



# UNIVERSITÀ DI PARMA

**DIPARTIMENTO DI SCIENZE MEDICO-VETERINARIE**  
*Corso di Laurea Magistrale a Ciclo Unico in Medicina Veterinaria*

**TPLO, TTA e CCWO per il trattamento della rottura del legamento  
crociato craniale nel cane: analisi comparativa**

**TPLO, TTA and CCWO for cranial cruciate ligament rupture in  
dogs: comparative analysis**

**Relatore:**

*Chiar.mo Prof. Filippo Maria MARTINI*

**Laureando:**

Sofia TIMELLI

**ANNO ACCADEMICO 2021 – 2022**



# INDICE

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>4</b>
<b>1 LEGAMENTO CROCIATO CRANIALE (LCCr).....</b>	<b>6</b>
1.1 Richiami anatomici del LCCr.....	6
1.2 Biomeccanica del LCCr.....	9
<b>2 ROTTURA DEL LEGAMENTO CROCIATO CRANIALE (LCCrR) .....</b>	<b>11</b>
2.1 Meccanismi di rottura del LCCr.....	12
2.1.1 <i>Rottura traumatica del LCCr</i> .....	12
2.1.2 <i>Degenerazione progressiva del LCCr</i> .....	13
2.2 Diagnosi di rottura del LCCr.....	20
2.2.1 <i>Segnalamento</i> .....	20
2.2.2 <i>Anamnesi e segni clinici</i> .....	21
2.2.3 <i>Esame obiettivo generale</i> .....	21
2.2.4 <i>Esame obiettivo particolare</i> .....	23
2.2.5 <i>Valutazione radiografica</i> .....	27
2.2.6 <i>Artroscopia</i> .....	28
2.2.7 <i>Imaging non invasiva</i> .....	30
<b>3 OSTEOTOMIE CORRETTIVE.....</b>	<b>31</b>
3.1 Osteotomia di livellamento del piatto tibiale (TPLO).....	34
3.1.1 <i>Generalità</i> .....	34
3.1.2 <i>Complicanze</i> .....	37
3.1.2.1 <i>Complicanze a breve termine</i> .....	38

3.1.2.2 Complicanze a lungo termine.....	40
3.2 Avanzamento della tuberosità tibiale (TTA) .....	53
3.2.1 Generalità.....	53
3.2.1.1 Tecnica Maquet Modificata (MMT) e Procedura Maquet Modificata (MMP) ...	57
3.2.1.2 TTA Porosa.....	59
3.2.1.3 TTA Rapid.....	61
3.2.1.4 TTA-2.....	63
3.2.2 Complicanze.....	64
3.2.2.1 Complicanze TTA classica.....	64
3.2.2.2 Complicanze MMT e MMP.....	67
3.2.2.3 Complicanze TTA Porosa.....	69
3.2.2.4 Complicanze TTA Rapid.....	71
3.2.2.5 Complicanze TTA-2.....	72
3.3 Ostectomia craniale a cuneo chiuso (CCWO).....	73
3.3.1 Generalità.....	73
3.3.1.1 Modified CCWO (mCCWO).....	76
3.3.1.2 CCWO/TPLO.....	77
3.3.2 Complicanze.....	80
<b>4 DISCUSSIONE.....</b>	<b>81</b>
<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>98</b>
<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>101</b>

## INTRODUZIONE

Il legamento crociato craniale (LCCr) nel cane svolge un ruolo fondamentale nel mantenimento della stabilità dell'articolazione del ginocchio prevenendo la sublussazione craniale della tibia, limitando l'iperestensione dell'articolazione e l'eccessiva rotazione tibiale interna.

La rottura del legamento crociato craniale è una delle patologie ortopediche più frequenti nel cane (Engdahl K. S., et al., 2021) ed è la principale causa di zoppia degli arti pelvici (Geier C. M., et al., 2021).

La responsabile dell'instabilità che ne consegue risulta essere la spinta tibiale craniale (CrTT) che si manifesta in situazioni di insufficienza del LCCr. Essa esercita la sua influenza negativa sui materiali utilizzati per la stabilizzazione e ciò si verifica di frequente nei cani di taglia grande o gigante, il cui peso esercita una notevole forza sulla tibia. Nei cani particolarmente attivi e nevrili la stabilizzazione spontanea del ginocchio non avviene. Inoltre, anche l'aumento del TPA (angolo del piatto tibiale) è correlato ad una spiccata instabilità dell'articolazione del ginocchio.

Per quanto riguarda i meccanismi di rottura del legamento crociato craniale, ci si trova di fronte ad una rottura traumatica acuta del legamento crociato craniale o ad una sua degenerazione progressiva, di più frequente riscontro.

Nonostante abbiano realizzato tecniche conservative e chirurgiche di successo, le scoperte più recenti suggeriscono che i risultati ottimali sono stati rinvenuti nei cani che hanno eseguito trattamenti chirurgici. Sono state descritte molte tecniche chirurgiche e, in particolare, le tecniche osteotomiche sono quelle che conferiscono più stabilità dopo l'intervento chirurgico.

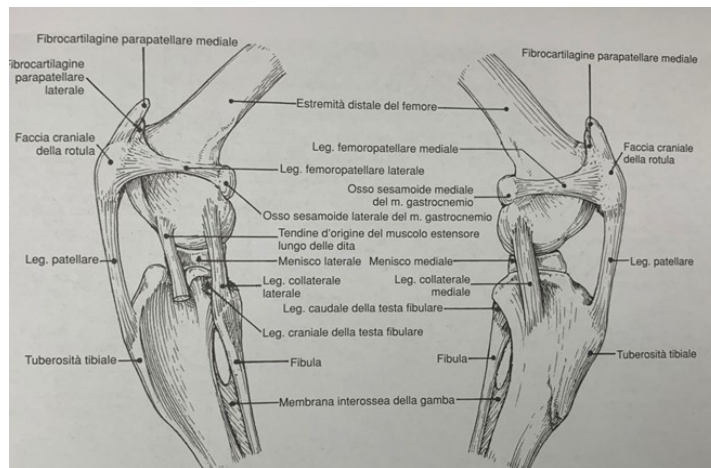
Questa tesi si prefigge di analizzare e confrontare l'osteotomia di livellamento del piatto tibiale (TPLO), l'avanzamento della tuberosità tibiale (TTA) e l'ostectomia craniale a cuneo chiuso (CCWO) con l'obiettivo di formulare, in base all'analisi dettagliata degli articoli pubblicati, i criteri d'inclusione definiti in base a determinate caratteristiche intrinseche del paziente. In questo modo il chirurgo, insieme alla conoscenza delle complicanze specifiche di ogni tecnica chirurgica, è in grado di scegliere quale tipologia di intervento è adatta in una determinata condizione clinica.

# 1 LEGAMENTO CROCIATO CRANIALE (LCCr)

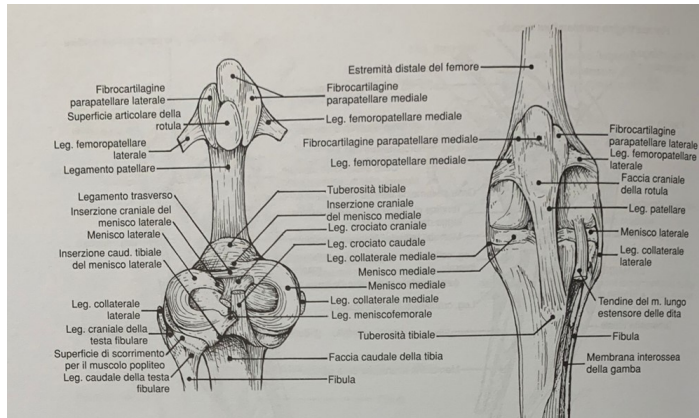
## 1.1 Richiami anatomici del LCCr

Il legamento crociato craniale (LCCr) prende origine sul versante mediale del condilo laterale del femore, nella parte caudale della fossa intercondiloidea, e termina nell'area intercondiloidea centrale della tibia. Il suo sito di attacco prossimale è delimitato cranialmente dal legamento menisco-tibiale craniale del menisco mediale e caudalmente dal legamento menisco-tibiale craniale del menisco laterale (Figura 2).

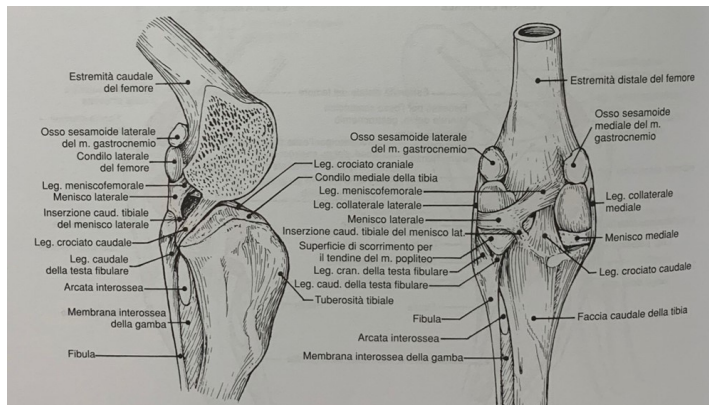
Nella sua porzione intermedia è più stretto, mentre si espande nella sua porzione prossimale e distale (Barone R., 2004).



*Figura 1: Veduta laterale a sinistra e mediale a destra dell'articolazione sinistra del ginocchio di un cane (Barone R., 2004).*



*Figura 2: Veduta prossimocaudale con asportazione del femore a sinistra e veduta craniale dell'articolazione sinistra del ginocchio di un cane a destra (Barone R., 2004).*



*Figura 3: A sinistra veduta mediale con asportazione della rotula e dei suoi legamenti e con la parte mediale dell'estremità femorale segata per mostrare i legamenti crociati. A destra veduta caudale con capsula articolare asportata (Barone R., 2004).*

Più lungo e un po' più esile nell'Uomo del suo omologo caudale, è, al contrario, più corto nei Mammiferi domestici, dove è particolarmente sollecitato nella statica, durante la quale l'articolazione è in semiflessione.

La sua lunghezza è correlata positivamente al peso corporeo, in media varia dai 13,5 mm ai 18,77 mm.



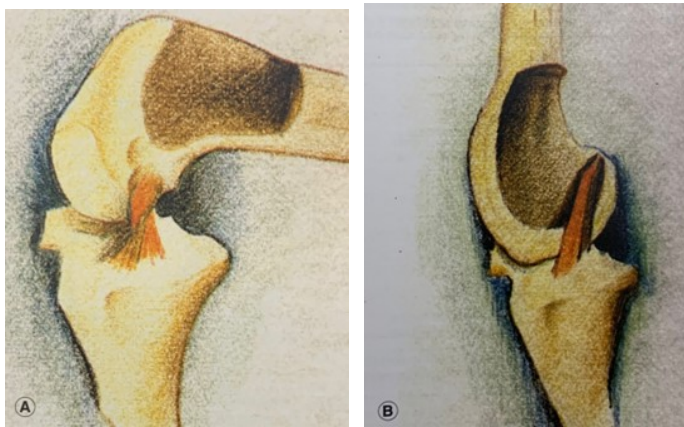
Il legamento crociato craniale decorre cranialmente, medialmente e distalmente in una spirale verso l'esterno mentre passa dal femore alla tibia. Infatti, le sue fibre sono riunite in fasci un po' spiralati che intervengono in modo sequenziale durante i movimenti.

È costituito da due porzioni: la banda craniomediale e la banda caudolaterale, in base al loro relativo sito di attacco sul piatto tibiale.

La banda craniomediale è la più lunga, ma più piccola, e origina più prossimalmente dal femore e si inserisce più cranialmente sull'area di attacco tibiale rispetto alla banda caudolaterale. Le fibre della banda caudolaterale provengono dalla parte più laterale e distale dell'area di inserzione nel condilo femorale laterale, hanno un percorso più dritto e si inseriscono nella regione più caudale dell'area di inserzione tibiale (Muir P., 2010).

## 1.2 Biomeccanica del LCCr

Il legamento crociato craniale è composto da una banda craniomediale (CMB) e da una banda caudolaterale (CLB). La CMB è formata da un fascio di fibre che traggono origine, craniodorsalmente, nel sito d'inserzione femorale e si estendono craniomedialmente fino alla sua inserzione tibiale. La CMB rimane tesa sia durante l'estensione che durante la flessione (Figura 4). La CLB rappresenta la restante parte del LCCr, è tesa durante l'estensione e rilassata durante la flessione (Figura 4).



*Figura 4: Disegno del ginocchio destro di un cane dopo asportazione del condilo mediale. Variazione dello stato di tensione delle componenti: in A articolazione in flessione con la CMB tesa e CLB rilassata; in B articolazione in estensione dove entrambe le componenti del LCCr sono in tensione (Martini F. M., 2006).*

La dinamica delle parti che costituiscono il LCCr può essere meglio compresa osservando i cambiamenti di posizione dei loro punti d'inserzione durante i movimenti di flessione-estensione. L'inserzione femorale si trova dietro l'asse di flessione, mentre solo l'inserzione tibiale si trova davanti rispetto a questo.

Quando il ginocchio è flesso, l'orientamento dell'inserzione del LCCr sul femore da verticale diventa orizzontale. Questo cambiamento di posizione porta l'origine delle fibre della CLB più vicine alla loro inserzione tibiale, rendendo così le fibre rilassate, mentre le fibre della CMB rimangono in tensione. Questo perché la porzione dorsocraniale dell'attacco femorale si muove caudoventralmente piuttosto che cranialmente, allo stesso modo dell'inserzione della CLB.

In generale, il LCCr impedisce lo spostamento craniale della tibia sul femore (movimento del cassetto craniale).

Le componenti funzionali del LCCr, in ogni caso, conferiscono specifica stabilità al ginocchio in flessione ed in estensione.

Poiché la CMB del LCCr è tesa sia in flessione che in estensione, essa costituisce la principale limitazione al movimento del cassetto craniale. Finché la CMB è intatta, la lacerazione della porzione caudale del legamento non determina instabilità.

Nel caso in cui la CMB sia danneggiata, il ginocchio è stabile in estensione (la CLB, in tensione, si oppone al movimento del cassetto craniale) ma non in flessione, perché la CLB è rilassata e consente la traslazione craniale della tibia.

Poiché il LCCr in estensione è teso in tutte le sue componenti, esso costituisce la struttura che si oppone all'iperestensione del ginocchio. Nel caso in cui LCCr si dovesse danneggiare, il legamento crociato caudale (LCCa) diventerebbe il nuovo elemento di limitazione all'eccessiva estensione dell'articolazione.

Anche il legamento crociato caudale è diviso in varie componenti, i cui effetti individuali sulla stabilità non sono però così evidenti. (Martini F. M., 2006).

## **2 ROTTURA DEL LEGAMENTO CROCIATO CRANIALE (LCCrR)**

La rottura del legamento crociato craniale (LCCr) è una delle patologie ortopediche più frequenti (Engdahl K. S., et al., 2021) ed è la principale causa di zoppia degli arti pelvici nella specie canina (Geier C. M., et al., 2021).

Il legamento crociato craniale è lo stabilizzatore principale dell'articolazione del ginocchio del cane ed una perdita della sua funzionalità, come ad esempio in caso di LCCrR, provoca la destabilizzazione dell'articolazione del ginocchio con traslazione tibiale craniale (definito movimento del cassetto tibiale craniale), in relazione ai condili femorali distali, durante il carico e la successiva formazione di osteoartrosi (Zann G. J., et al., 2020).

Un'articolazione del ginocchio incompetente, con un'insufficienza del legamento crociato craniale, perde quindi la capacità di prevenire l'iperestensione dell'articolazione stessa, la rotazione tibiale interna e la traslazione craniale della tibia (Maureen R. J., et al., 2018).

La rottura può essere parziale o completa e provoca instabilità, che può essere associata ad infiammazione, degrado della cartilagine e lesioni meniscali (Laube R. L., et al., 2021).

La rottura del LCCr è una causa comune di zoppia non traumatica dell'arto pelvico dei cani: ciò si verifica più frequentemente attraverso la rottura degenerativa

progressiva, sebbene sia anche descritta una rottura traumatica acuta.

L'eziopatogenesi della rottura del LCCr non è completamente compresa, ma si conoscono vari fattori genetici, ambientali e meccanici che influenzano la progressione della malattia.

L'infiammazione o la sinovite dell'articolazione del ginocchio sembra essere il riscontro clinico iniziale che precede la rottura del LCCr. Clinicamente è presente un'infiammazione e la successiva rottura si verifica nell'85% dei cani (Nanda A., et al., 2019).

## **2.1 Meccanismi di rottura del LCCr**

Per quanto riguarda i meccanismi di rottura del legamento crociato craniale, ci si trova di fronte ad una rottura traumatica acuta del legamento crociato craniale o ad una degenerazione progressiva del legamento crociato craniale.

### **2.1.1 Rottura traumatica del LCCr**

Nel caso della rottura traumatica del LCCr, sono implicati tutti i meccanismi nei quali il legamento interviene passivamente limitando l'eccesso di movimento, ovvero l'iperestensione del ginocchio, la rotazione interna della tibia rispetto al femore e la sublussazione craniale della tibia.

Se l'evento traumatico supera la resistenza del legamento, lo sovraccarica, causando una rottura acuta nella sua porzione centrale. Questo accade per lo più nei cani giovani e attivi. Se il sovraccarico acuto è avvenuto in animali molto giovani con scheletri immaturi, può provocare un'avulsione del legamento

e di un piccolo pezzo di osso di solito dal sito di inserzione femorale o, più comunemente, tibiale (Figura 5).



*Figura 5: Avulsione del legamento crociato craniale dai siti di attacco femorale (A) e tibiale (B) (Johnston S. A., Tobias K. M., 2020).*

La rottura traumatica del legamento crociato craniale nella sostanza mediana è una lesione rara che si presenta tipicamente in modo acuto e monolaterale; quando si verifica, sono presenti una zoppia acuta con presenza di emartro, intenso dolore ed elevata instabilità articolare e deficit funzionale (Johnston S., Tobias K., 2020).

### **2.1.2 Degenerazione progressiva del LCCr**

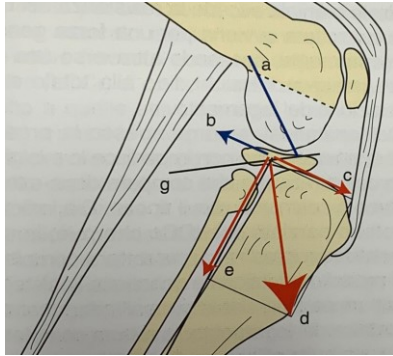
La degenerazione progressiva del legamento crociato craniale è la causa più frequente di rottura di tale legamento nei cani. È già presente artrosi nella fase iniziale della patologia, la zoppia non si presenta in modo acuto, ma ha un'insorgenza progressiva, ha una lenta evoluzione e spesso ha andamento altalenante: il cane presenta periodi di zoppia che si risolvono spontaneamente fino alla rottura del LCCr che comporta una zoppia permanente.

Avviene una rottura progressiva delle fibrille, fino alla rottura definitiva: prima il legamento si stira, poi si indebolisce, si rompono alcune fibrille, tipicamente prima della banda cranio-mediale, e successivamente quelle della caudo-laterale.

Nonostante la malattia del legamento crociato craniale nel cane sia conosciuta dal 1926, ancora oggi la causa e la patogenesi di questo disturbo comune rimangono sfuggenti.

Nel 1983 Barclay Slocum rivoluziona l'ortopedia mondiale del cane comprendendo e studiando la biomeccanica del ginocchio. In particolare, con la sua teoria, egli fece delle ipotesi sull'eziologia della rottura del legamento crociato craniale. Osservò una differenza anatomica tra il ginocchio dell'uomo e quello del cane secondo cui l'asse del piatto tibiale nel cane è inclinato rispetto all'asse meccanico della tibia in direzione caudale di circa 23-25° di media. Nell'uomo è inclinato posteriormente di soli 5-7°. Egli concluse che l'inclinazione presente nel cane tende a far scivolare i condili del femore caudalmente ed il legamento crociato craniale è la struttura che lo tiene in posizione. Slocum scoprì, inoltre, che l'inclinazione del piatto tibiale è uno dei motivi per cui il LCCr del cane è maggiormente e cronicamente stressato. Questo stress meccanico cronico è reputato essere una delle cause sottostanti la rottura degenerativa del LCCr.

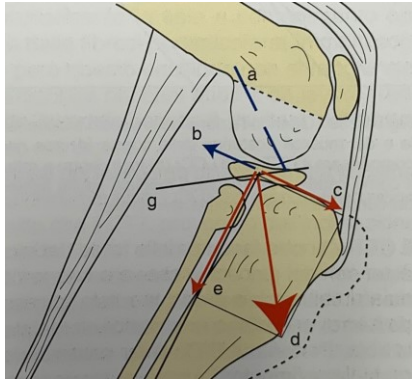
Nello stesso anno Slocum e la moglie Devine teorizzano la Cranial Tibial Trust (CrTT), ovvero la spinta tibiale craniale: quando la tibia del cane va in carico, si sviluppa una forza che dal terreno sale lungo la tibia e segue l'asse meccanico della tibia. Quando questa forza arriva al ginocchio, non trovando una perpendicolarità tra piatto tibiale e asse meccanico, si scompone in due forze vettoriali: la forza peso che si trasferisce lungo il femore e la forza di taglio che è minore rispetto alla precedente e rappresenta la spinta tibiale craniale (CrTT) (Figura 6).



*Figura 6: La forza di compressione esercitata dai muscoli e dal peso (d) agendo sul piatto tibiale inclinato (g) in parte si scarica lungo l'asse funzionale della tibia (e) ed in parte si dirige cranialmente estrinsecandosi nella CrTT (c). Quest'ultima forza è solo potenzialmente in grado di determinare la dislocazione craniale della tibia, in quanto viene efficacemente contrastata dai mezzi di contenimento attivo, come il bicipite femorale ed il pes anserinus (b) e passivo, come il LCCr (a) (Martini F. M., 2006).*

Il LCCr si oppone a CrTT e, finché il legamento rimane integro, questa forza rimane virtuale ed il movimento craniale della tibia non si verifica. Quando il legamento si rompe la CrTT si manifesta e determina la sublussazione craniale della tibia. Con il legamento crociato craniale rotto la tibia scivola cranialmente perché il piatto tibiale è inclinato rispetto all'asse meccanico della tibia e sviluppa la forza craniale di taglio che la spinge in avanti (Figura 7).





*Figura 7: A seguito della lesione del LCCr (a), viene a mancare il contenimento passivo ed il contenimento attivo (b) non è sufficiente a stabilizzare l'articolazione. Ne consegue l'espressione della CrTT con la dislocazione craniale della tibia (linea tratteggiata) (Martini F. M., 2006).*

Fino ai primi anni 2000 si pensava che la causa della rottura del LCCr fosse un'inclinazione eccessiva del piatto tibiale appunto, in realtà è una condizione che rappresenta una parte della verità. Se il piatto tibiale dovesse essere eccessivamente inclinato la rottura del legamento sarebbe favorita, ma sono stati evidenziati anche altri casi con inclinazione del piatto fisiologica.

Dagli studi emerse che l'inclinazione del piatto tibiale non era l'unico fattore responsabile della rottura del LCCr.

Infatti, l'eziologia della rottura del LCCr è da considerarsi polifattoriale in quanto fattori traumatici, degenerativi, conformazionali, anatomici ed autoimmunitari, soli o associati, concorrono nel determinismo della patologia (Martini F. M., et al., 2009).

Per questo motivo, si ritiene più corretto parlare di fattori di rischio anziché di cause. I fattori di rischio includono peso e razza, in particolare i soggetti di taglia medio-grande e gigante sono quelli più predisposti alla rottura del LCCr.

Un ulteriore fattore è quello dell'età: esiste un picco d'incidenza della malattia tra i 7 ed i 10 anni poiché nel tempo

diminuisce la forza tensile del legamento e con esso anche la resistenza e aumenta così il rischio di rottura.

L'obesità è un noto fattore di rischio per questa patologia, in quanto il grasso produce le citochine infiammatorie e gli animali obesi sono i soggetti più predisposti ad infiammazione cronica, la quale, a sua volta, è coinvolta nella malattia. L'aumento del peso in concomitanza all'avanzare dell'età può influire sull'insorgenza della patologia; quindi, è più probabile vedere un Terranova con questa patologia a 8 mesi che uno Yorkshire con rottura del LCCr alla medesima età: si parla di una correlazione peso-età-rottura.

Tra i fattori di rischio troviamo anche condizioni di infiammazione del ginocchio, come nel caso di infiammazioni croniche dell'articolazione stessa che portano a rottura del LCCr; ma lo stato di infiammazione acuta del ginocchio non è confermato, da solo, come causa primaria. Si tratta di una condizione calzante per Dobermann e Boxer nei quali si notano rotture recenti, alle volte ancora parziali, con grave artrosi già in atto: questa condizione porta ad ipotizzare che si sia sviluppata una prima artrosi che abbia poi portato alla degenerazione del legamento. La patogenesi vedrebbe quindi un'artrosi primaria con flogosi cronica, un successivo indebolimento del legamento crociato e la sua rottura progressiva.

Un altro fattore coinvolto nell'eziopatogenesi della rottura del LCCr è l'inclinazione del piatto tibiale oltre i limiti fisiologici. L'inclinazione del piatto tibiale è direttamente proporzionale alla forza di avanzamento tibiale, più il piatto tibiale è inclinato tanto più sarà lo stress a livello del LCCr. In letteratura è stata dimostrata l'associazione tra la rottura del LCCr ed un piatto tibiale molto inclinato, in particolare aumentando l'inclinazione del piatto tibiale aumenta anche l'incidenza di rotture bilaterali del legamento stesso (Slocum B., et al., 2015).

Anche una condizione di ipotrofia muscolare può concorrere nella rottura in quanto la stabilità è garantita attivamente, oltre che dai legamenti, anche dai muscoli.

Ancora, le gambe arcuate stressano meccanicamente la tibia in intrarotazione e creerebbero un aumento di carico in questa direzione che porterebbe, con altri fattori, alla degenerazione del legamento.

Anche la lussazione mediale di rotula rappresenta un fattore di rischio in quando la tibia, in questo caso, tende a ruotare medialmente stirando cronicamente il LCCr.

Un altro elemento considerato fattore di rischio per la rottura del LCCr, è stato scoperto essere l'AMA angle, ovvero l'angolo dell'asse anatomico-meccanico tibiale (Guénégo L., et al., 2017). Questo è un angolo formato dall'asse anatomico tibiale e l'asse meccanico tibiale ed è stato visto che la sua ampiezza sia correlata alla rottura del LCCr. Quindi è utile per categorizzare, dal punto di vista biomeccanico, le tibie dei cani come a rischio o non a rischio. In particolare, il Basset Hound ha l'asse meccanico sovrapposto all'asse anatomico, quindi questo angolo risulta essere pari a zero; ciò significa che è molto raro che il LCCr si rompa in questa razza. Diversamente il West Highland White Terrier, che è la razza che presenta l'AMA angle maggiore (7°) e moltissimi altri, paiono più predisposti alla rottura del LCCr. La differenza altamente significativa nell'AMA angle, riscontrata tra cani clinicamente normali e cani con lesione del LCCr, suggerisce che l'ampiezza di questo angolo possa essere un fattore predisponente, clinicamente rilevante, per lo sviluppo della rottura del legamento crociato craniale nella specie canina.

Nessun fattore di rischio è sufficiente o necessario per sviluppare la malattia, ma più fattori di rischio, nello stesso paziente, concorrono nel determinismo della stessa. Infatti,

più fattori di rischio sono presenti, più aumenta il rischio di rottura.

Si può concludere che uno squilibrio biomeccanico o metabolico determina una progressiva perdita di stabilità articolare a cui consegue lo sviluppo di un'artropatia degenerativa progressiva (DJD) e spesso di una secondaria lesione meniscale.

È fondamentale puntualizzare che l'instabilità articolare può essere presente nelle fasi iniziali della malattia come effetto di una insufficienza funzionale del LCCr che, a causa delle alterazioni morfostrutturali degenerative, perde parte della sua tenuta meccanica e questo accade anche in assenza di una chiara lesione anatomica, sia essa parziale o totale. È per tale motivo che talvolta si preferisce indicare la patologia in oggetto con la definizione di "insufficienza del LCCr" (Martini F. M., et al., 2009).

## **2.2 Diagnosi di rottura del LCCr**

La diagnosi di rottura del legamento crociato craniale è essenzialmente clinica. Tuttavia, possono essere utili anche indagini più approfondite, come ad esempio quelle radiografiche, artroscopiche e l'imaging non invasiva come MRI ed ecografia.

I classici segni clinici, quali zoppia acuta e franco segno del cassetto, in soggetti con sospetta lesione del LCCr, non possono essere considerati *conditio sine qua non* per formulare diagnosi di rottura del legamento crociato craniale. Tali segni spesso mancano e con questa metodologia diagnostica si identificherebbero con certezza le sole lesioni traumatiche complete, sottovalutando le lesioni traumatiche parziali e/o degenerative, non sempre corredate da detta sintomatologia.

Per individuare con sufficiente attendibilità tali forme, è indispensabile affinare la sensibilità clinica attraverso un'attenta valutazione dell'anamnesi (zoppie croniche subdole ed ingravescenti), dei segni, anche modesti, di instabilità articolare e dei segni clinico-radiografici di degenerazione articolare, eventualmente presenti anche a livello del ginocchio controlaterale.

### **2.2.1 Segnalamento**

Il segnalamento dei soggetti affetti da rottura del LCCr è estremamente variabile e quindi contribuisce poco alla diagnosi. Pur non essendo stata identificata una significativa predisposizione di razza, è stata riscontrata una certa predisposizione in razze di grossa taglia, quali Mastino

napoletano, Akita, San Bernardo, Mastiff, Rottweiler e Labrador Retriever.

Inoltre, tale rottura è stata segnalata in cani di tutte le taglie e tende a verificarsi più comunemente nei cani obesi come già sottolineato.

Essa può avvenire ad ogni età, nonostante vi sia un picco d'incidenza nei cani tra 5 e 10 anni di età ed un'incidenza minore nei soggetti che non hanno ancora raggiunto la maturità scheletrica.

### **2.2.2 Anamnesi e segni clinici**

L'anamnesi del paziente con rottura del LCCr è tipicamente causa-dipendente.

I cani che hanno subito un trauma acuto manifestano zoppia di terzo grado, con l'arto tenuto in flessione e sottratto al carico. È più frequente comunque un'insorgenza più insidiosa, con zoppia subdola ed ingravescente.

Il grado di zoppia esibito alla visita ortopedica dipende dall'intervallo di tempo trascorso tra l'instaurarsi della lesione al LCCr ed il momento della visita.

### **2.2.3 Esame obiettivo generale**

Durante l'esame obiettivo bisogna osservare l'atteggiamento del paziente ed eventuali segni particolari; un tipico atteggiamento da fermo, manifesto in caso di rottura del LCCr, è l'appoggio in punta. Quando il cane è fermo in stazione non appoggia completamente l'arto ma la punta del piede, questo perché, se appoggiasse tutta la gamba, determinerebbe la CrTT (Cranial Tibial trust) con stress dell'articolazione e conseguente dolore.

I cani che presentano questa patologia si siedono spesso con la gamba interessata che sporge lateralmente anziché seduti in posizione quadrata (flettendo completamente l'articolazione del ginocchio, con il garretto, il ginocchio e l'anca sullo stesso piano, come una sfinge seduta, e la tuberosità del calcaneo nelle immediate vicinanze alla tuberosità ischiatica). Per verificare questa condizione si effettua il Sit test (test da seduto rappresentato nelle Figure 8 e 9). In caso di patologia o del garretto o del ginocchio l'arto viene ritenuto verso l'esterno e non si piega completamente, in tale situazione il sit test è alterato e viene stabilito positivo (Figura 9). Il cane si siede in questo modo a causa del dolore o di una fibrosi a carico di una delle due articolazioni che non permette una flessione fisiologica. In realtà non è un sintomo patognomonico di rottura del LCCr, ma essendo questa patologia molto frequente nel cane, permette di rilevare un forte sospetto diagnostico. Comunque, con Sit test positivo si ha il 90% delle possibilità che si tratti della rottura del LCCr.



*Figura 8: Sit test negativo. Si noti la simmetria del posteriore e la completa flessione del ginocchio sinistro (Martini F. M., 2006).*



*Figura 9: Sit test positivo in cane con rottura del LCCr sinistro (Martini F. M., 2006).*

#### **2.2.4 Esame obiettivo particolare**

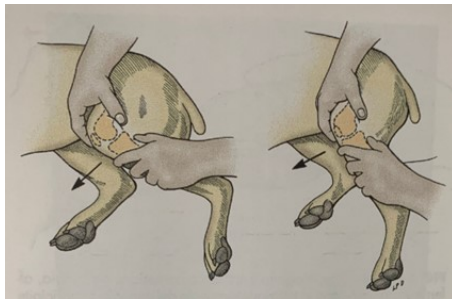
L'esame obiettivo particolare avviene tramite la palpazione del ginocchio; questo perché bisogna valutare l'escursione articolare del ginocchio stesso, in flessione ed in estensione per sapere se è normale o limitata. Viene eseguito con l'animale in stazione e vengono palpati simultaneamente entrambi gli arti pelvici, per identificare atrofie muscolari, tumefazioni, reazioni algiche o asimmetrie.

Sono presenti due test specifici per la diagnosi di rottura del LCCr, ovvero il test del cassetto craniale ed il test di compressione tibiale.

Il test del cassetto craniale è il cardine della diagnosi dell'instabilità del ginocchio; è un test in cui l'operatore crea una trasduzione tibiale cranio-caudale applicando una forza sulla tibia mentre tiene stabile il femore. Questo test viene di solito eseguito con l'operatore posizionato caudale o caudo-laterale al paziente e quest'ultimo viene posizionato in decubito laterale. Il pollice di una mano è posizionato dietro la fabella laterale e l'indice è posizionato sulla rotula. Il pollice dell'altra mano è posizionato dietro alla testa fibulare e l'indice è posizionato sulla tuberosità tibiale (Figura 10). È importante assicurarsi che i pollici e le dita siano posizionati in modo



corretto su questi punti di riferimento ossei; in caso contrario, il movimento dei tessuti molli può essere interpretato erroneamente come instabilità dell'articolazione del ginocchio. La tibia viene manipolata con fermezza in direzione prima caudale e poi craniale e viene monitorato il movimento nel piano sagittale. In generale, qualsiasi movimento di traslazione in un animale adulto è considerato anomalo. Inoltre, contrariamente ai cani adulti, i cani giovani presentano comunemente un piccolo grado di traslazione tibiale cranio-caudale fisiologica; questo è chiamato cassetto del cucciolo. In alcuni animali adulti con grave atrofia muscolare, può essere presente una piccola quantità di cassetto craniale, ma un arresto improvviso è, in genere, evidente se il legamento crociato craniale è integro.



*Figura 10: Test del cassetto craniale con il ginocchio flesso e semi-flesso (Fossum T. W., 2013).*

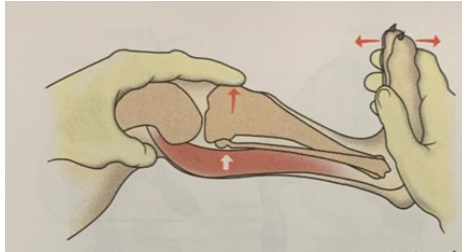
In caso di lacerazione parziale del legamento crociato craniale, il cassetto craniale può essere presente o assente. In questo caso il test va fatto con il ginocchio flesso, oltre che semi-flesso come viene eseguito normalmente. Se la banda cranio-mediale si strappa e la parte caudo-laterale è intatta, il cassetto craniale è presente in flessione solo perché la parte caudo-laterale intatta è tesa in estensione. Se la parte caudo-laterale è strappata e la banda cranio-mediale è integra, non è presente alcun cassetto craniale perché la banda cranio-mediale è tesa sia in flessione che in estensione. Un leggero

versamento dell'articolazione del ginocchio, la presenza di dolore quando il ginocchio viene tenuto in estensione ed il disagio notato durante il test del cassetto craniale sono compatibili con la rottura parziale del legamento crociato craniale. Questi risultati sono utili per confermare che la causa di zoppia è correlata all'articolazione del ginocchio anche in assenza di un cassetto craniale riconoscibile.

In caso di lacerazioni parziali stabili del legamento crociato craniale, è possibile utilizzare anche metodi diagnostici alternativi come radiografia, risonanza magnetica (MRI) e artroscopia per confermare la presenza di una patologia del ginocchio e lacerazione parziale del legamento.

Il test di compressione tibiale è un altro test di stabilità dell'articolazione del ginocchio sul piano sagittale: è più sensibile rispetto al precedente, crea meno dolore e si riesce ad effettuare anche con il cane in stazione. In questo test l'operatore crea una compressione dell'articolazione del ginocchio che provoca una forza di spinta tibiale craniale (Figura 11). Il legamento crociato craniale integro contrasta la spinta tibiale craniale; tuttavia, se il legamento si rompe, si verifica una traslazione tibiale craniale. Generalmente, per eseguire questo test, l'esaminatore si trova caudale o caudo-laterale al paziente. Il paziente può essere in stazione quadrupedale o in decubito dorsale con l'arto interessato rivolto verso l'alto. L'indice di una mano viene posizionato sulla tuberosità tibiale ed il pollice, il palmo e le dita rimanenti di quella mano vengono utilizzati per afferrare i condili femorali e per mantenere l'estensione dell'articolazione del ginocchio. L'indice viene utilizzato per premere caudalmente sulla tuberosità tibiale, riducendo la tibia in posizione neutra se sublussa cranialmente. L'altra mano viene utilizzata per afferrare il metatarso e l'articolazione tarso-crutale viene alternativamente flessa ed estesa, simulando la contrazione

del muscolo gastrocnemio e, quindi, il meccanismo di compressione tibiale. La tuberosità tibiale viene monitorata con il dito indice per il movimento da craniale a caudale nel piano sagittale. La presenza di movimento suggerisce una compromissione del legamento crociato craniale.



*Figura 11: Test di compressione tibiale (Fossum T. W., 2013).*

In caso di rottura traumatica vi è una forte instabilità articolare ed il test del cassetto craniale e di compressione tibiale risultano evidentemente positivi.

In caso di rotture iniziali l'instabilità inizia ad essere minima ed è necessaria molta sensibilità per accorgersi della positività del test ed in questi casi la parte della visita precedente riveste un'importanza maggiore.

Quando la patologia diventa cronica, si sviluppa artrosi a carico del ginocchio nel tentativo di ristabilire un certo grado di stabilità, nelle ginocchia end stage, con fibrosi ed artrosi gravi, il ginocchio apparentemente risulta stabile, la capsula è ispessita e questo è un fattore che deve far sospettare una patologia cronica.

Un altro fattore da tenere in considerazione è la rottura bilaterale del legamento crociato craniale dove i cani presentano un'andatura particolare, caratterizzata dai muscoli degli arti pelvici atrofici, che molto spesso viene confusa come un segno di patologia neurologica invece che ortopedica. Il cane può presentare inoltre falsa cifosi per trasferire il carico sugli arti anteriori ed alleggerire così quelli pelvici dolenti.

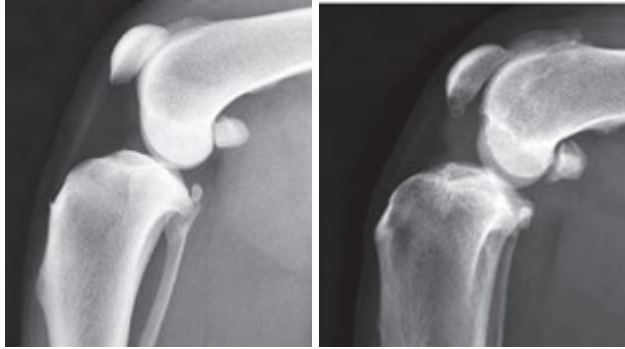
### 2.2.5 Valutazione radiografica

L'esame radiografico del ginocchio è giustificato in tutti i casi di sospetta malattia del legamento crociato craniale per verificare l'osteoartrite del ginocchio nei casi abituali, per confermare la patologia del ginocchio in casi difficili di rottura parziale del legamento crociato craniale e per escludere altri disturbi, come la frattura o la neoplasia. Le proiezioni utilizzate per eseguire lo studio radiografico sono quella medio-laterale e quella caudo-craniale del ginocchio.

Si parla di segni radiografici diretti ed indiretti di insufficienza/rottura del LCCr.

Per quanto riguarda i segni radiografici diretti durante l'esame radiografico appare evidente la sublussazione craniale della tibia. Nel dubbio si esegue una proiezione radiografica stressata, cioè durante l'esame si effettua il test di compressione tibiale.

Per quanto riguarda i segni radiografici indiretti, sono sempre presenti in caso di rottura del LCCr, ma non sono patognomonicamente di questa patologia perché sono indice di una patologia localizzata a livello del ginocchio. Sono presenti osteofitosi che sono dei segni di artrosi, piccole protuberanze ossee, dove il primo si sviluppa sul polo distale della rotula già dopo 15-20 gg dalla rottura. Inoltre, si nota lo spostamento caudale della fascia poplitea che è normalmente a contatto con la tibia e segue come una linea nera il ginocchio e, se è spostata caudalmente, è indice di flogosi articolare. Per ultimo è presente il "segno del grasso", definito così perché all'interno del ginocchio, nello spazio tra la troclea femorale, la cresta tibiale e la rotula, vi è grasso intrarticolare (definito "corpo di Hoffa") che in caso di patologia tende ad ispessirsi ed a diventare radiopaco. Esso ha la forma di un triangolo grigio.



*Figura 12: Immagini radiografiche mediolaterali del ginocchio normale, a sinistra, e di un ginocchio con rottura completa del legamento crociato craniale, a destra (Johnston S. A., Tobias K. M., 2020).*

### **2.2.6 Artroscopia**

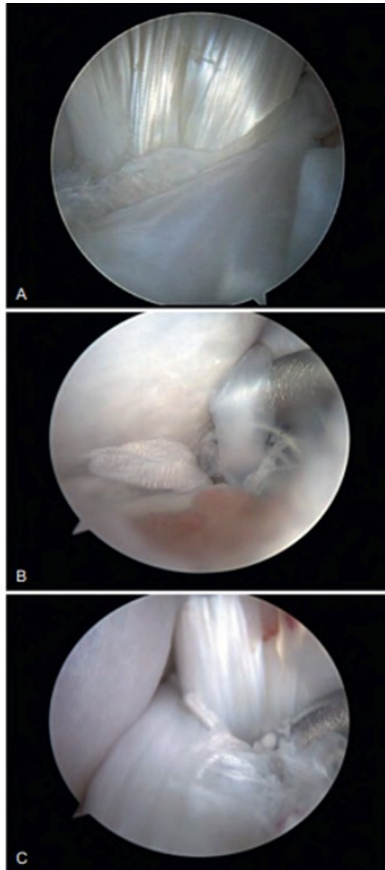
L'artroscopia è una tecnica chirurgica mininvasiva che fornisce una valutazione approfondita della sinovia e delle sacche articolari, della cartilagine articolare, dei legamenti crociati e del menisco. Ha vantaggi aggiuntivi dell'illuminazione e dell'ingrandimento, oltre a consentire la manipolazione dei tessuti molli come legamenti crociati e menischi, per fornire una migliore visualizzazione delle strutture articolari.

È uno strumento diagnostico estremamente accurato che consente di sondare e visualizzare direttamente le strutture intrarticolari, consentendo al medico di trattare le lesioni all'interno dell'articolazione; quindi, è preferibile a modalità di imaging non invasive nella stragrande maggioranza dei casi.

I risultati nella malattia del legamento crociato craniale variano con lo stadio della condizione.

Nella lacerazione parziale precoce del legamento crociato craniale, il normale modello di fibra viene perso ed il legamento appare omogeneo, edematoso e palpabile in molti casi. Inoltre, si possono notare fibre strappate; generalmente,

la proporzione di fibre strappate e lassità aumentano con il progredire della malattia (Figura 13). Altri ritrovamenti, come la sinovite, l'osteofitosi della rotula, l'osteofitosi delle creste trocleari e lesioni meniscali sono compatibili con l'osteoartrite.



*Figura 13: Immagini artroscopiche. In particolare, in A ci sono i legamenti crociati craniali e caudali. È presente una lacerazione parziale precoce del legamento crociato craniale. In B ed in C vedute artroscopiche del legamento crociato craniale che evidenziano le fibre strappate a livello delle inserzioni femorale (B) e tibiale (C) (Johnston S. A., Tobias K. M., 2020).*

### **2.2.7 Imaging non invasiva**

Le modalità di imaging non invasiva come la risonanza magnetica (MRI) e l'ecografia sono utilizzate per valutare l'articolazione del ginocchio nei cani con zoppia riferibile all'articolazione del ginocchio.

La MRI del midollo osseo subarticolare nei casi clinici di zoppia del ginocchio è stata valutata per determinare se la contusione ossea era un riscontro comune nei cani con malattia del legamento crociato. Questa lesione non sembra essere specifica per la rottura del legamento crociato craniale nel cane.

È stato segnalato che l'esame ecografico del menisco canino e la sua sensibilità e specificità, rispetto all'artroscopia per la diagnosi della patologia meniscale, sono state del 90,0% e del 92,9% rispettivamente.

Le tecniche di imaging non invasiva del ginocchio, compresi ultrasuoni e MRI, richiedono un addestramento avanzato, abilità tecniche, pratica e attrezzature specializzate. Inoltre, queste tecniche risultano essere dipendenti dall'operatore. Per questi motivi l'osservazione con palpazione mediante artroscopia è la tecnica preferita nella stragrande maggioranza dei casi in cui si sospetta una parziale rottura del legamento crociato craniale o patologia meniscale.

### 3 OSTEOTOMIE CORRETTIVE

La rottura del legamento crociato craniale è una delle più comuni patologie ortopediche diagnosticate nella medicina dei piccoli animali, ma non è ancora chiaro quale sia il trattamento migliore.

Nonostante siano state realizzate tecniche conservative e chirurgiche di successo, le scoperte più recenti suggeriscono che i risultati ottimali sono stati rinvenuti nei cani che hanno eseguito trattamenti chirurgici.

Le attuali tecniche chirurgiche di osteotomia correttiva tibiale hanno una grande percentuale di successo nel breve e nel medio periodo di follow-up, ma i risultati sono spesso soggettivi, raccolti attraverso questionari compilati dai proprietari o da giudizi medici.

Sarebbe opportuno utilizzare metodiche più oggettive nella valutazione della zoppia dopo trattamento chirurgico del LCCr, come ad esempio, l'analisi con piastra di forza, l'analisi con piastra di pressione e gli score radiografici (Muir P., 2010).

Per il trattamento della rottura del LCCr numerose sono le opzioni chirurgiche proposte.

Tra di esse vengono annoverate le tecniche intracapsulari, extracapsulari e di osteotomia per stabilizzare l'articolazione del ginocchio in corso di malattia del legamento crociato craniale. Le osteotomie correttive rappresentano un gruppo di tecniche più innovative in quanto si basano su un approccio diverso dalle precedenti, ovvero agiscono stabilizzando attivamente il ginocchio. È importante sottolineare che la progressione radiografica dell'osteoartrite sembra ridotta dopo le tecniche di osteotomia (Moore E. V., et al., 2020).



Le procedure di osteotomia mirano a stabilizzare il ginocchio durante il carico neutralizzando la spinta tibiale craniale (CrTT).

Le tecniche chirurgiche disponibili si basano su meccanismi attivi o passivi per ottenere la stabilità articolare ed il conseguente ritorno alla funzione. La stabilizzazione attiva del ginocchio con rottura del LCCr nei cani si ottiene eliminando la forza di taglio tibiale craniale, a cui normalmente si oppone il LCCr durante il carico. Queste tecniche alterano la biomeccanica articolare per neutralizzare le forze anomale all'interno di un ginocchio deficitario di LCCr integro al posto di imitare l'azione del legamento nativo in situ.

Le procedure chirurgiche che stabilizzano attivamente il ginocchio eliminano la forza di taglio tibio-femorale craniale in due modalità, ossia diminuendo l'angolo del piatto tibiale (TPLO e CCWO) oppure facendo avanzare la tuberosità tibiale (TTA).

Nessuna tecnica chirurgica risulta migliore rispetto all'altra pur portando a risultati positivi (Ober C. A., et al., 2019). Certo è che la stabilizzazione chirurgica continua ad essere considerata la migliore opzione per le articolazioni del ginocchio con rottura del LCCr (Maureen R. J., et al., 2018).

Tuttavia, ancora oggi, nessuna procedura chirurgica per il trattamento della rottura del legamento crociato craniale arresta in modo ottimale la progressione dell'osteoartrosi (Wilson M. L., et al., 2018).

Inoltre, le tecniche chirurgiche in questione sono associate ad una varietà di complicanze postoperatorie di gravità variabile, da lieve a grave. Le complicanze possono ritardare il processo di guarigione, comportare costi aggiuntivi per il proprietario dell'animale, alterare lo stato di salute del paziente e causare un maggior dolore postoperatorio.

Alcune complicanze postoperatorie, come le infezioni del sito chirurgico (SSI), possono verificarsi dopo qualsiasi procedura chirurgica; altre sono specifiche di una determinata tecnica e verranno trattate nei capitoli dedicati (Engdahl K. S., et al., 2021).

## **3.1 Osteotomia di livellamento del piatto tibiale (TPLO)**

### **3.1.1 Generalità**

L'osteotomia di livellamento del piatto tibiale (Tibial Plateau Leveling Osteotomy) è una delle procedure chirurgiche più comunemente eseguite per la rottura del legamento crociato craniale nel cane (Maureen R. J., et al., 2018). Lo scopo di questa procedura è neutralizzare la spinta tibiale craniale durante la fase d'appoggio del passo, ripristinando così la stabilità dell'articolazione del ginocchio mediante la riduzione dell'inclinazione del piatto tibiale.

Il legamento crociato craniale agisce da mezzo di contenimento passivo nei confronti della traslazione craniale della tibia e della rotazione interna tibiale. Le forze di reazione al suolo e le forze muscolari generano carichi compressivi sulla superficie articolare della tibia durante la fase di carico del peso. L'inclinazione orientata caudalmente del piatto tibiale, che nella specie canina va circa dai 20° ai 30°, determina, durante la fase di carico della tibia, la genesi di una spinta trasversale che produce una traslazione anomala della tibia nelle articolazioni del ginocchio in cui non c'è la completa resistenza del LCCr. La componente trasversale è indicata come spinta tibiale craniale (Cranial Tibial Trust, CrTT) ed è passivamente contenuta dal LCCr. La CrTT è anche proporzionale all'inclinazione del piatto tibiale; se quest'ultima diminuisce, si riduce anche la CrTT. L'inclinazione del piatto tibiale si può ridurre in modo che la spinta tibiale alteri la direzione cranio-prossimale in direzione caudale.

Lo scopo dell'intervento chirurgico della TPLO è di ottenere un'inclinazione del piatto tibiale di circa 5°-7°, con la quale la

spinta tibiale possa effettivamente essere controllata dal legamento crociato caudale e dai mezzi di contenimento attivi del ginocchio (per esempio, il gruppo del muscolo quadricipite).

Poiché il LCCr contiene passivamente anche l'eccessiva rotazione interna della tibia, è necessario individuare con criterio l'origine di questi momenti rotatori interni ed il ruolo della procedura della TPLO nel loro controllo funzionale. Quando viene a mancare questo controllo legamentoso alla rotazione interna della tibia, si registra un movimento a cassetto in direzione craniale associato ad una contemporanea rotazione della tibia verso l'interno.

Prima di procedere è fondamentale stabilire un planning preoperatorio in maniera dettagliata; esso deve prevedere la misurazione dell'angolo del piatto tibiale (TPA) che misura di fatto l'inclinazione del piatto tibiale stesso, la localizzazione del punto dell'osteotomia, la scelta della misura della lama e della placca. Per realizzare un buon planning preoperatorio bisogna seguire un preciso protocollo radiografico che richiede una proiezione medio-laterale ed una caudo-craniale del ginocchio e della tibia, sulle quali poter eseguire le misurazioni radiografiche.

Introdotta da Slocum nel 1993, la TPLO prevede l'esecuzione di un'osteotomia radiale con rotazione caudale del segmento prossimale tibiale al fine di diminuire il TPA e quindi di ottenere un'inclinazione del piatto tibiale di 5°-7° circa. La procedura chirurgica prevede, mediante un approccio mediale della tibia prossimale, l'esecuzione di un'osteotomia radiale, ad arco di cerchio, eseguita con una lama biradiale. Dopo la rotazione del segmento tibiale, viene fatto guarire l'osso in questa posizione, attraverso fissazione con placca per TPLO, e così si elimina la spinta tibiale craniale (CrTT) per la quale si sviluppa la sublussazione craniale della tibia (Figura 14).



*Figura 14: Immagine radiografica dell'osteotomia di livellamento del piatto tibiale (Johnston S. A., Tobias K. M., 2020).*

La procedura della TPLO si è dimostrata molto efficace nel neutralizzare la sublussazione tibiale craniale nell'articolazione del ginocchio con legamento crociato craniale rotto; tuttavia, la stessa non impedisce la rotazione tibiale interna o l'iperestensione del ginocchio. Quindi, l'osteotomia di livellamento del piatto tibiale non crea una normale cinematica dell'articolazione del ginocchio; è pur vero che, finora, nessuna procedura chirurgica intesa a stabilizzare l'articolazione del ginocchio con rottura di LCCr nel cane ha dimostrato di aver raggiunto questo obiettivo.

Perciò, la TPLO rimane una delle procedure chirurgiche più comunemente eseguite negli ultimi anni e molti autori hanno concluso che, nelle mani di chirurghi esperti, è una tecnica sicura che porta ad ottimi risultati a lungo termine nei cani con malattia del legamento crociato craniale.

### 3.1.2 Complicanze

I tipi di complicanze identificati a seguito della procedura di livellamento del piatto tibiale sono simili a quelli riportati per altre procedure di osteotomia e sono stati segnalati con una frequenza che va dal 7,2% al 38% (Muir P., 2018). Esistono fattori predisponenti che possono aumentare il tasso di complicanze, come l'aumento del peso corporeo (Marin K., et al., 2021), predisposizione di razza (Pastore Tedesco), la rottura completa del LCCr ed un TPA > 30° (Coletti T. J., et al., 2014).

Le complicanze intraoperatorie sono molteplici e comprendono la frattura tibiale, il posizionamento intra-articolare della vite, l'emorragia significativa, le punte di trapano rotte, la frattura fibulare, il posizionamento intra-articolare del perno della maschera guida, il posizionamento di una vite ossea nell'osteotomia, la spugna chirurgica trattenuta, il perno di tenuta rotto e la vite rotta. Inoltre, un livellamento del piatto tibiale oltre a quello necessario per neutralizzare la spinta tibiale craniale può provocare ulteriori danni al legamento crociato caudale in quanto, dopo la rotazione del segmento prossimale tibiale, le forze di taglio femoro-tibiali si trasformano da craniali a caudali quando l'arto è soggetto al carico ponderale.

Molte di queste complicanze sono il risultato di errori tecnici che possono essere ridotti man mano che si acquisisce esperienza con la procedura.

### 3.1.2.1 Complicanze a breve termine

Le complicanze a breve termine, definite come evidenti fino al 14° giorno dopo l'intervento chirurgico, riguardano principalmente il sito dell'incisione e comprendono edema o infiammazione dei tessuti, irritazione secondaria all'applicazione del bendaggio, sieroma, deiscenza della ferita, drenaggio incisionale, infezione incisionale, formazione di ematoma, edema o lividi nel sito di incisione, auto-trauma con sutura cutanea o rimozione della graffetta, frattura tibiale e tumefazione della capsula articolare.

Lo sviluppo di un'infezione del sito chirurgico (SSI), nei cani sottoposti a TPLO, è stata riportata con una percentuale che va dal 3% al 15,8% (McDougall R. A., et al., 2021). Sebbene l'impatto delle SSI possa variare, le conseguenze includono aumento di costi, scarso esito a lungo termine e ulteriore peggioramento dello stato del paziente. I fattori di rischio identificati nello sviluppo delle SSI associate a TPLO includono predisposizione della razza del Pastore Tedesco, del sesso (cane maschio intero), età, colonizzazione preoperatoria con *Staphylococcus pseudintermedius* meticillino resistente, durata dell'anestesia, alcuni tipi di impianti, esecuzione di una meniscectomia, minore esperienza del chirurgo e mancata somministrazione di antibiotici postoperatori. Tra questi, i fattori di rischio identificati come i veri responsabili per la rimozione dell'impianto a seguito della TPLO, sono risultati essere il sesso (cane maschio intero), dove il testosterone sembra che comprometta la guarigione delle ferite e la razza; infatti, i Pastori Tedeschi hanno una probabilità 7,4 volte maggiore di sviluppare SSI profonde rispetto ad altre razze per una loro predisposizione genetica.

Non sono risultati essere fattori di rischio né l'età né il peso. In realtà, quest'ultimo, in alcuni studi precedenti, è stato identificato come fattore di rischio e gli autori sostengono che interviene attraverso un aumento del micromovimento a livello dell'osteotomia nei cani di taglia grande e gigante, determinando un ambiente favorevole per l'infezione (Solano M. A., et al., 2015) (Hans E. C., et al., 2017).

Indipendentemente dalla causa, l'educazione del proprietario può svolgere un ruolo nell'aumentare la vigilanza postoperatoria così come nel riconoscimento e nel trattamento precoci delle SSI riducendo la necessità di rimozione dell'impianto.

La complicità dell'emorragia intraoperatoria significativa può essere controllata con la coagulazione elettrochirurgica o l'applicazione di agenti emostatici o clip emostatiche. Un'indagine anatomica ha confermato che, tipicamente, la fonte dell'emorragia è l'arteria o la vena tibiale craniale (Moles A., Glyde M., 2009). In caso di emorragia significativa, l'arteria caudale della tibia è, inizialmente, protetta dalla garza per controllare l'emorragia. L'esposizione del campo chirurgico è aumentata secondo necessità; i divaricatori autostatici vengono posizionati, le garze vengono rimosse e l'aspirazione viene utilizzata per evacuare l'emorragia, consentendo di identificare, bloccare, legare o cauterizzare il vaso. In caso di emorragia grave, può essere eseguita un'occlusione temporanea delle arterie tibiali femorali, poplitea o craniale al fine di ridurre al minimo la perdita di sangue e semplificare l'identificazione e la legatura dei vasi. Questo risulta essere il trattamento di scelta quando si verifica un'emorragia significativa durante TPLO (Matres-Lorenzo L., et al., 2018).



Va evidenziato che la manipolazione meticolosa dei tessuti molli ed il sollevamento e la conservazione accurati della fascia lungo il bordo cranio-mediale della tibia consentiranno la chiusura e la copertura robuste dei tessuti molli della placca ossea e possono ridurre le complicanze dei tessuti molli nel primo periodo postoperatorio.

Le fratture della fibula sono le complicazioni più gravi che possono accadere durante o dopo la TPLO. Sono stati identificati i fattori di rischio per le fratture fibulari, essi includono l'aumento del peso, un TPA preoperatorio elevato ed un'esecuzione della TPLO senza la maschera guida.

### **3.1.2.2 Complicanze a lungo termine**

Le complicanze a lungo termine, definite come quelle che si verificano 15 o più giorni dopo l'intervento chirurgico, includono ispessimento del legamento rotuleo, frattura della tuberosità tibiale, reazione periostale, osteomielite, lacerazione meniscale postliminare, allentamento dell'impianto, rottura della vite, tratto drenante da spugna chirurgica trattenuta, frattura fibulare, frattura rotulea, artrite settica, sequestro dell'anello, frattura tibiale e lussazione del tendine del muscolo estensore lungo delle dita.

Le complicanze possono essere ridotte al minimo dall'esperienza nella procedura e da una puntuale attenzione ai dettagli nella pianificazione preoperatoria e nell'esecuzione chirurgica. L'elevata cautela e la protezione dei tessuti molli e l'attenzione ai punti di riferimento anatomici locali, come l'altezza e la posizione della testa fibulare, aiuteranno a prevenire il posizionamento involontario intra-articolare di perni della maschera guida o viti ossee.

La rottura delle punte di trapano e delle viti può essere evitata con un'attenta angolazione delle punte ed evitando altre viti e chiodi ossei durante l'applicazione dell'impianto. Anche le placche ossee bloccate di forma anatomica presentano vantaggi significativi in questo senso perché l'angolazione della vite è predeterminata in base all'angolazione dei filetti nella placca; in base alla progettazione, le viti possono essere angolate per evitare interferenze.

Inoltre, è stato riportato in uno studio che l'uso di impianti bloccanti riduce il tasso di infezione dopo TPLO nei cani > 50 Kg (Solano M. A., et al., 2015). L'analisi dei dati ha dimostrato che il sistema di stabilizzazione utilizzato influenzava l'incidenza di complicazioni; in particolare, il sistema 8P (placca larga da 3,5 mm) è quello associato al minor tasso di complicazioni. Inoltre, è stato osservato che, ottenendo una stabilizzazione "bloccante", non è più presente un'associazione tra peso e incidenza di complicazioni.

È stato riportato che anche la lunghezza della placca può concorrere all'aumento del tasso di complicazioni; infatti, gli autori di un altro studio più recente, hanno concluso che nei cani di grossa taglia sia da preferire il sistema di stabilizzazione con placca larga a 8 fori da 3,5 mm in quanto riduce il tasso di complicazioni rispetto all'utilizzo della placca standard a 6 fori da 3,5 mm o della placca larga SOP da 3,5 mm (Chiu K. W., et al., 2019).

In ogni caso, i radiogrammi postoperatori devono essere valutati attentamente e tutte le viti ossee intra-articolari sospette devono essere rimosse, reindirizzate e sostituite immediatamente perché la presenza di una vite nell'articolazione può creare gravi lesioni alla cartilagine.

La frattura della tuberosità tibiale (TTF) rappresenta una complicanza che si rileva tra lo 0,4% ed il 4,8% dopo la TPLO (Mehrkens L. R., et al., 2018). I fattori di rischio identificati per la TTF includono l'esecuzione della TPLO bilaterale in un'unica seduta clinica, le dimensioni non idonee della tuberosità tibiale, il mantenimento del filo di Kirschner di stabilizzazione temporanea, l'imprecisione sulla localizzazione dell'osteotomia, l'over-rotation del segmento prossimale tibiale, l'aumento del peso corporeo del paziente e l'aumento dell'angolo del piatto tibiale al follow-up.

La larghezza della tuberosità tibiale inferiore a 10 mm è risultata essere un fattore di rischio per l'avulsione della tuberosità tibiale; tuttavia, questa misurazione dipende dalle dimensioni del paziente e dall'anatomia tibiale individuale (Bergh M. S., et al., 2008). Le tuberosità tibiali che sono più alte di circa il 70% delle loro basi hanno maggiori probabilità di fratturarsi. Nel tentativo di creare un parametro oggettivo per la conformazione della tuberosità tibiale in vista di un intervento di osteotomia di livellamento del piatto tibiale, è stato studiato il rapporto corretto tra l'altezza della tuberosità tibiale e la larghezza tibiale (TTH/TW) ed è stato visto che, limitare questo rapporto ad una misura di 0,6 o meno, può scongiurare una frattura della tuberosità tibiale stessa (Mehrkens L. R., et al., 2018). In particolare, si consiglia di pianificare un'osteotomia in modo tale che la tuberosità sia più ampia alla base dell'osteotomia e si assottigli fino al punto più stretto, prossimale all'inserimento del tendine patellare, per aiutare a prevenire la frattura postoperatoria della tuberosità.

La pianificazione preoperatoria ed intraoperatoria ha dimostrato di poter determinare una posizione osteotomica più centrata e di ridurre il rischio di frattura della tuberosità

tibiale (Collins J. E., et al., 2014). In alcuni casi la posizione dell'osteotomia deve essere modificata a causa della variazioni dell'anatomia individuale. Queste comprendono una tibia prossimale stretta, nel qual caso l'osteotomia viene spostata caudalmente per garantire che venga mantenuta un'adeguata larghezza della tuberosità tibiale. Altri casi comprendono un'eccessiva pendenza del piatto tibiale o deformità della crescita tibiale prossimale, la presenza di un tunnel osseo da un precedente intervento chirurgico (sutura fabello-tibiale laterale) e cani di media taglia con piccole dimensioni tibiali, ma peso corporeo elevato, come il Bulldog inglese.

L'eccessiva rotazione del segmento prossimale tibiale oltre il safe point (considerato essere a livello dell'inserzione del tendine rotuleo) è uno dei fattori che può determinare un eccessivo stress sulla cresta tibiale e una conseguente frattura della tuberosità tibiale. La rotazione distale, rispetto al punto di inserimento del tendine rotuleo, provoca fratture che si verificano tipicamente alla base della tuberosità tibiale. Ciò supporta l'idea che, se non viene superato il safe point, il segmento del piatto tibiale fornisce supporto alla tuberosità tibiale e la perdita di tale sostegno crea un rischio di frattura della tuberosità tibiale (Hamilton K., et al., 2015). Inoltre, l'over-rotation di tale sezione, causa una diminuzione dell'angolo del piatto tibiale postoperatorio che può aumentare la probabilità di frattura della rotula dopo TPLO (Figura 15). Quest'ultima è una complicanza rara che si verifica con un tasso che varia dallo 0,09% al 2% (Geier C. M., et al., 2021). In particolare, era stato visto che un TPA postoperatorio inferiore a 5° poteva essere un fattore di rischio per la frattura della rotula. Sebbene l'esatta eziologia di tale frattura in seguito a TPLO non sia nota, gli studi hanno

riportato che interruzioni della normale cinematica rotulea e forze anomale che stressano il legamento rotuleo dopo TPLO, possono aumentare il rischio di frattura rotulea.



*Figura 15: Immagini radiografiche dell'articolazione del ginocchio con frattura del polo distale della rotula dopo TPLO (Geier C. M., et al., 2021).*

Essendo noto il principio biomeccanico per il quale con un'over-rotation si determina un incremento delle forze agenti sul legamento crociato caudale, le lesioni a carico di questo legamento sono incluse nelle potenziali complicanze della TPLO (Martini F. M., et al., 2009).

È stato inoltre dimostrato che la TPLO eseguita senza una maschera guida determina una deviazione cranio-laterale di circa 15° dell'osteotomia ed è stata identificata come fattore di rischio per frattura fibulare e fallimento del fissaggio; per cui il suo utilizzo durante la procedura di livellamento del piatto tibiale è fortemente raccomandato (Tuttle T. A., Manley P. A., 2009).



*Figura 16: Immagine radiografica dell'articolazione del ginocchio con frattura fibulare (Tuttle T. A., Manley P. A., 2009).*

Un'altra complicanza che si riscontra dopo l'osteotomia di livellamento del piatto tibiale è la lesione meniscale che sembra presentarsi in concomitanza con la rottura del legamento crociato craniale nel 32,2%-83% dei cani (Wilson M. L., et al., 2018). Infatti, la rottura del legamento crociato craniale provoca instabilità che può essere associata a infiammazione, degrado della cartilagine e lesioni meniscali. I menischi contribuiscono alla stabilizzazione articolare favorendo l'attenuazione degli urti, la trasmissione del carico, la prevenzione dell'urto della membrana sinoviale tra femore e tibia, la propriocezione articolare e la lubrificazione articolare. In piena estensione, i menischi trasmettono dal 50% al 70% del peso corporeo che aumenta dall'85% al 90% in flessione. È stato ipotizzato che il menisco mediale sia meno mobile del menisco laterale ed è quindi più soggetto a danni durante il movimento del cassetto craniale tibiale nelle ginocchia con rottura del legamento crociato craniale.

La razza, il peso corporeo, l'età, il grado di artrite e di versamento, la durata della zoppia e la rottura del legamento crociato craniale rappresentano i fattori di rischio che possono portare ad un danno meniscale. In un recente studio, 362 cani

sono stati sottoposti a TPLO ed il 48% ha riportato lesioni meniscali bilaterali. La razza e l'età risultano essere i fattori di rischio più significativi per questo tipo di danno ed in particolare i Rottweiler avevano mostrato un aumento di 4,1 volte nell'identificazione delle lesioni meniscali bilaterali. Inoltre, dai risultati ottenuti, anche i progressivi cambiamenti del menisco con l'età lo rendono più suscettibile alle lacerazioni in un ginocchio con rottura del legamento crociato craniale, soprattutto se questa risulta essere completa visto che è in grado di aumentare di 21,1 volte la possibilità di lesioni meniscali bilaterali (Laube R. L., et al., 2021). Si può concludere che nei cani con questi fattori di rischio, la corretta identificazione di una rottura completa del legamento crociato craniale durante l'intervento chirurgico, aumenterà il sospetto del chirurgo di una lesione meniscale. Per lo più, se si verificasse una successiva lesione del legamento crociato craniale controlaterale, il chirurgo potrebbe sospettare un'ulteriore lesione al menisco di tale arto.

Sebbene la TPLO possa eliminare la sublussazione tibiale craniale, la procedura può anche avere alcuni effetti biomeccanici non intenzionali. In particolare, è stato visto che la TPLO può alterare la cinematica dell'articolazione femoro-rotulea (PF) portando ad una traslazione craniale della rotula (Zann G. J., et al., 2020). Questo può accadere per molteplici ragioni, come ad esempio le alterazioni osteoartritiche che si sviluppano in articolazioni con deficit di LCCr che possono portare ad un ispessimento cartilagineo, osteofitosi e sinovite dell'articolazione femoro-rotulea. Questi cambiamenti possono aumentare lo spazio articolare di PF portando la rotula a spostarsi cranialmente. Inoltre, alcuni autori riportano che il posizionamento prossimale dell'osteotomia potrebbe

portare ad un allineamento anomalo dell'articolazione femoro-rotulea.

L'ispessimento del legamento rotuleo è una complicazione comune dopo l'osteotomia di livellamento del piatto tibiale e può causare zoppia nei primi mesi dopo l'intervento chirurgico. Un aumento dello stress sul legamento rotuleo, a seguito della procedura di livellamento del piatto tibiale, può svolgere un ruolo nello sviluppo dell'ispessimento del legamento rotuleo. Lo spessore della lama della sega e la posizione dell'osteotomia hanno dimostrato di influenzare la distanza dall'inserzione del legamento rotuleo sulla tuberosità tibiale ai tubercoli intercondilari della tibia dopo la rotazione del piatto tibiale. Questa distanza rappresenta il braccio di leva per cui il meccanismo del quadricipite ottiene un vantaggio meccanico nell'estensione dell'articolazione del ginocchio. In particolare, un braccio di leva più lungo richiede meno forza, da parte del quadricipite, per spostare la tuberosità tibiale rispetto ad un braccio più corto. A causa di una posizione scorretta dell'osteotomia, questa distanza è ridotta, così la forza sul legamento rotuleo durante il carico aumenta e questo si traduce in una tensione del legamento rotuleo (Boudrieau R. J., 2009). In un altro studio più recente è stato visto che i cani in cui era stata eseguita la TPLO con centro di osteotomia distale rispetto alla posizione raccomandata, cioè l'eminanza intercondiloidea tibiale, hanno presentato una maggiore forza di trazione del quadricipite che, a lungo termine, ha causato un ispessimento del legamento rotuleo (Kanno N., et al., 2019).

Uno studio radiografico e clinico, che ha valutato i cambiamenti nel legamento rotuleo dopo osteotomia di livellamento del piatto tibiale, ha definito l'ispessimento del legamento rotuleo come evidenza radiografica e ha



classificato la gravità come segue: grado 0: lieve, normale fino al doppio spessore preoperatorio; grado 1: modesto, da 6 a 11 mm di spessore; e grado 2: grave, di spessore maggiore o uguale a 12 mm o senza bordi identificabili. La tendinosi rotulea è stata definita nei pazienti con ispessimento del legamento rotuleo di grado 2, zoppia attribuibile al legamento rotuleo, dolore alla palpazione del legamento rotuleo ed edema dei tessuti. Sulla base di questi risultati gli autori hanno raccomandato una posizione di osteotomia centrata per la prevenzione dell'ispessimento del legamento rotuleo e della successiva tendinosi rotulea (Boudrieau R. J., 2005).

Una complicanza a lungo termine che si può verificare è la frattura fibulare, in particolare è stato riportato che si presenta con una frequenza che va da 0,1% al 2,4% durante l'intervento e dal 0,4% al 15% dopo l'intervento chirurgico. Sono stati riportati i fattori di rischio per la frattura della fibula ed essi includono l'aumento del peso corporeo del paziente, l'aumento dell'angolo del piatto tibiale postoperatorio, le rotazioni del piatto tibiale maggiori e TPLO eseguita senza utilizzo di maschera guida (Matres-Lorenzo L., et al., 2018).

Dopo osteotomia di livellamento del piatto tibiale è stata segnalata una neoplasia della tibia prossimale (Boudrieau R. J., et al., 2005). La corrosione dell'impianto e altri fattori sono stati implicati nello sviluppo di una neoplasia ossea adiacente agli impianti metallici, inclusa la lega metallica specifica utilizzata per l'impianto; danno tissutale al momento del trauma o della riparazione chirurgica ed attività cellulare alterata correlata ad una unione ritardata, ad una non unione o ad un'infezione. Con l'avvento di nuovi impianti lavorati di osteotomia di livellamento del piatto tibiale, verrà definito il ruolo della placca stessa nello sviluppo di neoplasie ossee

come l'incidenza aumentata, diminuita o invariata delle neoplasie.

Come noto, nella fase di appoggio del piede, la spinta tibiale craniale sposta la tibia cranialmente quando il legamento crociato craniale non è integro. L'instabilità del ginocchio associata alla rottura del LCCr causa un'osteoartrite secondaria (OA) ed un danno al menisco mediale (MM). Nonostante la TPLO sia in grado di risolvere questo problema, diversi studi hanno osservato la progressione dell'osteoartrite dopo l'intervento chirurgico. Inoltre, il grado di danno al LCCr influisce sui risultati postoperatori di danno cartilagineo. Uno dei parametri utilizzati per riconoscere la funzionalità della TPLO è stato il grado di OA presente a livello dell'articolazione del ginocchio dopo la chirurgia; generalmente l'andamento dell'OA veniva valutato a breve termine. In uno studio più recente, è stato valutato a 36 mesi ed i cani, nonostante la progressione dell'osteoartrite, hanno recuperato e mantenuto la funzione di carico dell'arto sottoposto a TPLO. Nel medesimo studio l'osteoartrite era presente già dopo 3 mesi dall'intervento e la sua progressione era più lenta nei casi con rottura parziale del LCCr.

Sembra che la progressione dell'osteoartrite dopo TPLO sia associata a vari fattori, come ad esempio, il TPA del ginocchio colpito, la gravità della patologia articolare a livello del ginocchio prima dell'intervento, il metodo di trattamento chirurgico delle strutture articolari, la frequenza degli esercizi durante il recupero postoperatorio e la variazione del peso. Si ritiene che l'aumento dell'instabilità nel ginocchio con rottura del LCCr aumenti la progressione dell'osteoartrite e la fibrosi periarticolare (Shimada M., et al., 2020).

La TPLO, quindi, stabilizza dinamicamente la spinta tibiale craniale che si verifica in fase di appoggio, ma non è

sufficiente a stabilizzare il ginocchio nel movimento di intra-rotazione e di iperestensione. Questi movimenti potrebbero portare ad una fibrosi periarticolare che, accompagnata da osteoartrosi, dopo la TPLO potrebbero portare ad un'instabilità delle ginocchia. Si conclude che, la progressione dell'OA può essere un fattore di rischio per una qualità di vita del paziente anche se la funzione di carico dell'arto viene ripristinata. Pertanto, questi dati suggeriscono che la TPLO potrebbe essere il trattamento di scelta nelle prime fasi della malattia del legamento crociato craniale nel cane.

Da ultimo, è stato riportato che dopo la TPLO può presentarsi una complicanza postoperatoria che viene denominata 'fenomeno del pivot-shift' (PSP, pivot-shift phenomenon). Il fenomeno del pivot-shift è scarsamente descritto nella letteratura veterinaria ed è stato definito come la sublussazione craniale della tibia associata ad una rotazione tibiale interna, con conseguente improvviso cambiamento laterale della direzione del ginocchio durante il carico (Gatineau M., et al., 2011). Le cause alla base e l'importanza clinica di questa condizione non sono ancora completamente comprese. Non è considerata una complicanza frequente dopo gli interventi di osteotomia di livellamento del piatto tibiale; ciò conferma che può avere un'eziologia complessa e multifattoriale. I risultati riportati nella medicina umana riguardo al PSP hanno suggerito che la conformazione dell'articolazione del ginocchio e l'insufficienza delle strutture stabilizzanti secondarie di tale articolazione, come ad esempio i menischi, possano avere giocato un ruolo nello sviluppo di questa condizione.

Nei cani, l'articolazione del ginocchio è una struttura complessa con numerose strutture che contribuiscono alla sua stabilità. Durante la fase di appoggio della

deambulazione, quando l'articolazione del ginocchio è in estensione, i legamenti crociati craniali e caudali agiscono come stabilizzatori primari alla rotazione interna e alla traslazione nel piano sagittale, mentre i legamenti collaterali mediale e laterale agiscono per limitare la rotazione interna.

I menischi mediale e laterale agiscono come stabilizzatori secondari dell'articolazione del ginocchio mediante l'aumento della congruenza articolare. Nell'uomo la contrazione dei muscoli caudali della coscia ed il rilassamento del muscolo quadricipite femorale garantiscono ulteriore stabilità all'articolazione; è possibile che questi gruppi di muscoli abbiano un ruolo anche nella stabilizzazione dell'articolazione del ginocchio nella specie canina.

Nelle articolazioni del ginocchio con rottura del legamento crociato craniale, i ruoli degli stabilizzatori primari e secondari cambiano: i legamenti collaterali ed i menischi diventano gli stabilizzatori primari contro la sublussazione tibiale craniale. Inoltre, i poli caudali dei menischi fungono da cuneo, prevenendo un'ulteriore sublussazione tibiale. Questo effetto cuneo viene eliminato dopo TPLO. A causa dell'orientamento leggermente caudale del legamento collaterale laterale, esso è meno teso del legamento collaterale mediale quando contrasta la spinta tibiale craniale, consentendo al condilo tibiale laterale di traslare più cranialmente rispetto al condilo tibiale mediale. Questo provoca, nella fase di estensione del ginocchio, una rotazione tibiale interna.

Con la TPLO il piatto tibiale presenta una pendenza ridotta e l'articolazione del ginocchio durante il carico diventa relativamente più flessa. Con il ginocchio in flessione, il legamento collaterale laterale diventa lasso poiché i suoi attacchi femorale e tibiale si avvicinano, mentre il legamento collaterale mediale rimane teso. Ciò consente lo spostamento caudale del condilo femorale laterale sul condilo tibiale

laterale, con conseguente rotazione tibiale. Questo può suggerire che l'aumento dell'angolo di flessione femoro-tibiale creato dalla TPLO potrebbe essere un fattore importante che contribuisce allo sviluppo del PSP. Anche le deformità angolari e rotazionali degli arti sono state segnalate come fattori che contribuiscono alla PSP. Inoltre, è stato visto che anche la meniscectomia può aumentare il rischio dello sviluppo del PSP, ma non rappresenta la causa primaria, come spesso si considerava. Anche se la gestione tramite metodo conservativo è di comune utilizzo per risolvere il PSP nei cani colpiti, potrebbe essere necessario prendere in considerazione un intervento chirurgico per i casi che non sono andati a buon fine mediante l'utilizzo della terapia conservativa (Knight R. C., et al., 2017).

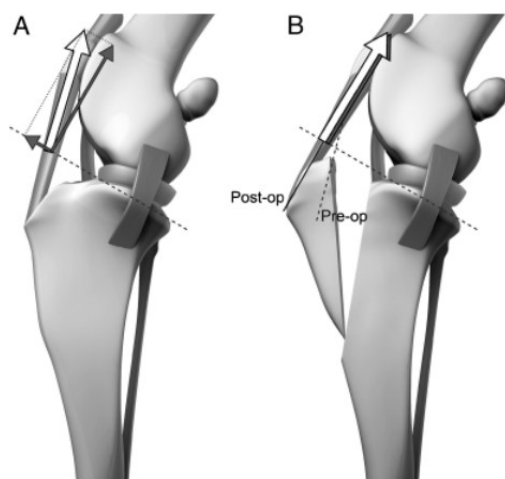
Per concludere, i vantaggi di questa tecnica chirurgica comprendono la precisione geometrica ed il mantenimento nella posizione originale dei componenti distali del meccanismo estensorio della gamba, del tendine patellare e della cresta tibiale, senza modificare la biomeccanica dell'articolazione patello-femorale. Gli svantaggi sono rappresentati dal fatto che la TPLO è una tecnica chirurgica di non semplice realizzazione poiché presenta molte complicanze che rappresentano potenziali cause di importanti alterazioni della biomeccanica articolare (Martini F. M., et al., 2009).

## **3.2 Avanzamento della tuberosità tibiale (TTA)**

### **3.2.1 Generalità**

L'avanzamento della tuberosità tibiale (Tibial Tuberosity Advancement) prevede un'osteotomia lineare della cresta tibiale con spostamento craniale della stessa e fissazione con placca dedicata. Questa è una tecnica più recente e fu messa a punto dal Prof. Pierre Montavon e dal Dott. Slobodan Tepic presso l'Università di Zurigo nel 2002.

I modelli teorici articolari, illustrati da Montavon, propongono che la componente vettoriale, espressione della forza totale impressa sull'articolazione, sia pressoché parallela al tendine patellare. Di conseguenza, l'ottenimento della perpendicolarità tra il tendine tibio-rotuleo ed il piatto tibiale determina la neutralizzazione delle forze di taglio causa di scivolamento craniale tibiale nella fase d'appoggio del passo. Durante questa fase, quando l'articolazione è flessa di circa  $135^\circ$ , l'angolo compreso tra il tendine tibio-rotuleo ed il piatto tibiale (PTA) è approssimativamente pari a  $105^\circ$ . Modificando questo angolo in modo tale da ottenere un'ampiezza di  $90^\circ$ , l'instabilità articolare dovrebbe essere annullata (Figura 17) (Martini F. M., et al., 2009).



*Figura 17: Rappresentazione schematica delle forze tibio-femorali nell'articolazione del ginocchio secondo Tepic, prima (A) e dopo (B) TTA. La forza risultante di compressione (freccia bianca) è parallela al tendine rotuleo. Utilizzando la pendenza del piatto tibiale come linea di base, la forza risultante può essere scomposta nelle sue due componenti vettoriali (piccole frecce nere): una perpendicolare e l'altra parallela al piatto tibiale. Quest'ultima rappresenta la forza di taglio tibio-femorale che è la spinta tibiale craniale (CrTT). Facendo avanzare la tuberosità tibiale per raggiungere la perpendicolarità con il tendine rotuleo (PTA di 90°), la forza risultante non si scompone nelle sue componenti vettoriali e si annulla così la CrTT (Talaat M. B., et al., 2006).*

La stabilità della tuberosità craniale viene raggiunta, nella TTA, con una placca ed una gabbia o 'cage' progettate su misura, come descritto in origine, o solo una gabbia.

Le proiezioni radiografiche cranio-caudali e medio-laterali standard sono ottenute prima dell'intervento per valutare l'articolazione del ginocchio interessata e prendere le corrette misurazioni. La quantità di avanzamento della tuberosità è determinata in modo tale che l'angolo bersaglio del tendine rotuleo sia uguale a 90°. Le attuali raccomandazioni basano

la pianificazione preoperatoria sulla 'chirurgia virtuale', come i metodi software digitali o metodi manuali.

La tecnica chirurgica della TTA classica, con l'utilizzo di gabbia e placca, viene eseguita con il cane in decubito dorsale. L'esposizione della faccia cranio-mediale della tuberosità tibiale viene eseguita mediante un'incisione che viene fatta pochi millimetri caudale e parallela alla cresta tibiale e si estende distalmente fino alla diafisi tibiale. Vengono praticati dei fori che corrispondono alla dimensione della placca pianificata in pre-chirurgia. L'osteotomia è orientata da un punto immediatamente craniale al menisco mediale all'estensione distale della cresta tibiale. Una forcina progettata per adattarsi alla placca delle dimensioni corrispondenti è bloccata nella placca. La combinazione placca/forcina viene, quindi, fissata nella tuberosità tibiale e così si completa l'osteotomia. La tuberosità tibiale con la placca attaccata viene spostata cranialmente usando un distanziatore che corrisponde alla larghezza della gabbia selezionata: la gabbia viene fissata nel sito prossimale dell'osteotomia, in particolare il margine caudale della gabbia viene fissato sulla tibia, dopo di che la placca viene fissata distalmente alla tibia con viti di dimensioni appropriate. Infine, la vite del margine craniale della gabbia è fissata nella tuberosità tibiale ed un innesto osseo viene inserito nell'osteotomia. I radiogrammi postoperatori vengono eseguiti per valutare l'osteotomia e la posizione della placca e della gabbia (Figura 18).





*Figura 18: Immagine radiografica postoperatoria dell'avanzamento della tuberosità tibiale (Matchwick A. I. M., et al., 2021).*

Negli anni sono state messe a punto delle tecniche modificate rispetto alla classica tecnica chirurgica della TTA.

Le modifiche della tecnica hanno eliminato la placca, facendo affidamento invece solo sulla gabbia, per fornire sia avanzamento che stabilità. Esse comprendono la Modified Maquet Technique (MMT) ed una sua variante, la Modified Maquet Procedure (MMP), la TTA porosa, la TTA Rapid e la TTA-2. Queste procedure chirurgiche hanno portato allo sviluppo di modelli diversi di placche e di tecniche alternative per orientare l'osteotomia tibiale a distanza fissa lungo la diafisi tibiale craniale (Johnston., et al., 2020).

### **3.2.1.1 Tecnica Maquet Modificata (MMT) e Procedura Maquet Modificata (MMP)**

La prima variante della TTA è la tecnica Maquet modificata (MMT) che è stata teorizzata dal Dott. Maquet, chirurgo ortopedico umano.

È stata sviluppata seguendo il concetto di riparazione biologica secondo cui viene mantenuto l'equilibrio tra la massima conservazione dei tessuti molli e della vascolarizzazione ed il minimo utilizzo di impianti per la guarigione delle fratture (Etchepareborde S., et al., 2011).

Quello che differisce, infatti, è il sistema di fissazione della cresta, senza impiego della placca descritta da Montavon e colleghi nel 2002. La MMT prevede la non completa osteotomia della cresta tibiale lasciando intatta la sua porzione terminale. Con il paziente posto in decubito laterale e l'arto affetto posto a contatto con il tavolo, si esegue un approccio mediale alla tibia con un'incisione cranio-mediale della cute. I tessuti sottocutanei non vengono dissezionati. Un'incisione longitudinale viene effettuata sull'osso, caudale di circa 10 mm, lungo la cresta tibiale. L'osteotomia perpendicolare al piano sagittale della tibia è eseguita prendendo come reperi anatomici, prossimalmente, il tubercolo di Gerdy e, distalmente un punto precedentemente identificato.

L'avanzamento della cresta tibiale è ottenuto utilizzando un apposito distanziatore della misura della gabbia in titanio scelta. La gabbia viene inserita nel gap dell'osteotomia e fissata con due viti da corticale. In alcuni casi, quando l'osteotomia cede distalmente, a discrezione del chirurgo, può essere utilizzato un cerchiaggio ad otto che, agendo da banda di tensione, garantisce maggiore stabilità all'impianto (Figura 19) (Ness M. G., 2016).



*Figura 19: Immagine radiografica postoperatoria della Tecnica Maquet Modificata senza utilizzo del filo di cerchiaggio (Etchepareborde S., et al., 2011).*

La procedura Maquet modificata (MMP), innovativa tecnica proposta da Ness nel 2014, rappresenta un'evoluzione della MMT, dove il cage, ovvero la gabbia, applicato come distanziatore, è sostituito dall' OrthoFoam™ MMP wedge, un particolare cuneo in schiuma di titanio appositamente realizzato, fissato in posizione da un perno e da un filo di cerchiaggio o da una graffa per mantenere l'avanzamento della tuberosità (Della Valle G., et al., 2021).

La deposizione di tessuto osseo neoformato che avviene attraverso questo particolare cuneo in schiuma di titanio consente una fissazione dell'impianto di tipo "biologico" che conferisce stabilità ed assicura la tenuta dell'impianto a lungo termine (Figura 20).



*Figura 20: Immagine radiografica postoperatoria della Procedura Maquet Modificata (Della Valle G., et al., 2021).*

### **3.2.1.2 TTA Porosa**

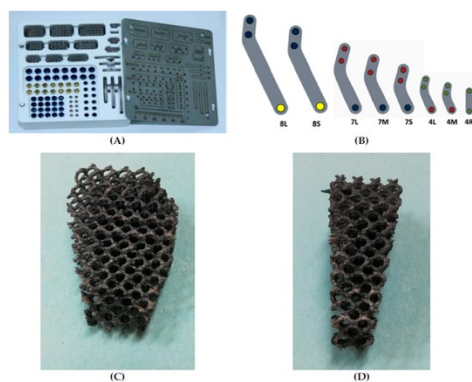
La TTA Porosa è un'ulteriore variante della TTA classica ed è stata sviluppata utilizzando cunei porosi e placche in titanio (Figura 22). L'intervento chirurgico viene eseguito con il paziente in decubito laterale con l'arto colpito appoggiato al tavolo. L'incisione è effettuata nella regione mediale della tibia prossimale e si estende da un cm prossimalmente all'inserzione del tendine rotuleo ad un cm distalmente alla cresta tibiale. Dopo di che viene rimosso il tessuto sottocutaneo per consentire l'esposizione della terza parte prossimale dell'osso.

Quindi, un'osteotomia distalmente incompleta viene eseguita con una sega oscillante posta perpendicolarmente al piano sagittale della tibia attraverso una guida, precedentemente posizionata, costituita da una scanalatura per introdurre la lama della sega ed un foro che deve corrispondere al foro di Maquet (foro nella porzione più distale dell'osteotomia). L'osteotomia è dritta, appena dietro al legamento tibio-rotuleo. È necessario rimuovere la guida per completare l'osteotomia fino al foro di Maquet.

Una volta terminata l'osteotomia, si procede con l'avanzamento della cresta tibiale in maniera molto progressiva, sfruttando le caratteristiche viscoelastiche dell'osso, per prevenire possibili fratture della cresta distale. Per tale procedura viene utilizzato un distrattore per mantenere il grado di avanzamento ottenuto, così da poter introdurre la zeppa porosa che deve essere a contatto con ambedue le corticali, mediale e laterale, della cresta. Una volta collocata si rimuove il distrattore. Infine, si posiziona la placca selezionata in base alla dimensione del cane e alla conformazione della cresta e si fissa l'osteotomia. La chiusura della ferita è eseguita come di routine (Figura 21).



*Figura 21: Immagine radiografica postoperatoria della TTA Porosa (Trisciuzzi R., et al., 2019).*



*Figura 22: Kit commerciale costituito da gabbie in schiuma di titanio, placche e viti di dimensioni diverse per l'esecuzione della TTA Porosa (Trisciuzzi R., et al., 2019).*

### 3.2.1.3 TTA Rapid

La TTA Rapid rappresenta una variante semplificata dell'originale avanzamento della tuberosità tibiale e combina le caratteristiche migliori di altre tecniche, come la TTO (triplice osteotomia tibiale), la MMT (Modified Maquet Technique) e la MMP (Modified Maquet Procedure). Prevede un approccio relativamente non invasivo dei tessuti molli della tibia cranio-mediale. Il cane viene posto in decubito dorsale con l'arto colpito sospeso ad un supporto. Anche per la TTA-Rapid viene eseguita un'incisione cutanea mediale dalla regione pararotulea a 1 cm distalmente alla cresta tibiale. L'avanzamento della tuberosità tibiale viene mantenuto da una gabbia per TTA-rapid che viene fissata all'osso con 4 o 6 viti corticali in titanio (a seconda della dimensione della gabbia). La direzione delle viti segue un andamento prossimomediale-distoaterale (Figura 23).

Il titanio è estremamente resistente, leggero ed è il materiale implantare più biocompatibile attualmente disponibile. La gabbia in titanio ha pori con una struttura "a nido d'ape" (Figura 24), che consente la crescita interna dell'osso tibiale nella gabbia, massimizzando la forza della tuberosità tibiale. Ciò riduce al minimo il rischio di allentamento, rigetto e infezione dell'impianto. Un innesto osseo di idrossiapatite viene posizionato nei pori della gabbia e nel sito dell'osteotomia per massimizzare la velocità di guarigione durante la TTA-rapid.



Figura 23: Immagine radiografica postoperatoria della TTA Rapid (Dyall B., et al., 2017).



Figura 24: Gabbie per TTA Rapid di dimensioni diverse con indicazione d'utilizzo specifica della taglia del paziente (Samoy Y., et al., 2015).

### 3.2.1.4 TTA-2

La TTA-2 è la procedura più recente tra le varianti dell'avanzamento della tuberosità tibiale. Utilizza una pianificazione avanzata e fornisce gli stessi risultati della tecnica chirurgica classica con meno traumi ed utilizzo di meno impianti. Risulta essere meno invasiva della TTA in quanto richiede fori più piccoli e di minor quantità all'interno della tibia. Viene considerata una tecnica semplificata grazie ad un minor numero di parti dell'impianto e, in particolare, la graffatura della gabbia elimina la necessità di numerose viti (Figura 26).

L'osteotomia è incompleta e viene eseguita con una nuova guida per sega incernierata e la gabbia per TTA-2 è progettata per trasferire le forze di taglio e di compressione. La tecnica chirurgica preserva il periostio sull'aspetto mediale della tuberosità tibiale, elimina gli stress causati dalla placca, dalla forcilla e dalle viti e riduce i tempi dell'intervento (Figura 25).



Figura 25: Rappresentazione della TTA-2 (<https://www.kyon.ch>, 2012).



Figura 26: Gabbia per TTA-2 (<https://www.kyon.ch>, 2012).



## **3.2.2 Complicanze**

### **3.2.2.1 Complicanze TTA classica**

Il tasso di complicanze riportato per la TTA va dall'11% al 59% (Matchwick, A. I. M., et al., 2021). Precedenti studi clinici hanno concluso che questo intervallo è simile a quello riportato per altre procedure di osteotomia. Tali complicanze possono essere ulteriormente suddivise in complicanze maggiori (dal 2,3% al 26,1%) e minori (dal 7,6% al 37%) (Johnston., et al., 2020).

Le complicanze maggiori sono state definite come qualsiasi frattura, fallimento dell'impianto o complicanza in cui è stato eseguito un secondo intervento chirurgico ed in cui è stata rilevata zoppia per la quale non è stata determinata la causa sottostante. Le complicanze minori includono la tendinite rotulea, il sieroma e l'infezione-infiemmazione incisionale (Wolf R. E., et al., 2012).

Il peso corporeo elevato e l'angolo del tendine rotuleo (PTA) preoperatorio sono stati identificati come fattori di rischio associati ad un aumento di complicanze a seguito della TTA.

In particolare, per quanto riguarda l'aumento del peso, gli impianti sono sovraccaricati in un cane obeso rispetto ad un cane di peso normale; in condizione di forte stress, quindi, gli impianti più piccoli possono essere più deboli, predisponendo al cedimento.

Inoltre, un aumento del PTA preoperatorio richiede un ulteriore avanzamento della tuberosità tibiale tramite un impianto con gabbia più grande. In questo modo la tuberosità tibiale viene messa a dura prova, in particolare l'impianto della forcina. Le forze maggiori possono quindi portare a frattura

dell'osso o fallimento degli impianti e all'aumento di complicanze.

Altre tipologie di complicanze, più comunemente riportate, comprendono lacerazioni meniscali postliminari e fratture della tuberosità tibiale (con o senza cedimento dell'impianto), infezione, lussazione della rotula mediale e fratture della tibia. È stato proposto che molti di questi problemi fossero correlati ad errori tecnici della tecnica chirurgica, quelli spesso identificati comprendevano un frammento di osteotomia troppo piccolo, un'osteotomia tagliata troppo in basso che può provocare un'aumentata sollecitazione che causa, a sua volta, una frattura tibiale, disallineamento della tuberosità sul piano frontale medialmente (più comune) o lateralmente che predispone ad una lussazione di rotula.

Altre questioni possono comprendere il mal posizionamento della gabbia: in particolare, è stato riportato che un posizionamento più distale della gabbia predisponga a fratture della cresta tibiale (Matchwick, A. I. M., et al., 2021), posizionamento della vite intrarticolare, danno al tendine del muscolo estensore lungo delle dita per posizionamento/angolazione impropria dell'osteotomia ed unione ritardata o non unione dello spazio.

Sebbene l'eliminazione totale dei problemi chirurgici tecnici non sia realistica, si può ragionevolmente supporre che il numero di questi errori diminuisca con l'esperienza dell'operatore; così è stato evidenziato dalle più recenti relazioni cliniche.

Il menisco rimane una questione problematica: si pone il quesito se i problemi relativi ad esso siano il risultato di una lacerazione postliminare di un menisco intatto o semplicemente di una lacerazione latente. Nel primo caso

potrebbe essere indicato un rilasciamento meniscale, mentre il secondo suppone che sia necessaria una valutazione congiunta ed approfondita. È stato suggerito che un rilascio meniscale potrebbe essere appropriato nella tecnica della TTA. I tassi di lesioni meniscali postliminari dopo TTA riportati vanno dall'1,9% all'8,6% e risulta essere la complicanza più comunemente segnalata che richiede un intervento chirurgico aggiuntivo.

In particolare, un avanzamento inadeguato della cresta tibiale risulta in una spinta tibiale craniale persistente dopo TTA che può predisporre a lesioni meniscali postliminari.

Nella TPLO c'è una minor incidenza di lesioni meniscali postliminari rispetto alla TTA, anche se, negli ultimi anni, la TTA sembra funzionare meglio ed eseguirla senza l'utilizzo della forcina diminuisce il tasso di complicanze (Matchwick, A. I. M., et al., 2021).

I vantaggi di questa procedura chirurgica includono una minor invasività chirurgica rispetto alla TPLO, una supposta minor difficoltà tecnica, la contemporanea risoluzione di eventuale lussazione della rotula, la riduzione dei tempi chirurgici e la diminuzione delle complicanze post-operatorie (Martini F. M., et al., 2009).

Il tasso di complicanze delle tecniche chirurgiche che hanno modificato la TTA classica è pressoché simile. Le modifiche dell'originale tecnica chirurgica hanno l'intento di ridurre il numero di impianti richiesti, diminuire il tasso di complicanze maggiori e garantire una minore progressione dell'osteoartrite.

### 3.2.2.2 Complicanze MMT e MMP

Come noto, nella Modified Maquet Tecnichque (MMT) la tuberosità tibiale è avanzata in modo simile a come avviene nella TTA, ma il mezzo con cui la cresta tibiale è stabilizzata differisce. Questa tecnica è stata sviluppata seguendo il concetto di riparazione biologica, infatti, preservare l'integrità dei tessuti molli e della vascolarizzazione, assume un ruolo importante nel mantenimento della stabilità della cresta tibiale in caso di frattura.

La frattura della cresta tibiale è una delle complicanze che può avvenire durante la MMT e, nei casi di instabilità dell'impianto, può essere utilizzato un cerchiaggio ad otto che agendo da banda di tensione garantisce la stabilità della cresta tibiale (Figura 27) (Etchepareborde S., et al., 2011).



*Figura 27: Immagine radiografica postoperatoria della Tecnica Maquet Modificata con utilizzo del filo di cerchiaggio (Etchepareborde S., et al., 2011).*

Per quanto riguarda la Modified Maquet Procedure (MMP), essa implica il posizionamento di un cuneo in schiuma di titanio per mantenere l'avanzamento della tuberosità tibiale.

In un recente studio è stato riportato che, su 35 cani presi in esame, il 20% ha riportato un tasso di complicanze maggiori. Tra queste erano incluse lesioni meniscali, rimozione dell'impianto successive alla formazione di sieroma, rottura o allentamento dell'impianto, frattura tibiale e complicanze relative alla ferita chirurgica. I tassi di complicanze hanno confermato quelli di articoli precedenti e sono risultati simili per tutte le varianti della TTA. Attraverso l'analisi dell'andatura del paziente con l'utilizzo della piastra di forza, si evince che la MMP risulta essere un metodo efficace che fornisce stabilità dinamica alle articolazioni del ginocchio colpite dall'insufficienza del legamento crociato craniale (Della Valle G., et al., 2021). Inoltre, l'impianto in titanio mantiene l'avanzamento della tuberosità tibiale in modo semplice ed efficace; il titanio, infatti, è uno dei metalli che presenta le migliori caratteristiche di osteoconduttività e biocompatibilità ed i pori della gabbia utilizzata forniscono libero accesso ai fluidi tissutali e ai vasi in modo da ridurre il rischio di infezione (Ness M. G., 2016).

Mentre il tasso di complicanze della MMP si aggira attorno al 23%, quello della TPLO raggiunge circa il 38%. Nonostante la MMP abbia un tasso di complicanze inferiore, molti studi hanno supportato la TPLO nel trattamento della malattia del legamento crociato craniale riportando ottimi esiti clinici.

In particolare, in uno studio recente sono stati paragonati i risultati ottenuti dopo l'esecuzione della TPLO e della MMP e la complicanza maggiormente riportata è stata la lesione del menisco mediale. I risultati ottenuti dopo entrambe le chirurgie rimanevano nei range riportati e nessuna delle due tecniche risultava essere superiore all'altra nel miglioramento della zoppia e della lesione meniscale.

Infatti, le lesioni meniscali postoperatorie rimangono un problema tutt'oggi irrisolto, il grado di lesione è influenzato

dall'aspetto del menisco al momento della presentazione chirurgica. Il rischio di lesioni meniscali primarie non diagnosticate o resti di tessuto meniscale danneggiato potrebbero essere la ragione della zoppia persistente e delle complicanze meniscali dopo questi interventi chirurgici.

Si può concludere che, nonostante non siano state dimostrate differenze significative tra le due tecniche chirurgiche, la MMP rappresenta un'alternativa, rispetto all'affermata TPLO, nelle razze canine tra i 20 ed i 35 Kg (Knebel J., et al., 2020).

### **3.2.2.3 Complicanze TTA Porosa**

Alcune varianti della TTA prevedono la possibilità di sostituire la gabbia originale con altri impianti di diverso materiale per migliorare la biocompatibilità e l'osteointegrazione.

Come risultato di questi cambiamenti, la tecnica della TTA Porosa è stata sviluppata con cunei in titanio poroso e placche in titanio. La permeabilità di questo materiale permette il trasporto dei nutrienti e dei fattori di crescita attraverso l'impianto poroso e la sua porosità fa sì che i vasi sanguigni favoriscano la crescita di nuovo tessuto osseo.

L'impianto poroso in titanio può essere considerato una valida alternativa ad altri dispositivi utilizzati nella TTA per le sue capacità osteoconduttive e osteointegrative. Inoltre, esistono impianti di molte dimensioni che permettono di adattarsi alle dimensioni del paziente (Figura 22) (Trisciuzzi R., et al., 2019).

In generale, le complicanze maggiori più comuni delle varianti della TTA sono le fratture longitudinali distali della tuberosità tibiale con o senza avulsione, il fallimento dell'impianto, il sieroma, la deiscenza e l'infezione della ferita chirurgica. Negli ultimi 7 anni la TTA Porosa è progredita e ora offre una

modifica della placca, cioè una flangia posizionata cranialmente (Figure 28 e 29) che mira a ridurre il rischio di avulsione della tuberosità tibiale.

In particolare, la flangia può agire dando stabilità alla tuberosità tibiale contro il peso corporeo dell'animale e contro la forza del legamento rotuleo. Queste due forze potrebbero, in alcuni casi, aumentare il rischio di frattura longitudinale distale della tuberosità tibiale. Di conseguenza l'utilizzo della flangia ha avuto un impatto positivo sull'incidenza di complicanze maggiori (Bernardi-Villavicencio C., et al., 2020).



*Figura 28: Immagine radiografica postoperatoria della TTA Porosa con l'utilizzo della placca con flangia (Bernardi-Villavicencio C., et al., 2020).*



*Figura 29: Dimensioni diverse di placche con rispettiva flangia craniale (Bernardi-Villavicencio C., et al., 2020).*

L'incidenza della frattura della tuberosità tibiale risulta essere del 13,3% durante la TTA Porosa.

Nonostante la sua eziologia non sia nota, molti studi hanno suggerito che esistano dei fattori di rischio per questa complicanza; essi sono rappresentati dallo spessore ridotto della tuberosità tibiale osteotomizzata, dal posizionamento errato della placca, dal contatto ridotto dell'osteotomia, dall'ampio angolo del legamento rotuleo preoperatorio e dalle ferite iatrogene della regione durante la dissezione chirurgica che contribuiscono allo sviluppo di questa complicanza (Staffieri F., et al., 2020).

Infine, la tecnica della TTA Porosa propone dei vantaggi rispetto alla tecnica della TTA originale: per esempio offre un maggiore supporto alla tuberosità attraverso l'utilizzo del cuneo, i tempi chirurgici in cui viene eseguita sono ridotti ed anche l'esecuzione della tecnica in sé risulta semplificata (Knebel J., et al., 2019).

#### **3.2.2.4 Complicanze TTA Rapid**

La TTA Rapid è un'ulteriore tecnica semplificata, definita per questo rapida, della TTA originale e risulta essere un trattamento non invasivo per la rottura del legamento crociato craniale nei cani (Mustafa A., et al., 2017). Rispetto all'originale tecnica, viene utilizzato un solo impianto e la tuberosità tibiale craniale viene avanzata e fissata con una gabbia porosa multivite in titanio che consente la crescita interna di tessuto osseo (Figura 24).

Il kit per TTA Rapid fornisce gabbie che vanno da un avanzamento dai 3 ai 15 mm. Inoltre, è presente una gabbia TTA Rapid "piccola" recentemente sviluppata per pazienti di peso inferiore a 4 kg (<https://leibinger.vet.>, 2014). L'uso di questi impianti è un'alternativa per il trattamento della malattia del legamento crociato craniale nei cani di piccola taglia, con



tassi di complicanze paragonabili a quelli registrati in razze più grandi e ad altre tecniche e con un alto grado di soddisfazione del proprietario (Dyall B., et al., 2017). La TTA convenzionale nelle razze di cani di piccola taglia può essere più impegnativa a causa delle ridotte dimensioni della cresta tibiale e della scarsa disponibilità degli impianti disponibili.

### **3.2.2.5 Complicanze TTA-2**

La tecnica della TTA-2, come descritto in precedenza, è una variazione semplificata della TTA che consiste in un'osteotomia Maquet-like, fissata con una nuova gabbia che elimina lo stress creato dalla piastra, dalla forcetta e dalle viti, rendendo il fissaggio costituito da piastra e forcetta non necessario.

La TTA-2 garantisce un rapido recupero di circa 2 settimane nella maggior parte dei casi.

Ha una prognosi favorevole per il ritorno alla piena attività fisica e per la riduzione della zoppia. Inoltre, un altro vantaggio è rappresentato dalla riduzione della progressione dell'artrite nel lungo periodo. In più, risulta essere meno invasiva della TTA, rispetto alla quale pare avere un minor tasso di complicanze, e della TPLO.

In particolare, l'instabilità rotazionale del ginocchio (Pivot shift) rilevata dopo TPLO (Gatineau M., et al., 2011), non sembra essere un problema con la procedura di TTA o TTA-2 perché, con l'utilizzo di queste tecniche, si ha un maggior controllo dell'intra-rotazione tibiale da parte del muscolo quadricipite che tira il tendine rotuleo mantenendo in posizione la tibia. E' importante valutare la presenza di Pivot shift perché, dopo la chirurgia, potrebbe portare alla progressione di artrite con l'avanzamento dell'età del paziente.

### **3.3 Ostectomia craniale a cuneo chiuso (CCWO)**

#### **3.3.1 Generalità**

L'ostectomia craniale a cuneo chiuso (Closing Cranial Wedge Ostectomy) è stata la prima procedura osteotomica descritta per modificare le forze che agiscono sul ginocchio e sul legamento crociato craniale. Introdotta da Slocum e la moglie Devine nel 1984, inizialmente era stata utilizzata con l'intenzione di eliminare la spinta tibiale craniale riducendo l'angolo del piatto tibiale (TPA).

Questa tecnica chirurgica comporta il livellamento del TPA rimuovendo un cuneo di osso con una base craniale della tibia prossimale; tale approccio è stato successivamente superato con l'avvento della TPLO che non alterava la lunghezza della tibia e l'osteotomia non attraversava l'intera struttura ossea.

Tuttavia, la CCWO è una tecnica chirurgica che ancora oggi viene scelta da alcuni chirurghi in particolari situazioni dove la TPLO potrebbe aumentare il rischio di complicanze. In particolare, per i cani con un eccessivo angolo del piatto tibiale (eTPA, definito così quando supera i 34°), tenendo conto delle eventuali deformità associate, come varismo, valgismo e deformità rotazionali.

In alcuni casi, questa condizione deriva da una deformità tibiale traumatica o legata allo sviluppo. Più comunemente, un TPA eccessivo si trova in cani di piccola o media taglia senza evidenza di deformità tibiale, come i West Highland White Terriers. Un altro gruppo che può sviluppare un eccessivo TPA è rappresentato dai cani di razza grande castrati prima dei 6 mesi di età (Schlag A. N., et al., 2020).

Inoltre, la CCWO, grazie alla localizzazione dell'osteotomia, può essere indicata come singola procedura in cani con fisi di accrescimento ancora aperte nelle quali non è indicato

eeguire altri tipi di osteotomie correttive (Talaat M. B., et al., 2006).

Si presumeva che il TPA postoperatorio della CCWO fosse simile a quello proposto per la TPLO (di 6° circa), e quindi che la rimozione di un cuneo osseo, di 6° inferiore alla pendenza tibiale misurata, sarebbe risultato nel TPA appropriato. Tuttavia, poiché il TPA è calcolato dall'asse funzionale tibiale (che origina dalle eminenze intercondilari fino al centro dell'astragalo) e, dopo la CCWO, le porzioni intercondilari si spostano cranialmente rispetto alla loro posizione originale, anche l'asse funzionale si sposta nella stessa direzione e così non si ottiene la correzione desiderata.

Per ridurre al minimo questo spostamento craniale (e quindi la dimensione del cuneo da rimuovere), l'osteotomia dovrebbe essere posizionata il più prossimale possibile pur consentendo una lunghezza sufficiente per l'impiego di tre viti. La dimensione appropriata del cuneo dipenderà dall'entità del TPA, dal livello dell'osteotomia e se le cortecce craniali della tibia sono allineate. Se l'osteotomia è prossimale e le corticali craniali sono allineate, le dimensioni dei cunei sono generalmente di 2–3° in meno rispetto al TPA e questo vale per TPA da 25° a 32°. Per un TPA maggiore di 35° la dimensione del cuneo dovrebbe essere la stessa del TPA.

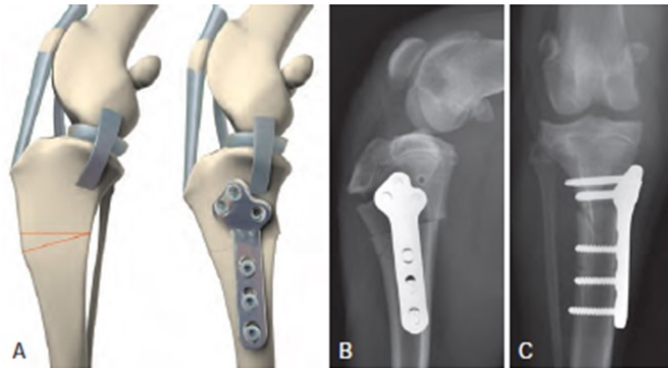
L'arto e le radiografie dovrebbero essere valutati per determinare se sono presenti segni di varismo/valgismo o di torsione tibiale. Il varo e il valgo possono essere corretti regolando il piano di una delle due osteotomie rispetto all'altra. La torsione può essere corretta mediante rotazione dei frammenti al livello dell'osteotomia.

Quando si pianificano correzioni di TPA di grandi dimensioni, può essere utile eseguire le misurazioni sulle radiografie o su software specifici.

Per quanto riguarda l'intervento chirurgico, viene esposto l'aspetto mediale della tibia prossimale ed i muscoli vengono sollevati caudalmente e lateralmente al livello proposto dell'osteotomia. Viene segnata la linea prossimale della prima osteotomia approssimativamente parallela al piatto tibiale e 3-5 mm distale all'inserimento del tendine rotuleo. Questa linea dev'essere il più prossimale possibile, pur consentendo un adeguato fissaggio della placca al frammento tibiale prossimale; generalmente vengono utilizzate almeno 3 viti nel segmento prossimale.

Usando un goniometro, un set da cuneo, o una guida a cuneo personalizzata, la seconda linea di osteotomia è segnata, con l'apice diretto verso la corteccia caudale. In questo modo, assicurandosi che siano complanari, vengono eseguiti due tagli. Il cuneo viene rimosso ed i frammenti ridotti, con le cortecce craniali allineate. Se è stato rimosso un grosso cuneo, la fibula intatta può impedire la completa riduzione.

Un filo di Kirschner viene posizionato cranio-caudalmente attraverso l'osteotomia e può aiutare a mantenere la riduzione mentre la placca è sagomata e applicata. Quando viene applicata la placca è necessario utilizzare la compressione intraframmentaria per garantire che l'osteotomia craniale a cuneo chiuso sia ben ridotta. Alcuni chirurghi preferiscono applicare un filo di cerchiaggio a otto per comprimere le cortecce craniali e stabilizzare ulteriormente l'osteotomia. La correzione precisa dell'angolo del piatto tibiale sarà eseguita solo con un'attenta apposizione del sito di osteotomia. La fascia del sartorio è riavvicinata e la ferita è suturata a strati come d'abitudine (Figura 30).



*Figura 30: Illustrazione schematica (A) ed immagini radiografiche postoperatorie dell'osteotomia craniale a cuneo chiuso (Johnston S. A., Tobias K. M., 2020).*

La CCWO è considerata un approccio efficace per il livellamento del piatto tibiale. La progettazione della dimensione del cuneo deve tener conto dello spostamento dell'asse funzionale che si verifica alla chiusura dell'osteotomia. Questo spostamento può essere ridotto al minimo individuando l'osteotomia più prossimalmente e allineando i bordi del frammento craniale. Un'adeguata fissazione deve essere utilizzata per contrastare le forze che agiscono sull'osteotomia ed una "fascia di tensione" craniale è raccomandata per ridurre al minimo il rischio di mancata fissazione.

### **3.3.1.1 Modified CCWO (mCCWO)**

Negli ultimi anni è stata proposta una modifica della CCWO, definita appunto Modified CCWO (mCCWO), che utilizza una guida di allineamento progettata su misura per trattare le ginocchia con un TPA eccessivo. I vantaggi proposti di questa tecnica includono una guarigione più rapida a causa dell'aumento di tessuto osseo metafisario spugnoso, maggiore apposizione superficiale dell'osteotomia, diminuzione dello spostamento craniale dell'asse lungo tibiale

(TLA) ed una riduzione del TPA postoperatorio più coerente con l'escissione pianificata del cuneo rispetto alle osteotomie posizionate più distalmente.

Questa tecnica merita una forte considerazione come opzione per il trattamento della rottura del legamento crociato craniale nei cani con eTPA perché può portare ad una valutazione del proprietario soddisfacente nel medio e lungo termine (Terrerros A. & Daye R. M., 2020).



*Figura 31: Immagine radiografica postoperatoria della m-CCWO (Terrerros A. & Daye R. M., 2020).*

### **3.3.1.2 CCWO/TPLO**

La CCWO può essere combinata con la TPLO per trattare un angolo del piatto tibiale eccessivo, quando viene utilizzata un'osteotomia con un raggio di 24 mm e/o quando è richiesta la rotazione oltre l'inserzione del legamento rotuleo a livello della tuberosità tibiale. Inoltre, questa procedura può essere combinata contemporaneamente con un'osteotomia a cuneo chiuso mediale o laterale per trattare il varismo o valgismo tibiale prossimale e/o la torsione tibiale. Utilizzando tale procedura, l'entità dell'osteotomia della TPLO e dell'osteotomia della CCWO possono essere regolate per correggere il TPA e la deformità tibiale prossimale, secondo necessità, in base all'anatomia del singolo paziente.

È necessaria una pianificazione preoperatoria precisa per l'esecuzione accurata di questa procedura. I fattori da considerare nel piano preoperatorio comprendono una corretta pianificazione della TPLO e la posizione della CCWO, la quantità di rotazione sicura, l'entità della correzione angolare e torsionale richiesta e l'effetto del cuneo chiuso sulla posizione rotulea.

Nei pazienti con un TPA varo, valgo o eccessivo, la CCWO può essere eseguita come CCWO biplanare, piuttosto che complanare, per correggere le deformità angolari nel piano frontale. Quando viene eseguita la CCWO biplanare per la correzione angolare viene eseguita angolando il ramo distale della CCWO anziché il ramo prossimale per impedire all'osteotomia ad angolo di entrare nell'osteotomia radiale della TPLO.

Nei casi con varismo o valgismo significativi senza un eccessivo TPA, la CCWO può essere un cuneo chiuso mediale complanare (correzione valga) o un cuneo chiuso laterale (correzione vara).

Per quanto riguarda la tecnica chirurgica, una volta che l'osteotomia radiale per la TPLO viene eseguita parzialmente attraverso la tibia, il ramo prossimale dell'osteotomia craniale a cuneo chiuso viene segnato sulla corteccia mediale in modo da intersecare l'osteotomia radiale della TPLO sulla corteccia caudale della tibia. Quando anche la CCWO è completata e ridotta, il cuneo osseo può essere posizionato come innesto osseo corticospongioso autogeno nei siti di osteotomia, in particolare nel sito della CCWO, perché è generalmente l'area che guarisce più lentamente.

La correzione torsionale della CCWO e/o la traslazione laterale del segmento della tuberosità tibiale possono essere

eseguite prima dell'applicazione del fissaggio, facilitando la correzione dell'allineamento degli angoli in casi complessi, come grave torsione tibiale o lussazione rotulea mediale con rottura del legamento crociato craniale, in cui è richiesta la trasposizione della tuberosità tibiale.

È necessario un fissaggio rigido per mitigare l'allentamento dell'impianto, l'insuccesso del fissaggio o la guarigione prolungata; in particolare, il fissaggio del segmento della tuberosità tibiale craniale, deve essere rigido perché la forza distrattiva del meccanismo del quadricipite è considerevole. Quindi, in tutti i casi, i fili di Kirschner posizionati per stabilizzare la TPLO e la CCWO durante la procedura vengono mantenuti come fissaggio permanente e vengono posizionati più fili di banda di tensione a otto per contrastare questa forza. Inoltre, nei pazienti con peso maggiore di 40 kg è possibile aggiungere un'altra placca ossea diritta da 3,5 mm alla placca standard per TPLO da 3,5 mm.



*Figura 32: Immagini radiografiche dell'Osteotomia craniale a cuneo chiuso/ Osteotomia di livellamento del piatto tibiale (Johnston S. A., Tobias K. M., 2020).*



### 3.3.2 Complicanze

La rimozione di un cuneo di grandi dimensioni della CCWO può accorciare la tibia e alterare l'articolazione femoro-rotulea, abbassando la rotula rispetto al femore e portando all'iperestensione dell'articolazione del ginocchio. Infatti, questa procedura può non essere indicata in cani con articolazione del ginocchio relativamente estesa. Si consiglia di evitare correzioni a cuneo eccessivamente grandi a causa dell'accorciamento della tibia e dell'angolazione della tuberosità tibiale rispetto alla diafisi tibiale. Inoltre, il tessuto molle periarticolare potrebbe non avere una conformità sufficiente per far fronte ad un cambiamento così significativo nell'allineamento articolare. In questi casi, può essere indicata una combinazione di CCWO con cuneo più piccolo ed una tecnica di stabilizzazione extracapsulare o una combinazione di TPLO e CCWO, quest'ultima preferita in letteratura.

Generalmente è stato riportato che i tassi di complicanze tra CCWO e TPLO non differiscono particolarmente, ma le complicanze a seguito di CCWO avevano maggiori probabilità di richiedere una revisione chirurgica.

Le complicanze riportate sono per lo più associate a mancato consolidamento osseo, fratture della tibia o al cedimento degli impianti.

Questa tecnica ha il vantaggio di non richiedere uno strumentario specifico ed inoltre è l'unica che, grazie alla posizione della sua osteotomia, può essere eseguita anche in soggetti in accrescimento.

## 4 DISCUSSIONE

L'analisi comparativa delle osteotomie correttive illustrate per il trattamento della rottura del legamento crociato craniale nel cane considera le complicanze specifiche di ogni tecnica e, soprattutto, i criteri di inclusione che rendono il paziente un buon candidato per un determinato intervento chirurgico. Inoltre, è il chirurgo che valuta, in base alla sua esperienza e al caso clinico, la scelta di eseguire una tecnica piuttosto di un'altra.

La rottura del legamento crociato craniale rappresenta, come noto, la principale causa di zoppia degli arti pelvici nella specie canina. Questo a causa del dolore cronico, localizzato nella regione del ginocchio, che ne consegue per lo sviluppo di un'osteoartrite ingravescente. È una situazione che non guarisce mai del tutto poiché è stato visto che un certo grado di osteoartrite permane nelle ginocchia di cani sottoposti alle osteotomie correttive.

L'analisi comparativa delle tre tecniche chirurgiche si basa molto sui segni di osteoartrite rilevati dopo il trattamento chirurgico nel follow-up a lungo termine e fornisce risultati interessanti che testimoniano quanto la rottura del LCCr possa alterare, in modo quasi permanente, l'articolazione del ginocchio. Al giorno d'oggi nessuna delle tre tecniche presentate risulta essere la migliore se si considera il grado di osteoartrite postoperatorio; in letteratura la tecnica chirurgica che stabilizza maggiormente l'articolazione del ginocchio risulta essere la TPLO.

In generale, tutte e tre le tecniche chirurgiche presentate sono associate ad una varietà di complicanze intraoperatorie e postoperatorie di gravità da lieve a molto grave. È importante tenerle in considerazione nella scelta dell'intervento perché

possono ritardare il processo di guarigione, comportare costi aggiuntivi per il proprietario dell'animale, peggiorare la condizione clinica del paziente e causare un maggiore dolore postoperatorio.

Alcune complicanze postoperatorie, come le infezioni del sito chirurgico (SSI), possono verificarsi dopo qualsiasi procedura chirurgica. Altre sono specifiche della stessa, come ad esempio, le fratture della tuberosità tibiale dopo TPLO e TTA, le fratture della fibula dopo TPLO, ecc.

Negli anni sono stati valutati diversi fattori di rischio per lo sviluppo di queste complicanze, come il peso corporeo, l'angolo del piatto tibiale preoperatorio (TPA), l'età del paziente, l'esperienza del chirurgo, la razza e così via. L'identificazione dei fattori di rischio per lo sviluppo di complicanze consente di eseguire interventi per migliorare la condizione clinica postoperatoria ed è importante per i veterinari ed i proprietari dei cani che devono affrontare una decisione sul trattamento della rottura del legamento crociato craniale.

Per quanto riguarda l'aumento del peso corporeo, esso causa un maggiore stress meccanico sugli impianti di tutte e tre le tecniche chirurgiche. È stato segnalato che l'utilizzo di piastre bloccanti, in soggetti in sovrappeso, riduca il rischio di complicanze nella TPLO. Al contrario, è possibile che la TTA non supporti questa situazione in quanto presenta dei limiti sulla dimensione dei suoi impianti.

In generale, sebbene il tessuto danneggiato guarisca più velocemente nei cani giovani rispetto ai cani anziani, i cani più giovani sono generalmente attivi. Pertanto, è importante controllare il livello di attività durante il periodo postoperatorio nei cani giovani e attivi (Engdahl K. S., et al., 2021). Questo

dimostra come il fattore età possa avere un ruolo nella gestione postoperatoria del paziente.

L'influenza del TPA nella malattia del legamento crociato craniale è stata ampiamente studiata; in particolare, l'angolo del piatto tibiale è direttamente correlato allo spostamento craniale della tibia nei pazienti affetti da malattia del LCCr e svolge un ruolo importante nella fisiopatologia della malattia. Dagli studi è emerso che la tecnica chirurgica della TTA non sembra dare buoni risultati in cani con TPA troppo elevati; per tale motivo le linee guida cliniche indicano l'utilizzo della TTA nei pazienti con TPA inferiori a 25° (Ferreira M. P., et al., 2016).

Per quanto riguarda l'effetto dell'esperienza del chirurgo, esso rappresenta un conflitto in letteratura; alcuni studi non riportano alcuna associazione tra esperienza del chirurgo e complicanze, mentre altri hanno riscontrato un rischio maggiore di complicanze negli interventi chirurgici eseguiti da chirurghi meno esperti. L'esperienza del chirurgo è stata associata ad altri fattori, come la maggiore durata dell'intervento chirurgico e dell'anestesia in caso di chirurghi meno esperti, che risultano essere ulteriori aggravanti, ad esempio, per lo sviluppo di infezioni del sito chirurgico.

Queste tecniche presentano curve di apprendimento sufficientemente alte per comprenderne la loro complessità. Necessitano di meticolosa attenzione nello studio e nell'esecuzione ed il chirurgo formato può valutare la situazione e pianificare l'intervento nel dettaglio considerando le variabili associate al paziente e alla tecnica chirurgica in sé.

Tra le osteotomie correttive la TPLO e la TTA risultano essere le tecniche chirurgiche più utilizzate per il trattamento della

rottura del legamento crociato craniale nel cane. L'esito clinico è favorevole sia con la TTA che con la TPLO. Le principali complicanze riportate a seguito di TPLO e TTA hanno incluso il fallimento dell'impianto, le varie fratture, l'infezione del sito chirurgico e le lesioni meniscali.

Una recente indagine su cani con peso maggiore di 50 Kg trattati con TPLO ha riportato uno sviluppo maggiore di complicanze. Inizialmente la procedura della TTA era limitata ad un avanzamento della tuberosità tibiale di massimo 12 mm e non era applicabile a cani di razza grande o gigante. Inoltre, un inadeguato avanzamento della tuberosità poteva aumentare il rischio di complicanze e influenzare l'esito clinico. Con l'avvento di nuovi impianti per TTA, questa tecnica chirurgica ha iniziato ad essere utilizzata anche in cani di taglia più grande. Nonostante questo, è stato dimostrato che il peso corporeo è un noto fattore di rischio per l'aumento di complicanze sia dopo TPLO che dopo TTA.

L'infezione del sito chirurgico è una complicanza postoperatoria che può avvenire dopo entrambi gli interventi e non è stata riconosciuta nessuna significativa differenza. Si è concluso che, i cani di peso > 50 kg, hanno un'elevata incidenza di sviluppare questo tipo di complicanze, in particolare le infezioni del sito chirurgico. Le raccomandazioni terapeutiche dovrebbero continuare a basarsi sui fattori individuali del paziente, sulle preferenze e l'esperienza del chirurgo. Inoltre, i chirurghi possono ridurre il rischio di complicanze maggiori nei cani > 50 Kg con una terapia antibiotica postoperatoria (Hans E. C., et al., 2017).

Anche la durata dell'intervento chirurgico prolungata, oltre all'aumento del peso corporeo, può essere considerata un fattore di rischio per lo sviluppo di infezione del sito chirurgico

(Livet V., et al., 2019). Una modifica della TTA, definita TTA Rapid, ha ridotto il numero degli impianti necessari e ha reso la procedura chirurgica meno complessa rispetto ad altre tecniche chirurgiche. La riduzione della durata dell'intervento non è utile solo per ridurre il tempo ed il costo dell'anestesia, ma anche per diminuire il tasso di infezione postoperatoria. Nonostante questa premessa, non sono state segnalate differenze significative tra i tassi di complicanze della TPLO e della TTA Rapid. Il gruppo sottoposto alla TTA Rapid ha però avuto un recupero più rapido, con meno dolore, rispetto al gruppo sottoposto alla TPLO. Questa differenza può essere spiegata dall'andamento della fase di guarigione iniziale, in cui il piatto tibiale rimane inalterato con TTA Rapid, mentre con TPLO è osteotomizzato. Inoltre, l'aumento dell'artrosi del ginocchio è risultato maggiore nel gruppo TPLO rispetto al gruppo TTA Rapid. Questa differenza potrebbe essere correlata a molteplici ragioni, biomeccaniche o cliniche. Infatti, l'avanzamento della tuberosità tibiale sembra diminuire la pressione intrarticolare, mentre la TPLO sembra aumentarla nei compartimenti mediale e laterale. Il grado di osteoartrosi non era significativamente diverso a 6 mesi dall'intervento chirurgico. Si conclude che la TPLO e la TTA Rapid sono entrambe associate ad alti tassi di successo a lungo termine nei cani trattati chirurgicamente per la malattia del legamento crociato craniale e, anche se il recupero sembra più veloce con la TTA Rapid, i risultati nel lungo periodo risultano essere migliori con la TPLO.

Come detto in precedenza, la rottura del legamento crociato craniale è la principale causa di osteoartrite (OA) nel ginocchio del cane che si manifesta con una zoppia dell'arto colpito. In particolare, la rottura del legamento provoca instabilità al ginocchio che, a lungo andare, sviluppa

un'osteoartrite progressiva. Questi cambiamenti portano ad una situazione di rigidità cronica, zoppia intermittente, mobilità ridotta, funzionalità limitata e dolore cronico. Con la continua instabilità, la risposta compensatoria che segue la rottura del LCCr fallisce, mettendo a rischio l'integrità e la funzionalità della cartilagine articolare. Sia la TPLO che la TTA sono in grado di ridurre la progressione dell'osteoartrite; dal 40% al 76% dei cani ha un'OA progressiva dopo TPLO e dal 55% al 67% ha un'OA progressiva dopo TTA.

Confrontando i risultati a lungo termine (dopo 3 anni) l'artrosi era progredita maggiormente dopo TTA ed i proprietari hanno notato meno dolore e problemi di mobilità a lungo termine dopo TPLO. Questi risultati sono sufficienti per confermare la progressione dell'OA dopo entrambe le tecniche, con particolare attenzione sulla TTA dove i cani presentavano una certa instabilità articolare dopo questo intervento. Per dimostrare ciò è stata utilizzata l'analisi dell'andatura con piastra di forza e così hanno dato la prova che i cani dopo TPLO hanno ripreso la normale funzionalità degli arti pelvici al passo e al trotto rispetto ai cani sottoposti a TTA. Inoltre, gli stessi autori avevano concluso che i cani con rottura bilaterale del LCCr erano più a rischio di sviluppare osteoartrosi a lungo termine (Moore E. V., et al., 2020).

L'ispessimento del legamento rotuleo è un'altra complicanza rilevata nei cani sottoposti a TPLO e, più recentemente, dopo TTA. L'ispessimento del legamento rotuleo che segue la TPLO è il risultato dello stress provocato sul legamento stesso quando il piatto tibiale è ruotato. Questa teoria è illustrata per mezzo di un braccio di leva: esso rappresenta la distanza dal punto di contatto femoro-tibiale all'attacco del legamento rotuleo sulla tuberosità tibiale. Si presume che il braccio di

leva possa accorciarsi del 10% dopo TPLO e allungarsi fino al 10% dopo TTA. Un braccio di leva più corto richiede più forza o trazione del muscolo quadricipite per estendere l'articolazione del ginocchio, mentre un braccio di leva più lungo richiede meno forza per estendere l'articolazione del ginocchio. Quindi, inizialmente si sospettava che la procedura della TTA non avrebbe comportato un ispessimento del legamento rotuleo. Tuttavia, la desmopatia rotulea è stata recentemente identificata come una comune complicanza postoperatoria della TTA. Si evince che, per tale motivo, la TTA non è clinicamente più vantaggiosa della TPLO come all'inizio si poteva pensare (DeSandre-Robinson D. M., et al., 2017).

Le lesioni meniscali sono comuni nei cani con malattia del legamento crociato craniale ed hanno riportato avere un'incidenza del 20%-77%. Il polo caudale del menisco mediale è considerato uno stabilizzatore secondario del ginocchio con rottura del LCCr e funge da cuneo per impedire fisicamente la sublussazione tibiale craniale. L'instabilità del ginocchio associata al deficit del LCCr sottopone il menisco mediale a forze di taglio e di compressione anomale che possono provocare una lesione meniscale. Le lesioni meniscali possono essere classificate in base al momento in cui si sono verificate rispetto all'intervento chirurgico: le lesioni meniscali latenti sono considerate lesioni già presenti nel momento dell'intervento chirurgico, mentre le lesioni meniscali 'ritardate' si sviluppano come conseguenza di un'instabilità persistente dopo la stabilizzazione chirurgica del ginocchio con LCCr rotto.

L'efficacia della TPLO e della TTA nella protezione del menisco mediale dopo la chirurgia è un argomento ancora poco chiaro. La TPLO altera la meccanica del ginocchio ed il



contatto con il menisco mediale può essere soggetto a sollecitazioni alterate causate da alterazioni dell'allineamento femoro-tibiale, ma le successive percentuali di rottura del menisco dopo TPLO variano dal 7% al 12%. D'altra parte, studi clinici hanno evidenziato tassi potenzialmente maggiori di lesioni meniscali post TTA che possono essere il risultato dell'instabilità del ginocchio persistente a seguito della procedura.

In generale, il meccanismo di dolore causato da una lesione meniscale è poco compreso e richiede ulteriore attenzione al fine di fornire maggiore chiarezza nella decisione del trattamento per la rottura del LCCr. Tuttavia, dalla valutazione degli ultimi risultati clinici, è stato riportato che la TPLO ha fornito un risultato migliore a lungo termine rispetto alla TTA. Inoltre, è riportata una progressione di osteoartrite maggiore dopo TTA rispetto a TPLO nel lungo periodo. Quindi la TTA potrebbe non ripristinare una stabilità del ginocchio accettabile e potrebbe mettere a rischio il menisco mediale provocando una lesione meniscale postoperatoria (Jeong J., et al., 2021).

Un'altra tecnica descritta in precedenza che elimina la spinta tibiale craniale, utilizzando la diminuzione dell'angolo del piatto tibiale, è l'ostectomia craniale a cuneo chiuso (CCWO). Sia la TPLO che la CCWO stabilizzano efficacemente l'articolazione del ginocchio con insufficienza del legamento crociato craniale nel cane. La CCWO provoca il movimento cranio-distale della tuberosità tibiale con angolazione cranio-caudale della cresta tibiale e così anche la rotula si sposta distalmente. Questo movimento può essere favorevole in un'articolazione del ginocchio deficitaria di LCCr con rotula alta. Tuttavia, in un'articolazione del ginocchio con una rotula posizionata in modo appropriato, la completa riduzione del

TPA con la CCWO potrebbe comportare uno spostamento distale della rotula maggiore di quanto ci si aspetta. A differenza della CCWO, la TPLO riduce il TPA senza modificare la posizione della cresta tibiale o della rotula. Tuttavia, nelle articolazioni del ginocchio con TPA eccessivo, la correzione completa del TPA a 5° con TPLO potrebbe comportare il posizionamento distale del segmento del piatto tibiale rispetto all'inserimento del tendine rotuleo sulla tuberosità tibiale. La rotazione del segmento del piatto tibiale distalmente al livello dell'inserzione del tendine rotuleo sulla tuberosità tibiale diminuirebbe il suo ruolo di sostegno per il segmento della tuberosità tibiale, lasciando potenzialmente quest'ultima più incline a fratture. Pertanto, la combinazione di TPLO e CCWO è stata suggerita nelle articolazioni del ginocchio con TPA > 34° per consentire la correzione completa del TPA senza eliminare il supporto della tuberosità tibiale e senza un eccessivo dislocamento cranio-distale della tuberosità tibiale e della rotula.

Si consiglia la rotazione del segmento del piatto tibiale fino al punto di inserimento del tendine rotuleo sulla tuberosità tibiale, ma non al di sotto, per mantenere il supporto del contrafforte caudale. Inoltre, grazie alla localizzazione dell'osteotomia, la CCWO, al contrario delle altre osteotomie correttive, può essere eseguita anche in soggetti in accrescimento (Talaat M. B., et al., 2006). Sono rari i rapporti che documentano i risultati clinici dopo CCWO. Infatti, per valutare l'efficacia della procedura sono state utilizzate la valutazione soggettiva della zoppia o la soddisfazione del proprietario.

Affrontando la forza di taglio diretta cranialmente che porta alla traslazione tibiale cranio-proximale che si verifica durante il carico, le tecniche di osteotomia tibiale hanno avuto

un successo clinico nel migliorare la funzione degli arti pelvici nei cani con insufficienza del legamento crociato craniale.

Le differenze morfologiche (individuali e di razza), cinematiche e cinetiche possono influenzare il risultato finale dopo l'intervento chirurgico, e alcune procedure di osteotomia possono essere più adatte di altre in alcune razze di cani o in particolari situazioni di conformazione tibiale.

Restano da definire indicazioni specifiche per ogni singola tecnica. Le preoccupazioni comuni a tutte le osteotomie tibiali per il trattamento della malattia del LCCr includono l'effetto sul menisco, la progressione dell'OA dopo l'intervento chirurgico e la correlazione tra l'esito clinico e l'angolo postoperatorio del TPA o del tendine rotuleo rispetto al piatto tibiale.

I problemi riscontrati nella gestione chirurgica dell'insufficienza del LCCr sono senza dubbio un riflesso della complessità della struttura e della funzione dell'articolazione del ginocchio.

Dalla descrizione e comparazione delle tre tecniche chirurgiche prese in esame si evince che tutte e tre hanno una percentuale di complicanze non sottovalutabile. Questo però non è sufficiente per determinare quale tecnica chirurgica sia migliore dell'altra.

La valutazione dell'instabilità del ginocchio a lungo termine può essere considerata come parametro per definire quale tecnica chirurgica sia da preferire. La TPLO è la chirurgia che ha dato i migliori risultati clinici negli anni per quanto riguarda questa condizione: più di uno studio ha riportato la ripresa della funzionalità del ginocchio dopo TPLO.

Il confronto diretto tra le procedure chirurgiche può essere difficile perché molti studi sono costituiti da misure con esito soggettivo, mancanza di standardizzazione e variazioni nella

durata dello studio stesso. Con ciò in mente, si cerca di dimostrare i risultati ottenuti con metodi sempre più oggettivi, uno di questi è rappresentato dall'analisi su piastra di forza che riporta un'attenta valutazione del passo nelle varie fasi dell'andatura. Molti studi hanno valutato positivamente questa metodica e tanti altri hanno manifestato l'intenzione di volerla utilizzare poiché i dati che fornisce rappresentano un'obiettiva ed imparziale misura per il confronto diretto della funzione degli arti dopo l'intervento chirurgico.

In letteratura sono presenti molti approfondimenti sulla TPLO proprio per il suo ampio utilizzo, soprattutto negli ultimi anni, nel mondo della veterinaria. Venne progettata nel 1993 e fu preferita alla CCWO, ideata qualche anno prima sempre dal Dr. Slocum e la moglie Devine. All'inizio degli anni 2000 venne messa a punto la TTA dal Dr. Montavon e dal Dott. Tepic. È importante sottolineare che, per questo sviluppo più recente, in letteratura sono presenti meno pubblicazioni che riguardano la TTA. Inoltre, sono meno anche i chirurghi che sono in grado di eseguirla, se paragonata alla TPLO. A prescindere da questo dato, entrambe necessitano di un attento studio nella loro pianificazione ed un'adeguata abilità nella loro esecuzione.

In generale, è noto che l'opzione chirurgica ideale dovrebbe riportare costantemente il paziente alla normalità o alla ripresa completa della funzione degli arti con scarso rischio di peggiorare il suo stato clinico.

Dopo aver presentato le tecniche chirurgiche assieme al loro utilizzo negli anni e alle complicanze ancora oggi oggetto di studio, la selezione appropriata del paziente è un aspetto fondamentale da tenere in considerazione per il successo della tecnica chirurgica utilizzata.

Per quanto riguarda la taglia del paziente, con la continua introduzione di impianti sempre più piccoli, la TPLO è diventata sempre più comune anche nei cani di taglia piccola. Inizialmente era utilizzata nei cani di taglia medio-grande e dava buoni risultati anche nei cani di razza gigante. Al giorno d'oggi è presente un'ampia varietà nella dimensione degli impianti, le lame radiali per esempio vanno dai 12 ai 30 mm, e ciò soddisfa un'ampia selezione di pazienti. I cani di taglia piccola possono rappresentare dei pazienti impegnativi in quanto, oltre alle dimensioni ridotte, presentano un TPA più elevato. Questa condizione può causare un aumento di stress su LCCr che peggiora così la prognosi del paziente dopo la chirurgia. La procedura della TPLO, diminuendo il TPA di questi pazienti, è considerata l'opzione di trattamento migliore per cani con TPA elevato.

La TTA è sconsigliata nei cani con ampiezze maggiori del TPA poiché, in tale condizioni, potrebbe essere più difficile neutralizzare la forza di taglio tibiale craniale.

Anche i cani di taglia gigante sono buoni candidati per la TPLO ed in alcuni casi potrebbero richiedere un solo intervento chirurgico. Anche in questo caso la TTA è sconsigliata in quanto limitata dagli impianti disponibili e dall'incapacità di raggiungere un adeguato avanzamento della tuberosità tibiale.

Oltre alle dimensioni del paziente, sono importanti anche le aspettative del proprietario riguardo alle prestazioni chirurgiche. La TPLO offre la migliore prognosi per il ritorno alla piena funzione del ginocchio. In particolare, i cani da lavoro e agility possono trarre il massimo beneficio da questa procedura.

La TPLO rappresenta, inoltre, una tecnica chirurgica che riveste un ruolo importante nella stabilizzazione di un ginocchio con malattia del LCCr con numerosi ottimi risultati a breve ed a lungo termine pubblicati nei cani di taglia grande e piccola.

Per la selezione del paziente della TTA è importante considerare diversi fattori legati alla conformazione anatomica del paziente. Uno di questi è rappresentato dal punto di inserzione del legamento patellare che può trovarsi più in basso o più in alto rispetto alla sua inserzione prossimale originaria sulla rotula. In particolare, i pazienti che presentano un basso punto d'inserzione del legamento patellare sono predisposti alla rottura della tuberosità tibiale perché rimane una porzione di osso troppo piccola per supportare l'impianto utilizzato. In questa situazione risulta favorevole l'utilizzo della TPLO. La TTA risulta adatta per i cani che presentano un punto d'inserzione alto del legamento patellare poiché una placca più grande può essere applicata sulla cresta tibiale e la gabbia inserita rimane sostenuta da un osso di dimensioni adeguate. I pazienti con un TPA maggiore non sono buoni candidati per la TTA poiché l'aumentata ampiezza di questo angolo spesso è correlata a deformità conformazionali del ginocchio che posizionano l'articolazione in iperestensione. La TTA non è in grado di sistemare questa malformazione. Non è ancora stato determinato un valore limite del TPA per l'esecuzione dell'avanzamento della tuberosità tibiale; molte procedure hanno avuto buoni risultati in pazienti con TPA di circa 30° e quindi valori maggiori di questo risultano non idonei per la TTA.

La TTA è sconsigliata in altri casi di malformazioni, come le deformità angolari e torsionali. Pare invece che sia adatta per

la lussazione patellare quando è presente una rottura del legamento crociato craniale. In questa situazione, la placca per TTA viene piegata leggermente per rendere più mediale o laterale lo spostamento della cresta tibiale favorendo la correzione della lussazione patellare.

La taglia del paziente può rappresentare un limite nella scelta della TTA perché essa dipende dalle disponibilità degli impianti: la gabbia più grande necessaria per supportare il gap dell'osteotomia presente al giorno d'oggi è di 15 mm. Per aumentare la larghezza del gap si potrebbe spostare più distalmente la gabbia lungo il sito dell'osteotomia ma questo può causare la frattura della tuberosità tibiale e per questo motivo è stato sconsigliato.

Alcuni studi hanno riportato un rapido ritorno alla funzionalità con l'utilizzo della TTA, del tutto simile alla TPLO. In generale, questo rapido recupero è stato una delle principali ragioni per cui la tecnica ha iniziato negli anni ad essere utilizzata sempre più di frequente. In letteratura sono aumentati gli studi riguardanti questa tecnica ma necessita di ulteriori approfondimenti riguardo ai risultati a lungo termine che permetterebbero di paragonarla ad altre tecniche chirurgiche.

Diversamente da quanto riportato per la TTA, la CCWO può essere utilizzata per livellare il plateau di qualsiasi tibia. Viene di solito utilizzata in tutti i casi dove la TPLO può portare a rischi maggiori, come ad esempio in casi di cani con un TPA eccessivo, definito tale se maggiore di 34°. Inoltre, è l'unica procedura di osteotomia di livellamento tibiale che può essere eseguita in cani con aree di accrescimento tibiale aperte per la posizione della linea di osteotomia che non intacca la fisi di accrescimento localizzata a livello della tuberosità tibiale.

La varietà di tecniche descritte testimonia la difficoltà di trovare l'intervento che ripristini effettivamente la funzionalità del ginocchio con rottura del LCCr.

Per tale motivo, oltre alle complicità delle tre tecniche chirurgiche, è opportuno che il chirurgo consideri le caratteristiche intraspecifiche del paziente.

Si parla di criteri di inclusione del paziente che devono essere presi in considerazione nel momento della scelta della tecnica chirurgica. Dall'analisi è emerso che questi sono rappresentati dal peso corporeo, dall'età e dall'ampiezza del TPA.

I criteri di inclusione, definiti in base a determinate caratteristiche del paziente, rispetto alla tecnica chirurgica sono stati schematizzati nella Tabella 1.

	TPLO	TTA	CCWO
PESO CORPOREO - aumento - diminuzione	V <sup>1</sup> V <sup>1</sup>	X <sup>1</sup> V <sup>1</sup>	
ETÀ - giovanile - adulta	X <sup>1</sup> V <sup>1</sup>		V <sup>2</sup>
TPA preoperatorio - maggiore ampiezza - minore ampiezza	V <sup>1</sup>	X <sup>3</sup>	V <sup>4</sup> (eTPA)

*Tabella 1: Analisi comparativa di TPLO, TTA e CCWO rispetto ai criteri di inclusione del paziente. V: indicata, X: non indicata, Cella bianca: posizione neutrale, non esistono né indicazioni né controindicazioni.*

<sup>1</sup> Nanda A., et al., 2019

<sup>2</sup> Johnston S. A., et al., 2020

<sup>3</sup> Ferreira M.P., et al., 2016

<sup>4</sup> Schlag A. N., et al., 2020

Il peso corporeo, sia aumentato che diminuito, non rappresenta una controindicazione per la TPLO che negli anni



ha fornito buoni risultati in cani di tutte le taglie. L'aumento del peso corporeo rappresenta, invece, un limite per la TTA in quanto al giorno d'oggi non sono presenti impianti di dimensioni adeguate a cani di un certo peso; l'avanzamento maggiore lo si raggiunge con una gabbia da 15 mm. Per la CCWO non ci sono state particolari indicazioni in questi casi, risulta preferibile eseguire la TPLO per il maggior grado di stabilità che conferisce.

L'età, utilizzata come criterio di inclusione e non come fattore di rischio per complicanze postchirurgiche, si riferisce alla presenza di fisi di accrescimento aperte nell'animale giovane. Le cartilagini o fisi di accrescimento si trovano in entrambe le estremità ossee, vicino alle articolazioni. In particolare, nella tibia è presente una fisi di accrescimento aperta in prossimità della tuberosità tibiale. Se la linea di osteotomia dovesse intaccare questa fisi verrebbe compromesso lo sviluppo osseo. Di conseguenza l'unica tecnica chirurgica che può essere utilizzata in cani in accrescimento è la CCWO proprio per la posizione della sua linea di osteotomia. La TPLO andrebbe a danneggiare la fisi perché coinvolge proprio la zona della tuberosità tibiale e risulta invece indicata in animali in età adulta perché è considerata la tecnica chirurgica che rettifica la stabilità del ginocchio nel modo migliore.

L'ultimo, ma non meno importante, è il TPA preoperatorio che dipende dal soggetto: è stato visto che i cani di piccola e media taglia tendono ad avere un TPA più elevato, comunque è un valore da misurare prima di entrare in chirurgia perché dà indicazioni importanti sul trattamento da eseguire. In particolare, la TTA non è indicata per angoli ampi; infatti, le linee guida cliniche hanno stabilito un limite intorno ai 25°. Al contrario, la TPLO è indicata per angoli di varie ampiezze, fino

al raggiungimento dei 34°. Per angoli maggiori di questo, è indicato l'utilizzo della CCWO perché la TPLO risulta troppo rischiosa.

Attraverso l'analisi delle complicanze rilevate rispetto alle varie tecniche ed il tentativo di sistematizzazione del fattore paziente nei confronti delle tecniche analizzate, si offre uno strumento utile nella fase di pianificazione preoperatoria che è il punto cardine della chirurgia ortopedica. Il chirurgo si avvale di queste informazioni, riguardanti la tecnica ed il paziente, per capire, in base anche alla sua esperienza, quale intervento è meglio eseguire.

L'analisi comparativa è stata costruita negli anni da medici veterinari che hanno riportato le loro esperienze ed insieme sono stati in grado di fornire indicazioni diverse riguardo al trattamento chirurgico. Non si è ancora giunti alla formulazione di vere e proprie linee guida, ma l'obiettivo è quello di standardizzare sempre di più i risultati al fine di ottenere un'analisi oggettiva delle numerose tecniche utilizzate al giorno d'oggi per la malattia del legamento crociato craniale nel cane.

La difficoltà di trovare la tecnica chirurgica ideale per trattare questa patologia dimostra la complessità dell'articolazione del ginocchio nel cane. Numerosi studi possono ancora analizzare altri aspetti inesplorati della biomeccanica del ginocchio del cane e potrebbero portare alla luce nuove strade per riportare l'articolazione alla sua funzione fisiologica originaria.

## CONCLUSIONI

Il legamento crociato craniale rappresenta la struttura legamentosa più studiata nella medicina veterinaria. La sua rottura è uno dei disturbi dell'articolazione del ginocchio più comunemente diagnosticati nei cani. Per quanto concerne i meccanismi della rottura, ci si trova di fronte ad una rottura traumatica acuta o ad una degenerazione progressiva.

L'eziopatogenesi della rottura del LCCr non è completamente compresa, ma si conoscono vari fattori genetici, ambientali e meccanici che influenzano la progressione della malattia.

La rottura del LCCr dà origine ad una situazione di instabilità articolare che, a sua volta, porta allo sviluppo di osteoartrosi nell'articolazione del ginocchio. Essa si manifesta con una zoppia dell'arto pelvico colpito. Se l'osteoartrosi non viene trattata progredisce provocando dolore e peggiorando lo stato di salute del paziente.

La responsabile dell'instabilità articolare in condizioni di insufficienza del LCCr risulta essere la spinta tibiale craniale (CrTT): quando la tibia del cane va in carico, si sviluppa una forza che dal terreno sale lungo la tibia e segue il suo asse meccanico. Quando questa forza arriva al ginocchio, non trovando una perpendicolarità tra piatto tibiale e asse meccanico, si scompone in due forze vettoriali: la forza peso che si trasferisce lungo il femore e la forza di taglio che è minore rispetto alla precedente e rappresenta la spinta tibiale craniale (CrTT). Normalmente il legamento crociato craniale integro si oppone alla CrTT, ma in caso di rottura la sua funzione viene a mancare e la CrTT provoca una traslazione tibiale craniale anomala che è la vera responsabile dell'instabilità articolare.

La stabilizzazione chirurgica continua ad essere considerata la migliore opzione di trattamento.

Tra le numerose tecniche disponibili sono state illustrate le tecniche di osteotomia correttiva. Queste procedure chirurgiche stabilizzano attivamente il ginocchio durante il carico neutralizzando la spinta tibiale craniale (CrTT) in due modalità, ossia diminuendo l'angolo del piatto tibiale (TPLO e CCWO) oppure facendo avanzare la tuberosità tibiale (TTA).

Nonostante siano tecniche con alta percentuale di successo, nessuna delle tre ripristina totalmente la stabilità dell'articolazione del ginocchio perché, anche dopo l'intervento chirurgico, permane un certo grado di osteoartrosi.

Le tre tecniche chirurgiche di osteotomia correttiva presentano complicanze intraoperatorie e postoperatorie, specifiche e comuni, che possono rispettivamente portare all'insuccesso dell'intervento e al peggioramento dello stato clinico del paziente nel periodo postoperatorio.

L'analisi comparativa dei tre interventi si basa sulla tipologia di complicanze specifiche relativa ad ogni tecnica e sull'analisi delle caratteristiche intraspecifiche del paziente.

Se da un lato la conoscenza delle possibili complicanze aiuta a garantire il successo della tecnica chirurgica, dall'altro lato è importante tenere in considerazione il tipo di paziente attraverso la formulazione di criteri di inclusione che qualificano il soggetto per quel determinato intervento chirurgico.

Da un'analisi dettagliata delle pubblicazioni presenti in letteratura, i criteri di inclusione risultano essere il peso corporeo, l'età ed il TPA.

Il chirurgo si avvale di queste informazioni per scegliere la tecnica chirurgica da eseguire e organizza un'attenta pianificazione preoperatoria sulla quale si basa ogni chirurgia ortopedica con l'obiettivo di aumentare le percentuali di successo e migliorare la condizione clinica del paziente a lungo termine.

## BIBLIOGRAFIA

- Barone R. 2004. *Anatomia comparata dei mammiferi domestici*. s.l.: Edagricole, 2004. Vol.2°- parte I, Artrologia.
- Bergh M. S., Rajala-Schultz P., Johnson K.A. (2008), *Risk factors for tibial tuberosity fracture after tibial plateau leveling osteotomy in dogs*. *Veterinary Surgery* 37:374.
- Bernardi-Villavicencio C., Jimenez-Socorro A. N., Rojo-Salvador C., Robles-Sanmartin, J. & Rodriguez-Quiros J., (2020). *Short-term outcomes and complications of 65 cases of porous TTA with flange: A prospective clinical study in dogs*. *BMC Veterinary Research*, 16(1).
- Boudrieau R. J., (2005), *Tibial tuberosity advancement (TTA): Clinical results*. In Proceedings of the American College of Veterinary Surgeons (ACVS) Veterinary Symposium, San Diego, CA, October 27-29, (Abstract).
- Boudrieau R. J., (2009), *Tibial plateau leveling osteotomy or tibial tuberosity advancement?* *Veterinary Surgery* 38:1.
- Boudrieau R. J., McCarthy R.J., Sisson R.D., (2005), *Sarcoma of the proximal portion of the tibia in a dog 5.5 years after tibial plateau leveling osteotomy*. *J Am Vet Med Assoc* 227:1613.
- Chiu K. W., Amsellem P. M., Yu J., Ho P. S., & Radasch R. (2019). *Influence of fixation systems on complications after tibial plateau leveling osteotomy in dogs greater than 45.4 kilograms (100 lb)*. *Veterinary Surgery*, 48(4), 505–512.
- Coletti T. J., Anderson M., Gorse M.J., Madsen R., (2014), *Complications associated with tibial plateau leveling osteotomy: a retrospective of 1519 procedures*. *Can Vet J*;55: 249–254.
- Collins J. E., Degner D.A., Hauptman J.G., et al., (2014), *Benefits of pre- and intraoperative planning for tibial plateau leveling osteotomy*. *Vet Surg* 43:142.

- Della Valle G., Caterino C., Aragosa F., Micieli F., Costanza D., di Palma C., Piscitelli A., & Fatone G. (2021). *Outcome after Modified Maquet Procedure in dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture: Evaluation of recovery limb function by use of force plate gait analysis*. PLoS ONE, 16(8).
- DeSandre-Robinson D. M., Tano C. A., Fiore K. L., Prytherch B. (2017). *Radiographic evaluation and comparison of the patellar ligament following tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement in dogs: 106 cases (2009–2012)*. JAVMA, Vol. 5.
- Dyall B., & Schmökel H. (2017). *Tibial tuberosity advancement in small-breed dogs using TTA Rapid implants: complications and outcome*. Journal of Small Animal Practice, 58(6), 314–322.
- Engdahl K. S., Boge G. S., Bergström A. F., Moldal E. R., & Höglund O. v. (2021). *Risk factors for severe postoperative complications in dogs with cranial cruciate ligament disease – A survival analysis*. Preventive Veterinary Medicine, 191.
- 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(3), 223–227.
- Ferreira M. P., Ferrigno C. R. A., de Souza A. N. A., Caquias D. F. I., & de Figueiredo A. V. (2016). *Short-term comparison of tibial tuberosity advancement and tibial plateau levelling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament disease using kinetic analysis*. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology, 29(3), 209–213.
- Fossum T. W. 2013. *Chirurgia dei piccoli animali 4° ed*. Milano.: Edra S.p.A. 2013, p. 1393.
- Gatineau M., Dupuis J., Planté J., & Moreau M. (2011). *Retrospective study of 476 tibial plateau levelling osteotomy*

- procedures: Rate of subsequent “pivot shift”, meniscal tear and other complications.* In *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology* (Vol. 24, Issue 5, pp. 333–341).
- Geier C. M., Frederick S. W., & Cross, A. R. (2021). *Evaluation of the risk of patella fracture as the result of decreasing tibial plateau angle following tibial plateau leveling osteotomy.* *Veterinary Surgery*, 50(5), 984–989.
  - Guénégo L., Payot M., Charru P., & Verwaerde, P. (2017). *Comparison of tibial anatomical-mechanical axis angle between predisposed dogs and dogs at low risk for cranial cruciate ligament rupture.* *Veterinary Journal*, 225, 35–41.
  - Hamilton K., Tarlton J., Parsons K., Toscano M., & Burton, N. (2015). *Effect of Osteotomy Position and Tibial Plateau Rotation on the Tensile Force Required for Failure of the Canine Quadriceps Mechanism.* *Veterinary Surgery*, 44(6), 763–771
  - Hans E. C., Barnhart M. D., Kennedy S. C., Naber S. J. (2017). *Comparison of complications following tibial tuberosity advancement and tibial plateau levelling osteotomy in very large and giant dogs 50 kg or more in body weight.* *Vet Comp Orthop Traumatol.* 30:229-305
  - Jay M. R., Mattoon J. S., Gilbert P. J., Tanaka T. T., Beaty B. L. (2018). *Radiographic evaluation of patellar ligament length after tibial plateau leveling osteotomy in dogs* (2018).
  - Jeong J., Jeong S. M., Kim S. E., Lewis D. D., & Lee H. (2021). *Subsequent meniscal tears following tibial tuberosity advancement and tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament deficiency: An in vivo experimental study.* *Veterinary Surgery*, 50(5), 966–974.
  - Johnston S. A., Tobias K. M., (2020). *Chirurgia Veterinaria dei piccoli animali 2<sup>a</sup> ed.* Roma.: Antonio Delfino editore medicina-scienze. 2020, Vol. 1, p. 1081.



- Kanno N., Ochi Y., Ichinohe T., Hakozaiki T., Suzuki S., Harada Y., Yogo T., & Hara Y. (2019). *Effect of the Centre of Rotation in Tibial Plateau Levelling Osteotomy on Quadriceps Tensile Force: An Ex Vivo Study in Canine Cadavers*. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 32(2), 117–125.
- Kim S. E., Pozzi A., Banks S. A., Kowaleski M. P., Lewis D.D. (2008). *Tibial Osteotomies for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs*. *Veterinary Surgery*, 37, 111-125
- Knebel J. E., Steigmeier-Rait S., Reese S., Eberle D., & Meyer-Lindenberg A., (2020). *Outcome after Tibial Plateau Levelling Osteotomy and Modified Maquet Procedure in Dogs with Cranial Cruciate Ligament Rupture*. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 33(3), 189–197.
- Knight R. C., Thomson D. G., Danielski A. (2017). *Surgical management of pivot-shift phenomenon in a dog*. *JAVMA*. Vol 250.
- Kyon Pharma I: TTA-2. Zurich: KYON Pharma, Inc.; 2012. <https://www.kyon.ch/>
- Laube R. L., & Kerstetter, K. K. (2021). *Prevalence and Risk Factors for Bilateral Meniscal Tears Identified during Treatment for Cranial Cruciate Ligament Disease Via Tibial Plateau Levelling Osteotomy in Dogs*. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, 34(1), 37–42.
- 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(4), 314–323.

- Marin K., Unis M. D., Horgan J. E., & Roush J. K. (2021). *Risk factors for short-term postoperative complications in the 8 weeks after tibial plateau leveling osteotomy in dogs weighing less than 15 kilograms: A retrospective study*. PLoS ONE, 16(2 February).
- Martini F. M. 2006. *Patologie articolari nel cane e nel gatto*. s.l.: Poletto editore, 2006.
- Martini F. M., Brandstetter de Bellesini A. e Pavarotti G. S. 2009. *Il trattamento della rottura del legamento crociato craniale nel cane: tecniche a confronto*. 2009.
- Matchwick A. I. M., Bridges J. P., Scrimgeour A. B., & Worth A. J. (2021). *A retrospective evaluation of complications associated with forkless tibial tuberosity advancement performed in primary care practice*. Veterinary Surgery, 50(1), 121–132.
- Matres-Lorenzo L., McAlinden A., Bernardé A., & Bernard F. (2018). *Control of hemorrhage through the osteotomy gap during tibial plateau leveling osteotomy: 9 cases*. Veterinary Surgery, 47(1), 60–65.
- McDougall R. A., Spector D. I., Hart R. C., Dycus D. L., & Erb H. N. (2021). *Timing of and risk factors for deep surgical site infection requiring implant removal following canine tibial plateau leveling osteotomy*. Veterinary Surgery, 50(5), 999–1008.
- Mehrkens L. R., Hudson C. C., & Cole G. L. (2018). *Factors associated with early tibial tuberosity fracture after tibial plateau leveling osteotomy*. Veterinary Surgery, 47(5), 634–639.
- Moles A., Glyde M. (2009). *Anatomical investigation of the canine cranial tibial artery*. Vet Comp Orthop Traumatol 22:351.
- 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.*
- Muir P. 2010. *Advances in the canine cruciate cranial ligament* 2° ed. Hoboken: Wiley Black-Well, 2018.
  - Mustafa A., Parlak K., & Şahin H. (2017). *Evaluation and application of the tta-rapid method in dogs with cranial cruciate ligament rupture. Acta Veterinaria, 67(2), 238–253.*
  - Nanda A., & Hans E. C. (2019). *Tibial Plateau Leveling Osteotomy for Cranial Cruciate Ligament Rupture in Canines: Patient Selection and Reported Outcomes. Veterinary Medicine: Research and Reports, Volume 10, 249–255.*
  - 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.*
  - Ober C. A., Factor G., Meiner Y., Segev, G., Shipov, A., & Milgram, J. (2019). *Influence of tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement on passive laxity of the cranial cruciate deficient stifle in dogs. Veterinary Surgery, 48(3), 401–407)*
  - Rita Leibinger Medical: TTA Rapid. Muehlheim: RITA LEIBINGER MEDICAL; 2014. <https://leibinger.vet>
  - 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.*
  - Schlag A. N., Peycke L. E., & Hulse D. A. (2020). *Center of rotation of angulation-based leveling osteotomy combined with a coplanar cranial closing wedge ostectomy to manage cranial cruciate ligament insufficiency in dogs with excessive tibial plateau angle. Veterinary Surgery, 49(6), 1125–1131.*

- Shimada M., Mizokami N., Ichinohe T., Kanno N., Suzuki S., Yogo T., Harada Y., & Hara Y. (2020). *Long-term outcome and progression of osteoarthritis in uncomplicated cases of cranial cruciate ligament rupture treated by tibial plateau leveling osteotomy in dogs*. Journal of Veterinary Medical Science, 82(7), 908–916.
- Slocum B. e Devine T. 2015. *Cranial Tibial Thrust: a primary force in the canine stifle*. J Am Vet Med Assoc. 2015, Vol. 183, p. 456-459.
- Solano M. A., Danielski A., Kovach K., Fitzpatrick N., Farrell M. (2015). *Locking plate and screw fixation after tibial plateau leveling osteotomy reduces postoperative infection rate in dogs over 50 kg*. Vet Surg.44 (1): 59–64
- Staffieri F., Monopoli D., Artiles A., Fracassi L., Crovace A., & Lacitignola L. (2020). *Role of tibial tuberosity fracture/fissure through the maquet hole in stifle osteoarthritis after porous tibial tuberosity advancement in dogs at mid-term follow-up*. Veterinary Sciences, 7(1).
- Talaat M. B., Kowaleski M. P., Boudrieau R. J. (2006). *Combination tibial plateau leveling osteotomy and cranial closing wedge osteotomy of the tibia for the treatment of cranial cruciate ligament-deficient stifles with excessive tibial plateau angle*. Veterinary Surgery, 35, 729–739.
- Terreros A., & Daye R. M. (2020). *Modified cranial closing wedge osteotomy to treat cranial cruciate ligament deficient stifles with excessive tibial plateau angles: Complications, owner satisfaction, and midterm to long-term outcomes*. Veterinary Surgery, 49(6), 1109–1117.
- Trisciuzzi R., Fracassi, L., Martin H. A., Forleo D. M., Amat D., Santos-Ruiz L., de Palma 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).

- Tuttle T. A., Manley P.A. (2009). *Factors associated with fibular fracture after tibial plateau leveling osteotomy*. Vet Surg 38:355.
- Vannini R., (2018). *L'esercizio fisico del cane in crescita*. SVK-ASMPA, Publications.
- Wilson M. L., Roush J. K., & Renberg W. C. (2018). *Comparison of the Effect of Dog, Surgeon and Surgical Procedure Variables on Improvement in Eight-Week Static Weight-Bearing following Tibial Plateau Levelling Osteotomy*. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology, 31(6), 396–404.
- Wolf R. E., Scavelli T. D., Hoelzler M. G., Fulcher R. P., Bastian. R. P (2012). *Surgical and postoperative complications associated with tibial tuberosity advancement for cranial cruciate ligament rupture in dogs: 458 cases (2007–2009)*, JAVMA, Vol 240, No. 12
- Zann G. J., Kim, S. E. Tinga, S., Pozzi A., & Banks, S. A. (2020). *The effect of tibial plateau leveling osteotomy on patellofemoral kinematics in dogs: An in vivo study*. Veterinary Surgery, 49(1), 207–213.