

# STRATEGIE BIOLOGICHE E PRINCIPIO DI EQUILIBRIO NELLA RIPARAZIONE DELLE FRATTURE ALTAMENTE COMMINUTE A CARICO DELLE OSSA LUNGHE\*

**DENNIS N. ARON, DVM**

*University of Georgia*

**ROSS H. PALMER, DVM**

*Santa Cruz Veterinary Hospital - Santa Cruz, California*

**ANN L. JOHNSON, DVM**

*University of Illinois*

## Riassunto

Nel trattamento delle fratture altamente comminute di radio/ulna, tibia, omero e femore, il chirurgo spesso affronta problemi legati a possibili ritardi nella guarigione, morbidità elevata e costi notevoli per il proprietario. Si possono ottenere risultati decisamente migliori mettendo in pratica un principio di equilibrio nella riparazione delle fratture. Tale principio non si realizza operando la riduzione anatomica e la ricostruzione di una frattura altamente comminuta. Al contrario, l'obiettivo si raggiunge ricorrendo alle strategie biologiche dell'allineamento dei segmenti ossei ed evitando di disturbare i frammenti corticali per creare un equilibrio con le tecniche di stabilizzazione meccanica. La possibilità di eseguire riparazioni ossee in equilibrio attraverso strategie biologiche è stata realizzata grazie alla migliore comprensione dei meccanismi di guarigione dell'osso e all'applicazione di un nuovo approccio nell'uso degli strumenti ortopedici esistenti. Nel presente lavoro viene preso in considerazione il principio di riparazione in equilibrio delle fratture e vengono descritte un certo numero di strategie biologiche che consentono al chirurgo di migliorare i risultati del trattamento di fratture comminute.

## Summary

*In dealing with highly comminuted fractures of the radius/ulna, tibia, humerus, and femur, surgeons are often challenged by the inherent potential for delayed healing, high morbidity, and high cost for the owner. Substantially improved results can be obtained by implementing a balanced concept of fracture repair. Such a concept is not attained by anatomic reduction and reconstruction of a highly comminuted fracture. The goal is instead achieved by instituting the biologic strategies of aligning bone segments and not disturbing cortical fragments to strike a balance with mechanical stabilizing techniques. The ability to achieve balanced fracture repair via biologic strategies was realized by means of advances in the understanding of bone healing and a new approach to the use of existing orthopedic devices. This article considers the balanced concept of fracture repair and presents a set of biologic strategies that the surgeon can use to improve results with highly comminuted fractures.*

È stato affermato che il chirurgo ortopedico deve essere sia falegname che giardiniere. Il primo si sforza di conferire una stabilità meccanica adeguata al raggio osseo ricostruito e il secondo nutre il supporto tissutale perché que-

sto sia in grado di favorire la crescita di osso neoformato. Questo meccanismo viene definito principio di equilibrio nella riparazione delle fratture. Benché non si tratti di un concetto nuovo, i progressi compiuti nella comprensione dei meccanismi di guarigione dell'osso e lo sviluppo di nuovi strumenti ortopedici rendono necessaria la revisione delle strategie utilizzate nel trattamento delle fratture delle ossa lunghe. Nel presente lavoro viene preso in considerazione il principio di equilibrio applicato alla riparazione

\*Da "The Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian" Vol. 17, N. 1 gennaio 1995. Con l'autorizzazione dell'Editore.

delle fratture e vengono descritte una serie di strategie biologiche di cui il chirurgo ortopedico può servirsi per trattare le fratture, soprattutto quelle altamente comminute, nel cane e nel gatto.

Benché nei mammiferi selvatici la guarigione dei traumi a carico delle ossa lunghe si verifichi anche senza l'assistenza di un veterinario, in molti casi non ne consegue un completo recupero funzionale. I proprietari di animali da compagnia spesso chiedono al veterinario di favorire i meccanismi naturali di guarigione al fine di ridurre al minimo la morbilità e aumentare le probabilità di un perfetto ripristino della funzione locomotoria. Le fratture delle ossa lunghe vanno incontro a guarigione soltanto se la zona fratturata dispone di particolari condizioni meccaniche e biologiche.

Infatti, perché l'osso guarisca e la morbilità sia minima, sono indispensabili sia un grado sufficiente di stabilità della frattura che un apporto ematico adeguato nella zona interessata.

## RIPARAZIONE MECCANICA DI UNA FRATTURA (IL PUNTO DI VISTA DI UN FALEGNAME)

Il metodo meccanico di riparazione delle fratture sottolinea l'importanza della ricostruzione anatomica del raggio osseo seguita da stabilizzazione rigida. Il metodo viene realizzato mediante attenta apposizione dei segmenti ossei, ricostruzione dei frammenti corticali di piccole e di grandi dimensioni e applicazione di mezzi di fissazione metallici. Il vantaggio principale di questo sistema è il conferimento di un supporto meccanico al raggio osseo. Quando l'arto viene caricato, la ricostruzione anatomica permette alle forze di carico di suddividersi fra l'osso e il fissatore metallico. L'assorbimento di parte del carico anche lungo il raggio osseo riduce lo stress sviluppato nel mezzo di fissazione; da questo deriva un ambiente meccanico favorevole. La suddivisione del carico prolunga la stabilità del fissaggio e riduce la morbilità impedendo l'indebolimento precoce e il mancato successo del mezzo di fissazione.<sup>1</sup>

A titolo di esempio si consideri una frattura trasversale semplice che venga ridotta per via chirurgica e quindi stabilizzata mediante una placca da osteosintesi. Quando l'arto viene caricato, la maggior parte del carico viene trasmessa in direzione assiale lungo il raggio osseo e una parte attraverso la placca e le viti. Questo esempio dimostra la suddivisione ideale del carico fra il mezzo di fissazione e il raggio osseo (Fig. 1).

Un caso leggermente diverso è quello delle fratture lunghe oblique oppure a spirale in cui la ricostruzione anatomica richiede l'uso di fili da cerchiaggio o di viti da osteosintesi per la stabilizzazione interframmentaria. Dopo la ricostruzione, la sede di frattura viene sovrastata da una placca da osteosintesi. Questo caso rappresenta un grado intermedio di suddivisione del carico fra il mezzo di fissazione e il raggio osseo. Analogamente, una frattura comminuta, con formazione di tre frammenti richiede la riduzione iniziale del frammento corticale ai due segmenti ossei principali mediante fili di cerchiaggio oppure viti da osteosintesi che consentano di ricostruire il raggio osseo. Successivamente, la frattura verrà sovrastata da una placca

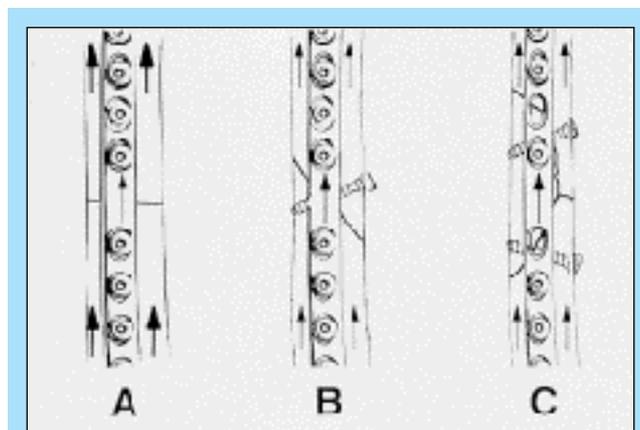


FIGURA 1 - Rappresentazione di distribuzione del carico in casi di fissazione realizzata con placche da osteosintesi. (A) Distribuzione ideale del carico fra placca e raggio osseo. Quest'ultimo sopporta il carico maggiore. (B e C) Gradi intermedi di distribuzione del carico fra le due strutture. Sia l'osso che la placca sopportano gran parte del carico.

per osteosintesi. Anche questo caso rappresenta un grado intermedio di suddivisione del carico fra il mezzo di fissazione e il raggio osseo<sup>2</sup> (Fig. 1).

In ognuno di questi esempi, l'esposizione chirurgica della frattura rende necessarie manipolazioni che comportano traumi iatrogeni a carico di un segmento osseo già danneggiato. L'esposizione chirurgica inoltre lesiona ulteriormente i tessuti molli e i vasi sanguigni direttamente associati all'osso (nella sede di frattura) o immediatamente circostanti. Questo tipo di traumatismo iatrogeno prolunga i tempi di guarigione. Spesso, i frammenti corticali si devascolarizzano in seguito alle manipolazioni e devono andare incontro a rivascolarizzazione e a riassorbimento prima di poter essere sostituiti da tessuto osseo vitale. L'esposizione chirurgica favorisce la contaminazione batterica della sede di frattura. Questi eventi prolungano il periodo necessario alla guarigione. In ognuno di questi esempi, il chirurgo deve garantire una stabilizzazione sufficiente affinché i vantaggi di ordine meccanico equilibrino adeguatamente gli svantaggi biologici.

Come esempio opposto viene presa in considerazione una frattura altamente comminuta della tibia. Il chirurgo espone la sede di frattura e tenta di ricostruire il raggio osseo per mezzo di fili di cerchiaggio. La ricostruzione non è restitutiva poiché sono presenti numerosi frammenti corticali comminuti di piccole dimensioni. Successivamente, la sede fratturata viene sovrastata da una placca per osteosintesi (Fig. 2). Dal punto di vista tecnico, questo tipo di riparazione è un sistema di fissazione senza suddivisione delle forze di carico che per la maggior parte vengono trasmesse assialmente attraverso la placca da osteosintesi e soltanto in minima quantità attraverso la sede di frattura. Gli sforzi compiuti nel tentativo di ricostruire il raggio osseo compromettono la circolazione sanguigna nella sede di frattura e nei frammenti corticali. L'esposizione della parte e il protrarsi dell'intervento chirurgico favoriscono l'ingresso di batteri. In questo esempio di riparazione meccanica, i vantaggi meccanici derivanti dagli accurati tentativi di ricostruzione non equivalgono agli svantaggi biologici che ne conseguono ed è probabile che il sistema sia destinato a fallire (Fig. 2).



Figura 2A

Figura 2B

**FIGURA 2** - Immagini radiografiche di un cedimento senza distribuzione del carico. **(A)** Frattura tibiale altamente comminuta in un Labrador retriever di un anno di età. **(B)** Cedimento della placca a meno di due settimane di distanza dall'intervento chirurgico. Gli sforzi diretti alla ricostruzione anatomica dei frammenti corticali mediante esposizione della frattura non hanno garantito una distribuzione del carico.

## RIPARAZIONE BIOLOGICA DELLE FRATTURE (IL PUNTO DI VISTA DI UN GIARDINIERE)

Il metodo biologico di riparazione delle fratture nega l'importanza della stabilizzazione rigida, mentre sottolinea quella di una guarigione rapida conseguita attraverso la conservazione del tessuto molle che circonda la zona fratturata. Un esempio di questo metodo è dato dalla frattura chiusa, di tipo trasversale semplice, a carico della diafisi tibiale in un cucciolo di quattro mesi di età. La riduzione chiusa della frattura con stabilizzazione semirigida della tibia per mezzo di un gesso probabilmente comporta l'unione dei segmenti ossei e il ripristino funzionale della parte. Gli svantaggi meccanici dell'immobilizzazione meno rigida sono bilanciati dai vantaggi biologici derivanti dalla rapida formazione del callo osseo. Quest'ultima è resa possibile dalla conservazione dei tessuti molli del cucciolo. In un cane di 12 anni di età, lo stesso tipo di trattamento avrebbe minori probabilità di successo poiché l'equilibrio fra fattori biologici e fattori meccanici non sarebbe altrettanto buono.

Un ulteriore esempio è rappresentato dalla riparazione di una frattura trasversale della diafisi femorale in un cane di due anni di età mediante inserimento incruento di un chiodo endomidollare. Questa tecnica chirurgica incruenta offre la possibilità di preservare l'integrità dei tessuti molli che circondano la sede della frattura; tuttavia, il solo chiodo midollare non è sufficiente ad impedire l'azione delle forze laceranti (in particolare quella di rotazione). In una situazione di tale squilibrio, non è possibile prevedere il successo della riparazione ossea e il tasso di morbilità è elevato.

## UN PRINCIPIO DI EQUILIBRIO (IL FALEGNAME E IL GIARDINIERE)

I mezzi di stabilizzazione rigida o i metodi di conservazione della circolazione ematica locale applicati singolarmente non sono sufficienti a garantire uniformemente una bassa morbilità e l'unione dei capi di frattura. Per realizzare questi obiettivi, deve esistere un equilibrio fra il grado di stabilità conferito alla frattura e la gravità del danno a carico dei tessuti molli.

Molti tipi di fratture offrono al chirurgo un'ampia scelta di tecniche per realizzare una situazione di equilibrio. Una frattura semplice può essere trattata applicando placche per osteosintesi, chiodi intramidollari con fili di cerchiaggio, mezzi di fissazione esterna oppure un gesso. Con ognuno di questi mezzi si ottiene l'unione dei capi di frattura e il ripristino funzionale della parte. I casi più complicati (ad es. fratture altamente comminute, lesioni a carico di più arti, pazienti anziani) offrono poche possibilità di raggiungere un equilibrio fra stabilità della frattura e conservazione della circolazione sanguigna nell'osso in via di guarigione.<sup>1</sup> In queste situazioni complesse, non si possono commettere errori; infatti, il danno eccessivo a carico dei tessuti molli o un grado insufficiente di stabilità aumentano il rischio di fallimenti.

## STRATEGIE BIOLOGICHE PER IL TRATTAMENTO DELLE FRATTURE ALTAMENTE COMMUNUTE

Se dalle immagini radiografiche preoperatorie appare improbabile o estremamente scomodo realizzare la ricostruzione anatomica della frattura, si consiglia di tralasciare questo obiettivo impegnandosi piuttosto a restituire allineamento e stabilità ai capi ossei. Contemporaneamente, il chirurgo deve preoccuparsi di conservare al meglio la circolazione sanguigna destinata all'osso fratturato. A questo scopo è opportuno ricorrere, quando sia possibile, a tecniche di riduzione incruenta. Quando invece sia necessario applicare tecniche cruenti, la circolazione ematica nella sede di frattura potrà essere preservata manipolando al minimo i segmenti ossei e tralasciando la ricostruzione dei frammenti corticali. L'applicazione di fissatori esterni consente al chirurgo di mantenere l'integrità dei tessuti molli poiché l'intelaiatura dell'apparecchio circonda il tessuto gravemente lesionato nella sede della frattura. Il chirurgo può anche ricorrere a strategie biologiche quando utilizza placche per osteosintesi in casi selezionati di fratture estremamente comminute.<sup>2</sup>

## FRAMMENTI CORTICALI: SEQUESTRI OPPURE INNESTI OSSEI

Applicando le tecniche biologiche nel trattamento di fratture altamente comminute, si tralascia qualunque tentativo di riduzione e stabilizzazione dei frammenti corticali. I due segmenti ossei principali vengono manipolati lo stretto necessario per restituire alla parte un buon allineamento spaziale. (Viene definito buon allineamento spaziale il ripristino della normale lunghezza dell'osso oltre che la sistemazione dei due segmenti ossei principali in modo



Figura 3A



Figura 3C

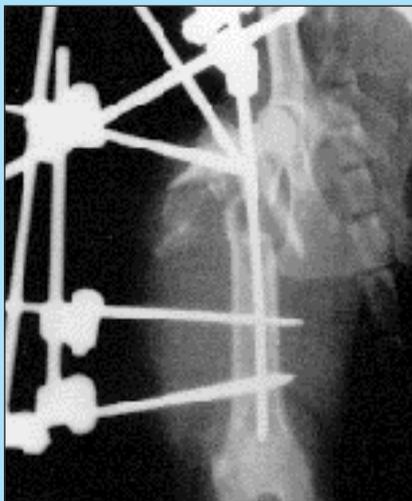


Figura 3B



Figura 3D

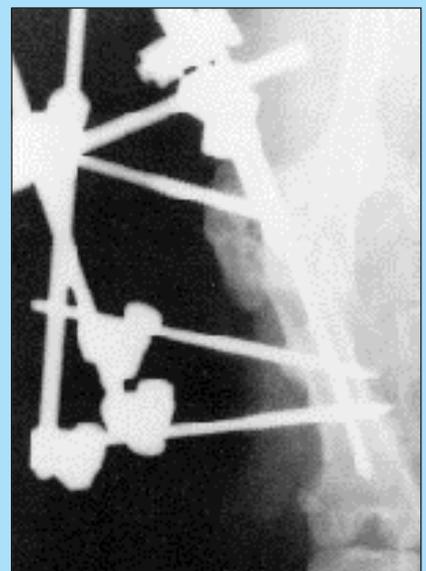


Figura 3E

**FIGURA 3** - Immagini radiografiche e fotografie di un successo conseguito applicando strategie biologiche senza distribuzione del carico. **(A)** Frattura altamente comminuta a carico del settore prossimale del femore in un gatto a pelo corto di cinque anni di età. **(B e C)** Immagini radiografiche e fotografia eseguite nel periodo postoperatorio in cui si rilevano il perfetto allineamento dei segmenti ossei principali, la mancata manipolazione dei frammenti corticali e la stabilizzazione ottenuta per mezzo di un chiodo intramidollare collegato (mediante configurazione TIE-IN) a una struttura di fissaggio bidimensionale rinforzata. **(D e E)** Immagini radiografiche eseguite in serie nel corso dei tre mesi di follow up, in cui si evidenzia l'incorporazione degli innesti corticali vascolarizzati nell'ambito del processo riparativo.

che non superino di 5° il normale angolo di torsione, di 5° l'angolazione su tutti i piani e il 50% di sovrapposizione per spostamento su tutti i piani). Alcuni chirurghi si preoccupano dell'eventuale sequestro di frammenti corticali non stabilizzati, ma questa è un'evenienza molto rara applicando il principio di equilibrio e le tecniche biologiche. Il fenomeno del sequestro è più probabile quando le forze meccaniche fra i frammenti sono intense, soprattutto se l'ambiente è contaminato da batteri.

I tessuti in via di guarigione nella sede di frattura si differenziano in risposta alle sollecitazioni meccaniche locali. Quelle intense favoriscono la differenziazione in tessuto di granulazione, mentre quelle moderate inducono la formazione di cartilagine.<sup>3</sup> Il tessuto osseo tollera relativamente poco le sollecitazioni e si può formare soltanto se queste sono di intensità limitata.<sup>3</sup> Le tensioni sui tessuti della

zona fratturata derivano dalle forze di carico trasmesse attraverso il focolaio di frattura. In tale sede, le forze provocano deformazioni tissutali microscopiche. La sollecitazione nello spazio compreso fra i due capi di frattura è l'entità della deformazione divisa per le dimensioni del tessuto originariamente presente in tale spazio. Pertanto, la tensione del tessuto compreso fra i monconi ossei è inversamente proporzionale alle dimensioni dello spazio originale.

Per ridurre al minimo la sollecitazione fra i capi fratturati, si dovrebbe verificare una deformazione locale minima (stabilità della frattura) in risposta alla trasmissione del carico, soprattutto se lo spazio è di dimensioni limitate.<sup>2</sup> Pertanto, i complicati tentativi di ricostruzione dei molteplici frammenti corticali per mezzo di fili di cerchiaggio o di viti da osteosintesi sono particolarmente rischiosi se il

chirurgo non realizza una rigida stabilità. Questa situazione è pericolosa poiché lo spazio fra i monconi è limitato, le sollecitazioni sono intense e i tessuti compresi fra i capi di frattura non si differenzieranno in tessuto osseo.

Al contrario, ricorrendo all'allineamento dei segmenti ossei e alla stabilizzazione incruenta, aumentano notevolmente le probabilità di guarigione dei tessuti coinvolti e diminuisce l'intensità delle sollecitazioni locali. Inoltre, evitando di manipolare e di ridurre i frammenti di osso corticale, le sollecitazioni vengono distribuite fra diverse sedi di frattura situate in serie e diffuse su una regione piuttosto ampia<sup>2</sup> (Fig. 3). Questa situazione comporta l'azione di sollecitazioni molto limitate a carico dei singoli frammenti corticali. Un ambiente di questo tipo è favorevole alla rapida rivascolarizzazione dei frammenti fratturati. Applicando i metodi biologici, la vascolarizzazione locale (ciò che ne rimane) non viene ulteriormente disturbata dalle manipolazioni. I frammenti ossei lasciati in sede agiscono quali innesti corticali vascolarizzati e, anziché ritardare il processo di guarigione, vi vengono facilmente incorporati (Fig. 3).

Riassumendo, gli interventi di manipolazione, riduzione e stabilizzazione dei frammenti corticali compromettono seriamente la scarsa vascolarizzazione residua e creano una situazione locale di intense sollecitazioni. Le manipolazioni possono ritardare notevolmente l'inserimento dei frammenti nell'ambito del processo di guarigione. In questa situazione, i frammenti corticali che perdono stabilità possono andare incontro a sequestro.

## FRATTURE ALTAMENTE COMMUNUTE DI RADIO/ULNA E TIBIA

Poiché i tessuti molli che circondano radio/ulna e tibia sono relativamente scarsi, in caso di frattura di questi raggi ossei è più vantaggioso applicare i metodi biologici osservando il principio di trattamento in equilibrio delle fratture (vedi strategie biologiche applicate alla riparazione delle fratture comminute di radio/ulna e tibia). Spesso, le fratture in queste sedi sono comminute e/o esposte (composte) e quindi beneficiano ulteriormente dell'equilibrio garantito dalle strategie biologiche. Queste ultime permettono di

### Strategie biologiche per la riparazione delle fratture comminute di radio/ulna e tibia

- Valutazione preoperatoria del paziente intesa a identificare i casi in cui la ricostruzione anatomica di frammenti corticali multipli risulta impossibile o ingiustificata.
- Procedere all'allineamento e stabilizzazione dei segmenti ossei per via incruenta oppure ricorrere a esposizioni minime per favorire la visualizzazione degli stessi.
- Eseguire l'intera procedura con arto in sospensione senza tentare la riduzione cruenta e la stabilizzazione di frammenti corticali multipli.
- Ricorrere alla stabilizzazione mediante fissatori esterni, che verranno smontati in stadi progressivi.

conservare maggiormente la vascolarizzazione rispetto ai metodi cruenti che possono compromettere la vitalità dei tessuti.

In caso di frattura esposta, si procede alla revisione e al trattamento della ferita come descritto in letteratura.<sup>4</sup> Quindi, il chirurgo provvede ad allineare e a stabilizzare i segmenti fratturati ricorrendo ai metodi biologici. Poiché la stabilizzazione rigida del complesso radio/ulna e della tibia può essere realizzata facilmente applicando fissatori esterni, il ricorso a questi mezzi di fissazione conferisce ulteriore equilibrio. Gli autori trattano pressoché tutte le fratture comminute e complicate di radio/ulna e tibia con i mezzi di fissazione esterna e con le strategie biologiche descritte nel presente lavoro.

## Riduzione e stabilizzazione incruenta

Probabilmente, il metodo biologico più efficace di cui il chirurgo dispone è la tecnica incruenta di allineamento e stabilizzazione. Questo procedimento è sicuramente applicabile nel trattamento delle fratture del complesso radio/ulna e della tibia poiché la quantità di tessuto molle che circonda l'osso fratturato è minima. La scarsità dei tessuti molli rende questi raggi ossei particolarmente adatti alla stabilizzazione mediante applicazione di fissatori esterni. Il chirurgo può palpare con facilità il focolaio di frattura individuando i punti adatti all'inserimento dell'impianto.

## Posizione del soggetto con arto sospeso

Il posizionamento del paziente con arto sospeso facilita l'allineamento e la stabilizzazione incruente di radio/ulna e tibia. La posizione sospesa dell'arto è analoga a quella adottata in preparazione di un intervento chirurgico di ortopedia, con la differenza che verrà mantenuta per l'intero corso della procedura di fissazione anziché per il solo tempo necessario a disinfettare la parte e applicare i teli chirurgici.

La posizione sospesa prevede che l'arto venga rasato a partire dalla parete addominale fino alle dita. La zampa viene avvolta con una striscia di cerotto fissata con una pinza fissateli in modo da non coprire la regione carpale o tarsale. Su tale fasciatura viene fissata una maniglia formata da vari strati di cerotto alla quale vengono assicurati un uncino e una fune di sospensione. La fune serve ad appendere l'arto al soffitto o a un dispositivo fisso (Fig. 4). L'arto viene mantenuto in tensione in modo da sollevare parzialmente il soggetto dal tavolo operatorio. Questo sistema di trazione consente l'allineamento dei segmenti ossei nel letto formato dai tessuti molli circostanti. L'arto viene quindi preparato chirurgicamente come di routine. Si procede all'applicazione di teli chirurgici prossimalmente al gomito o al ginocchio e distalmente a carpo o tarso. L'intera zampa e una porzione della fune di sospensione vengono coperte, mentre le articolazioni ad entrambe le estremità dei raggi ossei vengono comprese nel campo chirurgico asettico.

Nel corso della procedura chirurgica può essere necessario issare ulteriormente la fune di sospensione poiché il

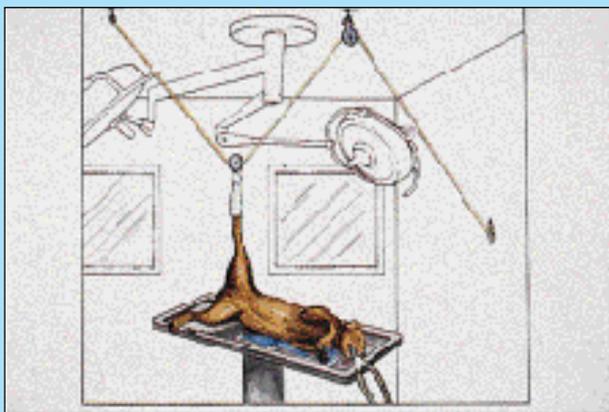


Figura 4A

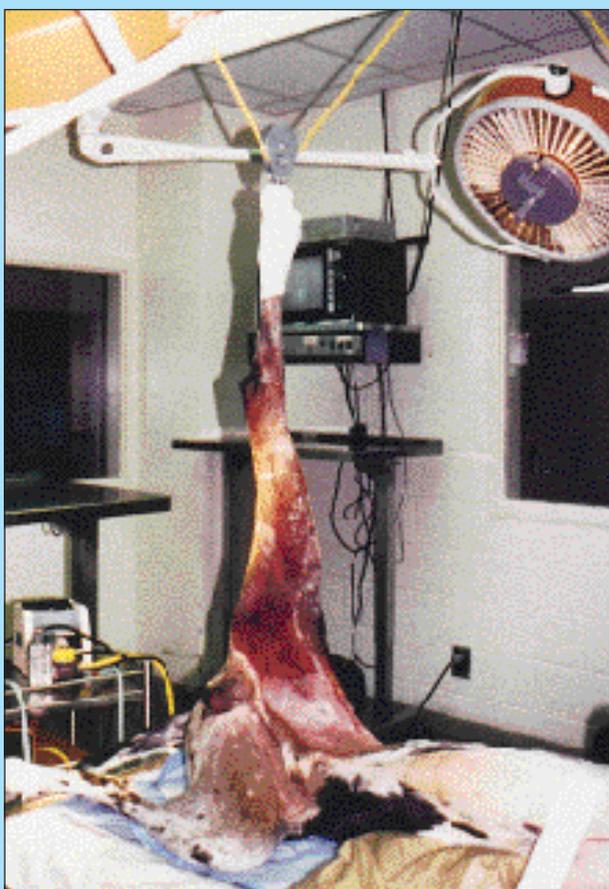


Figura 4B

FIGURA 4 - (A) Raffigurazione e (B) fotografia di un arto in posizione sospesa e della tecnica di sospensione.

peso stesso del paziente garantisce la trazione necessaria al relativo allineamento del raggio osseo. Inoltre, la posizione sospesa dell'arto rende meno indispensabile la presenza di un assistente che lo mantenga in posizione durante l'inserimento dell'impianto.

### Tecnica dell'esposizione minima con arto in sospensione

Le fratture del complesso radio/ulna e della tibia possono essere riparate ricorrendo alla cosiddetta tecnica dell'e-

sposizione minima con arto in sospensione. Al di sopra della sede di frattura viene praticata una piccola incisione che consente di visualizzare le linee di frattura e i segmenti ossei. L'incisione deve essere di dimensioni il più possibile limitate e sovrastare un'area con scarsa quantità di tessuto molle.

La tecnica dell'esposizione minima con arto sospeso può essere praticata in caso di fratture trasverse, oblique lunghe, a spirale e comminute semplici, adottando quale metodo di stabilizzazione i fissatori esterni. In queste situazioni non complicate, tale sistema consente di ridurre i segmenti ossei in modo accurato e atraumatico e di applicare fili interframmentari o viti da osteosintesi in base alla necessità.

Prima di adottare la tecnica dell'esposizione minima, bisogna valutare se l'insulto biologico verrà compensato dal vantaggio meccanico che si ottiene. Nelle fratture altamente comminute di radio/ulna e tibia, questa tecnica non deve essere utilizzata per manipolare i segmenti ossei e i frammenti corticali, bensì per visualizzare le linee di frattura o i segmenti ossei di piccole dimensioni allo scopo di inserire con cura i chiodi di fissaggio (Fig. 5).

### Fissatori esterni

L'uso di fissatori esterni si adatta bene alle strategie biologiche poiché spesso consente di stabilizzare efficacemente le fratture altamente comminute di radio/ulna e tibia senza ricorrere ad ampie breccie chirurgiche (o persino evitandole del tutto). I fissatori esterni non interferiscono negativamente con i processi biologici che si svolgono durante la guarigione delle fratture. Pertanto, è possibile ottenere l'equilibrio voluto fra stabilità meccanica e capacità biologica di guarigione. I metodi chirurgici per l'applicazione dei mezzi di fissazione esterna sono stati descritti in letteratura.<sup>5</sup>

L'inserimento di ogni chiodo di fissaggio è preceduto dalla realizzazione di un tunnel di piccolo diametro che attraversa i tessuti molli fino a raggiungere l'osso corticale. Il primo chiodo viene inserito nel segmento osseo prossimale facendolo penetrare per l'intera lunghezza, diretto parallelamente all'articolazione adiacente e perpendicolarmente al piano del movimento articolare. Il chiodo di fissaggio più distale viene inserito in modo analogo. Quindi si procede alla palpazione della frattura per stabilire il grado di riduzione ottenuto grazie alla trazione.

Le articolazioni vengono utilizzate quali punti di riferimento per valutare l'allineamento dei segmenti ossei, la cui dislocazione rotazionale e angolare deve essere minima. I due chiodi devono trovarsi all'incirca sullo stesso piano frontale per confermare l'allineamento. Quando i segmenti ossei sono in posizione adeguata, i chiodi vengono uniti mediante placche di collegamento e i morsetti vengono serrati. Il soggetto viene abbassato per alleggerire l'arto dopo avere collegato i chiodi. L'apparato di fissaggio viene completato con i rimanenti chiodi e il connettore. Questa manovra è relativamente semplice dopo avere fissato i primi due chiodi (Fig. 6).

Bisogna realizzare una struttura di fissaggio estremamente rigida quando non si tenti un metodo di immobi-



Figura 5A



Figura 5B

**FIGURA 5** - Immagini radiografiche e fotografie di una frattura tibiale altamente comminuta in un Labrador retriever di 5 anni di età. La riparazione ha reso necessario il ricorso a strategie biologiche, fra cui la tecnica dell'esposizione minima e l'uso di un fissatore esterno modificato. **(A)** Immagine radiografica preoperatoria. Si noti la dimensione limitata del segmento osseo principale distale. **(B)** Esposizione chirurgica minima sovrastante la faccia mediale della tibia che consente di visualizzare direttamente il segmento osseo distale e di inserire con cura un chiodo di fissaggio (evitando la linea di frattura e la cartilagine del tarso). **(C)** L'apparato di fissaggio modificato circonda il tarso per assicurare una stabilità sufficiente a bilanciare le strategie biologiche. **(D)** Segni precoci di guarigione rilevabili in un'immagine radiografica di follow up eseguita a un mese di distanza dall'intervento chirurgico. In quel periodo, venne iniziato lo smontaggio progressivo del fissatore allontanandone la porzione che circondava l'articolazione.

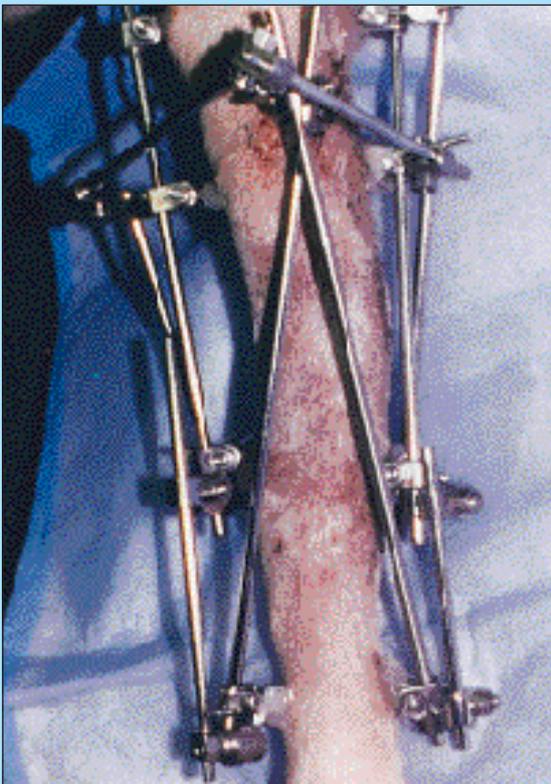


Figura 5C



Figura 5D

lizzazione con suddivisione del carico, come accade con le tecniche incruente che prevedono la sospensione dell'arto. La struttura rigida garantisce un equilibrio secondo i principi biologici e consente di smontare in stadi successivi l'apparato di fissaggio in modo da aumentare progressi-

vamente il carico sull'osso fratturato in via di guarigione. Al contrario, la rigidità insufficiente del fissatore predispone il soggetto a morbilità elevata imputabile a cedimento precoce del chiodo, instabilità della frattura e sviluppo di infezioni lungo il decorso del chiodo stesso.

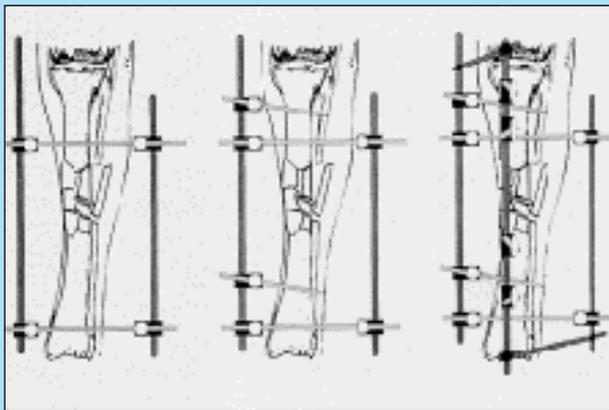


FIGURA 6 - Raffigurazione dell'assemblaggio progressivo di una struttura di fissaggio applicata in molte fratture radio-ulnari e tibiali in cui manca la distribuzione del carico.

Con il progredire della guarigione ossea, il fissatore esterno rigido può essere smontato allontanandone gradualmente i singoli componenti.<sup>5</sup> Questo procedimento comporta la rimozione frazionata delle placche di collegamento e dei chiodi dalla struttura di fissaggio. Il sistema di smontaggio progressivo implica una minore protezione contro gli eventi stressanti e per questo accelera il rimodellamento osseo e non favorisce la possibilità di nuove fratture dovute a mancata protezione e rimozione precoce dell'apparato rigido.<sup>6</sup> Lo smontaggio graduale deve essere iniziato a distanza di sei settimane dall'intervento chirurgico<sup>6</sup> oppure non appena si evidenzia nelle immagini radiografiche il callo osseo immaturo interposto fra i capi di frattura.

Prima di avviare il processo di smontaggio, occorre allentare tutti i morsetti dei chiodi e procedere alla palpazione locale per escludere eventuali instabilità di torsione o di curvatura. Se la frattura è instabile, l'apparato di fissaggio non deve essere rimosso fino a quando l'esame di palpazione non riveli segni di consolidamento dell'area fratturata. Quanto più è consolidata la frattura e quanto più appare evidente il callo osseo nelle immagini radiografiche, tanto più elevato è il numero di elementi del fissatore che si possono asportare nella prima fase di smontaggio. Se l'equilibrio è buono, nell'arco di sei settimane anche le fratture più comminute risultano sufficientemente stabilizzate da consentire la rimozione di alcune parti della struttura.

### Innesti ossei autogeni

Gli autori hanno osservato che nella riparazione delle fratture comminute di radio/ulna e tibia, le tecniche cruenti convenzionali di inserimento degli innesti ossei autogeni solitamente non si rendono necessarie applicando metodi biologici e il principio dell'equilibrio. Tuttavia, quando il processo di guarigione è tardivo, è possibile ricorrere all'applicazione di un innesto osseo spongioso autogeno a distanza di almeno due settimane dalla stabilizzazione iniziale. Tale periodo di attesa consente la guarigione dei tessuti molli e permette al chirurgo di arrecare danni limitati alle strutture che circondano la sede della frattura. L'innesto di osso spongioso deve essere collocato

### Strategie biologiche per la riparazione di fratture altamente comminute di omero e femore

- Valutazione preoperatoria del paziente per identificare i casi in cui la ricostruzione anatomica dei frammenti corticali multipli risulta impossibile o improbabile.
- Procedere, se possibile, all'allineamento e stabilizzazione dei segmenti ossei per via incruenta. In caso contrario, si ricorra all'esposizione OBDNT.
- Utilizzare un chiodo di allineamento durante l'inserimento del dispositivo di fissaggio.
- Evitare i tentativi di stabilizzazione dei frammenti corticali multipli.
- Tentare di conferire rigidità alla frattura riducendo al minimo la penetrazione del chiodo nella massa muscolare circostante e smontare per stadi successivi l'eventuale apparato di fissaggio.
- Utilizzando una placca per osteosintesi quale metodo di fissaggio, si cerchi di ridurre al minimo il trauma a carico dei tessuti che circondano la frattura.

nella sede specifica della frattura protetta dallo strato più spesso di tessuto molle (ad es. la faccia laterale della tibia).

### FRATTURE ALTAMENTE COMMUNUTE DI Omero E FEMORE

Le procedure di manipolazione e stabilizzazione delle fratture di omero e femore comportano problemi legati alla massa muscolare che circonda questi segmenti ossei e alla vicinanza degli stessi con la parete corporea. Alcune fra le strategie biologiche applicabili nelle fratture radio-ulnari e tibiali non possono essere adottate a livello di omero e femore. Per affrontare le fratture in queste sedi, gli autori consigliano di ricorrere a un diverso gruppo di strategie (vedi Strategie biologiche applicabili nelle fratture comminute di omero e femore).

I recenti sviluppi delle tecniche di fissazione esterna (chiodi filettati a profilo positivo,<sup>5,7</sup> chiodi endomidollari in configurazione TIE-IN,<sup>8</sup> configurazioni biplanari accentuate,<sup>9</sup> e disassemblamento progressivo per stadi,<sup>6</sup> consentono di trattare le fratture omerali altamente comminute ricorrendo ai mezzi di fissaggio associati ai metodi biologici descritti nel presente lavoro.<sup>5</sup> In caso di fratture femorali gli autori tendono a utilizzare placche per osteosintesi<sup>2</sup> o sistemi di fissaggio esterno<sup>5</sup> seguiti dalle strategie biologiche in base alle particolari situazioni e alle preferenze del chirurgo.

### Allineamento incruento e fissazione

Come nei casi di frattura radio-ulnare e tibiale, la tecnica incruenta di allineamento e stabilizzazione di omero e femore rappresenta una strategia biologica molto efficace. Tuttavia, l'allineamento incruento di questi due raggi ossei comporta alcune difficoltà dovute alla massa muscolare



FIGURA 7 - Raffigurazioni dell'inserimento di un chiodo di allineamento destinato a facilitare la tecnica OBDNT per l'applicazione di una placca da osteosintesi.

che li circonda e alla vicinanza della parete corporea. La sospensione dell'arto non facilita il compito e in realtà complica l'inserimento dell'impianto. Il principio di riparazione equilibrata sottolinea che la stabilità della frattura non deve essere eccessivamente compromessa nel tentativo di conservare l'integrità del tessuto molle circostante.

### Tecnica OBDNT

Quando non sia possibile raggiungere un equilibrio applicando un metodo incruento, è opportuno ricorrere alla tecnica OBDNT (Open-But-Do-Not-Touch exposure (aprire ma non toccare)). L'obiettivo di questo metodo è l'allineamento dei due segmenti ossei principali con minimo danno a carico dei tessuti che circondano la sede della frattura. Dopo avere praticato l'incisione cutanea, si procede alla dissezione fra i ventri muscolari di pertinenza per un tratto appena sufficiente ad allineare i due segmenti ossei e posizionare il dispositivo di fissaggio. In alcuni casi è possibile ripristinare la posizione adeguata dei monconi ossei mediante manipolazione attraverso lo strato muscolare che circonda la frattura, senza procedere all'esposizione dell'osso. Come nelle strategie biologiche applicate alle fratture radio-ulnari e tibiali, non è prevista l'esposizione o la manipolazione di frammenti di osso corticale. Nel corso della tecnica OBDNT, vengono rimossi unicamente i frammenti corticali che risultano completamente distaccati dai tessuti molli (flottanti).

### Il chiodo di allineamento

La realizzazione della tecnica OBDNT viene facilitata facendo uso di un chiodo di allineamento. Questo chiodo intramidollare viene utilizzato per mantenere un allineamento assiale approssimativo e per favorire l'inserimento del dispositivo di fissaggio primario. Riducendo al minimo le manipolazioni richieste per l'inserimento del sistema di fissaggio primario, si riduce il trauma a carico della vascolarizzazione nella sede di frattura. Il chiodo di allineamento, se utilizzato in associazione ai fissatori esterni, può

essere incorporato a permanenza mediante la tecnica TIE-IN.<sup>5</sup> Se il chirurgo preferisce utilizzare una placca per osteosintesi, il chiodo di allineamento di solito viene rimosso.

È fondamentale evitare l'uso di chiodi troppo larghi che complicherebbero l'applicazione del mezzo di fissazione primario. In alcuni gatti e nei cani di piccola taglia è adatto l'uso di chiodi intramidollari di diametro pari a 3,1 mm, mentre nei cani di taglia da media a grande si utilizzano quelli di 4,7 mm. (Se il chiodo di allineamento viene mantenuto come chiodo intramidollare e collegato all'apparato di fissaggio, il diametro 4,7 mm è adatto sia per cani di taglia media che per quelli grandi. In questi ultimi tuttavia viene applicato un fissatore di maggiori dimensioni.)

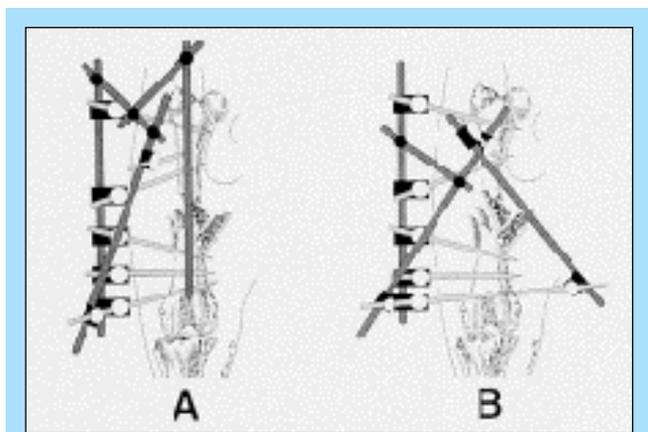
### Chiodi di allineamento e placche per osteosintesi

Volendo facilitare la tecnica OBDNT per l'inserimento della placca da osteosintesi facendo uso di un chiodo di allineamento, quest'ultimo dovrà essere inserito prima della placca (Fig. 7). Il chiodo mantiene i due segmenti ossei principali in posizione approssimativamente corretta. A questo punto è possibile sistemare la placca senza eccessive manipolazioni dei monconi. Il chiodo può essere inserito in direzione normale oppure retrograda secondo i metodi di routine. Gli autori spesso prediligono la prima via che comporta danni di minore entità a carico dei tessuti circostanti la frattura. La placca viene fissata a uno dei segmenti ossei principali per mezzo di un'unica vite da osteosintesi.

L'allineamento della frattura può essere perfezionato collocando una pinza per fissazione ossea sul segmento osseo opposto. La pinza può essere mossa in modo da riportare il raggio osseo lungo il proprio asse e per definirne gli spostamenti di torsione, angolari e da dislocazione. La correttezza dell'allineamento viene valutata ricorrendo alla visualizzazione e alla sistemazione delle strutture anatomiche di pertinenza (ad es. la linea aspra del femore) e delle articolazioni adiacenti. Un assistente mantiene i segmenti ossei in posizione allineata, mentre il chirurgo fissa la placca al secondo segmento osseo principale per mezzo di due viti da osteosintesi. Successivamente verrà inserita una seconda vite sul primo segmento osseo principale.

Se il chiodo di allineamento prevedeva l'inserimento di alcune delle prime quattro viti nell'osso corticale distale, è possibile introdurre provvisoriamente una vite corta dotata di filettatura che penetri soltanto nella corticale prossimale. Dopo avere asportato il chiodo di allineamento e avere inserito ulteriori viti in ogni segmento osseo, le viti corte provvisorie vengono sostituite con viti che penetrino in entrambe le superfici corticali. Le rimanenti viti vengono inserite nella placca da osteosintesi. Gli autori non hanno mai incontrato complicazioni nel sostituire per questa via le viti provvisorie purché venisse utilizzato il sistema di preinserimento delle viti.

Le placche da osteosintesi allungabili sono ideali in numerose fratture mesodiafisarie altamente comminute, essendo prive di fori per le viti nella porzione mediana che sovrasta la sede della frattura. I fori inutilizzati presenti nella porzione media delle placche standard possono con-



**FIGURA 8** - Raffigurazioni di due strutture di fissaggio rinforzate applicate a omero e femore in molte situazioni di non - distribuzione del carico. **(A)** Il chiodo di allineamento rimane in sede trattenuto (TIE-IN) dalla struttura di fissaggio rinforzata. **(B)** Costruzione di un apparato di fissaggio bidimensionale rinforzato senza il chiodo intramidollare.

centrare le sollecitazioni da stress.<sup>10</sup> È molto più probabile che queste placche vadano incontro a cedimento da fatica dovuto al prematuro allentamento delle viti oppure a rottura della placca stessa. Attualmente non sono disponibili placche allungabili di dimensioni sufficientemente ridotte da poter essere utilizzate nel gatto o nei cani di piccola o media taglia, nei quali occorre quindi applicare le placche convenzionali. L'uso di queste ultime in animali di tali dimensioni, osservando i principi delle strategie biologiche, ha comportato inconvenienti limitati.

Il chirurgo deve scegliere fra l'applicazione di una placca da osteosintesi e quella di un fissatore esterno quale metodo principale di stabilizzazione. La prima scelta predilige i metodi meccanici e la seconda quelli biologici.

### Chiodi di allineamento e fissatori esterni

Per applicare un fissatore esterno si utilizza il metodo del chiodo di allineamento a cui si ricorre per facilitare la tecnica OBDNT. In primo luogo si procede all'inserimento del chiodo di allineamento che serve a mantenere in posizione pressoché corretta i due segmenti ossei principali, in ognuno dei quali verrà inserito un chiodo dell'apparato di fissaggio. I due chiodi di fissaggio vengono uniti da un'asta di collegamento che consente di perfezionare la posizione dei segmenti ossei, mentre un assistente provvede a serrare i morsetti. Assicurando l'allineamento mediante un chiodo intramidollare di dimensioni appropriate, i due chiodi di fissaggio potranno essere inseriti in modo da penetrare sia nella superficie corticale prossimale che in quella distale. Il chiodo di allineamento può essere rimosso oppure incorporato nella struttura di fissaggio prima di averne completato il montaggio (Fig. 8).

In caso di fratture altamente comminute, bisogna costruire una struttura di fissaggio robusta che non comporti la suddivisione del carico. Paradossalmente, introducendo un numero eccessivo di chiodi di fissaggio nei tessuti molli, l'uso dell'arto viene limitato e aumenta la morbilità. Per ottenere una rigidità adeguata evitando di intro-

durire troppi chiodi nella muscolatura circostante, bisogna ricorrere alla configurazione bidimensionale rinforzata (Fig. 9).

Il disassemblaggio progressivo della struttura favorisce la guarigione. A livello di omero e femore, la procedura di smontaggio inizia con l'allontanamento dell'intelaiatura craniale e/o di quella laterale.<sup>5</sup> Se la struttura comprendeva anche il chiodo intramidollare, al termine della procedura di smontaggio quest'ultimo viene lasciato sporgere, assicurandolo a un chiodo di fissaggio rimasto in sede nel segmento osseo prossimale. Questo sistema evita la migrazione del chiodo intramidollare e il disagio che provoca spostandosi sotto la cute. Se si ritiene che il carico attivo favorisca la guarigione, la frattura può essere sottoposta a movimento in qualunque fase successiva all'intervento chirurgico allontanando il fissatore esterno e lasciando in sede soltanto il chiodo intramidollare che consente di caricare la parte. Il chiodo intramidollare può anche essere allontanato prima di avere asportato il fissatore esterno se si ritenga che possa interferire con il processo di guarigione della frattura o aumentare la morbilità.

### Innesto di osso spongioso autogeno

Gli autori ricorrono all'innesto di osso spongioso autogeno in tutte le riparazioni di fratture omerali e femorali praticate con la tecnica OBDNT. L'applicazione dell'innesto non deve disturbare il tessuto associato alla sede di frattura, anche se questo significa limitarsi ad accumulare materiale osseo in prossimità dell'area interessata. In caso di ritardata guarigione, l'innesto può essere rinforzato quando sia trascorso un tempo sufficiente alla riparazione dei tessuti molli. In base all'esperienza degli autori, gli innesti ossei spongiosi non sono in grado di compensare la stabilizzazione inappropriata di questi raggi ossei. Quando si osservi un ritardo di guarigione di fratture omerali e femorali altamente comminute e trattate adottando strategie biologiche, bisogna innanzitutto supportare l'esistenza di uno squilibrio fra fattori biologici e meccanici.

### CONCLUSIONE

I metodi di riparazione delle fratture devono garantire un equilibrio fra stabilità e integrità dei tessuti molli. Nelle fratture altamente comminute, gli sforzi di ricostruzione anatomica spesso non consentono di realizzare una fissazione con suddivisione del carico e contemporaneamente traumatizzano la vascolarizzazione di tessuti già danneggiati. In questi casi, non è stato raggiunto un equilibrio ed è probabile che si verifichi un cedimento.

Le strategie biologiche vengono applicate quando si stabilisca, in sede preoperatoria, che la ricostruzione anatomica dei frammenti corticali difficilmente assicurerebbe la distribuzione del carico oppure che risulterebbe inadeguata per altri motivi (ad es. se prolungasse i tempi di intervento o quelli di guarigione). Nelle fratture altamente comminute, si possono ottenere risultati di migliore qualità applicando svariate strategie biologiche in cui la conservazione della vascolarizzazione destinata al tessuto lesionato sia in equilibrio con un fissaggio rigido della parte fratturata.

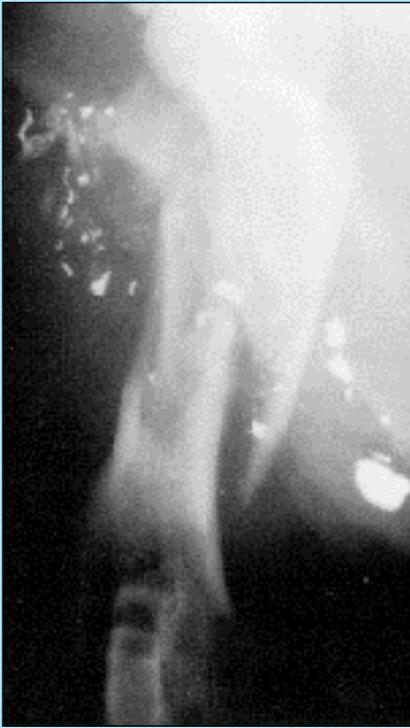


Figura 9A

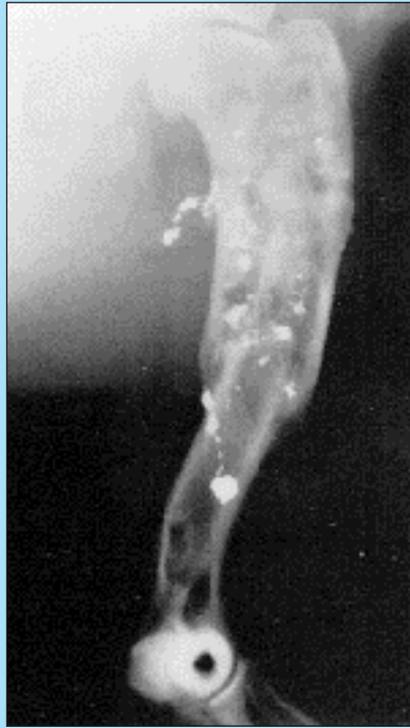


Figura 9C



Figura 9D



Figura 9B

**FIGURA 9** - Immagini radiografiche e fotografia di un successo ottenuto senza distribuzione del carico, utilizzando strategie biologiche e una struttura di fissaggio bidimensionale rinforzata. **(A)** Immagine radiografica di frattura omerale altamente comminuta in un incrocio di Labrador retriever. **(B)** Fotografia della struttura di fissaggio a due giorni di distanza dall'intervento chirurgico. **(C e D)** Immagini radiografiche di follow up eseguite immediatamente dopo il procedimento di smontaggio progressivo della struttura.

### Note sugli autori

Il Dr. Aron è affiliato al Department of Small Animal Medicine, College of Veterinary Medicine, University of Georgia, Athens, Georgia. Il Dr. Palmer è impegnato nel Veterinary Speciality Service of the Santa Cruz Veterinary Hospital a Santa Cruz, California. Il Dr. Johnson è affiliato al Department of Small Animal Surgery, School of Veterinary Medicine, University of Illinois, Urbana, Illinois.

### Bibliografia

1. Palmer RH, Hulse DA, Hyman WA, Palmer DR: Principles of bone healing and biomechanics of external skeletal fixation. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 22:45-68, 1992.
2. Muller ME, Allgower M, Schneider R, Willenegger H: *Manual of Internal Fixation*, ed 3. Berlin, Springer-Verlag, 1991.
3. Perren SM, Cordey J: The concept of interfragmentary strain, in Uthoff HK (ed): *Current Concepts of Internal Fixation of Fractures*. Berlin, Springer-Verlag, 1980, pp 63-77.
4. Swaim SF, Henderson RA: *Small Animal Wound Management*. Philadelphia, Lea & Febiger, 1990.
5. Aron DN, Dewey CW: Application and postoperative management of external skeletal fixators. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 22:69-97, 1992.
6. Egger EL, Lewallen DG, Norrdin RW, et al: Effects of destabilizing rigid external fixation on healing of unstable canine osteotomies. 34th Annu Meet Orthop Res Soc 13:302, 1988.
7. Aron DN, Toombs JP, Hollingsworth SC: Primary treatment of severe fractures by external skeletal fixation: Threaded pins compared with smooth pins. *JAAHA* 22:659-670, 1986.
8. Aron DN, Foutz TL, Keller WG, Brown J: Experimental and clinical experience with an IM pin/external skeletal fixator tie-in configuration. *Vet Comp Orthop Traum* 4:86-94, 1991.
9. Dewey CW, Aron DN, Foutz TL, et al: Static strength evaluation of two modified unilateral external skeletal fixators. *J Small Anim Pract* 35:211-216, 1994.
10. Frey AJ, Olds R: A new technique for repair of comminuted diaphyseal fractures. *Vet Surg* 10:51-57, 1981.