

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI  
"FEDERICO II"  
FACOLTA' DI MEDICINA VETERINARIA

Dipartimento di Scienze Cliniche Veterinarie  
Sezione di Clinica Chirurgica

DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE CLINICHE E FARMACO-TOSSICOLOGICHE  
VETERINARIE



**Individuazione di corridoi di sicurezza anatomici  
sulla faccia laterale di corpi vertebrali del tratto  
toracico e lombare nel cane. Valutazione  
preliminare finalizzata alla stabilizzazione  
chirurgica del rachide in seguito a trauma.**

---

Il Coordinatore del Corso di Dottorato  
Ch.mo Prof. Paolo Ciaramella

Il Docente guida:  
Ch.mo Prof. G. Fatone

Dottorando:  
Dr Maurizio Saccone

DOTTORATO DI RICERCA XXV CICLO  
2010 – 2013

## **Indice**

<b>Introduzione</b>	<b>3</b>
<b>Capitolo I</b>	
<b>Biomeccanica del rachide</b>	<b>5</b>
<b>Biomeccanica funzionale</b>	<b>6</b>
<b>Biomeccanica del trauma spinale</b>	<b>11</b>
- <b>Colonna toraco-lombare</b>	<b>25</b>
- <b>Colonna vertebrale caudale e sacro</b>	<b>26</b>
<b>Capitolo II</b>	
<b>La diagnosi delle fratture e delle lussazioni vertebrali</b>	<b><u>28</u></b>
<b>Capitolo III</b>	
<b>Trattamento delle fratture e delle lussazioni spinali</b>	<b><u>35</u></b>
- <b>Trattamento conservativo</b>	<b>43</b>
- <b>Trattamento Chirurgico</b>	<b>52</b>
<b>Capitolo IV</b>	
<b>Studio Sperimentale</b>	
<b>Introduzione</b>	<b>63</b>
<b>Materiali e metodi</b>	<b>65</b>
<b>Risultati</b>	<b>77</b>
<b>Discussione</b>	<b>89</b>
<b>Conclusioni</b>	<b>96</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	

## ***Introduzione***

Le fratture e le lussazioni vertebrali sono tra le principali cause di lesione neurologica midollare nei piccoli animali. Il trattamento chirurgico di queste lesioni consiste nella decompressione del midollo spinale e la stabilizzazione dei frammenti, in modo da consentire la guarigione degli elementi osseo e/o legamentosi. Diverse sono le tecniche chirurgiche di osteosintesi interne ed esterne che possono essere utilizzate per stabilizzare i segmenti vertebrali; in particolare, tra le metodiche più comuni va segnalata la stabilizzazione con chiodi/viti e polimetilmetacrilato (PMMA). Per l'applicazione di tali impianti, in considerazione della stretta contiguità tra osso e midollo spinale, è fondamentale il rispetto di corridoi c.d. "di sicurezza". Gli elementi che caratterizzano tali corridoi sono: punto d'inserimento, l'inclinazione, larghezza e lunghezza del corridoio e distanza dell'impianto rispetto alle strutture anatomiche da rispettare. Nonostante la presenza, in letteratura, di varie segnalazioni sulla modalità di inserimenti di impianti nel rachide nel cane, alcuni aspetti risultano tutt'oggi controversi. In alcuni studi (Wheeler et al., 2002 e 2007) è segnalato l'impiego della fluoroscopia quale valido ausilio per il corretto inserimento dei materiali di sintesi. Alla luce delle difficoltà tecniche segnalate, resta l'esigenza di ricercare una metodica che permetta di procedere alla stabilizzazione delle lesioni traumatiche spinali, in maniera semplice e riproducibile, anche senza l'ausilio di specifiche apparecchiature non sempre reperibili nella pratica clinica. Lo scopo del presente lavoro consiste nel tentativo di individuare corridoi di

sicurezza laterali per il tratto toracico e lombare (da T5 a L7) della colonna vertebrale del cane, analizzarne i risultati sperimentali e verificare la sicurezza, l'affidabilità e la riproducibilità della tecnica stessa.

## Capitolo I

### La biomeccanica del rachide del cane

#### *1. Introduzione*

La biomeccanica è la disciplina che studia la meccanica applicata ai sistemi biologici.<sup>45</sup> La risposta dell'osso alle sollecitazioni che hanno origine da un trauma, la capacità ed i limiti di questo tessuto a guarire da fratture e lussazioni e l'interazione tra l'osso e gli impianti ortopedici in corso di guarigione sono concetti di grande rilevanza clinica basati sullo studio di tale disciplina.<sup>49</sup>

Al fine di trattare adeguatamente pazienti con trauma spinale è fondamentale la conoscenza della biomeccanica della colonna vertebrale in condizioni normali e patologiche ed anche in relazione all'applicazione degli impianti di fissazione scheletrica. Questa conoscenza aiuterà il chirurgo veterinario a comprendere meglio sia le forze coinvolte nell'eziologia dell'insulto spinale sia quelle che gli impianti di fissazione dovranno contrastare per fornire la stabilità necessaria alla guarigione della lesione.<sup>46</sup> La colonna vertebrale fornisce sia sostegno al corpo sia protezione al midollo spinale e, in caso di lesione traumatica, non solo occorre valutare il danno anatomico-funzionale delle vertebre, ma anche quali effetti il trauma e l'instabilità da esso risultante può avere sul midollo spinale.

Alla luce di ciò, quando si valuta il metodo più adeguato di trattamento, in caso di fratture o lussazioni, è necessario considerare che il mantenimento della stabilità in corso di guarigione è molto più importante nelle fratture spinali rispetto a quelle dello scheletro appendicolare. L'instabilità di una frattura di un osso lungo comporta, se si interviene opportunamente, un danno permanente,

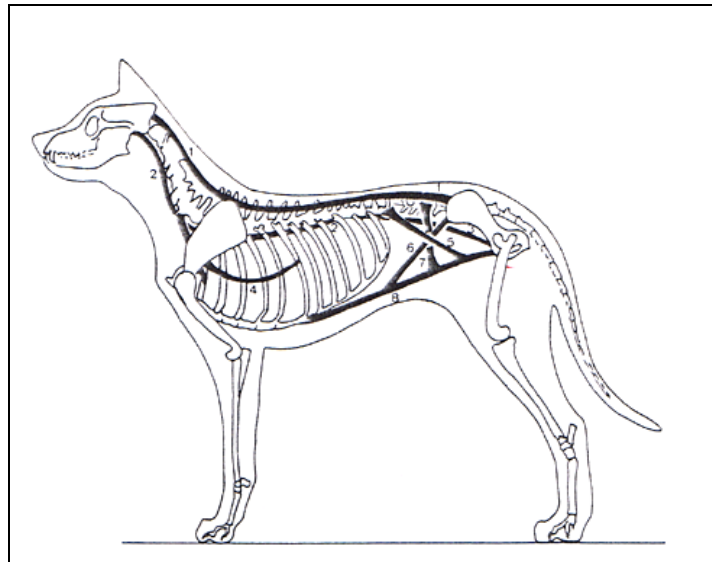
se corretto in tempi brevi, molto modesto; se, invece, tale instabilità si verifica in corso di riparazione di una frattura o lussazione vertebrale, anche se di breve durata, il trauma risultante al midollo spinale può comportare deficit funzionali molto gravi e permanenti.<sup>49</sup>

## ***II. Biomeccanica funzionale***

Nei vertebrati superiori a vita terrestre e stazione quadrupedale l'asse del corpo deve sopportare il peso corporeo e deve anche trasmettere la forza propulsiva degli arti posteriori per consentire la deambulazione. Tale struttura è, quindi, l'espressione di un compromesso tra le direzioni delle forze di gravità e di propulsione: essa deve poter resistere ai carichi deformanti e contemporaneamente assorbire gli urti nella direzione della risultante di tutte le forze di propulsione. In passato questa struttura è stata paragonata con quella di diversi tipi di ponti, ma nessun modello proposto ha resistito ad una verifica dal punto di vista meccanico. Oggi viene considerata valida la teoria dell'"*arco teso*" secondo la quale l'asse del corpo è formato da una serie di elementi rigidi cioè le vertebre che, con i dischi intervertebrali, formano un arco a curvatura variabile. Tale curvatura è resa transitoriamente stabile dai legamenti intrinseci della colonna vertebrale e può variare per l'azione di tre serie di "corde" muscolari, la cui tensione è regolabile. La corda dorsale, costituita dai muscoli epiassiali, è situata a livello della parte dorsale e dorso laterale dell'arco e tende a raddrizzarlo; la corda ventrale è disposta su due livelli: il primo, discontinuo,

aderisce alla superficie ventrale di tutta la colonna ad eccezione del tratto che segna il passaggio tra la regione toracica e quella lombare che risulta privo, quindi, ventralmente, di copertura muscolare. Questo livello è costituito dai muscoli lungo del collo e lungo della testa e dai muscoli psoas.

Il secondo livello, continuo, comprende i muscoli obliquo, trasverso e retto dell'addome e si collega indirettamente con l'arco per mezzo dello scheletro toracico, cranialmente e, per mezzo delle ossa pelviche, caudalmente ( Fig. 1.1 ).



**Figura 1.1:** Architettura muscolare del tronco dei mammiferi quadrupedi. 1 )Epiassiali, 2 )Ipoassiale, 3 )Gruppo dei muscoli psoas, 4 ) Scaleno, 5 )Obliquo esterno dell'addome, 6 )Obliquo interno dell'addome, 7 )Trasverso dell'addome, 8 )Retto dell'addome. ( da: Badoux D. M.: Biostatica e biomeccanica generalità. In Getty R.: Anatomia degli animali domestici. Piccin Editore. Padova, vol. 1, 1982 )

I muscoli del primo livello hanno la funzione di flettere le regioni dell'arco che rivestono ventralmente e, in cooperazione con i muscoli epiassiali, essi stabilizzano la loro curvatura. I muscoli del secondo livello sono in primo luogo responsabili della flessione dell'arco nella regione toraco-lombare, come è possibile osservare nel gatto seduto in cui si evidenzia una caratteristica gobba;

essi hanno anche primaria importanza nella estensione e nella flessione intermittente di questa regione durante la corsa a balzi.

L'azione delle corde sull'arco è anche chiaramente dimostrata nell'animale morto e nel cucciolo: nel primo, infatti, il dorso non può essere disteso completamente se non sono recisi i muscoli addominali; nel secondo è presente una sella caratteristica della colonna vertebrale che si trasforma in curvatura dorsale non appena si è completamente sviluppata la muscolatura addominale in modo da aumentare la tensione della "corda".

Sotto il profilo meccanico gli aspetti più significativi di questa organizzazione consistono nella condizione di equilibrio statico del tronco che, quindi, non esercita forze in direzione craniocaudale nei punti di sostegno, ossia a livello dei cinti toracico e pelvico e nella elevata adattabilità della struttura alle variazioni di carico. Si può ritenere che, quando un quadrupede è in stazione, l'elasticità intrinseca dei dischi intervertebrali e dei legamenti tiene la colonna vertebrale in una condizione di equilibrio instabile e che, per mantenere questa condizione, è sufficiente una attività muscolare minima o nulla. Una minima contrazione muscolare capace di produrre una forza che superi questa elasticità intrinseca è sufficiente a provocare una flessione o distensione dell'arco. Le forze muscolari che agiscono sul rachide ne inducono uno o più dei seguenti movimenti:

- Flessione longitudinale che tende a curvare o estendere il dorso.
- Flessione trasversale, in un piano orizzontale, che tende a curvare il tronco verso destra o sinistra.



- Torsione attorno ad un asse longitudinale orizzontale con rotazione di vertebre adiacenti.
- Scivolamento in direzione verticale e/o trasversa.
- Accorciamento o allungamento longitudinale.

Mentre alle forze di taglio trasversali e verticali e a quelle di compressione/trazione longitudinale il rachide oppone una resistenza passiva dovuta alle proprietà fisiche dei materiali che lo compongono, le forze di flessione e torsione sono contrastate sia dai muscoli intrinseci (ipoassiali ed epiassiali) che da quelli estrinseci.<sup>2</sup>

Le forze che agiscono sulla colonna vertebrale non sono, tuttavia, soltanto quelle generate dalla contrazione dei muscoli ad essa associati; infatti il rachide è soggetto a due categorie di forze indicate come intrinseche ed estrinseche.<sup>46, 49</sup>

Le forze intrinseche sono appunto quelle legate alla contrazione dei muscoli durante la stazione o il movimento dell'animale e sono importanti non solo per il movimento ma anche per la protezione della colonna poiché riducono e distribuiscono gli stress su essa esercitati. L'importanza di queste forze non deve essere sottostimata, soprattutto quando si manipola un animale traumatizzato nel quale la loro azione protettiva è ridotta o assente a causa della perdita del controllo nervoso in conseguenza dell'evento traumatico, chirurgico o dell'anestesia. Le forze estrinseche insorgono a partire da influenze ambientali (cadute, salti, investimenti) e possono presentare vari orientamenti e varia intensità. Quando gli stress esercitati da queste forze sul rachide ne superano il

limite di resistenza massima si può verificare un cedimento della struttura con un possibile danno del tessuto midollare.<sup>46</sup>

Per quanto esposto in precedenza, la colonna vertebrale è in grado di compiere vari tipi di movimento. I più frequenti nel corso della normale attività motoria del cane sono quelli di flessione ed estensione, che interessano soprattutto il tratto lombare, in ragione della sua maggiore mobilità rispetto alle altre regioni del rachide.<sup>41</sup> Poiché anche per le strutture del rachide è applicabile la legge di Wolff, secondo la quale la forma di un osso si adatta alla sua funzione, la struttura della colonna vertebrale nel suo insieme è più adatta a sostenere proprio queste sollecitazioni.<sup>47, 49</sup>

In particolare la componente ventrale, composta principalmente dal corpo vertebrale e dal disco intervertebrale, è più adatta a resistere al carico compressivo prodotto dalla flessione del rachide, mentre la componente dorsale, che comprende l'arco neurale con i processi e i legamenti associati, è più adatta a resistere alle forze tensili prodotte dalla flessione, ma ha una capacità relativamente bassa a sopportare la compressione.<sup>46, 49</sup> Il rachide è in grado di compiere anche movimenti di rotazione e flessione laterale, ma in queste modalità di carico le sue proprietà di resistenza sono molto più limitate.<sup>46</sup>

In conclusione, l'intera colonna vertebrale può essere suddivisa dal punto di vista biomeccanico in un sistema passivo formato da ossa e legamenti, in un sistema attivo formato dalla muscolatura spinale e dai tendini e in un sistema nervoso che controlla e dirige gli altri due sistemi per assicurare la necessaria stabilità.<sup>33</sup>

### ***Biomeccanica del trauma spinale***

Il tipo e la gravità delle lesioni conseguenti a un trauma spinale dipendono dalla combinazione di due fattori: le *caratteristiche fisiche del rachide* e le *caratteristiche del carico* ad esso applicato al momento del trauma.

Le caratteristiche fisiche comprendono sia le proprietà strutturali che quelle materiali. Le prime sono determinate dalla dimensione, forma e posizione reciproca delle ossa, dei legamenti, dei dischi intervertebrali e delle capsule articolari. La dimensione e l'orientamento delle faccette articolari, ad esempio, variano da una porzione all'altra della colonna condizionando significativamente sia la resistenza agli insulti dei vari tratti vertebrali sia la natura della lesione.

Le proprietà materiali, invece, sono determinate dalla natura fisica delle strutture coinvolte nella lesione; ognuna di queste strutture possiede proprietà differenti per opporsi alle forze del trauma.

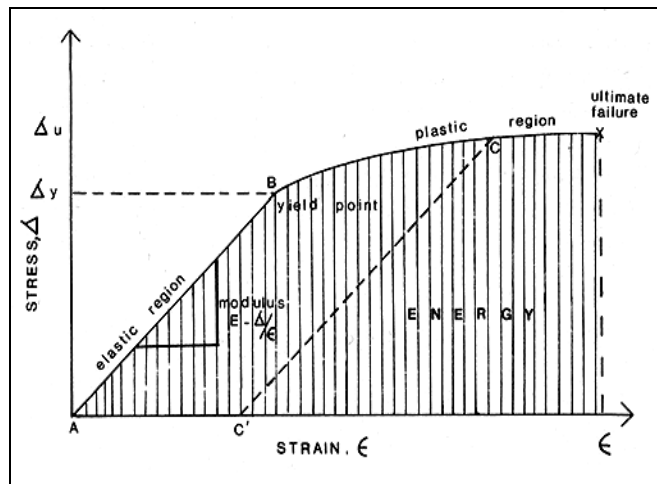
Le proprietà materiali che sono alla base della biomeccanica del trauma spinale sono: la *rigidità* e la *resistenza finale*.<sup>49</sup> Quando un oggetto è sottoposto ad una forza si deforma più o meno intensamente e la sua rigidità rappresenta la resistenza che esso oppone a questa deformazione.

Per quantificare il grado di rigidità di un oggetto si può utilizzare un grafico sul quale si riportano i valori della forza applicata all'oggetto, sull'asse delle ordinate, e quelli della deformazione da esso mostrata, sull'asse delle ascisse. Inizialmente l'oggetto sottoposto alla forza si deforma in modo elastico, ossia, recupera la sua forma iniziale una volta terminata l'applicazione della forza. Con l'aumentare dell'intensità della forza viene raggiunto il punto limite di elasticità,

superato il quale, la deformazione diventa plastica. Ciò comporta che l'oggetto non è più in grado di recuperare la sua forma iniziale dopo la cessazione del carico applicato. Continuando ad intensificare il carico si raggiungerà il punto di *resistenza finale*, oltre il quale l'oggetto si rompe. Su un grafico così costruito la *rigidità* è espressa dalla pendenza delle curva nel suo tratto lineare.

La curva forza/deformazione esprime graficamente il comportamento meccanico di un oggetto sottoposto ad un carico; questo comportamento, però, non può prescindere da alcune caratteristiche fisiche dell'oggetto, quali la forma o la dimensione, e anche dalle caratteristiche della forza applicata (punto di applicazione, tipo di forza ). Per poter quindi differenziare in modo corretto il comportamento meccanico di materiali differenti, occorre analizzare campioni di dimensioni e forma simili e sottoporli al medesimo carico. In base a queste considerazioni, si costruisce la curva stress/sforzo per definire più propriamente le caratteristiche meccaniche di un materiale<sup>45</sup> ( Fig 1.2 ).

Lo stress, riportato sull'asse delle ordinate, è la misura delle forze intrinseche che si generano quando un oggetto viene deformato e viene misurato come forza per unità di superficie. Lo sforzo riportato sull'asse delle ascisse rappresenta il rapporto tra l'allungamento dell'oggetto conseguente al carico applicato e la sua lunghezza originaria. Esistono due tipi di stress: normale e di taglio. Il primo agisce perpendicolarmente alla superficie dell'oggetto e può essere compressivo o tensile; il secondo è la misura dello scorrimento fra due superfici adiacenti del materiale. Quando lo stress è normale lo sforzo prodotto viene definito normale.



**Figura 1.2:** Curva stress/sforzo per un materiale duttile di sezione obliqua nota.  $\sigma_u$ , rappresenta la resistenza finale del materiale, mentre,  $\sigma_y$  rappresenta il punto di passaggio tra il comportamento elastico e quello plastico. l'area sotto la curva rappresenta l'energia accumulata dal materiale prima del cedimento strutturale. La pendenza del tracciato nella regione lineare di deformazione elastica rappresenta il modulo elastico e riflette la rigidità del materiale. (da: Smith G. K.: Biomechanics Pertinent to Fracture Etiology, Reduction, Fixation. In Textbook of Small Animal Orthopaedics. Edited by C.D. Newton, D.M. Nunamaker. Philadelphia. J.B. Lippincott, 1985).

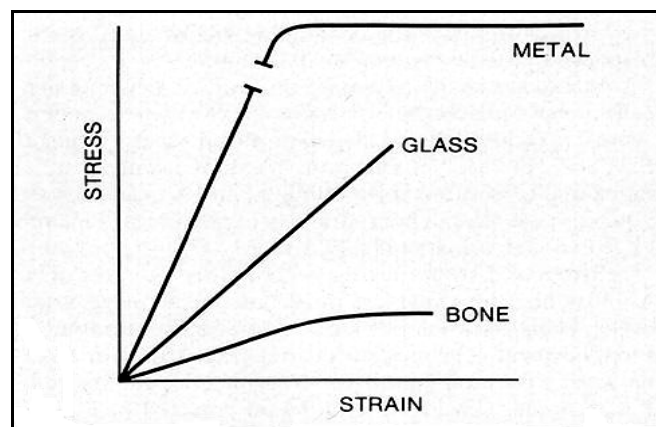
La curva stress/sforzo è simile a quella forza/deformazione e su di essa è possibile misurare il modulo di Young che rappresenta la rigidità del materiale e corrisponde alla pendenza della porzione lineare del grafico nella regione di deformazione elastica. Dal grafico si ricava che la pendenza della curva è direttamente proporzionale alla rigidità del materiale e quindi al modulo.<sup>45</sup>

Il modulo di Young o modulo elastico, per uno stesso campione, può mostrare valori diversi a seconda che lo stress normale applicato sia di tipo compressivo o tensile: un oggetto può resistere meglio alla compressione piuttosto che alla tensione o viceversa. La rigidità e la resistenza finale, quindi, variano a seconda del materiale considerato e non sono necessariamente in diretta relazione tra loro. L'osso, infatti, è circa 100 volte più rigido del disco intervertebrale, ma il punto di resistenza finale di un disco sano è maggiore di quello dell'osso.<sup>49</sup>

Può aiutare nella comprensione di quanto esposto il confronto di curve stress/sforzo costruite per tre differenti materiali: il metallo, il vetro, l'osso.

Il metallo ha un'elevata rigidità ed è soggetto a rottura solo quando l'intensità dello stress applicato diventa considerevole: questo è un comportamento duttile, cioè prima della rottura mostra un'ampia fase di deformazione plastica. Il vetro mostra un modulo elastico elevato, tuttavia, è considerato un materiale fragile, in quanto possiede una deformazione plastica trascurabile prima della rottura. L'osso, invece è dotato di minore rigidità rispetto agli altri materiali ma in termini di cedimento meccanico, si comporta in modo simile al vetro, rompendosi come un oggetto fragile cioè solo dopo lieve deformazione plastica.

Di conseguenza i frammenti in cui l'osso fratturato può dividersi possono essere rimessi insieme, in modo da consentirgli di riacquistare la forma posseduta prima della rottura. Questo comportamento torna estremamente utile in corso di riduzione anatomica di un osso fratturato <sup>45</sup>( Fig. 1.3 ).



**Figura 1.3:** Curve stress/sforzo di tre materiali: metallo, vetro, e osso. Da notare le relative differenze nella rigidità (pendenza) e nella resistenza finale. L'osso anche se mostra una lieve deformazione plastica si comporta più come il vetro che come il metallo. (da: Smith G. K.: Biomechanics Pertinent to Fracture Etiology, Reduction, Fixation. In Textbook of Small Animal Orthopaedics. Edited by C.D. Newton, D.M.Nunamaker. Philadelphia. J.B. Lippincott, 1985).

Le caratteristiche del carico, com'è stato precedentemente esposto, concorrono a definire l'entità ed il tipo di lesione traumatica e sono rappresentate da: velocità, intensità e tipo di carico.<sup>49</sup>

La *velocità* della forza applicata sull'osso è un parametro importante da considerare in ragione del suo comportamento viscoelastico. Sono definiti viscoelastici o tempo dipendenti quei materiali il cui comportamento meccanico cambia secondo la velocità di applicazione della forza;<sup>1</sup> ad esempio per fratturare un osso è richiesta una forza maggiore se questa viene applicata in un periodo di tempo più breve. L'*intensità* del carico corrisponde al suo peso.

Infine, i *tipi di carico* che possono agire sulla colonna vertebrale sono: il carico compressivo che agisce secondo la direzione assiale; il carico che provoca un piegamento verso il basso (flessione), verso l'alto (estensione) o laterale; il carico torsionale che può indurre rotazione in senso orario e antiorario e, infine, il carico dovuto alle forze di taglio che hanno direzione parallela ma verso opposto e agiscono perpendicolarmente al rachide provocando lo scorrimento di superfici tra loro adiacenti.<sup>45, 49</sup>

A causa della complessa conformazione anatomica delle vertebre e della notevole variabilità delle forze che possono agire su di esse in seguito a un evento traumatico, le fratture o le lussazioni del rachide possono interessare sedi differenti, quali: il corpo, i peduncoli, le lamine, i processi spinosi o trasversi e, nel caso di lussazioni, gli spazi intervertebrali e i processi articolari.<sup>49</sup> Si possono classificare le fratture/lussazioni del rachide in tre modi: sulla base delle componenti anatomiche che risultano interessate dalla linea di frattura; sulla

base della eziologia, quindi, valutando le caratteristiche delle forze che hanno determinato le lesioni; considerando insieme i precedenti aspetti.<sup>41, 49</sup>

La prima forma di classificazione è utile soprattutto sul piano terapeutico e prognostico, in quanto consente di stabilire il grado di instabilità delle fratture, che, insieme al grado di compressione midollare, rappresenta la principale indicazione per il trattamento chirurgico della lesione spinale.<sup>41</sup>

In passato tale classificazione era effettuata secondo la "teoria bicompartimentale": la vertebra era divisa in un compartimento dorsale, comprendente l'arco vertebrale, costituito dalla lamina e dai peduncoli, le faccette articolari, le capsule articolari, i processi spinosi dorsali, il legamento interspinoso e quello flavo, ed in un compartimento ventrale comprendente il corpo vertebrale, il disco intervertebrale e i legamenti longitudinali dorsale e ventrale. Sulla base di questa teoria, le lesioni possono riguardare il compartimento dorsale, quello ventrale oppure entrambi. Quando la frattura coinvolge solo il compartimento dorsale, si considera poco stabile.<sup>20, 21</sup>

In genere, le fratture di questa componente da sola sono rare, ad eccezione delle fratture dei processi spinosi.<sup>19</sup> Se invece c'è coinvolgimento solo del compartimento ventrale, la frattura è ritenuta sufficientemente stabile; le fratture, invece, che coinvolgono contemporaneamente i due compartimenti sono in genere le più frequenti e mostrano la massima instabilità.<sup>5,6, 19, 21</sup>

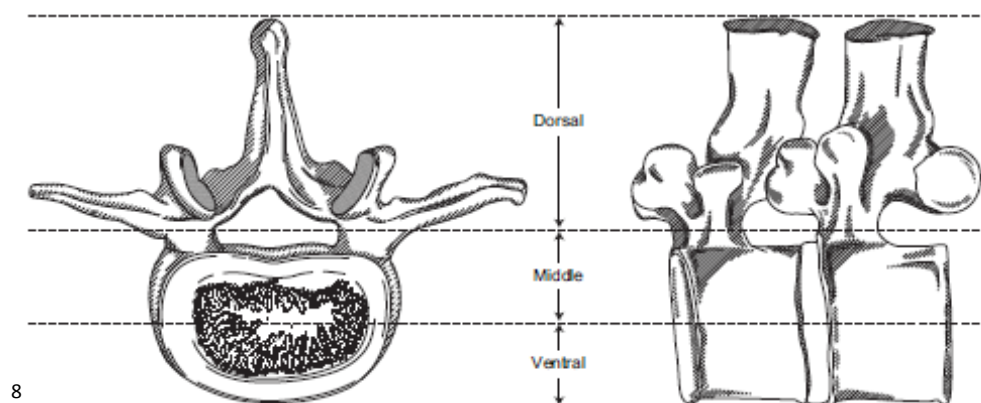
Oggi un metodo classificativo tricompartimentale per le fratture vertebrali utilizzato in medicina umana è stato riportato in medicina veterinaria ed è stato adattato per l'impiego sui piccoli animali.<sup>3, 5, 21, 24, 41, 42</sup>



I tre compartimenti in cui viene divisa la vertebra sono definiti dalle seguenti strutture anatomiche: le faccette articolari, i peduncoli, le lamine, il processo spinoso e il legamento flavo, definiscono il compartimento dorsale; il legamento longitudinale dorsale, la parte dorsale dell'anello fibroso e del corpo vertebrale, definiscono quello medio; la parte rimanente del corpo vertebrale, le porzioni laterali e quella ventrale dell'anello fibroso e il legamento longitudinale ventrale, definiscono il ventrale <sup>42</sup> ( Fig. 1.4 ).

Sulla base della "teoria tricompartmentale" gli autori ritengono stabili le fratture che coinvolgono solo uno dei tre compartimenti e instabili le fratture che coinvolgono due o tre compartimenti contemporaneamente. <sup>18,42</sup>

Spesso, tuttavia, l'applicazione della teoria tricompartmentale richiede l'utilizzo di tecniche di diagnostica per immagine avanzate, che non sempre sono disponibili in medicina veterinaria. Per questo motivo non tutti gli autori considerano questa metodologia più vantaggiosa di quella bicompartimentale.



**Figura 1.4** : Una illustrazione anatomica delle componenti dei tre compartimenti usati nella classificazione delle fratture. La componente dorsale comprende le faccette articolari, i peduncoli, le lamine, i processi spinosi, il legamento flavo. Il compartimento medio comprende i legamenti longitudinali dorsale, l'anello dorsale, la parte dorsale del corpo vertebrale. Il compartimento ventrale comprende le rimanenti parti del corpo vertebrale, le porzioni laterali e ventrali dell'anello e il legamento longitudinale ventrale.  
( da: Shores A.; Braund K.G.; Brawner W.R.Jr.: Management of acute spinal cord trauma. Vet. Med. 724-739, 1990, parzialmente modificato.) Immagine da Jeffery 2010

Tramite la valutazione radiografica si indicano quanti e quali sono i compartimenti vertebrali colpiti; se solo uno dei tre compartimenti è danneggiato la frattura è considerata stabile, mentre se ad essere lesionati sono due o tre compartimenti la frattura è valutata come instabile. L'instabilità vertebrale e la compressione midollare sono i criteri per la scelta di una terapia chirurgica, mentre una frattura che dalle indicazioni radiografiche sembra coinvolgere solo uno dei tre compartimenti verrà ulteriormente indagata per mezzo di una mielografia o tramite l'utilizzo di una TC o di una RM per identificare un'eventuale compressione midollare o la presenza di schegge ossee all'interno del canale vertebrale; nel caso in cui non fossero presenti né compressione midollare né schegge ossee nel canale vertebrale si procederà con una terapia di tipo conservativo<sup>18,41</sup>.

Infine, sempre sulla base delle componenti anatomiche coinvolte nella lesione, gli autori Petterson e Smith hanno proposto un altro schema classificativo, utile nella scelta del trattamento più appropriato e basato su quattro categorie:

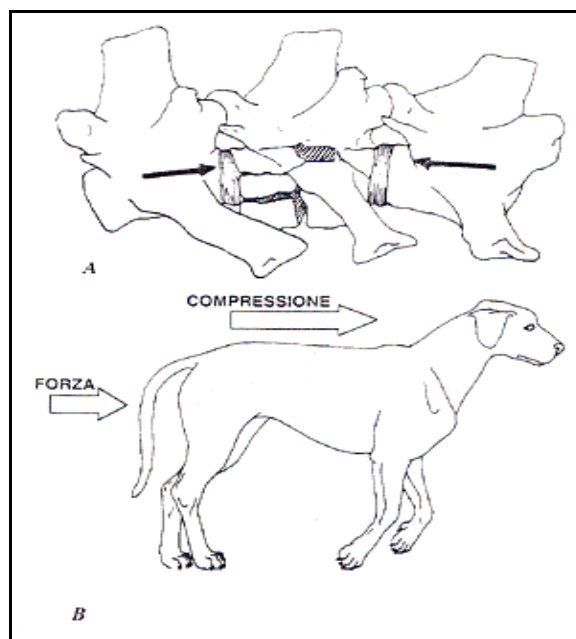
- Fratture che preservano sia le strutture ventrali sia i processi articolari. Sono stabili e raramente richiedono fissazione interna.
- Fratture dei processi articolari con integrità delle strutture ventrali. Presentano instabilità rotazionale e possono richiedere impianti che limitino la rotazione della spina.
- Fratture delle strutture ventrali con integrità delle faccette articolari. Mostrano fragilità nel piegamento della colonna e perciò necessitano di fissazione interna.

- Fratture della parte ventrale e delle faccette articolari. Sono suscettibili a tutte le forze che agiscono sulla colonna necessitano di fissazione interna.<sup>19, 31</sup>

Anche la classificazione eziologica presenta i suoi vantaggi in quanto, attraverso l'analisi delle caratteristiche della frattura/lussazione consente di risalire alle forze che l'hanno prodotta e, inoltre, di stabilire a quali forze gli eventuali impianti di fissazione dovranno resistere per assicurare la stabilità necessaria alla guarigione. Esiste, quindi, una correlazione tra il carico applicato, la localizzazione e il tipo di frattura, che può essere chiarita attraverso l'analisi di tutte le forze che possono agire sul rachide.

Un *carico assiale compressivo*, che può verificarsi in corso d'investimento automobilistico quando il veicolo colpisce posteriormente l'animale, genera uno schiacciamento sia del corpo vertebrale sia del disco. Poiché il disco ha un modulo elastico più basso dell'osso, esso assorbirà la maggior parte dello stress compressivo fino al suo sforzo massimo; a quel punto, poiché il disco ha una resistenza finale maggiore rispetto all'osso, sarà quest'ultimo a cedere e si verificherà la frattura. Se il carico è puramente compressivo, senza nessuna forza di flessione, si verificherà una frattura "con esplosione" del corpo vertebrale<sup>49</sup> (Fig. 1.5).

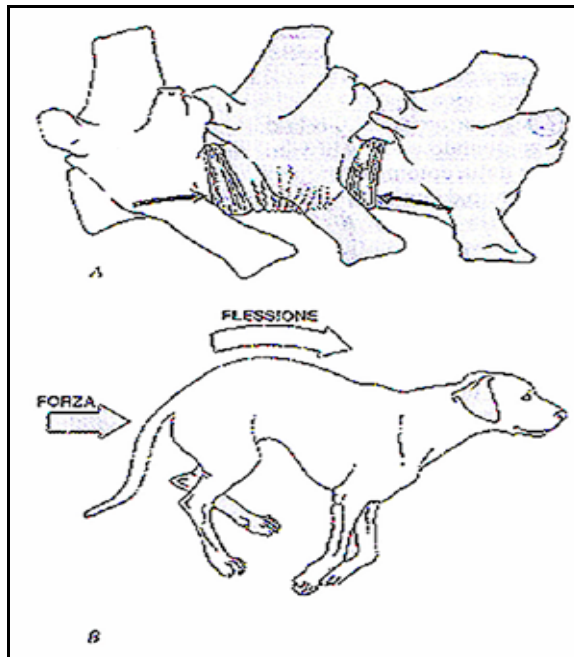
Queste fratture, se coinvolgono solo la componente ventrale, possono risultare relativamente stabili, tuttavia, frammenti dell'osso e del disco possono essere spinti all'interno del canale vertebrale causando gravi deficit neurologici.<sup>49</sup>



**Figura 1.5:** A, meccanica di una frattura da compressione toracica (le frecce mostrano le linee di forza). B, la forza è applicata da dietro mentre la colonna vertebrale è diritta. ( da: Thacher C.: Biomeccanica delle fratture e lussazioni del cranio e della colonna vertebrale. In Bojrab M.J.: Le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nel cane e nel gatto; Ed. Girali,2001)

Un *carico flessorio*, invece, determina simultaneamente, compressione sulla componente ventrale del corpo vertebrale e tensione sui legamenti vertebrali della parte dorsale. Poiché i legamenti resistono a tensioni maggiori rispetto a quanto il corpo vertebrale resista alle compressioni, quest'ultimo cederà per primo. In tal modo si potrebbe verificare una frattura a cuneo del corpo <sup>49</sup> ( Fig. 1.6 ). Anche se il rachide è strutturato in modo da resistere meglio alle forze che producono una flessione ventrale, la maggior parte delle fratture è il risultato di un'iperflessione che supera il limite di resistenza del corpo vertebrale. <sup>45</sup>

Bisogna considerare inoltre che l'iperflessione costituisce la sollecitazione più difficile da controllare nel corso della guarigione post-operatoria dell'animale traumatizzato ed è la principale causa di insuccesso terapeutico in seguito a stabilizzazione chirurgica. <sup>49</sup>



**Figura 1.6:** A, meccanica di una frattura da compressione a cuneo del corpo vertebrale (le forze mostrano le linee di forza). B, queste fratture sono prodotte da una forza applicata da dietro quando la colonna vertebrale è in flessione.  
 ( da: Thacher C.: Biomeccanica delle fratture e lussazioni del cranio e della colonna vertebrale. In Bojrab M.J.: Le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nel cane e nel gatto; Ed. Giralì,2001)

Gli *insulti di tipo estensorio*, in genere, derivano da forze applicate sul dorso del cane e dirette ventralmente.<sup>33</sup>

Queste forze inducono una compressione sugli elementi dorsali del rachide e una trazione sui corpi vertebrali e sui dischi. Per forze sufficientemente intense, il legamento longitudinale ventrale e l'anello fibroso si lacerano, il nucleo polposo è estruso ventralmente, mentre sono risparmiate le strutture legamentose dorsali.

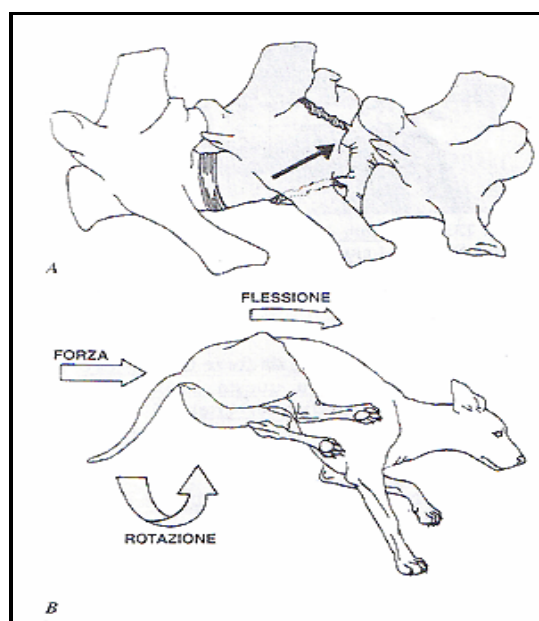
Queste sono lesioni in genere stabili ma, in virtù del fatto che non sempre c'è coinvolgimento dell'osso, sono difficili da diagnosticare e spesso richiedono radiografie sotto stress. Quando è presente una frattura vertebrale, in

conseguenza di questo tipo di forze, essa si presenta come una frattura da avulsione ventrale del corpo vertebrale.

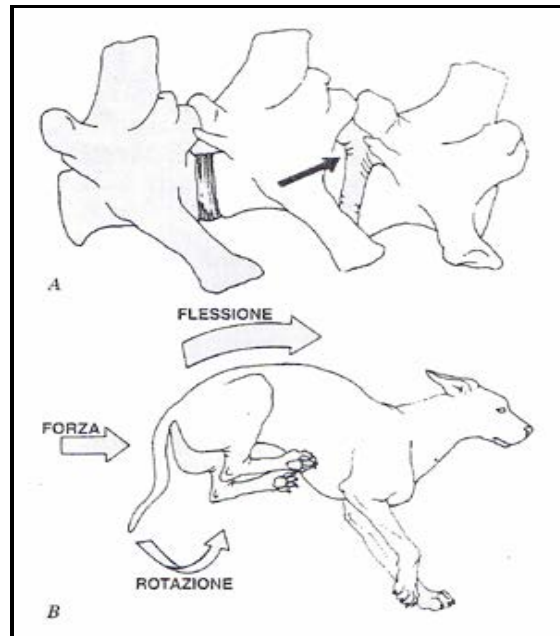
Più raramente, quando le forze compressive dorsali sono elevate, si può riscontrare una frattura dell'arco vertebrale e delle faccette articolari.

Le *forze di rotazione o torsione* agiscono provocando rotazione del rachide attorno all'asse longitudinale, in senso destrogiro o levogiro.<sup>49</sup> Le componenti del rachide meno resistenti alla rotazione sono rappresentate dai tessuti molli. In genere raramente è sottoposta a forze esclusivamente rotazionali; più spesso, infatti, la rotazione si accompagna alla flessione. La combinazione di queste due forze può provocare lussazioni intervertebrali e/o fratture, in relazione a quale delle due viene applicata con maggiore intensità.

Quando predomina la rotazione, con maggiore probabilità si verificano le fratture, invece, se predomina la flessione, si osservano più frequentemente lussazioni.<sup>41, 49</sup> ( Fig. 1.7; 1.8 )



**Figura 1.7:** A, meccanica della frattura/lussazione spinale ( le frecce mostrano le linee di forza ).B, le fratture/lussazioni conseguono ad una combinazione di flessione e rotazione, con la rotazione come forza prevalente. ( da: Thacher C.: Biomeccanica delle fratture e lussazioni del cranio e della colonna vertebrale. In Bojrab M.J.: Le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nel cane e nel gatto; Ed. Girali, 2001)



**Figura 1.8:** A, meccanica della lussazione spinale (le frecce mostrano le linee di forza).B, le lussazioni conseguono ad una combinazione di flessione e rotazione, con la flessione come forza prevalente. ( da: Thacher C.: Biomeccanica delle fratture e lussazioni del cranio e della colonna vertebrale. In Bojrab M.J.: Le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nel cane e nel gatto; Ed. Girali, 2001)

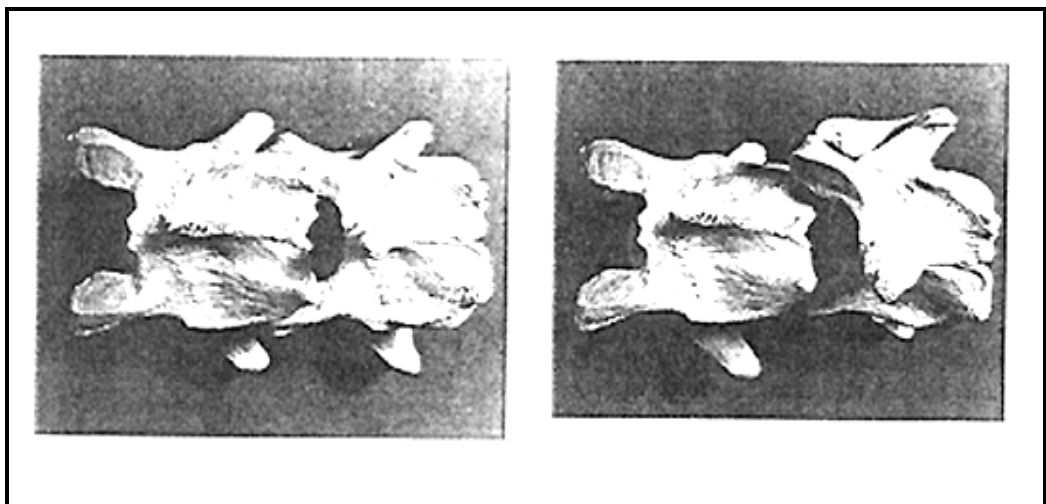
I processi articolari sono le strutture statiche del rachide responsabili in maggior misura della rigidità torsionale che è condizionata dalla loro forma, dimensione e dal loro orientamento. Questo spiegherebbe il diverso comportamento del tratto cervicale del rachide rispetto al tratto toracico durante la flessione/rotazione. Nel rachide cervicale, dove i processi articolari sono grandi e orientati orizzontalmente, le fratture non sono frequenti, ma, le forze di rotazione e flessione producono soprattutto lussazione e dislocazione con incastro uni o bilaterale dei processi<sup>49</sup> ( Fig. 1.9 ).

In medicina umana è stato osservato che le faccette tra T5-6 sono curve e, di conseguenza, non forniscono grande contributo alla rigidità torsionale; d'altra parte le faccette da T12 a L1 sono conformate ad U e intrecciate così da assicurare una considerevole resistenza alla torsione.<sup>49</sup>

Nel tratto toracico invece i processi sono piccoli e orientati verticalmente, quindi, si fratturano più frequentemente a seguito di rotazione e flessione.

Infine, le *forze di taglio* possono provocare fratture e lussazioni con dislocazioni rilevanti, in virtù della minore resistenza sia dell'osso che dei tessuti molli a questo tipo di stress.

È opportuno precisare che le lesioni descritte si verificano a seguito della trasmissione lungo il rachide delle forze agenti sul corpo dell'animale; vi sono, però, anche casi in cui la frattura si realizza a seguito di un trauma diretto sul rachide, con possibile coinvolgimento di qualsiasi parte della vertebra sebbene, di solito, siano le parti più superficiali, come processi spinosi o trasversi, ad essere interessate da questo trauma.<sup>49</sup>





**Figura 1.9:** A, rapporto normale delle vertebre cervicali. B, lussazione vertebrale cervicale con dislocazione stabile ed incastro dei processi articolari.  
( da: Thacher C.: Biomeccanica delle fratture e lussazioni del cranio e della colonna vertebrale. In Bojrab M.J.: Le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nel cane e nel gatto; Ed. Giralì, 2001)

### **COLONNA VERTEBRALE TORACOLOMBARE**

Le vertebre del tratto toraco-lombare sono quelle più soggette a fratture e lussazioni; la regione toracica caudale è la zona più colpita nel cane <sup>16</sup>. Le fratture-lussazioni tra T1 e L6 occorrono nel 50-60% dei pazienti che sono stati oggetto di un trauma chiuso <sup>37</sup>; ulteriori studi hanno rilevato che un 50% delle lesioni alla colonna vertebrale avvengono a livello del tratto toracolombare <sup>4, 29</sup>. Un ulteriore studio indicava il tratto lombare della colonna vertebrale (L1-L7) come la regione più soggetta a fratture <sup>10</sup>, ma tale divergenza è forse imputabile al fatto che in questo studio è stato utilizzato un diverso raggruppamento delle localizzazioni delle lesioni e si è tenuto conto anche delle vertebre caudali.

Le fratture della colonna ventrale toracica da T1 a T9 sono rare e presentano una limitata possibilità di dislocazione a causa della stabilità intrinseca fornita dalle coste e dalle inserzioni dei muscoli intercostali, dal sostegno legamentoso e dalle masse muscolari epiassiali ben sviluppate <sup>18, 34</sup>. Circa il 40-50% delle fratture e delle lussazioni della colonna vertebrale toracolombare si verificano unitamente ad altri problemi come pneumotorace, contusione polmonare, ernia diaframmatica, lesioni urogenitali ed ortopediche <sup>36,37,55</sup>. Circa il 20% dei pazienti con una frattura-lussazione vertebrale toracolombare presenta una seconda frattura e/o lussazione a un altro livello della colonna vertebrale <sup>36,37</sup>.

### **COLONNA VERTEBRALE CAUDALE E DEL SACRO**

Le fratture e le lussazioni nei segmenti vertebrali più caudali sono frequenti<sup>41</sup>; in uno studio retrospettivo effettuato osservando le radiografie di diverse fratture e/o lussazioni vertebrali, è stato riscontrato che nel cane la regione lombare è quella più colpita, con una prevalenza del 39%<sup>10</sup>. Le fratture dei corpi vertebrali di L6 e di L7 sono comuni<sup>43,50</sup>; ciò che accade più comunemente è che la parte caudale del corpo vertebrale subisca una dislocazione cranioventrale. A livello di giunzione lombosacrale, il segmento craniale della frattura è instabile e dislocato dorsalmente rispetto al segmento stabile articolato con la pelvi<sup>41</sup> (Shores, 1992).

Per quanto riguarda le fratture sacrali, uno studio retrospettivo ha indicato che ammontano ad un 7% sul totale e tutte sono state riscontrate in cani di piccola taglia<sup>4</sup>. Questa prevalenza nei cani di piccola taglia è giustificabile considerando che le vertebre di questi cani sono più sottili e quindi più fragili, mentre a livello lombare i cani di grossa taglia presentano vertebre molto più grandi e resistenti<sup>4</sup>. I risultati di Bali sono in linea con quelli di altri studi che avevano dato un'incidenza delle fratture sacrali compresa tra il 2% e il 23%<sup>29,10</sup>

Poiché il midollo spinale nella specie canina termina a livello della sesta vertebra lombare, caudalmente a tale regione il canale vertebrale è più libero, poiché vi passano solo i nervi spinali aventi origine dalla porzione più caudale del midollo (cauda equina). Anche in caso di dislocazione di notevole grado quindi, in genere i trattamenti in questa regione danno buoni risultati<sup>36, 55</sup>. Spesso i segni clinici

associati a traumi a livello della cauda equina sono diversi gradi di disfunzione dei  
nervi sciatico, sacrale e caudale.

## Capitolo II

### La diagnosi delle fratture e delle lussazioni vertebrali

In un animale traumatizzato con evidenti segni di disfunzione neurologica occorre sempre sospettare la presenza di fratture e/o lussazioni della colonna vertebrale. L'esame clinico completo costituisce un elemento fondamentale per formulare una diagnosi, grazie al quale sarà possibile identificare o escludere la presenza di danni a carico di altri apparati causati dal trauma o lesioni preesistenti.<sup>25</sup>

Il 40-45% dei pazienti, con fratture e lussazioni vertebrali, presentano concomitanti segni di pneumotorace, shock traumatico o emorragico, ernie diaframmatiche, uroperitoneo e fratture e lussazioni in altre sedi del corpo.<sup>27, 36</sup>

Molte di queste lesioni rappresentano non soltanto un rischio per la sopravvivenza dell'animale ma possono anche condizionare l'esito dell'esame neurologico.<sup>25</sup> In prima istanza è opportuno adottare le misure necessarie alla stabilizzazione del paziente, che consistono nella ventilazione assistita in caso di pneumotorace o di contusione polmonare, nell'idratazione e nella terapia steroidea in caso di shock traumatico, nella trasfusione di plasma o sangue in caso di emorragia, e solo in seguito iniziare l'esame obiettivo particolare degli apparati compromessi.<sup>24</sup>

In particolare per l'esame neurologico, la raccolta dei dati anamnestici riveste una notevole importanza e, spesso, i proprietari riescono a fornire informazioni molto dettagliate, essendo stati diretti testimoni del trauma che ha coinvolto

l'animale. Quindi, è di fondamentale importanza, in questi casi, soffermarsi su alcuni punti utili alla comprensione del danno neurologico, quali: il tempo trascorso dal momento del trauma, i sintomi che si sono manifestati immediatamente dopo l'evento, se l'animale è stato in grado di compiere dei movimenti o meno, se ha urinato o defecato autonomamente e se presentava già prima del trauma disfunzioni neurologiche o di altro tipo.<sup>24</sup>

Successivamente si passa alle valutazioni sull'animale ricordando che in presenza di soggetti con sospetta frattura o lussazione del rachide e non in grado di camminare, occorre prestare molta attenzione agli spostamenti, poiché qualsiasi movimento brusco potrebbe aggravare il danno spinale.<sup>6, 19, 24, 25, 26, 27</sup>

Per limitare questa possibilità, è bene assicurare l'animale in decubito laterale su di un piano orizzontale mobile. Sarebbe preferibile l'utilizzo di tavole di polivinile semirigide, in quanto si tratta di un materiale radiotrasparente che eviterebbe di sottoporre a pericolosi spostamenti l'animale durante l'esecuzione degli esami radiografici.<sup>26</sup> Non essendo possibile muovere eccessivamente il paziente l'esame neurologico dovrà limitarsi alla palpazione ed alla valutazione dello stato del sensorio, della postura, dei riflessi dei nervi cranici, spinali e della nocicezione.<sup>6</sup>

Queste limitazioni non impediscono, comunque, di identificare in quale delle quattro regioni spinali (cervicale, toracica, toracolombare, lombosacrale) è localizzata la lesione. La palpazione di tutta la colonna vertebrale, in alcuni casi, può evidenziare punti di algia o di iperestesia, di solito corrispondenti alla sede della lesione. È possibile anche percepire un anormale allineamento dei processi

spinosi oppure sensazioni di crepitio, soprattutto nei punti in cui le vertebre presentano una minore copertura muscolare.<sup>5</sup> La palpazione deve interessare anche le masse muscolari periferiche in modo da poterne valutare il tono o il grado di atrofia e stabilire se si è in presenza di lesioni recenti o croniche.<sup>25</sup>

La postura non sempre aiuta ad identificare la sede della lesione in quanto gli animali con fratture vertebrali possono assumere vari atteggiamenti in genere di natura antalgica. Nei cani, tuttavia, le lesioni che interessano il segmento toracolombare, possono accompagnarsi ad un particolare atteggiamento: “postura di Schiff Sherrington”. Questa è caratterizzata da un’iperestensione degli arti toracici, accompagnata a normo o iporiflessia di quelli posteriori, e presenta in genere risoluzione spontanea nell’arco di 24-72 ore.<sup>19</sup>

In questo caso i movimenti volontari degli arti anteriori sono conservati e spesso anche le reazioni posturali sono normali. Si tratta dell’unico caso in cui la lesione del sistema nervoso centrale è localizzata più in basso rispetto alla sede in cui si manifestano i sintomi. La spiegazione di questa apparente anomalia si basa sulla esistenza di elementi cellulari localizzati a livello dorso laterale nella sostanza grigia lombare ( tra L1 ed L7) i quali invierebbero dei prolungamenti verso la regione toracica esercitando una inibizione sulla muscolatura estensoria degli arti anteriori. Il danneggiamento di queste fibre provocherebbe una sospensione della loro azione inibitoria ed una conseguente iperestensione degli arti toracici.

<sup>19, 22, 24</sup> Sebbene la postura di Schiff Sherrington si accompagni a gravi lesioni della colonna vertebrale, da sola non è indicativa di irreversibilità della lesione.

La valutazione dei riflessi spinali aiuta in maggior misura a localizzare la lesione, in quanto consente di stabilire se questa è dovuta ad un danno del motoneurone inferiore o dei motoneurone superiore. Nel primo caso la lesione sarà localizzata nel segmento midollare da cui originano i nervi che si portano alle strutture dove è presente iporiflessia; nel secondo caso, mancando l'azione inibitrice dei motoneuroni superiori, la lesione midollare interesserà un'area più a monte rispetto a quella da cui originano i nervi che si portano alle strutture con iperriflessia.

Un altro importante scopo dell'esame neurologico è quello di stabilire la gravità della lesione. Il fattore prognostico ritenuto oggi più importante è rappresentato dalla percezione dolorifica profonda. La perdita della sensibilità verso il dolore profondo si accompagna, di solito ad una irreversibilità della lesione e ad una prognosi infausta.<sup>5, 6, 24, 25</sup>

Questa valutazione viene eseguita comprimendo energicamente, con le mani o con le pinze, le falangi degli arti interessati da deficit della propriocezione e della funzione motoria. Quando la sensibilità è conservata l'animale reagisce allo stimolo retraendo l'arto e mostrando visibili segni di fastidio quali l'emissione di vocalizzi, il tentativo di girarsi per guardare o per mordere, che testimoniano una percezione cosciente del dolore; la semplice retrazione dell'arto accompagnata a totale disinteresse dell'animale non deve essere interpretata come segno positivo, in quanto potrebbe non trattarsi di un movimento volontario indotto dal dolore bensì di una risposta riflessa incosciente.<sup>26</sup>

Se la perdita della sensibilità dolorifica profonda risale a più di 48 ore dal trauma le chance di recupero per l'animale sono minime.<sup>24</sup>

Successivamente, per confermare la presenza di una frattura o lussazione nella sede individuata attraverso l'esame neurologico, vengono effettuati esami collaterali.

Le radiografie sono sufficienti nella diagnosi della maggior parte delle lussazioni e fratture vertebrali<sup>20</sup>. Lesioni multiple si presentano approssimativamente dal 5% al 10% degli animali ammalati<sup>4, 10</sup> si consiglia di effettuare radiografie dirette dell'intera colonna vertebrale in quanto consentono di identificare lesioni eventualmente sfuggite all'esame neurologico. Questo può accadere quando lesioni caudali del midollo mascherano i segni di lesioni localizzate più cranialmente; esempio una lesione di L6-L7 può dare un'iporiflessia da motoneurone inferiore agli arti posteriori, nascondendo l'iperiflessia dovuta ad una seconda lesione a livello di L1- L2.<sup>25</sup>

Oltre il 20% degli animali con fratture e lussazioni vertebrali è interessato da una seconda frattura spinale.<sup>25, 26</sup> Per posizionare meglio l'animale e per evitare di agitarlo, alcuni autori consigliano di effettuare prima dell'esame radiografico una sedazione o una narcosi.<sup>21, 22, 24</sup> In corso di sedazione o l'anestesia occorre porre particolare attenzione durante gli spostamenti ed il posizionamento dell'animale a causa dell'associata perdita di tono muscolare.<sup>18</sup>

L'intubazione in corso di anestesia deve essere eseguita con cautela, soprattutto se si ritiene che la lesione coinvolga le vertebre cervicali: i sedativi e gli anestetici riducono il tono muscolare, annullando il suo effetto protettivo sulle aree



lesionate e rendendo più rischiosa la mobilitazione dell'animale. In particolare un'instabilità cervicale può causare una compressione sui centri midollari del respiro con conseguente paralisi dei muscoli respiratori e morte per asfissia.<sup>59</sup>

Bisogna, quindi, procedere con molta cautela a qualsiasi spostamento.

Per questo motivo alcuni autori non ritengono che i vantaggi dell'anestesia siano sufficienti a correre simili rischi.<sup>30</sup>

Le proiezioni più utili per la diagnosi sono le latero-laterali le latero-oblique e le ventro-dorsali. Queste ultime vanno effettuate solo se si dispone di radiografi con fascio radiogeno orizzontale che consente di evitare il posizionamento in decubito dorsale dell'animale.<sup>5, 21, 25</sup>

Alcune lesioni vertebrali possono richiedere anche l'esecuzione di radiogrammi sotto stress che vengono eseguiti applicando uno sforzo meccanico sui vari segmenti della colonna vertebrale, in modo da ottenere una iperestensione, una flessione e/o una trazione lineare. Lo scopo di queste manovre è di accentuare o alleviare le lesioni compressive e ottenere informazioni importanti riguardo la localizzazione della lesione.

Le radiografie possono essere utilizzate anche per valutare la stabilità delle fratture/lussazioni, sulla base delle strutture anatomiche che risultano coinvolte (teoria tricompartimentale).<sup>21, 18</sup>

In alcuni casi è possibile che animali con deficit neurologici molto gravi non mostrino significativa evidenza radiografica di fratture o lussazioni. Può accadere, infatti, che la dislocazione vertebrale prodottasi al momento del trauma si riduca per l'elasticità dei tessuti molli, subito dopo l'impatto. Poiché l'esame

radiografico mostra immagini statiche delle strutture scheletriche, non c'è modo di giudicare quale sia stato lo spostamento massimo che può essersi verificato al momento del trauma tra le parti coinvolte. Questo rende la radiografia un esame inaffidabile, ma meno che non evidenzi ampie dislocazioni, ai fini prognostici e la sua interpretazione deve essere sempre effettuata alla luce dei dati ricavati dall'esame clinico.<sup>5, 19, 24, 25</sup>

La ricostruzione tridimensionale dell'immagine ottenibile grazie all'esame TC fornisce informazioni anatomiche aggiuntive riguardo al contorno osseo (Bagley, 2000). Com'è noto, una TC è preferibile a una RM per la visualizzazione del tessuto osseo. Nel caso in cui una frattura o una lussazione vertebrale non sia sufficientemente definita tramite una radiografia in bianco o una mielografia, è possibile quindi eseguire un TC-mielografia, utilizzando in particolare le tecniche di ricostruzione tridimensionale. Se CT non è disponibile risonanza magnetica fornisce un eccellente metodo per la visualizzazione dei danni midollari ma la qualità delle immagini delle strutture ossee è minore. In un animale con trauma alla colonna vertebrale, è necessario come già riferito prestare particolare attenzione ai movimenti impressi alla colonna durante il posizionamento del paziente e tenere conto della necessità di un'anestesia avente durata sufficiente da permettere un esame tomografico completo<sup>48</sup>

Sarà quindi compito del clinico determinare la necessità o meno dell'effettuazione di una diagnostica per immagini avanzata tenendo conto del tempo e delle manipolazioni aggiuntive richieste per l'acquisizione dell'immagine<sup>41</sup>

La risonanza magnetica ha il vantaggio di mostrare informazioni riguardanti le alterazioni dei tessuti molli quali il midollo spinale, nonostante il dettaglio osseo non sia così ben definito come lo è nella TC <sup>3</sup> La risonanza magnetica permette quindi una valutazione indiretta dei tessuti molli nel canale vertebrale, dei tessuti molli paraspinali, dei dischi intervertebrali nonché delle strutture legamentose <sup>13,18</sup> L'uso della RM può essere precluso dopo un intervento chirurgico per la riparazione di una frattura o di una lussazione vertebrale, a causa della presenza d'impianti metallici e degli artefatti associati che influenzano la risonanza <sup>48</sup>

## Capitolo III

### Trattamento delle fratture e delle lussazioni spinali

#### *Introduzione*

Per il trattamento delle fratture e delle lussazioni vertebrali si può prendere in considerazione sia la terapia conservativa, basata sull'impiego i farmaci e di mezzi di immobilizzazione esterna, sia quella chirurgica, che si avvale di numerose tecniche di fissazione scheletrica interna; in molti casi è possibile ed utile combinare queste modalità di intervento.<sup>17,18,19</sup>

Lo scopo principale è evitare ulteriori danni che potrebbero presentarsi durante la persistenza dell'instabilità, ed anche alleviare la pressione sul midollo ristabilendo le dimensioni e l'orientamento normale del canale vertebrale e del forame intravertebrale.

I soggetti che presentano instabilità con aggravamento delle condizioni cliniche neurologiche solitamente sono sottoposti a trattamento chirurgico.

Solitamente i soggetti trattati con intervento chirurgico presentano un follow-up meno doloroso rispetto ai soggetti che ricevono un trattamento conservativo che prevede confinamento in gabbia a riposo e contenimenti esterni per lunghi periodi.<sup>3,15,31,37</sup> Non esistono dei criteri di valutazione assoluti su cui basare la scelta del trattamento da adottare in quanto i fattori da considerare sono tanti: lo stato neurologico presentato dall'animale, la localizzazione e il tipo di frattura vertebrale, la presenza o meno di compressione midollare, di instabilità nel sito

di frattura e/o di alte lesioni associate al trauma, la taglia e il temperamento dell'animale, la disponibilità dei proprietari a sostenere le spese dei trattamenti e ad assicurare assistenza all'animale inabile per periodi prolungati e, non ultime, le preferenze e l'abilità del medico veterinario che ha in gestione il caso.<sup>24, 30</sup>

Di questi fattori quello che, tradizionalmente, assume maggiore valore selettivo è lo stato neurologico dell'animale; infatti la tendenza generale è quella di gestire conservativamente i casi in cui le lesioni nervose risultino meno gravi ed intervenire chirurgicamente in presenza di deficit neurologici più seri ma comunque reversibili.<sup>17, 18</sup>

Sono stati proposti diversi metodi classificativi per stabilire la gravità delle disfunzioni neurologiche. Quello proposto da Griffiths suddivide i pazienti in quattro gruppi clinici seguendo una scala crescente di gravità delle lesioni nervose.<sup>14</sup>

Il primo gruppo comprende gli animali che mostrano soltanto lieve paresi, il secondo gruppo quelli paretici ma in grado di urinare e defecare volontariamente e con sensibilità dolorifica conservata, gli animali paralizzati e incontinenti con ridotta percezione dolorifica rientrano nel terzo gruppo e quelli del quarto gruppo si differenziano dai precedenti per la totale scomparsa della percezione dolorifica profonda.<sup>14, 24</sup>

Sulla base di questa classificazione i pazienti che rientrano nel primo e nel secondo gruppo clinico sono gestiti in modo conservativo attraverso la terapia medica sistemica e il riposo forzato associato o meno a sostegno/immobilizzazione esterna.

Il trattamento chirurgico è indicato per gli animali del terzo gruppo in cui si rilevano i segni di instabilità o compressione midollare e/o deterioramento progressivo dello stato neurologico nonostante le cure mediche, infine per gli animali del quarto gruppo la gravità e l'irreversibilità delle lesioni riportate impone una prognosi infausta e, se non si osserva nessun significativo miglioramento nei due giorni successivi alla diagnosi, l'eutanasia è una possibile opzione da proporre al proprietario.<sup>14, 24</sup>

Presso la Washington State University, invece, viene utilizzata un'altra scala classificativa per stabilire la gravità del danno spinale; essa parte dalla condizione neurologica normale e giunge fino a quella più grave rappresentata dalla mielomalacia, passando attraverso tutte le condizioni cliniche intermedie rappresentate da:

- Sola algia
- Lieve atassia
- Paresi con incapacità a deambulare
- Plegia con conservazione del controllo degli sfinteri e della sensibilità dolorifica profonda
- Plegia con incontinenza ma presenza della sensibilità profonda
- Plegia con perdita della sensibilità profonda da meno di 48 ore
- Plegia con perdita della sensibilità profonda da più di 48 ore

Seguendo questo tipo di classificazione gli animali che sono interessati da sintomi lievi come il dolore o la atassia sono in genere gestiti conservativamente, quelli che non camminano o mostrano vari gradi di

paralisi sono considerati candidati per l'intervento chirurgico. Va ricordato però che la perdita della sensibilità dolorifica oltre le 48 ore dal trauma si accompagna a chance di recupero funzionale quasi nulle, per cui in situazioni del genere l'eutanasia può rappresentare l'intervento più opportuno.<sup>3,14</sup> L'autrice Kirby ha indicato quali sono le linee guida da essa seguite per classificare le lesioni traumatiche spinali e per orientarsi sul tipo di trattamento da intraprendere.

Essa gestisce con la terapia medica gli animali che deambulano e sono continenti e quelli che non deambulano ma conservano la sensibilità dolorifica superficiale riuscendo a compiere movimenti volontari, tuttavia, se questi ultimi mostrano segni di instabilità vertebrale o di possibile collasso vertebrale a seguito del carico assiale, raccomanda l'intervento chirurgico; considera gli animali in grado di deambulare e che rispondono alle stimolazioni dolorifiche profonde, ma non sono in grado di compiere movimenti volontari, candidati per l'intervento chirurgico; suggerisce l'eutanasia per gli animali con perdita della sensibilità dolorifica, se però, i proprietari dell'animale propendono per l'intervento chirurgico, considera questo una emergenza e lo esegue senza rinvii; infine, qualora le possibilità economiche del proprietario dell'animale precludano la possibilità di intervenire chirurgicamente, l'autrice suggerisce di tentare sempre il trattamento conservativo se l'animale possiede ancora la sensibilità dolorifica profonda, poiché questo potrebbe riservare esiti inattesi.<sup>5,60</sup>

Un altro fattore in grado di orientare sensibilmente la scelta del trattamento da intraprendere è la localizzazione della frattura/lussazione vertebrale in esame. Le fratture a localizzazione cervicale rispondono molto bene al trattamento conservativo, praticato attraverso il confinamento stretto in gabbia o la semplice applicazione di un bendaggio morbido al collo. In genere è necessario fornire all'animale una adeguata analgesia nei primi giorni di trattamento e, in questo modo, se l'animale non presenta gravi segni di deterioramento neurologico, la guarigione è pressoché totale.

I casi più idonei al trattamento conservativo sono rappresentati dai soggetti affetti da lesioni cervicali che conservano la deambulazione (come in corso di lesione del dente). Il bendaggio della regione cervicale si realizza seguendo la tipologia del bendaggio Robert Jones usato per i pazienti di ortopedia. Questo tipo di trattamento ottiene ottimi risultati quando si trattano lesioni del tratto cervicale medio rispetto a lesioni interessanti le porzioni più craniali o caudali, in quest'ultime l'immobilizzazione risulta più difficile.<sup>18</sup>

Nella regione toracolombare le fratture sono più frequenti ed anche maggiormente a rischio di conseguenze neurologiche devastanti a causa della relativa strettezza del canale vertebrale di questa area. Generalmente, la gestione chirurgica in questi casi è più indicata ed è a volte associata a tecniche di immobilizzazione esterna che assicurano una ulteriore stabilità al tratto vertebrale fratturato.<sup>24</sup>



Nella regione lombare caudale e lombosacrale il canale vertebrale è relativamente spazioso perché il midollo spinale termina a livello di L5- L6 e la parte caudale del condotto è occupata solo dalle radici dei nervi spinali (cauda equina). Per queste ragioni, anche le fratture/lussazioni che si accompagnano a notevole dislocazione possono provocare solo lievi deficit neurologici. Molte di queste lesioni guariscono in modo soddisfacente senza intervento chirurgico ma con la sola fissazione esterna e il confinamento, tuttavia, se lo stato neurologico regredisce progressivamente o si riscontra una persistenza del dolore è possibile applicare diverse tecniche di fissazione interna specifiche per questo tipo di fratture.

Le fratture /lussazioni e le avulsioni della coda non sono molto frequenti nei cani ma, quando presenti vengono trattate senza la chirurgia e, solo nei casi più seri, con l'amputazione della coda.<sup>24</sup>

Non sempre gli autori sono in accordo riguardo l'opportunità di gestire le fratture /lussazioni spinali mediante l'intervento chirurgico e gli studi condotti in tal senso hanno fornito spesso dei risultati discordanti che non hanno contribuito alla risoluzione delle controversie esistenti. Il più vasto di questi studi ha cercato di comparare gli esiti del trattamento conservativo e di quello chirurgico attraverso un esame retrospettivo condotto su 211 animali (cani e gatti) affetti da fratture e lussazioni vertebrali e trattati con queste due differenti modalità di intervento.

Gli autori sono giunti alla conclusione che la maggior parte delle fratture/lussazioni spinali potrebbe essere trattata bene in modo conservativo e, che la chirurgia dovrebbe essere riservata solo ai casi in cui lo stato neurologico del paziente continui a peggiorare, nonostante il trattamento conservativo intrapreso, oppure sono chiari i segni di una compressione midollare persistente o una instabilità vertebrale.<sup>37</sup>

Essi hanno riscontrato negli animali trattati con la terapia medica un recupero funzionale analogo a quello ottenuto nei soggetti trattati con la chirurgia; inoltre per i primi, i tempi medi di ricovero ospedaliero e l'onere economico per i proprietari, sono risultati sensibilmente inferiori.

Bisogna, però, ricordare che la convalescenza domestica degli animali trattati conservativamente è più lunga rispetto a quella dei soggetti operati e che le cure necessarie all'animale nel primo caso richiedono tempo, fatica e notevole dedizione da parte del proprietario.<sup>37,46</sup>

Un altro studio, analogo al precedente, effettuato su 51 animali, ha mostrato un significativo recupero neurologico sia a seguito del trattamento chirurgico (94,4%) sia di quello conservativo (85,5%); la chirurgia ha consentito, però, la guarigione in tempi più brevi.<sup>21</sup>

Sono generalmente favorevoli alla chirurgia in corso di fratture e lussazioni spinali gli autori Sturges e Le Couteur, i quali considerano l'intervento chirurgico il metodo più efficace per ottenere un ottimo ripristino della funzione neurologica, nel minor tempo possibile.<sup>48</sup>

Compiuta la scelta a favore del trattamento conservativo o chirurgico, il medico veterinario deve successivamente stabilire con quali modalità deve essere svolto quello prescelto.

### ***Trattamento conservativo***

La terapia farmacologica, il confinamento in gabbia e l'applicazione di mezzi di sostegno esterni rappresentano le basi su cui si fonda il trattamento conservativo. I presupposti teorici che giustificano la terapia medica si basano sulla fisiopatologia del trauma spinale acuto, in quanto questo da inizio ad una sequenza di eventi vascolari, biochimici e infiammatori che determinano un danno tissutale secondario.<sup>41</sup>

Il tempo necessario affinché tale danno si manifesti fornisce una breve finestra terapeutica, durante la quale è possibile intervenire farmacologicamente in modo da prevenirne o limitarne gli effetti.

Le ricerche farmacologiche, effettuate in medicina umana e veterinaria, hanno consentito di identificare diverse sostanze potenzialmente valide a contrastare i meccanismi dell'insulto midollare secondario.

I glicocorticoidi sono i farmaci su cui si è maggiormente concentrata la ricerca. In passato sono stati frequentemente utilizzati in ragione del loro effetto anti edemigeno; oggi si attribuiscono a queste sostanze tante altre proprietà che le rendono, secondo alcuni, molto efficaci nella terapia del trauma spinale acuto.

Dei farmaci appartenenti a questa categoria il metilprednisolone sodio succinato ( MPSS ) è considerato il più valido grazie alla sua capacità di inibire la perossidazione e l'idrolisi lipidica delle membrane cellulari, di inattivare i radicali liberi, di prevenire l'ischemia e la degradazione dei neurofilamenti ed anche di fornire una certa quota di energia metabolica alle cellule danneggiate accentuando l'attività della ATPasi.<sup>59</sup>

Al contrario, questi ultimi possono essere limitati dal contemporaneo utilizzo di farmaci gastroprotettori quali la cimetidina, alla dose di 4/8 mg/kg per os o e.v. ogni 6/8 ore, o il subsalicillato di bismuto, l'idrossido di magnesio o di alluminio.<sup>19, 41</sup> I rischi correlati all' utilizzo dei glicocorticoidi in corso di trauma acuto midollare hanno portato a considerare l' impiego di sostanze con struttura chimica e efficacia simile a quella dell'MPSS ma prive degli effetti collaterali mediati dai recettori steroidei. Queste molecole, denominate 21-amminosteroidi, possiedono un potente effetto antiossidante e una capacità di inibizione della perossidazione lipidica circa 100 volte superiore a quella posseduta dal metilprednisolone sodio succinato. Essi sono stati, fino ad ora, valutati solo nel gatto e sono ancora oggetto di sperimentazione nelle altre specie animali.

La ricerca procede velocemente anche nei confronti di altre sostanze (gangliosidi GM1, vitamine antiossidanti, dimetilsolfossido, antagonisti dei recettori oppiacei e dei canali del calcio, TRH, progesterone, glicole propilenico) con la finalità di ottenere, in un prossimo futuro, altre

strategie terapeutiche in grado di affiancare o sostituire quelle attualmente impiegate e di fornire migliori risultati<sup>59, 27, 30</sup>

Nella maggior parte dei casi di frattura / lussazione della colonna vertebrale la terapia medica da sola non assicura una adeguata guarigione se non si provvede prontamente a stabilizzare il sito della lesione e a proteggerlo da ulteriori dislocazioni, che potrebbero realizzarsi in seguito al movimento dell'animale. Nei casi in cui la dislocazione e l'instabilità dei segmenti coinvolti sono minime ed è assente la compressione midollare, il riposo forzato e l'applicazione di un mezzo rigido di fissazione esterna sull'area danneggiata possono essere sufficienti ad ottenere una buona guarigione.<sup>61</sup> Questi trattamenti offrono costi limitati, non si accompagnano alle complicazioni riferibili ai mezzi di fissazione interna e inoltre evitano che il midollo spinale sia sottoposto a mielografia, ipotensione da anestetici e manipolazioni aggiuntive.

Tuttavia , non sono efficaci nella gestione delle fratture significativamente instabili in quanto, pur riuscendo a minimizzare le forze estrinseche agenti sul rachide, non sono validi a contrastare quelle intrinseche; inoltre, non consentono una precisa riduzione delle fratture/lussazioni spinali e, nel caso dei bendaggi, se non incorporano completamente la regione craniale e caudale della sede di frattura, possono fornire un fulcro per il movimento del segmento spinale danneggiato. I bendaggi, inoltre, possono procurare abrasioni o irritazioni da sfregamento e, in alcuni animali, un disagio tale da indurli a muoversi eccessivamente e a limitarsi nell'assunzione del cibo.

<sup>3,46,48</sup> Il confinamento stretto è l'unico mezzo disponibile nella pratica veterinaria per limitare la motilità di un animale; può essere ottenuto costringendo l'animale in gabbie o in spazi limitati ma di dimensioni sufficienti a permettergli di assumere la posizione di decubito laterale mantenendo gli arti in estensione.<sup>46</sup>

La durata del periodo di riposo può variare in base alle dimensioni dell'animale, al tipo di lesione e alla stabilizzazione conseguita; in genere si raccomanda una durata minima di 4 o 6 settimane. Di solito non è necessaria una analgesia che superi le 48 ore, se, dunque, l'animale mostra segni di dolore persistente e/o un aggravamento progressivo dello stato neurologico è necessario rivalutare il caso.<sup>5,41</sup>

Durante questo periodo è importate fornire all'animale una scrupolosa e continua assistenza per evitare l'insorgenza di ulcere da decubito, infezioni delle vie urinarie e atrofia delle masse muscolari da mancato utilizzo, che rappresentano le complicanze più spesso riscontrate negli animali interessati da fratture e lussazioni spinali, i quali, nella maggior parte dei casi, non sono in grado di deambulare.

Se l'animale in cura non controlla gli sfinteri deve essere sottoposto a detersione con rimozione degli escrementi più volte al giorno; il pelo accorciato o rasato e la cute lavata con spugne umide. È possibile applicare sulle regioni prepuziale e vulvare sostanze gelatinose impermeabilizzanti per prevenire le ustioni da contatto con l'urina. Le ulcere da decubito possono essere evitate o ritardate disponendo l'animale su materassi morbidi o su

cuscini di gommapiuma e provvedendo ad alternare almeno quattro volte al giorno il decubito da un lato e dall'altro, se l'animale non è in grado di fare ciò spontaneamente.

Poiché la maggior parte degli animali non controlla la minzione, l'emissione delle urine è incompleta e questo predispone l'animale a contrarre infezioni vescicali (cistite). Alcuni autori considerano il cateterismo il metodo migliore per ottenere lo svuotamento completo della vescica. Dovrebbe essere effettuato 3 volte al giorno con cateteri sterili di gomma morbida e seguito dall'instillazione di soluzioni antibiotiche in vescica prima della rimozione del catetere. Negli animali che presentano sintomi riferibili ad una sindrome lombo- sacrale è possibile anche effettuare, 3-4 volte al giorno, uno svuotamento, attraverso pressione transaddominale, della vescica, che si presenta flaccida. Le manipolazioni non devono essere troppo energiche per non danneggiare l'organo disteso.<sup>41--?</sup>

La fisioterapia è finalizzata a ritardare l'instaurarsi dell'atrofia da mancato uso delle masse muscolari, frequente negli animali paretici o paralizzati.

Con l'animale in decubito gli esercizi consistono nel movimento passivo delle articolazioni e di tutti gli arti neurologicamente indeboliti per almeno 5 minuti , 3 o 4 volte al giorno. Gli stimolatori muscolari utilizzati in fisioterapia umana possono essere adattati anche agli animali e permettono ai muscoli di effettuare movimenti attivi di flessione ed estensione.

Utilizzando un supporto è possibile far compiere all'animale esercizi in stazione. Sarebbe opportuno incoraggiarlo a sostenere il proprio peso e a

comminare su superfici morbide e non scivolose, come l'erba o il terreno. Dove sono presenti strutture adatte, la fisioterapia può essere praticata anche in acqua.

È preferibile che l'animale trascorra le prime due settimane del periodo di confinamento in una struttura ospedaliera, che assicuri tutte le cure necessarie al caso. Successivamente è opportuno affidare alle cure dei proprietari l'animale, dopo averli dettagliatamente istruiti. Il trasferimento a casa può accompagnarsi ad un più rapido miglioramento clinico del paziente, in quanto alcuni soggetti sono tranquillizzati dall'ambiente familiare.<sup>?</sup>

Durante il periodo del confinamento è richiesta, quasi sempre, l'applicazione di mezzi di supporto esterni rappresentati da vari tipi di bendaggio rigido o di ingessatura. Il loro scopo è quello stabilizzare il sito di frattura o lussazione attraverso l'immobilizzazione dei segmenti vertebrali sia craniali che caudali a quelli danneggiati. Il confinamento come unico mezzo di immobilizzazione spinale è sconsigliato, fatta eccezione per le fratture e lussazioni della regione toracica medio craniale, che possiedono, in genere, una stabilità maggiore dovuta alla presenza della cassa toracica. L'applicazione dei bendaggi rigidi o dei gessi impegna, in genere, più di una persona e necessita di collaborazione da parte del paziente, per cui, in alcuni casi, gli animali particolarmente agitati o aggressivi vanno sottoposti a sedazione o anestesia.<sup>45</sup>



Per la realizzazione dei mezzi di immobilizzazione esterna bisogna disporre di materiale adatto per l'imbottitura, per il supporto rigido e per l'ancoraggio di queste due componenti al corpo dell'animale. La scelta del materiale di supporto rigido dipende dalla localizzazione della lesione e dal peso e temperamento del paziente. Sugli animali di piccola taglia è possibile utilizzare sia le bende gessate sia quelle di materiale termoplastico come l'Orthoplast e il Poliform; gli animali più pesanti, invece, richiedono materiali resistenti ma allo stesso tempo leggeri, che vengono incorporati all'interno del bendaggio, come l'alluminio, la plastica, il legno o la fibrovetro<sup>39,45</sup>

Il materiale da imbottitura deve essere disposto intorno al corpo dell'animale in modo da abbracciare l'area sede della lesione spinale e due ampie porzioni cranialmente e caudalmente a quest'ultima e in modo da agganciare solo due o tutti e quattro gli arti dell'animale.

A sua volta l'imbottitura viene avvolta con delle bende bene aderenti e su questo secondo strato viene applicato il supporto rigido. Se si utilizzano le bende gessate o termoplastiche è possibile modellarle perfettamente sul corpo dell'animale, in quanto sono materiali molto malleabili prima dell'indurimento. La loro applicazione, tuttavia, necessita di una notevole competenza e, inoltre, va ricordato che, le ingessature in particolare, sono pesanti, non impermeabili e prive di elasticità.<sup>46, 39</sup>

Quando si utilizza come supporto rigido l'alluminio non è facile adattarlo alla forma del corpo dell'animale, ciò nonostante, si riescono ad ottenere

strutture abbastanza resistenti che possono anche essere di aiuto nella gestione del paziente. A tale proposito gli autori Rodney e Bagley hanno messo appunto un bendaggio rigido che utilizza delle barre tubulari di alluminio curvate in modo da assumere una forma rettangolare, che vengono incorporate nel bendaggio seguendo la curvatura del rachide.

Piegando ad U sia le estremità anteriori che quelle posteriori delle barre è possibile formare dei manici, che possono essere utilizzati come sostegno durante lo spostamento dell'animale, gli esercizi di terapia fisica e la deambulazione. Manici aggiuntivi possono essere fissati nel bendaggio là dove utile.<sup>3</sup>

L'imbottitura e i mezzi di supporto rigidi devono essere ancorati al corpo dell'animale con materiali adatti, come il nastro adesivo o le bende elastiche ( Vetrap ). Queste ultime sono perfettamente adatte allo scopo in quanto possiedono una buona adesività, elasticità e leggerezza e consentono la traspirazione dei tessuti al di sotto del bendaggio.

Il nastro adesivo, invece, è ugualmente leggero e facilmente applicabile, tuttavia non è elastico e per questo motivo, se male applicato, può provocare compressioni sui tessuti molli.

Com'è stato detto precedentemente, per poter assicurare adeguato sostegno e immobilità alla parte spinale lesionata, il bendaggio rigido non deve essere limitato all'area danneggiata ma, deve coinvolgere anche una parte delle regioni ad essa adiacenti sia cranialmente che caudalmente e deve ancorarsi gli arti. Per le fratture e le lussazioni localizzate nella

regione cervicale craniale questo è possibile solo in parte, il bendaggio, infatti, si aggancia agli arti toracici caudalmente, mentre, cranialmente va esteso fin sopra la testa a livello degli occhi.

Per permettere alle orecchie di assumere la naturale posizione e possibile farle fuoriuscire da dei fori praticati sul bendaggio alla giusta altezza.

In caso di fratture/lussazioni lombari caudali e lombosacrali inevitabilmente, soprattutto nell'animale maschio, i bendaggi si portano a contatto con il pene e la vulva. In questi casi, per evitare impregnazioni di urina, è opportuno assicurare in corrispondenza delle parti a rischio delle strisce di plastica o dei cuscinetti impermeabili.<sup>3</sup> Sebbene i materiali impiegati siano nella maggior parte dei casi traspiranti, la loro stratificazione può comportare aumenti eccessivi della temperatura corporea dell'animale, soprattutto quando il clima esterno è caldo; per evitare di incorrere in pericolose ipertermie, è bene controllare con una certa frequenza la temperatura corporea dell'animale.<sup>3,46,48</sup>

I sostegni esterni possono essere impiegati anche in associazione ai mezzi di fissazione interna. Per conservare la possibilità di ispezionare e valutare lo stato della ferita chirurgica, bisogna provvedere a creare delle aperture nel bendaggio, successivamente alla sua applicazione, in corrispondenza della zone di interesse.<sup>3</sup>

Le fratture cervicali craniali nei cani di piccola taglia rispondono molto bene all'associazione della terapia conservativa e chirurgica. Un sostegno esterno che si estende dal ramo della mandibola allo sterno, associato al riposo in gabbia ed

alla fissazione interna consentono di migliorare, in questi casi, il risultato terapeutico.<sup>48</sup>

### ***Trattamento chirurgico***

Il trattamento chirurgico di una frattura o di una lussazione spinale consiste nel riallineamento, nella stabilizzazione e, quando necessario, nella chirurgia decompressiva del midollo spinale.<sup>25,61</sup>

Quest'ultima può essere sia indiretta che diretta; nel primo caso, essa si ottiene ristabilendo, attraverso una accurata riduzione della frattura/lussazione, il diametro che il canale vertebrale presentava prima del trauma; nel secondo caso si utilizzano le tecniche specifiche di decompressione midollare rappresentate dalla laminectomia dorsale e dalla emilaminectomia mono o bilaterale.<sup>25, 61</sup>

La decompressione indiretta presenta il vantaggio di non provocare ulteriore destabilizzazione del sito vertebrale lesionato, cosa inevitabile quando si ricorre alle tecniche di decompressione diretta che prevedono la rimozione di almeno una delle due articolazioni intervertebrali. Il ricorso a queste tecniche decompressive, inoltre, prolunga la durata dell'intervento chirurgico in pazienti già critici e può accompagnarsi, più facilmente della decompressione indiretta, a trauma iatrogeno del midollo.

La presenza di schegge o materiale discale nel canale vertebrale, tuttavia, rende necessario il ricorso alla laminectomia o all'emilaminectomia. Di queste la più indicata è la emilaminectomia in quanto provoca una minima instabilità

aggiuntiva del sito di frattura/lussazione e può essere associata a tutte le tecniche di stabilizzazione vertebrale attualmente impiegate nella chirurgia di queste lesioni.<sup>25,61,62</sup> Qualora la tumefazione midollare sia la causa principale della compressione o sia presente una emorragia subdurale, è possibile praticare una durotomia e una mielotomia, contestualmente alla emilaminectomia o laminectomia, per fornire una ulteriore decompressione e valutare visivamente lo stato del parenchima midollare. L'efficacia di queste pratiche, comunque, non è stata ancora dimostrata in medicina veterinaria e va ricordato, inoltre, che, per eseguirle adeguatamente senza correre il rischio di danneggiare il midollo è importante disporre di un microscopio chirurgico.<sup>25,61,62</sup>

Per la stabilizzazione delle fratture e lussazioni esistono numerose tecniche che vanno scelte considerando: la localizzazione della lesione, la presenza o meno di un compressione interna al canale midollare, la taglia, il peso, l'età e il temperamento dell'animale, l'esperienza e le preferenze del chirurgo e la disponibilità di specifiche attrezzature, talvolta necessarie. Non esiste una sola tecnica valida per ogni tipo di frattura/lussazione spinale, tuttavia alcune mostrano una maggiore versatilità.<sup>21</sup>

Le tecniche più utilizzate nella pratica chirurgica impiegano: le placche ai processi spinosi o ai corpi vertebrali, i chiodi o le viti incorporati nel metilmetacrilato, i chiodi a U o "graffe metalliche" spinali, i fissatori scheletrici esterni, i chiodi incrociati e le combinazioni di diverse tecniche.<sup>21,48, 25,</sup>

È importante conoscere gli svantaggi e i vantaggi di ogni tecnica per potersi orientare nella scelta.

### **Placche ai processi spinosi**

È possibile ottenere due tipi di impianti utilizzando differenti placche; le Auburn e le Lubra. Le placche Auburn sono rigide e di acciaio e vengono applicate su entrambi i lati dei processi spinosi e assicurate con viti passanti attraverso tali processi; le placche Lubra sono in plastica e vengono applicate come le precedenti ma fissate con bulloni e dadi applicati tra i processi spinosi vertebrali.<sup>5</sup> L'impianto ottenibile con le placche Auburn può essere associato alla emilaminectomia , ma non alla laminectomia dorsale in quanto richiede l'integrità dei processi spinosi, l'impianto con placche Lubra, invece, è compatibile con entrambe le tecniche decompressive.<sup>21</sup>

Tutti e due gli impianti possono combinarsi con le placche ai corpi vertebrali e i chiodi Steinmann con polimetilmetacrilato.<sup>25</sup> Le placche, indipendentemente dal tipo, sono disponibili di diversa misura e lunghezza e vanno applicate alla base di almeno tre processi spinosi craniali e tre caudali rispetto alla sede di instabilità vertebrale.<sup>39,52</sup> Per rendere più saldo l'ancoraggio delle placche alla base dei processi spinosi può essere praticato un solco nello spazio tra questi e i processi articolari con una fresa pneumatica ad alto numero di giri.<sup>39,52</sup>

La stabilizzazione della lesione viene ottenuta mantenendo la riduzione durante l'avvitamento dei bulloni per le placche Lubra e delle viti per quelle Auburn.<sup>52</sup>

I vantaggi di questa tecnica di fissazione sono rappresentati dalla facilità di esecuzione dalla compatibilità con altre tecniche , sia decompressive che stabilizzanti. Gli svantaggi sono legati soprattutto all'impossibilità di impiego nei tratti del rachide in cui sono meno sviluppati i processi spinosi, come quello

cervicale, e negli animali di taglia molto piccola. Anche l'età dell'animale condiziona l'utilizzo di questa tecnica in quanto è necessario ancorare le placche ad un tessuto osseo duro, che gli animali troppo giovani non possiedono.<sup>39,52</sup>

Le complicazioni post operatorie più frequenti per questa tecnica di fissazione consistono nelle fratture dei processi spinosi o nello scivolamento delle placche.

### **Placche ai corpi vertebrali**

Questa tecnica consente una buona stabilizzazione del sito di frattura e può essere usata in animali di qualsiasi taglia ed età ed anche in associazione alla tecnica precedente o all'emilaminectomia e laminectomia dorsale.<sup>39,52</sup> In caso di lussazione o di frattura vicina allo spazio intervertebrale, le placche e le viti da osso devono fissare due vertebre adiacenti, se invece la frattura interessa il terzo medio del corpo vertebrale, bisogna fissare con la placca tre corpi vertebrali adiacenti.<sup>39,52</sup>



Fig 2.1 Fissazione mediante placche daosteosintesi sui corpi vertebrali (Da "Small animal spinal disorders" Sharp N. Wheeler S.

Il posizionamento delle viti rappresenta la fase più critica dell'intervento. Queste vanno disposte lontano il più possibile dallo spazio intervertebrale e devono essere orientate in modo da evitare che penetrino nel canale midollare o danneggino i tessuti in corrispondenza del loro punto di emergenza. Le viti

devono attraversare almeno quattro corticali cranialmente e caudalmente al sito della lesione. Per evitare complicazioni in corso d'intervento è bene operare facendo riferimento ad un modellino anatomico.<sup>39,52</sup>

Poiché è necessario recidere le radici nervose che emergono dallo spazio tra le vertebre, sulle quali vanno applicate le placche, questa tecnica non può essere praticata caudalmente ad L4 in quanto si correrebbe il rischio di danneggiare le radici nervose principali degli arti posteriori.<sup>39,52</sup>

Lo svantaggio principale di questa tecnica è rappresentato dalla notevole esposizione vertebrale che comporta la perdita della stabilità intrinseca legata ai tessuti molli di copertura del rachide.<sup>39,52</sup>

La rottura o lo sganciamento delle placche sono le complicazioni postoperatorie più frequenti, soprattutto nei soggetti iperattivi.<sup>39,52</sup>

### **Chiodi Steinmann o viti e cemento da ossa**

È considerata da molti autori la tecnica di stabilizzazione più versatile.<sup>2, 21,22,25</sup> È relativamente facile da eseguire, richiede pochi strumenti specialistici, consente di ottenere una buona stabilità del sito di lesione, non è condizionata dalla taglia o dall'età dell'animale e, con opportuni adattamenti, è applicabile a tutti i tratti del rachide. L'associazione di questa tecnica con la emilaminectomia o la laminectomia dorsale è possibile ma richiede estrema attenzione durante la fase di indurimento del metilmetacrilato, poichè quest'ultima è caratterizzata dallo sviluppo di intenso calore che può determinare un danno al tessuto midollare. Per evitare il danno termico il cemento deve essere modellato a forma di

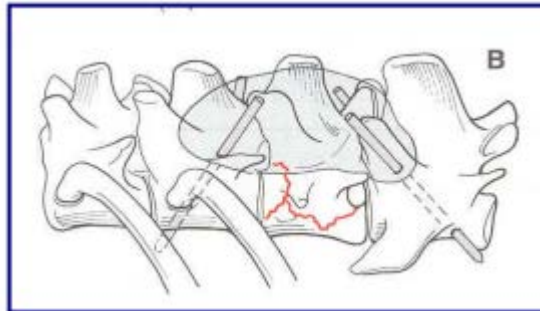


ciambella in modo che la parte aperta si trovi in corrispondenza della porzione di lamina vertebrale asportata. Inoltre, è consigliabile irrigare il metilmetacrilato, in fase di polimerizzazione, con soluzione sterile a temperatura ambiente fino alla sua completa solidificazione per favorire la dispersione del calore.<sup>2, 21,22,25,48</sup> La tecnica prevede che i chiodi Steinmann o le viti da osso siano inseriti nei corpi vertebrali con una precisa angolazione dipendente dal tratto spinale interessato. Questi vanno disposti da ambo i lati del corpo vertebrale, quando le dimensioni lo permettono, in modo speculare e devono penetrare due corticali dell'osso.<sup>24,57</sup> Sono possibili numerose configurazioni degli impianti in funzione del numero di chiodi o delle viti impiegate e del loro orientamento rispetto alla linea di frattura. La configurazione a 4 elementi orientati vicino al sito di frattura offre dei vantaggi sia dal punto di vista esecutivo, perché è sufficiente esporre solo due vertebre, sia dal punto di vista funzionale, perché assicura oltre una buona stabilità. Il cemento da ossa deve essere applicato, dopo il posizionamento della viti o dei chiodi, in modo da inglobare a suo interno le loro estremità libere. Poiché i chiodi Steinmann sono lisci, per favorire un contatto più saldo tra questi e il metilmetacrilato, è utile incidere alcune tacche sulle loro estremità utilizzando una cesoia.<sup>2,39,46,57</sup>

Le viti o i chiodi con filetto positivo offrono, al contrario, una massima aderenza al metilmetacrilato e per questo motivo, talvolta, sono preferiti ai chiodi lisci

Uno studio comparativo, comunque, ha rivelato che gli impianti che utilizzano le viti sono meno rigidi e resistenti di quelli con i chiodi poiché vanno spesso incontro a cedimenti in corrispondenza della interfaccia osso-vite.<sup>15,48</sup>

Gli svantaggi presentati da questa tecnica di fissazione sono legati al notevole volume degli impianti che rende più difficile la sutura di tessuti molli in chiusura di intervento e alla necessità di rioperare l'animale dopo la guarigione per rimuovere l'impianto. Inoltre la tecnica impone un'esposizione delle vertebre molto estesa e questo comporta la perdita della stabilità intrinseca conferita dai tessuti molli paraspinali.<sup>25</sup> Le complicazioni post operatorie possibili sono rappresentate dalla rottura dell'impianto e dalla fuoriuscita dei chiodi o delle viti dall'osso, lo scivolamento degli elementi metallici dal polimetilmetacrilato è un'evenienza rara. Inoltre, pur essendo il metilmetacrilato un materiale biologicamente inerte, può favorire lo sviluppo di sieromi o di infezioni alcune settimane dopo l'intervento e, in questi casi, è necessaria la rimozione dell'impianto.<sup>25</sup> L'aggiunta di antibiotico al cemento da ossa durante la preparazione del polimero può limitare il rischio di infezioni.<sup>48</sup>

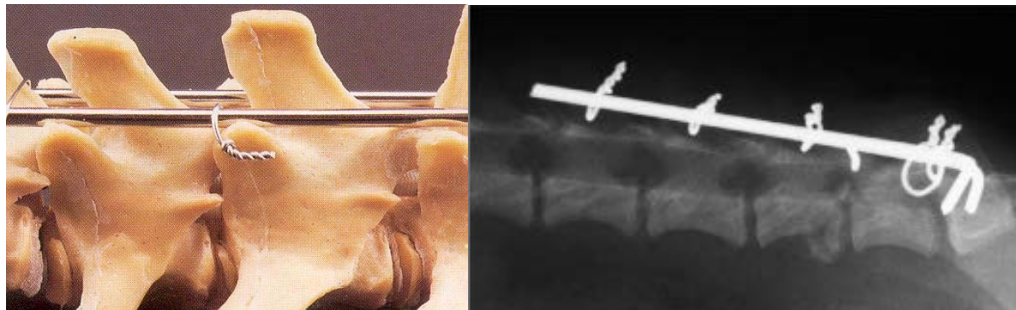


*Fig: 2.2 Fissazione con chiodi e cemento (da Small Animal spinal disorders Sharp N. Wheeler S.)*

### **Chiodi a U o “graffe metalliche spinali”**

Questa tecnica prevede una applicazione “classica” che impiega un solo chiodo centromidollare piegato ad U intorno ai processi spinosi vertebrali, ed

un'applicazione "modificata" meglio nota come fissazione spinale segmentale modificata.<sup>2, 21,22,25, 39</sup>



*Fig:2.3 Fissazione spinale segmentata modificata (Da "Small animal spinal disorders" Sharp N, Wheeler S, 2005)*

Entrambe le applicazioni richiedono l'esposizione dei processi spinosi e articolari di almeno due vertebre craniali e due caudali rispetto al sito di frattura e possono essere applicate in tutti i tratti del rachide ad eccezione di quello cervicale.<sup>38,39</sup> La tecnica è relativamente facile da eseguire, può essere applicata su animali di qualsiasi taglia e non richiede uno strumentario specialistico; è anche possibile l'associazione con la laminectomia dorsale e l'emilaminectomia.<sup>21,22,25</sup> L'applicazione classica, come anticipato, consiste nel posizionamento di un chiodo centromidollare intorno ai processi spinosi. Il chiodo viene introdotto attraverso un processo spinoso o caudale o craniale rispetto alla frattura /lussazione e viene successivamente piegato a 90° e posizionato lungo la lamina, tra la base dei processi spinosi e di quelli articolari. Successivamente si applicano dei cerchiaggi che fissano il chiodo alla base di ogni processo spinoso compreso nell'impianto. Un rinforzo della fissazione può essere ottenuta applicando altri cerchiaggi attorno ai processi trasversi o ai capitelli costali, rispettivamente nel tratto lombare e in quello toracico.

La fissazione spinale segmentale utilizza un numero superiore di chiodi che vengono applicati in maniera concentrica intorno ai processi spinosi. Le estremità di ogni chiodo vengono piegate a uncino intorno alla base di un processo spinoso oppure vengono inserite, mediante fori trasversali, al suo interno. In ogni configurazione, quindi, è possibile identificare dei chiodi centrali e dei chiodi longitudinali. Il loro numero e le dimensioni variano in rapporto alla taglia e al temperamento dell'animale e alla stabilità della lesione spinale. In genere gli animali di grossa taglia vengono stabilizzati con chiodi centrali di grosse dimensioni e con un numero maggiore di chiodi longitudinali.<sup>39</sup>

Se si vuole ottenere un effetto più elastico bisogna costruire l'impianto in modo da diminuire sequenzialmente la lunghezza dei chiodi longitudinali.<sup>39</sup>

Come per il chiodo ad U anche in questo caso vengono applicati dei cerchiaggi con filo metallico alla base dei processi spinosi e ai processi articolari in modo da mantenere in sede i chiodi.

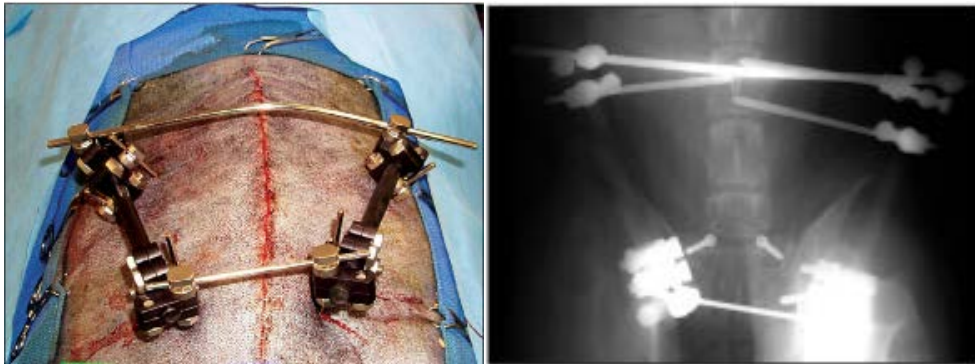
La fissazione spinale segmentale modificata è stata utilizzata efficacemente anche nel trattamento delle fratture lombosacrali, utilizzando le ali dell'ileo come punti di ancoraggio aggiuntivi per i chiodi.

Alcuni autori considerano questa tecnica inadatta alla stabilizzazione delle fratture vertebrali in cani di peso superiore ai 10 kg.<sup>21, 22,25</sup>

Le complicazioni postoperatorie più frequenti sia con l'applicazione del chiodo a U singolo sia con la tecnica modificata sono rappresentate dalla migrazione dei chiodi o dalla rottura da fatica dei cerchiaggi e dei chiodi.<sup>39</sup>

### Fissatori scheletrici esterni

I fissatori esterni tipo vengono utilizzati principalmente per il trattamento delle fratture/lussazioni del tratto lombosacrale del rachide ed in genere, sono associati ai chiodi transiliaci e al placcaggio dei processi spinosi vertebrali.<sup>43</sup>



*Fig 2.4 :Esempio di fissazione scheletrica esterna (Da "Small animal spinal disorders" Sharp N, Wheeler S, 2005)*

In questa tecnica sia i chiodi trans-iliaci che il chiodo passante per il corpo della vertebra craniale adiacente alla sede di frattura vengono inseriti per via per cutanea e connessi con una barra da ambo i lati del rachide. Le placche ai processi spinosi, invece, vengono applicate attraverso un accesso dorsale che espone tre processi spinosi craniali alla sede di frattura. Si utilizzano in questo caso placche Auburn e, un chiodo trans-iliaco viene fatto passare attraverso l'ultimo foro delle placche appaiate, per dare maggiore stabilità all'impianto.

Questa tecnica è compatibile con la laminectomia dorsale, richiede un minimo equipaggiamento speciale e permetta una buona stabilizzazione in pazienti di tutte le taglie.<sup>39</sup> Un sistema modificato Kirschner-Ehmer è stato realizzato dalla IMEX veterinari e può essere applicato anche alle fratture/lussazioni che

interessano gli altri tratti del rachide.<sup>25</sup> La particolarità di questo impianto è legata alla presenza di barre di connessione di forma arcuata che si adattano molto bene al corpo dell'animale e rendono più facile la sistemazione dei chiodi fissatori e più tollerabile l'impianto per l'animale; queste sono disponibili in varie misure. Su ogni barra sono presenti dei fori disposti a distanza regolare attraverso cui vengono fatte passare delle barre lineari su cui verranno agganciati con dei bulloni i chiodi inseriti nei corpi vertebrali. Questo consente di inserire i chiodi fissatori secondo differenti piani dorsoventrali.<sup>25</sup>

Uno studio biomeccanico di questa tecnica, effettuato sulla capra, ha mostrato che la configurazione più resistente è quella con 4 barre arcuate poste in corrispondenza di due vertebre craniali e due caudali rispetto alla lesione e connesse con 4 barre lineari. Questo fissazione è comparabile con un tipo lb unilaterale biplanare e offre maggiore resistenza alle forze di taglio e flessione.<sup>25</sup>

### **Chiodi incrociati**

La tecnica consiste nell'applicazione di due chiodi Steinmann inseriti ad incrocio attraverso la linea di frattura o lo spazio intervertebrale. Si tratta del mezzo di fissazione spinale interna meno utilizzato a causa della sua scarsa resistenza e della incapacità ad assicurare una adeguata stabilità al sito della lesione. È una tecnica facile ed economica e può essere associata all'emilaminetomia con il vantaggio di poter visualizzare direttamente il canale midollare durante il posizionamento dei chiodi. La complicazione più frequente è data dalla migrazione dei chiodi con perdita di stabilità.<sup>39</sup>

## Capitolo IV

### Studio Sperimentale

#### Introduzione

La varietà di tecniche esistenti per la stabilizzazione delle lussazioni e fratture vertebrali riflette la variazione di forma delle vertebre dei vari tratti del rachide, ciò è dimostrato dal fatto che non esiste una tecnica che può essere applicata universalmente a tutte le fratture/lussazioni vertebrali. Nel presente studio la nostra attenzione si è soffermata sulle fratture riguardanti il tratto toracico e lombare, e sono state analizzate le tecniche di stabilizzazione vertebrale che prevedono l'applicazione di chiodi di Steinman, viti e polimetilmetacrilato (PMMA). Come esposto in precedenza, per tutte le tecniche impiegate, le complicanze osservate, oltre al cedimento dell'impianto, riguardano soprattutto la direzione dell'orientamento dei chiodi e delle viti nel corpo vertebrale finalizzato alla prevenzione di potenziali danni al midollo spinale, alla vascolarizzazione maggiore, ai nervi periferici e agli organi contenuti nelle cavità sottostanti.

Differentemente dall'anatomia umana, in cui le dimensioni dei peduncoli laterali delle vertebre permettono di applicare dei sistemi di sintesi con metodi relativamente sicuri, nel cane la medesima struttura anatomica ha dimensioni ridotte o è del tutto assente, eccetto che per le vertebre L7 e S1. Questa problematica ha spinto diversi autori, in ambito della chirurgia canina, a

sviluppare dei corridoi di sicurezza (“safety corridors”) che permettano di ancorare in modo stabile e sicuro le varie tipologie di impianti (viti e chiodi)<sup>53,54</sup> (Watine et al., 2006; Wheeler et al., 2002).

In medicina veterinaria sono stati effettuati studi in cui sono indicati gli angoli ideali di inclinazione degli impianti di sintesi, identificati mediante analisi delle immagini TC e l’ausilio della fluoroscopia con prove su cadavere<sup>53,54,56</sup> (Watine et al., 2006; Wheeler et al., 2002). La fluoroscopia rappresenta da qualche tempo in medicina umana un valido strumento che permette di ottenere il corretto orientamento delle viti e di minimizzare i danni iatrogeni<sup>8,11</sup>

In chirurgia canina i corridoi tracciati attraverso lo studio delle immagini degli esami TC mostrano una via d’accesso dorsale per l’inserzione dorso-laterale delle viti nel corpo vertebrale, ma la probabilità di arrecare danni a strutture di vitale importanza sembra essere elevata senza l’ausilio della fluoroscopia. Dall’analisi dei corridoi descritti risulta, tuttavia, una difficile applicabilità clinica o, comunque, i corridoi evidenziati permettono margini minimi di errore.

Nasce quindi l’esigenza di sviluppare una metodica che permetta la facile applicabilità, attraverso l’utilizzo di corridoi di sicurezza laterali e riduca il rischio di danno iatrogeno senza ausilio di specifiche apparecchiature.

Obiettivo del presente lavoro è stato di identificare uno o più punti di repere per l’inserimento degli impianti (chiodi e/o viti), di valutare l’inclinazione ideale, di verificare l’affidabilità dei reperi scelti mediante prove di trapanazione su



cadavere e, infine, di ricercare eventuali differenze tra le diverse vertebre dei tratti toracico e lombare del rachide.

## **Materiali e metodi**

### *Analisi esami TC e reperi*

Con un attento studio delle immagini TC del rachide toracico e lombare di circa 20 soggetti appartenenti a differenti razze, sono stati ricercati dei reperi anatomici che permettessero di tracciare un corridoio di sicurezza in modo da conservare una certa distanza dal canale vertebrale. Gli esami TC non erano effettuati per scopi inerenti allo studio. Questa prima fase dello studio ha permesso di evidenziare quali punti di riferimento anatomico, per l'introduzione delle viti, (definito in seguito come punto E) la base dell'articolazione costo-vertebrale per le vertebre toraciche (fig. 4.1) e la base del processo trasverso per le vertebre lombari (fig. 4.2). L'orientamento ideale, pianificato per l'introduzione delle viti, è secondo un angolo di 90° rispetto all'asse longitudinale della vertebra; in sintesi, il corridoio inizia lateralmente al corpo vertebrale ed attraversa l'intero soma vertebrale. Questo orientamento permette di posizionare le viti nel punto medio del corpo vertebrale, ossia al livello di massimo diametro del soma (E-F), favorendo l'ancoraggio dell'impianto ad una maggior quantità di osso spongioso possibile interessando le due corticali laterali.

I punti di repere per l'introduzione delle viti sono stati definiti con maggiore precisione rispetto a quanto descritto prima:

- per le vertebre toraciche, il punto che abbiamo individuato è posto alla base dell'articolazione costo-vertebrale in posizione caudo-ventrale a ridosso del margine articolare;
- per le vertebre lombari, il punto che abbiamo individuato è posto alla base del processo trasverso all'altezza della corticale ventrale. Le ultime due vertebre (L6-L7), caratterizzate da un corpo vertebrale di diametro dorso-ventrale minore, presentano una riduzione del margine di sicurezza (distanza tra il foro ottenibile, partendo dal repere utilizzato per le altre vertebre lombari, e il canale vertebrale); per questa differenza anatomica ci è sembrato opportuno spostare il punto di repere al di sotto del processo trasverso.



**Figura 4.1: Illustrazione dei punti di repere per le vertebre toraciche con il cerchio sono indicate le vertebre esplorate nello studio, le stelle indicano per le vertebre non valutate**

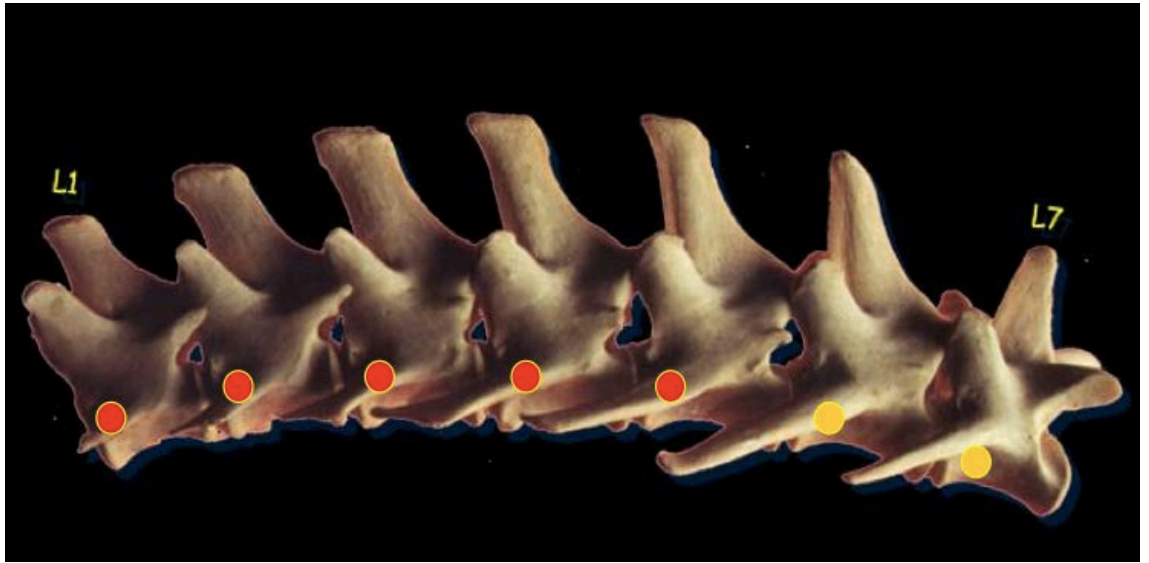


Figura 4.2: Illustrazione dei punti di reperi per le vertebre lombari, L6 e L7 presentano un colore diverso vista la differente localizzazione del reperi

La valutazione degli esami TC campione ha contemplato le seguenti misurazioni:

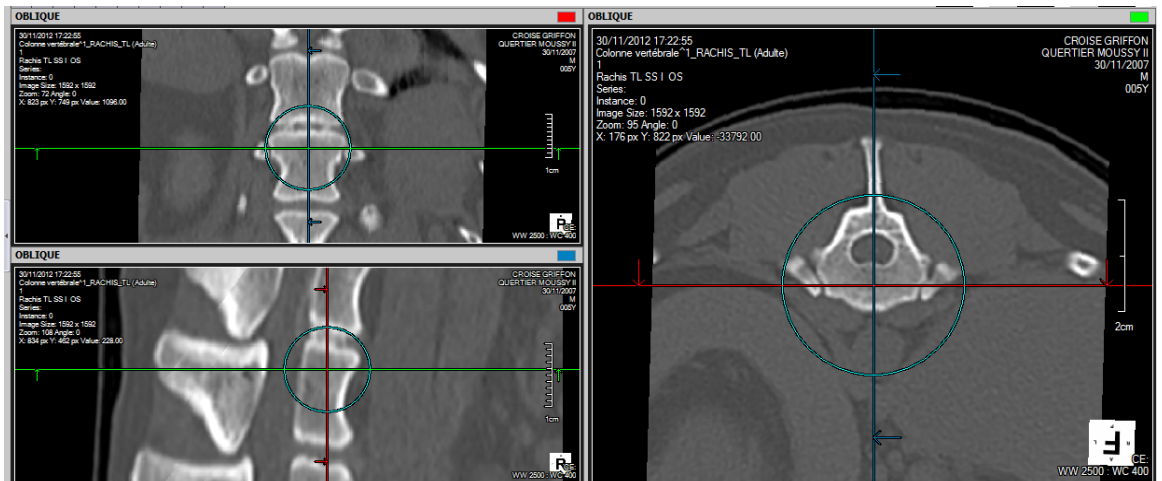


Figura 4.3: Vertebra toracica T13 illustrazione teorica del punto di reperi individuato (ricostruzione multiplanare esame TC)

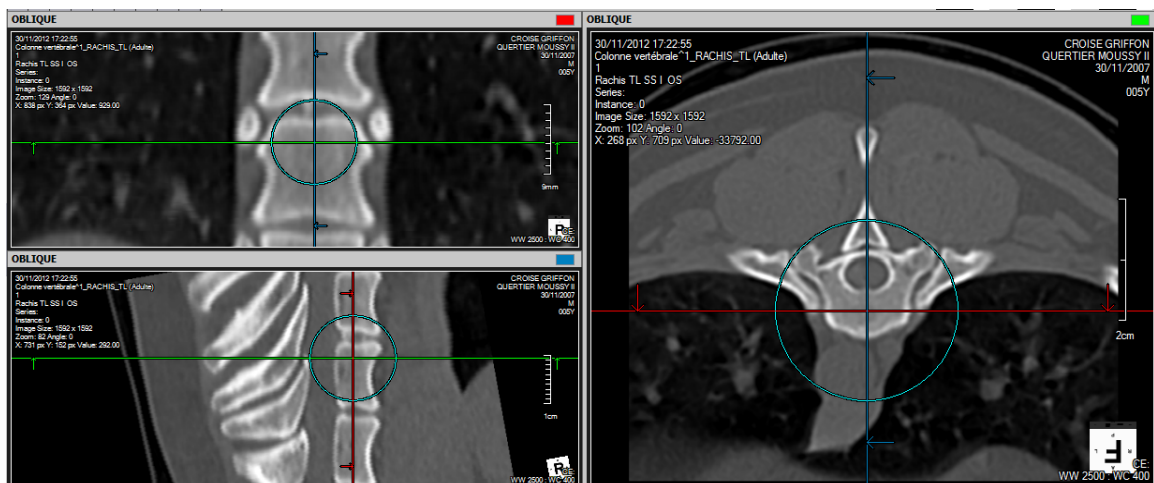


Figura 4.4: vertebra toracica T10, illustrazione teorica del punto di reperi individuato (ricostruzione multiplanare esame TC)

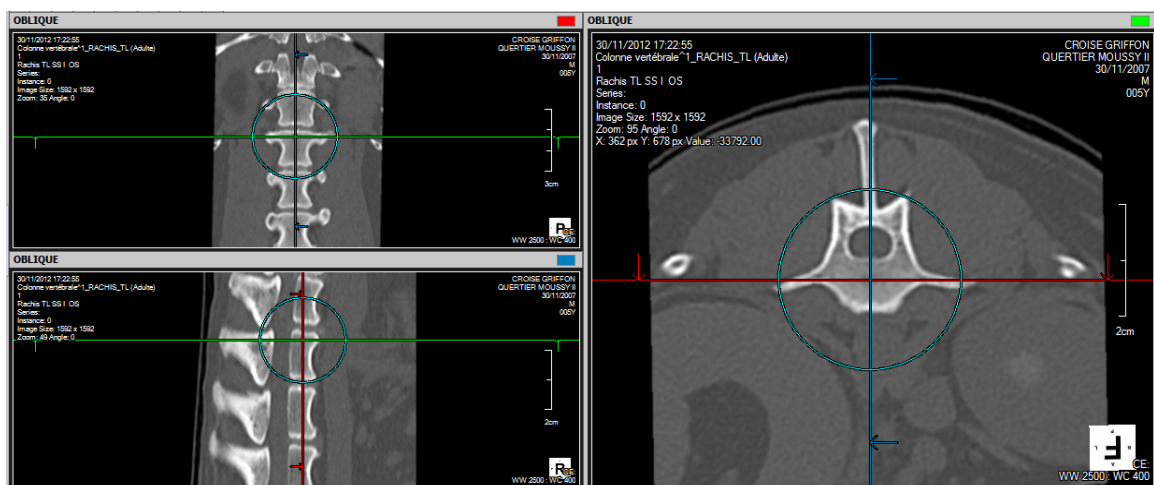


Figura 4.5: Vertebra Lombare L1 illustrazione teorica del punto di reperi individuato (ricostruzione multiplanare esame TC)

### Campione

Sono stati utilizzati i corpi di cani (n=10) appartenenti a differenti razze, sottoposti a soppressione eutanassica per ragioni non correlate allo studio. Le

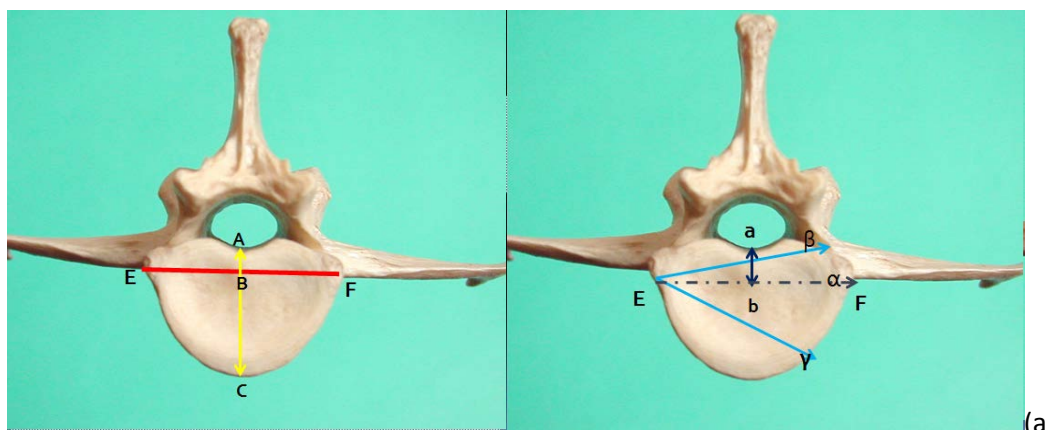
carcasse sono state conservate a  $-20^{\circ}\text{C}$  e scongelati a  $21^{\circ}\text{C}$  per 24 ore, prima dello studio. I soggetti inclusi nell'analisi sono stati sottoposti ad una simulazione di intervento, con l'accesso chirurgico standard ed esecuzione della trapanazione, escludendo l'inserimento di materiale di sintesi (viti e PMMA). Il tratto di rachide selezionato per testare la tecnica chirurgica comprendeva le ultime 8 vertebre toraciche e tutto il tratto lombare.

Successivamente, le carcasse venivano sottoposte ad esame TC effettuato mediante scansioni trasversali che interessavano il foro realizzato nel sito del repere, le misurazioni erano le stesse utilizzate per la valutazione degli esami TC campioni con l'aggiunta delle seguenti misurazioni:

- ✓ la distanza tra il margine superiore del foro ottenuto e la superficie ventrale del canale midollare (a-b);
- ✓ l'angolo ottenuto, delimitato dal canale di trapanazione e dal segmento E-F ( $\alpha$ );

#### *Curva di apprendimento*

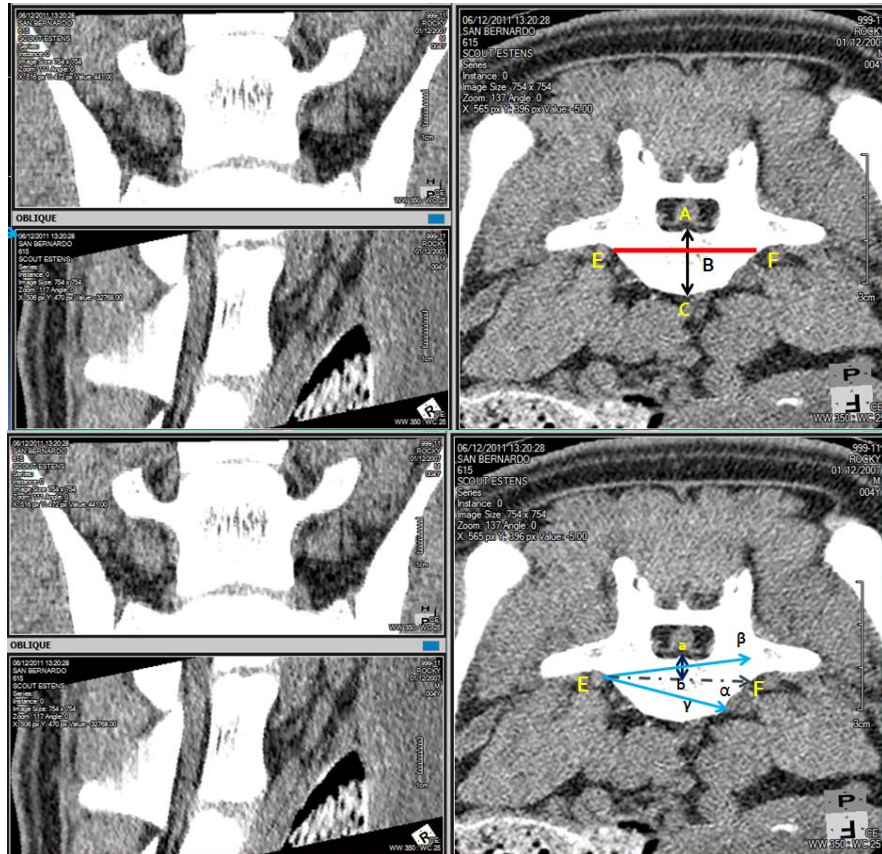
È stato valutato lo scostamento degli angoli  $\alpha$  ottenuti dall'angolo ideale di  $90^{\circ}$  per valutare la curva di apprendimento, inserendo i casi in ordine cronologico: tale scostamento è stato denominato  $\Delta$ .



(a)

Fig 4.6: Illustrazione delle misurazioni effettuate:

- la larghezza del soma nel sito dei reperi **E-F**, (F Punto di uscita), tale segmento corrisponde al foro ideale a 90°;
- l'altezza del corpo vertebrale dal pavimento del canale midollare alla superficie ventrale del soma **A-C** (**A**: pavimento del canale; **C**: corticale della superficie ventrale del corpo vertebrale);
- la distanza dal canale midollare al foro ideale che corrisponde al punto di intersezione tra i segmenti **A-C** e **E-F A-B** (**B**: sede del foro);
- l'angolo massimo di scostamento (da 90° ideali) in senso dorsale, che ancora non arrechi danni iatrogeni (**β**);
- l'angolo minimo (in senso ventrale), delimitato dai summenzionati segmenti, che garantisca un buon ancoraggio (**γ**);
- la distanza tra il margine superiore del foro ottenuto e la superficie ventrale del canale midollare (**a-b**);
- l'angolo ottenuto, delimitato dal canale di trapanazione e dal segmento **E-F** (**α**);



**Figura 4.6b):** *Illustrazione delle misurazioni effettuate sulle immagini TC*

Per rendere confrontabili le misurazioni eseguite su vertebre di forma e dimensioni differenti, sia per le fisiologiche variazioni lungo il rachide toraco-lombare, sia per le differenze di taglia tra i soggetti appartenenti allo studio degli esami TC e i soggetti inclusi nello studiosi è provveduto a trasformare i valori assoluti delle misurazione descritte in rapporti (ratio).

Inoltre si sono sperimentate due possibili tecniche chirurgiche: nella prima sono state eseguite prove di trapanazione di 8 vertebre per cadavere attraverso due accessi chirurgici, per il rachide toracico e per il rachide lombare. In ogni accesso la trapanazione interessava 4 vertebre, e si eseguiva un solo foro per corpo vertebrale nel punto di repere stabilito per la vertebra.



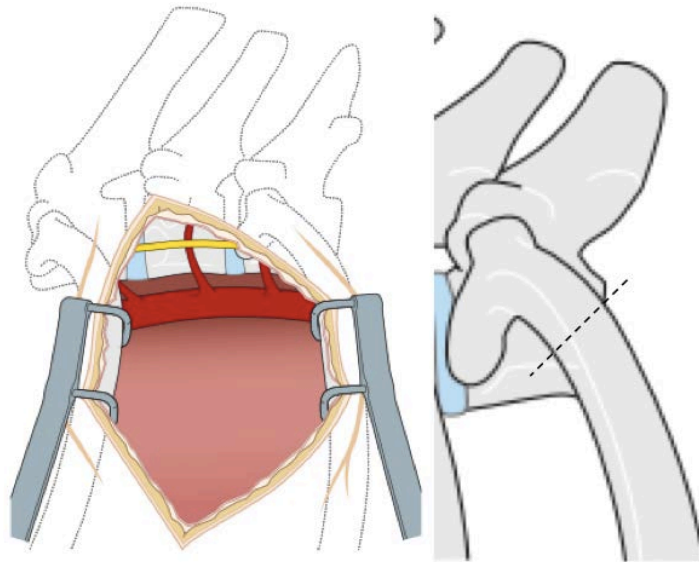
Nella seconda tecnica, sono state eseguite simulazioni d'intervento interessando tre vertebre per ogni accesso ed effettuando due fori per vertebra, la finalità della seconda fase è consistita nel valutare la possibilità di porre due viti nello stesso corpo vertebrale.

Le prove sono state eseguite tutte dal medesimo chirurgo che ha utilizzato sempre lo stesso strumentario; le prove sono state effettuate nell'arco di 3 mesi circa, mediamente è stata effettuata una prova a settimana.

#### *Tecnica Chirurgica*

L'accesso chirurgico per le vertebre toraciche è stata eseguita mediante toracotomia<sup>63</sup>. Effettuando un'incisione intercostale è stato possibile visualizzare la porzione ventrale delle vertebre toraciche e visualizzare la vascolarizzazione vertebrale. Successivamente è stata scheletrizzata la costa a partenza dalla superficie prima laterale poi craniale e si è proceduto in senso dorsale sino all'articolazione costo-vertebrale. Prima di eseguire l'ostectomia della costa, sono state realizzate delle legature dei vasi intercostali dorsali, l'ostectomia parziale della costa (fig 4.7) è stata eseguita per qualche cm (circa 3-4, a seconda della taglia dell'animale). La rimozione dei capitelli costali può interessare uno o più costole; l'ostectomia del capitello ha permesso una corretta visualizzazione del punto di reperi e ha consentito altresì di ottenere più spazio per l'applicazione dell'impianto.





*Figura 4.7: Illustrazione schematica, toracotomia, Osteotomia parziale di una porzione di costa con capitello costale ( da Ann L Johnson John E F Houlton Rico Vannini AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat. Modificato)*

Per le vertebre lombari si è effettuato un accesso laterale ai corpi vertebrali (accesso per la disco-fenestrazione secondo Piermattei 1993, Atlante), sono stati esposti i processi trasversi e successivamente si è praticata l'osteotomia degli stessi a livello della loro base d'impianto sul corpo vertebrale per un numero di vertebre pari a quelle da stabilizzare. Per le vertebre lombari L6 e L7 è stato eseguito lo stesso accesso con la modifica di una maggiore estensione in senso caudale. La base del processo trasverso di L7 può essere esposta mediante una parziale osteotomia del margine craniale della tuberosità iliaca. La larghezza del tassello osseo da rimuovere varia in relazione alla taglia del soggetto; l'osteotomia si realizza mediante parziale scollamento del muscolo gluteo medio e si esegue taglio un obliquo/curvilineo in senso dorso-ventrale caudo-craniale (fig4.7 e 4.8) senza interessare la tuberosità dell'anca disposta sul margine ventrale dell'ileo.

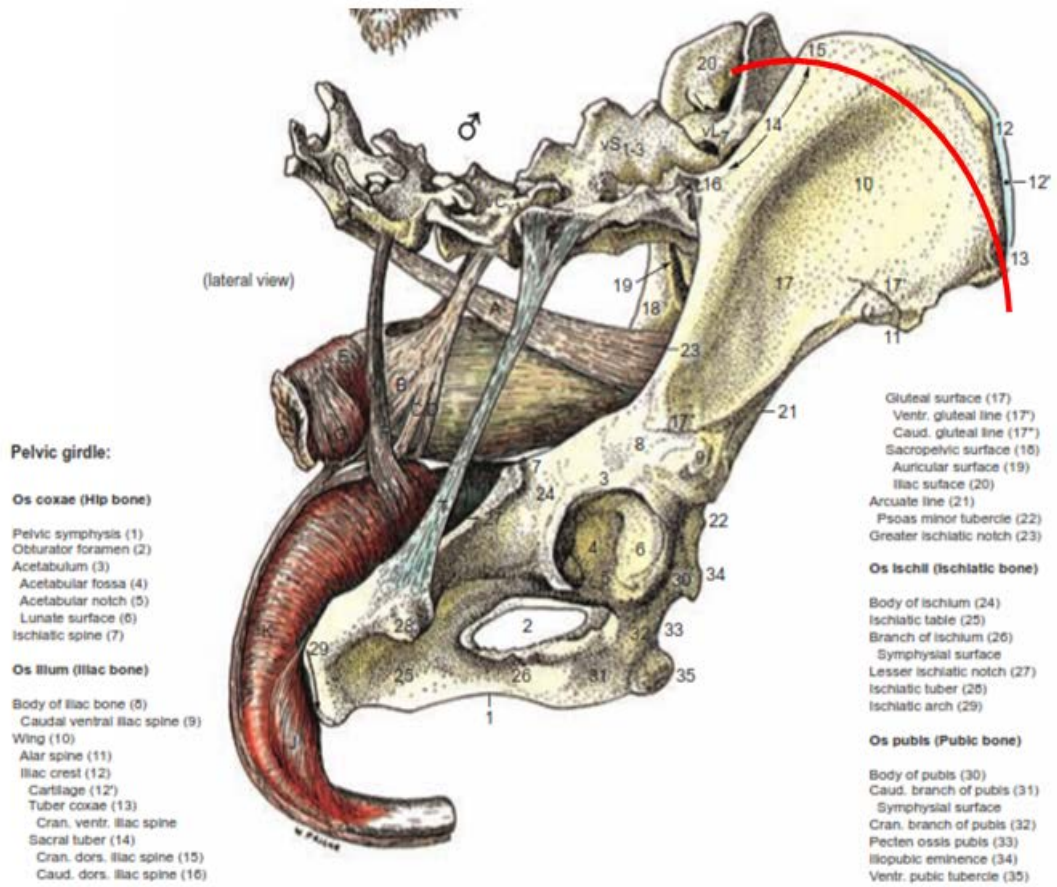


Figura 4.8: Illustrazione schematica osteotomia parziale della margine dell'ala dell'ileo; (Da : Anatomy of the dog Klaus-Dieter Budras · Patrick H. McCarthy · Wolfgang Fricke · Renate Richter Fifth, revised edition, modificata)

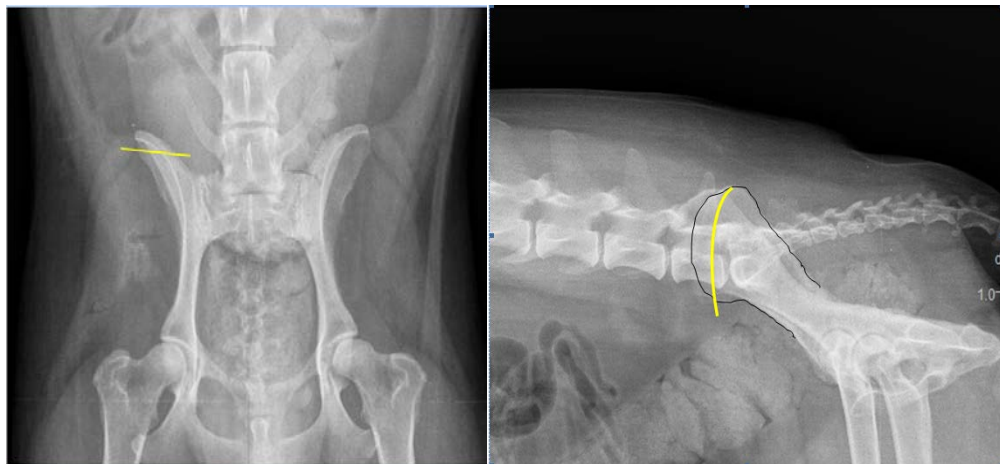
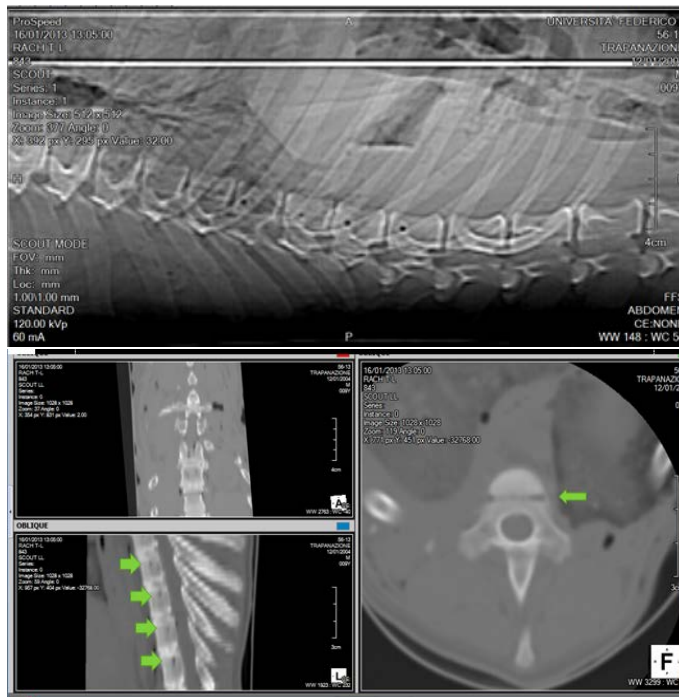


Fig.4.9 Proiezione osteotomia su immagini radiografiche della parziale osteotomia del margine dell'ala dell'ileo)

### *Tecnica con singolo foro*

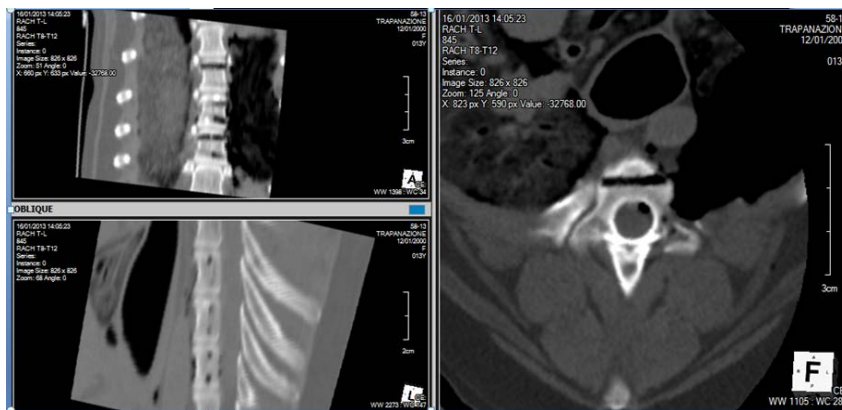
I soggetti sono stati posti in decubito laterale destro e sinistro in modo alterno, con gli arti anteriori e posteriori in estensione e fissati al tavolo operatorio. Per ottenere un perfetto parallelismo del rachide con il tavolo operatorio sono stati impiegati dei supporti al livello del rachide cervicale e lombare ed inseriti supporti tra gli arti per evitare rotazioni dovute all'adduzione degli stessi. Esposta la superficie laterale delle vertebre e rimossa la porzione di costa con il capitelto, la punta del trapano è orientata perpendicolarmente al corpo vertebrale per ottenere un foro nel soma a 90° rispetto al piano sagittale della vertebra. Sono stati, così, eseguiti fori con punta da 2,5mm e successivamente alesati per viti da 3,5 mm. Per le vertebre lombari è stata eseguita l'ostectomia del processo.



*Fig 4.10 Scout ed Esame Tc su cadavere; esempio di una delle prove di trapanazione eseguite in ricostruzione multi planare, le frecce indicano i fori realizzati*

### *Tecnica con fori multipli*

Una volta esposta la superficie laterale della vertebra per identificare i margini anteriore e posteriore del corpo sono stati inseriti degli aghi da siringa nel disco intervertebrale. Questa tecnica risulta molto utile per le vertebre toraciche in quanto il repere in questo tratto anatomico è disposto al limite craniale del corpo vertebrale. In questa fase il posizionamento è stato eseguito allo stesso modo della tecnica precedentemente descritta. Su ogni vertebra il foro craniale è stato praticato con orientamento cranio-caudale mentre, per il foro caudale è stato utilizzato l'orientamento inverso (caudo-craniale). Con tale posizionamento le viti risultavano lievemente convergenti e non si incorreva nel rischio di sconfinare nello spazio discale.



*Fig 4.11 Esame TC Simulazione con fori multipli (ricostruzione multi planare)*

### *Analisi statistica*

I dati raccolti sono stati inseriti in fogli di calcolo elettronici (Microsoft®Excel2011 per Mac) prima di essere importati in un programma per l'analisi statistica (JMP® v. 8.0.2 di SAS Institute, Inc.). Le variabili continue sono state confrontate

mediante analisi della varianza (ANOVA) di van derWaerden e, quando veniva rilevata una differenza significativa, *post hoc* mediante test HSD di Tukey.

## Risultati

I risultati sono stati riportati come  $\text{media} \pm \text{deviazione standard}$  (range; mediana).

### *Analisi Esami TC*

Dalla valutazione degli esami TC sono state incluse nell'analisi 142 vertebre (tab 1) canine differenti razze e taglia (Rottweiler, Pastore Tedesco, Beagle, Barboncino, Maltese, San Bernardo, Meticcio, Pastore Maremmano, Fox Terrier, Meticci di taglia differente, West Highland White Terrier, Setter Inglese, Siberian Husky)

<b>Livello</b>	<b>Conteggio</b>
L1	13
L2	10
L3	10
L4	10
L5	8
L6	11
L7	17
T10	7
T11	9
T12	10
T13	10
T5	3
T6	5
T7	6
T8	6
T9	7
<b>Totale</b>	<b>142</b>

*Tabella 1*

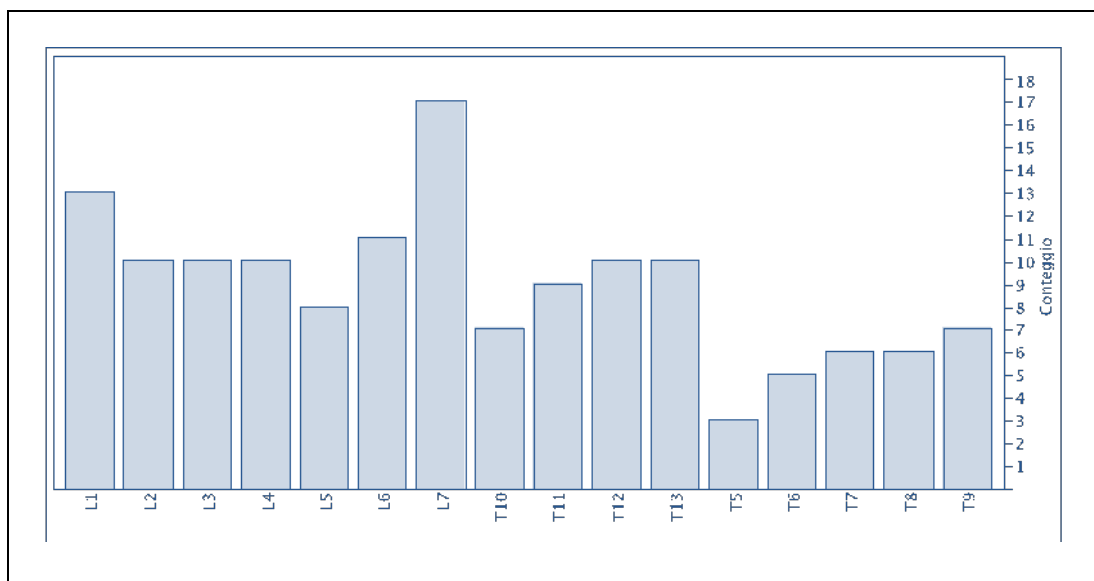


Fig 4.12: Rappresentazione schematica del conteggio delle vertebre

La ratio A-B/A-C tra le varie vertebre risultava statisticamente differente ( $P < 0,0001$ )

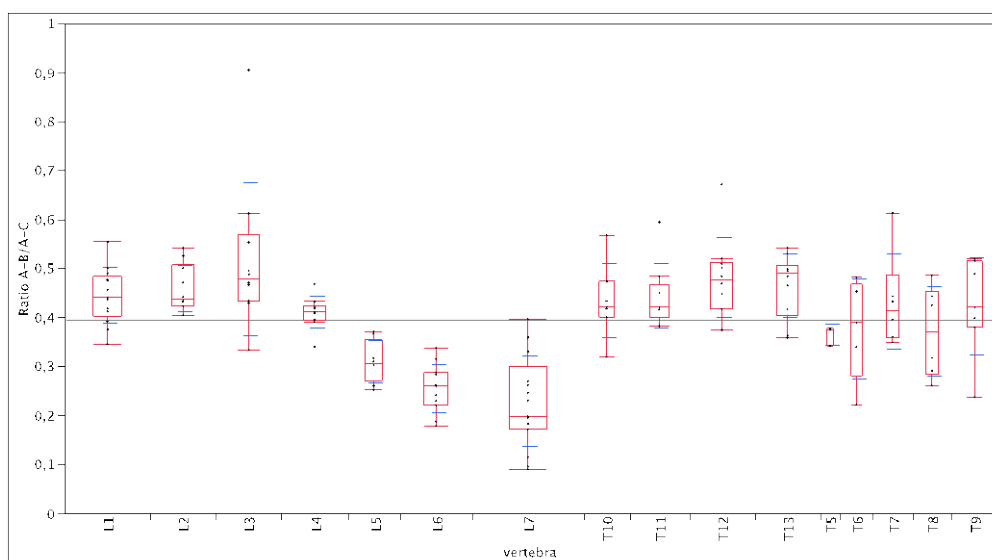


Fig 4.13 Rappresentazione grafica ratio A-B/A-C tra le differenti vertebre (ANOVA) di van der Waerden

In particolare, tale rapporto risultava significativamente minore per L7 rispetto a T6 ( $P=0,03$ ), T7 ( $P < 0,0001$ ), T8 ( $P=0,02$ ), T9 ( $P < 0,0001$ ), T10 ( $P < 0,0001$ ), T11 ( $P < 0,0001$ ), T12 ( $P=0,0000$ ), T13 ( $P=0,0000$ ), L1 ( $P=0,0000$ ), L2 ( $P < 0,0001$ ), L3

(P=0,0000), L4 (P<0,0001)L6 minore di T7 (P=0,003), T9 (P=0,003), T10 (P=0,001), T11 (P<0,0001), T12 (P<0,0001), T13 (P<0,0001), L1 (P<0,0001), L2 (P<0,0001), L3 (P=0,0000), L4 (P=0,002) ; L5 minore di T12 (P=0,002), T13 (P=0,008), L1 (P=0,03), L2 (P=0,01), L3 (P<0,0001); T8 minore di L3 (P=0,04) Gli angoli misurati sono riportati in tabella 3 .

Gli angoli  $\beta$  misurati sono riportati in tabella; essi risultavano significativamente differenti tra le diverse vertebre(P<0,0001)

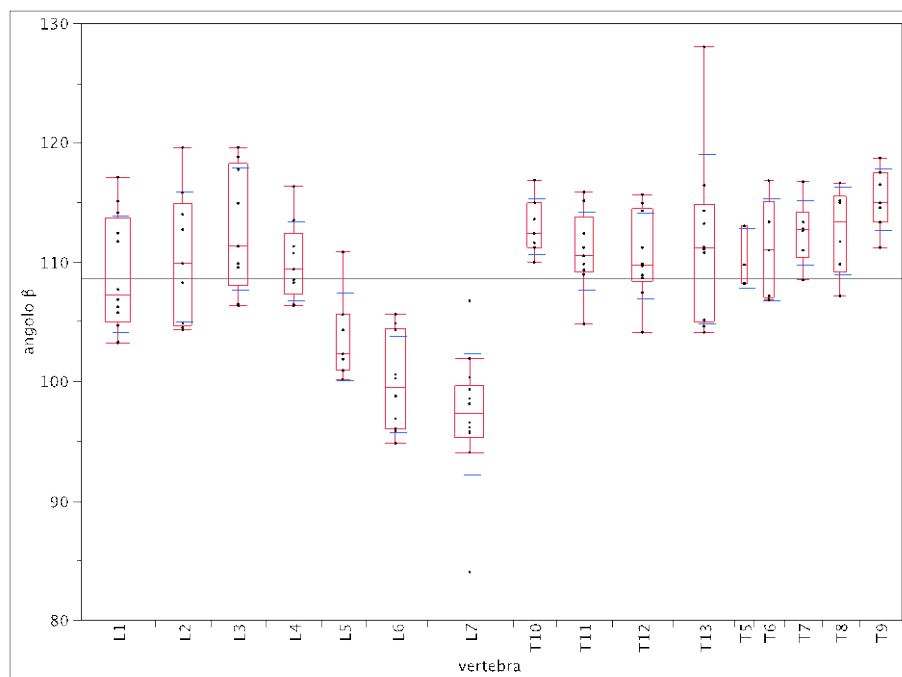


Fig 4.14: (ANOVA) di van derWaerden Rappresentazione grafica Angoli  $\beta$

L'angolo  $\beta$  risultava significativamente minore per L7 rispetto a T5 (P=0,0008), T6 (P<0,0001), T7 (P<0,0001), T8 (P=0,0001), T9 (P=0,0000), T10 (P=0,0000), T11 (P<0,0001), T12 (P<0,0001), T13 (P=0,0000), L1 (P<0,0001), L2 (P<0,0001), L3 (P=0,0000), L4 (P<0,0001); per L6 minore di T5 (P=0,03), T6 (P=0,0009), T7 (P<0,0001), T8 (P<0,0001), T9 (P<0,0001), T10 (P<0,0001), T11 (P<0,0001), T12

( $P < 0,0001$ ), T13 ( $P < 0,0001$ ), L1 ( $P = 0,0004$ ), L2 ( $P < 0,0001$ ), L3 ( $P < 0,0001$ ), L4 ( $P = 0,0002$ ) L5 minore di T7 ( $P = 0,04$ ), T8 ( $P = 0,04$ ), T9 ( $P = 0,0003$ ), T10 ( $P = 0,01$ ), T13 ( $P = 0,02$ ), L3 ( $P = 0,008$ ). Differenza significativa tra le varie vertebre per angolo  $\gamma$  ( $P < 0,0001$ ) (segue rappresentazione grafica Fig 4.15 )

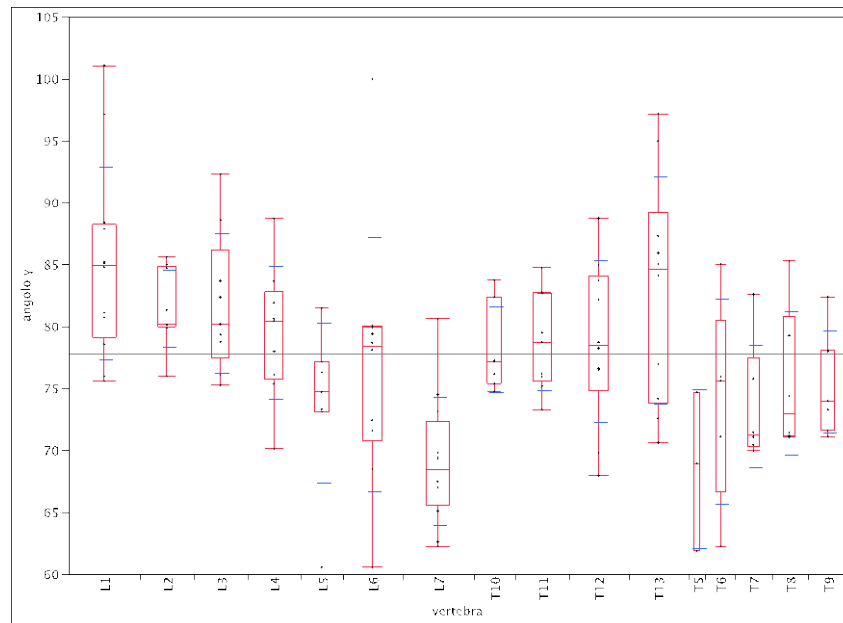


Fig 4.15: (ANOVA) di van der Waerden Rappresentazione grafica angoli  $\gamma$

T5 minore di L1 ( $P = 0,01$ ); L7 minore di T13 ( $P = 0,0002$ ), L1 ( $P < 0,0001$ ), L2 ( $P = 0,003$ ), L3 ( $P = 0,002$ ), L4 ( $P = 0,03$ ); T7 minore L1 ( $P = 0,04$ ); L5 minore L1 ( $P = 0,03$ )

Campione



I 10 soggetti inclusi nello studio della tecnica con singolo foro appartenevano alle seguenti razze: Pittbull (5), Setter (1), Pastore Tedesco (1), meticcio (3), di peso  $20,1 \pm 3,7$  (14-27; 20)kg di cui 5 maschi e 5 femmine. Su ogni soggetto sono stati praticati un accesso a destra ed uno a sinistra, distribuendo in maniera randomizzata il tratto di rachide esposto. Le misurazioni ottenute relative ai singoli tipi di vertebra sono riassunti in tabella 2.

La ratio A-B/A-C risultava statisticamente differente tra i vari tipi vertebrali ( $P=0,001$ ;) (fig.4.16).

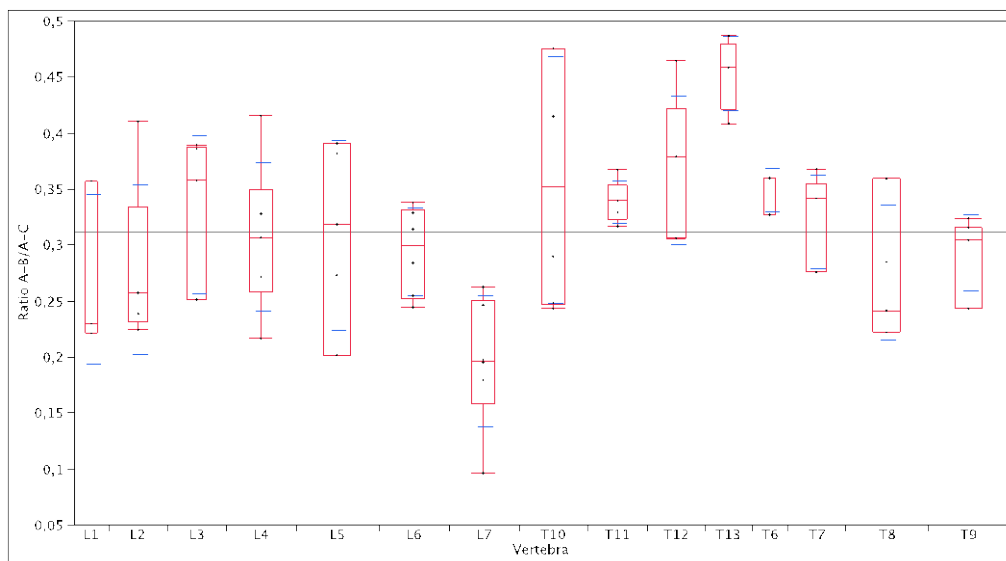


Figura 4.16: ratio A-B/A-C tra i differenti tipi di vertebre(ANOVA) di van der Waerden

Vertebra	A-B	a-b	A-C	Ratio A-B/A-C	Ratio a-b/A-C
T6 (3)	4,77±0,37 (4,34-4,99; 4,99)	4,92±0,10 (4,87-5,04; 4,87)	13,69±0,35 (13,29-13,89; 13,89)	0,35±0,02 (0,33-0,36; 0,36)	0,36-0,02 (0,35-0,38; 0,35)
T7 (5)	3,99±1,40 (2,46-5,04; 5,00)	4,22±0,86 (3,3-4,99; 4,52)	12,20±2,99 (8,93-14,65; 13,72)	0,32±0,04 (0,27-0,37; 0,34)	0,35±0,02 (0,33-0,37; 0,34)
T8 (7)	3,25±1,36 (2,07-5,19; 2,64)	0,85±2,17 (-2,22-3,28; 1,76)	11,40±2,19 (9,34-14,46; 10,96)	0,27±0,06 (0,22-0,36; 0,24)	0,10±0,18 (-0,15-0,32; 0,16)
T9 (7)	3,77±0,88 (2,50-4,55; 4,17)	2,90±2,40 (-2,09-4,75; 3,73)	12,74±1,68 (10,29-14,07; 13,54)	0,29±0,03 (0,24-0,32; 0,30)	0,23±0,17 (-0,15-0,35; 0,27)
T10 (6)	4,50±1,86 (2,50-6,77; 4,02)	3,76±1,01 (2,50-4,99; 3,46)	12,32±1,85 (10,21-14,25; 12,45)	0,36±0,11 (0,24-0,47; 0,35)	0,30±0,05 (0,24-0,35; 0,30)
T11 (5)	4,40±0,33 (3,85-4,63; 4,55)	3,42±1,90 (2,14-6,67; 2,66)	13,01±0,69 (12,17-13,65; 13,20)	0,34±0,01 (0,32-0,37; 0,34)	0,27±0,16 (0,16-0,55; 0,21)
T12 (5)	4,39±0,82 (3,15-4,99; 4,87)	4,52±0,91 (2,94-5,16; 4,99)	12,00±1,47 (10,30-13,18; 12,87)	0,37±0,06 (0,30-0,46; 0,37)	0,37±0,05 (0,28-0,43; 0,38)
T13 (4)	5,79±0,45 (5,35-6,18; 5,81)	4,96±3,40 (4,63-5,44; 4,88)	12,83±1,22 (11,00-13,49; 13,42)	0,45±0,03 (0,41-0,49; 0,46)	0,39-0,06 (0,34-0,47; 0,37)
L1 (3)	2,99±1,36 (2,01-4,54; 2,41)	4,96±1,68 (3,70-6,87; 4,31)	10,78±1,83 (9,1-12,73; 10,51)	0,27±0,08 (0,22-0,36; 0,23)	0,45-0,09 (0,35-0,54; 0,47)
L2 (5)	3,92±1,07 (2,29-5,22; 4,81)	4,42±2,34 (2-7,91; 3,31)	14,28±3,07 (10,22-18,5; 14,98)	0,27±0,07 (0,22-0,41; 0,26)	0,30±0,12 (0,19-0,44; 0,22)
L3 (5)	4,68±1,26 (3,59-6,63; 4,49)	3,69±3,55 (1,11-9,14; 1,62)	14,30±1,79 (12,57-17,19; 14,31)	0,33±0,07 (0,25-0,39; 0,36)	0,25±0,21 (0,08-0,53; 0,13)
L4 (6)	4,01±1,70 (2,66-7,27; 3,26)	3,79±2,08 (0,85-6,63; 3,26)	12,82±2,99 (9,81-17,51; 12,13)	0,31±0,06 (0,22-0,41; 0,31)	0,30-0,13 (0,06-0,42; 0,31)
L5 (7)	3,85±0,87 (2,66-4,58; 4,34)	0,46±3,26 (-4,09-3,14; 1,39)	12,73±1,58 (11,60-15,92; 11,73)	0,31±0,08 (0,20-0,39; 0,32)	0,05±0,26 (-0,31-0,27; 0,09)
L6 (6)	3,39±0,60 (2,59-4,25; 3,38)	1,24±2,24 (-2,27-3,40; 1,66)	11,68±2,50 (10,29-16,72; 10,69)	0,29±0,04 (0,24-0,34; 0,30)	0,12-0,20 (-0,21-3,31; 0,16)
L7 (6)	2,23±0,48 (1,49-2,73; 2,35)	2,80±1,84 (-0,62-4,15; 3,65)	11,84±2,06 (10,42-15,52; 10,77)	0,19±0,06 (0,10-0,26; 0,20)	0,23±0,19 (-0,06-0,38; 0,32)

Tabella 2

In particolare, tale rapporto risultava significativamente maggiore per T13 rispetto a T8 (P=0,003), a T9 (P=0,01), a L1 (P=0,02), a L2 (P=0,009), a L4 (P=0,047), a L5 (P=0,037), a L6 (P=0,02) e a L7 (P<0,0001). Risultava altresì maggiore per T12 rispetto ad L7 (P=0,003), per T11 rispetto a L7 (0,03) e per T10 rispetto a L7 (P=0,003).

Allo stesso modo anche la ratio a-b/A-C risultava statisticamente differente tra le vertebre di diverso tipo (P=0,004) (fig.4.17)

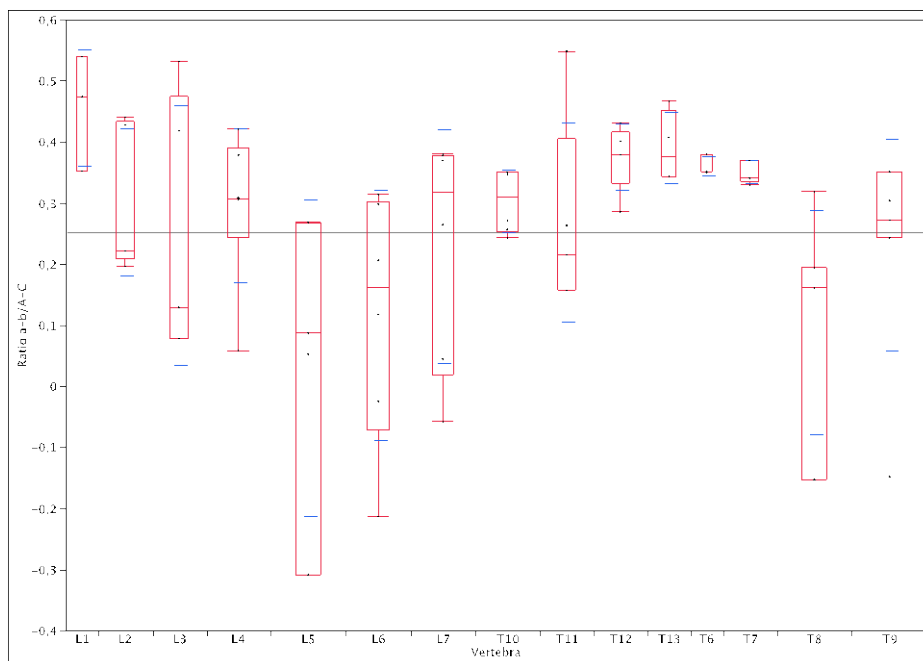
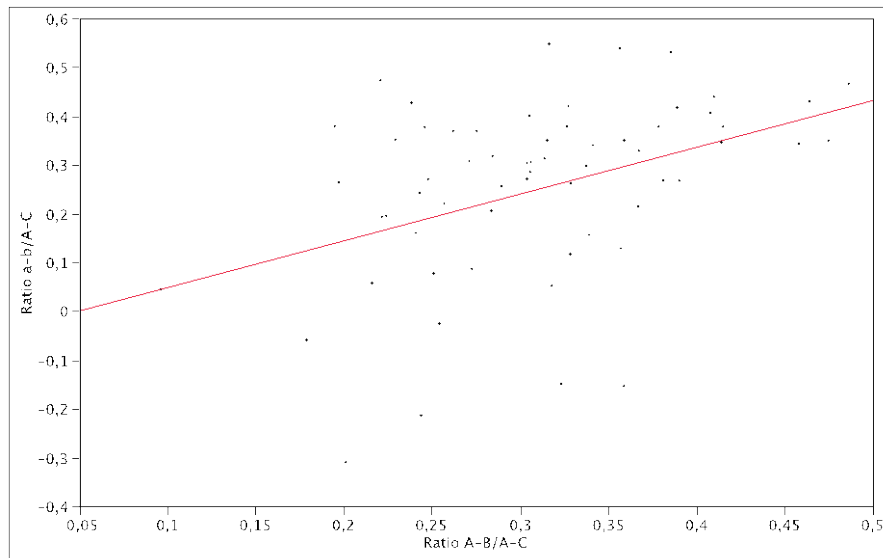


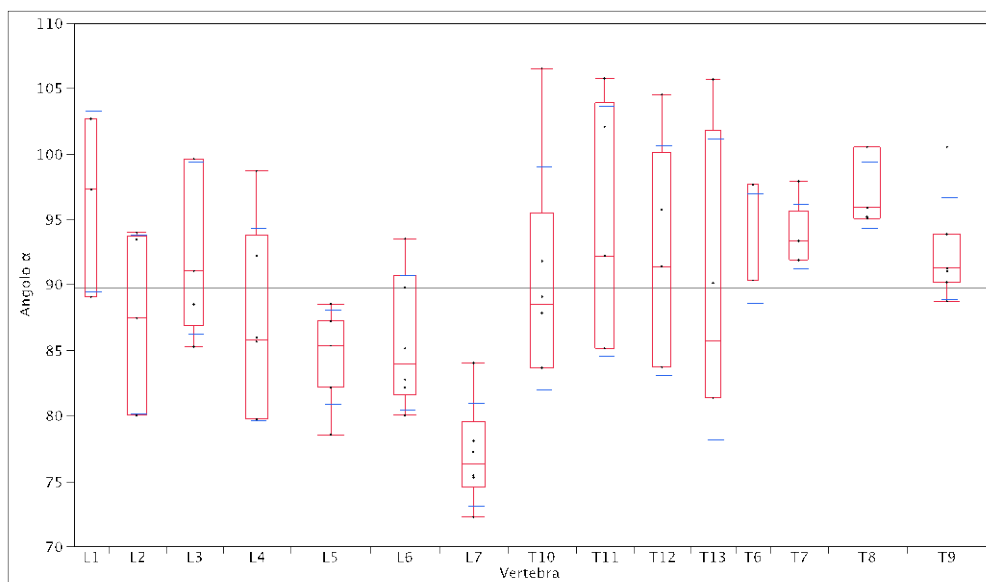
Figura 4.17: rappresentazione grafica la ratio a-b/A-C tra i differenti tipi di vertebre (ANOVA) di van derWaerden

In particolare, tale rapporto risultava significativamente maggiore per L1 rispetto a L5 (P=0,03). Tra i due rapporti è risultata una correlazione piuttosto bassa ( $r^2=0,17$ , P=0,0001). Fig. 4.18



**Figura 4.18** rappresentazione grafica della la ratio A-B/A-C e a-b/A-C valutata mediante retta di regressione

Considerando i singoli tipi vertebrali, la correlazione tra le due misurazioni era ottima per T6 ( $\rho=-1$ ,  $P=0,0000$ ), per T7 ( $\rho=-1$ ,  $P=0,0000$ ), per T10 ( $\rho=0,94$ ,  $P=0,005$ ), per L3 ( $\rho=0,89$ ,  $P=0,04$ ) e per L5 ( $\rho=0,85$ ,  $P=0,01$ ). Gli angoli misurati sono riportati in tabella 3; essi risultavano significativamente differenti tra le



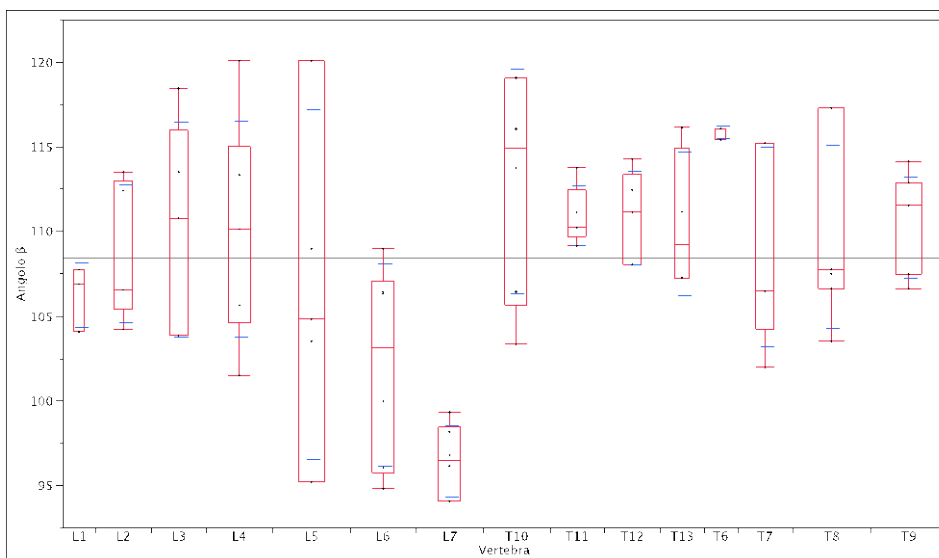
**Figura 4.19:** Rappresentazione grafica delle differenti misurazioni ottenute per gli angoli  $\alpha$  per i differenti tipi di vertebre (ANOVA) di vanderWaerden

diverse vertebre ( $\alpha$ ,  $P=0,0008$ ;  $\beta$ ,  $P=0,007$ ;  $\gamma$ ,  $P=0,03$ ). Tabella 3

In particolare,  $\alpha$  risultava significativamente minore per L7 rispetto a T7 ( $P=0,005$ ), a T8 ( $P<0,0001$ ), a T9 ( $P=0,003$ ), a T10 ( $P=0,04$ ), a T11 ( $P=0,003$ ), a T12 ( $P=0,02$ ), a L1 ( $P=0,005$ ) e a L3 ( $P=0,009$ ). Risultava altresì maggiore per T8 rispetto ad L5 ( $P=0,03$ ). Fig: 4.19

L'angolo  $\beta$  risultava significativamente minore per L7 rispetto a T6 ( $P=0,0004$ ), a T7 ( $P=0,02$ ), a T8 ( $P=0,004$ ), a T9 ( $P=0,002$ ), a T10 ( $P=0,0002$ ), a T11 ( $P=0,004$ ), a T12 ( $P=0,004$ ), a T13 ( $P=0,01$ ), a L2 ( $P=0,03$ ), a L3 ( $P=0,009$ ) e a L4 ( $P=0,004$ ).

Risultava inoltre maggiore per T6 rispetto ad L6 ( $P=0,048$ ). (Fig 4.20)



**Figura 4.20: Rappresentazione grafica delle differenti misurazioni ottenute per gli angoli  $\beta$  per i differenti tipi di vertebre ( ANOVA) di vanderWaerden**

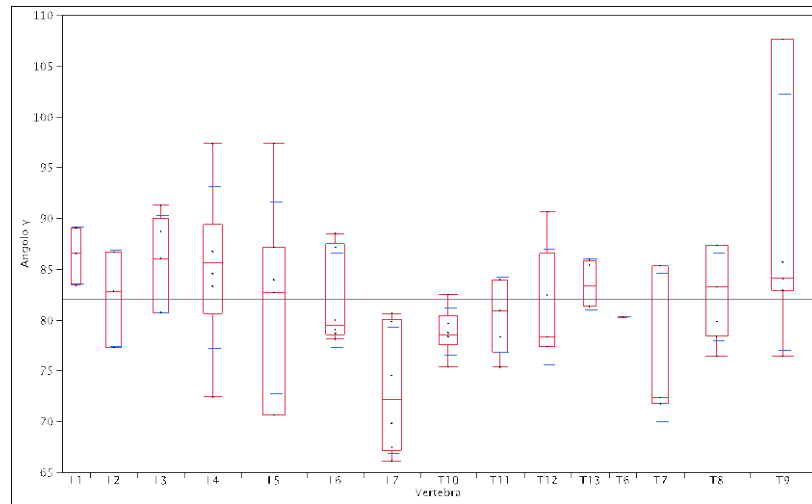


Figura 4.21: Rappresentazione grafica delle differenti misurazioni ottenute per gli angoli  $\gamma$  per i differenti tipi di vertebre (ANOVA) di vanderWaerden

L'angolo  $\gamma$  risultava significativamente maggiore per T9 rispetto a L7 ( $P=0,003$ ).

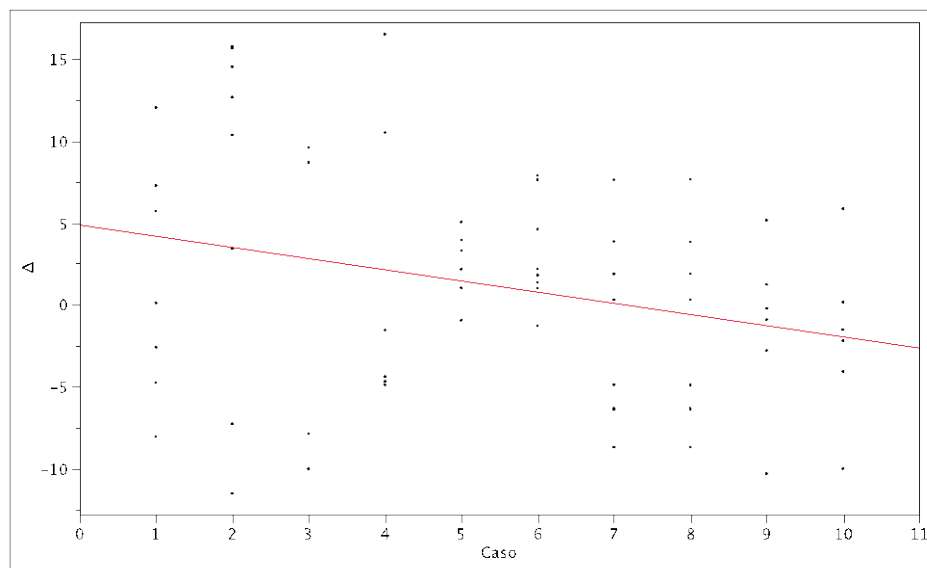
Vertebra	Angolo $\alpha$	Angolo $\beta$	Angolo $\gamma$
T6 (3)	92,75±4,23 (90,31-97,63; 90,31)	115,84±0,38 (115,4-116,06; 116,06)	80,24±0,03 (80,23-80,28; 80,23)
T7 (5)	93,65±2,47 (91,87-97,88; 93,32)	109,05±5,91 (101,94-115,20; 106,46)	77,26±7,32 (71,71-85,28; 72,33)
T8 (7)	96,85±2,51 (95,05-100,50; 95,86)	109,66±5,42 (103,49-117,29; 107,73)	82,23±4,25 (76,41-87,31; 83,21)
T9 (7)	92,76±3,89 (88,72-100,50; 91,24)	110,22±3,00 (106,60-114,13; 111,52)	89,57±12,64 (76,41-107,59; 84,03)
T10 (6)	90,41±8,50 (83,61-106,50; 88,45)	112,94±6,65 (103,31-119,07; 114,90)	78,81±2,31 (75,33-82,49; 78,52)
T11 (5)	94,04±9,53 (85,12-105,74; 92,18)	110,89±1,74 (109,14-113,75; 110,22)	80,47±3,71 (75,33-83,92; 80,89)
T12 (5)	91,80±8,78 (83,70-104,50; 91,36)	110,78±2,74 (108,03-114,26; 111,12)	81,20±5,66 (77,34-90,61; 78,29)
T13 (4)	89,61±11,48 (81,32-105,67; 85,72)	110,44±4,22 (107,24-116,14; 109,19)	83,47±2,53 (81,29-85,93; 83,33)
L1 (3)	96,32±6,84 (89,06-102,65; 97,26)	106,22±1,92 (104,05-107,73; 106,87)	86,31±2,81 (83,40-89,01; 86,52)
L2 (5)	86,96±6,86 (80,00-93,96; 87,42)	108,63±4,08 (104,19-113,50; 106,53)	82,10±4,70 (77,24-86,64; 82,79)
L3 (5)	92,79±6,55 (85,24-99,60; 91,03)	110,08±6,33 (103,83-118,45; 110,77)	85,46±4,75 (80,68-91,26; 86)
L4 (6)	86,97±7,38 (79,71-98,67; 85,77)	110,12±6,39 (101,48-120,08; 110,12)	85,17±8,00 (72,40-97,34; 85,63)
L5 (7)	84,43±3,62 (78,50-88,49; 85,32)	106,82±10,35 (95,17-120,08; 104,81)	82,13±9,36 (70,61-97,34; 82,64)
L6 (6)	85,54±5,13 (80,01-93,49; 83,93)	102,07±5,98 (94,78-108,97; 103,13)	81,87±4,64 (78,08-88,45; 79,45)
L7 (7)	77,03±3,95 (72,23-83,99; 76,32)	96,39±2,14 (94,02-99,29; 96,42)	73,04±6,25 (66,08-80,60; 72,13)

Tabella 3

Le simulazioni sono state effettuate su 3 cadaveri, ( 1 Pitbull, 1 Meticcio, 1 Border Collie) in questa fase come detto precedentemente, le prove interessavano solo tre vertebre.

#### *Curva di apprendimento*

Il grafico che segue mostra lo scostamento  $\Delta$  degli angoli ottenuti  $\alpha$  dall'ideale angolo di  $90^\circ$  con il procedere delle prove, mostra riduzione dello scostamento significativa (P)  $P=0,01^*$ . Per il tratto toracico non mostra una significativa riduzione (P)  $P=0,09$ , mentre per il tratto lombare mostra una riduzione dello scostamento statisticamente significativa con il procedere delle prove.



**Fig4.22: Rappresentazione Grafica scostamento/tempo di tutti i fori praticati (P=0,01)**

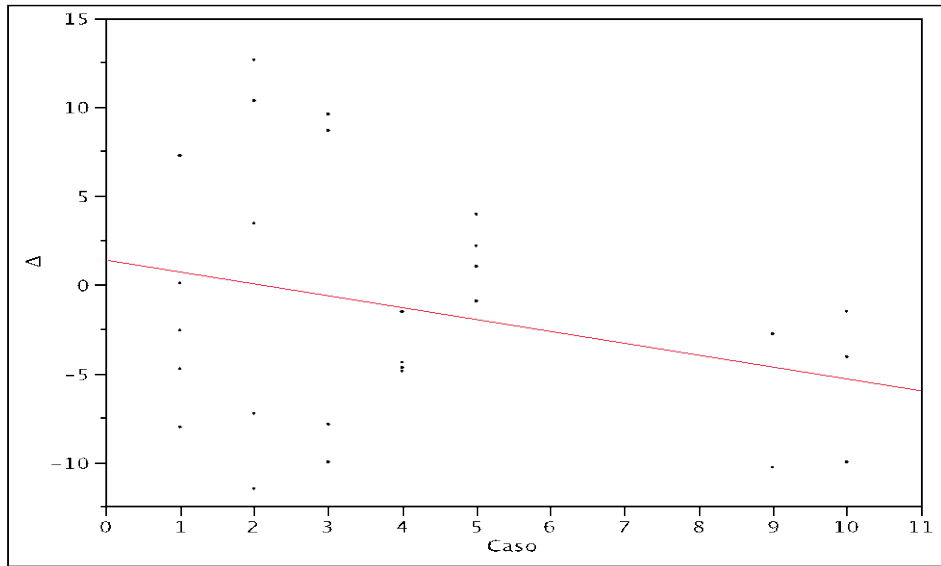


Fig 4.23: Rappresentazione Grafica scostamento/tempo dei fori sul tratto toracico (P=0,09)

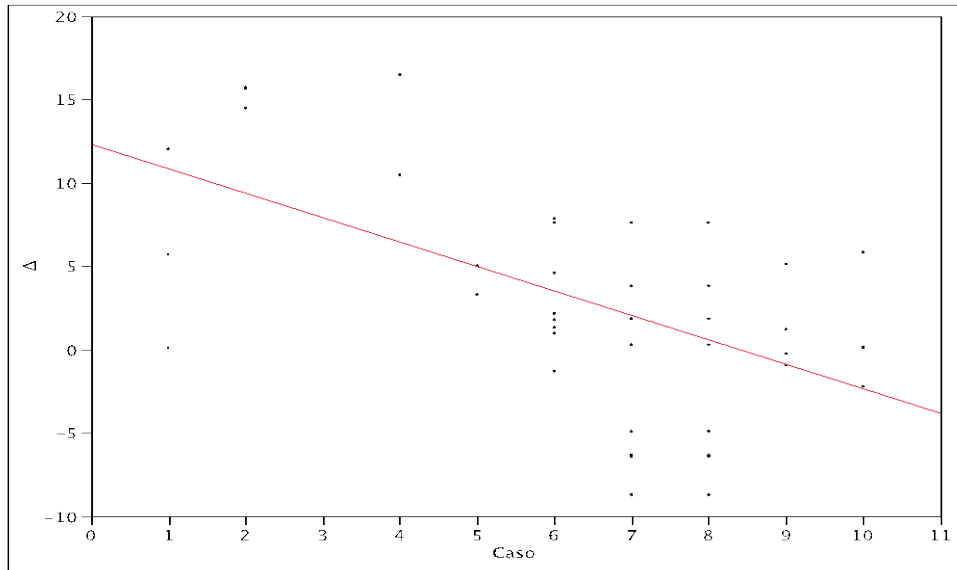


Fig 4.24: Rappresentazione Grafica scostamento/tempo dei fori sul tratto lombare ( P<0,0001\*)



## Discussione

La stabilizzazione delle fratture/lussazioni vertebrali può essere ottenuta con diverse tecniche chirurgiche<sup>18</sup>. Tale molteplicità di tecniche riflette le variazioni nella forma delle vertebre lungo la colonna vertebrale, come pure la necessità di preservare le strutture anatomiche adiacenti. Pertanto una singola tecnica non può essere universalmente applicata a tutte le fratture/lussazioni vertebrali e, come di norma, la tecnica selezionata dipende sia dallo specifico caso che dalla preferenze del chirurgo. Per le fratture vertebrali dei tratti toracico e lombare, le tecniche di stabilizzazione descritte in letteratura delineano un accesso dorso-laterale con successivo ancoraggio dei mezzi di sintesi al corpo vertebrale; per questo tipo di approccio sono stati evidenziati corridoi di sicurezza attraverso l'ausilio dell'esame TC e mediante prove con fluoroscopia<sup>53 54</sup>. Nei casi clinici descritti, la stabilizzazione era eseguita con l'ausilio della fluoroscopia<sup>56</sup>. Di tali corridoi sono stati anche evidenziati aspetti fondamentali quali l'angolazione da impartire ai mezzi di sintesi per preservare l'integrità del midollo spinale e delle strutture adiacenti<sup>53,54,56</sup>

Nel presente studio sono stati analizzati gli esami TC di rachide canino di 20 soggetti appartenenti a razze differenti, comprendendo soggetti di taglie anche molto diverse. Per ovviare alla differenza di dimensioni, si è ricorsi al confronto dei rapporti tra le diverse misurazioni eseguite e non delle misurazioni tal quali. L'attenzione è stata focalizzata sui tratti toracico e lombare del rachide, in particolare dalla quinta vertebra toracica alla settima vertebra lombare. Gli studi presenti in letteratura hanno invece indagato le possibilità terapeutiche relative

ad tratto più breve del rachide, cioè tutto il tratto lombare mentre per il tratto toracico solo le ultime 4 vertebre sono state prese in considerazione<sup>53,54,56</sup> .

Nello studio effettuato da Watine et al. (2006) sui corridoi di sicurezza, non viene descritto il “corridoio” per le prime nove vertebre toraciche per la difficoltà di accedervi dorso-lateralmente a causa della presenza dei processi spinosi, e per la bassa incidenza di fratture in questo tratto del rachide che, anche nei rari casi in cui si realizzano, sono molto stabili per l'imponente massa muscolare di copertura<sup>10</sup>. La scelta, nel presente studio, di includere anche la valutazione delle vertebre toraciche da T5 a T9 è stata effettuata per indagare una tecnica di stabilizzazione anche per le vertebre meno frequentemente interessate da fratture/lussazioni. Come esposto, per le ultime 4 vertebre toraciche sono stati descritti precedentemente corridoi dorsali-laterali in particolare, nello studio di Wheeler et al. (2002), nonostante fosse stata evidenziata la totale assenza di corridoi, l'inserimento di chiodi risultava agevole solo per le ultime due vertebre toraciche, mentre, procedendo cranialmente, la presenza del capitello costale deviava la direzione d'inserimento e non permetteva l'ancoraggio ad una sufficiente quantità d'osso nel corpo vertebrale.

Nel presente lavoro, nell'eseguire le misurazioni necessarie all'identificazione dei “safety corridors”, si è preso in considerazione la scansione TC nel punto medio rispetto all'asse longitudinale dei corpi vertebrali, individuando il segmento che corrispondeva al diametro trasverso maggiore, perpendicolare all'asse dorso-ventrale della vertebra. Questo segmento è stato considerato come ottimale sito di trapanazione, in quanto il corridoio ideale inizia lateralmente al corpo

vertebrale ed attraversa l'intero soma vertebrale permettendo di posizionare le viti nel punto medio del corpo vertebrale, favorendo l'ancoraggio dell'impianto ad una maggior quantità di osso spongioso ed interessando due corticali. Infatti, il principio della stabilizzazione delle fratture/lussazioni vertebrali è quello di utilizzare impianti filettati e/o viti bi-corticali più lunghi possibile, in modo da avere una migliore resistenza al pull-out, minori rischi di migrazione e di favorire maggior ancoraggio per il cemento<sup>38</sup>. Studi biomeccanici in vitro su vertebre canine hanno dimostrato che una traiettoria di impianto vicino al piano orizzontale aumenta la forza di tenuta dell'impianto grazie al maggior contatto con l'osso; tale traiettoria riduce, inoltre, il rischio di danneggiamento di strutture anatomiche importanti<sup>12</sup>.

A differenza degli studi presenti in letteratura dove è indicato come reperi la base dei peduncoli laterali delle vertebre<sup>53,54,56</sup>, i corridoi di sicurezza descritti nel presente studio corrispondono a reperi anatomici fissi; per le vertebre toraciche (base dell'articolazione costo-vertebrale in posizione caudo-ventrale) mentre, per le vertebre lombari, alla base del processo trasverso, a livello della corticale ventrale del processo stesso. Le ultime tre vertebre toraciche mostrano una leggera differenza di rapporti tra l'articolazione costo-vertebrale e il corpo della vertebra rispetto a quelle più craniali; difatti, l'articolazione si estende maggiormente in proiezione sul soma piuttosto che sullo spazio intervertebrale. Questa differenza si traduce in un margine di sicurezza maggiore, cioè si ottiene una maggiore distanza del foro dallo spazio intervertebrale. In altri termini si riduce il rischio di eseguire un foro ai limiti del soma, evitando di realizzare un

impianto mono-corticale e/o che interessi lo spazio intervertebrale. Si è, quindi, ipotizzata un'angolazione di 90° rispetto all'asse dorso-ventrale. Tale angolazione ridurrebbe il rischio di arrecare danni iatrogeni avendo un buon margine di sicurezza sia nei confronti del midollo spinale che delle strutture disposte ventralmente al rachide. Le strutture a rischio di danno, a livello di rachide toracico, sono: l'aorta toracica, la vena azigos, e la pleura; mentre, a livello lombare sono l'aorta addominale, la milza, il fegato, il tronco simpatico e la vena cava caudale. Inoltre, tale inclinazione del foro favorisce la realizzazione di un foro bi-corticale con ancoraggio ad una sufficiente porzione di osso.

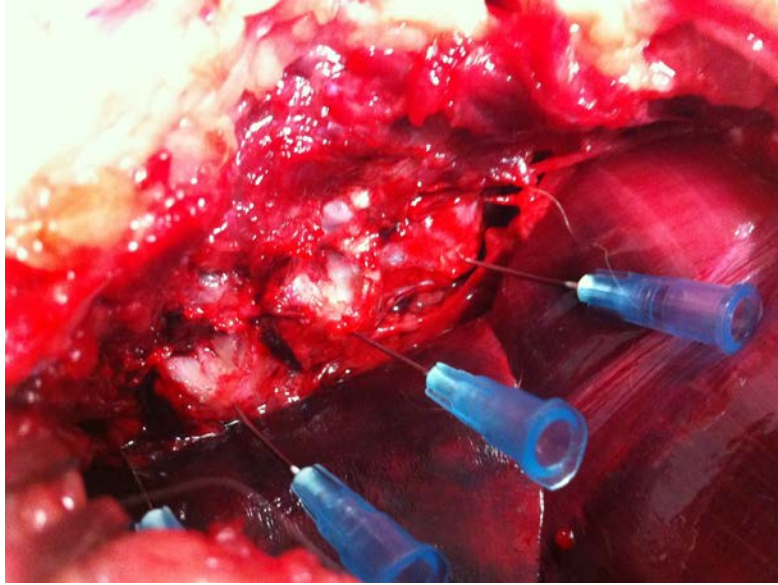
Dai risultati dell'analisi delle immagini TC è emerso che:

- la ratio A-B/A-C, ossia il rapporto tra margine di sicurezza (A-B) e altezza del corpo vertebrale (A-C), presenta una riduzione significativa solo per le ultime tre vertebre lombari, in particolare tale riduzione interessa maggiormente L7 e L6 rispetto a tutte le vertebre considerate.
- L'ampiezza dell'angolo  $\beta$ , cioè l'angolo descritto da un ipotetico foro con un'inclinazione limite rispetto al canale midollare, risulta minore solo per le due ultime vertebre lombari(L7 e L6) rispetto alle altre vertebre incluse nell'analisi.
- L'ampiezza dell'angolo  $\gamma$ , cioè l'angolo descritto da un foro con un'inclinazione limite per ottenere un foro bi-corticale e l'attraversamento di una sufficiente porzione di osso risulta significativamente minore per L7 rispetto a T13 e dalle prime quattro vertebre lombari.

Da quanto descritto evidenziato nei risultati è possibile notare come vi sia una progressiva riduzione, in senso cranio-caudale, del margine di sicurezza lungo il rachide, in particolare le ultime vertebre lombari mostrano una notevole riduzione di tale margine, caratteristica che condiziona anche l'ampiezza degli angoli  $\beta$  e  $\gamma$ . Gli angoli  $\beta$  per le due ultime lombari risultano inferiori in quanto il punto di repere laterale appare in posizione più dorsale rispetto al soma vertebrale, in altri termini, più vicino al canale midollare. Gli angoli  $\gamma$  risultano inferiori perché la conformazione di L7 e L6 offre abbondante porzione di osso per poter effettuare fori con angoli inferiori ai  $90^\circ$ . Alla luce di questa differenza abbiamo poi stabilito che per le ultime vertebre lombari, rispetto alle altre vertebre lombari, il punto di repere sia posto al di sotto della corticale inferiore del processo trasverso, in tal modo è possibile realizzare fori con angolo di  $90^\circ$  con un buon margine di sicurezza. Inoltre, per poter effettuare le trapanazioni nei corpi vertebrali di L6 ed L7 va eseguita l'osteotomia parziale della tuberosità iliaca, la rimozione di questa struttura anatomica agevola la manovra di trapanazione per L6, mentre è strettamente richiesta per esporre la superficie laterale del corpo di L7 ed effettuare un foro dalla superficie laterale del soma. Secondo la nostra esperienza, l'osteotomia del margine della tuberosità va realizzata senza interessare la tuberosità dell'anca (spina iliaca ventrale); in questo punto infatti origina il muscolo tensore della fascia lata, struttura muscolare deputata alla flessione del femore, tensione della fascia lata e estensione della gamba<sup>1</sup>.

Nel conteggio delle vertebre è possibile notare come il numero di vertebre L7 sottoposte al nostro studio sia superiore rispetto ad altre vertebre, la motivazione di tale differenza è dovuta a considerazioni eseguite nel corso dello studio stesso. Già dalle prime misurazioni, infatti, è stata evidenziata la riduzione del margine di sicurezza per questa vertebra. Per verificare che tale differenza potesse non interessare solo i primi soggetti che sono stati inclusi nello studio è stata approfondita la valutazione critica degli esami TC del tratto lombo-sacrale di soggetti appartenenti a differenti taglie/razze.

Sono state applicate due tecniche: nella prima si effettuavano prove con una singola trapanazione, interessanti solo il sito del repere, per verificarne l'effettiva affidabilità; nella seconda è stata valutata la possibilità di inserire una seconda vite nel corpo vertebrale utilizzando come repere il primo foro praticato nella porzione craniale, sito del repere individuato (margine articolare per le toraciche, corticale ventrale processo trasverso per le lombari). Inserendo degli aghi nei dischi intervertebrali craniali e caudali alla vertebra è possibile evidenziare i limiti del soma vertebrale, inoltre il posizionamento degli aghi alla stessa altezza del foro di riferimento permette di tracciare una linea immaginaria in modo da fornire un repere per la realizzazione di un secondo foro alla stessa altezza del primo.(Fig 4.25)



*Fig 4.25: Applicazione degli aghi durante una simulazione*

## ***Conclusioni***

I corridoi laterali impiegati, alla luce dei risultati conseguiti, offrono un buon margine di sicurezza e un buon ancoraggio per materiali di sintesi (viti/chiodi) per il tratto della rachide del cane sottoposto a studio (T6 - L7).

L'approccio laterale permette di orientare agevolmente le viti secondo l'asse e posizione pianificata; inoltre la buona visualizzazione dei corpi vertebrali permette di ottenere il posizionamento con ancoraggio bicorticale. Nelle prove da noi effettuate è stato evidenziato un miglioramento progressivo nell'esecuzione dei fori raggiungendo risultati soddisfacenti; in altri termini la curva di apprendimento dell'unico operatore rileva una progressiva riduzione dello scostamento ( $\Delta$ ) tra angolo ottenuto ed angolo ideale con risultati più significativi a partire dal quinto caso ( $P=0,01^*$ ). Tale differenza è risultata statisticamente significativa per il complesso delle prove, mentre considerando separatamente i risultati ottenuti per il tratto toracico e il tratto lombare si evidenzia un miglioramento significativo solo nel tratto lombare ( $P<0,0001^*$ ).

Per poter affermare che questo tipo di metodica risulti facilmente eseguibile ed affidabile occorrono approfondimenti clinici, valutazioni sistematiche e osservazioni dei risultati a lungo termine. La nostra esperienza clinica realizzata su pazienti portatori di fratture/lussazioni spinali, rispettando i parametri considerati in questo studio sperimentale, ci ha fornito risultati incoraggianti, tuttavia il ridotto numero di casi non ci consente ancora di trarre conclusioni attendibili.



## BIBLIOGRAFIA

1. Anatomia dei mammiferi domestici di Horst E. König, Hans-Georg Liebich 2005.§
2. Badoux . Biostatistica e biomeccanica generalità. In Getty R. : Anatomia degli animali domestici. Piccin Editore. Padova , vol I 1982.§
3. Bagley RS, 2000. Spinal fracture or luxation. Vet Clin North Am: Small Anim Pract 30:133 – 153.§
4. Bali MS, Lang J, Jaggy A, Spreng D, Doherr MG, Forterre F, 2009.Comparative study of vertebral fractures and luxations in dogs and cats. Vet Comp Orthop Traumat 22:47 – 53.§
5. Braund G.K. Trauma acuto del midollo spinale, In bojrab M.J.: Le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nei piccoli animali. Ed. Giraldi; 2002.§
6. Braund KG, Shores A, Brawner WR, 1990. The etiology, pathology, and pathophysiology of acute spinal cord trauma. Vet Med 85:684.§
7. Bruce CW, Brisson BA, Gyselinck K, 2008. Spinal fracture and luxation in dogs and cats: A retrospective evaluation of 95 cases. Vet Comp Orthop Traumatol 21:280 – 284.§
8. Choi WW, Green BA, Levi AD: Computer-assisted fluoroscopic targeting system for pedicle screw insertion. Neurosurgery 47:872-878, 2000).§
9. Colter SB. Spinal injuries. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1981 Feb;11(1):49-57.§

10. Feeney DA, Oliver JE, 1980. Blunt spinal trauma in the dog and cat: insights into radiographic lesions. *J Am Anim Hosp Assoc* 16:885 – 890. §
11. Foley KT, Simon DA, Ramper saund YR: Virtual fluoroscopy: Computer assisted fluoroscopic navigation. *Spine* 26:347351, 2001. §
12. Garcia JN, Milthorpe BK, Russell D, et al. Biomechanical study of canine spinal fracture fixation using pins or bone screws with polymethylmethacrylate. *Vet Surg* 1994;23: 322–329. §
13. Gopal MS, Jeffery ND, 2001. Magnetic resonance imaging in the diagnosis and treatment of a canine spinal cord injury. *J Small Anim Pract* 42:29 §
14. Griffiths IR. Trauma of the spinal cord. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1980 Feb;10(1):131-46. Review. §
15. Hawthorne JC, Blevins WE, Wallace LJ et al., 1999. Cervical vertebral fractures in 56 dogs: A retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc* 35:135 –146. §
16. Hoerlein BF, 1978. Spinal fractures, luxations and fusions. In *Canine neurology*, 3rd ed, Philadelphia, W.B. Saunders, pp 561 – 592. §
17. Jeffery N., Smith P, , Franklin R.: Potential Treatment for canine spinal cord injury. *Vet. Rec.* September 20: 372, 2003. §
18. Jeffery ND. : Vertebral fracture and luxation in small animals. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2010;40:809828. §

19. Kapatkin A.S. , Vite C.H.: Neurosurgical emergencies. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 2000 May;30(3):617-44, vii. Review§
20. Kinns J, Mai W, Seiler G, Zwingenberger A, Johnson V, Càceres A, ValdesMartinez A, Schwarz T, 2006. Radiographic sensivity and negative predictive value for acute canine spinal trauma. Vet Radiol & Ultrasound, Vol. 47, N° 6, pp 563 – 570.§
21. Kirby BM. : Spinal fracture/luxation. Vet Clin North Am Small Anim Pract. 1995 Sep;25(5):1149-74. Review.§
22. Koch DA, Montavon PM. A surgical method for the stabilization of traumatic subluxation, luxation and fractures of the thoracic and lumbar vertebrae in dogs and cats. Schweiz Arch Tierheilkd. 1998;140(10):413-8. German §
23. Kuntz CA, Sacral fractures in dogs: a review of 32 cases. Waldron D, Martin RA, Shires PK, Moon M, Shell L. J Am Anim Hosp Assoc. 1995 Mar-Apr;31(2):142-50.§
24. Lanz O. , Bergman R., Schell L. : Iniatial assessment of patients with spinal cord trauma. Vet Med. Vet. 95 (5) 851-853,2000.§
25. Lanz O. , Bergman R., Schell L.: Managing spinal Fractures and luxation in dog.Vet. Med. 95(5): 868-876, 1998.§
26. Le Couteur R.A.: Management of spinal trauma. 4<sup>th</sup> European FECAVA Scivac Congress227-302,1998.§

27. LeCouteur RA, Grandy JL, 2000. Diseases of the spinal cord. In Ettinger SJ, Feldman EC (eds): Textbook of Veterinary Internal Medicine, 5 ed. WB Saunders, Philadelphia, p 608.§
28. Matthiesen DT, 1983. Thoracolumbar spinal fractures/luxations: Surgical management. *Comp Cont Ed Small Anim Pract* 5:867 – 878.§
29. Mc Kee WM, 1990. Spinal trauma in dogs and cats: a review of 51 cases. *Vet Rec* 126:258 – 289.§
30. Olby N. The pathogenesis and treatment of acute spinal cord injuries in dogs. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2010 Sep;40(5):791-807. Review.§
31. Patterson RH e Smith GK: Back splinting for treatment of thoracic and lumbar fracture-luxation in the dog: principles of application and case series. *Vet Comp Orthop Traum* 5: 179, 1992§
32. Schulz KS et al: Application of ventral pins and polymethylmethacrylate for the management of atlanto-axial instability: results in nine dogs. *Vet Surg* 26: 317, 1997§
33. Schulz KS et al: Biomechanics of the thoracolumbar ventral column of dogs during lateral bending. *Am J Vet Res* 57: 1228, 1996§
34. Seim HB, 2002. Fundamentals of neurosurgery. In Fossum TW (ed): *Small Animal Surgery*, 2<sup>nd</sup> ed. Mosby-Year Book, St. Louis, p 1192.§
35. Seim HB, 2002. Surgery of the cervical spine. In Fossum TW (ed): *Small Animal Surgery*, 2<sup>nd</sup> ed. Mosby-Year Book, St Louis, p 1213.§

36. Seim HB, 2002. Surgery of the lumbosacral spine. In Fossum TW (ed):  
Small Animal Surgery, 2<sup>nd</sup> ed. Mosby-Year Book, St Louis, p 1302. §
37. Selcer RR, Bubb WJ, Wallker TL, 1991. Management of vertebral column  
fractures in dogs and cats: 211 cases (1977 – 1985). J Am Vet Med Assoc  
198:1965 – 1968. §
38. Sharp NJH, Wheeler SJ, 2005. Trauma. In Small animal spinal disorders  
diagnosis and surgery. 2nd ed. London, Mosby-Wolfe, pp 281-318 §
39. Fossum T.W. et al. : Chirurgia dei Piccoli Animali 3° ed. Edizioni Elsevier  
Masson 2008. §
40. Shores A, 1985. Intervertebral disc disease. In Newton CD, Nunamaker  
DM (eds): Textbook of Small Animal Orthopaedics. JB Lippincott,  
Philadelphia, p 739. §
41. Shores A, 1992. Spinal trauma: pathophysiology and management of  
traumatic spinal injuries. Vet Clin North Am: Small Anim Pract 22:859 –  
888. §
42. Shores A, Braund KG, Brawner WR, 1990. Management of acute spinal  
cord trauma. Vet Med 85:724. §
43. Shores A, Nichols C, Rochat M, Fox WR, 1989. Combined Kirschner-  
Ehmer device and dorsal spinal plate fixation technique for caudal  
lumbar vertebral fractures in dogs. J Am Vet Assoc 195:335. §

44. Slocum B, Rudy RL. Fractures of the seventh lumbar vertebra in the dog.  
J Am Anim Hosp Assoc 1975;11:167–74. §
45. Smith G.K. : Biomechanics Pertinent to Fracture Etiology, Reduction, fixation. In Textbook of Small Animal Orthopaedics. Edited by C.D. Newton D.M. Nunamaker. Philadelphia J.B. Lippincott, 1985.§
46. Smith GK e Walter MC: Fracture and luxations of the spine. In : CD Newton and D Nunamaker “Textbook of Small Animal Orthopedics” 307, Philadelphia, JB Lippincot, 1985.§
47. Smith GK e Walter MC: Spinal decompressive procedures and dorsal compartment injuries: comparative biomechanical study in canine cadavers. Am J Vet Res 49: 266, 1988§
48. Sturges BK e LeCouteur RA, 2003 in “ Textbook of small animal surgery - 3rd edition” Douglas Slatter; W.B. Saunders Company- Philadelphia,Pensylvania.§
49. Thacher C.: Biomeccanica delle fratture e lussazioni del cranio e della colonna vertebrale. In bojrab M.J.: le basi patogenetiche delle malattie chirurgiche nel cane e nel gatto. Ed Giraldi, 2001.§
50. Ullman SL, Boudrieau RJ, 1993. Internal skeletal fixation using a Kirschnerapparatus for stabilization of fracture/luxations of the lumbosacral joint in six dogs: A modification of the transileal pin technique. Vet Surg 22:11.§

51. Voss K, Montavon PM. Tension band stabilization of fractures and luxations of the thoracolumbar vertebrae in dogs and cats: 38 cases (1993–2002). *J Am Vet Med Assoc* 2004;225(1):78–83. §
52. Walker TL, Tornlinson J, Sorjonen DC, et al., 1983. Diseases of the spinal column. In Slatter DH, ed: *Textbook of Small Animal Surgery*. Philadelphia, WB Saunders, p 1367. §
53. Watine S, Cabassu JP, Catheland S, et al. Computed tomography study of implantation corridors in canine vertebrae. *J Small Anim Pract* 2006;47:651–
54. Wheeler JL, Cross AR, Rapoff AJ. A comparison of the accuracy and safety of vertebral body pin placement using a fluoroscopically guided versus an open surgical approach: an in vitro study. *Vet Surg* 2002;31:468–474. §
55. Wheeler SJ, Sharp NJH, 1994. *Small Animal Spinal Disorders: Diagnosis and Surgery*. Mosby-Wolfe, London. §
56. Wheeler JL, Lewis DD, Cross AR, Sereda CW Closed fluoroscopic-assisted spinal arch external skeletal fixation for the stabilization of vertebral column injuries in five dogs. §
57. Wong W. T. Emms S. G. : Use of pins and methyl-methacrylate in stabilisation of spinal fractures and luxations (pages 415–422) 1992 §

58. Zindrick, MR, Wiltse, LL, Widell, EH et all. A biomechanical study of intrapeduncular screw fixation in the lumbosacral spine. Clinical Orthopaedics and Related Research 1986; 203: 99–112. §
59. Bergman R. Lanz O. Schell L. :A review of experimental and clinical treatment for acute spinal cord injury. Vet.Med. 855-866 , 2000 §
60. Bergman R. Lanz O. Schell L. : Acute Spinal Cord trauma Mechanism and clinical syndromes. Vet Med 95 (5) 846-848, 2000 §
61. Boudrieau R. Sharp N. : Fratture-lussazioni vertebrali: quale è il trattamento più indicato? Atti del 38° Congresso Nazionale SCIVAC 115-120, 1998. §
62. Braund GK Manuale di neurologia dei piccoli animali. Ed Giraldi, 2002. §
63. AnnL Johnson John EF Houlton Rico Vannini AO Principles of Fracture Management in the Dog and Cat. §