

Le fratture di radio-ulna nei cani toy: review della letteratura



Le fratture distali del radio e dell'ulna sono comuni nei cani di piccola taglia, in particolare nelle razze toy si verificano spesso a seguito di traumi, come cadute da altezze anche modeste. La maggior parte delle fratture è trasversa o obliqua corta, in quanto determinata da una combinazione di forze di tensione, compressione e flessione. In Letteratura sono stati riportati diversi metodi di trattamento delle fratture di radio e ulna nei cani toy, ciascuno con percentuali variabili di guarigione ossea e di complicanze. L'obiettivo di questo articolo è proporre un'analisi della Letteratura relativamente alle fratture di radio-ulna nei cani di razza toy e di piccola taglia, riportando le teorie eziopatogenetiche più accreditate, le metodiche di trattamento con le relative percentuali di guarigione e incidenza di complicanze e le tecniche descritte per migliorare la capacità di guarigione ossea.



Mattia Terrana
Med Vet (Ospedale didattico veterinario
Università degli studi di Torino)



Lisa Adele Piras
Med Vet, PhD, Cert SAOS, Dipl ECVS
(Ospedale didattico veterinario
Università degli studi di Torino)



Luca Vezzoni
Med Vet, Cert SAOS, Cert CanSpMed,
Dipl ECVS (Clinica veterinaria Vezzoni,
Cremona)

INTRODUZIONE

Le fratture di radio-ulna nel cane sono molto frequenti e rappresentano circa il 18% di tutte le fratture dello scheletro appendicolare.¹ Nell'85% dei casi queste fratture sono localizzate a livello del terzo distale del radio e dell'ulna, prevalentemente in soggetti di età inferiore all'anno e in razze di piccola taglia e toy.²⁻⁷ Questa elevata incidenza è legata a fattori morfologici, ossei, vascolari e meccanici specifici delle razze di piccola taglia. I cani toy spesso presentano fratture a livello del terzo distale di radio e ulna in seguito a traumi considerati a basso livello di energia, come un salto o una caduta da

un divano.⁸⁻¹¹ La maggior parte delle fratture è trasversa o obliqua corta, in quanto determinata da una combinazione di forze di tensione, compressione e flessione.^{12,13}

¹ Dipartimento di Scienze Mediche Veterinarie, Alma Mater Studiorum - Università di Bologna, 40064 Ozzano Emilia (BO), Italia

² Dipartimento di Scienze Medico-Veterinarie - Università di Parma, 43126 Parma (PR), Italia

In Letteratura sono stati riportati diversi metodi di trattamento, ciascuno con percentuali variabili di guarigione ossea e di complicanze. Sono state descritte tecniche di coaptazione esterna, di fissazione esterna e fissazione interna.

Le complicanze che si osservano con maggior frequenza includono il ritardo di consolidazione ossea, la mancata consolidazione ossea, il riassorbimento osseo, il cedimento degli impianti e le rifratture. Inoltre, presentano un rischio maggiore di ritardo di consolidazione o pseudoartrosi rispetto a fratture simili nei cani di razza medio-grande.^{8-10,14-24}

La guarigione ossea può essere compromessa sia per motivi biomeccanici che vascolari.^{14,19,21-25} Le fratture del radio distale spesso hanno una superficie di contatto ridotta fra i monconi dopo la riduzione a causa delle piccole dimensioni delle ossa, nonché dell'orientamento della linea di frattura.^{19,21,25} La riduzione anatomica è ulteriormente ostacolata dalla tendenza dei muscoli flessori del carpo e delle dita a creare uno spostamento caudo-laterale del moncone osseo distale.^{8,10,21,26} Inoltre, la limitata copertura dei tessuti molli e la ridotta circolazione intraossea del radio e dell'ulna nei cani di razza toy possono contribuire a una maggiore frequenza di pseudoartrosi.²⁷ In Letteratura sono stati riportati differenti metodi per favorire la guarigione di queste fratture e ridurre l'incidenza di complicanze, quali l'innesto autologo di omento, l'innesto di osso corticale congelato, l'innesto autologo di osso spongioso e l'impiego di cellule staminali.^{28,29}

L'obiettivo di questo articolo è proporre un'analisi della Letteratura relativamente alle fratture di radio-ulna nei cani di razza toy e di piccola taglia, riportando le teorie eziopatogenetiche più accreditate, le metodiche di trattamento con le relative percentuali di guarigione e incidenza di complicanze e le tecniche descritte per migliorare la capacità di guarigione ossea.

Inoltre, presentano un rischio maggiore di ritardo di consolidazione o pseudoartrosi rispetto a fratture simili nei cani di razza medio-grande.

FATTORI PREDISPONENTI AL VERIFICARSI DELLE FRATTURE E ALLO SVILUPPO DI COMPLICANZE NEI CANI TOY.

La causa della predisposizione allo sviluppo di fratture nel terzo distale del radio-ulna e del maggior rischio di complicanze non è stata del tutto chiarita; tuttavia, sono stati identificati come fattori di rischio le caratteristiche morfologiche, ossee, vascolari e meccaniche legate alla razza.

Caratteristiche vascolari

Uno studio cadaverico condotto da Welch nel 1997²⁷ ha messo a confronto la vascolarizzazione intraossea del radio in soggetti di peso inferiore ai 6 kg con quella di soggetti di taglia medio-grande, con un peso compreso tra 22 e 44 kg. L'esame dei campioni ha evidenziato una distribuzione simile dell'apporto ematico a livello della diafisi tra le diverse razze canine mentre è stata evidenziata una marcata differenza qualitativa nell'apporto ematico a livello della metafisi distale del radio (Figura 1). Nei cani di peso inferiore ai 6 kg si è osservata una significativa diminuzione della densità vascolare e arborizzazione dei vasi presenti nella metafisi distale mentre nei soggetti di taglia medio-grande si è osservato un aumento della densità vascolare. Le arterie metafisarie contribuiscono normalmente in misura minore alla circolazione midollare ma, in caso di frattura con conseguente danneggiamento dell'arteria nutritizia, sono in grado di compensare l'apporto ematico in questa regione mediante la creazione di nuovi canali vascolari. Le fratture del radio nei cani di piccola taglia si verificano frequentemente a carico del terzo distale del radio-ulna; pertanto, la capacità rigenerativa dei vasi metafisari potrebbe essere limitata a causa della ridotta densità vascolare a livello della giunzione diafisi-metafisi e potrebbe essere un fattore predisponente allo sviluppo di patologie della guarigione ossea, quali il ritardo di consolidamento e le pseudoartrosi.²⁷

Nei cani di peso inferiore ai 6 kg si è osservata una significativa diminuzione della densità vascolare e arborizzazione dei vasi presenti nella metafisi distale mentre nei soggetti di taglia medio-grande si è osservato un aumento della densità vascolare.

Caratteristiche ossee

Studi effettuati in Medicina Umana hanno dimostrato che i carichi sostenuti dall'osso, precedentemente all'insorgenza della frattura, dipendono dalla sua struttura trabecolare e dalla densità ossea.³⁰⁻³⁹ Una minore frazione di volume osseo, un numero maggiore di trabecole ma più sottili e più distanti tra di loro e la ridotta densità corticale diafisaria possono essere considerati fattori di rischio nell'incidenza delle fratture del radio e dell'ulna nelle razze toy.⁴⁰

Uno studio condotto da Planner⁴⁰ nel 2021 ha valutato i parametri relativi alla struttura trabecolare e alla densità ossea corticale nei cani di piccola taglia mediante microtomografia computerizzata. Dall'analisi dei dati è emerso che questi cani presentano valori leggermente inferiori della frazione di volume osseo (volume osseo/volume totale dei tessuti), un numero di trabecole legger-

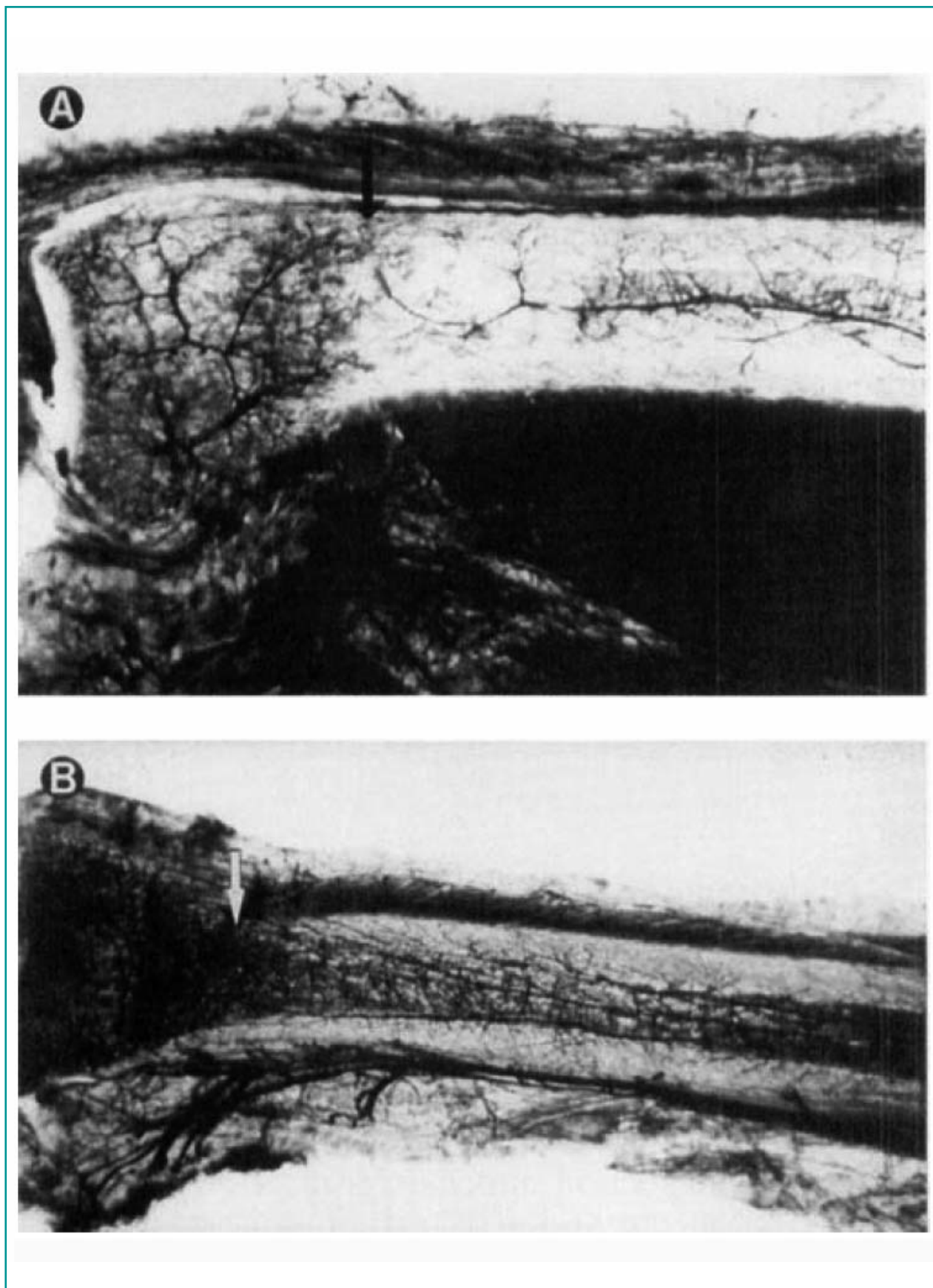


Figura 1 - Visione sagittale del terzo distale del radio di un Jack Russell terrier (A) e di un cane meticcio di media taglia (B) dopo aver processato il tessuto con la tecnica di Spalteholz. Le frecce sottolineano la minor vascolarizzazione nella regione metafisaria nel campione A rispetto al campione B. Immagine tratta da: Welch JA, Boudrieou RJ, Dejardin LM, Spodnick GJ. (1997). The Intraosseous Blood Supply of the Canine Radius: Implications for Healing of Distal Fractures in Small Dogs. *Veterinary Surgery*, 26(1), 57-61.

mente superiore e meno dense e uno spessore trabecolare inferiore. Inoltre, si è evidenziato come la corticale ossea della diafisi del radio nei cani toy presenta una densità leggermente inferiore rispetto alle razze di piccola taglia. In entrambi i gruppi la densità ossea a livello del terzo distale risultava minore rispetto al terzo prossimale del radio.

All'interno del gruppo dei cani toy sono stati osservati risultati eterogenei, poiché i Chihuahua presentavano parametri che si discostavano dalle altre razze. Rispetto agli altri toy e al gruppo delle razze di piccola taglia, i Chihuahua mostravano valori significativamente inferiori della frazione di volume osseo, con differenze statisticamente significative a livello del terzo distale di entrambi i rami ossei analizzati. Inoltre, presentavano trabecole significativamente più sottili e più distanziate. Anche la densità corticale osservata a livello della diafisi del radio e dell'ulna nei Chihuahua è risultata significativamente inferiore rispetto agli altri due gruppi.⁴⁰

La frazione di volume osseo fornisce un'indicazione in merito alle proprietà meccaniche dell'osso trabecolare.³³ È stata analizzata la relazione tra i parametri strutturali dell'osso e il carico di frattura, dimostrando una correlazione significativa tra il carico di frattura meccanico e la frazione di volume osseo ottenuta tramite microtomografia computerizzata in quanto un minor spessore trabecolare è associato a un maggior carico di frattura di un raggio osseo.³¹ Il numero di trabecole e la separazione trabecolare mostrano correlazioni con il microdanno trabecolare,^{37,40} pertanto il carico di frattura di un osso aumenta al diminuire della frazione di volume osseo. La frazione di volume osseo giustifica l'elevata incidenza di rischio di frattura del radio e dell'ulna nei cani di razze toy rispetto alle razze di taglia piccola, in particolare nella razza Chihuahua. Inoltre, la minore densità ossea a livello del terzo distale del radio e dell'ulna di entrambi i gruppi presi in esame può essere considerata una delle cause predisponenti per l'insorgenza delle fratture nelle razze di piccola taglia anche in seguito a traumi a bassa energia. L'incremento numerico, la separazione delle trabecole, associato alla riduzione del loro spessore, possono giustificare sia la maggiore incidenza di fratture dell'avambraccio, che il maggior rischio di complicanze. Infatti, il rischio di mancata consolidazione aumenta con l'incremento del numero e la diminuzione dello spessore delle trabecole.⁴¹ Secondo lo studio di Planner, solo il maggior numero di trabecole, caratteristico delle razze toy, sembra predisporre a un rischio maggiore di complicazioni nel periodo post-operatorio.⁴⁰

Caratteristiche morfologiche

Lo studio di Brianza del 2006¹³ ha cercato di determinare come le caratteristiche geometriche dell'osso pos-

sano influire nell'eziopatogenesi delle fratture distali del radio e dell'ulna. Attraverso la tomografia computerizzata è stata valutata la sezione trasversale del terzo distale di radio-ulna in cani di differenti taglie e si è evidenziato che nei toy la struttura ossea presenta differenze significative rispetto a quanto osservato nei cani di taglia medio-grande. In particolare, le ossa dei cani di dimensioni ridotte, quando sottoposte a carichi ciclici progressivi, presentano un valore del momento di inerzia nettamente inferiore; pertanto, risultano esposte a una maggiore sollecitazione locale e a un possibile cedimento anche quando sottoposte a carichi di bassa entità. La selezione di razza mirata a ottenere animali di dimensioni sempre minori ha determinato modificazioni significative dei rapporti tridimensionali del radio rispetto ai cani di taglia grande. In particolare, la circonferenza esterna del radio risulta significativamente ridotta, mentre quella interna non diminuisce proporzionalmente. Ciò determina un rapporto più elevato tra le due aree rispetto a quanto si osserva nei cani di grossa taglia. Questo adattamento meccanico ha generato ossa con un'area in sezione trasversale proporzionale, ma posizionata più vicina al baricentro che determina una maggiore capacità dell'osso a resistere alle forze di compressione quando viene sottoposto al carico, ma lo rende meno resistente alle forze di flessione assiale o alla torsione rispetto ai cani di taglia maggiore. Questa modificazione morfologica predispone all'insorgenza delle tipiche fratture distali del radio-ulna, caratterizzate da una linea di frattura trasversa o obliqua corta (Figura 2). Inoltre, i risultati suggeriscono che, a causa di tali differenze morfologiche, quando il carico è distribuito in modo proporzionale, il radio-ulna dei cani di razze toy è maggiormente predisposto alle fratture rispetto ai cani di taglia medio-grande.¹³

In particolare, la circonferenza esterna del radio risulta significativamente ridotta, mentre quella interna non diminuisce proporzionalmente.

Caratteristiche meccaniche

Questo tipo di fratture sono spesso considerate secondarie a traumi a basso livello di energia. Lo studio condotto da Delise nel 2004⁴² aveva l'obiettivo di valutare il comportamento meccanico e la densitometria ossea del radio e dell'ulna in cani toy, di taglia media e di taglia grande. Il confronto del comportamento meccanico delle ossa nei tre diversi gruppi non ha mostrato differenze significative nel rapporto carico massimo/peso corporeo, ma ha rivelato una differenza significativa nella deformazione ossea. Il radio-ulna dei cani di piccola taglia ha mostrato infatti una maggiore deformazione os-



Figura 2 - Le fratture trasverse ed oblique corte rappresentano i più comuni pattern di frattura di radio ed ulna nei pazienti toy.



Video figura 2

<https://www.scivac.it/it/v/26587/1>

sea. Inoltre, è stata osservata una differenza statisticamente significativa nella curva di carico-spostamento, con il gruppo dei cani toy che presentava valori più bassi rispetto al gruppo dei cani di taglia grande. Tuttavia, tenendo conto delle diverse dimensioni degli animali, la quantità di energia calcolata per unità di massa necessaria a raggiungere il punto di frattura non è risultata significativamente diversa tra i gruppi. Pertanto, l'affermazione che vede le fratture distali dell'avambraccio dei cani toy come conseguenza di un trauma "a bassa energia" sembra essere smentita in questo studio in cui radio-ulna di cani di diverse dimensioni sembrano mostrare le stesse proprietà meccaniche, sebbene in modo diverso. Il radio delle razze toy ha una struttura geometrica svantaggiosa dal punto di vista meccanico, che lo porta a cedere a forze di flessione di bassa intensità, mentre la minore densità ossea gli conferisce una maggiore elasticità. Viceversa, il radio dei cani di taglia grande ha una struttura geometrica meccanicamente vantaggiosa ma una maggiore densità ossea che lo rende più fragile. Queste caratteristiche diverse si combinano per assorbire, in proporzione al peso del cane, la stessa quantità di energia e cedere a forze analoghe sia nelle ossa più piccole che in quelle più grandi.⁴² È stato ipotizzato che le razze di piccole dimensioni abbiano bassi carichi di cedimento nella diafisi distale di radio e ulna, che li potrebbero predisporre a frattura in seguito a traumi di bassa entità rispetto alle razze medio grandi in cui il verificarsi dello stesso tipo di frattura richiederebbe traumi con un maggiore livello di energia.⁹

TRATTAMENTO

Il trattamento di questa particolare tipologia di fratture presenta un elevato rischio di ritardo di consolidazione o di mancata consolidazione, a causa sia di fattori biologici sia di fattori meccanici tipici di queste razze.^{8-10,14-16} Tra i fattori biomeccanici figurano l'elevata incidenza di fratture oblique corte, la difficoltà di ottenere una perfetta riduzione anatomica vista la tendenza dei muscoli flessori a determinare lo spostamento caudolaterale del moncone distale e lo spazio limitato disponibile per l'applicazione degli impianti a livello del moncone distale.^{7,9,10,19,27,43} Tra i fattori biologici che possono predisporre a complicanze vengono presi in considerazione il contatto limitato della superficie ossea a livello del focolaio di frattura dovuto alla dimensione ridotta dell'osso, la scarsa vascolarizzazione intraossea e la limitata copertura dei tessuti molli.²⁷

Le possibili metodiche di fissazione descritte in Letteratura per il trattamento di questo particolare tipo di frattura includono la coaptazione esterna, l'utilizzo del chiodo endomidollare, la fissazione scheletrica esterna e la fissazione interna.⁴⁴ La scelta della tecnica di fissazione può dipendere dalla dimensione dei frammenti, dalla stabilità intrinseca della frattura e dall'entità del trauma concomitante a carico dei tessuti molli e dall'età del paziente.⁴⁴ La guarigione ossea viene ottenuta nel 89%-100% dei casi con la fissazione interna tramite placca; nel 93%-100% con la fissazione scheletrica esterna; nel 50% dei casi quando vengono utilizzati i chiodi endomidollari e solo nel 43% dei casi se viene utilizzata la coaptazione esterna.^{3, 8,10,43,45-49}

Il trattamento di questa particolare tipologia di fratture presenta un elevato rischio di ritardo di consolidazione o di mancata consolidazione, a causa sia di fattori biologici sia di fattori meccanici tipici di queste razze.

In Letteratura si riporta una incidenza di complicanze dell'83% per la coaptazione esterna, dal 27% al 80% per il chiodo endomidollare, dal 4% al 50% per la fissazione scheletrica esterna e del 5% al 68% per la fissazione interna con placca e viti (Figura 3).^{3,7,8,10,26,45-50}

Alcune di queste tecniche sono state abbandonate o a causa dell'alta incidenza di complicanze, come ad esempio la coaptazione esterna che determina sviluppo di pseudoartrosi fino all'83% delle fratture, o a causa dello sviluppo e immissione nel mercato veterinario di impianti dedicati ai cani toy, che hanno risposto a molte delle richieste dei chirurghi veterinari e rendono ad esempio poco vantaggioso l'utilizzo della fissazione esterna in questa tipologia di fratture.

Pertanto, ad oggi, la fissazione interna con placca e viti mediante utilizzo della tecnica ORIF (Open Reduction and Internal Fixation) è il trattamento più comunemente utilizzato per le fratture di radio-ulna nei cani di piccola taglia, in quanto sono presenti impianti adatti alle loro piccole dimensioni, garantisce una adeguata stabilità, favorisce la guarigione del focolaio di frattura con una bas-

sa incidenza di complicanze, assicura un rapido recupero funzionale e richiede minime cure nel periodo post-operatorio.^{3,7,48}

COAPTAZIONE ESTERNA

L'applicazione del bendaggio steccato per il trattamento di queste fratture è storicamente associato ad un'alta incidenza di complicanze maggiori e alla probabilità di determinare lo sviluppo di pseudoartrosi nel 83%-85% dei casi.^{8,51} Questo elevato tasso di complicanze è legato all'insufficiente stabilità dei monconi ossei che, associato alla scarsa vascolarizzazione del radio distale, contribuisce a creare un ambiente biomeccanico non favorevole alla guarigione della frattura.^{27,51}

L'allineamento e la giustapposizione dei monconi ossei ottenuti durante la prima applicazione del bendaggio vengono difficilmente mantenuti durante tutta la fase di guarigione.

La tensione esercitata dai tendini flessori del carpo e delle dita, il ridotto diametro del raggio osseo e lo scarso rivestimento dei tessuti molli sono i fattori che contri-

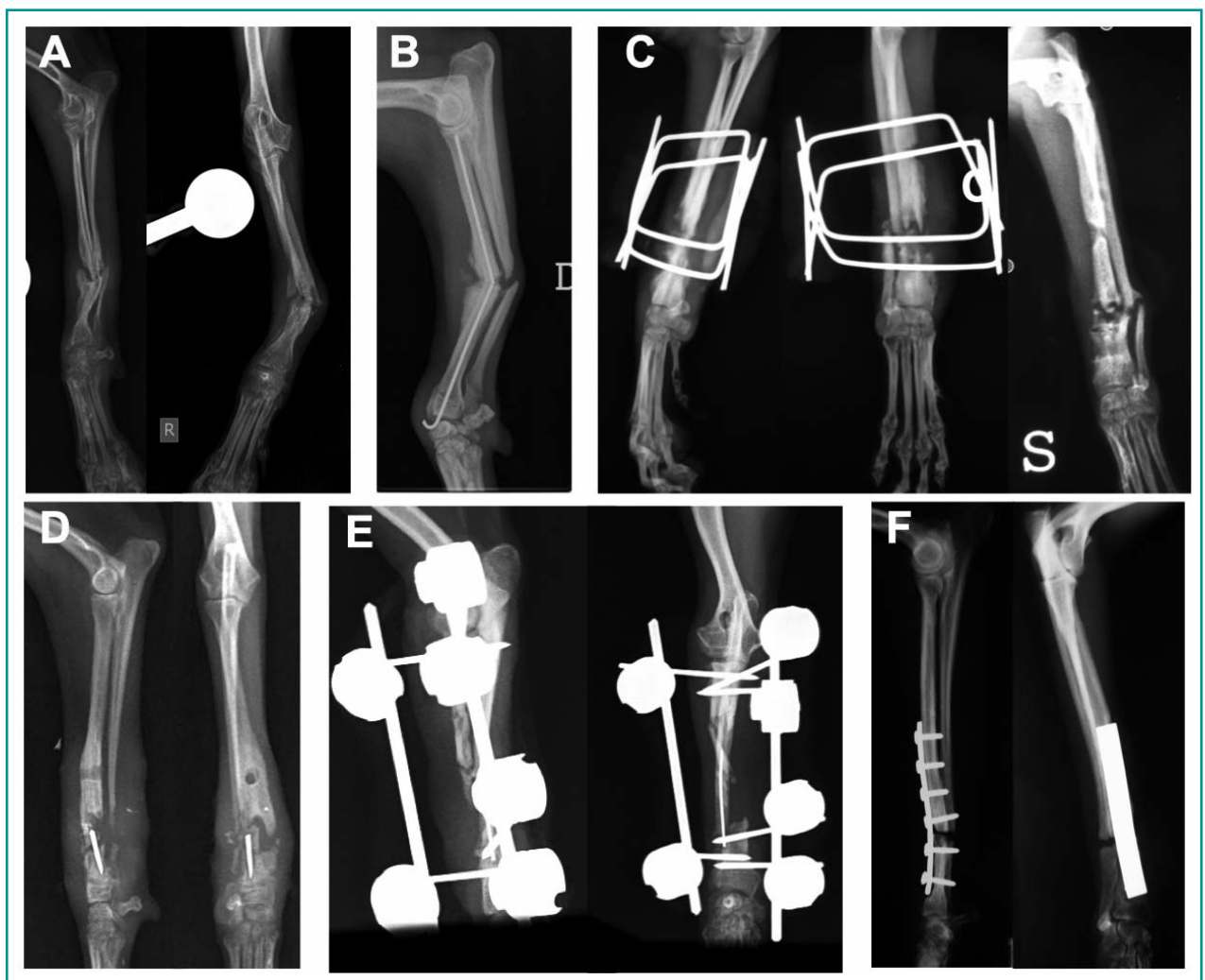


Figura 3 - Esempi di mancata guarigione della frattura e sviluppo di pseudoartrosi dopo trattamento con: A) Coaptazione esterna, B) Chiodo endomidollare, C) Fissatore esterno lineare, D) Dowel pin, E) Dowel pin associato a fissatore esterno lineare, F) Placca DCP.

buiscono alla dislocazione dei monconi e alla conseguente instabilità del focolaio di frattura, con conseguente sviluppo di pseudoartrosi.⁸ L'utilizzo del bendaggio, così come l'uso dell'inchiodamento endomidollare, viene ad oggi considerato un metodo di trattamento sconsigliato per questa tipologia di fratture.⁵¹ L'applicazione della coaptazione esterna può talvolta trovare indicazione nel paziente pediatrico in cui, a causa delle dimensioni ridotte del raggio osseo e della presenza della fisi di ac-

crescimento in prossimità della frattura, non è possibile applicare impianti ortopedici e in cui l'elevato potenziale biologico di guarigione permette la guarigione del focolaio di frattura, con un rischio intrinseco di guarigione ossea malconsolidata (Figura 4), caratterizzata da valgismo e torsione esterna.⁸

CHIEDO ENDOMIDOLLARE

Il trattamento delle fratture distali di radio-ulna nei cani

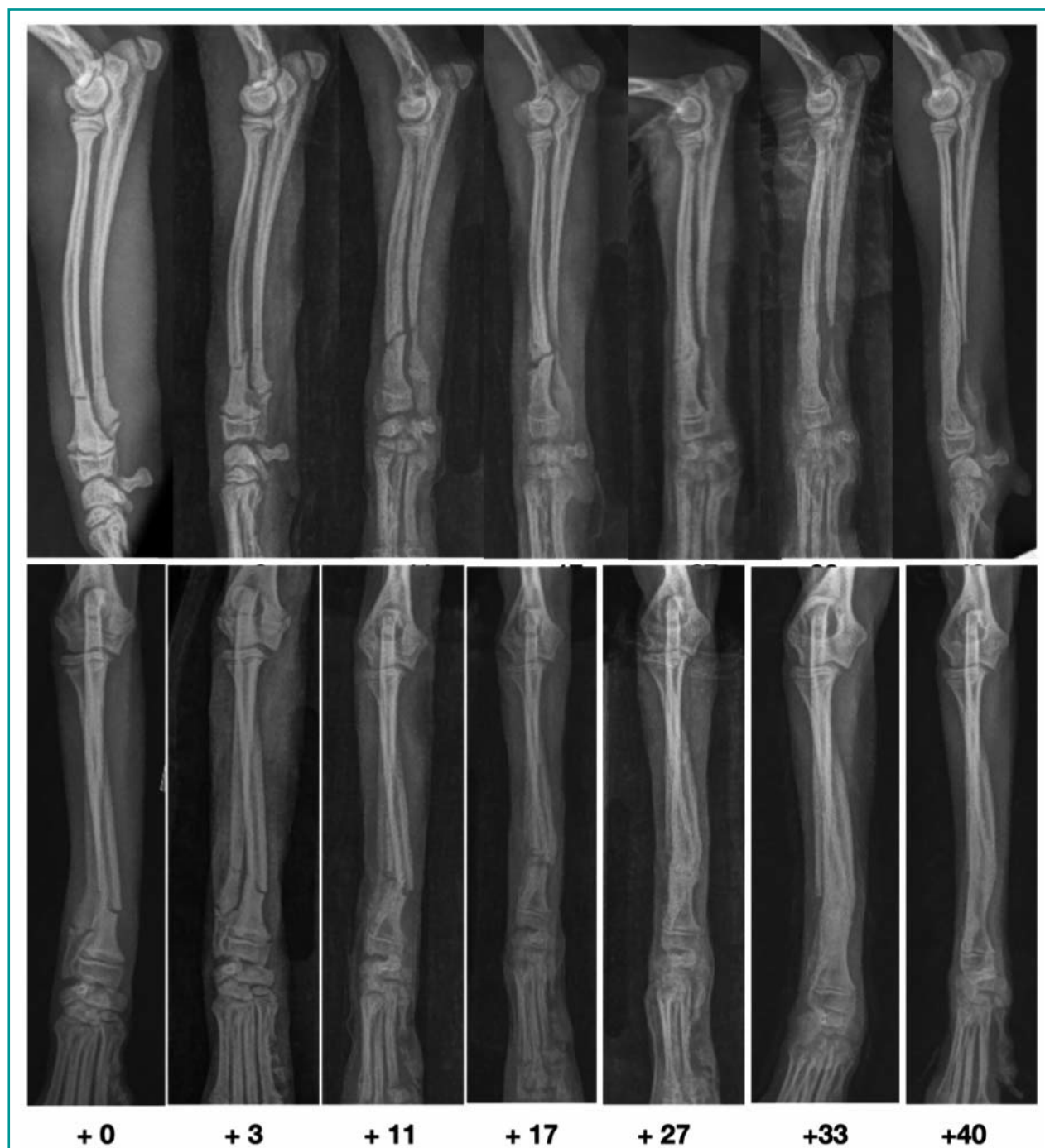


Figura 4 - Barbone Toy, femmina intera, 4 mesi di età e 0.7 kg di peso. La sequenza radiografica mostra la gestione della frattura obliqua corta coaptazione esterna a causa di patologia metabolica che rendeva eccessivamente rischioso effettuare anestesia generale per eseguire osteosintesi interna con placca. Si può evidenziare dai radiogrammi come la frattura sia consolidata, con un malallineamento caratterizzato da torsione esterna di radio e ulna.

toy mediante utilizzo del chiodo endomidollare è stato descritto da Lappin e colleghi nel 1983 in 8 casi.⁸ L'incidenza di complicanze riportata dall'autore è dell'87%, che corrisponde al verificarsi di complicanze in 7 casi su 8 trattati mediante inchiodamento endomidollare. Nel dettaglio, in due casi si sono verificate complicanze catastrofiche che hanno portato alla successiva amputazione dell'arto operato, mentre nei restanti cinque casi sono stati riportati pseudoartrosi in due casi, malconsolidazione in due casi, sublussazione dell'articolazione antebrachio-carpica e artropatia degenerativa dell'articolazione del gomito in un caso. Dei casi inclusi nello studio era disponibile il follow-up a lungo termine solo in 4 degli 8 casi presi in considerazione. Di questi, 3 avevano raggiunto la consolidazione della frattura tra il secondo e il quinto mese mentre nel quarto caso la guarigione era stata ottenuta successivamente alla revisione chirurgica mediante applicazione di osteosintesi interna con placca e viti. La funzionalità dell'arto operato era giudicata scarsa nella maggior parte dei casi trattati.⁸

Anche lo studio di Waters e colleghi pubblicato nel 1993 conferma gli stessi risultati fallimentari nel trattare le fratture di radio-ulna nei cani toy con chiodo endomidollare.⁴³ In base all'esperienza degli autori l'utilizzo del chiodo endomidollare favorisce lo sviluppo di pseudoartrosi in quanto questo sistema di fissazione non consente di contrastare le forze di torsione e inoltre determina una marcata degenerazione dell'articolazione antebrachio-carpica, punto di inserimento del chiodo endomidollare. Un altro aspetto da tenere in considerazione è che il canale midollare dei cani toy è molto piccolo e tentativi ripetuti di inserimento del chiodo potrebbero portare a fissurazioni o danni vascolari a carico dell'osso.⁴³

DOWEL PINNING

Yu e colleghi nel 2011 hanno riportato l'utilizzo della tecnica dowel pinning, in associazione o meno all'applicazione di un fissatore esterno di tipo Ia.⁵² La tecnica originale prevedeva l'applicazione di un unico chiodo endomidollare di piccole dimensioni. Tuttavia, nello studio è stato evidenziato come l'utilizzo di un unico chiodo non fosse sufficiente a neutralizzare tutte le forze che agiscono sul focolaio di frattura. Nello studio di Yu e colleghi sono stati valutati 60 casi divisi in due gruppi: 51 casi sono stati trattati mediante approccio a cielo aperto e fissazione con dowel pinning e fissatore esterno di tipo IA, mentre i restanti 9 casi sono stati trattati mediante riduzione a cielo chiuso e applicazione di fissatore esterno di tipo Ia. Nei 51 casi trattati mediante dowel pinning veniva effettuato un approccio cranio-mediale a livello del focolaio di frattura e veniva eseguito un foro guida di circa 4.0 mm all'interno del canale midollare del moncone prossimale del radio con un filo di

Kirschner. Veniva quindi inserito per via retrograda un filo di Kirschner di diametro variabile in base alle dimensioni dell'animale tra gli 0.7 mm e i 2.0 mm a livello del moncone distale del radio fino a quando non si incontrava resistenza. La parte terminale del filo veniva accorciata in modo da fuoriuscire di circa 4.0 mm dal moncone distale del radio e ridurre il rischio di penetrare in modo iatrogeno l'articolazione del carpo. Successivamente si otteneva la riduzione del focolaio di frattura inserendo il filo di Kirschner nel foro precedentemente praticato nel canale midollare del moncone prossimale del radio. Veniva quindi applicato un fissatore esterno di tipo Ia, mediante inserimento di chiodi a filettatura positiva a livello della porzione prossimale e distale del radio, mentre si inserivano chiodi lisci a livello del terzo medio del radio, data la presenza del dowel pin. Tutti i chiodi venivano quindi collegati mediante applicazione di una singola barra costituita da polimetilmetacrilato. Dallo studio radiografico eseguito nell'immediato post-operatorio si evidenziava una migliore riduzione e un miglior allineamento dell'arto nel gruppo trattato mediante tecnica dowel pinning. Il gruppo in cui era stato applicato il dowel pin presentava un'apposizione dei monconi ossei sul piano frontale del 95%, poco superiore rispetto al gruppo in cui è stato applicato solo il fissatore esterno che presentava un'apposizione del 90%. Sul piano sagittale l'apposizione era del 97% per il gruppo trattato con dowel pin e 77% con fissazione esterna.

Tuttavia, nello studio è stato evidenziato come l'utilizzo di un unico chiodo non fosse sufficiente a neutralizzare tutte le forze che agiscono sul focolaio di frattura.

L'incidenza di complicanze nel gruppo trattato con dowel pinning era del 5%: in due casi si è verificato il cedimento dei fili di Kirschner al momento della rimozione del fissatore esterno mentre in 1 caso si è verificata la frattura del radio prossimalmente al dowel pin durante la rimozione del fissatore esterno. L'incidenza di complicanze nel gruppo trattato solamente con fissatore esterno era del 22%: in 2 casi si è verificato il cedimento dei fili di Kirschner al momento della rimozione del fissatore esterno. Nonostante queste complicanze la guarigione ossea è stata ottenuta in tutti i casi inclusi nello studio, con un tempo medio di consolidazione nei casi trattati solo con fissatore esterno di 7.2 settimane, a differenza del gruppo trattato mediante dowel pinning e fissatore esterno tipo IA, il cui la guarigione ossea avveniva tardivamente, circa 9.7 settimane dopo il trattamento chirurgico, probabilmente a causa del trauma vascolare determinato dalla canalizzazione del canale midollare del radio per l'applicazione del dowel pin.⁵²

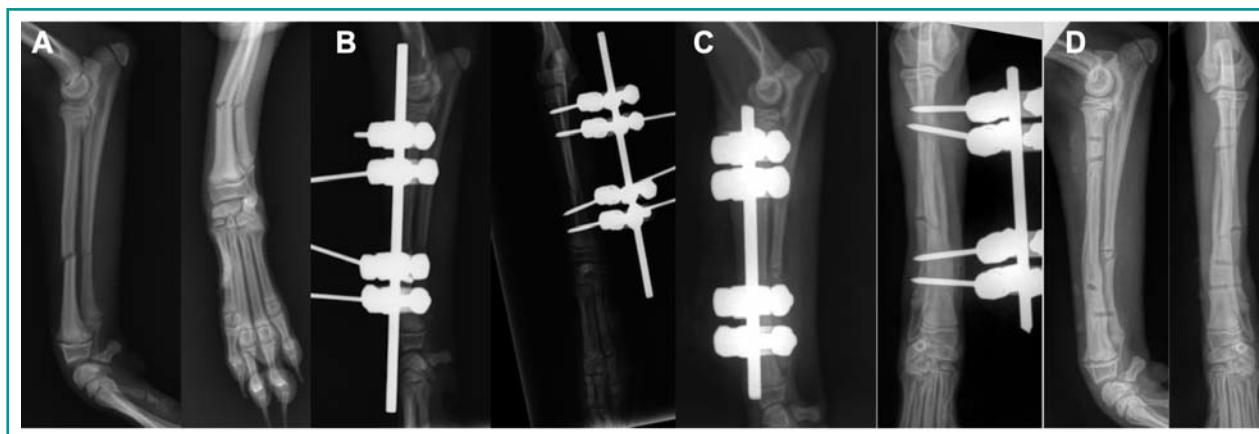


Figura 5 - Chihuahua, femmina intera, 4 mesi di età, 1.6 kg di peso, affetta da frattura traversa di radio-una centro-diafisaria (A). Trattata con fissatore esterno lineare (B), è stata ottenuta la consolidazione del focoloia di frattura (C) ed è stato rimosso il fissatore esterno lineare 24 giorni dopo il trattamento (D).

FISSAZIONE SCHELETRICA ESTERNA

La fissazione scheletrica esterna è una tecnica chirurgica ancora molto utilizzata nel trattamento delle fratture dello scheletro appendicolare del cane e del gatto. Sono stati fatti numerosi progressi nei componenti e nella strumentazione dei fissatori scheletrici esterni, inclusi miglioramenti nel design dei componenti e nello sviluppo di diverse configurazioni nei sistemi di fissazione.⁴⁷

In Letteratura è stato dimostrato che l'utilizzo della fissazione esterna rappresenti un metodo efficace per il trattamento delle fratture di radio-ulna nei cani toy (Figura 5), sebbene richieda una notevole gestione nel periodo post-operatorio e sia associata a possibili complicanze con un'incidenza variabile dal 4% al 50%.^{9,43,45-47,49}

Le principali complicanze associate all'utilizzo della fissazione scheletrica esterna sono l'allentamento dei chiodi, la formazione di essudato nel punto del loro inserimento, lo sviluppo di pseudoartrosi, il ritardo di consolidazione, lo sviluppo di SSI (Surgical Site Infections) e il cedimento degli impianti. L'infezione lungo il tragitto dei chiodi è la complicanza più comunemente riportata.⁴⁵

Il tempo medio di guarigione ossea delle fratture di radio-ulna nei cani toy trattate mediante fissazione esterna è di circa 60 giorni nel caso in cui venga utilizzata la fissazione esterna lineare e di circa 70 giorni nel caso in cui venga utilizzata la fissazione esterna circolare.^{5,7,45,52}

Fissazione esterna lineare

Le fratture distali di radio e ulna possono essere trattate con diverse configurazioni di fissazione esterna lineare. La difficoltà maggiore nel trattamento di queste fratture è rappresentata dalla ridotta dimensione del moncone distale che spesso non consente di rispettare uno dei principi base della fissazione esterna, che prevede l'inserimento di tre elementi da presa in ciascun moncone osseo.

Per assicurare una buona presa ai monconi os-

sei di piccole dimensioni è consigliabile utilizzare chiodi filettati, che possono avere un profilo negativo o positivo. I chiodi con filettatura positiva sono più forti e ingaggiano l'osso in modo più sicuro. Un chiodo con filettatura positiva presenta diametro costante per tutta la sua lunghezza, questo conferisce maggior resistenza alla forza di piegamento rispetto ad un chiodo con filettatura negativa. La parte filettata presenta diametro maggiore rispetto alla parte priva di filettatura. È consigliabile eseguire la pre-foratura dell'osso con una punta da trapano di diametro leggermente inferiore a quello del chiodo, in modo tale da migliorare la qualità dell'interfaccia chiodo-osso.⁵³

Nei cani di piccola taglia, pertanto, si utilizzano generalmente chiodi di diametro compreso tra 1 mm e 1.6 mm. Il chiodo deve essere del maggior diametro consentito per poter conferire stabilità all'apparato, tuttavia, per evitare indebolimenti dell'osso e predisporre a fratture iatrogene, non deve superare il 25-30% del suo diametro. Il diametro delle barre scelto varia in funzione del peso dell'animale e del grado di instabilità del focoloia di frattura.⁵⁴

In Letteratura l'utilizzo di fissatori esterni lineari nelle fratture del radio-ulna è stato descritto solo in cani di peso superiore a 10 kg e in tre cani di piccola taglia utilizzando una configurazione di tipo II.^{8,43,45,46}

Dalla Letteratura si evince che il sistema di fissazione esterna mediante morsetti di tipo Kirschner-Ehmer e Meynard non sia ideale per il trattamento delle fratture nei cani toy a causa della disparità di dimensioni tra i morsetti e il radio, che limita il posizionamento dei chiodi su monconi ossei di piccole dimensioni.⁴⁷

Nei cani di piccola taglia, pertanto, si utilizzano generalmente chiodi di diametro compreso tra 1 mm e 1.6 mm.

Per ovviare a questa problematica, Haas e colleghi hanno utilizzato un sistema di fissazione esterna tubolare, denominato F.E.S.S.A. (Fixateur Externe du Service de Santé des Armées).⁴⁷ La particolare disposizione dei fori nel sistema F.E.S.S.A. permette un posizionamento più ravvicinato dei chiodi nei monconi ossei di piccole dimensioni rispetto ad altri sistemi. Inoltre, il sistema tubolare combina la funzione della barra di connessione e dei morsetti, riducendo al minimo il peso del fissatore esterno. Nello studio Haas ha utilizzato il sistema F.E.S.S.A. come fissatore esterno lineare tipo I per il trattamento di ventidue fratture di radio-ulna in cani toy. Lo studio ha permesso di evidenziare come il sistema tubolare consenta di applicare fino a sei chiodi su un moncone di 15 mm, mentre non sarebbe possibile, in un moncone di queste dimensioni, applicare più di tre chiodi del sistema Meynard o tre viti della placca DCP 2.0 mm.⁴⁷ La rigidità di un fissatore esterno è influenzata dalla posizione relativa dei componenti del fissatore rispetto alla frattura e all'osso.^{54,55} Il tubo del sistema F.E.S.S.A. può essere posizionato molto vicino alla cute poiché non ci sono morsetti; inoltre, è possibile inserire fino a quattro chiodi in un frammento osseo lungo 1 cm.⁴⁷ Entrambi questi aspetti determinano una riduzione del carico e delle forze di piegamento che agiscono su ciascun chiodo e incrementano la durabilità della stabilità del fissatore.⁵⁶

È stato riportato che il sistema tubolare F.E.S.S.A. consente di ottenere la consolidazione ossea nel 87% dei casi ed è associato a un'incidenza di complicanze del 40%, di cui 27% minori e 13% maggiori. Tra le complicanze minori è stato riportato un solo caso di riassorbimento del radio e due casi di riassorbimento dell'ulna.⁴⁷ La Letteratura riporta un'incidenza di riassorbimento osseo intorno al 22% secondario all'applicazione di fissatori esterni lineari, simile a quanto riportato per la fissazione interna mediante placca. Tra le complicanze maggiori, invece, si riporta un solo caso di rifrattura avvenuta circa 65 giorni dopo la rimozione del fissatore esterno.⁴⁷

Fissazione esterna con barra in resina di acrilica

L'applicazione dei fissatori esterni standard nei cani di piccola taglia è resa complessa dalla disparità di dimensioni tra i morsetti e il diametro dell'osso, che limita il posizionamento dei chiodi a livello dei monconi ossei di piccole dimensioni. Aumentano le difficoltà la ridotta dimensione del radio, unita alla sua sezione ovale e al lieve procurvato fisiologico.^{3,47}

Un'alternativa ai sistemi standard di fissazione esterna è rappresentata dall'applicazione di chiodi per fissazione collegati tra loro da una barra costituita da resina di metilmetacrilato.⁵⁷

Questo tipo di fissatore esterno ha il vantaggio di non vincolare la direzione dei chiodi in base alla posizione

della barra, permettendo di posizionare e angolare i chiodi in qualsiasi piano, a qualsiasi angolo e in qualsiasi configurazione. Inoltre, la scelta del diametro dei chiodi non è influenzata dalla dimensione del morsetto. Le barre in acrilico sono resistenti e forniscono una varietà di vantaggi rispetto ai sistemi di fissazione esterna convenzionali. Grazie alla loro adattabilità e al loro peso ridotto le barre in acrilico sono particolarmente utili nei cani di razza toy.⁵⁷⁻⁶⁰

Il tempo medio di guarigione riportato in Letteratura con l'utilizzo di fissatori esterni con barra in metilmetacrilato è di 60 giorni. Nella maggior parte dei casi descritti in Letteratura in cui è stato utilizzato questo sistema di fissazione è stata eseguita la destabilizzazione del fissatore circa 60 giorni dopo l'intervento chirurgico e dopo circa 28 giorni è stata effettuata la rimozione del fissatore esterno. La destabilizzazione dell'impianto può essere eseguita con il paziente sveglio e convertendo il fissatore esterno da una configurazione più complessa a una più semplice.

L'incidenza di complicanze minori riportate con questo sistema è del 37.1%, mentre l'incidenza delle complicanze maggiori è del 2.9%.⁵⁷

Un'alternativa ai sistemi standard di fissazione esterna è rappresentata dall'applicazione di chiodi per fissazione collegati tra loro da una barra costituita da resina di metilmetacrilato.

Esattamente come per la fissazione esterna convenzionale, le principali complicanze riportate sono l'infezione nel punto di inserimento dei chiodi e l'allentamento dei chiodi.⁶¹

Questa tecnica offre un'alternativa efficace per la fissazione delle fratture distali del radio-ulna nei cani toy in modo poco invasivo, preservando la biologia del focolaio di frattura, inoltre facilita la riduzione e l'allineamento della frattura, garantisce un'adeguata stabilità della fissazione e consente una semplice destabilizzazione e rimozione dell'impianto.⁵⁷

Fissazione esterna circolare

L'apparato di Ilizarov rappresentava una valida alternativa per il trattamento di questa tipologia di fratture quando nel mercato veterinario non erano presenti placche di piccole dimensioni adatte a questo particolare tipo di pazienti e quando ancora non erano presenti i sistemi di placche ad angolo stabile.

L'apparato di Ilizarov garantisce infatti una adeguata stabilità al focolaio di frattura mediante applicazione di due anelli sul moncone prossimale e di due soli fili di Ilizarov a livello del moncone distale connessi con l'anello. Inoltre, l'apparato di Ilizarov è un sistema altamente versatile e può essere applicato in maniera mini-invasiva, pre-

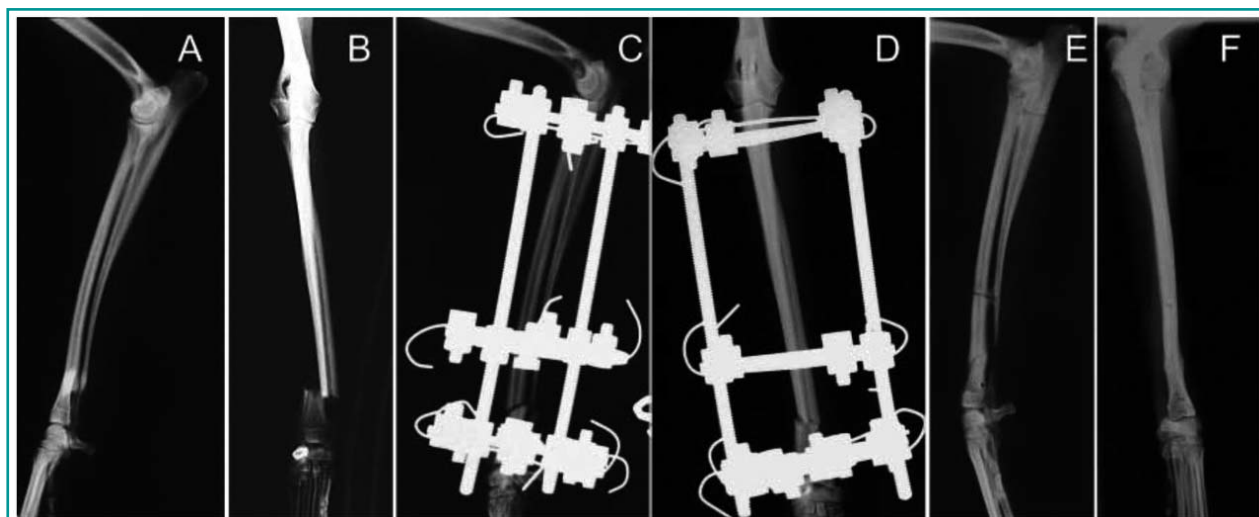


Figura 6 - Frattura distale di radio-ulna in un piccolo levrier italiano di due anni trattata con fissazione esterna circolare: A) e B) Radiogrammi pre-operatori medio-laterali e cranio-caudali. C) e D) Radiogrammi effettuati nell'immediato post-operatorio in proiezione medio-laterali e cranio-caudali. E) e F) Radiogrammi eseguiti al controllo a 65 giorni: la frattura del radio si è consolidata. Si nota il riassorbimento dell'ulna distale.

servando l'apporto vascolare e riducendo al minimo il danno iatrogeno ai tessuti molli.⁵

In Letteratura sono stati pubblicati solamente due studi che descrivono il trattamento delle fratture di radio-ulna nei cani di piccola taglia con apparato di Ilizarov. In entrambi gli studi sono stati utilizzati apparati costituiti da un blocco con due anelli sul moncone prossimale e un singolo anello sul moncone distale. In base alla Letteratura i fili di Ilizarov nei cani di peso inferiore a 5 kg non devono essere tensionati e sul mercato sono disponibili anelli di dimensione adeguata, con diametro di 35, 40 e 45 mm.

Dalle pubblicazioni si evince che il tempo medio di gua-

rigione riportato varia dai 59 ai 70 giorni e il recupero funzionale è stato giudicato da buono a eccellente nel 95% dei casi trattati (Figura 6). Si può pertanto affermare che il sistema di fissazione esterna circolare rappresenti una tecnica efficace nel trattamento delle fratture di radio-ulna nei cani toy.

Tuttavia, il suo utilizzo nel trattamento di questo particolare tipo di fratture non è privo di difficoltà. Innanzitutto, il radio in queste razze è molto sottile, con una sezione ovale e la lieve procurvatura craniale rendono complesso l'inserimento dei chiodi in direzione medio-laterale durante l'applicazione dell'apparato.^{5,44}

Piras e colleghi⁵ hanno riportato complicanze minori in

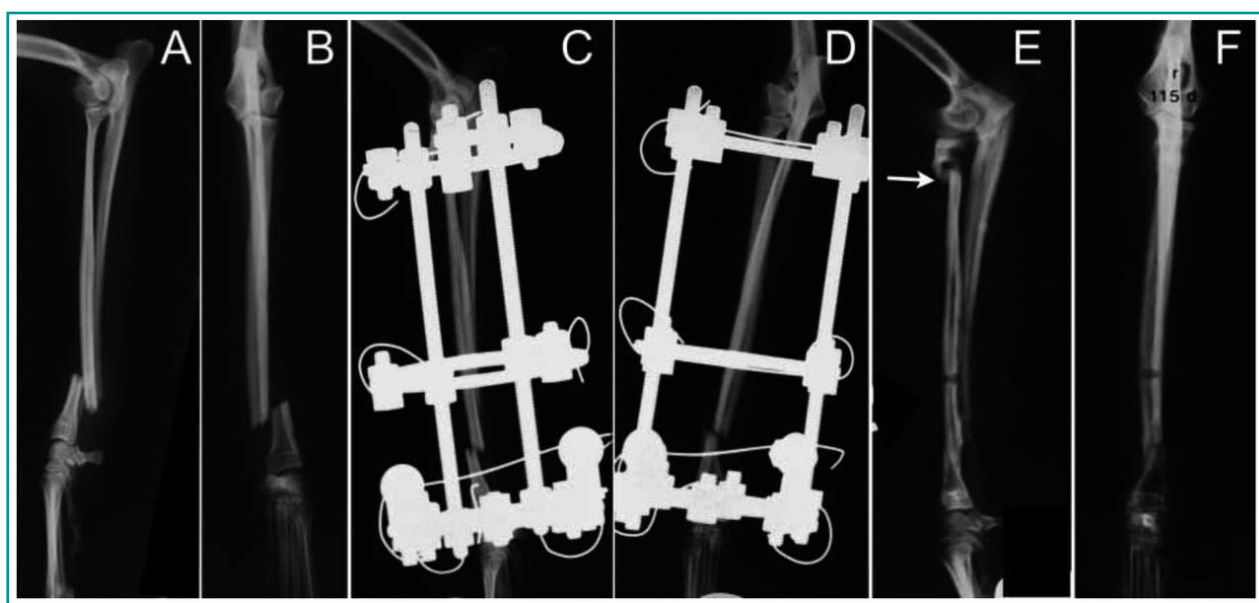


Figura 7 - Frattura non dislocata a livello del radio prossimale, lungo il tragitto di uno dei chiodi del fissatore esterno circolare, secondaria a un posizionamento eccentrico del chiodo.

8 casi su 20 (40%), tra cui infezioni nel punto di inserimento dei fili, sinostosi radio-ulnare e riassorbimento dell'ulna. Non sono stati riportati casi in cui si è verificato riassorbimento osseo a livello del radio. In nessun caso si è verificata una riduzione dell'escursione articolare del carpo, complicanza comune nel trattamento delle fratture distali di radio-ulna con placca e viti.

In un caso gli autori hanno riportato il verificarsi di una frattura non dislocata a livello del radio prossimale, lungo il tragitto di uno dei chiodi (Figura 7). Per evitare il verificarsi di questa complicanza è raccomandabile applicare i chiodi prossimali a livello della testa del radio e non a livello della porzione più stretta della diafisi, che si trova distalmente alla testa del radio. Inoltre, un tragitto del chiodo con dimensioni superiori al 40% del diametro dell'osso potrebbe costituire un fattore di rischio che predispone alla frattura; pertanto, è fondamentale una selezione adeguata della dimensione degli impianti. Questa complicanza è stata trattata mediante applicazione di un bendaggio steccato e confinamento in gabbia per due settimane. Anche nello studio condotto da Bierens è stata riscontrata una frattura a livello del tragitto del chiodo prossimale in tre casi, trattata in modo conservativo.⁴⁴ L'autore ha preso in considerazione come possibili fattori predisponenti per questo tipo di complicanza l'orientamento dei chiodi, il riassorbimento osseo intorno al chiodo, la dimensione del chiodo in relazione al diametro dell'osso e il posizionamento nella porzione più sottile del radio.

In un solo caso nello studio di Bierens si è verificata una rifrattura a livello della frattura originaria, che è stata trattata mediante osteosintesi interna. Questa complicanza secondo gli autori è determinata dall'osteolisi con conseguente allentamento degli elementi da presa, che determinano un eccessivo movimento assiale dei monconi ossei con formazione di un callo osseo non adeguato a sopportare le forze di scivolamento presenti a livello

della frattura obliqua corta.⁶²⁻⁶⁴

Diversamente dallo studio condotto da Piras e colleghi⁵, in cui è stato utilizzato un anello incompleto nel blocco prossimale in modo da garantire una escursione articolare fisiologica a livello del gomito, nello studio condotto da Bierens⁴⁴ sono stati utilizzati solo anelli completi. È stato infatti dimostrato che l'utilizzo di semi-anelli comporta una riduzione della rigidità del fissatore del 25%-30% rispetto alle forze di compressione assiale, piegamento e torsione. Un ulteriore vantaggio è che gli anelli completi permettono una maggior versatilità nel posizionamento dei chiodi.⁶⁵

Sulla base dei risultati riportati in Letteratura si evince che la fissazione esterna rappresenta una tecnica efficace assicurando la guarigione ossea nel 93%-100% dei casi. Tuttavia, è importante considerare l'elevata incidenza di complicanze, la lunga gestione post-operatoria e la necessità di una forte collaborazione da parte dei proprietari. Questi fattori portano pertanto molti chirurghi a prediligere l'osteosintesi interna rispetto alla fissazione esterna.

OSTEOSINTESI INTERNA

Il trattamento di queste fratture con l'osteosintesi interna con placca e viti è associata a un tasso di complicanze inferiore rispetto ad altri metodi di fissazione, come la coaptazione esterna o la fissazione endomidollare.^{3,8,10,43} Il principale problema nella stabilizzazione è rappresentato dalla dimensione ridotta delle ossa e del moncone distale. Questo rende difficile seguire le linee guida per l'applicazione delle placche, che prevedono l'ingaggio di almeno quattro, ma preferibilmente sei, corticali su ciascun moncone osseo. In passato venivano utilizzate placche a "T" disponibili sul mercato umano, ma le barre della "T" che si estendevano lateralmente risultavano spesso troppo grandi e sporgevano oltre l'osso sottostante. Talvolta le placche venivano modificate per essere utilizzate nei cani toy, rimuovendo una o entrambe le barre della "T".¹⁰ Sono

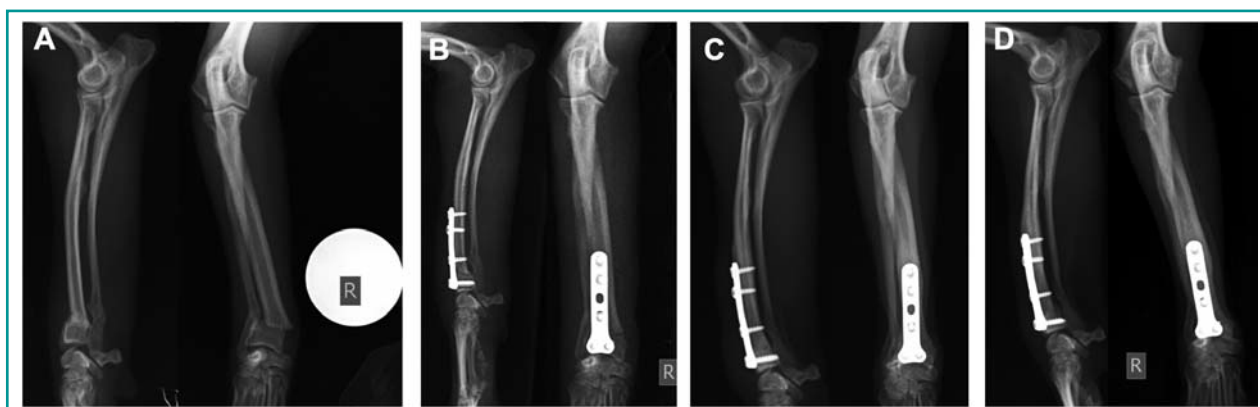


Figura 8 - Radiografie preoperatorie (A) e postoperatorie (B) di un Chihuahua di 10 mesi d'età e 2.5 kg di peso trattato con osteosintesi interna con placca Veterinary Instrumentation DCP a T, con viti corticali da 1.5 mm di diametro. Si nota la riduzione anatomica con compressione del focoloia di frattura. I controlli radiografici a 2 (C) e 7 (D) mesi mostrano la guarigione per prima intenzione della frattura.

Il trattamento di queste fratture con l'osteosintesi interna con placca e viti è associata a un tasso di complicanze inferiore rispetto ad altri metodi di fissazione, come la coaptazione esterna o la fissazione endomidollare.

state utilizzate anche placche sviluppate per il trattamento di fratture delle dita umane^{10,19} ma erano larghe, sottili e soggette a cedimento sotto carico ciclico.

Larsen ha riportato nel 1999 il trattamento con osteosintesi interna di fratture distali di radio-ulna in 18 cani con un peso medio di 3.7 kg, osservando un'incidenza totale di complicanze del 54%, di cui il 18% catastrofiche.¹⁰ Tre dei quattro casi in cui si era verificata una complicanza catastrofica erano stati sottoposti a una precedente chirurgia che potrebbe aver determinato la compromissione della vascolarizzazione e del processo di guarigione.¹⁰ Per cercare di ridurre questa elevata incidenza di complicanze, è stato introdotto nel mercato veterinario nel 1987 l'uso di placche a "T" Synthes AO con viti da 1.5-2.0 mm di diametro (Figura 8). La dimensione ridotta di queste placche e la vicinanza dei due fori distali per l'inserimento delle viti consentono di posizionare almeno due viti nel moncone distale, cosa che non sarebbe possibile utilizzando una placca a compressione dinamica DCP retta. La placca a "T" AO da 1.5-2.0 mm è stretta ma è circa 0.2 mm più spessa rispetto alla placca corrispondente DCP retta a 6 fori, rendendola ideale per l'uso nei cani di piccole dimensioni. Il lavoro retrospettivo pubblicato da Hamilton nel 2005 ha dimostrato come il design della placca mini a "T" offra eccellente stabilità e consenta di ottenere compressione interframmentaria attraverso il focolaio di frattura, pro-

muovendo la guarigione ossea per prima intenzione. In questo studio è stato necessario rimuovere l'impianto solo in un caso dopo circa cinque mesi dalla chirurgia e l'animale ha riportato un'altra frattura attraverso uno dei fori vuoti della vite dopo circa due anni.³

La protezione da stress e l'osteopenia dopo la fissazione con placca (Figura 9) rappresentano una preoccupazione e una possibile ragione per la rimozione precoce della placca una volta ottenuta la guarigione della frattura.⁶⁶ Tuttavia, nello studio retrospettivo di Hamilton, in cui i casi avevano un follow-up medio di quattro anni e sei mesi, l'osteopenia del radio non è stata mai osservata e pertanto non è stata causa di alcuna complicanza. Solo un caso presentava una lieve osteopenia del carpo, considerata da disuso. Il riassorbimento dell'ulna è stato osservato in 10 fratture in nove cani, probabilmente secondario all'instabilità nel focolaio di frattura dell'ulna o alla protezione dallo stress. Un'ulteriore complicanza osservata nello studio di Hamilton è la riduzione della flessione del carpo. Questo è probabilmente secondario all'interferenza della placca con i tendini estensori ed è una complicazione riconosciuta della fissazione con placca delle fratture distali del radio e dell'ulna.⁶⁷ Questa problematica potrebbe essere evitata mediante l'applicazione della placca sul versante mediale del radio⁶⁷ sebbene nei cani toy è estremamente difficile applicare l'impianto sul versante mediale considerate le dimensioni ridotte dell'osso. Relativamente al riassorbimento dell'ulna, nello studio di Hamilton è stato riportato un marcato riassorbimento dell'ulna in tutti i casi che erano interventi di revisione, mentre il riassorbimento dell'ulna era presente solo nella metà dei casi che non erano interventi di revisione.³ La spiegazione

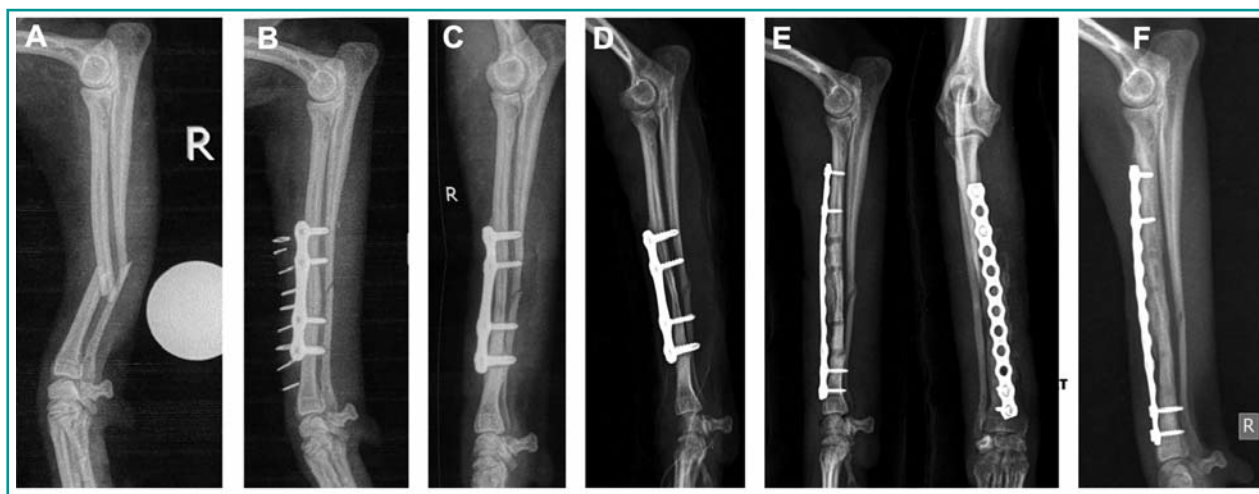


Figura 9 - Radiografia preoperatoria di un Barbone Toy di 1 anno di età e 2 kg di peso. B) Immagine postoperatoria che mostra l'esecuzione di osteosintesi interna con sistema ad angolo stabile Fixin con viti da 1.9 mm di diametro. C) Controllo radiografico a un mese in cui si nota iniziale osteopenia impianto indotta (stress shielding). D) Controllo a 3 mesi dall'intervento in cui è evidente un grave riassorbimento osseo, per il quale è stata eseguita revisione chirurgica applicando un impianto più esteso ed elastico (Kyon ALPS), associato ad innesto osseo sintetico (E). Il controllo a due mesi dalla revisione mostra risoluzione dell'osteopenia (F)

dell'autore è che il riassorbimento dell'ulna sia dovuto all'instabilità nel sito della frattura dell'ulna o alla protezione dallo stress, ma che tuttavia questo riscontro radiografico non sia associato ad alcuna rilevanza clinica.³ Nel 2016 Ramírez ha riportato il trattamento di 13 fratture distali di radio-ulna in cani di peso compreso fra 1 e 4 kg con placche convenzionali DCP.⁶⁸ Tutte le fratture di cui era disponibile il follow-up clinico e radiografico a 6-8 settimane hanno conseguito la consolidazione ossea, il recupero funzionale è stato considerato eccellente in tutti e 10 i cani e non si sono verificate complicanze maggiori. Si sono osservate complicanze minori in 4 cani: una piaga superficiale da pressione e tre casi di lieve osteopenia da protezione da stress rilevata al follow-up radiografico a 6-8 settimane. Sulla base dei risultati l'autore ha concluso che le placche DCP convenzionali rappresentano una scelta adeguata per la stabilizzazione delle fratture del radio e dell'ulna distali nei cani di razza toy e non sono necessariamente correlate a un'elevata incidenza di complicanze. Secondo l'autore i vantaggi garantiti dall'utilizzo delle placche DCP convenzionali sono rappresentati dalla disponibilità degli impianti, dal costo ridotto, dal minor tempo chirurgico, dal minor numero di visite di controllo necessarie e dall'assenza di necessità di rimozione dell'impianto. Infatti, anche nei tre casi in cui si era osservata una lieve osteopenia da protezione da stress non è stato necessario rimuovere gli impianti ma è stato semplicemente consigliato di aumentare l'attività fisica dell'animale.⁶⁸

Nel 2017 Watrous⁵⁰ ha riportato il trattamento delle fratture del terzo distale di radio-ulna in cani di peso inferiore ai 9 kg, utilizzando l'osteosintesi interna con placche tagliabili, con viti di dimensione variabile da 1.5 mm a 2.7 mm di diametro. Sono state incluse nello studio 34 fratture in 31 cani. Dei venticinque casi in cui era disponibile un controllo a lungo termine, 9 casi hanno riportato complicanze minori e 8 casi hanno mostrato complicanze maggiori. Il 32% dei casi ha richiesto almeno una revisione chirurgica. Pertanto, il 68% di complicanze osservato in questo studio è risultato superiore al tasso complessivo di complicanze del 54% precedentemente riportato da Larsen.^{10,50} Nello studio retrospettivo di Watrous la coaptazione esterna è stata utilizzata in 23 dei 31 casi successivamente al trattamento chirurgico del radio e dell'ulna con osteosintesi interna. La coaptazione esterna ha causato complicanze in 8 casi e ha comportato il prolungamento della degenza in alcuni casi. La necessità di applicare la coaptazione esterna dopo la stabilizzazione interna è controversa.⁵⁰ L'applicazione del bendaggio ha il potenziale di causare piaghe da pressione, gonfiore e dermatiti.^{69,70}

Nello studio di Watrous la decisione di applicare la coaptazione esterna nel periodo post-operatorio si basa

va sul giudizio soggettivo del chirurgo che prendeva in considerazione la stabilità dell'osteosintesi e la resistenza dell'impianto. Relativamente alla possibile interferenza tra la placca e i tendini estensori nelle fratture che interessano la porzione distale del radio, gli autori evidenziano come questa interferenza possa rappresentare un fattore di rischio per il verificarsi di zoppia persistente e potrebbe richiedere la rimozione della placca nei cani di razza miniatura e toy.^{4,50} Le fratture del radio e dell'ulna in queste razze hanno tipicamente una configurazione semplice, trasversa o obliqua corta, e quindi trovano indicazione nella riduzione anatomica e nella compressione interframmentaria.

L'applicazione del bendaggio ha il potenziale di causare piaghe da pressione, gonfiore e dermatiti.

Il ripristino della colonna ossea del radio tramite la riduzione a cielo aperto e la fissazione interna genera una condivisione del carico tra l'osso e la placca, consentendo al chirurgo di poter selezionare una placca più sottile, riducendo il rischio di interferenza con i tendini estensori e la successiva necessità di rimuovere l'impianto. Dei 105 casi di fratture distali di radio-ulna descritti nello studio di De Arburn Parent, solo 2 casi hanno richiesto la rimozione dell'impianto e in entrambi i casi l'esame batteriologico ha evidenziato la presenza di SSI (Surgical Site Infection).⁷¹ Poiché la dimensione media degli impianti utilizzati in questo studio retrospettivo era inferiore rispetto a quanto riportato in precedenza,¹⁰ si può presumere che la scelta di una placca più sottile possa aver ridotto la necessità di rimuovere l'impianto a causa dell'interferenza con i tendini. Nello studio di De Arburn Parent l'incidenza totale di complicanze postoperatorie era del 25%, di cui solo il 3% rappresentato da complicanze maggiori.⁷¹ Questi risultati sono nettamente più favorevoli rispetto a quelli riportati da Larsen nel 1999, in cui la frequenza delle complicanze postoperatorie era del 54%, di cui il 18% catastrofiche.¹⁰ Diversi fattori possono spiegare queste differenze. Innanzitutto, il 55% delle fratture incluse nello studio di Larsen erano croniche ed erano stati fatti tentativi precedenti di trattamento chirurgico, il che potrebbe aver comportato un minor potenziale di guarigione ossea e un tasso di insuccesso maggiore.¹⁰ Viceversa, meno del 4% delle fratture di radio e ulna incluse nello studio di De Arburn Parent erano pseudoartrosi.⁷¹ Inoltre, nello studio di Larsen, l'osteopenia era considerata una complicanza, determinando un aumento del tasso di complicanze minori dal 44% al 54%.¹⁰ Nel 77% dei casi inclusi nello studio di De Arburn Parent che presentavano segni radiografici di osteopenia al momento dell'ultimo follow-up radiografico non

si è verificato nessun evento avverso che suggerisse una rifrattura.⁷¹ Secondo l'autore questi risultati suggeriscono che l'osteopenia non è necessariamente associata a un maggiore rischio di rifrattura e si potrebbe presumere che l'osteopenia sia stata transitoria e principalmente correlata all'uso di dispositivi di coaptazione esterna postoperatoria, dato che l'uso di placche più piccole e sottili potrebbe comportare un minore rischio di stress shielding. L'autore, pertanto, sulla base della sua esperienza personale, presume che, sebbene sarebbe stato necessario eseguire un follow-up radiografico a lungo termine per confermare, un ritorno alla normale funzionalità dell'arto trattato consenta il rimodellamento osseo attorno alla placca e un aumento a lungo termine dello spessore delle corticali del radio e dell'ulna. Inoltre, non è chiaro se nello studio di Larsen fosse stata utilizzata la coaptazione esterna come sistema ausiliario di stabilizzazione nel periodo post-operatorio. Nello studio di De Arburn Parent bendaggi (17%), bendaggi steccati (75%) o gessi (6%) sono stati utilizzati in quasi tutti i cani inclusi nello studio per proteggere l'osteosintesi nella fase iniziale della guarigione ossea.⁷¹

L'utilizzo della coaptazione esterna, tuttavia, era alla base della maggior parte delle complicanze minori riportate nell'articolo. Alla luce delle irritazioni cutanee e delle ferite associate ai bendaggi, si potrebbe mettere in discussione l'uso di dispositivi di coaptazione esterna nella gestione postoperatoria di tali fratture. Tuttavia, è opinione di De Arburn Parent e colleghi che fornire stabilità iniziale e aggiuntiva alla riparazione dovrebbe consentire al chirurgo di selezionare impianti più piccoli, riducendo la necessità di effettuare in futuro la ri-

mozione dell'impianto.⁷¹

Nello studio di De Arburn Parent si è verificato un solo fallimento dell'impianto 3 settimane dopo l'intervento chirurgico in un Barboncino Miniature di 3,6 kg trattato con placca tagliabile a 8 fori da 1,5 mm-2,0 mm.⁷¹ Le placche tagliabili sono state utilizzate nello studio solo nel 10% delle fratture di radio e ulna, riflettendo la preferenza degli autori per l'uso di placche che consentano la compressione interframmentaria. Nello studio di De Arburn Parent il 99% dei cani è tornato a un livello normale di attività.⁷¹ La mediana del tempo di guarigione delle fratture riportato era di 6 settimane. Questi risultati suggeriscono che la guarigione ossea non sembra essere influenzata negativamente da un approccio chirurgico ORIF al focolaio di frattura, rispetto a quando vengono utilizzate procedure minimamente invasive. Il tempo di guarigione delle fratture riportata in questo studio è sovrapponibile al tempo necessario per la guarigione di una frattura di radio-ulna nelle razze di dimensioni maggiori. Inoltre, il tempo di guarigione nei casi trattati con tecnica ORIF potrebbe essere sovrastimato. Infatti, è più difficile giudicare radiograficamente la guarigione di una frattura trattata con compressione interframmentaria, che si basa sulla scomparsa radiografica

della linea di frattura, rispetto a una frattura trattata in modo biologico, in cui è più facile rilevare la formazione del callo osseo.

L'immissione sul mercato sia umano che veterinario delle placche ad angolo stabile ha presentato differenti vantaggi. Le placche ad angolo stabile sono impianti di recente sviluppo per l'osteosintesi e si comportano come

Questi risultati suggeriscono che la guarigione ossea non sembra essere influenzata negativamente da un approccio chirurgico ORIF al focolaio di frattura, rispetto a quando vengono utilizzate procedure minimamente invasive.

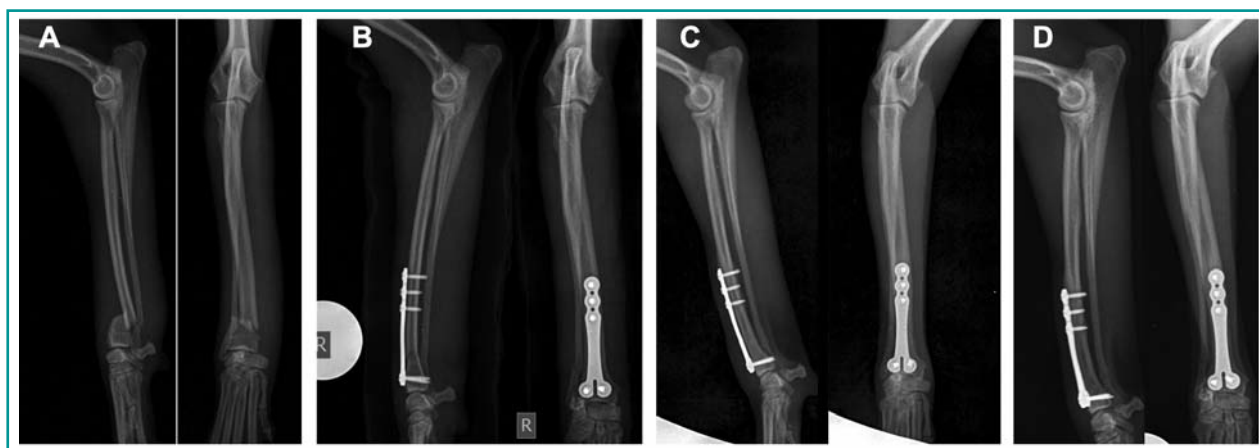


Figura 10 - Radiografie preoperatorie (A) e postoperatorie (B) di un Barbone Toy di un anno d'età e 3 kg di peso trattato con osteosintesi interna con placca ad angolo stabile Fixin a T, con viti da 1,7 mm di diametro. Controlli radiografici a 3 (C) e 6 (D) mesi mostrano la guarigione della frattura.

fissatori ad uso interno grazie al nodo che si forma tra la testa delle viti e i fori della placca. Questo meccanismo crea una stabilità intrinseca tra le teste delle viti e la placca, simile alle proprietà di un fissatore scheletrico esterno.⁵³ Pertanto, la stabilità della fissazione non dipende dall'attrito creato dalla compressione della placca sull'osso, come avviene con le placche convenzionali. Questi impianti ad angolo stabile resistono meglio alle forze di taglio rispetto a quelli tradizionali e, di conseguenza, è molto meno probabile che falliscano a causa del pull out delle viti. Sono anche in grado di sopportare carichi assiali più elevati, consentendo una fissazione più robusta in ossa potenzialmente più deboli.⁷² La capacità di applicare un impianto interno con un contatto minimo o nullo con l'osso sottostante presenta diversi vantaggi biologici rispetto all'utilizzo delle placche convenzionali. Studi sperimentali e clinici in chirurgia umana hanno dimostrato che le placche ad angolo stabile sono superiori alle placche convenzionali in termini di semplicità di gestione, progressione della guarigione delle fratture e resistenza locale alle infezioni. Non richiedono un perfetto modellamento della placca alla superficie ossea per mantenere la riduzione della frattura;⁵³ ciò riduce i tempi chirurgici e consente un trattamento biologico della frattura utilizzando un approccio aperto limitato. I tempi chirurgici sono anche più brevi perché le viti sono autofilettanti e possono anche essere autopercoranti. La stabilità dell'impianto e la resistenza all'allentamento o all'estrazione delle viti sono superiori nei fissatori interni rispetto alle placche convenzionali. Inoltre, poiché le viti ad angolo stabile sono sottoposte a un

precarico di trazione minimo, non è necessario che coinvolgano due corticali e possono essere inserite come viti monocorticali.

Nel 2009 Voss ha riportato il trattamento delle fratture distali di radio-ulna in 14 cani toy con l'impianto ad angolo stabile Unilock.⁴⁸ Il sistema Unilock è un sistema di osteosintesi interna sviluppato in origine per il trattamento di fratture mandibolari in Medicina umana che ha successivamente trovato applicazione anche nell'osteosintesi di fratture maxillofacciali e dello scheletro appendicolare negli animali da compagnia.^{53,73} Il sistema 2.0 mm è disponibile in placche di tre diversi spessori: 1.0 mm, 1.3 mm e 1.5 mm. Le placche da ricostruzione Unilock sono disponibili in diverse lunghezze e forme e sono tagliabili. Le placche e le viti sono realizzate in titanio, consentendo al chirurgo di poter modellare l'impianto su tre piani. Nello studio della Dr. Voss il sistema Unilock ha permesso di ottenere la consolidazione del focolo di frattura e sono state riportate solo complicanze minori, senza osservare disturbi della consolidazione.⁴⁸

La stabilità dell'impianto e la resistenza all'allentamento o all'estrazione delle viti sono superiori nei fissatori interni rispetto alle placche convenzionali.

Nel 2015 Gibert e colleghi⁷ hanno valutato l'utilizzo delle placche ad angolo stabile Synthes LCP (Figura 10), rette o a "T", nel trattamento delle fratture distali di radio e ulna in cani di peso inferiore ai 6 kg. In questo studio,

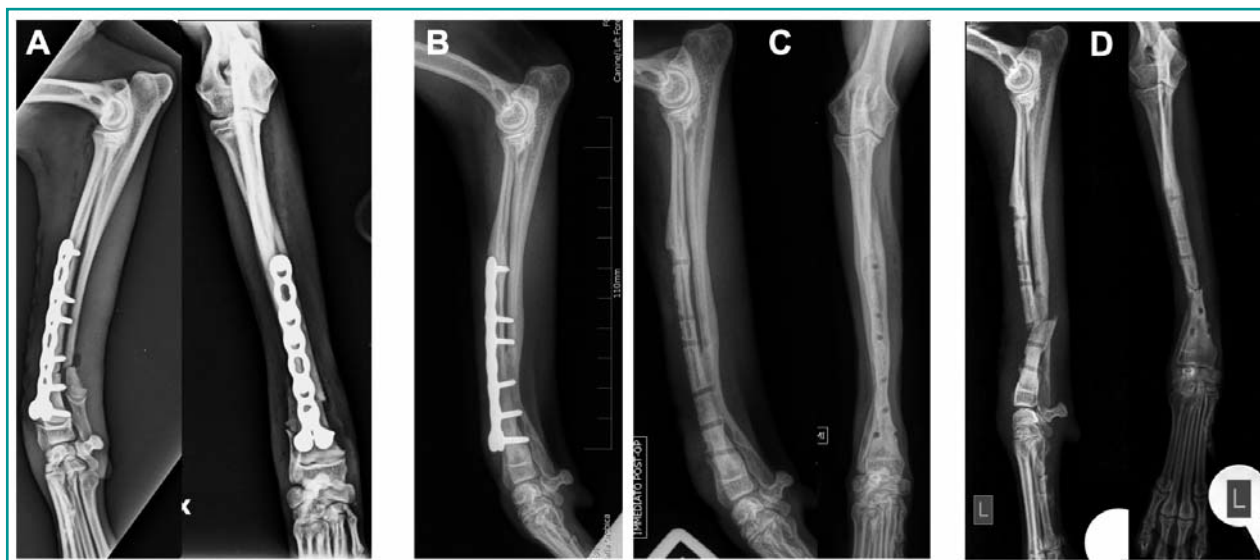


Figura 11 - Radiografie postoperatorie di un Piccolo Levriero Italiano di un anno, sottoposto ad osteosintesi interna con placca ad angolo stabile, Synthes LCP. A) Immagine postoperatoria. B) Controllo radiografico a 4 mesi dall'intervento, in occasione del quale è stata eseguita la rimozione dei mezzi di sintesi. C) Rifrattura avvenuta un giorno dopo la rimozione degli impianti nell'area di maggiore osteopenia.

la riduzione a cielo aperto e la stabilizzazione delle fratture con la placca LCP ha determinato un risultato eccellente in tutti i casi. Tutte le fratture sono guarite in un periodo di tempo relativamente breve, con una media di 6,9 settimane. Nessuna delle fratture ha sviluppato guarigione ritardata o è esitata in pseudoartrosi. L'unico caso di osteomielite è stato risolto con terapia antibiotica e rimozione dell'impianto. L'utilizzo della placca a "T" con testa intagliata è stata particolarmente utile nella fissazione dei monconi ossei distali di dimensioni ridotte, permettendo sempre l'inserimento di due viti bloccate anche nei frammenti più corti. La testa intagliata della placca a "T" ha consentito di modellare indipendente i due fori distali senza compromettere la filettatura del foro e, di conseguenza, il meccanismo che garantisce la stabilità angolare. Il modellamento dell'impianto ha inoltre permesso alla placca di adattarsi alla superficie craniale leggermente convessa del radio distale, limitando la possibile interferenza con i tendini estensori. Questo modellamento consente di inserire le viti a livello del moncone distale in direzione convergente, migliorando la presa sull'osso.⁷³ La fissazione ibrida è stata eseguita in tutti i cani utilizzando una combinazione di viti bloccate e non bloccate. La fissazione ibrida offre diversi vantaggi durante la stabilizzazione di una frattura distale semplice del radio: innanzitutto, la possibilità di applicare compressione al focolaio di frattura e, in secondo luogo, la possibilità di angolare le viti lontano dalla linea di frattura e anche di dirigere la vite verso il centro della diafisi. Nello studio di Gibert è stato necessario rimuovere l'impianto solo in un caso in cui non si è verificata rifrattura. Una possibile complicanza dopo la rimozione dell'impianto potrebbe essere rappresentata dalla rifrattura nel sito della frattura (Figura 11) o in un foro vuoto della vite.^{7,28} Nessuna di queste complicanze è stata osservata nello studio di Gibert, pertanto, basandosi su questa osservazione, gli autori ritengono che la rimozione della placca LCP dopo la stabilizzazione delle fratture distali del radio nei cani toy possa essere non necessaria, e consigliano la rimozione della placca solo se vi è una necessità specifica. Inoltre, poiché effettuando la compressione interframmentaria si ottiene la guarigione per prima intenzione e poiché è necessario molto tempo affinché avvenga il rimodellamento osseo, gli autori sottolineano come sia imprudente rimuovere gli impianti prima di cinque mesi dal trattamento chirurgico.^{7,74} Per ovviare il problema della rimozione degli impianti, nel 2005 il Dr Saikku-Bäckström ha valutato l'utilizzo di impianti biodegradabili.⁷⁵ Gli impianti biodegradabili sono sempre più utilizzati in ortopedia umana, mentre l'uso in Medicina veterinaria è limitato probabilmente a causa del loro costo relativamente elevato rispetto agli impianti in acciaio chirurgico o titanio. Il modulo di fles-

sione dell'impianto è simile a quello dell'osso corticale e gli stress vengono trasferiti gradualmente all'osso in guarigione durante la degradazione dell'impianto, il che diminuisce il rischio di osteoporosi e stimola sia la crescita ossea sia il rimodellamento.^{76,77} La struttura autorinforzata degli impianti biodegradabili, in cui una matrice è rinforzata da fibre della stessa sostanza, ha permesso la produzione di dispositivi con valori di resistenza iniziali paragonabili a quelli dell'acciaio.⁷⁸ Nello studio di Saikku-Bäckström dieci fratture di radio-ulna sono guarite completamente senza il verificarsi di malconsolidazioni. In un caso si è osservato il fallimento della placca 4 settimane dopo il trattamento chirurgico. Due cani inclusi nello studio hanno sviluppato lesioni cutanee, in un caso a causa dell'applicazione della coaptazione esterna e in un caso secondariamente alla tensione della pelle indotta dall'impianto. In questo studio clinico pilota, la coaptazione esterna è stata utilizzata per supportare la fissazione fino a quando i segni di guarigione erano evidenti nelle radiografie.⁷⁵

Una possibile complicanza dopo la rimozione dell'impianto potrebbe essere rappresentata dalla rifrattura nel sito della frattura o in un foro vuoto della vite.

La coaptazione esterna può causare osteopenia da disuso nei cani di razza toy e quindi di solito viene evitata dopo la fissazione interna. Le placche SR-PLA hanno consentito una selezione intraoperatoria individuale per i siti delle viti, permettendo così di posizionare 3-4 viti anche nei frammenti distali più piccoli. Il tempo di guarigione ossea evidente nelle radiografie variava da 4 a 14 settimane. La maggior parte delle fratture è guarita con la formazione di un minimo callo periostale, indicando la presenza di micromovimenti nel sito della frattura. La valutazione della guarigione della frattura è stata facilitata dalla radiotrasparenza delle placche SR-PLA. Il tempo di guarigione delle fratture trattate con questo metodo è difficile da confrontare con i trattamenti con placche in acciaio chirurgico o in titanio, poiché la radiodensità delle placche metalliche interferisce con la valutazione della linea di frattura. Non sono stati osservati segni radiografici di osteopenia sotto la placca. Questo risultato era prevedibile, poiché il modulo di elasticità dell'impianto SR-PLA è simile a quello dell'osso e il carico viene gradualmente trasferito all'osso in guarigione durante la biodegradazione della placca. L'osteoporosi indotta dall'impianto ha una patogenesi multifattoriale in cui l'osteonecrosi insorge precocemente principalmente a causa di insufficienza vascolare corticale dovuta al trauma iniziale, alla fissazione ORIF della frattura e alla compressione indotta dalla placca. In seguito, la protezione

dallo stress a causa della rigidità eccessiva degli impianti metallici rispetto all'osso può contribuire allo sviluppo dell'osteoporosi.^{76,77,79} La degradazione delle placche SR-PLA è stata ben tollerata e non ha indotto reazioni clinicamente evidenti da corpo estraneo. Si suppone che la placca SR-PLA dovrebbe degradarsi in circa 3 anni.⁸⁰ Tuttavia nello studio la degradazione della placca è stata valutata solo tramite palpazione, poiché l'impianto è radiotrasparente. Dopo 2 anni, solo una placca era ancora appena palpabile. Gli autori di questo studio hanno concluso che le placche assorbibili SR-PLA e le mini-viti metalliche possano essere utilizzate con successo in combinazione con leggeri bendaggi esterni per il trattamento di fratture di radio e ulna nei cani di razza toy.⁷⁵

Nel 2016 Kang ha valutato in uno studio retrospettivo l'efficacia di un sistema di placche bloccate mini da 1.2 mm per il trattamento di 14 fratture del radio e dell'ulna in 12 cani di razza toy.⁸¹ In questo studio tutte le fratture hanno raggiunto la consolidazione ossea in un tempo medio di 8 settimane, gli animali hanno mostrato un soddisfacente recupero funzionale senza complicanze catastrofiche, nonostante quattro casi fossero revisioni di interventi chirurgici eseguiti precedentemente. Secondo l'autore il principale vantaggio garantito dal sistema ad angolo stabile mini utilizzato in questo studio potrebbe essere legato alla stabilità ottenuta a livello del moncone di piccole dimensioni mediante l'utilizzo di viti bloccate. Il sistema mini utilizzato presenta alcune limitazioni

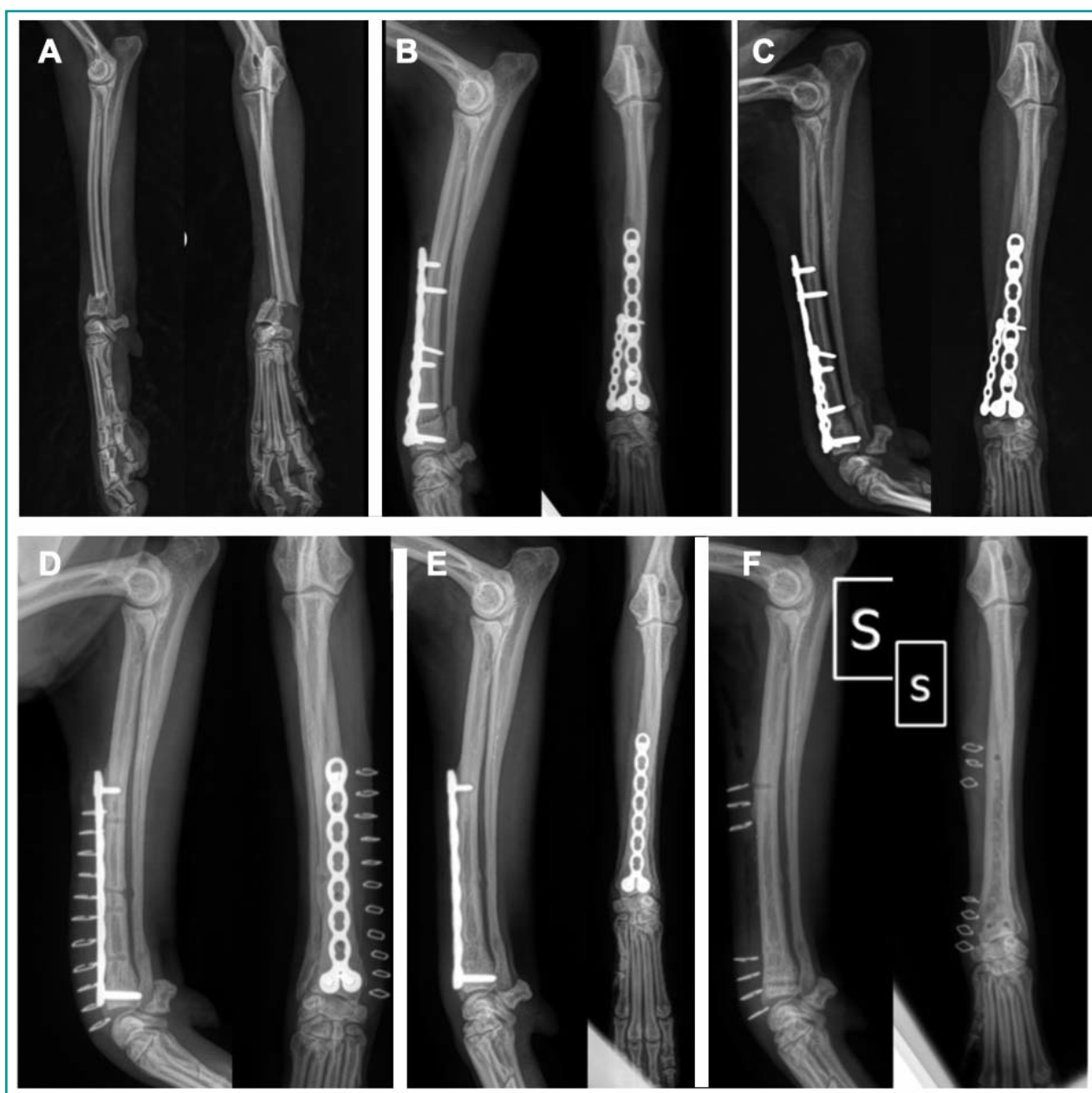


Figura 12 - Radiografie di un barbone toy di 14 mesi affetto da frattura di radio-ulna distale trattato mediante applicazione di placche ortogonali, che consentono il posizionamento di un numero maggiore di viti in un moncone di dimensioni ridotte.

rispetto ad altri sistemi di placche bloccate ibride, che utilizzano una combinazione di viti bloccate e non bloccate. Le placche ibride possono essere utilizzate per esercitare la compressione interframmentaria durante la stabilizzazione di una frattura semplice. Il sistema di placche bloccate mini non dispone di un foro per viti di carico che consenta di applicare il principio della compressione statica. Pertanto, può verificarsi un gap interframmentario se la compressione manuale è insufficiente. Inoltre, in questo sistema le viti devono essere inserite nella placca ad un angolo perpendicolare preciso. Questo angolo fisso impedisce al chirurgo di poter angolare le viti all'interno della placca, limitando così la flessibilità del posizionamento delle viti.⁸¹

Nel 2017 Nelson ha riportato la sua esperienza clinica nel trattamento di fratture distali di radio-ulna in cani di peso inferiore a 4 kg con placca la placca 1.5 mm Locking Adaption Plate e la placca 2.0 mm LC-DCP.⁸² La placca Adaptation Plate ha una densità di fori per viti per centimetro di placca maggiore rispetto alla LC-DCP da 2.0 mm. Pertanto, è stata scelta quando era difficile inserire un minimo di due viti nel moncone distale con un'altra placca. L'incidenza di complicanze riportata in questo studio era del 50% quando sono state utilizzate le Locking Adaption Plate da 1.5 mm e del 14,3% quando l'osteosintesi della frattura è stata effettuata con le LC-DCP da 2.0 mm. Gli autori sono pertanto giunti alla conclusione che la Locking Adaptation Plate da 1.5 mm dovrebbe essere utilizzata solo quando una placca LC-DCP da 2.0 mm non permette di inserire un minimo di due viti nel moncone distale.⁸²

Le placche ibride possono essere utilizzate per esercitare la compressione interframmentaria durante la stabilizzazione di una frattura semplice.

Manchi e colleghi nel 2017 hanno riportato il trattamento delle fratture distali di radio e ulna nei cani toy con il sistema PCCS (Paraosseous Clamp-Cerclage Stabilisation).⁸³ Il PCCS è un metodo di osteosintesi interna sviluppato come trattamento a basso costo per le fratture diafisarie semplici e comminute delle ossa lunghe nei cani e nei gatti. L'apparato utilizzato nello studio di Manchi e colleghi prevede l'utilizzo di fili di Kirschner di misura compresa tra 0.8 e 1.4 mm e di un filo da cerchiaggio di diametro compreso tra 0.5 e 0.8mm. Sono state riportate complicanze nel 41% dei casi trattati, di cui il 24% era rappresentato da complicanze maggiori. Le complicanze minori si sono verificate nel 17% dei casi, e comprendevano lesioni da bendaggio in 2 casi e necrosi cutanea a livello interfalangeo in 1 caso. In 16 dei 17 casi inclusi nello studio è stata ottenuta la completa consolidazione della linea di frattura in media 13.5 settimane

dopo il trattamento chirurgico, evidenziando quindi una guarigione più lenta rispetto all'utilizzo delle placche LCP (6.9 ± 2.5 settimane) o del fissatore esterno circolare (10 ± 4 settimane).⁸³

Nel 2021 il Dr Higuchi ha valutato la guarigione delle fratture distali di radio-ulna nei cani toy utilizzando un sistema di fissazione con placche ortogonali (OP, Orthogonal Plating).⁸⁴ Nelson aveva riportato nel 2017 l'utilizzo di placche ortogonali nelle revisioni chirurgiche di fratture di radio-ulna in cani toy. Con questa tecnica, la flessione craniale si verificava nel piano della placca mediale: più ampia è la placca in questo piano, maggiore è il momento di inerzia e la rigidità/resistenza alle forze di flessione quando l'arto viene caricato.⁸² Questo sistema ortogonale è stato riportato dal Dr Craig e colleghi nel 2018 per trattare fratture diafisarie di tibia nei gatti utilizzando placche ortogonali tagliabili con una lunga working length.⁸⁵ Dallo studio di Craig si è osservata la formazione di callo mineralizzato intorno al sito di frattura, nonostante la stabilità relativamente rigida della fissazione. La tecnica OP consente di stabilizzare la frattura senza comprimere la placca all'osso: questo potrebbe essere vantaggioso nel minimizzare la compressione della placca sui vasi sanguigni periostali vicini al sito di frattura. Inoltre, l'OP potrebbe essere utile nel consentire il posizionamento di un numero maggiore di viti in un moncone piccolo poiché le placche possono essere sfalsate (Figura 12). Le complicanze potenzialmente associate all'applicazione di placche ortogonali includono quelle legate ad una stabilizzazione eccessivamente rigida del focolaio di frattura, tra cui unione ritardata, non unione,

sviluppo di osteopenia e rifrattura dopo la rimozione della placca.^{16,18,68} Nello studio di Higuchi sono state applicate due placche tagliabili, una è stata posizionata sulla superficie craniale del radio e l'altra sul versante laterale del radio per aumentare la rigidità della stabilizzazione in cani di

razza toy con un peso inferiore a 3,5 kg.⁸⁴ La consolidazione radiografica di radio e ulna è stata raggiunta dopo una media di $6,1 \pm 1,5$ e $5,7 \pm 1,7$ settimane, rispettivamente. In questo studio, in tutti i casi è stato applicato un innesto di osseo spongioso prelevato dall'omero ipsilaterale. Sebbene l'applicazione clinica dell'innesto di osseo spongioso nei cani di razza toy sia limitata dalla piccola quantità di materiale disponibile, l'innesto osseo potrebbe anche influenzare il tempo di guarigione ossea. La placca craniale è stata rimossa quando la guarigione ossea di radio o ulna è diventata evidente, in media $40,6 \pm 9,1$ giorni dopo l'intervento chirurgico. Secondo l'autore la destabilizzazione determinata dalla rimozione della placca craniale potrebbe essere benefica, portando a un aumento del carico sull'osso e accelerando la guarigione ossea.⁸⁶ In questo studio, è stata inserita una placca più lunga sul versante laterale per proteggere dal

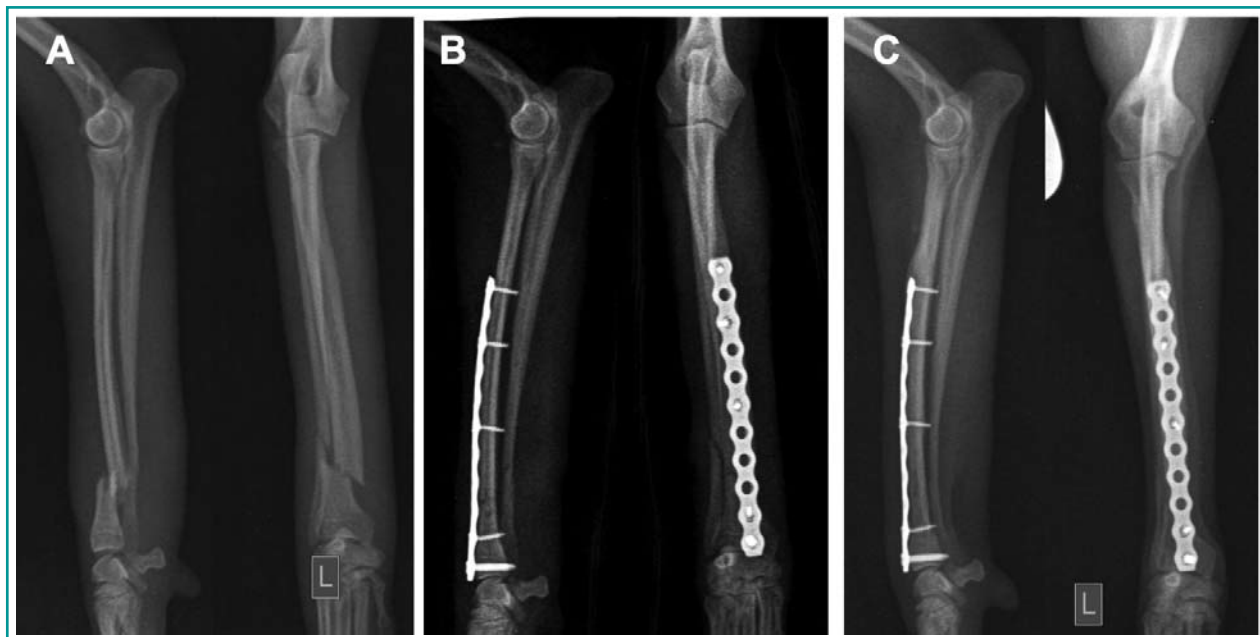


Figura 13 - Applicazione di una placca “elastica” in uno Spitz di 1 anno e 1.5 kg. A) Immagine preoperatoria. B) Radiografie postoperatorie dove si nota la riduzione anatomica e l’impianto Kyon ALPS con viti da 1.5 e 1.0 mm di diametro esteso oltre il 50% della lunghezza del raggio osseo. C) Controllo radiografico a 9 mesi dall’intervento in cui si evidenzia completa guarigione della frattura e assenza in segni di osteopenia da stress-shielding.

possibile stress a livello dei fori vuoti della placca craniale dopo la destabilizzazione. La placca laterale è stata stabilizzata con una sola vite su ciascun moncone. Le placche laterali sono state lasciate in situ in 19 casi su 20. Non sono stati osservati segni di osteopenia secondari alla presenza della placca laterale, né di osteosclerosi nel punto di inserimento delle viti; pertanto, l’autore ha concluso che la rimozione della placca laterale potrebbe non essere sempre necessaria. L’autore suggerisce anche che se il chirurgo intende rimuovere una delle placche e vi è preoccupazione che la guarigione della frattura sia inadeguata, allora potrebbe essere più appropriata la rimozione della placca laterale e non della placca craniale, poiché la placca craniale avrebbe due viti sul moncone prossimale e sarebbe quindi più resistente alle forze rispetto alla placca laterale. In questo studio, la lunghezza della placca craniale e laterale era simile, pertanto, i fori delle viti più prossimali nelle placche craniali e laterali erano molto vicini. Questo potrebbe creare un punto di concentrazione dello stress e potenzialmente determinare una frattura a questo livello. Pertanto, la placca laterale dovrebbe essere leggermente più lunga o più corta della placca craniale per evitare un punto di concentrazione dello stress. Come detto in precedenza, il riassorbimento dell’ulna o la sua mancata consolidazione è stata riportata nel 35-80% dei casi di frattura di radio e ulna nei cani toy.^{3-5,68} Un’eccessiva protezione dallo stress o una grave instabilità del sito di frattura dell’ulna può causare il riassorbimento dell’ulna.³ Nella casistica presentata dal Dr Higuchi

la consolidazione della frattura dell’ulna è stata ottenuta in 18 arti su 20 arti con la stabilizzazione rigida mediante OP.⁸⁴ I restanti due arti hanno ottenuto la consolidazione ossea dell’ulna dopo la rimozione della placca craniale. In questi due casi, l’unione ritardata dell’ulna fratturata potrebbe essere stata parzialmente dovuta a un’eccessiva protezione dallo stress dell’OP. Nello studio di Higuchi è stata riportata una complicanza maggiore in un solo caso in cui a causa dell’eccessiva elasticità della placca, si è osservato piegamento della placca e rottura della vite.⁸⁴ Il caso era una revisione chirurgica quindi l’autore suppone che il ridotto apporto di sangue al sito della frattura e la protezione dallo stress dell’OP potrebbero aver influito parzialmente sulla guarigione ossea.

Un’eccessiva protezione dallo stress o una grave instabilità del sito di frattura dell’ulna può causare il riassorbimento dell’ulna.

Un vantaggio dell’OP è rappresentato dal fatto che l’inserimento di due placche consente di eliminare la necessità di applicare un bendaggio nel periodo post-operatorio, evitando il 17% di complicanze riportate da De Arburn Parent.⁷¹

Uno studio di Muroi del 2021 ha valutato lo sviluppo di osteopenia impianto-indotta dopo osteosintesi interna con placca nel trattamento delle fratture di radio ed ulna nei cani toy in 236 casi, comparando l’incidenza di que-

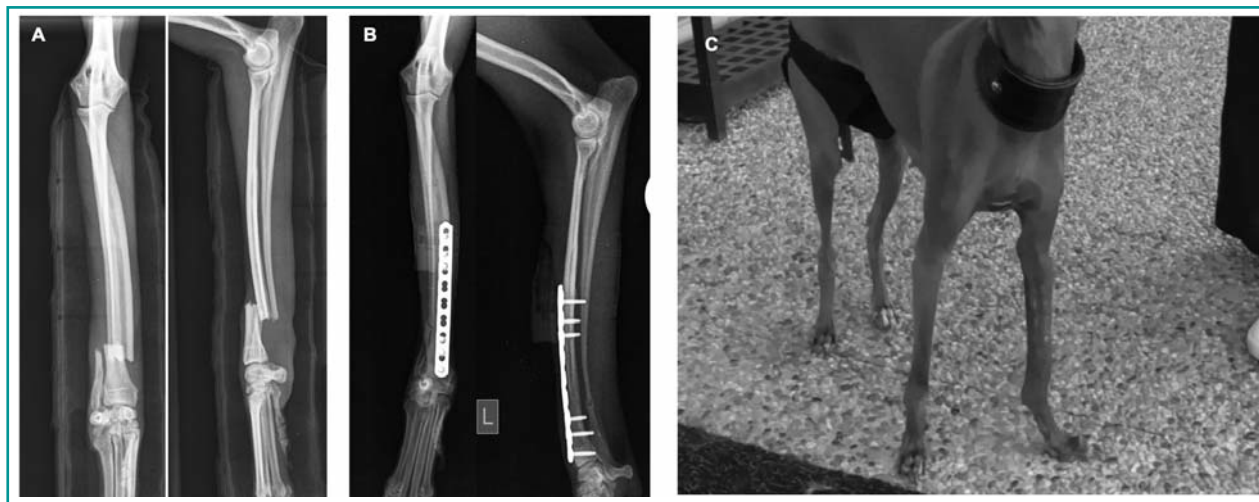


Figura 14 - Radiografie preoperatorie (A) e controllo radiografico a 3 mesi (B) di una frattura di radio ed ulna in un Piccolo Levriero Italiano di 3 anni in cui si evidenzia la guarigione della frattura con malallineamento iatrogeno con valgismo e torsione esterna, con alterazione dell'appiombio (C).

sto fenomeno in caso di utilizzo di placche con viti bloccate e placche tradizionali con viti corticali.⁸⁷ Dai risultati di questo studio si evince come con i sistemi ad angolo stabile la densità ossea diminuisce progressivamente dai 3 mesi all'anno post chirurgia, imputando questa progressiva osteopenia alla protezione da stress esercitata dall'impianto. La destabilizzazione, o dinamizzazione, dell'impianto, effettuata rimuovendo le viti più vicine al focolaio di frattura permetteva di migliorare la densità ossea. Diversamente dai sistemi bloccati, gli impianti con viti corticali determinavano l'insorgenza di osteopenia precoce, tra 1 e 3 mesi post chirurgia, imputando questo comportamento ad una iniziale compressione periostale, ma si riscontrava una successiva risoluzione spontanea a 6 e 12 mesi, data dalla minore rigidità di questo tipo di costruito (Figura 13). Inoltre, i pazienti di età inferiore a 6 mesi hanno mostrato un recupero precoce della densità ossea dopo l'intervento chirurgico, mentre l'osteoporosi indotta da intervento è persistita più a lungo dopo l'operazione nei pazienti di età superiore. Questo suggerisce che l'età influenza la riduzione postoperatoria di densità. Inoltre, la rimozione sia delle viti che della placca potrebbe favorire il recupero della densità ossea. Tali effetti vanno tenuti in considerazione nella selezione degli impianti e nel monitoraggio della guarigione ossea nel periodo postoperatorio.⁸⁷

TECNICHE PER FAVORIRE LA GUARIGIONE OSSEA

In passato si riteneva che le tipiche complicanze associate al trattamento delle fratture distali di radio-ulna nei cani toy, quali osteopenia, ritardo di consolidazione, non-unione e rifrattura dopo la rimozione dell'impianto,^{9,18}

fossero secondarie a fattori biomeccanici come l'aumento della rigidità e la riduzione della deformazione interframmentaria a seguito della fissazione con placche.^{10,23,27} Ciò ha portato alla teoria che l'osteosintesi rigida delle fratture del radio contribuisse all'elevata incidenza di ritardi di consolidazione.⁸⁸ Un recente studio ex vivo⁸⁹ ha confutato questa ipotesi: è stato infatti dimostrato che i segmenti ossei radio-ulna di cani toy fissati con placca a compressione dinamica erano meno rigidi rispetto a qualsiasi placca utilizzata su radio-ulna di razze grandi. Gli autori di questo studio biomeccanico hanno quindi concluso che le complicanze tipicamente associate alle fratture di radio nelle razze toy non possono essere attribuite unicamente a un costruito radio-placca eccessivamente rigido,⁸⁹ ma altri fattori biologici potrebbero contribuire all'elevata incidenza di osteopenia e ritardo di consolidazione nelle fratture dei cani di piccola taglia rispetto ai cani di taglia medio-grande.

La destabilizzazione, o dinamizzazione, dell'impianto, effettuata rimuovendo le viti più vicine al focolaio di frattura permetteva di migliorare la densità ossea.

La scarsa vascolarizzazione del radio distale, associata ad una limitata copertura dei tessuti molli, rende i cani di piccole dimensioni soggetti a tempi di guarigione prolungati e ad una maggiore incidenza di ritardi di consolidazione o pseudoartrosi rispetto ai cani di taglia medio-grande.^{10,27} Inoltre, la dissezione dei tessuti molli che si verifica durante l'esecuzione dell'accesso chirurgico e l'applicazione di un impianto ortopedico può determinare un danno iatrogeno all'apporto vascolare del focolaio

di frattura, limitandone ulteriormente il potenziale di guarigione.

In Letteratura è stato riportato l'utilizzo di differenti tipi di innesti, quali innesti locali di osso spongioso autologo o innesti liberi di omento,^{28,29} per cercare di limitare queste problematiche e favorire la guarigione ossea.

L'innesto di osso spongioso autologo ha il potenziale di favorire la guarigione ossea, viste le sue proprietà di osteoinduzione, osteoconduzione, osteopromozione e osteogenesi. Tuttavia, il grande limite nell'impiego degli innesti di osso spongioso autologo nei cani toy è rappresentato dalla scarsa quantità di materiale prelevabile date le dimensioni dei pazienti, che rende quindi necessario effettuare prelievi multipli, aumentando la morbidità per gli animali. Relativamente all'innesto libero di omento, è stato riportato che l'effetto nella guarigione delle fratture sia legato alla liberazione di fattori di crescita come il fattore di crescita vascolare endoteliale (VEGF), fattori di crescita dei fibroblasti (FGF) e il fattore di crescita tumorale beta (TGF-β).⁹⁰ Questi fattori inducono un processo di neo-vascularizzazione a livello del focolaio di frattura, promuovendo la formazione di callo osseo e conseguente mineralizzazione.⁹⁰

In Letteratura è stato riportato l'utilizzo di differenti tipi di innesti, quali innesti locali di osso spongioso autologo o innesti liberi di omento, per cercare di limitare queste problematiche e favorire la guarigione ossea.

Uno studio condotto da Baltzer²⁸ ha comparato le complicanze e i tempi di guarigione di due gruppi di pazienti affetti da frattura di radio distale trattati mediante osteosintesi interna con o senza l'applicazione di un innesto libero di omento a livello del focolaio di frattura. I risultati di questo studio hanno dimostrato come l'innesto di omento fosse associato a tempi di guarigione più brevi (70 giorni) in assenza di complicanze maggiori rispetto al trattamento senza l'utilizzo di innesto (106 giorni).

Un secondo articolo pubblicato da Ree ha paragonato un gruppo di cani trattati con un innesto di osso spongioso e un gruppo di cani trattati con un innesto omentale attraverso la valutazione radiografica dei tempi di guarigione ed ecografica della vascularizzazione del focolaio di frattura.²⁹ Gli autori hanno riportato una maggiore vascularizzazione a livello del sito di innesto, tempi di guarigione più brevi (63 giorni vs 84 giorni) e una minor incidenza di complicanze maggiori o necessità di ri-

muovere gli impianti nel gruppo trattato con l'innesto di omento.

In entrambi gli studi la complicanza più comune (64%) dell'innesto libero di omento è stata la formazione di edema sottocutaneo associato ad eritema cutaneo che tendeva a risolversi entro 7 giorni dalla chirurgia. Altre possibili complicanze, che tuttavia non sono state riportate dagli autori, sono la deiscenza della ferita e la peritonite settica.

La scelta degli impianti risulta fondamentale e la fissazione interna con placche e viti di piccole dimensioni, rappresenta spesso l'opzione migliore per garantire una guarigione ottimale, riducendo il rischio di malunione o pseudoartrosi.

Gli articoli riportati in Letteratura concordano sul fatto che le tecniche di innesto di osso spongioso e di omento siano associate a tempi di guarigione più brevi e a una minor incidenza di complicanze maggiori se paragonati alla tecnica chirurgica tradizionale. Nonostante in modo aneddotico sia riportato anche l'utilizzo di innesti di osso sintetico o di banca per favorire la guarigione delle fratture di radio e ulna nei cani toy, ad oggi in Letteratura non sono stati pubblicati lavori scientifici che ne attestino l'effettivo beneficio.

CONCLUSIONE

È stato riportato che il rischio di complicanze legate alla guarigione delle fratture di radio-ulna nei cani toy sono elevate per motivi come la scarsa copertura muscolare della porzione distale dell'avambraccio e della scarsa vascularizzazione. Gli studi sui diversi metodi di trattamento forniscono un importante contributo a beneficio degli specialisti e professionisti che lavorano in questo campo. Il trattamento di queste fratture richiede un approccio attento, data la fragilità ossea e le dimensioni ridotte degli animali. In questi soggetti, le fratture spesso sono complesse e soggette a complicazioni, come la mancata guarigione o l'instabilità post-operatoria. La scelta degli impianti risulta fondamentale e la fissazione interna con placche e viti di piccole dimensioni, rappresenta spesso l'opzione migliore per garantire una guarigione ottimale, riducendo il rischio di malunione (Figura 14) o pseudoartrosi. È fondamentale un'accurata gestione post-operatoria, che includa immobilizzazione, limitazione dell'attività fisica e monitoraggio radiografico, per prevenire complicanze e favorire il recupero funzionale dell'arto.

PUNTI CHIAVE

- Le fratture distali di radio-ulna nei cani toy presentano un elevato rischio di ritardo di consolidazione o di mancata consolidazione, a causa sia di fattori biologici sia di fattori meccanici tipici di queste razze.
- Sono stati riportati diversi metodi di trattamento, ciascuno con percentuali variabili di guarigione ossea e di complicanze.
- L'utilizzo della coaptazione esterna determina sviluppo di pseudoartrosi fino all'83% delle fratture.
- La fissazione interna con placca e viti mediante utilizzo della tecnica ORIF (Open Reduction and Internal Fixation) è il trattamento più comunemente utilizzato.
- La protezione da stress e l'osteopenia dopo la fissazione con placca) rappresentano una preoccupazione e una possibile ragione per la rimozione precoce della placca una volta ottenuta la guarigione della frattura.
- Una possibile complicanza dopo la rimozione dell'impianto potrebbe essere rappresentata dalla rifrattura nel sito della frattura o in un foro vuoto della vite.
- È fondamentale un'accurata gestione post-operatoria, che includa immobilizzazione, limitazione dell'attività fisica e monitoraggio radiografico, per prevenire complicanze e favorire il recupero funzionale dell'arto.

Radial-Ulnar Fractures in Toy Dogs: A Literature Review

Summary

Distal fractures of the radius and ulna are common in small breed dogs, particularly in toy breeds, and often occur as a result of trauma, such as falls from even modest heights. Most fractures are transverse or short oblique, as they result from a combination of tension, compression, and bending forces. Various treatment methods for radial and ulnar fractures in toy dogs have been reported in the literature, each with varying rates of bone healing and complications. The aim of this article is to provide an analysis of the literature concerning radial-ulnar fractures in toy and small breed dogs, presenting the most recognized etiopathogenetic theories, treatment methods with associated healing rates and incidence of complications, and techniques described to improve bone healing capacity.

BIBLIOGRAFIA

1. Boudrieau R. Fractures of the radius and ulna. In: Small Animal Surgery vol. 2, 3rd ed. Philadelphia: Saunders, 2001, pp.1953-1973.
2. Harasen G. Common long bone fractures in small animal practice — Part 1. The Canadian Veterinary Journal 44(4):333-334, 2003.
3. Hamilton MH, Langley Hobbs SJ. Use of the AO veterinary mini "T"-plate for stabilisation of distal radius and ulna fractures in toy breed dogs. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology 18(01):18-25, 2005.
4. McCartney W, Kiss K, Robertson I. Treatment of distal radial/ulnar fractures in 17 toy breed dogs. Veterinary Record 166(14):430-432, 2010.
5. Piras L, Cappellari F, Peirone B *et al.* Treatment of fractures of the distal radius and ulna in toy breed dogs with circular external skeletal fixation: a retrospective study. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology 24(03):228-235, 2011.
6. Fox DB. Radius and Ulna. In: Veterinary Surgery: Small Animal. Vol 1. St Louis: Elsevier Saunders, 2012.
7. Gibert S, Ragetly GR, Boudrieau RJ. Locking compression plate stabilization of 20 distal radial and ulnar fractures in toy and miniature breed dogs. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology 28(06):441-447, 2015.
8. Lappin MR, Aron DN, Herron H *et al.* Fractures of the radius and ulna in the dog. Journal of the American Animal Hospital Association 19:643, 1983.
9. Muir P. Distal antebrachial fractures in toy-breed dogs. The Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian 19(2):137-145, 1997.
10. Larsen LJ, Roush JK, McLaughlin RM. 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, 1999.
11. Milovancev M, Ralphs SC. Radius/ulna fracture repair. Clinical Techniques in Small Animal Practice 19(3):128-133, 2004.
12. Muir P, Markel MD. Geometric variables and bone mineral density as potential predictors for mechanical properties of the radius of Greyhounds. American Journal of Veterinary Research 57(7):1094-1097, 1996.
13. Brianza SZM, Delise M, Ferraris MM *et al.* Cross-sectional geometrical properties of distal radius and ulna in large, medium and toy breed dogs. Journal of Biomechanics 39(2):302-311, 2006.
14. Leonard EP. Fracture of the Radius and Ulna. In: Orthopaedic Surgery of the Dog and Cat. 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders, 1971, pp. 163-171.
15. Nunamaker DM. Fractures of the Radius and Ulna. In: Textbook of Small Animal Orthopedics. Philadelphia: JB Lippincott, 1985, pp. 373-379.
16. Hunt JM, Aitken ML, Denny HR *et al.* The complications of diaphyseal fractures in dogs: a review of 100 cases. Journal of Small Animal Practice 21(2):103-119, 1980.
17. Sumner-Smith G, Cawley AJ. Nonunion of fractures in the dog. Journal of Small Animal Practice 11(5):311-326, 1970.
18. Sumner-Smith G. A comparative investigation into the healing of fractures in miniature poodles and mongrel dogs. Journal of Small Animal

- Practice 15(5):323-328, 1974.
19. Vaughan LC. A Clinical Study of Non-union Fractures in the Dog. *Journal of Small Animal Practice* 5(2):173-177, 1964.
 20. Sumner-Smith G. A histological study of fracture nonunion in small dogs. *Journal of Small Animal Practice* 15(9):571-578, 1974.
 21. Herron MR. Repair of distal radio-ulnar fractures in toy breeds of dogs. *Canine Practice* (1):12-17, 1974.
 22. Atilola MA, Sumner-Smith G. Nonunion fractures in dogs. *Journal Veterinary Orthopaedics* 3(2):21-24, 1984.
 23. DeAngelis MP. Causes of delayed union and nonunion of fractures. *Veterinary Clinics of North America* 5(2):251-258, 1975.
 24. DeAngelis MP, Olds RE, Stoll SG, et al. Repair of fractures of the radius and ulna in small dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association* (9):436-441, 1973.
 25. Denny HR. Fracture of the Radius and Ulna. In: *A Guide to Canine Orthopaedic Surgery*. 2nd ed. Boston: Blackwell Scientific Publications, 1985, pp. 179-185.
 26. McLain DL, Brown SG. Fixation of Radius and Ulna Fractures in the Immature Dog and Cat A Review of Popular Techniques and a Report of Eight Cases Using Plate Fixation. *Veterinary Surgery* 11(4):140-145, 1982.
 27. Welch JA, Boudrieau RJ, Dejardin LM *et al.* The Intraosseous Blood Supply of the Canine Radius: Implications for Healing of Distal Fractures in Small Dogs. *Veterinary Surgery* 26(1):57-61, 1997.
 28. Baltzer WI, Cooley S, Warnock JJ *et al.* 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(02):131-139, 2015.
 29. Ree JJ, Baltzer WI, Nemanic S. 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* 47(3):392-405, 2018.
 30. Legrand E, Chappard D, Pascaretti C, *et al.* Trabecular Bone Microarchitecture, Bone Mineral Density, and Vertebral Fractures in Male Osteoporosis. *Journal of Bone and Mineral Research* 15(1):13-19, 2000.
 31. Ding M, Odgaard A, Danielsen CC *et al.* Mutual associations among microstructural, physical and mechanical properties of human cancellous bone. *The Journal Bone and Joint Surgery (Br)* 84(6):900-907, 2002.
 32. Lochmüller EM, Bürklein D, Kuhn V *et al.* Mechanical strength of the thoracolumbar spine in the elderly: prediction from in situ dual-energy X-ray absorptiometry, quantitative computed tomography (QCT), upper and lower limb peripheral QCT, and quantitative ultrasound. *Bone* 31(1):77-84, 2002.
 33. Pothuau L, Van Rietbergen B, Mosekilde L *et al.* Combination of topological parameters and bone volume fraction better predicts the mechanical properties of trabecular bone. *Journal of Biomechanics* 35(8):1091-1099, 2002.
 34. Eckstein F, Fischbeck M, Kuhn V *et al.* Determinants and heterogeneity of mechanical competence throughout the thoracolumbar spine of elderly women and men. *Bone* 35(2):364-374, 2004.
 35. Lochmüller EM, Pöschl K, Würstlin L *et al.* Does thoracic or lumbar spine bone architecture predict vertebral failure strength more accurately than density? *Osteoporosis International* 19(4):537-545, 2008.
 36. Müller R, Hannan M, Smith SY *et al.* Intermittent ibandronate preserves bone quality and bone strength in the lumbar spine after 16 months of treatment in the ovariectomized cynomolgus monkey. *Journal of Bone and Mineral Research* 19(11):1787-1796, 2004.
 37. Arlot ME, Burt-Pichat B, Roux JP *et al.* Microarchitecture Influences Microdamage Accumulation in Human Vertebral Trabecular Bone. *Journal of Bone and Mineral Research* 23(10):1613-1618, 2008.
 38. Drews S, Matsuura M, Putz R. The trabecular architecture of the superior articular process of the lumbar spine (L2-S1). *Surgical and Radiologic Anatomy* 30(3):209-213, 2008.
 39. Baum T, Gräbeldinger M, Räh C *et al.* Trabecular bone structure analysis of the spine using clinical MDCT : can it predict vertebral bone strength? *Journal of Bone and Mineral Research* 32(1):56-64, 2014.
 40. Planner F, Feichtner F, Meyer-Lindenberg A. Comparative microcomputed tomographic structural analysis of the trabecular and cortical bone architecture of radius and ulna in toy dog breeds. *Research in Veterinary Science* 136:324-335, 2021.
 41. Qu G, von Schroeder HP. Trabecular Microstructure at the Human Scaphoid Nonunion. *Journal of Hand Surgery* 33(5):650-655, 2008.
 42. Delise M, Brianza SZM, D'Amelio P. Densitometric properties and mechanical characterization of radius in large, medium and toy breed dogs. 12th ESVOT Congress Proceedings, Munich, Germany, 10-12 September, 2004.
 43. Waters DJ, Breur G, Toombs J. Treatment of common forelimb fractures in miniature- and toy-breed dogs. *Journal of American Animal Hospital Association* (19):643-650, 1993.
 44. Bierens D, Unis MD, Cabrera SY *et al.* Radius and ulna fracture repair with the IMEX miniature circular external skeletal fixation system in 37 small and toy breed dogs: A retrospective study. *Veterinary Surgery* 46(4):587-595, 2017.
 45. Johnson AL, Kneller SK, Weigel RM. Radial and Tibial Fracture Repair with External Skeletal Fixation: Effects of Fracture Type, Reduction, and Complications on Healing. *Veterinary Surgery* 18(5):367-372, 1989.
 46. Eger CE. A technique for the management of radial and ulnar fractures in miniature dogs using translation pins. *Journal of Small Animal Practice* 31(8):377-381, 1990.
 47. Haas B, Reichler IM, Montavon PM. Use of the tubular external fixator in the treatment of distal radial and ulnar fractures in small dogs and cats: A retrospective clinical study. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 16(03):132-137, 2003.
 48. Voss K, Kull MA, Haessig M *et al.* Repair of long-bone fractures in cats and small dogs with the Unilock mandible locking plate system. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 22(05):398-405, 2009.
 49. Laverty PH, Johnson AL, Toombs JP *et al.* Simple and multiple fractures of the radius treated with an external fixator: Comparison of healing of "simple" fractures and multiple fractures of the radius treated with external skeletal fixation in dogs: 56 cases (1983-1999). *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 15(02):97-103, 2002.
 50. Watrous GK, Moens NMM. Cuttable plate fixation for small breed dogs with radius and ulna fractures: Retrospective study of 31 dogs. *The Canadian Veterinary Journal* 58(4):377-382, 2017.
 51. Campbell JR. Healing of radial fractures in miniature dogs. *Veterinary Annual* 20:106-112, 1980.
 52. Yu J, DeCamp CE, Rooks R. Improving surgical reduction in radial fractures using a 'dowel' pinning technique in miniature and toy breed dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24(01):45-49, 2011.
 53. Johnson AL, Houlton JEF, Vannini R. *AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat*, 2005.
 54. Egger EL. Complications of External Fixation. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice* 21(4):705-733, 1991.
 55. Bouvy BM, Markel MD, Chelikani S *et al.* Ex Vivo Biomechanics of Kirschner-Ehmer External Skeletal Fixation Applied to Canine Tibia. *Veterinary Surgery* 22(3):194-207, 1993.
 56. DeCamp CE, Spencer AJ, Dejardin LM *et al.* *Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair*. Elsevier Health Sciences, 2015.
 57. Roe SC, Keo T. Epoxy Putty for Free-Form External Skeletal Fixators. *Veterinary Surgery* 26(6):472-477, 1997.
 58. Ross JT, Matthiesen DT. The Use of Multiple Pin and Methylmethacrylate External Skeletal Fixation for the Treatment of Orthopaedic Injuries in the Dog and Cat. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 06(02):115-121, 1993.
 59. Shani J, Shahar R. The unilateral external fixator and acrylic connecting bar, combined with LM pin, for the treatment of tibial fractures. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 15(02):104-110, 2002.
 60. Amsellem PM, Egger EL, Wilson DL. Bending Characteristics of Polymethylmethacrylate Columns, Connecting Bars of Carbon Fiber, Titanium, and Stainless Steel Used in External Skeletal Fixation and an Acrylic Interface: Bending Characteristics of Materials Used in External Skeletal Fixation. *Veterinary Surgery* 39(5):631-637, 2010.
 61. Aikawa T, Miyazaki Y, Saitoh Y *et al.* Clinical outcomes of 119 miniature- and toy-breed dogs with 140 distal radial and ulnar fractures re-

- paired with free-form multiplanar type II external skeletal fixation. *Veterinary Surgery* 48(6):938-946, 2019.
62. Paley D. Biomechanics of the Ilizarov External Fixator. In: *Operative Principles of Ilizarov*. Maiocchi AB, Aronson, editors. Baltimore, MD: Williams and Wilkins J, 1991, pp. 33-44.
 63. Anderson GM, Lewis DD, Radasch RM *et al.* Circular External Skeletal Fixation Stabilization of Antebrachial and Crural Fractures in 25 Dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association* 39(5):479-498, 2003.
 64. Lowenberg DW, Nork S, Abruzzo FM. Correlation of Shear to Compression for Progressive Fracture Obliquity. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 466(12):2947-2954, 2008.
 65. Cross AR, Lewis DD, Rigaud S *et al.* Effect of various distal ring-block configurations on the biomechanical properties of circular external skeletal fixators for use in dogs and cats. *American Journal of Veterinary Research* 65(4):393-398, 2004.
 66. Lesser AS. Cancellous bone grafting at plate removal to counteract stress protection. *Journal of American Veterinary Medical Association* 189(6):696-699, 1986.
 67. Sardinas JC, Montavon PM. Use of a Medial Bone Plate for Repair of Radius and Ulna Fractures in Dogs and Cats: A Report of 22 Cases. *Veterinary Surgery* 26(2):108-113, 1997.
 68. Ramírez J, Macías C. Conventional bone plate fixation of distal radius and ulna fractures in toy breed dogs. *Australian Veterinary Journal* 94(3):76-80, 2016.
 69. Anderson DM, White RAS. Ischemic Bandage Injuries: A Case Series and Review of the Literature. *Veterinary Surgery* 29(6):488-498, 2000.
 70. Meeson RL, Davidson C, Arthurs GI. Soft-tissue injuries associated with cast application for distal limb orthopaedic conditions: A retrospective study of sixty dogs and cats. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 24(02):126-131, 2011.
 71. De Arburn Parent R, Benamou J *et al.* Open reduction and cranial bone plate fixation of fractures involving the distal aspect of the radius and ulna in miniature- and toy-breed dogs: 102 cases (2008-2015). *Journal of American Veterinary Medical Association* 250(12):1419-1426, 2017.
 72. Cronier P, Pietu G, Dujardin C *et al.* The concept of locking plates. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research* 96(4):S17-S36, 2010.
 73. Schupp W, Arzdorf M, Linke B *et al.* Biomechanical Testing of Different Osteosynthesis Systems for Segmental Resection of the Mandible. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 65(5):924-930, 2007.
 74. Piermattei DL, Flo GL, DeCamp CE. Fractures: Classification, Diagnosis, and Treatment. In: Brinker, Piermattei, and Flo's *Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair*. 4th ed. St. Louis: Elsevier 2006, pp. 25-159.
 75. Saikku-Bäckström A, Riihinen JE, Välimaa T *et al.* Repair of Radial Fractures in Toy Breed Dogs with Self-Reinforced Biodegradable Bone Plates, Metal Screws, and Light-Weight External Coaptation. *Veterinary Surgery*. 2005;34(1):11-17, 2005.
 76. Viljanen J, Kinnunen J, Bondestam S *et al.* Intramedullary fixation of distal femoral diaphyseal osteotomies with absorbable self-reinforced poly-L-lactide and metallic intramedullary rods assessed by plain radiographs, quantitative computed tomography, and magnetic resonance imaging: An experimental study in rabbits. *Journal of Biomedical Materials Research* 39(2):222-228, 1998.
 77. Viljanen J, Pihlajamäki H, Kinnunen J *et al.* Comparison of absorbable poly-L-lactide and metallic intramedullary rods in the fixation of femoral shaft osteotomies: an experimental study in rabbits. *Journal of Orthopaedics Science* 6(2):160-166, 2001.
 78. Törmälä P, Pohjonen T, Rokkanen P. Bioabsorbable polymers: Materials technology and surgical applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers [H]* 212(2):101-111, 1998.
 79. Field JR. Bone Plate Fixation: Its Relationship with Implant Induced Osteoporosis. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 10(02):88-94, 1997.
 80. Pohjonen T, Törmälä P. In vitro hydrolysis of self-reinforced polylactide composites. *Medical & Biological Engineering & Computing* 34:127-128, 1996.
 81. Kang BJ, Ryu HH, Park S *et al.* Clinical evaluation of a mini locking plate system for fracture repair of the radius and ulna in miniature breed dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 29(06):522-527, 2016.
 82. Nelson T, Strom A. Outcome of Repair of Distal Radial and Ulnar Fractures in Dogs Weighing 4 kg or Less Using a 1.5-mm Locking Adaption Plate or 2.0-mm Limited Contact Dynamic Compression Plate. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 30(06):444-452, 2017.
 83. Manchi G, Brunnberg MM, Shahid M, *et al.* Radial and ulnar fracture treatment with paraosseous clamp-cerclage stabilisation technique in 17 toy breed dogs. *Veterinary Record Open* 4(1):e000194, 2017.
 84. Higuchi M, Katayama M. Clinical outcomes of orthogonal plating to treat radial and ulnar fractures in toy-breed dogs. *Journal of Small Animal Practice* 62(11):1001-1006, 2021.
 85. Craig A, Witte PG, Moody T *et al.* Management of feline tibial diaphyseal fractures using orthogonal plates performed via minimally invasive plate osteosynthesis. *Journal of Feline Medicine and Surgery* 20(1):6-14, 2018.
 86. Claes L, Blakytyn R, Besse J *et al.* Late Dynamization by Reduced Fixation Stiffness Enhances Fracture Healing in a Rat Femoral Osteotomy Model. *Journal of Orthopaedics Trauma* 25(3):169-174, 2011.
 87. Muroi N, Shimada M, Murakami S *et al.* A Retrospective Study of Post-operative Development of Implant-Induced Osteoporosis in Radial-Ulnar Fractures in Toy Breed Dogs Treated with Plate Fixation. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* 34(6):375-385, 2021.
 88. Woo SL, Lothringer KS, Akesson WH, *et al.* Less rigid internal fixation plates: Historical perspectives and new concepts. *Journal of Orthopaedics Research* 1(4):431-449, 1983.
 89. Gauthier CM, Conrad BP, Lewis DD *et al.* In vitro comparison of stiffness of plate fixation of radii from large- and small-breed dogs. *American Journal of Veterinary Research* 72(8):1112-1117, 2011.
 90. Saifzadeh S, Pourreza B, Hobbenaghi R *et al.* Autogenous Greater Omentum, as a Free Nonvascularized Graft, Enhances Bone Healing: An Experimental Nonunion Model. *Journal of Investigative Surgery* 22(2):129-137, 2009.