



La Rupture du Ligament Croisé Antérieur (RLCA) chez le chien

Revue des différentes techniques de
traitement et intérêt de la
Tibial Plate Leveling Osteotomy
(TPLO)

Dr Sanspoux Frédéric
frederic.sanspoux@sirius.vet
+33 6 30 03 50 24

CES de traumatologie ostéo-articulaire et orthopédie animales
BioMedtrix Universal Hip Certification Program
Clinique Sirius, 2 Rue de Bourdelas – 87270 Couzeix

Table des matières

1.	Introduction	4
2.	Anatomie du grasset	4
2.1.	Les structures osseuses	4
2.2.	Les ménisques	5
2.3.	Les moyens d'union	5
2.3.1.	La capsule articulaire	5
2.3.2.	Les ligaments de l'articulation fémoro-patellaire et de la patella	6
2.3.3.	Les ligaments collatéraux	6
2.3.4.	Les ligaments croisés	6
2.4.	Les muscles	7
2.5.	La vascularisation et l'innervation	7
2.5.1.	La vascularisation	7
2.5.2.	L'innervation	8
3.	Notions de biomécanique	8
4.	Examen clinique du grasset	8
4.1.1.	Examen à distance	8
4.1.2.	Examen rapproché	8
4.1.3.	Manipulation	8
5.	Examens complémentaires	9
5.1.1.	La radiographie	9
5.1.2.	Analyse du liquide synovial	9
5.1.3.	L'échographie	9
5.1.4.	Le scanner	9
5.1.5.	L'IRM	10
5.1.6.	L'arthroscopie	10
6.	La maladie du ligament croisé crânial	10
6.1.	Etiologie	10
6.2.	Epidémiologie	10
6.3.	Facteurs de risque	11
6.4.	Signes cliniques	11
6.4.1.	Rupture partielle	11
6.4.2.	Rupture totale	11
6.4.3.	Rupture partielle ou totale ancienne	12
6.5.	Lésions méniscales	12

6.6. Evolution arthrosique	12
7. Traitement de la RLCA hors ostéotomies	13
7.1. Traitement conservateur et médical.....	13
7.2. Les techniques de reconstruction et de stabilisation intra et extra-articulaires	13
7.2.1. Les techniques intra-articulaires	13
7.2.2. Les techniques extra-articulaires	14
8. Traitement de la RLCA par les techniques d'ostéotomie	14
8.1. La TPLO pas à pas.....	16
8.1.1. Réalisation des clichés radiographiques	16
8.1.2. Planification de l'ostéotomie	16
8.1.3. Préparation chirurgicale du patient	17
8.1.4. Déroulé de l'intervention	17
8.2. Consignes postopératoires	20
8.3. Réhabilitation après TPLO.....	20
8.3.1. Pendant la phase aigüe	21
8.3.2. Pendant la phase avancée	22
8.3.3. Phase de retour à l'activité normale	23
8.4. Complications de la TPLO	23
9. Conclusions	27
10. Bibliographie	28

1. Introduction

Chez le chien, après la hanche pour laquelle 1997 publications sont recensées, l'articulation du genou est la plus étudiée avec 1491 articles répertoriés à ce jour (janvier 2022) dans la base de données Pub Med (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>). Le coude et l'épaule ne sont mentionnés « que » 782 et 694 fois respectivement.

Le grasset est la première cause de boiterie du membre postérieur chez le chien et la rupture du ligament croisé antérieur (RLCA) constitue le troisième motif de consultation en orthopédie vétérinaire. Elle représentait un marché avoisinant les 1,3 milliard de dollars en 2003 aux USA.

Le ligament croisé antérieur (LCA) est le principal élément stabilisateur du grasset dans le plan sagittal (ou crâneo-caudal). Son endommagement ou sa rupture sont responsables d'une boiterie plus ou moins importante associée à un développement rapide de l'arthrose. Sans traitement adapté, la récupération est assez médiocre, une douleur permanente associée à une boiterie plus ou moins invalidante persistent la plupart du temps.

L'articulation du grasset est relativement complexe dans son fonctionnement et sa biomécanique. Les causes de la rupture du LCA sont multifactorielles et pas toutes encore très bien identifiées.

De très nombreuses techniques de réparation ou de substitution du LCA ont été proposées, certaines ont traversé les décennies avec ou sans adaptations, d'autres ont été complètement abandonnées.

Le but de cette formation est de mettre le praticien généraliste à l'aise face à cette affection fréquente, de lui apprendre à la diagnostiquer de manière pertinente afin de proposer aux propriétaires la meilleure prise en charge possible pour leur animal. La gestion médicale et conservatrice sont également abordées.

2. Anatomie du grasset

Comme pour tout environnement articulaire, il est possible d'identifier des structures osseuses, des surfaces articulaires, des moyens d'union, des muscles et tendons, une vascularisation et une innervation propre.

2.1. Les structures osseuses

Elles sont représentées par le **fémur distal**, le **tibia proximal**, une **partie de la rotule** et la **portion proximale de la fibula**.

Le fémur comporte deux condyles, l'un médial et l'autre latéral, tous deux séparés par une trochlée et une fosse intercondylienne plus ou moins large. Ils sont surmontés proximo-caudalement par deux sésamoïdes inclus chacun dans l'origine du muscle gastrocnémien. Le condyle fémoral latéral est plus important que son homologue médial.

Le tibia est également doté de deux condyles, séparés par l'aire intercondylienne crâniale dans laquelle vient s'insérer la portion distale du LCA, une éminence intercondylienne et une aire intercondylienne caudale, dans laquelle s'insère la

portion distale du ligament croisé postérieur (LCP). Sur la partie caudolatérale du tibia proximal, s'insère la fibula. Le condyle tibial latéral est plus volumineux que le médial.

Finalement, la rotule qui n'est autre qu'un gros sésamoïde, vient s'articuler avec la trochlée fémorale. Elle participe au transfert des forces importantes générées par le quadriceps sur la crête tibiale. La rotule permet une flexion harmonieuse du grasset.

2.2. Les ménisques

Les surfaces articulaires du tibia et du fémur sont non congruentes, deux surfaces convexes ne peuvent s'articuler entre elles de manière harmonieuse. La nature a donc mis au point différents moyens pour faire du grasset une articulation stable.

Avec les différents moyens d'union articulaires, les ménisques participent largement à la stabilité de l'articulation. Ils transmettent les forces, amortissent les chocs et aident à la lubrification de l'articulation.

Ils sont composés de 75 % d'eau, de collagène de type I, de protéoglycans, d'élastine et de fibroblastes. Ils sont biconcaves et en forme de croissant, le ménisque médial étant légèrement plus mince que le ménisque latéral.

Les ménisques sont reliés entre eux par un ligament tibial crânial et un ligament tibial caudal, ainsi que par un ligament interméniscal crânialement. Le ménisque latéral possède également une insertion fémorale. Ce sont des éléments peu vascularisés et les cornes le sont plus que le corps. Ils contiennent une innervation propre qui participe à la proprioception et des mécanorécepteurs qui aident la réaction posturale.

Le ménisque médial est fermement solidaire du ligament collatéral médial, il est donc beaucoup plus souvent lésé que le ménisque latéral. Lors de rupture du LCA, le condyle fémoral vient écraser la corne postérieure du ménisque, pouvant ainsi créer différents types de lésions. En cas de lésions méniscales, les forces de compression sur les cartilages articulaires augmentent considérablement, ce qui se traduit par un développement d'arthrose.

2.3. Les moyens d'union

Ils sont constitués de la capsule articulaire, des ligaments de l'articulation fémoro-patellaire, des ligaments de l'articulation fémoro-tibiale (ligaments collatéraux et ligaments croisés).

2.3.1. La capsule articulaire

La capsule articulaire du grasset est la plus volumineuse du corps. Elle est formée de trois sacs qui communiquent librement entre eux. Deux d'entre eux se situent entre les condyles fémoraux et tibiaux (sac médial et sac latéral), et le troisième se situe sous la rotule.

La partie rotulienne de la capsule articulaire est très volumineuse. Elle s'attache aux bords et à côté de la rotule, sur les fibrocartilages para patellaires. La capsule articulaire s'étend au-delà dans toutes les directions. Proximalement le sac fémoro-patellaire dépasse environ de 1,5 cm jusqu'au tendon du muscle quadriceps fémoral.

Latéralement et médialement la partie rotulienne de la capsule s'étend d'environ 2 cm des crêtes trochléaires vers les épicondyles fémoraux chez les grandes races. Distalement, les parties rotulienne et fémoro-tibiale se rejoignent sans démarcation.

En position distale de la rotule, la couche fibreuse de la partie crâniale de la capsule articulaire contient une grande quantité de graisse : le coussinet graisseux infrapatellaire dont l'épaisseur augmente distalement. Ce gros corps se développe dans la couche fibreuse de la capsule articulaire.

Les sacs fémoro-tibiaux sont considérablement plus petits que le sac fémoropatellaire. Les deux sacs fémoro-tibiaux sont partiellement divisés par les ménisques en partie fémoro-méniscale et tibio-méniscale. Les ménisques se développent dans la couche fibreuse de la capsule. Une communication transversale existe également entre les parties condyliennes latérale et médiale de l'articulation.

2.3.2. Les ligaments de l'articulation fémoro-patellaire et de la patella

Les ligaments fémoro-patellaires sont deux ligaments minces et faibles qui s'insèrent sur les sésamoïdes supracondylaires correspondants tandis que le ligament de la patella s'insère entre la patella et le tibia. C'est un ligament solide qui transmet les forces d'extension du muscle quadriceps, permettant ainsi l'extension du genou.

2.3.3. Les ligaments collatéraux

Les ligaments collatéraux sont aplatis. Le médial possède une petite bourse qui facilite son glissement sur le condyle tibial sous lequel il s'attache. Le latéral se termine principalement au bord crânial de la partie proximale de la fibula et envoie quelques fibres au tibia. Leur rôle est de s'opposer aux mouvements de translation dans le plan frontal. Le ligament collatéral latéral s'oppose à la rotation interne et le ligament collatéral médial à la rotation externe. Le ligament collatéral est tendu en extension et relâché en flexion.

2.3.4. Les ligaments croisés

Les ligaments croisés (antérieur et postérieur) sont situés dans l'espace intercondylaire. Ils sont assez larges et solides. Le ligament croisé caudal (LCP) est plus long et plus solide que le LCA. Le LCA suit une direction proximo-caudo-latérale à disto-crânio-médiale et le LCP suit une direction proximo-crânio-médiale à disto-caudo-latérale.

Ils sont composés de collagène de type II, de quelques fibroblastes, d'une matrice extra-cellulaire, de mécanorecepteurs qui participent à la posture de l'animal. En cas d'hyperextension du grasset ou de tensions trop importantes, les muscles postérieurs de la cuisse se contractent tandis que les muscles extenseurs se relâchent de manière réflexe et simultanée.

Le LCA possède une bande crânio-médiale qui est tendue en flexion et relâchée en extension, ce qui implique qu'en cas de rupture partielle du LCA, le signe du tiroir peut être présent en flexion et absent en extension.

Le LCA a plusieurs rôles :

- Limiter l'avancée crâniale du tibia,

- Limite la rotation interne du tibia lors de la flexion,
- Limite l'hyperextension du grasset,
- Limite le genou en varus lors de la flexion.

Les rôles du LCP sont :

- De prévenir le déplacement caudal du tibia,
- De limiter la rotation interne du tibia lors de la flexion,
- Limite le genou en valgus lors de la flexion.

2.4. Les muscles

Les muscles de la région du grasset sont nombreux et leurs fonctions très diverses (extension, flexion, abduction, adduction, rotation). Par leurs insertions et leur masse, ils participent grandement à la stabilisation active du grasset en plus des autres structures à un tel point que lors de rupture totale du LCA, il est parfois impossible de mettre en évidence un mouvement de tiroir antérieur tant ils sont contractés. C'est souvent le cas sur les chiens de type molossoïdes, très sportifs et musclés.

Voici 3 tableaux qui reprennent les principales actions des muscles de la région du grasset.

Rotateurs internes	Rotateurs externes
Semi-tendineux	Biceps fémoral
Semi-membraneux	Vaste latéral
Poplité	

Adducteurs	Abducteurs
Gracile	Biceps
Sartorius	Vaste latéral
Semi-tendineux	
Semi-membraneux	

	Extenseurs	Fléchisseurs
Majeurs	Quadriceps	Semi-tendineux Semi-membraneux (portion caudale) Biceps fémoral (portion caudale)
Modérés	Biceps fémoral (portion crâniale) Semi-membraneux (portion crâniale) Sartorius (portion crâniale) Fascia lata	Jumeaux Fléchisseur superficiel des doigts Gracile Sartorius (portion caudale)

2.5. La vascularisation et l'innervation

2.5.1. La vascularisation

La vascularisation de la partie latérale de la capsule articulaire est assurée par l'artère proximale latérale du genou et la face médiale est irriguée par l'artère descendante du grasset ainsi que par la branche géniculée de l'artère saphène. Elles sont toutes émanantes de l'artère fémorale. L'artère poplitée quant à elle chemine à l'arrière du grasset. Sans précaution, elle peut être facilement lésée lors d'une TPLO.

Les ligaments croisés sont seulement irrigués dans leurs portions périphériques. Leur centre est dénué de vascularisation. Ceci implique qu'en cas de lésion, une cicatrisation n'est possible que dans les zones vascularisées. La vascularisation des ménisques est également limitée à leur périphérie.

2.5.2. L'innervation

L'innervation sensitive du grasset est assurée par le nerf tibial et le nerf fibulaire commun. L'innervation motrice est assurée par le nerf fémoral pour l'extension et le nerf sciatique pour la flexion.

3. Notions de biomécanique

La biomécanique du grasset est complexe et très différente de celle de l'homme. La stabilité statique est assurée par les ménisques et les moyens d'union du grasset décrits ci-dessus. Il s'agit d'une stabilisation passive. Les muscles décrits précédemment participent quant à eux à la stabilisation dynamique du genou par le jeu des contractions et relâchements des groupes musculaires agonistes-antagonistes.

En 1983, Barclay Slocum a été le premier à proposer le modèle de poussée tibiale crâniale. Chez le chien, la pente tibiale avoisine les 20-25° avec un angle fémoro-tibial de 135°. Il en résulte une force de poussée qui tend à faire avancer le tibia et reculer les condyles fémoraux. La force de poussée tibiale crâniale est générée par le poids du corps, le quadriceps et les muscles jumeaux. Elle est contrebalancée par l'action du LCA, les ménisques et les muscles fléchisseurs.

4. Examen clinique du grasset

L'examen clinique comprend un examen à distance, un examen rapproché, une manipulation du patient vigile et le plus souvent une manipulation sous sédation.

4.1.1. Examen à distance

Une boiterie plus ou moins importante peut être constatée, allant de 1/5 à 5/5 avec suppression s'appui. Le lever peut être difficile et le chien rechigne à se mettre sur ses pattes arrière (monter en voiture, marches d'escalier). Lorsqu'il est assis, il peut tendre le membre affecté sur le côté.

Lors de rupture bilatérale, la démarche est vraiment lente et difficile, les pas sont petits et rapprochés et il y a une tendance à reporter les jarrets vers l'arrière par manque d'extension de l'articulation du genou. Une démarche chaloupée peut être constatée comme pour une dysplasie coxo-fémorale sévère.

4.1.2. Examen rapproché

L'observation depuis l'arrière du chien peut révéler une amyotrophie plus ou moins sévère et un gonflement du compartiment médial du genou. Au repos, le chien prend préférentiellement appui sur le membre sain. Lors de rupture bilatérale, le chien trépigne sur un membre puis l'autre et tend à se coucher rapidement.

4.1.3. Manipulation

La manipulation sur chien vigile permet de pratiquer le signe du tiroir direct et indirect mais il est préférable de réaliser ces examens sous sédation pour éviter un faux

négatif. Le gonflement de compartiment médial est une constante dès que la lésion tend vers la chronicité.

Il est possible de réaliser un signe du tiroir direct ou indirect. Le tiroir direct est réalisé en saisissant les condyles tibiaux et fémoraux et en les faisant translater l'un par rapport à l'autre. Le signe est positif lorsqu'il est possible de provoquer un cisaillement crânio-caudal entre le fémur et le tibia. L'examen doit être réalisé en flexion et en extension.

Le signe du tiroir indirect est réalisé en maintenant les condyles fémoraux d'une main et en pratiquant un mouvement de flexion et d'extension du tarse. Si la crête tibiale s'avance, le signe est positif.

5. Examens complémentaires

Très souvent, l'examen clinique seul suffit à conclure à une RLCA. Il est cependant nécessaire de réaliser des clichés radiographiques. C'est l'examen complémentaire de choix en médecine vétérinaire. Les autres moyens d'imagerie peuvent être qualifiés de superflus même s'ils ne sont pas dénués d'intérêt.

5.1.1. La radiographie

La radiographie doit toujours être réalisée à minima sous sédation profonde afin d'obtenir une bonne relaxation musculaire et la coopération du patient. Deux clichés sont suffisants ; face et profil. La radiographie de profil avec un grasset fléchi à 90° est la plus intéressante si un traitement par ostéotomie est envisagé (TPLO, TTA, CCWO, ...). Elle permet de planifier l'intervention. La vue de profil peut mettre en évidence le signe du tiroir radiologique.

L'examen radiographique révèlera la présence ou non d'arthrose et d'ostéophytes, ou encore une effusion articulaire.

Il est important de signaler que les premiers signes d'arthrose apparaissent environ trois semaines après la lésion du LCA. L'arthrose peut être scorée par différentes méthodes.

5.1.2. Analyse du liquide synovial

L'examen du liquide synovial apportera différentes indications. Sa quantité augmente sensiblement lors de rupture du LCA (entre 5 et 10 fois). Il est moins visqueux de la normale et ne coagule pas. Il est également moins riche en cellules. Son analyse n'est pas systématiquement réalisée en routine.

5.1.3. L'échographie

C'est une technique intéressante, elle peut mettre en évidence la déchirure du ligament croisé, voire les lésions méniscales mais elle est très opérateur dépendant et demande une grande maîtrise.

5.1.4. Le scanner

Il peut être intéressant de réaliser un arthroscanner qui mettra en évidence différentes lésions mais son intérêt est très limité dans le diagnostic de RLCA. Il peut parfois être utilisé pour éliminer un doute sur un éventuel ostéosarcome sous-jacent.

5.1.5. L'IRM

C'est le gold standard chez l'homme mais elle n'est pas ou très peu utilisée chez le chien pour le diagnostic d'une RLCA.

5.1.6. L'arthroscopie

Elle est à la fois diagnostique mais aussi curative pour les lésions méniscales et elle permet de flusher l'articulation juste avant une TPLO par exemple. Elle n'est pour ainsi dire jamais utilisée seulement pour le diagnostic. L'arthroscopie précède toujours un acte chirurgical destiné à traiter la RLCA.

6. La maladie du ligament croisé crânial

L'origine de la rupture du ligament croisé est multifactorielle. La rupture traumatique n'est pas la seule étiologie, c'est la raison pour laquelle on préfère parler de maladie du ligament croisé.

6.1. Etiologie

La rupture du LCA peut résulter de 4 facteurs différents :

- Un traumatisme direct (agent pénétrant, hyperextension) mais cela ne représente que 4 % des cas,
- Un traumatisme fonctionnel dans 19 % des cas (jeune chien hyperactif),
- Un affaiblissement des structures articulaires dans 44 % des cas,
- Et finalement, elle peut résulter d'une dégénérescence progressive des structures articulaires dans 33 % des cas.

La dégénérescence progressive est mal comprise et multifactorielle. Avec l'âge, le ligament croisé perd de ses propriétés mécaniques. Le nombre de ligamentocytes diminue et ils subissent une métaplasie. Une défaillance des fibres collagène est aussi constatée. L'analyse ultra structurelle d'un LCA rompu met en évidence une diminution des fibres de collagène et une diminution des fibroblastes dans sa région centrale. La dégénérescence serait d'origine auto-immune avec production d'anticorps anti-collagène présents dans le liquide synovial. Une diminution progressive de l'apport sanguin dans la portion médiane du LCA accentuerait cette dégénérescence.

Finalement, les propriétés mécaniques des LCA varient entre les races ; la résistance ligamentaire d'un Greyhound est par exemple beaucoup plus élevée que celle d'un Rottweiler.

6.2. Epidémiologie

Certaines races sont plus prédisposées que d'autres avec une proportion élevée de cas chez le Terre-Neuve, le Rottweiler, le Staffordshire Terrier, le golden Retriever, le Labrador, le Bulldog ou encore le boxer.

A contrario, certaines races semblent protégées ; ce sont le Bobtail, le Basset, le Teckel, le Shih Tsu, le Schnauzer miniature, ou encore le Pékinois.

Certaines races subissent fréquemment des ruptures avant l'âge de 2 ans. Notamment le Mâtin de Naples, l'Akita Inu, le Saint-Bernard, l'American Staffordshire Terrier, le Rottweiler, Le Cane Corso, Le Labrador et le Terre-Neuve.

6.3. Facteurs de risque

Plusieurs facteurs de risques ont été identifiés outre les facteurs raciaux décrits ci-dessus.

Les défauts de conformation, la position anormale du membre et une pente tibiale élevée contribuent à la fragilisation du LCA. La luxation médiale de la rotule, un développement excessif du quadriceps et des jumeaux augmentent également le risque de rupture. Il a également été mis en évidence qu'une faible largeur de l'encoche intercondylienne favoriserait la rupture du LCA.

Une publication récente a montré qu'un décalage trop important entre l'axe mécanique et l'axe anatomique du tibia est un facteur prédisposant à la rupture du LCA.

L'obésité et le manque d'entraînement sont également des facteurs prédisposants.

Les mâles sont généralement plus touchés que les femelles.

Les animaux plus âgés sont plus atteints que les jeunes animaux.

La stérilisation précoce (avant 6 mois) augmenterait la pente tibiale donc le risque de rupture prématuée du LCA.

Finalement, la génétique est également un facteur important. Pour exemple, il existe un facteur d'héritabilité de 0,27 chez le Terre-Neuve.

6.4. Signes cliniques

Il convient de distinguer rupture partielle et rupture totale. En effet, les signes cliniques peuvent être sensiblement différents et il est parfois plus difficile de diagnostiquer une rupture partielle.

6.4.1. Rupture partielle

La rupture partielle et progressive précède le plus souvent la rupture totale dans les phénomènes dégénératifs. Les signes cliniques peuvent être assez frustres mais ils ne trompent pas un œil averti : boiterie d'appui qui augmente avec l'exercice et diminue avec le repos, le plus souvent absence de signe du tiroir, inflammation et gonflement du compartiment médial.

En l'absence de signe du tiroir positif, la rotation interne du genou plié à 90° ne trompe pas ; elle déclenche une douleur et un réflexe de retrait dans presque 100 % des cas. Cela s'explique par la mise en tension du LCA qui est beaucoup plus importante que lorsqu'on réalise le signe du tiroir.

Une amyotrophie peut être constatée et lorsque le patient est assis, il laisse le membre affecté étendu.

La réponse aux AINS des ruptures partielles est généralement bonne.

6.4.2. Rupture totale

Lors de rupture totale, le diagnostic est plus facile. Juste après la rupture, le chien ne pose plus le membre au sol et il est assez douloureux. Mais rapidement, l'appui reprend avec cependant une boiterie importante. Le signe du tiroir est cette fois franc

quoi que sur certains chiens, la contracture des masses musculaires empêche sa réalisation. Il est souvent nécessaire de confirmer le diagnostic sous sédation.

Une rupture totale bilatérale est un piège très classique qu'il faut éviter car elle peut faire penser à une compression médullaire thoraco-lombaire avec parésie et/ou perte de proprioception.

6.4.3. Rupture partielle ou totale ancienne

Dans certains cas chroniques de rupture partielle ou totale très ancienne, seule une boiterie légère à modérée peut être présente, avec une exacerbation au lever ou après une période de repos. Il n'est parfois plus possible de mettre un mouvement de tiroir en évidence tant la fibrose et l'inflammation chronique diminuent la mobilité articulaire.

6.5. Lésions méniscales

Les lésions méniscales sont très régulièrement décrites à la suite d'une RLCA. En cas de rupture, les ménisques deviennent les premiers éléments de stabilisation du grasset. Ils subissent alors des forces de compressions et de rotation anormales. Et en particulier le ménisque médial qui, rappelez-vous, est solidaire du ligament collatéral médial et attaché caudalement par un solide ligament méniscotibial lui interdisant tout déplacement ample. Son mouvement est donc très limité et il subit donc facilement des déchirures le plus souvent localisées dans sa corne caudale. Différents types de déchirures sont décrites (en anse de seau, radiale, en volet, etc.).

Les lésions méniscales peuvent avoir lieu rapidement ou au contraire plusieurs mois après une intervention ; 5-6 mois en général avec récidive de la boiterie.

Il est généralement indiqué d'explorer systématiquement les articulations avant ostéotomie afin de traiter les lésions méniscales. Cependant, l'arthrotomie est un geste générateur de douleur sur le moyen terme. Il n'est pas rare de voir un chien boiter une quinzaine de jours ou plus après une arthrotomie.

Dans notre pratique, nous avons plutôt tendance à ne pas ouvrir les genoux « aigus » et de surveiller l'évolution avec le temps. Sur des genoux « chroniques », nous pratiquons beaucoup plus volontiers une arthrotomie car les lésions méniscales sont très souvent présentes. Et plus encore si un « clac » méniscal est présent. Il signe la présence d'une lésion importante du ménisque.

6.6. Evolution arthrosique

Après une rupture du LCA, l'arthrose se met très rapidement en place et les premiers signes radiographiques peuvent apparaître environ 3 semaines après la rupture. Rappelons que l'initiation du processus arthrosique est la dégradation du cartilage. Elle est à la fois causée par des facteurs mécaniques (instabilité du grasset) et par de facteurs biochimiques (inflammation de la membrane synoviale). Sans revenir sur la théorie détaillée de l'installation de l'arthrose, elle peut être générée par des contraintes normales sur les cartilages anormaux ou par des contraintes anormales sur des cartilages normaux. C'est le deuxième cas de figure qui est rencontré dans la RLCA. Les chondrocytes vont s'activer et produire des ostéophytes en réponse aux agressions mécaniques qu'ils subissent. Les ostéophytes ainsi produits dans l'articulation du grasset se localisent à différents endroits : lèvres de la trochlée

fémorale, extrémité distale de la rotule, condyles fémoraux et tibiaux, portion crâniale du plateau tibial, extrémité caudale du plateau tibial, sésamoïdes.

7. Traitement de la RLCA hors ostéotomies

7.1. Traitement conservateur et médical

Sur les petites races de chien (globalement < 15 kg), si les propriétaires ne souhaitent pas de chirurgie, il est possible de proposer un traitement conservateur et médical associé à une physiothérapie adaptée. La gestion de la douleur est très importante, elle passe par l'administration d'AINS pendant une période allant de quelques jours à quelques semaines, accompagnée ou non de dérivés morphiniques si nécessaire (tramadol par exemple).

Lors de rupture partielle débutante, l'injection intra-articulaire de plasma riche en plaquettes (PRP) +/- acide hyaluronique semblerait donner de bons résultats dans certains cas. Le protocole d'administration dépend d'un fournisseur à l'autre mais généralement, il n'y a pas de consensus à ce jour sur la fréquence et le protocole d'administration. Dans notre pratique, nous réalisons 3 injections à un mois d'intervalle.

Les exercices de physiothérapie visent à apporter un confort articulaire dans la phase aigüe (cryothérapie en ensuite thermothérapie) et à favoriser le mouvement par la suite pour éviter l'ankylose. Le développement musculaire de la région du grasset est souhaitable afin d'obtenir une stabilisation active grâce à la masse musculaire.

7.2. Les techniques de reconstruction et de stabilisation intra et extra-articulaires

« Il y a presque autant de techniques de reconstruction ou de stabilisation du grasset que de chirurgiens orthopédistes ». Un nombre impressionnant de techniques de reconstruction, de stabilisation ou d'ostéotomies ont été inventées. Peu restent d'actualité, beaucoup sont tombées dans l'oubli.

7.2.1. Les techniques intra-articulaires

Différentes techniques de reconstruction ligamentaires ont été proposées. Les matériaux utilisés peuvent être de nature très différente (acier inoxydable, fil de soie, Nylon, Téflon, polypropylène, polytétrafluoroéthylène, polyéthylène tétraphtalate, ...). Même si l'utilisation des prothèses synthétiques intra-articulaires est séduisante et les résultats généralement bons à court terme, il en est tout autrement sur le moyen et le long terme. Rupture d'implant, libération de particules dans l'articulation avec induction d'une synovite majeure, dissémination des particules dans différents organes comme le foie, le cerveau ou les ganglions sont des effets secondaires régulièrement constatés.

Aujourd'hui, de nouveaux ligaments sont commercialisés dont le polyéthylène d'ultra haut poids moléculaire (HUMWPE). Les résultats obtenus avec de matériaux sembleraient plus prometteurs que pour les matériaux plus anciens. Il convient malgré tout de rester prudent et d'attendre les études au long terme.

Un lambeau de fascia lata peut également être utilisé pour la stabilisation intra-articulaire. Son avantage est d'être origine autologue et bien toléré. Son inconvénient majeur réside dans sa moindre résistance à l'elongation. Il peut être couplé à une technique de stabilisation extra-articulaire.

7.2.2. *Les techniques extra-articulaires*

Encore une fois, bon nombre de méthodes sont décrites avec encore une variété de matériaux notable (Fiberwire, Orthofibre, Liga fibra, polyéthylène tressé, fascia lata, ...).

Les points d'insertion des prothèses est important à prendre en considération pour une stabilisation optimale. Le centre de rotation des condyles fémoraux sur le plateau tibial se déplace avec la flexion et l'extension du grasset. Il existe néanmoins une isométrie partielle dont il convient de se rapprocher au mieux lors du percement du trou de passage de la prothèse dans le tibia proximal. Si ce point isométrique n'est respecté, la tension de la prothèse peut varier fortement au cours de la flexion et de l'extension, créant ainsi des forces de compression préjudiciables au cartilage articulaire et aux ménisques. Inversement, la prothèse peut être beaucoup trop détendue lors de la flexion ou de l'extension, ce qui peut engendrer une instabilité importante et l'apparition d'arthrose.

Toutes les prothèses sont caractérisées par une propension majeure à se distendre en fonction du nombre de cycles et/ou à se desserrer en fonction du type de nœud ou fixation. L'instabilité générée est également à l'origine d'arthrose.

Malgré ces écueils, les techniques de stabilisation extra-articulaires donnent des résultats fonctionnels satisfaisants sur des patients de taille allant jusque 15-20 kg. Beaucoup de vétérinaires pratiquent encore les techniques de stabilisation extra-articulaires lorsque par exemple, les contraintes budgétaires de propriétaires l'imposent.

8. Traitement de la RLCA par les techniques d'ostéotomie

En 1983, l'apparition de la modélisation active et de la mise en évidence de la force de poussée tibiale crâniale ont complètement révolutionné la vision biomécanique du grasset, faisant de cette articulation un ensemble mécanique complexe. Jusqu'alors, seulement les ligaments croisés étaient vus comme les éléments stabilisateurs du genou dans le plan sagittal et en rotation interne.

Slocum et Slocum ont établi un modèle qui est toujours d'actualité et qui reste incontesté. Ils ont introduit la notion de poussée tibiale crâniale. C'est une force qui agit sur la portion proximale du tibia en l'entraînant vers l'avant. Elle est à la fois générée par le poids du corps, le quadriceps et les muscles jumeaux. Elle est contrebalancée par les muscles fléchisseurs, les ménisques et bien entendu le LCA. Elle est également accentuée par l'augmentation de la pente tibiale.

Partant de ce postulat, Slocum et Slocum proposent en 1984 une technique d'ostéotomie appelée *Cranial Tibial Wedge Osteotomy* (CTWO) dont le but est d'éliminer la subluxation tibiale crâniale pendant la phase de mise en charge. Cet effet est obtenu en réduisant la pente du plateau tibial et en l'amenant aux alentours de 0°.

Forts des bons résultats obtenus, ils mettent au point en 1983 une technique plus aboutie qui ne change pas la position de la rotule lors de l'ostéotomie et ne raccourcit pas le membre. Cette technique innovante se focalise uniquement sur basculement du plateau tibial. Elle porte le nom de *Tibial Plate Leveling Osteotomy* ou TPLO, traduite en français par ostéotomie de nivellation du plateau tibial. En modifiant la pente tibiale pour l'amener à 4° environ, le LCA n'a plus de fonction de stabilisation du genou puisque c'est maintenant l'équilibre des forces agonistes et antagonistes qui stabilisent le genou durant la phase de mise en charge. Pour résumer, le but de la TPLO n'est pas de réparer ou de remplacer la LCA mais au contraire de la rendre totalement inutile tout en permettant une stabilité du grasset pendant la phase de charge.

Preuve de son efficacité, la disparition du signe du tiroir indirect après intervention. (Pour rappel le test du tiroir est composé de deux manipulations différentes décrites au point 4.1.3). La disparition du tiroir indirect confirme la théorie de modélisation active en montrant que la force de poussée tibiale crâniale est annulée pendant la phase de charge du membre après TPLO.

Pendant de nombreuses années, la technique de la TPLO étant sous patente, seuls les chirurgiens qui avaient suivi les cours de *Slocum Enterprise* pouvaient se procurer les implants de TPLO et mettre la technique en œuvre. Devant l'indiscutable qualité des résultats obtenus, d'autres techniques similaires ont été mises au point pour contourner ce monopole, d'où les techniques d'ostéotomies inventées dans les 30 années qui ont suivi la mise au point de la TPLO.

Pour n'en citer que quelques-unes, la *Triple Tibial Osteotomy* (TTO), la *Chevron Wedge Osteotomy* (CVWO), la *Proximal Tibial Intraarticular Osteotomy* (PTIO) ou encore la *Tibial Tuberosity Advancement* (TTA).

La TTA part d'un postulat biomécanique différent de celui de la TPLO disant que la résultante des forces appliquées sur le genou est approximativement parallèle au tendon tibiorotulien. Et donc, que si ce tendon est orienté perpendiculairement au plateau tibial, il n'y a plus de force de cisaillement pendant la phase de mise en charge du membre. Le LCA n'a donc plus de fonction, comme pour la TPLO.

Une technique supplémentaire nommée *CORA Based Leveling Osteotomy* (CBLO) a été proposée par Hulse en 2013. C'est en quelque sorte une TPLO inversée. Elle présente un intérêt particulier pour les tibias à forte pente et les ruptures du LCA chez les chiens en croissance. Elle préserve en effet la plaque de croissance proximale du tibia et la crête tibiale immature. Elle a également l'avantage de rapprocher l'axe mécanique de l'axe anatomique du tibia.

Finalement, des études récentes réalisées par Guénégo et Vezzoni remettent au goût du jour la CTWO. Ils ont proposé en 2018 une *Modified Cranial Closing Wedge Osteotomy* (AMA-based CCWO) dont le but est de superposer l'axe mécanique et l'axe anatomique du tibia. Les résultats obtenus semblent prometteurs.

Un débat très animé pendant de nombreuses années opposait les partisans de la TPLO et ceux de la TTA. Mais depuis quelque temps, la TPLO tend à montrer sa réelle supériorité et à devenir le « gold standard » en matière de traitement de la

rupture du ligament croisé. Il faut également noter que c'est la seule technique, qui depuis sa création, n'a subi aucune évolution dans son protocole. Cela peut être vu comme une preuve de son efficacité. Toutes les autres techniques ont soit été abandonnées ou ont subi des modifications importantes.

8.1. La TPLO pas à pas

La TPLO est une technique reproductible et prédictible. Sa réalisation est très codifiée et les résultats postopératoires peuvent facilement être simulés sur un logiciel où même sur les calques radiographiques du patient. Si la technique est correctement réalisée, les radiographies postopératoires sont très similaires, voire identiques à la planification.

8.1.1. Réalisation des clichés radiographiques

La planification de la TPLO commence par des clichés radiographiques orthogonaux réalisés selon un protocole précis.

La radiographie de profil est particulièrement importante. Le patient doit impérativement être à minima sédaté pour obtenir des clichés parfaits. Le fémur doit être perpendiculaire au tibia, les condyles fémoraux doivent être superposés. Le tarse est également fléchi à 90°. Le tibia doit être visible sur toute sa longueur et l'éminence intercondylienne parfaitement identifiée. Les rayons X sont centrés sur la partie proximale du tibia. Il n'est pas toujours aisés d'obtenir des condyles fémoraux parfaitement superposés mais ce point n'est pas essentiel, c'est la qualité de l'image du tibia qui prime.

Le cliché de face est réalisé le chien positionné sur le ventre et le membre à examiner tendu vers l'arrière. Cette position permet de positionner le tibia au plus près du capteur et sans distorsion. Une fois de plus, c'est l'image du tibia qui compte, pas celle du fémur. Généralement, pour obtenir un bon cliché avec un tibia parfaitement de face, le calcanéum est légèrement tourné vers l'extérieur avec un angle approximatif de 15°. Les rayons sont également centrés sur le tibia proximal.

8.1.2. Planification de l'ostéotomie

Une fois les clichés réalisés, il faut planifier l'ostéotomie. Plusieurs méthodes sont possibles mais souvent elle est effectuée à l'aide d'un logiciel. La plupart des systèmes d'exploitation DICOM fournis avec le système de radiologie numérique le permettent et il existe un logiciel commercial très adapté (vPOP^{pro}). Il permet de réaliser toutes les mesures nécessaires et contient une base de données très large comprenant la plupart des implants disponibles pour la TPLO. Il devient donc possible de prédire le résultat postopératoire.

Les règles de planification sont simples mais strictes. Sur le cliché de profil, la pente tibiale est calculée précisément. Pour la déterminer, 4 points de repères sont utilisés. Une première ligne passe proximalement par les éminences intercondyliennes et distalement par le centre d'un cercle superposé au talus. La deuxième ligne passe par la base du plateau tibial crânialement et par le point le plus distal du plateau tibial caudalement. La pente est calculée entre cette seconde ligne et une ligne tracée perpendiculairement à la première.

Lorsque la pente tibiale est connue, il faut réaliser la coupe et la rotation du massif proximal pour obtenir une pente tibiale finale de 4°. Cette manipulation est très simple sur vPOP^{pro}. Pour un chien de taille moyenne (entre 25 et 35 kg environ), il faut laisser au moins 1 cm de crête tibiale afin d'éviter une fracture. Cette taille est inférieure sur les petits chiens et augmente sur les grands formats. Il faut donc veiller à choisir un gabarit de scie adapté à la morphologie du tibia.

Finalement, le logiciel permet de choisir et de positionner la plaque nécessaire à la stabilisation. Plusieurs types de plaques sont disponibles dans la base de données.

8.1.3. Préparation chirurgicale du patient

L'idéal est de doucher le patient la veille à l'aide d'un shampoing moussant afin d'éliminer une grosse partie des squames, les poussières et éventuelles traces d'urine ou de matières fécales sur le poil. La présence d'un antiseptique peut être intéressante (chlorhexidine par exemple).

Le membre doit être tondu méticuleusement dans son intégralité jusqu'au-dessus de la hanche. Une tondeuse spécifiquement dédiée aux procédures orthopédiques est utilisée. Elle doit être totalement propre et la lame désinfectée à minima. Dans notre pratique, nous utilisons des tondeuses préalablement stérilisées à l'oxyde d'éthylène.

L'extrémité de la patte est enveloppée par une bande jusqu'au tarse afin de cacher les poils qui n'auraient pas pu être tondu. Après la tonte, un premier nettoyage est réalisé en salle de préparation avec un shampoing à la chlorhexidine.

Une péridurale est pratiquée avec 0,1 mg/kg de morphine et 2-4 mg/kg de lidocaïne. Le mélange peut être dilué avec un peu de sérum physiologique pour atteindre un volume de 0,05 à 0,1 ml/kg, sans dépasser 6 ml par animal.

Le patient est ensuite passé au bloc opératoire où aura lieu l'asepsie. Il est positionné sur le dos, le membre à opérer suspendu à une potence. Cette dernière est réalisée à l'aide d'un mélange de chlorhexidine diluée à 10 % dans de l'alcool à 70°. L'asepsie est réalisée pendant 5 minutes de manière centrifuge par rapport au site opératoire. Une fois réalisée, on laisse sécher la peau pendant 5 bonnes minutes.

Vient ensuite l'étape du drapage chirurgical. L'intégralité du corps du patient et de la table doivent être recouverts. Un champ unique de 3m x 2 m avec une fenêtre centrale élastique est posé jusqu'à mi-cuisse. Ensuite, un champ collant englobe la totalité du membre qui dépasse. Le patient est ainsi prêt pour la chirurgie.

Une injection IV unique de céfazoline à la dose de 30 mg/kg est réalisée 30 minutes avant la première incision.

8.1.4. Déroulé de l'intervention

La technique utilisée à la Clinique Sirius est une adaptation de celle préconisée par l'AO. Les variations ne sont que des trucs et astuces, ne changeant en rien le fondement de la réalisation d'une TPLO.

Une incision cutanée longitudinale d'une dizaine de cm environ est pratiquée distalement en regard du condyle fémoral médial et s'étend jusqu'à la métaphyse

tibiale médiale en prenant soin de s'arrêter avant le faisceau vasculonerveux saphène. Les petits vaisseaux sont coagulés au bistouri bipolaire, il ne faut pas souiller les champs.

Une mini arthrotomie médiale est réalisée environ 1 cm parallèlement au tendon tibiorotulien. L'arthrotomie permet de retirer les lambeaux de LCA abîmés, de traiter les lésions méniscales si besoin et de pratiquer un lavage articulaire abondant. Celui-ci est bénéfique pour l'articulation, il permet l'élimination des facteurs inflammatoires libérés par la rupture du ligament croisé rompu. La capsule articulaire est suturée à l'aide d'un surjet simple au monofilament résorbable. Dans certains cas, nous ne pratiquons pas d'arthrotomie, notamment en cas de RLCA partielle ou en cas de rupture récente. Nous estimons que dans ce cadre les lésions méniscales sont minimes ou inexistantes et qu'elles ne nécessitent pas de traitement. Cette supposition n'engage que nous, elle est basée sur les résultats postopératoires excellents sans arthrotomie sur plusieurs centaines de cas.

Une fois l'arthrotomie terminée, La face médiale du tibia est dégagée. Le tissu cellulaire sous cutané est disséqué au bistouri électrique. Le muscle sartorius est levé de son insertion distale. Il met au jour le ligament collatéral médial, l'insertion tibiale du muscle poplité et la capsule articulaire.

Le fascia qui recouvre la métaphyse tibiale médiale est élevé soigneusement à bistouri monopolaire ou à l'élévateur à périoste jusqu'à découvrir la pointe de la crête tibiale.

L'insertion tibiale du muscle poplité est élevée à l'aide d'un élévateur à périoste qui longe ensuite le cortex caudal jusqu'au cortex latéral, entre le tibia et la fibula. Une attention toute particulière est portée à la protection de l'artère poplitée. Cette dernière est protégée par une compresse humide entière placée dans la brèche. Un écarteur de Hohmann peut être placé entre la compresse et l'os afin de protéger encore plus l'artère poplitée d'une éventuelle lésion. La mise en place d'une compresse est contestée car elle crée un traumatisme supplémentaire en écartant les muscles et peut générer des petits fragments de tissus avec le sciage du tibia. Ces fragments pourraient être à l'origine d'une infection ou d'une inflammation persistante sur le long terme. Dans notre pratique, nous ne l'avons jamais constaté. Le tendon tibiorotulien est protégé également par un écarteur de Hohmann pour éviter un traumatisme pendant le sciage.

Pour faciliter le repère de l'éminence intercondylienne, 3 petites aiguilles sont insérées au travers de la capsule articulaire parallèlement au plateau tibial. La première est placée dans un alignement approximatif de 5 mm en avant du cortex caudal. Elle permet de matérialiser l'éminence intercondylienne. La seconde crânialement à la base du plateau tibial et la dernière au niveau de l'extrémité caudale du plateau tibial. Les 3 aiguilles ainsi placées sont des repères fiables de l'emplacement du plateau tibial. L'aiguille centrale servira de repère pour le placement du centre de la scie semi-circulaire. Le centre de la scie est dans l'alignement de l'aiguille.

Après planification manuelle ou assistée par ordinateur, le diamètre de la scie est choisi. La lame est posée sur le cortex tibial médial. Elle doit être parfaitement perpendiculaire au tibia dans un plan et parfaitement perpendiculaire à la table dans l'autre plan, le tibia étant parfaitement positionné à plat sur la table. Il faut veiller à laisser 1 cm de crête tibiale sur un chien de taille moyenne (25-35 kg). Un peu plus sur les très grands chiens, moins sur les petits. Le centre de la lame est dans le prolongement de l'aiguille implantée sur l'éminence intercondylienne.

Il faut maintenant mesurer la longueur de basculement sur l'arc de cercle de la scie pour obtenir une pente tibiale de 4°. Cette longueur (en mm) est préalablement mesurée par planification informatique ou grâce à la formule mathématique $2 \times R \times \sin(\pi \times \text{angle de correction}/360)$. Où R est le rayon de la scie.

Une première entame de la corticale est réalisée sur quelques millimètres de profondeur. Caudalement, la scie doit être perpendiculaire à la corticale. Un ciseau à os est utilisé pour graver un premier repère sur le massif proximal. Un deuxième repère est gravé dans le massif distal après mesure au compas de la distance à basculer. La scie est repositionnée dans l'entame et le sciage complet du tibia peut avoir lieu. Il doit se faire sous irrigation constante. Il faut veiller à ne pas couper la fibula ni léser l'artère poplitée.

Une fois le sciage terminé, la compresse est délicatement retirée et on vérifie si les saignements ne sont pas trop importants. En cas de lésion de l'artère poplitée une compression est maintenue pendant plusieurs minutes.

Une broche de 3 mm de diamètre est insérée dans le massif proximal, juste à la base du plateau tibial en direction crânio-caudale et le plus parallèlement possible au plan sagittal du tibia. Cette broche est destinée à réaliser la bascule du massif proximal en vue d'aligner les deux repères gravés dans l'os. Une fois les repères alignés, un davier à pointe est positionné obliquement entre la crête tibiale et la portion caudale du plateau tibial. Le davier est serré fortement et il réalise une compression du massif proximal contre le massif distal. Une broche supplémentaire de 1,6 mm de diamètre est insérée depuis la crête tibiale dans le massif proximal. Son rôle est de stabiliser le massif proximal en plus du davier pendant la fixation.

La plaque choisie sur la planification chirurgicale est posée sur le tibia. La fixation des vis suit un ordre bien précis afin d'obtenir une compression interfragmentaire. La séquence d'insertion est décrite dans le schéma ci-dessous.

Une fois la plaque posée, le davier est retiré. Un rinçage abondant est effectué au sérum physiologique et un écouvillon par la bactériologie est réalisé. Les tissus mous sont fermés plans par plan et un simple pansement collé est posé sur la peau. Des clichés radiologiques sont tirés immédiatement en postopératoire, de face et de profil selon les mêmes conditions qu'au point 8.1.1. Ils permettent d'évaluer la bonne réalisation de travail et le cas échéant de décider d'une révision immédiate en cas de mauvaise réalisation de la chirurgie (vis trop longues ou trop courtes, mauvais positionnement de la plaque, défaut ou excès de pente tibiale, etc.).

8.2. Consignes postopératoires

Les consignes postopératoires immédiates sont simples mais strictes. L'ostéotomie étant très fermement stabilisée par la plaque et les vis verrouillées, le patient peut mettre en charge le membre juste après la chirurgie. La reprise fonctionnelle doit être la plus rapide possible mais aussi progressive.

Généralement, une phase de repos strict de 3 à 4 semaines est indiquée. Pendant cette période, le chien a le droit de se déplacer modérément dans la maison et les balades hygiéniques seront réalisées en laisse à raison de 3 à 4 fois par jour pendant 5 à 10 minutes. De préférence, il ne restera pas seul. Le port du carcan est conseillé mais pas obligatoire si une surveillance constante est possible.

Au bout d'un mois environ, la fréquence et la longueur des sorties vont progressivement augmenter pour atteindre une activité normale au bout de 3 à 4 mois. Après une TPLO, il est attendu qu'un chien sportif (canicross, agility, obéissance, chasse, sauvetage, etc.) retourne à son niveau sportif entre 5 et 6 mois postopératoire.

8.3. Réhabilitation après TPLO

Quel que soit l'intervention chirurgicale, on distingue trois phases de cicatrisation : la phase inflammatoire, la phase proliférative et la phase de remodelage.

Concernant la peau et les tissus sous cutanés, la phase inflammatoire dure environ 72 heures. Elle se caractérise par le trio chaleur-douleur-rougeur. La plaie chirurgicale peut être considérée comme étanche au bout de 5 heures mais elle reste fragile pendant la phase inflammatoire.

La phase proliférative dure entre 7 et 14 jours. Pendant cette période, on constate une angiogenèse, une fibroplasie et la production de collagène. L'épithérialisation commence et la cicatrice devient de plus en plus solide. Au bout de 14 jours, la cicatrice est complètement fermée et solide.

Finalement, la phase de remodelage dure plusieurs mois. Elle correspond au remodelage du collagène et du tissu conjonctif. La cicatrice se contracte et du nouveau collagène est déposé.

Les tendons, ligaments et fascias sont moins vascularisés, ils mettent environ 1 an avant de récupérer leur résistance maximale.

Les muscles mettent 6 semaines à 6 mois pour regagner leurs propriétés d'origine.

Finalement l'os récupère sa résistance maximale au bout de 3 mois environ pour une TPLO.

Au regard de ces éléments, il faut adapter les exercices de réhabilitation en fonction de l'évolution des différents tissus. Plusieurs techniques peuvent être utilisées au cours des différentes phases. Il n'existe pas de recettes établies à appliquer sur les patients qui ont bénéficié d'une TPLO. Les moyens thérapeutiques et exercices devront être adaptés au cas par cas en fonction de différents facteurs comme l'âge du patient, son statut physiologique (maigre, normal, obèse), la présence ou non de

pathologies intercurrentes, qu'elles soient métaboliques ou orthopédiques. Voici quelques exemples de techniques de revalidation.

8.3.1. Pendant la phase aigüe

Ce qui est souhaité pendant la phase aigüe, c'est de récupérer la totalité de l'amplitude articulaire sur un animal ambulatoire sans assistance. On souhaite maîtriser les effets de l'inflammation comme la douleur, les effusions liquidiennes, la diminution de mobilité et l'atrophie musculaire.

La cryothérapie est très efficace pour le contrôle de la douleur et de l'inflammation. Ses différents effets sont :

- Une vasoconstriction,
- Une diminution du flux sanguin,
- Une diminution du métabolisme et de la perméabilité cellulaire,
- Une diminution de l'œdème,
- Une diminution de l'excitabilité musculaire ce qui entraîne une diminution des spasmes musculaires,
- Un effet analgésique,
- Une augmentation de l'amplitude de mouvement passif en postopératoire immédiat

La cryothérapie peut être facilement mise en œuvre au chevet du patient pendant l'hospitalisation ou à la maison. Elle demande peu de matériel. Des packs de glace ou un gel approprié peuvent être utilisés. Il est important de ne jamais mettre la glace directement au niveau de la peau. Le pack sera glissé dans une serviette par exemple.

L'application de froid peut être avantageusement couplée à une mise compression intermittente du membre opéré. Il existe des attelles de cryothérapie dotées d'un système de gonflement manuel ou électrique programmable. La thérapie par compression froide a montré ses effets supérieurs à cryothérapie seule chez l'homme et chez le chien. Ce type d'attelle peut être utilisé dès la sortie du bloc à raison de 4 séances par jour de 20 à 25 minutes. L'idéal est de poursuivre le traitement à domicile pour une durée de 4 à 5 jours.

La glace est laissée en place pendant 15 à 20 minutes en postop immédiat et le traitement est poursuivi pendant 3 à 4 jours à la fréquence de 3 fois par jour et à raison de 15-30 minutes par séance.

Le LASER est un outil régulièrement utilisé par les physiothérapeutes. Il est réputé pour :

- Stimuler la cicatrisation et diminuer la douleur,
- Accélérer la réparation tissulaire,
- Diminuer l'inflammation,
- Faciliter la fonction et la division cellulaire,
- Augmenter la synthèse des protéines et des facteurs de croissance,
- Augmenter les compétences du système immunitaire.

Il peut être appliquer quotidiennement pendant 24 à 72 heures et une fois par semaine ensuite.

La stimulation neuromusculaire agit à différents niveaux :

- Elle est indiquée en cas d'atrophie musculaire,
- Elle diminue la douleur et l'œdème,
- Elle réduit les spasmes musculaires,
- Elle augmente l'amplitude de mouvement et la résistance du muscle.

2 à 3 sessions par semaine sont conseillées, c'est un adjuvant à la rééducation.

Les exercices d'étirement et d'amplitude articulaire sont également très intéressants car :

- Ils préviennent les adhérences entre les os et les tissus mous (maladie fracturaire chez les jeunes),
- Ils améliorent l'extensibilité des muscles,
- Ils protègent la capsule articulaire, les muscles et les tendons de potentielles lésions,
- Ils diminuent la douleur,
- Ils améliorent le flux sanguin et lymphatique,
- Ils améliorent la production de liquide synovial et la diffusion des nutriments.

Chaque exercice doit être répété 15 à 20 fois 2 à 4 fois par jour. Une pression ou un étirement constant est appliqué pendant 15 à 30 secondes à la fin de chaque flexion ou extension. Il ne faut jamais excéder une amplitude qui deviendrait douloureuse pour le patient.

Finalement, **les exercices posturaux** participent également à la récupération de la souplesse, de la musculation et de la récupération de l'amplitude articulaire. Pour exemple, citations :

- Assis-debout,
- Se tenir sur trois pattes,
- Prendre une friandise sur une chaise ou une table basse,
- Danse,
- Se tenir debout sur des disques de proprioception.

8.3.2. Pendant la phase avancée

La phase de revalidation avancée débute environ 15 à 30 jours postop. Elle est initiée lorsque l'amplitude de mouvement est récupérée et lorsque la boiterie et l'inflammation sont maîtrisées. Son but est d'augmenter l'endurance et la force musculaire. Plusieurs outils sont à disposition.

La plateforme de déséquilibre est très utile après neurochirurgie et toute chirurgie orthopédique. Elle stimule la proprioception et renforce le tonus musculaire. Plusieurs séances par semaine peuvent être réalisées. Leur durée est variable selon la capacité du patient à rester dessus sans trop de fatigue. Il existe des outils très simples et peu onéreux (planche circulaire fixée sur une demi sphère) ou des

plateformes électriques avec différents programmes qui permettent un exercice doux ou au contraire renforcé (Imoove).

L'utilisation de **la piscine** et du **tamis immergé** est très intéressante. La viscosité de l'eau renforce les muscles et aide le système cardiovasculaire. La pression hydrostatique produit une contrainte constante sur le membre affecté, elle aide au drainage lymphatique et veineux. Elle diminue également la douleur. 2 à 3 séances par semaine peuvent être envisagées, leur durée dépendant de la fatigabilité du patient. Plus les séances avanceront, plus le chien sera endurant et le temps pourra être augmenté.

8.3.3. Phase de retour à l'activité normale

Cette dernière phase a pour but de ramener le patient à une activité totalement normale (chasse, agility, course, etc.).

Le jogging et la course sont un excellent moyen de finaliser la rééducation. Il faut néanmoins que le quadriceps ait récupéré 80 % de sa taille initiale, ce qui prend environ 12 semaines. La durée des séances augmente progressivement en fonction des capacités du chien.

8.4. Complications de la TPLO

Comme toute intervention chirurgicale, la TPLO est sujette à complications. Ce thème a été beaucoup étudié et les publications à ce sujet ne manquent pas. Globalement, même si le taux de complications semble élevé selon certaines études (jusqu'à 34%), le taux de satisfaction des propriétaires peut être jugé bon, très bon et excellent jusqu'à 98% selon les publications.

Les taux parfois élevés de complications mentionnés dans la bibliographie doivent être pondérés en fonction du type d'incident rencontré. A titre d'exemple, un œdème postopératoire qui n'a aucune répercussion sur le résultat à long terme est néanmoins comptabilisé dans les complications possibles.

Les complications peuvent être classées selon différents critères comme le moment de leur survenue par rapport à la chirurgie, qu'elles touchent les tissus durs ou les tissus mous, la réalisation d'une procédure bilatérale simultanée ou encore le type d'implants utilisés (ex : vis verrouillées vs. vis standard).

Concernant les tissus mous

Lors de la chirurgie, **des lacérations** de vaisseaux sanguins, du tendon tibiorotulien, du ligament collatéral médial ou encore du tendon du long extenseur des doigts peuvent survenir. Ces lésions peuvent être causées par la scie ou les instruments utilisés lors de la chirurgie.

L'artère poplitée génère un saignement très important lorsqu'elle est lacérée. Cela ne se produit dans moins d'1% des cas. Il est possible de l'éviter en plaçant des compresses entre le cortex caudal et les muscles caudaux. Néanmoins, les compresses favoriseraient la luxation du tendon du long extenseur des doigts et laissent des microfragments de tissu qui peuvent provoquer une infection ou une fistule.

Toutes ces complications peropératoires peuvent être évitées pour la plupart avec l'expérience du chirurgien.

En postopératoire immédiat, il est possible de constater **une inflammation, un écoulement et/ou sérome** qui peuvent causer douleur et boiterie. Les cas sévères peuvent engendrer un retard de cicatrisation, voire une déhiscence de plaie et une infection.

L'incidence des **infections du site opératoire** (ISO) varie de 0,8 à 25,9 % selon les publications et elle est considérée comme plus importante que les autres procédures orthopédiques stériles.

Plusieurs causes ont été identifiées comme l'expérience du chirurgien, l'obésité, la durée de l'anesthésie et de l'intervention, certaines prédispositions raciales (Berger allemand) ou encore l'utilisation d'implants non verrouillés sur des chiens de plus de 50 kg. D'autres facteurs prédisposants comme une dissection trop importante des tissus, l'utilisation de propofol, le type de surface des implants ou encore une couverture médiocre par les tissus mous sont aussi à l'origine d'infections postopératoires.

Sur le long terme, les infections des tissus mous peuvent conduire à une ostéomyélite.

Le taux d'infection rapporté est généralement plus grand sur les chiens de plus de 50 kg que sur les autres patients.

Les études menées sur l'administration d'une antibiothérapie postopératoire sur l'incidence du développement des infections sont parfois contradictoires. Il est aujourd'hui préférable de ne pas administrer d'antibiothérapie systématique en postopératoire sauf dans les cas à risque (infection cutanée, procédure très longue, erreur d'asepsie, ...).

La présence de germes multirésistants peut entraîner à terme une ablation du matériel d'ostéosynthèse (AMO). Le retrait devrait avoir lieu le plus tard possible, au minimum trois mois après l'intervention chirurgicale afin que l'os soit suffisamment cicatrisé. Les germes couramment rencontrés sont les staphylocoques (*aureus*, *pseudointermedius*), les streptocoques ou encore des entérobactéries.

Si elles ne sont pas traitées correctement, les infections des tissus mous peuvent à terme se propager aux tissus durs et provoquer une ostéomyélite.

L'infarctus médullaire est un syndrome qui résulte d'une interruption de l'apport sanguin médullaire. C'est une complication peu fréquente que l'on rencontre parfois dans les procédures de remplacement totale de la hanche. Un cas a été décrit suite à une TPLO. L'infarctus médullaire peut causer douleur et boiterie mais néanmoins, il ne nécessite pas de reprise chirurgicale. La gestion de cette complication est purement conservative.

Des lésions méniscales retardées sont constatées dans 0,7 à 13 % des cas selon les études. Elles peuvent survenir quelques semaines à quelques mois suivant l'intervention. Il est recommandé de traiter ces lésions de manière chirurgicale par

arthrotomie ou arthroscopie. Le traitement de choix consiste la plupart du temps à une méniscectomie subtotale à totale.

Finalement, **l'épaississement du tendon tibiorotulien** est rencontrée dans 80 à 100 % des cas. Cette complication peut dans certains cas provoquer boiterie et douleur mais la plupart du temps elle reste inaperçue et seulement une constatation radiographique au premier contrôle postopératoire. La gestion de cette complication est conservative ou médicale si nécessaire.

Concernant les tissus durs

Les fractures de la fibula surviennent peropératoire (0,1 à 2,4%) ou postopératoire (0,4 à 15%). Les causes sont variées. Le taux de fracture augmente avec l'obésité, un pente tibiale importante en préopératoire, une rotation large du plateau tibial et lors de réalisation de TPLO sans JIG. La gestion des fractures de la fibula est exclusivement conservative et ne nécessite pas de reprise chirurgicale.

Lors de la réalisation de **TPLO bilatérale simultanée**, il n'y aurait pas d'augmentation du taux de complications mineures ou majeures si des implants verrouillés sont utilisés. Par contre, la réalisation d'une CCWO et TPLO simultanée peut générer jusqu'à 77,8% de complications.

Les fractures du tibia sont rencontrées dans 0,04 à 9 % des procédures selon les études et elles nécessitent une reprise chirurgicale immédiate. Le risque de fracture est majoré par l'utilisation d'un JIG avec une broche de diamètre trop important ou traversant le transcortex.

La fracture ou l'avulsion de la crête tibiale représentent entre 0,4 et 9% des complications. Les causes sont une traction exagérée sur la crête par le tendon tibiorotulien, la géométrie de la crête tibiale ou encore une mauvaise ostéotomie. Cette complication est majorée lors de procédure simultanée (22,7 à 40 %). La plupart du temps, une gestion conservative peut suffire mais il est parfois nécessaire de réintervenir chirurgicalement afin de fixer la crête (hauban et cerclage).

Elle peut également se produire chez les petits chiens si le basculement du massif proximal est élevé (dépasse la zone d'insertion du ligament tibiorotulien) ou si la largeur de crête tibiale résiduelle est de moins de 6 millimètres.

L'apparition d'ostéosarcome sous implant a été évoquée. Elle reste exceptionnelle et aucun lien de cause à effet n'a été mis en évidence de manière ferme.

La fracture patellaire représente entre 0,09 et 2 % des complications totales. Elle serait causée par un excès de correction de la pente tibiale lors de la TPLO. Il a été démontré que les pentes inférieures à 5° augmentaient le risque de fracture patellaire. Une pente trop faible a pour conséquence d'augmenter la force exercée par le quadriceps sur la rotule. De plus, une ostéotomie dont le centre de rotation se situe en arrière de l'éminence intercondylienne a tendance à la déplacer crânialement et à encore augmenter la force de traction sur le quadriceps, majorant ainsi le risque de fracture patellaire. Le diagnostic de fracture patellaire est parfois posé longtemps après la chirurgie (de 30 jours à 6 mois postop). La fracture

patellaire ne nécessite pas systématiquement de révision chirurgicale, le traitement conservateur suffit dans la plupart des cas.

La luxation médiale de la rotule (LMR) peut apparaître en postopératoire sur toutes les tailles de chien. Plusieurs causes ont été identifiées ou sont suspectées : la présence d'un varus tibial ou fémoral subclinique, une torsion tibiale ou une déformation angulaire causée lors de la TPLO, une atrophie musculaire postopératoire, la fermeture du rétinacle médial avec trop de tension, un lâchage de sutures, une effusion articulaire importante après chirurgie ou encore une LMR préexistante et non évaluée. La correction est d'ordre chirurgical et les résultats sont excellents dans 76 % des cas.

Une torsion ou une déformation angulaire du tibia sont possibles si l'ostéotomie est mal réalisée ou si un gap est présent sur le site d'ostéotomie lors de la fixation.

En postopératoire, il est également possible que le plateau tibial subisse **un retour vers sa position initiale**. Les causes possibles sont une défaillance des implants, une mauvaise compression ou encore un plateau tibial trop friable. Ce phénomène est appelé « rock back » du plateau.

Complications liées aux implants

Elles représentent un peu moins de 10% des complications totales.

Il est possible de constater la présence de **broches, de vis ou de mèche cassées dans l'articulation**. Cela nécessite une correction chirurgicale immédiate. La présence de vis dans l'articulation peut arriver si une plaque est contournée proximalement avec des angles fixes pour l'insertion des vis. Il faut de manière générale éviter de contourner les plaques TPLO car elles sont modelées pour répondre à la quasi-totalité des conformations tibiales.

Les vis peuvent casser ou débricoler dans 1 à 4% des cas. Il n'est pas toujours nécessaire de réintervenir chirurgicalement si seulement une ou deux vis ont subi des dommages. Il n'est pas rare de réaliser un contrôle postopératoire de routine à J30 ou J60 et de constater des vis cassées, des têtes de vis cassées ou des vis partiellement débricolées sans qu'aucune récurrence de boiterie ne soit survenue.

Un cas de **plaqué cassée** a été constaté dans notre pratique. Il semble que cette complication n'ait jamais été publiée.

Le taux d'AMO sur implants TPLO est de 2,7 à 4,8%.

Persistance de l'instabilité du grasset

Une **rotation insuffisante du massif proximal** durant le TPLO peut entraîner une conservation de la poussée tibiale crâniale et donc d'une boiterie plus ou moins prononcée. Un défaut de rotation du plateau peut être causé par une synostose entre le tibia et la fibula. Il est donc parfois nécessaire de pratiquer une ostéotomie fibulaire proximale par abord latéral.

Un « **pivot shift** » peut également apparaître en postopératoire. Il s'agit d'une rotation interne non contrôlée lors de la phase de mise en charge. Les causes probables sont une torsion tibiale, une déformité angulaire, une rotation interne

excessive du tibia ou encore une combinaison de ces facteurs. Il semblerait que les chiens ayant subi une ménisctomie médiale auraient un taux de pivot shift plus élevé. Le taux rapporté du pivot shift serait d'environ 3%.

Comment prévenir les complications ?

Malgré un taux de complication relativement élevé, seulement 2 à 10% des procédures nécessitent une révision chirurgicale. La plupart des complications peuvent être gérées de manière conservative avec un excellent taux de réussite quand elles sont identifiées précocement et correctement traitées.

Les complications rencontrées dans les TPLO peuvent pour la plupart être évitées grâce à l'expérience du chirurgien, par un planning préopératoire rigoureux et une exécution minutieuse. La connaissance des facteurs de risques et des erreurs techniques possibles peropératoire permet d'agir de manière appropriée pour diminuer le taux de complications postopératoires.

9. Conclusions

La complexité de l'articulation du grasset a été vérifiée dans l'exposé de ces quelques lignes. Enormément de travaux y ont été consacré et d'autres sont encore en cours. Ils apportent chacun leur lot de nouvelles conclusions qui aident le vétérinaire à mieux appréhender la RLCA et d'orienter le client vers le meilleur traitement pour son chien.

Il semblerait aujourd'hui que la TPLO montre sa supériorité par rapport aux autres techniques même s'il faut rester prudent sur cette allégation. Lorsqu'elle est correctement planifiée et réalisée, les résultats fonctionnels sont très bons à excellents malgré un taux de complication global assez élevé, toutes complications confondues.

Dans notre pratique quotidienne, nous réalisons la TPLO sur tout type de chien, quelque soit son âge, son poids, sa taille ou sa conformation avec une satisfaction finale du client très élevée.

10. Bibliographie

1. Atherton M.-J.: & all.: Osteosarcoma of the tibia 6years after tibial plateau leveling osteotomy. JAAHA 48:3 Mai/June 2012.
2. Barkowski V.-J. & all.: Surgical technique and initial clinical experience with a novel extracapsular articulating implant for treatment of the canine cruciate ligament deficient stifle joint. Vet Surg, 45: 804-815, 2016.
3. Barnhart M.-D. & all.: Evaluation of an intra-articular synthetic ligament for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs: a six-month prospective clinical trial. VCOT, 6: 491-498, 2016.
4. Bergh S.-M. & Peirone B.: Complications of tibial plateau levelling osteotomy in dogs. VCOT, 5/2012.
5. Bergh M.-S. & all.: Systematic review of surgical treatments for cranial cruciate ligament disease in dogs. JAAHA, 50: 315-321, 2014.
6. Bilmont A. & all.: Effect of tibial plateau levelling osteotomy on cranial tibial subluxation in the feline cranial cruciate deficient stifle joint: an ex vivo experimental study. VCOT, DOI: 10.1055/s-0038-165960.
7. Brioschi V. & Arthurs G-I.: Cranial cruciate ligament rupture in small dogs (<15 kg): a narrative literature review. JSAP, 1-14, 2021.
8. Capelle K.-K. & Barnhart M.-D.: Short-term complications following single-session versus staged bilateral tibial plateau levelling osteotomies stabilized with locking plates for treatment of bilateral cranial cruciate ligament disease: A retrospective study. VCOT, DOI: 10.1055/s-0039-1693153.
9. Cheng-Chung L. & all.: In vivo three-dimensional isometry analysis of suture attachment sites for extracapsular suture stabilization. Vet Rec, DOI: 10.1002/vetr.560.
10. Christ J.-P. & all.: Modified cranial closing wedge ostectomy in 25 dogs. Vet Surg, 47: 683-691, 2018.
11. Coletti T.-J. & all.: Complications associated with tibial plateau leveling osteotomy: A retrospective of 1519 procedures. CVJ/ VOL 55/ MARCH 2014.
12. Cook J.-L. & all.: Multiple injections of leukoreduced platelet rich plasma reduce pain and functional impairment in canine model of ACL and meniscal deficiency. Journal Orthopaedic Research, 607-615, 2016.
13. Cook J.-L.: Cranial cruciate ligament disease in dogs: biology versus biomechanics. Vet Surg, 39:270-277, 2010.
14. D'Amico L.-L. & all: The effects of a novel lateral extracapsular suture system on the kinematics of the cranial cruciate deficient canine stifle. VCOT, 26: 271-279, 2013.
15. Drygas K.-A. & all.: Effect of cold compression therapy on postoperative pain, swelling, range of motion, and lameness after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. JAVMA, Vol 238, No. 10, May 15, 2011.
16. Duerr F.-M. & all.: Treatment of canine cranial cruciate ligament disease. A survey of ACVS diplomates and primary care veterinarians. VCTOT, 6: 478-483, 2014.

17. Flo G.-L.: Meniscal injuries. Veterinary Clinics Of North America: Small Animal Practice, 23 (4): 831-843, 1993.
18. Fox E.-A. & all.: Average tibial plateau angle of 3922 stifles undergoing surgical stabilization for cranial cruciate ligament rupture. VCOT, DOI: 10.1055/s-0039-3401811., 2020.
19. Frederick S-W. & Cross A-E.: Modified cranial closing wedge osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament insufficiency in dogs with excessive tibial plateau angles: Technique and complications in 19 cases. Vet Surg, 46: 403-411, 2017.
20. Geier C.-M & S.-W. Frederick: Evaluation of the risk of patella fracture as the result od decreasing tibial plateau angle following tibial plateau leveling osteotomy. Vet Surg, 2021; 1-6.
21. Guenego L. & all.: Comparison of tibial anatomical-mechanical axis angles and patellar positions between tibial plateau levelling osteotomy (TPLO) and modified cranial closing wedge osteotomy (AMA-based CCWO) for the treatment of cranial cruciate ligament disease in large dogs with tibial plateau slopes greater than 30° and clinically normal Labradors retrievers. BMC Veterinary Research, 17: 368, 2021.
22. Hart J.-L. & all.: Comparison of owner satisfaction between stifle joint orthoses and tibial plateau leveling osteotomy for the management of cranial cruciate ligament disease in dogs. JAVMA, Vol 249, No 4, Augustus 15, 2016.
23. Harrison J.-W. & Montavon P. : Technique extracapsulaire de stabilisation de la motilité antérieure du tibia. Schweiz. Arch. Tierheilk., 123 : 1-11, 1981.
24. Hayashi K. & all.: Cranial cruciate ligament pathophysiology in dogs with cruciate disease: a review. JAAHA, 40: 385-390, 2004.
25. Husi B. & all.: Surgical site infection after 769 tibial plateau leveling osteotomies. Front. Vet. Sci. 10:1133813. DOI: 10.3389/fvets.2023.1133813.
26. Jerram R.-M. & all.: Cranial cruciate ligament injury in the dog: physiopathology, diagnosis and treatment. NZVJ, 51 (4):149-158, 2003.
27. Kirby K & all.: Fundamental principles of rehabilitation and musculoskeletal tissue healing. Vet surg, 2019; 1-11.
28. Knebel J. & all.: Outcome after tibial plateau levelling osteotomy and modified Maquet procedure in dogs with cranial cruciate ligament rupture. VCOT, DOI: 10.1055/s-0040-1701502, 2020.
29. Knight R. & Danielski D.: Long-terme complications following tibial plateau leveling osteotomy in small dogs with tibial plateau angles > 30°. Vet Record (2018) DOI: 10.1136/vr.104491.
30. Kukori K. & all.: Histologic assessment of ligament vascularity and synovitis in dogs with cranial cruciate ligament disease. AJVR, 80 (2):152-158, 2019.
31. Lazar T.-P. & all.: Long term radiographic comparison of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular stabilization for cranial cruciate ligament rupture in the dog. Vet Surg, 34:133-141, 2005.

32. Livet V. & all.: Modified triple osteotomy for combined cranial cruciate ligament rupture, tibial deformities, or patellar luxation. JAAHA, DOI: 10.5326/JAAHA-MS-6823, 2019.
33. Marin K. & all.: Risks 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): e0247555.
34. McCarthy R.: Cranial cruciate ligament injury in dogs – are we well really making any progress? JSAP, 50: 209-210, 2009.
35. Muro N.-M. & all.: Use of a novel extracapsular bone anchor system for stabilization of cranial cruciate ligament insufficiency. JSAP, 58: 284-292, 2017.
36. Newman M.-E. & Johnson K.-A.: Suspected intramedullary bone infarct subsequent to tibial plateau levelling osteotomy in a dog. AVJ, Volume 93, No 7, July 2015.
37. Pinna S. & all.: Intra-articular replacement of a ruptured cranial cruciate ligament using the Mini-TightRope in the dog: a preliminary study. J Vet Sci, DOI: 10.4142/jvs.2020.21. e53.
38. Kim S.-E. & all.: Tibial osteotomies for cranial ligament insufficiency in dogs. Vet Surg, 37: 111-125, 2008.
39. Rafael P. : Contribution à l'étude des deux systèmes de fixation par des vis d'interférence d'un ligament croisé artificiel intra articulaire dans le remplacement du ligament croisé crânial chez le chien. Thèse n°055, Vetagro Sup, 2020.
40. Shaw K.-K. & all.: Fundamental principles of rehabilitation and musculoskeletal tissue healing. Vet Surg, DOI: 10.1111/vsu.13270, 2019.
41. Slocum B & all. Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine. Vet Clin North Am Small Anim Pract, 23(4) 777-795, 1993.
42. Smith B.: Extracapsular stabilization. AVJ, 78: 382-383.
43. Terreros A.: Modified cranial closing wedge osteotomy to treat cranial cruciate ligament deficient stifles with excessive tibial plateau angle: complications, owner satisfaction, and midterm to long-term outcomes. Vet Surg, DOI: 10.1111/vsu.13431, 2020.
44. Tonks C.-A. & all.: A review of extra-articular prosthetic stabilization of the cranial cruciate ligament-deficient stifle. VCOT, 24: 167-177, 2011.
45. Yamada E. & all.: A new technique of extracapsular restoration with a tie made of ethylene tetrafluoroethylene (ETFE) for rupture of the cranial cruciate ligament in dogs. J. Vet. Med. Sci., 58 (6): 571-575, 1996.