

GUILHERME QUINTELA MARTINS DOMINGOS

**ALONGAMENTO ÓSSEO EM CÃES:
OSTEOGÉNESE POR DISTRACÇÃO COM
DISTRACTOR UNILATERAL MONOPLANAR**

Orientador: Prof. Doutor João Filipe Requicha

Co-orientador: Prof. Doutor Henrique Armés

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2017

GUILHERME QUINTELA MARTINS DOMINGOS

**ALONGAMENTO ÓSSEO EM CÃES:
OSTEOGÉNESE POR DISTRACÇÃO COM
DISTRACTOR UNILATERAL MONOPLANAR**

Dissertação defendida em provas públicas para obtenção do Grau de Mestre em Medicina Veterinária no curso de Mestrado Integrado em Medicina Veterinária conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologia segundo o Despacho de Júri nº. 177/2017, com a seguinte composição:

Presidente: Professora Doutora Laurentina Pedroso

Arguente: Professora Doutora Isabel Dias

Orientador: Professor Doutor João Filipe Requicha

Co-orientador: Professor Doutor Henrique Armés

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2017

*"Honest disagreement is often
a good sign of progress"*

*"Be the change you wish to see
in the world"*

- Mahatma Gandhi

Agradecimentos

Quero começar por agradecer à Faculdade de Medicina Veterinária da Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, na pessoa da sua Directora, Prof.^a Doutora Laurentina Pedroso, pela possibilidade de realização desta Dissertação de Mestrado.

Ao Prof. Doutor Henrique Armés por me lançar aos leões, por acreditar em mim, o meu mentor no ofício, nunca me vou esquecer do que fez por mim.

Ao Prof. Doutor João Requicha por toda a sua ajuda, paciência, e disponibilidade imediata no auxílio da elaboração desta Dissertação.

Aos meus restantes professores pela transmissão de todo conhecimento ao longo desta jornada.

Aos proprietários dos animais utilizados neste estudo pela confiança e por acreditarem no projecto que foi desenhado.

À escola superior de teatro e cinema por me rejeitar, foi difícil lidar com a rejeição do meu sonho de criança, mas o que não nos mata só nos faz mais fortes. Em vez de realizador de cinema, serei um Médico Veterinário, posso não fazer filmes, mas vocês nunca fizeram uma palpação rectal, nem nunca seguraram num coração a bater. Eu já.

To all my kiwi friends and teachers for all the help during my time in New Zealand, with a special thank you to my friend Kshitiz Shrestha for providing a great amount of the articles studied for the development of this dissertation, I hope that we will meet again in the near future.

Em seguida, agradecer a todos os meus colegas que tornaram estes anos inesquecíveis. Em especial, aos tropas do “carai” e aos “irresponsáveis”, rimos, choramos, cantamos, dançamos. Apoiamo-nos uns aos outros e formamos laços para a vida.

Aos meus amigos por me apoiarem e ajudarem a desligar de todos os stresses, seja de exames ou de trabalho clínico, obrigado por me fazerem rir e aliviarem a pressão.

Aos meus irmãos por me motivarem nos momentos difíceis e ajudarem a ver o que de facto é importante.

Ao Manuel Zambujo por todo o apoio, bem como refúgio nos momentos de maior aperto desde sempre, mas em especial neste último ano, um verdadeiro amigo.

A toda a equipa do Hospital Veterinário de S. Bento por me ensinarem o que é ser um Médico Veterinário no mundo real, obrigado pela amizade e disponibilidade. São uma equipa brilhante da qual me orgulho em dizer que fiz parte.

E, por fim, aos mais importantes, aos meus pais, a quem devo tudo, desculpem-me as birras, irritações e comentários infelizes ao longo destes anos de curso. Obrigado Pai por puxares sempre o melhor de mim, por me fazeres acreditar em mim e por exemplificares da melhor forma, que desistir nunca é uma opção. À minha Mãe que tanto me aturou e me apoiou em todas as crises existenciais, dramas, maratonas de estudo e noites sem dormir, sem o teu apoio não sei se teria terminado esta etapa da minha vida. Desculpem todas as ingratidões, às vezes os filhos demoram a perceber sacrifícios que os nossos pais fazem. Fiz isto por mim, mas ainda mais por vocês.

A todos vós, Muito Obrigado.

Resumo

A osteogénese por distracção (OD) é uma técnica cirúrgica amplamente usada na cirurgia ortopédica para o tratamento de deformidades e defeitos ósseos. Esta consiste no afastamento gradual de dois segmentos ósseos, previamente submetidos a uma corticotomia e devidamente fixados, formando novo tecido ósseo no espaço entre os dois segmentos.

Durante o período de estágio curricular, no Hospital Veterinário de S. Bento em Lisboa, foram efectuados três procedimentos de osteogénese por distracção utilizando um distractor em fibra de carbono unilateral monoplanar. Este estudo pretendeu avaliar a capacidade deste distractor e estabelecer um protocolo de alongamento ósseo aplicável a todos os ossos longos. O protocolo consistiu na corticotomia de baixa energia na região da diáfise, preservando o perióstio, vascularização e envelope de tecidos moles e na aplicação de dois pinos intramedulares em cada segmento ósseo, seguido de um período de latência de 3 dias e posterior aplicação de um índice de distracção (ID) de 1 mm por dia.

O modelo foi aplicado em três cães com menos de dois anos idade e que haviam sofrido um encerramento prematuro da placa de crescimento do osso, uma malformação congénita ou uma fractura durante a infância. O período de alongamento e o tecido ósseo regenerado foram avaliados através de radiografia. A duração da fase de distracção e a fase de consolidação foi variável, tendo em média de 2 semanas para a fase de distracção e de 2 meses para a fase de consolidação.

Foi possível aplicar o distractor em fibra de carbono e regenerar, com sucesso, tecido ósseo num fémur, numa ulna e em dois rádios. As osteodistracções permitiram uma reabilitação estética e mecânica, atingindo alongamentos relativos de 12,7% de fémur, 6,2% de ulna, 7,1% e 6,6% em dois rádios.

Palavras-chave: Osteogénese por distracção, cão, alongamento ósseo, distractor unilateral monoplanar, fémur, rádio, ulna

Abstract

Distraction osteogenesis (DO) is a surgical technique widely used in orthopedic surgery for the treatment of various pathological conditions, bone deformities or bone defects. The basic principle consists on the gradual distraction of two bone segments, previously submitted to a corticotomy and promptly fixated. New bone tissue is generated in the gap between the two segments.

During the curricular traineeship at Hospital Veterinário de S. Bento in Lisbon, three distraction osteogenesis procedures were performed, utilizing a carbon fiber monoplane unilateral external fixator. This study meant to assess the capacities of the distractor and establish a bone lengthening protocol applicable to all long bones. The protocol consisted in a low energy corticotomy at the bone diaphysis, preserving the periosteum, the vascularization and the surrounding soft tissues and in the appliance of two intramedullary pins to stabilize the bone segments, a 3 day latency period, and usage of a distraction ratio of 1 mm per day.

The device was applied in three dogs with less than two years, who suffered a premature closure of the bone's growth plate, a congenital malformation or a fracture during their infancy. The bone lengthening period and regenerate bone was assessed by radiographs. The duration of the distraction phase and the consolidation phase was variable, but had a mean of 2 weeks for the distraction phase and 2 months for the consolidation phase.

The carbon fiber distractor was successfully applied and allowed to regenerate bone in femur, ulna and two radius. The bone distractions allowed a mechanical and aesthetic success, reaching relative lengthenings of 12,7% in the femur, 6,2% in the ulna and 7,1% and 6,6% in the two radius.

Keywords: Distraction osteogenesis, dog, bone lengthening, unilateral monoplanar external fixator, femur, radius, ulna

Índice Geral

AGRADECIMENTOS	4
RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
ÍNDICE GERAL	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E ACRÓNIMOS	14
I. DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO CURRICULAR.....	16
1. HOSPITAL DE EQUINOS DA UNIVERSIDADE DE MASSEY	16
2. HOSPITAL VETERINÁRIO ESCOLAR DA UNIVERSIDADE DE MASSEY	17
3. HOSPITAL VETERINÁRIO DE S. BENTO.....	19
II. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO.....	20
1. INTRODUÇÃO.....	20
1.1. Tecido ósseo.....	22
1.1.1. Células do tecido ósseo.....	23
1.1.1.1. Osteócitos	23
1.1.1.2. Osteoblastos	23
1.1.1.3. Osteoclastos	24
1.1.2. Matriz óssea.....	24
1.1.3. Perióstio e endóstio	25

1.1.4. Organização histológica do tecido ósseo	25
1.2. Osteogénese	26
1.2.1. Ossificação intramembranosa	26
1.2.2. Ossificação endocondral	27
1.3. Osteogénese por distracção	29
1.3.1. Osteotomia e corticotomia	29
1.3.2. Estabilização de segmentos	31
1.3.3. Período de latência	31
1.3.4. Fase de distracção	32
1.3.4.1. Índice e ritmo de distracção	34
1.3.5. Fase de consolidação	35
1.3.6. Complicações	37
2. MATERIAIS E MÉTODOS	39
2.1. Animais estudados	39
2.2. Material utilizado	39
2.3. Protocolo de aplicação do distractor	40
3. RESULTADOS	43
3.1. Caso clínico n.º 1: Semente	43
3.1.1. História clínica	44
3.1.2. Diagnóstico radiográfico	44
3.1.3. Alongamento ósseo	46

3.1.4. Complicações	48
3.2. Caso clínico n.º 2: Noa	49
3.2.1. História clínica e exame físico.....	49
3.2.2. Diagnóstico radiográfico	50
3.2.3. Alongamento ósseo	51
3.2.4. Complicações	54
3.3. Caso clínico n.º 3: Jack	56
3.3.1. História clínica.....	56
3.3.2. Diagnóstico radiográfico	56
3.3.3. Alongamento ósseo	57
3.3.4. Complicações	61
4. DISCUSSÃO.....	62
5. CONCLUSÃO	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

Índice de Figuras

Figura 1 – Fotografia do distractor ósseo em fibra de carbono unilateral monoplanar (DOCUM) utilizado nos animais estudados.....	39
Figura 2 – Fotografias da Semente e do seu membro pélvico direito no qual se pode observar o valgus da porção distal do membro.....	43
Figura 3 – Radiografia da Semente antes de qualquer intervenção cirúrgica. Observam-se as fracturas em ambas as tíbias e a fractura da epífise proximal do fémur direito. Projectção ventro-dorsal.....	45
Figura 4 – Radiografia ao fémur da Semente antes da aplicação do DOCUM. Projectção ventro-dorsal.....	45
Figura 5 – Fotografia da aplicação do distractor em fibra de carbono no fémur direito da Semente.....	46
Figura 6 – Radiografia ao fémur da Semente após aplicação do DOCUM. Projectção ventro-dorsal.....	47
Figura 7 – Radiografias ao fémur direito da Semente no dia 0 da fase de consolidação. Projectções latero-lateral e ventro-dorsal.....	47
Figura 8 – Radiografias ao fémur direito da Semente após remoção de todo o material ortopédico. Projectções ventro-dorsal e latero-lateral.....	48
Figura 9 - Fotografias da Noa e do seu membro torácico direito no qual se pode observar a curvatura do rádio e apresentação em valgus.....	49
Figura 10 – Radiografia de diagnóstico da ulna do membro torácico direito da Noa. Projectção latero-lateral.....	50
Figura 11 – Fotografia do procedimento cirúrgico para aplicação do DOCUM na Noa.....	52
Figura 12 – Radiografia da Noa após aplicação do DOCUM. Projectção antero-posterior.....	52

Figura 13 – Radiografia do membro torácico direito da Noa após 11 dias de distracção. Projecção latero-lateral.....	53
Figura 14 – Radiografia do membro torácico direito da Noa no final do período de consolidação, após remoção da fixação externa. Projecção latero-lateral.....	53
Figura 15 – Medição do centro de rotação de angulação do rádio direito da Noa.....	54
Figura 16 – Radiografia da Noa após a consolidação óssea e com a placa de fixação colocada no rádio direito. Projecção latero-lateral.....	55
Figura 17 – Fotografias do Jack antes do procedimento cirúrgico (A). Detalhe dos seus membros torácicos.....	56
Figura 18 – Radiografia de diagnóstico do Jack. Projecção latero-lateral.....	57
Figura 19 – Fotografia do procedimento cirúrgico do Jack, onde se observam os pinos intramedulares.....	58
Figura 20 – Fotografia do Jack após aplicação do DOCUM.....	58
Figura 21 – Radiografia do Jack após a cirurgia de aplicação dos distractores em fibra de carbono em ambos os rádios. Projecção antero-posterior.....	59
Figura 22 – Radiografias do Jack no primeiro dia do período de consolidação, após remoção do DOCUM. Projecções latero-lateral e antero-posterior.....	60
Figura 23 – Radiografias dos membros torácicos do Jack após os 64 dias de consolidação e remoção da fixação externa. Projecções antero-posterior e latero-lateral.....	61

Índice de Gráficos

Gráfico 1 – Distribuição relativa da casuística do estágio no Hospital de Equinos da Universidade de Massey	17
Gráfico 2 – Distribuição relativa da casuística do estágio no Hospital Veterinário Escolar da Universidade de Massey	18
Gráfico 3 – Distribuição relativa da casuística do estágio no Hospital Veterinário de S. Bento.....	19

Lista de Abreviaturas, Símbolos e Acrónimos

ACA – Eixo de correcção angular (do Inglês, *Angulation correction axis*)

AINEs – Anti-inflamatórios não esteróides

cm – Centímetro

CORA – Centro de rotação de angulação (do Inglês, *Center of rotation of angulation*)

DOCUM – Distractor ósseo em fibra de carbono unilateral monoplanar

g – Grama

HEUM – Hospital de Equinos da Universidade de Massey

HVEUM – Hospital Veterinário Escolar da Universidade de Massey

HVSB – Hospital Veterinário de S. Bento

ID – Índice de distracção

IZF – Interzona fibrosa

kg – Quilograma

mg – Miligrama

mg/kg – Miligrama por quilograma

mm – Milímetro

mm/dia – Milímetro por dia

MPD – Membro pélvico direito

MPE – Membro pélvico esquerdo

MTD – Membro torácico direito

MTE – Membro torácico esquerdo

OD – Osteogénese por distracção

RD – Ritmo de distracção

ZFMC – Zona de formação de microcolunas

µm – Micrómetro

I. DESCRIÇÃO DO ESTÁGIO CURRICULAR

O estágio curricular teve a duração total de seis meses e foi dividido em três fases: a primeira no Hospital de Equinos da Universidade de Massey, em Palmerston North na Nova Zelândia; a segunda no Hospital Veterinário Escolar da mesma instituição, na unidade de animais de companhia; e a terceira no Hospital Veterinário de S. Bento, em Lisboa.

1. Hospital de Equinos da Universidade de Massey

O período de estágio no Hospital de Equinos da Universidade de Massey (HEUM), em Palmerston North (Nova Zelândia), teve a duração de duas semanas entre os dias 14 de Setembro de 2015 e 27 de Setembro de 2015. Na Nova Zelândia, o curso de Medicina Veterinária tem a duração de 5 anos, sendo este último apenas prático, onde os alunos realizam várias rotações em diferentes departamentos da faculdade ao longo dos dois semestres, desde a clínica e a cirurgia até à inspecção sanitária. Os alunos são o primeiro contacto com o cliente e são responsáveis pelos casos clínicos desde admissão até à alta dos mesmos. Diariamente, tinham lugar as rondas formais seguidas do planeamento dos procedimentos do dia, acompanhamento dos animais internados, recepção dos novos casos e, por fim, rondas de final do dia onde eram discutidos os novos casos, planeados os dias seguintes e organizada a ronda nocturna.

No HEUM, realizei consultas de primeira opinião, acompanhei e assisti a consultas referenciadas, realizei procedimentos cirúrgicos básicos, acompanhei e assisti a procedimentos cirúrgicos mais complexos como traqueostomias, enterotomias e artroscopias. No total, participei em cerca de 40 casos, sendo responsável pelos 11 casos ilustrados no Gráfico 1.

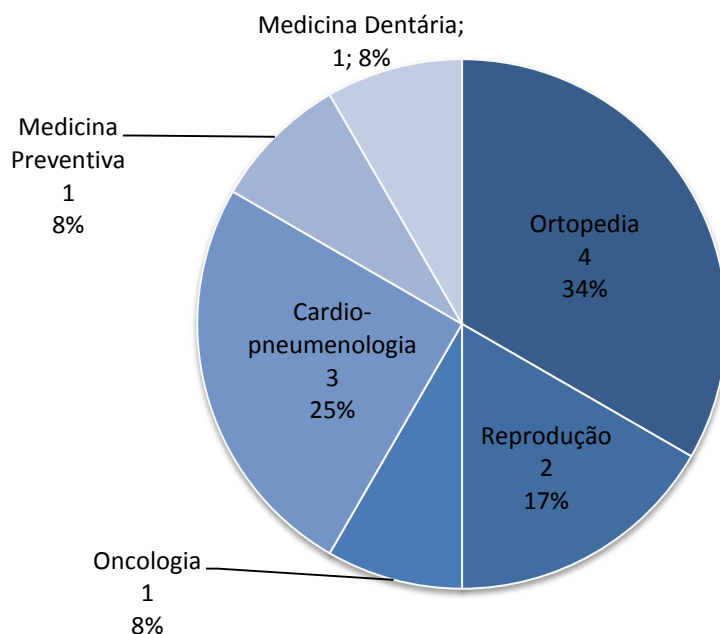


Gráfico 1 – Distribuição relativa da casuística do estágio no HEUM.

2. Hospital Veterinário Escolar da Universidade de Massey

A segunda fase do estágio, com enfoque na clínica e na cirurgia de pequenos animais, decorreu no Hospital Veterinário Escolar da Universidade de Massey (HVEUM) e teve a duração de cinco semanas, desde 28 de Setembro até dia 1 de Novembro de 2015. Durante estas semanas, realizei rotações com os restantes alunos finalistas pelos departamentos de medicina primária, medicina de referência, cirurgia primária e cirurgia de referência. O funcionamento era similar ao do HEUM. Os alunos eram responsáveis pela recepção do cliente e tinham um prazo de 20 minutos para a consulta após o qual era enviado um *page* ao docente responsável pela equipa. Eram então apresentados os resultados da anamnese e do exame físico, elaborada a lista de problemas, os diagnósticos diferenciais e o plano de acção. Após a discussão, o docente entrava connosco no consultório de modo a confirmar as nossas observações com o proprietário, bem como comparar os resultados do exame físico. Este método de ensino foi bastante desafiante e deposita grande confiança nos alunos, apresentando-lhes uma situação similar à futura realidade profissional.

Os alunos foram distribuídos em cinco equipas, correspondentes a cada uma das áreas hospitalares a frequentar, sendo que três equipas actuavam no Departamento de Medicina subdividido em Medicina Primária, em Medicina de Referência, onde recebíamos um caso

referenciado de outro hospital e, por fim, em “*drop-offs*” que consistia em tratamentos de doentes crónicos, vacinações, desparasitações ou exames complementares de diagnóstico. As restantes duas equipas actuavam no Departamento de Cirurgia: uma em Cirurgia Primária, que consistia basicamente em castrações e ovário-histerectomias, e Cirurgia de Referência, que consistia em cirurgias referenciadas de outros centros de atendimento médico-veterinários, podendo ser desde cirurgia oncológica a intratorácica, sendo que a maioria da casuística (80%) consistia em Ortopedia. Cada equipa era constituída por três elementos que iriam alternar pelas cinco áreas do hospital ao longo das 5 semanas.

A rotina diária consistia em rondas matinais, onde eram discutidos todos os casos de animais internados, planeamento das actividades diárias, em seguida iniciava-se a actividade hospitalar, recepção de novos animais, acompanhamento de animais internados, realização de exames complementares de diagnóstico, exames físicos, consultas ou procedimentos cirúrgicos, ao final do dia existiam novas rondas, onde as equipas eram actualizadas e poderiam discutir os casos, planeamento do dia seguinte, e caso fosse o meu dia, estar “*on-call*” para urgências e realização de rondas e medicações nocturnas, geralmente por volta das 22 horas.

Nesta fase do estágio, discuti vários casos com os meus colegas, não tenho um número exacto, mas nas 5 semanas discutimos mais de uma centena de casos, sendo que eu fui responsável por 25, de acordo com a distribuição demonstrada no Gráfico 2.

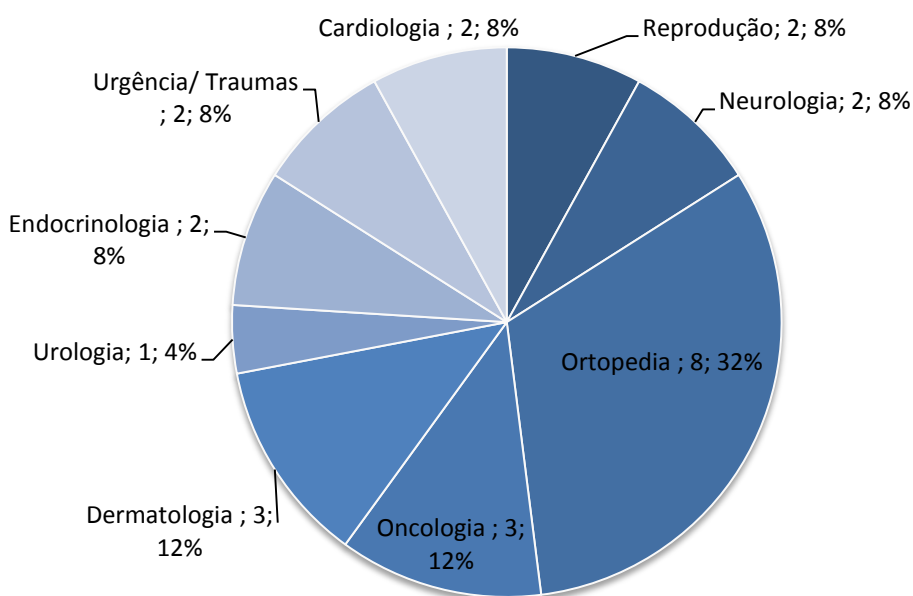


Gráfico 2 – Distribuição relativa da casuística do estágio no HVEUM.

3. Hospital Veterinário de S. Bento

A terceira e última fase do estágio curricular foi realizada no Hospital Veterinário de S. Bento (HVSB, Lisboa, Portugal) e teve a duração de quatro meses, iniciando-se no dia 1 de Dezembro de 2015 até dia 1 de Abril de 2016. Ao contrário dos estágios anteriores, este não foi realizado numa instituição de ensino, mas sim num centro privado Português no qual foi possível adquirir conhecimento e contactar com a realidade do nosso país, desde a capacidade económica até à sensibilidade dos proprietários. No início do estágio, acompanhei os médicos nas suas consultas bem como na realização de exames complementares e cuidados com os animais internados. Paulatinamente, fui integrado na equipa à medida que desenvolvia as minhas capacidades e conhecimentos, sendo-me atribuídas mais responsabilidades e oportunidades de acção. Neste período, tive a oportunidade de realizar consultas, assistir e participar numa grande variedade de cirurgias.

O dia-a-dia do HVSB era bastante trabalhoso, com bastantes procedimentos a acontecer em simultâneo, o que me permitiu desenvolver uma capacidade de organização temporal que é fundamental num hospital. Durante este período, assisti a 626 casos nas áreas apresentadas no Gráfico 3.

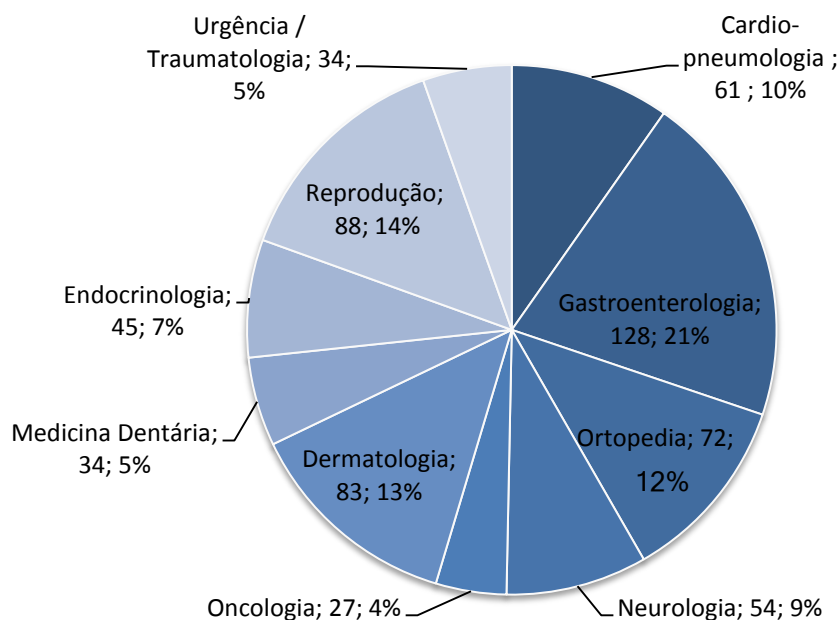


Gráfico 3 – Distribuição relativa da casuística do estágio no Hospital Veterinário de S. Bento.

II. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

1. INTRODUÇÃO

A osteogénese por distracção (OD) é a técnica *gold standard* para obter o alongamento ósseo e baseia-se nos princípios ortopédicos de tensão-stresse desenvolvidos e propostos por Gavriil Ilizarov. A essência desta técnica consiste no afastamento gradual de um calo de fractura, após uma corticotomia de baixa energia, ou seja, que preserve o envelope de tecidos moles que circundam o osso. Desde a introdução desta técnica, esta foi rápida e amplamente adaptada à ortopedia e à cirurgia maxilo-facial (Choi *et al.*, 2002).

Os primeiros registos de alongamentos ósseos remontam ao século XIX, necessários na abordagem a ferimentos de guerra, e deformidades secundárias a poliomielite. As primeiras osteossínteses por distracção foram efectuadas num processo de osteotomia de uma só fase, por cirurgiões pioneiros de época como Von Langenbeck (1869), Hopkins e Penrose (1889) e Von Eiselberg (1897). Contudo, os primeiros registos da técnica "moderna" de alongamento de membros datam de 1903, em Bolonha, com o trabalho de Alessandro Codivilla. Este método, chamado de "extensão contínua", baseava-se numa osteotomia de um fémur e na aplicação um pino no calcâneo, onde era aplicada uma tracção. Após este procedimento, o doente era colocado num "casaco de gesso" que envolvia o tórax, pélvis e perna incorporando o pino do calcâneo. Mas encontrava complicações como lesões cutâneas, lesões nervosas e convulsões possivelmente associadas a choque e a sépsis. Em 1908, Magnusson apresentou a primeira noção que os tecidos moles envolventes ao osso representavam importância no prognóstico.

Em 1921, Putti, discípulo de Codivilla, defendeu que a osteotomia deveria ser o menos traumática possível e a distracção gradual e controlável. A sua técnica baseava-se numa corticotomia em forma de Z e na inserção de pinos proximais e distais no córtex femoral, conectados a um tubo "telescópico" ao que ele chamava "osteoton" que se ligava num dos lados do membro e providenciava uma distracção contínua, o que era algo extremamente pioneiro e semelhante aos distractores monoplanares unilaterais utilizados na actualidade. Contudo, esta técnica tornava impossível controlar o posicionamento axial do membro pela falta de rigidez do aparelho, e muitas vezes com o aumento das forças, os pinos saíam dos ossos. Ao longo da década de 30, Bosworth optimizou a técnica de alongamento dos membros e foi o primeiro a utilizar o termo "distracção óssea". Na mesma década, Moore estudou criticamente a técnica cirúrgica e observou que, na maioria dos casos, não

melhorava o estado ambulatorio e a marcha do animal, defendendo que era mais importante a função e a mecânica do membro do que a sua estética.

Em 1963, Wagner contribuiu com a introdução do seu método que consistia em três intervenções cirúrgicas: (i) osteotomia e aplicação de um distractor externo monolateral, (ii) preenchimento do foco de distracção com um enxerto com tecido ósseo, seguido de aplicação de uma placa com parafusos e (iii) remoção da placa. O método era tecnicamente simples e respeitava os fundamentos da cirurgia contemporânea, contudo, a técnica desconsiderava a mobilização do animal, não dava importância aos tecidos moles e estava associada a complicações como infecções e ocorrência de novas fracturas.

Contemporâneo de Wagner, Gavriil Ilizarov trabalhou em Kurgan, na Sibéria, na unificação dos princípios cirúrgicos do alongamento ósseo e da biologia da histogénese por distracção. Este aplicou com sucesso a sua técnica pela primeira vez, em 1951, para tratar defeitos ósseos secundários à tuberculose, desenvolveu um sistema de fixação externa circular com anéis. Ilizarov compreendia o efeito estimulatório da compressão óssea na sua regeneração e da distracção na formação de novos tecidos. Em 1969, reportou o alongamento ósseo sem utilização de enxerto tecidual e escreveu que “Quando submetido a uma tracção lenta e fixa, um tecido vivo fica metabolicamente activo, através das suas vias biossintéticas e proliferativas”. Ilizarov utilizou o estímulo da pura distracção associado a uma corticotomia especial que preservava a vascularização da medula óssea, o periosteio e a sua vascularização. Esta técnica era capaz de induzir formação de osso novo no local do alongamento. A mesma enfatiza a importância de um período de espera pós-cirúrgico, ou período de latência, mas também um índice de distracção (ID) de 1 mm por dia. E define como fundamental o uso de compressão e distracção associados à capacidade do membro suportar a carga total.

A técnica de Ilizarov era pouco conhecida fora da Rússia, com a queda do muro de Berlim em 1989, os seus estudos foram partilhados em Inglês permitindo a mudança e consenso na utilização da sua técnica. Desde então, mais de 2000 estudos foram publicados referindo ou baseando-se nos seus métodos. Ilizarov unificou várias teorias da biologia e biomecânica, os seus princípios básicos do alongamento de membros foram aplicados em todo o mundo e são agora fundamentos fulcrais da ortopedia moderna (Jordan *et al.*, 2013).

1.1. Tecido ósseo

O tecido ósseo é o principal constituinte do esqueleto, serve de suporte e protecção para os tecidos moles do organismo existentes na caixa craniana e cavidade torácica, aloja e protege a medula óssea, proporciona apoio ao tecido músculo-esquelético e transforma as contracções musculares em movimentos úteis através das inserções musculares e tendinosas em regiões anatomicamente precisas, formando um sistema de alavanca (Jordan *et al.*, 2013). O tecido ósseo funciona também como um reservatório de iões como o cálcio e fósforo, armazenando-os ou libertando-os para a corrente sanguínea de acordo com as necessidades do organismo (Jee, 2000; Junqueira & Carneiro, 2004).

Ao sectionar um osso, podemos diferenciar duas superfícies distintas, as porções compactas recebem o nome de osso compacto. Por sua vez, as porções constituídas por várias cavidades, ou lacunas intercomunicantes, recebem o nome de osso esponjoso (Junqueira & Carneiro, 2004).

Sob o ponto de vista macroscópico, os ossos podem classificar-se em três grupos principais; ossos curtos, chatos e longos. Os ossos curtos têm forma cubóide, o seu centro é constituído por tecido esponjoso, sendo recobertos em toda a periferia por osso compacto, são exemplos os ossos do carpo e tarso. Os ossos chatos são constituídos por duas camadas externas de osso compacto e uma interna de osso esponjoso, nesta categoria integram a maioria dos ossos do crânio, as escápulas e costelas. Os ossos longos são constituintes do esqueleto apendicular como o fémur, rádio e tíbia. As extremidades dos mesmos são denominadas por epífises e estas são formadas por osso esponjoso com uma pequena camada superficial compacta, possuindo estruturas ou acidentes ósseos, próprios para a inserção de músculos, tendões e junção mecânica com o tecido ósseo e cartilaginoso adjacente formando as articulações. A porção aproximadamente cilíndrica situada entre as duas epífises de um osso longo é chamada de diáfise. Esta é quase totalmente compacta, contendo apenas pequenas quantidades de osso esponjoso na sua porção profunda que delimita o canal medular. A porção do osso longo entre a epífise e a diáfise denomina-se metáfise, região onde se situa a cartilagem de conjugação, responsável pelo crescimento longitudinal do osso. Nos ossos longos, o tecido compacto é também denominado de osso cortical ou córtex ósseo. As cavidades do osso esponjoso e o canal medular da diáfise dos ossos longos são ocupados pela medula óssea (Junqueira & Carneiro, 2004).

Existem também outros ossos que não podem ser agrupados em nenhuma classificação anterior, tais como os ossos irregulares, os ossos sesamóides, os ossos pneumáticos e

ossos esplanícnicos. Os ossos irregulares, como por exemplo as vértebras, apresentam formas complexas e não podem ser agrupados em nenhuma das categorias anteriores, possuem quantidades variáveis de tecido compacto e esponjoso. Os ossos pneumáticos são ossos chatos que contêm cavidades, ou seios, preenchidos por ar de modo a reduzir o seu peso, como a maxila. Os ossos sesamóides recebem este nome devido à sua forma semelhante a uma semente de sésamo, desenvolvem-se integrados num tendão (ou ligamento) que cobre uma proeminência óssea, alterando o ângulo a que o tendão cobre o osso. Por fim, o osso esplanícnico que se desenvolve num tecido mole sem associar-se ao restante esqueleto, como o osso peniano em cães e gatos (Junqueira & Carneiro, 2004).

O tecido ósseo está num contínuo processo de crescimento e desenvolvimento, que envolve um conjunto de mecanismos de modelação e controlo do crescimento, morfologia tecidual e remodelação de modo a criar um equilíbrio entre a sua génese e a sua reabsorção (García-Martínez *et al.*, 2015).

1.1.1. Células do tecido ósseo

1.1.1.1. Osteócitos

Os osteócitos são as células maduras do osso e localizam-se nas lacunas no interior da matriz óssea, existindo apenas um osteócito por lacuna. Como não existe difusão de matéria através da matriz óssea calcificada, a nutrição destas células está dependente de canalículos existentes na matriz e entre lacunas por onde se processam as trocas de nutrientes, metabolitos, iões e moléculas, não só entre os osteócitos, mas também entre as células e os vasos sanguíneos que partilham esses canalículos (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.1.1.2. Osteoblastos

Os osteoblastos são as células responsáveis pela síntese da parte orgânica da matriz óssea, tornando-os também fundamentais na regeneração do tecido ósseo no caso de fracturas e outras lesões. Estes originam-se a partir de células mesenquimatosas primitivas que se diferenciam em osteoprogenitores, os pré-osteoblastos. Estes processos de diferenciação celular são induzidos por glucocorticóides, factores hormonais, factores de crescimento e algumas citocinas. O desenvolvimento ósseo inclui três fases: a proliferação, a síntese da matriz óssea ou maturação e, por fim, a mineralização.

Os osteoblastos são também responsáveis pelo controlo da reabsorção óssea pelos osteoclastos e é-lhes também reconhecida uma componente imunitária como a síntese de citocinas e a fagocitose de agentes de vários tipos e tamanhos, podendo inclusive funcionar como células apresentadoras de antígenos a linfócitos T (García-Martínez *et al.*, 2015).

Após um osteoblasto ficar aprisionado pela matriz óssea produzida, passa a denominar-se de osteócito. A matriz deposita-se em torno do corpo celular e dos seus prolongamentos formando assim as lacunas e os canaliculos. Adjacente aos osteoblastos activos, existe uma camada de matriz ainda não calcificada a que se dá o nome de osteóide (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.1.1.3. Osteoclastos

Os osteoclastos são células móveis, de grandes dimensões e extensamente ramificadas. Algumas porções são amplamente dilatadas e contêm grande quantidade de núcleos, podendo ir de seis a mais de cinquenta. Estas porções dilatadas encontram-se nas zonas de reabsorção do tecido ósseo e estão inseridas em depressões existentes na matriz óssea, previamente criadas pela sua actividade, as denominadas lacunas de Howship. Estas são células oriundas de precursores mononucleares com origem na medula óssea e que, ao entrar em contacto com o tecido ósseo, juntam-se e formam osteoclastos multinucleados. Estas células secretam catiões de hidrogénio, collagenases e hidrolases que vão actuar localmente e digerir a matriz óssea, dissolvendo os cristais de hidroxiapatita. Esta actividade é coordenada por citocinas e por hormonas como a calcitonina produzida pela tiróide e pela paratormona secretada pelas paratireóides (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.1.2. Matriz óssea

A matriz óssea é composta por cerca de 50% de matéria inorgânica. Os iões mais comuns são fosfato e o cálcio. Existem também, porém em menor quantidade, iões bicarbonato, magnésio, potássio, sódio e pequenas quantidades de citrato. O cálcio e o fósforo formam cristais de hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$). Os iões da superfície do cristal de hidroxiapatita são hidratados, já que existe uma camada de água em seu redor, denominada de capa de hidratação a qual facilita a troca de iões entre o cristal e o líquido intersticial (Junqueira & Carneiro, 2004).

A parte orgânica da matriz óssea é formada por fibras de colagénio tipo I, proteoglicanos e glicoproteínas como a osteonectina e osteopontina. Podemos deduzir que as glicoproteínas do osso participam na mineralização da matriz, dado que outros tecidos ricos em fibras de

colagénio tipo I, mas que não contêm glicoproteínas, não calcificam. A associação da hidroxiapatita com as fibras de colagénio é responsável pela dureza e resistência do tecido ósseo. Após a remoção do cálcio, os ossos mantêm a sua estrutura e forma, mas ficam flexíveis como um tendão (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.1.3. Periósteeo e endósteeo

O periósteeo, na sua camada superficial, contém principalmente fibras de colagénio e fibroblastos. Existem feixes específicos de fibras de colagénio denominadas de fibras de Sharpey que penetram o tecido ósseo e prendem firmemente o periósteeo ao osso. Na sua porção profunda o periósteeo torna-se mais celular, sendo principalmente constituído por células osteoprogenitoras, morfológicamente parecidas com fibroblastos. Estas dividem-se por mitose e diferenciam-se posteriormente em osteoblastos, desempenhando um papel importante no crescimento ósseo e na reparação de fracturas pela sua função de mineralização óssea.

O endósteeo é constituído por uma camada de células osteogénicas achatadas revestindo as cavidades do osso esponjoso, o canal medular, os canais de Havers e os de Volkmann. As principais funções do endósteeo e periósteeo são a nutrição do tecido ósseo e a diferenciação em novos osteoblastos provendo o crescimento e a regeneração do osso (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.1.4. Organização histológica do tecido ósseo

Sob o ponto de vista histológico, existem dois tipos de tecido ósseo: o imaturo a que chamamos de tecido ósseo primário e o maduro, chamado de secundário, harversiano ou lamelar. Ambos possuem o mesmo tipo de células e os mesmos constituintes da matriz. O tecido primário, tal como o nome indica, é o que se desenvolve primariamente tanto no desenvolvimento embrionário como na reparação de fracturas. Este é temporário e, posteriormente, substituído por tecido ósseo lamelar (Junqueira & Carneiro, 2004).

No tecido ósseo primário, as fibras de colagénio estão dispostas de forma irregular e sem orientação, a qual se altera no tecido ósseo secundário onde as mesmas se orientam em lamelas ou anéis com disposição própria (Junqueira & Carneiro, 2004).

O tecido ósseo secundário é a forma mais comum encontrada no adulto. A característica que o define é a disposição das fibras de colagénio organizadas em lamelas de 3 a 7 µm de espessura dispostas de forma concêntrica, formando os sistemas de Havers. Entre as

lamelas existem lacunas ricas em osteócitos. Em cada lamela, as fibras de colagénio são paralelas entre si e estão separadas por uma matriz mineralizada com pouco colagénio. Cada sistema de Havers tem uma forma cilíndrica longa, paralela à diáfise e formado por 4 a 20 lamelas ósseas concêntricas. No centro do sistema, existe um canal revestido de endóstio, o canal de Havers, que engloba os vasos sanguíneos e nervos. Os canais de Havers comunicam entre si, com a cavidade medular e com a superfície externa do osso através de outros canais transversos ou oblíquos que atravessam as lamelas ósseas, os canais de Volkmann. Estes últimos distinguem-se dos canais de Havers por não possuírem lamelas ósseas concêntricas. Todos os canais vasculares formam-se quando ocorre calcificação da matriz em redor dos vasos pré-existentes (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.2. Osteogénese

O tecido ósseo é formado através de dois mecanismos: (i) ossificação intramembranosa que ocorre no interior de uma membrana conjuntiva ou (ii) por ossificação endocondral, onde a ossificação se inicia num modelo de cartilagem hialina que gradualmente é substituído por tecido ósseo formado por células do tecido conjuntivo adjacente.

Em ambos os processos, ocorre a formação de tecido ósseo primário que pouco a pouco é substituído por tecido ósseo harversiano. Durante o período de crescimento de um indivíduo, é possível observar áreas de tecido ósseo primário lado a lado com zonas de reabsorção óssea e tecido ósseo lamelar. Assim sendo, o osso é um tecido vivo em constante remodelação durante toda a vida de um indivíduo, embora a um ritmo mais lento na fase adulta.

Não existe ainda um consenso para o mecanismo de calcificação. Sabe-se que a calcificação começa pela deposição de sais de cálcio sobre as fibras de colagénio, um processo que se suspeita ser induzido por proteoglicanos e glicoproteínas da matriz. A deposição de cálcio é influenciada pela sua concentração plasmática, também pela concentração dos sais de cálcio existente dentro de vesículas nos osteoblastos e ainda pela acção da fosfatase alcalina sintetizada pelos mesmos (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.2.1. Ossificação intramembranosa

A ossificação intramembranosa ocorre dentro das membranas de tecido conjuntivo, este processo é responsável pela formação da maioria dos ossos da caixa craniana, e ocorre no crescimento dos ossos chatos e no espessamento dos ossos longos.

Neste tipo de ossificação intervêm células mesenquimatosas multipotentes oriundas da medula óssea e com capacidade de se diferenciarem em osteoblastos. Estas vão sintetizar osteóide, uma matriz não mineralizada, que posteriormente vai mineralizar englobando os osteoblastos, os quais se diferenciam em osteócitos. Este processo ocorre em simultâneo em várias porções do centro de ossificação, formando canalículos com aspecto esponjoso que posteriormente é invadido pelas células mesenquimatosas indiferenciadas que vão formar a medula óssea. Os vários centros de ossificação crescem radialmente e, gradualmente, substituem a membrana conjuntiva. Um exemplo deste procedimento é observável na palpação do crânio dos recém-nascidos, onde é possível palpar ilhéus de tecido ósseo intercalados com tecido mole, as fontanelas, que são locais onde o tecido conjuntivo ainda não foi substituído por tecido ósseo (Junqueira & Carneiro, 2004).

As porções da membrana conjuntiva que não sofrem ossificação dão origem ao que conhecemos como endóstio e perióstio (Percival & Richtsmeier, 2014).

1.2.2. Ossificação endocondral

A ossificação endocondral é a principal responsável pela ossificação dos ossos longos e curtos. Esta tem início sobre uma peça de cartilagem hialina que serve de molde e já tem a forma semelhante à do osso que se vai formar, contudo de menor tamanho.

A ossificação endocondral incide em dois processos:

- Inicialmente, a cartilagem hialina sofre modificações; os condrócitos hipertrofiam, a matriz cartilaginosa é convertida em finos tabiques que se mineralizam e, por fim, os condrócitos morrem por apoptose;
- Seguidamente, as cavidades previamente ocupadas pelos condrócitos são invadidas por capilares sanguíneos e células osteogénicas provenientes do tecido conjuntivo adjacente. Estas células, por sua vez, vão-se diferenciar em osteoblastos que vão depositar matriz óssea sobre os tabiques de cartilagem calcificada, ocorrendo assim uma substituição de tecido cartilaginoso por tecido ósseo, onde os tabiques de matriz calcificada servem de apoio à ossificação.

A formação dos ossos longos é um processo complexo. O molde cartilaginoso respeita a mesma estrutura do futuro osso para que serve de base. Assim sendo, possui uma parte média estreita que corresponde à diáfise e duas extremidades dilatadas que correspondem às epífises. O primeiro tecido ósseo a aparecer no osso longo é formado por ossificação intramembranosa do pericôndrio que cobre a parte média da futura diáfise, formando uma

estrutura cilíndrica, o colar ósseo. Ao mesmo tempo, as células cartilaginosas envolvidas pelo mesmo hipertrofiam e morrem por apoptose, após este processo ocorre uma calcificação da matriz. Em seguida, vasos sanguíneos oriundos do perióstio atravessam o cilindro ósseo e penetram na cartilagem calcificada, levando consigo células mesenquimatosas osteoprogenitoras vindas do perióstio e que vão sofrer uma diferenciação em osteoblastos. Estas vão formar camadas contínuas nos tabiques cartilaginosos calcificados e vão iniciar a síntese de matriz óssea que prontamente se mineraliza, formando assim tecido ósseo primário sobre os restos de tecido cartilaginoso calcificado. Este centro de ossificação chama-se centro de ossificação primário, e cresce de forma acelerada em sentido longitudinal, acabando por ocupar toda a diáfise, que acaba assim por ser totalmente constituída por tecido ósseo. Ao mesmo tempo, o cilindro ósseo cresce na direcção das epífises. Desde a formação do centro primário surgem osteoclastos que vão absorver o tecido ósseo formado no centro da cartilagem, aparecendo assim o canal medular. Essa actividade osteoclástica também se propaga longitudinalmente acompanhando a propagação da ossificação. Com a formação do canal medular, células hematopoiéticas, de cariz multipotente que dão origem à medula óssea, fixam-se no microambiente do interior dos ossos, onde vão produzir todos os diferentes tipos de células sanguíneas tanto na vida intra-uterina como após o nascimento (Junqueira & Carneiro, 2004).

Mais tarde, formam-se centros de ossificação secundária, um em cada epífise. Têm um comportamento semelhante ao centro primário da diáfise, contudo crescem em sentido transversal em vez de longitudinal e a sua porção central também vai sofrer actividade osteoclástica e acabar por conter medula óssea. Quando o tecido ósseo dos centros secundários ocupa a epífise, o tecido cartilaginoso permanece apenas em dois locais: (i) na cartilagem articular, onde fica durante toda a vida do indivíduo, a sua função é facilitar a mobilidade e actividade mecânica do esqueleto reduzindo o atrito entre ossos e servir de apoio às diferentes articulações do sistema músculo-esquelético e (ii) na cartilagem de conjugação, também designada do fise ou disco epifisário, que corresponde à placa de crescimento constituída por um disco cartilaginoso que não foi penetrado pelo osso em expansão e que será responsável pelo crescimento longitudinal do osso durante o período de desenvolvimento do indivíduo. A placa de crescimento situa-se entre o tecido ósseo da epífise e da diáfise, na metáfise. A fise desaparece por ossificação, aproximadamente aos dois anos num cão e aos onze meses num gato, determinando assim o final do crescimento longitudinal dos ossos (Junqueira & Carneiro, 2004).

1.3. Osteogénese por distracção

A osteogénese por distracção (OD) pode ser definida como uma indução mecânica de tecido ósseo novo produzido após a separação de dois segmentos ósseos, posteriormente, estabilizados e submetidos a uma distracção lenta, gradual e estável. O seu princípio é baseado na capacidade inerente ao tecido ósseo de se regenerar e remodelar de acordo com as forças mecânicas e tensão à qual é submetido (Welch & Lewis, 1999; Tuohy *et al.*, 2014).

A OD é uma técnica amplamente usada na ortopedia adulta e pediátrica da Medicina Humana e Veterinária e é utilizada no tratamento de várias doenças como discrepâncias no comprimento de membros, deformações ósseas secundárias a traumatismos, infecções ou como compensação após excisão cirúrgica de tumores ósseos malignos (Sailhan, 2011).

O crescimento ósseo fisiológico resulta da tensão exercida sobre a placa de crescimento e da resistência dos tecidos moles. Estas forças actuam no mesmo plano, mas em direcções opostas (Merloz, 2011). O princípio básico do procedimento deve respeitar os princípios ortopédicos definidos por Ilizarov, Bastiani e outros investigadores, a seguir definidos:

1. A osteotomia será de baixa energia preservando a vascularização e o envelope de tecidos moles;
2. A fixação aplicada em ambos os segmentos é estável;
3. Após a corticotomia será aplicado um período de latência;
4. O índice de distracção (ID) e o ritmo é apropriado ao nível e tipo de osso onde se pretende efectuar a osteogénese (Nayagam, 2010).

Após a separação dos segmentos ósseos, podemos delimitar três fases temporais ao procedimento de OD, a primeira, denomina-se de período de latência, seguindo-se a fase de distracção e a fase de consolidação (Sailhan, 2011).

1.3.1. Osteotomia e corticotomia

O procedimento de OD inicia-se com uma secção transversa do osso longo a alongar. Nas suas experiências, Ilizarov utilizou 3 métodos de realizar fracturas, osteotomia, corticotomia e *osteoclasis*. O potencial osteogénico da osteotomia ou corticotomia depende de três principais factores: o local onde esta é efectuada, o tipo de técnica que é utilizada e o período de latência posteriormente aplicado (Ilizarov & Zarubin, 1976; Ilizarov, 1989a).

Quanto ao local, inicialmente era defendido que o alongamento ósseo deveria ser efectuado a meio da diáfise de um osso longo e, posteriormente, quando era atingido o alongamento necessário seria efectuado um enxerto ósseo oriundo da crista do ílio no foco de distração. Mais tarde, Ilizarov reconheceu a metáfise como o local ideal para a osteotomia devido à sua área massiva de osso trabecular, à rica vascularização colateral e também ao potencial de recuperação de fracturas. Aronson e Shen, em 1994, compararam a recuperação e qualidade do tecido ósseo regenerado na metáfise e na diáfise após um procedimento de OD, utilizando diferentes períodos de latência. Nos alongamentos de metáfise, a latência de 0 e 7 dias permitiu uma maior formação de tecido novo, remodelação e consolidação mais rápida do que nos alongamentos de diáfise. Um período de latência de 14 e 21 dias foi associado a uma consolidação prematura em ambas as regiões. A mineralização óssea do tecido recém-formado era mais rápida na metáfise do que na diáfise. Curiosamente, quando o período de latência era nulo, a distração era bem-sucedida e a consolidação mais rápida. O período de latência de 7 dias não apresentou o risco de consolidação prematura, contudo, a consolidação e formação de tecido ósseo foi mais lenta que no grupo que não efectuou período de latência. Os testes de torção *post-mortem* revelaram que o tecido ósseo de alongamento de metáfise era mais resistente. Histologicamente, a osteogénese revelou ser baseada em ossificação intramembranosa e observou-se que um período de latência mais elevado permite a proliferação de tecido cartilaginoso no foco de osteotomia, resultando numa ossificação endocondral com calcificação da matriz cartilaginosa e que pode resultar num procedimento mais lento. Este estudo revelou também que a metáfise apresenta características mais viáveis para a OD do que a diáfise e que, independentemente do local da corticotomia, um período de latência pode não ser necessário para o bom prognóstico de OD (Aronson & Shen, 1994).

Kojimoto e colaboradores demonstraram, em coelhos, a importância do perióstio, referindo que quando este era removido não era formado um calo ósseo e o alongamento falhava (Kojimoto *et al.*, 1988). Ilizarov considerou a preservação do perióstio e da vascularização medular como vital para obter melhores resultados numa OD (Ilizarov, 1989a; 1989b; 1992). Este autor desenvolveu a técnica de osteotomia subperiosteal, na qual são cortadas as porções anterior, medial e lateral do córtex, e a porção posterior é fracturada manualmente (*osteoclastis*), preservando a vascularização medular. Apesar de Ilizarov defender a importância da preservação da vascularização medular, outros autores questionam a sua importância (Kojimoto *et al.*, 1988; Frierson *et al.*, 1994; Marcelin-Little, 1997).

1.3.2. Estabilização de segmentos

A distração é efectuada utilizando um sistema de fixação externa, podendo ser um aparelho circular de Ilizarov ou um dispositivo longitudinal monoplanar unilateral (Sailhan, 2011). Neste processo, é fundamental manter a estabilização adequada no alinhamento de fractura e na osteodistração (Ilizarov, 1990, 1992).

A rigidez da fixação externa deve ser suficiente para prevenir micro-movimentos desnecessários no local da osteotomia, mas ao mesmo tempo complacente o suficiente para permitir micro-movimentos ao longo do eixo axial (Ilizarov, 1990; Paley *et al.*, 1990; Lewis *et al.*, 1997;). Uma fixação externa estável com menor rigidez diminui a duração temporal para atingir uma consolidação óssea, pois o tempo de consolidação com uma armação com baixa pontuação mecânica (menos rígida) é menor quando comparado com armações mais rígidas (Tuohy *et al.*, 2014).

Kusec e colaboradores (2003) compararam os tecidos ósseos oriundos de uma OD através de um distractor unilateral e de um distractor de Ilizarov, numa população de 15 cães de raça Pastor Alemão. Não foram encontradas diferenças histológicas, nem radiográficas no tecido ósseo recém-formado. As radiografias revelaram resultados similares e satisfatórios, as análises histológicas do tecido ósseo regenerado revelaram processos de ossificação similares em ambos os grupos, ossificação endocondral e intramembranosa em simultâneo. A regeneração progrediu de forma centrípeta com origem no córtex e a ossificação intramembranosa era predominante na porção medular do foco de distração (Kusec *et al.*, 2003).

Durante um alongamento, o momento da distração onde se apertam ou soltam parafusos na armação externa pode criar instabilidade no foco de distração e prejudicar o procedimento. O uso de novos compostos, como plásticos altamente densos, interligados com ligas de metal ajudam a evitar a instabilidade durante o período de ajustamento. As propriedades biomecânicas dos fixadores externos circulares foram estudadas mais recentemente, mas não existem estudos que explorem estas propriedades em alongadores unilaterais monoplanares (Stallings *et al.*, 1998).

1.3.3. Período de latência

A fase ou período de latência inicia-se imediatamente após a osteotomia e estende-se até ao início da distração. Este pode ser caracterizado como um período de “repouso” após a corticotomia de modo a permitir a resposta tecidual ao traumatismo iatrogénico, resposta

essa que inclui a proliferação de fibroblastos e a indução de um estado de reactividade ao perióstio. Os fenómenos que ocorrem durante esta fase são semelhantes ao que acontece no início da regeneração de uma fractura (Sailhan, 2011). O período de latência permite a organização do hematoma e da matriz de tecido fibroso que servirá de molde à proliferação de osteoblastos que, nas primeiras 24 horas, produzem osteóide nas superfícies ósseas. Este período também permite a revascularização do perióstio e endóstio (Ilizarov, 1989a, 1989b; White & Kenwright, 1991).

Em coelhos foi demonstrada a importância do período de latência, numa OD de tíbia, tendo sido observado que um período de latência de 7 dias permitiu uma maior regeneração dos focos de distracção e aumento da vasculatura, em comparação com aqueles cuja OD foi de imediato iniciada e se formou predominantemente tecido fibroso (Fjeld & Steen, 1988). Outros estudos demonstram que a consolidação óssea ocorre independentemente da existência de um período de latência, os mesmos defendem que a realização de um período de latência possibilita a formação de tecido cartilaginoso, levando a regeneração a tender para um processo de ossificação endocondral, um mecanismo mais demorado do que a ossificação intramembranosa (Aronson & Shen, 1994).

Em relação à duração deste período, não existe um consenso e vários estudos reportam tempos variáveis entre zero e 21 dias (Ilizarov, 1989a, 1989b; Aronson & Shen, 1994; Welch & Lewis, 1999). Existem vários factores que influenciam o período de latência apropriado, tais como: a idade do animal, o local da osteotomia, o traumatismo de tecidos moles ou a existência de uma patologia primária. Um período muito longo pode permitir uma consolidação prematura, sendo então necessário efectuar uma nova fractura para continuar o alongamento. Se o mesmo for muito curto, pode predispor a uma não-união óssea (Sailhan, 2011). Em Ortopedia Veterinária, o período de latência recomendado é de 2 a 3 dias para animais imaturos ou de 5 a 7 dias para animais maduros (Welch & Lewis, 1999), inferior aos 5 a 10 dias referidos em humanos (Sailhan, 2011).

1.3.4. Fase de distracção

Durante a fase de distracção, os segmentos ósseos são submetidos a uma tensão estável e constante, tornando-se metabolicamente activos. A formação de tecido ósseo ocorre ao longo da linha de stresse distractivo, no foco de alongamento nas extremidades de ambos os segmentos ósseos. Durante este processo regenerativo, a formação de tecido ósseo pode ser de 200 a 400 μm dia, o que é 4 a 8 vezes superior que o crescimento ósseo

fisiológico que ocorre na placa de crescimento de um indivíduo saudável (Aronson *et al.*, 1990).

Com o início da distração, desenvolvem-se forças tensoras no foco de fractura, ao mesmo tempo que o colagénio é depositado pelos fibroblastos em proliferação e organizado em fibrilhas lineares. Este tecido torna-se visível radiograficamente após 7 a 14 dias de distração e, com a continuação da mesma, uma zona de radiotransparência é formada no centro do foco de fractura, a interzona fibrosa (IZF). Esta zona divide o osso regenerado em partes iguais e é rica em condrócitos, fibroblastos e células ovóides morfologicamente intermédias entre um fibroblasto e um osteoblasto. A IZF permanece sem vascularização durante a maior parte da distração e, após o seu término, é rapidamente vascularizada e mineralizada durante o período de consolidação (Sailhan, 2011). Quando as células da IZF se diferenciam em osteoblastos, estas vão começar a depositar matriz óssea formando zonas de formação de microcolunas (ZFMC). As microcolunas têm um aspecto idêntico a estalactites e estalagmites e identificam-se como cones de 150 a 200 µm. A mineralização prossegue longitudinalmente ao longo das fibras de colagénio, paralelamente às forças de distração. Entre a IZF e ZFMC forma-se uma zona de tecido conjuntivo que contém células altamente proliferativas idênticas às que surgem num centro de ossificação primário (Sailhan, 2011). Os fibroblastos e osteoblastos organizam-se ao longo das fibras de colagénio longitudinais no foco de distração e os segundos depositam então osteóide directamente nessas fibrilhas (Tuohy *et al.*, 2014).

Apesar de discutível, a maioria dos estudos histológicos incidentes no método de Ilizarov, confirmam que o método de formação óssea numa OD é primariamente ossificação intramembranosa (Aronson & Shen, 1994; Choi *et al.*, 2002). Em humanos e em modelos animais de osteodistração de ossos longos e mandíbula, realizados em cão, coelho e ovelha, a ossificação intramembranosa predomina sobre a ossificação endocondral (Kojimoto *et al.*, 1988; Aronson *et al.*, 1990; Delloye *et al.*, 1990; Welch & Lewis, 1999; Ali *et al.*, 2009), principalmente na sua fase final (Fink *et al.*, 2003), contudo já foram identificadas três métodos de ossificação distintos. A ossificação endocondral pode ser identificada em todas as fases de uma OD (Kojimoto *et al.*, 1988; Delloye *et al.*, 1990; Jazrawi *et al.*, 1998) e é normalmente identificada nas junções da IZF e nas novas membranas mineralizadas com origem nas regiões da corticotomia (Yasui *et al.*, 1997; Fink *et al.*, 2003). O rácio de ossificação intramembranosa e endocondral numa OD é de 5 para 1 (Fink *et al.*, 2003).

Um terceiro fenómeno de ossificação foi identificado histologicamente e denominado de ossificação transcondróide, caracterizada por osso formado a partir de células similares a

condrócitos e com uma transição de tecido fibroso para tecido ósseo “condróide”, um tecido intermediário entre osso e cartilagem, este sofre uma gradual transição para tecido ósseo sem invasão de capilares sanguíneos (Yasui *et al.*, 1997; Choi *et al.*, 2002). Outros autores mostraram que as células semelhantes a condrócitos hipertrofiados passam por um tipo de diferenciação osteogénica com deposição de fibras de colagénio tipo 1 e tipo 2 (Li *et al.*, 2000). A cartilagem que se forma durante a OD está normalmente localizada junto ao perióstio, mas não entre os limites do córtex no foco de distracção (Sailhan, 2011).

Durante a fase de distracção ocorre também uma enorme resposta angiogénica. No local do alongamento pode ocorrer um pico de circulação sanguínea 9 vezes superior ao de um osso normal. Este aumento volémico persiste durante bastante tempo, já que após 17 semanas a circulação local permanece o dobro do valor normal (Choi *et al.*, 2000, 2002).

Acredita-se que a regeneração óssea ocorre em resposta a uma força mecânica de tracção lenta e estável aplicada ao nível do calo ósseo e sob a qual os tecidos vivos tornam-se metabolicamente activos, fenómeno este denominado de mecano-transdução (Ilizarov, 1989a, 1989b). As experiências de Ilizarov demonstraram que as mitocôndrias do tecido músculo-esquelético hipertrofiam e ficam mais activas, resultando no aumento do volume da célula e da actividade funcional do núcleo celular (Ilizarov, 1989b).

A monitorização radiográfica dos animais, a cada 7 a 10 dias, é aconselhável para avaliar tecido ósseo regenerado e reajustar, se necessário, o ID (Welch & Lewis, 1999).

Quando se obtém o comprimento de osso idealizado, a distracção termina, marcando o início da fase de consolidação onde o osso e osteóide são alvo de mineralização e remodelação (Sailhan, 2011).

1.3.4.1. Índice e ritmo de distracção

O índice de distracção, ou seja, a tensão aplicada gradualmente ao osso, mede-se habitualmente em milímetros por dia, sendo o normal 1 mm/dia. Contudo este pode variar de acordo com o osso ou mesmo o local desse osso que pretendemos alongar (Sailhan, 2011).

A quantidade total de distracção efectuada por dia, o índice de distracção (ID), baseia-se nos mesmos factores já abordados para um período de latência (Ilizarov, 1989a, 1989b). Os índices típicos aplicados em animais vão desde 0,75 mm até 2 mm por dia, o que é similar ao que acontece na Ortopedia Humana (Ferreti, 1991; Latte, 1991; Marcellin-Little *et al.*, 1998). Factores como a idade, a técnica de osteotomia utilizada e a localização vão

influenciar a escolha do ID. Podemos associar ID excessivos a contracturas musculares e subluxações articulares (Birch *et al.*, 1994; Catagni *et al.*, 1994). A escolha de um ID apropriado é fundamental na prevenção de consolidações prematuras do tecido regenerado e de lesões nos tecidos moles, bem como na manutenção da congruência e biomecânica ideal de uma articulação (Welch & Lewis, 1999).

Ilizarov propôs um ID de um 1 mm por dia como ideal para a regeneração óssea, baseando-se no seu estudo em 120 cães, utilizando distrações de 0,5 mm, 1 mm e 2 mm por dia. Numa distração de 0,5 mm/dia aumentava a frequência de consolidações prematuras e uma distração de 2 mm/dia resultava em danos teciduais e excedia a capacidade de revascularização tecidual (Ilizarov, 1990). Estudos mais recentes sugerem que ID entre 0,5 e 2 mm dia são apropriados e que o ID ideal deve basear-se em características individuais como idade, local de osteotomia e necessidade de correcção angular (Catagni *et al.*, 1994; Frierson, 1994).

O ritmo de distração (RD), ou seja, o número de alongamentos feitos por dia, influencia a qualidade e quantidade de tecido ósseo regenerado e é importante na preservação da integridade dos tecidos moles durante o alongamento (Ilizarov, 1989a, 1989b; Birch *et al.*, 1994). Ilizarov reportou, num modelo canino, que ao utilizar um distractor automático capaz de efectuar um RD de 60 vezes por dia, produzia tecido com uma qualidade significativamente melhor, quando comparados com ritmos de 1 a 4 vezes por dia (Ilizarov, 1989a, 1989b). Em modelo caprino de alongamento de tíbia, RD de 1, 4 e 720 vezes por dia, não afectavam a força, rigidez e índice histomorfológico do osso, nem mesmo afectava o potencial somatossensorial dos nervos periféricos (Birch *et al.*, 1994; Welch *et al.*, 1998). Outro estudo no mesmo modelo animal concluiu que aumentar o RD produzia menos degeneração muscular (Kochutina, 1999). Em aplicações veterinárias, são recomendados ritmos de 2 a 4 vezes por dia (Kojimoto *et al.*, 1988; Ferreti, 1991; Marcellin-Little *et al.*, 1998).

1.3.5. Fase de consolidação

Quando a distração termina, é mantida a fixação externa, de modo a conferir estabilidade ao tecido regenerado e permitir a mineralização e consolidação do mesmo (Sailhan, 2011).

Na fase de consolidação, a IZF começa a mineralizar e a região central torna-se radiograficamente esclerótica. Durante as semanas seguintes, as colunas de tecido regenerado tornam-se homogéneas à medida que o tecido ósseo primário é substituído por osso harversiano. A formação de um novo córtex e de um novo canal medular, necessita de

cerca de 8 a 12 semanas em animais de companhia (Ilizarov, 1989a, 1989b; Latte, 1993; Welch *et al.*, 1998).

Com o passar do tempo, as trabéculas longitudinalmente orientadas transformam-se em placas transversas, incorporando o molde de colagénio (Ilizarov, 1989a, 1989b; Aronson & Shen, 1994; Welch *et al.*, 1998). As microcolunas ósseas são recobertas de osteoblastos que produzem activamente osteóide e cada uma é acompanhada de um canal vascular de grandes dimensões que preserva a distância ideal para permitir um gradiente de difusão eficiente entre células. A actividade das células ósseas durante a OD é similar à que ocorre durante a reparação de fracturas (Aronson, 1994; Aronson & Shen, 1994; Welch *et al.*, 1998), contudo ao nível tecidual, o contínuo recrutamento e activação de células com capacidade de produção e reabsorção óssea numa OD excede significativamente a de uma reparação de fractura (Welch, 1995). Durante a extensa produção óssea, uma remodelação ocorre em simultâneo, produzindo porose do córtex ósseo e das margens do osso regenerado. Passados 2 a 3 meses em animais e 4 a 6 meses em humanos, formam-se os canais de Havers por onde vão passar os vasos sanguíneos e nervos (Ilizarov, 1992; Aronson, 1994; Frierson *et al.*, 1994). Os componentes medulares, aparecem no osso regenerado dos animais ao fim de 4 meses. A remodelação óssea está completa ao fim de 5 a 7 meses em animais e 12 a 24 meses em humanos e a integridade mecânica do córtex é restaurada no fim deste período de remodelação (Welch & Lewis, 1999).

O período de consolidação óssea após uma OD foi averiguado num estudo retrospectivo de 20 anos baseado em 115 animais submetidos a uma corticotomia e aplicação de um fixador externo circular (Tuohy *et al.*, 2014). Os autores concluíram que o rádio necessita de menos tempo para consolidar do que a tíbia, apresentando como hipótese o facto de, durante a marcha, o rádio carregar uma carga num eixo axial paralelo e a tíbia suportar a carga de forma mais oblíqua (Agostinho *et al.*, 2011). Em modelo experimental de coelho foi possível averiguar os efeitos de uma osteotomia angular após uma OD, revelando que um desvio axial de 30 graus no foco de distração resulta numa redução de 50% no volume de tecido ósseo regenerado (Richards *et al.*, 1998). Outra hipótese deve-se ao facto dos cães suportarem cerca de 60% do seu peso nos membros torácicos, logo a carga suportada por um rádio vai ser superior à suportada por uma tíbia (Levine *et al.*, 2010; Molsa *et al.*, 2010; Brady *et al.*, 2013). Fischgrund e colaboradores (1994) referem, em humanos, que o fémur consolida mais rapidamente do que uma tíbia.

Há vários factores que influenciam o ritmo da consolidação óssea, este é bastante influenciado pela capacidade do animal aplicar carga no membro. Esta capacidade vai

depende da existência de dor. O animal pode sentir dor como resultado da instabilidade da fixação externa ou de danos sobre os tecidos moles, como contracturas musculares, resultantes de um ID excessivo. Os fixadores circulares permitem a dinamização do calo formado, o que pode ser utilizado para diminuir o tempo de consolidação. (Welch & Lewis, 1999).

A formação do tecido ósseo pode ser controlada através de tomografias, cintigrafias, densitometrias ósseas, e ecografias, contudo as radiografias, continuam a ser o método mais prático para determinar a eficiência da consolidação e averiguar quando é necessário remover a fixação externa (Aronson, 1994; Welch & Lewis, 1999).

Actualmente, inúmeras investigações incidem sobre o mecanismo molecular por detrás de uma OD, como por exemplo, a expressão genética das proteínas morfogénicas ósseas (BMPs 2 e 4) a qual é induzida pela tensão e stresse mecânico (Li *et al.*, 1998; Sato *et al.*, 1999). Outros sinais moleculares, como são o factor de crescimento semelhante à insulina tipo 1 (IGF-1), factor de transformação do crescimento beta (TGF β) e factor de crescimento fibroblástico 1 (FGF-1), associados à proliferação dos osteoblastos e à sua diferenciação de células mesenquimatosas, foram já identificados no local da distração (Lammens *et al.*, 1989; Farhadieh *et al.*, 1999). Raschke e colegas (1999) identificaram que é possível acelerar o processo de ossificação durante uma OD pela administração sistémica de uma hormona de crescimento homóloga recombinante.

1.3.6. Complicações

As complicações associadas a uma OD incluem contracturas musculares, subluxações, lesões vasculares e nervosas, consolidações prematuras ou atrasadas, e mesmo não-união óssea. A colocação de pinos intramedulares perto de um nervo ou vaso de grande calibre pode predispor a danos nessas estruturas durante o alongamento (Welch & Lewis, 1999).

Lesões neuromusculares estão raramente associadas a alongamentos a não ser que este exceda os 30% do tamanho do membro alvo (Paley, 1990; Makaro *et al.*, 1994; Marcellin-Little *et al.*, 1998). As subluxações que estão associadas a contracturas musculares, podem ocorrer em alongamentos substancialmente excessivos. As consolidações prematuras podem ser prevenidas com o uso de períodos de latência, ID e RD adequados. As consolidações atrasadas, estão associadas a muitos factores, mas são mais comuns em casos de ID excessivos. A não-união óssea está por sua vez associada a processos infecciosos. Um protocolo radiográfico de controlo rigoroso, permite uma monitorização, avaliação e ajustamento adequado para evitar estes problemas (Welch & Lewis, 1999).

Uma das limitações desta técnica é o longo período necessário para o osso recém-formado maturar, mineralizar e finalmente consolidar. Os fixadores externos devem-se manter até mesmo o final da consolidação de modo a conferir estabilidade ao osso recém-formado e obter osso de melhor qualidade (Sailhan, 2011).

Durante o alongamento do fémur, os músculos que nele actuam são responsáveis por grande parte dos problemas que podem surgir numa OD. O quadrícipede, glúteos, e os abdutores podem influenciar a progressão do alongamento, a tensão criada sobre os tecidos moles produz dor, reduz o movimento articular e deforma a coluna de osso regenerado, para um alongamento bem-sucedido é necessário compreender estes conceitos e ajustar a técnica cirúrgica para minimizar o seu impacto (Nayagam, 2010).

Como já foi mencionado, os tecidos moles podem ser um factor limitante numa OD (Paley, 1990; Eldridge & Bell, 1991; Birch *et al.*, 1994). Experimental e clinicamente, alongamentos que excedem os 20% da medida original, reportam um aumento de complicações referentes a nervos periféricos e estruturas mio-tendinosas. Apesar da fisioterapia durante o alongamento diminuir a gravidade das contracturas musculares, e prevenir a aparição de doenças articulares, outras técnicas estão a ser estudadas e aplicadas clinicamente para diminuir a incidência destas complicações, uma delas é o alongamento ósseo de dois níveis, que consiste em criar dois focos de fractura e assim dois níveis de alongamento ósseo, com dois focos de distração. Neste procedimento, existem três fragmentos, logo é fundamental uma boa fixação do segmento central, os segmentos adjacentes são então distraídos em direcções opostas, produzindo assim dois focos de tecido regenerado. Desta forma podemos reduzir o tempo de alongamento e de consolidação para metade. Ainda existe a vantagem de dissipar as forças de distração, aplicadas nas estruturas mio-tendinosas, por todo o complexo muscular, reduzindo assim os efeitos degenerativos (Welch & Lewis, 1999).

O presente estudo teve como objectivo avaliar a eficácia de um distractor em fibra de carbono unilateral monoplanar no alongamento de diferentes ossos longos em cães, elaborar um protocolo de alongamento ósseo aplicável a todos os ossos longos. E contribuir para a reabilitação e melhoria da qualidade de vida dos animais submetidos a osteodistração.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho teve lugar no Hospital Veterinário de S. Bento (HVSB), em Lisboa (Portugal), no período compreendido entre 1 de Dezembro de 2015 e 1 de Abril de 2016.

2.1. Animais estudados

Os animais incluídos neste estudo foram os cães atendidos no Serviço de Ortopedia do HVSB com idade inferior a dois anos e que se apresentavam com malformações ósseas congénitas ou resultantes de fracturas anteriores mal resolvidas, e nos quais foi recomendada e realizada a osteodistracção com recurso ao DOCUM (Distractor ósseo em fibra carbono unilateral monoplanar - fabricado por HVSB, Portugal).

2.2. Material utilizado

O distractor utilizado neste estudo foi um DOCUM em alumínio e fibra de carbono, com um comprimento mínimo de 22 cm e máximo de 31 cm (Figura 1).



Figura 1 – Fotografia do distractor ósseo em fibra de carbono unilateral monoplanar (DOCUM) utilizado nos animais estudados.

Ambas as barras de fibra de carbono estão ligadas a uma estrutura em alumínio desenhada para se conectar com rótulas e pinos intramedulares de fixação externa, existem vários “portos” de conexão permitindo variar não só o número de pinos utilizados, bem como a distância entre eles, otimizando assim a adaptabilidade do material a diferentes indivíduos e ossos.

Este distractor caracteriza-se por ser maioritariamente constituído por fibra de carbono, em vez de titânio ou aço inoxidável como outros disponíveis no mercado. Assim, permite suportar grandes forças de tensão sem dobrar, devido às propriedades elásticas deste material. Tem uma maior resistência a impactos, alta resistência química e é bastante leve. Tem ainda a vantagem de ser radiotransparente, permitindo a realização duma projecção radiográfica latero-lateral e uma melhor visualização das estruturas anatómicas em radiografias de controlo do alinhamento dos membros. Ao mesmo tempo, a fina estrutura de alumínio, radiopaca, é visível na radiografia sem dificultar a sua leitura. Neste estudo, para além do distractor em fibra de carbono, foram utilizados *kits* de cirurgia geral e material ortopédico, nomeadamente, serra oscilante, elevadores de periósteo, berbequim ósseo e pinos intramedulares de 2 e 3,5 mm.

2.3. Protocolo de aplicação do distractor

Todos os proprietários deram o seu consentimento informado, após planeamento e partilha de informação. O procedimento cirúrgico foi efectuado pelo Prof. Doutor Henrique Armés.

O protocolo anestésico utilizado inclui a sedação e analgesia com uma combinação de butorfanol na dose de 0,4 mg/kg e de diazepam na dose de 0,2 mg/kg, ambos administrados por via intravenosa; indução com propofol na dose de 4 mg/kg por via intravenosa e manutenção com isoflurano misturado em oxigénio e administrado após colocação de tubo endotraqueal.

Após tricotomia e assépsia da zona a intervercionar com clorexidina, a cirurgia iniciou-se com uma incisão cutânea utilizando um bisturi, seguindo-se a exposição da diáfise do osso longo a alongar, respeitando ao máximo os tecidos moles envolventes, bem como toda a vascularização.

Após concluído o acesso, foi utilizada uma serra oscilante para efectuar uma corticotomia de baixa energia, na porção anterior, lateral e medial do osso. A porção posterior foi submetida a forças de torção para concluir a fractura, visando preservar o folheto de tecidos moles que envolve o osso, nomeadamente, o periósteo, bem como a sua vascularização incluindo a

intramedular. Durante esta etapa, a serra oscilante e os tecidos foram arrefecidos através da deposição em simultâneo de solução salina a 0,9%, de modo a evitar a sua necrose térmica. Após a corticotomia, foram então obtidos dois segmentos ósseos.

Os dois segmentos resultantes foram alinhados e estabilizados com o uso de pinos intramedulares de 2 ou 3,5 mm aplicados com um berbequim ortopédico e posteriormente conectados ao DOCUM. Após a confirmação do correcto alinhamento, os tecidos moles internos foram suturados com Monosyn (Braun, Portugal) e a pele com Dafilon (Braun, Portugal). O diâmetro do fio de sutura variou de acordo com o animal. Em seguida, foi estabelecida a conexão dos pinos intramedulares ao DOCUM. Depois de averiguada a estabilidade dos dois segmentos ósseos, a resistência do material e as forças de tensão aplicadas através da manipulação do membro e observação do material ortopédico, as cirurgias deram-se por concluídas e foi efectuado o primeiro controlo radiográfico.

No período pós-cirúrgico, o controlo de dor foi efectuado com meloxicam na dose de 0,2 mg/kg, por via subcutânea, nas primeiras 24 horas, e reduzida para 0,1 mg/kg a cada 24 horas, durante uma semana, por via oral. Foi também iniciada uma antibioterapia profilática com cefuroxima na dose de 20 mg/kg, de 12 em 12 horas, por via intravenosa e posteriormente, por via oral durante toda a fase de distração, ou pelo menos duas semanas.

Após a cirurgia, foi iniciado um período de latência de 3 dias, após o qual foi iniciada a distração, o protocolo utilizado consistia num ID de 1 mm por dia, com um RD de uma vez por dia.

No período de consolidação, o controlo de dor e conforto dos animais foi acompanhado através das reavaliações e contínua comunicação com os proprietários. No caso de surgir alguma agudização dolorosa ou detectado algum desconforto por parte dos proprietários, era administrado carprofeno na dose de 4 mg/kg, de 24 em 24 horas, durante 5 dias. No caso de se apresentarem numa consulta, a primeira administração era efectuada por via subcutânea e as seguintes por via oral.

As reavaliações e controlos radiográficos pretenderam averiguar o desenvolvimento do tecido regenerado e a possível existência de efeitos secundários nos tecidos moles e nas articulações. O exame físico completo e rigoroso incluía a avaliação do conforto do animal pela avaliação do seu comportamento, estado de consciência e qualidade da marcha, nomeadamente o apoio do membro ou a existência de claudicação. Os membros eram palpados e as articulações adjacentes manipuladas através de exercícios de flexão,

extensão e, caso aplicável, de adução e abdução. A nível radiográfico, era averiguada a qualidade do tecido ósseo e do foco de fractura e procurados sinais de infecção ou instabilidade do material, nomeadamente reabsorção óssea em redor dos interfaces do tecido vivo com o material, alterações da densidade óssea, existência de sequestro ósseo, esclerose do endóstio e reactividade do perióstio.

Previamente estava idealizado um período de acompanhamento radiográfico comum a todos os animais estudados, contudo não foi possível já que os diferentes proprietários não tinham disponibilidade para cumprir o protocolo de reavaliação comum.

3. RESULTADOS

Para o estudo, foi possível seleccionar três cães com menos de dois anos de idade, de ambos os sexos, duas fêmeas e um macho. Dois indivíduos eram de raça indefinida e o terceiro um Galgo. Todos os animais foram vítimas de encerramento prematuro das placas de crescimento, secundário a traumatismo ou de forma congénita. De seguida, serão descritos em detalhes os três casos clínicos, no que concerne à história clínica pregressa dos mesmos, ao diagnóstico radiográfico, às particularidades da cirurgia realizada, adaptações ao protocolo e complicações.

3.1. Caso clínico n.º 1: Semente

O primeiro animal do presente estudo a ser submetido a uma OD foi uma cadela sem raça definida, de porte médio, com 13 kg de peso vivo, e com uma idade estimada de um ano e meio (Figura 2).



Figura 2 – Fotografias da Semente (A) e do seu membro pélvico direito no qual se pode observar o valgus da porção distal do membro (B).

3.1.1. História clínica

A Semente foi encontrada pela equipa da Associação “Cantinho de Beja” em Abril de 2015, quando tinha cerca de 5 meses de idade. Apresentava fracturas bilaterais de ambas as tíbias e uma fractura de fémur direito. As fracturas de tíbia foram realinhadas e resolvidas por meio de fixadores externos e foi efectuada uma ablação da cabeça do fémur do MPD. O animal teve alta com medicação paraenteral, nomeadamente amoxicilina associada com ácido clavulânico e meloxicam. Dois meses após a cirurgia, foram removidos os fixadores externos e obtida uma ossificação completa e primária das fracturas, contudo existia um desvio lateral do MPD.

Em Novembro, o animal regressou ao HVSB, reportando a família de acolhimento temporário que o MPD estaria mais curto do que o MPE, obrigando o último a dobrar para compensar, causando claudicações recorrentes, falta de equilíbrio e várias quedas resultando em desconforto e dor para a animal.

No dia 16 de Dezembro de 2015, foi efectuada uma osteotomia e posterior alinhamento da tíbia esquerda, fixado com o uso de uma *locking plate* de titânio, tendo sido obtidos resultados satisfatórios. Em consequência, a Semente, reunia condições como candidata a alongamento de fémur direito no mês de Fevereiro de 2016.

3.1.2. Diagnóstico radiográfico

No primeiro momento radiográfico, foi possível perceber a complexidade deste caso, nomeadamente pela observação da fractura bilateral das tíbias e de uma fractura do colo femoral direito (Figura 3). Tal como já foi referido, as fracturas de tíbia foram primariamente resolvidas recorrendo a uma fixação externa e, posteriormente, submetidas a um realinhamento realizado após osteotomia e fixação com placas de titânio.

Após o alinhamento de ambas as tíbias, verificou-se uma discrepância comparando o tamanho de ambos os fémures (Figura 4), o esquerdo media 18,9 cm, enquanto o fémur direito media 15,8 cm, para além das diferenças de tamanho o membro direito apresenta-se em valgus, um desvio lateral da sua porção distal. O conjunto de alterações teve como indicação terapêutica a aplicação do distractor em fibra de carbono na Semente, sendo previsto um alongamento de aproximadamente 3 cm.



Figura 3 – Radiografia da Semente antes de qualquer intervenção cirúrgica. Observam-se as fracturas em ambas as tíbias e a fractura da epífise proximal do fémur direito. projecção ventro-dorsal.

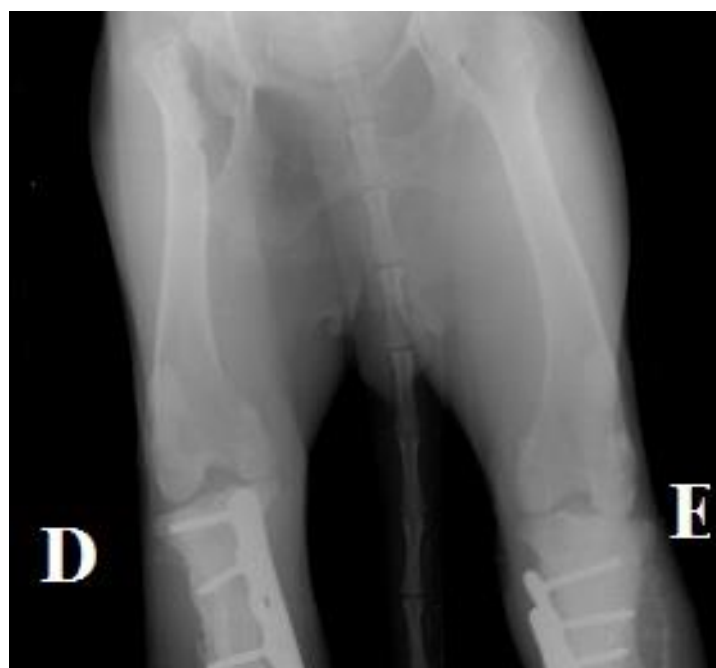


Figura 4 – Radiografia ao fémur da Semente antes da aplicação do DOCUM. projecção ventro-dorsal.

3.1.3. Alongamento ósseo

O procedimento respeitou o protocolo de aplicação do DOCUM, desde a técnica de corticotomia até à aplicação de dois pinos intramedulares por segmento. Neste caso em particular, foram utilizados pinos de 3,5 mm de diâmetro, pode-se observar o DOCUM conectado à cadela na Figura 5 e a primeira radiografia na Figura 6.

Após o procedimento, foi cumprido um período de latência de 3 dias, após o qual foi iniciada a fase de distração utilizando um ID de 1 mm por dia com um RD de uma vez por dia.

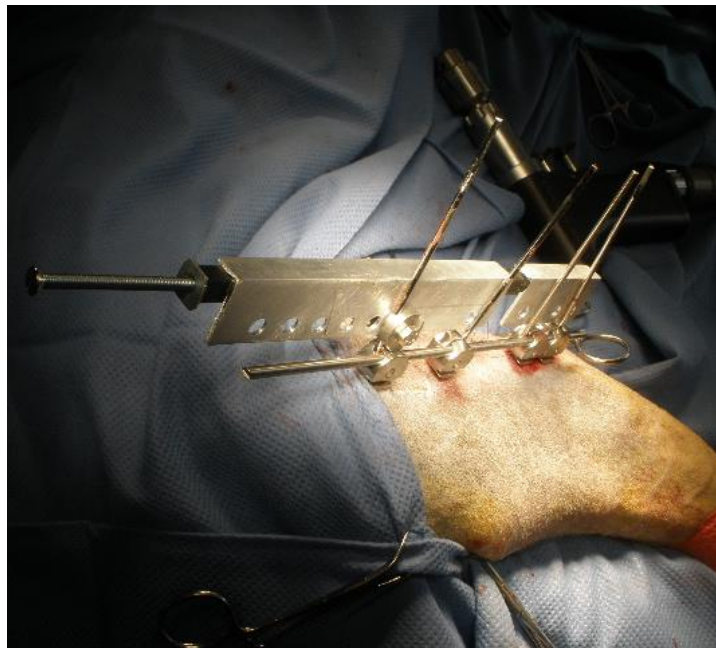


Figura 5 – Fotografia da aplicação do distractor em fibra de carbono no fémur direito da Semente.

A fase de distração teve a duração 20 dias, correspondendo à formação de 2 cm de tecido ósseo no fémur direito. Idealmente, a distração seria mais longa, mas os tecidos moles começaram a não suportar o ID utilizado e foi optado por concluir o alongamento.

Após a distração, iniciou-se a fase de consolidação, criando uma armação de fixação externa com recurso a uma barra, parafusos, rótulas e cavilhas e mantida durante 61 dias (Figura 7).



Figura 6 – Radiografia ao fémur da Semente após aplicação do DOCUM. projecção ventro-dorsal.

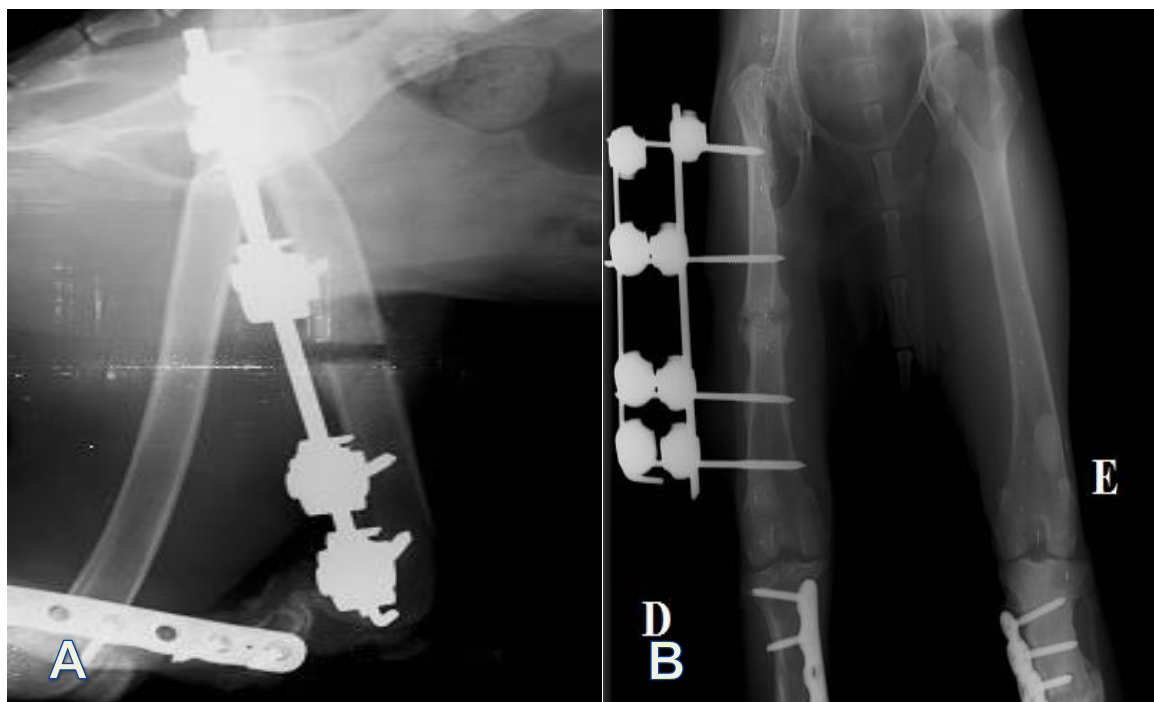


Figura 7 – Radiografias ao fémur direito da Semente no dia 0 da fase de consolidação. projecções latero-lateral (A) e ventro-dorsal (B).

Este caso foi bastante desafiante pelo facto da Semente ter sido submetida a uma ablação da cabeça do fémur direito, resultando numa menor fixação da porção proximal deste osso, tornando bastante mais difícil a manutenção do eixo axial, fundamental para realizar a distração óssea com sucesso. Decidimos portanto, introduzir uma barra de titânio para fortalecer a fixação externa como pode ser observado na figura 5. O DOCUM auxiliado pela barra de titânio revelou-se apto para a manutenção do eixo axial. No final do procedimento o fémur direito da Semente media 17,8 cm, foram regenerados 2 cm de tecido ósseo, correspondendo a um alongamento de 12,7% do fémur direito, o resultado final pode ser observado na Figura 8.

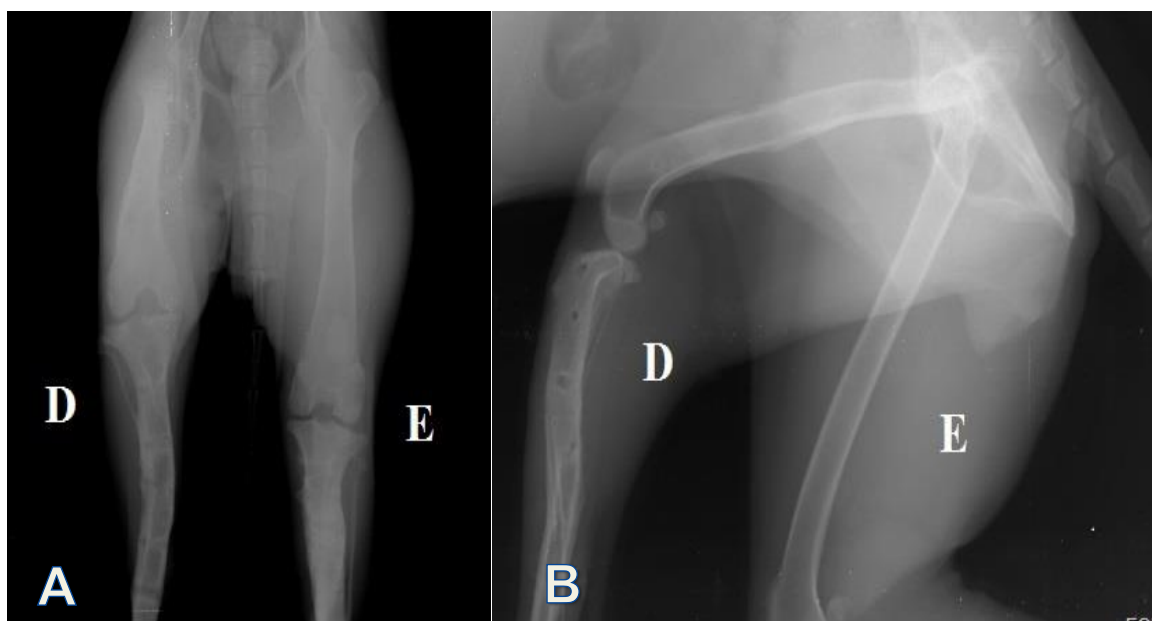


Figura 8 – Radiografias ao fémur direito da Semente após remoção de todo o material ortopédico. Projeções ventro-dorsal (A) e latero-lateral (B).

3.1.4. Complicações

Durante o período de alongamento, a Semente enfrentou algumas complicações. O conforto dado pela fixação externa fez com que ela iniciasse uma vida mais activa. Ocorreram dois episódios de queda, cujo resultado levou a Semente a não apoiar o membro, foram efectuados controlos radiográficos que não revelaram qualquer dano ao osso, nem nenhum comprometimento do alinhamento e do foco de osteogénese. A analgesia foi obtida com recurso a carprofeno na dose de 4 mg/kg uma vez por dia durante 5 dias. Em ambos os episódios a paciente recuperou e voltou a apoiar o membro intervencionado.

Ao fim de duas semanas de distracção, começaram a surgir lesões cutâneas na interface com o material de fixação externa. A região foi desinfectada diariamente com clorhexidina e aplicada pomada à base de bacitracina e retinol (Generis, Portugal) de 12 em 12 horas, de modo a prevenir qualquer infecção que pudesse comprometer o processo. Ao fim de 20 dias, foi decidido remover o alongador já que existia bastante tensão exercida sobre a pele e músculos da coxa e começou a notar-se perda de amplitude de movimento do joelho direito.

3.2. Caso clínico n.º 2: Noa

O segundo animal neste estudo foi a Noa, uma cadela de raça Galgo de cor branca, com aproximadamente 15 kg e 7 meses de idade (Figura 9).

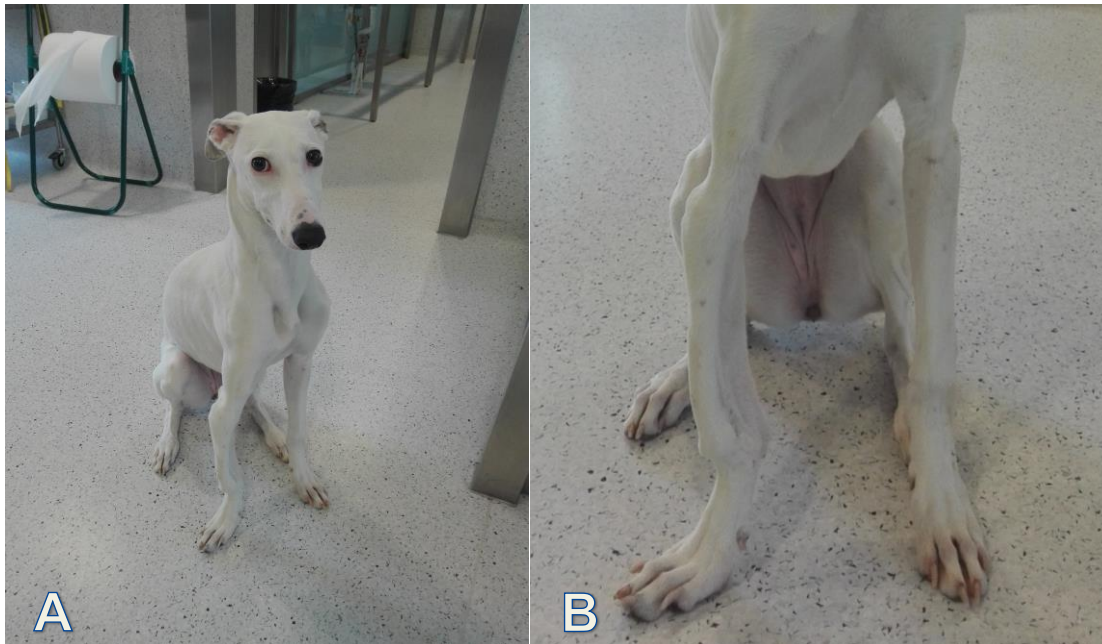


Figura 9 - Fotografias da Noa (A) e do seu membro torácico direito no qual se pode observar a curvatura do rádio e apresentação em valgus (B).

3.2.1. História clínica e exame físico

A Noa apresentou-se no HVSB para efectuar um procedimento de ovariohisterectomia electiva e, durante o exame físico, foi observada uma claudicação intermitente sem apoio do membro, tanto em marcha como em trote (normalmente caracterizada como grau 4 em 5) do MTD que também se apresentava deformado, o membro apresentava-se com um desvio lateral na sua porção distal, e era observável que o rádio estava curvo. Os proprietários

referiram que esta deformação foi consequência de uma fractura. Esta ocorreu nos primeiros meses de vida e nunca foi abordada, resultando no encerramento prematuro da placa de crescimento da ulna direita. Após conversa com os proprietários, estes concordaram em integrar a Noa neste estudo e efectuar, após a esterilização, um alongamento da ulna direita.

3.2.2. Diagnóstico radiográfico

Na Figura 10, pode observar-se o desnível na inserção da epífise distal da ulna com os ossos do carpo, contudo o que comprometeria a marcha da animal seria a articulação do cotovelo, o olecrânio e o processo coronóide da ulna encontram-se baixos em relação aos côndilos do úmero, resultando em laxidão e incongruência na articulação causando dor que, consequentemente, levava o animal não apoiar o membro.



Figura 10 – Radiografia de diagnóstico da ulna do MTD da Noa. Projecção latero-lateral.

O encerramento prematuro da placa de crescimento da ulna resultou numa discrepância no crescimento da mesma em comparação com o rádio. Em compensação, o rádio desenvolveu uma curvatura.

Foram efectuadas medições entre os côndilos do úmero e o processo coronóide da ulna do MTD e foi então planeado um alongamento de 0,56 cm da ulna para corrigir a incongruência da articulação. No início do procedimento, a ulna direita da Noa media 17,8 cm.

O procedimento teve como objectivo alongar a ulna e, conforme o desenvolvimento do membro, no final poderia ser necessário efectuar uma corticotomia e posterior realinhamento do rádio direito.

3.2.3. Alongamento ósseo

O protocolo cirúrgico consistiu numa corticotomia utilizando a serra oscilante após a qual foi efectuado um realinhamento da ulna. Com o auxílio de um berbequim ortopédico, foram colocados quatro pinos intramedulares de 3,5 mm, dois colocados no segmento proximal e dois no distal e, posteriormente, conectados ao distractor em fibra de carbono (Figura 11).

Após o procedimento cirúrgico foi efectuado o primeiro controlo radiográfico (Figura 12) e posteriormente cumprido o período de latência protocolizado de 3 dias, sendo então iniciada a distração com o ID de 1 mm/dia, uma vez por dia.

A fase de distração durou 11 dias, resultando na criação de um total de 1,1 cm de tecido ósseo regenerado. Na Figura 13 é possível observar a formação de tecido novo após 11 dias de distração.

A fase de consolidação teve a duração de 53 dias, no final do alongamento, a ulna direita media 18,9 cm foi atingido um alongamento de 1,1 cm correspondendo a um alongamento de 6,2% da ulna do MTD (Figura 14).

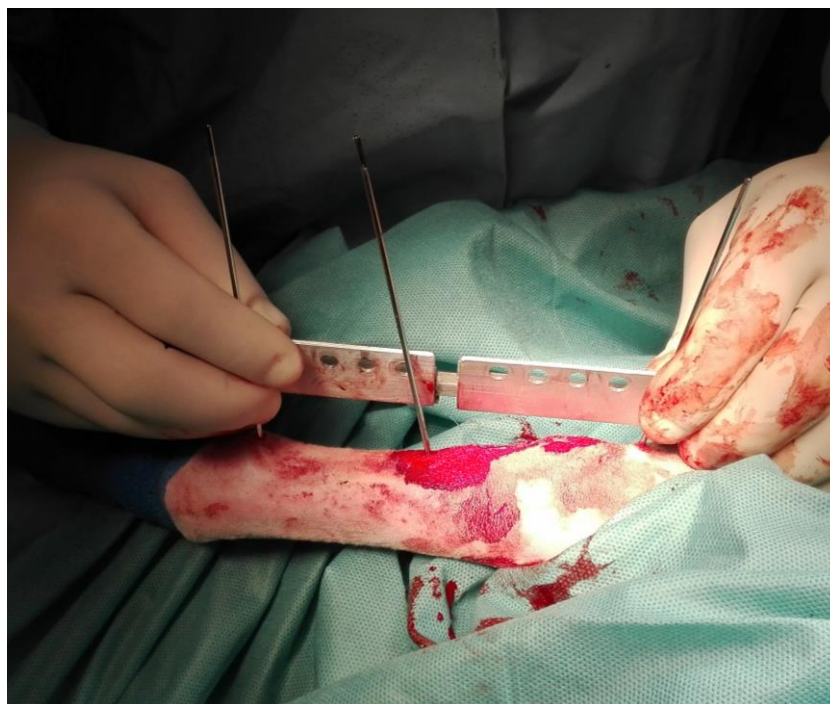


Figura 11 – Fotografia do procedimento cirúrgico para aplicação do DOCUM na Noa.



Figura 12 – Radiografia da Noa após aplicação do DOCUM. Projecção antero-posterior.

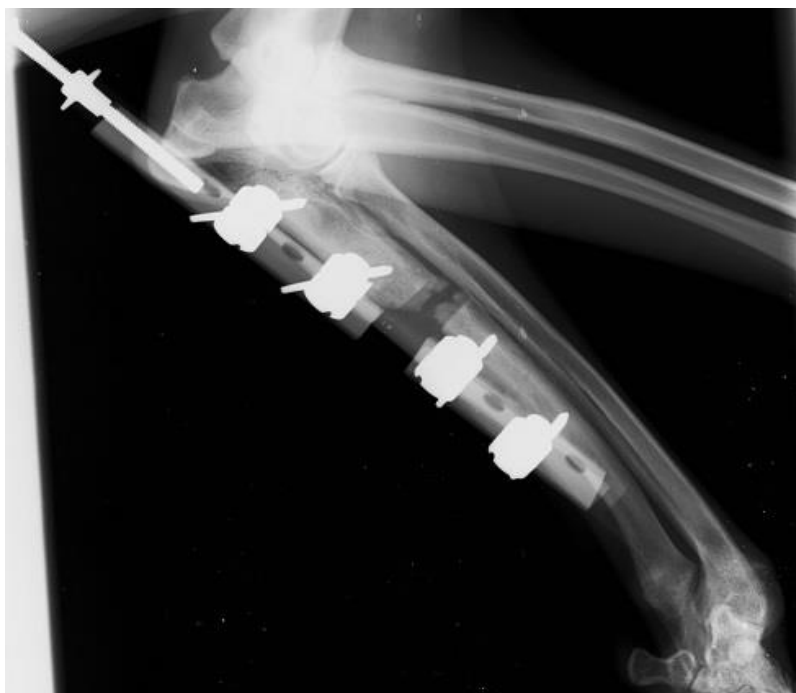


Figura 13 – Radiografia do MTD da Noa após 11 dias de distracção. Projecção latero-lateral.



Figura 14 – Radiografia do MTD da Noa no final do período de consolidação, após remoção da fixação externa.
Projecção latero-lateral

Após a remoção da fixação externa, foi verificada a necessidade de uma corticotomia do rádio para realinhar o membro já submetido a uma osteodistracção. A Figura 15 demonstra o estudo radiográfico efectuado, nomeadamente a medição do centro de rotação de angulação (CORA, do Inglês, *Center of rotation of angulation*) do rádio da animal. O CORA

avalia-se através da intersecção do eixo distal com o eixo proximal de um osso deformado; o ponto de intersecção recebe o nome de CORA. Este ponto permite identificar o eixo de correcção angular (ACA, do Inglês, *Angulation correction axis*) indicando o local onde a deformação pode ser rodada, ou seja submetida a uma corticotomia de modo a realinhar o osso. De seguida, traça-se uma bissetriz que passa pelo CORA e bissecta os ângulos formados pelo eixo distal e proximal. Ao efectuar uma correcção angular ao longo da bissetriz obtemos uma resolução completa da deformidade

Após as medições foi então efectuada uma corticotomia, realinhamento e fixação do rádio direito com uma placa de titânio (Figura 16).



Figura 15 – Medição do CORA do rádio direito da Noa.

3.2.4. Complicações

A Noa teve complicações gastrointestinais devido ao uso de anti-inflamatórios não esteróides (AINEs). Desenvolveu melena e foi internada durante dois dias, não tendo sido observados sinais ecográficos graves. Os sinais clínicos foram resolvidos com a administração *per os* de sucralfato e do protector gástrico famotidina na dose de 1 mg/Kg, uma vez por dia durante uma semana.



Figura 16 – Radiografia da Noa após a consolidação óssea e com a placa de fixação colocada no rádio direito. Projecção latero-lateral.

3.3. Caso clínico n.º 3: Jack

O terceiro animal a ser submetido ao estudo foi o Jack, um cão sem raça definida, inteiro, com 8 meses de idade e cerca de 20 kg (Figura 17).

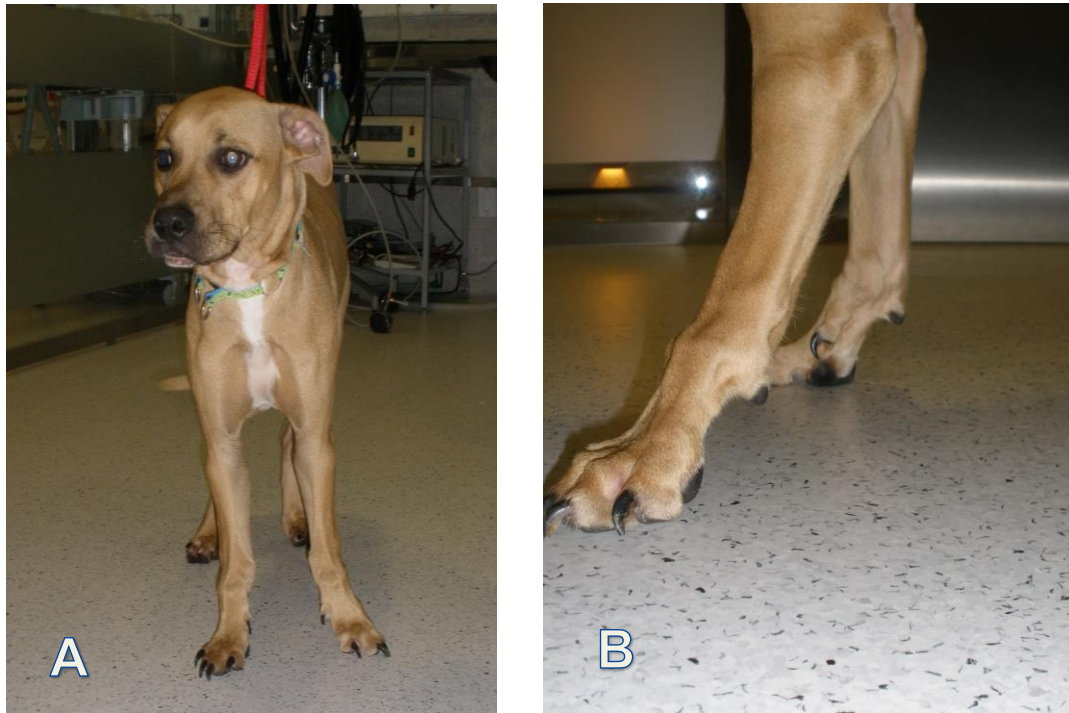


Figura 17 – Fotografias do Jack antes do procedimento cirúrgico (A). Detalhe dos seus membros torácicos (B).

3.3.1. História clínica

Até ao momento da sua apresentação ao HVSB, o Jack não tinha qualquer registo médico ou cirúrgico relevante. Contudo, o animal revelava uma marcha anormal e, segundo os proprietários tinha vários episódios de claudicação.

3.3.2. Diagnóstico radiográfico

O estudo radiográfico permitiu observar a incongruência articular de ambos os cotovelos do cão, resultado de um crescimento insuficiente do rádio, nomeadamente da placa de crescimento proximal que já não era visível (Figura 18). As diferenças de desenvolvimento entre o rádio e a ulna levaram a uma incongruência entre os côndilos do úmero e os

processos articulares da ulna. O olecrânio e o processo coronoide da ulna apresentavam-se elevados em relação aos côndilos do úmero; contudo, ao alongar os raios julgou-se ser possível corrigir esta laxidão articular. A sua osteodistracção levaria a que a cabeça do rádio, nomeadamente a circunferência articular, movesse o úmero, corrigindo assim a incongruência.

Ambos os raios mediam 11,6 cm e apresentavam uma discrepância entre a cabeça do rádio e o côndilo lateral do úmero de 0,73 cm, sendo esse o valor determinado para alongamento bilateral do rádio.

Dada a sua idade e o seu histórico clínico, o Jack foi considerado um candidato óptimo para o estudo, permitindo a realização de uma OD bilateral simultânea.



Figura 18 – Radiografia de diagnóstico do Jack. Projeção latero-lateral.

3.3.3. Alongamento ósseo

O procedimento seguiu o mesmo protocolo de aplicação do DOCUM em estudo, todavia realizado em ambos os membros torácicos e no mesmo momento cirúrgico.

Foi possível aplicar os distractores em ambos os raios utilizando pinos intramedulares de 2 mm de diâmetro (Figuras 19, 20 e 21).

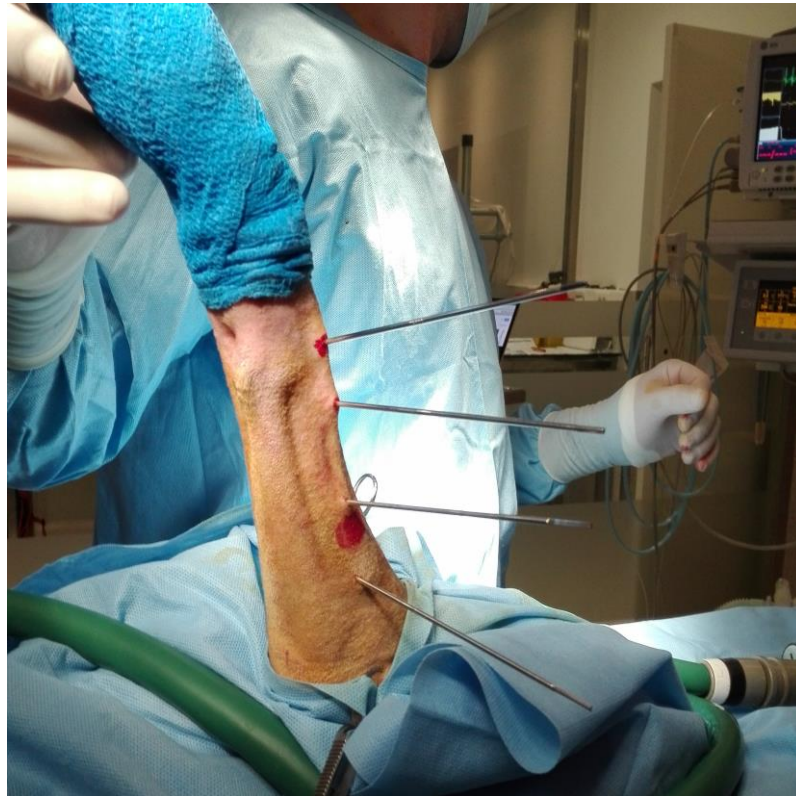


Figura 19 – Fotografia do procedimento cirúrgico do Jack, onde se observam os pinos intramedulares.

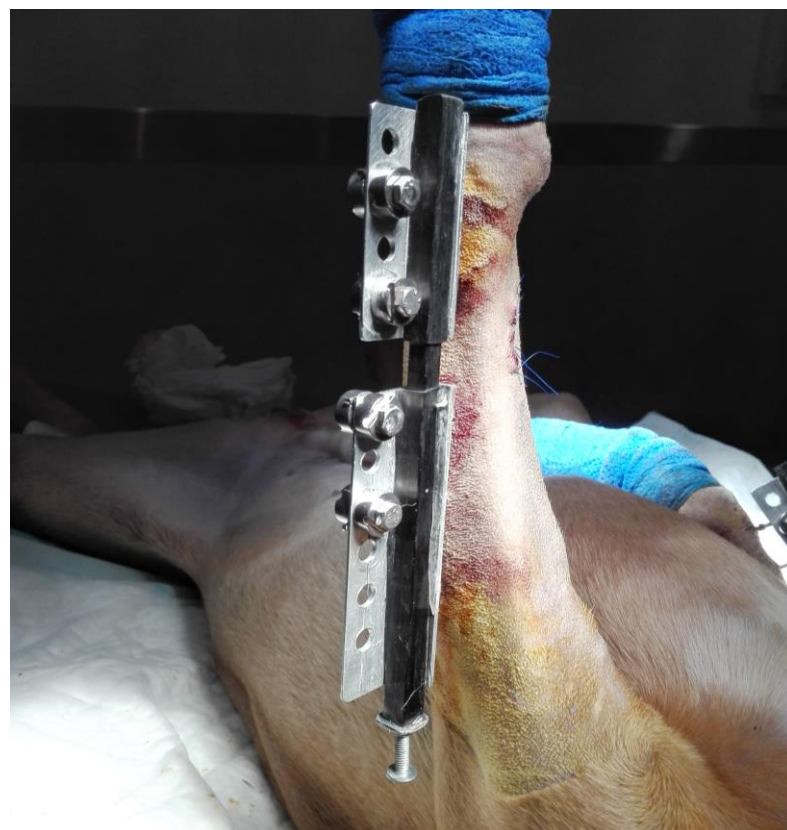


Figura 20 – Fotografia do Jack após aplicação do DOCUM.

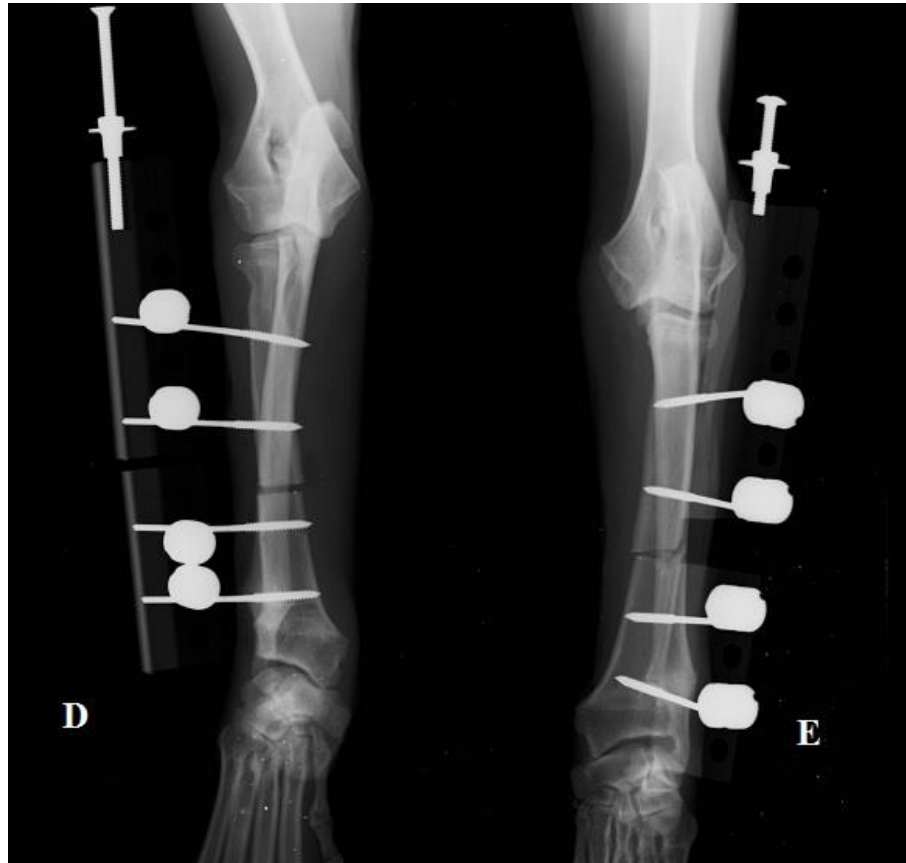


Figura 21 – Radiografia do Jack após a cirurgia de aplicação dos distractores em fibra de carbono em ambos os raios. Projecção antero-posterior.

O Jack passou por um período de latência de 3 dias, após o qual se iniciou uma distração com um ID de 1 mm/dia e com o RD de uma vez por dia.

O alongamento foi efectuado durante 8 dias e obteve-se um alongamento de 0,82 cm no rádio esquerdo e 0,76 cm no direito.

Após remoção do distractor, o animal manteve a fixação externa durante 64 dias, correspondendo a um período de consolidação de aproximadamente 2 meses (Figura 22).

No final do procedimento, o rádio esquerdo media 12,42 cm e o direito 12,36 cm correspondendo a um alongamento de 7,1%, e 6,6%, respectivamente.

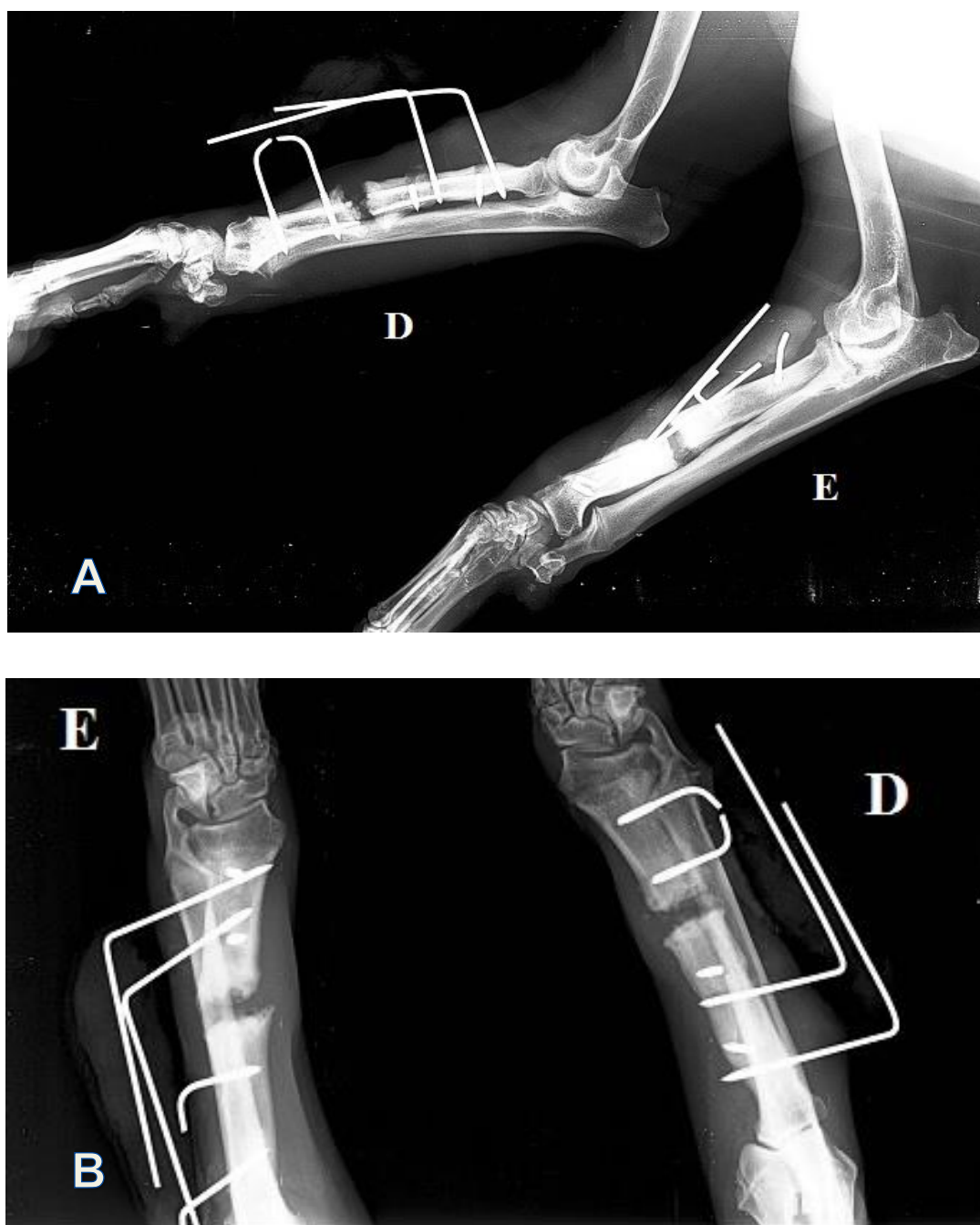


Figura 22 – Radiografias do Jack no primeiro dia do período de consolidação, após remoção do DOCUM. Projecções latero-lateral (A) e antero-posterior (B).

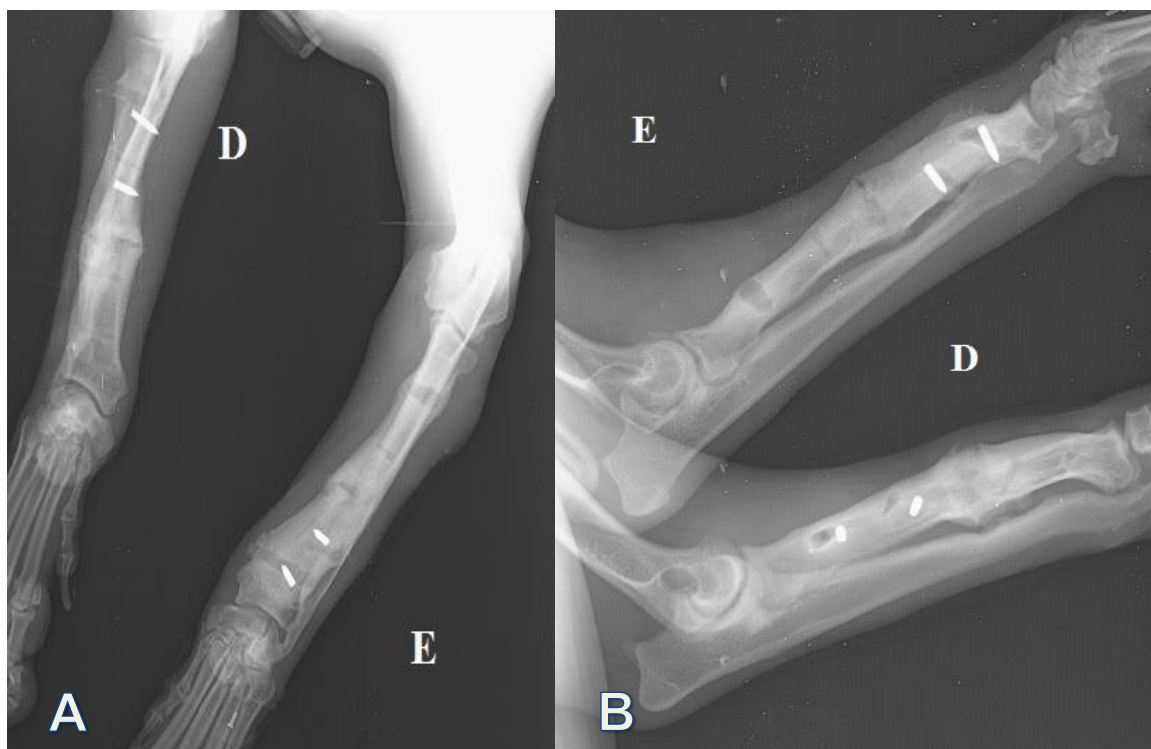


Figura 23 – Radiografias dos membros torácicos do Jack após os 64 dias de consolidação e remoção da fixação externa. Projeções antero-posterior (A) e latero-lateral (B).

3.3.4. Complicações

Durante o procedimento de corticotomia do rádio esquerdo, um problema com a serra oscilante levou a uma técnica mais agressiva, resultando numa corticotomia não linear e a um ligeiro desalinhamento ósseo após aplicação do DOCUM e que pode ser observado na Figura 21. Contudo, o osso recuperou bem e não teve qualquer consequência significativa durante o alongamento nem para o resultado final do procedimento, como comprovado nas Figuras 22 e 23.

No momento da remoção do DOCUM, os pinos que sustentavam a fixação externa partiram, todavia, o osso já se encontrava num período avançado de ossificação pelo que não houve danos no osso regenerado. O incidente foi resolvido com a aplicação de novos pinos, e aplicado um novo sistema de fixação externa construído com metacrílico que se manteve até ao final do período de consolidação. Na Figura 23, observa-se que foi impossível remover a porção roscada dos pinos que partiram.

4. DISCUSSÃO

Neste trabalho foi descrita a aplicação de um distractor em fibra de carbono unilateral monoplanar no alongamento de três tipos de ossos (fémur, ulna e tibia) em cães. Apesar de interessante, não foi possível utilizá-lo numa tibia, porque no período em estudo não surgiu nenhum animal com indicação para a sua aplicação.

O modelo utilizado seguiu os princípios definidos por Ilizarov, utilizamos uma técnica de corticotomia que respeita os tecidos moles, preserva o periosteio e a vascularização (Ilizarov, 1989a). Foi aplicado um período de latência de 3 dias de acordo com princípios de Ilizarov, bem como de Welch e Lewis (1999), apesar de outros autores defenderem que o resultado final da distração não depende da realização de um período de latência (Aronson & Shen, 1994).

No caso clínico da Semente, apesar do local ideal para realizar uma OD no fémur ser a região subtrocanterica ou supracondilar (Nayagam, 2010), foi necessário optar por uma corticotomia da diáfise, já que o animal tinha sido submetido a uma ablação da cabeça do fémur e não existia tecido ósseo suficiente para fixar o membro e distraí-lo a partir da metáfise proximal. Foi também considerado arriscado efectuar o alongamento na metáfise distal, já que o animal tinha recentemente fracturado ambas as tibias que ainda não estavam completamente ossificadas. Para uniformizar o modelo de OD nos três animais, todas as corticotomias foram realizadas na diáfise. Na Semente, não foi atingido o alongamento planeado de 3 cm, porque os tecidos moles começaram a desenvolver lesões, ao mesmo tempo que se notou uma diminuição da amplitude de movimentos do joelho direito. Decidiu-se terminar o alongamento ao fim de 20 dias, permanecendo uma diferença de 1 cm entre os dois fémures, contudo considerou-se que o animal ficou perfeitamente capaz de se adaptar a esta diferença. Este caso foi bastante interessante pelo facto de não existir articulação proximal do fémur e assim ter sido o primeiro caso relatado na literatura de um alongamento ósseo onde não existe articulação proximal. O DOCUM auxiliado pela barra de titânio foi capaz de fornecer estabilidade suficiente para permitir uma boa regeneração óssea; contudo, face à aplicação de forças de tensão no eixo axial associada a uma falta de estabilidade proximal, a tibia que ainda estava numa fase de consolidação respondeu com uma compensação angular, mantendo o grau de valgus inicial. Este facto poderia ser evitado se o alongamento tivesse sido efectuado após a consolidação total da tibia direita. Apesar deste insucesso estético, obtiveram-se bons resultados mecânicos e melhorou-se a vida do animal que hoje tem uma vida normal e activa.

No caso clínico descrito, a Noa, foi planeado um alongamento de 0,56 cm, todavia, dada a natureza curva da ulna, ao alongar o osso na diáfise não significou que a distância entre o processo coronóide da ulna e os côndilos umerais diminuísse proporcionalmente. Ao fim dos primeiros cinco dias de distracção, a aparência radiográfica da articulação do cotovelo não era satisfatória e decidiu-se continuar o alongamento por mais 5 dias. Obteve-se uma consolidação satisfatória ao fim de 53 dias, aproximadamente menos 10 dias que no caso de alongamento de fémur da Semente. Como os restantes animais não foram avaliados ao fim de 53 dias, não é possível garantir que não existisse uma consolidação satisfatória no mesmo período, mesmo assim: Este facto está de acordo com a literatura que refere que, quanto maior a carga suportada por um membro, mais rápida é a consolidação óssea e que, o suporte de uma carga paralela ao eixo axial resulta numa consolidação óssea mais rápida do que a carga oblíqua (Ilizarov, 1989a, 1989b; Tuohy *et al.*, 2014). No caso da Noa, no momento da elaboração deste documento, falta ainda averiguar o alinhamento final do rádio, porque o animal ainda está sob o período de consolidação óssea. Será assim necessário retirar a placa de osteossíntese e averiguar o sucesso da ossificação do rádio direito, contudo tudo indica que o alinhamento do MTD foi obtido com sucesso sob o ponto de vista estético e mecânico. A Noa tem uma vida activa, apoiando o membro perfeitamente.

Quanto ao caso clínico do Jack, a complicação no decorrer de corticotomia do rádio esquerdo conduziu a um ligeiro desalinhamento ósseo que se traduziu na formação de um calo de maiores dimensões. Os membros apresentaram uma diferença de comprimento de 0,6 mm, sem impacto significativo sobre a vida do animal. A quebra dos pinos resultou da vibração durante os movimentos de supinação e pronação dos membros torácicos e das forças de tensão exercidas sobre o material. Como foram usados pinos de 2 mm, esta complicação poderia ter sido prevenida usando pinos intramedulares com 3,5 mm de diâmetro, os quais teriam fornecido uma maior resistência à estrutura conectada ao DOCUM, tolerando mais vibrações e suportando uma maior carga, tal como comprovado pelos restantes casos descritos que utilizaram pinos de 3,5 mm de diâmetro. Apesar da permanência dos implantes no osso, não houve problema já que a técnica foi asséptica e não se observam sinais radiográficos de reabsorção óssea em redor do metal. No futuro, caso surjam episódios de claudicação deve ser realizado um estudo radiográfico. No Jack, a aplicação do DOCUM em dois membros em simultâneo foi bem sucedida, obtendo-se também um sucesso estético e mecânico aceitável.

Na actualidade, a maioria dos alongamentos ósseos são efectuados com recurso a fixadores externos circulares. Kusec e colaboradores (2003) demonstraram que, desde que não existam complicações no procedimento, a qualidade do tecido regenerado não varia em

relação a utilização de distractores unilaterais, como é o caso do DOCUM utilizado neste estudo.

O índice de distração utilizado nos três casos descritos foi de 1 mm/dia. Ilizarov (1990) refere que um ID de 2 mm dia é excessivo para os tecidos moles e para a sua revascularização, contudo existem casos onde fora aplicado um ID de 2,72 mm/dia (Marcellin-Little *et al.*, 1998). McCartney (2008) reportou casos bem sucedidos de alongamento de fémur e tíbia com ID de 3 mm/dia e de rádio e ulna com 2 mm/dia num período temporal mais curto, contudo com um elevado grau de complicações, como por exemplo: instabilidade da fixação externa, laxidão dos pinos intramedulares, dobra do sistema de fixação externa e danos aos tecidos moles (McCartney, 2008).

O período de consolidação médio do presente estudo foi de 2 meses, o que está de acordo com Welch e Lewis (1999) que averiguaram que este período em cães varia de 8 a 12 semanas. Neste trabalho também se observou que o membro torácico consolida mais depressa que um membro pélvico, devido ao sentido paralelo da carga suportada e pela diferente distribuição de cargas entre a região torácica e pélvica (Levine *et al.*, 2010; Molsa *et al.*, 2010; Agostinho *et al.*, 2011; Tuohy *et al.*, 2014).

Tal como referido na bibliografia, que reporta como improvável a ocorrência efeitos adversos em alongamentos ósseos inferiores a 20% da medida original do osso (Welch & Lewis, 1999), no final do procedimento não foram observadas complicações articulares nem dos tecidos moles nos três animais estudados.

Poderiam ter sido considerados outros métodos de analgesia durante o período de consolidação, já que vários estudos referem que o uso de anti-inflamatórios não esteróides (AINEs) diminui a actividade dos osteoblastos (García-Martínez *et al.*, 2015). Apesar de não serem referidos os princípios activos utilizados nos animais estudados, meloxicam e carprofeno, o seu mecanismo de inibição da COX-2, por sua vez inibindo a síntese de prostaglandinas dificulta a regeneração de fracturas (Ho *et al.*, 1995), a proliferação de osteoblastos e inibe a diferenciação de células mesenquimatosas em osteoblastos, reduzindo, indirectamente, a produção de osteóide (Ho *et al.*, 1999; García-Martínez *et al.*, 2015).

No futuro, será interessante aplicar o DOCUM num número maior de cães e, em particular, em úmero e tíbia. Estudos histológicos poderiam permitir caracterizar a qualidade do osso regenerado, todavia envolveriam a colheita de amostra e morbilidade desnecessária. Como

a disponibilidade dos proprietários em estar presentes nos mesmos dias após a aplicação do dispositivo foi difícil, a uniformização dos resultados radiográficos não foi rigorosa.

Os Ortopedistas em humanos consideram que uma OD gera problemas sociais e psicológicos no paciente, podendo afectar o prognóstico (Sailhan, 2011). Em Medicina Veterinária os desafios são do foro comportamental devido à necessidade de manutenção dos animais num espaço confinado para o necessário repouso, acrescido ainda à dificuldade de alguns proprietários de realizar uma correcta higienização do interface entre os fixadores externos e os tecidos moles. Deve garantir-se o máximo conforto ao animal durante o procedimento e informar o proprietário acerca do maneio do animal no decorrer deste processo.

Existe uma grande variedade de dispositivos de distração na Medicina Dentária em humanos, que poderão a vir ser aplicados na Medicina Veterinária na resolução de disto-oclusão mandibular. Um estudo recente em pacientes humanos realizou uma distração óssea multidireccional do crânio, uma técnica bastante complexa que visa corrigir deformações cranianas (Gomi *et al.*, 2016).

O futuro das técnicas de osteodistração poderá passar pela introdução de novos sistemas de distração, desde adaptações do sistema de Ilizarov, à introdução de mais níveis de alongamento em simultâneo.

5. CONCLUSÃO

Este estudo descreveu a aplicação do DOCUM utilizado no HVSB no alongamento de três ossos longos distintos em cães.

O DOCUM utilizado suportou um ID de um 1 mm/dia e foi capaz de suportar as forças de tensão necessárias a um alongamento ósseo quando suportado por pinos intramedulares até 3,5 mm de diâmetro. O período de consolidação médio foi de 8 semanas.

Os alongamentos ósseos obtidos foram satisfatórios, produzindo tecido ósseo com qualidade. Foi regenerado um comprimento total de 4,68 cm de osso, correspondente a um alongamento ósseo relativo em cada osso de 12,7% (2 cm) no fémur, 6,2% (1,1 cm) na ulna e 7,1% (0,82 cm) e 6,6% (0,76 cm) nos dois raios, sem ocorrência de efeitos secundários.

Este procedimento permitiu obter uma recuperação estética e funcional dos membros afectados com deformidades ósseas e sem danificar os tecidos adjacentes, contribuindo para a qualidade de vida dos indivíduos, da sua locomoção e actividade articular.

A avaliação radiográfica rigorosa é fundamental para o sucesso da OD, dado que o valor de alongamento pré-determinado pode não solucionar o defeito articular pretendido e assim ter que ponderar prolongar o tempo de distração.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agostinho, F. S., Rahal, S. C., Miqueleto, N. S., *et al* (2011). Kinematic analysis of Labrador Retrievers and Rottweilers trotting on a treadmill. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 24:185–191
- Ali, M. N., Ejiri, S., Kobayashi, T. *et al.* (2009). Histologic study of the cellular events during rat mandibular distraction osteogenesis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 107(3):325–335
- Aronson, J., Harrison, B., Boyd, C. M., Cannon, D. J., Lubansky, H. J., Stewart, C. (1988). Mechanical induction of osteogenesis. Preliminary studies. *Ann Clin Lab Sci*, 18(3):195–203
- Aronson, J., Good, B., Stewart, C., Harrison, B., Harp, J. (1990). Preliminary studies of mineralization during distraction osteogenesis. *Clin Orthop Relat Res*, 250:43–49
- Aronson, J., & Shen, X. (1994). Experimental healing of distraction osteogenesis comparing metaphyseal with diaphyseal sites. *Clin Orthop Rel Res*, (301), 25–30
- Aronson, J. (1994). Temporal and spatial increases in blood flow during distraction osteogenesis, *Clin Orthop*, 301:124-131
- Birch, J. G., Samchukov, M. L., Welch, R. D., *et al* (1994). The effect of rhythm of distraction during limb lengthening: An experimental investigation. In *Proceedings of the Fourth Annual ASAMI Scientific Meeting, New Orleans, LA, 1994*, p 7
- Brady, R. B., Sidiropoulos, A. N., Bennett, H. J., *et al* (2013). Evaluation of gait related variables in lean and obese dogs at a trot. *Am J Vet Res*, 2013;74:757–762
- Catagni, M. A., Malzev, V., Kirienko, A. (1994). Correction of angular deformities. In *Bianchi-Maiocchi A (ed): Advances in Ilizarov Apparatus Assembly. Milan, Medicalplastic, 1994*, p 94
- Choi, I. H., Ahn, J. H., Chung, C. Y., & Cho, T. J. (2000). Vascular proliferation and blood supply during distraction osteogenesis: a scanning electron microscopic observation. *J Orthop Res : Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 18(5), 698–705

- Choi, I. H., Chung, C. Y., Cho, T. J., & Yoo, W. J. (2002). Angiogenesis and mineralization during distraction osteogenesis. *J Korean Med Sci*, 17(4), 435–447
- Choi, S. H., Kim, C. K., Cho, K. S., et al. (2002). Effect of recombinant human bone morphogenetic protein-2/absorbable collagen sponge (rhBMP-2/ACS) on healing in 3-wall intrabony defects in dogs. *J Periodontol*, 73(1):63–72
- Dellooye, C., Delefortrie, G., Coutelier, L., Vincent, A. (1990). Bone regenerate formation in cortical bone during distraction lengthening. An experimental study. *Clin Orthop*, 250:34–42
- Eldridge, J., Bell, D. (1991). Problems with substantial limb lengthening. *Orthop Clin North Am*, 22:625-631
- Farhadieh, R. D., Dickinson, R., Yu, Y., Gianoutsos, M. P., Walsh, W. R. (1999). The role of transforming growth factor-beta, insulin-like growth factor 1, and basic fibroblast growth factor in distraction osteogenesis of the mandible. *J Craniofac Surg*, 10: 80–86
- Ferretti, A. (1991). The application of the Ilizarov technique to veterinary medicine, In Bianchi Maiocchi A, Aronson J (eds): *Operative Principles of Ilizarov*. Baltimore, Williams & Wilkins, 1991, pp 551-570
- Fink, B., Pollnau, C., Vogel, M., Skripitz, R., Enderle, A. (2003). Histomorphometry of distraction osteogenesis during experimental tibial lengthening. *J Orthop Trauma*, 17(2):113–118
- Fischgrund, J., Paley, D., Suter, C. (1994). Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res*, 301:31–37
- Fjeld, T. O., Steen, H. (1988). Limb lengthening by low rate epiphyseal distraction. An experimental study in the caprine tibia. *J Orthop Res*, 6:360-368
- Forell, E. B., Schwartz, P.O. (1993). Use of external skeletal fixation for treatment of angular deformity secondary to premature distal ulnar physeal closure. *J Am Anim Hosp Assoc*, 29:470-476
- Frierson, M., Ibrahim, K., Boles, M., et al (1994). Distraction osteogenesis. A comparison of corticotomy techniques. *Clin Orthop*, 301:19-24

- García-Martínez, O., De Luna-Bertos, E., Ramos-Torrecillas, J., Manzano-Moreno, F. J., & Ruiz, C. (2015). Repercussions of NSAIDS drugs on bone tissue: The osteoblast. *Life Sciences*, 123, 72–77
- Gomi, A., Sunaga, A., Kamochi, H., Oguma, H., & Sugawara, Y. (2016). Distraction osteogenesis update: Introduction of multidirectional cranial distraction osteogenesis. *J Korean Neurosurg Soc*, 59(3), 233–241
- Ho, M.L., Chang, J.K., Wang, G.J. (1995). Anti-inflammatory drug effects on bone repair and remodeling in rabbits, *Clin. Orthop*. 313 270–278
- Ho, M.L., Chang, J.K., Chuang, L.Y., Hsu, H.K., Wang, G.J. (1999). Effects of nonsteroidal anti-inflammatory drugs and prostaglandins on osteoblastic functions, *Biochem. Pharmacol.* 58 983–990
- Ilizarov, G. A., Zarubin, V. I. (1976). Method of treatment of long bone defects by lengthening of one of the fragments with Ilizarov technique. In *Transosseous Compression, Distraction, and Compression-Distraction Osteosynthesis in Traumatology and Orthopedics. Collection of Scientific Works from Kurgan Research Scientific Institute, vol 2. Kurgan Research Scientific Institute, Kurgan, Russia*, 1976, pp 43—46
- Ilizarov, G. A. (1989a). The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part I. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res*, 239:249–281
- Ilizarov, G. A. (1989b). The tension-stress effect on the genesis and growth of tissues: Part II. The influence of the rate and frequency of distraction. *Clin Orthop Relat Res*, 239:263–285
- Ilizarov, G. A. (1990). Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop*, 250:8-26, 1990
- Ilizarov, G. A. (1992). *Transosseous Osteosynthesis: Theoretical and Clinical Aspects of the Regeneration and Growth of Tissue*. New York, Springer Verlag, 1992
- Jazrawi, L. M., Majeska, R. J., Klein, M. L., Kagel, E., Stromberg, L., Einhorn, T. A. (1998). Bone and cartilage formation in an experimental model of distraction osteogenesis. *J Orthop Trauma*, 12 (2):111–116

- Jee, W. S. (2000). Principles in bone physiology. *J of Musculoskelet Neuronal Interact*, 1 (February), 11–13
- Jordan, C. J., Goldstein, R. Y., Mclaurin, T. M., & Grant, A. (2013). The evolution of the ilizarov technique: Part 1: The history of limb lengthening. *Bull NYU Hosp Jt Dis*, 71(1), 89–95
- Junqueira, L.C., Carneiro, J. (2004). *Histologia Básica* (Guanabara Koogan), Tecido Ósseo (10ª edição pp 136-153)
- Kojimoto, H., Yasui, N., Goto, T., Matsuda, S., & Shimomura, Y. (1988). Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surg Br*, 70(4), 543–549
- Kusec, V., Jelic, M., Borovecki, F., Kos, J., Vukicevic, S., & Korzinek, K. (2003). Distraction osteogenesis by Ilizarov and unilateral external fixators in a canine model. *Int Orthop*, 27(1), 47–52
- Lammens J, Liu Z, Aerssens J, Dequeker J, Fabry G (1988). Distraction bone healing versus osteotomy healing: a comparative biochemical analysis. *J Bone Miner Res*, 13: 279–286
- Latte, Y. (1991). A specific vet Ilizarov apparatus for the treatment of fractures, delayed union, non-union and mal union [abstract]. *In Proceedings of the Veterinary Orthopedic Society, Snowmass, CO, 1991*, p 51
- Latte, Y. (1993). Studies of 63 cases treated by Ilizarov apparatus: Indications, results, complications *In Proceedings of the Veterinary Orthopedic Society, Lake Louise, Alberta, Canada, 1993*, p 12
- Lewis, D. O., Bronson, D. G., Welch, R. D. (1997). Effect of individual components on the axial stiffness of single ring IMEX circular external skeletal fixation system constructs [abstract]. *Vet Comp Orthop Tramadol*, 10:80, 1997
- Levine D., Marcellin-Little D.J., Millis, D. L., et al. (2010). Effects of partial immersion in water on vertical ground reaction forces and weight distribution in dogs. *Am J Vet Res*, 71:1413–1416

- Li, G., Berven, S., Simpson, H., Triffitt, J. T. (1998). Expression of BMP-4 during distraction osteogenesis in rabbits. *Acta Orthop Scand*, 69: 420–425
- Li, G., Viridi, A. S., Ashhurst, D. E., Simpson, A. H., Triffitt, J. T. (2000). Tissues formed during distraction osteogenesis in the rabbit are determined by the distraction rate: localization of the cells that express the mRNAs and the distribution of types I and II collagens. *Cell Biol Int*, 24(1):25–33
- Makarov, M. R., Delgado, M. R., Samchukov, M. L., *et al.* (1994). SSEP evaluation of acute nerve injury associated with external fixation procedures. *Clin Orthop*, 306:49-56
- Marcellin-Little, D. J., Ferretti, A. (1997). Improving bone healing with the circular external fixation method. *Vet Forum*, 7:40-47
- Marcellin-Little, D. J., Ferretti, A., Roe, S. C., & DeYoung, D. J. (1998). Hinged Ilizarov external fixation for correction of antebrachial deformities. *Vet Surg*, 27 (3):231–245
- McCartney, W. T. (2008). Limb lengthening in three dogs using distraction rates without a latency period: Radius/ulna, tibia, femur. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 21(5), 446–450.
- Merloz, P. (2011). Bone regeneration and limb lengthening. *Osteoporos Int*, 22(6), 2033–2036
- Molsa, S. H., Hielm-Bjorkman, A. K., Laitinen-Vapaavuori, O. M. (2010). Force platform analysis in clinically healthy Rottweilers: comparison with Labrador Retrievers. *Vet Surg*, 9:701–707
- Nayagam, S. (2010). Femoral lengthening with a rail external fixator: tips and tricks. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 1–8
- Paley, D. (1990). Problems, obstacles, and complications of limb lengthening by the Ilizarov technique. *Clin Orthop Relat Res*, (250):81-104
- Paley, D. Fleming, B., Catagni, M., *et al.* (1990) Mechanical evaluation of external fixators used in limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res* 250:50–57
- Paley, D., Tetsworth, K. (1992). Mechanical axis deviation of the lower limbs. Preoperative planning of uniapical angular deformities of the tibia or femur. *Clin Orthop Relat Res*, (280):48-64

- Raschke, M. J., Bail, H., Windhagen, H. J., Kolbeck, S.F., Weiler, A., Raun, K., Kappelgard, A., Skiaerbaek, C., Haas, N. P. (1999). Recombinant growth hormone accelerates bone regenerate consolidation in distraction osteogenesis. *Bone* 24: 81–88
- Richards, M., Goulet, J. A., Weiss, J. A., *et al.* (1998). Bone regeneration and fracture healing. Experience with distraction osteogenesis model. *Clin Orthop Relat Res*, 355(Suppl): S191–S204
- Sailhan, F. (2011). Bone lengthening (distraction osteogenesis): A literature review. *Osteoporos Int*, 22(6), 2011–2015
- Sato, M., Ochi, T., Nakase, T., Hirota S., Kitamura, Y., Nomura, S., Yasui, N. (1999). Mechanical tension-stress induces expression of bone morphogenetic protein (BMP)-2 and BMP-4, but not BMP-6, BMP-7, and GDF-5 mRNA, during distraction osteogenesis. *J Bone Miner Res*, 14: 1084–1095
- Stallings, J. T., Lewis, D. D., Welch, R. D., *et al.* (1998) An introduction to distraction osteogenesis and the principles of the Ilizarov method. *Vet Comp Orthop Traumatol*, 11:59-67
- Tuohy, J. L., Little, D. J. M., Acvs, D., & Griffith, E. H. (2014). Durations of Bone Consolidation and External Fixation After Distraction Osteogenesis in Dogs, *Vet Surg*, 43, 903–911
- Welch, R.D. (1995): Biology of distraction osteogenesis. *In Proceedings of the Annual Meeting of the American College of Veterinary Surgeons, Chicago, IL, 1995*, p 305
- Welch, R. D., Birch, J. G., Samchukov, M. L. (1998). Histomorphology of distraction osteogenesis in a caprine tibial lengthening model. *J Bone Miner Res*, 13:1-9
- White, S. H., Kenwright, J, (1991). The importance of delay in distraction of osteotomies. *Orthop Clin North Am*, 22:569-579
- Yasui, N., Sato, M., Ochi, T. *et al.* (1997). Three modes of ossification during distraction osteogenesis in the rat. *J Bone Joint Surg Br*, 79 (5):824–830