



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

DOTTORATO DI RICERCA IN

Scienze Veterinarie

Ciclo XXXVII

Settore Concorsuale: 07/H5

Settore Scientifico Disciplinare: Vet/09

Bologna Healing Stifle Injury Index nel monitoraggio del processo di guarigione dei cani trattati con “Tibial Plateau Levelling Osteotomy” per la rottura del legamento crociato craniale e confronto della progressione dell’osteoartrite tra tecniche osteotomiche

Presentata da: Chiara Tassani

Coordinatore Dottorato

Prof.ssa Carolina Castagnetti

Supervisore

Prof.ssa Stefania Pinna

Esame finale anno 2025

ABSTRACT

La rottura del legamento crociato craniale è una patologia comune che interessa l'articolazione del ginocchio del cane ed è classificata come la principale causa di zoppia.

Sono presenti diversi studi in letteratura veterinaria, volti alla valutazione e confronto delle diverse tecniche chirurgiche utilizzate, in termini di recupero funzionale e complicazioni.

Il Bologna Healing Stifle Injury Index (BHSII) è un questionario realizzato e validato presso il Dipartimento di Scienze Mediche Veterinarie dell'Università di Bologna nel 2019 allo scopo di valutare il processo di guarigione dell'articolazione del ginocchio a seguito del trattamento chirurgico della rottura del legamento crociato nel cane. A differenza dei più comuni questionari già presenti e utilizzati in letteratura, tale strumento possiede sia una sezione relativa alla valutazione clinica compilata dal Medico veterinario, sia una sezione relativa alla percezione della qualità di vita del paziente rivolta al proprietario.

Dopo il processo di validazione, il BHSII è stato utilizzato per la prima volta mettendo a confronto tre diverse tecniche, Paatsama, Tight Rope (TR) e Tibial Tuberosity Advancement (TTA), e, sebbene tutte le tecniche abbiano raggiunto un risultato positivo al termine della valutazione, l'applicazione del BHSII ha permesso di differenziare i risultati in ogni momento e di stimolare la discussione sulla rapidità e sul grado di guarigione di ciascuna tecnica.

Questi risultati preliminari hanno supportato l'utilizzo di tale strumento per confrontare, non solo diverse tecniche utilizzate per il trattamento del legamento crociato craniale, ma anche, nell'ambito della patologia stessa, valutarne nello specifico determinati parametri clinici e nell'ambito di una stessa tecnica chirurgica utilizzata, come variano tali parametri nel corso della guarigione.

L'obiettivo principale di questo progetto è stato quello di approfondire la valutazione del processo di guarigione durante i 6 mesi successivi al trattamento chirurgico, ponendo l'attenzione su una tecnica osteotomica, la "Tibial Plateau Leveling Osteotomy" (TPLO), utilizzando il BHSII per raccogliere sia una valutazione soggettiva da parte del proprietario, sia una valutazione oggettiva da parte del medico veterinario, confrontando e correlando i dati raccolti per poter avere un'analisi più completa possibile dello stato clinico del paziente. Sono stati valutati i punteggi globali ottenuti dalle due sezioni principali del questionario, e successivamente si è posta attenzione su alcuni dei principali parametri clinici valutabili come zoppia, dolore e range of motion. I risultati ottenuti hanno evidenziato un miglioramento

statisticamente significativo nei 6 mesi postoperatori, ma si sono evidenziate differenze interspecifiche tra i differenti aspetti valutati che sono stati approfonditi e discussi.

Inoltre, tenendo conto della fisiopatologia della rottura del legamento crociato, che porta allo sviluppo di osteoartrosi e degenerazione articolare a causa dell'instabilità dell'articolazione, è stato valutato il processo di guarigione anche dal punto di vista radiografico, attribuendo un grado di osteoartrosi durante lo stesso periodo sperimentale (6 mesi). L'analisi è stata condotta mediante attribuzione di un punteggio da 0 a 3 in 14 localizzazioni radiografiche, e la somma di questi ha permesso di ottenere un punteggio globale del grado di osteoartrosi dell'articolazione del ginocchio. In ultimo, è stato eseguito un confronto tra la progressione della degenerazione articolare di pazienti sottoposti a TPLO e pazienti sottoposti a un'altra tecnica osteotomica, la "Tibial Tuberosity Advancement" (TTA). Sono stati confrontati i punteggi globali e ogni singola localizzazione anatomica, per verificare quale punto dell'articolazione fosse maggiormente soggetto ad alterazione. Considerando gli studi già presenti in letteratura, la valutazione del grado e sviluppo di osteoartrosi rimane ad oggi molto controverso e mostra dei risultati discordanti relativi al confronto tra tecniche chirurgiche, per questo è stato oggetto di attenzione in questo progetto. Lo studio specifico della modificazione di ciascuna localizzazione radiografica è stato il punto di partenza per un approfondimento sulla biomeccanica di queste due tecniche chirurgiche attraverso una ricerca bibliografica accurata. Infatti, la progressione dell'osteoartrosi permane anche a seguito di trattamento, ma si esplica in modo differente nelle diverse localizzazioni radiografiche, coerentemente con le proprietà biomeccaniche ottenute dalle due tecniche chirurgiche descritte. Nonostante non si identifichi una tecnica migliore per il trattamento del legamento crociato nel cane, questi dati ampliano ulteriormente la valutazione del processo di osteoartrosi che ne deriva, e pongono le basi per nuovi studi con un maggior numero di casi e nel confronto di altre tecniche intracapsulari ed extracapsulari.

Sommario

Articolazione del ginocchio nel cane	1
Anatomia dell'articolazione del ginocchio	1
Anatomia radiografica dell'articolazione del ginocchio	3
Biomeccanica dell'articolazione del ginocchio	5
Rottura del legamento crociato craniale nel cane	9
Fisiopatologia	9
Trattamenti.....	10
Tibial plateau levelling osteotomy (TPLO).....	11
Tibial tuberosity advancement (TTA)	16
Osteoartrosi	19
Scoring system per la valutazione del grado di osteoartrosi.....	22
Bologna Healing Stifle Injury Index (BHSII)	24
Obiettivi dello studio	29
Materiali e metodi	30
Risultati	34
Valutazione e confronto dei parametri clinici e comportamentali definiti dal proprietario del BHSII durante il periodo di guarigione dopo intervento di TPLO.....	34
Valutazione della progressione di osteoartrosi associata alla TPLO.....	43
Progressione di osteoartrosi a confronto TPLO vs TTA	47
Discussioni	52
Conclusioni	64
Bibliografia	66

ARTICOLAZIONE DEL GINOCCHIO NEL CANE

Anatomia dell'articolazione del ginocchio

L'articolazione del ginocchio è una complessa articolazione sinoviale condilare. I condili femorali che presentano una forma rotondeggiante, si articolano con i condili tibiali, che al contrario si presentano lievemente convessi (articolazione femoro-tibiale). La patella, altresì definita rotula o fabella, che costituisce il più grande sesamoide dell'apparato appendicolare, si articola alla troclea femorale e contestualmente si connette alla tuberosità tibiale mediante il legamento rotuleo, che permette il movimento congiunto di tutte e tre le strutture. La capsula articolare è costituita da tre spazi intercomunicanti. Due sono localizzati tra i condili femorali e tibiali, mentre il terzo al di sotto della patella. Nello strato fibroso della capsula articolare, nell'area che si estende distalmente alla patella, si sviluppa grande quantità di grasso, definito corpo adiposo infrapatellare. Nello strato fibroso della capsula si sviluppano i menischi laterale e mediale, due strutture semilunari fibro-cartilaginee, che separano le due sacche principali in parte femoro-meniscale e tibio-meniscale. I menischi, con il loro aspetto concavo sul versante assiale e convesso sul versante abassiale, compensano la naturale incongruenza dei condili femorali e tibiali (**Figura 1**) (*Carpenter and Cooper, 2000*).

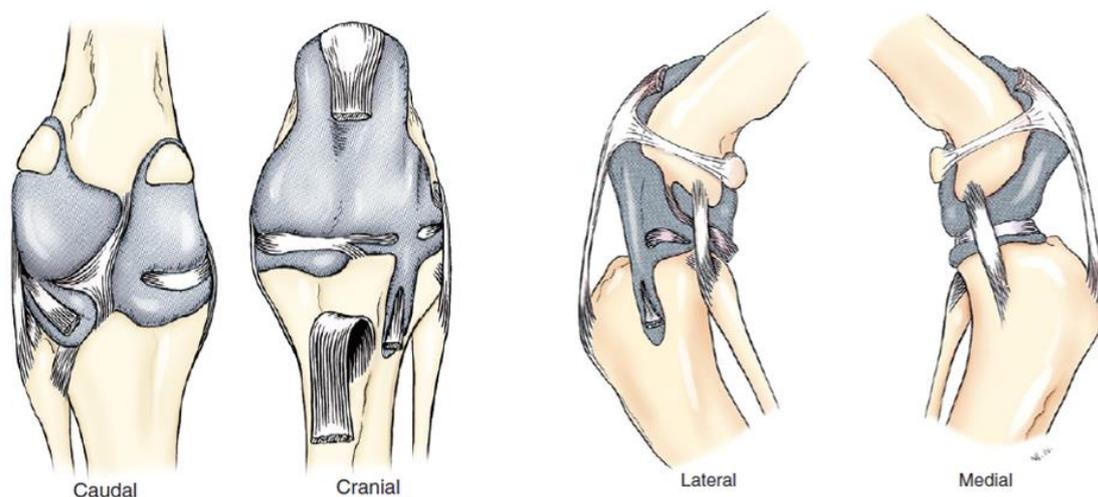


Figura 1. rappresentazione grafica dell'articolazione del ginocchio del cane, nei suoi quattro versanti: caudale, craniale, laterale e mediale. Modificato da Miller, M. E., Evans, H. E., Christensen, G. C. (1979). *Miller's Anatomy of the Dog*.

I numerosi legamenti presenti nell'articolazione contribuiscono a definire e approfondire le connessioni tra i segmenti ossei e cartilaginei. La patella è connessa alla tuberosità tibiale grazie al legamento patellare, e ai due sesamoidi femorali laterale e mediale attraverso i legamenti femoro-patellare mediale e laterale. I legamenti meniscali sono 6 in totale, di cui 4 connettono i menischi alla tibia, uno connette il menisco laterale al femore e uno trasverso connette i due menischi tra loro. I legamenti femoro-tibiali sono 4: due legamenti collaterali mediale e laterale e due legamenti crociati.

Il legamento collaterale mediale si estende dall'epicondilo mediale al versante mediale della tibia circa 2 cm al di sotto del condilo tibiale. Il legamento collaterale laterale, simile per struttura e lunghezza al mediale, passa al di sopra dell'origine del tendine del muscolo popliteo, terminando a livello di testa della fibula. Il legamento crociato craniale decorre dal versante caudo-mediale del condilo laterale del femore, in direzione obliqua ventro-medio-craniale, all'area intercondiloidea craniale della tibia. Il legamento è costituito da due parti: la banda cranio-mediale, più sottile, e la banda caudo-laterale più spessa. Il legamento crociato caudale decorre dalla superficie laterale del condilo femorale mediale, in direzione obliqua caudo-distalmente, al bordo laterale dell'incisura poplitea della tibia. I due legamenti crociati, da cui deriva il nome, si intersecano a livello delle estremità prossimali (*Miller et al., 2013*) (**Figura 2**).

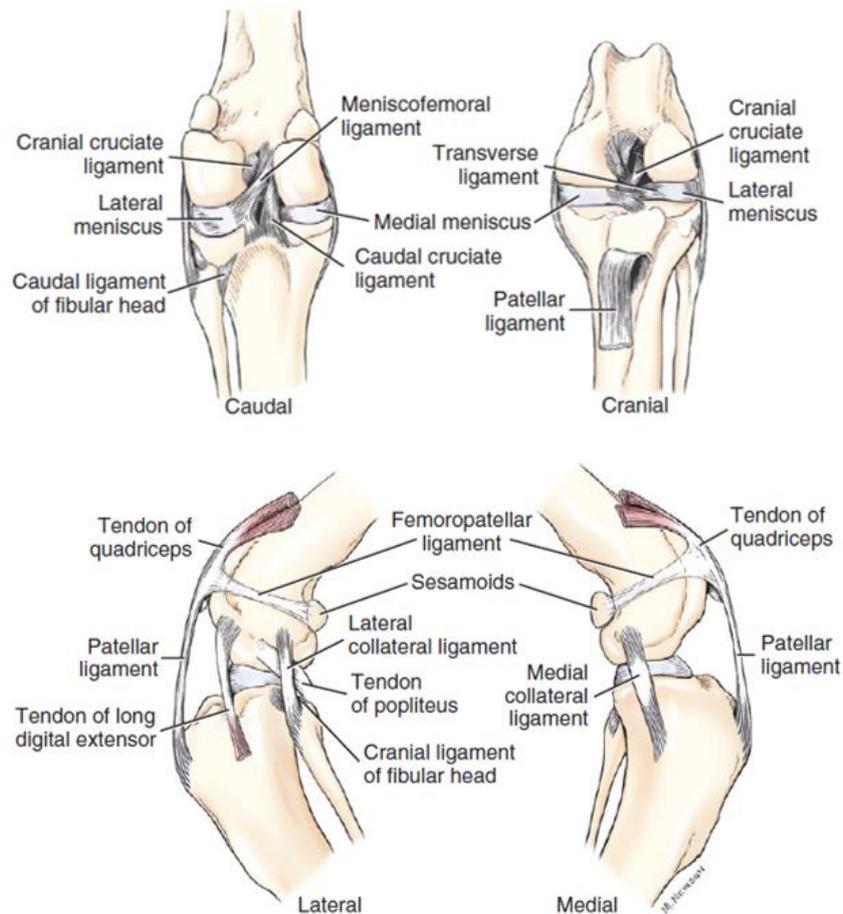


Figura 2. Rappresentazione grafica del ginocchio del cane, con attenzione particolare ai legamenti e tendini. Modificato da Miller, M. E., Evans, H. E., Christensen, G. C. (1979). Miller's Anatomy of the Dog.

Anatomia radiografica dell'articolazione del ginocchio

Lo studio radiografico del ginocchio viene eseguito su due proiezioni ortogonali, medio-laterale e caudo-craniale (**Figura 3**).

Prossimalmente la parte distale del femore è costituita dai condili femorali laterale e mediale. Cranialmente è presente una cresta ossea sul margine assiale di ciascun condilo, delimitando così la troclea femorale. Caudalmente, si rileva una depressione tra i condili che è detta fossa intercondiloidea.

L'aspetto cranio-laterale del condilo laterale presenta una depressione che identifica l'attacco prossimale del muscolo estensore lungo delle dita (fossa dell'estensore). Questa fossa viene visualizzata nella proiezione medio-laterale come difetto concavo appena distale all'apice della rotula, e nella proiezione caudo-craniale come regione radiotrasparente mal definita nell'aspetto distale del condilo laterale.

La patella è il più grande sesamoide dell'articolazione del ginocchio e la sua posizione sulla proiezione medio-laterale dipende dal grado di flessione. Nella proiezione caudo-craniale ben eseguita, la rotula si trova tra i due condili femorali, sovrapposta alla regione della troclea.

Nei tendini del muscolo gastrocnemio si trovano due sesamoidi. Il sesamoide del gastrocnemio mediale è di solito di minori dimensioni e posizionato più distalmente rispetto a quello laterale. Occasionalmente, non si osserva il sesamoide mediale.

Esiste anche il sesamoide del muscolo popliteo, che non è presente in tutti i soggetti. Spesso si visualizza solo nella proiezione medio-laterale, in quando in quella ortogonale non si visualizza per sovrapposizione con altre strutture.

Caudalmente al legamento patellare, tra l'aspetto cranio-distale del femore e cranio-proximale della tibia, si evidenzia il grasso retropatellare. Si presenta meno radiopaco rispetto alla radiopacità tissulare.

I menischi non possono essere valutati radiograficamente e si trovano nello spazio compreso tra i condili femorali e tibiali (Thrall and Robertson, 2016).

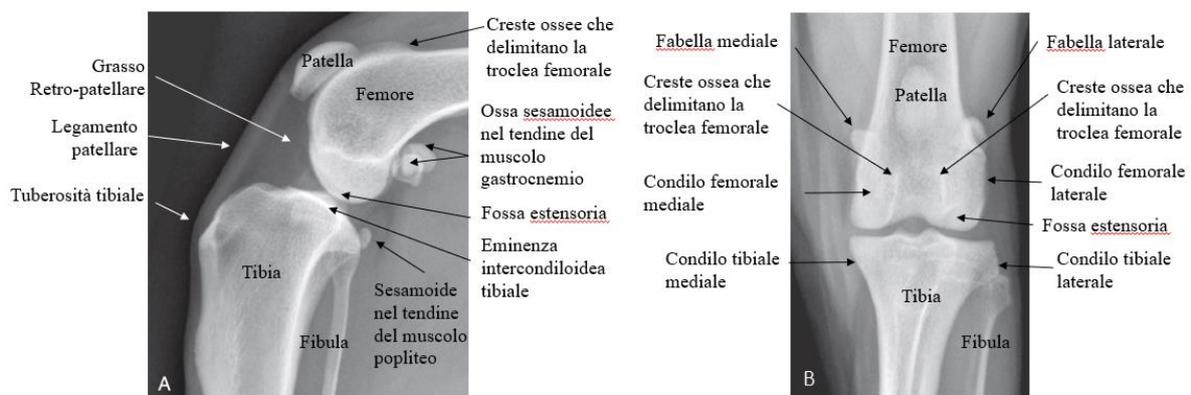


Figura 3. Studio radiografico di un ginocchio normale in due proiezioni ortogonali, medio-laterale (A) e caudo-craniale (B). Modificato da Thrall, D. E., Robertson, I. D. (2016) *Pelvic Limb*. In: Thrall, D. E., Robertson, I. D. *Atlas of normal radiographic anatomy & anatomy variants in the dog and cat*. 2^a Edizione. 136-181. Elsevier Health Sciences.

BIOMECCANICA DELL'ARTICOLAZIONE DEL GINOCCHIO

L'articolazione del ginocchio normale consente movimenti su tre piani. L'angolo normale del ginocchio prevede un'escursione di 120° , da una massima estensione di 160° a una massima flessione di 40° (Jaegger *et al.*, 2002).

Il movimento di flesso-estensione è una combinazione di rotolamento e scivolamento del femore sulla tibia. Tale movimento è asimmetrico, in quanto il contatto femoro-tibiale avviene più caudalmente sul condilo tibiale laterale rispetto al condilo tibiale mediale, risultando in un'intrarotazione di 6° - 15° durante la flessione.

L'articolazione fabello-femorale è strettamente correlata alla cinematica di quella femoro-tibiale, in quanto a flessione del ginocchio, corrisponde uno spostamento in senso distale della fabella lungo il solco trocleare.

Durante l'estensione invece, la contrazione del muscolo quadricipite genera una forza in direzione cranio-caudale, che causa uno spostamento prossimale della patella sul solco trocleare.

I movimenti del ginocchio risultano da un'azione combinata dei muscoli estensori: muscolo quadricipite ed estensore lungo delle dita, e flessori: muscolo bicipite femorale, flessore superficiale delle dita, gastrocnemio, semitendinoso, gracile e parte del sartorio (che costituiscono il pes anserinus). L'equilibrio tra il momento di estensione e flessione (prodotto tra l'intensità della forza e la distanza della linea di trazione muscolare dal centro dell'articolazione) contribuiscono a generare stabilità dinamica, quindi, quando la somma dei momenti di flessione ed estensione si equivalgono, il ginocchio rimane neutro (Tepic *et al.*, 2002; Martini *et al.*, 2006) (**Figura 4**).

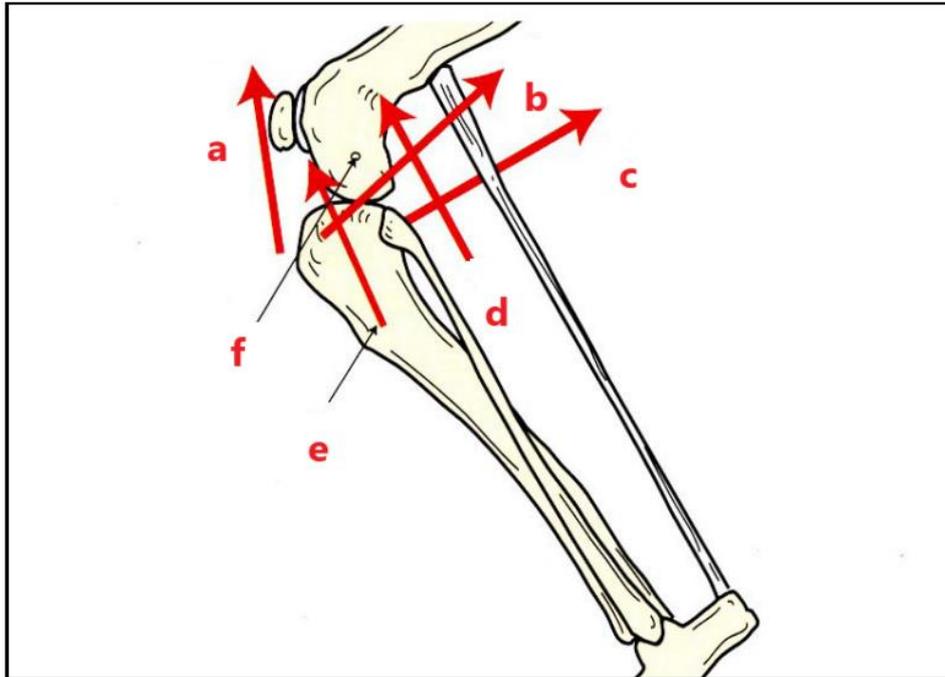


Figura 4. Rappresentazione delle forze generate dai muscoli estensori del ginocchio: a) quadricipite ed e) estensore lungo delle dita, eguagliano quelli dei muscoli flessori: b) bicipite femorale, c) pes anserinus e d) flessore superficiale delle dita. Modificato da Martini, Filippo Maria: *Patologie articolari nel cane e nel gatto*. Poletto editore. 2006)

La stabilità completa dell'articolazione viene raggiunta grazie a due gruppi di strutture, definiti come stabilizzatori primari e secondari. I legamenti crociati e i collaterali rappresentano gli stabilizzatori primari.

Le forze di taglio che permetterebbero i movimenti di scivolamento latero-mediali e le forze assiali di compressione e distrazione vengono bloccate dalla presenza dei legamenti collaterali mediale e laterale. Le forze torsionali invece non vengono completamente annullate, permettendo movimenti in varo o valgo ed extra-intra rotazioni di circa 20° (Korvick *et al.*, 1994). In particolare, il legamento collaterale laterale da solo limita la rotazione laterale della tibia, mentre il legamento collaterale mediale e il legamento crociato craniale limitano la rotazione mediale della tibia (Vasseur and Arnoczky, 1981).

Il legamento crociato craniale limita, inoltre, l'iperestensione del ginocchio grazie al contatto della fossa intercondiloidea craniale femorale (Martini, 2006), l'intrarotazione della tibia, e lo spostamento in senso craniale della tibia sul femore. Il legamento crociato caudale invece, limita lo spostamento in senso caudale della tibia e contribuisce a impedire un'eccessiva intra ed extrarotazione (Arnockzky and Marshall, 1977).

I menischi rappresentano invece gli stabilizzatori secondari. Sono entrambi connessi al piatto tibiale grazie ai legamenti craniali e caudali. Il menisco laterale è connesso anche al condilo femorale laterale grazie al legamento menisco-femorale, che ne permette un movimento libero durante il movimento dell'intera articolazione. Il menisco mediale, al contrario, è connesso al piatto tibiale e al legamento collaterale mediale e non ha libertà di movimento (*Pozzi et al., 2006; Pozzi and Kim, 2010*).

Durante la flessione dell'articolazione, solo la banda cranio-mediale del legamento crociato craniale rimane tesa, mentre la banda caudo-laterale e il legamento collaterale laterale sono rilassati, in modo da permettere l'intrarotazione della tibia. Il grado di flessione viene limitato dal contatto della regione tarsale sulla muscolatura caudale della coscia.

Durante l'estensione entrambe le bande del legamento crociato craniale sono in tensione.

Slocum e Slocum, nel 1993, hanno descritto un modello biomeccanico che considera le strutture stabilizzatrici l'articolazione del ginocchio, le forze di carico durante il movimento e la contrazione muscolare. La compressione tibiale craniale (cranial tibial thrust), è una forza risultante dalla compressione dei condili femorali sul piatto tibiale durante il carico, che non trovando perpendicolarità con l'asse funzionale del ginocchio, si scompone in una forza peso che agisce lungo l'asse funzionale della tibia e una forza di taglio che la spinge cranialmente (*Slocum and Slocum, 1993*). Tale forza viene influenzata anche dai muscoli estensori della gamba, quali muscolo quadricipite femorale ed estensore lungo delle falangi, gastrocnemio e flessore superficiale delle dita, che esercitano una forza craniale sulla tibia grazie al legamento tibio-rotuleo e la rotula che funge da fulcro (*Martini, 2006*) (**Figura 5**).

La compressione craniale tibiale, viene contrastata, però, dal legamento crociato craniale, dalla porzione caudale del menisco mediale e dai muscoli flessori, in particolare il bicipite femorale e i muscoli mediali che compongono il pes anserinus: muscolo semitendinoso, gracile e la fascia caudale del sartorio (*Jerram and Walker, 2003; Martini, 2006*).

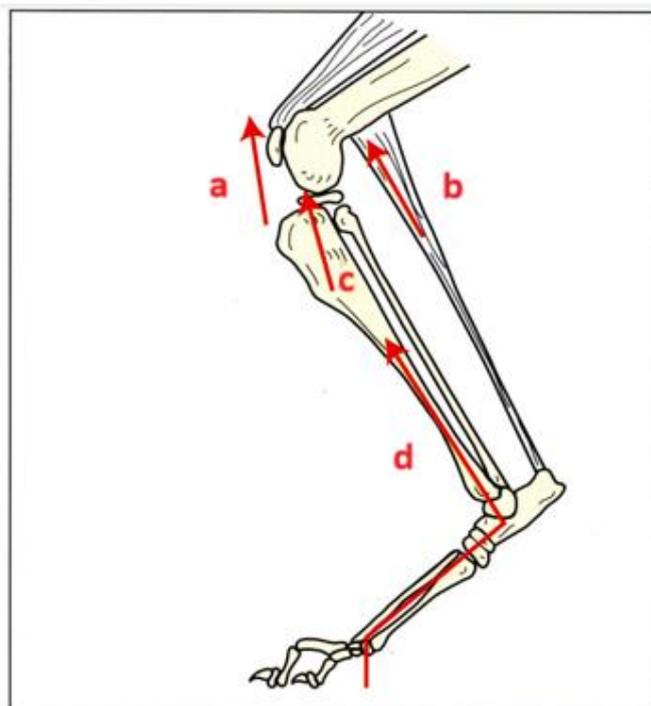


Figura 5. Rappresentazione delle forze che agiscono durante il carico dell'arto posteriore, imposte da a) muscolo quadricipite femorale, b) muscoli estensori del tarso (gastrocnemio e flessore superficiale delle dita), c) muscolo estensore lungo delle falangi. Modificato da Martini, Filippo Maria: *Patologie articolari nel cane e nel gatto*. Poletto editore. 2006.

ROTTURA LEGAMENTO CROCIATO CRANIALE

La rottura del legamento crociato craniale è la patologia ortopedica più comunemente diagnosticata nel cane (*Dupuis and Harari, 1993; Moore and Read 1996; Vasseur, 2003*) e la causa più frequente di degenerazione articolare (*DeCamp et al., 2016*). La rottura può essere completa o parziale, con conseguenti differenti gradi di instabilità dell'articolazione.

Fisiopatologia

La rottura del legamento crociato craniale è una patologia considerata multifattoriale, in quanto dipendente sia da fattori predisponenti biomeccanici, sia fattori biologici. Non è ancora chiaro quale di questi sia prevalente, ma fattori biomeccanici e biologici generano un ciclo tale da permettere una degenerazione progressiva (*Cook, 2010; Spinella et al., 2021*). La conformazione scheletrica dei segmenti ossei, la conformazione dell'articolazione e l'apparato muscolare (azione combinata dei muscoli estensori e flessori) sono ugualmente coinvolti nella biomeccanica e quindi nel processo patogenetico della rottura del legamento crociato craniale (*Griffon, 2010*).

La patogenesi della rottura del legamento crociato craniale può essere traumatica o non traumatica. Quest'ultima è la più comune, ed è rappresentata da animali adulti con insorgenza acuta di zoppia, in assenza di un evento traumatico in anamnesi (*Whitehair et al., 1993; Moore and Read, 1996; Vasseur, 2003*). La rottura del legamento crociato craniale, infatti, è influenzata da tre principali categorie di fattori predisponenti:

- Fattori biologici: diversi studi hanno considerato tra le cause predisponenti un processo di degenerazione delle fibrille che compongono il legamento crociato, in particolare nella parte centrale, che rappresenta, anche in condizioni normali, l'area meno vascolarizzata (*Vasseur et al., 1985; Spinella et al., 2021*).
- Conformazione delle strutture scheletriche: è stato evidenziato come un disallineamento dell'apparato estensore può contribuire allo stress imposto sull'articolazione e predisporre a lesioni del legamento crociato. Una deviazione angolare di *genum varum*, caratterizzato da un'inclinazione del ginocchio verso l'esterno, comporta un disallineamento del meccanismo estensore. Di conseguenza, durante l'estensione del ginocchio, la contrazione del muscolo quadricipite porta ad un eccessivo grado di intrarotazione della tibia, generando una forza che si impone direttamente sul legamento crociato craniale (*Moore and Read, 1996; Duval et al., 1999; Read and Robins, 1982; Griffon, 2010*). La lussazione mediale di rotula rappresenta un ulteriore fattore predisponente a traumi sul legamento crociato craniale, in quanto causa una deviazione

in senso mediale dell'apparato estensore (*Kaiser et al., 2001; Towle et al. 2005; Griffon, 2010*). Animali adulti di piccola taglia e toy sono comunemente affetti da lesione del legamento crociato secondario a lussazione rotulea mediale (*Di Dona et al., 2018*).

- Conformazione dell'articolazione del ginocchio: La correlazione tra l'inclinazione del piatto tibiale e la predisposizione alla rottura del legamento crociato craniale è stata per la prima volta descritta da Slocum (*Slocum and Slocum, 1993*), che riteneva che la forza di traslazione tibiale craniale dipendesse strettamente dall'intensità della forza di contrazione muscolare e dall'inclinazione del piatto tibiale. Diversi studi hanno identificato un'inclinazione del piatto tibiale di animali affetti da lesione del legamento crociato craniale nettamente superiori a cani sani che non presentano rottura del legamento crociato (*Morris and Lipowitz, 2001, Mostafa et al., 2009; Anderson et al., 2020, Todorović et al., 2022*). Una maggiore inclinazione del piatto tibiale si pensa essere attribuita a una chiusura prematura della porzione caudale del piatto tibiale e/o a una maggiore crescita dell'aspetto craniale della fisi tibiale. La stenosi della fossa intercondiloidea è un aspetto considerato in medicina umana come predisponente a lesioni del legamento crociato. È stato identificato in alcuni studi la presenza di questo restringimento in cani affetti da lesione del legamento crociato ma non è dimostrata una correlazione (*Aiken et al. 1995; Mostafa et al, 2009*).

La rottura del legamento crociato craniale può avvenire anche a seguito di un evento traumatico. Un legamento crociato craniale normale sopporta una forza 4 volte superiore rispetto al peso corporeo (*Johnson et al., 1990*). In tal caso viene esercitata una forza e stress eccessivo sul legamento crociato, in particolare a seguito di iperestensione ed eccessiva intrarotazione tibiale (*Slocum and Slocum, 1993*). Uno squilibrio nel tempo e nell'intensità di attivazione dei muscoli quadricipite e gastrocnemio, che normalmente sono contrastati dagli stabilizzatori passivi per evitare la traslazione craniale tibiale, può contribuire alla rottura del legamento crociato craniale (*Tashman et al., 2004; Griffon, 2010*). Nel cucciolo, la lesione del legamento è caratterizzata da un'avulsione dello stesso a livello di attacco tibiale (*Reinke, 1982, Hayashi et al., 2004*).

Trattamenti

Le tecniche di risoluzione del legamento crociato craniale sono suddivise in tre gruppi: le tecniche intracapsulari, extracapsulari e osteotomiche. Le tecniche intracapsulari prevedono la sostituzione anatomica del legamento crociato rotto mediante il posizionamento di innesti autologhi o materiali protesici all'interno dell'articolazione. Le tecniche extracapsulari si

basano sul ripristino della stabilità dell'articolazione attraverso suture con materiali autologhi o protesici, non accedendo all'interno dell'articolazione. In questo caso, non viene ripristinato il legamento dal punto di vista anatomico e funzionale, ma unicamente funzionale (*DeCamp et al., 2016*).

Il presente studio ha permesso l'approfondimento delle tecniche osteotomiche.

Dal punto di vista biomeccanico, la mancata funzionalità del legamento crociato craniale, che rappresenta uno dei principali stabilizzatori passivi primari dell'articolazione, comporta una traslazione craniale tibiale, data da una forza risultante che la sola contrazione muscolare e i menischi non sono in grado di contrastare. Acquisito che l'intensità della forza che permette tale traslazione è dipendente sia dall'intensità della contrazione muscolare, sia dall'inclinazione del piatto tibiale, quest'ultimo rappresenta l'unica struttura modificabile.

Le tecniche osteotomiche, infatti, non prevedono una ricostruzione anatomica o una sutura in grado di stabilizzare l'articolazione, ma modificando la geometria dell'articolazione, contrastano le forze che durante una normale deambulazione porterebbero a uno scivolamento della tibia craniale rispetto al femore. Dal punto di vista clinico, infatti, il segno patognomonico del cassetto rimane positivo, mentre il test di compressione tibiale risulta negativo. Il test del cassetto può diminuire fino a scomparire in cani trattati con le tecniche osteotomiche, presumibilmente a causa dello sviluppo di fibrosi articolare che rende maggiormente stabile il ginocchio.

Tibial plateau levelling osteotomy (TPLO)

L'intervento chirurgico di TPLO, acronimo per "Tibial plateau levelling osteotomy", è la prima tecnica osteotomica descritta da Slocum nel 1993, che prevede l'esecuzione di un'osteotomia radiale del segmento prossimale della tibia con conseguente rotazione in senso caudale tale da ridurre l'inclinazione del piatto tibiale fino a raggiungere un angolo di 6° (*Vasseur, 2003*). È stato identificato un valore medio di 6,51° come angolo in grado di annullare la dislocazione craniale tibiale in studi in vitro (*Warzee et al. 2001, Reif et al. 2002*).

La procedura viene eseguita con un accesso mediale alla regione del ginocchio. Dopo incisione di cute e sottocute, si identifica il pes anserinus, costituito dall'unione dei tendini dei muscoli gracile, sartorio e semitendinoso, che presentano il loro attacco distale sulla faccia mediale della regione prossimale della tibia. Al fine di poter esporre i punti di repere e la regione di taglio risulta necessario incidere il pes anserinus e ribaltarlo, identificando subito il legamento collaterale mediale.

Per mantenere l'allineamento durante l'osteotomia, si utilizza uno strumento, il Jig, costituito da due chiodi di Kirschner inseriti in prossimità del legamento collaterale mediale e nella regione distale della diafisi tibiale. I due chiodi, inseriti paralleli tra loro, impediscono di generare torsioni o deviazioni durante la rotazione del segmento libero. La procedura viene comunque descritta anche senza l'utilizzo di questo ausilio, non riscontrando un aumento delle complicazioni (*Bell and Ness, 2007, Schmerbach et al., 2007; Roh et al., 2020*).

L'osteotomia viene eseguita mediante una sega semicircolare, di una misura precisa calcolata in base alla lunghezza tra il centro di rotazione del ginocchio, che si identifica nel tubercolo intercondiloideo, e il punto prossimale della tuberosità tibiale. Il centro di rotazione rappresenta anche il centro del taglio semicircolare.

Slocum aveva identificato il centro dell'osteotomia nel centro di movimento del ginocchio, che si identifica in un punto a livello di femore distale (*Slocum and Slocum, 1993*). Tale posizione risultava in un segmento osseo prossimale di dimensioni troppo ridotte per il posizionamento corretto della placca, per cui è stato proposto come centro dell'osteotomia un punto 5 mm distalmente al piatto tibiale attraverso il legamento collaterale mediale (*Warzee et al., 2001*). Nel 2004 Kowaleski ha eseguito uno studio in cui identificava il centro corretto dell'osteotomia nel punto prossimale dell'asse lungo tibiale, nel punto che divide i due tubercoli intercondiloidei, in modo che quest'ultimo non venisse modificato nonostante la rotazione (*Kowaleski et al., 2004*).

Quando l'osteotomia viene completata, si procede con una rotazione calcolata dall'angolo del piatto tibiale iniziale (σ) e dal raggio dell'osteotomia (R) mediante la seguente formula $C = 2R(\sin [\sigma/2])$ (*Vasseur, 2003*). Nella nuova posizione il segmento prossimale viene stabilizzato mediante applicazione di una placca bloccata (**Figura 6**).

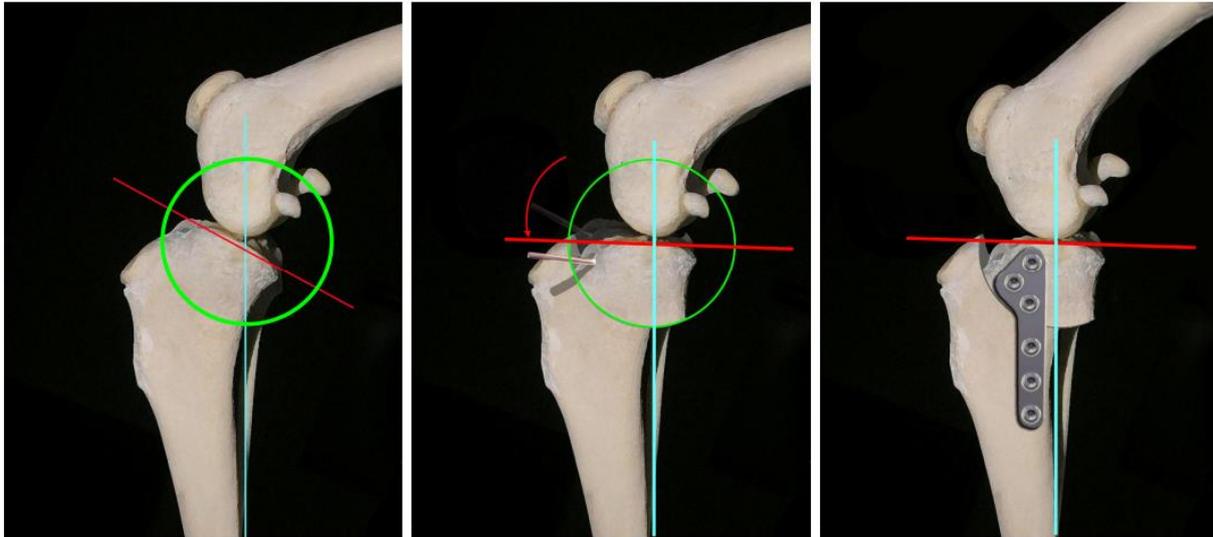


Figura 6. *Planning Tibial plateau levelling osteotomy.* Il centro di rotazione è identificato nel punto di intersezione dei tubercoli intercondiloidei. La linea azzurra rappresenta l'asse funzionale della tibia, la linea rossa rappresenta il piatto tibiale e la circonferenza verde rappresenta la linea corrispondente all'osteotomia semicircolare. Modificato da Pavarotti, G. S. (2009). *Le osteotomie tibiali per il trattamento della rottura del legamento crociato craniale nel cane: Tecniche a confronto.* Bollettino Aivpa, 2009(4), 27-42.

L'intervento appena descritto ha l'obiettivo di ridurre l'inclinazione del piatto tibiale, spostando il contatto tra le superfici articolari più caudalmente sull'asse longitudinale della tibia e generare quindi una forza puramente compressiva durante il carico (**Figura 7**) (Slocum and Devine, 1984).

Diversi studi biomeccanici hanno dimostrato come un'inclinazione del piatto tibiale di circa 5°, a seguito di intervento di TPLO, porta a una riduzione statisticamente significativa della traslazione craniale tibiale, a seguito della neutralizzazione delle forze (Warzee et al., 2001; Reif et al., 2002). Studi più recenti hanno invece affermato come l'intervento di TPLO non ristabilisce comunque la cinematica fisiologica dell'articolazione, mantenendo comunque un seppur lieve grado di instabilità cranio-caudale (Kim et al., 2009; Tinga et al., 2020). Inoltre, una rotazione maggiore con angolo minore di 5° comporta una minor sollecitazione sul menisco mediale (Schmutterer et al., 2022). Non è stata evidenziata una correlazione tra il grado di inclinazione e la forza di reazione al suolo (Robinson et al., 2006; Volz et al., 2024 (a)). Volz e colleghi hanno però riscontrato una maggior simmetria di carico tra i due arti posteriori durante il periodo post-operatorio in cani con un'inclinazione < 5° (Volz et al., 2024(a)).

In condizioni di normalità dell'articolazione, durante la flessione, il legamento collaterale laterale viene teso, a discapito del mediale che va incontro a rilassamento, permettendo una

maggior forza di rotazione interna. Mancando l'opposizione del legamento collaterale mediale, interviene il legamento crociato craniale a limitare questa intrarotazione. La TPLO, che prevede la rotazione caudale del piatto tibiale, genera un angolo di flessione superiore quando l'arto si presenta in appoggio. Uno studio biomeccanico, condotto nel 2020, infatti, ha verificato come l'intervento di TPLO, neutralizza in modo efficace la traslazione craniale della tibia, ma mantiene un certo grado di instabilità rotazionale interna (*Shimada et al., 2020*). Questo risulta compatibile con i risultati riscontrati nel 2001 da Warzee, che mostravano un miglioramento significativo dell'intrarotazione rispetto a un'articolazione con legamento crociato craniale rotto non trattato, ma non si evidenzia una completa stabilità rotazionale (*Warzee et al., 2001*).

La tensione sottoposta al legamento patellare risulta dipendente dal Tibial Plateau Angle (TPA); quindi, risulta maggiore minore è il TPA risultante dopo TPLO. È stato ipotizzato che la riduzione del braccio di leva causato dalla rotazione del piatto tibiale provochi un aumento della forza imposta dal quadricipite per raggiungere il momento estensorio del ginocchio, con conseguente stress sul legamento patellare (*Pacchiana et al., 2003; Kowaleski et al., 2004; Carey et al., 2005; Kuehn et al., 2011*). Bester e colleghi hanno dimostrato con uno studio biomeccanico ex vivo, che la tensione sul legamento patellare risulta significativamente superiore con TPA post TPLO di 0° e 5°, mentre risulta limitata con un angolo di 10° (*Bester et al., 2024*).

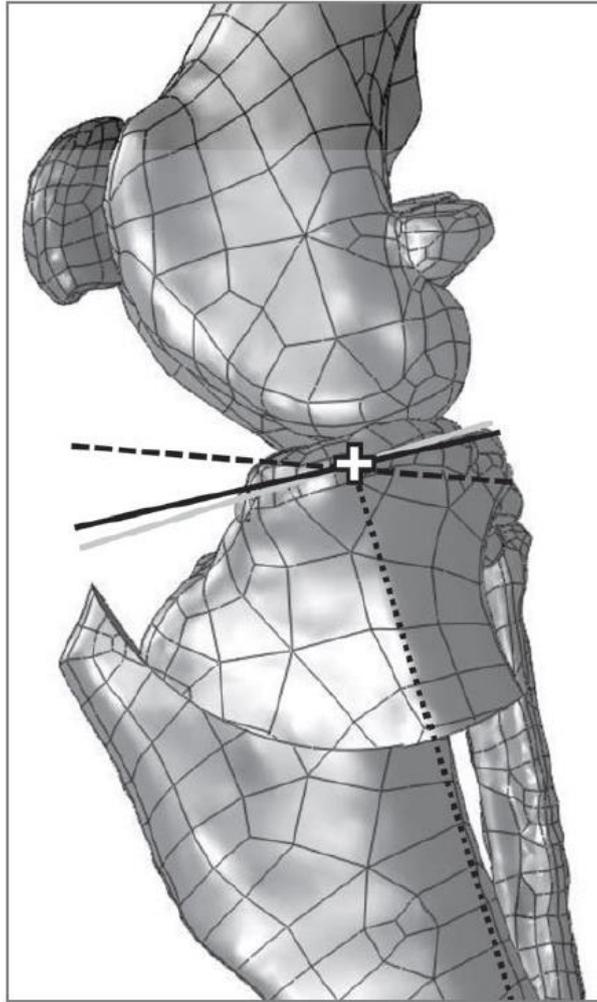


Figura 7. Rappresentazione di TPLO in arto posteriore di cane mediante modello computerizzato: osteotomia semicircolare di raggio 30 mm, con centro a livello del punto di intersezione dei tubercoli intercondiloidei (croce bianca), con uno spostamento caudale tale da portare il piatto tibiale da un angolo di 22 (linea nera tratteggiata e linea grigia) a un angolo di 5 (linea nera continua e linea grigia). La linea grigia rappresenta la perpendicolare dell'asse funzionale della tibia (linea nera punteggiata). Modificato da Brown, N. P., Bertocci, G. E., Marcellin-Little, D. J. (2014). Canine stifle joint biomechanics associated with tibial plateau leveling osteotomy predicted by use of a computer model. *American Journal of Veterinary Research*, 75(7), 626-632.

Tibial tuberosity advancement (TTA)

Questa tecnica osteotomica, definita come avanzamento della tuberosità tibiale, dall'acronimo inglese TTA, è stata descritta per la prima volta da Montavon e Tepic, in occasione del primo congresso mondiale di ortopedica veterinaria a Monca, nel 2002 (Tepic *et al.*, 2002). Nel corso del tempo sono state proposte delle modificazioni della tecnica principale, tra cui la tecnica e procedura modificata di Maquet, la TTA rapida, la TTA modificata, la TTA con fissazione craniale e la TTA porosa (Figura 8) (Etchepareborde *et al.*, 2011; Ness, 2016; Samoy *et al.*, 2015; Zhalniarovich, *et al.*, 2018; Trisciuzzi *et al.*, 2019).

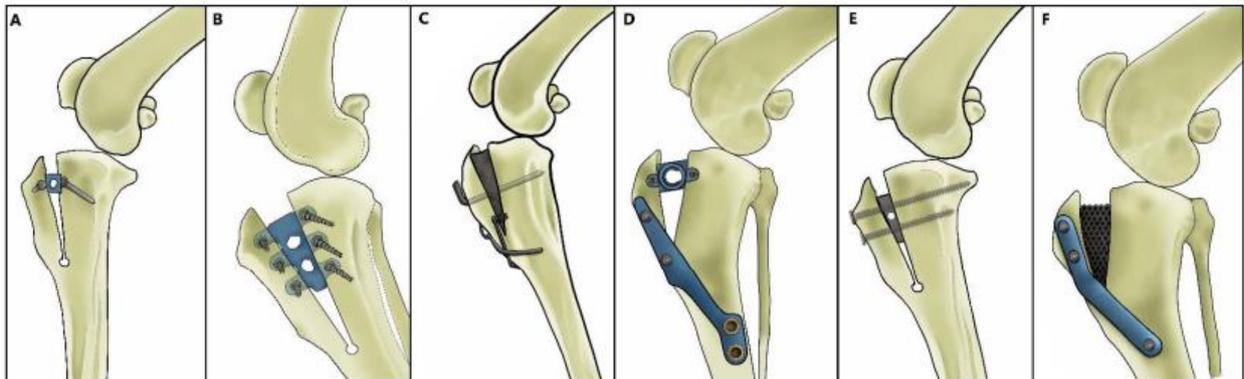


Figura 8. illustrazione delle tecniche di “tibial tuberosity transposition”: tecnica di Maquet modificata (A), TTA rapida (B), procedura di Maquet modificata (C), tecnica di maquet modificata di avanzamento della tuberosità tibiale (D), avanzamento della tuberosità tibiale con fissazione craniale (E), TTA porosa (F). Modificato da Aragosa, F., Caterino, C., Della Valle, G., Fatone, G. (2022). Tibial tuberosity advancement techniques (TTAT): a systematic review. *Animals*, 12(16), 2114.

La tecnica standard di TTA viene proposta secondo il modello biomeccanico del ginocchio umano, che dimostra come la forza di taglio femoro-tibiale è direttamente influenzata dall'angolo compreso tra il tendine patellare e il piatto tibiale (Nisell *et al.*, 1986). Portando quindi il tendine patellare perpendicolare al piatto tibiale, si genera una forza di taglio femoro-tibiale neutra o diretta caudalmente durante il carico, impedendo così la traslazione craniale tibiale (Figura 9) (Apelt *et al.*, 2007; Kipfer *et al.*, 2008).

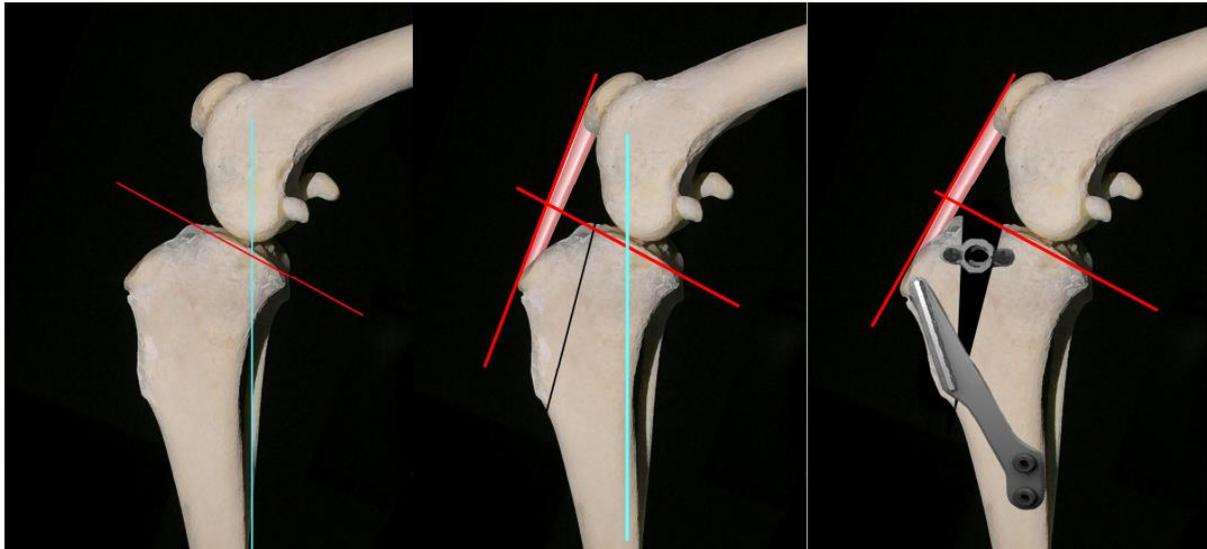


Figura 9. *Planning Tibial tuberosity transposition. La linea azzurra rappresenta l'asse funzionale della tibia, la linea rossa che interseca l'asse funzionale della tibia rappresenta il piatto tibiale. La tuberosità tibiale viene trasposta cranialmente fino a quando la linea del piatto tibiale risulta perpendicolare alla linea tangente il legamento rotuleo. Modificato da Pavarotti, G. S. (2009). Le osteotomie tibiali per il trattamento della rottura del legamento crociato craniale nel cane: Tecniche a confronto. Bollettino Aivpa, 2009(4), 27-42.*

La procedura viene eseguita con un accesso mediale alla regione prossimale della tibia. Individuato il pes anserinus, viene in parte reciso e sollevato per esporre la parte ossea sottostante. Viene eseguito un primo foro nel punto prossimale di attacco della placca sulla tuberosità tibiale. Successivamente, si esegue un taglio trasversale con ausilio di sega oscillante della tuberosità tibiale, dalla sua estremità più distale fino al margine craniale dei menischi. Si posiziona, dopo aver utilizzato specifici dilatatori, un cage delle dimensioni pre-calcolate, nella regione più prossimale del sito di osteotomia. Successivamente si avvicina l'estremità più distale della cresta tibiale fino a raggiungere un contatto con il segmento tibiale e si fissa con una placca in tensione. Il cage viene contestualmente fissato con 2 o 4 viti posizionate alle estremità dello stesso. La misura del cage viene stabilita in base a quanto ammonta l'avanzamento per portare il legamento patellare in posizione perpendicolare rispetto al piatto tibiale (DeCamp et al., 2016). Dennler nel 2006, ha condotto uno studio ex vivo per determinare a quale angolo di flessione il legamento patellare risultasse perpendicolare al piatto tibiale o alla linea tangente al punto di contatto femoro-tibiale. Se si considera l'inclinazione del piatto tibiale, il legamento patellare si trova in una posizione perpendicolare quando si raggiunge una flessione di 90 gradi del ginocchio, mentre per quanto riguarda la linea tangente, il legamento patellare risulta perpendicolare con un'inclinazione del ginocchio di 110. Poiché il punto di contatto femoro-tibiale implica il movimento di rotazione dei due segmenti tra loro, rispecchia più accuratamente il centro di rotazione istantaneo, a differenza dell'inclinazione del piatto

tibiale che rappresenta una misura più statica (*Dennler et al., 2006*). Anche Hoffmann, nel 2011, considera la tangente al punto di contatto femoro-tibiale per le valutazioni biomeccaniche a seguito di avanzamento della tuberosità tibiale (*Hoffman et al., 2011*).

Diversamente dalla tecnica TPLO, quest'ultima risulta comparabile al modello biomeccanico proposto nell'uomo, in cui l'avanzamento della tuberosità tibiale tale da rendere il legamento patellare perpendicolare alla linea tangente al punto di contatto femoro-tibiale, impedisce lo spostamento craniale tibiale, mediante neutralizzazione della forza di taglio femoro-tibiale (*Kim et al. 2009*).

Studi *ex vivo* hanno dimostrato che con un angolo di $90^\circ \pm 9^\circ$ la forza di taglio femoro-tibiale viene neutralizzata (*Apelt et al., 2007; Miller et al., 2007; Kipfer et al., 2008*), ma contestualmente, gli studi *in vivo* ottengono risultati contraddittori, in cui non si raggiunge la completa stabilità e si rileva sublussazione tibiale craniale nella maggior parte dei cani valutati (*Skinner et al., 2013; Apelt et al., 2007; Miller et al., 2007*). Considerando la variabilità dei pazienti canini, rispetto a quelli umani, è possibile che la forza di taglio femoro-tibiale sia influenzata da diversi fattori, e che il TPA possa variare in base al grado di estensione dell'articolazione (*Dennler et al., 2006*).

La forza assiale di rotazione non viene neutralizzata con l'intervento di TTA, per cui si rileva un determinato grado di intrarotazione durante il movimento (*Miller et al., 2007; Kipfer et al. 2008*).

Secondo uno studio su modello computerizzato, la forza di picco sul legamento crociato caudale, collaterale laterale e mediale sul ginocchio trattato mediante TTA risulta differente rispetto all'articolazione di ginocchio sano controlaterale, ma sono minori rispetto all'articolazione di ginocchio non trattata (*Brown et al., 2015*).

Guerrero nel 2011, ha dimostrato con uno studio *ex vivo* che la TTA ripristina il normale allineamento femoro-tibiale e patello-femorale riducendo le sollecitazioni e la pressione nella regione retropatellare rispettivamente del 20 e 15%. Tale diminuzione potrebbe essere dovuta all'aumento del braccio di leva del tendine rotuleo a seguito di TTA, piuttosto che a una traslazione craniale della rotula rispetto al femore (*Guerrero et al., 2011*). Non si rileva una differenza sulla forza applicata al legamento patellare, confermata anche da altri studi che rilevano addirittura una riduzione nelle articolazioni trattate con TTA (*Hoffman et al., 2011*).

OSTEOARTROSI

L'osteoartrosi è una patologia che interessa le articolazioni, caratterizzata da alterazioni a carico della cartilagine articolare, dell'osso subcondrale, della capsula e di altre strutture come legamenti e tendini circostanti. L'osteoartrosi viene definita come degenerazione primaria quando si sviluppa in assenza di un trauma o una lesione diretta all'articolazione ed è quindi più comunemente causata dall'età. Studi sostengono come raramente l'età rappresenta la sola causa di tale degenerazione ma nel tempo insorgono cambiamenti sistemici nell'intero organismo che contribuiscono allo sviluppo della patologia, come la diminuzione della produzione di ormoni della crescita, perdita della massa muscolare e ossea, aumento dei traumatismi dati da diminuzione della propriocezione e equilibrio (*Loeser, 2010; Loeser, 2017*). Diversamente, viene definita secondaria a una specifica condizione da cui è affetta l'articolazione stessa. Le cause principali si possono suddividere in cause congenite, ossia anomalie presenti dalla nascita, di sviluppo, o acquisite; quindi, causate da un trauma o insulto diretto a uno dei componenti dell'articolazione (*Buckwalter and Brown, 2004*).

La cartilagine articolare viene mantenuta integra e funzionale attraverso un equilibrio di produzione e degradazione di proteoglicani e collagene. In presenza di un danno o lesione, inizialmente il meccanismo di produzione compensa la perdita di tali fattori, ma progressivamente prevale il metabolismo catabolico che causa diminuzione di proteoglicani e collagene, e perdita della normale architettura della cartilagine articolare. Questa degradazione stimola il rilascio di mediatori infiammatori e citochine infiammatorie dai tessuti periarticolari, che esacerbano e perpetuano il processo.

Le estremità ossee che comprendono l'articolazione colpita vanno incontro a due principali cambiamenti: la formazione di osteofiti e la formazione di sclerosi subcondrale (*Gilbertson, 1975; McDewitt et al., 1977*).

Gli osteofiti sono definiti come crescita ossea esuberante, che si deposita alle estremità dei capi ossei che compongono un'articolazione e nei punti di inserzione della capsula articolare. La formazione di osteofiti è caratterizzata da un aumento della concentrazione di cellule fibroblasti-simile, con sviluppo in 4 settimane di tessuto osseo immaturo caratterizzato da presenza di condrociti. Le trabecolature ossee iniziano a formarsi dopo 8 settimane, con formazione completa di tessuto osseo trabecolare rivestito di cartilagine entro le 16 settimane (*Marshall, 1969; Neuman et al., 2003, Dudaric et al., 2023*).

La sclerosi dell'osso subcondrale deriva invece da un ispessimento dello strato di osso subcondrale come risposta all'insulto articolare. Questo ispessimento causa minor elasticità e capacità di sopportare gli stress generati sull'articolazione, creando erosioni ed esposizione dell'osso subcondrale e sviluppo di sclerosi.

Cambiamenti precoci si sviluppano anche a carico della sinovia, in corso di osteoartrosi. Infatti, il rilascio di mediatori infiammatori comporta un aumento delle cellule che compongono lo strato sinoviale, con conseguente ispessimento. La sinovia ispessita risulta meno elastica, contribuendo a ridurre l'ampiezza del movimento dell'articolazione stessa (*DeCamp et al., 2016*).

Le alterazioni a carico della cartilagine sono invece più tardive e sono caratterizzate da irregolarità e lesioni sulla superficie, soprattutto nelle regioni dove è presente esposizione dell'osso subcondrale o dove le superfici ossee dell'articolazione sono opposte (*DeCamp et al., 2016*) (**Figura 10**).

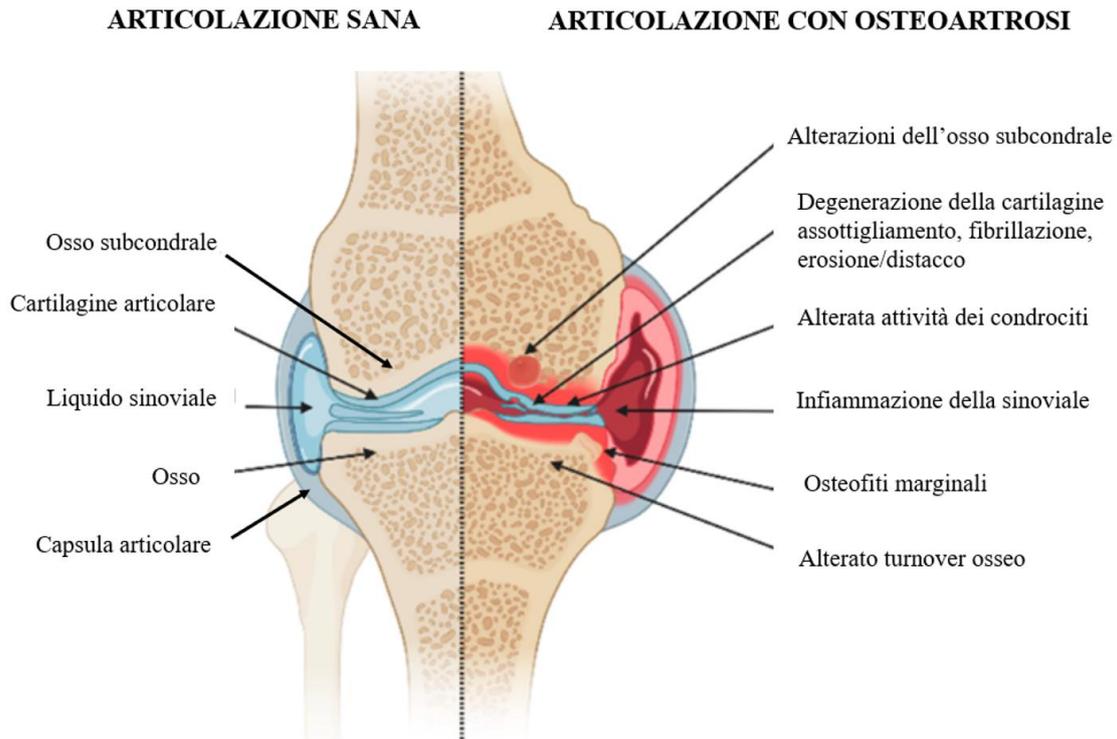


Figura 10. Rappresentazione dell'articolazione del ginocchio: a sinistra viene mostrata un'articolazione sana, mentre a destra un'articolazione alterata con segni di osteoartrosi. Modificato da Larder, C. E., Iskandar, M. M., Kubow, S. (2023). *Collagen Hydrolysates: A Source of Bioactive Peptides Derived from Food Sources for the Treatment of Osteoarthritis. Medicines, 10(9), 50.*

I segni clinici associati alla presenza di osteoartrosi sono principalmente il dolore, la rigidità e il crepitio durante i movimenti passivi dell'articolazione. Il dolore è causato da un' aumentata sensibilità dei nocicettori presenti all'interno dell'articolazione, per il rilascio di mediatori infiammatori quali prostaglandine, leucotrieni, citochine e per la presenza di osteofiti che rendono maggiormente sensibile il periostio. Inoltre, il dolore viene associato a maggior pressione dell'osso subcondrale esposto, microfratture a carico delle trabecole ossee, schiacciamento o abrasione dei villi sinoviali, sinovite e infiammazione della capsula articolare (DeCamp et al., 2016). La rigidità è definita come limitazione nel movimento normale di un'articolazione. In corso di osteoartrosi tale rigidità può essere influenzata da edema dei tessuti periarticolari, ipertrofia dei tessuti periarticolari, aderenze tra gli strati tissutali, contrattura associata alla formazione di tessuto cicatriziale nel muscolo, nel legamento o nel tendine, e cambiamento della forma dell'osso dovuto al rimodellamento o alla formazione di osteofiti. Il crepitio è il suono caratteristico che si evoca nel momento in cui si muove un'articolazione i cui capi articolari non sono più congruenti tra loro a causa delle irregolarità e alterazioni della superficie (DeCamp et al., 2016).

Scoring system per la valutazione del grado di osteoartrosi

Le alterazioni radiografiche riscontrabili in corso di osteoartrosi sono: un aumento della radiopacità a livello subcondrale, rimodellamento osseo del contorno articolare, formazione di osteofiti e calcificazioni nelle aree attorno all'articolazione. Gli osteofiti sono visibili come aree nodulari, lisce e omogenee che protrudono dal normale profilo osseo.

In letteratura sono presenti diversi studi che propongono sistemi di definizione del grado di osteoartrosi del ginocchio del cane attraverso la valutazione dello studio radiografico.

Il primo sistema maggiormente utilizzato è stato puntualizzato nel 1992 da Vasseur e Berry, che prendevano in considerazione 19 punti di repere radiografici, ai quali veniva assegnato uno score da 0 (nessuna modificazione) a 3 (gravi modificazioni) (*Vasseur and Berry, 1992*). Tale sistema è stato modificato nel tempo, in particolare aumentando il numero dei punti di repere valutabili, pur mantenendo la valutazione da 0 a 3. Lazar ha proposto un sistema di valutazione a 32 parametri nel 2005 (*Lazar et al., 2005*), mentre Hurley ha proposto la medesima valutazione su 30 parametri (*Hurley et al., 2007*). Nel 2010, Au e Morgan, con i rispettivi gruppi di lavoro, hanno proposto lo stesso sistema di valutazione ma a 21 e 11 parametri (*Morgan, 1969; Au et al., 2010*). Innes nel 2004 ha proposto un sistema di valutazione costituito da differenti aspetti dell'articolazione, tra cui il grado di osteofitosi, l'effusione capsulare e mineralizzazioni intraarticolari. Sono state analizzate 45 articolazioni da 4 differenti veterinari radiologi specializzati, dimostrandone la riproducibilità tra osservatori.

Nel 2017, in uno studio di Wessely e colleghi, sono stata valutate due radiografie della stessa articolazione di 15 cani, da tre differenti valutatori (*Wessely et al., 2017*). È stato utilizzato il sistema di scoring proposto da Mager nel 2000 e da Matis nel 2005 (*Matis, 2005*), che prendevano in considerazione 15 punti di repere (**Figura 11**).

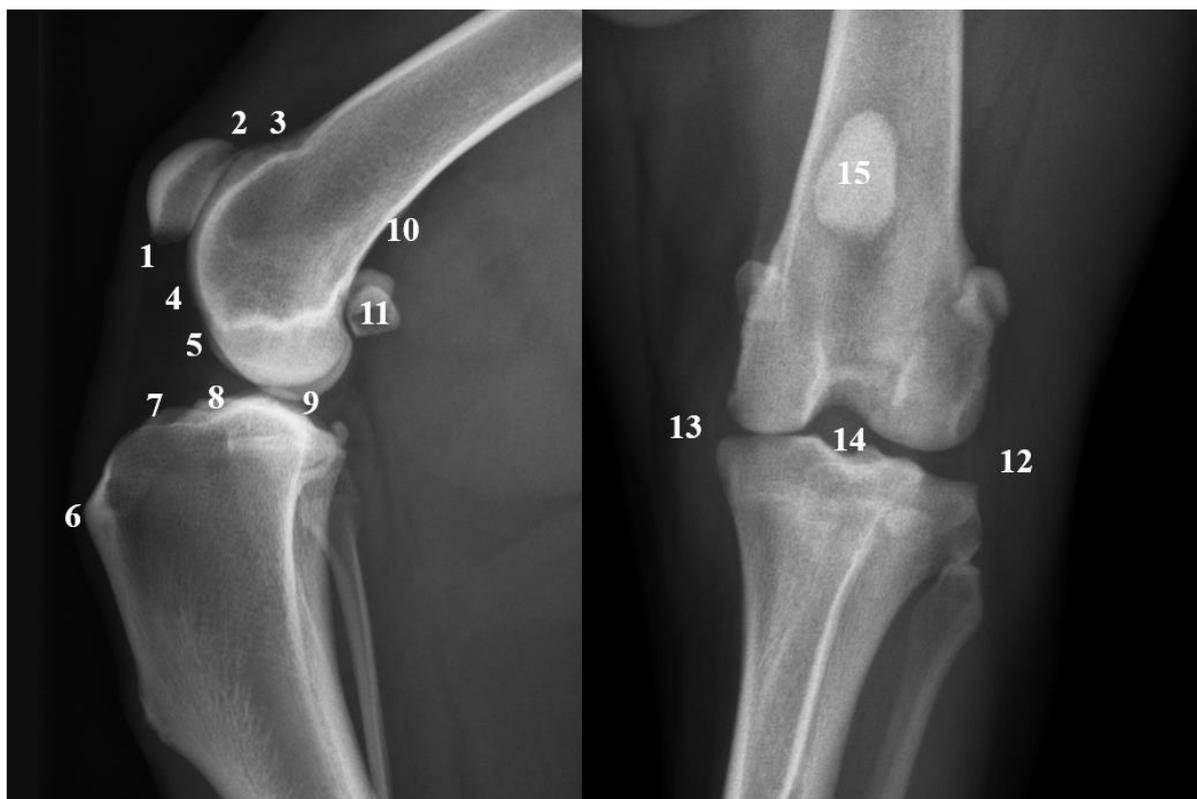


Figura 11. Studio radiografico in due proiezioni ortogonali (medio-laterale e caudo-craniale) con indicazione dei punti di reperi valutabili: 1) apice patella, 2) base patella, 3) rima trocleare prossimale, 4) rima trocleare distale, 5) condilo femorale 6) tuberosità tibiale, 7) aspetto craniale piatto tibiale, 8) aspetto caudale piatto tibiale, 9) aspetto centrale piatto tibiale, 10) superficie poplitea femorale, 11) sesamoidi, 12) condilo laterale femorale e tibiale, 13) condilo mediale femorale e tibiale, 14) fossa intercondiloidea, 15) rotula. Modificato da Wessely, M., Brühschwein, A., Schnabl-Feichter, E. (2017). Evaluation of intra- and inter-observer measurement variability of a radiographic stifle osteoarthritis scoring system in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 30(06), 377-384.

Oltre alla conferma della ripetibilità del sistema di valutazione, i punti di reperi considerati sono risultati indipendenti da qualsiasi modificazione nell'opacità della radiografia, e di conseguenza meno soggetti a sovrastime (Wessely *et al.*, 2017). La valutazione proposta da Mager e Matis, si concentra sulla presenza di osteofiti e sulla severità, a differenza di altri sistemi di score che analizzano anche variazioni a carico di regioni dei tessuti molli, la cui gravità potrebbe essere oggetto di manipolazione mediante i sistemi radiografici digitali (Wessely *et al.*, 2017).

BOLOGNA HEALING STIFLE INJURY INDEX

In letteratura esistono diversi questionari per la valutazione dello stato di salute di pazienti con patologia ortopedica, in particolare incentrati sul dolore cronico e la valutazione clinica dell'osteoartrosi, tutti interamente compilati dal solo proprietario.

Nel 2004 Hudson ha pubblicato uno studio riguardo la validità di un questionario, "Hudson Visual analogue scale", utilizzato per la valutazione di dolore e la determinazione del grado di zoppia nel cane (*Hudson et al., 2004*).

Nel 2008, Brown ha descritto per la prima volta il "Canine Brief Pain Inventory" (CBPI), che misura il grado di severità e impatto del dolore cronico nel cane (*Brown et al., 2008*). Sulla stessa linea, anche Hielm ha validato nel 2009 il "Helmsinki chronic pain index" (HCPI) (*Hielm-Björkman et al., 2009; Hielm-Björkman et al., 2011*). Nel 2014, è stato identificato nel "Canine Orthopaedic index" (COI) uno strumento valido per la valutazione di forza, funzionalità, appoggio e qualità della vita del paziente canino con malattia di natura ortopedica (*Brown et al., 2014 (a); Brown et al., 2014 (b); Brown et al., 2014 (c)*).

Nel 2009 Hercock ha validato il questionario "Liverpool Osteoarthritis in Dogs" (LOAD) per la valutazione dell'osteoartrosi a carico del gomito del cane affetto da displasia (*Hercock et al., 2009*); nel 2013, Walton ha pubblicato uno studio in cui veniva confrontato il questionario LOAD con altri due questionari validati in letteratura, HCPI E CBPI, risultando uno strumento valido e utile da utilizzare. Nel medesimo studio è stato anche dimostrato per la prima volta una correlazione tra i risultati del LOAD e l'indice di forza di picco (PVF) (*Walton et al., 2013*).

Nel 2022 Radke e colleghi hanno eseguito una revisione sistematica della letteratura che ha identificato i LOAD, CBPI e COI come questionari raccomandati per la valutazione dell'osteoartrosi nel cane (*Radke et al., 2022*).

Il Bologna Healing Stifle Injury Index (BHSII) è un questionario che, per la prima volta in letteratura, è composto da una parte interamente compilata dal proprietario, come i questionari precedentemente citati, e in aggiunta, una parte compilata dal clinico ortopedico dopo valutazione di specifici parametri. E' stato per la prima volta utilizzato nel 2012 per il monitoraggio del processo di guarigione della tecnica di trasposizione del bicipite femorale per il trattamento di rottura del legamento crociato craniale in 9 cani di piccola taglia (< 15 kg). (*Tamburro et al., 2012*).

Nel 2019 è stata dimostrata la sua affidabilità, sensibilità e validità se applicato per la valutazione del processo di guarigione di pazienti con lesione del legamento crociato craniale (*Pinna et al., 2019 (a)*).

Il BHSII viene qui di seguito descritto nel dettaglio. L'indagine a risposta multipla sui proprietari è stata realizzata seguendo e modificando il modello di questionario KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score), un modello di questionario utilizzato in medicina umana per valutare le lesioni ai legamenti o ai menischi del ginocchio.

Le domande, rivolte ai proprietari, sono state modificate in modo da essere il più possibile chiare e non ambigue, e che ovviassero al problema della impossibilità di un'applicazione diretta ai pazienti canini come avviene invece in medicina umana.

Il metodo di risposta è stato progettato a cinque livelli (0 mai; 1 raramente; 2 qualche volta; 3 spesso; 4 sempre), considerando come 0 un valore positivo e 4 un valore negativo.

Le domande sono raggruppate in due sezioni principali, ulteriormente suddivise in diverse sottosezioni:

- Sezione dedicata al proprietario (BHSII-OQ): comprende un totale di 24 domande, raggruppate in 3 sottosezioni relative al comportamento dei cani che manifestano dolore (P) (12 domande), rigidità (S) (5 domande) e funzionalità (F) (7 domande) (**Figura 12**);

Part 1. BHSII-OQ (Bologna Healing Stifle Injury Index – Owner Questionnaire)						
Directions for the owner: for each of the following questions, circle the number which best reflects the condition of your dog in the past two weeks.						
		SCORE				
PAIN		Never (0)	Rarely (1)	Sometimes (2)	Often (3)	Always (4)
P1.	Has your dog changed its habits (i.e. where it sleeps, invitations to play, requests for walks) (answer affirmatively even for 1 change among those listed)?	0	1	2	3	4
P2.	Has it changed its response to everyday orders?	0	1	2	3	4
P3.	Does it need to sit down after walks usual distance?	0	1	2	3	4
P4.	Does it need to sit down after walks for bodily functions?	0	1	2	3	4
P5.	Does it change its behavior when the weather changes?	0	1	2	3	4
P6.	Does it lick or bite its stifle joint?	0	1	2	3	4
P7.	Has there been swelling in the stifle joint over the past two weeks?	0	1	2	3	4
P8.	Does it have difficulty going up stairs?	0	1	2	3	4
P9.	Does it have difficulty going down stairs?	0	1	2	3	4
P10.	Does it have difficulty getting in the car?	0	1	2	3	4
P11.	Does it have difficulty sitting down (i.e., turning around repeatedly)?	0	1	2	3	4
P12.	Does it whimper when it makes certain movements (lying down, getting up, turning around)?	0	1	2	3	4
STIFFNESS		Never (0)	Rarely (1)	Sometimes (2)	Often (3)	Always (4)
S1.	Does your dog exhibit stiffness of movement in the morning or after a period of rest?	0	1	2	3	4
S2.	Does it exhibit stiffness of movement after a long walk?	0	1	2	3	4
S3.	When it is sitting down, does it hold the affected limb in an abnormal position?	0	1	2	3	4
S4.	Does it move the affected limb in an abnormal way?	0	1	2	3	4
S5.	What is its position when urinating: if male, does it put its weight on the affected limb? If female, does it crouch down normally?	0-Always	1-Often	2-Sometimes	3-Rarely	4-Never
FUNCTION		Never (0)	Rarely (1)	Sometimes (2)	Often (3)	Always (4)
F1.	Does your dog limp when walking on soft ground (i.e. lawn, sand)?	0	1	2	3	4
F2.	Does it limp when walking on hard ground (i.e. asphalt, cement)?	0	1	2	3	4
F3.	Does it make abnormal movements when sitting down?	0	1	2	3	4
F4.	Does it make abnormal movements when getting up?	0	1	2	3	4
F5.	Does it behave strangely when circling around?	0	1	2	3	4
F6.	How frequent is the limp?	0 – no limping at any time 1 – normal most of the time. Slight limp after rest/prolonged exercise 2 – normal 50% of the time. Moderate limp after rest/prolonged exercise 3 – normal for brief periods. Limping most of the time 4 – limping all the time				
F7.	What type of limp is it?	0 – no limping at any time 1 – slightly abnormal gait, puts steady weight on the limb 2 – clearly abnormal gait, puts steady weight on the limb 3 – seriously abnormal, occasionally does not put weight on the limb when in movement 4 – never puts weight on the limb at any time				

Figura 12. Parte del questionario BHSII dedicata al proprietario: 24 domanda totali, divise in 3 sottosezioni (dolore, rigidità e funzionalità). Modificato da Pinna, S., Lambertini, C., Grassato, L., Romagnoli, N. (2019). Evidence-based veterinary medicine: a tool for evaluating the healing process after surgical treatment for cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 6, 65.

- Sezione dedicata alla valutazione clinica da parte del veterinario (BHSII-CR): comprende un totale di 10 domande, raggruppate in parametri valutabili dall'esame visivo (V) (3 domande) e parametri valutabili dall'esame manuale (M) (7 domande) (**Figura 13**).

Part 2. BHSII-CR (Bologna Healing Stifle Injury Index – Clinical Record)					
Directions for the clinician: for each of the following items circle the number which reflects the severity of the signs revealed during the orthopedic examination.					
			SCORE		
VISUAL EXAMINATION					
V1.	Lameness		0 – none		
			1 – slight: slightly altered movement, function preserved		
			2 – altered movement, function preserved		
			3 – moderate: altered movement, function impaired		
			4 – severe: altered movement, function lost		
V2.	Gait in which limping is seen		0 – no limping at any gait		
			1 – limping only when running		
			2 – limping when trotting		
			3 – limping even when walking (i.e., in all gaits)		
			4 – does not put weight on limb at any gait		
V3.	Abnormal gait (i.e. asymmetrical movement and/or jerky gait)	0 – none	1 – slight	2 – mild	3 – moderate 4 – severe
MANUAL EXAMINATION					
M1.	Pain: palpation and passive movement	0 – none	1 – slight	2 – mild	3 – moderate 4 – severe
M2.	Patello-femoral crepitus	0 – none	1 – slight	2 – mild	3 – moderate 4 – severe
M3.	Cranial drawer test	0=stable	1=1-3mm	2=4-6mm	3=7-9mm 4=10-12mm
M4.	Range of motion in extension	0=162°-158°	1=157°-153°	2=152°-148°	3=147°-143° 4=142°-138
M5.	Range of motion in flexion	0=41°-45°	1=46°-50°	2=51°-55°	3=56°-60° 4=61°-65°
M6.	Tumefaction-effusion-edema	0 – none	1 – slight	2 – mild	3 – moderate 4 – severe
M7.	Muscle mass in thigh region	0 – normal	1 – almost normal	2 – reduced	3 – seriously reduced 4 – atrophic

Figura 13. Parte del questionario BHSII a parametri clinici valutati dal veterinario: 10 domanda totali, divise in 2 sottosezioni (valutazione ispettiva e palpatoria). Modificato da Pinna, S., Lambertini, C., Grassato, L., Romagnoli, N. (2019). Evidence-based veterinary medicine: a tool for evaluating the healing process after surgical treatment for cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 6, 65

Ognuna di queste domande riceve uno score da 0 a 4. Ogni sottosezione ottiene uno score totale dato dalla somma dei singoli score attribuiti ad ogni domanda di quella specifica sottosezione. Per convertire tale somma a una scala di punteggio normalizzato da 0 a 100 si moltiplica per 100 il punteggio totale ottenuto e si divide per il massimo punteggio possibile per quella sottosezione. Il risultato ottenuto viene sottratto a 100 (**Tabella 1**).

1. PAIN	$100 - \frac{\text{total score (P1-P12)} \times 100}{48}$	$= 100 - \frac{\quad}{48}$	=
2. STIFFNESS	$100 - \frac{\text{total score (S1-S5)} \times 100}{20}$	$= 100 - \frac{\quad}{20}$	=
3. FUNCTION	$100 - \frac{\text{total score (F1-F7)} \times 100}{28}$	$= 100 - \frac{\quad}{28}$	=
4. VISUAL EX.	$100 - \frac{\text{total score (V1-V3)} \times 100}{12}$	$= 100 - \frac{\quad}{12}$	=
5. MANUAL EX.	$100 - \frac{\text{total score (M1-M7)} \times 100}{28}$	$= 100 - \frac{\quad}{28}$	=
BHSII score totale	$100 - \frac{\text{total score (P1-M7)} \times 100}{136}$	$= 100 - \frac{\quad}{136}$	=

Tabella 1. Formula per ciascuna sottosezione e per il totale per ottenere un punteggio normalizzato in una scala da 0 a 100. Modificato da Pinna, S., Lambertini, C., Grassato, L., Romagnoli, N. (2019). Evidence-based veterinary medicine: a tool for evaluating the healing process after surgical treatment for cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 6, 65

OBIETTIVI DELLO STUDIO

Gli obiettivi di questo studio sono stati molteplici. La raccolta dati eseguita ha permesso di eseguire una valutazione complessiva del processo di guarigione in cani sottoposti a intervento chirurgico di TPLO, considerando sia i parametri evidenziati nel questionario BHSII sia gli score di osteoartrosi (OA) attribuiti ai singoli studi radiografici, al tempo della diagnosi, a breve e lungo termine. Inoltre, è stato eseguito un ulteriore lavoro di confronto tra la progressione di osteoartrosi in cani sottoposti a TPLO e cani sottoposti a TTA.

In particolare, si riconoscono tre principali obiettivi:

1. Valutazione dei parametri del questionario BHSII durante il periodo di guarigione dopo intervento di TPLO
2. Valutazione della progressione di osteoartrosi associata alla TPLO
3. Progressione di osteoartrosi a confronto TPLO vs TTA

MATERIALI E METODI

In questo studio prospettico sono stati inclusi cani a cui è stata diagnosticata la rottura del legamento crociato craniale nel periodo compreso tra il 2021 e il 2024, e che sono stati sottoposti a intervento chirurgico di TPLO. Il protocollo prevedeva uno studio radiografico completo del ginocchio con due proiezioni ortogonali, medio-laterale e caudo-craniale, eseguito al tempo della diagnosi (T0), dopo un mese (T1) e dopo 6 mesi (T6). Inoltre, veniva sottoposto al proprietario e al veterinario il questionario BHSII agli stessi tempi sopra citati.

Sono stati raccolti, in modo retrospettivo, i casi di cani sottoposti a intervento chirurgico di TTA, pervenuti prima del 2021, che possedevano uno studio radiografico completo con due proiezioni ortogonali, a T0 e T6.

Il questionario BHSII è compilato nelle due sezioni principali, ossia la sezione compilata dal proprietario e la sezione clinica per ogni paziente.

La sezione compilata dal proprietario è divisa in 3 parti, o sottosezioni, ognuna della quali raggruppa aspetti relativi a dolore, rigidità e funzionalità. Ognuna di queste possiede rispettivamente 12, 5 e 7 domande, a cui il proprietario ha attribuito uno score, da 0 a 4, dove 0 indica una risposta molto positiva, mentre 4 molto negativa. Ognuna di queste sottosezioni, ha ottenuto uno score complessivo dato dalla somma dei singoli punteggi, che è stato normalizzato in una scala da 0 a 100, dove 0 equivale ad un punteggio molto negativo mentre 100 ad uno pienamente positivo.

Allo stesso modo, la parte relativa alla valutazione clinica è suddivisa in una sottosezione “esame ispettivo” comprensiva di 3 domande relative alle caratteristiche della zoppia e atteggiamenti particolari e una sottosezione “esame manuale” comprensiva di 7 singoli parametri clinici. Anche per questa sezione viene calcolato un punteggio complessivo dato dalla somma dei singoli 10 parametri e successivamente normalizzato nella medesima scala da 0 a 100.

Le radiografie nelle due proiezioni sono state sviluppate tutte dallo stesso programma Carestream Image Suite (Carestream Health, Inc, Rochester, NYC 14608) e lette e valutate attraverso il programma Carestream Vue PACS (Versione 2.1.0104, Carestream Health, Inc, Rochester, NYC 14608), che permette di visualizzare le immagini DICOM. La proiezione medio-laterale è stata ottenuta mediante la flessione di ginocchio e tarso a 90° per TPLO e del ginocchio a 135° per TTA, con il centro del fascio radiogeno posizionato sugli epicondili femorali e con la sovrapposizione dei condili femorali. La proiezione caudo-craniale è stata

ottenuta mediante estensione di ginocchio e tarso, con rotula posizionata al centro del solco trocleare e il margine mediale del calcaneo taglia a metà la troclea astragalica. La valutazione del grado di osteoartrosi e l'attribuzione di un determinato score per ogni punto di repere è stata eseguita in doppio cieco da due veterinari (in particolare da un PhD in Diagnostica per Immagini e dal candidato), e utilizzata la valutazione più severa tra le due. Le radiografie dei cani sottoposti a TTA erano già state valutate in precedenza da un esperto in radiologia e da un PhD in Diagnostica per Immagini, e rivalutate dagli stessi esaminatori del gruppo di radiografie di TPLO.

È stato preso come riferimento per la valutazione del radiogramma quella descritta da Wessely comprensiva di 15 localizzazioni soggette a comparsa di segni di OA (**Figura 14**). Ne sono stati scelti 14, escludendo dalla valutazione la tuberosità tibiale, in quanto non sempre visibile nelle radiografie medio-laterali dei cani sottoposti a TTA. In particolare:

- Localizzazione 1: apice della patella,
- Localizzazione 2: base della patella,
- Localizzazione 3: rima trocleare prossimale,
- Localizzazione 4: rima trocleare distale,
- Localizzazione 5: condilo femorale,
- Localizzazione 6: aspetto craniale del piatto tibiale,
- Localizzazione 7: aspetto caudale del piatto tibiale,
- Localizzazione 8: aspetto centrale del piatto tibiale (tubercoli intercondiloidei),
- Localizzazione 9: superficie poplitea,
- Localizzazione 10: ossa sesamoidee,
- Localizzazione 11 e 12: aspetti laterale e mediale dei condili femorali e tibiali,
- Localizzazione 13: fossa intercondiloidea tibiale,
- Localizzazione 14: patella

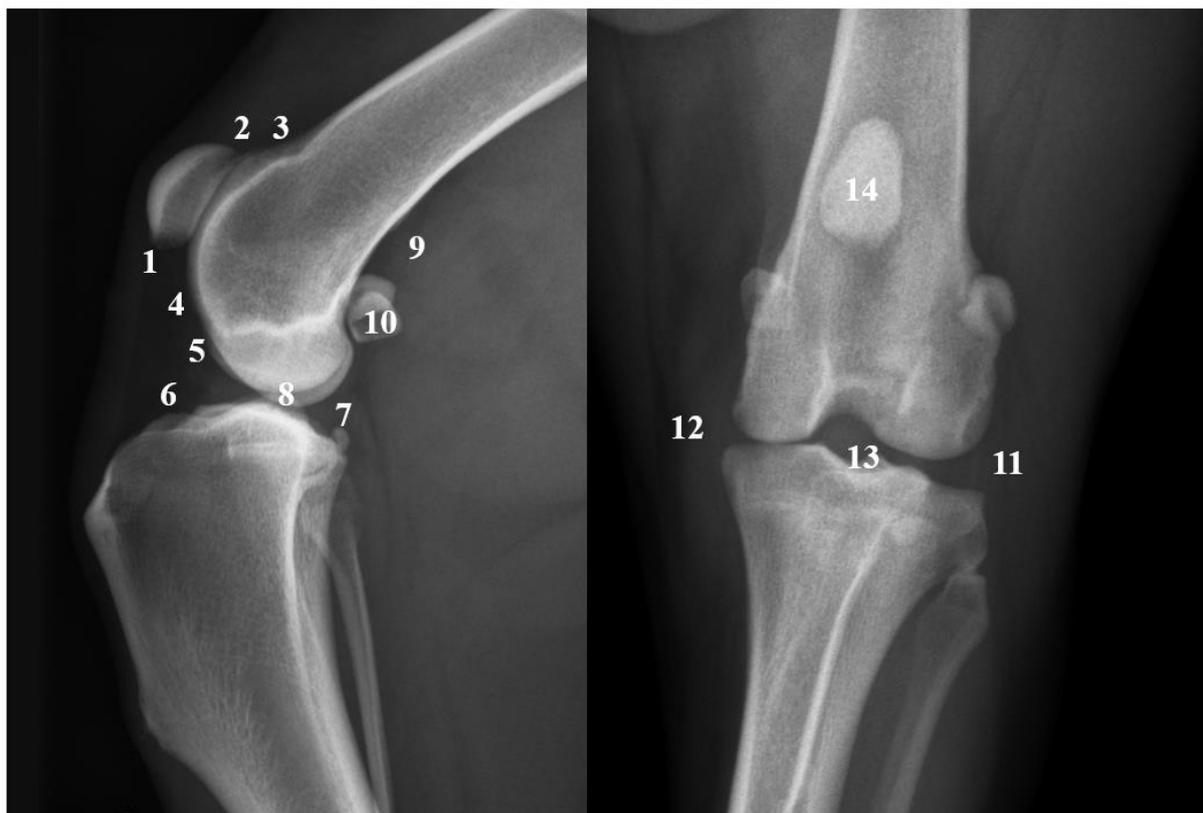


Figura 14. studio radiografico in due proiezioni ortogonali (medio-laterale e caudo-craniale) con indicazione dei punti di reperi valutabili: 1)apice patella, 2) base patella, 3) rima trocleare prossimale, 4) rima trocleare distale, 5) condilo femorale, 6) aspetto craniale piatto tibiale, 7) aspetto caudale piatto tibiale, 8) aspetto centrale piatto tibiale, 9) superficie poplitea femorale, 10) sesamoidi, 11) condilo laterale femorale e tibiale, 12) condilo mediale femorale e tibiale, 13) fossa intercondiloidea, 14) rotula. Modificato da Wessely, M., Brühshwein, A., Schnabl-Feichter, E. (2017). Evaluation of intra-and inter-observer measurement variability of a radiographic stifle osteoarthritis scoring system in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 30(06), 377-384.

È stato assegnato uno score da 0 a 3 ad ogni localizzazione, attribuendo score 0 nel caso in cui quel punto non manifestasse segni di osteoartrosi, score 1 nel caso in cui presentasse piccoli osteofiti e/o segni di sclerosi subcondrale, score 2 nel caso in cui risultassero evidenti segni di sclerosi e/o osteofiti conclamati e score 3 in presenza di marcati segni di sclerosi e osteofiti di dimensioni > 5 mm. La somma dei singoli score attribuiti alle diverse localizzazioni rappresentava il punteggio di OA globale. Da questa somma, sono stati ridefiniti arbitrariamente gli score globali da 0 a 3:

- Score 0 globale (no osteoartrosi): somma compresa tra 0 e 3
- Score 1 globale (osteoartrosi lieve): somma compresa tra 4 e 14
- Score 2 globale (osteoartrosi moderata): somma compresa tra 15 e 28
- Score 3 globale (osteoartrosi grave): somma compresa tra 29 e 42

Sui dati raccolti sono state eseguite l'analisi descrittiva e statistica.

I punteggi normalizzati in scala da 0 a 100 estrapolati dal questionario BHSII, sono considerati variabili quantitative continue, seppur in una scala definita. Allo stesso modo, anche lo score di osteoartrosi globale, rappresentato da una scala da 0 a 42, viene considerato come variabile quantitativa continua. Sebbene i dati relativi alle diverse sottosezioni del BHSII, i dati del BHSII globale e i dati relativi agli score di osteoartrosi possiedano una distribuzione normale secondo il test di Kolmorov-Smirnov, sono stati utilizzati test statistici non parametrici considerando l'esigua numerosità dei campioni (Politi et al., 2021). I risultati sono stati espressi in mediana, range minimo e massimo, e intervallo di confidenza (IC) 95%. Per eseguire un confronto multipli tra variabili continue, come il punteggio normalizzato del questionario BHSII totale e in tutte le sottosezioni, e nel punteggio globale di OA, nei tre tempi sperimentali (T0, T1 e T6), è stato utilizzato il test di Friedman. Lo stesso test è stato applicato su variabili ordinali in scala Likert, quindi lo score globale di OA, lo score di ogni singola localizzazione e di alcuni parametri clinici estrapolati dal BHSII quali dolore, zoppia e ROM.

Infine, al fine di confrontare due differenti tecniche chirurgiche, rappresentate da variabili discrete dicotomiche, è stato applicato il test di Fisher.

L'analisi è stata effettuata con il software MedCalc Statistical Software version 16.8.4 (Ostend, Belgium). Il risultato dei test è stato considerato significativo con $P < 0,05$.

RISULTATI

Su un totale di 54 pazienti sottoposti a TPLO monolaterale, sono stati inclusi 25 cani, in quanto soddisfacevano i requisiti richiesti: i questionari compilati e gli studi radiografici completi a T0, T1 e T6. La popolazione includeva cani di taglia medio-grande, con un'età compresa tra i 1 e 12 anni (mediana: 6), e un peso compreso tra 18 e 60 kg (mediana: 30). E' stata inoltre suddivisa in base al sesso in 15 femmine intere, 8 maschi interi, una femmina sterilizzata e un maschio castrato.

I pazienti sottoposti a intervento di TTA che presentavano studio radiografici completi a T0 e T6 sono risultati 30. Questa popolazione comprendeva cani di taglia medio-grande, con un'età compresa tra 2 e 11 anni (mediana: 5,5), un peso compreso tra 22 e 54 (mediana: 33,5) e suddivisa in 13 femmine intere, 11 maschi interi, 4 femmine sterilizzate e 2 maschi castrati. La rottura del legamento crociato craniale rappresentava l'unica patologia di natura ortopedica in tutti i soggetti.

Valutazione dei parametri del questionario BHSII durante il periodo di guarigione dopo intervento di TPLO

Sono stati inclusi in totale 25 casi clinici che soddisfacevano i criteri di inclusione richiesti alla fine della raccolta dati. Tali criteri erano rappresentati dalla presenza dei questionari BHSII compilati nelle sezioni del proprietario BHSII-OQ e del veterinario BHSII-CR al tempo della diagnosi (T0), a un mese (T1) e 6 mesi (T6) dall'intervento chirurgico di TPLO.

Ogni sezione presenta un punteggio totale, dato dalla somma degli score attribuiti a ciascuno item da 0 a 4. Questo punteggio è stato normalizzato in una scala da 0 a 100 dove 0 indica la presenza di gravi alterazioni e 100 l'assenza di esse ovvero guarigione raggiunta. La mediana dello score ottenuto calcolando i punteggi assegnati dal proprietario (BHSII-OQ) sono risultati 60,42 al tempo 0, 81,25 al tempo 1 e 97,92 al tempo 6. La mediana dello score ottenuto dai punteggi assegnati nella sezione clinica (BHSII-CR) sono risultati di 60 al tempo 0, 75 al tempo 1 e 94,44 al tempo 6. I punteggi della sezione del proprietario risultano superiori rispetto ai punteggi assegnati dallo specialista, soprattutto al tempo 1 (**Grafico 1**). Per quanto riguarda i punteggi totali (BHSII-tot), dati dalla somma dei punteggi delle due sezioni, al tempo 0 risulta una mediana 59,09, al tempo 1 di 80,30 e al tempo 6 di 95,46. I dati completi: mediana, range (minimo e massimo) e IC 95% sono riportati in **Tabella 2**.

	<i>Mediana</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>95% IC</i>
<i>T0 TPLO BHSII tot</i>	59,09	36,36	82,35	55,36 - 69,64
<i>T1 TPLO BHSII tot</i>	80,30	61,72	92,97	75,11 - 83,58
<i>T6 TPLO BHSII tot</i>	95,46	59,38	99,24	91,78 - 96,97
<i>T0 TPLO OQ</i>	60,42	22,83	90,63	52,39 - 74,08
<i>T1 TPLO OQ</i>	81,25	61,96	96,88	75,37 - 87,41
<i>T6 TPLO OQ</i>	97,92	47,83	100	89,74 - 98,96
<i>T0 TPLO CR</i>	60	45	72,50	57,87 - 62,50
<i>T1 TPLO CR</i>	75	47,22	97,22	69,85 - 80,15
<i>T6 TPLO CR</i>	94,44	80,56	100	91,67 - 94,44

Tabella 2. Dati completi relativi al punteggio normalizzato BHSII totale, della sezione del proprietario (BHSII-OQ) e della sezione clinica (BHSII-CR). Si riportano il range con valore minimo e massimo, la mediana e l'intervallo di confidenza del 95%.

Nel confronto tra il punteggio ottenuto nella sezione compilata dal proprietario (BHSII-OQ), quello della sezione clinica (BHSII-CR) e il punteggio totale (BHSII-tot), al tempo 0, 1 e 6, il cambiamento è risultato progressivamente significativo ($P < 0.0001$) secondo il test di Friedman, quindi già con un miglioramento significativo nel passaggio tra T0 e T1.

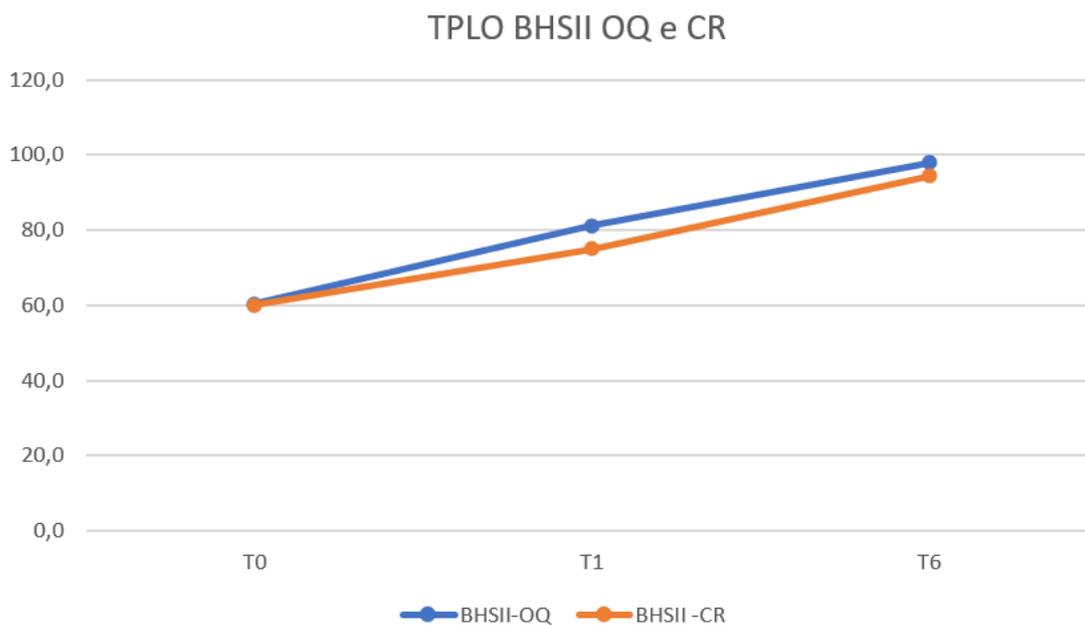


Grafico 1. Rappresentazione dell'andamento del punteggio normalizzato (valore mediano) della sezione del proprietario (linea blu) e della sezione clinica (linea arancione), nei tre tempi sperimentali (T0, T1 e T6).

Inoltre, sono stati valutati con il medesimo test statistico i punteggi delle sottosezioni delle due parti principali del questionario. In particolare, sono state valutate le sottosezioni relative a dolore (BHSII-OQ-P), rigidità (BHSII-OQ-S) e funzionalità dell'arto (BHSII-OQ-F) nella parte del proprietario, e di ispezione (BHSII-CR-V) e palpazione della sezione clinica (BHSII-CR-M). I dati completi: mediana, range (minimo e massimo) e IC 95% sono riportati in **Tabella 3**. Tutti hanno subito un cambiamento statisticamente significativo da T0 a T1 e così a T6 ($P < 0,00001$).

	<i>Mediana</i>	<i>Minimo</i>	<i>Massimo</i>	<i>95% IC</i>
<i>T0 BHSII-OQ-P</i>	68,18	22,72	97,91	62,81 - 80,94
<i>T1 BHSII-OQ-P</i>	87,50	64,58	100	80,10 - 93,75
<i>T6 BHSII-OQ-P</i>	95,83	47,73	100	89,78 - 99,69
<i>T0 BHSII-OQ-S</i>	55	10	95	45,73 – 75
<i>T1 BHSII-OQ-S</i>	75	30	95	65 - 81,07
<i>T6 BHSII-OQ-S</i>	95	45	100	85,73 – 100
<i>T0 BHSII-OQ-F</i>	46,43	14,29	89,29	39,81 - 60,19
<i>T1 BHSII-OQ-F</i>	78,57	46,43	100	75 - 91,81
<i>T6 BHSII-OQ-F</i>	100	50	100	100 - 100
<i>T0 BHSII-CR-V</i>	58,33	33,33	75	50 - 58,33
<i>T1 BHSII-CR-V</i>	75	50	100	59,56 - 75
<i>T6 BHSII-CR-V</i>	100	50	100	100 - 100
<i>T0 BHSII-CR-M</i>	64,29	42,86	82,14	60,71 - 67,33
<i>T1 BHSII-CR-M</i>	75	45,83	95,83	75 - 82,72
<i>T6 BHSII-CR-M</i>	100	75	100	92,89 - 100

Tabella 3. Dati completi relativi al punteggio normalizzato BHSII delle 3 sottosezioni della parte del proprietario (dolore, rigidità e funzionalità) e delle due sottosezioni della parte clinica (valutazione ispettiva e palpatoria). Si riportano il range con valore minimo e massimo, la mediana e l'intervallo di confidenza del 95%.

Nonostante risulti un miglioramento statisticamente significativo del punteggio per tutte le sottosezioni, si evidenzia come il punteggio peggiore viene attribuito, al tempo della diagnosi, alla sottosezione relativa alla funzionalità (relativa alla capacità di utilizzare l'arto osservata dal proprietario), con una mediana di 46,43, seguito dalla sottosezione di rigidità, con una mediana di 55. La sottosezione relativa alla funzionalità mostra un miglioramento più evidente rispetto alle altre sottosezioni già a T1 (mediana di 78,57), raggiungendo il massimo punteggio a T6. La sottosezione relativa alla rigidità e quella relativa al dolore sono le uniche che al tempo 6 non raggiungono una mediana di 100, ma rispettivamente di 95 e 95,83 (**Grafico 2**).

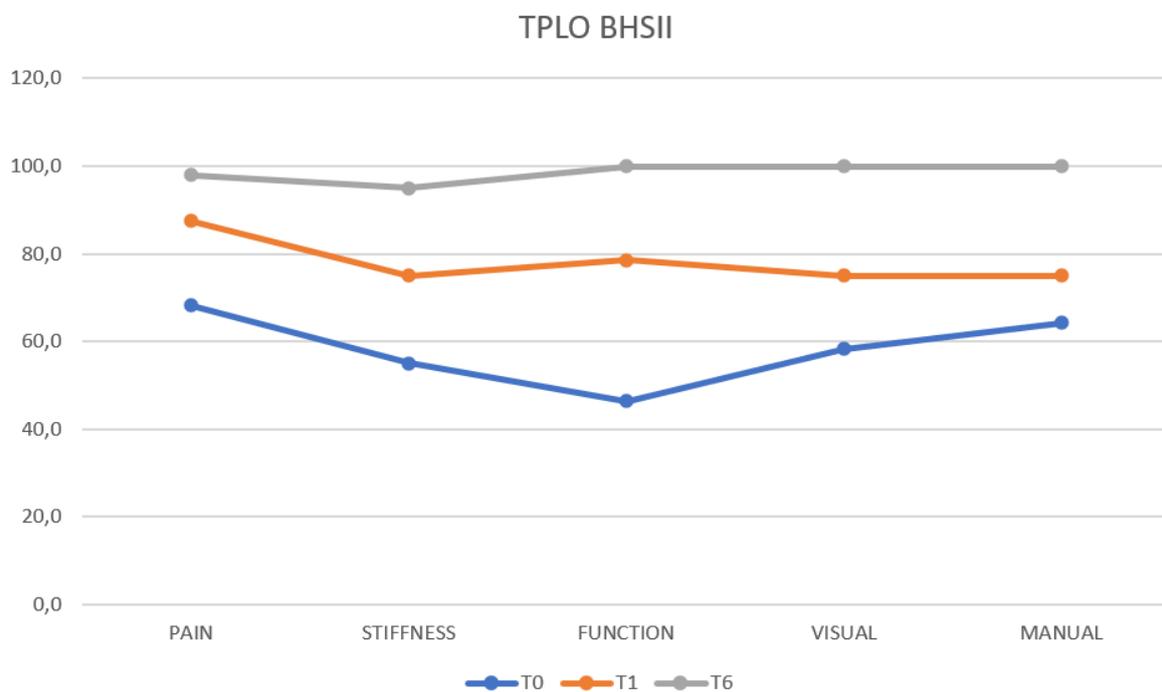


Grafico 2. Rappresentazione dell'andamento del punteggio normalizzato (valore mediano) della sezione delle singole sottosezioni della sezione del proprietario e della sezione clinica, nei tre tempi sperimentali T0 (linea blu), T1 (linea arancione e T6 (linea grigia).

Sono stati poi analizzati nello specifico alcuni parametri della parte clinica del questionario, come il grado di zoppia, il range of motion in estensione e in flessione, e il dolore, considerando gli score attribuiti da 0 a 4, sempre nei tre tempi del follow up.

Zoppia

A T0 tutti i cani presentavano zoppia. In particolare, 3 cani presentavano zoppia lieve (identificata nello score 1), la maggioranza (17 su 25 cani) presentava di zoppia moderata

(identificata dallo score 2), e 5 cani presentavano zoppia moderata/grave (identificata dallo score 3), quindi con perdita parziale della funzionalità.

A T1, si osserva una diminuzione dei cani che manifestano zoppia (20 su 25), e tra questi si osserva un aumento dei cani con zoppia lieve (score 1) (15 su 25), 5 cani con score 2; 5 cani su 25 non manifestavano più zoppia.

A T6 si rileva la quasi totalità dei pazienti (23 su 25) con assenza completa di zoppia e due soli casi con zoppia lieve (score 1) (**Grafico 3**).

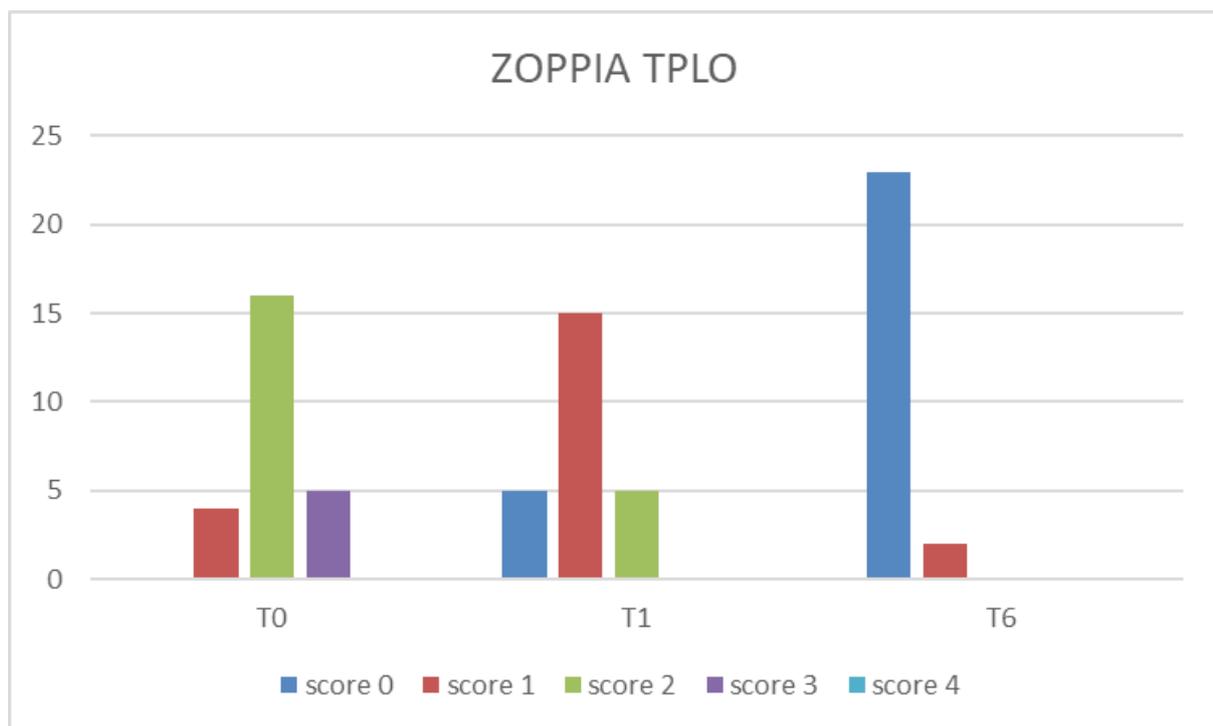


Grafico 3. Distribuzione degli score di zoppia 0-4 tra i 25 cani sottoposti a intervento di TPLO inclusi nello studio, nei tre tempi sperimentali. Sull'asse x sono rappresentati i 4 score a T0, T1 e T6, mentre sull'asse y è rappresentato il numero dei cani.

Questa evidente redistribuzione degli score della zoppia è stata avvalorata dai risultati del test statistico di Friedman, che ha dimostrato una diminuzione del grado di zoppia statisticamente significativa ($P < 0,0001$) tra T0, T1 e T6 (**Tabella 4**).

Range of Motion

Analizzando successivamente il range di massima estensione e flessione dell'articolazione del ginocchio dei 25 cani inclusi nello studio sono emersi i seguenti dati (**Grafico 4**):

- Estensione a T0: 2 cani presentavano score 0, corrispondente a un'estensione nei limiti della norma (8%), mentre i restanti 23 (92%) presentavano un certo grado di alterazione dell'angolo di estensione. In particolare, 7 cani presentavano score 1, corrispondente a

una lieve alterazione, 11 (44%) cani presentavano score 2, corrispondente a un'alterazione moderata (range angolo 152°-148°), e rispettivamente 2 (8%) e 3 (12%) cani presentavano score 3 e 4, corrispondenti a una grave e severa riduzione dell'angolo di estensione.

- Estensione a T1: si evidenzia un aumento del numero di cani con score 0 e 1, che raggiungono quota 9, mentre solo due cani presentano uno score 2 e 4. Aumenta di una quota il numero di cani con score 3.
- Estensione a T6: 19 cani ottengono lo score 0, quindi con un recupero completo dell'angolo di estensione. Non si evidenziano cani con score 3 e 4.

Questo progressivo miglioramento dell'angolo di estensione viene confermato dal test di Friedman, che risulta significativo ($P < 0,00001$) tra T0 vs T1 vs T6 (**Tabella 4**).

- Flessione a T0: si evidenzia una distribuzione più uniforme tra i primi tre score (0, 1, 2), rispetto all'estensione, rappresentati rispettivamente da 7, 9 e 7 cani (quindi con percentuale di 28% e 36%). Solo un cane presentava score 3 ed uno con score 4.
- Flessione a T1: rimane uniforme la distribuzione tra i primi tre score, con rispettivamente 8, 7 e 6 cani, ma aumenta il numero di cani con score 3, passando da 1 a 4. Nessun cane presenta score 4.
- Flessione a T6: si riscontra un aumento di cani con score 0 (12 cani su 25, corrispondente al 48%), rimane costante a 7 il numero di cani con score 1, mentre diminuisce il numero di cani con score 2 e 3, rappresentati da 4 e 2 cani rappresentanti.

Il test di Friedman, in questo caso, non mostra alcun cambiamento significativo ($P = 0,5313$) né a breve (T1), né a lungo termine (T6) (**Tabella 4**).

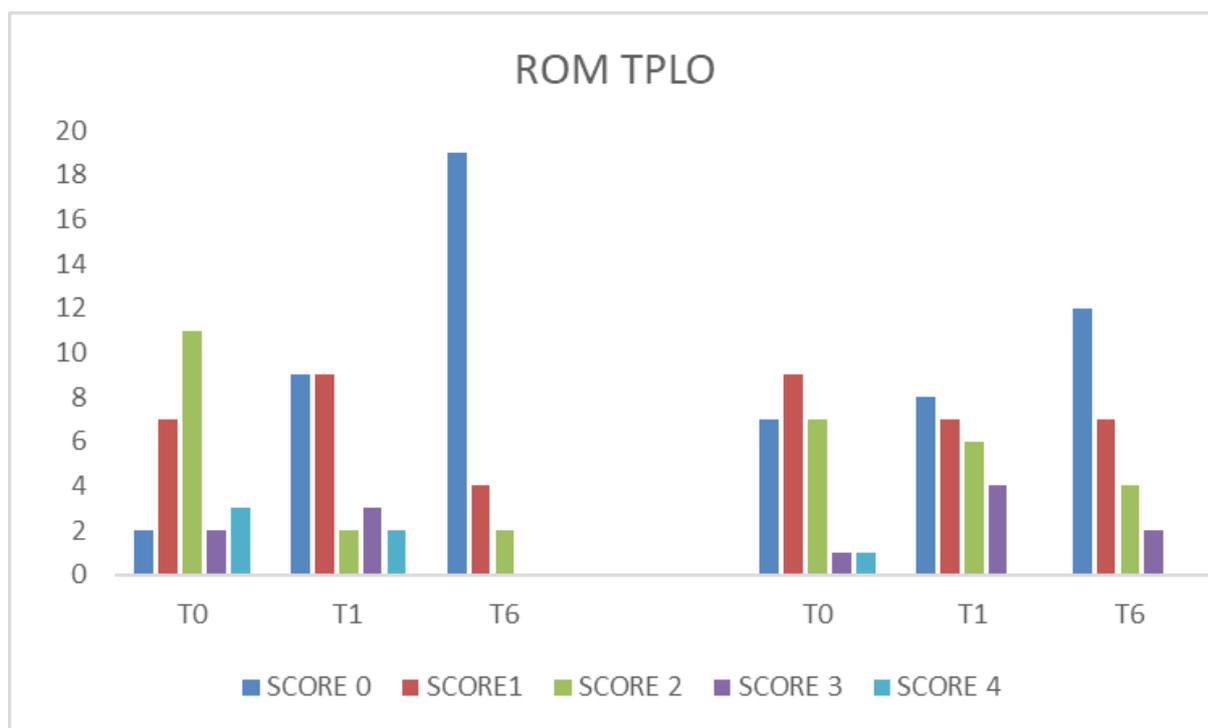


Grafico 4. Distribuzione degli score 0-4 di estensione (sinistra) e flessione (destra) tra i 25 cani sottoposti a intervento di TPLO inclusi nello studio, nei tre tempi sperimentali. Sull'asse x sono rappresentati i 4 score a T0, T1 e T6, mentre sull'asse y è rappresentato il numero dei cani.

Dolore

Per quanto riguarda la presenza di dolore e l'intensità, valutati alla palpazione e ai movimenti passivi dell'articolazione, è emerso quanto segue: a T0, 6 cani non manifestavano dolore (score 0), mentre i restanti vengono divisi tra un dolore definito come lieve (score 1) e moderato (score 2); rispettivamente 9 e 10 cani. A T1 si evidenzia come quasi totalità dei cani non manifestava più dolore (23 cani con score 0) e a 6 mesi nessun cane manifestava dolore (**Grafico 5**).

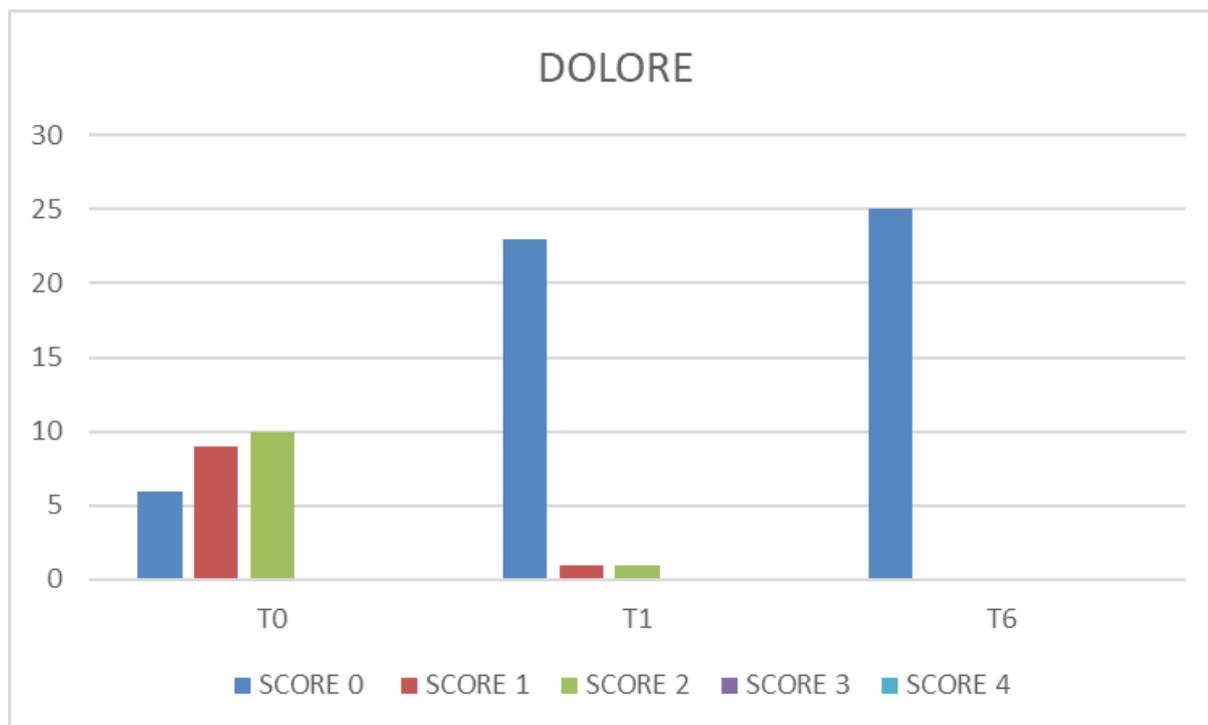


Grafico 5. Distribuzione degli score di dolore 0-4 tra i 25 cani sottoposti a intervento di TPLO inclusi nello studio, nei tre tempi sperimentali. Sull'asse x sono rappresentati i 4 score a T0, T1 e T6, mentre sull'asse y è rappresentato il numero dei cani.

Il test di Friedman evidenzia un miglioramento significativo ($P < 0,00001$) tra T0 vs T1 vs T6 (Tabella 4).

	<i>SCORE Zoppia</i> <i>Mediana (range)</i>	<i>SCORE Dolore</i> <i>Mediana (range)</i>	<i>SCORE ROM ext</i> <i>Mediana (range)</i>	<i>SCORE ROM flex</i> <i>Mediana (range)</i>
T0	2 (1-3)	1 (0-2)	2 (0-4)	1 (0-4)
T1	1 (0-2)	0 (0-2)	1 (0-4)	1 (0-3)
T6	0 (0-0)	0 (0-0)	0 (0-2)	1 (0-3)
<i>P value</i>	< 0,00001	< 0,00001	< 0,00001	0,53139

Tabella 4. Dati relativi allo score mediano e range (minimo e massimo) dei parametri clinici di zoppia, dolore e range of motion in estensione e flessione, relativa ai tre tempi sperimentati. Significatività con $P \text{ value} < 0,05$.

Valutazione della progressione di osteoartrosi associata alla TPLO

Sono stati inclusi nello studio 25 cani che, al termine della raccolta dati, presentavano uno studio radiografico completo, in due proiezioni ortogonali, medio-laterale e caudo-craniale del ginocchio, prima dell'intervento chirurgico (T0) e dopo 1 (T1) e 6 (T6) mesi dall'intervento di TPLO.

È stata eseguita una prima valutazione descrittiva, analizzando i cani che avevano ottenuto score 0 come pazienti senza segni di osteoartrosi, mentre cani che avevano ottenuto uno score di 1, 2 e 3 come pazienti con presenza di osteoartrosi, non discriminandone la gravità, ed è emerso che la quasi totalità di pazienti (22 su 25) manifestavano già osteoartrosi al tempo della diagnosi, e a T6 tutti avevano segni di OA.

Analizzando invece, i differenti score, corrispondenti a 4 diversi gradi di osteoartrosi (0-4), è stato evidenziato una differenza significativa tra T0 e T6 ($P=0,0024$) con il test di Friedman.

Dall'analisi descrittiva della ridistribuzione del grado di OA si evince che in 7 cani l'OA è aumentata di almeno un grado, mentre in 18 cani non c'è stato alcun cambiamento di score.

Questo risultato viene riportato dettagliatamente nel **Grafico 6** seguente.

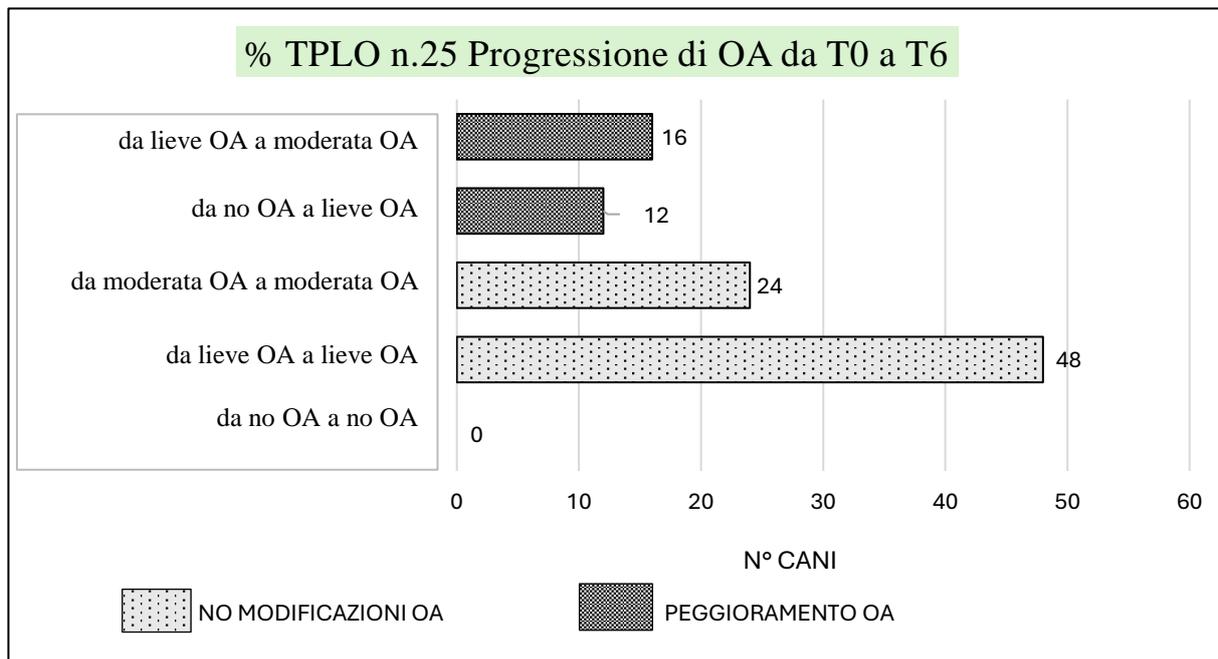


Grafico 6. Rappresentazione della progressione dello score di osteoartrosi nel periodo compreso tra il tempo della diagnosi e 6 mesi dopo l'intervento chirurgico. Le colonne grigio scuro rappresentano i cani che hanno subito una modificazione dello score globale (0-3) di OA nel tempo sperimentale considerato, mentre le colonne grigio chiaro rappresentano i cani che non hanno subito modificazioni.

Come descritto in materiali e metodi, gli score (0-3) derivano dalla trasformazione del punteggio globale (range 0-42) ottenuto dalla somma dei singoli score (0-3) attribuiti a ciascuno dei 14 punti di repere valutati sulle immagini radiografiche. La **tabella 5** riporta i valori calcolati, evidenziando un aumento progressivo nei tre diversi tempi considerati.

	Mediana	Minimo	Massimo	95% IC
T0-somma orto	11	1	20	7 - 12
T1-somma orto	11	3	20	10 - 13
T6-somma orto	13	4	25	11,15 - 15,86

Tabella 5. Dati relativi alla somma totale di osteoartrosi, data dalla somma dei singoli score (0-3) attribuiti alle 14 localizzazioni, con valore mediano, range minimo e massimo e intervallo di confidenza del 95%.

Il test di Friedman ha infatti confermato un aumento significativo del punteggio globale ($P < 0,00001$), quindi un peggioramento dell'osteartrosi.

Questi test statistici applicati al punteggio globale da 0 a 42, hanno evidenziato come, all'interno di una popolazione di cani che presenta artrosi, tale peggiora in modo statisticamente significativo, pur mantenendo lo stesso score.

Per meglio approfondire la progressione dell'osteartrosi, sono stati successivamente valutati singolarmente tutti i 14 punti di repere.

Da un punto di vista descrittivo, tutte le localizzazioni hanno subito un peggioramento, aumentando progressivamente la somma totale degli score singoli ottenuti. Solamente le localizzazioni 2 (base della patella) e 13 (fossa intercondiloidea) hanno presentato la stessa somma nel passaggio tra T0 e T1, manifestando poi entrambe un aumento a T6. Le restanti localizzazioni, ad eccezione della 7 (aspetto caudale del piatto tibiale), hanno subito una modifica di massimo 5 punti tra T0 e T1. Le localizzazioni 2 (base della patella), 8 (aspetto centrale del piatto tibiale), 9 (superficie poplitea) e 14 (patella) hanno ottenuto modificazioni minime anche nel passaggio a T6 (massimo 3 punti). Le localizzazioni 6 (aspetto craniale del piatto tibiale), 11 (aspetto laterale di condili femorali e tibiali), e 13 (fossa intercondiloidea) hanno subito modificazioni del punteggio nel passaggio tra T0 e T6 rispettivamente di 13, 10 e 9. Le localizzazioni 1 (apice della patella), 4 (rima trocleare distale), 5 (condilo femorale), e 12 (aspetto mediale di condili femorali e tibiali) hanno presentato un aumento rispettivo di 7, 6, 7

e 5 punti. La localizzazione 7 ha mostrato un aumento di 10 punti già al passaggio tra T0 e T1 e di ulteriori 6 punti nel passaggio tra T1 e T6, risultando il punto di reperi con maggiori alterazioni (**Grafico 7**).

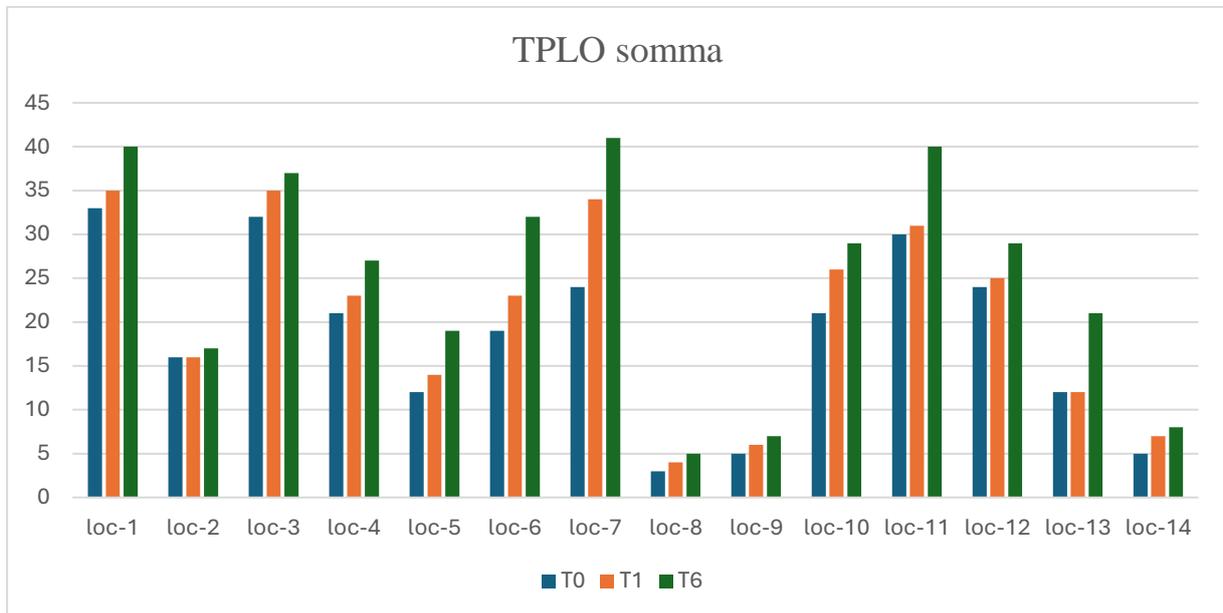


Grafico 7. Rappresentazione della somma degli score attribuiti alle singole localizzazioni, relative ai tre tempi sperimentali T0 (blu), T1 (arancione) e T6 (verde). Sull'asse delle x sono rappresentate le 14 localizzazioni, mentre sull'asse delle y sono rappresentate le somme degli score attribuiti ai 25 cani inclusi nello studio.

Con il test di Friedman, eseguito per ogni localizzazione, in relazione ai tre momenti considerati (T0, T1 e T6) (**Tabella 6**) sono stati ottenuti i seguenti risultati:

- Il peggioramento dell'OA nelle localizzazioni 1, 4, 5, 6, 11, 12, 13 è risultato statisticamente significativi nel passaggio da T0 a T6 e tra T1 e T6, ma non tra T0 e T1.
- Le localizzazioni 2, 8, 9 e 14 non si sono modificate in modo significativo durante i 6 mesi post-intervento chirurgico considerati.
- Le modificazioni nella localizzazione 3 sono state significative solo nel passaggio tra T0 e T6.
- Le modificazioni della localizzazione 10 sono risultate significative tra T0 e T1 e T6, ma non tra T1 e T6.
- La localizzazione 7, invece, si sono modifica in modo significativo già tra T0 e T1.

SCORE	T0	T1	T6	P VALUE
ORTO tot	1 (0-2)	1 (0-2)	1 (1-2)	0,00236*
LOC 1	1 (0-2)	1 (0-2)	2 (1-2)	0,00236*
LOC 2	1 (0-1)	1 (0-1)	1 (0-1)	0,3754
LOC 3	1 (0-2)	1 (1-3)	1 (1-3)	0,0191*
LOC 4	1 (0-2)	1 (0-2)	1 (0-3)	0,0070*
LOC 5	0 (0-1)	1 (0-2)	1 (0-2)	0,0236*
LOC 6	1 (0-2)	1 (0-2)	1 (0-2)	0,00003*
LOC 7	1 (0-2)	1 (0-3)	2 (0-3)	<0,00001*
LOC 8	0 (0-1)	0 (0-1)	0 (0-1)	0,2265
LOC 9	0 (0-1)	0 (0-1)	0 (0-2)	0,2265
LOC 10	1 (0-2)	1 (0-3)	1 (0-3)	0,0011*
LOC 11	1 (0-2)	1 (0-3)	2 (0-3)	0,0002*
LOC 12	1 (0-2)	1 (0-2)	1 (0-3)	0,0121*
LOC 13	0 (0-2)	0 (0-2)	1 (0-2)	0,00001*
LOC 14	0 (0-2)	0 (0-2)	0 (0-2)	0,0952

Tabella 6. Score mediano e range minimo-massimo delle 14 localizzazioni valutate nelle due proiezioni ortogonali dell'articolazione del ginocchio, sottoposto a intervento di TPLO, a T0, T1 e T6. Significatività evidenziata mediante simbolo * P value < 0,05.

Progressione di osteoartrosi a confronto TPLO vs TTA

Sono stati inclusi 25 cani sottoposti a intervento di TPLO e 30 cani sottoposti a intervento di TTA che presentavano come criteri di inclusione lo studio radiografico completo con due proiezioni ortogonali, al tempo 0 e al tempo 6.

A T0, nel gruppo TPLO, 3 cani (12%) non presentavano segni di OA (score 0) e 22 (88%) mostravano OA, di cui 16 cani classificati come lieve OA (score 1) e 6 come moderata OA (score 2). Nel gruppo TTA, solo 5 cani su 30 non manifestavano OA (16,7%). Dei casi che presentano OA, 20 sono stati classificati come lieve OA, e 5 casi come moderata OA.

A T6, tutti i casi di TPLO presentano osteoartrosi, mentre dei casi di TTA rimane soltanto un caso privo di segni di OA. Nel gruppo TPLO 15 cani avevano una lieve OA e 10 casi di moderata OA, mentre dei casi di TTA, 17 sono classificati come lieve e 12 come moderata. Nessun caso di OA grave (score 3) in entrambi i gruppi (**Grafico 8**).

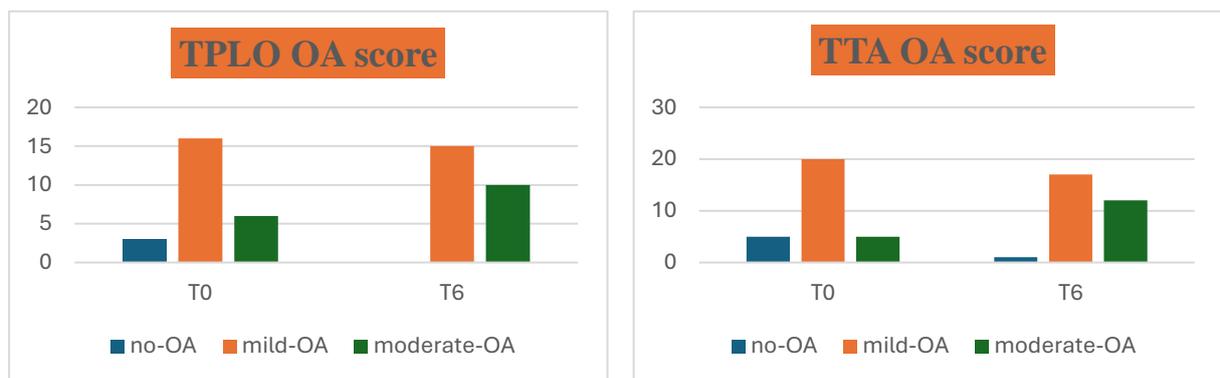


Grafico 8. Rappresentazione della distribuzione della gravità di osteoartrosi a carico dell'articolazione nei 25 cani sottoposti a TPLO e 30 sottoposti a TTA relativamente al tempo della diagnosi e a 6 mesi postoperatori. Sull'asse delle x sono rappresentati i gradi di osteoartrosi come assenza (blu), presenza di lieve OA (arancione) e presenza di moderata OA (grigio).

È stato successivamente valutato il numero di cani che durante il processo di guarigione, da T0 a T6, hanno manifestato un peggioramento dell'osteartrosi rilevato da una variazione dello score.

Gruppo TPLO. Dei 25 cani inclusi 3 hanno presentato un peggioramento del grado di osteoartrosi da uno score 0 (no-OA) a uno score 1 (lieve-OA), mentre 4 cani che avevano uno score 1 a T0, sono peggiorati ottenendo uno score 2 (moderata-OA). Sono rimasti invariati gli score di 12 cani con score 1 e 6 cani con score 2 tra T0 e T6.

Gruppo TTA. Tra le radiografie dei 30 cani è emerso quanto segue: a T0 1 cane che presentava score 0, 13 cani score 1 e 5 cani score 2 sono rimasti invariati a T6. A T0 4 cani che presentavano score 0, hanno ottenuto uno score 1 a T6 e 7 cani che presentavano score 1 a T0 hanno ottenuto

un peggioramento con score 2 a T6 (**Grafico 9**).

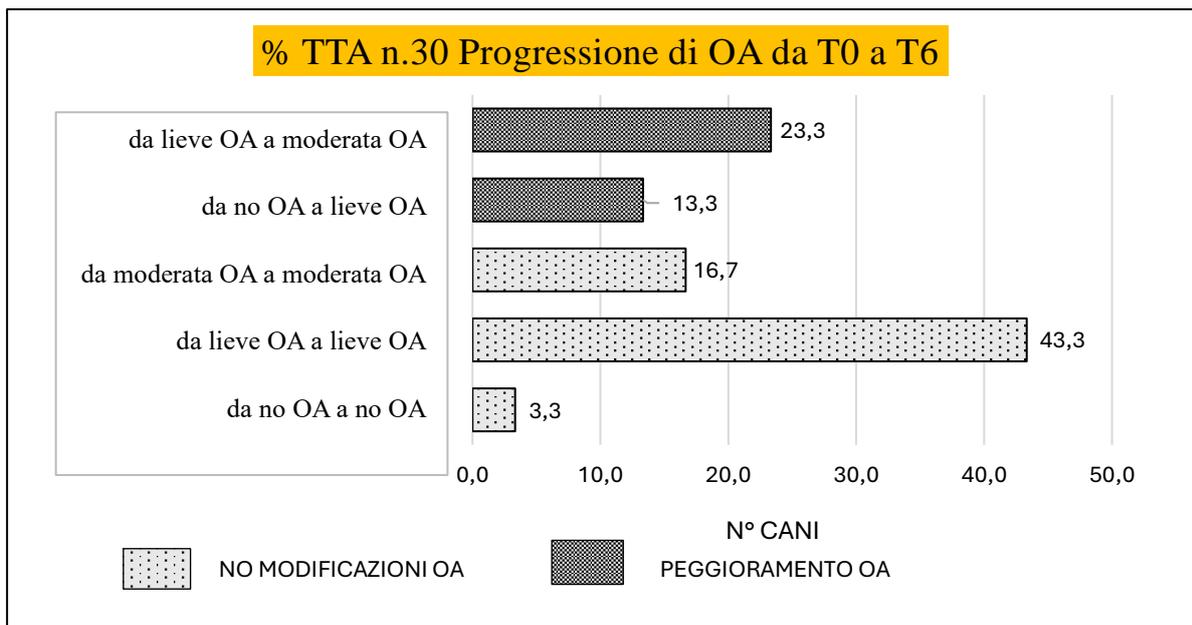
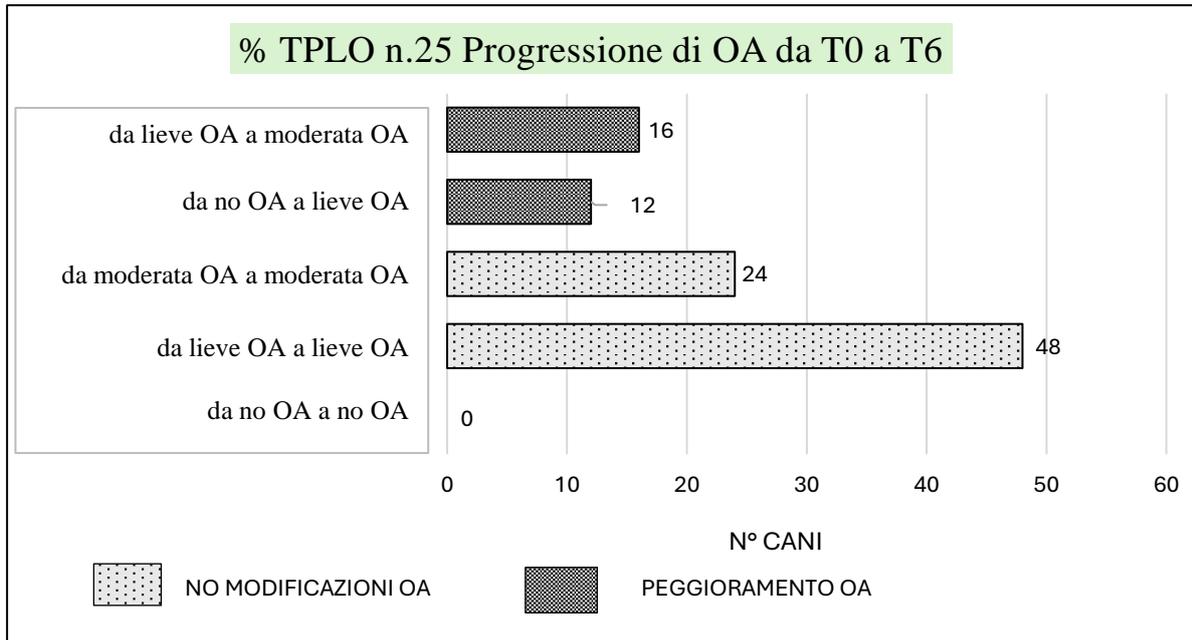


Grafico 9. Rappresentazione della progressione dello score di osteoartrosi nel periodo compreso tra il tempo della diagnosi e 6 mesi dopo l'intervento chirurgico di TPLO e TTA. Le colonne grigio scuro rappresentano i cani che hanno subito una modificazione dello score globale (0-3) di OA nel tempo sperimentale considerato, mentre le colonne grigio chiaro rappresentano i cani che non hanno subito modificazioni.

In sintesi, 18 cani su 25 sottoposti a TPLO e 19 cani su 30 sottoposti a TTA non hanno subito un peggioramento dell'osteoartrosi. Considerando questi dati, il test di Fisher, che confronta due diversi trattamenti per verificarne l'efficacia, è risultato statisticamente non significativo $P=0,5715$.

Nella valutazione del punteggio globale 0-42 di osteoartrosi attribuito ai cani sottoposti a TTA, coerentemente con i risultati della TPLO, è stata riscontrata una progressione statisticamente significativa ($P \text{ value} < 0,0001$), pur mantenendo lo stesso score nel passaggio tra T0 e T6 (**Tabella 7**).

	Mediana	Minimo	Massimo	95% IC
T0-somma orto	8	0	25	5,18 - 9
T6-somma orto	12	0	25	10,18 - 17,65

***Tabella 7.** Dati relativi alla somma totale di osteoartrosi, data dalla somma dei singoli score (0-3) attribuiti alle 14 localizzazioni, con valore mediano, range minimo e massimo e intervallo di confidenza del 95%, in cani sottoposti a TTA. Dati disponibili a T0 e T6.*

È stata eseguita la valutazione dei singoli punti di repere anche per l'intervento di TTA, considerando 14 punti per T0 e T6, mentre solo 10 per T1, a causa della mancanza della proiezione caudo-craniale del ginocchio nello studio radiografico a T1 (**Tabella 8**).

Dal punto di vista descrittivo, a differenza dei punteggi riscontrati nei cani sottoposti a TPLO, si rileva un aumento evidente di tutti i punteggi da T0 a T6, a discapito dei punteggi tra T0 e T1 che differiscono di massimo 1 punto. Nel passaggio tra T0 e T6, la localizzazione 14 ha subito la minor modificazione con 4 punti, mentre le maggiori alterazioni sono state rilevate nella localizzazione 7 con un aumento di 24 punti e nella localizzazione 11 con un aumento di 17. Le restanti localizzazioni hanno subito un cambiamento uniforme da 7 a 9 punti (**Grafico 10**).

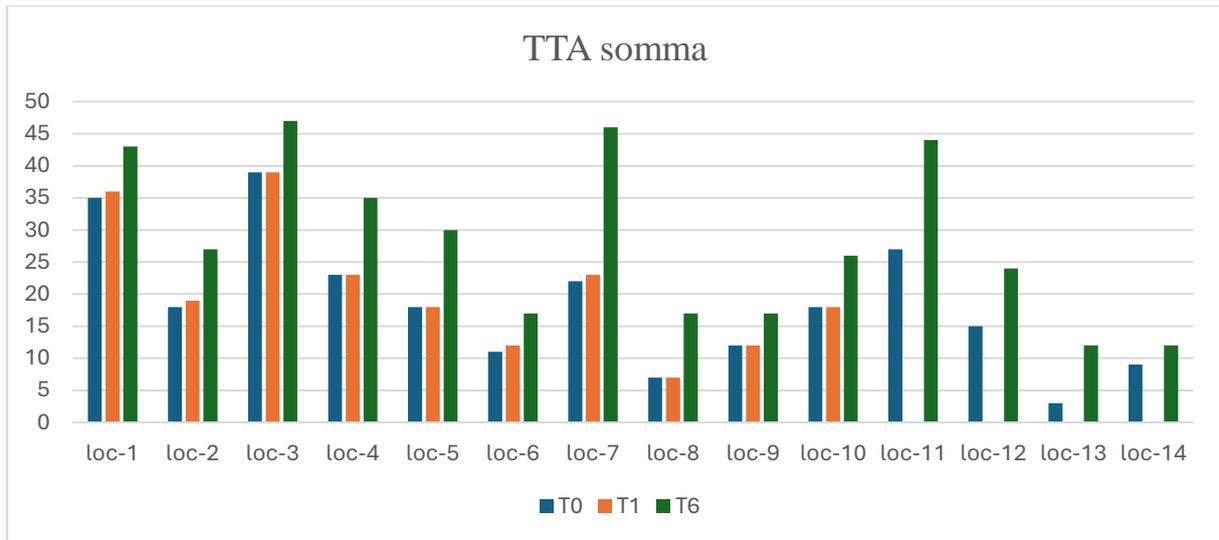


Grafico 10. Rappresentazione della somma degli score attribuiti alle singole localizzazioni, relative ai tre tempi sperimentali T0 (blu), T1 (arancione) e T6 (verde). Sull'asse delle x sono rappresentate le 14 localizzazioni, mentre sull'asse delle y sono rappresentate le somme degli score attribuiti ai 30 cani inclusi nello studio. Non sono disponibili le somme a T1 delle ultime 4 localizzazioni.

Con l'utilizzo del test di Friedman, sono quindi stati ottenuti i seguenti risultati:

- Il peggioramento dell'OA nei primi 10 punti è risultato statisticamente significativo nel passaggio da T0 a T6 e tra T1 e T6, ma non tra T0 e T1.
- Considerando gli ultimi 4 punti, soltanto il punto 14 non ha subito variazioni statisticamente significative tra T0 e T6.

SCORE	T0	T1	T6	P VALUE
ORTO tot	1 (0-2)	-	1 (0-2)	0,00031*
LOC 1	1 (0-2)	1(0-2)	2 (0-2)	0,00130*
LOC 2	1 (0-2)	1 (0-2)	1 (0-2)	0,00038*
LOC 3	1 (0-3)	1 (0-3)	1 (0-3)	0,00012*
LOC 4	0 (0-3)	0 (0-3)	1 (0-3)	<0,00001*
LOC 5	0,5 (0-2)	0,5 (0-2)	1 (0-3)	0,00001*
LOC 6	0 (0-2)	0 (0-2)	0,5 (0-2)	0,00416*
LOC 7	1 (0-2)	1 (0-2)	2 (0-3)	<0,00001*
LOC 8	0 (0-1)	0 (0-1)	0,5 (0-2)	0,00003*
LOC 9	0 (0-2)	0 (0-2)	0 (0-2)	0,01577*
LOC 10	0,5 (0-2)	0,5 (0-2)	1 (0-2)	0,00045*
LOC 11	1 (0-3)	-	1,5 (0-3)	0,00001*
LOC 12	0 (0-3)	-	1 (0-3)	0,00294*
LOC 13	0 (0-1)	-	0 (0-2)	0,00143*
LOC 14	0 (0-1)	-	0 (0-1)	0,08307

Tabella 8. Score mediano e range minimo-massimo delle 14 localizzazioni valutate nelle due proiezioni ortogonali dell'articolazione del ginocchio, sottoposto a intervento di TTA, a T0, T1 e T6, per le prime 10 localizzazioni, e T0 e T6 per le ultime 4 localizzazioni. Significatività evidenziata mediante simbolo * a un P value < 0,05.

DISCUSSIONI

L'obiettivo principale dello studio è stata una valutazione approfondita del processo di guarigione dell'articolazione del ginocchio nel cane, affetta da lesione del legamento crociato craniale e trattata con tecniche osteotomiche. In particolare, è stato condotto uno studio prospettico riguardo pazienti trattati con tecnica TPLO, mediante l'analisi del BHSII e dell'osteoartrosi, e uno studio retrospettivo, nonché di confronto, sulla progressione dell'osteoartrosi di pazienti trattati con tecnica TTA. È stata valutata la funzionalità dell'articolazione mediante aspetti percepiti e riferiti dal proprietario e parametri clinici nelle sezioni dedicate del questionario BHSII, e al grado di osteoartrosi rilevabile dallo studio radiografico in due proiezioni ortogonali. Il questionario BHSII, a differenza degli altri questionari ortopedici descritti in letteratura, è il primo questionario validato focalizzato sulla valutazione del processo di guarigione del ginocchio dopo trattamento per una lesione del legamento crociato craniale, e che contiene una doppia componente, una sezione dedicata ad aspetti valutabili dal proprietario, e una sezione in cui parametri clinici oggettivi vengono analizzati dallo specialista. Le due parti sopra citate, relative a cani sottoposti a intervento chirurgico di TPLO, mostrano la medesima tendenza, caratterizzata da un miglioramento progressivo e statisticamente significativo nel corso dei 6 mesi considerati dallo studio. Si evince però, che la somma dei punteggi globali delle sottosezioni dedicate al proprietario (BHSII-OQ) risultano superiori rispetto alla valutazione clinica sia ispettiva sia palpatoria (BHSII-CR) nel breve termine (T1). Ragionevolmente, la percezione del proprietario che vede attraverso il comportamento del proprio cane il ripristino della sua normale routine, senza difficoltà deambulatorie come evidenziate al momento della diagnosi, può non rispecchiare la reale condizione clinica dell'articolazione, che, soprattutto nei primi mesi post-operatori, può presentare alterazioni specifiche valutabili dallo specialista, come il range of motion o effusione capsulare o la massa muscolare (Pinna et al., 2020 (a)).

In letteratura sono presenti diversi studi che valutano il processo di guarigione dopo intervento chirurgico di TPLO, utilizzando altri questionari ufficiali validati come CBPI, COI e LOAD (Mölsä et al., 2013; Gordon-Evans et al., 2013; Engdahl et al., 2023; Volz et al., 2024 (b)) e altri (Priddy et al., 2003; Christopher et al., 2013; Oxley et al., 2013; Bureau, 2017) e la valutazione da parte del proprietario relativa alla qualità di vita del proprio cane risulta in progressivo miglioramento a breve e lungo termine, coerentemente con i risultati sopra riportati.

Nonostante un miglioramento progressivo globale, il punteggio relativo al dolore, a lungo termine (T6), risulta inferiore nella sottosezione dedicata al proprietario (BHSII-OQ-P)

piuttosto che nella valutazione clinica (BHSII-CR-M). La bassa correlazione tra la percezione del dolore da parte del proprietario e dello specialista è già stata discussa nell'ambito della validazione dei questionari "Hudson analogue scale" e "Helsinki chronic pain index", in quanto animali che manifestano nella quotidianità atteggiamenti algici, non reagiscono alle manipolazioni durante la valutazione clinica (*Hudson et al., 2004; Hielm-Björkman et al., 2011*).

Enghdal, insieme ai suoi collaboratori, nel loro studio del 2023, che confronta tre diverse tecniche chirurgiche per il trattamento di rottura del legamento crociato craniale mediante l'utilizzo del questionario COI, sottolinea una maggior probabilità di rigidità e zoppia nelle tecniche osteotomiche piuttosto che extracapsulari, a lungo termine (mediana di 4,6 anni su una coorte di 71 cani) (*Engdahl et al., 2023*). Nel presente studio, considerando i risultati ottenuti a lungo termine, la sottosezione del questionario relativa alla rigidità (BHSII-OQ-S) mantiene dei valori di score normalizzati più bassi rispetto alle sottosezioni relative a dolore e funzionalità (BHSII-OQ-P e BHSII-OQ-F), pur migliorando in modo significativo, mentre la sottosezione relativa alla funzionalità, seppur possieda i punteggi più bassi a T0, ottiene a T6 il punteggio massimo di 100. Questa discrepanza potrebbe essere spiegata dalle differenti tempistiche considerate. I risultati dello studio di Enghdal, che considera un tempo post-operatorio molto ampio (> 4 anni), potrebbero essere influenzati dalla comparsa di altre patologie o condizioni degenerative concomitanti che possono modificare l'andamento clinico del paziente. Gli studi che hanno utilizzato i questionari CBPI e LOAD (*Gordon-Evans et al., 2013; Mölsä et al., 2013*), hanno rilevato anch'essi un miglioramento significativo dopo intervento chirurgico, ma è difficilmente confrontabile con il presente studio in quanto tali questionari sono focalizzati sulla valutazione del dolore cronico, a differenza del COI e BHSII che invece considerano la condizione dell'articolazione nella sua completezza. Il questionario BHSII, inoltre, era già stato utilizzato dopo la sua validazione nel 2019, nel monitoraggio di guarigione a seguito di interventi chirurgici per il trattamento del legamento crociato. In particolare, si rileva in letteratura uno studio del 2019 sul confronto del processo di guarigione di tre differenti tecniche chirurgiche per la risoluzione della rottura del legamento crociato craniale nel cane: TTA (tecnica osteotomica), Tight Rope (tecnica extracapsulare) e Paatsama (tecnica intracapsulare). (*Pinna et al., 2020 (a)*).

Dallo stesso gruppo di lavoro, è stato proposto il BHSII per valutare il processo di guarigione in 5 cani di piccola taglia (<10 kg) con rottura del legamento crociato craniale, sottoposti a intervento chirurgico intra-articolare con mini-Tight Rope. (*Pinna et al., 2020 (b)*). I risultati

completi e affidabili di questi precedenti studi hanno perciò posto le basi per la valutazione della guarigione dopo intervento di TPLO mediante utilizzo di tale questionario.

Come si evince dai risultati, sono stati analizzati nello specifico 3 principali parametri clinici del questionario BHSII quali zoppia, dolore e range motion.

Parametro: zoppia. Considerando i risultati ottenuti per lo score di zoppia mediante valutazione clinica, è risultato un miglioramento statisticamente significativo già nel passaggio tra T0 e T1, sebbene la maggior parte dei pazienti inclusi (15 su 25) a T1 presentava ancora un lieve grado di zoppia. Anche Livet e colleghi, nel loro confronto tra TPLO e TTA rapida, hanno riscontrato risultati compatibili con il presente studio, ottenendo uno score di zoppia mediano a T1 di 1,5 (score 0-4). Coerenti anche i risultati a T6 che vedono in entrambi gli studi una risoluzione quasi completa della zoppia (*Livet et al., 2019*). Gli studi di cinematica possono avvalorare questi risultati, poiché, sebbene non sia possibile correlarli a parametri clinici valutati da un esame ispettivo, descrivono comunque la capacità di appoggio dell'arto e quindi del suo utilizzo. Kim e il suo gruppo di lavoro, nel 2012, hanno condotto uno studio in vivo nel quale viene evidenziato come la forza verticale di picco e l'impulso verticale migliorino in modo statisticamente significativo già a un mese dalla procedura chirurgica e non si modificano poi nei mesi successivi (*Kim et al., 2012*). Allo stesso modo, anche Krotscheck e colleghi, nel confronto tra tecniche chirurgiche, hanno dimostrato attraverso la piattaforma di forza, che soggetti sottoposti a TPLO hanno un completo recupero in termini di forza di reazione al suolo e forza verticale di picco a differenza di altre tecniche considerate (*Krotscheck et al., 2016*). Nel 2020, il gruppo di Amimoto ha verificato l'andamento cinematico in cani di piccola taglia sottoposti a TPLO e ha trovato risultati coerenti, con un ripristino della funzionalità a 6 mesi (*Amimoto et al., 2020*).

Parametro: dolore. L'andamento del dolore rilevato dall'esame clinico del presente studio ha subito un progressivo miglioramento fino a registrare un 92% (23 su 25 cani) di assenza completa di dolore a 6 mesi dall'intervento chirurgico. Contestualmente, è stato evidenziato un miglioramento, sebbene meno marcato, della percezione del proprietario riguardo al dolore, in quanto viene registrata una mediana di 95,83 su scala normalizzata, che risulta inferiore alla sottosezione relativa alla funzionalità, che presenta invece una mediana di 100. In letteratura il dolore viene spesso valutato attraverso l'utilizzo di questionari come LOAD o HCPI, rappresentativi del dolore cronico e sono coerenti con le valutazioni del presente studio. Infatti, lo studio di Pownall e colleghi del 2020, ha registrato un 37,6% di cani che manifestavano dolore cronico a 6 mesi dall'intervento chirurgico mediante questionario HCPI (*Pownall et al.,*

2020), coerente con uno studio precedente del 2013, che identificava una prevalenza di dolore cronico a seguito di trattamento di legamento crociato craniale tra il 31 e 61% (*Christopher et al., 2013*). Nel 2018 è stato valutato il dolore sia mediante questionario CBPI sia mediante valutazione clinica, evidenziando in questo caso una risoluzione completa a 8 settimane (*Kennedy et al., 2018*). La maggior parte degli studi presenti in letteratura valutano il dolore cronico attraverso i questionari compilati direttamente dal proprietario, in quanto è stato dimostrato come sia il miglior strumento per identificarne la presenza (*Goldberg, 2017; Reid et al., 2018; Belshaw and Yeats, 2018; Endghal et al., 2024*). Coerentemente con quanto emerso dai dati del presente studio, la valutazione del dolore mediante esame clinico, risulta lievemente peggiore rispetto ai dati registrati dalla sottosezione del proprietario relativa al dolore. È possibile, infatti, che non si riesca ad evocare dolore con determinate manualità, ma che si identifichino degli atteggiamenti “algici” e “comportamentali” durante le attività quotidiane, che sono appunto rilevate soltanto dal proprietario (*Endghal et al., 2024*). È quindi verosimile che alla valutazione a 6 mesi dall’intervento non sia stato evocato dolore, ma alterazioni comportamentali siano stati evidenziate dai proprietari su alcuni pazienti, diminuendone il punteggio globale. È importante distinguere infatti, il dolore acuto, che è strettamente legato al trauma e all’infiammazione che si genera in risposta alla rottura del legamento crociato, e il dolore cronico, che per definizione è considerato tale quando persiste oltre i 3 mesi (*Treede et al., 2015*), causato dalla presenza dell’osteoartrosi, che permette il perpetuarsi di infiammazione, stimolando nocicettori articolari e periarticolari. Quest’ultimo può essere riconosciuto da alterazioni in atteggiamenti o posture che il paziente assume per limitare la stimolazione algica.

Parametro: range of motion. Riguardo al range of motion valutato prima del trattamento chirurgico, l’angolo di estensione è risultato maggiormente alterato rispetto all’angolo di flessione, con una percentuale di 92% di cani con alterazione dell’estensione, di cui un 12% moderata/grave (*Pinna et al 2024*). Tale risultato è in accordo con uno studio precedente del 2021, , dove vengono analizzate in totale 234 articolazioni di ginocchio a seguito di rottura del legamento crociato craniale, e si evince come l’angolo di estensione viene ridotto maggiormente rispetto alla flessione con una differenza statisticamente significativa (*Pinna et al., 2021*). Nel presente studio, in aggiunta, a seguito di intervento di TPLO, l’estensione migliora in modo statisticamente significativo nei 6 mesi considerati, mentre la flessione non si modifica allo stesso modo, mantenendo un’alterazione nel 52% di cani. Questi risultati sono comparabili alla pubblicazione del 2024 dello stesso gruppo di lavoro del presente studio, che riscontrato un miglioramento significativo dell’angolo di estensione (69,9% di cani con angolo

di estensione normale a T6), a discapito della flessione, che presenta un miglioramento ma con solo un 43,5 % di cani con angolo normale (*Pinna et al., 2024*). Questa tecnica osteotomica modifica la geometria dell'articolazione del ginocchio (*Kim et al., 2008*). Schultz e colleghi hanno dimostrato, nel loro studio anatomico del 2015, che, a seguito di intervento di TPLO, si verifica uno spostamento craniale della tibia, con una dislocazione craniale del centro di rotazione, soprattutto durante l'estensione dell'articolazione (*Schultz et al., 2015*). Infatti, quando il piatto tibiale viene ruotato, la sua porzione craniale si sposta in direzione distale rispetto ai condili femorali (*Slocum and Slocum, 1993; Kim et al., 2008*). Si presuppone che questo faciliti il movimento di estensione dell'articolazione; al contrario, la porzione caudale del piatto tibiale si sposta prossimalmente, costituendo un ostacolo ideale alla flessione. Monk e colleghi nel 2006 hanno valutato l'efficacia della fisioterapia dopo intervento di TPLO in cani con rottura del legamento crociato craniale. In accordo con il presente studio, è emerso un miglioramento predominante dell'estensione rispetto alla flessione, con un ripristino degli angoli comparabili con l'arto controlaterale dopo trattamento fisioterapico (*Monk et al., 2006*). In uno studio sul follow-up a lungo termine (mediana 2,8 anni) di tre tecniche intracapsulare, extracapsulare e osteotomica, Mölsä e il suo gruppo di lavoro hanno registrato alterazioni significative degli angoli di estensione e di flessione al tempo 0, e un miglioramento del solo angolo di estensione a seguito di trattamento con tecnica osteotomica, seppur anch'esso risultato alterato rispetto al controlaterale (*Mölsä et al., 2014*).

Osteoartrosi. In seguito ad un'analisi approfondita dei dati ottenuti mediante il questionario BHSII, che è indicativo dello stato clinico del paziente, è stata spostata l'attenzione sulla principale conseguenza di una lesione a carico del legamento crociato: la progressione dell'osteoartrosi. È noto in letteratura che l'osteoartrosi è una patologia degenerativa che deriva, almeno nella sua forma secondaria, da un qualsiasi insulto o lesione a uno degli elementi che compongono l'articolazione, per questo motivo rientra nella principale complicanza della rottura del legamento crociato.

Analizzando lo score globale di osteoartrosi, nonostante la maggioranza di cani mantenga il medesimo score nel passaggio tra T0 e T6, l'analisi statistica della somma degli score globali aumenta in modo significativo. Inoltre, lo score globale deriva da un range di punteggio totale ottenuto dalla somma dei singoli punteggi assegnati a tutti i punti di repere (localizzazioni) valutati, come riportato nella sezione di materiali e metodi. I test statistici applicati al punteggio globale da 0 a 42, hanno evidenziato come, all'interno di una popolazione di cani che presenta osteoartrosi, essa peggiora in modo statisticamente significativo, pur mantenendo lo stesso score.

I risultati ottenuti riguardo la progressione dell'osteoartrite dopo intervento di TPLO sono coerenti con quanto noto in letteratura. Hurley e colleghi, nel 2007, hanno valutato mediante un sistema di score di Vasseur modificato (30 parametri) un totale di 373 articolazioni, riscontrando un modesto ma statisticamente significativo aumento nello score di osteoartrite a 8 settimane dopo intervento chirurgico di TPLO, rispetto al periodo preoperatorio (*Hurley et al., 2007*).

Boyd, nello stesso anno, insieme ai suoi collaboratori, ha eseguito una valutazione della progressione di osteoartrite in 29 cani sottoposti a TPLO e ha evidenziato un peggioramento significativo a un anno nel 76% dei casi (*Boyd et al., 2007*).

Il gruppo di Lazar, utilizzando il medesimo sistema di scoring del precedente studio, ha riscontrato un aumento dei punteggi tra il momento della diagnosi e un anno dopo intervento chirurgico di TPLO e tecnica extracapsulare (*Lazar et al., 2005*). Anche Au e i suoi collaboratori, nel 2010, hanno registrato risultati coerenti nel confronto tra TPLO e una tecnica extracapsulare, considerando un follow up di 2 anni (*Au et al., 2010*).

Rayward e colleghi, nella loro valutazione dell'osteoartrite a 6 mesi da procedura di TPLO, mediante score di osteofitosi, hanno evidenziato un aumento significativo del punteggio medio, nonostante la maggioranza dei cani (il 60% di 40) non abbia ottenuto un aumento dello score (*Rayward et al., 2004*). Tale riscontro può essere in parte correlato con i risultati del presente studio, nel quale, nonostante si rilevi una maggioranza di cani che non presenta un cambiamento dello score globale di osteoartrite nei sei mesi considerati, il cambiamento del punteggio su scala 0-42 all'interno di tale score presenti un peggioramento statisticamente significativo. Tale risultato può trovare una possibile spiegazione nel tempo considerato, che potrebbe essere troppo breve per mostrare un cambiamento più rilevante. È allo stesso modo probabile, che la valutazione del grado di osteoartrite, oltre a 6 mesi, possa essere stata influenzata da altre potenziali lesioni articolari o degenerazione primaria aggravanti la progressione della patologia (*Au et al., 2010*).

Localizzazioni radiografiche e le loro modificazioni a seguito della TPLO. A differenza di quanto presente in letteratura, dove la valutazione e il confronto viene eseguita sui punteggi totali e score globali, nel presente studio sono state analizzate le singole localizzazioni, in modo da identificare quali punti di repere anatomici abbiano influenzato maggiormente la crescita del punteggio globale. L'aspetto caudale del piatto tibiale (*loc.7*) è risultato il punto di repere che si modifica più velocemente e più intensamente nel corso dei 6 mesi di follow-up, ottenendo un peggioramento statisticamente significativo già nel passaggio tra T0 e T1. La modificazione

biomeccanica dell'intervento di TPLO può spiegare tale risultato, in quanto, riducendo l'inclinazione del piatto tibiale, il contatto tra le superfici articolari viene spostato più caudalmente sull'asse longitudinale della tibia generando quindi una forza puramente compressiva durante il carico (*Slocum and Devine, 1984*). Inoltre, come dimostrato da Reif e colleghi nel 2002, dopo aver condotto uno studio biomeccanico ex vivo, la compressione assiale dopo intervento di TPLO, genera una forza di traslazione caudale, spostando quindi lo stress sul versante caudale dell'articolazione (*Reif et al., 2002*). Anche il gruppo di Kowaleski nel 2005 ha eseguito uno studio in vitro in cui ha confermato la forza di traslazione caudale come conseguenza della TPLO (*Kowaleski et al., 2005*). Nel 2014, Brown, Bertocci e Marcellin-Little hanno identificato la forza di traslazione caudale su modello computerizzato di arti di Golden Retriever sottoposti a intervento di TPLO (*Brown, N. P., et al., 2014*). L'aumento dello stress può portare a una più veloce progressione dell'osteoartrosi in quel punto, riscontrando precocemente la formazione di osteofiti. In aggiunta, a livello dell'incisura poplitea, che si rileva nella medesima proiezione medio-laterale, si trova l'inserzione tibiale del legamento crociato caudale, che viene considerato esposto a maggiori rischi di lesioni dopo rotazione caudale a seguito di TPLO (*Warzee et al., 2001; Reif et al., 2004; Brown, N. P., et al. 2014; Volz et al., 2024 (a)*).

L'aspetto craniale del piatto tibiale (*loc. 6*), il versante laterale dei condili femorale e tibiale (*loc. 11*) e la fossa intercondiloidea tibiale (*loc. 13*) subiscono la maggiore modificazione del punteggio nel passaggio tra T0 e T6, con un aumento statisticamente significativo.

L'aspetto craniale del piatto tibiale (*loc. 6*) rappresenta il punto di attacco del legamento crociato craniale, quindi primariamente sottoposto a insulto. Oltre a ciò, è un punto in cui viene eseguita l'osteotomia semicircolare, quindi le alterazioni ossee potrebbero essere influenzate dal processo di guarigione, nonostante sia prevista una guarigione per prima intenzione dalla compressione che si genera tra i monconi.

La sollecitazione a carico della regione laterale dei condili femorale e tibiale (*loc. 11*) può dipendere invece dai movimenti di intrarotazione che non vengono completamente neutralizzati dalla TPLO, risultando in una sollecitazione maggiore sul legamento collaterale laterale (*Warzee et al., 2001; Shimada et al., 2020*).

Anche l'apice della rotula (*loc. 1*), la rima trocleare distale femorale (*loc. 4*) e il condilo femorale (*loc. 5*) hanno subito una modificazione modesta nel passaggio tra T0 e T6, risultando statisticamente significativa. È stato dimostrato con uno studio biomeccanico ex vivo, che al diminuire dell'inclinazione del piatto tibiale, aumenta progressivamente lo stress sul legamento

patellare (*Pacchiana et al., 2003; Kowaleski et al., 2004; Carey et al., 2005; Bester et al., 2024*). È verosimile che l'aumento delle forze sul legamento influenzino anche le sollecitazioni sulle strutture a contatto, quindi anche la rotula.

La troclea femorale rappresenta uno dei punti principali in cui si sviluppano osteofiti a seguito di rottura del legamento crociato anteriore (*Gilbertson et al., 1975*). Essendo un punto di inserzione della capsula articolare, in particolare dell'articolazione patello-femorale (*Miller et al., 2013*), la cresta trocleare rappresenta un punto di formazione di osteofiti, nonostante la stabilizzazione mediante trattamento chirurgico. Si ipotizza non tanto una sollecitazione biomeccanica, quanto una stimolazione infiammatoria determinata in parte dal primo insulto, in parte dalla procedura chirurgica.

La base della rotula (*loc. 2*), l'aspetto centrale del piatto tibiale (*loc. 8*), la loggia poplitea (*loc. 9*), e la rotula (*loc. 14*) nella proiezione caudo-craniale, non hanno subito modificazioni statisticamente significative rispetto al tempo 0. La base della rotula (*loc. 1*), essendo la parte più prossimale, potrebbe non essere sollecitata quanto l'apice connesso direttamente al legamento patellare, tant'è che non si è modificata nel tempo considerato. L'aspetto centrale del piatto (*loc. 8*) (corrispondente alla sovrapposizione delle eminenze intercondiloidee), nella proiezione medio-laterale, viene presumibilmente sottostimata dalle sovrapposizioni anatomiche presenti. La sollecitazione del tendine del muscolo popliteo (*loc. 9*) non viene modificata a seguito di intervento chirurgico, in quanto stabilizzatore attivo che interviene per neutralizzare la forza di traslazione anteriore, che viene già annullata dalla modificazione biomeccanica (*Slocum and Slocum, 1993*). I sesamoidi (*loc. 10*) hanno subito un cambiamento statisticamente significativo tra T0 e T1, ma nei mesi successivi presentano delle minime modificazioni. Questi si trovano all'interno dei tendini prossimali del muscolo gastrocnemio, che è coinvolto nel generare la forza di traslazione anteriore (tibial thrust) (*Johnson et al, 2011*). Varcoe e colleghi, in uno studio condotto nel 2021 sull'attività muscolare di bicipite femorale, quadricipite e gastrocnemio attraverso un esame di miografia acustica, hanno evidenziato come l'attività del muscolo gastrocnemio sia aumentata nelle prime due settimane dopo intervento di TPLO, ma non a 8 settimane (*Varcoe et al, 2021*). Si ipotizza che l'attività dei muscoli coinvolti nel movimento del ginocchio debbano ristabilire un nuovo equilibrio in accordo con la modificazione anatomica.

I cambiamenti radiografici e le alterazioni riscontrate non sono correlati ai risultati relativi alla condizione clinica del paziente, sia da punto di vista del proprietario, sia mediante valutazione dei parametri clinici. Infatti, nei 6 mesi valutati, si osserva un miglioramento clinico

progressivo, con un ripristino della funzionalità dell'arto affetto e un recupero di un ottimale qualità di vita, ma una contestuale progressione del grado di osteoartrosi dell'articolazione. Questa discrepanza conferma con quanto già riscontrato in letteratura. Gordon e colleghi hanno rilevato una mancata correlazione tra lo score radiografico di osteoartrosi e i dati relativi alla piattaforma di forza in 41 cani con zoppia ed evidenza di osteoartrosi a carico dell'articolazione del ginocchio (*Gordon et al., 2003*). Nel 2004 Innes e i suoi collaboratori hanno riscontrato, oltre a una progressione del grado di osteoartrosi a carico del ginocchio affetto da rottura del legamento crociato, anche in un 40% di articolazioni controlaterali sane la medesima evoluzione, in assenza di segni clinici evidenti (*Innes et al., 2004*). Ancora, il gruppo di studio di Au ha valutato la simmetria dell'arto affetto da rottura di legamento crociato craniale, trattato con TPLO, rispetto al contro laterale, trovando un 98% di recupero completo a 6 mesi, a discapito di un peggioramento progressivo del grado di osteoartrosi (*Au et al., 2010*). Moore e colleghi, nel 2020, ribadiscono comunque che non è chiara la correlazione tra segni clinici come la zoppia e l'osteoartrosi, ma è evidente comunque la progressione di quest'ultima a seguito di qualsiasi trattamento per la rottura del legamento crociato craniale (*Moore et al., 2020*). Le alterazioni a carico dell'articolazione a seguito di intervento di TPLO, sono riscontrabili da uno studio radiografico, ma non si esprimono con un'alterazione della funzionalità dell'arto e di conseguenza non influenzano la qualità di vita del paziente, almeno nel tempo considerato nel presente studio. Sarebbe interessante eseguire un confronto tra pazienti con rottura del legamento crociato craniale trattati con intervento chirurgico e pazienti non trattati, per verificare se la procedura chirurgica porta a un rallentamento della degenerazione articolare, ma eticamente non è possibile, ovvero eventuali confronti con trattamenti conservativi non sarebbero invece adeguati. Pinna e colleghi, nel loro studio del 2019, hanno suddiviso la popolazione iniziale in gruppi in base al grado di osteoartrosi, identificando un grado di osteoartrosi peggiore in cani con zoppia cronica, rispetto a cani con zoppia acuta (< 30 giorni) (*Pinna et al., 2019 (b)*). Considerato che, secondo i risultati del presente studio, > 60% dei pazienti sottoposti a intervento chirurgico hanno mantenuto lo stesso score globale a T1 (rispettivamente 72% di cani sottoposti a TPLO e 62% di cani sottoposti a TTA) si ipotizza che gli stessi pazienti non trattati avrebbero presentato una progressione di osteoartrosi maggiore.

Confronto della progressione di OA TPLO vs TTA. Sebbene esistano in letteratura differenti studi di confronto tra tecniche chirurgiche per il trattamento del legamento crociato craniale, mediante valutazioni cliniche e attraverso l'utilizzo di questionari, il presente studio ha limitato il confronto sulla progressione dell'osteoartrosi a seguito delle due tecniche osteotomiche, TPLO e TTA. Come per la TPLO, i pazienti sottoposti a TTA mostrano lo stesso andamento in

termini di progressione globale di osteoartrosi nel periodo comprensivo di 6 mesi post-operatori. Nel 2022, Wemmers e altri ricercatori hanno revisionato 72 studi pubblicati riguardo la valutazione di queste due tecniche chirurgiche, per identificare quale potesse risultare migliore rispetto all'altra. Tra i diversi aspetti dell'articolazione che ha considerato, emerge anche la progressione dell'osteoartrosi, che risulta presente dopo entrambe le procedure chirurgiche (Wemmers *et al.*, 2022). In accordo con il presente studio, non è stata riscontrata una superiorità di una procedura rispetto all'altra, in termini di progressione dell'osteoartrosi, contrariamente a una meno recente revisione pubblicata nel 2018, che identificava minori alterazioni radiografiche a seguito di intervento di TPLO (Beer *et al.*, 2018). La discordanza tra i risultati può dipendere da diversi fattori. Innanzitutto, esistono moltissimi sistemi di valutazione per attribuire un grado di osteoartrosi, e tali valutazioni differiscono sia in termini di score, sia in termini di punti di repere valutabili. Questo rende non attendibile il confronto tra i diversi studi perché la valutazione non è uguale e ripetibile. I diversi punti di repere considerati rappresentano un ulteriore limite, in quanto, come abbiamo dimostrato nel presente studio, alcuni punti anatomici influenzano in modo differente la valutazione globale dell'articolazione. Il tempo gioca inoltre un ruolo fondamentale per la valutazione dell'osteoartrosi. Secondo la conoscenza scientifica, l'osteoartrosi è una patologia degenerativa, che può dipendere sia da una alterazione primaria dell'articolazione, sia da una causa scatenante che può essere qualsiasi lesione o insulto a uno degli elementi che compongono l'articolazione. Perciò, nel tempo, la progressione delle alterazioni rilevabili, possono dipendere sia dalla pregressa lesione a carico del legamento crociato craniale e della conseguente procedura chirurgica, sia da un'ulteriore lesione o insulto a carico dell'articolazione stessa, o più generalmente da una degenerazione primaria. Moore e colleghi, nel primo studio di confronto tra TPLO e TTA con una valutazione a lungo termine di > 3 anni, hanno riscontrato una maggior progressione dell'osteoartrosi nei pazienti che hanno subito intervento di TTA piuttosto che di TPLO, ma gli stessi autori identificano tra i limiti dello studio la difficoltà di eliminare tutte le possibili concause capaci di influenzare la progressione dell'osteoartrosi (Moore *et al.*, 2020).

Ragionevolmente, le due procedure osteotomiche raggiungono una nuova stabilità dell'articolazione, tale da ripristinarne completamente la funzionalità, come dimostrato dagli studi di cinematica. La modificazione della biomeccanica del ginocchio, però, attraverso delle osteotomie correttive, potrebbe rappresentare da sola una causa primaria di sviluppo di osteoartrosi, che è generata da qualsiasi alterazione all'interno dell'articolazione. Di conseguenza, nonostante generi stabilità, bloccando il meccanismo a catena che permette il

perpetuarsi dello stato infiammatorio generale causato dalla lesione del legamento crociato, potrebbe innescare a sua volta un diverso meccanismo di infiammazione.

Relativamente alle alterazioni dei singoli punti di repere anatomici nei pazienti sottoposti a TTA, i primi 10 punti sono risultati significativi solo al passaggio tra T0 e T6 e non al passaggio tra T0 e T1. Non è stato possibile verificare la progressione tra T0 e T1 degli ultimi 4 punti in quanto, essendo una raccolta retrospettiva, la proiezione caudo-craniale a T1 non era disponibile per la valutazione. Come per la TPLO, i risultati ottenuti nei punti di apice e base della rotula (*loc. 1 e 2*) nella proiezione laterale, non sono stati coerenti con il punteggio attribuito nella proiezione caudo-craniale (*loc. 14*), presumibilmente perché sottostimato dalla presenza di sovrapposizioni di altre strutture ossee, che potrebbero nascondere la presenza di osteofiti o alterazioni del profilo. L'aspetto caudale del piatto tibiale (*loc. 7*) e il condilo laterale femorale e tibiale (*loc. 11*) hanno riscontrato un aumento del punteggio maggiore tra T0 e T6. Come dimostrato da studi biomeccanici, la forza di picco sul legamento crociato caudale e sul legamento collaterale laterale risultano superiori rispetto al ginocchio sano controlaterale a seguito di TTA (*Brown et al., 2015*). È evidente, comunque, una migliore distribuzione delle sollecitazioni tra i punti di repere considerati, a seguito di intervento di TTA, in quanto la progressione dell'osteoartrosi procede in modo uniforme tra tutti i punti, a differenza della TPLO, dove si riscontrano maggiori differenze. La spiegazione può essere inclusa negli studi biomeccanici relativi alla TTA che riportano come la forza di picco sul legamento crociato caudale, collaterale laterale e mediale sul ginocchio trattato risulta minore rispetto a un'articolazione non trattata, ma non identifica una maggior sollecitazione su una struttura (*Guerrero et al., 2011; Hoffmann et al., 2011; Brown et al., 2015*), a differenza degli studi sulla TPLO (*Reif et al., 2002; Kowaleski et al., 2005; Brown, N. P., et al., 2014*).

Limiti dello studio. Lo studio presenta dei limiti. Nonostante la natura prospettica dell'analisi condotta sui pazienti sottoposti a TPLO, nel tempo considerato dal 2021 al 2024, non è stato possibile raccogliere un numero elevato di casi, che avrebbe reso ancora più attendibili i risultati, in particolar modo l'analisi statistica. In aggiunta, diversi casi sono stati esclusi dallo studio perché non possedevano le valutazioni cliniche e radiografiche a tutti i tempi sperimentali stabiliti, in particolare a 6 mesi dall'intervento chirurgico, quando, a guarigione avvenuta, è stata riscontrata poca compliance da parte del proprietario nel tornare per una valutazione finale.

Nonostante l'analisi eseguita mediante il questionario BHSII ha permesso una valutazione accurata, un eventuale studio cinematico mediante piattaforme di forza e gait analysis avrebbe reso il monitoraggio ancora più completo e avrebbe permesso di ottenere un ulteriore

correlazione tra i risultati clinici e quelli biomeccanici. Per questo è stata condotta una ricerca bibliografica per verificare la coerenza dei dati ottenuti.

Il confronto della progressione dell'osteoartrosi tra le due tecniche osteotomiche presenta dei limiti legati alla natura retrospettiva dei casi di pazienti sottoposti a TTA, che mancavano della valutazione completa radiografica in due proiezioni a 1 mese dall'intervento chirurgico. Il motivo è legato alla mancata necessità di verificare la guarigione sulla proiezione caudo-craniale a un mese dalla procedura, considerando sufficiente monitorare il processo di guarigione ossea del gap creato dall'avanzamento craniale della tuberosità tibiale sulla proiezione medio-laterale. È stato quindi possibile confrontare l'andamento globale al tempo 0 e al tempo 6. Per aumentare l'attendibilità dei risultati, sono stati raccolti gli studi radiografici in modo retrospettivo, ma sono state rivalutate dallo stesso gruppo di lavoro e con la medesima modalità.

Per quanto riguarda la valutazione dell'osteoartrosi, sarebbe stato opportuno approfondire l'analisi con esami di diagnostica avanzata come tomografia computerizzata, che avrebbe identificato la presenza di tutti gli osteofiti e irregolarità a carico delle estremità ossee mediante scansioni in 3D (*Samii et al., 2009*), e risonanza magnetica, per la valutazione delle strutture molli che compongono l'articolazione, anch'esse alterate durante un processo di degenerazione articolare, e non valutabili mediante il solo studio radiografico in due proiezioni (*Sample et al., 2017; Bleedorn et al., 2011*).

CONCLUSIONI

La rottura del legamento crociato craniale è una delle patologie ortopediche più studiate in letteratura veterinaria, in quanto rappresenta la principale causa di zoppia nel cane. Esistono diverse tecniche chirurgiche per il trattamento di questa patologia, che nel tempo hanno subito modifiche e sono tutt'ora in continuo perfezionamento. La valutazione dell'efficacia di un trattamento è rappresentata dal monitoraggio della guarigione dell'articolazione del ginocchio nel periodo successivo all'intervento chirurgico ed esistono moltissimi strumenti da associare alla valutazione clinica, come i questionari validati per la valutazione del dolore cronico.

Il Bologna Healing Stifle Injury Index (BHSII), a differenza degli altri questionari presenti in letteratura e sopra citati, si è dimostrato uno strumento efficace e di facile utilizzo. Attraverso questo è stato possibile raccogliere in modo uniforme e standardizzato, tutte le informazioni possibili riguardo alla qualità di vita del paziente e a tutti i parametri clinici, ispettivi e palpatori, che generalmente si valutano per verificare la condizione dell'articolazione. Dal punto di vista della ricerca scientifica, risulta uno strumento valido per un corretto e ripetibile monitoraggio del processo di guarigione dopo trattamento per rottura del legamento crociato craniale. Inoltre, è auspicabile ampliare il suo utilizzo non solo alla rottura del legamento crociato, ma eventualmente ad altre patologie che possono colpire il ginocchio nel cane, dalla osteoartrosi, senile o secondaria, alla lussazione rotulea, e analizzare qualunque tipo di trattamento, chirurgico o associato a terapia medica/fisioterapica.

Nel presente studio è stata posta attenzione sul trattamento chirurgico mediante la tecnica osteotomica di TPLO, che, nonostante sia oggetto di numerosi studi già presenti in letteratura, non era mai stata valutata nel suo complesso con un unico strumento in modo prospettico, ma solo considerando la percezione del proprietario (mediante i questionari relativi al dolore cronico) o prendendo in analisi un solo parametro (come la zoppia, il dolore o il ROM). I dati raccolti mediante il BHSII hanno confermato come la tecnica chirurgica è ottimale per un ripristino della funzionalità dell'articolazione del ginocchio, associata però ad alcuni aspetti clinici che non rientrano nel range di normalità nei 6 mesi considerati dallo studio.

In aggiunta, la valutazione dell'osteoartrosi ha confermato come le tecniche osteotomiche che sono state prese in considerazione, non arrestano la progressione dell'osteoartrosi, in quanto permettono di raggiungere una nuova stabilità del ginocchio, ma generano contestualmente un'alterazione dell'assetto fisiologico normale dell'articolazione. Lo studio approfondito dei punti di repere anatomici ha dimostrato coerenza proprio con la modificazione biomeccanica,

che vede un cambiamento delle sollecitazioni, in termini di forza e di localizzazione. Il confronto con i risultati riscontrati in articolazioni sottoposte a intervento chirurgico di TTA, ha evidenziato alcune differenze nelle localizzazioni in cui si sviluppa maggiormente e precocemente l'artrosi, non identificando però una tecnica chirurgica migliore in termini di progressione globale nel tempo. Entrambe le procedure modificano in modo permanente l'articolazione, innescando un processo di adattamento del nuovo assetto biomeccanico.

Lo studio delle localizzazioni anatomiche specifiche ha permesso di approfondire la valutazione del processo di osteoartrosi che deriva dai trattamenti chirurgici per la rottura del legamento crociato craniale, ponendo le basi per nuovi studi con un maggior numero di casi e nel confronto di altre tecniche intracapsulari ed extracapsulari.

Infine, si dimostra come, contestualmente alla presenza di una, seppur lieve, progressione dell'osteoartrosi, in particolare a seguito di TPLO, che è protagonista di questo studio, si raggiunge un ripristino completo della funzionalità dell'arto, caratterizzato da un recupero ottimale della qualità della vita. Questa discrepanza invita a non considerare mai completamente guarita un'articolazione affetta da rottura del legamento crociato craniale, ma continuare a seguire con attenzione il decorso postoperatorio e sensibilizzare il proprietario a porre attenzione su eventuali cambiamenti in posture o atteggiamenti che possono essere indice di dolore cronico, in modo da gestirlo più precocemente e accuratamente possibile.

BIBLIOGRAFIA

1. Aiken, S. W., Kass, P. H., Toombs, J. P. (1995). Intercondylar notch width in dogs with and without cranial cruciate ligament injuries. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 8(03), 128-132.
2. Amimoto, H., Koreeda, T., Ochi, Y., Kimura, R., Akiyoshi, H., Nishida, H., Miyabayashi, T., Beale, B. S., Hayashi, K., Wada, N. (2020). Force plate gait analysis and clinical results after tibial plateau levelling osteotomy for cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 33(03), 183-188.
3. Anderson, K. L., Zulch, H., O'Neill, D. G., Meeson, R. L., Collins, L. M. (2020). Risk factors for canine osteoarthritis and its predisposing arthropathies: a systematic review. *Frontiers in Veterinary Science*. 7, 220.
4. Apelt, D., Kowaleski, M. P., Boudrieau, R. J. (2007). Effect of tibial tuberosity advancement on cranial tibial subluxation in canine cranial cruciate-deficient stifle joints: an in vitro experimental study. *Veterinary Surgery*. 36(2), 170-177.
5. Arnoczky, S. P., Marshall, J. L. (1977). The cruciate ligaments of the canine stifle: an anatomical and functional analysis. *American Journal of Veterinary Research*. 38(11), 1807-1814.
6. Au, K. K., Gordon-Evans, W. J., Dunning, D., O'dell-Anderson, K. J., Knap, K. E., Griffon, D., Johnson, A. L. (2010). Comparison of short-and long-term function and radiographic osteoarthrosis in dogs after postoperative physical rehabilitation and tibial plateau leveling osteotomy or lateral fabellar suture stabilization. *Veterinary Surgery*. 39(2), 173-180.
7. Beer, P., Bockstahler, B., Schnabl-Feichter, E. (2018). Tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement—a systematic review. *Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere/Heimtiere*. 46(04), 223-235.
8. Bell, J. C., Ness, M. G. (2007). Does use of a jig influence the precision of tibial plateau leveling osteotomy surgery? *Veterinary Surgery*. 36(3), 228-233.
9. Belshaw, Z., Yeates, J. (2018). Assessment of quality of life and chronic pain in dogs. *The Veterinary Journal*. 239, 59-64.
10. Bester, E. G., Zeiler, G. E., Stoltz, G. G., Oberholster, A. J., Kitshoff, A. M. (2024). Influence of tibial plateau leveling osteotomy on strains placed on the patellar ligament: an ex vivo study in cranial cruciate deficient stifles.

11. Bleedorn, J. A., Greuel, E. N., Manley, P. A., Schaefer, S. L., Markel, M. D., Holzman, G., Muir, P. (2011). Synovitis in dogs with stable stifle joints and incipient cranial cruciate ligament rupture: a cross-sectional study. *Veterinary Surgery*. 40(5), 531-543.
12. Boyd, D. J., Miller, C. W., Etue, S. M., Monteith, G. (2007). Radiographic and functional evaluation of dogs at least 1 year after tibial plateau leveling osteotomy. *The Canadian Veterinary Journal*. 48(4), 392.
13. Brown, D. C., Boston, R. C., Coyne, J. C., Farrar, J. T. (2008). Ability of the canine brief pain inventory to detect response to treatment in dogs with osteoarthritis. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 233(8), 1278-1283.
14. Brown, D. C. (2014). The canine orthopedic index. Step 1: devising the items. *Veterinary Surgery*. 43(3), 232-240. (a)
15. Brown, D. C. (2014). The canine orthopedic index. Step 2: psychometric testing. *Veterinary Surgery*. 43(3), 241-246. (b)
16. Brown, D. C. (2014). The canine orthopedic index. Step 3: responsiveness testing. *Veterinary Surgery*. 43(3), 247-254. (c)
17. Brown, N. P., Bertocci, G. E., Marcellin-Little, D. J. (2014). Canine stifle joint biomechanics associated with tibial plateau leveling osteotomy predicted by use of a computer model. *American Journal of Veterinary Research*. 75(7), 626-632. (d)
18. Brown, N. P., Bertocci, G. E., Marcellin-Little, D. J. (2015). Canine stifle biomechanics associated with tibial tuberosity advancement predicted using a computer model. *Veterinary Surgery*. 44(7), 866-873.
19. Brown, G., Maddox, T., Baglietto Siles, M. M. (2016). Client-assessed long-term outcome in dogs with surgical site infection following tibial plateau levelling osteotomy. *Veterinary Record*. 179(16), 409-409.
20. Buckwalter, J. A., Brown, T. D. (2004). Joint injury, repair, and remodeling: roles in post-traumatic osteoarthritis. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 423, 7-16.
21. Bureau, S. (2017). Owner assessment of the outcome of tibial plateau levelling osteotomy without meniscal evaluation for treatment of naturally occurring cranial cruciate ligament rupture: 130 cases (2009 to 2013). *Journal of Small Animal Practice*. 58(8), 468-475.
22. Carey, K., Aiken, S. W., DiResta, G. R., Herr, L. G., Monette, S. (2005). Radiographic and clinical changes of the patellar tendon after tibial plateau leveling osteotomy. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 18(04), 235-242.
23. Carpenter Jr, D. H., Cooper, R. C. (2000). Mini review of canine stifle joint anatomy.

- Anatomia, Histologia, Embryologia.* 29(6), 321-329.
24. Christopher, S. A., Beetem, J., Cook, J. L. (2013). Comparison of long-term outcomes associated with three surgical techniques for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs. *Veterinary Surgery.* 42(3), 329-334.
 25. Cook, J. L. (2010). Cranial cruciate ligament disease in dogs: biology versus biomechanics. *Veterinary Surgery.* 39(3), 270-277.
 26. DeCamp, C. E., Johnston, S. A., Dèjardin, L. M., Schaefer, S. L. (2016). Arthrology. In: Brinker, M., Piermattei, D., Flo, G. *Handbook of small animal orthopedics and fracture repair.* 5th Edizione. 180-210. Elsevier Health Sciences.
 27. Dennler, R., Kipfer, N. M., Tepic, S., Hassig, M., Montavon, P. M. (2006). Inclination of the patellar ligament in relation to flexion angle in stifle joints of dogs without degenerative joint disease. *American Journal of Veterinary Research.* 67(11), 1849-1854.
 28. Di Dona, F., Della Valle, G., Fatone, G. (2018). Patellar luxation in dogs. *Veterinary Medicine: Research and Reports.* 23-32.
 29. Dudaric, L., Dumic-Cule, I., Divjak, E., Cengic, T., Brkljacic, B., Ivanac, G. (2023). Bone Remodeling in Osteoarthritis—Biological and Radiological Aspects. *Medicina.* 59(9), 1613.
 30. Dupuis, J., Harari, J. (1993). Cruciate ligament and meniscal injuries in dogs. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian.* Vol. 15, No. 2, 215-221, 224-232.
 31. Duval, J. M., Budsberg, S. C., Flo, G. L., Sammarco, J. L. (1999). Breed, sex, and body weight as risk factors for rupture of the cranial cruciate ligament in young dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 215(6), 811-814.
 32. Engdahl, K., Bergström, A., Höglund, O., Moldal, E. R., Emanuelson, U., Boge, G. S. (2023). Long-term outcome in dogs with cranial cruciate ligament disease evaluated using the canine orthopaedic index. *Veterinary Record.* 193(12).
 33. Etchepareborde, S., Brunel, L., Bollen, G., Balligand, M. (2011). Preliminary experience of a modified Maquet technique for repair of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology.* 24(03), 223-227.
 34. Gilbertson, E. M. (1975). Development of periarticular osteophytes in experimentally induced osteoarthritis in the dog. A study using microradiographic, microangiographic, and fluorescent bone-labelling techniques. *Annals of the rheumatic diseases.* 34(1), 12-25.

35. Goldberg, M. E. (2017). A look at chronic pain in dogs. *Veterinary Nursing Journal*. 32(2), 37-44.
36. Gordon-Evans, W. J., Griffon, D. J., Bubb, C., Knap, K. M., Sullivan, M., Evans, R. B. (2013). Comparison of lateral fabellar suture and tibial plateau leveling osteotomy techniques for treatment of dogs with cranial cruciate ligament disease. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 243(5), 675-680.
37. Griffon, D. J. (2010). A review of the pathogenesis of canine cranial cruciate ligament disease as a basis for future preventive strategies. *Veterinary Surgery*. 39(4), 399-409.
38. Guerrero, T. G., Pozzi, A., Dunbar, N., Kipfer, N., Haessig, M., Beth Horodyski, M., Montavon, P. M. (2011). Effect of tibial tuberosity advancement on the contact mechanics and the alignment of the patellofemoral and femorotibial joints. *Veterinary Surgery*. 40(7), 839-848.
39. Hayashi, K., Manley, P. A., Muir, P. (2004). Cranial cruciate ligament pathophysiology in dogs with cruciate disease: a review. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 40(5), 385-390.
40. Hercock, C. A., Pinchbeck, G., Giejda, A., Clegg, P. D., Innes, J. F. (2009). Validation of a client-based clinical metrology instrument for the evaluation of canine elbow osteoarthritis. *Journal of Small Animal Practice*. 50(6), 266-271.
41. Hielm-Björkman, A. K., Rita, H., Tulamo, R. M. (2009). Psychometric testing of the Helsinki chronic pain index by completion of a questionnaire in Finnish by owners of dogs with chronic signs of pain caused by osteoarthritis. *American Journal of Veterinary Research*. 70(6), 727-734.
42. Hielm-Björkman, A. K., Kapatkin, A. S., Rita, H. J. (2011). Reliability and validity of a visual analogue scale used by owners to measure chronic pain attributable to osteoarthritis in their dogs. *American Journal of Veterinary Research*. 72(5), 601-607.
43. Hoffmann, D. E., Kowaleski, M. P., Johnson, K. A., Evans, R. B., Boudrieau, R. J. (2011). Ex vivo biomechanical evaluation of the canine cranial cruciate ligament-deficient stifle with varying angles of stifle joint flexion and axial loads after tibial tuberosity advancement. *Veterinary Surgery*. 40(3), 311-320.
44. Hudson, J. T., Slater, M. R., Taylor, L., Scott, H. M., Kerwin, S. C. (2004). Assessing repeatability and validity of a visual analogue scale questionnaire for use in assessing pain and lameness in dogs. *American Journal of Veterinary Research*. 65(12), 1634-1643.
45. Hurley, C. R., Hammer, D. L., Shott, S. (2007). Progression of radiographic evidence of

- osteoarthritis following tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: 295 cases (2001–2005). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 230(11), 1674-1679.
46. Innes, J. F., Costello, M., Barr, F. J., Rudorf, H., Barr, A. R. S. (2004). Radiographic progression of osteoarthritis of the canine stifle joint: a prospective study. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 45(2), 143-148.
47. Jaegger, G., Marcellin-Little, D. J., Levine, D. (2002). Reliability of goniometry in Labrador Retrievers. *American Journal of Veterinary Research*. 63(7), 979-986.
48. Jerram, R. M., Walker, A. M. (2003). Cranial cruciate ligament injury in the dog: pathophysiology, diagnosis and treatment. *New Zealand Veterinary Journal*. 51(4), 149-158.
49. Johnson, S. G., Hulse, D. A., Hogan, H. A., Nelson, J. K., Boothe, H. W. (1990). System behavior of commonly used cranial cruciate ligament reconstruction autografts. *Veterinary Surgery*. 18(6), 459-465.
50. Johnson, K., Lanz, O., Elder, S., McLaughlin, R., Werre, S., Harper, T. (2011). The effect of stifle angle on cranial tibial translation following tibial plateau leveling osteotomy: an in vitro experimental analysis. *The Canadian Veterinary Journal*, 52(9), 961.
51. Kaiser, S., Cornely, D., Golder, W., Garner, M., Waibl, H., Brunnberg, L. (2001). Magnetic resonance measurements of the deviation of the angle of force generated by contraction of the quadriceps muscle in dogs with congenital patellar luxation. *Veterinary surgery*. 30(6), 552-558.
52. Kennedy, K. C., Martinez, S. A., Martinez, S. E., Tucker, R. L., Davies, N. M. (2018). Effects of low-level laser therapy on bone healing and signs of pain in dogs following tibial plateau leveling osteotomy. *American Journal of Veterinary Research*. 79(8), 893-904.
53. Kim, S. E., Pozzi, A., Kowaleski, M. P., Lewis, D. D. (2008). Tibial osteotomies for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs. *Veterinary Surgery*. 37(2), 111-125.
54. Kim, S. E., Pozzi, A., Banks, S. A., Conrad, B. P., Lewis, D. D. (2009). Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial contact mechanics and stifle kinematics. *Veterinary Surgery*. 38(1), 23-32.
55. Kim, S. E., Lewis, D. D., Pozzi, A. (2012). Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial subluxation: in vivo analysis during standing. *Veterinary Surgery*. 41(4), 465-470.
56. Kipfer, N. M., Tepic, S., Damur, D. M., Guerrero, T., Hässig, M., Montavon, P. M. (2008). Effect of tibial tuberosity advancement on femorotibial shear in cranial cruciate-

- deficient stifles. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 21(05), 385-390.
57. Korvick, D. L., Pijanowski, G. J., Schaeffer, D. J. (1994). Three-dimensional kinematics of the intact and cranial cruciate ligament-deficient stifle of dogs. *Journal of Biomechanics*. 27(1), 77-87.
 58. Kowaleski, M. P., McCarthy, R. J. (2004). Geometric analysis evaluating the effect of tibial plateau leveling osteotomy position on postoperative tibial plateau slope. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 17(01), 30-34.
 59. Kowaleski, M. P., Apelt, D., Mattoon, J. S., Litsky, A. S. (2005). The effect of tibial plateau leveling osteotomy position on cranial tibial subluxation: an in vitro study. *Veterinary Surgery*. 34(4), 332-336.
 60. Krotscheck, U., Nelson, S. A., Todhunter, R. J., Stone, M., Zhang, Z. (2016). Long term functional outcome of tibial tuberosity advancement vs. tibial plateau leveling osteotomy and extracapsular repair in a heterogeneous population of dogs. *Veterinary Surgery*. 45(2), 261-268.
 61. Kuehn, K., Ohlerth, S., Makara, M., Hässig, M., & Guerrero, T. G. (2011). Radiographic and ultrasonographic evaluation of the patellar ligament following tibial tuberosity advancement. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 52(4), 466-471.
 62. Lazar, T. P., Berry, C. R., Dehaan, J. J., Peck, J. N., Correa, M. (2005). Long-term radiographic comparison of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular stabilization for cranial cruciate ligament rupture in the dog. *Veterinary Surgery*. 34(2), 133-141.
 63. Livet, V., Baldinger, A., Viguier, É., Taroni, M., Harel, M., Carozzo, C., Cachon, T. (2019). Comparison of outcomes associated with tibial plateau levelling osteotomy and a modified technique for tibial tuberosity advancement for the treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs: a randomized clinical study. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 32(04), 314-323.
 64. Loeser, R. F. (2010). Age-related changes in the musculoskeletal system and the development of osteoarthritis. *Clinics in Geriatric Medicine*. 26(3), 371-386.
 65. Loeser, R. F. (2017). The role of aging in the development of osteoarthritis. *Transactions of the American Clinical and Climatological Association*. 128, 44.
 66. Marshall, J. L. (1969). Periarticular Osteophytes: Initiation and Formation in the Knee of the Dog. *Clinical Orthopaedics and Related Research (1976-2007)*. 62, 37-47.

67. Martini, F. M. (2006). Patologie articolari nel cane e nel gatto. *Veterinaria Italiana*. 44(1), 286.
68. Matis, U. (2005). Radiographic evaluation of the progression of osteoarthritis after tibial plateau leveling osteotomy in 93 dogs. *Veterinary Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 2, A32.
69. McDevitt C, Gilbertson E, Muir H. (1977). An experimental model of osteoarthritis; early morphological and biochemical changes. *Journal Bone Joint Surgery*. 59:24–35.
70. Miller, J. M., Shires, P. K., Lanz, O. I., Martin, R. A., Grant, J. W. (2007). Effect of 9 mm tibial tuberosity advancement on cranial tibial translation in the canine cranial cruciate ligament-deficient stifle. *Veterinary Surgery*. 36(4), 335-340.
71. Miller, M. E., Evans, H. E., De Lahunta, A. (2013). Arthrology. In: *Miller's Anatomy of the Dog*. 4th Edizione. 158-184. Elsevier Health Sciences.
72. Mölsä, S. H., Hielm-Björkman, A. K., Laitinen-Vapaavuori, O. M. (2013). Use of an owner questionnaire to evaluate long-term surgical outcome and chronic pain after cranial cruciate ligament repair in dogs: 253 cases (2004–2006). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 243(5), 689-695.
73. Mölsä, S. H., Hyytiäinen, H. K., Hielm-Björkman, A. K., Laitinen-Vapaavuori, O. M. (2014). Long-term functional outcome after surgical repair of cranial cruciate ligament disease in dogs. *BMC Veterinary Research*. 10, 1-11.
74. Monk, M. L., Preston, C. A., McGowan, C. M. (2006). Effects of early intensive post-operative physiotherapy on limb function after tibial plateau leveling osteotomy in dogs with deficiency of the cranial cruciate ligament. *American Journal of Veterinary Research*. 67(3), 529-536.
75. Moore, K. W., Read, R. A. (1996). Rupture of the cranial cruciate ligament in dogs. Part II. Diagnosis and management. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*. 18(4), 381-391.
76. Moore, E. V., Weeren, R., Paek, M. (2020). Extended long-term radiographic and functional comparison of tibial plateau leveling osteotomy vs tibial tuberosity advancement for cranial cruciate ligament rupture in the dog. *Veterinary Surgery*. 49(1), 146-154.
77. Morgan, J. P. (1969). Radiological pathology and diagnosis of degenerative joint disease in the stifle joint of the dog. *Journal of Small Animal Practice*. 10(9), 541-544.
78. Morris, E., Lipowitz, A. J. (2001). Comparison of tibial plateau angles in dogs with and without cranial cruciate ligament injuries. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 218(3), 363-366.

79. Mostafa, A. A., Griffon, D. J., Thomas, M. W., Constable, P. D. (2009). Morphometric characteristics of the pelvic limbs of Labrador Retrievers with and without cranial cruciate ligament deficiency. *American Journal of Veterinary Research*. 70(4), 498-507.
80. Ness, M. G. (2016). The Modified Maquet Procedure (MMP) in dogs: technical development and initial clinical experience. *Journal of the American Animal Hospital Association*. 52(4), 242-250.
81. Neuman, P., Hulth, A., Lindén, B., Johnell, O., Dahlberg, L. (2003). The role of osteophytic growth in hip osteoarthritis. *International Orthopaedics*. 27, 262-266.
82. Nisell, R., Németh, G., Ohlsén, H. (1986). Joint forces in extension of the knee: analysis of a mechanical model. *Acta Orthopaedica Scandinavica*. 57(1), 41-46.
83. Oxley, B., Gemmill, T. J., Renwick, A. R., Clements, D. N., McKee, W. M. (2013). Comparison of complication rates and clinical outcome between tibial plateau leveling osteotomy and a modified cranial closing wedge osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs. *Veterinary Surgery*. 42(6), 739-750.
84. Pacchiana, P. D., Morris, E., Gillings, S. L., Jessen, C. R., Lipowitz, A. J. (2003). Surgical and postoperative complications associated with tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: 397 cases (1998–2001). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 222(2), 184-193.
85. Pinna, S., Lambertini, C., Grassato, L., Romagnoli, N. (2019). Evidence-based veterinary medicine: a tool for evaluating the healing process after surgical treatment for cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 6, 65. (a)
86. Pinna, S., Lanzi, F., Cordella, A., Diana, A. (2019). Relationship between the stage of osteoarthritis before and six months after tibial tuberosity advancement procedure in dogs. *Plos One*. 14(8), e0219849. (b)
87. Pinna, S., Lanzi, F., Grassato, L. (2020). Bologna healing stifle injury index: a comparison of three surgical techniques for the treatment of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Frontiers in Veterinary Science*. 7, 567473. (a)
88. Pinna, S., Lanzi, F., Tassani, C., Mian, G. (2020). Intra-articular replacement of a ruptured cranial cruciate ligament using the Mini-TightRope in the dog: a preliminary study. *Journal of Veterinary Science*. 21(5). (b)
89. Pinna, S., Lanzi, F., Tassani, C. (2021). The effect of cranial cruciate ligament rupture on range of motion in dogs. *Veterinary Sciences*. 8(7), 119.
90. Pinna, S., Di Benedetto, M., Tassani, C. (2024). How does cruciate ligament rupture treatment affect range of motion in dogs? *The Veterinary Journal*. 308, 106253.

91. Politi, M. T., Ferreira, J. C., & Patino, C. M. (2021). Nonparametric statistical tests: friend or foe?. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*. 47(04), e20210292.
92. Pownall, W., Rytz, U., Schuepbach, G., Spadavecchia, C., Rohrbach, H. (2021). The influence of the choice of preemptive analgesia on long-term postsurgical pain after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *Veterinary surgery*. 50(1), 71-80.
93. Pozzi, A., Kowaleski, M. P., Apelt, D., Meadows, C., Andrews, C. M., Johnson, K. A. (2006). Effect of medial meniscal release on tibial translation after tibial plateau leveling osteotomy. *Veterinary surgery*. 35(5), 486-494.
94. Pozzi, A., Kim, S. E. (2010). Biomechanics of the normal and cranial cruciate ligament deficient stifle. *Advances in the Canine Cranial Cruciate Ligament*. 37-42.
95. Priddy, N. H., Tomlinson, J. L., Dodam, J. R., Hornbostel, J. E. (2003). Complications with and owner assessment of the outcome of tibial plateau leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament rupture in dogs: 193 cases (1997–2001). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 222(12), 1726-1732.
96. Radke, H., Joeris, A., Chen, M. (2022). Evidence-based evaluation of owner-reported outcome measures for canine orthopedic care—a COSMIN evaluation of 6 instruments. *Veterinary Surgery*. 51(2), 244-253.
97. Rayward, R. M., Thomson, D. G., Davies, J. V., Innes, J. F., Whitelock, R. G. (2004). Progression of osteoarthritis following TPLO surgery: a prospective radiographic study of 40 dogs. *Journal of Small Animal Practice*. 45(2), 92-97.
98. Read, R. A., Robins, G. M. (1982). Deformity of the proximal tibia in dogs. *The Veterinary Record*. 111(13), 295-298.
99. Reid, J., Nolan, A. M., Scott, E. M. (2018). Measuring pain in dogs and cats using structured behavioural observation. *The Veterinary Journal*. 236, 72-79.
100. Reif, U., Hulse, D. A., Hauptman, J. G. (2002). Effect of tibial plateau leveling on stability of the canine cranial cruciate–deficient stifle joint: an in vitro study. *Veterinary Surgery*. 31(2), 147-154.
101. Reinke, J. D. (1982). Cruciate ligament avulsion injury in the dog. *Journal of the American Animal Hospital Association*. Vol. 18, No. 2, 257-264.
102. Robinson, D. A., Mason, D. R., Evans, R., Conzemius, M. G. (2006). The effect of tibial plateau angle on ground reaction forces 4–17 months after tibial plateau leveling osteotomy in Labrador Retrievers. *Veterinary Surgery*. 35(3), 294-299.
103. Roh, Y. H., Yun, J. W., Lee, J. H., Lee, H. B. (2020). Effect of Jig on the Precision

- of Tibial Plateau Leveling Osteotomy in Toy-Breed Dogs. *Pakistan Veterinary Journal*. 40(4).
104. Samii, V. F., Dyce, J., Pozzi, A., Drost, W. T., Mattoon, J. S., Green, E. M., Kowaleski, M. P., Lehman, A. M. (2009). Computed tomographic arthrography of the stifle for detection of cranial and caudal cruciate ligament and meniscal tears in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 50(2), 144-150
 105. Samoy, Y., Verhoeven, G., Bosmans, T., Van der Vekens, E., de Bakker, E., Verleyen, P., Van Ryssen, B. (2015). TTA rapid: description of the technique and short term clinical trial results of the first 50 cases. *Veterinary Surgery*. 44(4), 474-484.
 106. Sample, S. J., Racette, M. A., Hans, E. C., Volstad, N. J., Holzman, G., Bleedorn, J. A., Schaefer, S. L., Kenneth, R. W. III, Zhengling, H., Block, W. F., Muir, P. (2017). Radiographic and magnetic resonance imaging predicts severity of cruciate ligament fiber damage and synovitis in dogs with cranial cruciate ligament rupture. *Plos One*, 12(6), e0178086.
 107. Schmerbach, K. I., Boeltzig, C. K. M., Reif, U., Wieser, J. C., Keller, T., Grevel, V. (2007). In vitro comparison of tibial plateau leveling osteotomy with and without use of a tibial plateau leveling jig. *Veterinary Surgery*. 36(2), 156-163.
 108. Schmutterer, J. M., Augat, P., Greinwald, M., Meyer-Lindenberg, A. (2022). Evaluation of Meniscal Load and Load Distribution in the Canine Stifle after Tibial Plateau Levelling Osteotomy with Postoperative Tibia Plateau Angles of 6 and 1 Degrees. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 35(02), 073-080.
 109. Schultz, J.A., Allen, D.A., Bergman, P.J. (2015). Anatomic femorotibial changes associated with tibial plateau leveling osteotomy. *The Canadian Veterinary Journal*. 56(9), 978-982.
 110. Shimada, M., Takagi, T., Kanno, N., Yamakawa, S., Fujie, H., Ichinohe, T., Suzuki, S., Harada, Y., Hara, Y. (2020). Biomechanical effects of tibial plateau levelling osteotomy on joint instability in normal canine stifles: an in vitro study. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 33(05), 301-307.
 111. Skinner, O. T., Kim, S. E., Lewis, D. D., Pozzi, A. (2013). In vivo femorotibial subluxation during weight-bearing and clinical outcome following tibial tuberosity advancement for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs. *The Veterinary Journal*. 196(1), 86-91.
 112. Slocum, B., Devine, T. (1984). Cranial tibial wedge osteotomy: a technique for

- eliminating cranial tibial thrust in cranial cruciate ligament repair. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 184(5), 564-569.
113. Slocum, B., Slocum, T. D. (1993). Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*. 23(4), 777-795.
114. Spinella, G., Arcamone, G., Valentini, S. (2021). Cranial cruciate ligament rupture in dogs: review on biomechanics, etiopathogenetic factors and rehabilitation. *Veterinary Sciences*. 8(9), 186.
115. Tamburro, R., Pinna, S., Tribuiani, A. M., Panacea, A., Carli, F., Venturini, A. (2012). Biceps femoris muscle transposition for treatment of cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs. *Journal of Veterinary Science*, 13(1), 93.
116. Tashman, S., Anderst, W., Kolowich, P., Havstad, S., Arnoczky, S. (2004). Kinematics of the ACL-deficient canine knee during gait: serial changes over two years. *Journal of Orthopaedic Research*. 22(5), 931-941.
117. Tepic, S., Damur, D., Montavon, P. M. (2002). Biomechanics of the stifle joint. In *Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress*, Munich, Germany, 5–8 September 2002; Volume 152, pp. 189–190.
118. Thrall, D. E., Robertson, I. D. (2016) Pelvic Limb. In: Thrall, D. E., Robertson, I. D. *Atlas of normal radiographic anatomy & anatomy variants in the dog and cat*. 2nd Edizione. 136-181. Elsevier Health Sciences.
119. Tinga, S., Kim, S. E., Banks, S. A., Jones, S. C., Park, B. H., Burtch, M., Pozzi, A., Lewis, D. D. (2020). Femorotibial kinematics in dogs treated with tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament insufficiency: an in vivo fluoroscopic analysis during walking. *Veterinary Surgery*. 49(1), 187-199.
120. Todorović, A. Z., Macanović, M. V. L., Mitrović, M. B., Krstić, N. E., van Bree, H. J., & Gielen, I. M. (2022). The Role of Tibial Plateau Angle in Canine Cruciate Ligament Rupture. A Review of the Literature. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 35(06), 351-361.
121. Towle, H. A., Griffon, D. J., Thomas, M. W., Siegel, A. M., Dunning, D., Johnson, A. (2005). Pre-and postoperative radiographic and computed tomographic evaluation of dogs with medial patellar luxation. *Veterinary Surgery*. 34(3), 265-272.
122. Treede, R. D., Rief, W., Barke, A., Aziz, Q., Bennett, M. I., Benoliel, R., Cohen, M., Evers, S., Finnerup, N. B., First, M. B., Giamberardino, M. A., Kaasa, S., Kosek,

- E., Lavand'homme, P., Nicholas, M., Perrot, S., Sholz, J., Schug, S., Smith, B., Svensson, P., Vlaeyen, J. W. S., Wang, S. J. (2015). A classification of chronic pain for ICD-11. *Pain*. 156(6), 1003-1007.
123. Trisciuzzi, R., Fracassi, L., Martin, H. A., Monopoli Forleo, D., Amat, D., Santos-Ruiz, L., DePalma, E., Crovace, A. M. (2019). 41 Cases of treatment of cranial cruciate ligament rupture with porous TTA: three years of follow up. *Veterinary Sciences*. 6(1), 18.
124. Varcoe, G. M., Manfredi, J. M., Jackson, A., Tomlinson, J. E. (2021). Effect of tibial plateau levelling osteotomy and rehabilitation on muscle function in cruciate-deficient dogs evaluated with acoustic myography. *Comparative Exercise Physiology*. 17(5), 435-445.
125. Vasseur, P. B., Arnoczky, S. P. (1981). Collateral ligaments of the canine stifle joint: anatomic and functional analysis. *American Journal of Veterinary Research*. 42(7), 1133-1137.
126. Vasseur, P. B., Pool, R. R., Arnoczky, S. P., Lau, R. E. (1985). Correlative biomechanical and histologic study of the cranial cruciate ligament in dogs. *American Journal of Veterinary Research*. 46(9), 1842-1854.
127. Vasseur, P. B., Berry, C. R. (1992). Progression of stifle osteoarthritis following reconstruction of the cranial cruciate ligament in 21 dogs. *Journal of the American Animal Hospital Association*. Vol. 28, No. 2, 129-136.
128. Vasseur, P. B. (2003). Stifle joint. In: Slatter, D. *Textbook of Small Animal Surgery*, 3rd Edizione. 2090–2133. WB Saunders, Philadelphia.
129. Volz, F., Eberle, D., Klever, J., Zablotski, Y., Kornmayer, M. (2024). Effect of tibial plateau angle <math>< 5^\circ</math> on ground reaction forces in dogs treated with tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament rupture up to 6 months postoperatively. *The Veterinary Journal*. 305, 106126. (a)
130. Volz, F., Eberle, D., Kornmayer, M., Zablotski, Y., Meyer-Lindenberg, A. (2024). Effect of intra-articular platelet-rich plasma or hyaluronic acid on limb function recovery in dogs with TPLO for cranial cruciate ligament rupture: a randomised controlled trial. *Journal of Small Animal Practice*. 65(4), 223-233. (b)
131. Walton, M. B., Cowderoy, E., Lascelles, D., Innes, J. F. (2013). Evaluation of construct and criterion validity for the 'Liverpool Osteoarthritis in Dogs'(LOAD) clinical metrology instrument and comparison to two other instruments. *Plos One*. 8(3), e58125.

132. Warzee, C. C., Dejardin, L. M., Arnoczky, S. P., Perry, R. L. (2001). Effect of tibial plateau leveling on cranial and caudal tibial thrusts in canine cranial cruciate-deficient stifles: an in vitro experimental study. *Veterinary Surgery*. 30(3), 278-286.
133. Wemmers, A. C., Charalambous, M., Harms, O., Volk, H. A. (2022). Surgical treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs using Tibial Plateau Leveling Osteotomy or Tibial Tuberosity Advancement—A systematic review with a meta-analytic approach. *Frontiers in Veterinary Science*. 9, 1004637.
134. Wessely, M., Brühshwein, A., Schnabl-Feichter, E. (2017). Evaluation of intra- and inter-observer measurement variability of a radiographic stifle osteoarthritis scoring system in dogs. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*. 30(06), 377-384.
135. Whitehair, J. G., Vasseur, P. B., Willits, N. H. (1993). Epidemiology of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 203(7), 1016-1019.
136. Zhalniarovich, Y., Sobolewski, A., Waluś, G., Adamiak, Z. (2018). Evaluation, description of the technique, and clinical outcomes after tibial tuberosity advancement with cranial fixation (TTA CF) for cranial cruciate ligament rupture in 22 dogs. *Topics in Companion Animal Medicine*. 33(3), 65-72.