between 1989 and 2000 in Switzerland.** J Small Anim Pract 2006. p. 582-587.

GRAUER, J. N.; PANJABI, M. M. **Biomecânica clínica relevante da coluna.** In: VACCARO, A. R.; BETZ, R. R.; ZEIDMAN, S. M. **Cirurgia da coluna - princípios e prática.** Rio de Janeiro, 2007, Di Livros. p. 35-42.

GREENAWAY, J. et al. (2001). **Anatomy of the lumbosacral spinal cord in rabbits.** 37ed. Journal of the American Animal Hospital Association. p. 27–34.

GRUBER, A. et al. **A retrospective study of neurological disease in 118 rabbits.** J Comp Pathol, 2009. p.31-37.

HARCOUT-BROWN, F. **Neurological and locomotor disorders.** In: **Harcourt-Brown F (ed. Textbook of Rabbit Medicine).** 1st ed. Oxford UK, Butterworth-Heinemann, 2002. p. 307–323.

HOERLEIN, B. F. **Comparative disk disease: man and dog.** V. 15. Journal of the American Animal Hospital Association, set-out. 1979. p. 535-545.

HOFSTETTER, M. et al. **Biomechanical analysis of the three-dimensional motion pattern of the canine cervical spine segment.** 38 ed. Veterinary Surgery, 2009. p.C4–C5.

- IATRIDIS, J.C. et al. 1998. **Degeneration affects the anisotropic and non-linear behavior of human annulus fibrosus in compression.** 31 ed. J.Biomech. p. 535-544.
- JEFFERY, N. D. **Vertebral Fracture and Luxation in Small Animals.** Vet Clin Small Anim, 2010. p. 809-828.
- MARIONI-HENRY, K. et al. **Prevalence of diseases of the spinal cord of cats.** J Vet Intern Med, 2004. p. 851-858.
- MATOS, M. A.; GONÇALVES, R. R.; ARAUJO, F. P. **Modelo experimental de osteotomia em coelhos imaturos.** Acta Ortoped. Bras, 2001. p. 21-26.
- MIELE, V. J. et al. **Concepts and mechanisms of spinal biomechanics. In: Youmans neurological surgery.** 6. ed. Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2011. p. 2700-2710.
- MCCULLOUGH, A. W. et al. **Medical management of multiple traumatic vertebral subluxations and fractures in a rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 21 ed. J Exot Pet Med, 2012. p. 172–180.
- MORAN C. E. et al. **Computed tomographic study of safe implantation corridors in rabbit lumbar vertebrae.** 30 ed. Vet Comp Orthop Traumatol, 2017. p. 357-363.
- OSOFSKY, A.; RICHARD A.; LECOUTEUR, K.; VERNAU, M. **Functional Neuroanatomy of the Domestic Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 10 ed. Vet Clin Exot Anim, 2007. p.713-730.
- OXLAND, T. R. **Fundamental biomechanics of the spine - What we have learned in the past 25 years and future directions.** Journal of Biomechanics, 2015.
- PATWARDHAN, A. G. et al. 2003. **Effect of compressive follower preload on the flexion–extension response of the human lumbar spine.** 21 ed. J. Orthop. Res. p. 540-546.
- PESSOA, C. A.; **Lagomorpha (Coelho, Lebre e Tapiti)** In: CUBAS, Z.S.; SILVA, J.C.R.; CATÃO-DIAS, J.L. **Tratado de Animais Selvagens: Medicina Veterinária.** 2da ed. 56 cap., 2014. p. 1210-1237.
- POLLINTINE, P. et al. 2004. **Neural arch load-bearing in old and degenerated spines.** 37 ed. J.Biomech. p. 197–204.
- QUINTON, J-F. **Lagmorfos: Coelho.** In _____. **Novos animais de estimação: pequenos mamíferos.** São Paulo, Roca, 2005. Parte II, p. 69-166.
- RICHARDSON, V. **Rabbits: Health, Husbandry & Diseases.** Oxford, Uk: Blackwell Science Ltd, 2000. p. 1-172.
- VERNAU, K. M.; OSOFSKY A.; LECOUTEUR, R. A. **The neurological examination and lesion localization in the companion rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 10 ed. Vet Clinic North Am Exotic Pract, 2007. p. 731–758.

WHITTINGTON, J. K.; BENNETT, R. A. **Clinical technique: myelography in rabbits.** 20 ed. J Exot Pet Med, 2011. p. 217-221.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo comparativo das vértebras lombares de cão e coelho permitiu observar que o corpo e o forame vertebral do coelho são mais compridos, porém mais estreitos. Essas características anatômicas fazem com que seja mais difícil o posicionamento de implantes ortopédicos no coelho, que apresentam maior risco de complicações como a invasão do forame vertebral e consequente lesão medular.

A espessura do osso cortical não apresentou diferença estatística entre os dois grupos, diferente do que já havia sido relatado pelos clínicos de animais de companhia exóticos.

Na avaliação biomecânica ficou evidente a maior fragilidade das vértebras lombares do coelho e a maior amplitude de movimento quando comparado ao cão. A coluna lombar caudal do cão foi capaz de suportar carga 62% superior a tolerada pelo coelho. No ensaio de flexibilidade sob carga pré-estabelecida, no grupo cão foi utilizado carga de 60 N, mas devido a falha precoce, essa carga teve que ser reduzida para apenas 40 N no grupo coelho. Mesmo sob carga um terço inferior a aplicada nos espécimes de cão, a amplitude de movimento das articulações intervertebrais de L4-L5 e L5-L6 dos coelhos foram significativamente maiores. Esses resultados refletem a energia e mobilidade da coluna vertebral necessária para o salto do coelho.

O movimento contrário ao esperado da articulação de L6-L7 do coelho também foi muito interessante e deve ser melhor estudado para elucidar o mecanismo das fraturas comuns nessa região da coluna vertebral.

Frente as diferenças morfométricas e biomecânicas observadas nesse estudo, pode-se concluir que o coelho não é um bom modelo animal para o desenvolvimento de cirurgia experimental da coluna lombar do cão. Os ortopedistas veterinários, que forem tratar fraturas ou luxações vertebrais de coelhos, devem estar atentos ao tamanho dos implantes e evitar a região central do corpo vertebral. Devem considerar a força muscular e a maior amplitude de movimento das articulações intervertebrais da coluna lombar caudal para a escolha dos implantes. Esse implante deve suportar o dobro de carga do selecionado para um cão do mesmo porte.

5. REFERÊNCIAS

- ADAMO, F. et al. **In vitro biomechanical comparison of cervical disc arthroplasty, ventral slot procedure, and smooth pins with polymethylmethacrylate fixation at treated and adjacent canine cervical motion units.** 36 ed. Veterinary Surgery, 2007. p. 729–741.
- ALINI, M. et al. **Are animal models useful for studying human disc disorders/degenerativos?** 17 ed. European Spine Journal, 2008. p. 2-19.
- BÖSCH, N. et al. **Effect of Facetectomy on the Three-Dimensional Biomechanical Properties of the Fourth Canine Cervical Functional Spinal Unit: A Cadaveric Study.** Vet Comp Orthop Traumatol. 2017 Nov 30(6). p.430-437.
- BUDSBERG, S. C. **Implant failure.** In: JOHNSON, A. L.; HOULTON J. E. F.; VANNINI, R. (Eds.). **Principles of fracture management in the dog and cat.** Davos, Suíça/Stuttgart, Alemanha: AO Publishing/Thieme, 2005. p. 425-426.
- BUSSCHER, I. et al. **In vitro biomechanical characteristics of the spine. A comparison between human and porcine spinal segments.** Spine. V. 35 Jan 2010. p. E35-E42.
- CAMPELLO, T. N.; SILVA, I. N. L.; SIMÕES, M. S. **Prótese para substituição total de disco intervertebral: desenvolvimento de modelo computacional e análise por elementos finitos,** 2009. v. 8. p. 38-42.
- CORSE, M. R.; RENBERG, W. C.; FRIIS, E. A. **In vitro evaluation of biomechanical effects of multiple hemilaminectomies on the canine lumbar vertebral column.** 64 ed. Am J Vet Res., 2003. p. 1139–1145.
- DELAMAIDE, G. J. A. et al. **Surgical management of vertebral synovial cysts in a rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 7 ed. J Am Vet Med Assoc., 2014. p. 830-834.
- FAGUNDES, D. J.; TAHA M. O. **Modelo animal de doença: critérios de escolha e espécies de animais de uso corrente.** Acta Cir Bras, 2004 Jan-Fev. p.19.
- FARMAN, A. G.; SCARFE W. C. **Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography.** Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006. p.257-65
- FERREIRA, W. M.; MACHADO, L. C. **Perspectivas da Cunicultura Brasileira.** Revista Veterinária e Zootecnia em Minas, Belo Horizonte, março 2007. p. 41 – 44.
- FISHER, P.G.; CARPENTER, J. W. **Neurologic and musculoskeletal diseases.** In: **Quesenberry KE,** Carpenter JW, editors. **Ferrets, rabbits, and rodents: clinical medicine and surgery.** 3rd ed. St Louis, Missouri: Saunders Elsevier, 2012. p. 245–256.

FLUEHMANN, G.; DOHERR, M. G.; JAGGY, A. **Canine neurological diseases in a referral hospital population between 1989 and 2000 in Switzerland.** J Small Anim Pract 2006. p. 582-587.

GARIB, D. G. et al. **Tomografia computadorizada de feixe cônico (Cone beam): entendendo este novo método de diagnóstico por imagem com promissora aplicabilidade na Ortodontia.** Maringá: mar./abr. 2007. v. 12, n. 2, p. 139-156.

GRAUER, J. N.; PANJABI, M. M. **Biomecânica clínica relevante da coluna.** In: VACCARO, A. R.; BETZ, R. R.; ZEIDMAN, S. M. **Cirurgia da coluna - princípios e prática.** Rio de Janeiro, 2007, Di Livros. p. 35-42.

GREENAWAY, J. et al. (2001). **Anatomy of the lumbosacral spinal cord in rabbits.** 37ed. Journal of the American Animal Hospital Association. p. 27–34.

GRUBER, A. et al. **A retrospective study of neurological disease in 118 rabbits.** J Comp Pathol, 2009. p.31–37.

HARCOUT-BROWN, F. **Neurological and locomotor disorders.** In: Harcourt-Brown F (ed. Textbook of Rabbit Medicine) 1st ed. Oxford UK, Butterworth-Heinemann, 2002. p. 307–323.

HASHIMOTO, K. et al. **A comparison of a new limited cone beam computed tomography machine for dental use with a multidetector row helical CT machine.** Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics, 2003. p.1-7.

HIRAIZUMI, Y.; FUJIMAKI E.; TACHIKAWA, T. **Long-term morphology of spastic or flaccid muscles in spinal cord-transected rabbits.** Clin Orth Rel Res, 1990. p. 287–296.

HOERLEIN, B. F. **Comparative disk disease: man and dog.** V. 15. Journal of the American Animal Hospital Association, set-out. 1979. p. 535-545.

HOFSTETTER, M. et al. **Biomechanical analysis of the three-dimensional motion pattern of the canine cervical spine segment.** 38 ed. Veterinary Surgery, 2009. p.C4–C5.

HOSSNE, W. S. **O cirurgião acadêmico.** Vol. 18. Acta Cir. Bras., São Paulo, Sep./Oct. 2003.

IATRIDIS, J.C. et al. 1998. **Degeneration affects the anisotropic and non-linear behavior of human annulus fibrosus in compression.** 31 ed. J.Biomech. p. 535-544.

JEFFERY, N. D. **Vertebral Fracture and Luxation in Small Animals.** Vet Clin Small Anim, 2010. p. 809-828.

KUMAR, V. et al. **In vivo comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms.** 78 ed. Angle Orthod, 2008. p. 873-879.

MARIONI-HENRY, K. et al. **Prevalence of diseases of the spinal cord of cats.** J Vet Intern Med, 2004. p. 851-858.

MATOS, M. A.; GONÇALVES, R. R.; ARAUJO, F. P. **Modelo experimental de osteotomia em coelhos imaturos.** Acta Ortoped. Bras, 2001. p. 21-26.

McCULLOUGH, A. W. et al. **Medical management of multiple traumatic vertebral subluxations and fractures in a rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 21 ed. J Exot Pet Med, 2012. p. 172–180.

MIELE, V. J. et al. **Concepts and mechanisms of spinal biomechanics.** In: **Youmans neurological surgery.** 6. ed. Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2011. p. 2700-2710.

MORAN C. E. et al. **Computed tomographic study of safe implantation corridors in rabbit lumbar vertebrae.** 30 ed. Vet Comp Orthop Traumatol, 2017. p. 357-363.

MOSHIRI, M. et al. **Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from cone-beam computed tomography.** 132 ed. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2007. p. 550-560.

NA, E. R. et al. **A comparative study of the reproducibility of landmark identification on posteroanterior and anteroposterior cephalograms generated from cone-beam computed tomography scans.** Korean journal of orthodontics, 2019. p. 41-48.

OSOFSKY, A.; RICHARD A.; LECOUTEUR, K.; VERNAU, M. **Functional Neuroanatomy of the Domestic Rabbit (*Oryctolagus cuniculus*).** 10 ed. Vet Clin Exot Anim, 2007. p.713-730.

OXLAND, T. R. **Fundamental biomechanics of the spine - What we have learned in the past 25 years and future directions.** Journal of Biomechanics, 2015.

PATWARDHAN, A. G. et al. 2003. **Effect of compressive follower preload on the flexion–extension response of the human lumbar spine.** 21 ed. J. Orthop. Res. p. 540-546.

PESSOA, C. A.; **Lagomorpha (Coelho, Lebre e Tapiti)** In: CUBAS, Z.S.; SILVA, J.C.R.; CATÃO-DIAS, J.L. Tratado de Animais Selvagens: Medicina Veterinária. 2da ed. 56 cap., 2014. p. 1210-1237.

POLLINTINE, P. et al. 2004. **Neural archload-bearing in old and degenerated spines.** 37 ed. J.Biomech. p. 197–204.

QUINTON, J-F. Lagmorfos: Coelho. In _____. **Novos animais de estimação: pequenos mamíferos.** São Paulo, Roca, 2005. Parte II, p. 69-166.

REESE, S.; FEHR, M. **Radioanatomy: Skeletal system.** In: **Krautwald-Junghanns, M-E.; Pees, M.; REESE, S. et al. Diagnostic Imaging of Exotic Pets: Birds/Small Mammals/Reptiles.** Schlütersche, 2011. Cap 2.2, p. 158

RICHARDSON, V. **Rabbits: Health, Husbandry & Diseases**. Oxford, Uk: Blackwell Science Ltd, 2000. p. 1-172.

SCARFE, W. C.; FARMAN, A. G.; SUKOVIC, P. **Clinical applications of cone-beam compute tomography in dental practice**. V. 72, J Can Dent Assoc, Ottawa, Feb. 2006. p. 75-80.

SCHÖLLHORN, B. et al. **Comparison of the Biomechanical Properties of a Ventral Cervical Intervertebral Anchored Fusion Device With Locking Plate Fixation Applied to Cadaveric Canine Cervical Spines**. 42 ed. Veterinary Surgery, 2013. p. 825–831.

SISSON, S. **Osteologia do carnívoro. Parte 1 – Cão: coluna vertebral**. In: SISSON & GROSSMAN: Anatomia dos animais domésticos (Alzido de Oliveita et al. tradução), Rio de Janeiro: Guanaba Koogan, 2013.

TECANTE, J. **Locomotory movements of the hind limbs in rabbits after isolation of the lumbosacral**. 41 ed. cord. J Exp Biol, 1964. p.359.

VERNAU, K. M.; OSOFSKY A.; LECOUTEUR, R. A. **The neurological examination and lesion localization in the companion rabbit (*Oryctolagus cuniculus*)**. 10 ed. Vet Clinic North Am Exotic Pract, 2007. p. 731–758.

WHITTINGTON, J. K.; BENNETT, R. A. **Clinical technique: myelography in rabbits**. 20 ed. J Exot Pet Med, 2011. p. 217-221.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o protocolo número 056/2017, referente ao projeto “Análise histopatológica da reatividade de stents metálicos na uretra de coelhos”, sob a responsabilidade de Peterson Triches Dornbusch – que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica ou ensino – encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de Outubro, de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) DO SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - BRASIL, com grau 3 de invasividade, em reunião de 07/07/2017.

Vigência do projeto	Outubro/2017 até Dezembro/2018
Espécie/Linhagem	<i>Oryctolagus cuniculus</i> (coelho)
Número de animais	16
Peso/Idade	Aproximadamente 3 kg / 1 a 2 anos
Sexo	Macho
Origem	Biotério de experimentação de coelhos do Hospital Veterinário da Universidade Federal do Paraná (HV-UFPR)

CERTIFICATE

We certify that the protocol number 056/2017, regarding the project “Histopathological analysis of the reactivity of metallic stents in the urethra of rabbits” under Peterson Triches Dornbusch supervision – which includes the production, maintenance and/or utilization of animals from Chordata phylum, Vertebrata subphylum (except Humans), for scientific or teaching purposes – is in accordance with the precepts of Law nº 11.794, of 8 October, 2008, of Decree nº 6.899, of 15 July, 2009, and with the edited rules from Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), and it was approved by the ANIMAL USE ETHICS COMMITTEE OF THE AGRICULTURAL SCIENCES CAMPUS OF THE UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ (Federal University of the State of Paraná, Brazil), with degree 3 of invasiveness, in session of 07/07/2017.

Duration of the project	October/2017 until December/2017
Specie/Line	<i>Oryctolagus cuniculus</i> (rabbit)
Number of animals	16
Wheight/Age	About 3 kg / 1 to 2 years
Sex	Male
Origin	Rabbit experimentation laboratory at Veterinary Hospital of the Federal University of Paraná

Curitiba, 7 de julho de 2017.

Chayane da Rocha

Chayane da Rocha

Coordenadora CEUA-SCA