

Beatriz Loureiro Fernandes

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**Correção cirúrgica de fraturas diafisárias de rádio e ulna em raças
miniatura com recurso a fixação esquelética externa: revisão bibliográfica e
relato de 4 casos**

Orientador: Prof. Doutor João Martins

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2022

Beatriz Loureiro Fernandes

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**Correção cirúrgica de fraturas diafisárias de rádio e ulna em raças
miniatura com recurso a fixação esquelética externa: revisão bibliográfica e
relato de 4 casos**

Relatório de estágio defendido em provas públicas para a obtenção de Grau de Mestre em Medicina Veterinária no curso de Mestrado Integrado em Medicina Veterinária conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, no dia 11 de Fevereiro de 2022, com o Despacho de nomeação do Júri N° 20/2022, com a seguinte composição:

Presidente: Prof.^a Doutora Sofia Van Harten
Arguente: Prof. Doutor Lénio Ribeiro
Orientador: Prof. Doutor João Martins

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Medicina Veterinária

Lisboa

2022

Agradecimentos

Ao Dr. Rafael Pratas Lourenço, que desde o meu segundo ano de curso me acompanha, orienta e incentiva neste percurso que tem sido o Mestrado Integrado em Medicina Veterinária. Ensinou-me a querer sempre saber mais e a saber explorar a área que sempre me fascinou, a ortopedia. Por todo o apoio e mentoria ao longo destes anos e em particular ao longo dos últimos meses, obrigada nunca será suficiente.

Ao Prof. Dr. João Martins pelo trabalho incansável na coordenação e correção deste relatório de estágio e pela introdução à prática de cirurgia veterinária.

Ao Prof. Bruno Tavares pelo acompanhamento, apresentação a novas áreas e motivação ao longo deste último ano de formação.

À Prof.^a Rute Teixeira por todo o acompanhamento que me deu quer com aluna quer como tutora. Admiro a sua força e dedicação.

Ao Prof. Luís Cruz por me ter guiado em casos fascinantes e por me ter sempre disponibilizado uma mão de ajuda.

À Mariana Carvalho, à Ana Sofia Silva e à Ana Paula Maia. Três colegas que o curso me deu, três amigas que o curso criou.

À minha mãe e tio.

Ao meu Pedro.

E acima de qualquer outra coisa, aos meus avós Loureiro. O maior amor que tenho nesta vida são vocês, hoje e sempre.

Resumo

Neste relatório de estágio é abordado o tema de correção cirúrgica de fraturas diafisárias de rádio e ulna em raças miniatura com recurso a fixação esquelética externa, assim como os temas da ossificação e cicatrização óssea por serem de elevada importância para qualquer correção aplicável a lesões do sistema músculo-esquelético.

Pretendeu-se com o presente trabalho explorar as vantagens e desvantagens das técnicas de fixação esquelética externa assim como a viabilidade da sua aplicação na medicina veterinária, comparativamente a outras técnicas. Para tal, procedeu-se à revisão bibliográfica sobre as variadas técnicas aplicadas em fraturas diafisárias de rádio e ulna em medicina veterinária, por forma a concluir qual será a vantagem da fixação esquelética externa comparativamente às demais. Encontram-se descritos neste trabalho quatro casos clínicos de aplicação da fixação esquelética externa, observados e acompanhados pela autora, por forma a que exista uma maior compreensão da realidade deste tratamento e das implicações associadas.

A autora conclui que a fixação esquelética externa é um método muito versátil que se adapta à variabilidade anatómica presente na espécie canina, permitindo a utilização da redução fechada com as consequentes vantagens de preservação da vascularização do osso, perióstio e tecidos envolventes, possibilitando uniões clínicas relativamente céleres, e finalmente está especialmente indicada nas fraturas contaminadas e as de elevada cominuição.

Palavras-chave: rádio; ulna; fixação externa; ossificação; cicatrização óssea; miniatura

Abstract

In this internship report the subject of surgical correction of radius and ulna diaphyseal fractures in miniature breeds using external skeletal fixation is addressed, as well as the topics of ossification and bone healing because they are of high importance for any correction applicable to lesions of the musculoskeletal system.

This study aimed to explore the advantages and disadvantages of external skeletal fixation techniques, as well as the feasibility of their application in veterinary medicine when compared to other techniques. For this purpose, a literature review of the various techniques applied in diaphyseal fractures of the radius and ulna in veterinary medicine was performed, in order to conclude which will be the advantage of the external skeletal fixation in comparison to other techniques. This paper describes four clinical cases of application of external skeletal fixation, observed and followed by the author, in order to have a better understanding of the reality of this treatment and its implications.

The author concludes that external skeletal fixation is a very versatile method that adapts to the anatomical variability present in the canine species, allowing the use of closed reduction with the consequent advantages of preserving vascularization of the bone, periosteum and surrounding tissues, enabling relatively quick clinical unions, and finally it is especially indicated in contaminated fractures and those with high comminution.

Keywords: radius; ulna; external fixation; ossification; bone healing; miniature

Lista de abreviaturas e siglas

bpm – batimentos por minuto

CCVL – Centro de Cirurgia Veterinária de Loures

cm – centímetro

cmH₂O – centímetro de água

G – gauge

m - metro

mg/kg – miligramas por quilograma

MIPPO – Minimally invasive percutaneous plate osteosynthesis

ml - mililitro

ml/k/h – mililitros por quilograma por hora

ml/kg – mililitros por quilograma

mm - milímetro

OPG - osteoprotegerina

ORIF – open reduction internal fixation

RANK – recetor ativador para o fator nuclear κ B

RANKL – ligando recetor ativador para o fator nuclear κ B

rpm – respirações por minuto

RUMM – radial, ulnar, median and musculocutaneous nerve block

Índice Geral

ÍNDICE GERAL	8
ÍNDICE DE TABELAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS	11
CASUÍSTICA DO ESTÁGIO CURRICULAR.....	14
I – INTRODUÇÃO E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1. O OSSO	16
1.1. <i>Constituição e organização do tecido ósseo</i>	16
1.2. <i>Modelação e Remodelação óssea</i>	21
1.3. <i>Organização do osso longo</i>	22
2. OSSIFICAÇÃO.....	24
2.1. <i>Fisiologia e tipos de ossificação</i>	24
2.2. <i>Cicatrização óssea</i>	26
2.2.1. Fases da cicatrização óssea.....	27
2.2.2. Classificação clínica de cicatrização óssea dependente da correção	28
2.2.3. Patologias e outros fatores que podem condicionar a cicatrização óssea.....	29
2.2.3.2. Fatores biomecânicos	31
2.3. <i>Fisiopatologia da fratura</i>	32
2.3.1. Classificação de fraturas	32
2.4. <i>Rádio e/ou ulna</i>	36
2.4.1. Anatomia do rádio e ulna.....	36
2.4.2. Fraturas diafisárias de rádio e/ou ulna	38
2.4.3. Tratamento das fraturas diafisárias rádio e/ou ulna.....	39
2.4.3.1. Coaptação externa	39
2.4.3.2. Fixação intramedular.....	40
2.4.3.3. Redução aberta e fixação interna (ORIF).....	41
2.4.3.4. Osteossíntese percutânea minimamente invasiva com recurso a placas (MIPPO)	42
2.4.3.5. Fixação esquelética externa.....	43
2.4.3.5.1. Cavilhas.....	44
2.4.3.5.2. Barras, rótulas e colunas acrílicas	47
2.4.3.5.3. Corredores seguros rádio/ulna.....	49

2.4.3.5.4. Tipos de montagens de fixadores esqueléticos externos.....	52
2.4.3.5.5. Vantagens e desvantagens do uso de fixador esquelético externo	58
2.4.3.5.6. Possíveis complicações do uso de fixador esquelético externo	59
2.4.3.5.7. Cuidados pós-cirúrgicos e prognóstico para correções com recurso a fixação esquelética externa.....	60
II. MATERIAL E MÉTODOS.....	61
1. CASOS CLÍNICOS	62
1.1. <i>Caso clínico 1</i>	62
1.2. <i>Caso clínico 2</i>	66
1.3. <i>Caso clínico 3</i>	70
1.4. <i>Caso clínico 4</i>	74
III. DISCUSSÃO.....	80
IV. CONCLUSÃO	86
V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Classificação de fraturas de acordo com a orientação das linhas de fratura com o eixo longo	33
Tabela 2 - Classificação de fraturas de acordo com a extensão do dano causado pela fratura	34
Tabela 3 - Classificação de fraturas de acordo com a invasão articular (fraturas de Salter-Harris)	35
Tabela 4 - Considerações e cuidados a ter com a aplicação de cavilhas na fixação esquelética externa	46
Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do uso de fixador esquelético externo	58

Índice de Figuras

Figura 1 - Gráfico descritivo de casuística dividida em espécies.....	14
Figura 2 - Gráfico descritivo de casuística dividido em áreas.....	15
Figura 3 - Suprimento vascular do osso cortical.	17
Figura 4 - Diagrama da vascularização arterial e venosa do osso longo.	21
Figura 5 - Estrutura do osso longo	23
Figura 6 - Desenvolvimento de osso por ossificação intramembranosa.	25
Figura 7 - Desenvolvimento do osso por ossificação endocondral	26
Figura 8 - Fases da cicatrização óssea	28
Figura 9 - Diferença da formação de calo após fratura, comparação entre metáfise e diáfise .	31
Figura 10 - A - rádio esquerdo, aspeto caudal. Ulna esquerda, aspeto cranial; B - Imagem radiográfica de rádio e ulna esquerdos desarticulados, vista crâniocaudal	36
Figura 11 - A - Imagem radiográfica do rádio e ulna esquerdos articulados, vista craniocaudal; B - Rádio e ulna esquerdos articulados, aspeto caudal; C - Rádio e ulna esquerdos articulados, aspeto caudal.....	37
Figura 12 - Artérias, veias, nervos e músculos do membro torácico. Vista caudo-medial (à esquerda) e vista craniolateral (à direita).....	38
Figura 13 - Bandagem Schroeder-Thomas como exemplo de coaptação externa.....	40
Figura 14 - Fixação intramedular do rádio	41
Figura 15 – Redução aberta e fixação interna	42
Figura 16 – Osteossíntese minimamente invasiva com recurso a placa.....	43
Figura 17 - Tipos de cavilhas	45
Figura 18 - Pontas de cavilha	45
Figura 19 - Barras conectoras.....	47
Figura 20 – Rótulas de Meynard	48
Figura 21 - Corredores no membro torácico (antebraço do cão). A - Aspeto medial; B - Aspeto lateral; C - Aspeto cranial. Legenda de cores: Verde Seguro; Laranja Não seguro; Vermelho Perigoso; Laranja e vermelho Dúbio.	50
Figura 22 - Cortes transversais do membro torácico (antebraço) do cão com anatomia esquemática relevante. Legenda: U Ulna; RAD Rádio; APL Abdutor longo; BB Biceps braquial; CDE Extensor digital comum; DDF Flexor digital profundo; ECR Extensor carpo-radial; FCR Flexor carpo-radial; FCU Flexor carpo-ulnar; LDE Extensor digital lateral; Pt	

Pronador redondo; Pq Pronador quadrado; S Supinador; SDF Flexor digital superficial; UL Ulnar lateral; hh Porção umeral; uh Porção ulnar	52
Figura 23 - Diagrama de montagens tipo Ia (à esquerda) e tipo Ib (à direita).....	53
Figura 24 - Configuração Ia de fixação esquelética externa no rádio	54
Figura 25 - Configuração Ib de fixação esquelética externa no rádio	55
Figura 26 - Diagrama de montagem tipo IIa (à esquerda) e tipo IIb (à direita)	56
Figura 27 - Configuração tipo IIb de fixação esquelética externa do rádio	57
Figura 28 - Diagrama de montagem tipo III ou bilateral, biplanar.....	57
Figura 29 – Exame radiológico efetuado no dia do traumatismo. Fratura do rádio e ulna distais direitos: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar	63
Figura 30 - Exame radiológico efetuado durante o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar	65
Figura 31 – Exame radiológico na data da remoção do fixador, é visível osteomielite no percurso da cavilha mais proximal e perda de tecido ósseo extensa no mesmo local. A- Projção mediolateral, B – Projção dorsopalmar.....	66
Figura 32 - Exame radiológico efetuado no dia do traumatismo. Fratura do rádio e ulna distais direitos: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar	67
Figura 33 - Exame radiológico efetuado durante o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar	69
Figura 34 - Exame radiológico na data da remoção do fixador, são visíveis sinais de cicatrização óssea secundária e há manutenção do alinhamento. A- Projção mediolateral, B – Projção dorsopalmar	70
Figura 35 - Exame radiológico efetuado no dia do traumatismo. Fratura do rádio e ulna distais direitos: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar	71
Figura 36 - Exame radiológico efetuado durante o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar	73
Figura 37 - Exame radiológico na data da remoção do fixador, visível osteomielite no percurso da cavilha mais proximal com aumento secundário da espessura óssea. A- Projção mediolateral, B – Projção dorsopalmar.....	74

Figura 38 - Exame radiológico efetuado no dia da consulta, presumidamente 8 meses após a fratura. Não união atrófica do rádio e ulna distais direitos: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar	75
Figura 39 - Exame radiológico efetuado após o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II com colocação de duas cavilhas transfixantes nos metacarpos e deposição de enxerto ósseo no local da fratura: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar	77
Figura 40 - Exame radiológico na data da remoção do fixador, união clínica atingida. A- Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar.....	78
Figura 41 - Exame radiológico um ano após a remoção do aparelho, visível remodelação avançada, extensa sinostose rádio ulnar. Imagem compatível com sinostoses entre os metacarpos II, III, IV e V e doença articular degenerativa antebraquio-carpal (osteófito dorsal no rádio distal) . A - Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar	79

Casuística do estágio curricular

Atividades desenvolvidas e distribuição de casuística do estágio curricular

O presente relatório de estágio baseia-se em atividades desenvolvidas e conhecimentos adquiridos no estágio curricular do Mestrado Integrado em Medicina Veterinária, na área de cirurgia ortopédica e neurológica em animais de companhia. Este teve a duração de 4 meses sob designação de estágio curricular, tendo sido realizado no Centro de Cirurgia Veterinária de Loures (CCVL) sob a orientação do Dr. Rafael Pratas Lourenço.

Durante os 4 meses de estágio curricular, a ser referidos neste capítulo, foi possível o acompanhamento de consultas de diagnóstico e de reavaliação, cirurgias e exames de imagiologia a estas associados.

O estágio curricular permitiu não só a consolidação e aplicação prática dos conhecimentos académicos adquiridos ao longo do curso, mas também a aquisição de novos conhecimentos, sobretudo nas áreas de ortopedia, neurologia, anestesiologia e fisiologia, bem como a nível do raciocínio clínico, contenção manual e química de animais, técnicas práticas, abordagem diagnóstica e comunicação com os tutores, sendo estes de alta relevância para o futuro da autora enquanto médica veterinária.

Para facilitar a análise da casuística apresentada, divididos em duas espécies (cão e gato) e em 3 áreas de intervenção: consultas de diagnóstico e reavaliação, cirurgia ortopédica e neurológica, e cirurgia de tecidos moles.

Ao longo do período de quatro meses de estágio curricular a prevalência de gatos para consulta ou cirurgia foi de 59% (39 gatos) e de cães para consulta ou cirurgia foi de 41% (27 cães).

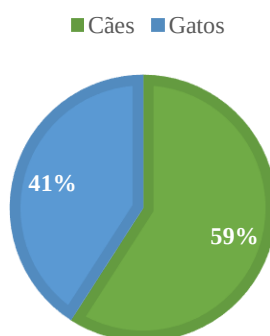


Figura 1 - Gráfico descritivo de casuística dividida em espécies.

As consultas de diagnóstico e reavaliação ortopédica e neurológica perfizeram um total de 36% dos atos realizados neste período de estágio incidindo apenas sobre as áreas de ortopedia e neurologia, quer por referência de outras clínicas para diagnóstico quer em situações de acompanhamento pós-cirúrgico e reavaliação. Das 24 consultas de diagnóstico realizadas, 12 animais seguiram para cirurgia.

As cirurgias do foro ortopédico perfizeram um total 48% (32 cirurgias) dos atos realizados neste período de estágio sendo 12 animais provenientes de consultas realizadas no centro e os restantes 20 animais de Centros de Atendimento Médico Veterinário externos que os referenciaram após realização prévia de diagnóstico. Durante este período não foram realizadas cirurgias do foro neurológico, apenas consultas.

Foram ainda realizadas 10 cirurgias de tecidos moles, perfazendo um total de 16% da casuística de estágio. Estas cirurgias englobaram 4 ovário-histerectomias, 1 orquiectomia, 1 ressecção de carcinoma peniano das células escamosas, 1 enucleação transpalpebral, 1 esplenectomia, 1 encerramento de fístula oronasal e 1 uretostomia.

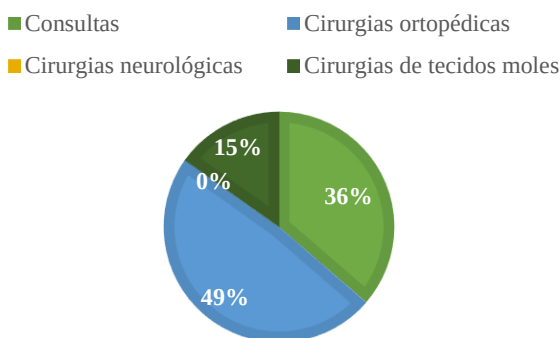


Figura 2 - Gráfico descritivo de casuística dividido em áreas.

I – Introdução e Revisão Bibliográfica

O tratamento de fraturas sempre foi objeto de muita pesquisa e debate quer em medicina humana quer em medicina veterinária, sendo que as características de uma fratura específica ditam o método ótimo de correção (Latte & Meynard, 1997; Kraus *et al.*, 2003). No entanto, muitas vezes, alguns métodos de semelhante validade e indicação poderão ser aplicáveis, sendo que, dentro destes, a fixação externa se destaca como uma das opções mais versáteis (Kraus *et al.*, 2003). A fixação esquelética externa é uma técnica que tem como objetivo garantir a imobilização do foco sem a necessidade de uma exploração aberta da área afetada, conferindo robustez mecânica e mantendo um ambiente biológico favorável (Kraus *et al.*, 2003). É uma área em constante estudo e desenvolvimento tendo sido integrada na medicina humana em 1840 por Joseph François Malgaigne e, quase um século mais tarde, em medicina veterinária em 1934 por Otto Stader (Latte & Meynard, 1997). O constante desenvolvimento em associação com a aplicação na prática clínica tem resultado em técnicas melhoradas, melhor instrumentação e redução da incidência de complicações e fracassos (Kraus *et al.*, 2003). Estudos indicam que a técnica de fixação externa apresenta resultados positivos em termos de sucesso de tratamento, independentemente do padrão ou disposição da fratura, tendo melhores resultados em animais com peso inferior a 6,0 kg (Harasen, 2003; Ferrigno *et al.*, 2008), sendo a fixação esquelética externa adaptável à maioria das fraturas do rádio e/ou ulna. O objetivo desta técnica é atingir o alinhamento anatômico do osso evitando deformidades rotacionais e angulares dos segmentos ósseos e garantir a imobilização do foco sem necessidade de exploração aberta da área afetada. (Baltzer *et al.* 2015)

1. O osso

1.1. Constituição e organização do tecido ósseo

O tecido ósseo é um tecido conjuntivo mineralizado constituído por quatro tipos de células - osteoblastos, células de revestimento ósseo, osteócitos e osteoclastos (Florencio-Silva *et al.*, 2015) – desempenhando funções essenciais no corpo como a locomoção, suporte e proteção de tecidos moles, reserva de cálcio e fósforo e proteção da medula óssea. A medula óssea – constituída por ilhotas de tecido hematopoético e células adiposas envolvidos por vasos dentro da malha de osso trabecular - é encontrada no interior dos ossos e é um tecido hematopoiético primário responsável pela produção de eritrócitos, granulócitos, monócitos, linfócitos e plaquetas (Buckwalter *et al.*, 1996; Downey *et al.*, 2006; Florencio-Silva *et al.*, 2015).

A unidade estrutural do osso cortical é o ósteon (também denominado Sistema de Havers) (Figura 3), que é composto por lamelas (camadas de unidades concêntricas) de colagénio tipo I ligado a cristais de hidroxiapatita que existem em formato de placas, agulhas e roldanas. (Downey *et al.*, 2006; Florencio-Silva *et al.*, 2015).

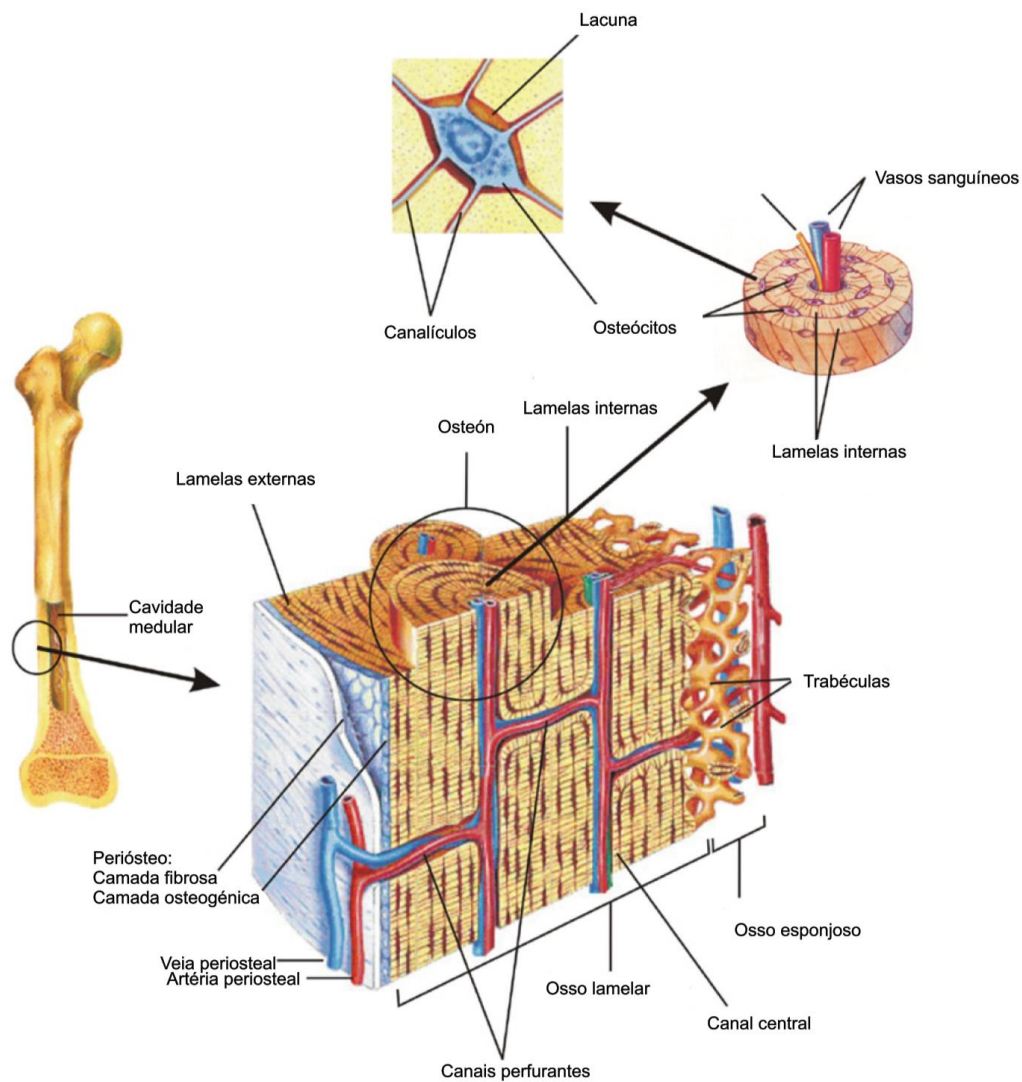


Figura 3 - Suprimento vascular do osso cortical. Adaptado de: Augustin *et al.*, (2007)

O tecido ósseo é um tecido bastante dinâmico continuamente reabsorvido pelos osteoclastos e neoformado pelos osteoblastos, tendo como reguladores deste processo de remodelação os osteócitos (Robling *et al.*, 2006), sendo esta dinâmica importante para a constante adaptação às alterações que ocorrem durante o ciclo de vida de cada indivíduo, como por exemplo, alterações nos padrões de locomoção e movimento e da massa corporal. As

funções das células de revestimento ósseo ainda não são totalmente compreendidas, mas têm um papel importante na reabsorção e neoformação óssea (Everts *et al.*, 2002).

Os osteoblastos originam-se a partir de células mesenquimatosas estaminais - localizadas ao longo da superfície óssea numa camada do periósteo denominada camada osteogénica (*cambium layer*) - cuja função é a formação de osso. Os osteoblastos sintetizam matriz óssea não mineralizada (osteóide) e são essenciais para a formação e deposição de cristais de hidroxiapatita – isto ocorre pela ligação do colagénio aos cristais minerais de hidroxiapatita através de proteínas não colagénicas, regulando estas o fluxo de cálcio e fosfato dentro e fora do osso. A síntese de matriz óssea pelos osteoblastos ocorre em duas fases: a deposição de matriz orgânica – osteóide - e subsequente mineralização – precipitação de cálcio e fósforo no osteóide. O osteóide é principalmente formado por colagénio tipo I e substância amorfa gelatinosa. Após a produção de osteóide, os sais de cálcio e fósforo começam a precipitar na superfície das fibras de colagénio e de seguida começam a organizar-se em cristais de hidroxiapatita. As fibras de colagénio têm alta resistência à tensão e os cristais de hidroxiapatita conferem alta resistência às forças compressivas, sendo que a combinação destas propriedades confere características ideais para que o osso maduro resista às várias combinações de forças que sobre ele atuam - forças compressivas, rotacionais, de dobramento, entre outras - , sem que para tal seja necessária uma biomassa óssea muito elevada, o que teria como consequência maiores custos metabólicos. (Florencio-Silva *et al.*, 2015)

Os osteoblastos não operam isoladamente, mas sim numa camada contígua de células - entre as quais existem *gap junctions* que permitem trocas iónicas - que no seu estado ativo são cuboides e no estado quiescente são aplanadas, sendo as últimas as chamadas células de revestimento ósseo que cobrem zonas da superfície óssea onde não ocorre nem reabsorção nem formação de osso. Apesar de haver pouco consenso sobre a função destas células, estudos indicam que estas previnem a interação direta entre os osteoclastos e a matriz óssea em momentos nos quais não seria favorável a ocorrência de reabsorção óssea. Outros estudos demonstraram a sua participação na diferenciação de osteoclastos, reabsorção de colagénio e expressão proteica (Florencio-Silva *et al.*, 2015)

Os osteócitos, células ósseas em maior percentagem e com maior tempo de vida, são osteoblastos que se diferenciaram após terem ficado aprisionados no interior da matriz óssea em zonas denominadas lacunas (Florencio-Silva *et al.*, 2015). Através de um sistema lacuno-canalicular os osteócitos atuam como mecano-sensores, tendo a capacidade de detetar forças

biomecânicas, e funcionam como orquestradores da remodelação óssea através da regulação da atividade de osteoblastos e osteoclastos (Everts *et al.*, 2006; Dallas *et al.*, 2013). Este sistema lacuno-canalicular está preenchido por fluido ósseo e contém os prolongamentos citoplasmáticos (processos dendríticos) dos osteócitos que atravessam pequenos túneis a partir do espaço lacunar denominados de canalículos, enquanto o corpo do osteócito permanece dentro das lacunas (Florencio-Silva *et al.*, 2015). Até o osteócito estar plenamente funcional passa por quatro fases: osteócito-osteóide, pré-osteócito, osteócito imaturo ou jovem e osteócito maduro (Franz-Odenaal *et al.*, 2006). O aumento das forças biomecânicas provoca um aumento na expressão de fatores anabolizantes sobre os osteoblastos enquanto a redução ou ausência de forças biomecânicas causa a diminuição dos mesmos fatores anabólicos e o aumento de fatores inibidores de osteoblastos (ex.: esclerostina) (Gaudio *et al.*, 2010)

Os osteoclastos são células diferenciadas multinucleadas cuja origem provém de células mononucleares da linha hematopoética de células estaminais. Os osteoclastos inicialmente são pré-osteoclastos, sendo que esta célula precursora tem uma dimensão que lhe permite passar pelos vasos sanguíneos nos canais de *Havers*, ao contrário do osteoclasto maduro (Florencio-Silva *et al.*, 2015). A formação de osteoclastos ocorre por fusão dos pré-osteoclastos através da ativação do recetor RANK (recetor ativador do fator nuclear-kB) que estes contêm, dependendo esta ativação do ligando RANKL (ligando do recetor ativador do fator nuclear-kB) que se encontra na superfície dos osteócitos e osteoblastos (Boyce & Xing, 2008). Esta associação regula a modelação e remodelação óssea. Mas da mesma forma que os osteócitos e osteoblastos contêm o ligando que irá iniciar a formação de osteoclastos, também têm a OPG (osteoprotegerina) que bloqueia a interação RANKL/RANK e que inibe a osteoclastogénese, por forma a proteger o osso de reabsorção excessiva (Boyce & Xing, 2008). A diferenciação destas células depende de vários fatores osteoclastogénicos que promovem a ativação de fatores de transcrição e expressão génica nos osteoclastos (Crockett *et al.*, 2011; Florencio-Silva *et al.*, 2015). Considerando a atividade de reabsorção óssea desempenhada pelos osteoclastos, um aumento na formação destas células e do seu nível de atividade poderá levar ao desenvolvimento de doenças ósseas como a osteoporose – perda de massa óssea (por exemplo por diminuição da OPG) - assim como erros que causem diminuição da sua função de reabsorção poderão levar a patologias como a osteopetrose – aumento de massa óssea (por exemplo por aumento da OPG) ((Boyce & Xing, 2008; Florencio-Silva *et al.*, 2015). É importante referir que este processo de remodelação óssea ocorre continuamente pela

necessidade de adaptação à ontogenia do animal e alterações das propriedades biomecânicas dos componentes do tecido ósseo.

Relativamente ao suprimento vascular do tecido ósseo, ilustrado na Figura 4, temos a considerar o sistema de alta pressão medular – artéria nutriente - e o de baixa pressão periosteal - denominado de sistema vascular periosteal intrínseco - sendo o segundo uma rede longitudinal de vasos sanguíneos e linfáticos perpendiculares ao eixo dos ossos longos e de vasos circulares que envolvem o osso.

As artérias periosteais cursam longitudinalmente sem redução de diâmetro e enviam ramos que anastomosam com o sistema vascular medular, anastomoses periósteo-corticais, que são superiores em número e diâmetro na metáfise, comparativamente à diáfise.

O sistema fásio-periosteal é fornecido por artérias segmentares e os sistemas musculo-periosteais por ramos musculares. Ambos os sistemas (fásio-periosteal e músculo-periosteal) suprem o sistema vascular periosteal intrínseco, sendo fontes cruciais de fornecimento sanguíneo aquando de um dano ao sistema medular e, como tal, devem ser preservadas durante o tratamento cirúrgico de fraturas. As áreas do osso que não têm cobertura muscular não têm o sistema de vascularização musculo-periosteal e como tal poderão ter menor potencial de cicatrização, especialmente em casos de elevado trauma dos tecidos perifraturários.

O sistema da artéria nutriente é de alta pressão (pressão média aproximada de 60mmHg), que se inicia no forâmen nutrício e ramifica dentro do canal diafisário vascularizando assim, com um fluxo centrífugo, a medula e os dois terços internos do córtex. O terço externo do osso cortical maduro recebe a sua vascularização de um sistema vascular periosteal de baixa pressão (pressão média aproximada de 15mmHg), o sistema vascular periosteal intrínseco. No osso imaturo o fluxo sanguíneo é centrípeto porque a vascularização é predominantemente de baixa pressão, não estando ainda bem desenvolvido o sistema da artéria nutriente nesta fase.

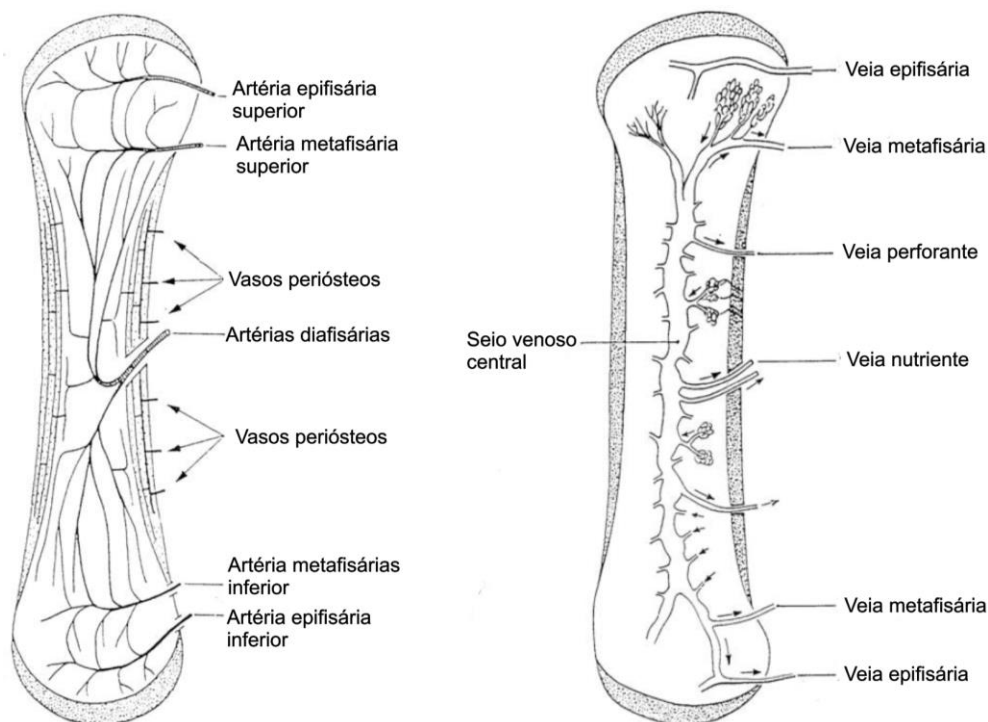


Figura 4 - Diagrama da vascularização arterial e venosa do osso longo. Adaptado de: Laroche (2002)

1.2. Modelação e Remodelação óssea

Há dois conceitos que são importantes distinguir para melhor compreensão deste tema, a modelação/construção óssea e a remodelação/reconstrução óssea.

A modelação óssea tem duas componentes, a formadora – realizada por osteoblastos que sintetizam e depositam um volume de osteoide sobre a superfície de um osso quiescente que não tenha sofrido reabsorção óssea prévia – e a reabsorvente – realizada por osteoclastos que reabsorvem um volume de osso sem que haja, subsequentemente, uma fase de formação óssea. A modelação ocorre principalmente durante o crescimento e confere as propriedades de resistência às forças fisiológicas, leveza para uma melhor mobilidade, resistência à deformação e flexibilidade para absorção e retorno de energia elástica. Assim, a modelação confere estas propriedades ao osso podendo alterar as dimensões absolutas e a forma externa e interna do osso. (Bilezikian *et al.* 2019)

A remodelação ou reconstrução óssea mantém a composição e propriedades da matriz óssea mineralizada durante toda a fase adulta do animal, sendo assim constante a adaptação do osso às forças sofridas pelo osso ao longo da vida do animal. Esta é realizada por grupos de osteoclastos e osteoblastos que respetivamente reabsorvem e substituem o volume de osso danificado, envelhecido ou alterado por modificações fisiológicas inerentes ao animal, com um

volume inferior, semelhante ou superior (conforme a necessidade de adaptação) de osso recém-sintetizado - osteoide. O osteoide passa por uma rápida mineralização primária dentro de dias após a sua deposição, e mais tarde uma mineralização secundária mais lenta que engloba um processo físico-químico de ampliação de cristais de hidroxiapatita de cálcio que haviam sido depositados na mineralização primária. Estes cristais alteram a sua estrutura inicial e deslocam a água sem alterar as dimensões das fibrilhas de colagénio. (Bilezikian *et al.* 2019)

1.3. Organização do osso longo

Os ossos são estruturas polivalentes que desempenham papéis diversos e vitais nos seres vertebrados, fornecendo-lhes estrutura para o corpo – conferindo sustentação e forma - proporcionando uma superfície de fixação de músculos, protegendo os órgãos internos e tendo um papel preponderante na fisiologia do corpo – pelo armazenamento de cálcio e fósforo e participação na hematopoiese que ocorre no interior da medula óssea pela formação de várias componentes celulares (Pozzi & Lewis, 2009).

Serve este capítulo para descrever brevemente a macro e microestrutura do osso longo. Pela importância que o periósteo apresenta na reparação e remodelação óssea após uma lesão, será feita uma breve descrição da sua anatomia e características microscópicas, ilustradas na Figura 3.

Ao nível da macroestrutura o osso é dividido em osso cortical (ou compacto) e esponjoso (ou trabecular) (Pozzi & Lewis, 2009).

O osso longo tem três divisões anatómicas principais (Figura 5): a diáfise – eixo tubular oco entre os topos proximal e distal do osso que contém a cavidade medular e medula óssea amarela (com gordura e células estaminais mesenquimatosas que se podem diferenciar em cartilagem, gordura ou células ósseas) -, a metáfise – contém as placas epifisárias que no osso do animal adulto se tornam em linhas epifisárias sendo preenchida por osso esponjoso e medula óssea vermelha (com células estaminais hematopoiéticas que se podem diferenciar em glóbulos vermelhos, glóbulos brancos ou megacariócitos que originam as plaquetas) - e a epífise – a secção mais larga nos topos proximal e distal do osso que é preenchida por osso esponjoso e medula óssea vermelha.

No interior do osso, adjacente à cavidade medular, encontra-se a camada de células ósseas - envolvidas no crescimento, reparação e remodelação óssea - denominada de endósteo. No exterior do osso existe um tecido que podemos subdividir em várias camadas – também

envolvida no crescimento, reparação e remodelação óssea – denominada perióstio (Biga *et al.*, 2019).

O perióstio é um tecido fibroso especializado sob forma de uma membrana fibrovascular que cobre a superfície externa da maioria dos ossos e está ausente nas superfícies articulares, inserções tendinosas ou superfícies de ossos sesamoides (Cowin, 2001). O perióstio e o osso estão unidos por fibras de colagénio – fibras de *Sharpey* – que penetram no osso, sendo que a sua direção é determinada por forças de tensão. Na região da diáfise de ossos longos o perióstio é mais denso e facilmente separado do osso adjacente, no entanto, nas regiões da metáfise e epífise o perióstio é menos denso estando altamente fundido com o osso. É também altamente vascularizado e innervado – nervos sensoriais e vasomotores do sistema nervoso autónomo - contendo um elevado número de vasos linfáticos (Augustin *et al.*, 2007).

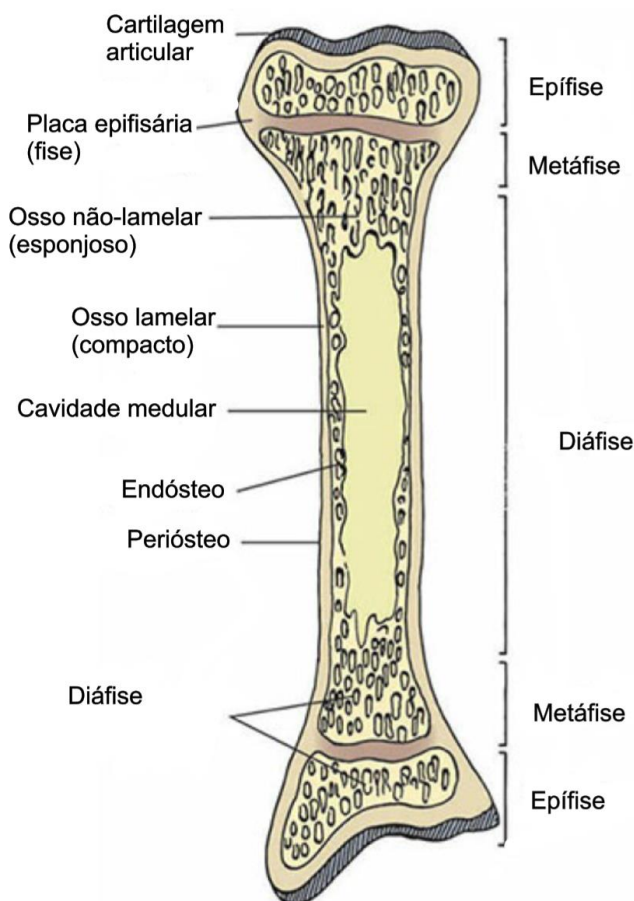


Figura 5 - Estrutura do osso longo. Adaptado de: Reece & Rowe (2017)

A um nível microscópico o perióstio pode ser dividido em duas camadas, uma externa – fibrosa e firme com colagénio e fibras reticulares – e uma interna – proliferativa, também

denominada de camada *cambium* que contém osteoblastos e células osteoprogenitoras – que se encontra adjacente ao osso. A camada externa confere elasticidade e proteção e a camada interna (*cambium*), sendo uma camada osteogénica, tem a capacidade de formar novo osso lamelar no osso cortical podendo, por exemplo, causar um aumento no diâmetro da diáfise de um osso longo tubular, e também, de formar osso primário não-lamelar (*woven bone*) após uma fratura (Buckwalter *et al.*, 1996; Augustin *et al.*, 2007).

A nível da microestrutura o osso apresenta lamelas– que podem estar organizadas em camadas concêntricas, em volta de um canal central formando assim o ósteon ou sistema de *Havers*. O ósteon apresenta-se numa forma cilíndrica cujo eixo maior está relativamente paralela ao eixo longo do osso. As outras componentes do osso cortical onde as fibras de colagénio mineralizadas estão em menor número e onde não existe um padrão distinguível denominam-se de osso não lamelar (*woven bone*). No osso lamelar, as lamelas organizam-se tangencialmente à superfície externa do mesmo, e em conjunto com o tecido não-lamelar (*woven bone*) formam camadas mais densas em volta do diâmetro total do osso. O osso esponjoso é constituído por uma estrutura de trabéculas dispostas em várias direções (Pozzi & Lewis, 2009).

2. Ossificação

2.1.Fisiologia e tipos de ossificação

Existem dois tipos de ossificação, a intramembranosa (Figura 6) e a endocondral (Figura 7). A ossificação intramembranosa ocorre no interior de membranas de tecido conjuntivo. O local da membrana conjuntiva, onde a ossificação começa, chama-se centro de ossificação primária. O processo tem início com a diferenciação de células mesenquimatosas em grupos de osteoblastos, sendo que estes irão sintetizar o osteoide que de seguida se mineraliza, englobando alguns osteoblastos que se transformam em osteócitos. Com o aparecimento simultâneo destas células no centro de ossificação o osso apresenta, nesta fase, um aspeto esponjoso. Os vários centros de ossificação progridem radialmente, acabando por substituir a membrana conjuntiva preexistente. A porção da membrana conjuntiva que não sofre ossificação passa a constituir o endóstio e o perióstio (Junqueira & Carneiro, 2004).

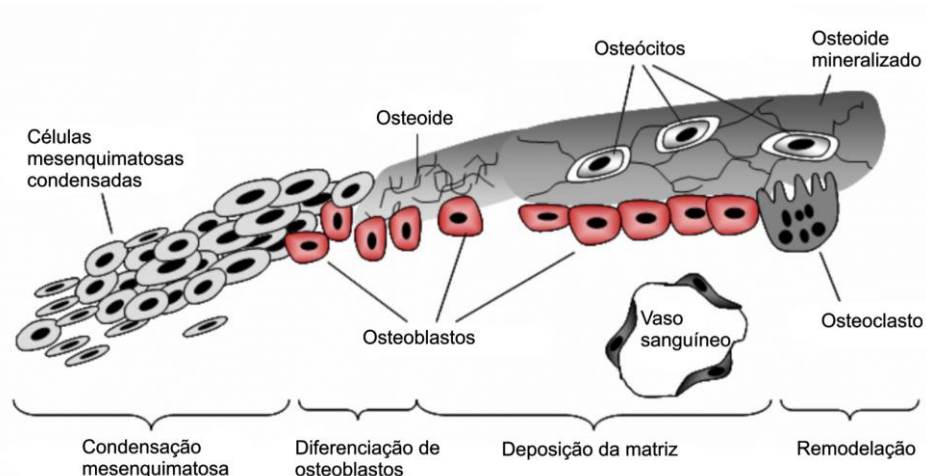


Figura 6 - Desenvolvimento de osso por ossificação intramembranosa. Adaptado de: Eyckmans (2021)

A ossificação endocondral tem início sobre uma peça de cartilagem hialina, cuja forma é idêntica à do osso que se vai formar. Este tipo de ossificação é o mais comum e compreende dois processos. Numa primeira fase a cartilagem hialina sofre modificações, havendo hipertrofia dos condrócitos, redução da matriz cartilaginosa com posterior mineralização da mesma e morte dos condrócitos por apoptose. De seguida as cavidades previamente ocupadas pelos condrócitos são invadidas por capilares sanguíneos e células osteogénicas provenientes do tecido conjuntivo adjacente. Estas células diferenciam-se em osteoblastos que irão depositar matriz óssea sobre os tabiques de cartilagem calcificada, aparecendo deste modo, tecido ósseo onde antes existia tecido cartilaginoso. (Junqueira & Carneiro, 2004).

A formação de ossos longos é um processo complexo. No molde cartilaginoso o segmento que corresponderá à diáfise é mais estreito e os que corresponderão às epífises mais alargados. O primeiro tecido ósseo a aparecer no osso longo é o pericôndrio – que se divide numa zona vascularizada com fibroblastos e numa zona não vascularizada com condroblastos - que cobre o segmento médio da diáfise, formando um cilindro - o colar ósseo. Enquanto se forma o colar ósseo, as células cartilaginosas envolvidas pelo mesmo hipertrofiaram, morrem por apoptose e há mineralização da matriz cartilaginosa. Vasos sanguíneos, que partem do periósteo, atravessam o colar ósseo e penetram a cartilagem calcificada, invadindo as lacunas deixadas após a apoptose dos condrócitos. Estes vasos fornecem células osteoprogenitoras que proliferam e se diferenciam em osteoblastos. Estas formam camadas contínuas nas superfícies dos tabiques cartilaginosos calcificados e iniciam a síntese da matriz óssea, onde posteriormente se irão precipitar cristais de hidroxiapatita (Junqueira & Carneiro, 2004).

O centro de ossificação acima descrito, que aparece no segmento médio da diáfise, é denominado de centro primário de ossificação. A sua expansão rápida, em sentido longitudinal, acaba por ocupar toda a diáfise, que fica assim, ossificada. Desde o início da formação do centro primário surgem osteoclastos e ocorre absorção do tecido ósseo formado no centro da cartilagem, aparecendo assim o canal medular, o qual também cresce longitudinalmente à medida que a ossificação progride. À medida que se forma o canal medular, as células sanguíneas, originárias de células hematopoiéticas multipotentes, trazidas pelo sangue, dão origem à medula óssea (Junqueira & Carneiro, 2004).

Em cada epífise irão, de seguida, formar-se os centros de ossificação secundária sendo estes semelhantes ao centro primário da diáfise contendo, como este, medula óssea, mas tendo um crescimento radial em vez de longitudinal. Quando o tecido ósseo formado nos centros secundários ocupa a epífise, o tecido cartilaginoso fica restrito a dois locais: cartilagem articular e a cartilagem de conjugação (ou disco epifisário, ou placa de crescimento) (Junqueira & Carneiro, 2004).

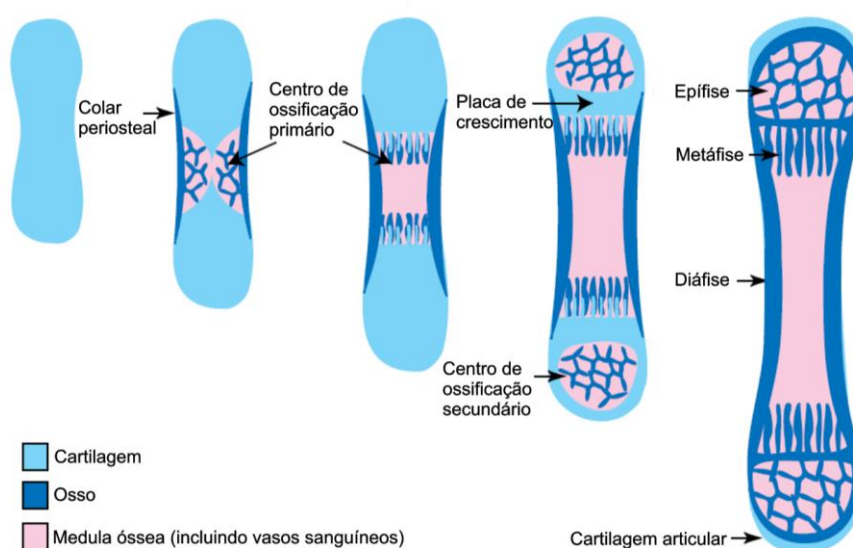


Figura 7 - Desenvolvimento do osso por ossificação endocondral. Adaptado de: Mackie et al., (2011)

2.2.Cicatrização óssea

O osso é constituído por dois componentes principais – fosfato de cálcio (matriz mineral) e colagénio (matriz orgânica) - que lhe conferem, respetivamente, rigidez e elasticidade numa proporção ideal para que este seja resistente às forças que lhe são impostas (forças de reação do solo e forças musculares). Quando o limite elástico do osso é ultrapassado

ocorrerá algum tipo de dano e, quando o osso sofre solicitações supra-fisiológicas e o seu limite de robustez mecânica é ultrapassado ocorre então uma fratura, ou seja, a perda de continuidade do tecido ósseo (Reece & Rowe, 2017).

2.2.1. Fases da cicatrização óssea

A cicatrização de fraturas instáveis é caracterizada pela formação de um calo intermédio antes da formação do osso. Este tipo de cicatrização, que será abordada neste capítulo, é denominado de cicatrização indireta ou secundária sendo dividida em três fases sobrepostas: inflamação, reparação e remodelação (Reece & Rowe, 2017). Esta progressão por vários tecidos com crescente rigidez acaba por conduzir a um ambiente biomecânico que permite a formação e união óssea. A reparação óssea deve desenvolver-se na presença de movimentos interfragmentários com níveis suficientes para a indução do calo ósseo, mas não excessivos por forma a superar os limites de tolerância que impossibilitam a cicatrização completa. A tensão interfragmentária - relação entre a dimensão da fenda da fratura e variação dinâmica do espaço na fenda de fratura (ex.: fratura de 1mm com 1mm de variação dinâmica corresponde a 100% de tensão) - influencia o tipo de tecido que se formará na linha de fratura e a quantidade de calo produzida depende na estabilidade relativa, sendo que quanto maior a instabilidade, maior o volume de calo necessário (Gonnet, 2006). No entanto, a formação óssea só ocorre num ambiente biomecânico estável sendo que vários processos têm de ocorrer para superar esta instabilidade, tais como a contração inicial dos músculos em redor da fratura, a reabsorção dos topos ósseos, a reparação coordenada com tecidos adequados ao ambiente mecânico e a formação de um calo externo proeminente (Gonnet, 2006).

A cicatrização óssea pode também ser resumida em três fases fulcrais (Figura 8). A fase inflamatória, que se inicia no momento em que ocorre a fratura e aquando da formação do hematoma no foco de fratura, com duração de três a quatro dias, onde marcadores pró-inflamatórios – IL-1, IL-6 e TNF alfa - são libertados no local da lesão atraindo células como macrófagos, por quimiotaxia (Gonnet, 2006; Oryan *et al.*, 2015). A fase de reparação encontra-se dividida em dois momentos – fase de calo imaturo e fase de calo maduro. A fase de calo imaturo inicia-se alguns dias após a fratura e dura algumas semanas, ocorrendo intensa angiogénese no local da lesão, diferenciação das células mesenquimatosas em condrócitos e formação de um calo cartilaginoso que confere alguma estabilidade mecânica. Esta é seguida pela fase de calo maduro onde a matriz cartilaginosa passa por mineralização e a cartilagem é

degradada, sendo o tecido ósseo depositado como osso não-lamelar através do processo de ossificação endocondral (Gonnet, 2006; Oryan *et al.*, 2015). A última fase, fase de remodelação, ocorre ao longo de vários meses após a fratura e refere-se ao processo de substituição de osso não-lamelar em osso lamelar sendo que a estrutura inicial (pré-lesão) do osso vai sendo restabelecida de acordo com a Lei de Wolff – esta lei descreve que o osso num animal ou pessoa saudável irá adaptar-se às forças que lhe são impostas. A cicatrização óssea considera-se completa quando há total restabelecimento do canal medular e da microestrutura lamelar do osso compacto (Gonnet, 2006; Oryan *et al.*, 2015).

É importante referir que a cicatrização óssea está dependente e é influenciada pelo suprimento vascular no local de fratura, pela redução dos fragmentos e pelo grau de estabilização destes fragmentos (Piermattei *et al.*, 2006).

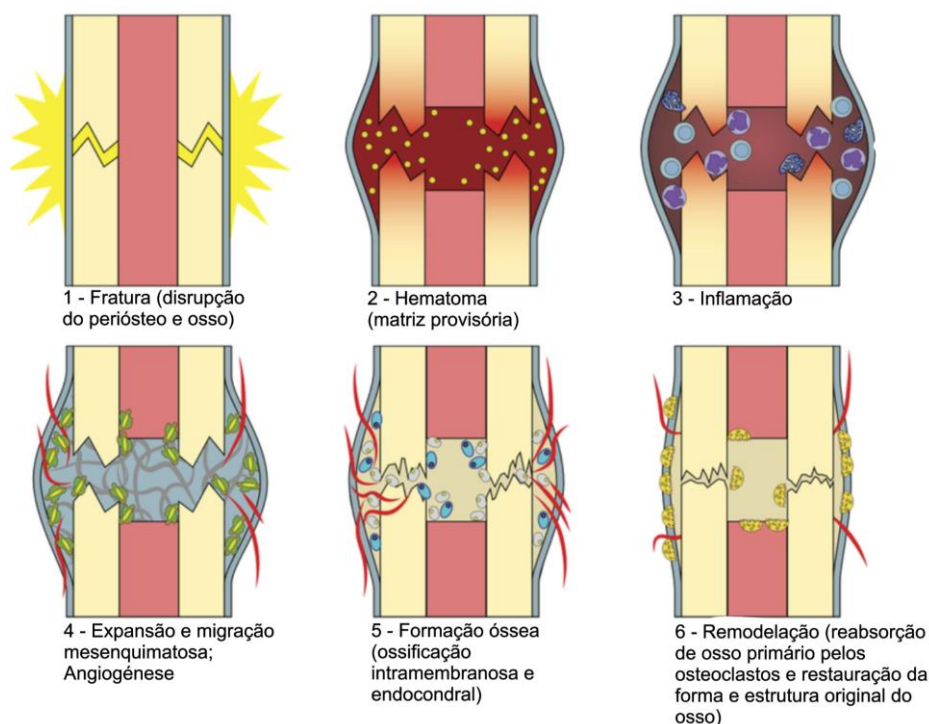


Figura 8 - Fases da cicatrização óssea. Adaptado de: Bahney *et al.*, (2019)

2.2.2. Classificação clínica de cicatrização óssea dependente da correção

É importante mencionar que existem dois tipos de cicatrização óssea quando nos referimos à sua caracterização clínica conforme as terapêuticas corretivas utilizadas – cicatrização óssea direta (primária) e cicatrização óssea indireta (secundária). Na cicatrização óssea direta (primária) os movimentos interfragmentários são extremamente limitados e os cones de corte – cones de corte são o método principal de remodelação óssea onde os

osteoclastos na porção frontal do cone removem o osso não-lamelar ou osso lamelar danificado e os osteoblastos na porção caudal do cone vão depositando osso novo - atravessam o local sendo que neste tipo de cicatrização há contacto direto entre os dois topos ósseos o que permite que ocorra substituição direta de osso lamelar por novo osso lamelar – são exemplos de métodos de osteossíntese que permitem este tipo de cicatrização as placas compressivas, placas de neutralização e parafusos de compressão. A cicatrização óssea indireta (secundária) ocorre em condições de estabilidade menos perfeitas que no caso anterior, decorrendo por meio de ossificação endocondral. São exemplos de situações que propiciam este processo as fraturas cominutivas e as fraturas com espaços maiores entre fragmentos. São exemplos de métodos de osteossíntese que dependem deste tipo de cicatrização o recurso a cavilhas intramedulares, bandagens rígidas, placas de ponte e fixação externa (Gonnet, 2006; Piermattei *et al.*, 2006; Oryan *et al.*, 2015; Bahney *et al.*, 2019).

2.2.3. Patologias e outros fatores que podem condicionar a cicatrização óssea

2.2.3.1. Fatores sistêmicos

Idade – Animais geriátricos têm maior predisposição a osteoporose e osteoartrite, o que está associado não só a maior predisposição a fraturas como a atrasos na cicatrização óssea de fraturas existentes. Com a idade avançada há um declínio no potencial de cicatrização o que pode resultar em maiores taxas de cicatrização atrasada ou não união. Este atraso na cicatrização que leva a alguma incapacitação nos animais pode levar a consequências sistêmicas o que está associado com taxas acrescidas de morbidade e mortalidade (Clark *et al.*, 2017).

Nutrição – A ingestão insuficiente de certas vitaminas, particularmente A e D (calciferol), e de outros nutrientes, como o cálcio e fósforo, pode aumentar o risco de fraturas ou atrasar o tempo e qualidade da cicatrização óssea em caso de fratura. Falhas no consumo adequado de cálcio levam ao aumento forçado de osteólise pelo corpo para garantir a manutenção da homeostasia. A deficiência de vitamina D diminui a absorção de cálcio pelo trato intestinal e reabsorção pelos rins, aumenta a concentração da hormona paratiroide (PTH) e conduz à osteólise, que com o tempo pode levar à fratura ou atrasar a cicatrização óssea de eventuais fraturas pré-existentes. O excesso de consumo de sódio (sal nas rações) assim como o excesso de consumo de fósforo (se superior ao consumo de cálcio) são fatores de risco para a osteoporose. Outras falhas nutricionais podem afetar a cicatrização óssea como o consumo de cobre – alterações no colagénio e elastina –, zinco – alterações nas metaloproteínas envolvidas

no desenvolvimento ósseo -, manganésio – alterações no metabolismo ósseo -, magnésio – alterações na qualidade óssea -, vitamina K – diminuição da densidade óssea e aumento de risco de fraturas -, e vitamina B6 – diminuição da força mecânica do osso (Karpouzou *et al.*, 2017);

Comorbilidades – animais com diabetes têm maior dificuldade na cicatrização devido à falha na produção de colagénio derivada desta patologia uma vez que os fatores de crescimento insulínicos (IGF-1 e IGF-2) deveriam estimular a produção colagénio ósseo e a síntese de matriz assim como a replicação de osteoblastos. Também deveriam diminuir a degradação de colagénio ósseo sendo que se há falha na insulina (como nos animais diabéticos) há uma falha na cicatrização óssea. Animais com doenças vasculares também podem ter maior dificuldade na cicatrização óssea devido à insuficiência de aporte sanguíneo ao local de fratura. Há referência em alguns artigos sobre a correlação entre doentes com asma brônquica e diminuição da capacidade de atingir a densidade óssea correta (Kumarathas *et al.* 2020);

Fatores hormonais – Deficits na hormona de crescimento (GH) levam a uma menor absorção de cálcio pelos intestinos e menor volume de calo a ser formado. Deficits da calcitonina levam a uma falha na inibição de osteoclastos e na estimulação de osteoblastos com consequente diminuição na deposição de matriz óssea mineralizada (hidroxiapatita) nos ossos e falhas na cicatrização óssea; Alterações da hormona paratiroide (PTH), principalmente excesso de produção da mesma, podem levar a excesso de atividade osteolítica o que pode dificultar a cicatrização óssea. Excesso de corticosteroides circulantes podem levar à diminuição da absorção intestinal de cálcio, inibição excessiva da síntese de colagénio e consequentemente a alterações na formação do calo ósseo (Goltzman, 2018);

Fármacos – As prostaglandinas, principalmente a PGE2, são produzidas pelos osteoblastos sob estímulo da COX-2, tendo como função mediar a formação de tecido ósseo em resposta a estímulos mecânicos. Os AINEs são inibidores da COX-2, pelo que o seu uso prolongado poderá levar a diminuições da produção de prostaglandina e consequentemente a atrasos na cicatrização óssea, no entanto, estes efeitos são reversíveis com o cessar do uso destes fármacos e consequente estabilização dos níveis de prostaglandina (Gerstenfeld & Einhorn, 2004). Estudos indicam que o uso de AINEs e de glucocorticoides inibem a cicatrização óssea de fraturas diafisárias, mas têm pouco impacto na cicatrização óssea de fraturas metafisárias (Sandberg & Aspenberg, 2015).

2.2.3.2.Fatores biomecânicos

Tipo de lesão - Fraturas resultantes de lesões de alta energia, como tiros, esmagamento e atropelamentos, causam maior dano nos tecidos moles perifraturários e, consequentemente, maior risco de não união pela maior desvascularização e dano dos tecidos envolventes, enquanto fraturas resultantes de lesões de baixa energia, como quedas de locais de baixa altura ou torções, causam menor dano nos tecidos moles perifraturários e assim, menor risco de não união (Brinker & O'Connor, 2009; Nandra *et al.*, 2016; Guzmán-Juárez *et al.*, 2021);

Área anatômica afetada - Alguns estudos mencionam a diferença na cicatrização óssea aquando de fraturas diafisárias em comparação com fraturas metafisárias (Figura 9). A metáfise parece, apesar de sem grande evidência, ter maior capacidade de recrutamento de células ao local da lesão, aparecimento de células osteogênicas e calo medular mais precoce e consequentemente maior condutividade e recrutamento de células mesenquimatosas estaminais à região afetada, comparativamente à diáfise (Inoue *et al.*, 2018);

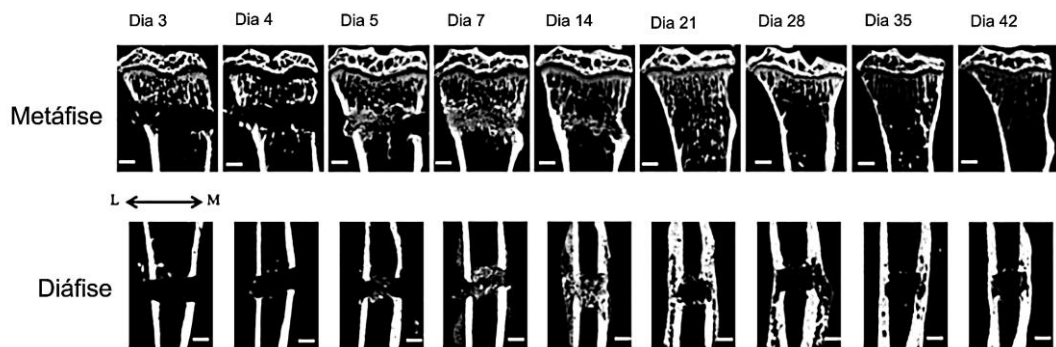


Figura 9 - Diferença da formação de calo após fratura, comparação entre metáfise e diáfise. Adaptado de: Inoue *et al.*, (2018)

Instabilidade - A estabilidade global da fixação e imobilização da fratura também afetará os padrões de diferenciação das células estaminais mesenquimatosas em condrócitos ou osteoblastos. Nas fraturas com maior instabilidade, durante a cicatrização, o tecido cartilaginoso surge em maior abundância, comparado com fraturas de maior estabilidade onde o aparecimento de osso não lamelar é mais precoce e a condrogénese menos extensa. A excessiva instabilidade interfragmentária, impedirá a substituição da cartilagem por osso não-lamelar, diminuirá a angiogénese e impedirá a maturação do calo ósseo para um calo robusto e ossificado (Claes *et al.*, 2002);

Alterações do aporte sanguíneo - Diminuição da formação do calo mole ou da formação óssea pela diminuição da capacidade de realizar angiogénese. Suprimento sanguíneo insuficiente poderá resultar em união atrasada ou em não-união atrófica do osso. As alterações de aporte sanguíneo podem estar correlacionadas com os movimentos interfragmentários, uma vez que, se a fixação do osso é instável, os vasos necessários à reparação óssea estarão continuamente a ser danificados, atrasando assim o processo de cicatrização e não permitindo o desenvolvimento de tecidos mesenquimatosos que requerem maior aporte sanguíneo, predominando no foco de fratura a fibrocartilagem (Rhineland, 1974).

2.3.Fisiopatologia da fratura

2.3.1. Classificação de fraturas

As fraturas podem ser classificadas com base em fatores causais, penetração da pele (comunicação com o exterior), localização, morfologia, severidade, orientação, extensão de dano causado, invasão articular e também a estabilidade da fratura após redução da mesma (Piermattei, 2006).

Relativamente aos fatores causais pode ocorrer trauma direto, trauma indireto, patologias ósseas, ou fraturas por fadiga ou stress repetitivo (Piermattei, 2006):

- Trauma direto – quando o trauma ocorre por entrar em contacto direto com a localização do osso que acaba por fraturar, como em casos de atropelamento ou quedas;
- Trauma indireto – quando a força que causa a lesão é proveniente de um ponto distante à localização onde de facto ocorre a fratura, como em casos de avulsão do tubérculo tibial;
- Patologias ósseas – algumas patologias podem causar destruição ou perda de densidade óssea com severidade suficiente para culminar numa fratura como em situações de déficits vitamínicos graves ou em neoplasias ósseas;
- Fadiga/Stress repetitivo – ocorrem quando há uma acumulação de micro fraturas no osso normal que, devido ao aumento súbito de frequência, intensidade e duração da atividade física exercida pelo animal, ultrapassam o ritmo normal do processo de remodelação óssea.

Relativamente à penetração da pele (comunicação com o exterior) a fratura pode ser fechada ou aberta (Piermattei, 2006):

- Fratura fechada – não há penetração da pele nem comunicação com o exterior;
- Fratura aberta – há comunicação do local de fratura com o exterior devido à perda de continuidade da pele o que pode levar a contaminação ou infeção do local.

Relativamente à localização, morfologia e severidade da fratura, será abordado o sistema referido por Piermattei (2006) (Tabela 1, 2 e 3), que é a classificação alfanumérica adotada pela *Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthese* (AO - Grupo de trabalho para a Osteossíntese) e pela *Association for the Study of Internal Fixation* (ASIF – Associação para o Estudo de Fixação Interna). Também foram adaptadas as informações de AOTrauma (2007) e Fossum (2013) para complementaridade deste capítulo.

- A localização da fratura é classificada através da numeração de cada osso longo (1 – úmero; 2 – rádio/ulna; 3 – fémur; 4 – tíbia/fíbula) com subdivisões dos mesmos em porções proximal, média e distal;
- A severidade é classificada alfabeticamente e dividida em fraturas simples (A), em cunha (B) ou complexas (C), sendo cada um destes depois subdivididos em outros 3 grupos (1, 2, 3) de acordo com o tipo e extensão da fragmentação óssea.

Tabela 1 - Classificação de fraturas de acordo com a orientação das linhas de fratura com o eixo longo, (Piermattei, 2006, AOTrauma, 2007, Fossum, 2013; Gemmil & Clements 2016).

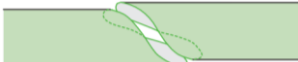
Orientação das linhas de fratura com o eixo longo		
Transversas	A fratura atravessa o osso num ângulo aproximado a 90° relativamente ao eixo longo do osso.	
		
Oblíquas	O ângulo de fratura ocorre a mais de 30° em relação ao eixo longo	Em espiral – a linha de fratura faz uma curva em redor da diáfise
		

Tabela 2 - Classificação de fraturas de acordo com a extensão do dano causado pela fratura (Piermattei, 2006, AOTrauma, 2007, Fossum, 2013; Gemmil & Clements 2016).

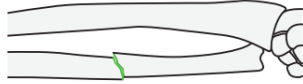
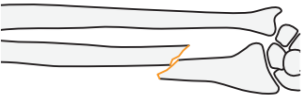
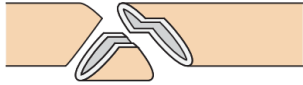
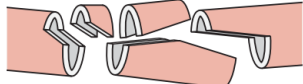
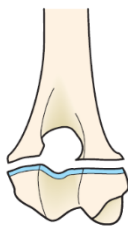
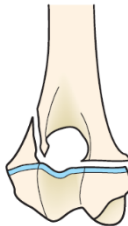
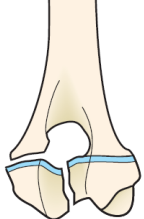
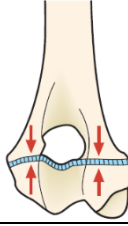
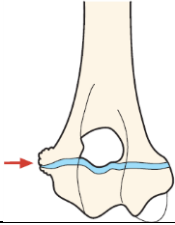
Extensão do dano causado pela fratura			
Incompletas	Fratura em que se mantém continuidade parcial do segmento ósseo, por exemplo, fraturas em “vara verde” de animais jovens 		
Completas	Disrupção total da continuidade do segmento ósseo, onde geralmente ocorre deslocamento dos fragmentos 		
Cominutivas	Fratura onde existem múltiplos fragmentos e onde as várias linhas de fratura comunicam entre si	Redutível	Os fragmentos têm comprimento e largura superior a um terço do diâmetro do osso. 
		Irredutível	Os fragmentos têm comprimento e largura inferiores a um terço do diâmetro do osso podendo resultar num defeito entre os fragmentos principais após a redução com dimensão superior a um terço do diâmetro do osso. 
Segmentárias	Fratura composta pelo menos por duas linhas de fratura que isolam um segmento ósseo, geralmente um segmento da diáfise num osso longo. 		

Tabela 3 - Classificação de fraturas de acordo com a invasão articular (fraturas de Salter-Harris), (Piermattei, 2006, AOTrauma, 2007, Fossum, 2013; Gemmil & Clements 2016).

Fraturas de Salter-Harris		
Tipo I - Extra-articulares (metafisárias)	A superfície articular não é atravessada pela linha de fratura e encontra-se separada da diáfise. Em animais jovens podem ocorrer fraturas fisárias onde a separação ocorre ao nível da placa de crescimento.	
Tipo II – Articular parcial	Fratura fisária que se estende pela metáfise, produzindo um fragmento da mesma, que pode ter tamanho muito reduzido.	
Tipo III	Separação fisária parcial com uma fratura epifisária intra-articular parcial. A fratura atravessa a placa de crescimento.	
Tipo IV – Articular completa	A fratura passa pela superfície articular através de todas as camadas da fise e através da metáfise havendo envolvimento da placa de crescimento.	
Tipo V – Compressão	Fratura de compressão da superfície articular e placa de crescimento.	
Tipo VI – Avulsão	Um fragmento ósseo de uma zona de inserção muscular, tendinosa ou ligamentosa é separado da sua posição normal devido a uma força de tração.	

2.4. Rádio e/ou ulna

2.4.1. Anatomia do rádio e ulna

O rádio e a ulna são os ossos do antebraço (Figuras 10 e 11), sendo o antebraço a região do membro torácico que se estende do cotovelo (articulação úmero-radio-ulnar) até ao pulso (articulação antebraquiocarpal). O rádio é o osso de maior suporte de peso do membro torácico, suportando mais a porção lateral do antebraço e a ulna, que serve maioritariamente para fixação muscular, suporta mais a porção medial. A vascularização, inervação e miologia do membro torácico também será ilustrado neste capítulo na Figura 12.

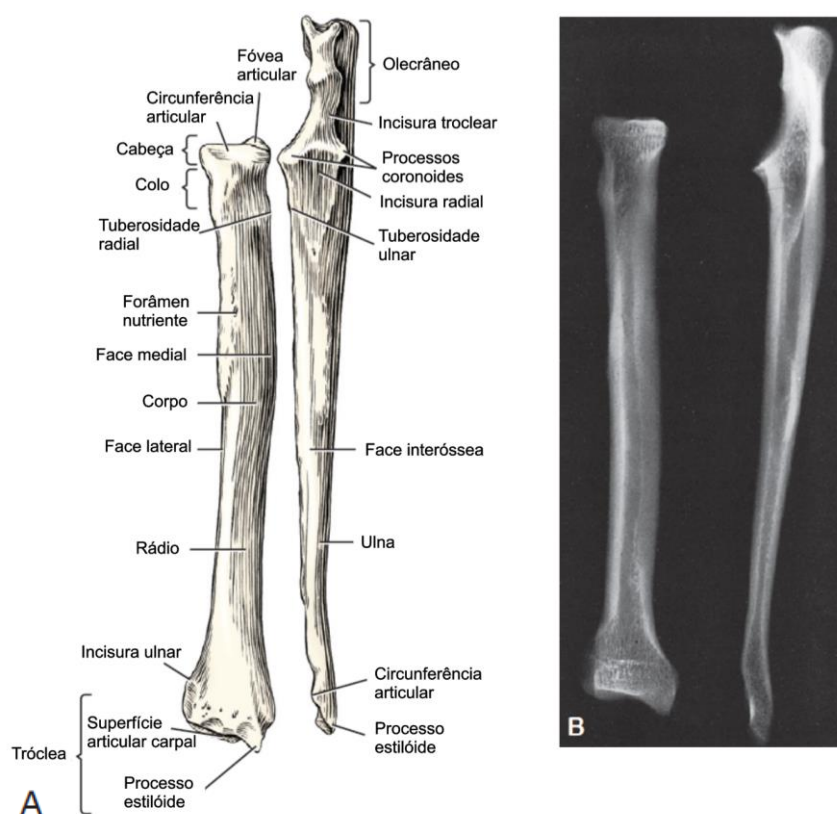


Figura 10 - A - rádio esquerdo, aspeto caudal. Ulna esquerda, aspeto cranial; B - Imagem radiográfica de rádio e ulna esquerdos desarticulados, vista crâniocaudal. Adaptado de: Evans & De Lahunta (2012)

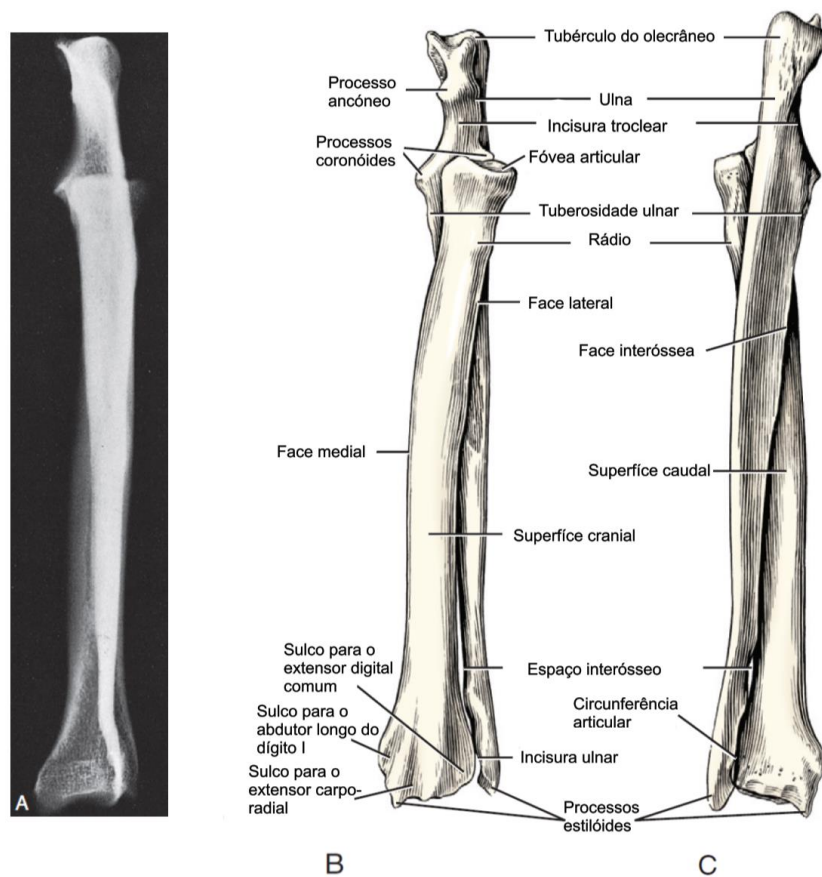


Figura 11 - A - Imagem radiográfica do rádio e ulna esquerdos articulados, vista craniocaudal; B - Rádio e ulna esquerdos articulados, aspeito caudal; C - Rádio e ulna esquerdos articulados, aspeito caudal. Adaptado de: Evans & De Lahunta (2012)

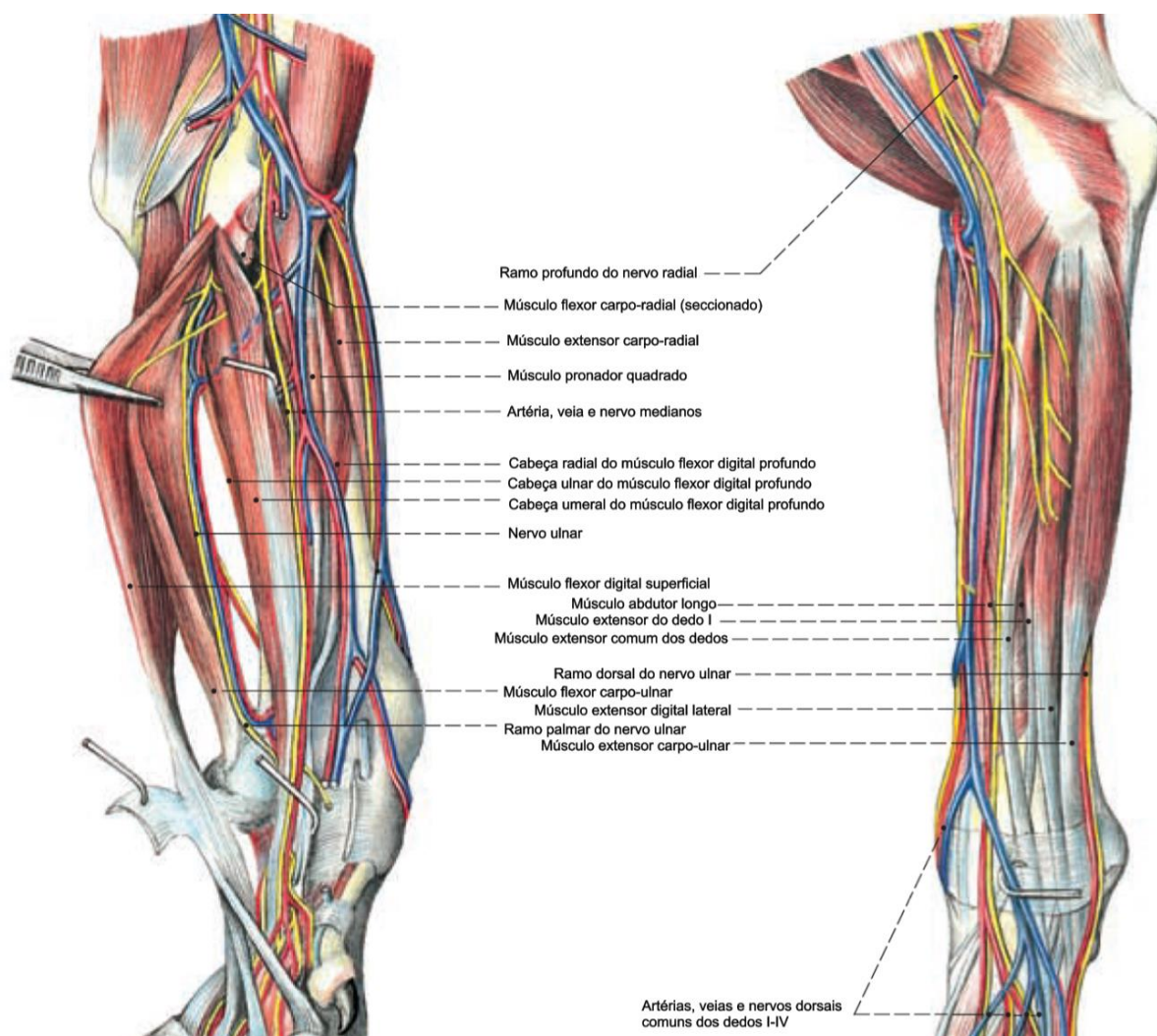


Figura 12 - Artérias, veias, nervos e músculos do membro torácico. Vista caudo-medial (à esquerda) e vista craniolateral (à direita). Adaptado de: Kempson (2003)

2.4.2. Fraturas diafisárias de rádio e/ou ulna

Estas fraturas afetam geralmente a região média ou terço distal da diáfise e envolvem frequentemente de forma simultânea o rádio e a ulna. Fraturas que afetam isoladamente o rádio são menos comuns. A estabilização da fratura do rádio por si só é, normalmente, suficiente, no entanto quando há cominuição do rádio ou quando o doente é de raça grande ou altamente ativa, a estabilização da ulna facilita a redução do rádio e dá uma rigidez global mais satisfatória (Gemmill & Clements, 2016).

Em cães de raça miniatura está descrita uma elevada incidência de fraturas do rádio e/ou ulna, sendo estas fraturas frequentemente resultado de um trauma menor. Estas fraturas em raças miniatura têm um risco superior de união atrasada ou não união comparativamente às raças de maior porte, sendo os motivos deste risco acrescido as componentes biomecânica e

vascular. As fraturas radiais distais têm frequentemente uma baixa área de contacto com a superfície óssea após a redução, devido ao pequeno tamanho do osso em si, bem como a orientação transversa ou oblíqua da fratura. Adicionalmente o alinhamento anatómico é dificultado pela tendência dos músculos que têm ação sobre o carpo e dos flexores digitais (superficial e profundo) em criarem uma deformação em valgus e rotação externa do fragmento ósseo distal. Para além disto, a cobertura limitada de tecidos moles e de circulação intraóssea do rádio e ulna nestas raças pode contribuir para uma maior frequência de não união (Piras *et al.*, 2011).

2.4.3. Tratamento das fraturas diafisárias rádio e/ou ulna

Os terços médio e distal da diáfise são os locais mais comuns de fratura no cão, afetando frequentemente tanto o rádio como a ulna. O sucesso na obtenção da união de uma fratura está dependente do método de tratamento. A estabilização das fraturas diafisárias rádio e/ou ulna pode ser feita por coaptação externa, fixação intramedular, redução aberta por fixação interna, osteossíntese percutânea minimamente invasiva por recurso a placas e por fixação esquelética externa (Gemmil & Clements, 2016).

2.4.3.1. Coaptação externa

A coaptação externa (utilização de bandagens como único método de estabilização) de fraturas radiais e ulnares em raças miniatura é relatada como tendo altas taxas de mal união e não união. A coaptação externa está reservada para fraturas incompletas em doentes imaturos e/ou para fraturas fechadas simples transversas com desalinhamento mínimo em cães com menos de um ano de raças médias ou gatos jovens. Este tipo de coaptação deve ser evitado se o tempo expectável de cicatrização for superior a 4 a 6 semanas (Gemmil & Clements, 2016). Neste tipo de tratamento a manipulação da fratura é raramente possível pelo que o membro deve ser posicionado em ligeira flexão carpal e angulação em valgus. A bandagem pode ser colocada sobre um molde metálico ou acrílico longitudinal ao longo das superfícies cranial e caudal (Figura 13), e fixado em volta para garantir maior imobilização, sendo que a bandagem deve ser trocada periodicamente. É um tratamento que não permite uma fixação estável e rígida, mas facilita o manejo da lesão (Fossum *et al.*, 2013). Em doentes imaturos há uma tendência de desenvolvimento de hiperextensão do carpo e das articulações distais do membro com a imobilização prolongada e desuso, pelo que, o método de estabilização de fratura preferível deve ser o que permite apoio do membro precoce e não deve interferir na função articular. Este

tratamento não é aconselhado em raças miniatura, raças gigantes, animais geriátricos, fraturas oblíquas, em espiral ou cominutivas (Gemmil & Clements, 2016).

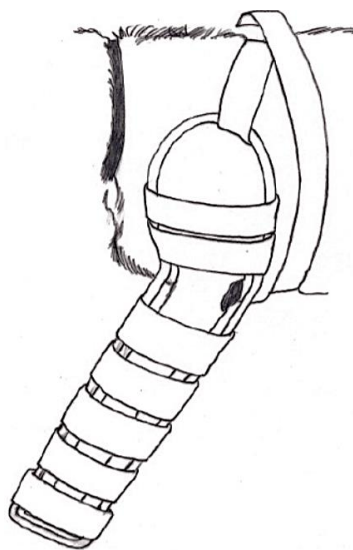


Figura 13 - Bandagem Schroeder-Thomas como exemplo de coaptação externa. Adaptado de: Pavletic (2010).

2.4.3.2. Fixação intramedular

A fixação intramedular do rádio (Figura 14), é viável, mas não recomendada porque a inserção da cavilha requer invasão da articulação do carpo ou do cotovelo, e a forma elítica da cavidade medular do rádio e o arco que este osso descreve no plano coronal causam dificuldades a este método. Além disso, cavilhas intramedulares apenas contrariam forças de dobramento e cisalhamento (Piras *et al.*, 2011). É reportada uma taxa de complicações de 80% neste tipo de tratamento incluindo angulação, rotação, osteomielite e osteoartrite uma vez que a inserção da cavilha causa disrupção da cavidade medular e pode levar a danos do suprimento vascular periosteal durante a abordagem cirúrgica o que pode resultar em casos de mau alinhamento, união atrasada ou não união (Gemmil & Clements, 2016).

Este tipo de correção pode ser usada para alinhar a ulna e estabilizar uma fratura ulnar simples adicionando suporte à fixação primária de uma fratura radial cominutiva, quer por fixação esquelética externa como por placa. A cavilha deve ser introduzida no canal medular a partir da superfície proximal do olecrânio e avançada em sentido anterógrado para a superfície da fratura. Deve ser tomada atenção para garantir o paralelismo do córtex lateral da ulna para manter a cavilha dentro do canal medular. Uma vez atingido o alinhamento, a cavilha deve ser avançada o mais para distal possível sem perfurar o córtex sendo depois cortada abaixo do nível da pele, acima da ulna proximal (Fossum *et al.*, 2013).

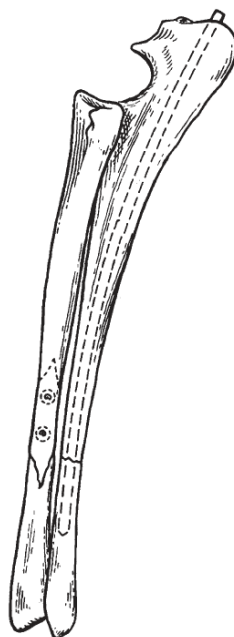


Figura 14 - Fixação intramedular do rádio. Adaptado de: Piermattei *et al.*, (2006).

2.4.3.3.Redução aberta e fixação interna (ORIF)

A técnica *ORIF* (Figura 15), é indicada para situações de fraturas simples, fraturas de ossos longos, fraturas articulares, fraturas crônicas e fraturas de atraso de união ou de não união que requerem osteotomia, mas apresenta limitações como o tempo de exposição aquando da cirurgia ser prolongado o que pode levar a um maior risco de situações de atraso de união e/ou infecções (Gemmil & Clements, 2016).

A *ORIF* é uma técnica dividida em duas fases, sendo esta técnica utilizada com frequência em fraturas diafisárias de rádio e ulna. Numa primeira fase, a redução aberta é utilizada para o realinhamento dos topos ósseos onde é feito um acesso perto do local de fratura para melhor acesso aos fragmentos. Após o realinhamento é seguida a segunda fase, de fixação interna, com recurso a cavilhas, placas compressivas ou bloqueadas e parafusos para garantir a estabilização da fratura (Gemmil & Clements, 2016; De Arburn Parent *et al.*, 2017).



Figura 15 – Redução aberta e fixação interna. Adaptado de: Hudson *et al.*, (2009)

2.4.3.4. Osteossíntese percutânea minimamente invasiva com recurso a placas (MIPPO)

A técnica *MIPPO* (Figura 16), está indicada em situações de fraturas cominutivas, fraturas de ossos longos, fraturas recentes, fraturas com desalinhamento mínimo e fraturas de atraso de união bem alinhadas. Apresenta, no entanto, algumas desvantagens como a possível necessidade de recurso a radiografia ou fluoroscopia intraoperatória, a incapacidade de comprimir fraturas, necessidade de redução indireta e a não indicação para fraturas simples (principalmente obliquas) (Gemmil & Clements, 2016).

Nesta técnica são inseridas placas através de duas incisões curtas longe do local de fratura, sendo estas deslizadas perto do osso por um túnel sobreposto ao perióstio entre as duas incisões (Pozzi & Lewis, 2009). Tipicamente, as placas ósseas aplicadas desta forma funcionam como uma ponte (Hudson *et al.*, 2009). Os parafusos são colocados na placa através das incisões iniciais ou através de incisões adicionais feitas sobre os orifícios da placa. As abordagens com recurso a *MIPPO* permitem a inserção segura da placa sem dano preponderante às estruturas neuro-vasculares (Pozzi & Lewis, 2009). A *MIPPO* é considerada por alguns autores uma técnica de mínima manipulação do foco de fratura com preservação do suprimento vascular e consequentemente melhor e mais rápida cicatrização óssea, apresentando uma menor taxa de hemorragias e complicações pós-cirúrgicas (Coris *et al.*, 2018; Khalifa *et al.*, 2019)



Figura 16 – Osteossíntese minimamente invasiva com recurso a placa. Adaptado de: Hudson *et al.*, (2009).

2.4.3.5.Fixação esquelética externa

O objetivo da redução fechada é atingir o alinhamento anatómico do osso, com ênfase em evitar deformidades rotacionais e angulares dos segmentos ósseos (além da perda de comprimento), e menor preocupação na total redução e contacto entre as superfícies dos segmentos da fratura. As projeções radiográficas ortogonais do osso permitem ao cirurgião determinar se as superfícies articulares estão alinhadas entre si e se o alinhamento rotacional está correto (Fossum, 2013).

A fixação esquelética externa tem sido utilizada para gerir fraturas distais de rádio em raças miniatura, com uma incidência de complicações que varia entre 4% a 50% (Johnson *et al.*, 1989; Waters *et al.*, 1993; Eger, 2008; Piras *et al.*, 2011).

A fixação externa é adaptável à maioria das fraturas do rádio e/ou ulna sendo particularmente indicada em fraturas abertas, cominutivas graves, de alta energia com graves danos de tecidos moles envolventes, de união atrasada, de não união e osteotomias corretivas (Piermattei *et al.*, 2006).

Há vários fatores a considerar que podem influenciar a rigidez de uma montagem sendo estes o diâmetro da cavilha, o número de cavilhas por fragmento, o *design* da cavilha (lisa ou de rosca), proximidade da cavilha ao foco de fratura (quanto mais próximo melhor, mas sem invadir o foco), proximidade das cavilhas entre si (quanto maior a distância entre cavilhas

num fragmento, melhor), diâmetro das barras, número e tipo de coaptadores (rótulas) utilizados e tipo de montagem.

2.4.3.5.1. Cavilhas

Na maioria dos casos, as cavilhas são inseridas no bordo medial ou crânio-medial do rádio porque nesta localização há menor recobrimento do osso por tecidos moles, o que permite menor dano nestes tecidos durante a instalação do aparelho e durante a sua permanência no segmento esquelético (Piermattei *et al.* 2006).

As cavilhas percutâneas de fixação são instaladas através do osso e depois unidas umas às outras externamente através de barras conectoras ou tubos de metacrilato. Dependendo do tipo de aparelho de fixação montado, as cavilhas podem passar pela pele e por ambas as corticais ósseas, não atravessando a pele do lado oposto (hemifixação), ou avançar e atravessar a pele do lado oposto aquando da construção de uma montagem bilateral (transfixação) (Fossum, 2013). A conceção e composição das cavilhas de fixação têm evoluído no sentido de manter uma boa qualidade da interface entre a mesma e o osso, sendo as cavilhas mais modernas em medicina veterinária feitas de aço inoxidável de classe médica (Kraus *et al.*, 2003).

As cavilhas devem resistir à flexão para proteger a interface cavilha-osso, sendo que, atualmente, as cavilhas podem ser lisas ou roscadas (Figura 17). As cavilhas roscadas podem ser colocadas paralelamente umas às outras e perpendicularmente aos ossos longos, o que confere um suporte mecânico superior. As cavilhas de rosca devem ter um perfil positivo, o que significa que o diâmetro externo da zona roscada é superior ao da zona lisa da cavilha, permitindo assim preservar o núcleo da mesma e aumentar a rigidez e resistência da montagem. As cavilhas hemifixantes apresentam rosca na sua ponta e as cavilhas transfixantes podem apresentar rosca no meio do seu comprimento (Kraus *et al.*, 2003). O diâmetro das cavilhas é variável consoante o local onde irão ser inseridas. Também as pontas das cavilhas podem variar como ilustrado na Figura 18.

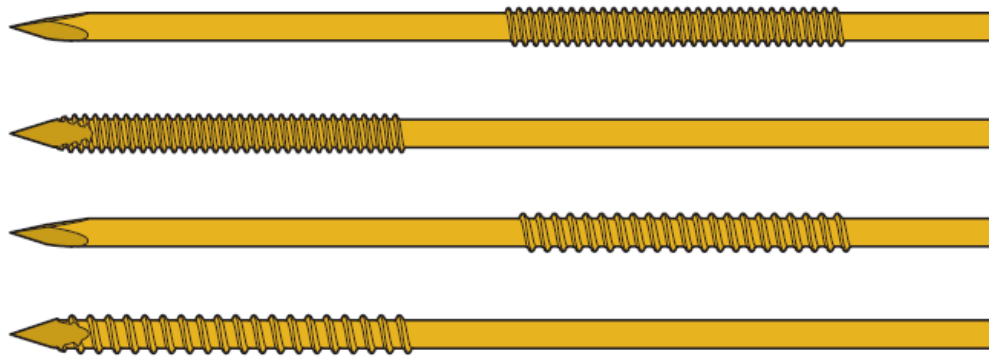


Figura 17 - Tipos de cavilhas. Adaptado de: Gonet (2006)

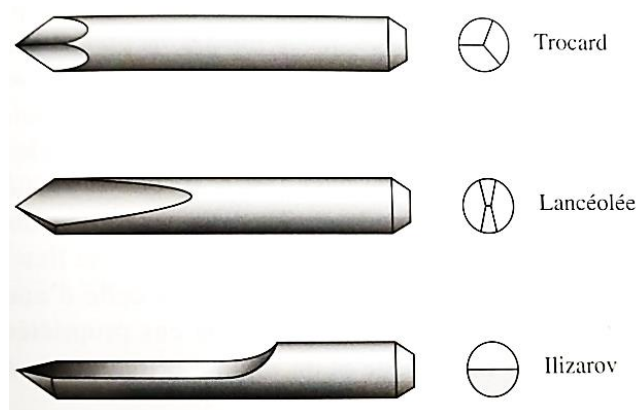


Figura 18 - Pontas de cavilha. Adaptado de: Latte & Meynard (1997)

Há várias considerações e cuidados a ter em atenção aquando do uso de cavilhas na técnica de fixação esquelética externa (Tabela 4).

Tabela 4 - Considerações e cuidados a ter com a aplicação de cavilhas na fixação esquelética externa, Latte & Meynard (1997).

Resposta do osso à elevação térmica	A área de osso necrosado aumenta com a temperatura e exposição. O limite para a necrose óssea térmica ainda não é claro, mas é estimado por alguns autores que o limite sejam 30 segundos com temperaturas de 50°C, acima do qual ocorrem lesões irreversíveis.
Efeitos da velocidade de rotação	A perfuração em alta velocidade está altamente associada à perda prematura de fixação da cavilha devido à necrose térmica. É estimado por alguns autores que a velocidade ideal com menos complicações associadas deve ser baixa e rondar os 150 a 300 rotações/minuto sendo a perfuração intermitente, ou seja, com pausas de pelo menos 30 segundos para permitir o arrefecimento da cavilha.
Influência da força de perfuração	O aumento da temperatura do osso depende da força exercida sobre a cavilha aquando da sua colocação. A velocidade de progressão e o tempo de perfuração são a função da pressão exercida. Para que a velocidade e tempo de perfuração sejam ideais, é sugerido por vários autores que seja utilizada uma pressão de 60 a 80 newton.
Interesse de uma pré-perfuração	A pré-perfuração diminui drasticamente a temperatura do osso no percurso da cavilha se esta for colocada com uma broca manual ou de baixa velocidade.
Interesse de irrigação	A irrigação das cavilhas com recurso a soro no ponto de penetração da mesma no osso parece possibilitar não atingir o limiar de necrose térmica.
Influência da forma da ponta das cavilhas	Dentro das três pontas mais comuns (ponta de trocar, ponta lanceolada e ponta de Ilizarov) autores têm reportado que a ponta de trocar e a ponta lanceolada não apresentam grandes diferenças aquando da aplicação, mas a ponta Ilizarov parece resultar numa elevação de temperatura bastante inferior.
Interesse das cavilhas rosqueadas	As cavilhas rosqueadas têm tido um crescente interesse em fixação externa por terem uma melhor ancoragem ao osso.. No entanto, devido à rosca estar em aposição ao corpo da cavilha, isto leva a maiores diâmetros de cavilha e tendo este tipo de cavilha maior uso na medicina humana acaba por haver pouca adaptação de diâmetros às necessidades dos animais de companhia.

2.4.3.5.2. Barras, rótulas e colunas acrílicas

As barras conectoras (Figura 19), são colocadas no exterior do corpo do animal e são fixas e interligadas com as cavilhas de fixação através de elementos de conexão (rótulas), fornecendo suporte às cavilhas e à fratura (Kraus *et al.*, 2003). Também é possível a adaptação de barras articuladas nestas montagens, mas para o tema em discussão, estas não serão consideradas.

Comummente as barras conectoras são feitas de aço inoxidável endurecido, embora materiais compostos de carbono e titânio estejam a ser utilizados com muito sucesso. O diâmetro é determinado pelo tamanho do osso a ser estabilizado e pelo tamanho das rótulas disponíveis. O número de barras conectoras é determinado pela configuração da montagem. Estudos mecânicos demonstraram que uma barra de apoio de 19 mm diâmetro em acrílico ou barra epoxi tem rigidez semelhante a uma barra de aço inoxidável de 3,175 mm (Gonet, 2006).



Figura 19 - Barras conectoras. Retirado do catálogo BlueVeterinary (<https://www.blueveterinary.com/index.aspx?p=H>).

Existem vários designs diferentes de rótulas, estas têm uma porção que agarra a cavilha e uma porção que agarra a barra conectora.

Estão agora disponíveis várias rótulas que acomodam cavilhas rosqueadas positivas que podem também ser acrescentadas à barra conectora sempre que necessário, ilustradas na Figura 20. Existem rótulas disponíveis em tamanhos mini, pequenos e grandes, dependendo o

diâmetro da cavilha e da barra conectora a ser utilizada. Rótulas duplas, que ligam uma barra conectora a outra, também estão disponíveis.



Figura 20 – Rótulas de Meynard. Retirado do catálogo BlueVeterinary (<https://www.blueveterinary.com/index.aspx?p=H>).

Para além das barras e rótulas de Meynard também é descrito o uso de montagens com colunas acrílicas tendo este material a vantagem considerável de ser mais leve comparativamente às barras e rótulas de aço inoxidável, titânio ou fibra de carbono (Worth, 2007; Amsellem *et al.*, 2010). Estas colunas acrílicas são preenchidas com polimetilmetacrilato e são feitas por moldagem manual ou enchimento de tubos de plástico de vários diâmetros com a mistura que endurece durante uma polimerização exotérmica de monómeros de metilmetacrilato. Este tipo de colunas tem várias vantagens como serem mais económicas, radiolúcidas e poderem permitir maior liberdade para a colocação de cavilhas. Isto pode facilitar no tratamento de feridas abertas, reduzir a morbilidade causada pela osteomielite no percurso das cavilhas, melhorar a função do membro e facilitar as fixações transarticulares. No entanto, é de considerar que a rigidez destas montagens não atinge a qualidade das montagens com as barras e rótulas de aço inoxidável e que limitam a capacidade de adaptações e correções ao longo do tratamento (Amsellem *et al.*, 2010; Montasell *et al.*, 2019).

Adicionalmente, o maneo e angulação das colunas acrílicas afeta a resistência e rigidez final da montagem sob compressão axial. À medida que o ângulo é aumentado, tanto a rigidez como a resistência final da coluna diminuem significativamente, referindo alguns estudos uma perda de rigidez até 77% (Montasell *et al.*, 2019).

2.4.3.5.3. Corredores seguros rádio/ulna

A utilização eficaz de fixadores externos depende em grande parte do conhecimento do cirurgião sobre as possibilidades e limitações da técnica e da atenção cuidadosa aos princípios da aplicação de fixadores: evitar danos nas estruturas anatómicas vitais, a necessidade de satisfazer as exigências biomecânicas da fratura específica e do doente, e a disponibilização do acesso às lesões de tecidos moles para tratamentos continuados no caso de fraturas abertas.

Com este capítulo a autora pretende demonstrar os corredores seguros estudados para aplicação de cavilhas de fixação externa tendo em conta as zonas cutâneas e as zonas anatómicas de implantação (Figura 21 e 22). O termo ‘corredor seguro’ é usado para definir a passagem das cavilhas de fixação pela pele até ao osso sem penetrar feixes neuro-vasculares ou componentes musculo-cutâneas sendo que, na prática, os feixes neuro-vasculares não costumam ser perfurados, mas sim desviados aquando da inserção da cavilha, exceto em casos em que se usam cavilhas rosqueadas (Marti & Miller, 1994; Denny & Butterworth, 2008).

A fixação de componentes musculares extensas ao osso adjacente pode causar a formação de adesões permanentes o que pode ter um efeito prejudicial na função futura do membro. Além disso, pode ocorrer afrouxamento precoce das cavilhas no seu percurso por dois motivos: atividade muscular que causa movimento adicional na cavilha e o movimento dos tecidos moles em volta da cavilha pode levar a necrose e a exsudação local o que pode resultar em infeção e/ou osteomielite do percurso da cavilha (Marti & Miller, 1994; Denny & Butterworth, 2008; Solomin, 2012).

A anatomia do membro torácico distal é complexa devido à presença de três grandes feixes neuro-vasculares, o nervo radial (ramos superficial e profundo), mediano e ulnar e as artérias braquial, radial, mediana e ulnar. Com exceção do nervo radial, todas estas estruturas correm no compartimento dos flexores. É importante mencionar que a veia cefálica corre paralelamente ao ramo superficial do nervo radial na parte distal do antebraço. As cavilhas devem ser inseridas em locais onde o envolvimento de tecido mole seja o mais fino possível e entre compartimentos musculares, e não através de músculos (AOSurgery, 2013).

Relativamente ao rádio proximal, a estrutura mais crítica é o músculo supinador com perfuração do ramo profundo do nervo radial. Deve ser planeada a passagem da cavilha distal, dependendo do comprimento do fragmento proximal, posicionando a cavilha distalmente à

inserção do supinador. No rádio distal é necessário prestar atenção à passagem do ramo superficial do nervo radial e dos músculos extensores e seus tendões (AOSurgery, 2013).

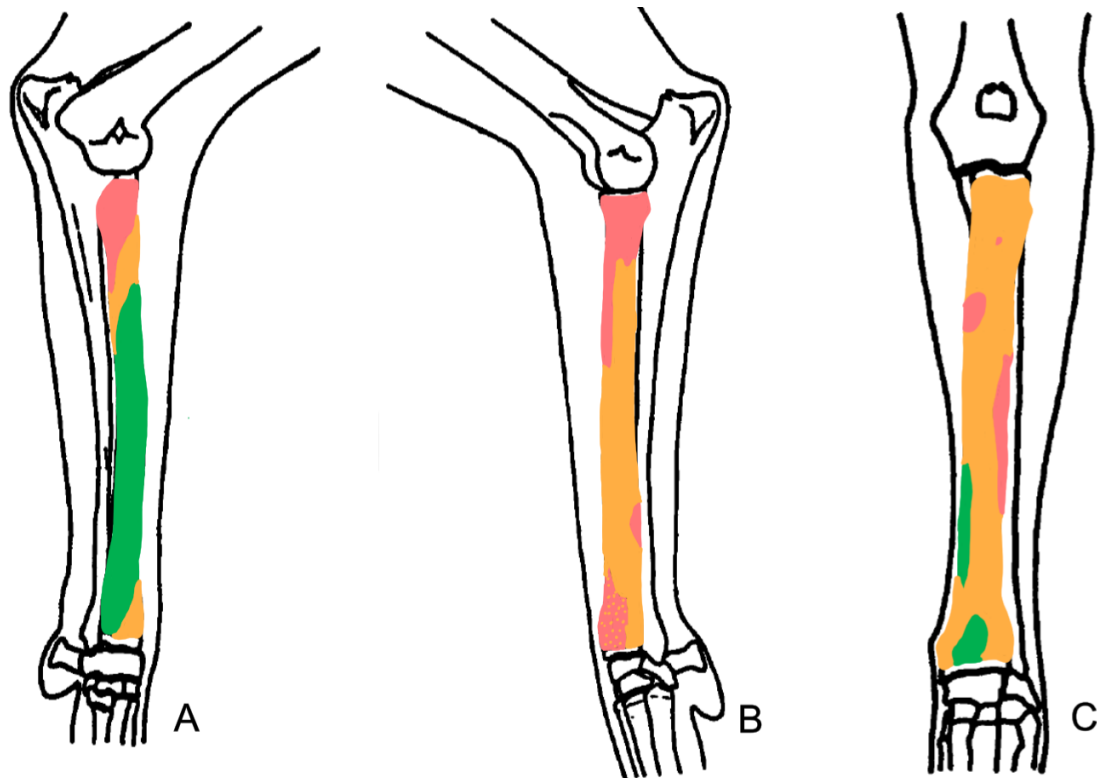
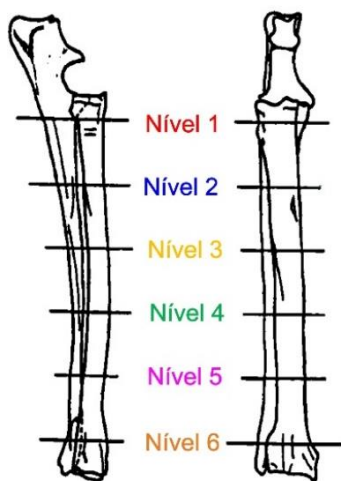


Figura 21 - Corredores no membro torácico (antebraço do cão). A - Aspetto medial; B - Aspetto lateral; C - Aspetto cranial. Legenda de cores: **Verde** Seguro; **Laranja** Não seguro; **Vermelho** Perigoso; **Laranja e vermelho** Dúbio. Adaptado de: Marti & Miller (1994)



Nível 1

Nível 2

Nível 3

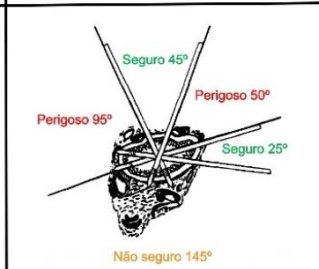
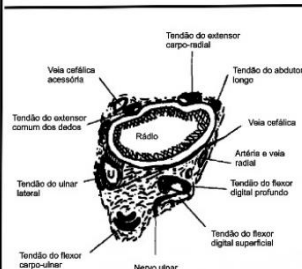
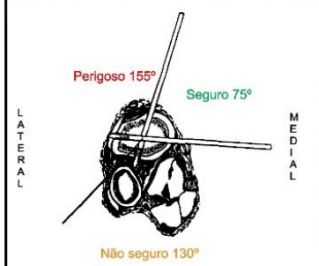
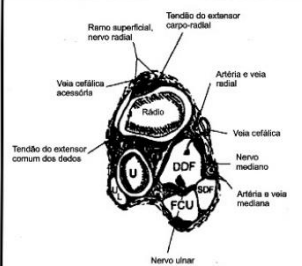
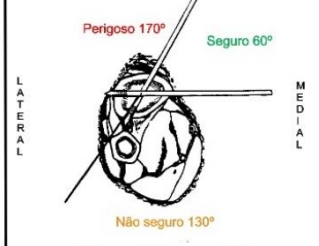
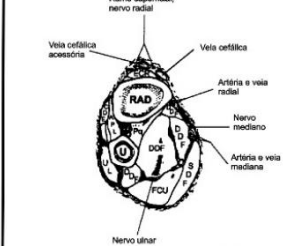
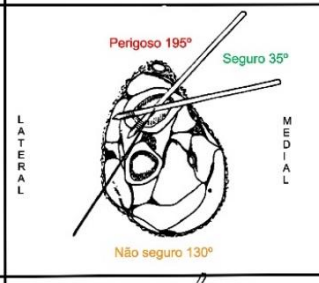
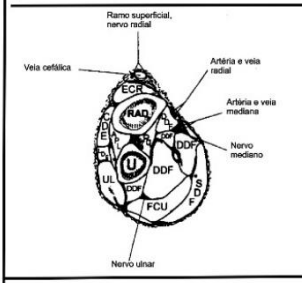
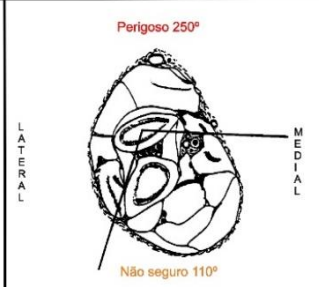
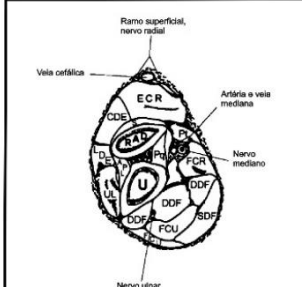
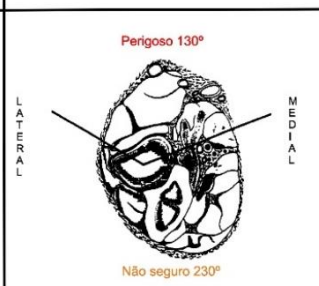
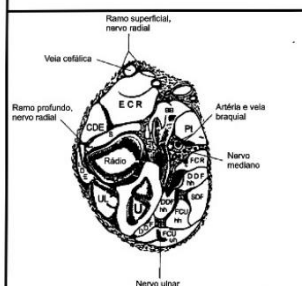
Nível 4

Nível 5

Nível 6

Anatomia

Corredores



*Figura 22 - Cortes transversais do membro torácico (antebraço) do cão com anatomia esquemática relevante. Legenda: **U** Ulna; **RAD** Rádio; **APL** Abdutor longo; **BB** Biceps braquial; **CDE** Extensor digital comum; **DDF** Flexor digital profundo; **ECR** Extensor carpo-radial; **FCR** Flexor carpo-radial; **FCU** Flexor carpo-ulnar; **LDE** Extensor digital lateral; **Pt** Pronador redondo; **Pq** Pronador quadrado; **S** Supinador; **SDF** Flexor digital superficial; **UL** Ulnar lateral; **hh** Porção umeral; **uh** Porção ulnar. Adaptado de: Marti & Miller (1994).*

De acordo com os resultados dos estudos anatómicos de Marti & Miller (1994) e considerações de Latte & Meynard (1997), a aplicação segura de um fixador no aspecto cranial do rádio não parece ser viável, uma vez que o músculo extensor carpo-radial cobre esta superfície quase na totalidade na metade proximal do rádio. A superfície cranial do rádio distal é ocupada pelo tendão do músculo extensor do carpo radial, do músculo abdutor longo e o tendão do músculo extensor comum dos dedos. A interferência com estes tendões pode causar desconforto, rigidez articular e diminuir a utilização do membro. Assim, no rádio canino, a utilização de aparelho de fixação unilateral biplanar (Ib) é limitada a uma área diminuída. Parece não ser viável a inserção de duas cavilhas em 90° uma à outra no rádio sem entrar numa área perigosa. As configurações bilaterais (II) por recorrer a cavilhas transfixantes podem interferir com os corredores perigosos no aspecto lateral do membro torácico distal.

Em adição a estas considerações, o fulcral aquando da montagem de um aparelho de fixação externa é garantir que não se danifique qualquer estrutura anatómica vital e isto pode ser conseguido através do conhecimento adequado da anatomia regional e limitando a inserção de cavilhas a áreas com cobertura mínima de tecidos moles (Marti & Miller, 1994; Latte & Meynard, 1997; Denny & Butterworth, 2008; Solomin, 2012).

2.4.3.5.4. Tipos de montagens de fixadores esqueléticos externos

Existem várias classificações de montagens utilizadas (as quais podem atingir um elevado grau de complexidade) mas, para o efeito desta dissertação, será referida a classificação compilada por Gemmil & Clements (2016), sendo assim feita uma divisão em cinco configurações de montagem.

As montagens têm uma relação proporcionalmente direta entre a sua complexidade e a sua rigidez. As montagens mais simples são configurações de hemifixação denominadas tipo I ou unilaterais podendo estar em um ou dois planos. Este tipo de montagens está dividido em tipo Ia (uniplanares) e tipo Ib (biplanares) (Figura 23) (Roe, 1992; Gemmill & Clements, 2016).

Uma configuração do tipo 1b proporciona um aumento moderado da rigidez axial compressiva, torsional e mediolateral em comparação à configuração do tipo Ia, mas uma vez

que tem uma barra conectora adicional e cavilhas no plano crâniocaudal, tem um grande aumento da rigidez no plano dessa barra adicional. A rigidez de uma moldura de tipo 1b pode ser aumentada adicionando uma ou mais barras conectoras diagonais entre as duas molduras unilaterais (Gemmil & Clements, 2016).

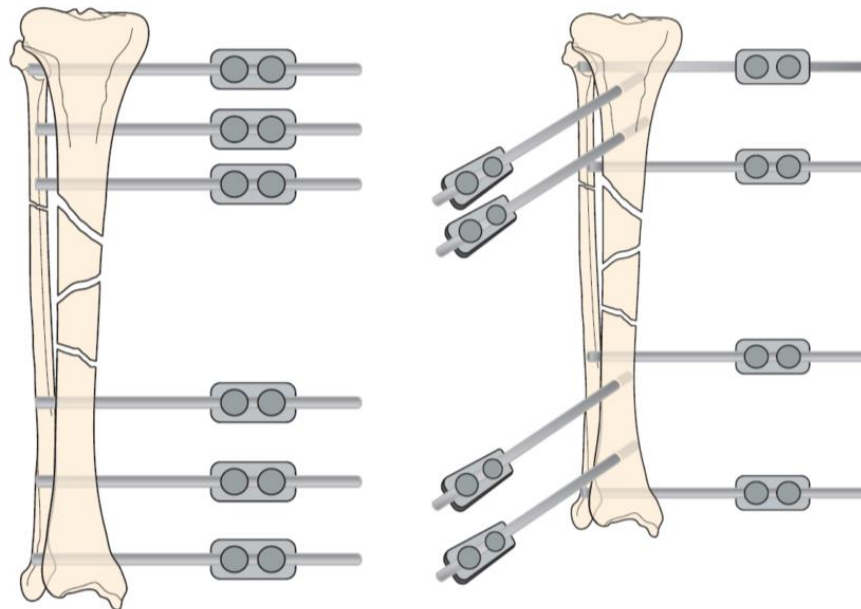


Figura 23 - Diagrama de montagens tipo Ia (à esquerda) e tipo Ib (à direita). Adaptado de: Gemmill & Clements (2016)

Relativamente à técnica cirúrgica de aplicação do fixador esquelético externo tipo Ia em fraturas diafisárias do rádio (Figura 24), esta deve ser feita através de incisões crâniomediais, colocando a cavilha mais proximal e a mais distal paralelas às superfícies articulares adjacentes. A marcação das articulações pode ser feita com recurso a uma agulha de 25 gauge, se necessário. De seguida a fratura deve ser reduzida manualmente e mantida nesta redução enquanto se fixa a barra conectora às cavilhas distal e proximal. Deve ser verificado alinhamento e eficácia da redução da fratura e devem ser adicionadas mais cavilhas conforme seja necessário. (Gemmil & Clements, 2016)

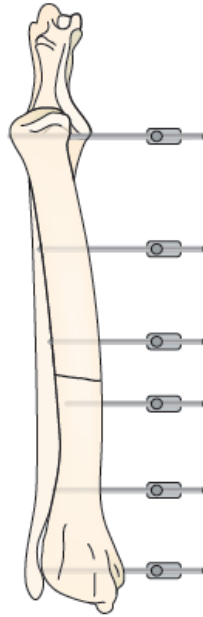


Figura 24 - Configuração Ia de fixação esquelética externa no rádio. Adaptado de: Gemmill & Clements (2016)

Na fixação com recurso à configuração tipo Ib (Figura 25), as cavilhas mais proximal e mais distal devem ser colocadas de crânio-medial e de crânio-lateral (mantendo o princípio de que no mínimo deverão estar duas cavilhas por fragmento ósseo). A fratura será reduzida manualmente aplicando depois a barra conectoras e reavaliando a redução e alinhamento e adicionando mais cavilhas conforme seja necessário. Nesta configuração é possível adicionar duas barras conectoras adicionais na diagonal desde a cavilha mais proximal até à cavilha mais distal para aumentar a rigidez da montagem (Gemmil & Clements, 2016).

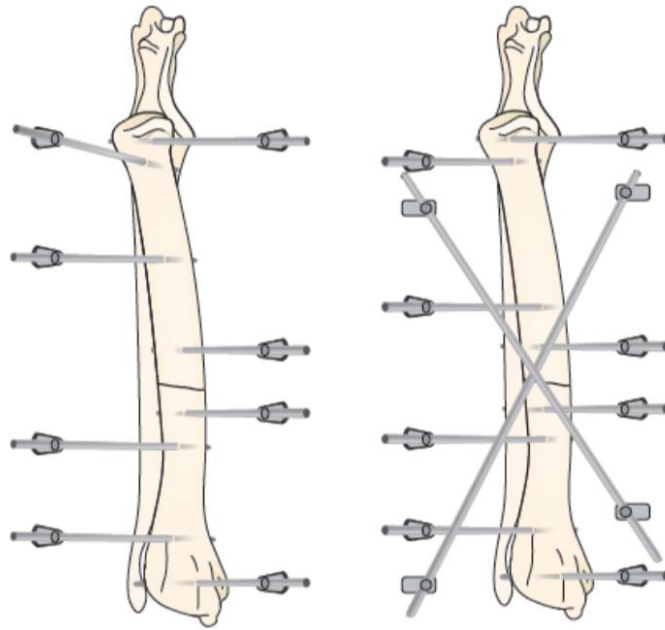


Figura 25 - Configuração Ib de fixação esquelética externa no rádio. Adaptado de: Gemmill & Clements (2016)

As montagens de transfixação são denominadas tipo II ou bilaterais (Figura 26). Estas montagens podem ser divididas em dois subtipos de configurações, a tipo IIa se todas as cavilhas forem transfixantes, e a tipo IIb (tipo II modificada) se houver apenas uma cavilha transfixante em cada um dos fragmentos principais e as restantes cavilhas forem hemifixantes. Quanto mais cavilhas transfixantes forem utilizadas maior será a rigidez em compressão, torção e flexão da montagem. No entanto, a configuração IIb está limitada a cavilhas e barras conectoras no plano mediolateral o que, comparativamente a uma montagem tipo Ib, a torna menos resistente à flexão no plano craniocaudal (Roe, 1992; Gemmil & Clements, 2016).

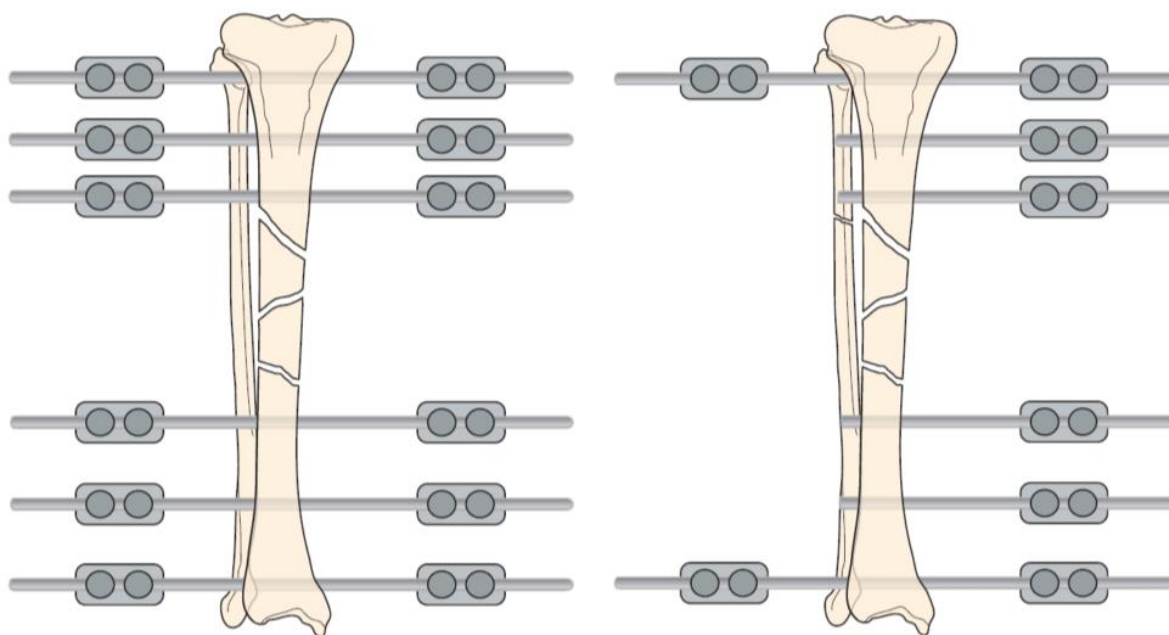


Figura 26 - Diagrama de montagem tipo IIa (à esquerda) e tipo IIb (à direita). Adaptado de: Gemmill & Clements (2016)

Relativamente à técnica cirúrgica de aplicação do fixador esquelético externo tipo II em fraturas diafisárias do rádio, devem ser inseridas as cavilhas mais proximal e mais distal. Deve ser tido em consideração que se for no tipo IIa todas as cavilhas serão transfixantes e se for no tipo IIb apenas as cavilhas mais distal e mais proximal são transfixantes, as restantes são hemifixantes (Figura 27). A fratura é então reduzida manualmente e são colocadas as barras conectoras. Deve ser feito a avaliação da redução e alinhamento e adicionadas as restantes cavilhas conforme seja necessário.

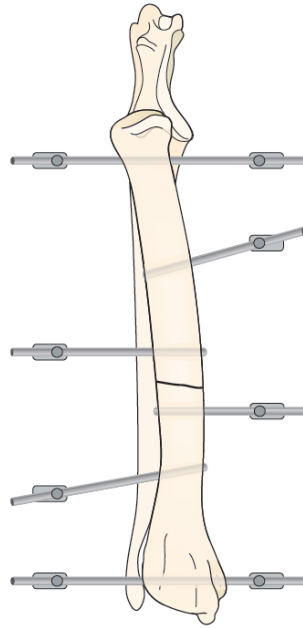


Figura 27 - Configuração tipo IIb de fixação esquelética externa do rádio. Adaptado de: Gemmill & Clements (2016)

As montagens tipo III (bilaterais e biplanares) (Figura 28), recorrem quer a cavilhas hemifixantes como transfixantes. Apresentam uma boa resistência em termos de compressão axial e torção. As configurações tipo III são pouco utilizadas uma vez que a sua rigidez pode impedir micromovimentos axiais benéficos no local de fratura que contribuiriam para uma cicatrização óssea mais célere (Roe, 1992; Gemmil & Clements, 2016).

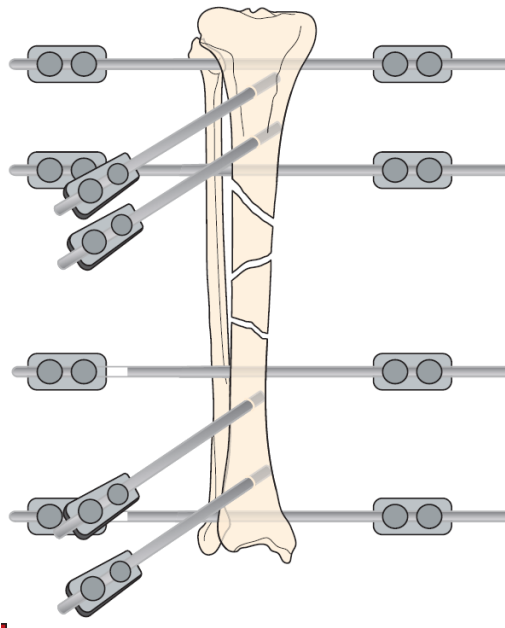


Figura 28 - Diagrama de montagem tipo III ou bilateral, biplanar. Adaptado de: Gemmil & Clements (2016)

2.4.3.5.5. Vantagens e desvantagens do uso de fixador esquelético externo

Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do uso de fixador esquelético externo, Gemmil & Clements (2016).

Vantagens	Desvantagens
Permite a redução e fixação fechada (invasão mínima);	Osteomielite ou infeção do percurso da cavilha
Pode ser usado como um dispositivo de distração/alinhamento	Inadequado para alguns doentes devido ao comportamento
Permite afinar a rigidez da estrutura durante o tratamento	Inadequado para alguns tutores devido aos cuidados frequentes com o aparelho
Permite correções de alinhamento durante o tratamento	Inadequado para algumas fraturas
Permite a compressão e distração do foco de fratura durante o tratamento	Acompanhamento mais intenso com monitorização constante do dispositivo
Geralmente um método rápido para doentes de alto risco anestésico	Complexidade relativa da montagem de alguns dispositivos, principalmente fixadores com anéis (Ilizarov)
Facilmente adaptável a todos os tamanhos de doentes	O dispositivo, estando parcialmente no exterior do corpo, é mais vulnerável a impactos acidentais
Muito bem tolerado por gatos	
Não necessita de material extenso e caro para a maioria das aplicações	
Uma das melhores opções para fraturas abertas	
Melhor opção para fraturas muito contaminadas	
Uma modalidade de tratamento muito versátil que se adapta a doenças complexas em ortopedia veterinária	

2.4.3.5.6. Possíveis complicações do uso de fixador esquelético externo

Ao contrário das placas para osso, que são colocadas entre o osso e os tecidos moles, as cavilhas de fixação dos aparelhos esqueléticos externos atravessam estes tecidos. Isto pode resultar em complicações devido a aderências, osteomielite ou infecção no percurso da cavilha, afrouxamento precoce da cavilha e dor que pode levar a uma diminuição do apoio do membro. Como resultado, esta morbidade pode ser superior no uso do fixador esquelético externo do que no uso de fixação interna. Estas complicações poderão ocorrer mais frequentemente se a cavilha passar por corredores não-seguros, sendo essencial conhecer as metodologias de aplicação para que a técnica seja bem-sucedida (Fossum, 2013).

De acordo com Solomin, 2012, Fossum, 2013 e Gemmil & Clements, 2016 no pós-cirúrgico das fraturas corrigidas por esta técnica é tipicamente visível um certo nível de reação nos locais de inserção das cavilhas, que pode consistir em eritema e calor cutâneo, ligeira exsudação serosa ou sero-sanguinolenta do local da cavilha, o que costuma ser autolimitante num prazo de 3 dias. Há, no entanto, algumas alterações para as quais se deve ter atenção, pois podem ser indicativas de necrose excessiva aquando da inserção das cavilhas ou de cavilhas mal ancoradas, sendo estas:

- Reação na interface cavilha/pele: alterações normais como resposta à “agressão” cirúrgica que inclui alterações na cor da pele, aumento de calor cutâneo e exsudação serosa ou sero-sanguinolenta ligeira da interface. Estas alterações resolvem-se em cerca de 3 dias;
- Colonização da interface cavilha/pele: Inclui eritema, calor, exsudação serosa ou sero-sanguinolenta mais intensa, possivelmente dor e culturas microbianas positivas (se executarmos estes testes);
- Infecção em redor da cavilha: Inclui todas as alterações descritas nas duas situações anteriores com a adição de exsudado purulento e perda de ancoragem da cavilha. O tratamento requer imperativamente a remoção desta cavilha.

As cavilhas que cruzam maior espessura de tecidos moles estão em maior risco de infecção devido ao trauma criado por fricção nestes tecidos e maior possibilidade de transporte de bactérias para o interior do corpo. Todas as cavilhas suspeitas de osteomielite e/ou afrouxamento devem ser imediatamente removidas (Solomin, 2012; Fossum, 2013; Gemmil & Clements, 2016).

2.4.3.5.7. Cuidados pós-cirúrgicos e prognóstico para correções com recurso a fixação esquelética externa

Um maneio adequado após a correção cirúrgica com recurso a fixação esquelética externa reduz as complicações relacionadas com o fixador e a morbilidade do doente. Para tal deve ser feita uma bandagem de gaze entre a pele e as rótulas e barras conectoras. A gaze esterilizada não aderente deve ser colocada sobre quaisquer feridas abertas para evitar a contaminação. Se existir uma ferida aberta, esta deve ser tratada de forma apropriada numa base diária (Beltsios *et al.*, 2009).

O tratamento de drenagem do percurso de cavilhas durante o processo de cicatrização continua a ser controverso. Alguns cirurgiões preferem deixar formar uma crosta seca e protetora, enquanto outros recomendam a limpeza diária com soluções antissépticas diluídas (clorexidina, povidona-iodo) (Moroni *et al.* 2001). A antibioterapia pode ser necessária se a drenagem se tornar profusa. Isto pode ocorrer geralmente entre 1 a 3 meses pós-operatório (mas normalmente o fixador não é mantido por tanto tempo), à medida que as cavilhas transfixantes se soltam (Beltsios *et al.*, 2009).

O animal deve ser reavaliado com intervalos curtos de tempo e as rótulas devem ser ajustadas e apertadas. As radiografias devem ser feitas mensalmente para avaliar a cicatrização óssea (Beltsios *et al.*, 2009).

Estudos recentes têm sugerido que montagens de baixa rigidez (como tipo Ia ou Ib com ou sem cavilha intramedular) podem ser adequados para cicatrização óssea em animais de raças pequenas ou médias (Beltsios *et al.*, 2009).

II. Material e métodos

A seguir são apresentados quatro casos clínicos de tratamento cirúrgico de fraturas do terço distal da diáfise do rádio e ulna, que o autor acompanhou durante o estágio. A justificação para a seleção destes casos é o facto de constituírem uma série representativa dos casos mais frequentes em raças miniatura, e por demonstrarem uma razoável gama de complicações cuja possibilidade de ocorrência deveremos ter em conta quando utilizamos este método.

As informações dos casos seleccionados foram obtidas das seguintes fontes: as clínicas que referenciaram os casos, questionário aos tutores dos animais, exame físico geral e ortopédico, dos médicos envolvidos no tratamento cirúrgico e pela consulta das fichas clínicas do animal contidas na base de dados do Centro de Cirurgia Veterinária de Loures (CCVL).

Os doentes que constituem esta série de casos são todos de raça miniatura e sofreram fraturas completas de rádio e cúbito como consequência de queda de baixa altura (60 cm a 1,5 metros), frequentemente estas quedas ocorrem quando estão a ser transportados nos braços dos seus tutores. A receção em urgência destes doentes foi sempre efetuada pelas clínicas referentes, pelo que não temos observações pertinentes a este período agudo (mucosas, temperatura, etc.). As clínicas referentes executaram pré-operatoriamente as colheitas sanguíneas para recolha de dados hematológicos mínimos pré-anestésicos: hemograma, uremia, creatinémia, transaminases hepáticas e glicemia. Nos casos em que a dispneia estivesse presente seria executado o controlo radiográfico de tórax, o que não sucedeu em nenhum dos casos aqui relatados.

O material cirúrgico utilizado para a osteossíntese destes casos consistiu em: cavilhas lisas com ponta de trocar com diâmetros entre 1 mm e 1,5 mm; barras para conexão das cavilhas com 2 mm de diâmetro; rótulas de *Meynard* para fixar as cavilhas às barras; berbequim elétrico; seringa de 60 ml com agulha acoplada de 21 G para irrigação contínua da cavilha durante a sua inserção; chave de bocas para apertar os coaptadores; alicates cirúrgicos para manusear as cavilhas e as barras; alicate de corte para cavilhas e barras.

1. Casos clínicos

1.1.Caso clínico 1

- **Anamnese e história clínica:** Yorkshire terrier, fêmea com 1 ano de idade, 2.15 kg de peso corporal e apresentando fratura do rádio e ulna distais direitos. A causa das fraturas foi queda da cama dos tutores (altura estimada de 60 cm);
- **Exame de estado geral:** A doente apresentava atitude e estado mental normais. A respiração tinha características normais com uma frequência de 40 rpm. A auscultação cardiopulmonar não detetou anomalias. O pulso apresentava características normais com uma frequência de 148 bpm. A temperatura retal foi de 38,9°C. As mucosas encontravam-se normais com TRC inferior a dois segundos. O estado de hidratação foi avaliado como normal. A condição corporal foi classificada como normal. Os gânglios linfáticos palpáveis (submandibular, poplíteo e inguinais) encontravam-se com dimensões normais. A palpação abdominal não revelou alterações;
- **Exame dirigido do aparelho locomotor:** Apresentava tumefação da extremidade do membro torácico direito com desvio *valgus* do carpo e rotação externa. Ausência completa de apoio deste membro. Sem mais alterações dignas de registo nos restantes membros e coluna vertebral;
- **Lista de problemas:** Tumefação da extremidade do membro torácico direito com desvio *valgus* do carpo e rotação externa com ausência completa de apoio do membro torácico direito;
- **Plano:** Verificar as análises hematológicas e o exame radiológico do rádio e ulna direitos previamente efetuados na clínica referente;
- **Exames complementares de diagnóstico:** Este doente não apresentava alterações hematológicas tendo sido efetuadas as seguintes análises hematológicas previamente na clínica referente: hemograma, uremia, creatinémia, transaminases hepáticas e glicemia. O exame radiológico (Figura 29) efetuado na data do traumatismo demonstrava fratura simples transversa do rádio e ulna distais direitos, com desalinhamento em *recurvatum*, ligeiro *valgus* e rotação externa;



Figura 29 – Exame radiológico efetuado no dia do traumatismo. Fratura do rádio e ulna distais direitos: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- **Diagnóstico:** Fratura simples transversa do terço distal diafisário do rádio e ulna direitos;
- **Protocolo anestésico:** Pré-medicação utilizando metadona (0,30 mg/kg) e acepromazina (0,03 mg/kg) intramuscular. De seguida foi instalado um cateter venoso periférico (24G) na veia cefálica para administração de fluidoterapia de manutenção consistindo em lactato de ringer (6 ml/kg/h), e para administração de anestésicos para indução, permitindo a intubação endotraqueal do animal (tubo de 5 mm), consistindo em diazepam (0,30 mg/kg) e cetamina (2,65 mg/kg) intravascular. Antes da indução é efetuada tricotomia por meio de lâmina de tosquia número 40 desde o nível dos metacarpos até ao terço proximal do úmero, em redor de todo o membro anterior. Após a indução procedeu-se à intubação endotraqueal e conectou-se este tubo a um circuito anestésico circular, iniciando-se ventilação mecânica assistida regulada pela pressão inspiratória máxima de 10 cmH₂O e frequência respiratória de seis ventilações por minuto com pressão expiratória final positiva de 1 cmH₂O. Seguidamente, foi executado bloqueio anestésico utilizando bupivacaína 0,5% (2 mg/kg) dos seguintes nervos periféricos: radial, ulnar, mediano e musculocutâneo, de acordo com a técnica *RUMM* descrita por Lemke & Creighton (2008), utilizando electroestimulador para melhor localização dos nervos pretendidos. A manutenção anestésica foi executada com isofluorano, com o objetivo de manter a concentração alveolar próximo dos 1,2%.

- **Tratamento cirúrgico:** Redução fechada com recurso a fixador esquelético externo tipo II para correção dos desalinhamentos e estabilização definitiva da fratura. A sequência cirúrgica para a instalação do fixador tipo II inicia-se pela inserção de duas cavilhas transfixantes: a cavilha mais proximal (de 1,2 mm de diâmetro), seguida pela mais distal (de 1,5 mm de diâmetro), correspondentemente, as cavilhas da montagem que ficarão mais próximas da articulação do cotovelo (úmero-rádio-ulnar) e do pulso (radiocárpica). É importante referir que o quinto mais proximal do rádio não é um corredor seguro para inserção cega de cavilhas no plano mediolateral devido à localização da artéria, veia e nervo medianos. Seguidamente são conectadas as duas barras do fixador (de 2 mm de diâmetro) e executadas as manobras de distração dos fragmentos seguida de correção de eventuais desalinhamentos no plano sagital e coronal, e também possíveis desalinhamentos rotacionais. O foco principal é em assegurar o alinhamento músculo-articular do segmento esquelético e que se atinja uma área de contato entre topos ósseos igual ou superior a 50% da área de contato total possível. Uma vez alcançado o alinhamento, são inseridas as restantes cavilhas (duas transfixantes lisas no fragmento proximal e no fragmento distal uma hemifixante lisa e uma transfixante lisa, de 1,2 mm de diâmetro), para maior estabilidade, e solidarizadas às respetivas barras por meio de rótulas (1,2 mm – 2 mm e 1,5 mm – 2 mm). O exame radiológico confirma o alinhamento e o correto posicionamento das cavilhas (Figura 30). Após a cirurgia é efetuada uma bandagem que consiste em enrolar gaze em redor de cada cavilha por forma a conter o edema e a absorver eventual exsudação nestes locais.

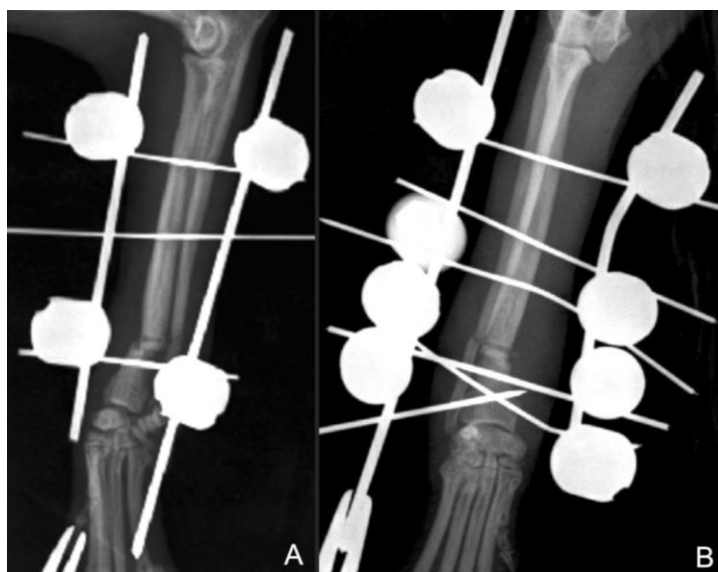


Figura 30 - Exame radiológico efetuado durante o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- Evolução clínica:** A doente não fez internamento tendo ido para o seu domicílio no dia da cirurgia com prescrição de etoricoxib 1 mg/kg oral com intervalos de 24 horas por 7 dias. A doente foi seguida pelo seu médico veterinário assistente para revisão inicial do aparelho e execução de exames radiológicos de controlo. O tutor relatou que a doente começou a apoiar o membro intervencionado nove dias após a cirurgia, e começou a claudicar intensamente perto das quatro semanas pós-operatórias, não tendo nessa altura recorrido ao seu médico veterinário assistente para investigar as causas desta claudicação. Foi executada a remoção do aparelho seis semanas após a cirurgia. Na altura da remoção do aparelho apresentava osteomielite no percurso da cavilha mais proximal o que causou uma perda de tecido ósseo muito extensa em redor da localização dessa cavilha. A imagem radiográfica após a remoção do aparelho (Figura 31) demonstra sinais de cicatrização óssea secundária nesse local. Presume-se que a região tinha cartilagem e fibrocartilagem pois não ocorreu desalinhamento nos planos sagital e coronal. O ligamento interósseo do antebraço e restauração da continuidade da ulna (havendo sinais radiológicos compatíveis com sinostose rádio ulnar proximal) provavelmente contribuíram para esta ausência de desalinhamento. As fraturas estavam plenamente consolidadas apresentando um robusto calo ósseo mineralizado. A complicação foi tratada com bandagem tipo Robert-Jones modificada por 15 dias, e pela administração empírica de clindamicina

(11mg/kg) de 12 em 12 horas durante 8 dias consecutivos, tendo a doente retomado gradualmente a utilização do membro afetado nas quatro semanas seguintes, com retorno completo da função locomotora neste membro, conforme entrevista telefônica com o tutor (não foi possível obter controlo radiológico após esta fase por motivos financeiros do mesmo);



Figura 31 – Exame radiológico na data da remoção do fixador, é visível osteomielite no percurso da cavilha mais proximal e perda de tecido ósseo extensa no mesmo local. A- Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar. Imagem cedida por CCVL

- **Prognóstico:** Favorável.

1.2.Caso clínico 2

- **Anamnese e história clínica:** Canideo cruzado de pinscher, macho com 4 meses de idade e 2,6 kg de peso corporal, apresentando fratura de rádio e ulna distais direitos. A causa das fraturas foi queda dos braços do tutor (altura estimada de 1 metro);
- **Exame de estado geral:** O doente apresentava atitude e estado mental normais. A respiração tinha características normais com uma frequência de 30 rpm. A auscultação cardiopulmonar não detetou anomalias. O pulso apresentava características normais com uma frequência de 136 bpm. A temperatura retal foi de 38,5°C. As mucosas encontravam-se normais com TRC inferior a dois segundos. O estado de hidratação foi avaliado como normal. A condição corporal foi classificada como normal. Os gânglios

linfáticos palpáveis (submandibular, poplíteo e inguinais) encontravam-se com dimensões normais. A palpação abdominal não revelou alterações;

- **Exame dirigido do aparelho locomotor:** Apresentava tumefação no membro torácico direito com desvio *valgus* do carpo e rotação externa e rotação externa. Ausência completa de apoio deste membro. Sem mais alterações dignas de registo nos restantes membros e coluna vertebral;
- **Lista de problemas:** Tumefação da extremidade do membro torácico direito com desvio *valgus* do carpo e rotação externa com ausência completa de apoio do membro;
- **Plano:** Verificar as análises hematológicas e o exame radiológico do rádio e ulna direitos previamente efetuados na clínica referente;
- **Exames complementares de diagnóstico:** Este doente não apresentava alterações hematológicas tendo sido efetuadas as seguintes análises hematológicas previamente na clínica referente: hemograma, uremia, creatinémia, transaminases hepáticas e glicemia. O exame radiológico efetuado na data do traumatismo (Figura 32) demonstra fratura simples transversa do rádio e ulna distais direitos, com desalinhamento em *recurvatum*, ligeiro *valgus* e rotação externa;



Figura 32 - Exame radiológico efetuado no dia do traumatismo. Fratura do rádio e ulna distais direitos: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- **Diagnóstico:** Fratura transversa na diáfise com um pequeno fragmento na fratura do rádio;

- **Protocolo anestésico:** Pré-medicação utilizando metadona (0,3 mg/kg) e acepromazina (0,03 mg/kg) intramuscular. De seguida foi instalado um cateter venoso periférico (22G) na veia cefálica para administração de fluidoterapia de manutenção consistindo em lactato de ringer (6 ml/kg/h), e para administração de anestésicos para indução, permitindo a intubação endotraqueal do animal (tubo de 5 mm), consistindo em diazepam (0,3 mg/kg) e cetamina (2,65 mg/kg) intravascular. Antes da indução é efetuada tricotomia por meio de lâmina de tosquia número 40 desde o nível dos metacarpos até ao terço proximal do úmero, em redor de todo o membro anterior. Após a indução procedeu-se à intubação endotraqueal e conectou-se este tubo a um circuito anestésico circular, iniciando-se ventilação mecânica assistida regulada pela pressão inspiratória máxima de 10 cmH₂O e frequência respiratória de seis ventilações por minuto com pressão expiratória final positiva de 1 cmH₂O. Seguidamente, foi executado bloqueio anestésico utilizando bupivacaína 0,5% (2 mg/kg) dos seguintes nervos periféricos: radial, ulnar, mediano e musculocutâneo, de acordo com a técnica *RUMM* descrita por Lemke & Creighton (2008), utilizando electroestimulador para melhor localização dos nervos pretendidos. A manutenção anestésica foi executada com isoflurano, com o objetivo de manter a concentração alveolar próximo dos 1,2%.
- **Tratamento cirúrgico:** Redução fechada com recurso a fixador esquelético externo tipo II para correção dos desalinhamentos e estabilização definitiva da fratura. A sequência cirúrgica para a instalação do fixador tipo II inicia-se pela inserção de duas cavilhas transfixantes: a cavilha mais proximal (de 1,2 mm de diâmetro), seguida pela mais distal (de 1,5 mm de diâmetro), correspondentemente, as cavilhas da montagem que ficarão mais próximas da articulação do cotovelo (úmero-rádio-ulnar) e do pulso (radiocárpica). É importante referir que o quinto mais proximal do rádio não é um corredor seguro para inserção cega de cavilhas no plano mediolateral devido à localização da artéria, veia e nervo medianos. Nesta localização podem ser inseridas cavilhas hemi-fixantes inseridas a partir da face lateral do rádio e de modo que a ponta de trocar não ultrapasse em mais do que 2-4 mm (dependendo da anatomia individual) a face medial do rádio. Seguidamente são conectadas as duas barras do fixador (de 2 mm de diâmetro) e executadas as manobras de distração dos fragmentos seguida de correção de eventuais desalinhamentos no plano sagital e coronal, e também possíveis desalinhamentos rotacionais. O foco principal é em assegurar o alinhamento músculo-articular do segmento esquelético e que se atinja uma área de contato entre topos ósseos

igual ou superior a 50% da área de contato total possível. Uma vez alcançado o alinhamento, são inseridas as restantes cavilhas transfixantes lisas (duas em cada fragmento principal, no fragmento proximal a segunda cavilha é de 1,5 mm e as restantes de 1,2 mm de diâmetro), para maior estabilidade, e solidarizadas às respectivas barras por meio de rótulas (1,2 mm – 2 mm e 1,5 mm – 2 mm. O exame radiológico confirma o alinhamento e o correto posicionamento das cavilhas (Figura 33). Após a cirurgia é efetuada uma bandagem que consiste em enrolar gaze em redor de cada cavilha por forma a conter o edema e a absorver eventual exsudação nestes locais.

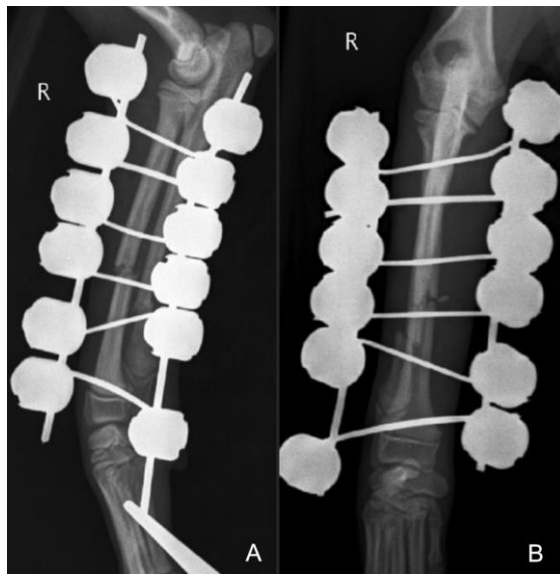


Figura 33 - Exame radiológico efetuado durante o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II: A – Projção mediolateral, B: Projção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL.

- **Evolução clínica:** A doente não fez internamento tendo ido para o seu domicílio no dia da cirurgia com prescrição de etoricoxib 1 mg/kg oral com intervalos de 24 horas por 7 dias. O doente foi seguido pelo seu médico veterinário assistente para revisão inicial do aparelho e execução de exames radiológicos de controlo. Foi relatado pelo tutor uma utilização satisfatória do membro intervencionado a partir do 15º dia pós-cirúrgico e até à data da remoção do aparelho. Foi executada a remoção do aparelho quatro semanas após a cirurgia. O exame radiográfico imediatamente após a remoção do aparelho (Figura 34) demonstra fraturas plenamente consolidadas apresentando calo ósseo mineralizado. O alinhamento nos vários planos estava normal.



Figura 34 - Exame radiológico na data da remoção do fixador, são visíveis sinais de cicatrização óssea secundária e há manutenção do alinhamento. A- Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar. Imagem cedida por CCVL

- **Prognóstico:** Favorável.

1.3.Caso clínico 3

- **Anamnese e história clínica:** Spitz alemão anão, fêmea com 5 meses de idade e 1,8kg de peso corporal, apresentando fratura de rádio e ulna distais direitos. A causa das fraturas foi queda das costas do sofá (altura estimada de 80 centímetros).
- **Exame de estado geral:** A doente apresentava atitude e estado mental normais, demonstrando sinais comportamentais de stress e ansiedade. A respiração tinha características normais com uma frequência de 34 rpm. A auscultação cardiopulmonar não detetou anomalias. O pulso apresentava características normais com uma frequência de 142 bpm. A temperatura retal foi de 38,3°C. As mucosas encontravam-se normais com TRC inferior a dois segundos. O estado de hidratação foi avaliado como normal. A condição corporal foi classificada como normal. Os gânglios linfáticos palpáveis (submandibular, poplíteo e inguinais) encontravam-se com dimensões normais. A palpação abdominal não revelou alterações;
- **Exame dirigido do aparelho locomotor:** Apresentava tumefação do membro torácico direito com desvio *valgus* do carpo marcado, rotação externa e encurtamento do segmento ósseo devido à sobreposição dos topos das fraturas. Ausência completa de

apoio deste membro. Sem mais alterações dignas de registo nos restantes membros e coluna vertebral;

- **Lista de problemas:** Tumefação da extremidade do membro torácico direito com desvio *valgus* do carpo marcada, rotação externa, encurtamento do segmento ósseo e ausência completa de apoio do membro;
- **Plano:** Verificar as análises hematológicas e o exame radiológico do rádio e ulna direitos previamente efetuados na clínica referente;
- **Exames complementares de diagnóstico:** Esta doente não apresentava alterações hematológicas, exceto a glicémia, tendo sido efetuadas as seguintes análises hematológicas previamente na clínica referente: hemograma, uremia, creatinémia, transaminases hepáticas e glicemia. A glicemia cujo valor foi de 140 mg/dl, poderia corresponder ao stress da colheita. O exame radiológico efetuado na data do traumatismo demonstra fratura simples transversa do rádio e ulna distais direitos, com *valgus* marcado, rotação externa e sobreposição dos topos ósseos (Figura 35);



Figura 35 - Exame radiológico efetuado no dia do traumatismo. Fratura do rádio e ulna distais direitos: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- **Diagnóstico:** Fratura simples transversa no terço distal diafisário do rádio e ulna direitos;
- **Protocolo anestésico:** Pré-medicação utilizando metadona (0,3 mg/kg) e acepromazina (0,03 mg/kg) intramuscular. De seguida foi instalado um cateter venoso periférico (24G) na veia cefálica para administração de fluidoterapia de manutenção consistindo em

lactato de ringer (6 ml/kg/h), e para administração de anestésicos para indução, permitindo a intubação endotraqueal do animal (tubo de 5 mm), consistindo em diazepam (0,3 mg/kg) e cetamina (2,65 mg/kg) intravascular. Antes da indução é efetuada tricotomia por meio de lâmina de tosquia número 40 desde o nível dos metacarpos até ao terço proximal do úmero, em redor de todo o membro anterior. Após a indução procedeu-se à intubação endotraqueal e conectou-se este tubo a um circuito anestésico circular, iniciando-se ventilação mecânica assistida regulada pela pressão inspiratória máxima de 10 cmH₂O e frequência respiratória de seis ventilações por minuto com pressão expiratória final positiva de 1 cmH₂O. Seguidamente, foi executado bloqueio anestésico utilizando bupivacaína 0,5% (2 mg/kg) dos seguintes nervos periféricos: radial, ulnar, mediano e musculocutâneo, de acordo com a técnica *RUMM* descrita por Lemke & Creighton (2008), utilizando electroestimulador para melhor localização dos nervos pretendidos. A manutenção anestésica foi executada com isoflurano, com o objetivo de manter a concentração alveolar próximo dos 1,2%.

- **Tratamento cirúrgico:** Redução fechada com recurso a fixador esquelético externo tipo II para correção dos desalinhamentos e estabilização definitiva da fratura. A sequência cirúrgica para a instalação do fixador tipo II inicia-se pela inserção de duas cavilhas transfixantes lisas (de 1,2 mm de diâmetro): a cavilha mais proximal, seguida pela mais distal, correspondentemente, as cavilhas da montagem que ficarão mais próximas da articulação do cotovelo (úmero-rádio-ulnar) e do pulso (radiocárpica). É importante referir que o quinto mais proximal do rádio não é um corredor seguro para inserção cega de cavilhas no plano mediolateral devido à localização da artéria, veia e nervo medianos. Seguidamente são conectadas as duas barras do fixador (de 2 mm de diâmetro) e executadas as manobras de distração dos fragmentos seguida de correção de eventuais desalinhamentos no plano sagital e coronal, e também possíveis desalinhamentos rotacionais. O foco principal é em assegurar o alinhamento músculo-articular do segmento esquelético e que se atinja uma área de contato entre topos ósseos igual ou superior a 50% da área de contato total possível. Uma vez alcançado o alinhamento, são inseridas as restantes cavilhas transfixantes (duas de 1 mm no fragmento proximal e uma no fragmento distal, de 1,2 mm de diâmetro), para maior estabilidade, e solidarizadas às respetivas barras por meio de rótulas (1 mm – 2 mm e 1,2 mm – 2 mm). O exame radiológico confirma o alinhamento e o correto posicionamento das cavilhas (Figura 36). Após a cirurgia é efetuada uma bandagem que

consiste em enrolar gaze em redor de cada cavilha por forma a conter o edema e a absorver eventual exsudação nestes locais.

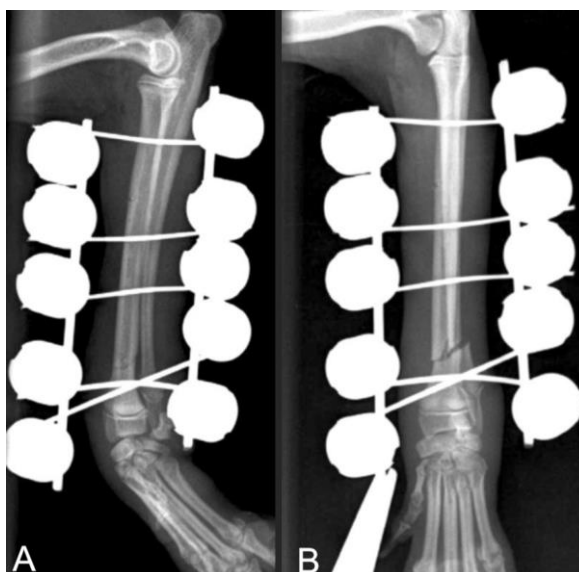


Figura 36 - Exame radiológico efetuado durante o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- **Evolução clínica:** A doente não fez internamento tendo ido para o seu domicílio no dia da cirurgia com prescrição de etoricoxib 1 mg/kg oral com intervalos de 24 horas por 7 dias. A doente foi seguida pelo seu médico veterinário assistente para revisão inicial do aparelho e execução de exames radiológicos de controlo. O tutor indicou que a doente iniciou a utilização do membro ao 10º dia pós-operatório, e que exibiu claudicação moderada a partir da quarta semana. A remoção do aparelho foi executada 40 dias após a cirurgia. Foi realizado o controlo radiológico onde eram visíveis sinais de osteomielite no percurso da cavilha mais proximal o que causou instabilidade e aumento secundário da espessura óssea nesse local (Figura 37). Esta complicação foi resolvida com a administração empírica de clindamicina (11mg/kg) de 12 em 12 horas durante 8 dias consecutivos. A doente retomou gradualmente a utilização do membro afetado nas quatro semanas seguintes, com retorno completo da função locomotora neste membro;



Figura 37 - Exame radiológico na data da remoção do fixador, visível osteomielite no percurso da cavilha mais proximal com aumento secundário da espessura óssea. A- Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar. Imagem cedida por CCVL

- **Prognóstico:** Favorável.

1.4.Caso clínico 4

- **Anamnese e história clínica:** Yorkshire Terrier, fêmea de 6 anos de idade, com 4,6 kg de peso corporal, apresentando não união atrófica do rádio e ulna distais direitos. Os tutores descreveram a ocorrência desta fratura há 8 meses atrás, tendo nessa altura recorrido a uma clínica veterinária na Alemanha, país onde residem. Foi realizado um procedimento ortopédico que os tutores não souberam especificar, o qual não deixou marcas radiográficas de implantes previamente colocados ou removidos, existindo cicatriz de cirurgia prévia compatível com o acesso cirúrgico ao rádio;
- **Exame de estado geral:** A doente apresentava atitude e estado mental normais. A respiração tinha características normais com uma frequência de 43 rpm. A auscultação cardiopulmonar não detetou anomalias. O pulso apresentava características normais com uma frequência de 151 bpm. A temperatura retal foi de 38,7°C. As mucosas encontravam-se normais com TRC inferior a dois segundos. O estado de hidratação foi avaliado como normal. A condição corporal foi classificada como normal. Os gânglios linfáticos palpáveis (submandibular, poplíteo e inguinais) encontravam-se com dimensões normais. A palpação abdominal não revelou alterações;

- **Exame dirigido do aparelho locomotor:** Apresentava diminuição do diâmetro do membro torácico direito no local da fratura e cicatrizes sobre o bordo crânio-medial do antebraço que se presume ser do acesso cirúrgico prévio. A mão e pulso apresentavam-se com desvio em *valgus*, rotação externa e encurtamento do segmento ósseo;
- **Lista de problemas:** Diminuição do diâmetro do antebraço no local de fratura; mão e pulso com desvio em *valgus*, rotação externa e encurtamento do segmento esquelético;
- **Plano:** Verificar as análises hematológicas e o exame radiológico do rádio e ulna direitos previamente efetuados na clínica referente;
- **Exames complementares de diagnóstico:** Esta doente não apresentava alterações hematológicas, tendo sido efetuadas as seguintes análises hematológicas previamente na clínica referente: hemograma, uremia, creatinémia, transaminases hepáticas e glicemia. O exame radiológico efetuado na data da consulta demonstra não união atrófica de fraturas do terço distal diafisário do rádio e ulna direitos, com marcada osteopénia do rádio distal e todos os ossos da mão e pulso, e sinais de sinostose rádio-ulnar entre os segmentos proximais das fraturas, compatível com ossificação parcial do ligamento interósseo (Figura 38). Ausência de sinais de inserção de cavilhas e ou parafusos para osso nos oito meses anteriores;



Figura 38 - Exame radiológico efetuado no dia da consulta, presumidamente 8 meses após a fratura. Não união atrófica do rádio e ulna distais direitos: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- **Diagnóstico:** Não união atrófica de fraturas do terço distal diafisário do rádio e ulna direitos com oito meses de duração;
- **Protocolo anestésico:** Pré-medicação utilizando metadona (0,3 mg/kg) e acepromazina (0,03 mg/kg) intramuscular. De seguida foi instalado um cateter venoso periférico (22G) na veia cefálica para administração de fluidoterapia de manutenção consistindo em lactato de ringer (6 ml/kg/h), e para administração de anestésicos para indução, permitindo a intubação endotraqueal do animal (tubo de 6 mm), consistindo em diazepam (0,3 mg/kg) e cetamina (2,65 mg/kg) intravascular. Antes da indução é efetuada tricotomia por meio de lâmina de tosquia número 40 desde o nível dos metacarpos até ao terço proximal do úmero, em redor de todo o membro anterior. Após a indução procedeu-se à intubação endotraqueal e conectou-se este tubo a um circuito anestésico circular, iniciando-se ventilação mecânica assistida regulada pela pressão inspiratória máxima de 10 cmH₂O e frequência respiratória de seis ventilações por minuto com pressão expiratória final positiva de 1 cmH₂O. Seguidamente, foi executado bloqueio anestésico utilizando bupivacaína 0,5% (2 mg/kg) dos seguintes nervos periféricos: radial, ulnar, mediano e musculocutâneo, de acordo com a técnica *RUMM* descrita por Lemke & Creighton (2008), utilizando electroestimulador para melhor localização dos nervos pretendidos. A manutenção anestésica foi executada com isoflurano, com o objetivo de manter a concentração alveolar próximo dos 1,2%.
- **Tratamento cirúrgico:** Redução aberta com recurso a fixador esquelético externo tipo II para correção dos desalinhamentos e estabilização definitiva da fratura. A técnica utilizada neste caso difere dos casos anteriormente descritos pois nesta situação também foram inseridas duas cavilhas transfixantes nos metacarpos e foi feita deposição de enxerto ósseo obtido da asa ilíaca ipsilateral por forma a repor a maior parte da perda de massa óssea e estimular a osteogénese; Foram inicialmente instaladas a 2^a cavilha mais proximal e distal (transfixantes lisas) sobre o rádio (de 1,5 mm de diâmetro), executando-se as manobras de alinhamento dos segmentos, não tendo sido possível restaurar o comprimento do antebraço, após comparação com o antebraço contralateral; seguidamente foi executada colheita de osso cortico-esponjoso da asa ilíaca ipsilateral, o qual foi processado por moinho para osso por forma a diminuir a granulometria do enxerto e facilitar a incorporação. Foi seguidamente executado acesso medial de dimensões limitadas sobre a região do rádio que necessitava de enxerto ósseo por forma

a colocar o material do enxerto. De igual forma foi executado acesso lateral de dimensões limitadas à região do cúbito que receberia o enxerto. Os topos ósseos das fraturas foram avivados removendo-se uma curta porção de osso das extremidades por meio de pinça goiva. As duas incisões foram encerradas e o fixador externo completado com mais 2 cavilhas no segmento proximal do rádio (de 1,5 mm diâmetro), sendo a mais proximal hemi-fixante lisa por forma a evitar o corredor não seguro na face medial do 1/5 proximal do rádio, e uma cavilha lisa adicional no segmento distal osteopénico do rádio (de 1,5 mm diâmetro). Para aumentar a estabilidade foram instaladas 2 cavilhas transfixantes lisas (de 1,2 mm de diâmetro) atravessando a região proximal dos metacarpos II, III, IV e V, o que constitui uma ponte articular, tendo a desvantagem de imobilizar as articulações do carpo. Uma vez alcançado o alinhamento, as cavilhas são solidarizadas às respetivas barras (de 2 mm de diâmetro) por meio de rótulas (1,5 mm – 2 mm). O exame radiológico confirma o alinhamento e o correto posicionamento das cavilhas (Figura 39). Após a cirurgia é efetuada uma bandagem que consiste em enrolar gaze em redor de cada cavilha por forma a conter o edema e a absorver eventual exsudação nestes locais.



Figura 39 - Exame radiológico efetuado após o procedimento cirúrgico para avaliação do alinhamento. Colocação do fixador esquelético externo tipo II com colocação de duas cavilhas transfixantes nos metacarpos e deposição de enxerto ósseo no local da fratura: A – Projeção mediolateral, B: Projeção dorsopalmar; Imagem cedida por CCVL

- **Evolução clínica:** A doente não fez internamento tendo ido para o seu domicílio no dia da cirurgia com prescrição de etoricoxib 1 mg/kg oral com intervalos de 24 horas por 7 dias. A doente foi seguida pelo seu médico veterinário assistente para revisão inicial do

aparelho e execução de exames radiológicos de controlo. Foi necessário efetuar revisão cirúrgica do aparelho às 4 e 8 semanas após a cirurgia para trocar cavilhas, porque a baixa densidade óssea causava perda prematura da ancoragem das mesmas. A união clínica foi atingida 12 semanas após a cirurgia, tendo sido removido o aparelho nesta altura. No exame radiológico efetuado no momento da remoção do aparelho (Figura 40) na vista mediolateral é visível uma sinostose rádio-ulnar mais extensa que no primeiro exame radiológico (compatível com ossificação do ligamento interósseo). Após a resolução cirúrgica e remoção do aparelho a cadela apresentava apoio satisfatório do membro, embora este fosse plantígrado. Foi realizada uma consulta de revisão um ano após a remoção do aparelho com devido controlo radiográfico (Figura 41).



Figura 40 - Exame radiológico na data da remoção do fixador, união clínica atingida. A- Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar. Imagem cedida por CCVL



Figura 41 - Exame radiológico um ano após a remoção do aparelho, visível remodelação avançada, extensa sinostose rádio ulnar. Imagem compatível com sinostoses entre os metacarpos II, III, IV e V e doença articular degenerativa antebraquio-carpal (osteófito dorsal no rádio distal) . A - Projeção mediolateral, B – Projeção dorsopalmar. Imagem cedida por CCVL

- **Prognóstico:** Favorável para utilização do membro, e reservado para o retorno ao apoio digitígrado.

III. Discussão

O tratamento de fraturas sempre foi objeto de muita pesquisa e debate quer em medicina humana quer em medicina veterinária, sendo que as características de uma fratura específica ditam o método ótimo de correção (Latte & Meynard, 1997; Kraus *et al.*, 2003).

As fraturas de rádio e ulna em animais de raças miniatura são situações de incidência considerável em medicina veterinária sendo que o seu manejo passa por coaptação externa ou técnicas de estabilização cirúrgica dentro das quais se destacam a técnica de fixação intramedular (apenas da ulna), MIPPO, ORIF e fixação esquelética externa por redução aberta ou fechada.

Relativamente à coaptação externa esta tem uma aplicação muito limitada, não sendo aconselhada em várias raças de animais (raças miniatura e gigantes) e em vários tipos de fratura (oblíquas, em espiral e cominutivas) e podendo também levar a várias complicações causadas pela imobilização prolongada que podem interferir com a função articular (Gemmil & Clements, 2016).

A fixação intramedular não é uma técnica recomendada nas fraturas de rádio pela necessidade de invasão articular do cotovelo ou carpo para inserção da cavilha, pela forma elítica da cavidade medular do rádio e pelo formato de arco que este osso descreve no plano coronal, o que pode causar dificuldade neste método. Para além disto, esta técnica apresenta uma alta taxa de complicações que podem resultar em mau alinhamento, união atrasada ou não união. (Harasen, 2003; Piras *et al.*, 2011; Gemmil & Clements, 2016)

O recurso às técnicas com placas (*MIPPO* e *ORIF*) e à técnica de fixação externa têm sido consideradas como os procedimentos de eleição nestes casos. A técnica de fixação externa apresenta-se como tendo algumas vantagens fulcrais: técnica de mínima invasão causando baixo grau de inflamação pós-operatória, mínima agressão vascular permitindo manter elevado potencial para a angiogénese no foco de fratura e rápida cicatrização óssea; rigidez não excessiva evitando os fenómenos de proteção do “stress”. No entanto, deve ser considerado que, em casos em que o fragmento distal é muito pequeno, a curta distância entre as cavilhas neste fragmento pode não promover uma adequada estabilização do foco de fratura. As técnicas com recurso a placas e parafusos apresentam resultados satisfatórios com bom retorno à função do membro em raças miniaturas e têm a vantagem de ter um peso inferior à fixação externa, o que em animais muito pequenos pode ser uma consideração importante (Harasen, 2003; Ferrigno *et al.*, 2008). Estudos indicam que quer as técnicas com recurso a placas e parafusos

como a técnica de fixação externa são semelhantes em termos de sucesso de tratamento com resultados muito positivos e muito superiores às técnicas como a coaptação externa e fixação intramedular, independentemente do padrão ou disposição da fratura, tendo melhores resultados em animais com peso inferior a 6,0 kg (Harasen, 2003; Ferrigno *et al.*, 2008). Entre as técnicas com recurso a placa, em estudos recentes, foram avaliados os tempos de cicatrização baseados em avaliação radiográfica e ultrassonográfica de fraturas do rádio entre animais tratados por *MIPPO* ou por *ORIF* e nesta situação foi concluída que os animais tratados com *MIPPO* tiveram um tempo de cicatrização e formação de calo ósseo semelhante aos animais tratados com *ORIF*. Embora a *MIPPO* ofereça várias vantagens teóricas sobre a *ORIF*, poucos estudos realizados até à data que mostraram uma diferença em tempo de cicatrização entre fraturas tratadas com as duas técnicas cirúrgicas (Boero Baroncelli *et al.*, 2012). A fixação da placa em cães pequenos tem alegadamente uma incidência de 89% de retorno à função plena, mas apresenta uma taxa de complicações superior a 18%, que é um dado que deve ser tido em consideração. (Gibert *et al.*, 2015)

A fixação esquelética externa é adaptável à maioria das fraturas do rádio e/ou ulna tendo como objetivo atingir o alinhamento anatómico do osso evitando deformidades rotacionais e angulares dos segmentos ósseos e garantir a imobilização do foco sem necessidade de exploração aberta da área afetada. (Baltzer *et al.*, 2015)

No caso clínico 1 foi detetada, aquando da remoção do aparelho, uma situação de osteomielite crónica em redor da cavilha mais proximal o que causou uma perda de tecido ósseo muito extensa em redor dessa cavilha com sinais de cicatrização óssea secundária desse local. Esta situação poderia ter sido resolvida atempadamente se o tutor, que verificou uma claudicação intensa perto das quatro semanas pós-operatórias, tivesse reportado o mesmo ao médico veterinário assistente. Como a situação foi apenas reportada seis semanas após a cirurgia, já havia uma evolução da osteomielite que resultou numa fratura secundária. Embora haja perda de continuidade no rádio, a cicatrização óssea secundária (calo em desenvolvimento na vista dorso-palmar) e o ligamento interósseo do antebraço associado à restauração da continuidade da ulna e à sinostose rádio-ulnar, permitiram estabilidade suficiente para que não ocorresse desalinhamento importante. Após tratamento da complicação com recurso a bandagem e antibioterapia empírica com clindamicina, a doente obteve um retorno completo da função locomotora do membro, conforme relatado pelo tutor em reposta a entrevista telefónica. Não foi possível obter exame radiológico após esta fase a partir da clínica referente

por motivos financeiros. Caso tivesse ocorrido desalinhamento a complicação poderia ter sido tratada com a instalação de novo fixador de forma fechada, sem grande morbidade para o doente. Relativamente à escolha da antibioterapia aplicada, a clindamicina é uma lincosamida tempo-dependente muito utilizada para infeções do osso e articulações, sendo uma componente ativa contra cocos gram-positivos, muitos anaeróbios obrigatórios, micoplasmas e protozoários (Allerton, 2020). Foi prescrito este antibiótico por apresentar numerosas vantagens, incluindo elevada penetração óssea com atividade sustentada contra a formação de biofilme e aderência bacteriana, absorção quase completa após administração oral, que produzem concentrações séricas comparáveis às alcançadas com a administração intravenosa, não há necessidade de adaptação à *clearance* renal, e poucas interações medicamentosas, permitindo um tratamento ambulatorio rápido e custos mais baixos (Bonnaire *et al.*, 2021). A escolha foi feita empiricamente, mas idealmente deveria ter sido realizada com base em cultivo e antibiograma para evitar a possibilidade de bactérias multirresistentes. Não obstante as zaragatoas para obtenção de uma amostra para realização de cultivo e antibiograma podem ser contaminadas por outras bactérias, nomeadamente da pele, que não estejam implicadas na osteomielite em redor da cavilha (Darley & MacGowan, 2004; Haidar *et al.*, 2010).

No caso 2 obteve-se o resultado satisfatório de uma redução fechada de fratura por recurso a fixação esquelética externa sendo um caso onde se verificou o alinhamento pretendido nos vários planos ortogonais e as fraturas plenamente consolidadas apresentando calo ósseo mineralizado. Alternativamente poderia ter sido usada a técnica ORIF com placa bloqueada. Este método foi avaliado por Parent & Benamou (2017) que reportaram resultados muito favoráveis aquando da avaliação dos animais e contacto com os tutores 6 meses após a cirurgia que indicaram que 99% dos 71 animais submetidos a ORIF tinham retomado o nível de atividade que teriam antes da fratura, permanecendo apenas uma taxa de 25% de complicações pós-cirúrgicas. Este método tem a vantagem de não haver necessidade de tratamentos continuados, comparando com a fixação externa, mas por ser uma técnica aberta, comporta maior desvascularização iatrogénica dos tecidos moles perifraturários, nomeadamente do perióstio. Adicionalmente, nas raças miniatura, e com utilização de placas para osso, ocorre com alguma frequência a complicação denominada osteoporose induzida por implantes (Muroi *et al.*, 2021), causada por excesso de rigidez do método de fixação para esta tipologia de doentes. Esta complicação é a principal causa de fraturas secundárias após a remoção do implante (Muroi *et al.*, 2021). Também é necessário ter em consideração que o doente deste caso, tendo apenas 2.6 kg de peso corporal poderá estar mais predisposto a complicações pós-

operatórias, como falha dos implantes, que no caso da fixação externa são rapidamente abordadas e resolvidas sem necessidade de reabertura do foco de fratura, havendo na fixação interna sempre a necessidade de novo acesso ao segmento esquelético o que leva a mais desvascularização. (Muroi, 2021; McCartney *et al.*, 2021)

No caso 3 foi detetada osteomielite no percurso da cavilha mais proximal o que causou instabilidade e aumento secundário da espessura óssea neste local. É mais comum o desenvolvimento de complicações na cavilha mais proximal destes aparelhos por ser a que recebe mais carga e a que atravessa um maior volume de tecidos moles (Marti & Miller, 1994; Denny & Butterworth, 2008; Solomin, 2012; AOSurgery, 2013). Neste caso, sendo que o animal começou a apresentar claudicação moderada a partir da quarta semana, a situação deveria ter sido imediatamente reportada ao médico veterinário assistente por forma a ser referenciada para uma consulta de revisão e se proceder à substituição da cavilha que demonstrasse sinais de osteomielite e/ou afrouxamento. Apesar disto, a situação só foi reportada 40 dias após a cirurgia o que levou a um consequente aumento da espessura óssea no local da cavilha afetada, por terem sido recrutados pelo organismo os mecanismos de cicatrização óssea neste local. A falta de *compliance* por parte dos tutores é uma situação comum em medicina veterinária. A *compliance* pode ser definida como estando de acordo com um desejo, pedido ou exigência e vontade para seguir um tratamento prescrito. As causas que podem levar à falta de *compliance* do tutor face ao tratamento imposto podem ser o custo, falta de entendimento da necessidade e valor do tratamento, falta de tempo, entre outros. Nesta situação teria sido importante criar um regime planificado para melhor cumprimento da parte do tutor, escrever as instruções de forma clara e manter um sistema para questionar passado um período de tempo se tudo está de acordo com o esperado e se o tutor está a manter os cuidados necessários. (Berendsen & Knol, 2002; Gerrard, 2015)

Nesta situação foi prescrita antibioterapia empiricamente apesar de, como referido anteriormente, ser aconselhada a realização de cultivo e antibiograma por forma a evitar a possibilidade de resistência ao antibiótico por bactérias multirresistentes, considerando que na recolha de amostra poderá haver contaminação de outras bactérias, nomeadamente da pele, não implicadas na osteomielite que causou a infeção.

Este caso é um exemplo de uma das desvantagens da fixação externa, que é o facto de ser uma técnica inadequada para alguns tutores devido aos cuidados frequentes do aparelho e pela necessidade de um acompanhamento mais intenso com monitorização constante do

dispositivo. Não obstante, foi possível obter um resultado satisfatório para a utilização do membro.

No caso 4 apresenta-se uma situação de não união atrófica, que implica a reabsorção e afilamento dos topos ósseos, com osteoporose devido ao desuso, e cessação completa de atividade osteogénica (Piermattei *et al.*, 2006). Nesta situação, por ausência de estabilidade nos meses que se seguiram à fratura ocorreu uma selagem da circulação sanguínea intramedular, e atrofia da vasculatura periosteal, causando insuficiência na vascularização do local e formação de uma pseudo-articulação. Há vários fatores que podem contribuir para o desenvolvimento de uma não união como a idade do doente, falha na nutrição, osteoporose, massa muscular diminuída, lesão dos tecidos moles perifraturários, instabilidade biomecânica, imobilização prolongada, fraturas complexas, fraturas diafisárias, entre outros (Perumal & Roberts, 2007; Nandra *et al.*, 2016). Neste caso, apesar de não se conhecerem bem as circunstâncias do tratamento efetuado até à chegada do doente ao centro de cirurgia, foi notável que ocorreram algumas falhas no dito tratamento prévio que vão ao encontro com a não união desenvolvida por instabilidade contínua e desvascularização local extensa.

Nesta situação, para além do fixador esquelético externo tipo II instalado no rádio, também foi necessária instalar um fixador transarticular com duas cavilhas transfixantes nos metacarpos para aumentar a estabilidade e robustez da montagem, dada a grave osteoporose do rádio distal. A estabilidade da fixação da fratura e as condições mecânicas resultantes existentes no local de fratura influenciam a cicatrização da fratura. O tamanho do calo formado varia em função da magnitude e frequência do movimento interfragmentário sendo que a diferenciação das células mesenquimais em direção a uma linha de células osteoblásticas ou condrogénicas depende da estabilidade da fratura. A estabilidade mecânica inicial da fratura leva a um aumento de vascularização e diferenciação tecidual assim como à formação precoce e calo e maior rapidez na união da fratura. Neste caso, o recurso a fixador esquelético tipo II e fixador transarticular transfixantes conferia a robustez e rigidez adequada para minimizar o tempo de cicatrização (Perumal & Roberts, 2007).

Foi também neste caso necessário realizar um enxerto ósseo autólogo (retirado da asa ilíaca ipsilateral) por forma a repor a maior parte da perda de massa óssea e estimular a osteogénese. O uso de enxertos autólogos representa uma fonte de osso que pode ser facilmente recolhido durante o tempo de cirurgia e utilizado como um potenciador para auxiliar a fusão óssea sendo que os fatores de crescimento retidos no enxerto ósseo em pó obtido podem

potencialmente induzir as células osteoprogenitoras locais a proliferar e mineralizar-se para formar novo osso (Street *et al.*, 2017). Alternativamente poderia ter sido considerado o uso de enxerto omental autólogo que é uma técnica utilizada comumente com sucesso em medicina humana em situações de infecções de tecidos moles ou de lesões ósseas. Um estudo experimental de Baltzer *et al.* (2015) indicou que em situações de fendas de 1 cm no terço médio do rádio da diáfise, os cães implantados com o enxerto autólogos de omento maior tiveram uma cicatrização significativamente maior às 8 semanas do que os cães de controlo em que apenas foi colocada uma placa. Também neste estudo se concluiu que o recurso a enxerto omental não parecia resultar em complicações maiores ou complicações a longo prazo em cães com fraturas reparadas com placa e parafusos (Baltzer *et al.*, 2015). Outro estudo de Ree *et al.* (2018) concluiu que o uso de enxerto omental não está associado a complicações maiores, acelera a cicatrização óssea e acelera o processo de apoio do membro nos cães avaliados sendo uma associação a ser considerada para potenciar a estabilização de fraturas de antebraço em raças miniatura e raças pequenas. Considera também que a união clínica ocorreu mais cedo em ossos tratados com enxerto omental do que os tratados com enxerto ósseo e que os ossos com enxerto omental conseguiram reter mais vasos sanguíneos do que os com enxerto ósseo. No entanto, a avaliação por tomografia computadorizada da ulna distal nestes animais, demonstrou que a densidade óssea cortical estava superior em ossos com enxerto ósseo comparativamente aos ossos com enxerto omental (Ree *et al.*, 2018).

Como resultado do tempo passado entre a ocorrência da fratura e da correção cirúrgica, tendo ocorrido neste intervalo temporal grande perda de substância óssea, não foi possível repor o comprimento do rádio e ulna, culminando em cerca de 15% de perda do comprimento original, com consequente perda de eficiência do flexor ulnar do carpo, flexor radial do carpo, e outros músculos que permitem o apoio digitígrado. O desuso crónico pode também ter tido impacto nesta sequela, causando alteração nos ligamentos do carpo e da histologia e fisiologia muscular (Memme *et al.*, 2021). Não obstante, considera-se o resultado funcional bastante satisfatório se considerarmos a severidade inicial e prognóstico da fratura.

Neste caso a osteossíntese com recurso a placa não seria a melhor escolha pois desgaste excessivo do perióstio e danos no suprimento sanguíneo ósseo e de tecidos moles aquando da aplicação de um implante como uma placa pode diminuir a vascularização no local de fratura e contribuir para a não união da mesma (Perumal & Roberts, 2007), também nestas técnicas, em raças miniatura, pode ocorrer osteoporose induzida pela rigidez dos implantes

(Muroi, 2021). Neste caso, que a não união estava presente e que a vascularização já teria sido altamente comprometida, a fixação esquelética externa facultou o acesso rápido sem nova invasão e tornou possível a substituição ou remoção rápida de alguma cavilha sem a necessidade de um novo acesso ao foco. Também a dimensão do fragmento ósseo distal se apresenta como uma das dificuldades encontradas ao estabilizar as fraturas do rádio e ulna em raças miniatura.

IV. Conclusão

Este estágio curricular permitiu à autora explorar a área de ortopedia e neurologia de uma forma contínua e profunda acrescentando aos seus conhecimentos de diagnóstico, imagiologia e abordagem ao doente e ao tutor no âmbito das áreas referidas. A fixação esquelética externa tem uma presença considerável no quotidiano do Centro de Cirurgia Veterinária de Loures o que permitiu à autora compreender a sua aplicação quer na teoria como na prática.

Com este relatório pretende-se demonstrar através de revisão bibliográfica e casos clínicos, as várias técnicas que podem ser consideradas em fraturas diafisárias de rádio e/ou ulna em raças miniatura tendo como maior foco a utilização de fixação esquelética externa. É feita uma análise das técnicas de aplicação da fixação esquelética externa nomeadamente das suas vantagens, desvantagens e complicações.

A autora conclui com este relatório que a fixação esquelética externa apresentou resultados satisfatórios para os quatro casos clínicos de fraturas diafisárias de rádio e/ou ulna apresentados, e que as suas vantagens, para o animal e para o tutor, ultrapassaram as desvantagens e complicações. As complicações podem ocorrer por vários motivos previamente referidos, nomeadamente, quando não há um conhecimento adequado das técnicas ou manuseio pós-operatório rigoroso. Estas complicações, apesar de frequentes, costumam apresentar-se geralmente como complicações menores, podendo ser prevenidas com um bom acompanhamento do animal pelo tutor e pelo médico veterinário, por forma a serem tratadas atempadamente para evitar complicações maiores. O tratamento das complicações menores é simples na maioria dos casos. As complicações maiores (lesões de nervos periféricos, artérias ou veias, osteomielite generalizada e perdas importantes de massa óssea) são extremamente raras se forem seguidos os corredores anatómicos seguros e houver aplicação meticulosa das metodologias cientificamente validadas e das melhores práticas cirúrgicas.

De acordo com a análise de cada caso individual, o cirurgião deve pesar as vantagens e desvantagens das várias técnicas disponíveis, previamente abordadas, para o tratamento destas fraturas nestes doentes, escolhendo a técnica mais indicada para cada caso concreto.

V. Referências Bibliográficas

Allerton, F. (2020). BSAVA Small Animal Formulary, Part A: Canine and Feline. *British Small Animal Veterinary Association* (BSAVA).

Alms, M. (1961). Fracture mechanics. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British Volume*, 43 B, 162–166. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.43b1.162>

Amsellem, P. M., Egger, E. L., & Wilson, D. L. (2010). Bending characteristics of polymethylmethacrylate columns, connecting bars of carbon fiber, titanium, and stainless steel used in external skeletal fixation and an acrylic interface. *Veterinary surgery : VS*, 39(5), 631–637. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2009.00639.x>

AO Surgery. (2013) *External fixation for Simple fracture of the radius and the ulna*. Obtido a 2021, a partir de <https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/adult-trauma/forearm-shaft/simple-fracture-of-the-radius-and-the-ulna/external-fixation>

AOSurgery. Radius multifragmentary fracture: open reduction, bridge plating. (n.d.). Obtido a 2021, a partir de <https://surgeryreference.aofoundation.org/orthopedic-trauma/pediatric-trauma/forearm-shaft/basic-technique/radius-multifragmentary-fracture-open-reduction-bridge-plating?searchurl=%2fSearchResults>

AOTrauma. (2007). *Müller AO Classification of Fractures—Long Bones*

Augustin, G., Antabak, A., & Davila, S. (2007). The periosteum. Part 1: Anatomy, histology and molecular biology. *Injury*, 38(10), 1115–1130. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2007.05.017>

Augustin, G., Davila, S., Mihoci, K., Udiljak, T., Vedrina, D. S., & Antabak, A. (2008). Thermal osteonecrosis and bone drilling parameters revisited. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 128(1), 71–77. <https://doi.org/10.1007/s00402-007-0427-3>

Bahney, C. S., Zondervan, R. L., Allison, P., Theologis, A., Ashley, J. W., Ahn, J., Miclau, T., Marcucio, R. S., & Hankenson, K. D. (2019). Cellular biology of fracture healing. *Journal of Orthopaedic Research*, 37(1), 35–50. <https://doi.org/10.1002/jor.24170>

Baltzer, W. I., Cooley, S., Warnock, J. J., Nemank, S., & Stleger-Vanagas, S. M. (2015). Augmentation of diaphyseal fractures of the radius and ulna in toy breed dogs using a free autogenous omental graft and bone plating. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 28(2), 131–139. <https://doi.org/10.3415/VCOT-14-02-0020>

Baroncelli, A. B., Peirone, B., Winter, M. D., Reese, D. J., & Pozzi, A. (2012). Retrospective comparison between minimally invasive plate osteosynthesis and open plating for tibial fractures in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 25(5), 410–417. <https://doi.org/10.3415/VCOT-11-07-0097>

Beltsios, M., Savvidou, O., Kovanis, J., Alexandropoulos, P., & Papagelopoulos, P. (2009). External fixation as a primary and definitive treatment for tibial diaphyseal fractures. *Strategies in Trauma and Limb Reconstruction*, 4(2), 81–87. <https://doi.org/10.1007/s11751-009-0062-3>

Berendsen, M., & Knol, B. W. (2002). Therapietrouw [Treatment compliance]. *Tijdschrift voor diergeneeskunde*, 127(18), 548–551.

Biga, L., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., Matern, P., Morrison-Graham, K., Quick, D. & Runyeon, J. Anatomy & Physiology. *Open Textbooks of the Oregon State University*

Bilezikian, J. P., Clemens, T. L., Martin, T. J., & Rosen, C. J. (2019). Principles of bone biology. In *Principles of Bone Biology*. <https://doi.org/10.1016/C2015-1-01622-2>

Blue Veterinary. (n.d.). Blue Veterinary Surgical Instruments. <https://www.blueveterinary.com/index.aspx?p=H>

Bonnaire, A., Vernet-Garnier, V., Lebrun, D., Bajolet, O., Bonnet, M., Hentzien, M., Ohl, X., Diallo, S., & Bani-Sadr, F. (2021). Clindamycin combination treatment for the treatment of bone and joint infections caused by clindamycin-susceptible, erythromycin-resistant *Staphylococcus* spp. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 99(1), 115225. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2020.115225>

Boyce, B. F., & Xing, L. (2008). Functions of RANKL/RANK/OPG in bone modeling and remodeling. *Archives of biochemistry and biophysics*, 473(2), 139–146. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2008.03.018>

Brinker, M. R., & O'Connor, D. P. (2009). Chapter 22; Non unions: Evaluation and Treatment. In *Skeletal Trauma: Basic Science, Management, and Reconstruction*. <http://drbrinker.com/attachments/articles/48/Nonunion Chap 2009 proof.pdf>

Buckwalter, J. A., Glimcher, M. J., Cooper, R. R. and Recker, R. (1996). "Bone biology. I: structure, blood supply, cells, matrix, and mineralization," *Instructional Course Lectures*, vol. 45, pp. 371–386

Claes, L., Eckert-Hübner, K., & Augat, P. (2002). The effect of mechanical stability on local vascularization and tissue differentiation in callus healing. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society*, 20(5), 1099–1105. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(02\)00044-X](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(02)00044-X)

Clark, D., Nakamura, M., Miclau, T., & Marcucio, R. (2017). Effects of Aging on Fracture Healing. *Current osteoporosis reports*, 15(6), 601–608. <https://doi.org/10.1007/s11914-017-0413-9>

Coris, J. G., Rahal, S., Murakami, V., Maia, S., & Dias, F. G. (2018). Osteossíntese minimamente invasiva com placa: Revisão de literatura. *Revista Científica De Medicina Veterinária*, 31.

Costa, R. C., & Schossler, J. E. W. (2002). Tratamentos De Fraturas Do Rádio E Da Ulna Em Cães E Gatos: Revisão. *Archives of Veterinary Science*, 7(1), 89–98. <https://doi.org/10.5380/avs.v7i1.3974>

Cowin, C. S. (2001). Integrated bone tissue physiology: anatomy and physiology. In: Cowin S, editor. Bone mechanics handbook. CRC Press

Crockett, J. C., Mellis, D. J., Scott, D. I. and Helfrich, M. H. (2011). "New knowledge on critical osteoclast formation and activation pathways from study of rare genetic diseases of osteoclasts: focus on the RANK/RANKL axis," *Osteoporosis International*, vol. 22, no. 1, pp. 1–20

Dallas, S. L., Prideaux, M., & Bonewald, L. F. (2013). The osteocyte: an endocrine cell ... and more. *Endocrine reviews*, 34(5), 658–690. <https://doi.org/10.1210/er.2012-1026>

Darley, E. S., & MacGowan, A. P. (2004). Antibiotic treatment of gram-positive bone and joint infections. *The Journal of antimicrobial chemotherapy*, 53(6), 928–935. <https://doi.org/10.1093/jac/dkh191>

De Arburn Parent, R., Benamou, J., Gatineau, M., Clerfond, P., & Planté, J. (2017). Open reduction and cranial bone plate fixation of fractures involving the distal aspect of the radius and ulna in miniature- and miniatura-breed dogs: 102 cases (2008-2015). *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 250(12), 1419–1426. <https://doi.org/10.2460/javma.250.12.1419>

Denny, H. R., & Butterworth, S. J. (2008). *A Guide to Canine and Feline Orthopaedic Surgery*. *A Guide to Canine and Feline Orthopaedic Surgery*. <https://doi.org/10.1002/9780470699027>

Downey, P. A., & Siegel, M. I. (2006). Bone biology and the clinical implications for osteoporosis. *Physical therapy*, 86(1), 77–91. <https://doi.org/10.1093/ptj/86.1.77>

Eger, C. (2008). A technique for the management of radial and ulnar fractures in miniature dogs using translation pins. *Journal of Small Animal Practice*. 31. 377 - 381. 10.1111/j.1748-5827.1990.tb00484.x.

Einhorn, T. A., & Gerstenfeld, L. C. (2015). Fracture healing: Mechanisms and interventions. *Nature Reviews Rheumatology*, 11(1), 45–54. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2014.164>

Evans, H., & de Lahunta, A. (2012). *Miller's Anatomy of the Dog* (4th ed.). Saunders.

Everts, V., Delaissé, J. M., Korper, W., Jansen, D. C., Tigchelaar-Gutter, W., Saftig, P., & Beertsen, W. (2002). The bone lining cell: its role in cleaning Howship's lacunae and initiating bone formation. *Journal of bone and mineral research : the official journal of the American Society for Bone and Mineral Research*, 17(1), 77–90. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2002.17.1.77>

Eyckmans, Jeroen. (2021). Periosteum derived progenitor cells in bone tissue engineering.

Florencio-Silva, R., Sasso, G. R. D. S., Sasso-Cerri, E., Simões, M. J., & Cerri, P. S. (2015). Biology of Bone Tissue: Structure, Function, and Factors That Influence Bone Cells. *BioMed Research International*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/421746>

Fossum, Theresa Welch (2013). *Small Animal Surgery*, 4th Edition

Franz-Odendaal, T. A., Hall, B. K., & Witten, P. E. (2006). Buried alive: how osteoblasts become osteocytes. *Developmental dynamics: an official publication of the American Association of Anatomists*, 235(1), 176–190. <https://doi.org/10.1002/dvdy.20603>

Gaudio, A., Pennisi, P., Bratengeier, C., Torrisi, V., Lindner, B., Mangiafico, R. A., Pulvirenti, I., Hawa, G., Tringali, G., & Fiore, C. E. (2010). Increased sclerostin serum levels associated with bone formation and resorption markers in patients with immobilization-induced bone loss. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 95(5), 2248–2253. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0067>

Gemmill, T., & Clements, D. (2016). *BSAVA Manual of Canine and Feline Fracture Repair and Management*. Wiley.

Gerrard, A. E. (2015). *Owner compliance – educating clients to act on pet care advice*. 1–8.

Gerstenfeld, L. C., & Einhorn, T. A. (2004). COX inhibitors and their effects on bone healing. *Expert opinion on drug safety*, 3(2), 131–136. <https://doi.org/10.1517/eods.3.2.131.27335>

Gibert, S., Ragetly, G. R., & Boudrieau, R. J. (2015). Locking compression plate stabilization of 20 distal radial and ulnar fractures in toy and miniature breed dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 28(6), 441–447. <https://doi.org/10.3415/VCOT-15-02-0042>

Goltzman D. (2018). Physiology of Parathyroid Hormone. *Endocrinology and metabolism clinics of North America*, 47(4), 743–758. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2018.07.003>

Gonnet, A. (2006). AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat. In *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* (Vol. 148, Issue 6). <https://doi.org/10.1024/0036-7281.148.6.319b>

Guzmán-Juárez, L. A., Galindo-González, G. S., Torres Hernández, R. M., & Hernández Culebro, J. (2021). High Energy Trauma in Relation to the Genesis of Nonunion in Tibial Shaft Fractures. *International Journal of Forensic Sciences ISSN: 2573-1734*, 6(2), 1–5. <https://doi.org/10.23880/ijfsc-16000234>

Hadjidakis, D. J., & Androulakis, I. I. (2006). Bone remodeling. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1092, 385–396. <https://doi.org/10.1196/annals.1365.035>

Haidar, R., Der Boghossian, A., & Atiyeh, B. (2010). Duration of post-surgical antibiotics in chronic osteomyelitis: empiric or evidence-based?. *International journal of infectious diseases: official publication of the International Society for Infectious Diseases*, 14(9), e752–e758. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2010.01.005>

Hamilton, M. H., & Langley Hobbs, S. J. (2005). Use of the AO veterinary mini 'T'-plate for stabilisation of distal radius and ulna fractures in miniatura breed dogs. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology: V.C.O.T.*, 18(1), 18–25.

Harasen, G. (2003). External coaptation of distal radius and ulna fractures. *Canadian Veterinary Journal*, 44(12), 1010–1011.

Hudson, C. C., Pozzi, A., & Lewis, D. D. (2009). Minimally invasive plate osteosynthesis: applications and techniques in dogs and cats. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology: V.C.O.T.*, 22(3), 175–182. <https://doi.org/10.3415/VCOT-08-06-0050>

Inoue, S., Otsuka, H., Takito, J., & Nakamura, M. (2018). Decisive differences in the bone repair processes of the metaphysis and diaphysis in young mice. *Bone Reports*, 8(March 2017), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.bonr.2017.11.003>

Johnson, A. L., Kneller, S. K., & Weigel, R. M. (1989). Radial and tibial fracture repair with external skeletal fixation. Effects of fracture type, reduction, and complications on healing. *Veterinary surgery: VS*, 18(5), 367–372. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.1989.tb01102.x>

Junqueira, L. C., & Carneiro, J. (2004). *Histologia Básica texto/atlas*.

Kempson, S. (2003). Anatomy of the dog: an illustrated text. In *The Veterinary Journal* (Vol. 166, Issue 3). [https://doi.org/10.1016/S1090-0233\(02\)00265-4](https://doi.org/10.1016/S1090-0233(02)00265-4)

Kaplowitz, P., & Sekizkardes, H. (2019). Clinical and laboratory characteristics and follow up of 62 cases of ketotic hypoglycemia: a retrospective study. *International Journal of Pediatric Endocrinology*, 2019(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s13633-019-0066-9>

- Karpouzou, A., Diamantis, E., Farmaki, P., Savvanis, S., & Troupis, T. (2017). Nutritional Aspects of Bone Health and Fracture Healing. *Journal of osteoporosis*, 2017, 4218472. <https://doi.org/10.1155/2017/4218472>
- Khalifa, A., Said, E., Tammam, H., & Refae, H. (2019). Conventional Open Reduction and Internal Fixation (ORIF) Compared to Minimally Invasive Plate Osteosynthesis (MIPO) for Treatment of Extra-Articular Distal Tibia Fractures - A Prospective Randomized Trial. *Orthopedics and Rheumatology Open Access Journal (OROAJ)*, 13(4), 1–6. <https://doi.org/10.19080/OROAJ.2019.13.555867>.
- Kraus, K. H., Toombs, J. P., & Ness, M. G. (Eds.). (2003). *External Fixation in Small Animal Practice*. Blackwell Science Ltd. <https://doi.org/10.1002/9780470760178>
- Kumarathas, I., Harsløf, T., Andersen, C. U., Langdahl, B., Hilberg, O., Bjermer, L., & Løkke, A. (2020). The risk of osteoporosis in patients with asthma. *European Clinical Respiratory Journal*, 7(1). <https://doi.org/10.1080/20018525.2020.1763612>
- Kurdy, N. M., Weiss, J. B., & Bate, A. (1996). Endothelial stimulating angiogenic factor in early fracture healing. *Injury*, 27(2), 143–145. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(95\)00169-7](https://doi.org/10.1016/0020-1383(95)00169-7)
- Laroche, M. (2002). Intraosseous circulation from physiology to disease. *Joint Bone Spine*, 69(3), 262–269. [https://doi.org/10.1016/S1297-319X\(02\)00391-3](https://doi.org/10.1016/S1297-319X(02)00391-3)
- Larsen, L. J., Roush, J. K., & McLaughlin, R. M. (1999). Bone plate fixation of distal radius and ulna fractures in small- and miniature-breed dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 35(3), 243–250. <https://doi.org/10.5326/15473317-35-3-243>
- Latte, Y., & Meynard, J.-A. (1997). *Manuel de fixation externe: Applications au chien et au chat*. Editions PMCAC.
- Lee, F. Y., Choi, Y. W., Behrens, F. F., DeFouw, D. O., & Einhorn, T. A. (1998). Programmed removal of chondrocytes during endochondral fracture healing. *Journal of orthopaedic research: official publication of the Orthopaedic Research Society*, 16(1), 144–150. <https://doi.org/10.1002/jor.1100160124>
- Leighton, R. L. (1994). *Small animal orthopedics*. London: Wolfe, p. 219-235.

Lemke, K. A., & Creighton, C. M. (2008). Paravertebral Blockade of the Brachial Plexus in Dogs. *Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice*, 38(6), 1231–1241. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2008.06.003>

Marti, J. M., & Miller, A. (1994). Delimitation of safe corridors for the insertion of external fixator pins in the dog 2: Forelimb. *Journal of Small Animal Practice*, 35(2), 78–85. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1994.tb02540.x>

Mackie, E. J., Tatarczuch, L., & Mirams, M. (2011). The skeleton: A multi-functional complex organ. The growth plate chondrocyte and endochondral ossification. *Journal of Endocrinology*, 211(2), 109–121. <https://doi.org/10.1530/JOE-11-0048>

Manoogian, S., Lee, A. K., & Widmaier, J. C. (2017). The Effect of Insertion Technique on Temperatures for Standard and Self-Drilling External Fixation Pins. *Journal of orthopaedic trauma*, 31(8), e247–e251. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000859>

McCartney, W., Kiss, K., & Robertson, I. (2010). Treatment of distal radial/ulnar fractures in 17 toy breed dogs. *Veterinary Record*, 166(14), 430–432. <https://doi.org/10.1136/vr.b4810>

Melnyk, M., Henke, T., Claes, L., & Augat, P. (2008). Revascularisation during fracture healing with soft tissue injury. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 128(10), 1159–1165. <https://doi.org/10.1007/s00402-007-0543-0>

Memme, J.M.; Slavin, M.; Moradi, N.; Hood, D.A. Mitochondrial Bioenergetics and Turnover during Chronic Muscle Disuse. *International Journal of Molecular Sciences* (2021), 22, 5179. <https://doi.org/10.3390/ijms22105179>

Montasell, X., Herndon, G., Szwec, D., & Beauchamp, G. (2019). The effect of transfixation pins on the biomechanical properties of angled acrylic connecting bars. *Canadian journal of veterinary research = Revue canadienne de recherche veterinaire*, 83(1), 17–23.

Moroni, A., Heikkila, J., Magyar, G., Toksvig-Larsen, S., & Giannini, S. (2001). Fixation strength and pin tract infection of hydroxyapatite-coated tapered pins. *Clinical orthopaedics and related research*, (388), 209–217. <https://doi.org/10.1097/00003086-200107000-00029>

- Moss, D. P., & Tejwani, N. C. (2007). Biomechanics of external fixation: A review of the literature. *Bulletin of the NYU Hospital for Joint Diseases*, 65(4), 294–299.
- Muroi, N. (2021). *A Retrospective Study of Postoperative Development of Implant-Induced Osteoporosis in Radial – Ulnar Fractures in Toy Breed Dogs Treated with Plate Fixation*.
- Nandra, R., Grover, L., & Porter, K. (2016). Fracture non-union epidemiology and treatment. *Trauma*, 18(1), 3–11. <https://doi.org/10.1177/1460408615591625>
- Neagu, T. P., Țigliș, M., Cocoloș, I., & Jecan, C. R. (2016). The relationship between periosteum and fracture healing. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*, 57(4), 1215–1220.
- Ness, M. G., & Armstrong, N. J. (1995). Isolated fracture of the radial diaphysis in dogs. *The Journal of small animal practice*, 36(6), 252–254. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.1995.tb02909.x>
- Nunamaker, D. M. (1985), Fractures of the radius and ulna. In: Newton, C. D.; Nunamaker, D. M. *Textbook of small animal orthopaedics*. Philadelphia: Lippincott. p. 373-379
- Oryan, A., Monazzah, S., & Bigham-Sadegh, A. (2015). Bone injury and fracture healing biology. *Biomedical and Environmental Sciences*, 28(1), 57–71. <https://doi.org/10.3967/bes2015.006>
- Parent, R., & Benamou, J. (2017). Open Reduction and Cranial Bone Plate Fixation of Fractures. *Javma*, 250(12), 1419–1426.
- Pavletic, M. M. (2010). *Atlas of Small Animal Wound Management and Reconstructive Surgery*.
- Perumal, V., & Roberts, C. S. (2007). (ii) Factors contributing to non-union of fractures. *Current Orthopaedics*, 21(4), 258–261. <https://doi.org/10.1016/j.cuor.2007.06.004>
- Phillips A. M. (2005). Overview of the fracture healing cascade. *Injury*, 36 Suppl 3, S5–S7. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2005.07.027>

Piermattei, D., Flo, G. & DeCamp, C. (2006). Brinker, Piermattei, and Flo's handbook of small animal orthopedics and fracture repair. (4th ed.). St. Louis: Saunders Elsevier.

Piras, L., Cappellari, F., Peirone, B., & Ferretti, A. (2011). Treatment of fractures of the distal radius and ulna in miniatura breed dogs with circular external skeletal fixation: a retrospective study. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 24(3), 228–235. <https://doi.org/10.3415/VCOT-10-06-0089>

Pozzi, A., & Lewis, D. (2009). Surgical approaches for minimally invasive plate osteosynthesis in dogs. *Veterinary and comparative orthopaedics and traumatology : V.C.O.T.*, 22(4), 316–320. <https://doi.org/10.3415/VCOT-08-10-0096>

Pozzi, A., Risselada, M., & Winter, M. D. (2012). Assessment of fracture healing after minimally invasive plate osteosynthesis or open reduction and internal fixation of coexisting radius and ulna fractures in dogs via ultrasonography and radiography. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 241(6), 744–753. <https://doi.org/10.2460/javma.241.6.744>

Probst, C. W. (1990). Stabilization of fractures of the radius and ulna. In: BOJRAB, M. J. Current techniques in small animal surgery. Philadelphia: Lea & Febiger. p. 783-793.

Ree, J. J., Baltzer, W. I., & Nemanic, S. (2018). Randomized, controlled, prospective clinical trial of autologous greater omentum free graft versus autogenous cancellous bone graft in radial and ulnar fractures in miniature breed dogs. *Veterinary surgery : VS*, 47(3), 392–405. <https://doi.org/10.1111/vsu.12774>

Reece, W. & Rowe, E. (2017). Functional Anatomy and Physiology of Domestic Species. Wiley. p. 267-299

Rhineland F. W. (1974). Tibial blood supply in relation to fracture healing. *Clinical orthopaedics and related research*, (105), 34–81.

Robling, A. G., Castillo, A. B. and Turner, C.H. (2006) “Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling,” *Annual Review of Biomedical Engineering*, 8, 455–498. <https://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.8.061505.095721>

Roe, S. C. (1992). Classification and Nomenclature of External Fixators. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 22(1), 11–18. [https://doi.org/10.1016/s0195-5616\(92\)50002-x](https://doi.org/10.1016/s0195-5616(92)50002-x)

Sandberg, O., Aspenberg, P., (2015) Glucocorticoids inhibit shaft fracture healing but not metaphyseal bone regeneration under stable mechanical conditions. *Bone and Joint Research*. 4 (10), 170–175. <http://dx.doi.org/10.1302/2046-3758.410.2000414>.

Solomin, L. N. (2012). The Basic Principles of External Skeletal Fixation Using the Ilizarov and Other Devices. *The Basic Principles of External Skeletal Fixation Using the Ilizarov and Other Devices, 2nd Edition*, 74–123. <https://doi.org/10.1007/978-88-470-2619-3>

Squier, C. A., Ghoneim, S., & Kremenak, C. R. (1990). Ultrastructure of the periosteum from membrane bone. *Journal of anatomy*, 171, 233–239.

Street, M., Gao, R., Martis, W., Munro, J., Musson, D., Cornish, J., & Ferguson, J. (2017). The Efficacy of Local Autologous Bone Dust: A Systematic Review. *Spine deformity*, 5(4), 231–237. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2017.02.003>

Waters, D.J., Breur, G.J., & Toombs, J.P. (1993). Treatment of common forelimb fractures in miniature- and miniatura-breed dogs.

Worth A. J. (2007). Management of fractures of the long bones of eight cats using external skeletal fixation and a tied-in intra-medullary pin with a resin-acrylic bar. *New Zealand veterinary journal*, 55(4), 191–197. <https://doi.org/10.1080/00480169.2007.36767>