



EnvA
École nationale vétérinaire d'Alfort

Année 2020

**PRISE EN CHARGE EN PHYSIOTHÉRAPIE VÉTÉRINAIRE DES
PRINCIPALES AFFECTIONS ORTHOPÉDIQUES D'ORIGINE
NON NEUROLOGIQUE DU CHIEN**

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

présentée et soutenue publiquement devant

LA FACULTÉ DE MÉDECINE DE CRÉTEIL

le 18 juin 2020

par

Erwan, Lou VENTURA

Né le 05 décembre 1994 à Colmar (Haut-Rhin)

sous la direction de

Dominique GRANDJEAN

et avec la participation en tant qu'invitée de

Delphine CLÉRO

Président du jury :

1^{er} Assesseur :

2nd Assesseur :

M. Dominique GRANDJEAN

M. Mathieu MANASSERO

Professeur à la Faculté de Médecine de CRÉTEIL

Professeur à l'EnvA

Maître de Conférences à l'EnvA

Liste des membres du corps enseignant



Directeur : Pr Christophe Degueurce

Directeur des formations : Pr Henry Chateau

Directrice de la scolarité et de la vie étudiante : Dr Catherine Colmin

Directeurs honoraires : MM. les Professeurs C. Pilet, B. Toma, A.-L. Parodi, R. Morailon, J.-P. Cotard, J.-P. Mialot & M. Gogny

Département d'Elevage et de Pathologie des Équidés et des Carnivores (DEPEC)

Chef du département : Pr Grandjean Dominique - Adjoint : Pr Blot Stéphane

<p>Unité pédagogique d'anesthésie, réanimation, urgences, soins intensifs</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Fernandez Parra Rocio, Maître de conférences associée - Pr Verwaerde Patrick* <p>Unité pédagogique de clinique équine</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Audigé Fabrice - Dr Bertoni Léila, Maître de conférences - Dr Bourzac Céline, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Coudry Virginie, Praticien hospitalier - Pr Denoix Jean-Marie - Dr Giraudet Aude, Praticien hospitalier - Dr Jacquet Sandrine, Praticien hospitalier - Dr Mespouilhès-Rivière Céline, Praticien hospitalier* - Dr Moiroud Claire, Praticien hospitalier - Dr Tanquerel Ludovic, Chargé d'enseignement contractuel <p>Unité pédagogique de médecine et imagerie médicale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Benchekroun Ghita, Maître de conférences - Pr Blot Stéphane* - Dr Canonne-Guilbert Morgane, Maître de conférences - Dr Freiche-Legros Valérie, Praticien hospitalier - Dr Maurey-Guénec Christelle, Maître de conférences 	<p>Unité pédagogique de médecine de l'élevage et du sport</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Cabrera Gonzales Joaquin, Chargé d'enseignement contractuel - Dr Fontbonne Alain, Maître de conférences - Pr Grandjean Dominique* - Dr Hoummady Sara, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Maenhoudt Cindy, Praticien hospitalier - Dr Nudelmann Nicolas, Maître de conférences - Dr Ribeiro dos Santos Natalia, Praticien hospitalier <p>Unité pédagogique de pathologie chirurgicale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Decambon Adeline, Maître de conférences - Pr Fayolle Pascal - Dr Manassero Mathieu, Maître de conférences - Pr Viateau-Duval Véronique* <p>Discipline : cardiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Chetboul Valérie - Dr Saponaro Vittorio, Praticien hospitalier <p>Discipline : ophtalmologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Chahory Sabine, Maître de conférences <p>Discipline : nouveaux animaux de compagnie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Pignon Charly, Praticien hospitalier - Dr Volait Laetitia, Praticien hospitalier
---	--

Département des Productions Animales et de Santé Publique (DPASP)

Chef du département : Pr Millemann Yves - Adjoint : Pr Dufour Barbara

<p>Unité pédagogique d'hygiène, qualité et sécurité des aliments</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Bolnot François, Maître de conférences - Pr Cartier Vincent - Dr Gauthier Michel, Maître de conférences associé - Dr Mûmet Narjes, Chargée d'enseignement contractuelle <p>Unité pédagogique de maladies réglementées, zoonoses et épidémiologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Crozet Guillaume, Chargé d'enseignement contractuel - Pr Dufour Barbara* - Pr Haddad/Hoang-Xuan Nadia - Dr Rivière Julie, Maître de conférences <p>Unité pédagogique de pathologie des animaux de production</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Adjou Karim - Dr Belbis Guillaume, Maître de conférences* - Dr Delsart Maxime, Maître de conférences associé - Pr Millemann Yves - Dr Plassard Vincent, Praticien hospitalier - Dr Ravary-Plumioën Bérangère, Maître de conférences 	<p>Unité pédagogique de reproduction animale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Constant Fabienne, Maître de conférences* - Dr Denis Marine, Chargée d'enseignement contractuelle - Dr Desbois Christophe, Maître de conférences (rattaché au DEPEC) - Dr Mauffré Vincent, Maître de conférences <p>Unité pédagogique de zootechnie, économie rurale</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Arné Pascal, Maître de conférences - Dr Barassin Isabelle, Maître de conférences - Pr Bossé Philippe* - Dr De Paula Reis Alline, Maître de conférences - Pr Grimard-Ballif Bénédicte - Pr Ponter Andrew <p>Rattachée DPASP</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Wolgust Valérie, Praticien hospitalier
---	---

Département des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques (DSBP)

Chef du département : Pr Desquilbet Loïc - Adjoint : Pr Pilot-Storck Fanny

<p>Unité pédagogique d'anatomie des animaux domestiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Boissady Emilie, Chargée d'enseignement contractuelle - Pr Chateau Henry - Pr Crevier-Denoix Nathalie - Pr Robert Céline* <p>Unité pédagogique de bactériologie, immunologie, virologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Boulouis Henri-Jean - Pr Eloit Marc - Dr Lagrée Anne-Claire, Maître de conférences - Pr Le Poder Sophie - Dr Le Roux Delphine, Maître de conférences* <p>Unité pédagogique de biochimie, biologie clinique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pr Bellier Sylvain* - Dr Deshuillers Pierre, Maître de conférences - Dr Lagrange Isabelle, Praticien hospitalier <p>Unité pédagogique d'histologie, anatomie pathologique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Cordonnier-Lefort Nathalie, Maître de conférences - Pr Fontaine Jean-Jacques - Dr Laloy Eve, Maître de conférences - Dr Reyes-Gomez Edouard, Maître de conférences* <p>Unité pédagogique de management, communication, outils scientifiques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mme Conan Muriel, Professeur certifié (Anglais) - Pr Desquilbet Loïc, (Biostatistique, Épidémiologie) - Dr Legrand Chantal, Maître de conférences associée - Dr Marignac Geneviève, Maître de conférences* - Dr Rose Hélène, Maître de conférences associée 	<p>Unité de parasitologie, maladies parasitaires, dermatologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Blaga Radu, Maître de conférences (rattaché au DPASP) - Dr Briand Amaury, Assistant d'Enseignement et de Recherche Contractuel (rattaché au DEPEC) - Dr Cochet-Faivre Noëlle, Praticien hospitalier (rattaché au DEPEC) - Pr Guillot Jacques* - Dr Polack Bruno, Maître de conférences - Dr Risco-Castillo Veronica, Maître de conférences <p>Unité pédagogique de pharmacie et toxicologie</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Kohlhauer Matthias, Maître de conférences - Dr Perrot Sébastien, Maître de conférences* - Pr Tissier Renaud <p>Unité pédagogique de physiologie, éthologie, génétique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dr Chevallier Lucie, Maître de conférences (Génétique) - Dr Crépeaux Guillemette, Maître de conférences (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Gilbert Caroline (Ethologie) - Pr Pilot-Storck Fanny (Physiologie, Pharmacologie) - Pr Turet Laurent (Physiologie, Pharmacologie)* - Dr Titeux Emmanuelle (Ethologie), Praticien hospitalier <p>Discipline : éducation physique et sportive</p> <ul style="list-style-type: none"> - M. Philips Pascal, Professeur certifié
--	---

* responsable d'unité pédagogique

Professeurs émérites : Pr Combrisson Hélène, Pr Enriquez Brigitte, Pr Panthier Jean-Jacques, Pr Paragon Bernard.

Remerciements

Au Président du Jury de cette thèse, Professeur à la Faculté de Médecine de Créteil,
Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,
Hommage respectueux.

À M. Dominique GRANJEAN, Professeur à l'EnvA,
Professeur à l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort - Unité de la Médecine, de l'élevage et du sport,
Pour avoir accepté de reprendre le directorat de ma thèse et pour m'avoir apporté vos conseils et vos connaissances ainsi que pour votre investissement et vos encouragements,
Toute ma gratitude et mes sincères remerciements.

À M. Mathieu MANASSERO, Docteur à l'EnvA,
Maître de conférences à l'École Nationale Vétérinaire d'Alfort – Unité de pathologie chirurgicale,
Pour avoir accepté sans hésiter de contribuer à ce projet.
Toute ma gratitude et mes sincères remerciements.

Table des matières

Liste des figures	7
Liste des tableaux.....	11
Liste des abréviations	12
Introduction	15
PREMIERE PARTIE : LES PRINCIPALES TECHNIQUES UTILISEES EN PHYSIOTHERAPIE VETERINAIRE.....	17
1. Les effets de l'immobilisation et de la remobilisation sur les différents tissus	17
A. Les effets de l'immobilisation sur les cartilages articulaires.....	17
B. Les effets de l'immobilisation sur la capsule articulaire	18
C. Les effets de l'immobilisation sur les tissus musculaires	19
D. Les effets de l'immobilisation des segments osseux	20
E. Les effets de l'immobilisation sur les tendons et les ligaments	21
2. La kinésithérapie.....	22
A. Les exercices de mobilisation.....	22
a. Les différents exercices de mobilisation	22
• Les exercices de mobilisations passives	22
• La mobilisation active assistée.....	23
• Les exercices de mobilisation active.....	24
b. Précautions et contre-indications aux exercices de mobilisation.....	24
c. Les indications des exercices de mobilisation.....	25
d. Application pratique.....	26
• Les exercices de mobilisation passive.....	26
• Les exercices de mobilisation actives assistées.....	29
• Les exercices de mobilisation actives.....	30
B. Etirements.....	32
a. Les effets physiologiques des étirements	32
b. Les différents types d'étirements.....	33
• Étirements statiques	33
• Etirements passifs prolongés	33
• Étirements dynamiques ou balistiques.....	33
c. Les précautions à prendre et les contre-indications aux étirements	34
d. Les exercices d'étirements en pratique	34
C. Les massages.....	36
a. Les effets physiologiques des massages	36
• Les effets psychologiques des massages.....	36
• Les effets des massages sur la circulation lymphatique	36
• Les effets des massages sur la circulation sanguine.....	36
• Les effets des massages sur les tissus conjonctifs.....	37
• Les effets des massages sur les tissus musculaires	37
• Les effets des massages sur l'inflammation.....	37
• Les effets des massages sur la douleur.....	38
b. Indications	38
c. Les massages en pratique.....	39
• L'effleurage	39
• Pressions.....	40
• Pressions statiques	41
• Pétrissage.....	42
• Friction.....	42
• Percussion (hachements et tapotements).....	43

• Vibrations.....	44
d. Choix des techniques utilisées.....	44
a. Précautions et contre-indications	45
D. <i>Résumé synthétique sous forme de fiche</i>	46
3. Les ondes de choc.....	51
A. <i>Définition</i>	51
B. <i>Les générateurs d'ondes de choc</i>	52
a. Les ondes radiales	52
b. Les ondes focales	52
C. <i>Les effets biologiques des ondes de chocs extracorporelles</i>	53
a. L'effet vasculaire	53
b. L'effet sur les tissus osseux.....	54
c. Les effets sur les cartilages et chondrocytes	54
d. Les effets sur les tendons et les ligaments	55
e. L'effet anti-inflammatoire	55
f. L'effet analgésique	56
D. <i>Indications</i>	56
a. Tendinopathie et ligamentopathie	56
b. Régénération osseuse.....	57
c. Lésions cartilagineuses	57
E. <i>L'application des ondes de chocs</i>	58
F. <i>Effets secondaires et précautions à prendre</i>	59
G. <i>Contre-indications</i>	59
H. <i>Résumé synthétique sous forme de fiche</i>	60
4. L'hydrothérapie	62
A. <i>Les lois physiques et thermodynamiques de l'eau et leurs effets physiologiques</i>	62
a. La thermodynamique.....	62
b. La flottabilité et la poussée d'Archimède	63
c. La pression hydrostatique ou loi de Pascal.....	64
d. La résistance hydrodynamique	64
B. <i>Matériel nécessaire</i>	65
C. <i>Indications</i>	67
D. <i>Déroulement d'une séance d'hydrothérapie</i>	68
E. <i>Précautions et contre-indication</i>	69
F. <i>Résumé synthétique sous forme de fiche</i>	70
5. Cryothérapie	71
A. <i>Les effets physiothérapeutiques du froid</i>	71
a. Effets vasculaires et circulatoires	71
b. Effets musculaires.....	71
c. Effets sur le système nerveux.....	71
d. Effets métaboliques.....	72
B. <i>Cinétique thermique</i>	72
a. Différences de cinétiques entre les méthodes	72
b. Temps minimum d'application pour obtenir un effet optimal.	72
c. Temps de réchauffement des tissus en fonction du temps d'application de la cryothérapie	73
d. Risque de lésions liés à une cryothérapie prolongée	73
e. Durée et fréquence optimale d'une session de cryothérapie	73
C. <i>Les différentes méthodes de cryothérapie</i>	74
D. <i>Application de la cryothérapie en pratique</i>	75
E. <i>Précautions et contre-indications</i>	76
F. <i>Résumé synthétique sous forme de fiche</i>	77
6. Thermothérapie	78
A. <i>Effets physiologiques de la chaleur</i>	78
a. Les effets de la thermothérapie sur la vascularisation	78
b. Les effets de la thermothérapie sur les muscles	79

c. Les effets de la thermothérapie sur les tissus conjonctifs	79
d. Les effets de la thermothérapie sur le système nerveux	79
e. Les effets de la thermothérapie sur le métabolisme	79
B. La cinétique thermique	80
a. Temps d'application pour obtenir un effet optimal.	80
b. Risque de lésions liées à une thermothérapie prolongée	80
c. Durée et fréquence optimale d'une session de thermothérapie	80
C. Les utilisations de la thermothérapie.....	80
D. Application de la thermothérapie en pratique	81
a. Les packs de chaud	81
b. Hydrothérapie	82
c. La chaleur par radiation.....	82
d. Autres.....	82
E. Contre-indication	82
F. Résumé synthétique sous forme de fiche	83
7. Les ultrasons thérapeutiques	84
A. Les caractéristiques des ultrasons.....	84
a. Les caractéristiques générales des ultrasons	84
b. La production d'onde : l'effet piézoélectrique	84
c. La propagation des ondes	84
d. La pénétration des ondes ultrasoniques.....	85
e. L'absorption des ondes ultrasoniques	86
f. Les interfaces parasites et les agents couplants.....	86
□ L'air	86
□ Le pelage.....	87
B. Les techniques de couplage	88
C. Les variables.....	88
a. La fréquence.....	89
b. L'intensité	89
c. Le mode pulsé ou continu.....	89
d. La zone et les tissus avoisinants.....	89
e. La durée de la séance et leur fréquence	89
D. Les effets physiothérapeutique des ultrasons	90
a. Les effets thermiques des ultrasons.....	90
b. Les effets bénéfiques non thermiques des ultrasons.....	90
c. Synthèse des effets physiologiques bénéfiques des ultrasons	91
E. Indication des ultrasons.....	91
a. Les affections aiguës : Tendinite et bursite.....	91
b. Contracture articulaire	92
c. Contracture musculaire	92
d. Arthrose.....	92
e. La régénération des tissus mou	92
f. Utilisation lors de plaie ou de fracture.....	93
g. Phonophorésie : l'administration locale de principe actif	93
F. Précautions et contre-indications.....	94
G. Résumé synthétique sous forme de fiche	96
8. L'électrothérapie	98
A. Les courants à visée antalgique : Le « Transcutaneous electrical nerve stimulation » (TENS) et les courants Interférentiels : IFC	98
a. Les différents types de courant à visée antalgique utilisés et leurs paramètres	99
• Choix de l'intensité	99
b. Les effets physiologiques des courants antalgiques (TENS et IFC)	99
• Effet gate contrôle	99
• Effets sur les neurotransmetteurs et leurs récepteurs.....	100
• Réduction de l'excitabilité du système nerveux central.....	100

• Le mécanisme périphérique.....	101
• Les effets anti-inflammatoires des TENS.....	101
c. Efficacité et utilisation en médecine vétérinaire.....	101
B. La stimulation électrique neuromusculaire (NMES).....	102
a. Effets sur les fibres musculaires.....	102
b. Effets enzymatique.....	102
c. Effets sur la circulation sanguine.....	102
d. Les effets généraux des NMES.....	103
e. Effets indésirables.....	103
f. Indication de la stimulation électrique musculaire.....	103
g. Contre-indications et précaution à prendre.....	103
C. L'électrothérapie en pratique.....	104
a. L'équipement.....	104
b. Placement des électrodes.....	105
c. Durée et fréquence des séances.....	108
d. Précaution pratique à prendre.....	108
D. Résumé synthétique sous forme de fiche.....	109
9. Les thérapies laser.....	111
A. Les généralités concernant la lumière LASER.....	111
B. Mécanisme d'action des Lasers.....	113
C. La classification des lasers.....	115
D. Les modes d'émission.....	116
E. Doses thérapeutiques et paramètres.....	116
a. La fréquence ou pulsation.....	117
b. La zone de traitement.....	117
c. Fréquence des séances.....	117
F. Le mécanisme d'action de la photobiomodulation.....	118
a. L'effet sur les organelles : la fonction mitochondriale.....	118
b. Effets cellulaires.....	120
• Les effets sur la cicatrisation cutanée.....	121
• Les effets sur la cicatrisation osseuse et cartilagineuse.....	122
• Les effets sur la cicatrisation tendineuses et ligamentaires.....	123
• Les effets sur la cicatrisation des tissus nerveux.....	123
c. Effet systémique.....	124
• Effet antiinflammatoire.....	124
• Effet antalgique.....	125
• Effet antibactérien.....	126
G. Thérapie multimodale ou monothérapie laser.....	126
H. Les indications.....	127
I. La séance de thérapie laser en pratique.....	127
J. Application du laser.....	128
K. Contre-indications, précautions et fausses contre-indications.....	129
a. Contre-indications absolues.....	129
b. Contre-indications spécifiques.....	129
c. Précaution à prendre.....	129
d. Fausse contre-indication.....	130
L. Résumé synthétique sous forme de fiche.....	131
DEUXIEME PARTIE : DEROULEMENT DES PREMIERES CONSULTATIONS ET MISE EN PLACE DU SUIVI.....	133
1. Implication des différents acteurs.....	134
A. Le vétérinaire praticien ou le spécialiste en orthopédie.....	134
B. Le physiothérapeute.....	134
C. Le propriétaire.....	134
2. Déroulement de la première consultation de physiothérapie.....	135

A. Déroulement de la première consultation.....	135
a. Signalement, anamnèse et commémoratifs à prendre en compte avant d'initier un protocole de physiothérapie.....	135
b. Examen clinique général	135
c. Examen clinique orthopédique et neurologique	136
d. Mesure des amplitudes de mouvement.....	136
e. Mesure des masses musculaire.....	137
f. Évaluation du score de douleur et du score de boiterie.....	137
3. Déroulement des séances.....	141
4. Mise en place d'un suivi particulier de l'animal afin d'impliquer le propriétaire.....	141
A. Faire participer le propriétaire.....	141
a. Le faire participer aux exercices.....	141
b. Tenu d'un carnet de suivi (score de douleur, boiterie, amélioration/dégradation de l'état general)	142
B. Déroulé d'une consultation de suivi	142
TROISIEME PARTIE : ELABORATION DE FICHES PRATIQUES CONCERNANT LA PRISE EN CHARGE PHYSIOTHERAPEUTIQUE DES AFFECTIONS ORTHOPEDIQUES	143
1. Prémisses.....	143
2. Elaboration de fiches pratiques classant les techniques de physiothérapie par effets mécaniques et physiologiques.....	144
A. La rééducation fonctionnelle (proprioception et acquisition d'une démarche symétrique)	144
B. Augmentation de l'amplitude de mouvement (traitement de l'ankylose).....	144
C. Prise de masse musculaire (Traitement et prévention de l'amyotrophie)	145
D. Myorelaxation.....	145
E. Effet sur les flux circulatoires (sanguins, lymphatiques)	145
F. Effet anti-inflammatoire	146
a. En phase aiguë.....	146
b. En phase chronique	146
G. Effet antalgique	146
H. Stimulation enzymatique et cellulaire.....	146
a. Cicatrisation osseuse	146
b. Cicatrisation cutanée.....	146
3. Elaboration de guide thérapeutique concernant la prise en charge physiothérapeutique des affections orthopédiques les plus communes	148
A. Affections osseuses	148
a. Les fractures des os longs.....	148
• En cas de fracture aiguë.....	148
• En cas de retard de cicatrisation osseuse et de pseudarthrose	152
b. L'ostéomyélite.....	153
c. Les amputations d'un membre.....	153
B. Affections articulaires	154
a. Prise en charge d'un patient arthrosique ou gériatrique	154
b. La dysplasie de la hanche	158
c. La dysplasie du coude : traitement conservateur (Non-union du processus anconé/Ostéochondrose disséquante de la lèvre médiale de la trochlée/Fragmentation du processus coronoïde)	162
d. Les OCD : exemple de prise en charge post-arthroscopie lors de dysplasie coude.....	166
e. Les luxations (Rotules, Hanches).....	172
f. Maladie de Legg-Calvé-Perthes ou nécrose aseptique de la tête fémorale	178
g. Les arthrodèses	180
h. Symphysiodèse pubienne juvénile	182
i. Triple ostéotomie du bassin	184
j. Exérèse de la tête et du col du fémur	188
k. Prothèse totale de hanche.....	194
l. Luxation patellaire : rééducation post-opératoire	200
C. Affection tendineuses et ligamentaires	206

a. Les entorses : exemple des ruptures des ligaments croisée (techniques extracapsulaire, TPLO/TTA).....	206
• Prise en charge post-opératoire lors de techniques extracapsulaires.....	206
• Prise en charge post-opératoire lors de technique invasive type TPLO/TTA	210
b. Les tendinites (exemple de la tendinite bicipitale)	216
c. Les desmites.....	218
d. Les bursites ou hygroma	218
D. Affection musculaire.....	219
a. Prise de masse et renforcement musculaire (Traitement de l'amyotrophie)	219
b. Myopathie fibrosante du semi-tendineux et/ou du muscle gracile	219
Conclusion	221
Liste des références bibliographiques	223
Annexe 1 : Mesure de l'amplitude de mouvement articulaire	237
Annexe 2 : Fiches d'évaluation de la douleur	241

Liste des figures

Figure 1 : Structure anatomique d'une articulation	17
Figure 2 : Structure anatomique d'un muscle	19
Figure 3 : Les effets radiographiques de l'immobilisation sur les tissus osseux (sur chaque image : à gauche l'os contrôle et à droite l'os provenant du membre immobilisé) Source : (Uthoff et Jaworski, 1978)	20
Figure 4 : Structure anatomique d'un tendon.....	21
Figure 5 : Amplitude de mouvement physiologique du membre antérieur, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles).....	26
Figure 6 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation de l'épaule, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)	27
Figure 7 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du coude, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles).....	27
Figure 8 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du carpe, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles).....	27
Figure 9 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation de la hanche, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)	28
Figure 10 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du genou, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)	28
Figure 11 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du tarse, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles).....	28
Figure 12 : Parcours d'obstacles de type Cavaletti (source : Vincent Prudhomme).....	30
Figure 13 : Marche ou trot sur tapis de course sec avec ou sans une pente (sources : www.rehabvets.org, Vincent Prudhomme).....	30
Figure 14 : Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre les pattes avant sur une Physioball (sources : www.rehabvets.org, Vincent Prudhomme).....	31
Figure 15 : Exercices de proprioceptions les quatre pattes sur une Physioball ou sur une planche de proprioceptions (sources : www.rehabvets.org, Vincent Prudhomme)	31
Figure 16 : Slalom permettant de favoriser les appuis sur tous les membres (source : Vincent Prudhomme)	31
Figure 17 : Pression glissé, la flèche indique le sens des forces appliquées (source : photographie personnelle)	40
Figure 18 : Technique de pression statique réalisée avec le poing ou la paume de la main (Hourdebaigt et Seymour, 2000).....	41
Figure 19 : Pression statique réalisé à une mains, à deux mains ou avec les poings, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)	41

Figure 20 : Technique de pétrissage, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : Hourdebaigt et Seymour, 2000 et photographie personnelle)	42
Figure 21 : Technique de massage transversal profond réalisée avec les pouces, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : Hourdebaigt et Seymour, 2000 et photographie personnelle)	43
Figure 22 : Technique de vibration réalisé avec le plat de la main (Hourdebaigt et Seymour, 2000)	44
Figure 23 : Profil d'une onde de choc (source : Pulsevet).....	51
Figure 24 : Panneau de contrôle d'une générateur d'ondes de choc (source : www.ec21.com).....	52
Figure 25 : Application des ondes de chocs (sources : www.avlpetrehab.com, animalwellnessmagazine.com)	58
Figure 26 : Synthèse des lois physiques et thermodynamiques s'appliquant sur l'animal lors d'une séance d'hydrothérapie (source : http://k9hydrotherapy.ca)	62
Figure 27 : Effet de la profondeur d'immersion du corps d'un chien sur son poids apparent (Levine <i>et al.</i> , 2002a ; Levine <i>et al.</i> , 2010)	63
Figure 28 : Exemples de harnais pouvant être utilisés lors de séance d'hydrothérapie (source : www.mikan-vet.com , umes.over-blog.com)	65
Figure 29 : Exemples de tapis de course immergé (source : www.vetokinesis.fr , www.mikan-vet.com)	66
Figure 30 : Exemples de piscines hors-sol (à gauche) et de piscine enterrée (à droite) présentant des rampes d'accès facilité pour les animaux (source : www.medicalexpo.com , petdepotmd.com)	66
Figure 31 : Séances d'hydrothérapie sur tapis de course immergé (source : www.vetokinesis.fr , www.mikan-vet.com)	68
Figure 32 : Séances de nage en bassin (source : www.fregis.com , wanimo.com)	68
Figure 33 : Illustration des différents échanges thermiques entre l'organisme et le milieu extérieur (Girardet <i>et al.</i> , 2015).....	74
Figure 34 : Physiopack appliqué sur la zone de traitement (à gauche) et attelle de cryothérapie (à droite) (source : www.coveto.fr , www.novetech-surgery.com)	75
Figure 35 : Unité de cryothérapie compressive vétérinaire (type Game Ready®) alliant cryothérapie et compression dynamique (source : www.medicalexpo.fr)	75
Figure 36 : Physiopack appliqué sur la zone de traitement (à gauche) et attelle de cryothérapie (à droite) (source : www.coveto.fr , ortopediacanina.com).....	81
Figure 37 : Évolution de la température du pelage et intramusculaire à 5 et 10 cm de profondeur lors d'une exposition à des ultrasons à une fréquence de 1 MHz et 4 intensités (en W/cm ²) chez des chiens à poils court. Le trait à 10 minutes correspond à la fin de l'exposition aux ultrasons. (Steiss et Adams, 1999)	87
Figure 38 : Séances d'ultrasonothérapie pour le traitement d'une tendinite bicipitale (à gauche) et pour le traitement d'une arthrose de la hanche (à droite) (sources : www.rehabvets.org , www.heatheroxford.com)	88

Figure 39 : Appareil d'électrothérapie composé de l'électrostimulateur, de câble, d'électrodes adhésives et d'un gel de contact (source : www.orthocanis.com)	104
Figure 40 : Topographie des points moteurs de l'épaule et du tronc chez les chiens (Buendia, 2004)	105
Figure 41 : Topographie des points moteurs du membre antérieur chez les chiens (Buendia, 2004).....	106
Figure 42 : Topographie des points moteurs du bassin et de la cuisse chez les chiens (Buendia, 2004)	106
Figure 43 : Topographie des points moteurs de la jambe chez les chiens (Buendia, 2004).....	106
Figure 44 : Application d'électrodes de stimulation pour effectuer une contraction du biceps fémoral (à gauche) et une co-contraction du biceps fémoral et du triceps fémoral (source : Millis et Levine, 2014, www.caninerehabcenterhouston.com)	107
Figure 45 : Application d'électrodes de stimulation sur le rachis lombaire lors de douleur lombaire (à gauche) et sur l'articulation du coude lors de dysplasie du coude (source : www.rehabvets.org , www.ortocanis.com)	107
Figure 46 : Spectre électromagnétique (source : Wikipédia).....	111
Figure 47 : Représentation de la fenêtre thérapeutique des lasers (source : laser therapy in vet med photobiomodulation (Riegel et Godbold, 2017)	112
Figure 48 : Différence entre un source lumineuse polychromatique (à gauche) et une source monochromatique (à droite) (Sources : superprof.fr , maxicours.com)	113
Figure 49 : Différence entre un source lumineuse incohérente (à gauche) et une source cohérente (à droite) (Sources : gatinel.com).....	113
Figure 50 : Schéma simplifié d'un laser (source : http://lamh.gmc.ulaval.ca)	114
Figure 51 : Schéma d'un laser (source : sweetrandomscience.blogspot.com).....	114
Figure 52 : Spectre d'action générale de la prolifération des cellules HeLA pour des longueurs d'onde allant de 330 à 860 nm (source : Karu, 1999).....	119
Figure 53 : Schéma bilan des mécanismes cellulaires mis en place suite à une stimulation laser (source : Karu, 2010)	120
Figure 54 : Séances de thérapie laser avec des systèmes de protection oculaire adapté à l'animal (sources : www.lakeviewvet.net , hoodline.com)	128
Figure 55 : Échelle provant de la Helsinki Chronic Pain Index (Hiel-bjorkman, 2003) et traduite de l'anglais lors d'une thèse par Dor <i>et al.</i> (page 1/2) (source : Dor <i>et al.</i> , 2013)	138
Figure 56 : Échelle provant de la Helsinki Chronic Pain Index (Hiel-bjorkman, 2003) et traduite de l'anglais lors d'une thèse par Dor <i>et al.</i> (page 2/2) (source : Dor <i>et al.</i> , 2013)	139
Figure 57 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un carpe : dans cet exemple $196^{\circ} - 32^{\circ} = 164^{\circ}$ (Jaegger <i>et al.</i> , 2002).....	237

Figure 58 : Amplitude de mouvement physiologique d'un carpe en vaus et en valgus (Jaegger <i>et al.</i> , 2002)	237
Figure 59 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un coude : dans cet exemple $166^{\circ} - 36^{\circ} = 130^{\circ}$ (Jaegger <i>et al.</i> , 2002)	238
Figure 60 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'une épaule : dans cet exemple $165^{\circ} - 57^{\circ} = 108^{\circ}$ (Jaegger <i>et al.</i> , 2002)	238
Figure 61 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un tarse : dans cet exemple $165^{\circ} - 38^{\circ} = 127^{\circ}$ (Jaegger <i>et al.</i> , 2002)	239
Figure 62 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un genou : dans cet exemple $162^{\circ} - 41^{\circ} = 121^{\circ}$ (Jaegger <i>et al.</i> , 2002)	239
Figure 63 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'une hanche : dans cet exemple $162^{\circ} - 50^{\circ} = 112^{\circ}$ (Jaegger <i>et al.</i> , 2002)	240
Figure 64 : Tableau reprennant les angles de flexion et d'extension physiologiques pour chaque articulation chez le labrador et le Border Collie (Hady <i>et al.</i> , 2015)	240
Figure 65 : Canin Brief Pain Inventory (CBPI) proposé par BROWN et al.en 2007	241
Figure 66 : Échelle descriptive utilisée dans l'étude de VASSEUR et al. pour évaluer le degré de douleur arthrosique des chiens avant et après traitement (Vasseur et al., 1995)	242
Figure 67 : Grille multicritère 4AVET utilisée dans l'évaluation de la douleur post-opératoire (source : Vetoquinol)	243

Liste des tableaux

Tableau 1 : Profondeur de pénétration des ultrasons dans certains milieux (Hoogland, 1991).....	85
Tableau 2 : Coefficient d'absorption des ultrasons (en cm^{-1}) par les tissus aux fréquences de 1 et 3 MHz (Hoogland, 1991)	86

Liste des abréviations

% : pourcent
A : Amphère
ADP : Adénosine Diphosphate
AINS : Anti-inflammatoires non stéroïdiens
AIS : Anti-inflammatoires stéroïdiens
ATP : Adénosine Triphosphate
BDNF : Brain Derived Neurotrophic Factor
bFGF : basic Fibroblast Growth Factor
BID : « bis in die » en latin ou « deux fois par jour » en français
BMP : Bone Morphogenetic Protein
cm : centimètre
COX : Cyclooxygénase
CTGF : « Connective Tissue Growth Factor » ou « facteur de croissance du tissu conjonctif » en français
DDR2 : Discoidin Domain Receptor 2
eNOS : « Endothelial Nitric Oxide Synthase » ou « oxyde nitrique synthase endothéliale » en français
ESWT : « Extracorporeal Shockwave Therapy » ou « thérapie extracorporelle par ondes de choc » en français
FGF : « Fibroblast Growth Factor » ou « facteur de croissance des fibroblastes » en français
GaAs : Arséniure de Gallium
GaAlAs : Arséniure de Gallium-Aluminium
GaAlInP : Arséniure-Phosphure de Gallium-Indium
GABA : Acide γ -aminobutyrique
GDNF : Glial Derived Neurotrophic Factor
h : heures
HeNe : Hélium-Néon
HIF-1 α : « Hypoxia Inducible Factors-1 α » ou « facteurs induits par l'hypoxie-1 α » en français
Hz : hertz
ICAM : InterCellular Adhesion Molecule
IFC : Interferential Current
IGF-1 : Insulin-like Growth Factor-1
IL : Interleukine
iNOS : inducible Nitric Oxide Synthase
IRM : Imagerie à Résonance Magnétique
j : jours
J : joule
Kg : kilogramme
kHz : kilohertz
LASER : « Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation » ou en français « amplification de la lumière par émission stimulée de radiation »
LED : « Light-Emitting Diode » ou « diode électroluminescente » en français
LLLT : Low Level Laser Therapy
m : mètres
mA : milliampère
MHz : mégahertz
mJ : millijoules
mm : millimètre
MMP2 : Matrix Metalloproteinase-2

MPa : Mégapascal
ms : milliseconde
NF-κB : Nuclear Factor-kappa B
NGF : « Nerve Growth Factor » ou « facteur de croissance nerveuse » en français
nm : nanomètre
NMES : Neuromuscular Electrical Stimulation
NO : Oxyde nitrique
ns : nanoseconde
OCD : Ostéochondrite Disséquante
ORL : oto-rhino-laryngée
PCNA : Proliferating Cell Nuclear Antigen
PGE2 : Prostaglandine E2
QID : « quater in die » en latin ou « quatre fois par jour » en français
s : secondes
SID : « semel in die » en latin ou « une fois par jour » en français
TENS : Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation
TGF- β : Transforming Growth Factor-beta
TID : « ter in die » en latin ou « trois fois par jour » en français
TNF : « Tumor Necrosis Factor » ou « facteur de nécrose tumorale » en français
TPLO : nivellement de plateau tibial par ostéotomie curviligne
TTA : ostéotomie de transposition de la tubérosité tibiale antérieure
V : Volt
VCAM : « Vascular Cell Adhesion Molecule »
VEGF : « Vascular Endothelial Growth Factor » ou « facteur de croissance de l'endothélium vasculaire » en français
W : watts
μs : microseconde

Introduction

La physiothérapie et la rééducation des animaux de compagnie est l'une des branches de la médecine vétérinaire se développant le plus rapidement ces dernières années.

En effet il y a 20 ans la physiothérapie restait une discipline médicale anecdotique dans le milieu vétérinaire notamment chez les carnivores. Le nombre d'articles scientifiques concernant l'efficacité de la rééducation de la physiothérapie chez les carnivores est relativement peu élevé mais le nombre d'ouvrages théoriques concernant la physiothérapie ne fait qu'augmenter.

Les premiers pas de la physiothérapie et rééducation chez les animaux domestiques se sont basés sur les connaissances en physiothérapie humaine. Ce qui était handicapant du fait de l'accessibilité restreinte des ouvrages médicaux. Grâce à la généralisation de l'informatique et la création d'une base de données informatiques, l'accessibilité aux sources médicales humaines s'est vue facilitée.

Aujourd'hui un intérêt croissant est porté à cette discipline nouvelle, notamment chez les chirurgiens et les neurologues qui souhaitent améliorer leur prise en charge thérapeutique post-chirurgicale ou trouver des méthodes alternatives à la chirurgie et aux traitements médicaux déjà mis en place, mais aussi et surtout car les médecines alternatives sont de plus en plus recherchées par les clients de nos jours.

Cette discipline étant nouvelle et en plein essor, les cliniciens vétérinaires spécialisés en physiothérapie se doivent de trouver des réponses à travers de nouvelles recherches et de nouvelles études, afin de prouver l'efficacité, la durée d'action et même le bénéfice à en tirer de telle ou telle technique physiothérapeutique.

Ce manuscrit a pour but de réaliser un travail de synthèse accessible aux vétérinaires reprenant toutes les connaissances actuellement disponibles sur les différentes techniques de physiothérapie et d'élaborer des guides thérapeutiques permettant de traiter les affections orthopédiques les plus courantes à l'aide de la physiothérapie.

Bien qu'étant une science, la médecine reste un art. Les protocoles élaborés n'ont pas pour objectif de décrire la prise en charge optimale et nécessaire mais plutôt de guider et de répondre aux questions de nombreux cliniciens et vétérinaires afin de montrer les bénéfices réels de la physiothérapie et de la rendre plus visible en médecine vétérinaire.

La phrase « Tout est poison, rien n'est poison : c'est la dose qui fait le poison. » de Paracelse reste valable en physiothérapie. C'est pourquoi il est important d'avoir une formation spécifique et de connaître parfaitement le mode d'action et les paramètres modifiables des appareils utilisés afin de prévenir les effets indésirables associés à chaque technique.

PREMIERE PARTIE : LES PRINCIPALES TECHNIQUES UTILISEES EN PHYSIOTHERAPIE VETERINAIRE

1. Les effets de l'immobilisation et de la remobilisation sur les différents tissus

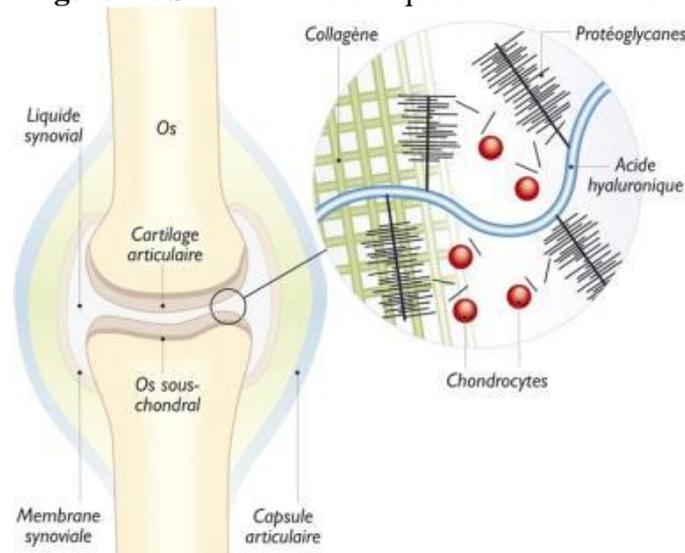
Les effets de l'immobilisation sur les muscles, les os, les cartilages et les tendons sont largement documentés, que ce soit en médecine humaine ou vétérinaire.

L'immobilisation d'un membre ou d'une articulation peut être la conséquence soit d'une sous-utilisation de ce dernier, soit de la présence d'un moyen contentif externe.

A. Les effets de l'immobilisation sur les cartilages articulaires

Les principaux composants des cartilages articulaires sont les **chondrocytes**, les **protéoglycanes**, le **collagène** et l'**eau** qui ont chacun un rôle majeur à jouer dans la structure du cartilage.

Figure 1 : Structure anatomique d'une articulation



Lors d'immobilisation plus ou moins prolongée de nombreux changements sont notés (Millis et Levine, 2014) :

- Une **atrophie** et/ou une **dégénérescence** notamment au niveau des zones de contacts.
- Une **désorganisation du cartilage** et des dommages potentiellement irréversibles en cas de dégénérescence.
- **Réduction de la production de liquide synovial.**
- **Diminution de la nutrition du cartilage** par imbibition liée à l'absence de mouvements.
- Un **risque de lésion arthrosique** en cas d'immobilisation en extension.
- Une **atrophie cartilagineuse** est observée en cas d'immobilisation en flexion et est plus sévère chez les animaux immatures.

Ces lésions sont liées à des modifications de l'activité cellulaire et à des dégénérescences cellulaires :

- En 3 à 11 semaines d'immobilisation en flexion on observe une **diminution de la quantité de protéoglycanes** de 13 à 60 % chez les jeunes animaux et une réduction de leur synthèse de 40 à 60 %.
- Après 4 semaines d'immobilisation on peut constater une **augmentation de la concentration des métalloprotéases 2** et une diminution de la quantité de leur inhibiteur conduisant à une activité protéolytique exacerbée.
- **L'épaisseur des cartilages est réduite** de 9 à 50 %, associée à une diminution de sa rigidité pouvant atteindre 30 %.
- **La diminution du nombre de chondrocytes** peut atteindre 30 %.

Lors d'immobilisation de l'articulation l'épaisseur du cartilage diminue de 30 à 50 % en 8 semaines, et une immobilisation de 6 jours est suffisante pour observer une diminution significative de la concentration en protéoglycanes rendant l'articulation plus fragile.

Cette diminution de l'épaisseur cartilagineuse peut être expliquée par le fait que la synthèse de protéoglycanes et d'acide hyaluronique est mécano-sensible (Wann *et al.*, 2009) et donc diminuée lors d'immobilisation, ce qui crée une diminution de la quantité de glycosaminoglycanes et donc un défaut dans la structure des cartilages.

La récupération de l'atrophie cartilagineuse après une immobilisation dépend notamment de la sévérité de l'atrophie mais aussi de l'âge de l'individu. En effet **la récupération peut être incomplète** chez les jeunes animaux présentant des articulations immatures. (Kiviranta *et al.*, 1994 ; Jortikka *et al.*, 1997)

C'est pourquoi l'immobilisation totale d'une articulation n'est jamais souhaitable.

Lorsqu'une immobilisation articulaire est nécessaire, dans le cas d'une remobilisation douce (marche en laisse, mobilisation passive) ou intensive (course sur tapis) la synthèse de protéoglycanes retrouve son activité initiale. Par contre dans le cas d'une remobilisation intensive le cartilage ne se régénère pas complètement probablement dû à l'action de molécules protéolytiques (Palmski et Brandt, 1981). Puisque les activités intensives ont un effet délétère sur la récupération, une remobilisation douce doit être privilégiée afin de permettre une récupération totale du cartilage articulaire.

Il est à noter et à rappeler que plus la période d'immobilisation est longue plus la rééducation doit être douce et prolongée sur une durée importante.

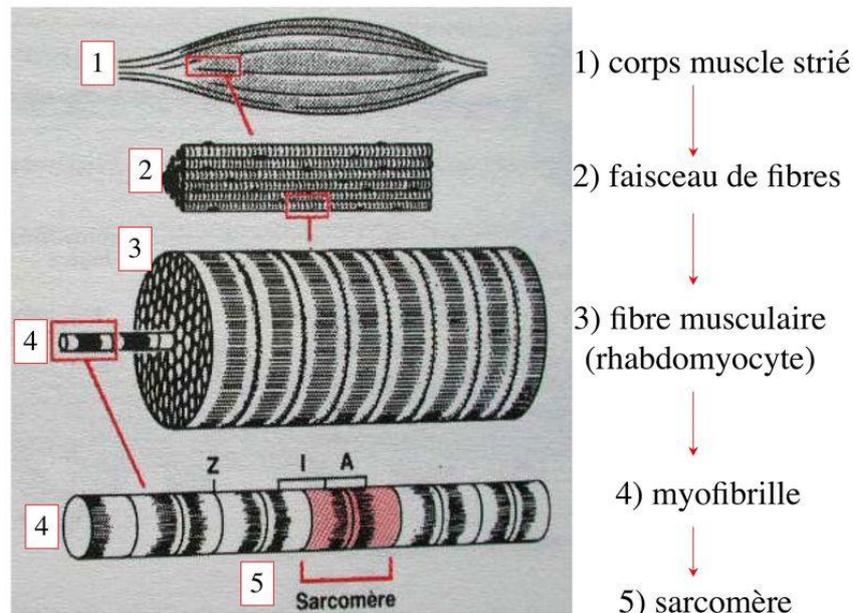
B. Les effets de l'immobilisation sur la capsule articulaire

Au niveau de l'articulation, les capsules articulaires sont aussi touchées par l'immobilisation. Au niveau de la capsule articulaire, dans le 4^e jour suivant le début de l'immobilisation on peut constater un **épaississement de la capsule** puis une **contracture créant une ankylose articulaire**. Les **TGF- β 1**, les **CTGF** et les **métalloprotéases** semblent être responsables de l'installation de la **fibrose articulaire** causant la contracture (Hagiwara *et al.*, 2008). Lorsque la durée d'immobilisation excède deux semaines le tissu fibreux devient très résistant et très compliqué à traiter, ainsi le pronostic de récupération complète est mauvais. (Trudel *et al.*, 2014)

Une immobilisation peut **réduire l'amplitude de mouvement** de 20 à 30 %, **créer des boiteries**, une augmentation de la pression intra articulaire lors de mouvements, une diminution du volume articulaire. (Millis et Levine, 2014)

C. Les effets de l'immobilisation sur les tissus musculaires

Figure 2 : Structure anatomique d'un muscle



L'atrophie musculaire est l'une des affections les plus facilement observable lors d'immobilisation prolongée. Cette atrophie est plus marquée lorsque le muscle est maintenu en position raccourcie.

Les muscles les plus sévèrement touchés sont les muscles posturaux composés en majorité de fibre musculaire de type I (fibre lente) qui se redifférencient en fibre musculaire de type II (fibre rapide).

Cette atrophie est expliquée par une **diminution de la synthèse protéique, de la fonction mitochondriale** (Booth et Seider, 1979) ainsi que de la sensibilité des tissus musculaires à l'insuline et **une augmentation de la dégradation des protéines** au niveau des muscles immobilisés. (Tesch *et al.*, 2008 ; Crossland *et al.*, 2019)

Outre l'atrophie musculaire lors d'immobilisation on constate également des **contractures musculaires** ainsi qu'un **raccourcissement des sarcomères** causant des **diminutions d'amplitude de mouvement** et des **boiteries**.

En cas d'immobilisation prolongée les fibres musculaires sont envahies par du tissu conjonctif qui se rétracte et forme des adhérences entre les différentes interfaces tissulaires.

La récupération est le plus souvent totale bien que la durée puisse atteindre facilement 2 à 4 fois plus de temps que la période d'immobilisation.

D. Les effets de l'immobilisation des segments osseux

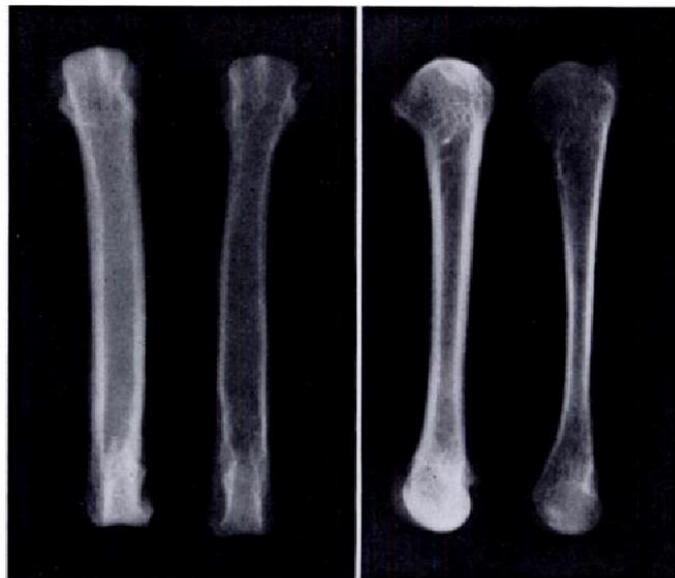
Il a été reconnu à de nombreuses reprises que l'immobilisation d'un membre entraînait une **diminution de la densité osseuse** que ce soit corticale ou médullaire et une dégradation des propriétés mécaniques (Lane *et al.*, 1996). Une analyse du **marqueur osseux 3H-tétracycline** a permis de mettre en évidence que la diminution de la densité osseuse est due à une résorption osseuse plutôt qu'à une **diminution du turn-over** des cellules osseuses. (Klein *et al.*, 1982)

Les changements liés à l'immobilisation sont plus ou moins prononcés en fonction de la durée d'immobilisation, de l'âge de l'animal et des os affectés.

Les jeunes individus sont les plus lésés par une immobilisation même de courte durée avec une diminution de 55 % de la masse osseuse du tibia après une immobilisation de 4 semaines. De plus la récupération peut être incomplète chez des individus immatures. (Waters *et al.*, 1991)

Une étude de Kaneps *et al.* a cherché à quantifier les effets fonctionnels mécaniques engendrés par l'immobilisation et la remobilisation d'un membre sur la corticale et la médullaire des os. Une immobilisation du membre antérieur droit de 16 semaines a montré une diminution des propriétés mécaniques de la médullaire osseuse de 28 % à 74 % par rapport au membre contrôle et une diminution des propriétés mécaniques de la corticale osseuse de 71 % à 98 % par rapport à la valeur contrôle. Après 32 semaines de remobilisation dont 16 semaines d'exercices sur tapis, les propriétés mécaniques de la corticale et de la médullaire osseuse n'était plus différentes des valeurs contrôles. (Kaneps *et al.*, 1997)

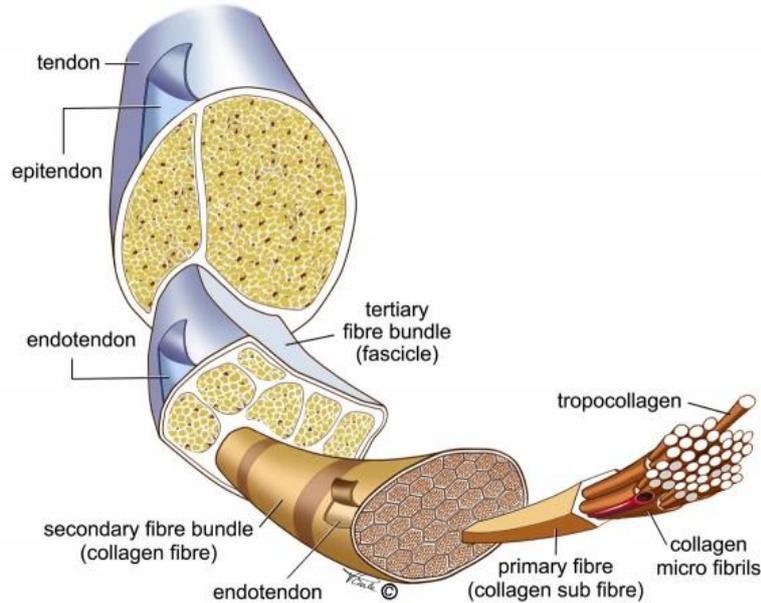
Figure 3 : Les effets radiographiques de l'immobilisation sur les tissus osseux (sur chaque image : à gauche l'os contrôle et à droite l'os provenant du membre immobilisé) Source : (Uthoff et Jaworski, 1978)



Ces études ont donc pu mettre en évidence l'intérêt de la rééducation physiothérapeutique suite à une immobilisation partielle ou totale d'un ou plusieurs membres. Elles ont par ailleurs montré que la rééducation fonctionnelle sur une période 2 fois plus longue que la durée de l'immobilisation initiale suffisait à retrouver la solidité osseuse d'origine.

E. Les effets de l'immobilisation sur les tendons et les ligaments

Figure 4 : Structure anatomique d'un tendon



Bien que nécessaire dans certaines pathologies tendineuses ou ligamentaires, l'immobilisation a aussi des effets secondaires sur la structure et les propriétés mécaniques de ces tissus. Les principaux effets rencontrés lors d'immobilisation sur le tendon sont (Yasuda et Hayashi, 1999) :

- Une **réduction du diamètre** du ligament ou du tendon.
- Une **désorganisation de la structure des fibrilles** et des cellules induisant sa **rétractation**.
- Une **augmentation du turn-over du collagène**.
- Une **diminution significative de la masse collagénique**, des **glycosaminoglycanes**, des **acides hyaluroniques**, des **chondroïtines sulfate** et des **dermatanes sulfates**.

La remobilisation permet un retour à la normale de propriété mécanique, cependant il a été constaté que la récupération de l'insertion osseuse du ligament ou du tendon est plus tardive.

Une étude a montré que 12 semaines d'immobilisation avaient pour effet de **réduire la rigidité du ligament** de 73 % mais aussi de **diminuer le point de rupture** de 45 % des ligaments croisés crâniens par rapport aux contrôles.

Une autre source (Laros *et al.*, 1971) a montré que l'immobilisation du postérieur avait pour effet **d'augmenter la population d'ostéoclastes, de fibroblastes et une désorganisation tissulaire au niveau de l'insertion du ligament** patellaire sur le tibia. Il a été montré de la même façon qu'après une immobilisation de 6 semaines une rééducation sur 18 semaines était nécessaire afin de retrouver des propriétés structurelles normales du ligament collatéral médial.

2. La kinésithérapie

La kinésithérapie, aussi appelée mécano thérapie, est une discipline médicale visant à prévenir l'altération ou rétablir les capacités fonctionnelles du patient par des exercices de mobilisation. Elle utilise des exercices de mobilisations et d'étirements qui sont abordables, peu contraignants et très importants à réaliser afin d'améliorer les mouvements articulaires suite à une blessure, une dégénérescence, une chirurgie ou lors d'affections chroniques ou neurologiques.

Ils sont également utiles afin d'augmenter la flexibilité, prévenir les adhésions entre tissus mous et os, remodeler la fibrose périarticulaire et améliorer l'élasticité des muscles et des autres tissus mous afin de limiter les affections articulaires, musculaires, tendineuses et ligamentaires.

L'amplitude de mouvement d'un membre correspond à la différence d'angle entre la flexion et l'extension maximale de l'articulation concernée. Elle est mesurée avec un goniomètre et des standards ont été établis.

Les exercices d'amplitude de mouvements sont particulièrement utiles lors d'immobilisation ou d'atrophie par inactivité.

Afin de maintenir une amplitude de mouvement satisfaisante il est nécessaire de mobiliser les articulations et les muscles de façon régulière. Ces mobilisations peuvent être passives, actives de façon assistée ou non assistée.

Il est recommandé de commencer les exercices d'amplitude le plus tôt possible, dès lors qu'il n'y a plus de contre-indication, après une chirurgie ou une lésion aiguë.

Comme pour de nombreux exercices de réhabilitation il peut être conseillé d'administrer à l'animal un analgésique tel qu'un anti inflammatoire non stéroïdien 1 heure avant le début de la séance afin d'être au pic de concentration du principe actif et donc d'avoir un effet analgésique optimal.

A. Les exercices de mobilisation

a. Les différents exercices de mobilisation

- *Les exercices de mobilisations passives*

Les exercices passifs sont des exercices dont le mouvement n'est pas réalisé à l'aide d'une contraction musculaire mais par un manipulateur externe. En médecine vétérinaire ce manipulateur est le thérapeute ou le propriétaire.

L'étirement ou « stretching » est défini comme l'application de force supplémentaire en fin d'amplitude qui ne produit plus de mouvement de l'articulation mais a pour but de créer des forces de tensions. Ce type d'exercice à part entière n'est pas traité ici mais sera développé dans le point suivant.

Les premiers effets des exercices de mobilisation passive décrits post chirurgicalement étaient une diminution de la douleur et une augmentation du pourcentage de guérison. (Salter *et al.*, 1984)

Lors de cicatrisation tissulaire les tissus fibreux se déposent de façon désordonnée. Les exercices de mobilisation permettent d'aligner les tissus dans le sens du stress exercé par les mouvements physiologiques. Lors de cette mobilisation il est nécessaire d'exercer des mouvements

de forces raisonnés afin d'éviter de traumatiser la zone lésée. Si ces exercices sont réalisés régulièrement et correctement le tissu cicatriciel sera plus souple et plus résistant.

La mobilisation passive est utilisée dès lors que le patient est incapable de bouger son articulation seule ou si la mobilisation active peut être délétère pour le patient notamment lors d'instabilité osseuse ou articulaire.

Elle est le plus souvent utilisée lors de soins post-opératoires à très court terme avant que l'animal ne soit autorisé à reposer son membre et marcher, ou chez un animal paralysé afin de ralentir l'atrophie musculaire, d'éviter des contractures articulaires, le raccourcissement des tissus mous, l'adhérence entre les différents plans (os, muscle, fascia, derme) et de favoriser la circulation sanguine et lymphatique ainsi que la production et la diffusion de liquide synovial. (Hall et Brody, 2005)

Idéalement les exercices doivent être réalisés 2 à 6 fois par jour. Si l'animal est dans l'incapacité prolongée de faire des mouvements actifs, il y a un risque de contracture articulaire malgré les exercices réalisés.

La réalisation d'une séance de mobilisation passive doit se faire avec un animal détendu et confortablement installé. Les os proximaux et distaux aux articulations traitées doivent être maintenus afin d'éviter les tensions de types varus et valgus sur l'articulation.

Les tissus doivent être manipulés délicatement et les zones lésées ou douloureuses évitées.

Plus la main du manipulateur est placée près de l'articulation plus le mouvement de force sera faible et donc les risques de blesser l'articulation pathologique seront moins importants.

Les mouvements doivent être lents, assurés et réguliers. Tout au long de l'exercice l'animal doit être observé afin de noter tous signes d'inconfort tel que des signes de stress ou d'apaisement, un mouvement de tête, un retrait du membre ou des vocalises.

- *La mobilisation active assistée*

La mobilisation active assistée en tant que manipulateur consiste à accompagner l'activité musculaire du patient. Dans le modèle animal il est difficile de contrôler cette activité musculaire fournie par le patient. En effet la contraction musculaire est difficile à éviter si le patient n'est pas paralysé et donc la plupart des mobilisations passives implique à un faible degré une mobilisation active assistée.

Chez les animaux stressés ou chez les animaux ayant des neuropathies les contractions musculaires des muscles antagonistes peuvent s'opposer aux exercices de mobilisation.

La mobilisation active assistée est utile chez des animaux affaiblis ou récupérant d'une affection neurologique ayant engendré une paralysie ou une parésie.

Ces exercices regroupent également les exercices de marches assistées sur le sol, sur tapis de course terrestre ou aquatique à l'aide de harnais.

Ils ont des effets similaires aux effets des exercices de mobilisation passive en plus de renforcer les tissus musculaire et osseux et améliorer la proprioception et la posture.

- *Les exercices de mobilisation active*

Les exercices de mobilisation active consistent à utiliser les contractions musculaires afin de mouvoir l'articulation. Une force et une coordination musculaire suffisantes sont nécessaires.

Ces exercices peuvent être réalisés sur des terrains plats, en laisse, favorisant des mouvements articulaires normaux ou dans des conditions spéciales visant à augmenter l'amplitude de mouvement. Ils peuvent être notamment réalisés en piscine, sur des tapis aquatiques, dans des hautes herbes, dans de la neige ou dans du sable, dans les escaliers, dans des tunnels pour ramper ou lors de parcours avec cavaletti.

Il est utile de commencer une séance de mobilisation active par des mobilisations passives et des étirements afin d'effectuer des amplitudes de mouvement complètes et maximiser l'efficacité de ces séances actives. Ces exercices peuvent être utilisés pour initier une séance de renforcement musculaire ou lors d'un programme de soins à domicile.

b. Précautions et contre-indications aux exercices de mobilisation

Toutes les formes d'exercices de mobilisation sont contre-indiquées :

- Lorsque l'exécution d'un mouvement pourrait être la cause d'une blessure future ou d'une instabilité. Par exemple lors de fracture proche de l'articulation ou lors de rupture partielle ou totale du ligament ou du tendon.
- Proche de zone d'infections bactériennes locales.
- Lors d'ostéomyélite.
- Proche d'hématome.
- Lors de sepsis.
- Lors d'état fébrile.
- Lors de processus néoplasique malin.
- Au niveau de lésions cutanées (blessures, cellulites etc.).
- Proche de sutures en zone tendue.
- Lors de problèmes circulatoires (diabète etc.).
- Lors d'hypersensibilité cutanée ou de douleur sévère à la manipulation.

Des Précautions doivent être prise lors :

- D'inflammation articulaire.
- D'arthrite rhumatoïde.
- De lésions neurologiques.
- D'ostéoporose.
- De gestation (lors de manipulation de la colonne vertébrale).
- De traitement anticoagulant ou stéroïdien.
- Lors de perte de sensibilité.

Une communication entre le chirurgien et le kinésithérapeute est essentielle afin d'établir un protocole de réhabilitation non délétère. Dans la plupart des cas une remobilisation précoce est bénéfique si le thérapeute reste dans des limites de mobilisation raisonnable.

c. Les indications des exercices de mobilisation

Les exercices de mobilisations sont recommandés lors d'immobilisation ou de sous-utilisation d'un membre afin de prévenir les contractures des tissus péri articulaires et la réduction de l'amplitude de mouvement due à l'ankylose articulaire. En effet après immobilisation la concentration en collagène diminue, or cette molécule est retrouvée dans les tissus conjonctifs articulaires et cette diminution pourrait être à l'origine de certaines boiteries.

Les exemples types sont : les dysplasies de la hanche et du coude, les hernies discales et l'arthrose.

Lors de certaines affections la mobilisation active est un prérequis à un bon rétablissement. Par exemple, chez le chiot lors de fracture fémorale les mobilisations passives et actives permettent d'éviter des complications fracturaires telles qu'une fibrose articulaire provoquant une ankylose, une contracture musculaire et la formation d'adhérences du gastrocnémien induisant la maladie fracturaire aussi appelé syndrome d'hyperextension observée chez les jeunes animaux suite à des immobilisations prolongées du membre postérieur en position non physiologique.

De même des animaux présentant des fractures de type Salter Harris de l'humérus distal doivent réaliser des exercices de mobilisation active si l'on veut limiter les raideurs articulaires.

En post-opératoire de nivellement du plateau tibial suite à une rupture du ligament croisé crânial les animaux ne recevant pas un traitement kinésithérapeutique précocement ont des amplitudes de mouvements réduites. Cette réduction peut être permanente dans certains cas si le membre opéré est maintenu au repos pendant 2 semaines. En contrepartie les animaux ayant effectué des exercices de mobilisation retrouvent une amplitude de mouvement presque normale et une meilleure force de réaction verticale. (Millis et Levine, 2014)

Les mouvements passifs aident à réduire les lésions cartilagineuses lors d'arthrite septique. (Salter *et al.*, 1981 ; Mooney et Stills, 1987)

d. Application pratique

- *Les exercices de mobilisation passive*

Les exercices de mobilisation passive doivent être réalisés dans un endroit calme et confortable loin de toutes sources de distraction (animaux, hommes, bruits).

Lors des premières séances il est conseillé de museler le chien. Il peut être conseillé de garder la muselière plus longtemps si l'animal est douloureux, très anxieux ou a des passifs.

Il est placé en décubitus latéral avec le membre atteint en hauteur. Une aide extérieure telle que le propriétaire peut être nécessaire afin de contraindre et rassurer l'animal.

Le thérapeute doit lui aussi être installé de façon confortable afin d'éviter de se blesser.

Il peut être intéressant de commencer par des massages de 2 à 3 minutes minimum afin de relâcher les tensions musculaires induites par le stress ou les douleurs et mettre en confiance l'animal.

Après que l'animal se soit calmé, les mains doivent être placées de part et d'autre de l'articulation. La main placée distalement doit empêcher tous mouvements de valgus, de varus ou de rotation pouvant engendrer une tension indésirable sur l'articulation.

Les premiers mouvements doivent être lents et de faibles amplitudes en suivant l'axe de mouvement physiologique afin d'habituer l'animal. Les mouvements sont accentués et l'amplitude de mouvement de plus en plus importante afin de cibler l'amplitude maximale tolérable par l'animal c'est-à-dire jusqu'au moment où il montrera des signes d'inconfort tels que des tensions musculaires, de mouvements ou tournera la tête. Des mouvements de plusieurs articulations simultanément tels que des mouvements de pédalage mimant des mouvements similaires à des mouvements de marche exagérée peuvent être recommandés lors d'immobilisation prolongée du membre. Lorsqu'un membre est immobilisé afin de traiter une articulation, les autres articulations saines (par exemples les articulations des doigts) ne doivent pas être délaissées et des exercices de mobilisation même succincts doivent être réalisés.

En générale il est conseillé de faire 15 à 20 répétitions 2 à 4 fois par jour en post opératoire. Lorsque l'amplitude de mouvements semble normalisée la fréquence des séances peut être diminuée jusqu'à un arrêt total lors de reprise d'une activité physique correcte.

Figure 5 : Amplitude de mouvement physiologique du membre antérieur, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)

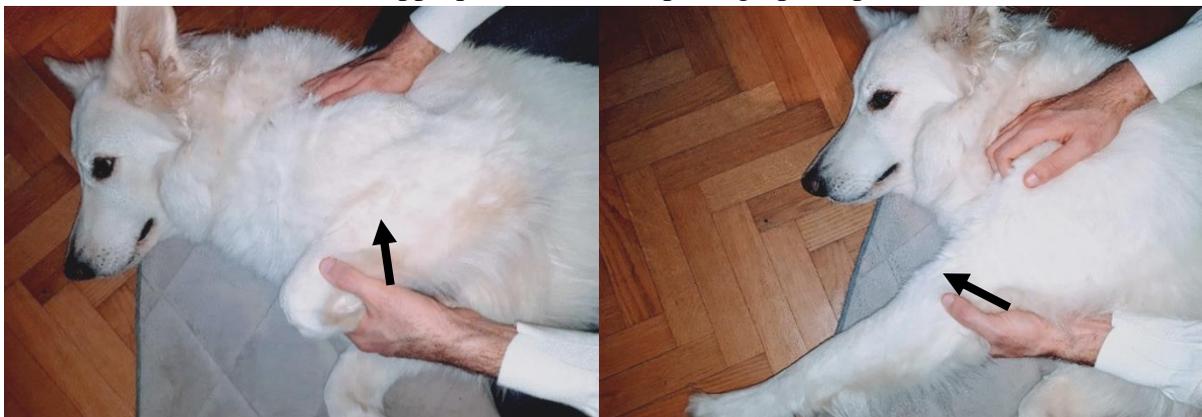


Figure 6 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation de l'épaule, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)



Figure 7 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du coude, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)

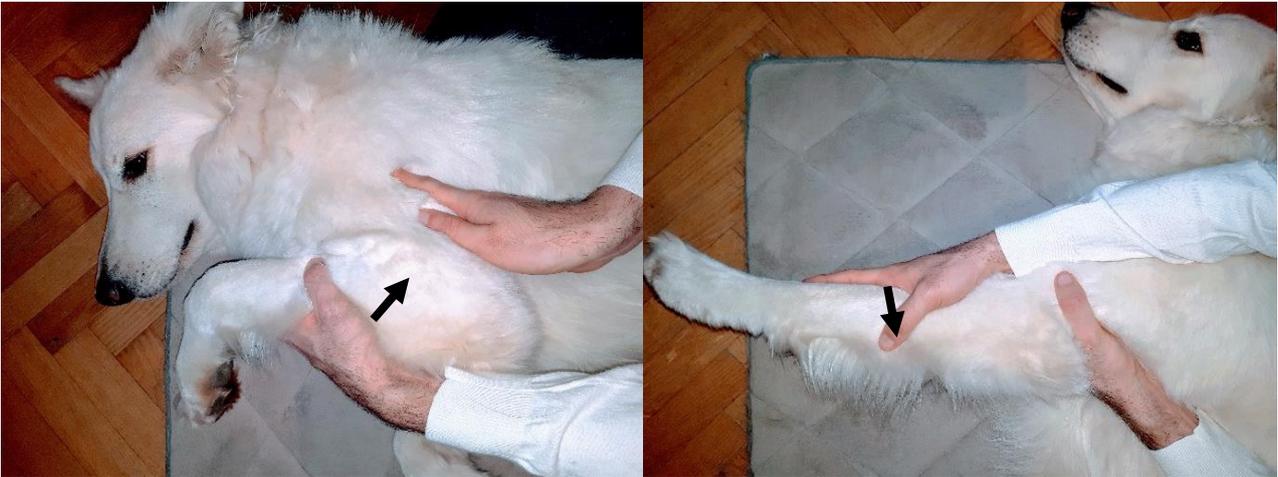


Figure 8 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du carpe, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)



Figure 9 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation de la hanche, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)



Figure 10 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du genou, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)



Figure 11 : Amplitude de mouvement physiologique de l'articulation du tarse, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)



A la fin des exercices de mobilisation une nouvelle séance de massage peut être effectuée afin de maintenir les muscles et l'articulation relaxés. De même, une séance de cryothérapie peut suivre afin de limiter une éventuelle inflammation induite par les exercices.

- *Les exercices de mobilisation actives assistées*

Les exercices de mobilisation active assistée sont l'étape suivante de la réhabilitation lors d'affection articulaire.

Ces exercices peuvent être réalisés sur tapis de course ou sur tapis aquatique. Le thérapeute accompagne le mouvement du membre.

De même des harnais de soutien peuvent être utilisés et de la même façon le mouvement peut être assisté afin d'effectuer des mouvements appropriés.

- *Les exercices de mobilisation actives*

Lorsque l'animal est capable de se déplacer seul et que la marche active n'est plus déconseillée les exercices de mobilisation actives peuvent être initiés. Les chiens ne réalisent pas de mouvements d'amplitude complète lorsqu'ils marchent ou trottent normalement ; les articulations n'effectuent donc pas de mouvement d'amplitude complète.

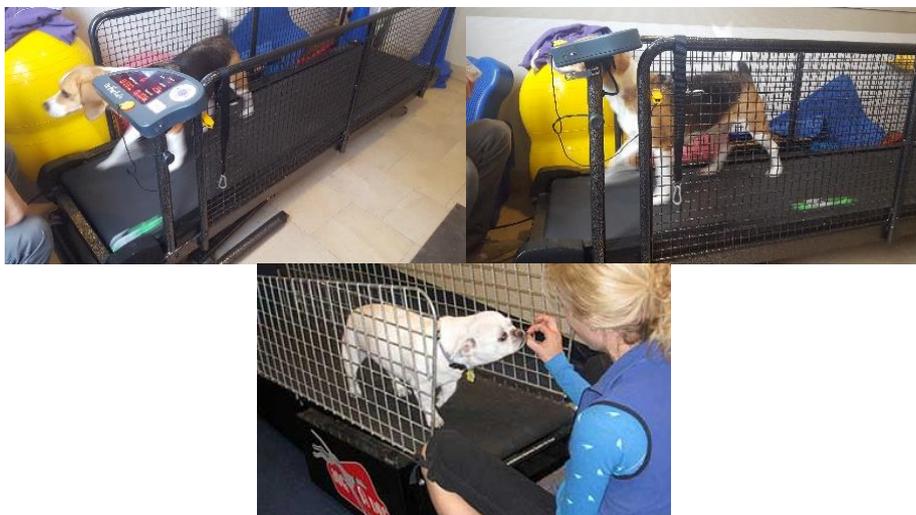
Si l'animal présente une restriction de l'amplitude articulaire des exercices sollicitant d'avantage l'exécution de mouvements complets peuvent être préconisés. La nage ou le tapis de marche aquatique permettent de meilleures amplitudes de mouvements horizontales et verticales respectivement. Les parcours d'obstacle de type cavaletti sont de très bonne méthodes alternatives permettant d'accentuer les flexions. D'autres exercices peuvent convenir de la même façon ; tel que la marche dans la neige, le sable, les herbes hautes bien qu'ils ne présentent pas tous les avantages liés à l'hydrothérapie. (Cf. chapitre correspondant).

Figure 12 : Parcours d'obstacles de type Cavaletti (source : Vincent Prudhomme)



Les exercices de montées et descentes d'escalier ou des exercices sur tapis de course incliné permettent en plus d'augmenter l'amplitude de mouvement de travailler la musculature de l'animal. Ces exercices ne sont cependant pas conseillés lors de première phase de réhabilitation lors d'amyotrophie ou d'instabilité articulaire mais plutôt lors d'une seconde phase pour maintenir une musculature satisfaisante permettant un soutien articulaire optimal.

Figure 13 : Marche ou trot sur tapis de course sec avec ou sans une pente (sources : www.rehabvets.org, Vincent Prudhomme)



Des exercices de proprioception sur Physioball, planche de proprioception ou Imoove ou plateau vibrant permettent de corriger des amyotrophies asymétriques dues à une sous-utilisation d'un membre par rapport au membre controlatéral. Il en est de même des exercices de slalom ou de marche en « 8 » qui force l'animal à appuyer sur l'intégralité de ses membres avec une force égale.

Figure 14 : Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre les pattes avant sur une Physioball (sources : www.rehabvets.org, Vincent Prudhomme)



Figure 15 : Exercices de proprioceptions les quatre pattes sur une Physioball ou sur une planche de proprioceptions (sources : www.rehabvets.org, Vincent Prudhomme)



Figure 16 : Slalom permettant de favoriser les appuis sur tous les membres (source : Vincent Prudhomme)



B. Étirements

Les étirements sont souvent réalisés simultanément aux exercices de mobilisations articulaires afin d'améliorer la flexibilité des articulations et l'élasticité des tissus périarticulaires, des muscles et des tendons.

L'étirement ou « stretching » diffère des exercices de mobilisation car il consiste à appliquer une force supplémentaire en fin d'amplitude qui ne produit plus de mouvement de l'articulation mais a pour but de créer des forces de tensions et donc à « étirer » les tissus mous au-delà de leur amplitude de mouvement physiologique.

Les affections qui causent des rétractions tissulaires telles que l'immobilisation, la mise au repos strict prolongé, les blessures, la fibrose périarticulaire ou les affections neurologiques répondent favorablement aux exercices d'étirements. Des faiblesses musculaires peuvent apparaître lors de rétraction musculaire puisque les contractions optimales musculaires ne peuvent pas avoir lieu, ainsi, l'amplitude de mouvement et la démarche sont altérées. A terme de nouvelles tensions musculaires, tendineuses ou ligamentaires peuvent apparaître secondairement.

La flexibilité correspond à la capacité d'un tissu notamment musculaire à se relâcher et à répondre à une force d'étirement sans subir de dommage au-delà de cette limite, on parle d'élongation musculaire. Cette élongation peut être délétère à l'articulation si les tissus mous n'arrivent plus à jouer leur rôle de soutien articulaire.

a. Les effets physiologiques des étirements

Les contractures musculaires apparaissent lorsque les muscles et tissus mous qui enserrant une articulation se rétractent et limitent le mouvement articulaire. Les tissus cicatriciels peuvent créer des adhérences entre deux tissus tels que les muscles et les fascias qui entravent le mouvement en empêchant les tissus de glisser correctement l'un sur l'autre. Ces adhérences peuvent être empêchées par des exercices de mobilisation, d'étirements et des massages lors des phases précoces de cicatrisation suivant une blessure. Si les adhérences ne sont pas traitées précocement une fibrose cicatricielle peut s'installer et réduire dramatiquement l'amplitude de mouvement de l'articulation concernée. La fibrose est difficilement traitable et le pronostic de récupération fonctionnelle complète est mauvais.

Lors d'une première phase les étirements permettent de déformer plastiquement les tissus élastiques. C'est-à-dire que ces tissus seront plus longs lors de la phase de repos musculaire qu'ils ne l'étaient initialement. Si les étirements sont maintenus dans le temps, ils augmenteront à terme la longueur effective de la fibre musculaire en augmentant le nombre de sarcomères d'environ 20 %. Ces résultats peuvent être obtenus en maintenant un membre immobilisé avec le tissu désiré en étirement constant. (Tabary *et al.*, 1972)

De même si un muscle est immobilisé dans une position contractée de façon prolongée on peut observer une diminution du nombre de sarcomères d'environ 40 % et une prolifération de tissus conjonctifs. (Tabary *et al.*, 1972) Ce phénomène peut être inversé à terme par des exercices d'étirements.

Certains tissus tels que les ligaments et les tendons ne sont presque pas étirables. En fin de mouvements physiologiques ces structures vont s'étendre en étendant les fibres de collagène qui les composent, puis ces fibres vont rapidement se déformer plastiquement jusqu'à créer des lésions si les forces externes sont maintenues. C'est pourquoi il est important de faire attention en tant que praticien

à la force que l'on exerce afin d'éviter toutes blessures indésirables. Les précautions à prendre sont plus importantes chez les animaux âgés car le collagène devient moins élastique avec le temps, ainsi les lésions sont plus vite observées. Il est généralement conseillé de réaliser des séances de 10 secondes d'étirements à des intervalles de 10 secondes pendant 15 minutes 3 à 5 fois par semaine. Après amélioration de l'amplitude les séances peuvent être espacées progressivement jusqu'à être arrêtées totalement. Les expériences montrent des résultats allant jusqu'à 10 degrés d'amplitude supplémentaires par semaine sur des affections musculaires, et allant jusqu'à 5 degrés supplémentaires par semaine lors de rigidité capsulaire. (Starring *et al.*, 1988)

Aucun consensus n'a été établi quant à la méthode d'étirements optimale.

b. Les différents types d'étirements

Les types d'étirements les plus utilisés et les plus décrits en médecine vétérinaire sont les étirements statiques, passifs prolongés et balistiques.

- *Étirements statiques*

Les étirements statiques sont réalisés en plaçant les articulations en fin de mouvements physiologique dans une position telle que les muscles et les tissus conjonctifs soient étirés le plus possible sans créer de douleur et que cette position puisse être tenue. Ces étirements doivent être tenus pendant 15 à 20 secondes pendant maximum 20 répétitions, une durée plus importante n'apportant que peu de bénéfices (Madding *et al.*, 1987).

L'avantage de ce type d'étirements est que peu de forces sont appliquées ce qui réduit grandement le risque de lésions iatrogènes.

Pour réaliser ces étirements l'animal doit être le plus serein possible afin de limiter la résistance musculaire et permettre un étirement optimal des tissus cibles.

- *Etirements passifs prolongés*

Les étirements passifs prolongés sont similaires aux étirements statiques à la différence que l'étirement est maintenu pendant au minimum 20 minutes et jusqu'à plusieurs heures. Une séance d'une heure de ce type d'étirement serait plus efficace que 4 semaines d'étirements statiques chez des patients présentant de contractures chroniques du genou (Light *et al.*, 1984).

Chez les carnivores domestiques la méthode la plus simple d'effectuer ces étirements est d'utiliser des attelles ou d'autres moyens de contentions similaires.

- *Étirements dynamiques ou balistiques*

Les étirements dynamiques sont des exercices d'étirements de haute intensité jouant sur les forces cinétiques afin de créer des étirements brefs lors de mouvements rebonds.

Les risques de blessures liés à cette forme d'étirement sont élevés c'est pourquoi il n'est pas recommandé de réaliser ces exercices comme traitement précoce. Ces étirements sont souvent précédés d'échauffements et d'étirements statiques.

c. Les précautions à prendre et les contre-indications aux étirements

Le but des étirements est d'étirer et de réaligner les fibres tissulaires et non pas de les fragiliser ou de les déchirer.

Les articulations ne doivent pas être étirées au-delà de la zone de confort de l'animal.

L'animal ne doit pas être douloureux pendant ou après la séance d'étirements.

Des précautions supplémentaires doivent être prises si le membre a été immobilisé pendant une longue période du fait de la mise en place de tissu fibreux et du possible raccourcissement des fibres musculaires.

En cas de blessures ligamentaires ou tendineuses récentes il est préférable d'attendre que le tissu fibreux soit suffisamment solide pour supporter des forces d'étirements.

d. Les exercices d'étirements en pratique

Avant une séance il est préférable de faire quelques échauffements de faible intensité tels que de la marche ou de la trotte. En plus de cela il est possible d'utiliser la thermothérapie ou des ultrasons thérapeutiques en flux continu pour échauffer les tissus et améliorer leur extensibilité les rendant plus faciles à étirer et moins fragiles.

Le chien doit être placé confortablement en décubitus latéral sur une surface rembourrée.

Si l'animal n'est pas serein il est possible de le sédaté ou de le tranquilliser.

Lors d'étirements statiques le positionnement des mains et les mouvements sont identiques à ceux effectués lors de mobilisations passives cependant au lieu de réaliser des mouvements cycliques on s'intéresse cette fois-ci à la fin du mouvement soit en hyperflexion soit en hyperextension. Une fois que l'on sent une résistance on maintient la position pendant une quinzaine de secondes avant de relâcher lentement la tension. Un léger inconfort peut être signifié par l'animal. Cependant s'il vocalise ou cherche à mordre ou à s'échapper, la force appliquée sur le membre doit être diminuée légèrement.

Le thérapeute doit être patient et ne doit pas essayer de retrouver l'amplitude de mouvement physiologique en 1 ou 2 séances. Les résultats se voient généralement 2 à 3 semaines après le début du protocole à raison de 2 à 4 sessions par jour au début, puis de plus en plus espacées.

Pour ce qui est des étirements mécaniques prolongés leur réalisation par l'utilisation d'appareils contentifs externes tel que des attelles ou autres.

Les régions les plus sujettes aux contractures sont les extrémités (doigts, carpes, torses) lors d'immobilisation prolongées du membre par un plâtre ou une résine lors de fracture. Cela peut être douloureux pour l'animal et l'empêcher de reprendre des appuis corrects sur son membre convalescent.

Dans un premier temps des étirements statiques standards peuvent être réalisés. Puis entre deux séances une attelle en fibre de verre peut être moulée sur le membre sain et placée sur le membre pathologique afin de maintenir le membre étiré dans sa position physiologique.

Plusieurs couches de cotons de type SOFFBAN® sont appliquées sur le membre atteint. La partie dorsale de l'attelle est placée. Puis une bande de crêpe de coton est enroulée autour du membre et de la première partie de l'attelle afin de plaquer l'extrémité contracturée dans l'enveloppe et maintenir une tension modérée sur le membre. La seconde partie de l'attelle peut être posée ensuite. Les bandes doivent être changées 1 à 3 fois par jour et des exercices de mobilisation et des étirements effectués lors de ses changements. A chaque fois que les bandages sont remis une force de tension plus importante peut être exercée en serrant la bande de crêpe d'avantage.

Un retour à la normale est attendu en 5 à 10 jours avec cette méthode.

Pour réaliser des étirements dynamiques, l'animal doit être placé confortablement et le membre pathologique stabilisé. L'articulation doit être positionnée jusqu'à sentir un léger étirement du tissu ciblé puis le manipulateur applique de légères tensions à intervalle régulier. Le risque de léser les tissus étant plus important avec cette technique il est déconseillé de l'utiliser lors de traumatisme ou de chirurgie récente ou lors d'inflammation ou d'œdème.

Les étirements dynamiques sont utiles pour les chiens de sport ou qui ont des activités intenses de jeux.

C. Les massages

Le massage est défini comme étant l'acte de manipuler les tissus mous du corps. Dans le domaine médical les massages sont couramment utilisés pour gérer certaines douleurs au niveau des tissus mous et lors de diminutions de la mobilité. Cette technique est souvent associée à d'autres actes médicaux lors de séance de réhabilitation, de chiropraxie ou d'ostéopathie.

a. Les effets physiologiques des massages

- *Les effets psychologiques des massages*

Les massages sont particulièrement appréciés par les carnivores domestiques et aident à **apaiser, réduire l'anxiété et l'inconfort** de l'animal. Ces effets peuvent en partie être expliqués par le fait que les massages **augmentent le taux de sérotonine circulante**. (Moyer *et al.*, 2004)

L'action de caresser un jeune animal a pour conséquence de **réduire la concentration en hormone corticotrope** responsable du stress ainsi qu'à améliorer le développement cérébral notamment au niveau des apprentissages. (Selye, 1950 ; Ruegamer *et al.*, 1954)

C'est pourquoi les massages sont très intéressants en début de protocoles de rééducation avant d'effectuer des manœuvres plus douloureuses.

- *Les effets des massages sur la circulation lymphatique*

Le flux lymphatique est assuré par la pression capillaire, la pression oncotique plasmatique, la pression des fluides interstitiels et la perméabilité capillaire.

Les massages ont pour effet d'**augmenter jusqu'à 22 fois la vitesse du flux lymphatique** (Ikomi *et al.*, 1996).

Lorsqu'un tissu ou un liquide comprime un vaisseau lymphatique le flux lymphatique est stoppé. Il en résulte ainsi une augmentation de la pression des fluides interstitiels et le mouvement de fluides vers la circulation lymphatique. En massant des régions distales vers les régions proximales le thérapeute aide à déplacer la lymphe des extrémités vers le centre du corps.

Or, la majeure partie des déchets de l'organisme sont transportés par la lymphe, ainsi les massages permettent un **meilleur transport et donc une meilleure élimination des toxines et métabolites**.

De même la lymphe draine les liquides excédentaires de notre organisme, l'augmentation du flux induite par les massages permet donc de **prévenir ou traiter les œdèmes**.

- *Les effets des massages sur la circulation sanguine*

La pression appliquée par le thérapeute lors de massage augmente la pression au sein des tissus avoisinants. Un gradient de pression est ainsi créé entre les tissus et les vaisseaux. Lorsque les mains bougent un changement de pression s'installe créant ainsi des fluctuations de pressions au niveau des différents compartiments. D'après les lois de la physique les fluides se déplacent des zones de hautes pressions vers les zones de basses pressions. Ainsi lors d'un massage les fluides effectuent des mouvements de va et vient des tissus vers les vaisseaux et inversement.

Ces massages sont connus notamment pour leurs effets drainants permettant **d'éliminer notamment les métabolites, toxines** telles que **l'acide lactique** et autres molécules pro-inflammatoires telles que la **substance P** et les **prostaglandines** mais ils permettent aussi de **stimuler le transport des nutriments aux tissus**. Cependant aucune étude à ce jour ne confirme cette hypothèse. De cette façon ils seraient particulièrement efficaces afin d'apaiser les fatigues musculaires après un exercice ou pour diminuer certains types de douleurs aiguës ou chroniques. (Dupuy *et al.*, 2018)

- *Les effets des massages sur les tissus conjonctifs*

Le principal constituant du tissu conjonctif est le collagène. Il a pour fonction de résister aux forces de tensions axiales et à maintenir une tension tissulaire.

L'orientation des fibres dépend des contraintes auxquelles elles sont sujettes. Les massages vont pouvoir **aider à réorienter les fibres dans l'axe de mouvement physiologique**.

A la suite d'une blessure ou d'une chirurgie, un œdème peut se former, apportant des fibrinogènes qui à terme peuvent créer des tissus fibreux et entraver le glissement des interfaces tissulaires les unes sur les autres.

Les massages vont venir étirer les tissus, créer des élongations plastiques voire **rompre les trames des tissus fibreux** et **permettre une organisation dans le sens du mouvement du collagène** par des mouvements de pétrissage.

- *Les effets des massages sur les tissus musculaires*

Les muscles ont une tension physiologique au repos qui peut être exacerbée dans certaines situations (froid, stress, douleur) et régulée par le système nerveux central. L'étirement d'un muscle peut stimuler les fuseaux neuromusculaires et **créer une contraction réflexe suivie d'un relâchement réflexe du muscle antagoniste**.

Les massages aident à **réduire les tensions musculaires, les spasmes** et donc **prévenir les risques de fibrose musculaire** (Jacobs, 1960). En rendant les muscles plus souples et malléables les massages **améliorent l'amplitude de mouvement**. (Hernandez-Reif *et al.*, 2005)

Des méta-analyses récentes montrent un intérêt non négligeable des massages sur la récupération à long terme et notamment à **prévenir les fatigues musculaires retardées** ressenties 24 à 72 heures après un exercice intense. (Dawson *et al.*, 2004 ; Guo *et al.*, 2017 ; Wiewelhove *et al.*, 2018)

- *Les effets des massages sur l'inflammation*

Les massages entraînent une transition rapide des macrophages M₁, pro-inflammatoires, en macrophages M₂, par activation précoce du phénotype M₂, anti-inflammatoire. De cette façon les massages favorisent la régénération tissulaire en minimisant l'explosion oxydative responsable de la libération rapide de dérivés réactifs de l'oxygène tels que l'ion superoxyde ou le peroxyde d'hydrogène et la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires telles que les IL-6 ou les TNF- α par les macrophages M₁. De plus, les massages favorisent la sécrétion de cytokines anti-inflammatoires telles que le IL-4 et le TGF- β par les macrophage M₂. Ainsi ils réduisent la concentration locale en molécules cytotoxiques et donc modulent l'inflammation et favorisent le processus de réparation. (Waters-Banker *et al.*, 2014)

- *Les effets des massages sur la douleur*

Cet effet a été prouvé cliniquement à de nombreuses reprises même si le mécanisme exact reste méconnu (Menard, 2015)

La douleur peut être diminuée par l'application d'un stimulus sensitif (froid, chaud, contact). En effet, **les stimuli sensitifs sont transmis par des fibres nerveuses de plus gros calibre myélinisées**, la conduction du message est donc plus rapide que celle des **messages douloureux qui sont transmis par des fibres A δ et C** de plus petit diamètre non myélinisées. De cette façon le premier message va stimuler et saturer le neurone ou l'interneurone ce qui va éteindre le message douloureux : c'est la théorie du « **gate control** ». (Moyer *et al.*, 2004)

De par leur effet sur les tensions musculaires les massages aident à **gérer les douleurs liées à des courbatures, des contractures ou d'autres spasmes.**

Leur effet drainant permet quant à lui **d'accélérer la vitesse d'élimination des médiateurs inflammatoires et la douleur liée.**

b. Indications

Les massages sont réalisés pour soulager la douleur, réduire les tensions, améliorer la mobilité et la circulation lymphatique et sanguine et inhiber le système nerveux. Bien évidemment si les symptômes persistent la cause de la douleur doit être investiguée afin de la traiter.

Les principales indications sont :

- L'arthrose : les massages aident à soulager les contractures et donc soulagent les douleurs induites et améliorent le flux sanguin et l'apport des nutriments aux tissus mous.
- Les affections musculosquelettiques chroniques secondaires à d'autres affections mais qui par leur installation créent des problèmes d'aplombs ou de démarches eux même responsables de lésions des tissus mous (contractures) et des articulations.
- Les atteintes tendineuses
- Les soins post-opératoires et le repos strict : en post-opératoire les massages peuvent empêcher l'installation de tissus fibreux, empêchent les rétractations musculaires et tendineuses et aider à maintenir les tissus mous des membres atteints mobiles. Les massages peuvent également jouer un rôle de soutien psychologique en maintenant un contact prolongé et régulier entre le propriétaire et son animal.
- La fatigue musculaire et courbature.
- Avant et 20 à 60 minutes après des efforts intenses pour les chiens de sport et d'utilité : afin d'éviter certaines blessures lors de l'exercice et améliorer la récupération.

c. Les massages en pratique

Avant toute chose l'examen orthopédique de l'animal doit être minutieux et une attention particulière doit être portée aux aplombs, à la démarche et aux réactions lors de la manipulation des segments osseux.

L'animal et le manipulateur doivent être placés confortablement en décubitus ventral ou latéral en fonction de la zone à traiter et dans un lieu calme.

Les massages peuvent être réalisés sur tout le corps ou sur des zones particulières à cas d'affections locales. Ils sont généralement utilisés avec d'autres techniques de kinésithérapie ou complémentaires à un traitement médical.

Il existe plusieurs types de massage permettant de varier les mouvements, directions et les profondeurs de manipulation. (Millis et Levine, 2014 ; Corti, 2014 ; Formenton *et al.*, 2017)

- **L'effleurage**

Comme son nom l'indique cette technique consiste à appliquer une très faible force. Ce massage s'effectue à l'aide du plat de la main ou de la pulpe des doigts en réalisant des mouvements circulaires ou longitudinaux, amples, doux et lents (10 à 20 mouvements par minutes). De ce fait il n'intéresse que les couches superficielles. Les mouvements peuvent dépasser très largement la zone à traiter.

Ce massage est utilisé en routine pour ouvrir et fermer une séance. En ouverture de séance ils permettent d'**établir un premier contact en douceur** avec l'animal et ils sont particulièrement utiles au thérapeute pour **ressentir les différentes structures et tensions**.

L'effet recherché avec cette technique est de **stimuler les systèmes sanguins et lymphatiques, rendre plus élastiques et malléables les tissus mous** en les réchauffant mais aussi de saturer les récepteurs tactiles et **désensibiliser la zone à traiter** avant d'effectuer des exercices plus vigoureux.

- *Pressions*

- **Pressions glissées** : superficielles et profondes

Ces exercices font généralement suite aux effleurages. Ils sont réalisés en exerçant une force à l'aide des talons des mains (ou des doigts sur des surfaces plus petites) plus ou moins importante en fonction de la profondeur du tissu que l'on souhaite atteindre :

- Le système lymphatique (le plus superficiel)
- Le système veineux superficiel, sous-cutané et sous aponévrotique
- Le système veineux profond (le plus profond)

Le mouvement des mains suit le sens du poil pour permettre un meilleur glissement et éviter toute irritation tout en essayant le plus possible à diriger notre mouvement, en s'éloignant du cœur pour effectuer une manœuvre d'appel de sang frais, puis vers le cœur afin de faire une manœuvre de chasse pour **favoriser le retour veineux et lymphatique et drainer les métabolites**.

En effet, l'action recherchée avec cette technique est de **drainer les fluides corporels**, tels que le sang et lymphes, d'améliorer la mobilité des tissus et de réduire le tonus musculaire.

Cette méthode est déconseillée lors de fragilité veineuse et les pressions statiques sont alors privilégiées.

Figure 17 : Pression glissée, la flèche indique le sens des forces appliquées (source : photographie personnelle)



- *Pressions statiques*

Ils consistent en un simple appui de la main (talon ou poing) ou des doigts sans déplacement par rapport à la peau cette fois-ci. Dans ce cas-ci la pression doit à peine dépasser le seuil de douleur et être maintenue pendant 20 à 30 secondes.

Pour réaliser une manœuvre de chasse les pressions sont effectuées de façon centripète (distal vers proximal). La force à fournir est maintenue pendant 1 à 2 secondes.

Les effets recherchés sont l'**effet décontracturant, antalgique et l'optimisation du retour veineux.**

Figure 18 : Technique de pression statique réalisée avec le poing ou la paume de la main (Hourdebaigt et Seymour, 2000)

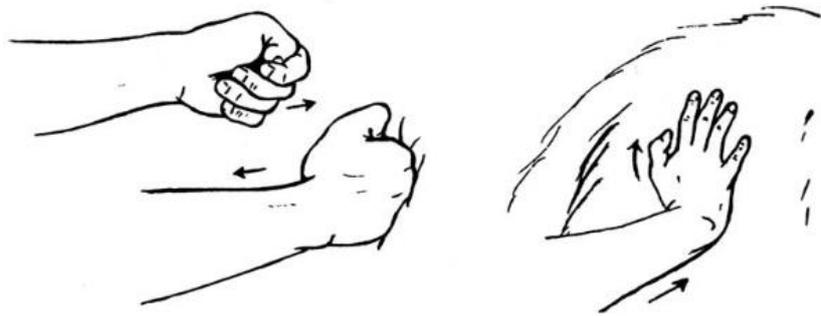
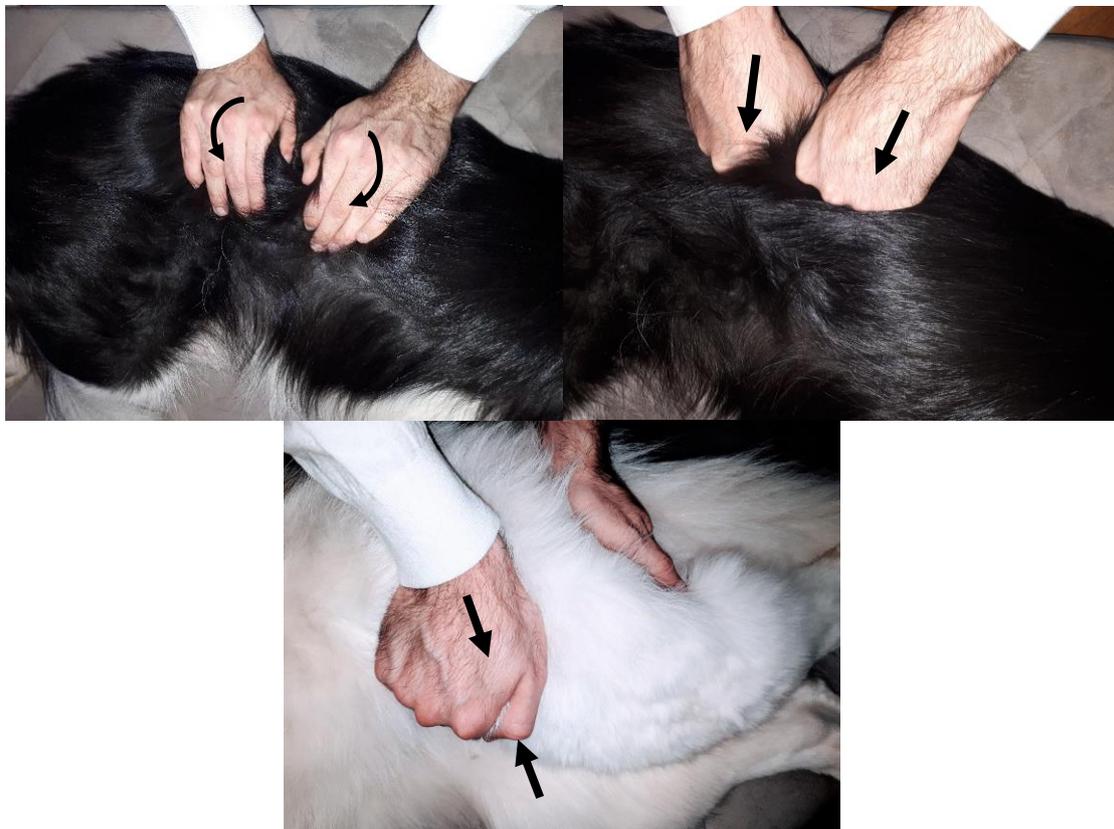


Figure 19 : Pression statique réalisé à une mains, à deux mains ou avec les poings, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : photographies personnelles)



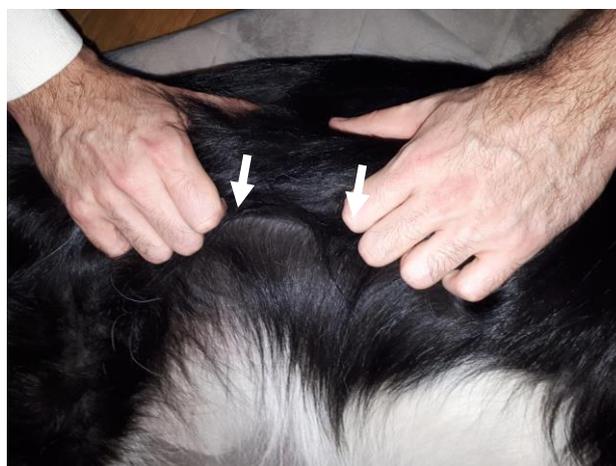
- *Pétrissage*

Cette technique est utilisée sur des zones musculaires après que les tissus ont été réchauffés. Il est déconseillé d'effectuer ce type de massage si les tissus cutanés, vasculaires ou musculaires sont fragilisés. Son application doit se faire progressivement en fonction du niveau de tolérance de l'animal.

Il consiste à saisir un large pli de tissu entre le pouce et la paume de la main ou les autres doigts et de malaxer avec fermeté les zones charnues.

De cette façon le tissu est drainé, les tensions musculaires déliées même en profondeur et les éventuelles adhérences entre les différentes interfaces tissulaires rompues.

Figure 20 : Technique de pétrissage, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : Hourdebaigt et Seymour, 2000 et photographie personnelle)



- *Friction*

- **Frictions superficielles** dont palper-rouler

Dans le cas du palper-rouler il consiste à saisir la peau et les tissus sous-cutanés entre le pouce et la paume de la main ou les autres doigts tout comme lors des pétrissages. La différence entre les techniques réside dans le fait de la faire rouler sur elle-même de façon continue et uniquement de façon superficielle. La cadence est de 1 mouvement par seconde si le massage est lent et peut atteindre 4 mouvements par seconde s'il est rapide et ce pendant 2 à 3 minutes. Cette technique permet de **favoriser la circulation veineuse et lymphatique dans le derme, empêche la formation d'adhérence et limite les contractures des muscles** superficiellement.

- **Frictions profondes** : Massage transversal profond

Le massage transversal profond est un massage en profondeur qui consiste à masser de façon très localisée les tendons, ligaments ou parties du muscle lésé. Le massage s'effectue perpendiculairement à l'axe du tissu ou circulairement à l'aide de mouvements de faible amplitude. La cadence est de 1 mouvement par seconde si le massage est lent et peut atteindre 4 mouvements par seconde s'il est rapide et ce pendant 2 à 3 minutes. Cette technique **libère les tensions musculaires en tout plan et de façon précise, casse les adhérences au niveau des tissus mous et permet une meilleure élimination des toxines par son effet drainant.**

Figure 21 : Technique de massage transversal profond réalisée avec les pouces, les flèches indiquent le sens des forces appliquées (sources : Hourdebaigt et Seymour, 2000 et photographie personnelle)



- *Percussion (hachements et tapotements)*

Sur des zones où le tonus musculaire est généralement plus important telles que les lombaires, les cuisses et les muscles glutéaux des mouvements plus énergiques peuvent être réalisés.

Les percussions sont effectuées avec un rythme défini avec les tranches des mains ou les poings en alternance dans des positions différentes. Elles vont permettre d'**échauffer, de réveiller, améliorer la circulation et l'énergie.**

Un temps d'adaptation est nécessaire pour apprendre à l'animal à accepter ce type de massage.

- *Vibrations*

Cette technique consiste en une succession de mouvements de pression rapides et de plus en plus intenses afin de transmettre une vibration aux tissus profonds. Cette méthode est généralement pratiquée en humaine à l'aide de vibromasseur car sa pratique est difficile. En médecine vétérinaire, l'usage de ces appareils est possible si l'animal les tolère.

Cette technique est **myorelaxante et antalgique**.

Figure 22 : Technique de vibration réalisé avec le plat de la main (Hourdebaigt et Seymour, 2000)



Les effets des massages peuvent se ressentir dans certains cas immédiatement après mais il faut en général réaliser des séances régulièrement afin d'observer des résultats significatifs.

d. Choix des techniques utilisées

En fonction de l'affection, de la profondeur de la lésion et du caractère de l'animal les techniques pourront être modulées et certaines largement privilégiées par rapport à d'autres.

On peut rechercher différents effets :

- Effets apaisants : effleurage, pétrissages superficiels, vibrations superficielles, massage transversal profond lent
- Effets stimulants : percussion, vibration, palper-rouler, massage transversal profond
- Effets drainants : pétrissage, pressions glissées superficielles et profondes, massage transversal profond, pressions statiques
- Effets décontractants : massage transversal profond, pétrissage, pressions statiques, vibration
- Effets fibrinolytiques : palper-rouler, pétrissage, massage transversal profond

Les techniques les plus répandues sont l'effleurage, le pétrissage et les massages transversaux profonds

a. Précautions et contre-indications

- Les inflammations aiguës : un cas de processus inflammatoire aigu local, il convient d'attendre 72 heures avant de traiter
- Les affections cutanées fragilisant le tissu (maladies de peau, les plaies, les sutures etc.) : les massages risquent d'aggraver les tissus cutanés lorsqu'ils sont en train de se régénérer
- Les tumeurs cutanées et les tumeurs malignes : lorsque le risque de dissémination locale est trop important, les massages doivent être abandonnés
- Les fractures non stabilisées : au risque de créer une cal osseuse exubérante, une cal vicieuse ou une pseudarthrose
- Les thrombopathies et hémorragies
- Les affections cardiaques non stabilisées : le massage risque d'augmenter la précharge
- Un état fébrile et une infection

D. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : la kinésithérapie :

Les exercices de mobilisation :

Effets bénéfiques principaux des exercices de mobilisation :

Maintien ou correction de l'amplitude de mouvement	Réorganisation des tissus dans l'axe du mouvement physiologique. ↘ adhérence
Limiter l'amyotrophie	↗ travail musculaire
Échauffement	↗ travail musculaire
Favorise la circulation du sang et de la lymphe	↗ retour veineux
Proprioception et appui orienté (défaut d'appui sur un membre)	Musculation ciblée Démarche harmonieuse

Utilisation en pratique :

Mobilisation passive :

- Animal à l'aise en décubitus latéral sur un support confortable
- Les mains de part et d'autre de l'articulation immobilisant proximale l'os concerné et effectuant des mouvements en déplaçant l'about distal du membre)
- Forces appliquées dans l'axe physiologique du mouvement (pas de mouvement de rotation, varus ou valgus sauf cas particulier tel qu'ankylose dans ces axes) et sans créer de résistance musculaire en fin de mouvement
- Commencer par des petits mouvements pour détendre l'animal puis augmenter progressivement l'amplitude des mouvements
- Observer les signes d'inconfort : mimiques faciales, gémissements, mouvements de tête, mouvements du membre

Fréquence : 10-15 répétitions par articulation, 1 à 3 séances par jour jusqu'à récupération motrice satisfaisante

Mobilisation active et active assistée :

- Marche en laisse assistée d'un harnais/une serviette en soutien
- Exercices assis-debout
- Exercices de proprioception sur Physioball, planche de proprioception ou Imoove ou plateau vibrant
- Slalom ou marche en « 8 »
- Parcours d'obstacle de type Cavaletti
- Marche ou trot en pente à dénivelé positif ou négatif (au sol ou sur tapis sec) ou montées/descentes d'escalier

Fréquence : 1 à 3 séances par jour jusqu'à récupération d'une démarche symétrique

Principales indications :

En post opératoire immédiat (↗ taux de guérison ↘ douleur)

En prévention : Lors d'immobilisation ou de sous-utilisation d'un membre forcé ou auto-induite (↘ complications fracturaires, ↘ adhérences)

En curatif : amyotrophie, contracture musculaire, ankylose articulaire

- Arthrose
- Dysplasies de la hanche et du coude
- Hernies discales
- Suite à une chirurgie de ligament croisé
- Amyotrophie liée à une sous-utilisation d'un ou plusieurs membre(s)

Contre-indications :

- Lorsque l'exécution d'un mouvement pourrait être la cause d'une blessure future ou d'une instabilité (fracture proche de l'articulation non stabilisée, rupture partielle ou totale d'un ligament/tendon)
- Zone d'infection bactérienne locale
- Ostéomyélite
- Thrombopathie, hématome ou traitement anticoagulant
- Lésions cutanées
- Sutures en zone tendue
- Problème circulatoire (diabète)
- Hypersensibilité

Les étirements :

Effets bénéfiques principaux des étirements :

↗ amplitude de mouvement	Rupture des adhérences
	Réorganisation des trames de tissu conjonctif
	Multiplication et allongement des sarcomères

Utilisation en pratique :

Positionnement des mains et mouvements identiques à ceux effectués lors de mobilisation passive mais au lieu de réaliser des mouvements cycliques on cherche à créer une légère tension (ne créant pas d'inconfort) sur les muscles et les tissus conjonctifs. On maintient la position pendant une quinzaine de secondes avant de relâcher lentement la tension

Fréquence : 2 à 5 répétitions, 1 à 3 séances par jours jusqu'à obtention d'une amplitude de mouvement satisfaisante

Synergie : à la suite d'une séance de thermothérapie et/ou une séance d'ultrason ou de laser

Principales indications :

Perte d'amplitude de mouvement liée à des contractures articulaires, musculaires, tendineuses ou ligamentaires

Contre-indications :

- Douleur lors des exercices
- Blessure ligamentaire ou tendineuse en phase inflammatoire aiguë
- Thrombopathie

Les massages :

Effets bénéfiques principaux des massages :

Effet drainant (prévient la formation ↗ Retour veineux d'œdème)

Effet décontracturant

Effet mécanique

↗ Élimination des toxines

↗ Seuil de sensibilité

Effet analgésique

↗ Élimination des toxines

↗ Seuil de sensibilité

Effet stimulant

↗ Élimination des toxines

↗ Apport en nutriment

↗ Sécrétion d'hormones

Effet psychologique

Sécrétion d'hormones corticotropes, sérotonine

Effet fibrinolytique

Effet mécanique

Utilisation en pratique :

- Effets apaisants : effleurage, pétrissage superficiel, vibrations superficielles, massage transversal profond lent
- Effets stimulants : percussion, vibration, palper-rouler, massage transversal profond
- Effets drainants : pétrissage, pressions glissées superficielles et profondes, massage transversal profond, pressions statiques
- Effets décontractants : massage transversal profond, pétrissage, pressions statiques, vibration
- Effets fibrinolytiques : palper-rouler, pétrissage, massage transversal profond

Principales indications :

- Mettre en confiance l'animal avant une séance de mobilisation
- Arthrose
- Affections musculosquelettiques chroniques secondaires à d'autres affections
- Atteintes tendineuses
- Soins post-opératoires et repos strict
- Fatigue musculaire et courbature
- Avant et 20 à 60 minutes après des efforts intenses

Contre-indications :

- Inflammations aiguës
- Affections cutanées fragilisant le tissu (maladies de peau, plaies, sutures etc.)
- Tumeurs cutanées et tumeurs malignes
- Fractures non stabilisées
- Thrombopathie et hémorragie
- Affections cardiaques non stabilisées
- Etat fébrile et infection

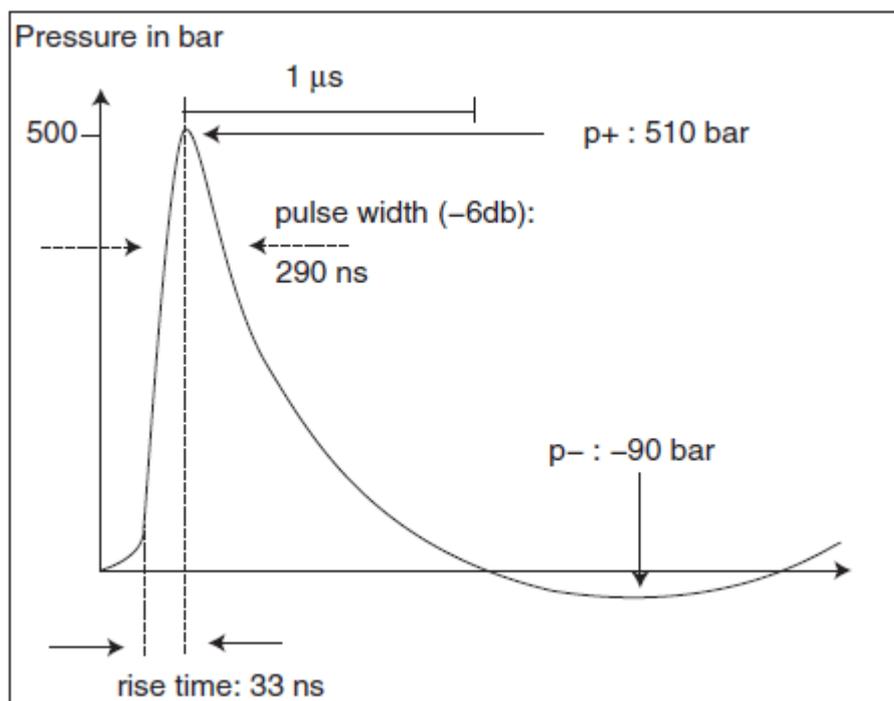
3. Les ondes de choc

Les ondes de chocs étaient à l'origine utilisées afin de réaliser des lithotripsies au niveau de la vessie, des glandes salivaires mandibulaires, de la vésicule biliaire et du pancréas. Les premiers effets sur la régénération osseuse ont été découverts fortuitement sur le pelvis lors d'études portant sur la lithotripsie.

A. Définition

Les ondes de choc sont des **ondes sonores à haute pression** (20-100 méga Pascals) et **haute vitesse** ; c'est-à-dire qu'elles se caractérisent par une augmentation brutale de la pression pendant un très court laps de temps de 5 à 10 nanosecondes.

Figure 23 : Profil d'une onde de choc (source : Pulsevet)



Une onde de choc est composée de deux phases, une première phase positive brève qui correspond à la compression du milieu et à l'augmentation de pression et une deuxième phase négative qui correspond à une mise sous tension du milieu. Cette deuxième phase sera à l'origine de phénomène de cavitation (formation de cavités gazeuses dans un liquide soumis à des ondes de décompression).

En ajustant la fréquence, il est possible d'annuler la deuxième phase de l'onde de choc et de s'affranchir des pressions négatives.

Les ondes de choc sont délivrées au tissu afin de produire un effet incluant une **analgésie**, une **néovascularisation**, une **production de facteurs de croissance** et une **amélioration des tissus de régénération**.

Elles diffèrent des ultrasons du fait de leur fréquence beaucoup plus basse. Les ondes de chocs sont des infrasons. De ce fait elles sont moins absorbées par les tissus et n'ont pas d'effet thermique associé.

B. Les générateurs d'ondes de choc

Il existe deux types de thérapie par onde de choc : focale et radiale.

a. Les ondes radiales

Pour les générateurs d'ondes radiales, le mécanisme de fonctionnement est généralement pneumatique créant des concussions pneumatiques.

Les ondes radiales permettent de délivrer l'énergie en plus faible quantité et de façon plus diffuse ciblant ainsi une grande quantité de tissu, cependant les tissus en profondeur recevront peu d'énergie du fait de la dissipation.

Le maximum de pression avec ce type d'appareil est de 10 Bars soit 1 MPa atteint en 1ms. **Son efficacité peut atteindre 3.5 cm de profondeur.**

b. Les ondes focales

Les générateurs actuellement sur le marché délivrant ce mode de diffusion tissulaire sont des générateurs électromagnétiques, piézoélectriques ou électrohydrauliques. L'énergie délivrée décline rapidement en périphérie et 80 % de l'énergie est libérée au niveau de la zone ciblée. Cela permet de cibler avec une grande précision les zones à traiter. Les ondes focales permettent d'atteindre les tissus en profondeur.

Chaque générateur à un mode de fonctionnement unique lui conférant un focus différent. Du plus focalisé au moins focalisé : les générateurs piézo-électriques, électromagnétiques et enfin électrohydrauliques.

Le maximum de pression avec ces appareils est de 100 Bars soit 10 MPa atteint en 1 μ s. Du fait de la puissance de cette méthode la lésion doit être le mieux localisée possible afin d'éviter de léser les tissus sains avoisinants. La localisation se fait le plus souvent par palpation ou échographie.

Figure 24 : Panneau de contrôle d'une générateur d'ondes de choc (source : www.ec21.com)



C. Les effets biologiques des ondes de chocs extracorporelles

Les forces mécaniques de compression et de tension diffusent et libèrent de l'énergie au niveau des interfaces tissulaires. **Plus la densité entre deux interfaces varie plus les phénomènes de réflexion et de transmission d'énergie** seront importants. L'interface tissulaire la plus prononcée est celle formée avec la corticale osseuse. C'est pourquoi les ondes de choc sont particulièrement indiquées pour les problèmes ostéoarticulaires.

Des **bulles de cavitations** sont formées secondairement aux forces de tensions et de compression. Ces dernières lors de leur rupture génèrent un jet d'eau de hautes énergies et produisent de hautes températures. La cavitation est à l'origine de la **production de radicaux libres**. La croissance et la rupture des bulles de cavitation pourraient être un des mécanismes expliquant **l'augmentation de la perméabilité des membranes cellulaires**. (Sundaram *et al.*, 2003 ; Nan *et al.*, 2018)

Les ondes de chocs présentent une **cytotoxicité dose dépendante** en fonction de la fréquence et de la densité énergétique. La sensibilité aux ondes de chocs varie d'un type cellulaire à un autre. (Yang *et al.*, 1988 ; Kaulesar Johannes *et al.*, 1994) En effet les tendons et ligaments semble être par exemple plus sensibles à un excès d'énergie que d'autres structures. (Maier *et al.*, 2002 ; Hochstrasser *et al.*, 2016)

Les ondes de chocs agissent donc principalement en **créant des microlésions** au niveau des tissus cibles. Pour qu'elles soient bénéfiques il faut donc que les tissus soient capables de cicatriser correctement. De plus la structure locale de la zone doit être correcte et les nutriments apportés en quantité suffisante.

a. L'effet vasculaire

Les ondes de choc **stimulent la synthèse de NO** qui est un puissant **vasodilatateur** local. De cette façon le **flux sanguin local est augmenté** permettant aux nutriments d'être apportés en plus grande quantité.

De plus, les métabolites cellulaires et les facteurs pro-inflammatoires sont ainsi éliminés plus rapidement.

De plus les ondes de chocs stimulent la **synthèse de facteurs angiogéniques** tels que les :

- **VEGF**
- **eNOS**
- **PCNA** (proliferating cell nuclear antigene)

Ces molécules sont **responsables de la néovascularisation**.

La concentration des eNOS et des VGEF est augmentée après une semaine post-traitement et se maintient à des valeurs hautes pendant 8 semaines avant de commencer à diminuer vers 12 semaines. La concentration en PCNA et la formation de néovaisseaux sont plus tardives et commencent environ 4 semaines après le traitement et persistent pendant 12 semaines. Cet effet angiogénique joue un rôle majeur dans l'amélioration du flux sanguin localement et la régénération tissulaire. (Wang *et al.*, 2003)

b. L'effet sur les tissus osseux

Les ondes de chocs extracorporelles sont incontestablement une alternative à la chirurgie lors de fracture osseuse qui montrent des résultats au moins similaires si ce n'est meilleurs que la chirurgie orthopédique dans certain cas tels que lors de retard de cicatrisation. (Schaden *et al.*, 2015)

Les ondes de chocs pourraient stimuler la régénération osseuse en créant de microfractures au niveau de trabécules osseux conduisant à la **libération de facteur de croissance** et à la **formation d'un hématome fracturaire**.

En plus de stimuler la néoangiogénèse et de l'augmentation du flux sanguin qui sont des processus essentiels à la régénération tissulaire du fait de la reperfusion osseuse ; les ondes de chocs sont responsables de l'augmentation locale de :

- **BMP-2, 3, 4 et 7** (Bone morphogenetic Protein) et de **PCNA** (proliferating cell nuclear antigen) qui sont respectivement des facteurs de croissance osseux et des facteurs nucléaires impliqués dans la réplication du génome. (Wang *et al.*, 2003 ; Wang *et al.*, 2014 ; Cheng et Wang, 2015)
- **TGF-B1** et **des facteurs de croissance endothéliale vasculaire** favorisant le recrutement au niveau de la moelle épinière et la différenciation des cellules souches mésenchymateuses en ostéoblastes. (Chen *et al.*, 2004a)
- Ostéocalcine, hormone sécrétée par les ostéoblastes afin de favoriser la fixation du calcium à la substance fondamentale. (Yin *et al.*, 2011)
- **Phosphatase alcaline spécifique**, molécule reflétant l'activité osseuse (Yin *et al.*, 2011)
- **Monoxyde d'azote** jouant également un rôle dans le processus de cicatrisation osseuse. (Diwan *et al.*, 2000)

Toutes ces molécules sont retrouvées en quantité plus importante localement 24 heures après le début des ondes de chocs.

Les BMP-2, 3, 4 et 7 sont retrouvés en plus grande quantité 4 semaines après le début d'un protocole d'ondes de choc. Associées à l'enzyme eNOS ces molécules participent au mécanisme d'ostéosynthèse. (Wang *et al.*, 2003)

Les réponses histologiques (densification, cicatrisation, néovascularisation) sont observées 4 à 8 semaines après le début du protocole.

c. Les effets sur les cartilages et chondrocytes

L'apoptose des chondrocytes et la sévérité des lésions cartilagineuses sont bien moindres lors de rupture du ligament croisé traitée par ondes de choc sans chirurgie. (Wang *et al.*, 2011a). Les ondes de choc jouent donc un **rôle chondroprotecteur** et **améliorent le remodelage des os sous chondrales** et **retarderaient ainsi l'apparition d'arthrose**. (Wang *et al.*, 2011b)

Ces effets sont liés à une **diminution rapide des IL-10** et des **TNF- α** intracellulaire activant les gènes de l'inflammation aboutissant à la synthèse de **monoxyde d'azote**, de **cyclooxygénase-2** et de **métalloprotéases 1**, molécules responsables de l'inflammation et de leur mécanisme dégénératif. Leur concentration diminue dès 24 heures après le début du traitement. (Wu *et al.*, 2008 ; Moretti, 2008)

De plus, 4 à 8 semaines après le début du protocole, un **recrutement des cellules souches mésenchymateuses** (Zhang, 2018) associé à une **augmentation de la concentration en facteur de**

croissance TGF- β 1, IGF-1, en collagène de type II au niveau du cartilage articulaire, **en facteur de croissance vasculaire endothélial VEGF, en protéines morphogénétiques osseuses BMP-2 et en ostéocalcine** au niveau de l'os sous-chondral montrent que les ESWT jouent un rôle dans la **néovascularisation périphérique** et dans la **régénération des tissus cartilagineux**. (Wang *et al.*, 2012)

d. Les effets sur les tendons et les ligaments

Lors de desmites induites par injection de collagénase traitées par les ondes de choc il a été constaté une **destruction des tissus métaplasiques anormaux, une augmentation du nombre de fibrilles de collagènes de type I et de type III, de ténocytes, une néovascularisation** liée une **augmentation des marqueurs d'angiogenèse** tels que les facteurs de croissance vasculaire endothéliale et les eNOS. (Wang *et al.*, 2001 ; C.-J. Wang *et al.*, 2003 ; Chao *et al.*, 2008 ; Frairia et Berta, 2011)

Lors de traitement de tendinite avec les ondes de choc la réparation tissulaire est liée à une **augmentation de l'activité des fibroblastes** responsables de **l'augmentation de la concentration en TGF- β 1** de façon précoce **et en IGF-1** plus tardivement. Ces molécules sont des médiateurs de la prolifération cellulaire et de la régénération. (Chen *et al.*, 2004b ; Hsu *et al.*, 2004 ; Berta *et al.*, 2009 ; Frairia et Berta, 2011)

Une augmentation de la **synthèse de protéines et de glycosaminoglycanes** est notée dans les 3 heures suivant l'application d'onde de choc avec une exacerbation du métabolisme anabolique. (Bosch *et al.*, 2007)

Au niveau mécanique la résistance à la traction est également supérieure probablement dû à la prolifération cellulaire et **l'augmentation de la concentration en hydroxyproline**, acide aminé permettant la formation de liaisons covalentes (réaction d'aldolisation) entre différentes chaînes polypeptidiques voisines. (Hsu *et al.*, 2004 ; Kersh *et al.*, 2006)

L'effet mécanique des ondes de chocs extracorporelles permet de **détruire les calcifications** au niveau des tendons. Cet effet est comparable à celui utilisé lors de lithotripsie à l'aide d'ondes de choc. (van der Worp *et al.*, 2013)

e. L'effet anti-inflammatoire

Lors de stress physique de déchirement, **l'activité des eNOS est stimulée** du fait de la phosphorylation au niveau des cellules endothéliales. Les ondes de choc à faible dose créent des lésions similaires. (Mariotto *et al.*, 2009)

Ces lésions **stimulent la synthèse de NO** qui a un rôle de **rétrocontrôle négatif** à haute concentration sur la production de **NF- κ B** et donc sur tous les gènes dépendant des NF- κ B c'est à dire sur les **iNOS, les TNF- α , les ICAM, VCAM et les COX-2** qui sont toutes des molécules pro-inflammatoires. Ainsi les ondes de chocs **permettent de moduler le processus inflammatoire**. (Mariotto *et al.*, 2009)

De plus l'augmentation de la vascularisation permet de drainer l'œdème et les molécules pro-inflammatoires présentes localement.

f. L'effet analgésique

Le mécanisme de l'analgésie est peu compris et plusieurs hypothèses ont été retenues.

Un premier effet antalgique semble s'installer rapidement en 3 à 4 jours. Il est attribué à l'effet anti-inflammatoire, à l'hyperstimulation et à l'effet des ondes de choc sur la synthèse de substance P qui augmente après la séance et se maintient pendant 6 semaines. (Maier *et al.*, 2003 ; Hausdorf *et al.*, 2004)

Un second effet est noté 3 à 4 semaines après et il serait dû au relargage de VEGF induisant une angiogenèse et au remodelage de la matrice tissulaire. Ces effets antalgiques semblent être plus significatifs sur des affections chroniques que sur des affections aiguës. (Helbig *et al.*, 2001) Par extrapolation en médecine vétérinaire cette bimodalité analgésique a été notée sans pour autant avoir déterminé les mécanismes.

Les ondes de chocs stimulent la production de cytokines, de facteurs de croissance (TGF- β 1 et IGF-1) et d'oxyde nitrique synthase endothéliale (eNOS) et le rétrocontrôle positif de l'expression de protéine morphogénétique osseuse (Chen *et al.*, 2004b). Ces relargages de protéines entraînent une diminution de l'inflammation et de l'œdème et donc une analgésie rapide.

D. Indications

Les ESWT étant des traitements ayant des effets bénéfiques tardifs doivent être utilisés lors d'approches thérapeutiques multimodales.

a. Tendinopathie et ligamentopathie

Les tendinopathies et ligamentoplasties répondent relativement bien aux ondes de choc.

Lors de calcification tendineuse : Les ondes de chocs ont une efficacité similaire à l'arthroscopie. Cependant cette technique étant non invasive il est préférable de l'utiliser en première intention. Une amélioration de la boiterie est notée 3 à 4 semaines après le début des traitements, cependant le matériel calcifié n'était pas résorbé à la fin du traitement. (Rebuzzi *et al.*, 2008 ; Schaden *et al.*, 2015)

Lors d'inflammations aiguës ou chroniques : par exemple lors de desmite du ligament patellaire après nivellement du plateau tibial ou de tendinite bicipitale, les résultats sont visibles dès 4 à 6 semaines après la fin du protocole avec une amélioration de la démarche et une augmentation des forces de réactions verticales associée à une diminution du score de douleur. (Bockstahler *et al.*, 2006 ; Becker *et al.*, 2015 ; Leeman *et al.*, 2016 ; Barnes *et al.*, 2019)

b. Régénération osseuse

Lors de fracture, de retardement de la consolidation ou de pseudarthrose, les ondes de chocs pourraient stimuler la régénération osseuse en créant de microfractures au niveau de trabécules osseux conduisant à la libération de facteur de croissance et à la formation d'un hématome fracturaire. (Delius *et al.*, 1995)

Sur des fractures tibiales chez 16 chiens lors de thérapie par ondes de choc 12 semaines après le début du traitement les corticales étaient plus denses, plus épaisses que les cals de contrôle rendant l'os plus souple et plus résistant aux forces qui lui sont appliquées. (Wang *et al.*, 2001)

Lors de nécrose de la tête fémorale les résultats des ondes de chocs sont aussi probants chez l'homme montrant une amélioration significative de la douleur chez 79 % des patients (Wang *et al.*, 2005) ainsi qu'un ralentissement voire un arrêt de l'évolution radiographique de la maladie lorsqu'elle est traitée précocement. (Algarni et Al Moallem, 2018)

Lors d'ostéomyélite induite par *staphylococcus aureus* chez des lapins les ondes de chocs ciblées étaient utilisées 2 fois 4 et 5 semaines, après inoculation le score d'ostéomyélite était diminué significativement lors de traitement par ondes de chocs bien que *S. aureus* était toujours détectable. Les ESWT sont donc un bon traitement adjuvant aux ostéomyélites septiques. (Gollwitzer *et al.*, 2009 ; Inanmaz *et al.*, 2014)

c. Lésions cartilagineuses

Lors d'arthrose de la hanche, les ondes de chocs améliorent après 4 semaines les forces de réaction au sol et le score de douleur de façon durable jusqu'à au moins 3 mois après la fin du protocole. (Mueller *et al.*, 2007 ; Souza *et al.*, 2016)

Des résultats similaires ont été obtenus lors d'arthrose du genou après 3 semaines de traitements. En effet, les forces de réaction et d'impulsion au sol sont améliorées après 21 jours et continuent de s'améliorer après la fin de l'étude à 98 jours. (Dahlberg, 2005)

Lors d'arthrose, l'effets des ondes de chocs concernant l'amélioration des forces réactions verticales aux sols et des amplitudes de mouvements sont similaires à celles obtenues lors de traitements anti-inflammatoires non stéroïdiens. (Millis *et al.*, 2011)

E. L'application des ondes de chocs

En fonction du tempérament de l'animal et de l'aise du praticien l'animal pourra rester vigile ou être sédaté voire anesthésié afin de réaliser la séance dans des conditions de bien-être et de sécurité optimale.

Les poils peuvent être coupés et la peau enduite de gel de contact afin d'éliminer l'air faisant obstacle à la propagation des ondes tout comme lors de traitements ultrasoniques.

L'anatomie du site à traiter doit être parfaitement comprise. Lors de traitement d'une articulation la sonde doit être dirigée vers l'insertion de la capsule articulaire sur toute sa surface plutôt que vers le cartilage articulaire.

Lors de traitement ligamentaire ou tendineux les ondes doivent être orientées de façon proximale vers distale.

Aucun consensus concernant les densités énergétiques et le nombre d'ondes de choc à appliquer optimaux n'a été établi et il est conseillé de se référer aux constantes fournies par les constructeurs. Dans la plupart des situations, 500 à 1000 ondes sont appliquées.

Les plaies traitées sont avec de faibles densités énergétiques alors que les fractures et arthroses le sont avec de fortes densités.

Le traitement est généralement limité à 2 séances espacées de 3 à 4 semaines d'intervalle.

Les effets bénéfiques peuvent apparaître de façon très tardive jusqu'à quelques mois après traitement lors d'arthrose par exemple.

Figure 25 : Application des ondes de chocs (sources : www.avlpetrehab.com, animalwellnessmagazine.com)



F. Effets secondaires et précautions à prendre

Lors de traitements avec de fortes densités énergétiques les ultrasons peuvent être délétères surtout lorsque les ultrasons sont ciblés et orientés vers une structure sensible. L'utilisation de plus faibles densités énergétiques réduit le risque de lésions indésirables.

Il est par conséquent recommandé de ne pas utiliser les ondes de chocs sur des animaux jeunes ou en développement afin de ne pas endommager les plaques de croissance par inadvertance.

Les effets secondaires les plus largement décrits sont l'apparition de pétéchies et de contusions qui ne sont que des effets mineurs.

Dans de plus rares cas lors de forte densité énergétique des petits hématomes et des œdèmes locaux peuvent se former sur le site d'application.

Un inconfort après application peut être ressenti et facilement traité par l'administration d'antidouleur léger. Le recours aux anti-inflammatoires stéroïdiens et non stéroïdiens n'est généralement pas nécessaire pour autant.

Si des vaisseaux sont présents dans la zone d'application des dommages interstitiels entraînant des vasoconstrictions, des augmentations de la perméabilité voire des ruptures peuvent apparaître.

Si des nerfs sont présents des potentiels d'action répétés peuvent être induits de façon transitoire.

Les nerfs et les vaisseaux devraient donc être évités lors de thérapie par ondes de choc. Cependant ils restent moins sensibles aux effets délétères des ondes de choc que les autres tissus.

G. Contre-indications

- Traitements proches d'organes thoraciques, abdominaux, cerveaux ou de vaisseaux majeurs : il existe un risque important de lésions tissulaires c'est pourquoi la sonde ne devrait jamais être dirigé vers ce type de tissu.
- Utérus gravide de femelle gestante : de la même façon que précédemment il existe un risque de lésion utérine mais aussi fœtal.
- Trouble de la coagulation : du fait de ses effets secondaires, les ondes de chocs ne sont pas recommandées au risque de créer des hémorragies internes.
- Plaque de croissance chez un animal immature : les lésions occasionnées par les ondes de choc peuvent conduire à la fermeture des plaques de croissance.
- Maladie auto-immunitaire articulaire.
- Arthrite infectieuse, spondylodyscite : risque de septicémie accru.
- Néoplasie : risque de dissémination de cellules cancéreuses.
- Déficits neurologiques.

H. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : les ondes de choc :

Effets bénéfiques principaux :

Vasodilatation	↗ NO
Stimulation de l'angiogenèse	↗ VEGF ↗ eNOS ↗ PCNA
Intervient dans la régénération osseuse via la libération de facteur de croissance osseux	↗ BMP-2, 3, 4 et 7 ↗ eNOS
Recrutement et différenciation des cellules souches	↗ TGF-B1 ↗ VEGF
Synthèse et structuration des trames osseuses	↗ PCNA ↗ PAL ↗ ostéocalcine
Effet chondroprotecteur	Effet anti-inflammatoire : ↘ IL-10 ↘ TNF-alpha ➔ ↘ COX-2 ↘ MMP-1 Facteurs de croissance ↗ TGF-Béta1, ↗ IGF-1 ↗ Collagène de type 2 Néovascularisation périphérique au niveau de l'os sous chondral

Régénération cutanée, tendineuse et ligamentaire	<p>Destruction des métaplasies anormales et des calcifications</p> <p>↗ Collagène 1 et 3</p> <p>↗ Ténocytes</p> <p>↗ activité des fibroblastes : ↗ TGF-β1, ↗ IGF-1</p> <p>↗ Synthèse de protéines de GAG et d'hydroxyproline (réaction d'aldolisation)</p>
Effet anti-inflammatoire	<p>↗ NO</p> <p>→ ↘ NF-κB</p> <p>→ ↘ iNOS, ↘ TNF-α, ↘ ICAM, ↘ VCAM, ↘ COX-2</p>

Utilisation en pratique :

Ondes radiales : ondes diffuses se propageant en superficie (maximum 3.5 cm de profondeur)

- Générateurs pneumatiques

Ondes focales : ondes concentrées en un point se propageant en profondeur

- Générateurs électromagnétiques
- Générateurs piézoélectriques
- Générateurs électrohydrauliques

Principales indications :

- Tendinopathie et ligamentopathie inflammatoire aiguë et chronique
- Calcification tendineuse
- Arthrose
- Retard de cicatrisation osseuse
- Nécrose de la tête fémorale
- Ostéomyélite

Contre-indications :

- Organes fragiles, remplis de liquides ou de gaz
- Troubles de la coagulation
- Plaque de croissance
- Maladie auto-immunitaire
- Arthrite infectieuse
- Spondylodyscite
- Néoplasie
- Déficits neurologiques

4. L'hydrothérapie

L'hydrothérapie est une méthode thérapeutique pratiquée depuis plusieurs siècles qui consiste à soigner ou prévenir certaines affections par l'usage de l'eau.

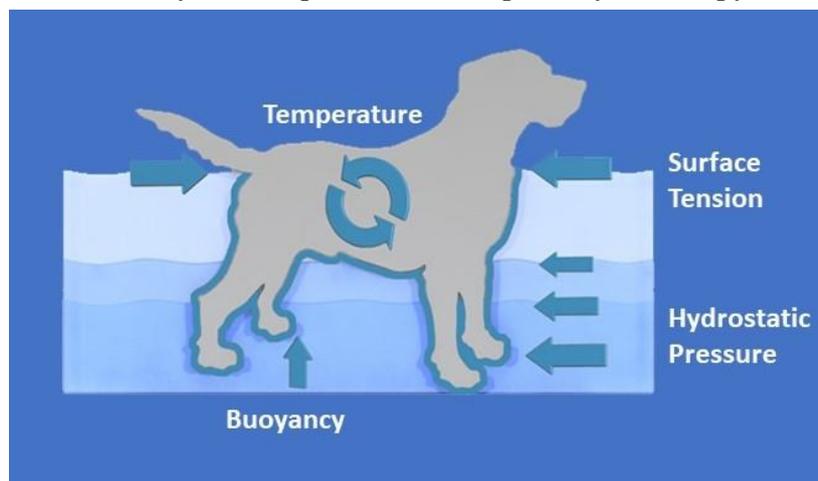
C'est l'une des sous disciplines de la physiothérapie la plus populaire et la plus couramment utilisée ou énoncée en médecine vétérinaire.

L'eau possède de nombreuses propriétés physiques qui sont bénéfiques en rééducation

A. Les lois physiques et thermodynamiques de l'eau et leurs effets physiologiques

L'eau est un milieu à part entière qui possède de nombreuses lois physiques. Ces lois sont très utiles en rééducation fonctionnelle.

Figure 26 : Synthèse des lois physiques et thermodynamiques s'appliquant sur l'animal lors d'une séance d'hydrothérapie (source : <http://k9hydrotherapy.ca>)



a. La thermodynamique

La capacité thermique et la conductivité thermique de l'eau permettent de rapidement réchauffer ou refroidir le corps. L'eau est généralement maintenue aux alentours de 30°C en hydrothérapie.

Une étude de Nganvongpanit et al. 2014 a montré que faire nager des chiens pendant 20 minutes dans une eau trop froide (25°C) augmentait le rythme cardiaque et la glycémie des individus. Au contraire, les faire nager dans une eau trop chaude a pour conséquence d'augmenter significativement la fréquence respiratoire des animaux. (Nganvongpanit *et al.*, 2014a)

Il en conclut donc que la température idéale se situe aux alentours de 30-33°C. Cela permet d'une part d'éviter de refroidir de façon trop importante le corps, mais aussi d'empêcher ce dernier de s'échauffer, notamment au niveau des articulations.

Certaines piscines sont accompagnées d'un bain à 40°C afin de réchauffer les articulations ankylosées avant le début de l'exercice.

Une autre étude de Nganvongpanit a permis de quantifier l'élévation de la fréquence cardiaque chez des chiens de tout format. Par cette étude ils recommandent de limiter les exercices de nage, en fonction de la taille du chien, à des sessions de 15 minutes pour les races de petit format à 30 minutes pour les races de grand format. (Nganvongpanit *et al.*, 2011)

b. La flottabilité et la poussée d'Archimède

La flottabilité d'un corps correspond à la différence entre le poids du corps et la poussée d'Archimède.

La poussée d'Archimède se définit ainsi : « tout corps plongé dans un fluide au repos, entièrement mouillé par celui-ci ou traversant sa surface libre, subit une force verticale, dirigée de bas en haut et opposée au poids du volume de fluide déplacé ». C'est grâce à cette dernière que les objets ou les corps peuvent flotter.

$$\text{La flottabilité } F_f = (\text{poids du corps}) - (\text{poussée d'Archimède}) = g \times (m - V \times \rho')$$

avec m(kg) la masse du corps immergé ayant un volume V(m³)

ρ' (kg/m³) la masse volumique du fluide immergeant

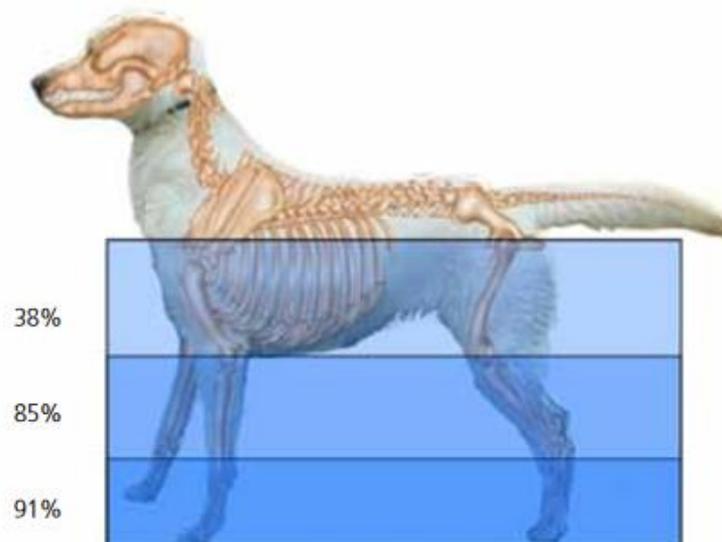
et g (m/s²) la pesanteur

Cette formule explique indirectement qu'un corps présentant une masse volumique plus faible flottera plus simplement. La densité des éléments du corps varie de 0.8 pour la graisse en passant par 1 pour le muscle allant jusqu'à 2.0 pour l'os.

En humaine, il a été montré que la densité d'un homme variait entre 0.93 et 1.10 (Edlich *et al.*, 1987)

En extrapolant cela, un animal en surpoids flottera plus simplement qu'un animal svelte. Selon deux études de Levine *et al.*, les forces de réactions verticales d'un chien immergé jusqu'aux tarses ne sont plus que de 91 % ; jusqu'aux genoux de 85 % ; jusqu'aux grands trochanters de 38 % par rapport aux forces de réaction exercées sur la terre ferme. (Levine *et al.*, 2002a ; Levine *et al.*, 2010)

Figure 27 : Effet de la profondeur d'immersion du corps d'un chien sur son poids apparent (Levine *et al.*, 2002a ; Levine *et al.*, 2010)



Cette force appliquée dans tous éléments liquidiens permet de diminuer artificiellement le poids du corps de l'animal et donc de diminuer les tensions au niveau des articulations. De même cela permet à des animaux non ambulatoires, du fait de leur amyotrophie musculaire, de bouger leurs membres là où, en dehors de l'eau, cela leur est impossible.

c. La pression hydrostatique ou loi de Pascal

La loi de Pascal est une loi de mécanique des fluides indiquant que la pression exercée n'importe où dans un fluide incompressible enfermé est transmise dans toutes les directions à travers le fluide. Dans notre cas cette pression provient de la masse de fluide qui se trouve au-dessus du corps. Ainsi, plus il y a de liquide au-dessus du corps plus la pression est importante. Il est à noter que la pression est la même sur toutes les surfaces à une profondeur donnée.

La pression exercée sera donc plus importante au niveau de la partie distale des membres qu'en partie proximale. De cette façon, elle est bénéfique pour le patient car elle améliore la circulation sanguine et lymphatique en permettant un meilleur retour veineux du sang des membres vers le cœur et permet de réduire les œdèmes tissulaires ou l'empatement articulaire.

d. La résistance hydrodynamique

Du fait de la viscosité de l'eau créée par la cohésion entre les molécules d'eau, les forces de résistance exercées sur le membre contre les forces de mouvement exercées par l'animal sont plus importantes que les forces de résistance exercées par l'air.

L'hydrothérapie privilégie ainsi l'effort musculaire puisque l'animal doit fournir une force plus importante pour réaliser un même mouvement. L'exercice est donc plus efficace et plus consommateur d'oxygène.

Puisque l'intensité de l'exercice est multipliée, il augmente le rythme cardiaque pour subvenir aux besoins en oxygène et énergétiques. Ce type d'exercice est donc déconseillé aux animaux présentant des problèmes circulatoires ou cardiaques.

Créer des mouvements de turbulence permet de casser cette cohésion entre les molécules d'eau et donc de réduire la résistance hydrodynamique ; paradoxalement cela augmente l'effort nécessaire à se mouvoir.

Cette résistance permet par ailleurs de créer une meilleure stabilité du corps puisque tous les mouvements du corps ont tendance à être ralentis. De même les chocs au niveau des articulations, des tendons et des muscles sont atténués c'est pourquoi ce type d'exercice est privilégié aux exercices sur sols durs qui sont plus délétères.

Cette résistance peut être ajustée en créant un flux d'eau unidirectionnel soit dans le sens de la marche pour faciliter le mouvement soit à contre sens de façon à rendre l'exercice plus intense.

B. Matériel nécessaire

Pour le matériel il est nécessaire de fournir un harnais ou une veste de sauvetage adaptée à la taille de l'animal. Ce dernier permet d'augmenter la flottabilité du corps de l'animal et maintenir sa tête en dehors de l'eau.

Figure 28 : Exemples de harnais pouvant être utilisés lors de séance d'hydrothérapie (source : www.mikan-vet.com, umes.over-blog.com)



Pour l'exercice il peut être intéressant de mettre à disposition ou de demander aux propriétaires de ramener des jouets et des friandises afin de récompenser leur animal pendant toute la durée de la thérapie.

Avant toute séance le chien est douché de façon à le nettoyer sommairement et à habituer son corps à être mouillé avant d'être plongé.

En fin de séance le chien doit être nettoyé afin de rincer l'eau bromée et éventuellement shampooiné si nécessaire puis séché à l'aide d'un souffleur ou de serviette.

En hydrothérapie deux types d'activités sont proposés. La marche/course sur tapis roulant immergé et la nage en piscine.

Les tapis sont souvent utilisés en physiothérapie car ils permettent des mouvements similaires à la marche ou au trot tout en augmentant l'amplitude des mouvements verticaux notamment les mouvements de flexion de la hanche et des genoux et en diminuant les chocs sur les articulations. (Marsolais *et al.*, 2003)

Il existe deux types de tapis :

- Ceux où le chien rentre par une porte qui est ensuite scellée puis le bassin est rempli d'eau à la hauteur souhaitée. Dans ce cas-là, en plus du bassin, un réservoir d'eau un chauffe-eau thermostaté, une pompe, des filtres et des produits d'entretien de l'eau tel que du chlore ou du brome (moins irritant pour les canidés) sont nécessaires.
- Ceux où le bassin est prérempli et le chien entre par le dessus grâce au tapis de course mobile verticalement puis plongé directement dans l'eau en redescendant la plateforme. Avec ce genre de système le réservoir de stockage n'est pas nécessaire, cependant une plateforme élévatrice ou une rampe doit être prévue afin de faire monter le chien dans le bassin.

Figure 29 : Exemples de tapis de course immergé (source : www.vetokinesis.fr, www.mikan-vet.com)



Au contraire la nage a tendance à accroître l'amplitude des mouvements horizontaux et notamment des mouvements d'extension et de flexion de l'épaule, de flexion du coude et de flexion du genou.

Pour ce qui est de la conception du bassin plusieurs points sont à prendre en compte tel que l'inclusion de buses afin de créer un courant unidirectionnel et ajouter une résistance supplémentaire lors de l'exercice. Comme pour le traitement de l'eau des tapis immergés il est nécessaire d'avoir un chauffe-eau associé à un thermostat, un filtre et un agent désinfectant tel que du chlore ou du brome. La piscine peut être soit enterrée soit surélevée. La seconde option est la plus simple à mettre en œuvre car il ne nécessite pas de terrassement cependant il est nécessaire de penser à ajouter une rampe ou un système élévateur à l'extérieur et à l'intérieur du bassin pour aider l'animal à rentrer et sortir de l'eau.

Figure 30 : Exemples de piscines hors-sol (à gauche) et de piscine enterrée (à droite) présentant des rampes d'accès facilité pour les animaux (source : www.medicalexpo.com, petdepotmd.com)



Lors de la conception de la salle d'hydrothérapie une attention particulière devra être porté aux matériaux des sols et murs et plafonds qui devront être résistants à l'humidité et à la condensation. De plus le système de ventilation mécanique contrôlée (VMC) doit être suffisamment puissant pour éviter une humidité relative trop importante dans la pièce.

Dans certains centres un premier bassin chauffé à 40°C est utilisé afin de bénéficier des effets de la thermothérapie (cf. chapitre correspondant).

C. Indications

Les exercices aquatiques ont de nombreux bénéfices tels que :

- Améliorer la force et l'endurance musculaire
- Prévenir l'amyotrophie
- Entraîner l'appareil cardiorespiratoire
- Augmenter l'amplitude des mouvements articulaires
- Diminuer les tensions et les chocs articulaires lors des exercices

Le tout en diminuant la douleur.

Il a été montré que 2 à 3 séances par semaine d'hydrothérapie permettaient une diminution du score de douleur, une augmentation de l'amplitude de mouvement de la hanche de 5 % chez les chiens présentant une arthrose de la hanche mais aussi chez les chiens sains.

Lors d'arthrose on peut constater une diminution de la concentration des épitopes WF6 de la chondroïtine-sulfate ainsi qu'une augmentation de la concentration en acide hyaluronique suggérant une diminution de leur synthèse par les chondrocytes et les synoviocytes suggérant une progression de la dégénérescence articulaire. Or après 8 semaines d'hydrothérapie Nganvongpanit et al. ont remarqué un maintien de ces marqueurs à des valeurs comparable à celle de chien non arthrosique suggérant un effet préventif de l'hydrothérapie sur la dégénérescence articulaire liée à la progression de l'arthrose. (Nganvongpanit *et al.*, 2014b)

Lors de rééducation suite à une chirurgie extracapsulaire après rupture du ligament croisé, l'amplitude de mouvement du genou, de la hanche et du tarse est plus importante et le score de douleur plus faible chez des chiens qui ont eu des séances de nage plutôt que des séances sur tapis de course. (Marsolais *et al.*, 2003)

Pour la partie tapis de course, il a également été montré que le type de marche (rapide ou lente) réalisé lors des séances de rééducation fonctionnelle ne changeait pas significativement l'amplitude de mouvement du genou. Une marche lente est donc à privilégier afin de limiter les chocs sur les articulations dans ce cas-là. (Marsolais *et al.*, 2003)

D. Déroutement d'une séance d'hydrothérapie

Avant toute séance le chien est douché de façon à le nettoyer sommairement et à habituer son corps à être mouillé avant d'être plongé.

Les premières fois un harnais ou une veste de sauvetage adaptée à la taille de l'animal est choisi et ajusté par le praticien expérimenté de façon à montrer la méthode d'attache au propriétaire.

Pour l'exercice il peut être intéressant de mettre à disposition ou de demander aux propriétaires de ramener des jouets et des friandises afin de récompenser leur animal pendant toute la durée de la thérapie.

Lors des premières séances, si le chien n'est pas habitué à l'eau, l'objectif sera de l'initier sans le brusquer à être mis à l'eau en douceur. Le propriétaire peut être mis en contribution en accompagnant son animal à l'eau. Lors de cet exercice le renforcement positif est obligatoire afin d'avoir un animal le plus calme et le plus détendu possible lors des séances suivantes.

Les séances de tapis ou de nage durent initialement 5 minutes puis sont allongées progressivement jusqu'à atteindre au maximum 35 minutes en fonction de l'état général de l'animal lors de la phase de récupération à raison de 2 à 3 séances par semaine.

Tout au long de la séance l'animal doit être surveillé soit par le propriétaire soit par un employé afin d'intervenir immédiatement si nécessaire.

En fin de séance le chien doit être nettoyé afin de rincer l'eau bromée et éventuellement shampooiné si nécessaire puis séché à l'aide d'un souffleur ou de serviette.

Figure 31 : Séances d'hydrothérapie sur tapis de course immergé (source : www.vetokinesis.fr, www.mikan-vet.com)



Figure 32 : Séances de nage en bassin (source : www.fregis.com, wanimo.com)



E. Précautions et contre-indication

Des contre-indication existent telles que :

- L'hydrophobie
- Les infections ou inflammations aigües
- Les maladies contagieuses
- Les périodes d'œstrus
- Les maladies chroniques (Diabète, Cushing, Addison)
- Les souffles cardiaques et autres cardiomyopathies
- Les épileptiques (pour des questions de sécurités de l'animal mais aussi du personnel soignant)
- Hygiéniquement parlant : incontinence, diarrhée, vomissement, plaie ouverte ou en cours de cicatrisation, infection de surface (cutanée, oculaire ou sphère ORL), fixateur externe

Il est à noter que du fait de la pression hydrostatique, les animaux présentant un déficit respiratoire risquent d'avoir des difficultés encore plus importantes à respirer correctement. Ils sont donc des mauvais candidats à l'hydrothérapie. Cela peut correspondre aux :

- Animaux en surpoids majeurs
- Races brachycéphales
- Animaux présentant des déficits respiratoires (malformation congénitale ou dégénérative)
- Animaux ayant une pathologie respiratoire des voies hautes ou basses

Des précautions supplémentaires doivent être prises avec ces animaux.

F. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : l'hydrothérapie :

Effets bénéfiques principaux :

Maintien le corps à une température idéale Diminution de la résistance hydrodynamique	Thermodynamique
Réduit le poids	Flottabilité
Drainage des parties déclives et augmentation de la stabilité du corps	Pression hydrostatique
Augmentation de l'intensité de l'effort tout en diminuant les chocs au niveau musculaire et articulaire	Résistance hydrodynamique

Utilisation en pratique :

Nage en bassin : favorise les mouvements verticaux

Marche sur tapis : favorise les mouvements horizontaux plus fidèles de la marche normale

Douchage avant et après la séance, installer une rampe d'accès pratique ou une plateforme élévatrice, prévoir un moyen de séchage pour la fin de la séance, trouver une motivation adaptée à chaque animal

Température idéale : 30-33°C

Principales indications :

- Favoriser une prise de masse musculaire
- Exercice cardiovasculaire
- Augmenter l'amplitude de mouvement articulaires
- Corriger une démarche asymétrique
- Eviter les chocs musculaires et articulaires

Contre-indications :

- Maladie contagieuse
- Œstrus, épilepsie
- Problème d'origine hygiénique : incontinence, diarrhée, vomissement, plaies ouvertes, infection de surface, fixateur externe

Précautions à prendre :

- Surpoids majeur
- Race brachycéphales
- Déficit respiratoire ou cardiaque

5. Cryothérapie

La cryothérapie est une thérapie qui consiste à utiliser l'action du froid pour soulager certains symptômes. Elle est majoritairement utilisée en médecine vétérinaire lors de soins post opératoires afin de diminuer l'inflammation, l'œdème, et la douleur. Cependant ce n'est pas sa seule utilisation.

A. Les effets physiothérapeutiques du froid

a. Effets vasculaires et circulatoires

Une étude de Singh 2017 montre que l'application de froid retarde l'expression de facteur pro-angiogénique et diminue la quantité de sang veineux sans pour autant avoir de conséquence sur la densité de capillaire et sur les fibres musculaires. En agissant sur l'angiogénèse, la cryothérapie a un rôle à jouer dans la diminution de l'inflammation et donc de la douleur liée à une revascularisation excessive.

Lors d'une séance de physiothérapie la vasoconstriction est le phénomène majoritairement observé bien que le phénomène d'« hunting response » ou « vasodilatation paradoxale », qui correspond à une vasodilatation engendrant une hyperhémie de protection, existe.

De plus lorsque la température du sang diminue sa viscosité augmente ce qui entraîne une diminution du flux sanguin limitant ainsi la formation d'œdème. (Cinar *et al.*, 2001) En effet, une forte circulation sanguine locale fait partie des sources hémodynamiques de formation d'œdème.

b. Effets musculaires

La cryothérapie réduit les spasmes musculaires qui altèrent le retour veineux et engendrent une augmentation de la concentration en lactate et donc une acidose. En effet, les mécanorécepteurs du fuseau neuromusculaire et les organes tendineux de Golgi sont inhibés par l'application prolongée de froid par augmentation du seuil de stimulation musculaire et donc de contractions musculaires. (Kaul et Herring, 1994)

c. Effets sur le système nerveux

L'analgésie est due à l'altération du métabolisme cellulaire et au ralentissement de la vitesse de conduction au niveau des terminaisons nerveuses sensorielles locales.

La période réfractaire, c'est-à-dire la période pendant laquelle le nerf ne peut pas être stimulé une nouvelle fois est également allongée par l'application de froid. (Evans *et al.*, 1995 ; Millis et Levine, 2014)

L'effet antalgique du « gate control » (explicité lors du chapitre sur les massages) est également évoqué en cryothérapie. En effet, il est décrit que la saturation des thermorécepteurs par le froid pourrait inhiber la transmission de douleur au système nerveux central.

d. Effets métaboliques

La cryothérapie réduit l'infiltration des tissus lésés par les macrophages diminuant l'expression des TGF- β 1, TNF- α , IGF-1, NF- κ B qui sont des facteurs pro-inflammatoires. (Vieira Ramos *et al.*, 2016)

De même, la cryothérapie réduit l'activité mitochondriale en diminuant notamment l'apport en oxygène et en nutriments aux muscles. Grâce à tous ces phénomènes, la synthèse des facteurs inflammatoires tels que l'histamine mais aussi les facteurs de dégradation articulaire tels que les protéases, les hyaluronidases et les collagénases sont inhibés en dessous de 30°C.

Ainsi cette technique a un effet antalgique par son action anti-inflammatoire bien que cela retarde aussi la régénération des tissus musculaires. (Vieira Ramos *et al.*, 2016)

En diminuant l'activité cellulaire et enzymatique et donc la réponse inflammatoire, la cryothérapie améliore la viabilité cellulaire et permet une bonne balance oxydoréductrice. (Furtado *et al.*, 2018)

B. Cinétique thermique

a. Différences de cinétiques entre les méthodes

Au niveau articulaire, lors d'utilisation de compresse froide la température intra articulaire de l'articulation du genou diminue initialement de façon linéaire. Les résultats obtenus montrent qu'au bout de 15 minutes la température diminue de 6.5°C, cependant les résultats deviennent de plus en plus disparates après 10 minutes. L'utilisation d'un bain d'eau froide diminue la température intra articulaire à 20.2°C +/- 8.4. Un plateau thermique est atteint après 30 minutes d'application suggérant qu'un traitement plus long n'apporte pas ou peu de bénéfice.

Chaque technique a donc une cinétique thermique différente mais l'application brève de froid par contact direct semble être une bonne méthode pour diminuer de façon significative et durable la température dans une articulation (Bocobo *et al.*, 1991).

L'utilisation de glace pilée ou de bain glacé semble faire diminuer la température en surface de façon plus importante et plus durable que des Physiopacks® ou des poches de petits pois congelés. La glace pilée et les bains à immersion permettent donc un effet clinique plus marqué et prolongé. (Kennet *et al.*, 2007)

b. Temps minimum d'application pour obtenir un effet optimal.

Les tissus musculaires en surface sont rapidement refroidis jusqu'à atteindre un plateau aux alentours de 10 minutes, cependant les tissus plus en profondeur continuent de se refroidir jusqu'à 20 minutes de contact. Les chercheurs ont donc conclu qu'il est tout de même intéressant d'appliquer du froid pendant au minimum 10 minutes et jusqu'à 20 minutes (Millard *et al.*, 2013a).

c. Temps de réchauffement des tissus en fonction du temps d'application de la cryothérapie

Sur les tissus musculaires, une séance de 10 minutes de cryothérapie permet de les refroidir pendant 60 minutes, une séance de 20 minutes pendant 130 minutes et une séance de 30 minutes pendant 145 minutes. Il est donc plus intéressant d'effectuer des séances de 20 minutes afin d'obtenir un effet bénéfique plus persistant tout en optimisant le temps du praticien. (Vannatta ML *et al.*, 2004)

Pour les tissus articulaires, la température retourne à sa valeur normale en 22 à 60 minutes. (Bocobo *et al.*, 1991)

d. Risque de lésions liés à une cryothérapie prolongée

Aucune étude ne se penche sur les dommages que pourraient occasionner une cryothérapie prolongée. Des séances de 20 minutes devraient donc un bon compromis entre bénéfiques/risques et optimisation des effets bénéfiques dans le temps.

e. Durée et fréquence optimale d'une session de cryothérapie

En pratique il est donc conseillé de réaliser des séances de 15 à 20 minutes toutes les 2 à 4 heures pendant les 24 à 72 heures suivant la chirurgie ou la blessure.

C. Les différentes méthodes de cryothérapie

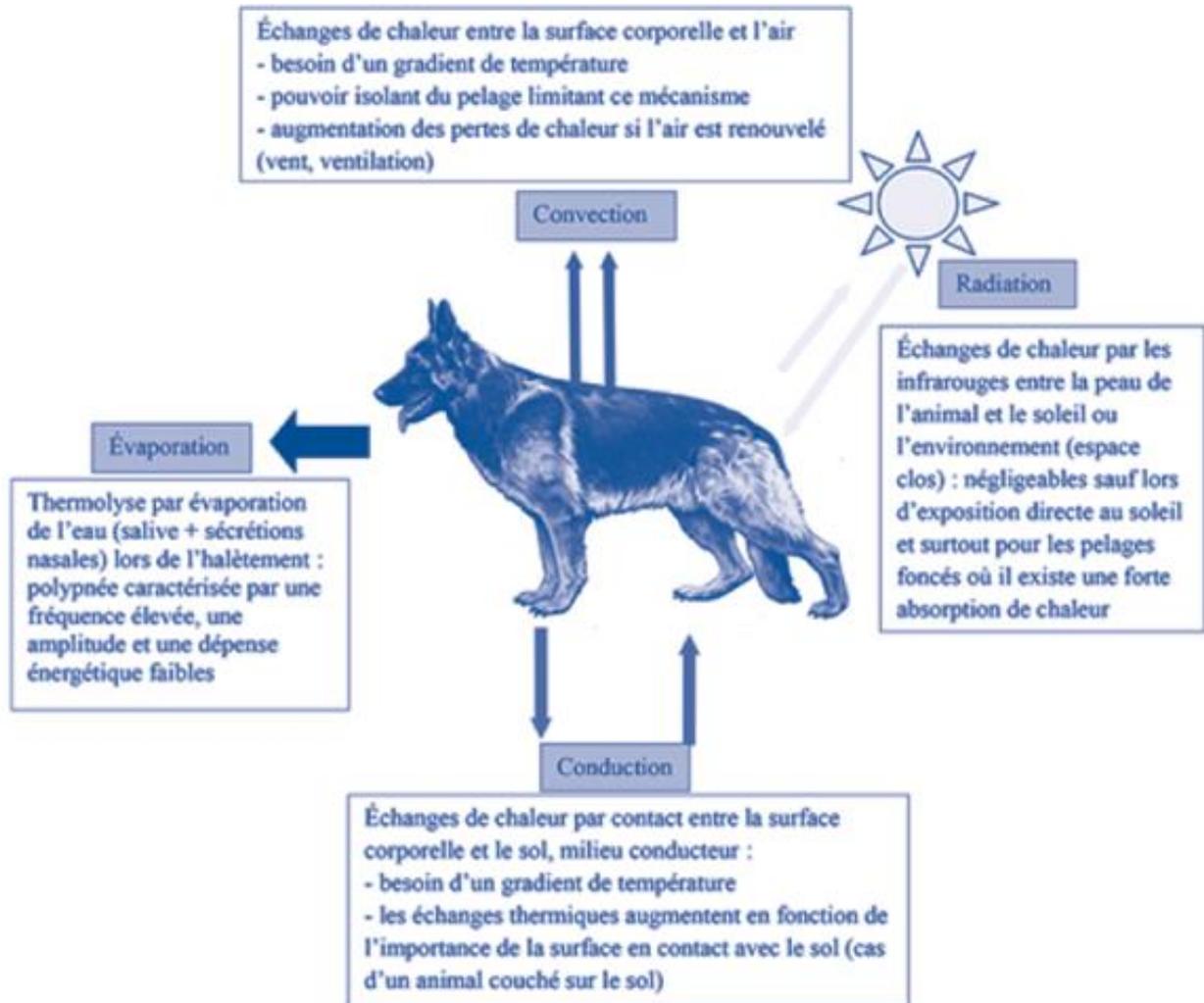
Les échanges thermiques peuvent se réaliser de différentes manières :

Par conduction : apposition d'un pack de froid, d'un Physiopack®, d'une serviette humide froide, de glace pilée, des sacs de produits congelés (type petits pois mais attention à les retirer de l'alimentation après les multiples cycles de décongélation et à ne vous en servir que pour la cryothérapie), des bains d'eau glacée, d'attelles de genou cryogéniques

Par évaporation : spray cryogénique, douchage rapide, alcool

Par convection : air froid soufflé (Cette technique est moins utilisée car peu efficace)

Figure 33 : Illustration des différents échanges thermiques entre l'organisme et le milieu extérieur (Girardet *et al.*, 2015)



D. Application de la cryothérapie en pratique

Le pelage n'empêche pas la convection thermique. Au contraire une étude a montré que l'effet de la cryothérapie était plus prononcé, c'est-à-dire que la température des tissus était plus faible, lorsque le pelage est conservé. Ce phénomène pourrait être expliqué par le rôle isolant du pelage. (Vannetta *et al.*, 2006)

Ainsi, si le pelage de l'animal est intact au niveau de la zone à traiter il est possible d'appliquer directement le vecteur thermique sur la zone.

La poche de froid ne devrait pas être apposée directement sur la peau si l'animal est rasé ou tondu. Une serviette humide ou un peu de sopalin devrait être apposé entre les deux surfaces afin d'éviter tout risque de brûlure par le froid.

Figure 34 : Physiopack appliqué sur la zone de traitement (à gauche) et attelle de cryothérapie (à droite) (source : www.coveto.fr, www.novetech-surgery.com)



Figure 35 : Unité de cryothérapie compressive vétérinaire (type Game Ready®) alliant cryothérapie et compression dynamique (source : www.medicalexpo.fr)



E. Précautions et contre-indications

- Toutes hypersensibilités ou insensibilités au froid ainsi que toutes zones sensibles doivent être prise en compte.
- Plaie ouverte : la cryothérapie retarde la cicatrisation et la zone doit rester le plus propre possible.
- Fracture : la cryothérapie retarde la cicatrisation osseuse et il existe un risque de lésion nerveuse empêchant l'animal de ressentir une douleur thermique.
- Atteinte de la sensibilité sensorielle nerveuse locale.
- Hypovigilance (car l'animal ne peut pas exprimer de douleur liée à une brûlure par le froid)
- Engelure : risque d'hypersensibilisation, d'allodynie et de lésions cutanées.

F. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : la cryothérapie

Effets bénéfiques principaux :

Limitation des œdèmes	Vasoconstriction (+ effet anti-inflammatoire)
Effet anti-inflammatoire	↘ TGF-β1, ↘ TNF-α, ↘ IGF-1, ↘ NF-κB ↘ histamines, ↘ protéases, ↘ hyaluronidases et ↘ collagénases
Myorelaxation	↗ seuil de stimulation musculaire
Effet analgésique	Effet « Gate control »

Utilisation en pratique :

3 séances de 15-20 minutes par jour lors de la phase inflammatoire aiguë.

Le vecteur thermique (généralement poche de froid, pain de glace ou sachet de petit pois surgelés) est enveloppé dans une serviette si le pelage est coupé ou à poil court ou appliqué directement sur la fourrure si elle est épaisse

Principales indications :

Limiter l'inflammation, la douleur et l'œdème post-opératoire ou lié à un traumatisme à phase aiguë

Contre-indications :

- Perte de sensibilité
- Hypersensibilité
- Engelure
- Plaie non suturée
- Fracture non stabilisée

6. Thermothérapie

La thermothérapie est une technique consistant à élever la température de certaines zones spécifiques du corps afin d'obtenir les effets bénéfiques liés. Les effets bénéfiques sont inverses aux effets du froid excepté pour le fait que les deux permettent de soulager la douleur et de lever les spasmes musculaires.

Les principaux effets sont une vasodilatation et donc une augmentation du flux sanguin, une analgésie, l'augmentation de l'extensibilité des tissus mous et la diminution des contractures musculaires (Millis et Levine, 2014).

Elle est séparée en 2 catégories distinctes : les traitements thermiques superficiels et les traitements thermiques profonds

Parmi les traitements profonds, on peut lister la diathermie et les ultrasons qui seront expliqués dans les chapitres correspondants.

Pour ce qui est des traitements superficiels, les outils utilisés sont des packs de gel thermique, les bandes chauffantes ou autres apparentées, les douches ou les bains.

A. Effets physiologiques de la chaleur

a. *Les effets de la thermothérapie sur la vascularisation*

La thermothérapie crée une vasodilatation périphérique locale en stimulant les thermorécepteurs cutanés qui vont permettre le relargage de bradykinine et de protoxyde d'azote, médiateurs, qui au niveau des vaisseaux vont stimuler la relaxation des muscles striés squelettiques et donc une vasodilatation. Cette vasodilatation locale améliore l'oxygénation tissulaire en augmentant le flux sanguin de façon ciblée (McMeeken et Bell, 1990). De cette façon l'oxygène et les nutriments sont apportés plus rapidement. L'oxygénation tissulaire est nécessaire au processus de fibroplasie et d'épithélialisation (Aldridge, 2015). La thermothérapie est donc bénéfique aux étapes de proliférations et de maturations cruciales à la cicatrisation d'une plaie.

De même, l'augmentation du flux sanguin accélère l'élimination du dioxyde de carbone et des déchets métaboliques.

De plus l'affinité de l'hémoglobine à l'oxygène diminue lorsque la température augmente. Donc l'oxygène sera libéré de façon plus efficace et en plus grande quantité au niveau d'un tissu souhaité.

Cependant du fait de l'augmentation du débit sanguin il est déconseillé de réaliser une séance de thermothérapie aux niveaux de zones hémorragiques, œdémateuses ou enflammées de façon aiguë car les processus pourraient être exacerbés par une augmentation de la perfusion locale.

b. Les effets de la thermothérapie sur les muscles

L'application non nociceptive de chaud réduit les spasmes musculaires en agissant sur les mécanorécepteurs du fuseau neuromusculaire et les organes tendineux de Golgi de la même manière que pour la cryothérapie. (Mense, 1978 ; Kaul et Herring, 1994 ; Dorn, 2015)

De cette façon la thermothérapie réduit les spasmes musculaires qui altèrent le retour veineux et engendrent une augmentation de la concentration en lactate et donc une acidose.

c. Les effets de la thermothérapie sur les tissus conjonctifs

En échauffant un tissu mou le collagène devient plus élastique. De cette façon les tissus mous tel que les cicatrices, les muscles, les capsules articulaires, les ligaments et les tendons bénéficient des mêmes effets et donc deviennent plus étirables et ont donc moins de risque d'être lésés. (Laban, 1962 ; Warren *et al.*, 1976 ; Petrofsky *et al.*, 2013)

L'utilisation de thermothérapie est particulièrement intéressante en début de séance de kinésithérapie ou de rééducation afin de diminuer les risques de blessures lors d'étirements ou d'efforts importants.

d. Les effets de la thermothérapie sur le système nerveux

L'effet antalgique du « gate control » (explicité lors du chapitre sur les massages) est également évoqué en thermothérapie. Il est décrit que la saturation des thermorécepteurs par la chaleur pourrait inhiber la transmission de douleur au système nerveux central. (Cameron, 2013)

e. Les effets de la thermothérapie sur le métabolisme

La loi d'Arrhenius corrèle la cinétique enzymatique à la température. En effet si la température augmente alors l'activité également. En prenant en compte la dénaturation protéique à haute température, une augmentation modérée de la température tissulaire comme celle obtenue lors de thermothérapie permet d'accélérer la cinétique enzymatique.

De cette façon, l'activité cellulaire et l'élimination des métabolites sont exacerbées. Ces effets sont particulièrement utiles lors d'affections chroniques. Par exemple lors de phase de remodelage ou de régénération tissulaire lors de traumatismes, la thermothérapie accélère les phénomènes d'apoptoses contrôlées, la réorganisation et le remodelage des tissus. (Nadler *et al.*, 2004)

En revanche, la thermothérapie peut également accélérer les phénomènes de destruction tissulaire en augmentant l'activité d'enzymes telles que la collagénase. Il est donc déconseillé de réaliser des séances de thermothérapie lors d'inflammation aiguë septique ou érosive.

B. La cinétique thermique

a. Temps d'application pour obtenir un effet optimal.

De même que pour la cryothérapie Millard *et al.* se sont intéressés à la thermothérapie et en a déduit que la durée optimale d'application de chaud est de 10 minutes. Il a par ailleurs montré que l'élévation de température reste superficielle et n'atteint pas les 1.5 cm de profondeur. (Millard *et al.*, 2013b)

b. Risque de lésions liées à une thermothérapie prolongée

Dewhirst *et al.* ont établi une courbe en médecine humaine permettant d'affirmer à partir de combien de temps une température donnée pouvait être délétère aux tissus organiques. Il en a déduit qu'il faut 30 minutes pour voir apparaître des lésions de nécrose musculaire sur un muscle échauffé à 43°C. Il a ainsi créé une formule permettant de déterminer la durée maximale avant l'apparition de lésions en fonction de la température appliquée. (Dewhirst *et al.*, 2003)

Dans cette étude, les résultats étaient relativement similaires chez l'homme, la souris et le porc cependant il n'a pas étudié l'impact sur le chien (modèle plus éloigné de l'homme). De plus il existe une variabilité intraspécifique incluant le diabète, l'obésité, l'épaisseur de la peau (mâle non castré) pouvant modifier la courbe obtenue.

c. Durée et fréquence optimale d'une session de thermothérapie

La fréquence et la durée d'application de la thermothérapie dépend de l'affection.

Généralement elle est réalisée pendant 10 à 15 minutes 3 à 4 fois par jour avec un vecteur thermique qui est à une température élevée mais ne provoquant pas de sensation douloureuse lors d'application pendant quelques secondes sur le bras.

C. Les utilisations de la thermothérapie

- Les affections chroniques et notamment l'arthrose
- Les contractures musculaires
- Les diminutions de l'amplitude de mouvement
- Les abcès froids
- Gestion de la douleur
- Les infections aiguës locales

En synergie avec d'autres thérapies :

- Avant des exercices de kinésithérapie la thermothérapie permet d'accroître l'amplitude de mouvement tout en diminuant les tensions sur les tissus mous.
- En complétant d'une séance de thermothérapie profonde (ultrason ou diathermie)

En pratique, la thermothérapie est utilisée au minimum 48 heures après une blessure ou une chirurgie ou sur des affections chroniques ou avant le début d'un exercice physique. Il est recommandé de faire des séances de 10 à 15 minutes qui peuvent être répétées au cours de la journée en fonction des effets souhaités.

D. Application de la thermothérapie en pratique

En pratique, il est plus simple d'appliquer le vecteur thermique pendant quelques secondes sur notre nuque et de vérifier qu'il ne nous semble pas trop chaud avant de l'appliquer sur l'animal. En effet, pour les températures n'engendrant pas de nociception il n'est pas délétère de laisser le pack au contact de la peau pendant 20 minutes.

Si ce dernier est trop chaud il doit être séparé du corps de l'animal à l'aide d'un tissu afin d'éviter les risques de brûlures cutanées.

Les échanges thermiques peuvent se réaliser de différentes manières :

- Par conduction : apposition d'un pack de chaud (bouillotte, Physiopack® etc.), paraffine, hydrothérapie
- Par convection : air chaud (sauna, hammam), hydrothérapie
- Par radiation : Lampe ultraviolet, infrarouge

a. Les packs de chaud

Les packs de chauds sont conçus pour maintenir une température élevée pendant au moins 20 à 30 minutes c'est-à-dire pendant un temps supérieur aux temps d'application minimal requis lors de séances de thermothérapie.

Il en existe de tout type : bouillottes à eau, sac rempli de graines, Physiopack® rempli de gels, patch chauffant électrique ou les poches de chaud instantané.

Figure 36 : Physiopack appliqué sur la zone de traitement (à gauche) et attelle de cryothérapie (à droite) (source : www.coveto.fr, ortopediacanina.com)



b. Hydrothérapie

L'utilisation d'eau chaud peut se réaliser à l'aide d'une serviette imbibée régulièrement d'eau chaude ou à l'aide d'un bain ou d'une piscine d'eau chaude. Il est à rappeler (cf. hydrothérapie) que la deuxième méthode crée une vasodilatation périphérique, une diminution de la pression artérielle compensée par une augmentation de la fréquence cardiaque.

c. La chaleur par radiation

Cette méthode utilise généralement des lampes infra-rouge. Elle est souvent utilisée lors d'hypothermie en phase de réveil anesthésique ou de maladie. Cette méthode permet un réchauffement rapide de l'animal mais cette élévation de température est systémique et non pas localisée, ce qui rend cette méthode peu recommandable en thermothérapie lors d'affection ciblée. De plus le praticien doit rester attentif aux signes d'hyperthermie.

Les lampes doivent être placées à bonne distance de l'animal afin de ne pas créer de brûlure ou de déshydratation trop sévère.

d. Autres

Les bains de paraffine et les saunas sont évoqués car couramment utilisés en médecine humaine mais en médecine vétérinaire ces derniers ne sont respectivement pas recommandés parce qu'ils ne sont pas supportés par l'animal et parce qu'il ne régule pas aussi bien sa température corporelle que l'Homme.

E. Contre-indication

- Inflammation aiguë : La thermothérapie peut être appliquée 48 à 72 heures après le début de l'affection ou du traumatisme.
- Œdème en phase aiguë : lors de la phase aiguë la vasodilatation et la perméabilité vasculaire induite par la thermothérapie peuvent exacerber le phénomène. Passée cette première phase la chaleur peut au contraire accélérer la résorption des liquides.
- Hémorragie locale, hématome : du fait de l'augmentation du flux sanguin.
- Présence d'un matériel métallique (matériel orthopédique type plaque ou broche) proche des tissus cutanés.
- Infection systémique.
- Phlébite.
- Insuffisance cardiaque ou tout autre trouble circulatoire.
- Tumeur maligne ou néoplasie.
- Infection cutanée.
- Derme fragilisé ou trop fin (par exemple lors de maladie de cushing).
- Problème de thermorégulation (obèse, gestation, problème circulatoire).
- Hyperthermie.

F. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : la thermothérapie

Effets bénéfiques principaux :

Augmentation du flux sanguin et donc de ↗ vasodilatation
l'apport en nutriments des tissus et de
l'élimination des déchets métaboliques
localement

Accélération des phases de maturation et de ↗ activité cellulaire
prolifération

Effet myorelaxant ↗ seuil de contraction musculaire et effet
analgésique

Augmentation de l'amplitude de mouvement ↗ élasticité des tissus conjonctifs

Effet analgésique Effet « Gate control »

Utilisation en pratique :

3 séances de 10-15 minutes par jour généralement directement après une phase inflammatoire aiguë ou lors de phase inflammatoire chronique.

La température du vecteur thermique (généralement Physiopack ou bouillote) doit être testée sur nous-même pendant 1 à 2 minutes pour vérifier que la température ne déclenche pas de stimuli nociceptifs.

Principales indications :

- Affections chroniques ou secondaires : soulager les contractures/raideurs et la douleur liée
- Augmenter l'amplitude de mouvement articulaire (en complément de la kinésithérapie)
- Favoriser la régénération tissulaire une fois la phase inflammatoire aiguë passée
- Réchauffer un abcès froid

Contre-indications :

- Œdème
- Phase inflammatoire aiguë
- Hémorragie locale (à cause de la vasodilatation)

7. Les ultrasons thérapeutiques

Les vecteurs de chaleur vus dans la partie précédente n'ont d'efficacité que jusqu'à 1 centimètre de profondeur. Les traitements thermiques profonds représentés majoritairement par les ultrasons thérapeutiques et la diathermie peuvent atteindre des profondeurs supérieures à 2 cm de profondeur.

La théorie et l'utilisation de la diathermie (ou tecarthérapie) ainsi que ses limites dans l'espèce canine seront développées dans le chapitre suivant.

Les ultrasons sont principalement utilisés en médecine humaines et vétérinaire pour l'échographie à visée diagnostic. Cependant les ultrasons thérapeutiques ont des propriétés physiothérapeutiques très intéressantes lors d'affections musculo squelettiques qui ont tendance à réduire l'amplitude des mouvements et lors de contractures articulaires ou musculaires.

L'énergie émise par la sonde décroît à mesure qu'elle traverse les tissus à cause des phénomènes de dispersion et d'absorption.

A. Les caractéristiques des ultrasons

a. Les caractéristiques générales des ultrasons

Les ultrasons sont des ondes acoustiques c'est-à-dire des vibrations mécaniques qui se propagent dans des milieux élastiques. Ces ondes utilisent des fréquences supérieures à 16 000 Hz non perceptibles par l'oreille humaine

Lors de séances d'ultrasons thérapeutiques les fréquences les plus utilisées sont celles de 1 MHz et de 3.3 MHz.

Ces fréquences ne sont pas perceptibles par L'Homme qui perçoit jusqu'à des fréquences de 28 000 Hz ni par les canidées qui perçoivent des sons pouvant atteindre 67 000 Hz. Ainsi en pratique l'utilisation d'ultrasons ne peut pas créer de stress sonore pour les chiens.

b. La production d'onde : l'effet piézoélectrique

Découvert par Pierre et Jacques Curie, l'effet piézoélectrique est la propriété que certains matériaux possèdent à se déformer lorsqu'on leur applique un champ électrique et inversement à se polariser lorsqu'on leur exerce une contrainte mécanique. En médecine seul le premier effet est recherché.

c. La propagation des ondes

Les ultrasons se propagent dans les milieux élastiques créant des variations de pression sur son trajet et donc des zones de compression/décompression selon une périodicité correspondant à leur fréquence.

Les ondes sonores se propagent linéairement dans un milieu homogène.

Cependant, dans un milieu hétérogène tel que le corps humain il existe 3 mécanismes responsables de l'atténuation globale des ondes :

- **L'absorption** : Une partie des ondes est absorbée par le milieu. Cette absorption est liée à la fréquence par le coefficient d'absorption et suit une loi exponentielle décroissante. C'est-à-dire que les tissus les plus superficiels absorberont plus d'énergie que les tissus profonds.

Ainsi, si on désire cibler les tissus les plus en profondeur on doit utiliser des basses fréquences et pour les tissus superficiels des hautes fréquences. C'est cet effet qui explique le choix des fréquences d'ondes (cf. point sur la fréquence).

- **La réflexion/réfraction** : chaque discontinuité provoque une réflexion partielle des ondes.

- **La diffusion** : lorsque la surface de l'interface est petite par rapport à la longueur d'onde l'énergie de l'onde ultrasonore est diffusée dans toutes les directions de l'espace.

d. La pénétration des ondes ultrasoniques

Pour rappel, les fréquences utilisées sont des fréquences supérieures à 67 000 Hz non perceptibles par les canidées. Lors de séances d'ultrason thérapeutique les fréquences les plus utilisées sont celles de 1 MHz et de 3.3 MHz.

Tableau 1 : Profondeur de pénétration des ultrasons dans certains milieux (Hoogland, 1991)

Milieu	1 MHz	3 MHz
Tissu osseux	7 mm	--
Peau	37 mm	12 mm
Cartilage	20 mm	7 mm
Air	8 mm	3 mm
Tissu tendineux	21 mm	7 mm
Tissu musculaire		
faisceau perpendiculaire aux fibres	30 mm	10 mm
faisceau parallèle aux fibres	82 mm	27 mm
Tissu adipeux	165 mm	55 mm
Eau	38330 mm	12770 mm

Au niveau musculaire à 1 MHz les ultrasons agissent majoritairement entre 2 et 5 cm de profondeur et à 3.3 MHz entre 0.5 et 3 cm du fait de l'absorption. (Draper *et al.*, 1995 ; Levine *et al.*, 2001 ; Adair et Levine, 2019)

De ce fait la fréquence est un paramètre essentiel à prendre en compte afin de cibler au mieux les tissus cibles. On préférera utiliser une fréquence élevée si l'affection est superficielle et une fréquence plus faible si l'affection est plus profonde.

e. L'absorption des ondes ultrasoniques

Le tissu cible et son taux en protéines jouent un rôle dans l'absorption des ondes. En effet plus le tissu est riche en protéines plus il absorbe les ondes ultrasoniques. Les tissus des moins riches au plus riches en protéines sont : le sang, la graisse, les nerfs, les muscles, la peau, les tendons, les cartilages, les os.

Tableau 2 : Coefficient d'absorption des ultrasons (en cm^{-1}) par les tissus aux fréquences de 1 et 3 MHz (Hoogland, 1991)

Milieu	Coefficient d'absorption (cm^{-1})	
	1 MHz	3 MHz
Sang	0,028	0,084
Sang-vaisseaux	0,4	1,2
Tissu osseux	3,22	-
Peau	0,62	1,86
Cartilage	1,16	3,48
Air (20 °C)	2,76	8,28
Tissu tendineux	1,12	3,36
Tissu musculaire		
pour un faisceau perpendiculaire aux fibres	0,76	2,28
pour un faisceau parallèle aux fibres	0,28	0,84
Tissu adipeux	0,14	0,42
Eau (20 °C)	0,0006	0,0018
Tissu nerveux	0,2	0,6

f. Les interfaces parasites et les agents couplants

Les tissus cibles sont les muscles, les articulations, les tendons ou les tissus cicatriciels ; cependant afin d'y faire parvenir les ondes il faut tout d'abord éliminer toutes les interfaces parasites qui ont un coefficient d'absorption plus élevé. Ces interfaces parasites sont l'air et les poils.

L'air

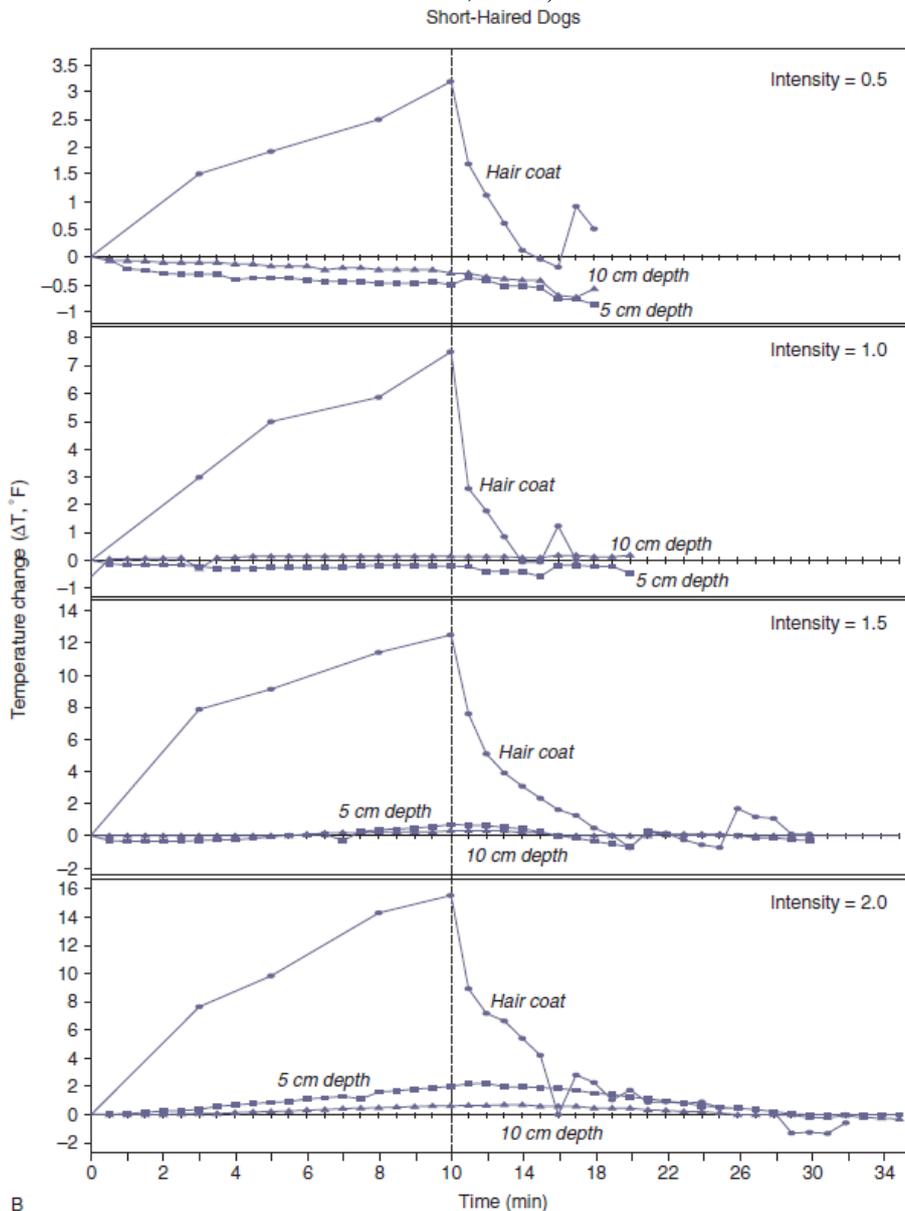
L'air absorbe et renvoie totalement les ondes, l'utilisation d'un agent couplant est nécessaire afin d'éliminer cette interface réfléchissante.

□ Le pelage

Les poils, quant à eux sont un plus grand problème. Ils absorbent les ondes du fait de leur haut taux en protéines, créent des phénomènes de dispersion à cause de la succession d'interfaces ainsi qu'un coussin d'air hermétique aux ultrasons.

Même après application de gels couplant, les poils créent une barrière et empêchent les ultrasons d'atteindre les tissus cibles. De plus, les poils et la peau ont tendance à chauffer là où les variations thermiques au niveau musculaire sont minimales. C'est pourquoi il est nécessaire de couper les poils au niveau de la zone à traiter ce qui peut représenter un frein esthétique à son utilisation pour le propriétaire si ce sont des zones très visibles.

Figure 37 : Évolution de la température du pelage et intramusculaire à 5 et 10 cm de profondeur lors d'une exposition à des ultrasons à une fréquence de 1 MHz et 4 intensités (en W/cm²) chez des chiens à poils court. Le trait à 10 minutes correspond à la fin de l'exposition aux ultrasons. (Steiss et Adams, 1999)



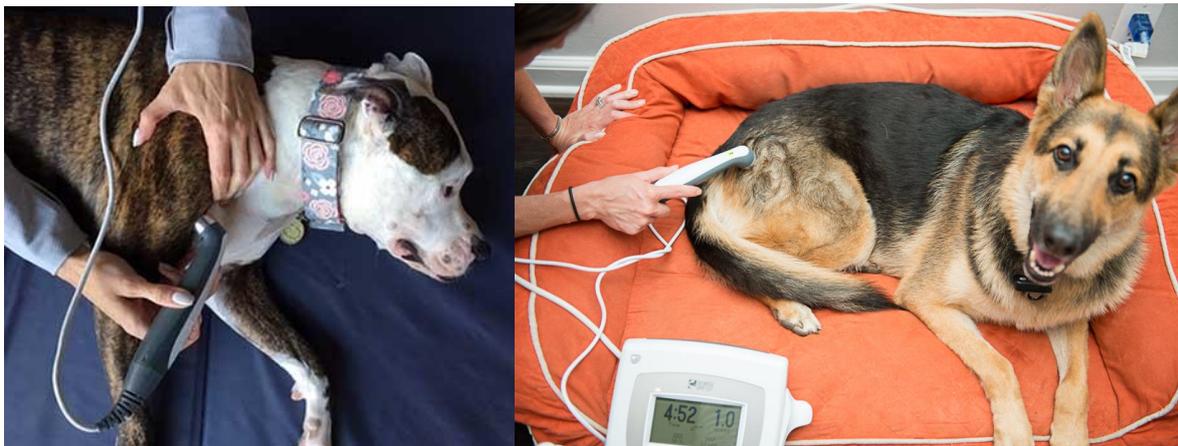
B

B. Les techniques de couplage

Les méthodes de couplage sont soit directes à l'aide de gel ou liquide aqueux (gel d'échographie, alcool) soit par immersion.

La technique de couplage directe est la plus utilisée de nos jours depuis l'apparition de sondes de plus petit diamètre pour les surfaces qui jusqu'alors était difficilement traitable car plus étroites et présentant des reliefs telles que les articulations.

Figure 38 : Séances d'ultrasonothérapie pour le traitement d'une tendinite bicipitale (à gauche) et pour le traitement d'une arthrose de la hanche (à droite) (sources : www.rehabvets.org, www.heatheroxford.com)



Pour des très petites surfaces, notamment les carpes et les tarse, trop petits pour la tête de la sonde, les bains à immersion peuvent être préférés. Pour ces derniers il est intéressant d'utiliser un bac qui n'est pas en métal qui pourrait réverbérer certaines ondes et augmenter l'intensité réelle reçue par les zones proches de l'élément métallique.

Il est possible d'utiliser soit de l'eau désionisée et dégazée soit de l'eau du robinet préalablement bouillie pour être dégazée. Cependant même en dégazant l'eau, des bulles ont tendance à s'accumuler sur la sonde. Le thérapeute devra faire attention à cela et les essuyer si cela venait à se produire.

Lors d'ultrasonothérapie immergée, la sonde doit être tenue à une distance de 0.5 à 3.0 cm et l'intensité peut être augmentée de 0.5 W/cm² afin de compenser l'absorption de l'eau. Cependant, l'immersion est de moins en moins utilisée car la température augmente de façon bien moins significative dans l'eau que lors de couplage direct (Draper *et al.*, 1993)

C. Les variables

Les variables ont toutes un rôle à jouer.

- Fréquence
- Intensité
- Cycle de pulsation
- Zone cible et tissus avoisinant
- Durée de la séance et nombre de séance
- Vitesse de la sonde

a. La fréquence

Les fréquences (en MHz) les plus couramment utilisées sont 1 MHz pour cibler des tissus entre 2 et 5 cm de profondeur et à 3.3 MHz entre 0.5 et 3 cm.

b. L'intensité

L'intensité (en W/cm²) est la densité d'énergie délivrée par unité de surface. Elle peut être réglée entre 0.25 et 3 MHz. Plus l'intensité est importante plus la température tissulaire augmente rapidement et donc plus la sonde doit être bougée rapidement et de façon homogène afin d'éviter tout risque de brûlure.

Les intensités choisies pour élever la température de 2°C sont généralement de 1 W/cm² si le tissu est riche en collagène à 2 W/cm² si le tissu est pauvre en collagène, en mode continu, pendant 5 à 10 minutes.

c. Le mode pulsé ou continu

Le mode pulsé est utilisé lorsque seuls les effets athermiques des ultrasons sont recherchés (par exemple lors d'affections proches de tissus osseux). Il correspond à un ratio temps actif sur temps total. Le plus souvent les ratios utilisés sont 1:4 ou 1:5 (25 % ou 20 %)

Le mode continu peut être utilisé dès lors que les effets thermiques ne sont pas délétères.

d. La zone et les tissus avoisinants

A 1 MHz et à une distance de 2 cm et 3 cm, la température proche de l'os est plus élevée qu'au niveau de la sonde ; cependant à 3 MHz c'est le contraire. Il est donc possible de créer des brûlures internes sans pour autant ressentir d'élévation de température cutanée (Ohwatashi *et al.*, 2015). C'est pourquoi la fréquence doit être choisie de façon réfléchie en fonction des tissus cibles mais aussi avoisinants la zone à traiter.

e. La durée de la séance et leur fréquence

Les séances peuvent durer jusqu'à 20 minutes au total en passant en moyenne 5 à 10 minutes par zone.

Elles peuvent être commencées à partir de 48 à 72 heures après le traumatisme. Elles sont réalisées quotidiennement ou tous les 2 jours pendant 10 jours puis espacées au fur et à mesure.

D. Les effets physiothérapeutique des ultrasons

a. Les effets thermiques des ultrasons

Afin de bénéficier des effets thermiques des ultrasons la température tissulaire doit être augmentée de 1 à 4°C. De nombreuses études se sont penchées sur la cinétique thermique tissulaire en fonction des fréquences et des intensités utilisées habituellement c'est-à-dire 1 et 3.3MHz et 0.5, 1, 1.5 et 2 W/cm² en mode pulsé ou continu.

Les ultrasons continus ont tendance à élever la température des tissus superficiels plus rapidement que les ultrasons pulsés, qui eux ont tendance à avoir un bien meilleur rendement thermique en profondeur.

En humaine la moyenne d'élévation de la température par minute au niveau des tissus musculaires est :

- En mode continu à 1 MHz entre 2.5 cm et 5 cm de profondeur de 0.04°C à 0.5 W/cm², 0.16°C à 1.0 W/cm², 0.33°C à 1.5 W/cm², 0.38°C à 2.0 W/cm²
- En mode continu à 3.3 MHz entre 0.8 cm et 1.6 cm de profondeur de 0.3°C à 0.5 W/cm², 0.58°C à 1.0 W/cm², 0.89°C à 1.5 W/cm², 1.4°C à 2.0 W/cm² (Draper *et al.*, 1995)

Concernant les effets à proprement parler, ce sont les mêmes que ceux cités dans le chapitre sur la thermothérapie.

Une augmentation de température de 1°C permet une accélération du métabolisme cellulaire. Une augmentation de 2 à 3°C entraîne une réduction des spasmes musculaires, de la douleur et de l'inflammation chronique et une augmentation de la circulation sanguine. En revanche, une augmentation de 4°C diminue la viscoélasticité du collagène et inhibe l'activité sympathique. (Draper *et al.*, 1995)

L'effet thermique des ultrasons n'est pas le plus efficace et le plus accessible et les ultrasons ne devraient donc pas être privilégiés pour cette seule raison.

Cependant, même si pour certains praticiens les effets thermiques restent le plus important, il existe d'autres effets qui sont décrits et prouvés et qui ont un impact thérapeutique plus important.

b. Les effets bénéfiques non thermiques des ultrasons

L'existence de ces effets non thermiques ou microthermiques est maintenant largement documentée. Ils sont expliqués par les phénomènes de cavitation et de vaporisation acoustiques.

La cavitation ultrasonique correspond à la création et la croissance de bulles de gaz dans un liquide suite à une dépression. Lors d'oscillations rythmiques ces bulles de cavitation sont stables. Elle améliore les échanges métaboliques et donc la synthèse protéique en augmentant la perméabilité cellulaire. Cependant si l'intensité est inadaptée ou l'appareil mal calibré ces cavitations peuvent exploser créant des lésions pouvant aboutir à une destruction des cellules avoisinantes.

La vaporisation acoustique correspond à un flux de liquide autour d'un objet en oscillation acoustique. Cet effet est principalement utilisé lors de phonophorèse, technique consistant à faciliter la diffusion des principes actifs d'action locale par voie percutanée grâce à un flux unidirectionnel généré par les ondes acoustiques (Jalal et Leong, 2018)

Les ultrasons pulsés d'1 MHz 1:4 avec une intensité de 0,1 et 0.4 W/cm² ou continus de 45 kHz avec une intensité de 15 et 30 mW/cm² augmentent la prolifération cellulaire de fibroblastes et d'ostéoblastes de 35 à 52 %, accroissent la synthèse de collagène et de protéines non collagéniques jusqu'à 112 %, stimulent l'angiogénèse en augmentant la production d'interleukine 8, du facteur de croissance fibroblastique basique bFGF et de facteur de croissance vasculaire endothéliale. (VEGF) (Doan *et al.*, 1999 ; de Oliveira Perrucini *et al.*, 2019)

Des résultats similaires ont été obtenus *in vitro* à des fréquences continues de 3 MHz et à une intensité de 0.5 W/cm² en notant en plus une diminution de la synthèse d'IL-6. (Bertin *et al.*, 2019)

c. Synthèse des effets physiologiques bénéfiques des ultrasons

Effet circulatoire : une vasodilatation associée à une augmentation du débit sanguin et donc de l'apport des nutriments et d'oxygène aux tissus et de l'élimination des métaboliques et des molécules pro-inflammatoires.

Effet musculaire : la chaleur augmente le seuil de contractilité musculaire et réduit les spasmes musculaires.

Augmentation de la perméabilité des membranes cellulaires : grâce à cela les échanges extra et intracellulaires sont facilités permettant d'accélérer le métabolisme et donc de résoudre les phénomènes inflammatoires plus rapidement et d'accélérer certaines phases de la cicatrisation tissulaire.

Stimulation des phases de cicatrisation : en stimulant la synthèse de protéines mais ainsi celle de fibroblastes et d'ostéoblastes ainsi que de nombreux facteurs de croissance les ultrasons sont très utiles dans la régénération tissulaire par cicatrisation.

Effet fibrinolytique : l'effet mécanique permet de détruire certaines adhérences fibreuses. De plus couplé à des séances d'étirements et de mobilisations l'effet thermique permet d'assouplir et de réorganiser la fibrine et le collagène.

Effet antalgique : par son effet vasculaire et le drainage de molécules inflammatoires, par les réductions des spasmes musculaires et des contractures tissulaires et l'effet « gate control » les ultrasons peuvent être très intéressants dans la gestion de certaines pathologies musculo-tendineuses. La microcavitation acoustique aurait également un rôle à jouer dans le blocage de la conduction nerveuse. (Cullion *et al.*, 2018)

E. Indication des ultrasons

a. Les affections aiguës : Tendinite et bursite

L'utilisation des ultrasons est contre-indiquée pendant les 48 à 72 heures suivant le traumatisme (phase de congestion active et d'œdème inflammatoire) à cause de son effet vasodilatateur et la stimulation de la synthèse de protéines.

Passé la phase initiale vasculaire, les ultrasons chauffent sélectivement sur les tissus riches en collagène tels que les tendons et aident à réduire l'œdème, la douleur et améliorent le flux sanguin et la vitesse de cicatrisation des tendons ou ligaments lésés. (Tsai *et al.*, 2011 ; Farcic *et al.*, 2018)

b. Contracture articulaire

Les contractures articulaires résultent d'une immobilisation prolongée ou d'un traumatisme. Les tissus périarticulaires étant composés principalement de collagène s'ils ne sont plus sollicités par des mouvements réguliers ils vont avoir tendance à se réorganiser et à se raccourcir à leur longueur au repos. L'effet thermique des ultrasons est là encore ciblé du fait de la richesse en collagène des tissus périarticulaires. Cet effet thermique des ultrasons, à une fréquence de 3.3 MHz et une intensité de 1.5 W/cm² pendant plus de 3 minutes, utilisé en synergie avec les étirements permettent d'améliorer l'amplitude de mouvement. (Acevedo *et al.*, 2019)

c. Contracture musculaire

Le seuil de nociception ainsi que le seuil de contractilité musculaire sont augmentés lors de traitement thermique permettant ainsi de soulager ce type d'affection

d. Arthrose

Une étude humaine a montré que les patients atteints d'arthrose au niveau de l'articulation du genou semblent moins douloureux et supportent mieux les activités du quotidien après des 2 semaines de séances de 8 minutes par rapport à des patients réalisant des séances de 4 minutes à une fréquence de 1 MHz et une intensité de 1.5 W/cm² en mode continu. (Yıldırım *et al.*, 2015)

e. La régénération des tissus mou

Lorsqu'il s'agit de régénération tissulaire, les doses utilisées sont généralement faibles et le temps d'application long de façon à délivrer une forte énergie sans échauffer les tissus.

La plupart des articles utilisent une fréquence de 1 MHz, des doses de 0.5 W/cm², des cycles pulsatiles de ratio 1:5 et la durée de traitement conseillée est de 5 minutes par zone. (Farcic *et al.*, 2018)

Les effets des ultrasons varient en fonction de la phase de réparation. Immédiatement après la blessure, s'il y a une phase hémorragique, il est déconseillé d'utiliser les ultrasons du fait de l'effet de vasodilatation et d'augmentation du flux sanguin localement. Dès lors que le saignement n'est plus actif les ultrasons peuvent être commencés.

Durant la phase inflammatoire les ultrasons stimulent les mastocytes (en permettant leur dégranulation) mais aussi les plaquettes, les neutrophiles et les macrophages. Les ultrasons auront ici un effet pro inflammatoire permettant ainsi d'accélérer le processus de réparation.

En cas de phase inflammatoire d'origine non réparatrice les ultrasons permettent le retour à la normale du tissu inflammé plus rapidement en optimisant l'inflammation.

Durant la phase proliférative, les ultrasons vont activer les fibroblastes, les cellules endothéliales et les myoblastes augmentant ainsi la synthèse de protéines et de collagènes ainsi que la fibroplasie.

Durant la phase de remodelage les ultrasons semblent promouvoir la réorganisation des fibres de collagène et accélérer le remplacement des fibres de collagène de type III par des fibres de type I

promouvant une meilleure mobilité et solidité du tissu cicatriciel. Les ultrasons sont ici très intéressants du fait de la durée de cette phase de maturation pouvant atteindre près de 1 an dans certains cas de figure. (Farcic *et al.*, 2013)

f. Utilisation lors de plaie ou de fracture

Les ultrasons stimulent la production de facteurs angiogéniques tels que l'interleukine 8, facteur de croissance fibroblastique et les facteurs de croissance vasculaire endothéliale ce qui a des effets bénéfiques sur la guérison des plaies, les ulcères chroniques et la guérison des fractures, notamment grâce à la stimulation de l'angiogénèse.

Les faibles intensités continues ou pulsées ont été utilisées pour traiter des plaies chroniques et aiguës. Les ultrasons à faible intensité semblent stimuler la régénération cellulaire par ses effets non thermiques et à haute intensité par l'effet pro inflammatoire.

Lors de fractures, les intensités choisies sont de 30 mW/cm² et la fréquence de 1.5 MHz pulsée à 1 kHz pendant 20 minutes par jour.

Harrison *et al.* expliquent que les effets bénéfiques des ultrasons sur les fractures sont dus à la transformation du signal mécanique en un signal biochimique qui va venir activer l'expression des COX2, enzyme stimulant la production de prostaglandines 2 qui vont venir stimuler l'ostéogénèse en activant la minéralisation. (Harrison *et al.*, 2016)

g. Phonophorésie : l'administration locale de principe actif

La phonophorésie est un processus permettant de délivrer localement des médicaments à travers une peau intacte. Les fréquences utilisées sont généralement supérieures à 1MHz.

Les médicaments peuvent avoir un effet local ou systémique. En humaine cette technique est utilisée de façon locale lors de tendinite, bursite, entorses chroniques, arthrite rhumatoïde, arthrose ; de façon systémique lors de difficultés locomotrices et d'hypertension.

Lorsqu'un médicament est appliqué localement le transfert se fait par diffusion passive dans les tissus. La phonophorésie vient accélérer ce processus en dénaturant le stratum corneum, barrière naturelle à la diffusion des principes actifs.

De même, en chauffant la peau, les follicules pileux se dilatent et laissent passer les substances plus rapidement. De plus, la vasodilatation et les cavitations induites par l'échauffement augmentent le flux sanguin et favorisent l'absorption systémique plutôt que la diffusion locale. Rich KT 2014. Ces effets cités sont tous transitoires et parfaitement réversibles.

Le bénéfice principal de la phonophorésie est de délivrer des doses de médicaments localement tout en diminuant les effets indésirables lors de prise per os ou parentérale (exemple AINS : per os : ulcération gastrique ; parentérale : hépatite).

Certains principes actifs tels que l'hydrocortisone, les triéthanolamine salicylate (myoflex) ou produits de couplage ne permettent pas la transmission des ultrasons à 0.75 ; 1.5 et 3 MHz. L'effet des ultrasons se retrouve inactivé. En effet les ultrasons ne passant pas les produits, ils ne se propagent pas dans le derme. (Benson et McElnay, 1988)

De nombreuses études sur le rat et sur l'Homme ont montré l'efficacité de la phonophorésie dans certain cas :

Le diclofénac inhibe plus efficacement la synthèse de COX-2 et de TNF- α lors d'œdème et d'inflammation induite sur des rats. (Huang *et al.*, 2015)

L'aloë vera couplé aux ultrasons permet, lors de tendinites chez le rat, la réduction de l'œdème et la diminution du nombre de cellules inflammatoires, là où l'application seule d'aloë vera ne modifie pas significativement la guérison. (Maia Filho *et al.*, 2010)

La phonophorésie a été comparée aux injections de corticoïdes lors de syndrome du canal carpien chez l'Homme et les résultats n'ont pas montré de différence significative à court et moyen termes entre les deux procédés. (Karatay *et al.*, 2009)

La phonophorésie semble donc être un traitement efficace à court terme et au moins aussi efficace que les injections locales même si à priori les concentrations de principe actif retrouvées localement dans les articulations sont bien moins importantes que celles retrouvées lors d'injection traditionnelle.

F. Précautions et contre-indications

Les brûlures tissulaires sont les principales complications de l'ultrasonothérapie. Cela peut arriver lorsque l'intensité est trop importante, la durée d'application trop longue, la sonde bougée de façon inhomogène concentrant ainsi les ondes sur une zone.

Les ultrasons ne doivent jamais être dirigés vers :

- Un pacemaker cardiaque.
- Le cœur : des modifications de l'électrocardiogramme ont été observées chez le chien.
- Le sinus carotidien ou les ganglions cervicaux : cela pourrait stimuler les baroréflexes et la conduction électrique cardiaque.
- Les yeux : la chaleur étant mal évacuée du fait d'une circulation sanguine peu importante des lésions rétinienne ou une cataracte peuvent apparaître.
- Un utérus gravide : une hyperthermie fœtale peut engendrer des malformations surtout durant le premier trimestre de grossesse.
- Des tumeurs malignes ou des métastases.
- La moelle épinière et le cerveau.
- Les gonades : une stérilité temporaire peut être induite par l'augmentation de la température tissulaire.
- Une plaie contaminée : la vasodilatation et l'augmentation du flux sanguin associées à une diminution de la perméabilité causée par la thérapie peuvent conduire à une diffusion des bactéries dans le sang et à la formation d'embolie septique. De plus la chaleur peut accélérer les phénomènes infectieux.
- Une zone hémorragique : du fait de l'augmentation du flux sanguin.

Des précautions doivent être prises lors de :

- Fracture osseuse : seul des ultrasons à une faible intensité et de façon pulsée stimulent la cicatrisation osseuse. A haute intensité, des retards de calcification, des fractures pathologiques, des dommages du périoste et une déminéralisation peuvent être induits
- Des protrusions osseuses : les ultrasons doivent être utilisés de part et d'autre des protrusions ou par immersion de façon à éviter de concentrer les ultrasons au niveau du périoste et de créer de dommage osseux. Des intensités plus faibles doivent être utilisées proches des os afin d'éviter tout risque de brûlure périostée.
- Les traitements thermiques superficielles peuvent altérées la sensibilité thermique et donc limiter les réactions de défense de l'animal lors de brûlure.
- Hypovigilance : un animal sédaté, anesthésié ou comateux ne répond pas aux stimuli thermiques
- Affection nerveuse périphérique : lors d'affection neurologique périphérique les réponses motrices peuvent être diminuées ou absentes
- Problème circulatoire en général (hyperviscosité sanguine (diabète), risque de thrombus, maladie cardiaque etc.) : lorsque la circulation sanguine diminue la chaleur ne peut pas être évacuée aussi efficacement par l'animal.
- Plaque de croissance chez un animal immature : les changements thermiques peuvent altérer la croissance osseuse mais à faible intensité les ultrasons ne semblent pas modifier l'aspect radiographique et histologique des plaques de croissance (Barreto *et al.*, 2011 ; Lyon et Liu, 2003)
- Inflammation articulaire aigüe : un échauffement de l'articulation peut accélérer la destruction des cartilages articulaires lors de la phase initiale.

A 1 MHz et à une distance de 2 cm et 3 cm, la température proche de l'os est plus élevée qu'au niveau de la sonde ; cependant à 3 MHz c'est le contraire. Il est donc possible de créer des brûlures internes sans pour autant ressentir d'élévation de température cutanée (Ohwatashi *et al.*, 2015). C'est pourquoi la fréquence doit être choisie de façon réfléchiée en fonction des tissus cibles mais aussi avoisinant la zone à traiter.

G. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : l'ultrasonothérapie

Effets bénéfiques principaux des ultrasons pulsés (effet non thermique) :

Amélioration des échanges métaboliques et donc de la synthèse protéique ↗ perméabilité membranaire

Régénération cutanée, tendineuse et ligamentaire ↗ prolifération cellulaire de fibroblastes et d'ostéoblastes, ↗ collagène et autres protéines

Amélioration de la perfusion périphérique ↗ angiogenèse

Effets bénéfiques principaux des ultrasons continus (effet thermique) :

Augmentation du flux sanguin et donc de l'apport en nutriments des tissus et de l'élimination des déchets métaboliques localement ↗ vasodilatation

Accélération des phases de maturation et de prolifération ↗ activité cellulaire

Effet myorelaxant ↗ seuil de contraction musculaire et effet analgésique

Augmentation de l'amplitude de mouvement ↗ élasticité des tissus conjonctifs

Effet analgésique Effet « Gate control »

Utilisation en pratique :

Ils doivent être utilisés sur des zones préalablement tondues et un gel de couplage (type gel échographique) doit être utilisé pour éliminer les interfaces parasites que sont les poils et l'air.

Fréquence : 1MHz pour atteindre des tissus en profondeur (2-5 cm) 3.3MHz pour atteindre des tissus superficiels (0.5-3 cm)

Intensité : en mode continu pour chercher des effets thermiques : 1 W/cm² si le tissu est riche en collagène à 2 W/cm² si le tissu est pauvre en collagène

En mode pulsé pour chercher des effets non thermiques : avec un ratio de 1:4 : 0.1-0.5 W/cm²

Durée et fréquence : 5 à 10 minutes par zone et 20 minutes au total

Principales indications et paramétrages : (les paramètres indiqués ne sont que des guides pouvant être amenés à être modifiés en fonction des différents paramètres individuels) :

Inflammation aiguë : tendinite, bursite	1MHz 0.5W/cm ² en mode pulsé avec un ratio 1:4
Contracture articulaire et musculaire	3.3MHZ 1.5W/cm ² en mode continu
Arthrose	3.3MHz, 1.5W/cm ² en mode pulsé
Régénération des tissus mous	1MHz, 0.5W/cm ² en mode pulsé avec un ratio 1:4-1:5
Cicatrisation osseuse	30mW/cm ² SATA, 1.5MHz, en mode pulsé à 1:5
Phonophorésie (diffusion locale de principes actifs)	Variable en fonction du médicament (principe actif et excipient)

Contre-indications à l'utilisation locale de dose provoquant un effet thermique :

- Pacemaker cardiaque
- Cœur
- Sinus carotidiens ou ganglions cervicaux
- Yeux, utérus gravide
- Tumeur maligne ou métastases
- Moelle épinière ou cerveau
- Plaie contaminée
- Zone hémorragique
- Plaque de croissance

8. L'électrothérapie

L'électrothérapie regroupe, en médecine, l'ensemble des méthodes thérapeutiques qui utilisent l'électricité pour traiter des maladies. Nous étudierons ici l'électrothérapie à proprement parler c'est-à-dire à l'application d'un courant électrique direct au moyen d'électrodes cutanées qui vont venir stimuler le trajet d'un nerf ou le point moteur d'un muscle.

L'électrothérapie agit par la stimulation des axones et des nerfs moteurs périphériques. Le seuil d'excitabilité des axones des nerfs sensitifs aussi appelé seuil sensoriel est inférieur aux seuils d'excitabilité des fibres musculaires aussi appelé seuil moteur.

L'électrothérapie est connue et couramment utilisée en physiothérapie lors de renforcement musculaire et de rééducation musculaire. Cependant, elle est également utilisée pour augmenter l'amplitude de mouvement, pour son effet décontractant, son effet antalgique, pour améliorer le tonus musculaire, accélérer la cicatrisation cutanée, réduire l'œdème, et améliorer l'administration transdermique des principes actifs (iontophorèse).

Nous discuterons de deux types de thérapies électriques : celle s'intéressant au seuil sensoriel et à l'activité antalgique de l'électrothérapie représenté par la stimulation nerveuse électrique transcutanée (Transcutaneous electrical nerve stimulation : TENS) et les courants interférentiels (Interferential current : IFC) et celle s'intéressant au seuil moteur et au renforcement musculaire : la stimulation électrique neuromusculaire (neuromuscular electrical stimulation : NMES),

A. Les courants à visée antalgique : Le « Transcutaneous electrical nerve stimulation » (TENS) et les courants Interférentiels : IFC

Le TENS est une technique de stimulation périphérique non invasive ayant pour but de soulager la douleur. Durant l'application de cette méthode un courant électrique pulsé est délivré à travers une surface cutanée intacte afin de stimuler les nerfs sous-jacents.

Le courant interférentiel est un procédé utilisant deux générateurs croisant des courants alternatifs de moyennes fréquences situées en général entre 2000 et 5000 Hz. Les fréquences des courants varient en sens inverse. Les deux courants se croisent orthogonalement sur le patient et génèrent à leur croisement un courant interférentiel de basse fréquence, dont la résultante est égale à la différence entre les fréquences des deux générateurs. (Almeida *et al.*, 2018)

Contrairement au TENS, le courant interférentiel permet d'atteindre des profondeurs plus importantes. D'une part parce qu'il est dit que l'utilisation de fréquences plus élevées a été décrite comme réduisant l'impédance électrique de la peau. D'autre part l'utilisation de deux générateurs et la création d'un courant interférentiel en profondeur permet d'administrer une intensité plus importante en profondeur sans créer d'inconfort superficiellement. Cependant, ces affirmations restent contestées et les différences entre le TENS et le courant interférentiel résultent principalement en la profondeur de la zone cible, le TENS agissant plus superficiellement et l'IFC agissant plus en profondeur. (Almeida *et al.*, 2018)

A l'heure actuelle, les études montrent des résultats similaires entre le TENS et l'IFC.

Cette thérapie est couramment utilisée en automédication car il n'existe pas d'effet indésirable majeur ou d'interaction médicamenteuse. L'effet analgésique maximal est obtenu lorsque l'activité électrique générée est élevée mais non douloureuse.

C'est une méthode analgésique peu onéreuse comparée aux traitements allopathiques sur le long terme.

a. Les différents types de courant à visée antalgique utilisés et leurs paramètres

- TENS conventionnel : courant alternatif motifs rectangulaires phase de 2-50 μ s et fréquence de 50-150 Hz, dosage de l'intensité subjectif
- TENS acupuncture : courant alternatif motifs rectangulaires phase de 100-400 μ s et fréquence de 1-10 Hz, dosage de l'intensité subjectif
- Stimulation électrique de haut voltage : courant alternatif, motifs triangulaires phase de 100 μ s et fréquence de 100 Hz, dosage de l'intensité subjectif, voltage de 100 V.
- Electrothérapie moyenne fréquence (courant interférentiel) : courant alternatif sinusoïdal, phase de 100 μ s, fréquence de 4000 Hz est un procédé utilisant deux générateurs croisant des courants alternatifs de moyennes fréquences situées en général entre 2000 et 5000 Hz. Les fréquences des courants varient en sens inverse. Les deux courants se croisent orthogonalement sur le patient et génèrent à leur croisement un courant interférentiel de basse fréquence, dont la résultante est égale à la différence entre les fréquences des deux générateurs (Almeida *et al.*, 2018)

- **Choix de l'intensité**

L'utilisation de forte intensité produit un effet antalgique là où les intensités plus faibles sont moins efficaces.

De plus, lors d'intensité plus élevées, le recrutement des fibres sensibles afférentes est plus important et les tissus plus profonds sont aussi stimulés.

Aux intensités choisies, les contractions et les trémulations ne sont pas observées. Il est recommandé d'utiliser le TENS à une intensité la plus élevée possible dans la limite de tolérance individuelle (apparition d'un inconfort).

b. Les effets physiologiques des courants antalgiques (TENS et IFC)

- **Effet gate contrôle**

Les signaux de la douleur sont transmis par des fibres nerveuses de petit diamètre A-delta et C. Ces fibres transmettent les messages nerveux moins rapidement que les fibres de plus gros diamètre. Or, lors d'application d'un courant TENS les fibres nerveuses sollicitées sont les fibres A- β de plus large diamètre. Ainsi au niveau de la corne dorsale de la moelle épinière les ganglions vont être saturés de stimulations et les signaux de la douleur bloquée et donc ils ne seront pas transmis au système nerveux central. Ce mécanisme est nommé « gate control ».

Pour stimuler les fibres A- β le courant doit être de faible intensité et de hautes fréquences, supérieur à 50 Hz. (Low et Reed, 2000)

- *Effets sur les neurotransmetteurs et leurs récepteurs*

Le mécanisme antalgique du TENS repose sur une cascade d'actions neuronales. A des fréquences et intensités cliniques, le TENS stimulent les fibres afférentes de large diamètre ; ce message afférent est transmis au système nerveux central et il en résulte un message inhibiteur efférent afin de réduire l'hyperalgie.

De prime abord le TENS haute fréquence (conventionnel) était utilisé pour son effet « gate control » et le TENS basse fréquence (acuponcture) pour son effet opioïdergique. Cependant il a été démontré que ses deux techniques stimulent la sécrétion d'opioïdes endogènes mais en agissant sur des récepteurs différents

A haute fréquence les TENS dit « conventionnels » :

- Stimulent la sécrétion de bêta-endorphines, agonistes des récepteurs aux opioïdes μ , dans le sang et dans le liquide cébrospinal (Salar *et al.*, 1981 ; Hughes *et al.*, 1984)
- Stimulent la sécrétion de met-enképhalines, agonistes des récepteurs aux opioïdes delta principalement et μ à moindre échelle (Han, 2003 ; Sluka et Walsh, 2003)

Et à basse fréquence les TENS dit « acuponctures » :

- Stimulent la sécrétion de bêta-endorphines, agonistes des récepteurs aux opioïdes μ , dans le sang et dans le liquide cébrospinal (Salar *et al.*, 1981 ; Hughes *et al.*, 1984)
- Stimulent la sécrétion de dynorphine A, agoniste des récepteurs aux opioïdes κ (Sluka et Walsh, 2003 ; Vance *et al.*, 2014)

Cette augmentation de la concentration en opioïde dure en moyenne 24 heures mais l'effet peut persister plus longtemps.

Les études ont conclu que l'analgésie due au TENS provient d'actions sur les récepteurs aux opioïdes, muscariniques et GABA au niveau de la moelle épinière. Aucun lien n'a été mis en évidence avec les récepteurs sérotoninergiques et noradrénergiques.

- *Réduction de l'excitabilité du système nerveux central*

Chez les animaux sains, le TENS à basse et haute fréquences réduisent l'activité neuronale au niveau de la corne dorsale. (Vance *et al.*, 2014)

Chez les animaux présentant une inflammation périphérique ou une douleur neuropathique, les stimuli nociceptifs ou les stimuli allodymiques sont réduits lors de traitement par la méthode TENS. L'hyperalgie primaire et secondaire est aussi réduite.

De plus, en humaine, chez les personnes présentant une fibromyalgie ou de l'arthrose, le TENS réduit les douleurs à la palpation-pression au niveau du site stimulé mais aussi en périphérie de la zone ciblée.

Le TENS à haute fréquence réduit la sensibilisation des neurones centraux et le relargage de neurotransmetteurs excitateurs tels que le glutamate et la substance P permis par le blocage des récepteurs opioïdes delta dans la corne dorsale de la moelle épinière chez les animaux présentant des inflammations.

- *Le mécanisme périphérique*

Le TENS à haute fréquence réduit le relargage de substance P qui est exacerbé lors de blessures tissulaires.

Le TENS à basse fréquence quant à lui prévient la douleur périphérique par son action sur la sécrétion d'opioïdes.

Certains effets analgésiques dont la réduction de l'allodynie thermique sont expliqués par les effets α -2 adrénergiques du TENS à basse fréquence.

- *Les effets anti-inflammatoires des TENS*

Les effets anti-inflammatoires du TENS sont encore mal connus. Cependant, une méta-analyse a montré que l'utilisation du TENS en post-opératoire réduisait systématiquement la sécrétion d'interleukine 6. Mais les scientifiques n'ont pas réussi à trouver les valeurs des paramètres (pulsation, fréquence) ayant permis cet effet anti-inflammatoire du fait de l'hétérogénéité des méthodes utilisées dans les articles. (Almeida *et al.*, 2018)

c. Efficacité et utilisation en médecine vétérinaire

Le TENS a montré de nombreux bénéfices en médecine humaine notamment lors d'affections chroniques ou aiguës telles que l'arthrose, la spondylarthrose et lors de soins post-opératoires orthopédiques et neurologiques. Ces résultats peuvent être extrapolés à la médecine vétérinaire.

À haute intensité, il a été montré que le TENS permet de diminuer la quantité d'opioïdes à administrer et donc de diminuer les effets indésirables liés aux opioïdes. (Bjordal *et al.*, 2003 ; Aarskog *et al.*, 2007)

En médecine vétérinaire, une étude sur l'effet antalgique du TENS lors d'arthrite du genou a montré une amélioration significative de la démarche et une diminution de la boiterie sur tapis de force, persistant pendant 210 minutes après l'application du TENS. 4 jours après le traitement, une amélioration résiduelle de la boiterie et de la posture sont notés bien que non significatif (Levine *et al.*, 2002b)

Une autre étude sur des chiens en surpoids présentant une arthrose de la hanche a divisé les chiens en deux groupes. Les deux groupes ont suivi un programme alimentaire visant une perte de poids ainsi que de la physiothérapie incluant des massages, des étirements et une augmentation contrôlée du niveau d'exercice. L'un des groupes a également été traité par la méthode TENS deux fois par semaine. Ce groupe a montré une diminution significative du score de boiterie dès 30 jours après le début du programme contre dès 60 jours pour le deuxième groupe. De même le score de douleur est diminué dès 60 jours chez les chiens ayant une thérapie TENS et dès 90 jours chez les autres.

Des analyses sur tapis de force ont également montré que le groupe traité avec le TENS avait une démarche plus symétrique que le groupe contrôle à la fin de l'étude. (Mlacnik *et al.*, 2006)

Cette étude suggère donc que le TENS combiné à une diète, des exercices et de la physiothérapie, a une influence positive sur la boiterie d'arthrose.

B. La stimulation électrique neuromusculaire (NMES)

Sur un individu sain, la force maximale de contraction volontaire produit une contraction bien plus importante que celle induite par une stimulation électrique. Cependant, un patient qui présente une blessure, une atrophie musculaire ou sortant de chirurgie est incapable de fournir une force musculaire maximale volontairement. C'est chez ces individus que le NMES peut produire une contraction musculaire plus importante et donc avoir un effet bénéfique plus important qu'une rééducation fonctionnelle manuelle.

a. Effets sur les fibres musculaires

Le NMES recrute en premier les fibres musculaires de type II, aussi appelées fibres blanches ou fibres rapides, puis les fibres de type I, fibres rouges ou fibres lentes ; contrairement au schéma d'action lors d'une contraction musculaire volontaire. (Sinacore *et al.*, 1990 ; Knaflitz *et al.*, 1990 ; Snyder-Mackler *et al.*, 1991)

En augmentant la durée d'une pulsation, on augmente le nombre de fibres de petits diamètres recrutées à une même profondeur. Cependant, si on augmente trop la durée de pulsation on risque de stimuler les fibres nerveuses du nociception. Cet effet est remarqué dès lors que l'on dépasse 800 μ s.

Lorsque l'on augmente l'amplitude ou la durée de pulsation, on augmente la force de contraction du fait du recrutement plus important de fibres musculaires.

Lorsque l'on augmente la fréquence on augmente non seulement la force de contraction mais aussi la fatigue musculaire, c'est pourquoi la fréquence doit être ajustée de façon optimale afin d'optimiser la réponse physiologique tout en minimisant la fatigue.

Le NMES ne modifie pas la distribution des fibres I et II, cependant il affecte le métabolisme oxydatif et donc la taille des fibres. Les adaptations morphologiques et biochimiques observées avec le NMES sont similaires à celles observées après un exercice de résistance volontaire.

b. Effets enzymatique

En humaine, chez des individus sédentaires, le cycle de Krebs et l'oxydation des acides gras sont stimulés par l'électrothérapie. Le NMES augmente donc le métabolisme aérobie. (Arvidsson *et al.*, 1986 ; Wigerstad-Lossing *et al.*, 1988 ; Gauthier *et al.*, 1992)

c. Effets sur la circulation sanguine

Chez le singe, le NMES induit une augmentation du flux sanguin musculaire résultant d'une prolifération des capillaires. Cette prolifération est plus importante autour des fibres de type II que celle de type I. Chez le rat, il a été montré que le NMES devait être appliqué à des intensités permettant les contractions musculaires afin de stimuler la microperfusion vasculaire.

d. Les effets généraux des NMES

L'électrothérapie :

- Lutte contre l'amyotrophie lié à une immobilisation prolongée
- Augmente la force musculaire, la prise de masse musculaire, le métabolisme oxydatif aérobie
- Augmente l'amplitude de mouvement, corrige la démarche, lutte contre l'ankylose articulaire et atténue les contractures
- Diminue la douleur, augmente la sensibilité locale, retarde la disparition des mouvements volontaires
- Réduit les œdèmes en stimulant la circulation sanguine et lymphatique

e. Effets indésirables

La fatigue musculaire arrive plus rapidement et est plus prononcée que lors d'exercice standard. Cette fatigue est exacerbée par le recrutement inverse des fibres musculaires. Afin de diminuer cette fatigue il est possible de jouer sur l'intensité, la fréquence et la durée de pulsation des dispositifs. Une douleur peut apparaître lorsque l'intensité est trop élevée.

f. Indication de la stimulation électrique musculaire

La stimulation électrique musculaire est notamment utilisée lors de réhabilitation orthopédique ou neurologique (non étudiée ici).

Les exemples les plus fréquents sont :

- Les réhabilitations après cicatrisation osseuse d'une fracture
- Post chirurgical de rupture des ligaments croisés
- Ménisectomie et arthrotomie lors de débridement méniscale lors d'arthrose du genou
- Affection neurologique : toutes affections entraînant une parésie ou une paralysie

g. Contre-indications et précaution à prendre

Les stimulations électriques sont contre-indiquées dans les situations suivantes :

- Haute intensité proche du cœur
- Port de pacemaker
- Région de thrombose ou thrombophlébite
- Région infectieuse
- Région tumorale
- Région du sinus carotidien
- Région abdominale lors de gestation

Des précautions supplémentaires doivent être prise :

- Lors de perte de sensibilité

- Lors d'irritation ou de lésions cutanées

Comme toute discipline médicale vétérinaire, un programme de réhabilitation se doit d'avoir un ratio bénéfices-risques mais aussi bénéfices-coûts favorables.

Dans le cas du NMES le coût matériel n'est pas important cependant le coût temporel est important. Les bénéfices quant à eux sont nombreux notamment lors de préventions de la dégénérescence musculaire liée à une mise au repos thérapeutique ou post opératoire mais aussi lors de rééducation musculaire chez des animaux présentant une atrophie marquée (post-opératoire, affection orthopédique chronique, arthrose). (Johnson *et al.*, 1997)

C. L'électrothérapie en pratique

a. L'équipement

Un appareil d'électrothérapie satisfaisant doit permettre une flexibilité dans le choix des paramètres. La gamme de fréquences doit pouvoir être ajustées de 1 à 50 Hz, la durée d'impulsion de 50 à minimum 200 μ s posséder plusieurs sorties afin de permettre l'application de plusieurs électrodes et permettre la réalisation de co-contraction. Un appareil de ce type peut coûter dans les 300 euros ou plus.

Figure 39 : Appareil d'électrothérapie composé de l'électrostimulateur, de câble, d'électrodes adhésives et d'un gel de contact (source : www.orthocanis.com)



b. Placement des électrodes

Il est recommandé de raser les poils et de nettoyer à l'alcool les zones où seront placées les électrodes afin de réduire l'impédance électrique.

Les points moteurs sont définis comme étant un point cutané où une stimulation électrique minimale produit la réponse musculaire la plus élevée. **Histologiquement ils correspondent aux points d'épanouissement d'un nerf à l'intérieur du muscle, région où le nerf est démyélinisé et est donc le plus sensible à la simulation électrique.** Ils doivent être localisés le plus précisément possible afin de réduire au maximum l'intensité électrique nécessaire à obtenir une stimulation musculaire et donc à maximiser le confort du patient. Des cartes ont été réalisées dans ce sens. Buendia 2004 Thomson 1971.

Afin de préciser la zone il est possible d'utiliser une électrode non collante généralement présentée sous la forme d'un stylo. Le contact entre le stylo et la peau est assuré par un gel conducteur. Le stylo est placé dans la zone théorique du point moteur et une électrode est placée de l'autre du muscle sollicité. Le dispositif d'électrothérapie est placé sur 1 Hz et l'intensité au seuil de contraction musculaire. Le stylo est déplacé doucement dans la zone théorique du point moteur afin de déterminer le point où la contraction est la plus importante. Une fois la zone cible déterminée l'électrode adhésive est appliquée et la fréquence ajustée (entre 25 et 50Hz).

Figure 40 : Topographie des points moteurs de l'épaule et du tronc chez les chiens (Buendia, 2004)

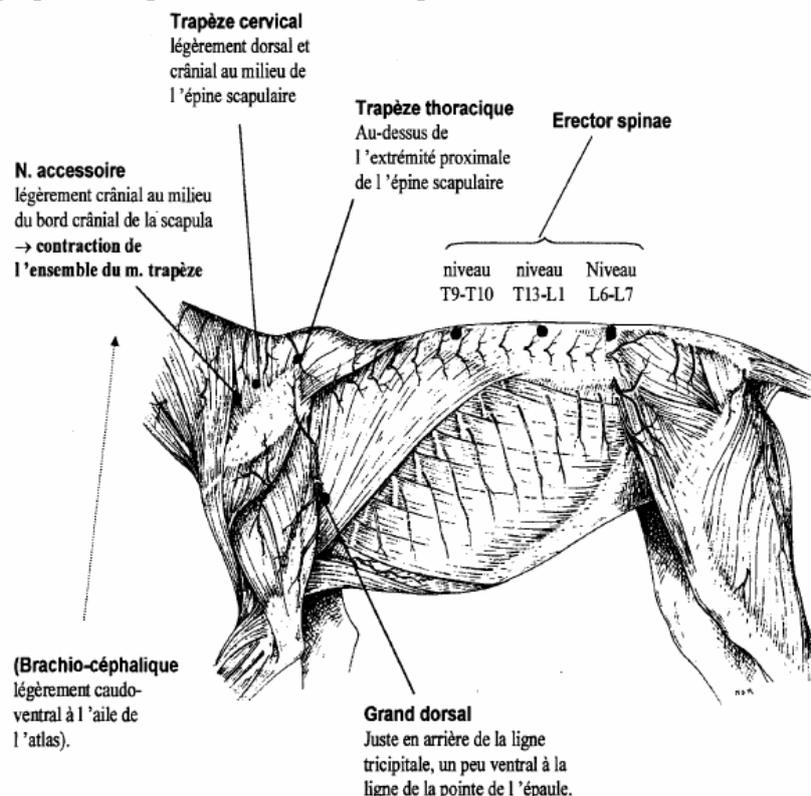


Figure 41 : Topographie des points moteurs du membre antérieur chez les chiens (Buendia, 2004)

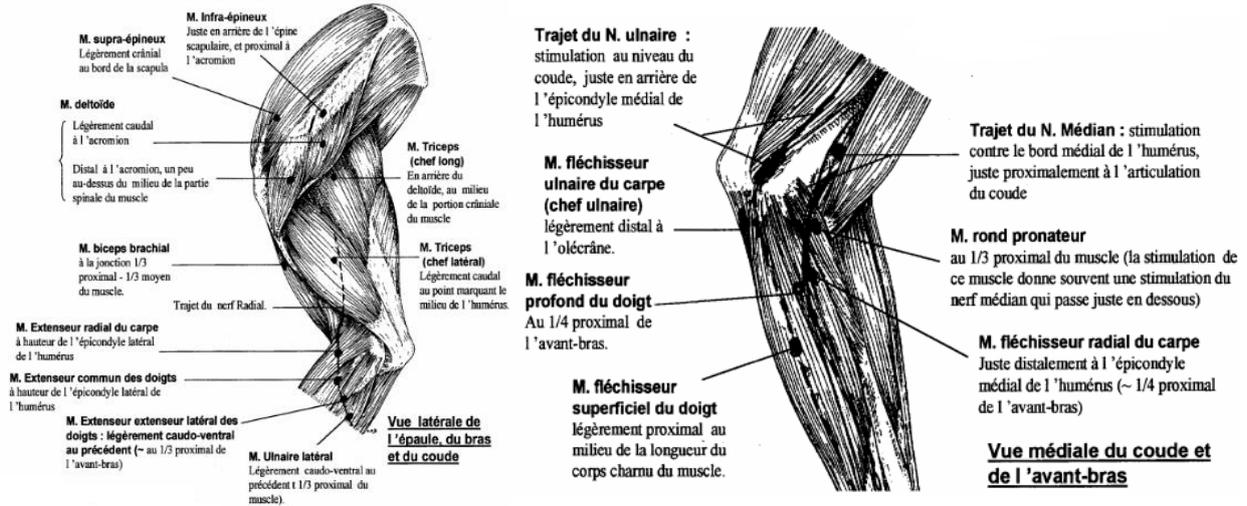


Figure 42 : Topographie des points moteurs du bassin et de la cuisse chez les chiens (Buendia, 2004)

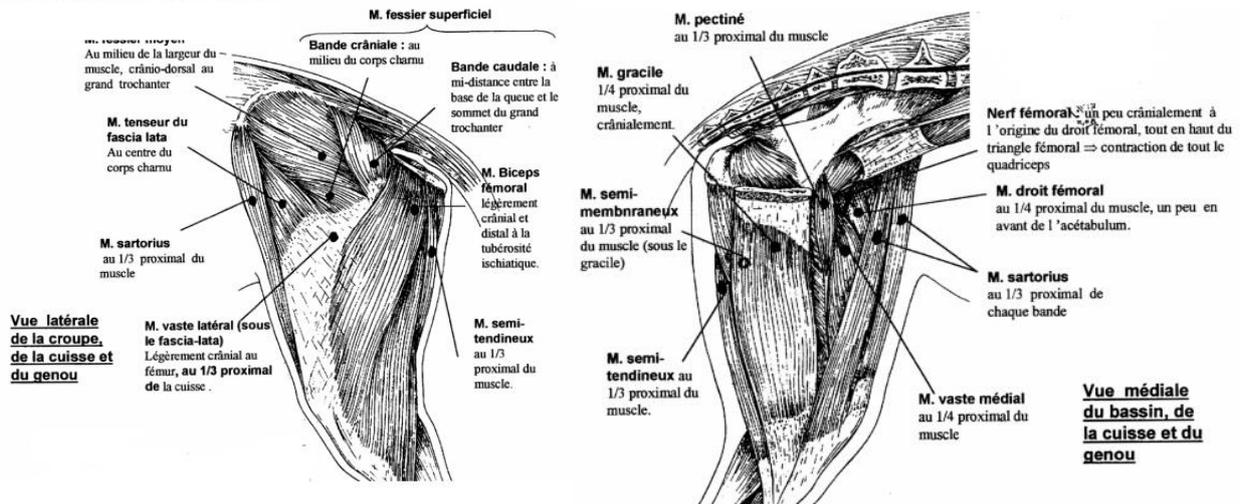
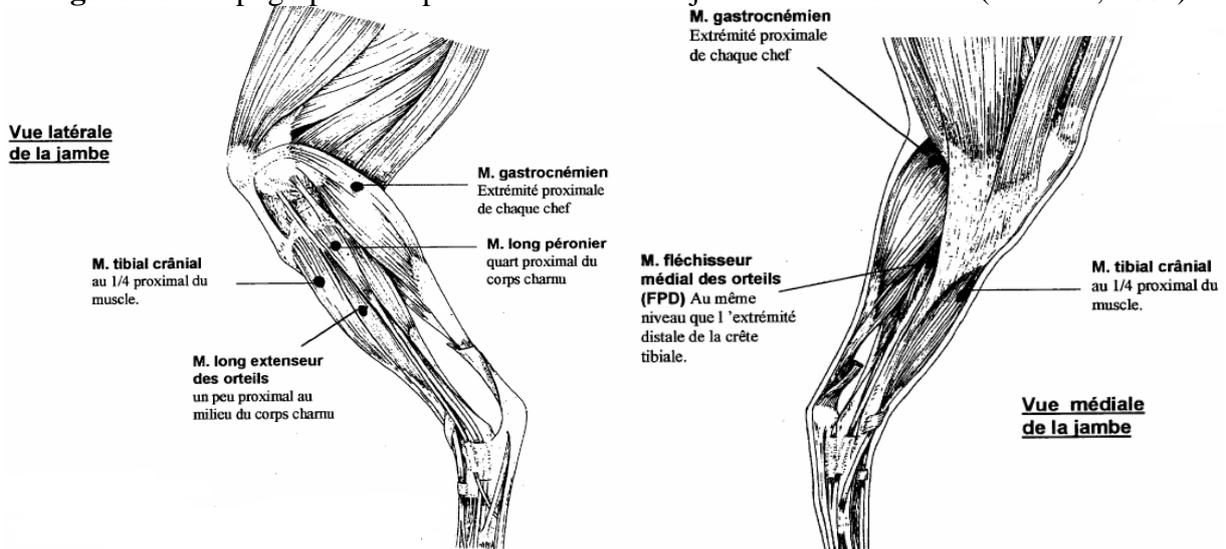


Figure 43 : Topographie des points moteurs de la jambe chez les chiens (Buendia, 2004)

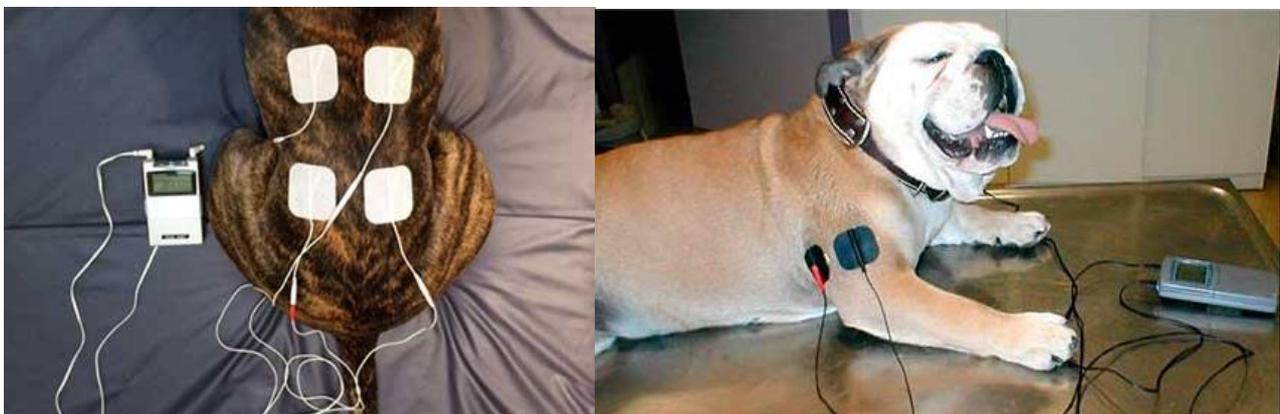


Les électrodes peuvent être disposées soit sur un seul muscle (par exemple muscle caudal de la cuisse) causant alors une contraction musculaire et un mouvement articulaire (flexion du genou) soit sur les muscles antagonistes (muscle caudal et crânial de la cuisse) créant ainsi une contraction simultanée isométrique ne causant pas ou peu de mouvements articulaires, méthode utile lorsque l'on cherche à garder l'articulation au repos ; soit sur les muscles antagonistes en stimulant de façon alternée les deux entités de façon à créer un mouvement articulaire plus important.

Figure 44 : Application d'électrodes de stimulation pour effectuer une contraction du biceps fémoral (à gauche) et une co-contraction du biceps fémoral et du triceps fémoral (source : Millis et Levine, 2014, www.caninerehabcenterhouston.com)



Figure 45 : Application d'électrodes de stimulation sur le rachis lombaire lors de douleur lombaire (à gauche) et sur l'articulation du coude lors de dysplasie du coude (source : www.rehabvets.org, www.ortocanis.com)



c. Durée et fréquence des séances

Une séance devrait durer idéalement 15 à 20 minutes par zone traitée et être répétée 3 à 7 fois par semaine. En cas de fatigue musculaire il est possible de reporter une séance de 1 ou 2 jours afin de laisser le muscle récupérer correctement puis de reprendre les séances avec une intensité, une fréquence ou une durée plus faibles.

d. Précaution pratique à prendre

Afin d'éviter tout risque de blessures aux personnels et aux manipulateurs, il est recommandé de museler l'animal avant de le placer en décubitus latéral lors des premières séances. En fonction du caractère et des comportements du chien il est possible de moduler le port de la muselière plus ou moins longtemps au jugement du praticien.

Dans certain cas il peut être nécessaire de tranquilliser l'animal, dans ce cas il est intéressant de revoir le rapport bénéfice risque de l'acte physiothérapeutique.

D. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : l'électrothérapie Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS), Interferential current therapy (IFC) et électrostimulation musculaire

Effets bénéfiques principaux des TENS et IFC :

Effet analgésique	Effet « Gate control » ↗ Béta-endorphine, met-enképhaline, dynorphine A
Effet anti-inflammatoire	↘ IL-6

Principales indications des TENS et IFC :

Douleur marquée en post-opératoire orthopédique direct : chirurgie invasive telle qu'une TPLO

Lors d'affections chroniques réfractaires au traitement de première intention (arthrose)

Effets bénéfiques principaux de l'ESM :

Recrutement initialement des fibres de type II (fibres rapides) puis des fibres de type I (fibres lentes). Pas de modification du rapport fibres de type II/fibres de type I mais uniquement de leur taille.

↗ métabolisme aérobie	Stimulation du cycle de Krebs et de l'hélice de Lynen
↗ perfusion sanguine musculaire	↗ Néovascularisation capillaire en périphérie des fibres musculaires sollicitées.

Principales indications :

- Prévenir l'amyotrophie lors d'immobilisation forcée ou auto-induite,
- ↗ prise de masse
- ↗ force musculaire
- ↗ amplitude de mouvement et lutte contre l'ankylose articulaire
- ↘ œdèmes en stimulant la circulation sanguine et la pompe veineuse

Variables :

L'amplitude et la durée de pulsation augmentent la force de la contraction (recrutement des fibres plus important).

Les fréquences utilisées oscillent entre 150 et 250 ms (cf. tableau récapitulatif en fonction du muscle sollicité)

Le voltage est déterminé subjectivement par l'opérateur en fonction de la réponse musculaire à la stimulation électrique.

La fréquence augmente la force de contraction mais aussi la fatigue musculaire. (Habituellement entre 25 et 50 HZ)

Utilisation en pratique :

Les électrodes sont placées sur un point moteur (cf. schémas dans le sous-chapitre Placement des électrodes) glabre ou rasé, enduit d'alcool.

Pour trouver le point moteur le dispositif d'électrothérapie est placé sur 1Hz et l'intensité au seuil de contraction musculaire. L'électrode stylo est ensuite déplacée doucement au niveau de la zone théorique du point moteur afin de déterminer son emplacement précis (i.e. zone où la contraction est maximale).

La séance dure 15 à 20 minutes et peut être répétée entre 3 et 7 fois par semaine en fonction de la disponibilité.

Contre-indications :

Localement en région :

- Du cœur
- Du sinus carotidien
- Du pacemaker
- Du cerveau
- Tumorale
- Infectieuse

9. Les thérapies laser

La lumière produit une radiation électromagnétique sous la forme de photon. De nombreuses sources de lumière telles que les ultraviolets, les LEDs etc. sont utilisées couramment et à des fins thérapeutiques.

Le terme LASER est un acronyme pour Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation ou en français « amplification de la lumière par émission stimulée de radiation ». Aujourd'hui cet acronyme est devenu un nom à part entière.

Les premiers lasers utilisés en physiothérapie sont des lasers froids utilisés pour des thérapies de laser basse énergie (Low Level Laser Therapy ou LLLT en anglais). Une nouvelle classe de laser a fait son apparition en physiothérapie appelée laser thérapeutique. Ce sont des lasers qui délivrent plus d'énergie que les lasers froids mais pas assez pour créer des lésions thermiques.

Ils sont à différencier des lasers chirurgicaux haute énergie qui délivrent encore plus d'énergie et qui sont capables de créer des lésions thermiques cellulaires et tissulaires. (Non étudié ici)

Le laser froid est actuellement utilisé pour traiter des blessures cutanées, des inflammations localisées, des affections musculaires, tendineuses, ligamentaires, neurologiques ou articulaires.

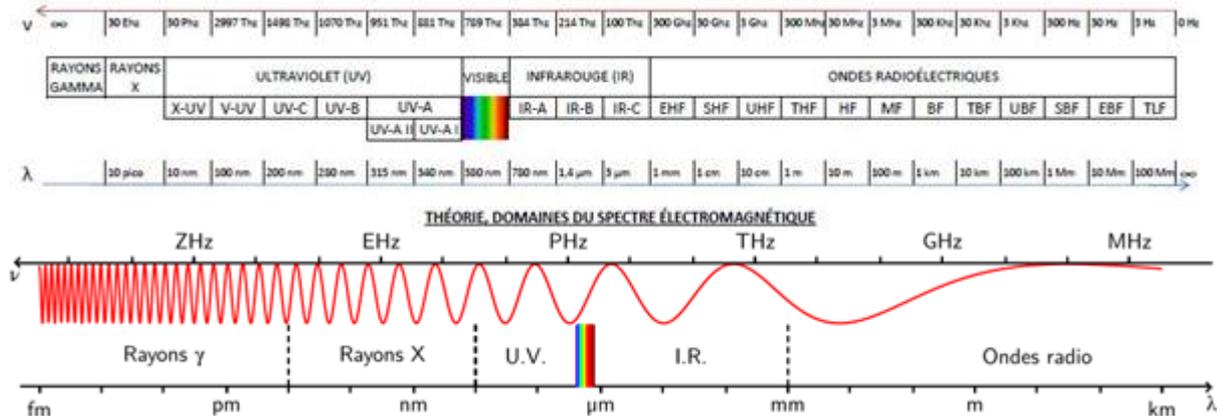
Le principe utilisé par le laser est le phénomène de photobiomodulation qui correspond à la stimulation athermique de la régénération et au soulagement de la douleur liée à une lésion par application de radiation de longueur d'onde correspondant aux spectres rouge et infrarouge sur des tissus.

L'utilisation de laser en association à des thérapies cellulaires régénératrices par cellules souches ou par plasma riche en plaquette est nommé photobiorégénération.

A. Les généralités concernant la lumière LASER

La lumière correspond à une radiation électromagnétique visible à l'œil nu c'est-à-dire d'une longueur d'onde située entre 380 à 780 nm.

Figure 46 : Spectre électromagnétique (source : Wikipédia)



La lumière émise par un laser peut être portée par un spectre de longueurs d'ondes situé entre 620 nm et 1200 nm allant du visible à l'infrarouge. Beaucoup de lasers médicaux utilisés n'émettent pas de lumière visible. Ils sont souvent associés à un second laser non médical produisant une lumière rouge ou verte visible qui sert de guide.

La pénétration dans les tissus dépend de la longueur d'onde. Afin de maximiser cette pénétration les phénomènes de diffusion et de réflexion par la surface cutanée et l'absorption par de chromophores indésirables doivent être minimisés. (Jacques, 2013)

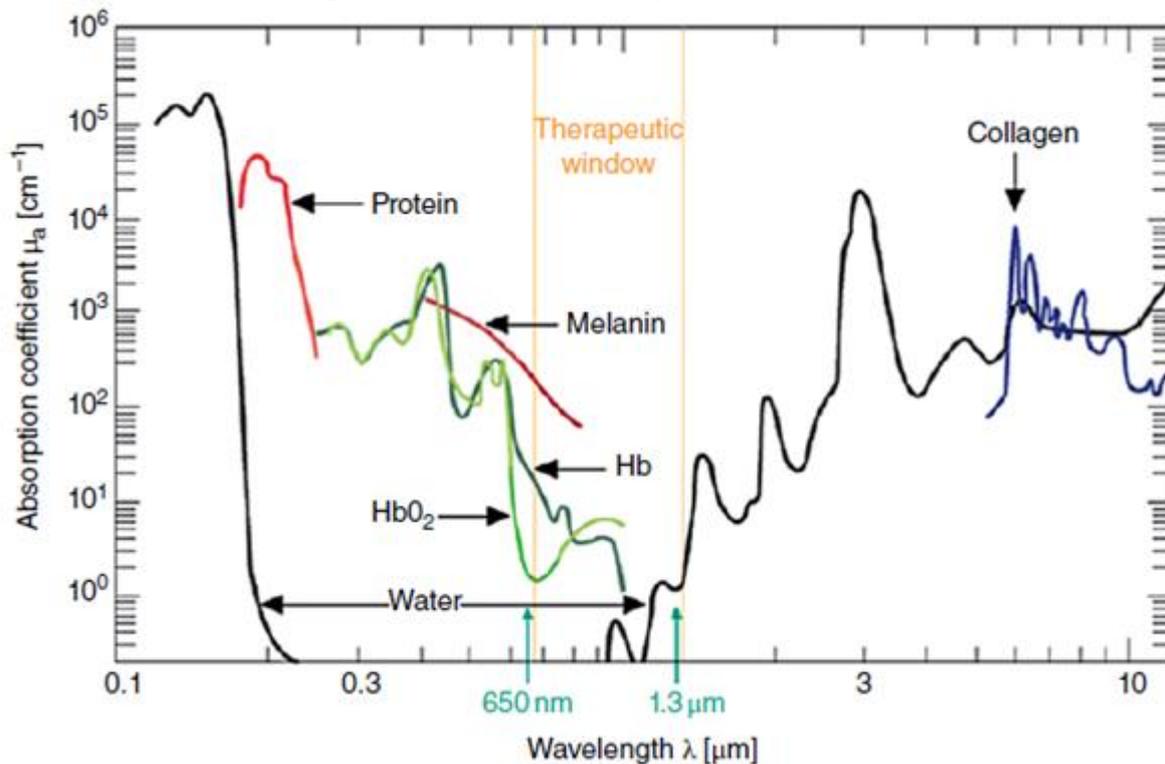
A des longueurs d'ondes de 600 à 800 nm (spectre du visible, couleur rouge) l'énergie photonique est majoritairement absorbée par les chromophores de la mélanine, de l'hémoglobine et de l'oxyhémoglobine. Ces longueurs d'ondes sont donc privilégiées lors de thérapies en surface.

A des longueurs d'onde plus élevées que 1100 nm, l'énergie photonique est majoritairement absorbée par l'eau. Son potentiel biologique, biochimique et physiologique est donc perdu.

La fenêtre thérapeutique pour cibler des tissus en profondeur se situe donc entre 800 et 1100 nm. A cette longueur d'onde la pénétration cutanée et l'absorption par les chromophores cible est optimale.

En conclusion, le tissu cible et le spectre d'absorption des chromophores visés déterminent le choix de la longueur d'onde mais aussi l'efficacité thérapeutique de la photobiomodulation. Aucun consensus n'a été déterminé sur la longueur d'onde optimale à l'heure actuel.

Figure 47 : Représentation de la fenêtre thérapeutique des lasers (source : laser therapy in vet med photobiomodulation (Riegel et Godbold, 2017))



B. Mécanisme d'action des Lasers

A la différence de la lumière naturelle, le laser est une lumière :

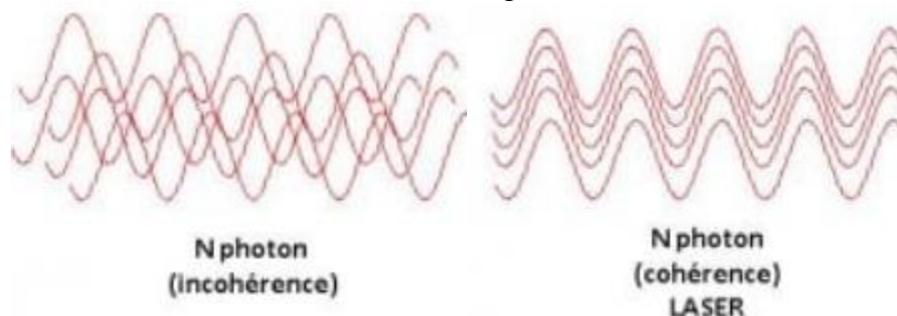
- Monochromatique : Une source de lumière monochromatique est caractérisée par une seule fréquence, donc une seule longueur d'onde dans le vide.

Figure 48 : Différence entre un source lumineuse polychromatique (à gauche) et une source monochromatique (à droite) (Sources : superprof.fr, maxicours.com)



- Cohérente : les photons émis par la source laser ne sont pas distinguables : ils ont la même phase, même polarisation (angle formé par la vibration du champ électrique avec la direction de propagation). La cohérence de la lumière laser est à la fois spatiale et temporelle.

Figure 49 : Différence entre un source lumineuse incohérente (à gauche) et une source cohérente (à droite) (Sources : gatinel.com)



- Collimaté (ou directionnelle) : toutes les ondes lumineuses se déplacent parallèlement dans la même direction. Le rayon laser est très peu divergent (Particularités de la lumière LASER - Docteur Damien Gatinel)

Le laser est composé de trois éléments : un milieu actif, un résonateur actif et une source de pompage.

Les lasers sont des lumières monochromatiques produites par le passage de l'état excité à l'état fondamental (de repos) d'atome de d'Hélium-Néon (HeNe), d'Arséniure de Gallium (GaAs), d'Arséniure de Gallium-Aluminium (GaAlAs) et d'Arséniure-Phosphure de Gallium-Indium (GaAlInP). Ces atomes composent le milieu actif.

Lorsque les électrons passent de leur état d'excitation à leur état fondamental un photon est émis. Certains photons sont absorbés par les parois, d'autres stimulent l'émission d'autres photons amplifiant le signal par une réaction en chaîne.

Le résonateur optique est un dispositif composé de deux miroirs parallèles entre lesquels est placé le milieu actif. De cette façon, il permet à la lumière de passer plusieurs fois dans le milieu actif permettant ainsi d'amplifier le faisceau avant d'être réémis. L'un des miroirs est totalement réfléchissant aussi nommé réflecteur, le deuxième est semi-réfléchissant (1 à 10 % de lumière transmise) aussi appelé coupleur, ce qui permet d'amplifier le faisceau en renvoyant la majorité des photons dans le milieu actif tout en laissant passer la lumière pour former un faisceau lumineux.

Le laser fonctionne par le principe d'inversement de population il faut en effet augmenter le nombre d'atomes en état d'excitation afin d'augmenter le nombre d'émission spontanée et stimulée et donc d'augmenter le nombre de photon émis et à fortiori la puissance du faisceau laser.

Afin d'inverser les populations d'atomes une source d'énergie externe de « pompage » est nécessaire. Cette source peut être lumineuse, électrique ou chimique. Le pompage est l'action de transmettre de l'énergie aux atomes pour les faire passer dans un état excité. De cette façon il y aura toujours des atomes dans leur état d'excitation pour continuer la réaction en chaîne.

Figure 50 : Schéma simplifié d'un laser (source : <http://lamh.gmc.ulaval.ca>)

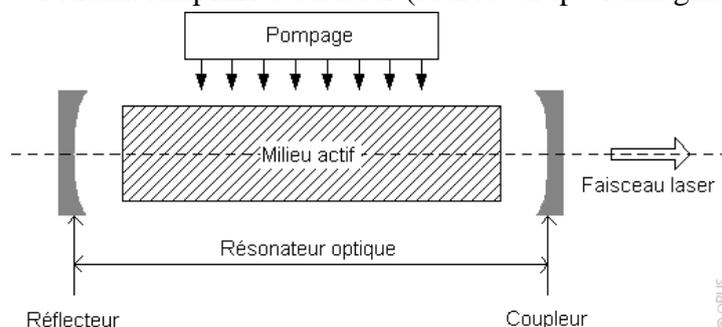
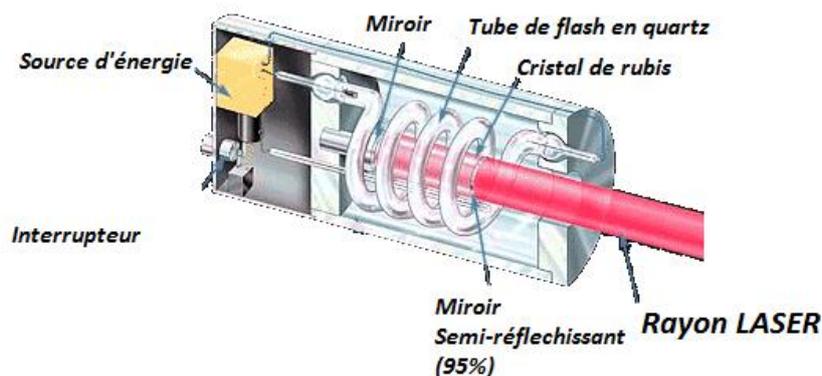


Figure 51 : Schéma d'un laser (source : sweetrandomscience.blogspot.com)



Le laser étant une source de lumière monochromatique va pouvoir stimuler sélectivement certain chromophore dépendant d'une longueur d'onde spécifique ou des accepteurs de photons.

C. La classification des lasers

D'après le site de l'INRS les lasers sont classés selon la norme NF EN 60825-1 d'octobre 2014 :

Classe 1 : ceux sont des lasers qui ne présentent aucun danger pendant leur utilisation, y compris lors de vision direct du faisceau sur une longue période, même lorsqu'une exposition se produit lors d'utilisation de dispositifs télescopiques. La classe 1 comprend également les lasers de forte puissance qui sont totalement enfermés de sorte qu'aucun rayonnement potentiellement dangereux ne soit accessible pendant l'utilisation (appareil avec laser incorporé).

Classe 1 - M : ce sont des lasers émettant dans la gamme allant de 302.5 à 4 000 nm, qui sont sans danger, y compris lors de vision direct du faisceau sur une longue période mais à la différence des classes 1 l'énergie maximale permise peut être dépassée lors d'utilisation de collimateur ou de lentilles.

Classe 1 - C : ceux sont des lasers destinés à une application directe du rayonnement laser sur la peau ou les tissus corporels internes dans le cadre de procédures médicales, de diagnostic, thérapeutiques, ou cosmétiques. Bien que le rayonnement laser puisse être au niveau des classes 3R, 3B ou 4, les expositions oculaires sont empêchées grâce à un ou plusieurs moyens techniques. Le niveau d'exposition de la peau dépend de l'application.

Classe 2 : ceux sont des lasers émettant un rayonnement visible dans la gamme de 400 à 700 nm, ils sont limités à 1mW en courant continu. Ils sont sans danger pour les expositions momentanées mais qui peuvent être dangereuses pour une exposition délibérée dans le faisceau. Le risque de lésion est très faible pour une exposition momentanée un peu plus longue que la base de temps lié à un réflexe palpébral, soit 0,25 secondes.

L'utilisation des instruments optiques n'augmente pas le risque de lésion oculaire.

Les utilisateurs sont avertis par étiquetage de ne pas regarder dans le faisceau en continue et de manière intentionnel.

Classe 2 - M : par rapport aux appareils de classe 2 les appareils de classe 2 M sont dangereux lorsque le faisceau est regardé avec une lentille optique.

Classe 3R : ceux sont des lasers qui émettent des rayonnements pouvant dépasser l'énergie maximale permis de 5mW pour une exposition directe dans le faisceau, mais le risque de lésion dans la plupart des cas est relativement faible. Le risque des yeux augmente avec la durée d'exposition et l'exposition peut être dangereuse pour une exposition oculaire dans les conditions les plus défavorables ou une vision directe dans le faisceau de manière intentionnelle.

Il convient de n'utiliser les lasers de classe 3R que lorsque la vision directe dans les faisceaux est peu probable.

Classe 3B : ceux sont des lasers dont la puissance peut atteindre 500 mW qui sont normalement dangereux lorsque l'exposition oculaire que ce soit lors de vision directe ou réfléchi.

La vision de réflexion diffuse est normalement sans danger.

Le port de lunette de protection est obligatoire.

Les lasers thérapeutiques sont pour la plupart de classe 3B avec de puissance oscillant entre 5 mW et 500mW.

Classe 4 : Ce sont des appareils laser dont les puissances excèdent les 500 mW. Ils sont dangereux lors de vision de la lumière directe ou diffusée mais aussi pour les tissus cutanés pouvant engendrer des lésions cellulaires importantes.

Ces lasers représentent aussi souvent un danger d'incendie.

Le port de lunette de protection est obligatoire.

D. Les modes d'émission

Il existe trois modes d'émission le mode continu, le mode pulsé et le mode superpulsé

E. Doses thérapeutiques et paramètres

La réponse thérapeutique du laser est dose-dépendante. La dose thérapeutique en thérapie laser est mesurée en J/cm^2 . Cette dose peut être mise en parallèle avec la posologie des médicaments en mg/kg de poids vifs

Les études s'accordent à dire que la dose thérapeutique optimale pour les tissus superficiels se situe entre 1 et 4 J/cm^2 et pour les tissus profonds entre 8 et 20 J/cm^2 (Bjordal *et al.*, 2003 ; Roberts *et al.*, 2013). Les doses varient non pas à cause du type cellulaire mais à cause des tissus qui s'interposent et créent des phénomènes de réflexion, de dispersion et d'absorption.

Ces doses peuvent cependant être augmentées en cas de non réponse. Une étude a validé l'application de dose de 37.5 J/cm^2 lors de traitements de maux de dos chroniques chez l'homme. (Vallone *et al.*, 2014)

En médecine vétérinaire, lors de certaines affections ces doses peuvent être augmentées : lors de granulome/plaie de léchage (30-40 J/cm^2) myélopathie dégénérative (25-45 J/cm^2), complexe éosinophilique du chat (30-40 J/cm^2)

D'autres paramètres sont modulables tels que la puissance, la longueur d'ondes, les cycle de pulsation et la durée de la séance ces derniers prennent en compte le type de tissu, le site anatomique, la profondeur, l'espèce, la couleur de peau et de poils et la note d'état corporel. (Weersink *et al.*, 2007 ; Enwemeka, 2009 ; Anders *et al.*, 2014)

La puissance d'un laser s'exprime en watts (W) : $1 W = 1 J/s$. Contrairement à ce que l'on pourrait penser de prime abord, la puissance n'a aucune incidence sur la profondeur de pénétration, seul la longueur d'ondes influx sur ce paramètre. Elle détermine seulement le nombre d'électrons aux tissus cibles en un laps de temps défini.

Ce paramètre peut donc être modulé afin de réduire le temps d'administration notamment lorsque la surface d'application est large.

a. La fréquence ou pulsation

Pendant un temps il était dit que les modes pulsés avaient un rôle à jouer dans les mécanismes de la photobiomodulation. Cependant des études récentes ont montré qu'il n'y a finalement que trop peu d'intérêt à utiliser cette méthode (Hashmi *et al.*, 2010). Les praticiens s'accordent à dire depuis que les thérapies laser devraient utiliser des modes continus bien que dans certains contextes le laser pulsé semble plus efficace que le mode continu.

En effet contrairement aux ultrasons le laser ne chauffe pas les tissus il ne devrait donc y avoir aucune raison de créer des pauses lors de l'administration. De plus l'utilisation de lumière pulsée avec un cycle de 50 % (50 % allumé, 50 % éteint) oblige le praticien à passer plus de temps sur la zone à traiter qu'en mode continu. Ce coût temporel peut donc être évité et rendre les séances de laser plus accessibles car moins longues.

b. La zone de traitement

Afin d'obtenir des résultats satisfaisants il est important de bien définir la zone à traiter. En effet lors de dermatite pyotraumatique il convient d'inclure les tissus périphériques stupéfiés qui peuvent évoluer vers la nécrose ou la revitalisation. Ainsi on peut facilement doubler la surface à traiter dans certains cas. Lors d'arthrose de la hanche il est intéressant de traiter les structures anatomiques en lien comme par exemple le muscle ilio-psoas.

c. Fréquence des séances

Les affections traitées par laser peuvent être séparées en trois catégories : aiguë, chronique et post-opératoire.

Lors de traitements post opératoires : l'objectif est de diminuer les douleurs et les œdèmes post-opératoires et à moindre échelle améliorer l'aspect esthétique de la cicatrice. Dans ces cas-là une à deux séances sont recommandées. Une séance en fin de chirurgie alors que l'animal est encore sédaté et éventuellement une seconde le lendemain si l'animal est gardé en observation durant la soirée.

Lors d'affection aiguë les traitements sont généralement réalisés quotidiennement ou un jour sur deux. La réalisation de plus d'une séance par jour n'a pas montré de bénéfice supplémentaire. Les séances sont espacées au fur et à mesure avec l'amélioration des signes cliniques pour être finalement arrêté lors de la guérison. Plus l'affection est aiguë plus il est conseillé de démarrer avec des séances quotidiennes. Les bénéfices de la thérapie laser sont une gestion de plaie plus rapide et plus esthétique et une meilleure gestion de la douleur.

Les affections chroniques sont plus compliquées à traiter car leur mise en place ainsi que leur guérison évolue plus lentement que les affections aiguës. Elles sont généralement traitées en trois phases :

- Une phase d'induction : jusqu'à 12 séances sur deux ou trois semaines
- Une phase de transition : une ou deux séances par semaine pendant quatre semaines
- Une phase de maintenance : une séance une fois toute les deux semaines à quatre semaines.

Les sujets montrent généralement des améliorations significatives après trois séances et des améliorations remarquables après six séances. Il est cependant recommandé de continuer la phase d'induction jusqu'à trois séances après avoir atteint une phase de plateau d'amélioration. Dans de rares cas il peut être nécessaire d'attendre la fin de la phase d'induction pour voir une amélioration.

Sur les animaux ayant bien répondu à la phase d'induction du laser, en cas d'arrêt du traitement laser pendant la phase de maintenance il n'est pas rare de voir des animaux rechuter après quelque mois. Il est alors nécessaire de reprendre le protocole depuis le début.

Afin de permettre une observance maximale il est important d'impliquer le propriétaire le plus possible en le faisant prendre part à l'évaluation clinique de son animal. Il est intéressant de réaliser des vidéos de l'animal avant traitement ainsi que des photographies à l'aide de caméra thermique afin de montrer l'évolution de l'affection et de la boiterie.

F. Le mécanisme d'action de la photobiomodulation

Le mécanisme d'action siège au niveau des mitochondries. Le phénomène est plus visible au niveau des cellules en souffrance que des cellules saines. Les photorécepteurs sont le cytochrome C oxydase qui est une classe d'hémoprotéine présente dans les mitochondries, organelle cellulaire. Le cytochrome C oxydase est le maillon terminal de la chaîne respiratoire mitochondriale et les membranes cellulaires.

L'exposition de fibroblastes sains humains à une longueur d'onde lumineuse de 632,8 nm a révélé que le laser modifiait l'expression génétique de 111 gènes. Cette étude a montré une stimulation de l'expression génétique des gènes liés au métabolisme énergétique, à la chaîne respiratoire et à la prolifération cellulaire. L'expression d'autres gènes était inhibée tels que les gènes de la phosphoprotéine synthétisée lors de stress. (Zhang *et al.*, 2003)

a. L'effet sur les organelles : la fonction mitochondriale

La structure et la fonction des mitochondries sont altérées par les radiations émises dans le visible et dans l'infrarouge.

Ces changements sont expliqués par :

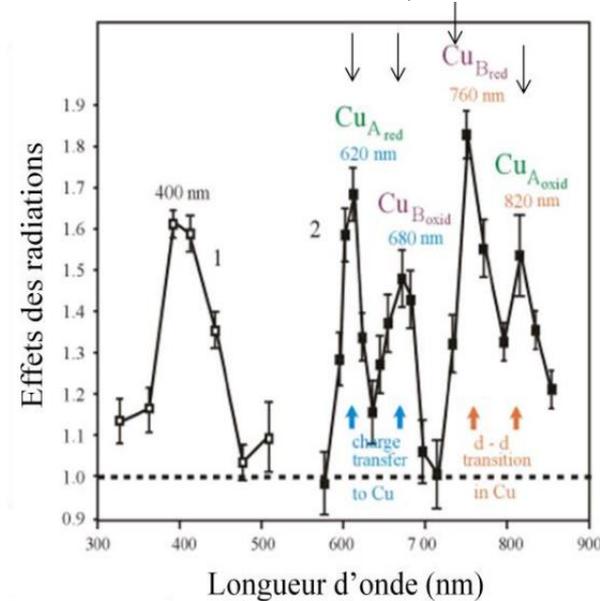
- Une stimulation de la phosphorylation oxydative ($ADP \rightarrow ATP$) et donc de la synthèse d'ATP
- Une modulation du potentiel de membrane et du gradient de protons mitochondriale
- L'entrée de calcium dans la cellule. (Passarella et Karu, 2014)
- Une augmentation du métabolisme

Lors de traitement laser de faible énergie avec un laser HeNe, de nombreuses activités mitochondriales modulées par la photobiomodulation résultent de l'augmentation de la concentration calcique cytoplasmique et mitochondriale que ce soit la phosphorylation oxydative ou la perméabilité membranaire mitochondriale (Passarella et Karu, 2014)

Le laser de longueur d'onde de 660 nm est absorbé par différent chromophores (photo-accepteurs) tels que la flavine mononucléotide, le cytochrome C ou les porphyrines. Pour ce qui est du cytochrome C, l'étude du spectre d'action des radiations rouges et proches de l'infrarouge sur la prolifération de cellules HeLa a permis de mettre en évidence quatre pics d'activité à 620, 680, 760 et 820 nm.

Ces chromophores sont tous impliqués dans la chaîne respiratoire. Le Laser stimule donc l'activité des chaînes de transports d'électrons. Cet effet est confirmé par l'augmentation de la consommation de l'oxygène (Hermann et Shaw, 1998 ; Karu, 1999)

Figure 52 : Spectre d'action générale de la prolifération des cellules HeLA pour des longueurs d'onde allant de 330 à 860 nm (source : Karu, 1999)



Par ailleurs, le laser à 660 nm stimule également les gènes codant pour des sous-unités d'enzymes impliquées dans le complexe I et IV des chaînes de transport d'électrons mitochondriales et de l'ATP synthase dans les fibroblastes in vitro. (Masha *et al.*, 2013)

Ainsi, la phosphorylation oxydative et donc la synthèse d'ATP sont stimulées par la thérapie laser.

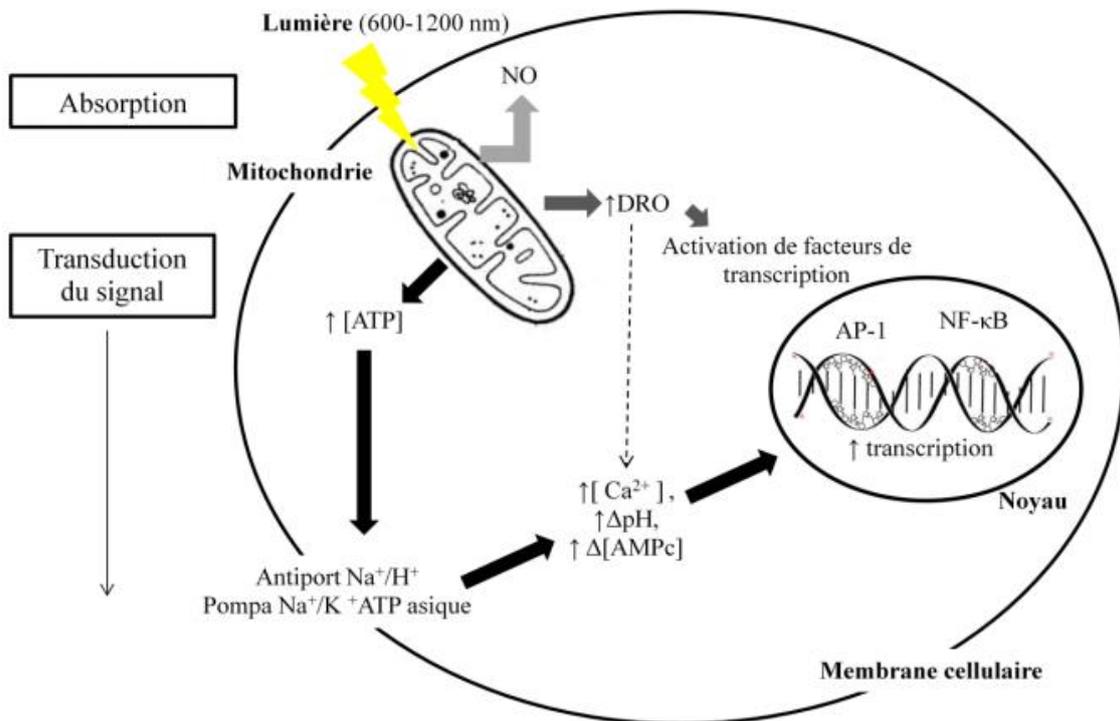
Or, la modification, même faible, du gradient d'ATP peut changer le métabolisme cellulaire.

Les rôles de l'ATP sont bien connus : c'est une molécule énergétique et une molécule qui stimule les communications intercellulaires. L'ATP peut se lier au récepteur cellulaire PX qui provoque la rentrée de sodium et de calcium dans la cellule, enclenchant ainsi une cascade de réaction. (Passarella et Karu, 2014)

Cette augmentation du calcium intracellulaire stimule donc le fonctionnement métabolique.

En revanche à 780 nm la concentration calcique mitochondriale est plus faible. La longueur d'onde et le dosage sont donc deux paramètres à réguler soigneusement.

Figure 53 : Schéma bilan des mécanismes cellulaires mis en place suite à une stimulation laser (source : Karu, 2010)



Enfin le laser stimule la production de facteurs de croissance probablement en stimulant la synthèse protéique et celle d'ATP.

De nombreux articles ont montré que la photobiomodulation stimulait l'expression génétique. Il a été montré en effet que le laser rouge stimulait sur des cellules *in vitro* des facteurs de croissance tels que les FGF-2, l'IGF-1 (Insulinlike Growth Factor), les NGF, VEGF (Vascular Endothelial Growth Factor) molécules impliquées dans la régénération cellulaire. (Peplow et Baxter, 2012)

b. Effets cellulaires

La photobiomodulation augmente le métabolisme, la prolifération cellulaire, la migration, la synthèse et la sécrétion de protéines. La prolifération cellulaire est un sujet de choix dans le traitement de tendinopathie et de cicatrisation tissulaire.

In vitro, de nombreuses études ont montré l'efficacité de la photobiomodulation sur diverses cellules telles que les fibroblastes, les kératinocytes, les cellules endothéliales, les lymphocytes, les cellules musculaires et les cellules souches (Hamblin et Demidova, 2006 ; Peplow *et al.*, 2010)

- *Les effets sur la cicatrisation cutanée*

L'augmentation de l'activité métabolique et de la production de facteurs de croissance font du laser une bonne thérapie réparatrice que ce soit au niveau cutané, tendineux, ligamentaire ou musculaire.

Des études ont montré in vitro que le laser, en fonction du protocole thérapeutique, modulait l'expression de différents marqueurs fibroblastiques tels que (Illescas-Montes *et al.*, 2019) :

- Une augmentation des bFGF : ces facteurs de croissance stimulent la mitose des fibroblastes favorisant ainsi le dépôt de collagène, la formation d'un tissu de granulation, la ré-épithélialisation et le remodelage tissulaire. (Kinoda *et al.*, 2018). L'étude de Illescas-Montes *et al.* utilise une diode laser de 940 nm à 0.5 Watts et 4 J/cm². (Illescas-Montes *et al.*, 2019) D'autres études ont montré des résultats similaires avec des protocoles différents sur des fibroblastes de rats diabétiques (810 nm, 10 mW, 1 J/cm²) (Khoo *et al.*, 2014) ou sur des fibroblastes gingivaux (780 nm, 40 mW, 5 J/cm²) (Damante *et al.*, 2008)
- Une diminution de la concentration des marqueurs pro-inflammatoires NF-κB et TNF-α
- Une augmentation des TGF-β1 et de ses récepteurs TGFβR1, TGFβR2, TGFβR3 : ces facteurs de croissance possèdent de nombreuses fonctions telles que la prolifération, la migration et l'adhésion des fibroblastes, la stimulation de la production de la matrice extracellulaire ou encore la différenciation des fibroblastes en myofibroblastes responsables de la contraction et de la synthèse de matrice extracellulaire (Klass *et al.*, 2009) (variables : 940 nm à 0.5 Watts et 4 J/cm²) (Illescas-Montes *et al.*, 2019)
- Les CTGF : ces facteurs de croissance sont synthétisés lors des premiers temps de la réparation tissulaire et ont un rôle similaire au TGF et participent à la fibrose.
- Une augmentation de la décorine : ce protéoglycane inactive les TGF-β et les CTGF. Or lors de cicatrices hypertrophiques ou de cicatrices chéloïdes, on constate une diminution de la concentration de décorine associée à une augmentation du nombre de fibres d'élastines. Le laser permet donc une cicatrisation harmonieuse tout en limitant le risque de cicatrisation aberrante. (Variables : 940 nm à 0.5 Watts et 4 J/cm²) (Illescas-Montes *et al.*, 2019)
- Une diminution de l'expression d'élastine : cf point sur la décorine (Variables : 940 nm à 0.5 Watts et 4 J/cm²) (Illescas-Montes *et al.*, 2019)
- Une augmentation des VEGF : ces facteurs de croissances sont responsables de l'angiogenèse, l'une des étapes clé du processus de réparation tissulaire. Plusieurs études et protocoles ont démontré une stimulation de l'expression de VEGF : in vitro sur des fibroblastes humains avec comme paramètres 910 nm à 0.5 W et 4 J/cm² (Illescas-Montes *et al.*, 2019) ou 660 nm à 35 mW et 1-5 J/cm² (Szezerbaty *et al.*, 2018) et in vivo sur des plaies cutanées chez des rats avec comme paramètres 660 nm, 16 mW et 10 J/cm² (Colombo *et al.*, 2013)
- Une augmentation des DDR2 et MMP2 : Les récepteurs au collagène DDR2 régulent la prolifération et la migration des fibroblastes et le remodelage de la matrice extracellulaire. (Variables : 940 nm à 0.5 Watts et 4 J/cm²) (Illescas-Montes *et al.*, 2019)

- L' α -actine et fibronectine : les myofibroblastes diffèrent des fibroblastes par l'expression d' α -actine et de fibronectines. Ces molécules permettent la contraction des myofibroblastes et donc la fermeture de la plaie. (Variables : 940 nm à 0.5 Watts et 4 J/cm²) (Illescas-Montes *et al.*, 2019)

Le laser pulsé avec une diode de 810 nm et comme paramètres 40 mW/cm² (22.6 J/cm²) pulsé à 10 Hz avec un cycle pulsatile de 50 % semble avoir un effet plus prononcé que le laser en mode continu avec les mêmes paramètres (Keshri *et al.*, 2016)

Le laser joue donc un rôle sur les 3 étapes de la cicatrisation ; lors de la phase inflammatoire/détersive en stimulant l'activité des macrophages et donc la phagocytose des débris nécrotiques et bactéries (Wu *et al.*, 2015) ainsi que lors de la phase proliférative avec le recrutement de fibroblastes et la synthèse de collagène, de matrice extracellulaire, la néoangiogénèse, la formation du tissu de granulation et l'épithélialisation. Enfin lors de la phase de remodelage, le laser permet une augmentation de la résistance de la peau suite à un traitement laser à 830 nm et 5 J/cm² sur de plaie chirurgicale sur des souris diabétiques (Stadler *et al.*, 2001)

Enfin, en post chirurgicale, la cicatrisation est plus rapide et plus esthétique chez les chiens lors de traitement laser quotidien à 850 nm et 670 nm à 4 J/cm². (Wardlaw *et al.*, 2018)

Si l'utilisation de faible dosage stimule l'activité tissulaire l'utilisation de dosage plus important semble inhiber cette activité.

- *Les effets sur la cicatrisation osseuse et cartilagineuse*

Ebrahimi et al. (2012) relèvent que 23 études sur 25 concernant l'action du laser sur les os in vitro et in vivo montrent une accélération de la prolifération et de la différenciation cellulaire ainsi qu'une accélération de la cicatrisation osseuse suite à un traitement laser. (Ebrahimi *et al.*, 2012). La thérapie laser semble donc avoir une action cicatrisante sur l'os et les cartilages.

Histologiquement Ninomiya et al. traduisent cela par une augmentation du nombre et de l'activité des ostéoblastes et une diminution du nombre d'ostéoclastes (paramètre : laser pulsé à 10 Hz avec une durée d'impulsion de 7-9 ns à une longueur d'onde de 1064 nm et une fluence de 500 mW/cm² deux fois le jour suivant la plaie osseuse) (Ninomiya *et al.*, 2007)

L'augmentation du nombre d'ostéoblastes s'explique par une augmentation de la concentration en **BMP-4 et 7**, facteurs de croissance responsables de la différenciation des cellules souches mésenchymateuse en ostéoblastes (Saracino *et al.*, 2009)

L'augmentation de l'activité et de la quantité d'ostéoblastes induit l'augmentation de la concentration de marqueurs ostéogéniques tels que : (Ueda et Shimizu, 2003 ; Stein *et al.*, 2005 ; Stein *et al.*, 2008 ; Saracino *et al.*, 2009)

- Les **phosphatases alcalines** favorisant la concentration locale en ions calcium et phosphates nécessaires à la régénération osseuse et hydrolyse les esters phosphoriques inhibiteurs de la minéralisation. Les paramètres ayant permis l'augmentation de ces marqueurs sont 830 nm, 500 mW, 0.48 J/cm² pulsé à 1-2 Hz (Ueda et Shimizu, 2003); 632.8 nm, 10 mW, 0.14-0.43 J/cm² (Stein *et al.*, 2005) ; 670 nm, 400 mW, 2 J/cm² (Stein *et al.*, 2008) ; 910 nm, 200 mW, 6,7 J/cm² pulsé à 5 MHz (cycle de 200 ns) (Saracino *et al.*, 2009)

- L'**ostéopontine** intervenant dans la réparation de l'os trabéculaire en reliant l'hydroxy-apatite aux cellules osseuses. Les paramètres ayant permis l'augmentation de ces marqueurs sont 632.8nm, 10mW, 0.14-0.43 J/cm² (Stein *et al.*, 2005) ; 670 nm, 400mW, 2 J/cm² (Stein *et al.*, 2008)
- L'**ostéocalcine** marqueur des ostéoblastes matures, intervenant dans la minéralisation. Les paramètres ayant permis l'augmentation de ces marqueurs sont 910 nm, 200 mW, 6,7 J/cm² pulsé à 5 MHz (cycle de 200 ns) (Saracino *et al.*, 2009)
- La **sialoprotéine osseuse** intervenant dans la réparation de la cortical diaphysaire en permettant l'attache des cellules osseuses à la MEC via un récepteur membranaire de la famille des intégrines. Les paramètres ayant permis l'augmentation de ces marqueurs sont 632.8 nm, 10 mW, 0.14-0.43 J/cm² (Stein *et al.*, 2005)

Une augmentation du **dépôt de fibre de collagène** et une meilleure organisation des fibres ainsi qu'une stimulation de l'**angiogenèse** associé à l'augmentation de **VEGF** sont également mis en évidence par analyse histochimique (Bossini *et al.*, 2012) (paramètres : 830 nm, 60-120 J/cm²)

Au niveau des cartilages, une étude montre une diminution des molécules pro-inflammatoires telles que les IL-1 β , IL6, TNF- α et PGE2 pouvant induire la dégénérescence du cartilage. (Tomazoni *et al.*, 2017)

L'utilisation d'un laser GaAlAs (de 780nm à 1W, 300 Hz, 300 J/cm²) permet la cicatrisation de lésions chondrales du condyle fémoral (Morrone *et al.*, 2000 ; Kamali *et al.*, 2007 ; Sobol *et al.*, 2011). Des radiations de 630 et 890 nm appliquées pendant 14 jours stimulent la chondrogenèse et la régénération du cartilage fémoral mis à nu (Davoud *et al.*, 2008). Le laser prévient également les effets délétères liés à l'immobilisation au niveau des cartilages (632.8 nm, 13 J/cm², 3 fois par semaine pendant 13 semaines d'immobilisation) (Bayat *et al.*, 2004).

- *Les effets sur la cicatrisation tendineuses et ligamentaires*

In vivo, des études visent à prouver l'efficacité de la photobiomodulation lors de diverses tendinopathies (Haslerud *et al.*, 2015 ; Nogueira et Júnior, 2015 ; Doyle *et al.*, 2016). Le mécanisme thérapeutique de la photobiomodulation semble principalement reposer sur la prolifération cellulaire des ténocytes. (Tsai *et al.*, 2012 ; Tsai *et al.*, 2014)

La migration et la prolifération cellulaires sont exacerbées et provoquent le dépôt de matrice extracellulaire nécessaire à la cicatrisation tendineuse lors de la phase de régénération. À des longueurs d'onde de 660 nm, la prolifération des fibroblastes est plus élevée que dans les groupes contrôle.

- *Les effets sur la cicatrisation des tissus nerveux*

L'effet du laser sur les cellules olfactives engageantes a été étudié dans le cadre de transplantation de ces cellules lors de traitement d'affections impliquant la moelle épinière. L'utilisation de longueur d'onde de 810 nm a révélé une augmentation de l'expression génétique du BDNF (Brain Derived Neurotrophic Factor) et du GDNF (Glial Derived Neurotrophic Factor) et de l'expression du collagène. Ces résultats montrent le bénéfice du laser lors de régénération neuronale. (Byrnes *et al.*, 2005a)

Une autre étude utilisant un laser de longueur d'onde de 810 nm lors de lésions de la moelle épinière sur des rats a montré une altération de l'expression génique de 200 gènes. De nombreux gènes étaient impliqués dans la diminution de la réponse inflammatoire, l'augmentation de l'expression de récepteurs aux facteurs neutrophiques et la diminution de l'expression de récepteurs GABA pouvant induire la mort cellulaire et la diminution de la prolifération cellulaire.

c. Effet systémique

- *Effet antiinflammatoire*

Le mécanisme immunologique de l'infection est contrôlé par une diversité de médiateurs, incluant cytokines et chimiokines qui module le processus par diverses mécaniques signalétiques.

Les cellules immunitaires telles que les mastocytes sont activées par certaines longueurs d'ondes aboutissant au relargage de cytokines pro-inflammatoires TNF- α et des IL-1 β impliqués dans le recrutement des leucocytes (Chung *et al.*, 2012). L'inflammation joue un rôle important dans la cicatrisation cutanée, la gestion de la douleur et les lésions du système nerveux périphérique et central etc.

La photobiomodulation permet de diminuer la concentration en marqueur pro-inflammatoires TNF- α , IL-1 β , IL-6 et HIF-1 α dans les groupes traités par le laser et ceux dans les quelques heures suivant le traitement. Cela permet donc d'inhiber efficacement et rapidement la cascade inflammatoire et la synthèse de COX2, iNOS et PGE2. Ses effets sont donc comparables au antiinflammatoire non stéroïdien mais sans leurs effets secondaires.

Ces affirmations sont soutenues par de nombreuses études avec différents paramètres :

- Au niveau articulaire : 660 nm, 30 mW, 7.5 J/cm² (Albertini *et al.*, 2008)
- A niveau de l'articulation du genou : 808 nm, 50 mW, 1.78 W/cm² (Alves *et al.*, 2013)
- Au niveau du nerf sciatique : 660 nm, 30 mW, 9 J/cm² quotidiennement pendant 7 jours (Hsieh *et al.*, 2012 ; Masoumipoor *et al.*, 2014)
- Au niveau du tractus corticospinal : 810 nm, 150 W, 1.59 J/cm² quotidiennement pendant 14 jours (Byrnes *et al.*, 2005b)
- Au niveau des cellules J774 (macrophages) : 780 nm laser, 70 mW, 2.6 J/cm² et 660 nm, 30 mW, 4.5 J/cm² (Fernandes *et al.*, 2015)

La photobiomodulation altère le phénotype microglial au niveau des spectres M1 et M2. Il a été montré, *in vitro*, qu'à une longueur d'ondes de 808 nm la réponse des gliales est différente en fonction de la densité énergétique apportée :

- A une haute densité énergétique (4 à 30 J/cm²), le laser stimule l'expression du phénotype M1 pro-inflammatoire
- A une densité énergétique plus faible (0,2 à 10 J/cm²) le laser stimule cette fois-ci l'expression du phénotype M2 anti-inflammatoire. (von Leden *et al.*, 2013)

Le laser représente donc une bonne alternative aux AINS. Cependant beaucoup de mécanismes d'actions et d'interactions (tels que le pH, la température, le temps d'exposition, et la fréquence) avec la thérapie laser n'ont pas été étudiés.

- *Effet antalgique*

Une lésion au niveau d'un nerf périphérique entraîne une activation des macrophages et des cellules microgliales au niveau de l'axe spinothalamique et au niveau de la voie lemniscale. En plus de la modulation de l'inflammation liée à la stimulation du phénotype M2, l'hypothèse que la vasodilatation locale et l'augmentation de la microcirculation induites par le relargage de NO contribuent au soulagement des douleurs neuromusculaires est supportée par de nombreux scientifiques (Samoilova *et al.*, 2008 ; Mitchell et Mack, 2013 ; Cidral-Filho *et al.*, 2014)

Un autre groupe a émis l'hypothèse que la photobiomodulation augmente le seuil de sensibilité en inhibant les fibres nerveuses A δ et C. Cette hypothèse est soutenue par le fait que le laser diminue la vitesse de conduction nerveuse au niveau des nerfs périphériques. (Chow *et al.*, 2011)

D'autres études suggèrent que la photobiomodulation pourrait augmenter la concentration en endorphines, activer les opioïdes endogènes et recruter les récepteurs des opioïdes périphériques (mais non centraux) et des leucocytes contenant des opioïdes sur le site de la lésion. (Cidral-Filho *et al.*, 2014)

L'effet analgésique procuré par le laser provient de l'activation des voies de la L-arginine et du NO. Deux études ont comparé les effets analgésiques obtenus lors de thérapies laser utilisant différents paramètres à des longueurs d'ondes de 660, 830, 980 nm. Les effets maximaux étaient obtenus avec cinq séances quotidiennes à des longueurs d'ondes de 830 nm et à des doses énergétiques de 4 à 8 J/cm². (Masoumpoor *et al.*, 2014)

Le laser joue sur de nombreux aspects de la cascade de régulation et de transmission de la douleur :

- Il augmente le taux de sérotonine : La thérapie laser augmente le taux de sérotonine neurotransmetteur périphérique et modulateur de la réponse à la douleur au niveau de la corne dorsale de la moelle épinière (Walker, 1983)
- Il permet le relargage de β -endorphines : le laser augmente la synthèse d'opioïde endogène tel que les β endorphines (Labajos, 1988). Les β endorphines se lient en récepteur aux opioïdes pré et post synaptique et bloquent le relargage de substance P, neurotransmetteur excitatoire impliqué dans la transmission de la douleur.
De plus l'augmentation du taux de β -endorphines entraîne une diminution de la production de GABA et donc permet, par lever de rétrocontrôle inhibiteur, l'augmentation de la sécrétion de dopamine hormone du plaisir. De par cet effet de la photobiomodulation il est possible de diminuer le besoin en opioïdes exogènes (Sprouse-Blum *et al.*, 2010)
- Il augmente le taux d'acétylcholine : la photobiomodulation augmente l'activité des récepteurs à l'acétylcholine dans les muscles endommagés (Nicolau *et al.*, 2004 ; Zhu *et al.*, 2008 ; Rochkind et Shainberg, 2013). L'augmentation de la concentration en acétylcholine diminue la fréquence des décharges des neurones excitateurs et augmente celle des neurones inhibiteurs et est donc bénéfique lors de la gestion de la douleur. (Lauretti, 2015)
- Il diminue le taux de bradykinines : Lors de dommage tissulaire et d'inflammation la bradykinine est impliquée dans le mécanisme de la douleur. Le laser diminue l'activité des récepteurs à la bradykinine localement et donc réduit la transmission aux nerfs sensitifs. (Bortone *et al.*, 2008)
- Effet sur le monoxyde d'azote : lors d'état de choc ou de lésion la concentration en monoxyde d'azote est augmentée. Cette augmentation va inhiber la synthèse d'ATP par les mitochondries en se liant au cytochrome C oxydase à la place de l'oxygène. Le laser va venir casser ces liaisons et permettre à l'oxygène de se lier au cytochrome et ainsi permettre la reprise du métabolisme mitochondrial. Mais son rôle ne s'arrête pas là. En effet, le monoxyde d'azote une fois libre

diffuse entre les cellules et permet la relaxation des cellules musculaires lisses vasculaires et donc la vasodilatation et l'augmentation du flux sanguin et l'oxygénation cellulaire. De même le monoxyde d'azote libre inhibe les fibres nerveuses sensorielles afférentes au niveau du système nerveux périphérique et stimule la sécrétion d'endorphines par le système nerveux central. (Hancock et Riegger-Krugh, 2008 ; Poyton et Ball, 2011 ; Mitchell et Mack, 2013)

- *Effet antibactérien*

Le laser utilisant des longueurs d'ondes de 810 nm peut diminuer la quantité de bactéries. Les gram négatives telles que *E. coli*, *Salmonella typhi* et les gram positives telles que *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Streptococcus pyogenes*, *Staphylococcus saprophyticus* sont inhibées lors d'un traitement laser à une fluence de 30 J/cm². Cependant toutes les bactéries ne sont pas sensibles aux mêmes longueurs d'ondes en effet les gram négatives *Pseudomonas aeruginosa*, *Pseudomonas sp*, *Klebsiella pneumoniae*, *Shigella sp.* et les gram positives *Staphylococcus aureus* ne sont pas affectées par ce traitement laser. (Dixit *et al.*, 2019)

Une autre étude utilisant un laser de longueur d'ondes 940 nm avec une puissance de 3 W sur 2 minutes a montré une diminution de la quantité de *Staphylococcus aureus*, d'*Escherichia coli*, de *Pseudomonas aeruginosa* ; ainsi que sur des levures du genre *Candida albicans* et sur des champignons du genre *Aspergillus fumigatus* (Krespi *et al.*, 2009)

Le laser active également in vivo de nombreuses cellules immunitaires permettant de lutter contre l'infection.

En conclusion le laser diminue l'inflammation et la douleur et augmente les processus de réparation tissulaire sans utiliser d'effet thermique.

Ces bénéfices proviennent de la synthèse de vitamine D, des mouvements d'ions calciques et de la stimulation de la chaîne respiratoire qui entraîne une augmentation de la production d'ATP, de monoxyde d'azote et dérivés réactifs de l'oxygène ainsi que de la régulation des molécules pro-inflammatoires.

G. Thérapie multimodale ou monothérapie laser

Comme beaucoup de thérapies le laser présente plus de bénéfices s'il est associé à d'autres traitements que ce soit allopathiques, phytothérapeutiques ou physiothérapeutiques notamment lors d'affection chronique rémanente.

En monothérapie il est possible de devoir rapprocher les séances les unes des autres et les résultats obtenus peuvent être insuffisants.

H. Les indications

De très bons résultats ont été obtenus pour plusieurs indications thérapeutiques et compte tenu du faible taux de complications liées à la procédure le laser est une thérapie prometteuse :

- Arthrose : chez le chien présentant une arthrose de l'épaule, une diminution du score de boiterie et de douleur lié à une diminution des cytokine pro-inflammatoire après 6 semaines de thérapie laser est noté permettant ainsi de diminuer les doses d'AINS prescrite (Tomazoni *et al.*, 2017 ; Looney *et al.*, 2018) (paramètres : 3.3 MHz, 1.5 W/cm² en mode pulsé)
- Cicatrisation ligamentaire, tendineuse, cutanée et muqueuse (paramètres : 1MHz, 0.5W/cm² en mode pulsé avec un ratio 1:4-1:5)
- Fracture osseuse (paramètres : 30 mW/cm² SATA, 1.5 MHz, en mode pulsé à 1:5)
- Ostéomyélite
- Foyer infectieux (par son effet antibactérien) : uniquement en complément d'un traitement allopathique.
- Douleur aiguë ou chronique liée à une inflammation ou à une affection nerveuse (paramètres : 1 MHz 0.5 W/cm² en mode pulsé avec un ratio 1:4)
- Lors de douleur du membre fantôme lié à une amputation une étude encourageante en humaine rapporte une réduction du score de douleur (Ribas *et al.*, 2012)

I. La séance de thérapie laser en pratique

Une séance de thérapie laser suit une certaine routine :

- Une explication brève au propriétaire concernant les effets de la thérapie laser
- Décrire les résultats escomptés
- Expliquer au propriétaire son rôle dans la contention et le positionnement de son animal
- Réaliser des enregistrements tels que des photographies avec des caméras thermiques, une courte vidéo de l'animal boiteux en mouvement
- Positionner l'animal confortablement
- Programmer le laser et entrer les informations relatives au patient dans le logiciel de la machine
- Fournir des lunettes de protection à toutes les personnes présentes dans la pièce
- Equiper l'animal de lunettes de protection ou de protection oculaire adaptée
- Prendre des photographies de l'animal portant son système de protection oculaire
- Permettre au propriétaire de sentir les protections du laser sur leur bras ou leur main afin de le rassurer en lui montrant que le traitement est indolore, ne produit ni chaleur ni inconfort particulier
- Présenter la sonde à l'animal de façon à ce qu'il ait le temps de l'accepter et commencer à l'appliquer sur sa peau sans l'allumer de façon à ce qu'il s'adapte à la sensation
- Une fois que l'animal se sent en confiance, activer le laser et réaliser la séance
- Si nécessaire effectuer des pauses
- Traiter toute la zone cible
- Tenir un registre de toutes les séances effectuées et noter les améliorations significatives
- Proposer au propriétaire de tenir son propre registre en notant son ressenti concernant le confort de son animal ; de façon subjective sur une échelle de 1 à 10 et de façon plus objective à l'aide d'une grille de score de douleur de type Canine Brief Pain Inventory (Cf. Annexe 1)

J. Application du laser

Les lasers sont maintenant utilisés de façon dynamique contrairement aux anciens lasers que l'on n'utilisait point par point en le relançant manuellement une fois que la zone de la taille de la sonde ait été traitée. De cette façon, le laser doit toujours être maintenu en mouvement avec une vitesse de 2 à 7 cm par secondes afin d'éviter toute accumulation thermique notamment au niveau des poils.

Le dispositif doit être tenu à la perpendiculaire afin de minimiser les phénomènes de réflexion et ainsi maximiser la pénétration tissulaire.

Il est préférable d'effectuer des mouvements rectilignes plutôt que circulaires afin d'avoir une meilleure vision des zones déjà traitées et d'éviter d'obtenir des saturations non uniformes.

Comme expliqué précédemment le laser doit être utilisé sur toutes les zones concernées par la pathologie que ce soit l'articulation lors d'arthrose mais aussi les muscles adjacents, que ce soit la plaie lors d'infection cutanée mais aussi les marges stupéfiées qui peuvent évoluer. Les racines nerveuses peuvent également être stimulées afin de réduire l'effet algique « wind up ».

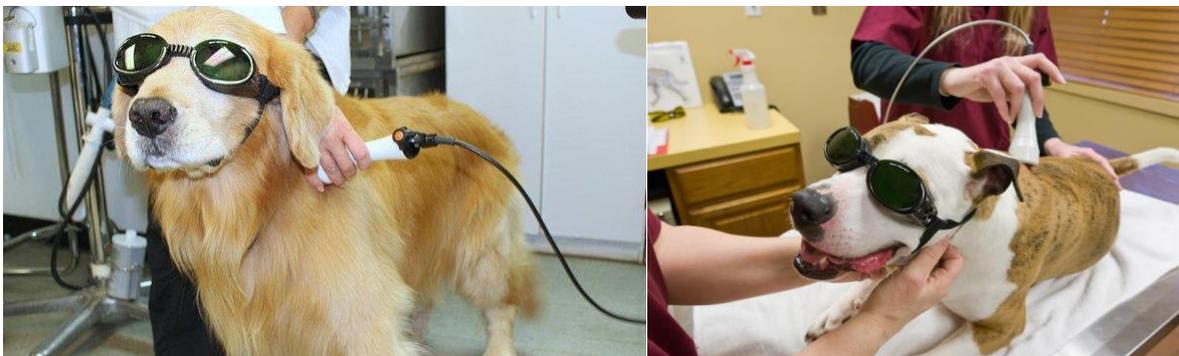
Il est important de ne pas oublier qu'une pathologie peut créer des douleurs à distance : par exemple une douleur au niveau du genou peut créer des douleurs au niveau de la colonne vertébrale et du dos aussi que parfois des douleurs sur le membre controlatéral sur lequel se reporte le poids.

Quand cela est possible il est préférable de traiter le tissu concerné sur toute sa surface (médialement, latéralement, caudalement et crânialement)

Le paramétrage des lasers est maintenant assez complet et doit être rempli de façon consciencieuse afin de permettre à la machine d'ajuster les paramètres de façon optimale en fonction de la couleur du pelage et de la peau, de la longueur du pelage, de la note d'état corporel, et de la zone à traiter pour obtenir une pénétration optimale des rayonnements.

Il existe deux types de sondes, des sondes de contacts privilégiées pour les pathologies profondes non visibles et la sonde sans contact qui est préférée lors de pathologie cutanée infectée, humide, douloureuse, stérile.

Figure 54 : Séances de thérapie laser avec des systèmes de protection oculaire adapté à l'animal
(sources : www.lakeviewvet.net, hoodline.com)



K. Contre-indications, précautions et fausses contre-indications

a. Contre-indications absolues

Exposition oculaire

b. Contre-indications spécifiques

Injection locale : le laser pourrait en effet altérer la pharmacocinétique et la pharmacodynamique du principe actif ou du vaccin

À l'abord d'une tumeur primitive (par exemple contre indiqué lors d'exérèse de tumeur afin de stimuler le processus de cicatrisation tout en ne connaissant pas l'état des marges) ou lors de néoplasie maligne ou de présence de métastases

Gestation : le laser ne présente pas d'effet mutagène ou tératogène et les tissus utérins sont riches en chromophores absorbant les longueurs d'ondes utilisées en médecine. Cependant aucune étude n'a infirmé de potentiel effet sur l'embryon c'est pourquoi il est contre indiqué de traiter en région proche d'un utérus gravide.

c. Précaution à prendre

Épiphyse lors de phase de croissance osseuse ou fontanelle ouverte : ce sont des zones d'index mitotique élevé. L'utilisation de laser augmente le métabolisme cellulaire et ainsi l'ostéogénèse. Cet effet pourrait peut-être induire une fermeture prématurée des plaques de croissance ou une croissance asymétrique des os. Les quelques études portant sur le sujet (Cressoni *et al.*, 2010 ; de Andrade *et al.*, 2012 ; Oliveira *et al.*, 2012) n'apportent que peu d'informations, la première indique que le laser à une longueur d'ondes de 670 nm (longueur d'ondes utilisée pour les traitements superficiels) n'impacte pas le développement des plaques de croissance ; la deuxième utilisant des longueurs d'ondes de 830 nm tous les deux jours ne montre pas de changement significatif dans la croissance osseuse cependant l'étude a été effectuée sur de courtes durées et manque de recul ; la dernière utilisant des longueurs d'ondes similaires de façon quotidienne a montré une diminution de la croissance osseuse.

Hémorragie : A de nombreuses longueurs d'ondes, à des densités énergétiques et des modes de pulsations variés, le laser induit une vasodilatation transitoire et donc une augmentation du flux sanguin. De ce fait, l'utilisation de lasers lorsqu'un tissu saigne est contre-indiquée. Aucune étude ne relate de phénomène de réactivation du saignement une fois l'hémostase réalisée.

Organes génitaux mâles : Le laser à des longueurs d'ondes de 830nm et une densité énergétique de 28 J/cm² correspondant aux limites hautes utilisées en thérapie laser vétérinaire pendant 15 jours provoque une augmentation de la spermatogénèse (Taha et Valojerdi, 2004) et une augmentation de la mobilité spermatique (Firestone *et al.*, 2012). Cependant à des doses supérieures de 47 J/cm² le laser à des effets destructeurs sur l'épithélium séminifère (Taha et Valojerdi, 2004). L'utilisation du laser sur le scrotum doit donc être limitée et précise afin de ne pas créer de lésion testiculaire.

Thyroïde : l'application de laser à des doses inférieures à 4 J/cm² ne modifie pas la glande morphologiquement (Azevedo *et al.*, 2005) mais stimule la sécrétion d'hormone thyroïdienne. L'exposition par inadvertance de la glande lors d'un traitement n'est donc pas délétère. Cependant l'accumulation de dose jusqu'à 140 J/cm² sur 10 séances entraîne une augmentation de l'index

mitotique des cellules folliculaires et des changements morphologiques au niveau du parenchyme thyroïdien. (Parrado *et al.*, 1990 ; Parrado *et al.*, 1999) C'est pourquoi l'application de laser sur la thyroïde de façon répétée n'est pas conseillée.

d. Fausse contre-indication

L'hyperpigmentation : L'hyperpigmentation cutanée implique une absorption des photons plus importante au niveau cutané. Afin d'atténuer ce problème il est possible d'augmenter les longueurs d'ondes et la densité énergétique totale. En cas d'augmentation de la température au niveau de la peau, il est conseillé d'augmenter la vitesse de déplacement de la sonde afin de limiter l'accumulation d'énergie trop importante en un court laps de temps.

Implant et matériel d'ostéosynthèse : le laser n'est pas délétère pour les implants synthétiques. Il a même été démontré que le laser améliorerait la santé des tissus présents autour de l'implant (Tang et Arany, 2013 ; Aoki *et al.*, 2015). En conclusion, le laser pourrait même être bénéfique lors de la pose de l'implant. Il n'est pas nécessaire de modifier les paramètres lorsqu'un élément métallique réfléchissant les ondes lasers est présent.

Infection : In vitro il est montré que le laser inhibe la prolifération de certaines bactéries. (Nussbaum *et al.*, 2003 ; Krespi *et al.*, 2009 ; Dixit *et al.*, 2019) De plus le laser active in vivo de nombreuses cellules immunitaires permettant de lutter contre l'infection. (Lee 2011)

Lors de photosensibilisation : une méta analyse a démontré que le laser n'avait pas d'effet indésirable supplémentaire lors de médication ayant des effets photosensibilisants. (Kerstein *et al.*, 2014)

L. Résumé synthétique sous forme de fiche

Quelques points clés sur : Le laser

Effets bénéfiques principaux :

↗ Activité mitochondriale →

Effet anti-inflammatoire

↗ activité cellulaire et synthèse de protéines

↘ TNF- α

↘ NF- κ B,

↘ IL-1 β ,

↘ IL-6

↘ HIF-1 α

↗ Régénération cutanée, tendineuse et ligamentaire

↗ recrutement et activité des fibroblastes :

↗ bFGF

↗ TGF- β 1

↗ récepteurs TGF β R1, TGF β R2, TGF β R3

↗ CTGF

↗ DDR2

↗ MMP2

↗ néovascularisation : ↗ VEGF

Esthétiquement :

↘ cicatrices hypertrophiques ou chéloïdes (↗ décorine, ↘ élastine)

↗ rétractation cicatricielle (↗ α -actine, ↗ fibronectine)

↗ régénération osseuse et cartilagineuse

↗ BMP 4 et 7

↗ PAL

↗ ostéopontine

↗ ostéocalcine,

↗ sialoprotéine osseuse

↗ Néovascularisation : ↗ VEGF

Effet antibactérien :

Longueur d'onde de 810nm et une fluence de 30 J/cm² :

↳ Gram - : *E. coli*, *S. typhi*

↳ Gram + : telles que *E. faecalis*, *S. epidermidis*, *S. pyogenes*, *S. saprophyticus*

Longueur d'onde de 940nm puissance de 3 W sur 2 minutes :

↳ *S. aureus*, d'*E. coli*, de *P. aeruginosa*

↳ levures du genre *Candida albicans* et

↳ champignons du genre *Aspergillus fumigatus*

Variables : la principale variable modifiable est la dose thérapeutique utilisée.

Pour un tissu superficiel on utilise généralement des doses entre 1 et 4 J/cm²

Pour un tissu profond on utilise des doses entre 8 et 20 J/cm².

Ces doses peuvent être augmentées dans certains cas jusqu'à 40 j/cm² (par exemple lors de granulome, plaie de léchage, complexe éosinophilique, myélopathie dégénérative).

D'autres paramètres sont modulables tels que la puissance, la longueur d'ondes, les cycles de pulsation et la durée de la séance ; ces derniers prennent en compte le type de tissu, le site anatomique, la profondeur, l'espèce, la couleur de peau et de poils et la note d'état corporel.

Utilisation en pratique :

- En cas d'affection aiguë ou en post-opératoire : une à deux séances espacées d'un ou deux jours peuvent être réalisées
- En cas d'affection chronique, le protocole est séparé en trois phases
 - Une phase d'induction : jusqu'à 12 séances sur deux ou trois semaines
 - Une phase de transition : une ou deux séances par semaine pendant quatre semaines
 - Une phase de maintenance : une séance une fois toutes les deux semaines à quatre semaines.

Principales indications :

- Cicatrisation tissulaire (cutanée, ligamentaire, tendineuse ou osseuse)
- Gestion de la douleur aiguë ou chronique liée à une inflammation
- Arthrose
- Douleur du membre fantôme
- Foyer infectieux (en complément d'un traitement antibiotique)

Contre-indications :

- Injections locales
- Plaque de croissance immature (principe de précaution)
- Hémorragie
- Région des glandes thyroïdiennes de façon répétée (deux séances ponctuellement ne posent pas de problème, dose cumulée maximale : 140 J/cm² sur 10 séances)
- Gestation (principe de précaution)

DEUXIEME PARTIE : DEROULEMENT DES PREMIERES CONSULTATIONS ET MISE EN PLACE DU SUIVI

Aujourd'hui un intérêt croissant est porté à cette discipline nouvelle notamment, chez les chirurgiens et les neurologues qui souhaitent améliorer leur prise en charge thérapeutique post-chirurgicale ou trouver des méthodes alternatives à la chirurgie et aux traitements médicaux déjà mis en place, mais aussi et surtout car les médecines alternatives sont de plus en plus recherchées par les clients de nos jours.

Cette discipline étant nouvelle et en plein essor ; les cliniciens vétérinaires spécialisés en physiothérapie se doivent de trouver des réponses à travers de nouvelles recherches et de nouvelles études, afin de prouver l'efficacité, la durée d'action et même le bénéfice à en tirer de telle ou telle technique physiothérapeutique.

Ce manuscrit a pour but de réaliser un travail de synthèse accessible aux vétérinaires reprenant toutes les connaissances actuellement disponibles sur les différentes techniques de physiothérapie et d'élaborer des guides thérapeutiques permettant de traiter les affections orthopédiques les plus courantes à l'aide de la physiothérapie.

Bien qu'étant une science la médecine reste un art, les protocoles élaborés n'ont pas pour objectifs de décrire la prise en charge optimale et nécessaire mais plutôt de guider et de répondre aux questions de nombreux cliniciens et vétérinaires afin de montrer les bénéfices réels de la physiothérapie et de la rendre plus visible en médecine vétérinaire.

Bien qu'étant le principal intéressé, l'animal et en particulier le chien n'est généralement pas un facteur limitant à la réussite du traitement puisqu'il accepte assez facilement les exercices proposés. Sa réussite repose sur trois acteurs : le propriétaire, le vétérinaire praticien/chirurgien et le physiothérapeute.

Bien qu'étant en plein essor cette discipline reste encore peu proposée aux propriétaires contrairement en médecine humaine. Les propriétaires ne sont pas au fait de tous les traitements réalisables afin de soigner au mieux leurs compagnons. C'est donc au vétérinaire praticien ou au chirurgien de proposer une physiothérapie ou une rééducation.

1. Implication des différents acteurs

A. Le vétérinaire praticien ou le spécialiste en orthopédie

Il est important de rappeler que c'est le rôle du vétérinaire traitant d'éclairer et de motiver le propriétaire à réaliser des soins.

Il est plus simple de parler et donc de proposer un traitement lorsqu'on en connaît les techniques, leurs modes d'actions, leurs indications et leurs efficacités. La première partie de ce manuscrit permet de répondre à de nombreuses interrogations des clients quant aux mécanismes d'action et à l'efficacité de la physiothérapie.

La physiothérapie possède de nombreuses **indications** qu'elles soient **préventives** en retardant l'apparition de lésions tissulaires irréversibles (par exemple lors de chirurgie osseuse ou de malformation congénitale tel que la dysplasie etc.) ou **curatives** lorsque l'affection est déjà présente (par exemple lors d'amyotrophie, de tendinite bicapitale etc.)

Un client éclairé sera d'une part plus enclin à réaliser un protocole de rééducation s'il avait des réticences concernant son efficacité, et d'autre part, il sera reconnaissant qu'on lui propose toutes les thérapies possibles pour son animal.

B. Le physiothérapeute

Le physiothérapeute est celui qui établira un protocole de soins. Mais son rôle ne s'arrête pas là. Il doit expliquer l'intérêt de chacune des modalités thérapeutiques du protocole proposé ainsi que les contraintes incombantes à tel ou tel thérapie.

Il doit donner toutes les informations nécessaires au propriétaire afin que celui-ci accepte en toutes connaissances de causes le protocole et soit prêt à s'impliquer à 100 % dans la rééducation de son animal de compagnie.

C. Le propriétaire

La réussite d'un traitement repose sur l'observance de ce dernier.

Or dans la majorité des cas, l'échec du traitement est dû à un manque de rigueur ou un arrêt du protocole de physiothérapie lié à un manque de motivation du propriétaire.

Le propriétaire est impliqué dans chaque étape de la rééducation. Il doit être conscient de l'investissement temporel et financier que cela incombe.

2. Déroulement de la première consultation de physiothérapie

A. Déroulement de la première consultation

a. Signalement, anamnèse et commémoratifs à prendre en compte avant d'initier un protocole de physiothérapie

Le signalement, l'anamnèse et les commémoratifs sont indispensables.

En premier lieu le signalement composé du sexe, de l'espèce, de la race et de l'âge ainsi que du motif de consultation permettent d'avoir une première idée du protocole réalisable.

Par exemple l'âge peut nous faire modifier notre approche puisqu'un individu âgé ne possède pas la même capacité de régénération ni la même structure tissulaire qu'un animal jeune.

Ensuite vient l'appréciation du poids et de la note d'état corporel de l'animal. Le surpoids est l'un des éléments primordiaux à traiter pour espérer une bonne récupération. De plus certains exercices pourront être déconseillés dans un premier temps car trop traumatisant pour les articulations.

Tout antécédent médical ancien tel qu'une affection orthopédique, une chirurgie osseuse, la pose d'un implant, la pose d'un matériel d'ostéosynthèse doit être recherché.

De même, le propriétaire doit être questionné sur la présence ou non de maladies chroniques notamment cardio-vasculaires, métaboliques, tumorales ou portant sur les tissus cutanés, oculaires ou la sphère ORL ainsi que sur la prise d'un éventuel traitement sur le long terme.

Toute analyse complémentaire récente doit être demandée que ce soit :

- Des résultats sanguins : biochimiques, numération et formules sanguines, gaz du sang
- Des clichés d'imagerie et leur interprétation : Radiographie, échographie, scanner, IRM
- Des antibiogrammes : lors d'infection locale ou systémique

b. Examen clinique général

Comme toutes consultations, la consultation de physiothérapie commence par un examen clinique général. Celui-ci permet d'évaluer l'état général de l'animal et de détecter une éventuelle affection débutante ou installée pouvant contre-indiquer certaines techniques.

- Examen oculaire et auriculaire : il est par exemple nécessaire de prendre des précautions lors d'otites
- Examen cutané : des plaies et des hématomes sont à rechercher
- Palpation abdominale
- Examen génicologique : principalement chez la femelle si elle est proche de sa période d'oestrus
- Auscultation cardiaque
- Température : une hyperthermie peut être le signe d'une infection évolant à bas bruit

c. Examen clinique orthopédique et neurologique

Ces examens doivent être réalisés avec le plus de précision possible. Tout l'appareil musculo-squelettique doit être inspecté car une affection portant sur un membre en particulier peut d'un part créer des lésions en périphérie et d'autre part cacher d'autres affections moins douloureuses ou moins gênantes pour l'animal.

Ils sont composés de :

L'anamnèse : motifs de consultation, identification du membre boiteux, ancienneté de la pathologie, fréquence de réapparition des crises, condition d'apparition (si elle est connue), évolution, examens complémentaires et traitements déjà proposés ainsi que leurs résultats

Inspection en statique des aplombs et des reliefs musculaires : les aplombs semblent-ils normaux ? Reporte-t-il le poids sur un membre ? Quelle est l'importance de la soustraction d'appui ? Existe-t-il des déformations (relief osseux anormaux, atrophie marquées, empatement d'une articulation), des plaies ou une usure anormale des griffes ?

Inspection en mouvement : allure de la foulée, identification du (ou des) membre(s) boiteux, gradation de la boiterie au pas/au trot, mise en évidence à froid et/ou à chaud

Palpation des masses musculaires, osseuses et articulaires : présence de chaleur, de déformation (si oui : consistance de la déformation)

Palpation pression : mise en évidence d'une douleur

Mobilisation segmentaire : mobilité anormale au sein d'un rayon osseux, amplitude de toutes les articulations en flexion, extension, rotation, abduction, adduction, circumduction, pronation, supination, douleurs/craquements associés, signe d'instabilité (signe d'Ortolani, tiroir fémoro-patellaire, instabilité rotulienne etc.)

d. Mesure des amplitudes de mouvement

Contrairement en médecine humaine où l'amplitude de mouvement est mesurée à partir de la différence en l'angle articulaire en position de repos et en position forcée ; les amplitudes de mouvements articulaires en médecine vétérinaire correspondent aux angles formés par l'articulation lors de mouvements complets que ce soit en flexion ou en extension. Ainsi on s'affranchit de la mesure de l'angle de l'articulation au repos qui est difficile à établir chez les carnivores.

Des standards ont été déterminés sur une population de Labrador Retriever (Jaegger 2002) et plus récemment sur des Border Collies (Hady 2015). Cette seconde étude démontre qu'il existe des différences interspécifiques significatives. Cependant il est possible de se référer à ses abaques afin d'avoir une idée des valeurs usuellement attendues. Mais le plus généralement on se fiera aussi à la différence d'amplitude entre le membre semblant sain et le membre pathologique à un instant t et dans le temps.

Des modifications de l'amplitude de mouvement peuvent être expliquées par de nombreuses pathologies :

- Diminution de l'amplitude : cals osseux, fracture, contractures musculaires ou articulaire, fibroses, adhérences musculaire, empatement articulaire
- Augmentation de l'amplitude : laxité ligamentaire, rupture ligamentaire, fracture, luxation

La mesure des amplitudes se réalise à l'aide d'un goniomètre (cf : Annexe 1). Cette technique est la méthode de mesure de référence car elle est fiable, reproductible et précise.

Cette mesure doit être réalisée en douceur et sans forcer. En effet, la réalisation des mesures peut être inconfortable pour l'animal même s'il ne présente pas de douleur évidente à la marche ou au trot car on vient chercher des angles non atteints physiologiquement.

e. Mesure des masses musculaire

L'appréciation des masses musculaires est très importante en rééducation fonctionnelle. En effet, lors de sous-utilisation d'un membre par soustraction d'appui, l'amyotrophie se met rapidement en place et peut être visualisée par une mesure 2 semaines après un événement (chirurgie, traumatisme). De plus cette mesure est facilement réalisable et est non invasive.

Ainsi lors de rééducation son suivi permet d'évaluer la progression sur le long terme du patient. En effet, la prise de masse est associée à une réutilisation du membre et à une augmentation de la force musculaire.

La mesure se réalise à l'aide d'un mètre ruban souple (mètre de couturière). Il n'existe pas de consensus sur le lieu de la prise de la mesure mais celle-ci se réalise le plus souvent au niveau du ventre du muscle où la valeur à la plus importante et donc où l'évolution sera la plus marquée. Cette mesure reste subjective et pour être interprétable, il faut que ce soit le même clinicien qui prenne les mesures avec toujours la même technique (repère, position de l'animal etc.). De ce fait il n'existe pas de table de valeurs de référence, la comparaison se fait entre le membre sain et le membre pathologique et sur l'évolution de cette mesure dans le temps. Lors de la mesure aucune tension excessive sur le ruban ne doit être effectuée afin de ne pas déformer le muscle et sous-estimer la circonférence.

f. Évaluation du score de douleur et du score de boiterie

Le score de boiterie et le score de douleur sont deux mesures qui doivent être notées régulièrement par le clinicien mais aussi par le propriétaire à la maison.

Le score de boiterie se réalise au pas et au trot la gradation se fait de 0 à 5 de cette manière :

- Absence de boiterie ce jour
- Boiterie de degré 1 : boiterie discrète, intermittente, avec appui
- Boiterie de degré 2 : boiterie discrète, permanente, avec appui
- Boiterie de degré 3 : boiterie franche avec appui
- Boiterie de degré 4 : boiterie sans appui sur certaines foulées
- Boiterie de degré 5 : boiterie sans appui permanente

Une échelle visuelle analogique (VAS) graduée de 0 (absence de boiterie) à 10 (boiterie intense) peut également être rempli de façon journalière à hebdomadaire par le propriétaire afin de le confronter à notre propre perception de la gravité de la boiterie, de le sensibiliser à l'affection orthopédique de son animal et de noter l'évolution du patient pendant le protocole thérapeutique.

L'établissement d'un score de douleur est plus difficile. De nombreuses grilles ont été réalisées afin de noter le plus précisément l'évolution de la douleur :

La première est une échelle visuelle analogique (VAS) graduée de 0 (absence de douleur) à 10 (douleur intense) mais reste peu indicative du confort de vie de l'animal et de son état comportemental.

Des échelles descriptives ont ainsi été mises au point afin d'évaluer au mieux les douleurs chroniques chez un chien arthrosique :

Figure 55 : Échelle provant de la Helsinki Chronic Pain Index (Hiel-bjorkman, 2003) et traduite de l'anglais lors d'une thèse par Dor *et al.* (page 1/2) (source : Dor *et al.*, 2013)



QUESTIONNAIRE POUR LE PROPRIETAIRE

Date _____ Questionnaire n° 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Nom, race et âge du chien : _____ Propriétaire: _____

Adresse mail : _____ Signature: _____

Cochez la réponse qui décrit le mieux le comportement de votre chien au cours de la semaine dernière :

1. Décrivez l'attitude de votre chien :

Très vif	vif	indifférent	déprimé	très déprimé
<input type="checkbox"/>				

2. Votre chien joue:

Très volontiers	volontiers	à contrecœur	vraiment à contrecœur	il ne joue pas
<input type="checkbox"/>				

3. Votre chien marche:

Très volontiers	volontiers	à contrecœur	vraiment à contrecœur	il ne marche pas
<input type="checkbox"/>				

4. Votre chien marche:

Avec beaucoup d'aisance	avec aisance	avec difficultés	avec beaucoup de difficultés	il ne marche pas
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

5. Votre chien trotte :

Très volontiers	volontiers	à contrecœur	vraiment à contrecœur	il ne trotte pas
<input type="checkbox"/>				

6. Votre chien trotte :

Avec beaucoup d'aisance	avec aisance	avec difficultés	avec beaucoup de difficultés	il ne trotte pas
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

7. Votre chien court:

Très volontiers	volontiers	à contrecœur	vraiment à contrecœur	il ne court pas
<input type="checkbox"/>				

Figure 56 : Échelle provant de la Helsinki Chronic Pain Index (Hiel-bjorkman, 2003) et traduite de l'anglais lors d'une thèse par Dor *et al.* (page 2/2) (source : Dor *et al.*, 2013)

8. Votre chien court rapidement:
 Avec beaucoup d'aisance avec aisance avec difficultés avec beaucoup de difficultés il ne court pas

9. Votre chien saute (p.ex. dans la voiture, sur le canapé...) :
 Très volontiers volontiers à contrecœur vraiment à contrecœur il ne saute pas

10. Votre chien saute (p.ex. dans la voiture, sur le canapé...) :
 Avec beaucoup d'aisance avec aisance avec difficultés avec beaucoup de difficultés il ne saute pas

11. Évaluez comment votre chien se couche:
 Très facilement facilement avec quelques difficultés avec difficultés avec beaucoup de difficultés

12. Évaluez comment votre chien se lève (après avoir été couché) :
 Très facilement facilement avec quelques difficultés avec difficultés avec beaucoup de difficultés

13. Évaluez comment votre chien se déplace après avoir été couché pendant un long moment :
 Très facilement facilement avec quelques difficultés avec difficultés avec beaucoup de difficultés

14. Évaluez comment votre chien se déplace après une longue période d'activité ou un effort important :
 Très facilement facilement avec quelques difficultés avec difficultés avec beaucoup de difficultés

15. Évaluez la fréquence des vocalisations de votre chien dues à la douleur (gémissements ou cris):
 Jamais à peine quelquefois souvent très souvent

Un grand merci pour votre aide précieuse !

Commentaires du propriétaire:

Pour plus d'informations contactez le Dr Rogalev à l'UMES au 01 43 96 70 31 ou bien Cécile Dor à l'adresse mail suivante : cdor@etudiants.vet-alfort.fr

Les droits d'auteur de l'indice d'Helsinki (HCPI) et tous les autres droits de propriété intellectuelle concernant l'HCPI appartiennent à Ab Björkman & Hielm Oy. Toute traduction ou variation de l'HCPI doit être vérifiée et acceptée par Ab Björkman & Hielm Oy. Tous les droits d'auteur et autres droits concernant les traductions ou variations de l'HCPI sont la propriété de Ab Björkman & Hielm Oy. L'HCPI a été développé à l'Université d'Helsinki. Si vous êtes intéressé par ce sujet de recherche, contactez anna.hielm-bjorkman@helsinki.fi

D'autres échelles existent et ont été mis en annexe (cf : Annexe 2) telles que :

- le Canin Brief Pain Inventory (CBPI) proposé par BROWN et al. en 2007 et validé en 2008
- L'échelle descriptive utilisée dans l'étude de VASSEUR et al. pour évaluer le degré de douleur arthrosique des chiens avant et après traitement vasseau 1995
- 4AVET est une grille multicritère utilisée dans l'évaluation de la douleur post-opératoire
- L'échelle de douleur de l'Université du Colorado utilisée dans le centre médical vétérinaire du Dr. J.L. VOSS (utilisée lors de chirurgie)
- L'échelle de douleur de l'Université de Melbourne (utilisée lors de chirurgie)

3. Déroulement des séances

Il est primordiale d'avoir une bonne approche lors des premières séances de physiothérapie. En effet elles doivent être les plus calmes et les plus douces possible afin de ne pas brusquer l'animal et le bloquer pour les prochaines séances. Pour ce faire les exercices sont initiés sans forcer et sur de courtes durées de façon à laisser l'animal s'adapter. Des récompenses (jouets, nourritures, sollicitations vocales, caresses) peuvent être données régulièrement. Une fois que l'animal semble plus détendu les séances sont allongées et les mouvements plus importants.

A chaque début de séance le thérapeute doit demander au propriétaire comment se porte l'animal, s'il n'y a pas eu de nouvelles affections depuis la dernière fois, si la dernière séance a bien été supportée par l'animal, s'il n'y a pas eu de fatigue excessive ou de boiterie à la suite de la séance précédente et si les doses d'anti-inflammatoires ou d'antalgiques ont été modifiées.

4. Mise en place d'un suivi particulier de l'animal afin d'impliquer le propriétaire

A. Faire participer le propriétaire

a. Le faire participer aux exercices

Comme expliqué précédemment le propriétaire est l'acteur décisif responsable de la bonne observance et du succès de la rééducation. C'est pourquoi il doit être convaincu et impliqué dans toutes les étapes de la rééducation. De plus, il sera la personne la plus enclin à motiver et rassurer son animal lors des différents exercices proposés.

Lors des séances, il ne faut pas hésiter à demander au propriétaire :

- De ramener les friandises préférées de son animal et de les diversifier afin que l'animal ne s'en lasse pas
- De ramener des jouets pour récompenser son animal
- De solliciter et de caresser son animal

b. Tenu d'un carnet de suivi (score de douleur, boiterie, amélioration/dégradation de l'état general)

Les résultats de la physiothérapie se voient souvent sur le long terme c'est pourquoi cela peut être parfois décourageant pour le propriétaire qui ne voit pas forcément les améliorations même si elles existent.

Afin de sensibiliser le propriétaire au confort de vie de son compagnon, un carnet peut être tenu regroupant :

- La courbe de poids de l'animal
- Les doses de molécules antiinflammatoires et antalgiques
- Les exercices réalisés et l'état de l'animal après chaque séance
- Les circonférences musculaires (fourni lors des consultations de suivi)
- Les amplitudes de mouvements (fourni lors des consultations de suivi)
- Des scores de douleur et de boiterie sur une échelle visuelle analogique graduée de 0 à 10
- Des échelles complexes d'évaluation de douleurs chroniques telles que l'HCPI rempli de façon bimensuelle

B. Déroulé d'une consultation de suivi

Les consultations de suivi servent à faire un état des lieux de l'évolution de la pathologie avec le propriétaire.

Au début de la consultation le propriétaire est questionné afin de connaître son ressenti par rapport à l'efficacité du protocole, savoir si l'animal supporte bien les séances et récupère bien d'une séance sur l'autre, si la réalisation des séances que ce soit en centre de soins ou à domicile ne posent pas trop de contraintes au propriétaire.

Ensuite, le physiothérapeute réalise un nouvel examen clinique complet ainsi que les mesures d'amplitudes de mouvements et de la circonférence des masses musculaires qu'il confronte aux dernières valeurs. Enfin, pour finir son examen, il note le degré de boiterie, de douleur et examine l'évolution des résultats de l'HCPI rempli par le propriétaire.

Suite à cela le protocole thérapeutique peut être revu afin de modifier la fréquence des séances, de modifier certains exercices et/ou de proposer de diminuer les doses de molécules administrées.

Ces séances doivent être suffisamment espacées pour avoir un résultat clinique perceptible. Au centre de rééducation de l'UMES les consultations de suivi s'effectuent généralement toutes les 10 séances.

TROISIEME PARTIE : ELABORATION DE FICHES PRATIQUES CONCERNANT LA PRISE EN CHARGE PHYSIOTHERAPEUTIQUE DES AFFECTIONS ORTHOPEDIQUES

1. Prémisses

La physiothérapie est très rarement vouée à soigner seule une affection orthopédique. Elle est le plus souvent utilisée en complément de médicaments et de chirurgie afin de limiter l'inflammation, stimuler la régénération cellulaire et ainsi d'accélérer la phase de guérison et prévenir l'apparition de lésions/douleurs supplémentaires (contractures, fibroses, dégénérescence etc.).

Dans un premier temps les fiches reclasseront les différentes techniques de physiothérapie en fonction de leurs effets physiologiques.

Dans un second temps, ces fiches seront des exemples des différents exercices et thérapies réalisables en fonction d'une affection et de son évolution. Elles permettront de donner une première idée de protocoles de rééducation possible avec les technologies actuelles et ce grâce aux études déjà menées. Elles seront bien évidemment à moduler en fonction de l'animal, des particularités originales de son affection, des contre-indications éventuelles, des complications, du temps pouvant être consacré à domicile et en centre, des moyens matériels du centre et des moyens financiers du propriétaire. Ce travail est le travail du vétérinaire physiothérapeute.

Les plans de rééducations réalisés sont construits de façon à limiter au maximum le nombre de séance de rééducation à réaliser en clinique afin de rendre les programmes les moins contraignants possible pour les propriétaires. Pour se faire les séances seront limitées à 2 à 3 séances par semaines pendant les 2 premières semaines, à 2 séances par semaine les deux semaines suivantes et une séance par semaine jusqu'au rétablissement.

Les durées des différentes phases des protocoles sont basées sur des affections évoluant correctement cependant des complications peuvent ralentir la récupération. Des guides décisionnels fournis au niveau de chaque phase afin de palier à certaines complications les plus couramment rencontrées à ce stade.

Les affections abordées sont des affections régulièrement rencontrées en médecine vétérinaire concernant :

- Les tissus osseux : fracture des os longs, ostéomyélite, amputation d'un membre (d'autres affections sont citées mais aucune étude ne prouve que la physiothérapie à un effet bénéfique sur des affections telles que : panostéite, ostéodystrophie hypertrophique)
- Les articulations : arthrose et patient gériatrique, dysplasie de la hanche, dysplasie du coude, ostéochondrite dissécante, luxation, maladie de Legg-Calvé-Perthes. Mais aussi les rééducations post-opératoires d'une arthrodèse, d'une exérèse de la tête et du col du fémur, d'une prothèse totale de hanche, triple ostéotomie du bassin, symphysiodèse, d'une luxation patellaire
- Les tissus tendineux et ligamentaires : entorses, desmites, bursites
- Les tissus musculaires : myopathie fibrosante du muscle gracile et du semi-tendineux, contracture du muscle infra-épineux

2. Elaboration de fiches pratiques classant les techniques de physiothérapie par effets mécaniques et physiologiques

A. La rééducation fonctionnelle (proprioception et acquisition d'une démarche symétrique)

La récupération rapide d'une foulée symétrique est souhaitable afin d'éviter le report de poids et donc la surutilisation d'un membre par rapport aux autres pouvant occasionner des inflammations aiguës (tendinites, desmites etc.) ou le développement d'arthrose précoce.

Les exercices de proprioception les plus courants sont :

- Soit des exercices de balancement sur les côtés à même le sol
- Soit des exercices d'équilibre avec les antérieurs/postérieurs sur une physio-ball ou sur une planche de proprioception
- Des parcours d'obstacles type cavaletti
- Des marches en cercle en dessinant de « 8 » d'abord large puis de plus en plus serré
- Tapis de course immergé ou non. L'ajout d'une bande élastique tirant le membre en arrière ou d'un lest peut venir compliquer l'exercice et privilégier l'utilisation du membre déficitaire

Ces exercices sont à réaliser le plus souvent possible compte tenu de l'affection traitée.

B. Augmentation de l'amplitude de mouvement (traitement de l'ankylose)

Afin de prévenir l'ankylose lors d'immobilisation, des exercices de mobilisation articulaire passive peuvent être réalisés trois fois par jour (pour des animaux jeunes) à une fois tous les deux jours (pour des animaux matures). De l'électrostimulation (NMES) peut également être réalisée limitant ainsi les contractures musculaires.

Afin d'accroître l'amplitude de mouvement, des massages tels que des palper-rouler, du pétrissage, des massages transversaux profonds vont venir rompre les adhérences. Dans un deuxième temps, des étirements passifs au niveau de chaque articulation du membre affecté peuvent être réalisés pendant 10-15 répétitions en flexion et en extension juste après une séance de thermothérapie (10-15 minutes) pouvant être couplés à des ultrasons (4-8 minutes).

C. Prise de masse musculaire (Traitement et prévention de l'amyotrophie)

Afin de prévenir l'amyotrophie lors d'immobilisation prolongée d'un membre la kinésithérapie associant des exercices de mobilisations passives et actives assistées est un exercice de choix. Elle pourra être complétée par de l'électrostimulation (NMES) à faible intensité.

Lors de rééducation suite à une immobilisation prolongée, il est conseillé dans un premier temps de réaliser des thérapies impactant peu les articulations. En effet, ces dernières sont normalement protégées par les muscles qui l'entourent. Ainsi en cas d'amyotrophie une activité normale et des exercices actifs de rééducation peuvent être délétères. En début de rééducation les thérapies à privilégier sont l'électrostimulation NMES et l'hydrothérapie (nage ou tapis de course immergé). Une fois que l'animal aura repris une masse musculaire suffisante il est possible de passer sur des exercices actifs tels que « assis debout », des exercices avec les pattes avant sur une physioball, du trot, des montées et descentes d'escalier, du tapis de course incliné ou non.

D. Myorelaxation

Les contractures musculaires sont à l'origine de douleur et s'auto-entretiennent à cause de ce phénomène algique. Elles sont généralement des conséquences de pathologies articulaires périphériques. Pour éviter leur réapparition il est donc nécessaire de traiter la cause sous-jacente.

Pour les traiter, il existe plusieurs méthodes : l'application de massages doux pour désensibiliser la zone puis plus vigoureux afin de délier les tensions. La séance peut se composer d'effleurages, de pétrissages superficiels puis profonds et de massages transversaux profonds. Ces massages pourront être précédés d'une séance de thermothérapie appliquée pendant 10 à 15 minutes ce qui aura pour effet d'augmenter le seuil d'excitabilité des cellules musculaires et de réduire la transmission de la douleur.

De l'électrostimulation (NMES) peut être proposée en complément. En effet, elle permet de lever les spasmes musculaires et donc de traiter en partie les raideurs musculaires.

E. Effet sur les flux circulatoires (sanguins, lymphatiques)

En cas d'immobilisation prolongée, les retours veineux et lymphatiques normalement effectués par les contractions musculaires qui jouent un rôle de pompe veineuse sont altérés. La stase veineuse ainsi occasionnée par le défaut de retours veineux et lymphatiques peut-être à l'origine de nombreuses complications telles que la formation d'œdème ou de caillot responsable de phlébite ou plus grave de thrombose. Ainsi lors d'immobilisation prolongée (qu'elle soit auto-infligée ou nécessaire à une bonne récupération post-opératoire), la bonne circulation sanguine et lymphatique est nécessaire.

Pour se faire des massages drainants tels que des pétrissages, des pressions glissées superficielles et profondes, ou des massages transversaux profonds peuvent être effectués sur le membre immobilisé en manœuvre de chasse (mouvements centripètes). En complément, des exercices de mobilisation passive ou active (particulièrement l'hydrothérapie du fait de la pression hydrostatique) peuvent être proposés en fonction du stade de la récupération.

F. Effet anti-inflammatoire

a. En phase aiguë

Lors de chirurgie ou de traumatisme récent (moins de 72 heures) la cryothérapie à raison de 3 séances par jour pendant toute la durée de la phase aiguë et le laser une séance immédiatement après l'événement et si nécessaire une deuxième séance le lendemain permettent de moduler l'inflammation et d'éviter son exacerbation.

b. En phase chronique

Lorsque l'inflammation dure depuis plus de 72 heures l'ultrasonothérapie, le laser et les ondes de chocs permettent la libération de molécules anti-inflammatoires endogènes.

G. Effet antalgique

Par effet gate control : thermothérapie, ultrasonothérapie, massage, cryothérapie

Par effet anti-inflammatoire : cryothérapie, laser, ultrasonothérapie, ondes de choc (tardivement)

Par effet myorelaxant : thermothérapie, massage, NMES

Par effet anti-œdémateux : cryothérapie, massage en manœuvre de chasse, mobilisations passives ou actives

H. Stimulation enzymatique et cellulaire

a. Cicatrisation osseuse

Les ondes de chocs, les ultrasons en mode pulsé et le laser stimulent la multiplication et la synthèse protéiques des ostéoblastes permettant ainsi d'accélérer la cicatrisation osseuse lors de fracture récente.

Les ondes de chocs sont également un traitement spécifique efficace lors de retard de cicatrisation osseuse ou de pseudarthroses.

b. Cicatrisation cutanée

Une fois le nettoyage, la désinfection et le parage effectués, le laser (principalement) ou les ultrasons (effet moins prononcé) une fois par jour à une fois tous les deux jours sont utilisés afin d'accélérer la cicatrisation et la rendre plus esthétique (amélioration de l'aspect esthétique tout en empêchant la formation de cicatrices hypertrophiques ou de cicatrices chéloïdes).

L'électrothérapie a aussi montré son efficacité à 80-125 Hz (sans contraction visible), 75-200 V pendant 45 à 60 minutes 3 à 7 fois par semaine avec la cathode sur la plaie lors d'infection de la plaie ou l'anode sur la plaie lorsqu'on cherche à favoriser la granulation et l'épithélialisation de tissus non contaminés. L'électrostimulation permet en effet de tendre les tissus, de stimuler l'activité cellulaire, d'augmenter le flux sanguin, de combattre l'infections et de réduire les œdèmes.

3. Elaboration de guide thérapeutique concernant la prise en charge physiothérapeutique des affections orthopédiques les plus communes

A. Affections osseuses

a. Les fractures des os longs

- En cas de fracture aiguë

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
Phase préopératoire	Réduire l'inflammation à la douleur	Prévoir une chirurgie stabilisatrice le plus rapidement possible	Prévoir une chirurgie stabilisatrice le plus rapidement possible AINS +/- Tramadol Repos Sortie hygiénique en laisse (5min)
Phase post opératoire immédiate (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	Gérer la douleur de l'inflammation et de l'œdème	AINS +/- opioïde Si hospitalisé : Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 3 jours Repos strict Sortie hygiénique en laisse de 5 minutes BID-TID Marche lente en laisse (si besoin : assistée à l'aide d'une serviette ou d'un harnais de soutien passé sous l'abdomen)	AINS +/- Tramadol Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 3-5 jours Repos strict Sortie hygiénique en laisse de 5 minutes BID-TID Marche lente en laisse (si besoin : assistée à l'aide d'une serviette ou d'un harnais de soutien passé sous l'abdomen)

	Maintenir de la masse musculaire Augmenter l'amplitude de mouvement		Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : <ul style="list-style-type: none"> - Massages décontracturants - Mobilisation/étirements passifs d'extension et de flexion des articulations de part et d'autre du foyer de fracture
Phase : retour à la marche et amélioration de la boiterie avec appui De j2/j3 à 2 semaines post op	Continuer de gérer la douleur Stimuler l'activité cellulaire Obtenir une amplitude de mouvement subnormale Encourager les appuis sur le membre boiteux	AINS +/- Tramadol Laser (8-20 J/cm ²) ou ultrason pulsé (1.5MHz, 200µs 30mW/cm ²) 2-3 séances par semaine pendant 2 semaines	AINS +/- Tramadol Marche lente en laisse pendant 5 minutes TID Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie avant les séances de rééducation (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages décontracturants avant et/ou après les exercices - Kinésithérapie mouvement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou - Exercice de report de poids par balancement manuel ou à l'aide d'une planche de proprioception - Cryothérapie pendant 15-20 minutes après les séances

Phase : Appui correct et démarche subnormale à la marche De 2 à 8 semaines	Stimuler l'activité cellulaire	<p>Laser (8-20 J/cm²) 2 séances par semaine jusqu'à 1 mois post-opératoire puis 1 séance par semaine</p> <p>Ondes de chocs (0.07-0.17 mJ/mm², 1000 pulsations) 1 séance 6 à 8 semaines suivant l'opération si retard de cicatrisation</p>	Sortie en laisse de plus en plus longue (augmenter de 5 minutes par semaine)
	Maintenir une amplitude de mouvement normale	<p>Kinésithérapie avant une séance d'onde de choc ou de laser :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage décontracturant si nécessaire - Thermothérapie avant la séance si nécessaire (couplée à des ultrasons et des étirements si perte d'extensibilité) - Mobilisation/étirements passifs d'extension et de flexion de l'articulation du genou 	<p>Kinésithérapie SID-BID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage décontracturant si nécessaire - Thermothérapie avant la séance si nécessaire (couplée à des étirements si perte d'extensibilité) - Mobilisation/étirements passifs d'extension et de flexion de l'articulation du genou
	Corriger la démarche (symétrie)	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice de proprioception sur physioball - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement - Si fracture des postérieurs : « Assis-debout » 5-10 répétitions BID - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance si nécessaire 	<ul style="list-style-type: none"> - Exercice de proprioception sur physioball - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement - Si fracture des postérieurs : « Assis-debout » 5-10 répétitions BID - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance si nécessaire
Renforcer la masse musculaire et améliorer l'endurance		<p>6 semaines après la chirurgie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montées de plan incliné pendant 5 minutes ou montées d'escalier (1 à 2 et monter jusqu'à 5 répétitions) - Trot en laisse pendant 2 à 5 minutes quotidiennement 	

		<p>En cas d'amyotrophie et de persistance d'une boiterie sans appui : NMES pendant 10-15 minutes 2 fois par semaine (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile jusqu'à 7 fois par semaine)</p> <p>Vers 2-3 semaines, si bonne cicatrisation cutanée : Tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis jusqu'à 15-30 minutes ou nage en bassin 2-3 séances par semaine jusqu'à 1 mois post-opératoire puis 1-2 séance par semaine</p>	<p>Vers 2-3 semaines, si bonne cicatrisation cutanée : Si possible : Nage deux à trois fois par semaine (en remplacement des séances d'hydrothérapie)</p>
<p>Phase : amélioration de la boiterie et de la symétrie des foulés à la marche et au trot De 8 semaines à guérison complète</p>	<p>Renforcer la masse musculaire et améliorer l'endurance</p>	<p>Hydrothérapie 20-30 minutes 1 fois par semaine Tapis de course +/- incliné avec un lesté sur le membre opéré</p>	<p>Kinésithérapie (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie avant la séance si nécessaire - « Assis-debout » 15-20 BID - Cavaletti 15 à 20 répétitions BID augmenter graduellement - Montées de plan incliné pendant 5 minutes (tapis de course incliné ou pente), ou montées d'escalier - Trot pendant 5-10minutes BID et monter jusqu'à 15-25 minutes TID s'il n'y a pas d'aggravation de la boiterie et de la douleur après les séances - Joggings d'une 30aine de minutes 2 fois par semaine <p>Nage deux à trois fois par semaine (en remplacement des séances d'hydrothérapie)</p>

- *En cas de retard de cicatrisation osseuse et de pseudarthrose*

En cas de retard de cicatrisation et de pseudarthrose les ondes de chocs focales sont particulièrement efficaces à 0,22-1.10 mJ/mm² (en fonction de la tolérance individuelle) et 4000 pulsations.

En complément, un protocole de renforcement musculaire peut être mis en place si on constate une amyotrophie et si la fracture est bien réduite : NMES sur le membre atteint pendant 10-15 minutes 1-2 fois par semaine, exercices de mobilisation passive si on constate une diminution de l'amplitude de mouvement, exercices actifs, hydrothérapie ou tapis de course 1-2 fois par semaine.

b. L'ostéomyélite

L'ostéomyélite est généralement due à une contamination bactérienne d'un foyer de fracture ouverte. Dans ce cas-là le montage d'ostéosynthèse doit être laissé jusqu'à formation d'un cal osseux puis retiré.

En parallèle, un antibiogramme doit être réalisé afin d'initier une antibiothérapie raisonnée et limiter les risques d'aggravation de l'ostéomyélite d'une part et le risque de translocation bactérienne pouvant aboutir à un sepsis d'autre part.

Le laser a des effets bactéricides sur certaines bactéries (cf. chapitre sur le laser) et peut être utilisé en synergie avec les antibiotiques.

c. Les amputations d'un membre

Les amputations des membres sont particulièrement bien acceptées par les carnivores domestiques. Afin de limiter au maximum les contraintes sur le membre controlatéral non-amputé, il est recommandé de maintenir l'animal à une note d'état corporel de 4 sur 9. En plus de cela, une complémentation en chondroprotecteurs et en oméga 3 pourra être réalisée afin de réduire le développement de l'arthrose sur le membre controlatéral non-amputé.

L'objectif de la physiothérapie dans ce cas est de réadapter l'animal à avoir un nouveau centre de gravité à l'aide d'exercices de proprioception (planche de proprioception ou exercice au sol) et de renforcer la masse musculaire du membre controlatéral afin de limiter les lésions articulaires et de ralentir l'apparition d'arthrose.

Pour ce faire, des séances de nage ou de tapis de course immergé ainsi que des exercices de kinésithérapie peuvent être mis en place tels que : des « assis debout » (5-15 répétitions), des exercices de report de poids par balancement manuel ou à l'aide d'une planche de proprioception (5-10 minutes), de marche sur sol plat et incliné (pendant les promenades : 20 minutes BID-TID minimum), de montées et descentes d'escalier (1-3 répétitions).

Les séances en clinique seront limitées à 2 à 3 séances par semaines pendant les 2 premières semaines, à 2 séances par semaine les deux semaines suivantes et une séance par semaine pendant les 1-2 mois suivant. Les exercices de kinésithérapie peuvent être réalisés pendant le premier mois post-amputation BID à TID puis SID à BID.

Bien que les amputations soient bien acceptées, la démocratisation des imprimantes 3D a permis de rendre accessible la prothétique et la demande pour les prothèses est grandissante. Dans ces cas-là, la récupération de l'animal est très rapide et les exercices de physiothérapie généralement limité à des exercices de proprioception afin que l'animal apprenne à se servir de sa prothèse.

B. Affections articulaires

a. Prise en charge d'un patient arthrosique ou gériatrique

L'arthrose est une affection articulaire chronique, dégénérative, irréversible caractérisée anatomiquement par des lésions cartilagineuses avec production d'ostéophytes et cliniquement par des douleurs, des craquements, des déformations et une impotence. C'est une affection fréquente et très handicapante. Cette arthrose évolue en 4 stades : l'œdème cartilagineux, la fibrillation (démasquage du réseau collagénique), la fissuration (amincissement du cartilage et fissuration pouvant atteindre l'os sous-chondral) et l'éburnation (perte totale du cartilage avec mise à nu de la plaque osseuse sous-chondrale)

Puisque cette affection est irréversible, le traitement conservateur a pour objectif de limiter la progression des lésions et donc à espacer les crises arthrosiques.

Le traitement chirurgical (exérèse tête-col du fémur ou prothèse de hanche) devient une option dès lors que l'animal est réfractaire au traitement conservateur

Etape et objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
Pour tout chien en phase chronique : espacer le plus possible les crises, maintenir une masse musculaire suffisante pour protéger l'articulation, éviter les impacts et soutenir les articulations	<p>Cure d'AINS</p> <p>Injection intramusculaire d'acide hyaluronique</p> <p>Injection intra-articulaire de plasma riche en plaquette ou de cellules souches mésenchymateuses</p> <p>Laser (8-20 J/cm²) 1 séance par semaine à 1 séance toutes les 2 semaines</p> <p>Ondes de chocs extracorporelles (0.07-0.17 mJ/mm², 1000 pulsations) jusqu'à 1 séance tous les 2 mois</p> <p>Thermothérapie et mouvements articulaires/étirements passif avant chaque exercice intense (pendant 10-15 minutes)</p>	<p>Cure d'AINS d'une semaine tous les mois à tous les 2 mois afin de retarder l'apparition de la prochaine crise</p> <p>Supplémentation en oméga 3 et chondroprotecteurs, maintien de l'animal à son poids idéal (note d'état corporelle de 4 à 5 sur 9)</p> <p>Promenade de 20-40 minutes BID-TID (selon les capacités de l'animal)</p> <p>Deux-trois jours de repos par semaines</p> <p>Thermothérapie et mouvements articulaires/étirements passif le matin au levé et avant chaque exercice intense pendant 10-15 minutes</p>

	<p>Nage ou tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis augmenter la durée des séances jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle 1 à 2 fois par semaine.</p> <p>Ou marche rapide sur tapis de course +/- incliné 1 à 2 fois par semaine</p> <p>Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes</p>	<p>Kinésithérapie SID-BID (à moduler selon les capacités de l'animal) : (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massages décontracturant - Kinésithérapie mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (les pattes sur une planche de proprioception ou les antérieurs sur une Physioball) pendant 5-10 minutes - Cavaletti parcours de 6 obstacles pendant 10-15 répétitions - « Assis-debout » pendant 10-15 répétitions <p>Si possible : nage en eau calme 1-3 fois par semaine</p> <p>Cryothérapie après chaque séance et chaque effort intense pendant 15-20 minutes</p>
<p>Lors de crises arthrosiques : soulager l'inflammation et la douleur, stimuler l'activité cellulaire, limiter la fonte musculaire et la diminution de</p>	<p>AINS +/- Tramadol</p> <p>Mise au repos de l'animal</p>	<p>AINS +/- antidouleurs : Lors de crise cure de 3 semaines à dose dégressive à partir de 2 semaines pouvant être couplé à du tramadol ou de la gabapentine si douleur trop importante</p> <p>Repos (arrêt des exercices actifs)</p> <p>Sortie en laisse pendant 10-20 minutes BID-TID</p> <p>Cryothérapie en fin de balade si nécessaire</p>

<p>l'amplitude de mouvement lié à la diminution d'activité</p>	<p>Eventuellement : Laser (8-20 J/cm²) 2-3 séances par semaine jusqu'à 1 mois puis réduire la fréquence</p> <p>NMES pendant 15 minutes 2-7 fois par semaine pour limiter l'amyotrophie (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)</p>	<p>Si loué/acheté : NMES pendant 15 minutes 2-7 fois par semaine</p>
<p>Cas du chien amyotrophié</p>	<p>NMES 15 minutes par jour ou tous les 2 jours (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)</p> <p>Nage ou tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis augmenter la durée des séances jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle 2 à 3 fois par semaine.</p>	<p>Si loué/acheté : NMES pendant 15 minutes 2-7 fois par semaine</p> <p>Si possible (présence de point d'eau calme) : Nage pendant 5 minutes initialement puis augmenter graduellement jusqu'à 30 minutes jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)</p> <p>Augmenter la durée et la fréquence des balades de 10 à 20 minutes</p>
<p>Cas du chien ayant une bonne musculature souhaitant avoir des exercices d'intensités modérés (les exercices de fortes intensités et prolongés dans le temps étant déconseillés)</p>	<p>Nage ou tapis de course (jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle) 1 à 3 fois par semaines. Il est possible de rajouter des résistances supplémentaires tels qu'une longe élastique qui tire le chien en arrière ou un jet à contre-courants si la piscine ou le tapis de course immergés en sont équipés</p> <p>Ou marche rapide ou trot sur tapis de courses +/- incliné pendant 30-40 minutes (moins adapté que l'hydrothérapie)</p>	<p>« Assis-debout » pendant 10 à 15 répétitions BID</p> <p>Marche sur une pente inclinée ou montées d'escalier 2-5 répétitions SID</p> <p>Le trot et le jogging en laisse peuvent être réalisés mais seulement si la masse musculaire est suffisante et pendant 5 minutes initialement puis en augmentant petit à petit jusqu'à un maximum de 30-40 minutes</p>

b. La dysplasie de la hanche

La dysplasie de la hanche prise précocement se traite en protégeant l'articulation au maximum et en favorisant la prise de masse musculaire tout en gardant une note d'état corporel idéale.

Une fois qu'elle est clinique, elle se traite de la même façon que l'arthrose de la hanche (cf. points correspondant)

Etape et objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
<p><u>Pour tout chien en phase asymptomatique :</u> prévenir au maximum l'apparition d'arthrose : maintenir une masse musculaire suffisante pour protéger l'articulation, stimuler la régénération du cartilages</p>	<p>Maintien de l'animal à son poids idéal (note d'état corporel de 4 à 5 sur 9)</p> <p>Injection intramusculaire d'acide hyaluronique Injection intra-articulaire de plasma riche en plaquette ou de cellules souches mésenchymateuses</p> <p>Laser une fois par semaine à une fois toutes les 2 semaines Ondes de chocs extracorporelles 4-6 séances à raison de 1 séance par semaine</p>	<p>Maintien de l'animal à son poids idéal (note d'état corporel de 4 à 5 sur 9)</p> <p>Supplémentation en oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>Maintenir un bon niveau d'activité : Promenade en liberté pendant 1h-2h séparé en 2 à 3 sorties par jour Deux jours de repos par semaines</p> <p>Kinésithérapie SID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) - Cavaletti parcours de 6 obstacles pendant 10-15 répétitions - « Assis-debout » pendant 10-15 répétitions

	<p>Nage ou tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis augmenter la durée des séances jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle 1-3 fois par semaine.</p> <p>Ou marche rapide sur tapis de course +/- incliné 1-2 fois par semaine</p> <p>Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes</p>	<p>Si possible : nage 1-3 fois par semaine</p> <p>Cryothérapie après chaque effort intense pendant 15-20 minutes</p>
Cas du chien amyotrophié	<p>NMES 15 minutes 2-3 fois par semaine (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)</p> <p>Nage ou tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis augmenter la durée des séances jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle 2 à 3 fois par semaine.</p>	<p>Si loué/acheté : NMES 15 minutes 3-7 fois par semaine</p> <p>Si possible (présence de point d'eau calme) : Nage pendant 5 minutes initialement puis augmenter graduellement jusqu'à 30 minutes jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)</p>
Cas du chien ayant une bonne musculature souhaitant avoir des exercices d'intensité modérés (les exercices de fortes intensités et prolongés dans le temps étant déconseillé)	<p>Nage ou tapis de course (jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle) 1 à 3 fois par semaines. Il est possible de rajouter des résistances supplémentaires tels qu'une longe élastique qui tire le chien en arrière ou un jet à contre-courants si la piscine ou le tapis de course immergés en sont équipés</p> <p>Ou marche rapide ou trot sur tapis de courses +/- incliné pendant 30-40 minutes (moins adapté que l'hydrothérapie)</p>	<p>Nage jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)</p> <p>« Assis-debout » pendant 10 à 15 répétitions BID</p> <p>Marche sur une pente inclinée ou montées d'escalier 2-3 répétitions SID</p>

		<p>Le trot et le jogging en laisse peuvent être réalisés mais uniquement si la masse musculaire est suffisante et pendant 5 minutes initialement puis en augmentant petit à petit jusqu'à un maximum de 40-60 minutes</p> <p>Cryothérapie après chaque jogging ou autre effort intense pendant 15-20 minutes</p>
Lors de crises arthrosiques	<p>AINS +/- Tramadol</p> <p>Eventuellement : Laser (8-20 J/cm²) 2-3 séances par semaine jusqu'à 1 mois puis réduire la fréquence</p> <p>Mise au repos de l'animal</p> <p>NMES pendant 15 minutes 2-7 fois par semaine pour limiter l'amyotrophie (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)</p>	<p>AINS +/- antidouleurs : Lors de crise cure de 3 semaines à dose dégressive à partir de 2 semaines pouvant être couplé à du tramadol ou de la gabapentine si douleur trop importante</p> <p>Repos (arrêt des exercices actifs) Sortie en laisse pendant 10-20 minutes BID-TID Cryothérapie en fin de balade si nécessaire</p> <p>Si loué/acheté : NMES pendant</p>

c. La dysplasie du coude : traitement conservateur (Non-union du processus anconé/Ostéochondrose disséquante de la lèvre médiale de la trochlée/Fragmentation du processus coronoïde)

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
Phase aiguë inflammatoire Les deux premières semaines	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien des articulations</p> <p>Réduire l'inflammation et gérer la douleur</p> <p>Favoriser la régénération tissulaire</p> <p>Prévenir la fonte musculaire</p> <p>Prévenir les contractures articulaires</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS pendant la durée nécessaire</p> <p>Laser 2-3 séances (8-20 J/cm²) par semaine (effet antalgique et effet cellulaire)</p> <p>Kinésithérapie SID-BID :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs des membres antérieurs pendant 10-15 répétitions par articulation sur le(s) antérieur(s) atteint(s) - Massage drainant et décontracturant - Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 2 à 4 semaines <p>Tapis de course immergé au pas initialement pendant 5-10 minutes puis augmenter progressivement la vitesse et la durée jusqu'à atteindre 20-30 minutes 2-3 séances par semaines</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS pendant la durée nécessaire</p> <p>Repos</p> <p>Sortie hygiénique (5-10min) en laisse</p> <p>Kinésithérapie SID-BID :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs des membres antérieurs pendant 10-15 répétitions par articulation sur le(s) antérieur(s) atteint(s) - Massage drainant et décontracturant - Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 2 à 4 semaines

<p>De 2 à 6 semaines</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Continuer à stimuler la régénération tissulaire</p> <p>Reprendre graduellement les activités</p> <p>Maintenir une bonne masse musculaire</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Laser (8-20 J/cm²) 1-2 séances par semaine (effet antalgique et effet cellulaire) Ondes de chocs (0.07-0.17 mJ/mm², 1000 pulsations) 1 séance à la deuxième semaine et une autre à la sixième semaine</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Reprise progressive de l'activité : Sortie en laisse longue Allongement des sorties à raisons de 5 minutes supplémentaires par semaines jusqu'à reprise d'une activité normale sans apparition de boiterie Descentes d'escalier 1-4 répétitions</p> <p>Kinésithérapie SID-BID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si persistance d'une raideur : Thermothérapie pendant 10-15 minutes avant la séance et massage décontracturant pendant 5 minutes - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs des membres antérieurs pendant 10-15 répétitions par articulation sur le(s) antérieur(s) atteint(s) - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball)
---------------------------------	--	--	---

		<p>Hydrothérapie : 2 séances par semaines</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cavaletti parcours de 6 obstacles pendant 10-15 répétitions en commençant avec des obstacles bas puis de plus en plus haut - « Assis-debout » pendant 10-15 répétitions - Slalom 5-20 répétitions en commençant avec des barres espacées et doucement puis en les rapprochant et en accélérant ou marche en cercle en dessinant des « 8 » d'abord large puis de plus en plus serré. - Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 2 à 4 semaines <p>Nage 2-3 fois par semaine si possible</p>
--	--	---	--

d. Les OCD : exemple de prise en charge post-arthroscopie lors de dysplasie coude

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase préopératoire	Diète si surpoids Soutien des articulations Réduire l'inflammation à la douleur		Diète si surpoids Repos Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs Sortie hygiénique (5 minutes) en laisse Cryothérapie AINS +/- tramadol	Le plus tôt possible après le diagnostic initial afin d'empêcher l'évolution de la dégénérescence articulaire
Phase post opératoire immédiate boiterie avec appui (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	Diète si surpoids Soutien des articulations Gérer de la douleur de l'inflammation et de l'œdème	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- opioïde Laser (8-20 J/cm ²) 2-3 séances par semaine	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- Tramadol Repos strict Sortie hygiénique (5 minutes) en laisse assistée à l'aide d'une serviette ou d'un harnais de soutien passé sous l'abdomen	Peu de douleur au repos Cicatrice propre et non œdématisée Bons appuis sur son membre opéré Amplitude de mouvement de 80-100° en flexion, de 135-150° en extension

	Maintenir de la masse musculaire Augmenter de l'amplitude de mouvement	Kinésithérapie BID-TID (si hospitalisé) - Massages superficiels - Mouvement passif d'extension et de flexion de toutes les articulations du membre opéré - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance	Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) - Massages superficiels - Mouvement passif d'extension et de flexion de toutes les articulations du membre opéré - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance	
Phase : appui correct sur le membre opéré à la marche De j2/j3 à 2 semaines post op	Diète si surpoids Soutien des articulations Continuer de gérer la douleur Obtenir une amplitude de mouvement subnormale Encourager les appuis sur le membre boiteux	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- opioïde Laser (8-20 J/cm ²) 1-2 séances par semaine	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- opioïde Sortie en laisse limités à 5-15 minutes BID-TID Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Thermothérapie pendant 10-15minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages superficiels 5 minutes - Mobilisations/étirements passif d'extension et de flexion de toutes les articulations du membre opéré pendant 10-15 répétitions	Lorsque l'animal prend appui sur son membre opéré Amplitude de mouvement de 60-80° en flexion, de 140-155° en extension

			<ul style="list-style-type: none"> - Exercices proprioceptifs : bascule du poids d'un membre antérieur sur l'autre (au sol ou les pattes antérieures sur une planche de proprioception ou une physioball) - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance 	
		NMES pendant 15 minutes 3-7 fois par semaines (possibilité de louer un électrostimulateur pour réaliser les séances à domicile)	Si loué/acheté : NMES pendant 15 minutes 3-7 fois par semaines	
Phase : Marche subnormal De 2 à 8 semaines	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Stimuler l'activité cellulaire</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS +/- opioïde</p> <p>Laser (8-20 J/cm²) 1-2 séances par semaine pendant 2 semaines puis une séance par semaine pendant le dernier mois</p> <p>Onde de choc (0.07-0.17 mJ/mm², 1000 pulsations) une séance la 2^e semaine et une autre la 6^e semaine</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Reprise très progressive de l'activité : Sortie en longe TID Allongement des sorties à raisons de 5 minutes supplémentaires par semaines jusqu'à reprise d'une activité normale sans apparition de boiterie</p>	<p>Appui du membre opéré même au trot Pas de douleur après les séances Amplitude de mouvement subnormale</p>

	<p>Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance Maintenir une amplitude de mouvement normale Correction de la démarche (symétrie)</p>	<p>Tapis de course immergé initialement pendant 5-10minutes puis jusqu'à 15-30 minutes ou nage en bassin 2 séances par semaine pendant 2 semaines puis 1-2 séances par semaine pendant le dernier mois</p>	<p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10-15minutes - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs des membres antérieurs pendant 10-15 répétitions par articulation sur le(s) antérieur(s) atteint(s) - Exercice de proprioception sur ballon pendant 5-10 minutes - Cavaletti 6 obstacles, 5-20 répétitions en commençant avec des obstacles bas puis de plus en plus haut - Slalom 5-20 répétitions en commençant avec des barres espacées et doucement puis en les rapprochant et en accélérant ou marche en cercle en dessinant des « 8 » d'abord large puis de plus en plus serré. - Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 2 à 4 semaines <p>Nage deux à trois fois par semaines (en remplacement des séances d'hydrothérapie)</p>	
--	---	--	---	--

		Si atrophie marquée : NMES pendant 15 minutes 2-3 fois par semaines (possibilité de louer un électrostimulateur pour réaliser les séances à domicile)	Si acheté/loué : NMES pendant 15 minutes 3-7 fois par semaines En cas de persistance de la boiterie reprendre les promenades <u>en laisse</u> pendant 15-20 minutes TID-QID	
--	--	---	--	--

e. Les luxations (Rotules, Hanches)

En cas de prise en charge précoce, la luxation peut être réduite et immobilisée à l'aide d'un bandage de Ehmer pendant 1 à 3 semaines. Le bandage d'Ehmer a pour objectif de bloquer la tête fémorale dans l'acétabulum et de soustraire l'appui sur le membre afin de permettre une cicatrisation de la capsule articulaire.

En cas d'échec de la cicatrisation sous bandage d'Ehmer ou de prise en charge tardive de la luxation une réduction chirurgicale est indiquées. Un nouveau bandage d'Ehmer est réalisé pendant 1 à 3 semaines afin de soustraire l'appui. Des AINS sont administrés pendant 3 à 5 jours suivant l'opération. Ils sont associés à de la cryothérapie BID-TID afin de limiter l'inflammation et le risque d'œdème

La rééducation est initiée après le retrait du bandage d'Ehmer. L'amplitude de mouvement et la masse musculaire doivent être restaurées sans causer une nouvelle luxation. Les exercices choisis pour restaurer l'amplitude de mouvement sont donc préférentiellement des massages de type pétrissages afin de délier les adhérences, des exercices de mobilisation et d'étirements passifs précédés de 10-15 minutes de thérapie. Pour ce qui est du renforcement musculaire l'électrostimulation ou l'hydrothérapie sont des exercices de choix car ils permettent de remuscler le membre luxé tout en diminuant au maximum le stress sur la capsule articulaire.

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase suivant la réduction fermée de la luxation et l'immobilisation totale (environ 2 semaines) Jusqu'à 2 semaines post-immobilisation (4 semaines post-réduction)	Diète si surpoids Soutien de l'articulation Gestion de la douleur Stimuler l'activité cellulaire	Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3 AINS ou autres analgésiques si nécessaire Laser (8-20 J/cm ²) au niveau de la hanche 2-3 séances par semaine Sortie hygiénique en laisse (5min) TID	Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3 AINS ou autres analgésiques si nécessaire Repos strict Sortie hygiénique en laisse (5min) TID	Appui sur le membre affecté au pas Maintien de la réduction Amplitude de mouvement de la hanche <60° en flexion et >130-140° en extension

	<p>Maintenir la luxation réduite en effectuant des exercices de faible intensité</p> <p>Augmenter la masse musculaire et l'amplitude de mouvement</p>	<p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de laser ou de NMES :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10 minutes couplée à des ultrasons en mode continu à 1 MHz, 1.5 W/cm² pendant 8 minutes sur l'articulation de la hanche et les muscles de la cuisse - Massage des muscles entourant l'articulation de la hanche (muscle de la cuisse et de la région lombosacrée) - Exercices doux et lents de mobilisation passive de la hanche sans réaliser de mouvements d'abduction ou d'adduction, 10-15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre au sol - Cryothérapie si nécessaire pendant 15-20 minutes <p>NMES pendant 15 minutes sur les muscles de la cuisses 3-7 (possibilité de louer un électrostimulateur pour réaliser les séances à domicile)</p>	<p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10 minutes sur l'articulation de la hanche et les muscles de la cuisse - Massage des muscles entourant l'articulation de la hanche (muscle de la cuisse et de la région lombosacrée) - Exercices doux et lents de mobilisation passive de la hanche sans réaliser de mouvements d'abduction ou d'adduction, 10-15 répétitions - Exercices doux de report de poids d'un postérieur sur l'autre au sol - Cryothérapie si nécessaire pendant 15-20 minutes <p>Si loué/acheté : NMES pendant 15 minutes sur les muscles de la cuisses SID</p>	
<p>Phase : appui consistant sur le membre atteint à la marche</p> <p>Jusqu'à 6 semaines post-immobilisation</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien de l'articulation</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS ou autres analgésiques si nécessaire</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS ou autres analgésiques si nécessaire</p>	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice simple</p> <p>Appui sur le membre affecté au trot</p>

<p>(8 semaines post-réduction)</p>	<p>Stimuler l'activité cellulaire</p> <p>Encourager les appuis sur le membre boíteux</p> <p>Augmenter la masse musculaire et l'amplitude de mouvement</p>	<p>Laser (8-20 J/cm²) au niveau de la hanche au besoin</p> <p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de laser ou de NMES :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10 minutes pouvant être couplée à des ultrasons si nécessaire en mode continu à 1 MHz, 1.5 W/cm² pendant 8 minutes sur l'articulation de la hanche et les muscles de la cuisse - Exercices de mobilisation/étirement passif de la hanche, 10-15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre au sol - « Assis-debout » pendant 5-10 répétitions - Cavaletti pendant 5-10 répétitions <p>Si amyotrophie toujours marquées : NMES pendant 15 minutes sur les muscles de la cuisses 3-7 (possibilité de louer un électrostimulateur pour réaliser les séances à domicile)</p>	<p>Marche en laisse pendant 15-20 minutes BID-TID</p> <p>Montées de plan incliné peu pentu ou d'escalier pendant 1-2 répétitions SID-BID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10 minutes sur l'articulation de la hanche et les muscles de la cuisse - Exercices de mobilisation/étirement passif de la hanche, 10-15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre au sol - « Assis-debout » pendant 5-10 répétitions - Cavaletti pendant 5-10 répétitions <p>Si loué/acheté : NMES pendant 15 minutes sur les muscles de la cuisses SID</p>	<p>Maintien de la réduction</p> <p>Amplitude de mouvement de la hanche 50-55° en flexion et 140-150° en extension</p>
---	---	--	--	---

		Tapis de course immergé au pas initialement pendant 5-10minutes puis jusqu'à 20-30 minutes	Si possible (présence de point d'eau calme) : Nage pendant 5 minutes initialement puis augmenter graduellement jusqu'à 30 minutes jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)	
Phase : appui consistant sur le membre atteint au trot Jusqu'à 10 semaines post-immobilisation (12 semaines post-réduction)	Diète si surpoids Soutien de l'articulation Stimuler l'activité cellulaire Corriger la démarche Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS ou autres analgésiques si nécessaire Laser (8-20 J/cm ²) au niveau de la hanche au besoin	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- Tramadol si nécessaire Marche en laisse pendant 20-30 minutes BID-TID et encourager l'extension de l'articulation de la hanche en marchant sur des dénivelés positifs Joggings possible si introduit très graduellement (initialement 5 minutes) Montées d'escalier 2-5 répétitions SID Kinésithérapie SID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Thermothérapie si nécessaire en début de séance pendant 10-15 minutes - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions	

		<p>Tapis de course immergé au pas puis au trot 20-30 minutes Ou marche sur tapis de course incliné pendant 10-15 minutes deux à trois fois par semaines</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) - « Assis-debout » pendant 10-20 répétitions - Cavaletti 10-20 répétitions - Passage dans un tunnel (type agility) ou « limbo » 5-10 répétitions - Slalom 5-10 répétitions avec 6-8 obstacles (réduire la distance et augmenter la vitesse petit à petit) <p>Si possible (présence de point d'eau calme) : Nage jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)</p>	
--	--	--	--	--

f. Maladie de Legg-Calvé-Perthes ou nécrose aseptique de la tête fémorale

La maladie de Legg-Calvé-Perthes est une affection juvénile (chien de moins de 1 an) qui est à l'origine d'une nécrose, aseptique, progressive de la tête fémorale. Elle est causée par un défaut de vascularisation. Elle engendre une déformation de la tête fémorale déformant et fissurant le cartilage adjacent. Ceci entraîne une inflammation et une arthrose de l'articulation coxo-fémorale la rendant douloureuse.

Si cette affection est prise tardivement et les lésions trop sévères, le traitement de choix est chirurgical : c'est la résection de la tête et du col du fémur. Dans ce cas un protocole de physiothérapie pourra être mis en place afin de permettre une bonne récupération post-chirurgicale.

Si elle est prise précocement et que la tête fémorale est encore bien congruente et non déformée, un traitement conservateur physiothérapeutique peut être initié afin de retarder voire de stopper la progression des lésions selon le protocole suivant :

Protocole en clinique	Protocole à domicile
<p>Contrôle radiographique mensuel jusqu'à guérison (4 à 6 mois habituellement). Si les lésions s'aggravent l'exérèse tête-col devient nécessaire.</p> <p>Diète si surpoids Supplémentation en oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS aux besoins</p> <p>Laser (8-20 J/cm²) une à trois fois par semaine Ondes de chocs extracorporelles (0.44-0.62 mJ/mm², 4000-6000 pulsations) jusqu'à 1 fois tous les 2 mois</p> <p>Kinésithérapie 2 à 3 fois par semaines minimum (peut être réalisé à domicile une fois les exercices montrés) : <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10-15 minutes - Massages décontracturants et fibrinolytiques - Kinésithérapie mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de toutes les articulations du membre atteint pendant 10 à 15 répétitions </p> <p>NMES pendant 15 minutes 2 fois par semaine pour limiter l'amyotrophie (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)</p> <p>4 semaines après le début de la prise en charge : Nage ou tapis de course immergé initialement au pas pendant 5-10 minutes puis augmenter la durée et la vitesse des séances jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle 1 à 3 fois par semaine</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS aux besoins</p> <p>Immobilisation pendant 3 à 6 mois : <ul style="list-style-type: none"> - Bandage d'Ehmer (obligatoirement couplé à des exercices de mobilisations/étirements passifs 2-7 fois par semaine) - OU Repos strict si affection bilatéral ou si le bandage d'Ehmer n'est pas supporté Sortie hygiénique réduite en laisse</p> <p>Kinésithérapie 2 à 3 fois par semaines minimum (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10-15 minutes - Massages décontracturants et fibrinolytiques - Kinésithérapie mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de toutes les articulations du membre atteint pendant 10 à 15 répétitions </p> <p>Si loué/acheté : NMES 3-7 séance par semaine</p>

g. Les arthrodèses

Cette opération chirurgicale consiste à verrouiller à l'aide d'un moyen de coaptation (généralement une plaque) l'articulation en position physiologique de repos afin de permettre la cicatrisation d'une lésions osseuse articulaire non stabilisable sans bloquer l'articulation. La période de repos est généralement de 6 à 8 semaines le temps que des signes radiographiques de fusion de l'articulation soit observés.

Le montage chirurgical créer le plus souvent une inflammation et un œdème très important les premiers jours qui peuvent être limités avec des séances de 15-20 minutes de cryothérapie TID pendant 3 à 5 jours. Durant la phase de fusion osseuse les articulations de part et d'autre de l'arthrodèse peuvent être mobilisées et étirées passivement SID/TID afin de limiter les contractures articulaires et musculaires ainsi qu'une éventuelle fibrose. La stimulation électrique peut être un très bon moyen de limiter la fonte musculaire lors de la période de repos à raison de 2 à 7 séances par semaine tout au long de l'immobilisation.

Par la suite afin de continuer la prise de masse des séances d'exercices tel que de la marche en laisse sur sol plat, sol incliné, des montées et descentes d'escalier et des exercices de marche « en danseuse » ou « en brouette » peuvent être proposés.

En cas de contractures ou de raideurs importantes une séance en clinique débutée par des massages décontracturants puis de la thérapie superficielle couplée à des ultrasons en mode continu suivi d'étirements passifs des articulations atteintes peut être recommandé.

h. Symphysiodèse pubienne juvénile

La chirurgie de symphysiodèse pubienne juvénile est une chirurgie très peu invasive réalisée sur des chiots âgés de 12 à 20 semaines (et de préférence avant 16 semaines) présentant des signes cliniques et radiographiques de dysplasie de la hanche basé sur l'évaluation de l'indice de distraction (ID) de l'articulation. Si l'ID est compris entre 0.30 et 0.70 la chirurgie est envisageable au-delà de ces valeurs on considère que la chirurgie ne sera pas bénéfique.

Etant une chirurgie très peu invasive, le protocole de rééducation est très similaire au protocole de rééducation du chien dysplasique de la hanche jusqu'à réévaluation radiographique de la croissance osseuse. Si une fois la croissance osseuse terminée l'animal présente un recouvrement de la tête fémoral par l'acétabulum satisfaisant (angle de Norberg-Olsson supérieur à 105°) il peut être considéré comme « sain ». Cependant si le recouvrement est insuffisant la prise en charge sera la même que celle d'un chien dysplasique. (cf. point correspondant)

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
Phase post opératoire immédiate (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien des articulations</p> <p>Réduire l'inflammation et la douleur</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3</p> <p>AINS +/- Opioïdes</p> <p>Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID</p> <p>Laser (4-20 J/cm²) en post opératoire immédiat</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3</p> <p>AINS +/- tramadol</p> <p>Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID</p> <p>Repos, sortie en laisse courte (10-15 minutes) TID</p> <p>Kinésithérapie (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage des muscles entourant l'articulation de la hanche (muscle de la cuisse et de la région lombosacré) - Exercices doux et lents de mobilisation passive de la pseudo-articulation de la hanche - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception)

<p>Phase : jusqu'à la fin de sa croissance osseuse</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien des articulations</p> <p>Continuer de gérer la douleur</p> <p>Favoriser un bon développement musculaire</p>	<p>Maintien de l'animal à son poids idéal (note d'état corporelle de 4 à 5 sur 9)</p> <p>Supplémentation en oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS +/- Opioides si nécessaire</p> <p>Nage ou tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis augmenter la durée des séances jusqu'à 30-40 minutes en fonction de la tolérance individuelle 1-2 fois par semaine.</p> <p>Ou marche rapide sur tapis de course +/- incliné 1-2 fois par semaine</p> <p>Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes</p>	<p>Maintien de l'animal à son poids idéal (note d'état corporelle de 4 à 5 sur 9)</p> <p>Supplémentation en oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>Maintenir un bon niveau d'activité tout en évitant les efforts intenses ou les chocs sur l'articulation de la hanche : Promenade en liberté pendant 1h-2h séparé en 2 à 3 sorties par jour</p> <p>Kinésithérapie SID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) pendant 10 minutes - Cavaletti parcours de 6 obstacles pendant 10-15 répétitions ou marche en hautes herbes - « Assis-debout » pendant 10-15 répétitions <p>Si des contractures sont observées : Massage des muscles entourant l'articulation de la hanche (muscle de la cuisse et de la région lombosacré)</p> <p>Si possible : nage 1-3 fois par semaine</p> <p>Cryothérapie après chaque effort intense pendant 15-20 minutes</p>
---	---	---	--

i. Triple ostéotomie du bassin

Contrairement à la symphysiodèse pubienne juvénile, la triple ostéotomie du bassin est une chirurgie invasive réalisée sur des chiots âgés de 5 à 10 mois (idéalement 5-6 mois) présentant des signes cliniques et radiographiques de dysplasie de la hanche basés sur l'évaluation de l'indice de distraction (ID) de l'articulation et ne présentant pas encore de lésions arthrosiques. Si l'ID est compris entre 0.30 et 0.70 la chirurgie est envisageable au-delà de ces valeurs on considère que la chirurgie ne sera pas bénéfique.

La prise en charge post-opératoire sera par conséquent plus lourde que celle de la symphysiodèse pubienne. En revanche si la chirurgie est une réussite et qu'il n'existe pas de lésion arthrosique le chien pourra retrouver une activité normale. S'il est trop tard pour opérer l'une des deux hanches (qui présente trop de remaniements osseux) mais que la deuxième est opérable il peut être intéressant de réaliser la chirurgie afin de minimiser la dégénérescence articulaire à long terme et augmenter le confort de vie général de l'animal. Il est cependant recommandé dans ce cas de prendre en charge le chien comme un chien dysplasique. (cf. point correspondant)

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
Phase post opératoire immédiate (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	<p>Gérer la douleur de l'inflammation et de l'œdème</p> <p>Stimuler l'activité cellulaire</p>	<p>AINS +/- opioïde Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 3 jours</p> <p>Laser (8-20 J/cm²) ou ultrason pulsé (1.5MHz, 200µs 30mW/cm²) 1 séance par jour à une séance tous les 2 jours</p> <p>Repos strict Sortie hygiénique en laisse de 5 minutes BID-TID Marche lente en laisse (si besoin : assistée à l'aide d'une serviette ou d'un harnais de soutien passé sous l'abdomen)</p>	<p><u>Il est préférable de garder l'animal hospitalisé sous surveillance</u></p> <p>Si retour à domicile :</p> <p>AINS +/- Tramadol Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 3-5 jours</p> <p>Repos strict Sortie hygiénique en laisse de 5 minutes BID-TID Marche lente en laisse (si besoin : assistée à l'aide d'une serviette ou d'un harnais de soutien passé sous l'abdomen)</p>

	Maintenir de la masse musculaire	Possibilité de limiter l'amyotrophie s'il ne se sert pas du tout du membre : NMES à faible intensité de part et d'autre du foyer de fracture pendant 15 minutes à l'occasion d'une séance de laser/ultrason ou d'ondes de choc	
Phase : retour à la marche et amélioration de la boiterie avec appui De j2/j3 à 2 semaines post op	Continuer de gérer la douleur Stimuler l'activité cellulaire Maintenir une amplitude de mouvement subnormale Encourager les appuis sur le membre boiteux	AINS +/- Tramadol au besoin Laser (8-20 J/cm ²) ou ultrason pulsé (1.5MHz, 200µs 30mW/cm ²) 1-2 séances par semaine pendant 2 semaines	AINS +/- Tramadol au besoin Marche lente en laisse pendant 5 minutes TID Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Thermothérapie avant les séances de rééducation (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages décontracturants avant et/ou après les exercices - Kinésithérapie mouvement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou - Exercice de report de poids par balancement manuel ou à l'aide d'une planche de proprioception - Cryothérapie pendant 15-20 minutes après les séances

<p>Phase : Appui correcte et démarche subnormal à la marche De 2 à 8 semaines</p>	<p>Stimuler l'activité cellulaire</p> <p>Maintenir une amplitude de mouvement normale</p> <p>Corriger la démarche (symétrie)</p> <p>Renforcer la masse musculaire et améliorer l'endurance</p>	<p>Laser (8-20 J/cm²) 1 séance par semaine</p> <p>Kinésithérapie avant une séance d'onde de choc ou de laser :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage décontracturant si nécessaire - Thermothérapie avant la séance si nécessaire - Mobilisation/étirements passifs d'extension et de flexion de l'articulation du genou - Exercice de proprioception sur physioball - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement - « Assis-debout » 5-10 répétitions BID - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance si nécessaire <p>En cas d'amyotrophie et de persistance d'une boiterie sans appui :</p> <ul style="list-style-type: none"> - NMES pendant 10-15 minutes 2 fois par semaine (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile jusqu'à 7 fois par semaine) - Possibilité d'ajouter un lesté sur le membre opéré afin de favoriser la prise de masse musculaire sur ce dernier 	<p>Sortie en laisse de plus en plus longue (augmenter de 5 minutes par semaine)</p> <p>Kinésithérapie SID-BID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage décontracturant si nécessaire - Thermothérapie avant la séance si nécessaire - Mobilisation/étirements passifs d'extension et de flexion de l'articulation du genou - Exercice de proprioception sur physioball - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement - « Assis-debout » 5-10 répétitions BID - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance si nécessaire <p>4 à 6 semaines après la chirurgie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montées de plan incliné pendant 5 minutes ou montées d'escalier (1 à 2 et monter jusqu'à 5 répétitions) SID - Trot en laisse pendant 2 à 5 minutes quotidiennement SID
--	--	--	---

		Si bonne cicatrisation cutanée : Tapis de course immergé initialement pendant 5-10 minutes puis jusqu'à 15-30 minutes ou nage en bassin 1-2 séances par semaine.	Si possible : Nage 1-3 fois par semaine (en remplacement des séances d'hydrothérapie)
Phase : amélioration de la boiterie et de la symétrie des foulés à la marche et au trot De 8 semaines à guérison complète	Renforcer la masse musculaire et améliorer l'endurance	Hydrothérapie 20-30 minutes à cadence rapide 1 fois par semaine Tapis de course +/- incliné avec un lesté sur le membre opéré	Kinésithérapie (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : <ul style="list-style-type: none"> - « Assis-debout » 15-20 BID - Cavaletti 15 à 20 répétitions BID augmenter graduellement - Montées de plan incliné pendant 5 minutes (tapis de course incliné ou pente), ou montées d'escalier - Trot pendant 5-10minutes BID et monter jusqu'à 15-25 minutes TID s'il n'y a pas d'aggravation de la boiterie et de la douleur après les séances - Joggings au trot d'une 30aine de minutes 2 fois par semaine Nage 1-2 fois par semaine (en remplacement des séances d'hydrothérapie)

j. Exérèse de la tête et du col du fémur

Cette chirurgie est réalisée lorsqu'il n'est plus possible de conserver l'articulation du fait des douleurs liées à sa déformation et son inflammation. Les pathologies concernées sont une arthrose ne répondant plus aux traitements médicamenteux, une nécrose aseptique de la tête fémorale, une luxation ne pouvant être réduite manuellement, un traumatisme grave de l'acétabulum ou de la tête fémorale

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase post opératoire immédiate boiterie sans appui (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	Diète si surpoids Soutien des articulations Réduire l'inflammation et la douleur	Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations) AINS +/- Opioides TENS pendant 15-20 minutes SID-TID Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID Laser (1-4 J/cm ²) SID Sortie hygiénique assistée à l'aide d'un harnais de soutien des postérieurs ou une serviette passée sous l'abdomen (5min) en laisse TID	<u>Il est préférable de garder l'animal hospitalisé sous surveillance</u> Si retour à domicile : Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations) AINS +/- tramadol Repos strict, sortie hygiénique Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID Sortie hygiénique assistée à l'aide d'un harnais de soutien des postérieurs ou une serviette passée sous l'abdomen (5min) en laisse TID	Pas de douleur au repos Cicatrice cutanée propre et diminution de l'œdème Appui sur le membre opéré

		<p>Kinésithérapie BID-TID :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage des muscles entourant l'articulation de la hanche (muscle de la cuisse et de la région lombosacrée) - Exercices doux et lents de mobilisation passive de la pseudo-articulation de la hanche - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) 	<p>Kinésithérapie (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage des muscles entourant l'articulation de la hanche (muscle de la cuisse et de la région lombosacrée) - Exercices doux et lents de mobilisation passive de la pseudo-articulation de la hanche - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) 	
<p>Phase : retour à la marche et boiterie avec appui De j2/j3 à 2 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Continuer de gérer la douleur</p> <p>Limiter les contractures musculaires Encourager les appuis sur le membre boíteux</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- opioïde si nécessaire Laser (8-20 J/cm²) au besoin</p> <p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de laser ou si persistance de la boiterie sans appui et raideur : Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes pouvant être couplée à des ultrasons en mode continu à 1 MHz, 1.5 W/cm² pendant 8 minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème)</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- Tramadol si nécessaire</p> <p>Marche en laisse pendant 5-10 minutes (si besoin assisté à l'aide d'un harnais de soutien des postérieurs ou une serviette passée sous l'abdomen)</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) 	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice simple Cicatrisation cutanée complète Appui soutenu sur le membre opéré</p>

		<ul style="list-style-type: none"> - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie en fin de séance (15-20 minutes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie en fin de séance (15-20 minutes) 	
<p>Phase : appui soutenu sur le membre opéré à la marche De 2 à 4 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- opioïde si nécessaire Laser (8-20 J/cm²) au besoin</p> <p>Kinésithérapie si nécessaire à l'occasion d'une séance d'hydrothérapie ou de tapis de course :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10-15 minutes si nécessaire (couplée à des ultrasons en mode continu pendant 4-8 minutes si perte d'extensibilité) - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées 	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- Tramadol si nécessaire Marche en laisse pendant 10-15 minutes BID-TID et encourager l'extension de l'articulation de la hanche en marchant sur des dénivelés positifs de faible degré Montées d'escalier 1-2 répétitions SID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées 	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice simple Appui soutenu sur le membre opéré à la marche Appui partiel au trot</p>

	<p>Corriger la démarche</p> <p>Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) - Exercice en danseuse (encourager l'appui sur les deux postérieurs) pendant 5 minutes si bien toléré - « Assis-debout » pendant 5-10 répétitions - Cavaletti 5 à 10 répétitions - Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes <p>Tapis de course immergé initialement au pas pendant 5-10 minutes puis jusqu'à 15-30 minutes en augmentant la vitesse ou nage en bassin deux à trois fois par semaines</p> <p>Ou marche sur tapis de course incliné pendant 10-15 minutes deux à trois fois par semaines</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) - Exercice en danseuse (encourager l'appui sur les deux postérieurs) pendant 5 minutes si bien toléré - « Assis-debout » pendant 5-10 répétitions - Cavaletti 5 à 10 répétitions - Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes 	
<p>Phase : appui soutenu sur le membre opéré au trot</p> <p>De 4 à 8 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien des articulations</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS si nécessaire</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS si nécessaire</p>	<p>Peu de douleurs lors de réalisation d'exercice modéré à soutenu</p>

	<p>Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance</p>	<p>Tapis de course immergé jusqu'à 15-30 minutes ou nage en bassin deux à trois fois par semaines Ou marche sur tapis de course incliné pendant 15-20 minutes deux à trois fois par semaines</p>	<p>Marche en laisse pendant 20-30 minutes BID-TID et encourager l'extension de l'articulation de la hanche en marchant sur des dénivelés positifs Montées d'escalier 2-4 répétitions SID</p> <p>Kinésithérapie SID-BID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie si nécessaire en début de séance pendant 10-15 minutes - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercice en danseuse (encourager l'appui sur les deux postérieurs) pendant 5 minutes si bien toléré - « assis-debout » pendant 10-20 répétitions - Cryothérapie si nécessaire en fin de séance pendant 15-20 minutes <p>Nage si possible 2-3 fois par semaine Jeu de balle/ frisbee contrôlé</p>	<p>Appui soutenu sur le membre opéré au trot</p>
--	---	--	---	--

<p>Phase d'absence de boiterie Plus de 8 semaines post-opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Maintien d'une masse musculaire suffisante pour soutenir la pseudo-articulation de la hanche</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>Hydrothérapie si désiré</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS par cure si nécessaire</p> <p>Sortie de 20-30 minutes si possible sur sol plus ou moins pentu BID-TID Jeu de balle/ frisbee contrôlé</p> <p>Joggings initialement pendant 5 minutes puis augmenter jusqu'à atteindre une durée de 20-30 minutes, 2 à 3 fois par semaines</p> <p>Montées d'escalier le nombre de répétitions tolérées SID Exercice en danseuse (encourager l'appui sur les deux postérieurs) pendant 10 minutes SID « Assis-debout » pendant 20-30 répétitions SID</p> <p>Nage 2-3 fois par minutes</p>	
--	--	---	---	--

k. Prothèse totale de hanche

De la même façon que pour l'exérèse de la tête et du col du fémur cette chirurgie est réalisée lorsqu'il n'est plus possible de conserver l'articulation du fait des douleurs liées à sa déformation et son inflammation. Les pathologies concernées sont : une arthrose ne répondant plus aux traitements médicamenteux, une nécrose aseptique de la tête fémorale, une luxation ne pouvant être réduite manuellement, un traumatisme grave de l'acétabulum ou de la tête fémorale.

Contrairement à l'exérèse, la prothèse est mieux supportée sur des chiens de grandes race (>25 kg) et sur des chiens ayant une activité sportive. En général, la prothèse de hanche est préférée cependant du fait de son coût l'exérèse tête-col du fémur est souvent choisi par défaut de moyens.

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase post opératoire immédiate : boiterie sans appui (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien des articulations</p> <p>Réduire l'inflammation à la douleur</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS et Opioides</p> <p>TENS pendant 15-20 minutes SID-TID</p> <p>Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID</p> <p>Laser (1-4 J/cm²) SID</p> <p>Sortie hygiénique assisté à l'aide d'un harnais de soutien des postérieurs ou une serviette passée sous l'abdomen (5min) en laisse TID</p>	<p><u>Il est préférable de garder l'animal hospitalisé sous surveillance</u></p> <p>Si retour à domicile :</p> <p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- tramadol</p> <p>Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID</p> <p>Repos strict, sortie hygiénique assisté à l'aide d'une serviette passée sous l'abdomen</p>	<p>Pas de douleur au repos</p> <p>Cicatrice cutanée propre et diminution de l'oedème</p>

<p>Phase : retour à la marche et boiterie avec appui De j2/j3 à 2 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Continuer de gérer la douleur</p> <p>limiter les contractures musculaires</p> <p>Encourager les appuis sur le membre boiteux</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- opioïde si nécessaire</p> <p>Laser (1-4 J/cm²) 2-3 séances par semaine</p> <p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de laser :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées (notamment muscle de la cuisse et de la région lombosacré) - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation (sans réaliser d'abduction ou d'adduction de l'articulation de la hanche) 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie en fin de séance si nécessaire (15-20 minutes) 	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS +/- Tramadol si nécessaire</p> <p>Marche assistée à l'aide d'un harnais de soutien ou une serviettes passées sous l'abdomen en laisse pendant 5-10 minutes</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation (sans réaliser d'abduction ou d'adduction de l'articulation de la hanche) 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie en fin de séance si nécessaire (15-20 minutes) 	<p>Peu de douleur au repos</p> <p>Cicatrisation correcte de la plaie chirurgicale</p> <p>Appui partiel sur le membre opéré</p>
--	--	--	---	--

		Si amyotrophie marquée : NMES pendant 15 minutes 2-3 séances par semaines (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)	Si acheté/loué : NMES 15 minutes 3-7 fois par semaine	
Phase : appui soutenu sur le membre opéré à la marche De 2 à 8 semaines post opératoire	Diète si surpoids Soutien des articulations Corriger la démarche Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance	Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations) AINS +/- opioïde si nécessaire Laser (1-4 J/cm ²) au besoin	Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations) AINS +/- Tramadol si nécessaire Marche en laisse pendant 10-15 minutes TID Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation (sans réaliser d'abduction ou d'adduction de l'articulation de la hanche) 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) - « assis-debout » pendant 5-10 répétitions	Peu de douleur lors de réalisation d'exercice simple Appui soutenu sur le membre opéré à la marche

		<p>Tapis de course immergé initialement au pas pendant 5 minutes puis augmenter très progressivement jusqu'à 15-30 minutes en augmentant progressivement la vitesse ou nage en bassin 2-3 séances par semaines pendant les 2 premières semaines puis 1-2 séances par semaine</p> <p>Si amyotrophie marquée : NMES pendant 15 minutes 2-3 séances par semaines</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Parcours d'obstacle bas type Cavaletti 5 à 10 répétitions - Cryothérapie en fin de séance si nécessaire (15-20 minutes) <p>Si loué/acheté : NMES 15 minutes 3-7 fois par semaine (possibilité de louer ou d'acheter un électrostimulateur afin de réaliser les protocoles à domicile)</p>	
<p>Phase : appui soutenu sur le membre opéré au trot</p> <p>De 8-24 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Soutien des articulations</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS si nécessaire</p>	<p>Diète si surpoids</p> <p>Supplémentation en chondroprotecteur et oméga 3 (pour les autres articulations)</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Marche en laisse pendant 15-20 minutes TID</p> <p>Montées d'escalier 1-2 répétitions SID</p>	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice modéré à soutenu</p> <p>Appui soutenu sur le membre opéré au trot</p>

	<p>Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance</p>	<p>Tapis de course immergé 15-30 minutes 1 séance par semaine Ou marche sur tapis de course incliné pendant 15-20 minutes 1 séance par semaine</p>	<p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les pattes avants sur une Physioball) - « Assis-debout » pendant 5-15 répétitions - Parcours d'obstacle de plus en plus haut (type Cavaletti) 10-15 répétitions - Passage dans un tunnel (type agility) ou « limbo » 5-10 répétitions <p>Nage si possible 2-3 fois par semaine</p>	
--	---	--	--	--

I. Luxation patellaire : rééducation post-opératoire

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase post opératoire immédiate (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Réduire l'inflammation à la douleur</p>	<p><u>Il est préférable de garder l'animal hospitalisé</u></p> <p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS +/- Opiïdes TENS pendant 15-20 minutes SID-TID Laser (8-20 J/cm²) SID</p> <p>Sortie hygiénique (5') en laisse TID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massages superficiels des muscles entourant l'articulation opérée - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID 	<p><u>Il est préférable de garder l'animal hospitalisé</u></p> <p>Si retour à domicile :</p> <p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS +/- Opiïdes</p> <p>Sortie hygiénique (5') en laisse TID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massages superficiels des muscles entourant l'articulation opérée - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID 	<p>Pas de douleur au repos Cicatrice cutanée propre et diminution de l'œdème Appui sur le membre opéré Amplitude de mouvement de 70-90° en flexion et 120-135° en extension</p>

<p>Phase : retour à la marche et boiterie avec appui De j2/j3 à 2 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Continuer de gérer la douleur</p> <p> limiter les contractures musculaires</p> <p>Encourager les appuis sur le membre boiteux</p> <p> limiter ou corriger l'amyotrophie</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire TENS si nécessaire pendant 15-20 minutes Laser (8-20 J/cm²) 2-3 séances par semaine</p> <p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de laser ou d'électrostimulation :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massage pendant 5-10 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie en fin de séance (15-20 minutes) <p>NMES pendant 15 minutes 2-3 fois par semaine (possibilité de réalisation des séances à domicile en louant un électrostimulateur)</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Marche lente en laisse pendant 5 minutes BID-TID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massage pendant 5-10 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie en fin de séance (15-20 minutes) <p>Si acheté/loué : NMES pendant 15 minutes 3-7 fois par semaine</p>	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice simple Cicatrisation cutanée complète Appui soutenu sur le membre opéré Amplitude de mouvement de 60-80° en flexion et 130-150° en extension</p>
--	---	---	--	---

<p>Phase : appui soutenu sur le membre opéré à la marche De 2 à 4 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Corriger la démarche Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de tapis :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes - Massage si nécessaire pendant 5 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les antérieurs sur une physioball) - « Assis-debout » pendant 5-10 répétitions - Cryothérapie en fin de séance si nécessaire pendant 15-20 minutes 	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Marche lente en laisse pendant 5 minutes augmenter progressivement la durée des sorties BID-TID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie en début de séance pendant 10-15 minutes - Massage si nécessaire pendant 5 minutes sur toutes les zones contracturées - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les antérieurs sur une physioball) - « Assis-debout » pendant 5-10 répétitions - Cryothérapie en fin de séance pendant 15-20 minutes 	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice simple Cicatrisation cutanée complète Appui soutenu sur le membre opéré Amplitude de mouvement de 40-60° en flexion et plus de 150° en extension</p>
--	---	---	---	---

		<p>En cas d'amyotrophie : NMES pendant 15 minutes 2 fois par semaine (possibilité de réalisation des séances à domicile en louant un électrostimulateur)</p> <p>Tapis de course immergé 5-10 minutes au pas puis augmenter progressivement la durée et la vitesse jusqu'à atteindre 20 minutes 2 séance par semaines</p>	<p>Si acheté/loué : NMES 15 minutes 3-7 fois par semaine</p> <p>Si possible (présence de point d'eau calme) : Nage pendant 5 minutes initialement puis augmenter graduellement jusqu'à 30 minutes jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)</p>	
<p>Phase : appui soutenu sur le membre opéré au trot De 4 à 8 semaines post opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation en chondroprotecteur et en oméga 3</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Marche en laisse pendant 20-30 minutes et encourager l'extension de l'articulation de la hanche en marchant sur des dénivelés positifs Montées et descentes d'escalier 1-2 répétitions SID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie si nécessaire en début de séance pendant 10-15 minutes - Massage pendant 15 minutes sur toutes les zones contracturées 	<p>Peu de douleur lors de réalisation d'exercice modéré à soutenu</p> <p>Appui soutenu sur le membre opéré au trot</p>

		<p>Tapis de course immergé jusqu'à 15-30 minutes ou nage en bassin 1 séance par semaines</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mouvement/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation 10 à 15 répétitions - Exercices de report de poids d'un postérieur sur l'autre (au sol, les pattes arrières sur une planche de proprioception ou les antérieurs sur une physioball) pendant 5-10 minutes - « Assis-debout » pendant 10-20 répétitions - Parcours d'obstacle bas type cavaletti 10-15 répétitions de 6 obstacles - Slalom 5-10 répétitions avec 6-8 obstacles (réduire la distance et augmenter la vitesse petit à petit) ou marche en cercle en dessinant des « 8 » pendant 5-10 répétitions (rétrécir les cercles au fur et à mesure) - Cryothérapie si nécessaire en fin de séance (15-20 minutes) <p>Nage si possible 1-2 fois par semaine</p>	
--	--	--	---	--

C. Affection tendineuses et ligamentaires

a. Les entorses : exemple des ruptures des ligaments croisés (techniques extracapsulaire, TPLO/TTA)

- Prise en charge post-opératoire lors de techniques extracapsulaires

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase préopératoire	Diète si surpoids Soutien des articulations Réduire l'inflammation et la douleur	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- tramadol Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID Repos Sortie hygiénique (5min) en laisse	Le plus tôt possible après le diagnostic initial afin d'empêcher l'évolution de la dégénérescence articulaire
Phase post opératoire immédiate boiterie sans appui (jusqu'à 48h-72h après la chirurgie)	Diète si surpoids Soutien des articulations Gérer de la douleur de l'inflammation et de l'œdème	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- opioïde Laser (8-20 J/cm ²) SID Cryothérapie pendant 15-20 minutes TID	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- Tramadol Cryothérapie pendant 15-20 minutes TID Repos strict Marche lente en laisse assistée à l'aide d'une serviette ou d'un harnais de soutien passé sous l'abdomen	Lorsque l'animal prend appui sur son membre opéré Amplitude de mouvement de 60-80° en flexion, de 120-135° en extension

	Maintenir de la masse musculaire	Prévenir ou corriger une amyotrophie : NMES des biceps et quadriceps fémoraux 10-15 minutes 1-3 fois par semaines	Si acheté/loué : NMES 15 minutes 3-7 fois par semaine	
Phase : retour à la marche et boiterie avec appui De j2/j3 à 2 semaines post opératoire	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Continuer de gérer la douleur</p> <p>Obtenir une amplitude de mouvement subnormale Encourager les appuis sur le membre boiteux</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS +/- Tramadol Laser (8-20 J/cm²) 2-3 séances par semaines</p> <p>Kinésithérapie BID-TID :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie avant les séances de rééducation (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages décontracturant avant et après les exercices - Exercices de mobilisation/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou - Mouvement actif : marche lente sur sols non abimés ou sur tapis de courses - Exercices proprioceptifs : bascule du poids d'un membre postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie pendant 15-20 minutes TID 	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS +/- Tramadol</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie avant les séances de rééducation (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages décontracturant avant et après les exercices - Exercices de mobilisation/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou - Mouvement actif : marche lente en laisse sur sols non abimés - Exercices proprioceptifs : bascule du poids d'un membre postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie pendant 15-20 minutes TID 	<p>Lorsque l'animal prend appui sur son membre opéré Amplitude de mouvement de 60-80° en flexion, de 120-135° en extension</p>

		Si amyotrophie sévère : NMES des biceps et quadriceps fémoraux 2-3 fois par semaine (possibilité de réalisation des séances à domicile en louant un électrostimulateur)	Si loué/acheté : NMES 15 minutes 3-7 fois par semaine	
Phase : Appui correcte et démarche subnormal à la marche De 2 à 8 semaines post opératoire	Diète si surpoids Soutien des articulations Maintenir une amplitude de mouvement normale Correction de la démarche (symétrie)	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs En cas de perte d'extensibilité : - Thermothérapie pendant 10 minutes couplée à des ultrasons en mode continu pendant 4-8 minutes si perte d'extensibilité - Exercices de mobilisation/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou 4 semaines après la chirurgie : - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS si nécessaire Sortie en laisse de plus en plus longue (augmenter de 5 minutes par semaine) Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Thermothérapie pendant 10 minutes si nécessaire - Exercices de mobilisation/étirement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou 4 semaines après la chirurgie : - « Assis-debout » 5-10 répétitions BID - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement - Cryothérapie pendant 15-20 minutes en fin de séance si nécessaire	Appui du membre opéré même au trot Pas de douleur après les séances Amplitude de mouvement de 40-60° en flexion, de plus de 150° en extension

	Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance	4 semaines après la chirurgie : Tapis de course immergé au pas initialement pendant 5-10minutes puis jusqu'à 15-30 minutes en augmentant progressivement la vitesse ou nage en bassin 1-2 séances par semaines	4 semaines après la chirurgie : Montées de plan incliné pendant 5 minutes ou montées d'escalier (1 à 2 et monter jusqu'à 5 répétitions) Trot en laisse pendant 2 à 5 minutes quotidiennement Si possible : Nage 1-3 fois par semaines (en remplacement des séances d'hydrothérapie)	
Phase : amélioration de la boiterie et de la symétrie des foulés à la marche et au trot (De 8 à 12 semaines)	Diète si surpoids Soutien des articulations Renforcer la masse musculaire Améliorer l'endurance	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS si nécessaire Tapis de course +/- incliné avec un lesté sur le membre opéré au trot une séance par semaine Hydrothérapie (cadence rapide) pendant 20-30 minutes 1 séances par semaine	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS si nécessaire « Assis-debout » 15-20 répétitions BID Cavaletti 15-20 répétitions BID augmenter graduellement Montées de plan incliné pendant 5 minutes (tapis de course incliné ou pente), ou montées d'escalier Trot pendant 5-10minutes BID et monter jusqu'à 15-25 minutes TID s'il n'y a pas d'aggravation de la boiterie et de la douleur après les séances Joggings d'une 30aine de minutes 2 fois par semaine Nage 2-3 fois par semaines (en remplacement des séances d'hydrothérapie)	

- *Prise en charge post-opératoire lors de technique invasive type TPLO/TTA*

Phase et durée	objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile	Quand passer à la phase suivante
Phase préopératoire	Diète si surpoids Soutien des articulations Réduire l'inflammation à la douleur	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- tramadol Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID Repos Sortie hygiénique (5min) en laisse	Le plus tôt possible après le diagnostic initial afin d'empêcher l'évolution de la dégénérescence articulaire
Phase post opératoire immédiate boiterie sans appui (jusqu'à 72h après la chirurgie)	Diète si surpoids Soutien des articulations Gérer de la douleur de l'inflammation et de l'œdème Maintenir la masse musculaire	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS +/- opioïde Laser (8-20 J/cm ²) SID Cryothérapie pendant 5-20 minutes BID-TID TENS pendant 15-20 minutes SID-TID Prévenir ou corriger une amyotrophie : NMES des biceps et quadriceps fémoraux 2-3 fois par semaine (possibilité de réalisation des séances à domicile en louant un électrostimulateur)	<u>Animal en hospitalisation</u>	Lorsque l'animal prend appui sur son membre opéré Amplitude de mouvement de 60-80° en flexion, de 120-135° en extension

<p>Phase : retour à la marche et boiterie avec appui De j3 à 3-4 semaines post op</p>	<p>Diète si surpoids Soutien des articulations</p> <p>Continuer de gérer la douleur</p> <p>Obtenir une amplitude de mouvement subnormale Encourager les appuis sur le membre boíteux</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS (30minutes avant le début de la séance de rééducation) +/- Tramadol Laser (8-20 J/cm²) 1-3 séances par semaine A 2 semaines post-opératoire : Ondes de chocs extracorporelles (1000 pulsations à 0.15 mJ/mm²)</p> <p>Kinésithérapie BID-TID</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10-15 minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages décontracturant - Mouvement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou et étirements passifs pendant 10-20 répétitions - Exercices proprioceptifs : bascule du poids d'un membre postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID 	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS (30minutes avant le début de la séance de rééducation) +/- Tramadol</p> <p>Marche lente en laisse pendant 5 minutes augmenter progressivement la durée des sorties BID-TID</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Thermothérapie pendant 10-15 minutes (uniquement si absence d'inflammation et d'œdème) - Massages décontracturant - Mouvement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou et étirements passifs pendant 10-20 répétitions - Exercices proprioceptifs : bascule du poids d'un membre postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) - Cryothérapie pendant 15-20 minutes BID-TID 	<p>Lorsque l'animal prend appui sur son membre opéré</p> <p>Amplitude de mouvement de 60-80° en flexion, de 120-135° en extension</p>
---	--	--	---	---

		Si amyotrophie marqué : NMES des biceps et quadriceps fémoraux pendant 15 minutes 2 fois par semaine (possibilité de réalisation des séances à domicile en louant un électrostimulateur)	Si acheté/loué : NMES des biceps et quadriceps fémoraux pendant 15 minutes 3-7 fois par semaine	
Phase : Appui correcte De 3-4 à 8 semaines	Diète si surpoids Soutien des articulations Maintenir une amplitude de mouvement normale Correction de de la démarche (symétrie)	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS si nécessaire A 8 semaines post-opératoire : Ondes de chocs extracorporelles (1000 pulsations à 0.15 mJ/mm ²) Si perte d'extensibilité à l'occasion d'une séance de tapis ou d'hydrothérapie : - Thermothérapie pendant 10-15 minutes si nécessaire couplée à des ultrasons si perte d'extensibilité - Mouvement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou et étirements passifs 10-20 répétitions - Parcours d'obstacles bas type Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement	Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs AINS si nécessaire Sortie en laisse de plus en plus longue (augmenter de 5 minutes par semaine jusqu'à atteindre 20-30 minutes par sortie BID-TID) Kinésithérapie SID-BID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Thermothérapie pendant 10-15 minutes si nécessaire - Mouvement passif d'extension et de flexion de l'articulation du genou et étirements passifs pendant 10-20 répétitions	Appui du membre opéré même au trot Pas de douleur après les séances Amplitude de mouvement de 40-60° en flexion, de plus de 150° en extension Bonne cicatrisation osseuse radiographique du trait d'ostéotomie

	<p>Renforcement musculaire et augmentation de l'endurance</p>	<p>En l'absence de boiterie : Tapis de course incliné au pas initialement pendant 5 minutes puis augmenter progressivement jusqu'à 15-20 minutes</p> <p>Si la plaie est bien cicatrisée : Tapis de course immergé au pas ou nage pendant 5-10 minutes initialement puis augmenter graduellement jusqu'à 15-30 en augmentant progressivement la cadence minutes 1-2 séances par semaines</p>	<p>4 semaines après la chirurgie en l'absence de boiterie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montées de plan incliné pendant 5 minutes ou montées d'escalier 1 répétitions puis augmenter progressivement jusqu'à 5 répétitions - « Assis-debout » avec le coté opéré au contact d'un mur pendant 5 répétitions et augmenter progressivement jusqu'à 15 répétitions - Exercices proprioceptifs : bascule du poids d'un membre postérieur sur l'autre (au sol ou les pattes arrières sur une planche de proprioception) Marche en cercle en dessinant des « 8 » afin d'améliorer la proprioception - Cavaletti 6 obstacles, et 5 répétitions initialement - Cryothérapie pendant 15-20 minutes si nécessaire <p>Si la plaie est bien cicatrisée : Si possible : nage 1-3 fois par semaines (en remplacement des séances d'hydrothérapie)</p>	
--	---	---	--	--

<p>Phase : amélioration de la boiterie et de la symétrie des foulés à la marche et au trot De 8 à 16 semaines post-opératoire</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>Renforcer la masse musculaire Améliorer l'endurance</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Hydrothérapie jusqu'à 20-30 minutes à une cadence rapide 1 fois par semaine</p>	<p>Diète si surpoids Supplémentation oméga 3 et chondroprotecteurs</p> <p>AINS si nécessaire</p> <p>Marche en laisse longue pendant 30-40 minutes BID-TID</p> <p>Kinésithérapie SID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : « Assis-debout » 20-30 répétitions BID Cavaletti 15 à 20 répétitions BID réduire graduellement l'écart entre deux obstacles Montées de plan incliné pendant 5 minutes (tapis de course incliné ou pente), ou montées d'escalier 5-10 répétitions Trot en laisse pendant 5-10minutes BID en ligne droite puis en grand arche de cercle et monter jusqu'à 15-25 minutes TID s'il n'y a pas d'aggravation de la boiterie et de la douleur après les séances Tire à la corde pendant 5 minutes SID si bien toléré Cryothérapie après la séance si nécessaire pendant 15-20 minutes</p> <p>Si possible : nage 1-2 fois par semaine</p>	
--	---	--	--	--

b. Les tendinites (exemple de la tendinite bicapitale)

Phase et durée	Objectifs	Protocole en clinique	Protocole à domicile
<p>Phase aiguë inflammatoire Correspondant approximativement au 4 premières semaines</p>	<p>Réduire l'inflammation</p> <p>Gérer la douleur Favoriser la régénération tissulaire</p> <p>Prévenir la fonte musculaire Prévenir les contractures articulaires</p>	<p>AINS pendant la durée nécessaire +/- TENS Repos pendant 4 à 12 semaines</p> <p>Laser (8- 20 J/cm²) et/ou Ultrasons à 3MHz en mode pulsé (attention aux tissus osseux) 2-3 séances les 2 premières semaines puis 1-2 séances les 2 semaines suivantes Ondes de chocs 1 séance toutes les 3 semaines à raison de 3 séances au total</p> <p>Kinésithérapie à l'occasion d'une séance de laser/ultrason ou d'onde de choc :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage transversaux - Thermothérapie pendant 10-15 minutes avant la séance - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs pendant 10-15 répétitions par articulations - Cryothérapie pendant 15-20 minutes 	<p>AINS Repos pendant 4 à 12 semaines Sortie hygiénique (5min) en laisse pendant 4 semaines</p> <p>Kinésithérapie BID-TID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Massage transversaux - Thermothérapie pendant 10-15 minutes avant la séance - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs pendant 10-15 répétitions par articulations - Cryothérapie pendant 15-20 minutes pendant 2 à 4 semaines

<p>Phase de régénération Pouvant durer 3 à 6 mois</p>	<p>Continuer à stimuler la régénération tissulaire</p> <p>Reprendre graduellement les activités</p> <p>Maintenir une bonne masse musculaire</p>	<p>AINS si nécessaire</p> <p>Laser (8-20 J/cm²) et/ou Ultrasons à 3MHz en mode pulsé (attention aux tissus osseux) 1 séances par semaine au besoin</p> <p>Ondes de chocs 1 séance toutes les 3 semaines à raison de 3 séances au total</p> <p>Si amyotrophie : NMES pendant 10-15 minutes 2-7 fois par semaine</p> <p>Sinon : Hydrothérapie 1 à 2 fois par semaines</p>	<p>AINS si nécessaire</p> <p>Reprise progressive de l'activité : Sortie en laisse longue Allongement des sorties à raisons de 5 minutes supplémentaires par semaines Cryothérapie en fin de balade pendant 15-20 minutes BID-TID pendant 2 à 4 semaines</p> <p>Kinésithérapie SID-BID (ces exercices peuvent être réalisés à domicile une fois montrés) : - Exercices de mobilisations et d'étirements passifs puis exercice actif (cavaletti, « shake hands »)</p> <p>Si acheté/loué : NMES 15 minutes 2-7 fois par semaine</p> <p>Si possible (présence de point d'eau calme) : Nage jusqu'à 3 fois par semaine (48h entre deux séances)</p>
---	---	--	--

La prise en charge d'une tendinopathie du supraépineux est similaire et est très souvent associée à une tendinopathie bicipitale. Lors de cette pathologie on rencontre plus souvent des minéralisations tendineuses, les ondes de chocs sont alors particulièrement indiquées.

c. Les desmites

Les desmites les plus couramment rencontrées chez le chien sont les desmites du ligament patellaire suite à un changement brutal des forces exercées sur le ligament dû à un nivellement du plateau tibial (TPLO) mais cette affection est aussi retrouvée chez des animaux faisant du sport.

Les ondes de chocs accélèrent significativement la réparation ligamentaire lors de desmite du ligament patellaire lors suite à une TPLO en agissant sur l'angiogenèse, la modulation de l'inflammation, la fibrinogénèse et le remodelage à raison de 2 séances à 4 et 6 semaines post-opératoire (0.15 mJ/mm², 600 pulsation)

d. Les bursites ou hygroma

Ce sont des inflammations des bourses séreuses péri-articulaires souvent provoquées par des sollicitations répétitives ou des chocs répétés de l'articulation.

Dans leurs premiers stades, elles ne présentent généralement qu'une gêne esthétique. Pour des stades plus important, une gêne et une douleur peuvent occasionner des boiteries. Elles se traitent le plus généralement par du repos, l'administration d'AINS et amélioration de confort des lieux de couchage (si l'hygroma est dû aux chocs lorsque l'animal se couche). En cas de gêne, le traitement indiqué est le traitement chirurgical, l'hygroma peut être drainé et un drain de Penrose posé. Un traitement conservateur peut être proposé en amont de la chirurgie afin d'éviter l'acte anesthésique et chirurgical. Il consiste en la réalisation de séances :

- D'onde de chocs une fois par semaine (0.15 mJ/mm², 1500 pulsation) pendant 3 semaines
- D'ultrason en mode continu pour ses actions thermiques antalgiques et vasodilatatrices (permettant l'augmentation du flux sanguin accélérant ainsi la récupération) ou de laser (8-20 J/cm²) pour ses action antalgique, circulatoire, métabolique et anti-inflammatoire à raison de 3 séances de 10 minutes 2 à 3 fois par semaine pendant 3 semaines
- Hydrothérapie pour prévenir l'amyotrophie tout en évitant les chocs sur les articulations liés aux exercices sur sol et prévenir leur réapparition

D. Affection musculaire

a. Prise de masse et renforcement musculaire (Traitement de l'amyotrophie)

Cf. point III.2.C

b. Myopathie fibrosante du semi-tendineux et/ou du muscle gracile

La contracture du muscle gracile chez le chien est généralement observée chez des chiens sportifs de grand format et provoque une modification de la foulée du fait de la fibrose musculaire qui vient limiter les mouvements. Cette affection peut être associée à une myopathie fibrosante du semi-tendineux. On parle alors de complexe myopathie du gracile et semi-tendineux.

Le traitement chirurgical correspond à une ténectomie ou à l'ablation du muscle fibrosé mais le taux de récurrence reste important.

Le traitement conservateur consiste à allonger les fibres musculaires en les décontractant par de la thermothérapie superficielle pendant 10-15 minutes puis des ultrasons 1 MHz en mode continu pendant 4-8 minutes puis en les étirant en effectuant des étirements passifs et des massages. Après toutes séances de rééducation ou effort une séance de cryothérapie peut être effectuée pendant 15 minutes afin d'éviter tout risque d'inflammation pouvant causer une récurrence de la pathologie.

Des ondes de chocs peuvent également être réalisées à raison de 3 à 6 séances espacées de 3 semaines chacune.

Les exercices doivent être réduits à de courte marche en laisse.

Le pronostic de guérison est le plus souvent réservé avec cette méthode. En cas d'échec thérapeutique, le traitement chirurgical pourra être proposé

Conclusion

La physiothérapie est une médecine non invasive très prometteuse. La documentation scientifique à son sujet ne cesse de croître, que ce soit en médecine humaine ou vétérinaire et ce, dans l'optique de trouver des alternatives à la chirurgie plus invasive et traumatisante ou à certains principes actifs ayant des effets secondaires néfastes.

Elle regroupe un ensemble de techniques médicales manuelles ou instrumentales facilement accessibles pouvant être utilisées quotidiennement afin de permettre une rééducation fonctionnelle optimale de l'animal traumatisé ou récupérant d'une chirurgie orthopédique.

La citation « Tout est poison, rien n'est poison : c'est la dose qui fait le poison. » de Paracelse reste valable en physiothérapie comme dans toute discipline médicale. L'application d'un protocole de physiothérapie nécessite une parfaite maîtrise des principes de base de l'anatomie et de la physiologie animal mais aussi de toutes les techniques utilisées lors de la réalisation d'un protocole.

Ce document ce veut le plus exhaustif possible.

La première partie reprend les concepts de base de chaque technique ainsi que les différents exercices réalisables, leurs effets sur le corps, leurs fréquences, leurs indications et contre-indications chez le chien. Les techniques étudiées sont la kinésithérapie regroupant les exercices de mobilisation, les étirements et les massages, ainsi que les ondes de choc, l'hydrothérapie, la cryothérapie, la thermothérapie, les ultrasons thérapeutiques, l'électrothérapie et les thérapies laser qui sont les techniques les plus fréquemment utilisées en rééducation fonctionnelle animale. A la fin de chaque partie des fiches synthèses reprennent les points clés de façon non argumentée.

Dans la deuxième partie, nous avons expliqué de façon concise le déroulement des consultations et des premières séances, le suivi de l'animal ainsi que l'intérêt d'impliquer les différents acteurs et notamment le propriétaire dans la réalisation du protocole de rééducation afin de permettre une prise en charge et un rétablissement optimal de l'animal.

Dans la troisième partie, avec l'aide de l'unité de Médecine de l'Élevage et de Sport et du centre de rééducation fonctionnel d'Alforme, nous avons élaboré des fiches pratiques classant les techniques de physiothérapie par effets mécaniques et physiologiques afin de comparer de façon simplifiée les intérêts de chaque technique et de montrer leur complémentarité. Dans un second temps, nous avons élaboré des protocoles de prise en charge des affections orthopédiques les plus couramment rencontrées chez les chiens et pouvant être traitées par physiothérapie.

Elles sont toutefois amenées à être modulées en fonction des capacités physiques et de l'évolution de l'affection du patient, des capacités financières et temporelles du client mais aussi de l'avancée des connaissances en physiothérapie. Elles ne doivent pas être vues comme des recettes immuables mais plutôt comme des guides.

L'application de la physiothérapie aux chats n'a pas été traitée ici bien que l'utilisation de protocoles de physiothérapie pour cette espèce soit tout à fait envisageable et est déjà réalisée sur des individus habitués à être manipulés.

Ces fiches sont à destination des professionnels de la santé vétérinaire spécialisés ou non voulant s'intéresser à cette médecine alternative et souhaitant la proposer de façon plus systématique à leur clientèle tout en apportant les réponses aux divers questionnements concernant les preuves scientifiques ou la mise en place en pratique de protocoles de rééducation fonctionnelle.

Liste des références bibliographiques

- AARSKOG R., JOHNSON M.I., DEMMINK J.H., *et al.* (2007) Is mechanical pain threshold after transcutaneous electrical nerve stimulation (TENS) increased locally and unilaterally? A randomized placebo-controlled trial in healthy subjects. *Physiother Res Int* 12(4), 251-263
- ACEVEDO B., MILLIS D.L., LEVINE D., GUEVARA J.L. (2019) Effect of Therapeutic Ultrasound on Calcaneal Tendon Heating and Extensibility in Dogs. *Front Vet Sci* 6, 185
- ADAIR H.S., LEVINE D. (2019) Effects of 1-MHz Ultrasound on Epaxial Muscle Temperature in Horses. *Front Vet Sci* 6
- ALBERTINI R., VILLAVERDE A.B., AIMBIRE F., *et al.* (2008) Cytokine mRNA expression is decreased in the subplantar muscle of rat paw subjected to carrageenan-induced inflammation after low-level laser therapy. *Photomed Laser Surg* 26(1), 19-24
- ALDRIDGE P. (2015) Wound healing: recognising what's normal. *Companion Animal* 20(4), 222-228
- ALGARNI A.D., AL MOALLEM H.M. (2018) Clinical and Radiological Outcomes of Extracorporeal Shock Wave Therapy in Early-Stage Femoral Head Osteonecrosis. *Adv Orthop* 2018, 7410246
- ALMEIDA C.C. de, SILVA V.Z.M. da, JÚNIOR G.C., LIEBANO R.E., DURIGAN J.L.Q. (2018) Transcutaneous electrical nerve stimulation and interferential current demonstrate similar effects in relieving acute and chronic pain: a systematic review with meta-analysis. *Braz J Phys Ther* 22(5), 347-354
- ALVES A.C., VIEIRA R., LEAL-JUNIOR E., *et al.* (2013) Effect of low-level laser therapy on the expression of inflammatory mediators and on neutrophils and macrophages in acute joint inflammation. *Arthritis Res. Ther.* 15(5), R116
- ANDERS J.J., MOGES H., WU X., *et al.* (2014) In vitro and in vivo optimization of infrared laser treatment for injured peripheral nerves. *Lasers Surg Med* 46(1), 34-45
- AOKI A., MIZUTANI K., SCHWARZ F., *et al.* (2015) Periodontal and peri-implant wound healing following laser therapy. *Periodontol.* 2000 68(1), 217-269
- ARVIDSSON I., ARVIDSSON H., ERIKSSON E., JANSSON E. (1986) Prevention of quadriceps wasting after immobilization: an evaluation of the effect of electrical stimulation. *Orthopedics* 9(11), 1519-1528
- AZEVEDO L.H., ARANHA A.C.C., STOLF S.F., EDUARDO C. de P., VIEIRA M.M.F. (2005) Evaluation of low intensity laser effects on the thyroid gland of male mice. *Photomed Laser Surg* 23(6), 567-570
- BARNES K., FALUDI A., TAKAWIRA C., *et al.* (2019) Extracorporeal shock wave therapy improves short-term limb use after canine tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg* 48(8), 1382-1390
- BARRETO A.A., BARRETO R.K.A., PEREIRA H. da R., HOSNNE W.S. (2011) Effects of therapeutic ultrasound on longitudinal growth of the femur and tibia in rats. *Acta Ortop Bras* 19(3), 132-136
- BAYAT M., ANSARI A., HEKMAT H. (2004) Effect of low-power helium-neon laser irradiation on 13-week immobilized articular cartilage of rabbits. *Indian J. Exp. Biol.* 42(9), 866-870
- BECKER W., KOWALESKI M.P., MCCARTHY R.J., BLAKE C.A. (2015) Extracorporeal shockwave therapy for shoulder lameness in dogs. *J Am Anim Hosp Assoc* 51(1), 15-19
- BENSON H.A., MCELNAY J.C. (1988) Transmission of Ultrasound Energy Through Topical Pharmaceutical Products. *Physiotherapy* 74(11), 587-589
- BERTA L., FAZZARI A., FICCO A.M., *et al.* (2009) Extracorporeal shock waves enhance normal fibroblast proliferation in vitro and activate mRNA expression for TGF-beta1 and for collagen types I and III. *Acta Orthop* 80(5), 612-617
- BERTIN L.D., POLI-FREDERICO R.C., PIRES OLIVEIRA D.A.A., *et al.* (2019) Analysis of Cell Viability and Gene Expression After Continuous Ultrasound Therapy in L929 Fibroblast Cells. *Am J Phys Med Rehabil* 98(5), 369-372

- BJORDAL J.M., COUPPÉ C., CHOW R.T., TUNÉR J., LJUNGGREN E.A. (2003) A systematic review of low level laser therapy with location-specific doses for pain from chronic joint disorders. *Aust J Physiother* 49(2), 107-116
- BOCKSTAHLER B., MULLER M., SKALICKY M., MLACNIK E., LORINSON D. (2006) Extracorporeal radial shock wave therapy in dogs suffering from osteoarthritis of the elbow: Evaluation by measuring ground reaction forces. *Wien Tierarztl Monatsschr* 93, 39-46
- BOCOBO C., FAST A., KINGERY W., KAPLAN M. (1991) The effect of ice on intra-articular temperature in the knee of the dog. *Am J Phys Med Rehabil* 70(4), 181-185
- BOOTH F.W., SEIDER M.J. (1979) Early change in skeletal muscle protein synthesis after limb immobilization of rats. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 47(5), 974-977
- BORTONE F., SANTOS H.A., ALBERTINI R., *et al.* (2008) Low level laser therapy modulates kinin receptors mRNA expression in the subplantar muscle of rat paw subjected to carrageenan-induced inflammation. *Int. Immunopharmacol.* 8(2), 206-210
- BOSCH G., LIN Y.L., VAN SCHIE H.T.M., *et al.* (2007) Effect of extracorporeal shock wave therapy on the biochemical composition and metabolic activity of tenocytes in normal tendinous structures in ponies. *Equine Vet. J.* 39(3), 226-231
- BOSSINI P.S., RENNÓ A.C.M., RIBEIRO D.A., *et al.* (2012) Low level laser therapy (830nm) improves bone repair in osteoporotic rats: similar outcomes at two different dosages. *Exp. Gerontol.* 47(2), 136-142
- BUENDIA E. (2004) Points de tension, Trigger Points, points moteurs, points d'acupuncture : relation, intérêt diagnostic et intérêt thérapeutique chez le chien. *Thèse Med. Vet., Ecole nationale vétérinaire de Lyon, n°132*
- BYRNES K.R., WU X., WAYNANT R.W., ILEV I.K., ANDERS J.J. (2005a) Low power laser irradiation alters gene expression of olfactory ensheathing cells in vitro. *Lasers Surg Med* 37(2), 161-171
- BYRNES K.R., WAYNANT R.W., ILEV I.K., *et al.* (2005b) Light promotes regeneration and functional recovery and alters the immune response after spinal cord injury. *Lasers Surg Med* 36(3), 171-185
- CAMERON M. H. (2013) *Physical Agents in Rehabilitation - 5th Edition*, Elsevier, Saunders.
- CHAO Y.-H., TSUANG Y.-H., SUN J.-S., *et al.* (2008) Effects of shock waves on tenocyte proliferation and extracellular matrix metabolism. *Ultrasound Med Biol* 34(5), 841-852
- CHEN Y.-J., WURTZ T., WANG C.-J., *et al.* (2004a) Recruitment of mesenchymal stem cells and expression of TGF-beta 1 and VEGF in the early stage of shock wave-promoted bone regeneration of segmental defect in rats. *J. Orthop. Res.* 22(3), 526-534
- CHEN Y.-J., WANG C.-J., YANG K.D., *et al.* (2004b) Extracorporeal shock waves promote healing of collagenase-induced Achilles tendinitis and increase TGF-beta1 and IGF-I expression. *J. Orthop. Res.* 22(4), 854-861
- CHENG J.-H., WANG C.-J. (2015) Biological mechanism of shockwave in bone. *International Journal of Surgery, Extracorporeal Shockwave Treatment (ESWT) - Current Concepts* 24, 143-146
- CHOW R., ARMATI P., LAAKSO E.-L., BJORDAL J.M., BAXTER G.D. (2011) Inhibitory effects of laser irradiation on peripheral mammalian nerves and relevance to analgesic effects: a systematic review. *Photomed Laser Surg* 29(6), 365-381
- CHUNG H., DAI T., SHARMA S.K., *et al.* (2012) The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng* 40(2), 516-533
- CIDRAL-FILHO F.J., MAZZARDO-MARTINS L., MARTINS D.F., SANTOS A.R.S. (2014) Light-emitting diode therapy induces analgesia in a mouse model of postoperative pain through activation of peripheral opioid receptors and the L-arginine/nitric oxide pathway. *Lasers Med Sci* 29(2), 695-702
- CINAR Y., SENYOL A.M., DUMAN K. (2001) Blood viscosity and blood pressure: role of temperature and hyperglycemia. *Am. J. Hypertens.* 14(5 Pt 1), 433-438

- COLOMBO F., NETO A. de A.P.V., SOUSA A.P.C. de, *et al.* (2013) Effect of low-level laser therapy ($\lambda 660$ nm) on angiogenesis in wound healing: a immunohistochemical study in a rodent model. *Braz Dent J* 24(4), 308-312
- CORTI L. (2014) Massage therapy for dogs and cats. *Top Companion Anim Med* 29(2), 54-57
- CRESSONI M.D.C., GIUSTI H.H.K.D., PIÃO A.C., *et al.* (2010) Effect of GaAlAs laser irradiation on the epiphyseal cartilage of rats. *Photomed Laser Surg* 28(4), 527-532
- CROSSLAND H., SKIRROW S., PUTHUCHEARY Z.A., CONSTANTIN-TEODOSIU D., GREENHAFF P.L. (2019) The impact of immobilisation and inflammation on the regulation of muscle mass and insulin resistance: different routes to similar end-points. *J Physiol* 597(5), 1259-1270
- CULLION K., SANTAMARIA C.M., ZHAN C., *et al.* (2018) High-frequency, low-intensity ultrasound and microbubbles enhance nerve blockade. *J Control Release* 276, 150-156
- DAHLBERG J., FITCH G., EVANS R.B., MCCLURE S.R., CONZEMIUS M. (2005) The evaluation of extracorporeal shockwave therapy in naturally occurring osteoarthritis of the stifle joint in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 18(3), 147-152
- DAMANTE C.A., DE MICHELI G., MIYAGI S.P.H., FEIST I.S., MARQUES M.M. (2008) Effect of laser phototherapy on the release of fibroblast growth factors by human gingival fibroblasts. *Lasers Med Sci* 24(6), 885
- DAVOUD S., GH.R A., H J., I S.H.D., P M. (2008) clinical and histological evaluation of low level laser on regeneration of hip joint cartilage in rabbit., *Iran J Vet Surg*, 48-56
- DAWSON L.G., DAWSON K.A., TIIDUS P.M. (2004) Evaluating the Influence of Massage on Leg Strength, Swelling, and Pain Following a Half-Marathon. *J Sports Sci Med* 3(YISI 1), 37-43
- DE ANDRADE A.R., MEIRELES A., ARTIFON E.L., *et al.* (2012) The Effects of Low-Level Laser Therapy, 670 nm, on Epiphyseal Growth in Rats. *ScientificWorldJournal* 2012
- DE OLIVEIRA PERRUCINI P.D., POLI-FREDERICO R.C., DE ALMEIDA PIRES-OLIVEIRA D.A., *et al.* (2019) Anti-inflammatory and healing effects of pulsed ultrasound therapy on fibroblasts. *Am J Phys Med Rehabil*
- DELIUS M., DRAENERT K., AL DIEK Y., DRAENERT Y. (1995) Biological effects of shock waves: in vivo effect of high energy pulses on rabbit bone. *Ultrasound Med Biol* 21(9), 1219-1225
- DEWHIRST M.W., VIGLIANTI B.L., LORA-MICHIELS M., HANSON M., HOOPES P.J. (2003) Basic principles of thermal dosimetry and thermal thresholds for tissue damage from hyperthermia. *Int J Hyperthermia* 19(3), 267-294
- DIWAN A.D., WANG M.X., JANG D., ZHU W., MURRELL G.A. (2000) Nitric oxide modulates fracture healing. *J. Bone Miner. Res.* 15(2), 342-351
- DIXIT S., AHMAD I., HAKAMI A., *et al.* (2019) Comparison of Anti-Microbial Effects of Low-Level Laser Irradiation and Microwave Diathermy on Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria in an In Vitro Model. *Medicina (Kaunas)* 55(7)
- DOAN N., REHER P., MEGHJI S., HARRIS M. (1999) In vitro effects of therapeutic ultrasound on cell proliferation, protein synthesis, and cytokine production by human fibroblasts, osteoblasts, and monocytes. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 57(4), 409-419; discussion 420
- DOR ET AL. (2013) La douleur arthrosique chronique chez le chien : étude bibliographique et projet de validation d'une grille d'évaluation par le propriétaire. *Thèse Med. Vet., Ecole nationale vétérinaire d'Alfort*
- DORN M. (2015) Superficial heat therapy for dogs and cats, part 1: physiological mechanisms and indications. *Companion Animal* 20(11), 630-635
- DOYLE A.T., LAUBER C., SABINE K. (2016) The Effects of Low-Level Laser Therapy on Pain Associated With Tendinopathy: A Critically Appraised Topic. *J Sport Rehabil* 25(1), 83-90

- DRAPER D.O., SUNDERLAND S., KIRKENDALL D.T., RICARD M. (1993) A comparison of temperature rise in human calf muscles following applications of underwater and topical gel ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 17(5), 247-251
- DRAPER D.O., CASTEL J.C., CASTEL D. (1995) Rate of temperature increase in human muscle during 1 MHz and 3 MHz continuous ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 22(4), 142-150
- DUPUY O., DOUZI W., THEUROT D., BOSQUET L., DUGUÉ B. (2018) An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Front Physiol* 9, 403
- EBRAHIMI T., MOSLEMI N., ROKN A., *et al.* (2012) The influence of low-intensity laser therapy on bone healing. *J Dent (Tehran)* 9(4), 238-248
- EDLICH R.F., TOWLER M.A., GOITZ R.J., *et al.* (1987) Bioengineering principles of hydrotherapy. *J Burn Care Rehabil* 8(6), 580-584
- ENWEMEKA C.S. (2009) Intricacies of dose in laser phototherapy for tissue repair and pain relief. *Photomed Laser Surg* 27(3), 387-393
- EVANS T.A., INGERSOLL C., KNIGHT K.L., WORRELL T. (1995) Agility Following the Application of Cold Therapy. *J Athl Train* 30(3), 231-234
- FARCIC T.S., BALDAN C.S., CATTAPAN C.G., *et al.* (2013) Treatment time of ultrasound therapy interferes with the organization of collagen fibers in rat tendons. *Braz J Phys Ther* 17(3), 263-271
- FARCIC T.S., BALDAN C.S., MACHADO A.F.P., *et al.* (2018) Collagen Fibers in the Healing Process of Rat Achilles Tendon Rupture Using Different Times of Ultrasound Therapy. *Adv Wound Care (New Rochelle)* 7(4), 114
- FERNANDES K.P.S., SOUZA N.H.C., MESQUITA-FERRARI R.A., *et al.* (2015) Photobiomodulation with 660-nm and 780-nm laser on activated J774 macrophage-like cells: Effect on M1 inflammatory markers. *J Photochem Photobiol B* 153, 344-351
- FIRESTONE R.S., ESFANDIARI N., MOSKOVITSEV S.I., *et al.* (2012) The effects of low-level laser light exposure on sperm motion characteristics and DNA damage. *J. Androl.* 33(3), 469-473
- FORMENTON M.R., PEREIRA M.A.A., FANTONI D.T. (2017) Small Animal Massage Therapy: A Brief Review and Relevant Observations. *Top Companion Anim Med* 32(4), 139-145
- FRAIRIA R., BERTA L. (2011) Biological effects of extracorporeal shock waves on fibroblasts. A review. *Muscles Ligaments Tendons J* 1(4), 138-147
- FURTADO A.B.V., HARTMANN D.D., MARTINS R.P., *et al.* (2018) Cryotherapy: biochemical alterations involved in reduction of damage induced by exhaustive exercise. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 51(11), e7702
- GAUTHIER J.M., THÉRIAULT R., THÉRIAULT G., GÉLINAS Y., SIMONEAU J.A. (1992) Electrical stimulation-induced changes in skeletal muscle enzymes of men and women. *Med Sci Sports Exerc* 24(11), 1252-1256
- GIRARDET C. (2015) Les spécificités du coup de chaleur chez le chien militaire, *Med Armees*, 43, 2, 195-202
- GOLLWITZER H., ROESSNER M., LANGER R., *et al.* (2009) Safety and effectiveness of extracorporeal shockwave therapy: results of a rabbit model of chronic osteomyelitis. *Ultrasound Med Biol* 35(4), 595-602
- GUO J., LI L., GONG Y., *et al.* (2017) Massage Alleviates Delayed Onset Muscle Soreness after Strenuous Exercise: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Physiol* 8, 747
- HADY* L.L., FOSGATE G.T., WEH J.M. (2015) Comparison of range of motion in Labrador Retrievers and Border Collies. *JVMAH* 7(4), 122-127

- HAGIWARA Y., CHIMOTO E., TAKAHASHI I., *et al.* (2008) Expression of transforming growth factor-beta1 and connective tissue growth factor in the capsule in a rat immobilized knee model. *Ups. J. Med. Sci.* 113(2), 221-234
- HALL C.M., BRODY L.T. (2005) Therapeutic Exercise: Moving Toward Function. Lippincott Williams & Wilkins
- HAMBLIN M., DEMIDOVA T. (2006) Mechanisms of low level light therapy. *Proc SPIE* 6140, 1-12
- HAN J.-S. (2003) Acupuncture: neuropeptide release produced by electrical stimulation of different frequencies. *Trends Neurosci* 26(1), 17-22
- HANCOCK C.M., RIEGGER-KRUGH C. (2008) Modulation of pain in osteoarthritis: the role of nitric oxide. *Clin J Pain* 24(4), 353-365
- HARRISON A., LIN S., POUNDER N., MIKUNI-TAKAGAKI Y. (2016) Mode & mechanism of low intensity pulsed ultrasound (LIPUS) in fracture repair. *Ultrasonics* 70, 45-52
- HASHMI J.T., HUANG Y.-Y., SHARMA S.K., *et al.* (2010) Effect of Pulsing in Low-Level Light Therapy. *Lasers Surg Med* 42(6), 450-466
- HASLERUD S., MAGNUSSEN L.H., JOENSEN J., LOPES-MARTINS R.A.B., BJORDAL J.M. (2015) The efficacy of low-level laser therapy for shoulder tendinopathy: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Physiother Res Int* 20(2), 108-125
- HAUSDORF J., SCHMITZ C., AVERBECK B., MAIER M. (2004) [Molecular basis for pain mediating properties of extracorporeal shock waves]. *Schmerz* 18(6), 492-497
- HELBIG K., HERBERT C., SCHOSTOK T., BROWN M., THIELE R. (2001) Correlations between the duration of pain and the success of shock wave therapy. *Clin. Orthop. Relat. Res.* n°387, 68-71
- HERMANN G.J., SHAW J.M. (1998) Mitochondrial dynamics in yeast. *Annu. Rev. Cell Dev. Biol.* 14, 265-303
- HERNANDEZ-REIF M., FIELD T., LARGIE S., *et al.* (2005) Cerebral palsy symptoms in children decreased following massage therapy. *Early Child Dev Care* 175(5), 445-456
- HOCHSTRASSER T., FRANK H.-G., SCHMITZ C. (2016) Dose-dependent and cell type-specific cell death and proliferation following in vitro exposure to radial extracorporeal shock waves. *Sci Rep* 6, 30637
- HOOGLAND R. (1995) Ultrasound Therapy. Delft, Enraf Nonius
- HOURDEBAIGT, J. P., SEYMOUR S.L. (2000) Massage canin. Paris : Vigot
- HSIEH Y.-L., CHOU L.-W., CHANG P.-L., *et al.* (2012) Low-level laser therapy alleviates neuropathic pain and promotes function recovery in rats with chronic constriction injury: possible involvements in hypoxia-inducible factor 1 α (HIF-1 α). *J. Comp. Neurol.* 520(13), 2903-2916
- HSU R.W.-W., HSU W.-H., TAI C.-L., LEE K.-F. (2004) Effect of shock-wave therapy on patellar tendinopathy in a rabbit model. *J. Orthop. Res.* 22(1), 221-227
- HUANG B., DONG W.-J., YANG G.-Y., *et al.* (2015) Dendrimer-coupled sonophoresis-mediated transdermal drug-delivery system for diclofenac. *Drug Des Devel Ther* 9, 3867-3876
- HUGHES G.S., LICHSTEIN P.R., WHITLOCK D., HARKER C. (1984) Response of plasma beta-endorphins to transcutaneous electrical nerve stimulation in healthy subjects. *Phys Ther* 64(7), 1062-1066
- IKOMI F., HUNT J., HANNA G., SCHMID-SCHÖNBEIN G.W. (1996) Interstitial fluid, plasma protein, colloid, and leukocyte uptake into initial lymphatics. *J. Appl. Physiol.* 81(5), 2060-2067
- ILLESCAS-MONTES R., MELGUIZO-RODRÍGUEZ L., GARCÍA-MARTÍNEZ O., *et al.* (2019) Human Fibroblast Gene Expression Modulation Using 940 NM Diode Laser. *Sci Rep* 9(1), 1-7
- INANMAZ M.E., USLU M., ISIK C., *et al.* (2014) Extracorporeal shockwave increases the effectiveness of systemic antibiotic treatment in implant-related chronic osteomyelitis: experimental study in a rat model. *J. Orthop. Res.* 32(6), 752-756

- JACOBS M. (1960) Massage for the relief of pain: anatomical and physiological considerations. *Phys Ther Rev* 40, 93-98
- JACQUES S.L. (2013) Optical properties of biological tissues: a review. *Phys Med Biol* 58(11), R37-61
- JAEGGER G., MARCELLIN-LITTLE D.J., LEVINE D. (2002) Reliability of goniometry in Labrador Retrievers. *Am. J. Vet. Res.* 63(7), 979-986
- JALAL J., LEONG T.S.H. (2018) Microstreaming and Its Role in Applications: A Mini-Review. *Fluids* 3(4), 93
- JOHNSON J.M., JOHNSON A.L., PIJANOWSKI G.J., *et al.* (1997) Rehabilitation of dogs with surgically treated cranial cruciate ligament-deficient stifles by use of electrical stimulation of muscles. *Am. J. Vet. Res.* 58(12), 1473-1478
- JORTIKKA M., INKINEN R., TAMMI M., *et al.* (1997) Immobilisation causes longlasting matrix changes both in the immobilised and contralateral joint cartilage. *Ann Rheum Dis* 56(4), 255-261
- KAMALI F., BAYAT M., TORKAMAN G., EBRAHIMI E., SALAVATI M. (2007) The therapeutic effect of low-level laser on repair of osteochondral defects in rabbit knee. *J. Photochem. Photobiol. B, Biol.* 88(1), 11-15
- KANEPS A.J., STOVER S.M., LANE N.E. (1997) Changes in canine cortical and cancellous bone mechanical properties following immobilization and remobilization with exercise. *Bone* 21(5), 419-423
- KARATAY S., AYGUL R., ALKAN MELIKOGLU M., *et al.* (2009) Comparaison entre phonophorèse, ionophorèse et injections locales de corticoïdes dans le traitement du syndrome du canal carpien. *Rev Rhum Ed Fr* 76(12), 1368-1370
- KARU T. (1999) Primary and secondary mechanisms of action of visible to near-IR radiation on cells. *J. Photochem. Photobiol. B, Biol.* 49(1), 1-17
- KAUL M.P., HERRING S.A. (1994) Superficial Heat and Cold. *Phys Sportsmed* 22(12), 65-74
- KAULESAR JOHANNES E.J., SUKUL D.M., BIJMA A.M., MULDER P.G. (1994) Effects of high-energy shockwaves on normal human fibroblasts in suspension. *J. Surg. Res.* 57(6), 677-681
- KENNET J., HARDAKER N., HOBBS S., SELFE J. (2007) Cooling Efficiency of 4 Common Cryotherapeutic Agents. *J Athl Train* 42(3), 343-348
- KERSH K.D., MCCLURE S.R., VAN SICKLE D., EVANS R.B. (2006) The evaluation of extracorporeal shock wave therapy on collagenase induced superficial digital flexor tendonitis. *Vet Comp Orthop Traumatol* 19(2), 99-105
- KERSTEIN R.L., LISTER T., COLE R. (2014) Laser therapy and photosensitive medication: a review of the evidence. *Lasers Med Sci* 29(4), 1449-1452
- KESHRI G.K., GUPTA A., YADAV A., SHARMA S.K., SINGH S.B. (2016) Photobiomodulation with Pulsed and Continuous Wave Near-Infrared Laser (810 nm, Al-Ga-As) Augments Dermal Wound Healing in Immunosuppressed Rats. *PLoS ONE* 11(11), e0166705
- KHOO N.K., SHOKRGOZAR M.A., KASHANI I.R., *et al.* (2014) In vitro Therapeutic Effects of Low Level Laser at mRNA Level on the Release of Skin Growth Factors from Fibroblasts in Diabetic Mice. *Avicenna J Med Biotechnol* 6(2), 113-118
- KINODA J., ISHIHARA M., NAKAMURA S., *et al.* (2018) Protective effect of FGF-2 and low-molecular-weight heparin/protamine nanoparticles on radiation-induced healing-impaired wound repair in rats. *J. Radiat. Res.* 59(1), 27-34
- KIVIRANTA I., TAMMI M., JURVELIN J., *et al.* (1994) Articular cartilage thickness and glycosaminoglycan distribution in the young canine knee joint after remobilization of the immobilized limb. *J Orthop Res* 12(2), 161-167
- KLASS B.R., GROBBELAAR A.O., ROLFE K.J. (2009) Transforming growth factor beta1 signalling, wound healing and repair: a multifunctional cytokine with clinical implications for wound repair, a delicate balance. *Postgrad Med J* 85(999), 9-14

- KLEIN L., PLAYER J.S., HEIPLE K.G., BAHNIUK E., GOLDBERG V.M. (1982) Isotopic evidence for resorption of soft tissues and bone in immobilized dogs. *J Bone Joint Surg Am* 64(2), 225-230
- KNAFLITZ M., MERLETTI R., DE LUCA C.J. (1990) Inference of motor unit recruitment order in voluntary and electrically elicited contractions. *J. Appl. Physiol.* 68(4), 1657-1667
- KRESPI Y.P., KIZHNER V., KARA C.O. (2009) Laser-induced microbial reduction in acute bacterial rhinosinusitis. *Am J Rhinol Allergy* 23(6), e29-32
- LABAJOS M. (1988) Beta-endorphin levels modification after GaAs and HeNe laser irradiation on the rabbit. , Comparative study. *Invest Clin.* 1–2:6–8
- LABAN M.M. (1962) Collagen tissue: implications of its response to stress in vitro. *Arch Phys Med Rehabil* 43, 461-466
- LANE N.E., KANEPS A.J., STOVER S.M., MODIN G., KIMMEL D.B. (1996) Bone mineral density and turnover following forelimb immobilization and recovery in young adult dogs. *Calcif. Tissue Int.* 59(5), 401-406
- LAROS G.S., TIPTON C.M., COOPER R.R., *et al.* (1971) Influence of Physical Activity on Ligament Insertions in the Knees of Dogs. *JBS* 53(2), 275
- LAURETTI G.R. (2015) The evolution of spinal/epidural neostigmine in clinical application: Thoughts after two decades. *Saudi J Anaesth* 9(1), 71-81
- LEEMAN J.J., SHAW K.K., MISON M.B., *et al.* (2016) Extracorporeal shockwave therapy and therapeutic exercise for supraspinatus and biceps tendinopathies in 29 dogs. *Vet Rec* 179(15), 385-385
- LEVINE D., MILLIS D.L., MYNATT T. (2001) Effects of 3.3-MHz ultrasound on caudal thigh muscle temperature in dogs. *Vet Surg* 30(2), 170-174
- LEVINE D., V T., MILLIS D. (2002a) Percentage of normal weightbearing during partial immersion at various depths in dogs, *Am J Vet Res*, 71, 1413–1416.
- LEVINE D., KD J., MN P., NH S., MILLIS D. (2002b) The effect of TENS on osteoarthritic pain in the stifle on dogs. In *Proc 2nd Int Symp Phys Ther Rehabil Vet Med*, Knoxville
- LEVINE D., MARCELLIN-LITTLE D., MILLIS D., TRAGAUER V., OSBORNE J. (2010) Effects of partial immersion in water on vertical ground reaction forces and weight distribution in dogs. *Am. J. Vet. Res.*, 71, 1413-6
- LIGHT K.E., NUZIK S., PERSONIUS W., BARSTROM A. (1984) Low-load prolonged stretch vs. high-load brief stretch in treating knee contractures. *Phys Ther* 64(3), 330-333
- LOONEY A.L., HUNTINGFORD J.L., BLAESER L.L., MANN S. (2018) A randomized blind placebo-controlled trial investigating the effects of photobiomodulation therapy (PBMT) on canine elbow osteoarthritis. *Can. Vet. J.* 59(9), 959-966
- LOW J., REED A. (2000) *Electrotherapy explained. Principles and practice*, ed 3, Oxford, MA, Butterworth-Heinemann. ed
- LYON R., LIU X.C., MEIER J. (2003) The effects of therapeutic vs. high-intensity ultrasound on the rabbit growth plate. *J. Orthop. Res.* 21(5), 865-871
- MADDING S.W., WONG J.G., HALLUM A., MEDEIROS J. (1987) Effect of duration of passive stretch on hip abduction range of motion. *J Orthop Sports Phys Ther* 8(8), 409-416
- MAIA FILHO A.L.M., VILLAVARDE A.B., MUNIN E., AIMBIRE F., ALBERTINI R. (2010) Comparative study of the topical application of Aloe vera gel, therapeutic ultrasound and phonophoresis on the tissue repair in collagenase-induced rat tendinitis. *Ultrasound Med Biol* 36(10), 1682-1690
- MAIER M., TISCHER T., MILZ S., *et al.* (2002) Dose-related effects of extracorporeal shock waves on rabbit quadriceps tendon integrity. *Arch Orthop Trauma Surg* 122(8), 436-441
- MAIER M., AVERBECK B., MILZ S., REFIOR H.J., SCHMITZ C. (2003) Substance P and prostaglandin E2 release after shock wave application to the rabbit femur. *Clin. Orthop. Relat. Res.* n°406, 237-245

- MARIOTTO S., DE PRATI A.C., CAVALIERI E., *et al.* (2009) Extracorporeal shock wave therapy in inflammatory diseases: molecular mechanism that triggers anti-inflammatory action. *Curr. Med. Chem.* 16(19), 2366-2372
- MARSOLAIS G., MCLEAN S., DERRICK T., CONZEMIUS M. (2003) Kinematic analysis of the hind limb during swimming and walking in healthy dogs and dogs with surgically corrected CCL rupture. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 222, 739-43
- MASHA R.T., HOURELD N.N., ABRAHAMSE H. (2013) Low-intensity laser irradiation at 660 nm stimulates transcription of genes involved in the electron transport chain. *Photomed Laser Surg* 31(2), 47-53
- MASOUMIPOOR M., JAMEIE S.B., JANZADEH A., *et al.* (2014) Effects of 660- and 980-nm low-level laser therapy on neuropathic pain relief following chronic constriction injury in rat sciatic nerve. *Lasers Med Sci* 29(5), 1593-1598
- MCMEEKEN J.M., BELL C. (1990) Effects of selective blood and tissue heating on blood flow in the dog hindlimb. *Exp. Physiol.* 75(3), 359-366
- MENARD M.B. (2015) Immediate Effect of Therapeutic Massage on Pain Sensation and Unpleasantness: A Consecutive Case Series. *Glob Adv Health Med* 4(5), 56-60
- MENSE S. (1978) Effects of temperature on the discharges of muscle spindles and tendon organs. *Pflugers Arch.* 374(2), 159-166
- MILLARD R.P., TOWLE-MILLARD H.A., RANKIN D.C., ROUSH J.K. (2013a) Effect of warm compress application on tissue temperature in healthy dogs. *Am. J. Vet. Res.* 74(3), 448-451
- MILLARD R.P., TOWLE-MILLARD H.A., RANKIN D.C., ROUSH J.K. (2013b) Effect of cold compress application on tissue temperature in healthy dogs. *Am. J. Vet. Res.* 74(3), 443-447
- MILLIS D., DRUM M., WHITLOCK D. (2011) Complementary use of extracorporeal shock wave therapy on elbow osteoarthritis in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 24, A1
- MILLIS D.L., LEVINE D. (Éd.) (2014) Canine rehabilitation and physical therapy, Second edition. ed. Philadelphia, PA, Elsevier
- MITCHELL U.H., MACK G.L. (2013) Low-level laser treatment with near-infrared light increases venous nitric oxide levels acutely: a single-blind, randomized clinical trial of efficacy. *Am J Phys Med Rehabil* 92(2), 151-156
- MLACNIK E., BOCKSTAHLER B.A., MÜLLER M., *et al.* (2006) Effects of caloric restriction and a moderate or intense physiotherapy program for treatment of lameness in overweight dogs with osteoarthritis. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 229(11), 1756-1760
- MOONEY V., STILLS M. (1987) Continuous passive motion with joint fractures and infections. *Orthop Clin North Am*, 1-9
- MORETTI B., IANNONE F., NOTARNICOLA A., *et al.* (2008) Extracorporeal shock waves down-regulate the expression of interleukin-10 and tumor necrosis factor-alpha in osteoarthritic chondrocytes. *BMC Musculoskelet Disord* 9, 16
- MORRONE G., GUZZARDELLA G.A., TORRICELLI P., *et al.* (2000) Osteochondral lesion repair of the knee in the rabbit after low-power diode Ga-Al-As laser biostimulation: an experimental study. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol* 28(4), 321-336
- MOYER C.A., ROUNDS J., HANNUM J.W. (2004) A meta-analysis of massage therapy research. *Psychol Bull* 130(1), 3-18
- MUELLER M., BOCKSTAHLER B., SKALICKY M., MLACNIK E., LORINSON D. (2007) Effects of radial shockwave therapy on the limb function of dogs with hip osteoarthritis. *Vet Rec* 160, 762-5
- NADLER S.F., WEINGAND K., KRUSE R.J. (2004) The physiologic basis and clinical applications of cryotherapy and thermotherapy for the pain practitioner. *Pain Physician* 7(3), 395-399

- NAN N., SI D., HU G. (2018) Nanoscale cavitation in perforation of cellular membrane by shock-wave induced nanobubble collapse. *J Chem Phys* 149(7), 074902
- NGANVONGPANIT K., KONGSAWASDI S., CHUATRAKOON B., YANO T. (2011) Heart rate change during aquatic exercise in small, medium and large healthy dogs. *Wetchasan Sattawaphaet* 41, 455-461
- NGANVONGPANIT K., BOONCHAI T., TAOTHONG O., SATHANAWONGS A. (2014a) Physiological Effects of Water Temperatures in Swimming Toy Breed Dogs. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi* 20
- NGANVONGPANIT K., TANVISUT S., YANO T., KONGTAWELERT P. (2014b) Effect of Swimming on Clinical Functional Parameters and Serum Biomarkers in Healthy and Osteoarthritic Dogs. *ISRN Vet Sci* 2014
- NICOLAU R.A., MARTINEZ M.S., RIGAU J., TOMÀS J. (2004) Neurotransmitter release changes induced by low power 830 nm diode laser irradiation on the neuromuscular junctions of the mouse. *Lasers Surg Med* 35(3), 236-241
- NINOMIYA T., HOSOYA A., NAKAMURA H., *et al.* (2007) Increase of bone volume by a nanosecond pulsed laser irradiation is caused by a decreased osteoclast number and an activated osteoblasts. *Bone* 40(1), 140-148
- NOGUEIRA A.C., JÚNIOR M. de J.M. (2015) The effects of laser treatment in tendinopathy: a systematic review. *Acta Ortop Bras* 23(1), 47-49
- NUSSBAUM E.L., LILGE L., MAZZULLI T. (2003) Effects of low-level laser therapy (LLLT) of 810 nm upon in vitro growth of bacteria: relevance of irradiance and radiant exposure. *J Clin Laser Med Surg* 21(5), 283-290
- OHWATASHI A., IKEDA S., HARADA K., *et al.* (2015) Temperature changes caused by the difference in the distance between the ultrasound transducer and bone during 1 mhz and 3 mhz continuous ultrasound: a phantom study. *J Phys Ther Sci* 27(1), 205-208
- OLIVEIRA S.P. de, RAHAL S.C., PEREIRA E.J., *et al.* (2012) Low-level laser on femoral growth plate in rats. *Acta Cir Bras* 27(2), 117-122
- PALMOSKI M.J., BRANDT K.D. (1981) Running inhibits the reversal of atrophic changes in canine knee cartilage after removal of a leg cast. *Arthritis Rheum.* 24(11), 1329-1337
- PARRADO C., PELÁEZ A., VIDAL L., PÉREZ DE VARGAS I. (1990) Quantitative study of the morphological changes in the thyroid gland following IR laser radiation. *Laser Med Sci* 5(1), 77-80
- PARRADO C., CARRILLO DE ALBORNOZ F., VIDAL L., PÉREZ DE VARGAS I. (1999) A quantitative investigation of microvascular changes in the thyroid gland after infrared (IR) laser radiation. *Histol. Histopathol.* 14(4), 1067-1071
- PASSARELLA S., KARU T. (2014) Absorption of monochromatic and narrow band radiation in the visible and near IR by both mitochondrial and non-mitochondrial photoacceptors results in photobiomodulation. *J. Photochem. Photobiol. B, Biol.* 140, 344-358
- PEPLOW P.V., CHUNG T.-Y., BAXTER G.D. (2010) Laser photobiomodulation of proliferation of cells in culture: a review of human and animal studies. *Photomed Laser Surg* 28 Suppl 1, S3-40
- PEPLOW P.V., BAXTER G.D. (2012) Gene expression and release of growth factors during delayed wound healing: a review of studies in diabetic animals and possible combined laser phototherapy and growth factor treatment to enhance healing. *Photomed Laser Surg* 30(11), 617-636
- PETROFSKY J.S., LAYMON M., LEE H. (2013) Effect of heat and cold on tendon flexibility and force to flex the human knee. *Med Sci Monit* 19, 661-667
- POYTON R.O., BALL K.A. (2011) Therapeutic photobiomodulation: nitric oxide and a novel function of mitochondrial cytochrome c oxidase. *Discov Med* 11(57), 154-159
- REBUZZI E., COLETTI N., SCHIAVETTI S., GIUSTO F. (2008) Arthroscopy surgery versus shock wave therapy for chronic calcifying tendinitis of the shoulder. *J Orthop Traumatol* 9(4), 179-185

- RIBAS E.S.C., PAIVA W.S., PINTO N.C., *et al.* (2012) Use of low intensity laser treatment in neuropathic pain refractory to clinical treatment in amputation stumps. *Int J Gen Med* 5, 739-742
- ROBERTS D.B., KRUSE R.J., STOLL S.F. (2013) The effectiveness of therapeutic class IV (10 W) laser treatment for epicondylitis. *Lasers Surg Med* 45(5), 311-317
- ROCHKIND S., SHAINBERG A. (2013) Protective effect of laser phototherapy on acetylcholine receptors and creatine kinase activity in denervated muscle. *Photomed Laser Surg* 31(10), 499-504
- RIEGEL R.J., GODBOLD J.C. (2017) *Laser Therapy in Veterinary Medicine: Photobiomodulation*, 1^{re} ed. Chichester, West Sussex ; Hoboken, N.J, Wiley-Blackwell
- RUEGAMER W.R., BERNSTEIN L., BENJAMIN J.D. (1954) Growth, food utilization, and thyroid activity in the albino rat as a function of extra handling. *Science* 120(3109), 184-185
- SALAR G., JOB I., MINGRINO S., BOSIO A., TRABUCCHI M. (1981) Effect of transcutaneous electrotherapy on CSF beta-endorphin content in patients without pain problems. *Pain* 10(2), 169-172
- SALTER R.B., BELL R.S., KEELEY F.W. (1981) The protective effect of continuous passive motion in living articular cartilage in acute septic arthritis: an experimental investigation in the rabbit. *Clin. Orthop. Relat. Res.* n°159, 223-247
- SALTER R.B., HAMILTON H.W., WEDGE J.H., *et al.* (1984) Clinical application of basic research on continuous passive motion for disorders and injuries of synovial joints: a preliminary report of a feasibility study. *J. Orthop. Res.* 1(3), 325-342
- SAMOILOVA K.A., ZHEVAGO N.A., PETRISHCHEV N.N., ZIMIN A.A. (2008) Role of nitric oxide in the visible light-induced rapid increase of human skin microcirculation at the local and systemic levels: II. healthy volunteers. *Photomed Laser Surg* 26(5), 443-449
- SARACINO S., MOZZATI M., MARTINASSO G., *et al.* (2009) Superpulsed laser irradiation increases osteoblast activity via modulation of bone morphogenetic factors. *Lasers Surg Med* 41(4), 298-304
- SCHADEN W., MITTERMAYR R., HAFFNER N., *et al.* (2015) Extracorporeal shockwave therapy (ESWT) – First choice treatment of fracture non-unions? *International Journal of Surgery, Extracorporeal Shockwave Treatment (ESWT) - Curr Concepts* 24, 179-183
- SELYE H. (1950) Stress and the General Adaptation Syndrome. *Br Med J* 1(4667), 1383-1392
- SINACORE D.R., DELITTO A., KING D.S., ROSE S.J. (1990) Type II fiber activation with electrical stimulation: a preliminary report. *Phys Ther* 70(7), 416-422
- SLUKA K.A., WALSH D. (2003) Transcutaneous electrical nerve stimulation: basic science mechanisms and clinical effectiveness. *J Pain* 4(3), 109-121
- SNYDER-MACKLER L., LADIN Z., SCHEPSIS A.A., YOUNG J.C. (1991) Electrical stimulation of the thigh muscles after reconstruction of the anterior cruciate ligament. Effects of electrically elicited contraction of the quadriceps femoris and hamstring muscles on gait and on strength of the thigh muscles. *J Bone Joint Surg Am* 73(7), 1025-1036
- SOBOL E., SVIRIDOV A., OMELCHENKO A., *et al.* (2011) Optical methods for diagnostics and feedback control in laser-induced regeneration of spine disc and joint cartilages, *BiOS*, 36
- SOUZA A.N.A., FERREIRA M.P., HAGEN S.C.F., PATRICIO G.C.F., MATERA J.M. (2016) Radial shock wave therapy in dogs with hip osteoarthritis. *Vet Comp Orthop Traumatol* 29(2), 108-114
- SPROUSE-BLUM A.S., SMITH G., SUGAI D., PARSA F.D. (2010) Understanding Endorphins and Their Importance in Pain Management. *Hawaii Med J* 69(3), 70-71
- STADLER I., LANZAFAME R.J., EVANS R., *et al.* (2001) 830-nm irradiation increases the wound tensile strength in a diabetic murine model. *Lasers Surg Med* 28(3), 220-226

- STARRING D.T., GOSSMAN M.R., NICHOLSON G.G., LEMONS J. (1988) Comparison of cyclic and sustained passive stretching using a mechanical device to increase resting length of hamstring muscles. *Phys Ther* 68(3), 314-320
- STEIN A., BENAYAHU D., MALTZ L., ORON U. (2005) Low-level laser irradiation promotes proliferation and differentiation of human osteoblasts in vitro. *Photomed Laser Surg* 23(2), 161-166
- STEIN E., KOEHN J., SUTTER W., *et al.* (2008) Initial effects of low-level laser therapy on growth and differentiation of human osteoblast-like cells. *Wien. Klin. Wochenschr.* 120(3-4), 112-117
- SUNDARAM J., MELLEIN B.R., MITRAGOTRI S. (2003) An Experimental and Theoretical Analysis of Ultrasound-Induced Permeabilization of Cell Membranes. *Biophys J* 84(5), 3087-3101
- SZEZERBATY S.K.F., DE OLIVEIRA R.F., PIRES-OLIVEIRA D.A.A., *et al.* (2018) The effect of low-level laser therapy (660 nm) on the gene expression involved in tissue repair. *Lasers Med Sci* 33(2), 315-321
- TABARY J.C., TABARY C., TARDIEU C., TARDIEU G., GOLDSPIK G. (1972) Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts. *J. Physiol. (Lond.)* 224(1), 231-244
- TAHA M.F., VALOJERDI M.R. (2004) Quantitative and qualitative changes of the seminiferous epithelium induced by Ga. Al. As. (830 nm) laser radiation. *Lasers Surg Med* 34(4), 352-359
- TANG E., ARANY P. (2013) Photobiomodulation and implants: implications for dentistry. *J Periodontal Implant Sci*, 43(6), 262
- TESCH P.A., VON WALDEN F., GUSTAFSSON T., LINNEHAN R.M., TRAPPE T.A. (2008) Skeletal muscle proteolysis in response to short-term unloading in humans. *J. Appl. Physiol.* 105(3), 902-906
- TOMAZONI S.S., LEAL-JUNIOR E.C.P., PALLOTTA R.C., *et al.* (2017) Effects of photobiomodulation therapy, pharmacological therapy, and physical exercise as single and/or combined treatment on the inflammatory response induced by experimental osteoarthritis. *Lasers Med Sci* 32(1), 101-108
- TRUDEL G., UHTHOFF H.K., GOUDREAU L., LANEUVILLE O. (2014) Quantitative analysis of the reversibility of knee flexion contractures with time: an experimental study using the rat model. *BMC Musculoskelet Disord* 15
- TSAI W.-C., TANG S.-T., LIANG F.-C. (2011) Effect of therapeutic ultrasound on tendons. *Am J Phys Med Rehabil* 90(12), 1068-1073
- TSAI W.-C., HSU C.-C., PANG J.-H.S., *et al.* (2012) Low-level laser irradiation stimulates tenocyte migration with up-regulation of dynamin II expression. *PLoS ONE* 7(5), e38235
- TSAI W.-C., CHENG J.-W., CHEN J.-L., *et al.* (2014) Low-level laser irradiation stimulates tenocyte proliferation in association with increased NO synthesis and upregulation of PCNA and cyclins. *Lasers Med Sci* 29(4), 1377-1384
- UEDA Y., SHIMIZU N. (2003) Effects of pulse frequency of low-level laser therapy (LLLT) on bone nodule formation in rat calvarial cells. *J Clin Laser Med Surg* 21(5), 271-277
- UHTHOFF H.K., JAWORSKI Z.F.G. (1978) Bone loss in response to long-term immobilisation. *J Bone Joint Surg Br*, 60-B(3), 420-429
- VALLONE F., BENEDICENTI S., SORRENTI E., SCHIAVETTI I., ANGIERO F. (2014) Effect of diode laser in the treatment of patients with nonspecific chronic low back pain: a randomized controlled trial. *Photomed Laser Surg* 32(9), 490-494
- VAN DER WORP H., VAN DEN AKKER-SCHEEK I., VAN SCHIE H., ZWERVER J. (2013) ESWT for tendinopathy: technology and clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21(6), 1451-1458
- VANCE C.G., DAILEY D.L., RAKEL B.A., SLUKA K.A. (2014) Using TENS for pain control: the state of the evidence. *Pain Manag* 4(3), 197-209

- VANNATTA ML, Millis DL, Adair S (2004) Effects of cryotherapy on temperature change in caudal thigh muscles of dogs. 31st Veterinary Orthopedic Society, Big Sky, MT.
- VANNETTA M., MILLIS D., LEVINE D. (2006) The effects of cryotherapy on in-vivo skin and muscle temperature, and intramuscular blood flow. *J Orthop Sports Phys Ther* 36, A47
- VIEIRA RAMOS G., PINHEIRO C.M., MESSA S.P., *et al.* (2016) Cryotherapy Reduces Inflammatory Response Without Altering Muscle Regeneration Process and Extracellular Matrix Remodeling of Rat Muscle. *Sci Rep* 6
- VON LEDEN R.E., COONEY S.J., FERRARA T.M., *et al.* (2013) 808 nm wavelength light induces a dose-dependent alteration in microglial polarization and resultant microglial induced neurite growth. *Lasers Surg Med* 45(4), 253-263
- WALKER J. (1983) Relief from chronic pain by low power laser irradiation. *Neurosci. Lett.* 43(2-3), 339-344
- WANG C.-J., HUANG H.-Y., CHEN H.-H., PAI C.-H., YANG K.D. (2001) Effect of Shock Wave Therapy on Acute Fractures of the Tibia: A Study in a Dog Model. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 387, 112
- WANG C.-J., WANG F.-S., YANG K.D., *et al.* (2003) Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon-bone junction. A study in rabbits. *J. Orthop. Res.* 21(6), 984-989
- WANG F.-S., YANG K.D., KUO Y.-R., *et al.* (2003) Temporal and spatial expression of bone morphogenetic proteins in extracorporeal shock wave-promoted healing of segmental defect. *Bone* 32(4), 387-396
- WANG C.-J., WANG F.-S., HUANG C.-C., *et al.* (2005) Treatment for osteonecrosis of the femoral head: comparison of extracorporeal shock waves with core decompression and bone-grafting. *J Bone Joint Surg Am* 87(11), 2380-2387
- WANG C.-J., WENG L.-H., KO J.-Y., *et al.* (2011a) Extracorporeal shockwave therapy shows chondroprotective effects in osteoarthritic rat knee. *Arch Orthop Trauma Surg* 131(8), 1153-1158
- WANG C.-J., WENG L.-H., KO J.-Y., *et al.* (2011b) Extracorporeal shockwave shows regression of osteoarthritis of the knee in rats. *J. Surg. Res.* 171(2), 601-608
- WANG C.-J., SUN Y.-C., WONG T., *et al.* (2012) Extracorporeal shockwave therapy shows time-dependent chondroprotective effects in osteoarthritis of the knee in rats. *J. Surg. Res.* 178(1), 196-205
- WANG C.-J., HUANG C.-Y., HSU S.-L., CHEN J.-H., CHENG J.-H. (2014) Extracorporeal shockwave therapy in osteoporotic osteoarthritis of the knee in rats: an experiment in animals. *Arthritis Res Ther* 16(4), R139
- WANN A.K.T., INGRAM K.R., COLEMAN P.J., MCHALE N., LEVICK J.R. (2009) Mechanosensitive hyaluronan secretion: stimulus-response curves and role of transcription-translation-translocation in rabbit joints. *Exp. Physiol.* 94(3), 350-361
- WARDLAW J.L., GAZZOLA K.M., WAGONER A., *et al.* (2018) Laser Therapy for Incision Healing in 9 Dogs. *Front Vet Sci* 5, 349
- WARREN C.G., LEHMANN J.F., KOBLANSKI J.N. (1976) Heat and stretch procedures: an evaluation using rat tail tendon. *Arch Phys Med Rehabil* 57(3), 122-126
- WATERS D.J., CAYWOOD D.D., TRACHTE G.J., TURNER R.T., HODGSON S.F. (1991) Immobilization increases bone prostaglandin E. Effect of acetylsalicylic acid on disuse osteoporosis studied in dogs. *Acta Orthop Scand* 62(3), 238-243
- WATERS-BANKER C., DUPONT-VERSTEEG DEN E.E., KITZMAN P.H., BUTTERFIELD T.A. (2014) Investigating the Mechanisms of Massage Efficacy: The Role of Mechanical Immunomodulation. *J Athl Train* 49(2), 266-273
- WEERSINK R., WHITE R., LILGE L. (2007) Light dosimetry for Low-Level Laser therapy: Accounting for differences in tissue and depth. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 6428, 2

- WIEWELHOVE T., SCHNEIDER C., DÖWELING A., *et al.* (2018) Effects of different recovery strategies following a half-marathon on fatigue markers in recreational runners. *PLoS One* 13(11)
- WIGERSTAD-LOSSING I., GRIMBY G., JONSSON T., *et al.* (1988) Effects of electrical muscle stimulation combined with voluntary contractions after knee ligament surgery. *Med Sci Sports Exerc* 20(1), 93-98
- WU H., DU J., ZHENG Q. (2008) Expression of MMP-1 in cartilage and synovium of experimentally induced rabbit ACLT traumatic osteoarthritis: immunohistochemical study. *Rheumatol. Int.* 29(1), 31-36
- WU X., ALBERICO S., SAIDU E., *et al.* (2015) Organic light emitting diode improves diabetic cutaneous wound healing in rats. *Wound Repair Regen* 23(1), 104-114
- YANG C., HESTON W.D.W., GULATI S., FAIR W.R. (1988) The effect of High energy shock waves (HESW) on human bone marrow. *Urol. Res.* 16(6), 427-429
- YASUDA K., HAYASHI K. (1999) Changes in biomechanical properties of tendons and ligaments from joint disuse. *Osteoarthr. Cartil.* 7(1), 122-129
- YIN T.-C., WANG C.-J., YANG K.D., WANG F.-S., SUN Y.-C. (2011) Shockwaves enhance the osteogenetic gene expression in marrow stromal cells from hips with osteonecrosis. *Chang Gung Med J* 34(4), 367-374
- YILDIRIIM M.A., UÇAR D., ÖNEŞ K. (2015) Comparison of therapeutic duration of therapeutic ultrasound in patients with knee osteoarthritis. *J Phys Ther Sci* 27(12), 3667-3670
- ZHANG Y., SONG S., FONG C.-C., *et al.* (2003) cDNA microarray analysis of gene expression profiles in human fibroblast cells irradiated with red light. *J. Invest. Dermatol.* 120(5), 849-857
- ZHANG H., LI Z.-L., YANG F., *et al.* (2018) Radial shockwave treatment promotes human mesenchymal stem cell self-renewal and enhances cartilage healing. *Stem Cell Res Ther* 9(1), 54
- ZHU Z., BOWMAN H.R., BAGHDOYAN H.A., LYDIC R. (2008) Morphine increases acetylcholine release in the trigeminal nuclear complex. *Sleep* 31(12), 1629-1637

Annexe 1 : Mesure de l'amplitude de mouvement articulaire

La prise de mesure des amplitudes de mouvement articulaire se réalise à l'aide d'un goniomètre. L'amplitude d'une articulation correspond à la différence entre l'angle de l'articulation formé en extension et l'angle de l'articulation formé en flexion.

Figure 57 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un carpe : dans cet exemple $196^{\circ} - 32^{\circ} = 164^{\circ}$ (Jaegger *et al.*, 2002)

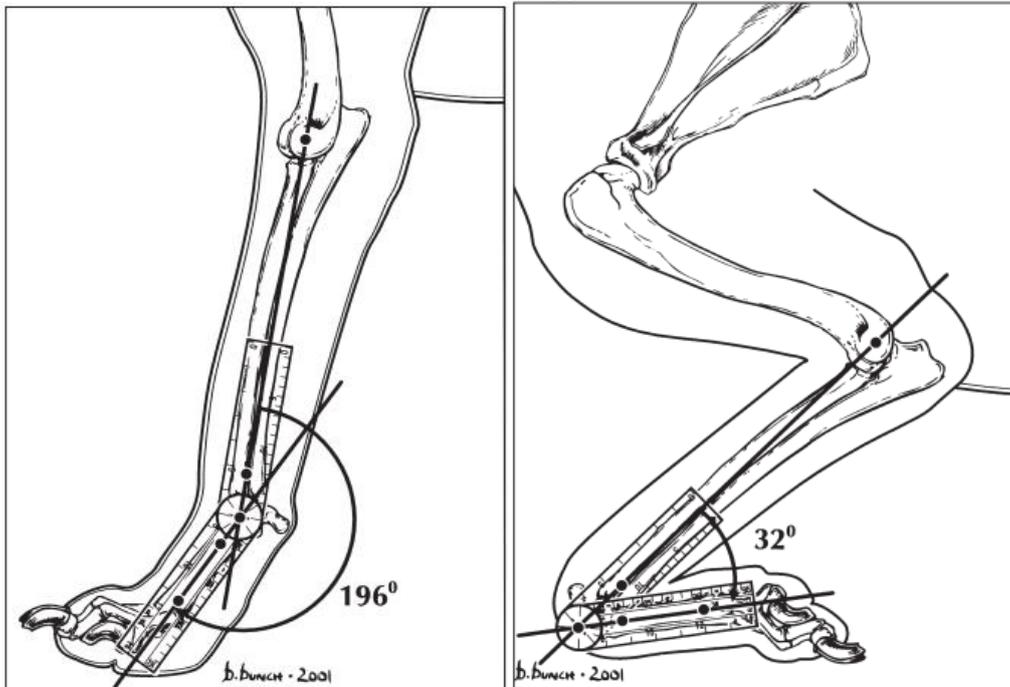


Figure 58 : Amplitude de mouvement physiologique d'un carpe en vaus et en valgus (Jaegger *et al.*, 2002)

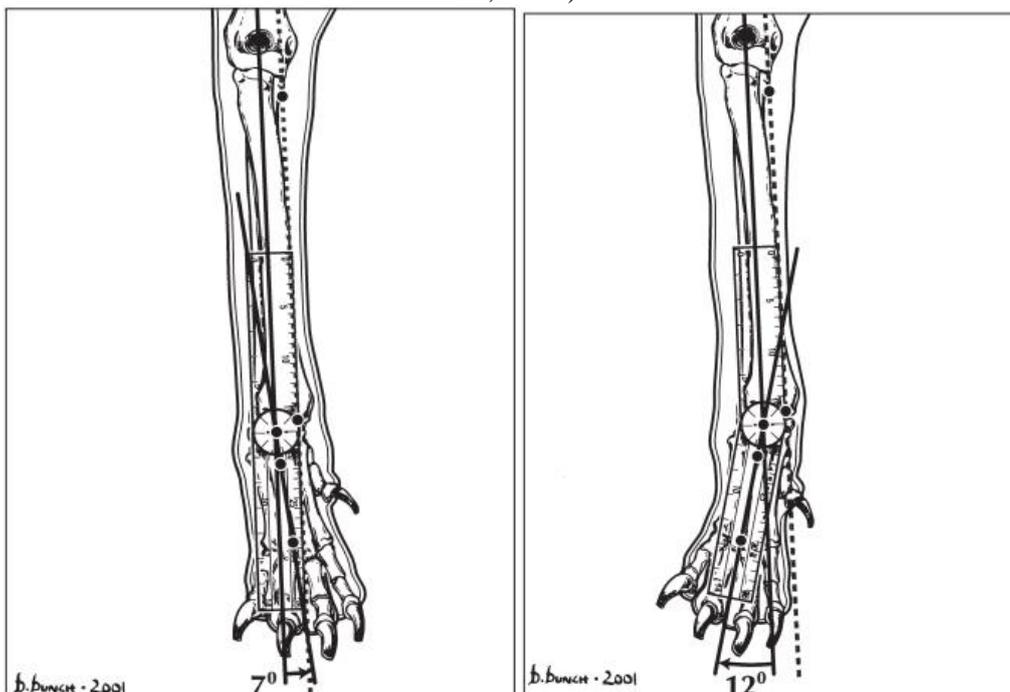


Figure 59 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un coude : dans cet exemple $166^\circ - 36^\circ = 130^\circ$ (Jaegger *et al.*, 2002)

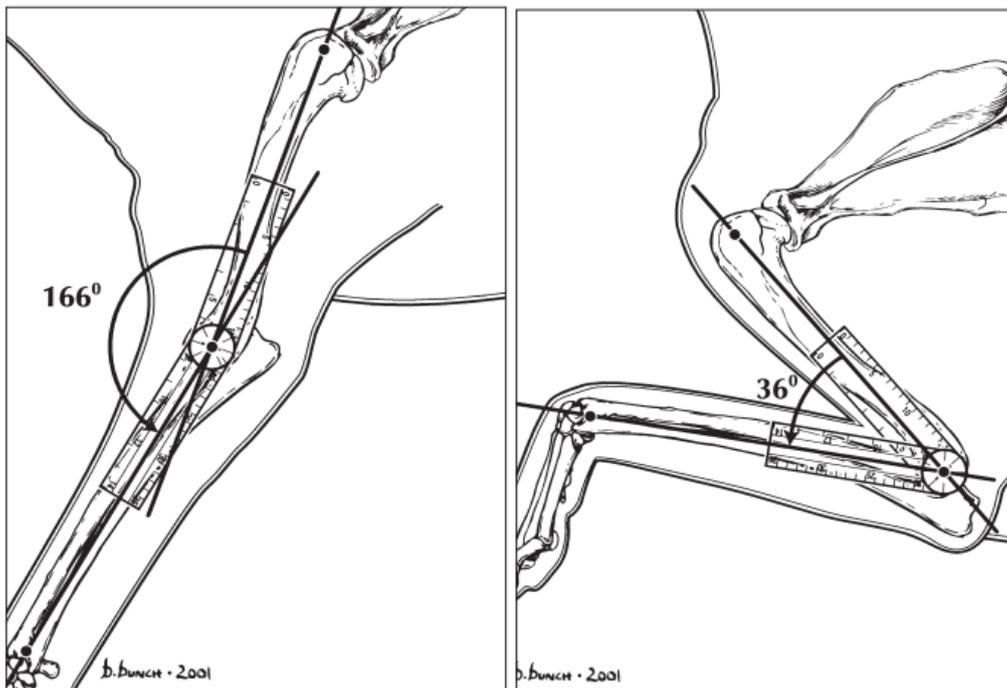


Figure 60 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'une épaule : dans cet exemple $165^\circ - 57^\circ = 108^\circ$ (Jaegger *et al.*, 2002)

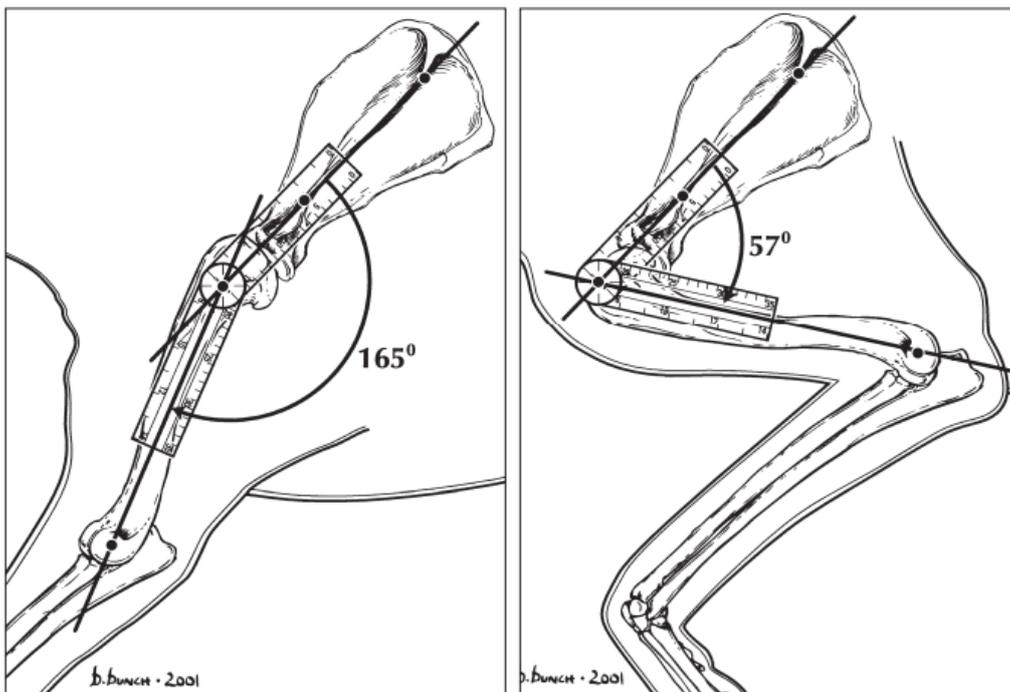


Figure 61 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un tarse : dans cet exemple $165^{\circ} - 38^{\circ} = 127^{\circ}$ (Jaegger *et al.*, 2002)

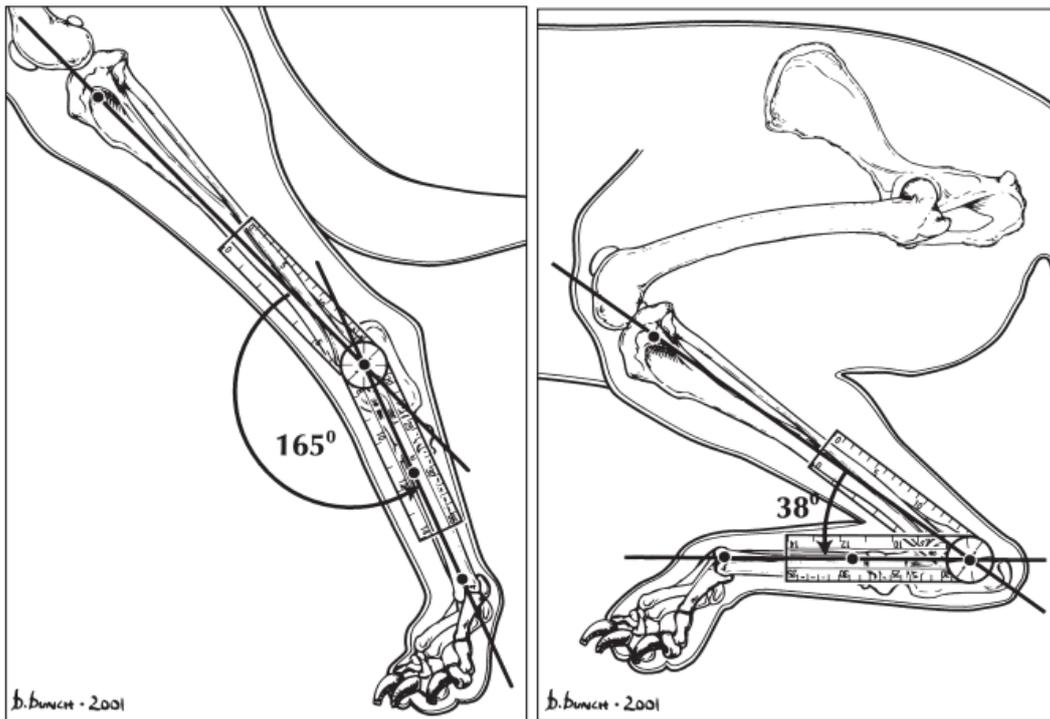


Figure 62 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'un genou : dans cet exemple $162^{\circ} - 41^{\circ} = 121^{\circ}$ (Jaegger *et al.*, 2002)

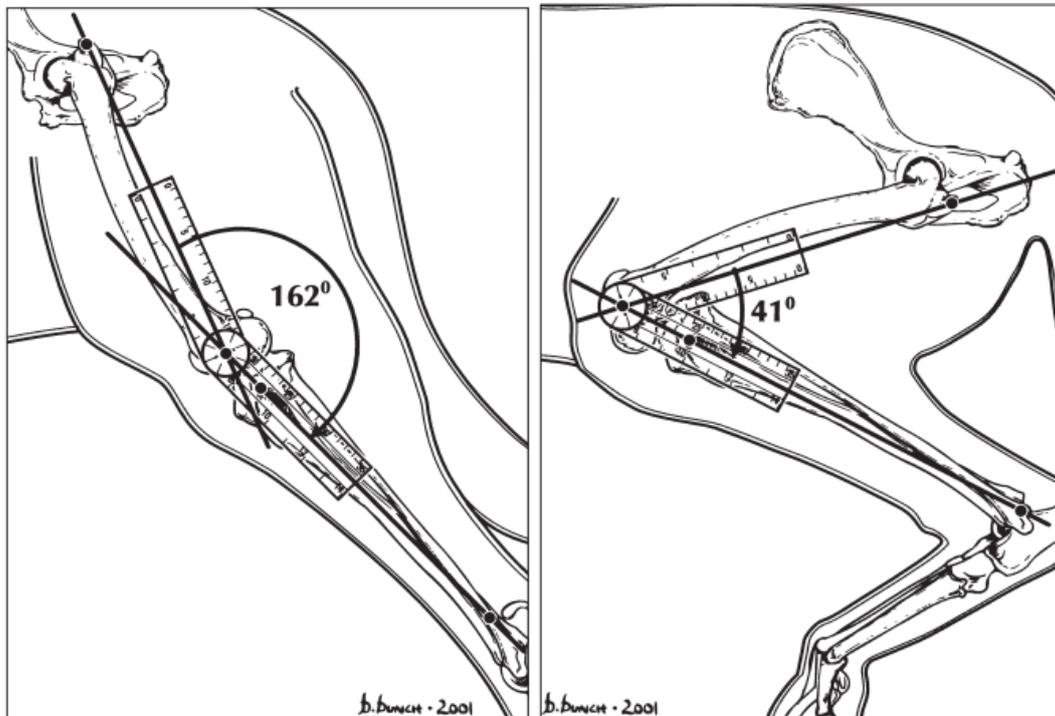


Figure 63 : Mesure de l'amplitude de mouvement physiologique d'une hanche : dans cet exemple $162^\circ - 50^\circ = 112^\circ$ (Jaegger *et al.*, 2002)

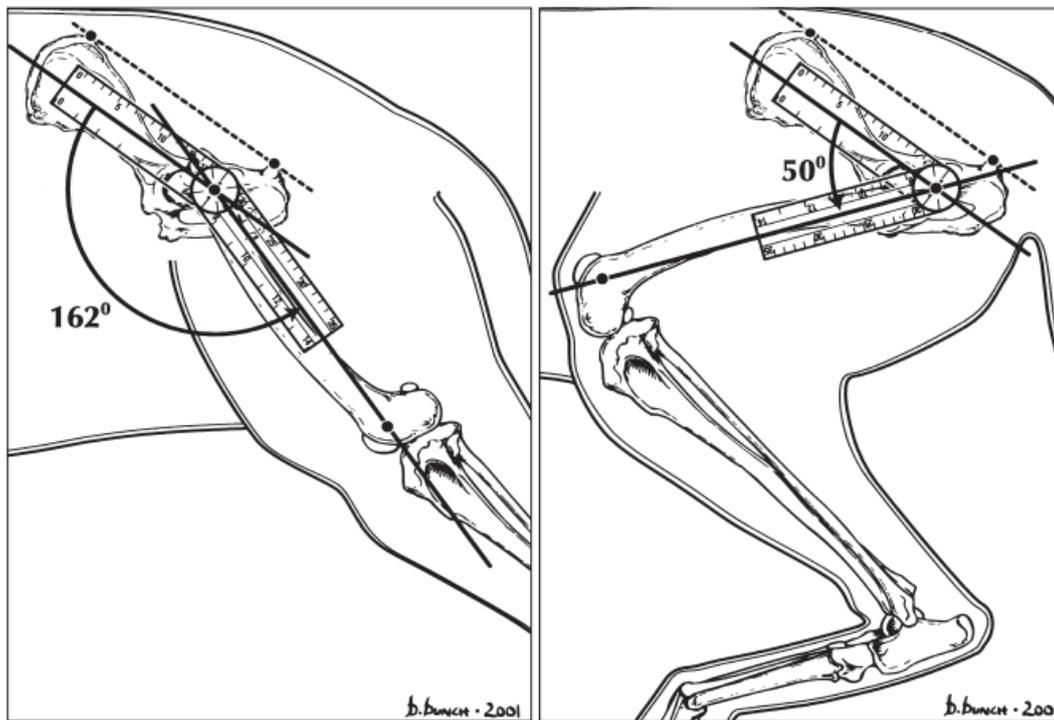


Figure 64 : Tableau reprennant les angles de flexion et d'extension physiologiques pour chaque articulation chez le labrador et le Border Collie (Hady* *et al.*, 2015)

Location	Measurement	Collies	Labradors	P Value*
		Median (IQR)	Median (IQR)	
Elbow	Extension	180 (179, 185)	170 (170, 175)	-
	Flexion	50 (50, 60)	45 (41, 50)	-
Shoulder	Extension	175 (165, 185)	170 (165, 174)	-
	Flexion	50 (40, 50)	40 (40, 45)	-
Carpus	Extension	205 (200, 210)	200 (190, 205)	-
	Flexion	50 (50, 60)	43 (40, 50)	-
Stifle	Extension	180 (176, 190)	169 (165, 172)	-
	Flexion	50 (50, 60)	45 (40, 50)	-
Hip	Extension	170 (155, 175)	159 (151, 160)	-
	Flexion	50 (44, 50)	45 (40, 50)	-
Tarsus	Extension	180 (180, 180)	175 (175, 180)	-
	Flexion	50 (40, 60)	40 (40, 40)	-
Overall	Extension	180 (170, 190)	170 (165, 180)	-
	Flexion	50 (50, 60)	40 (40, 50)	-
Shoulder	Abduction	70 (60, 75)	45 (41, 50)	<0.001
Humerus	Circumference	15 (14, 15)	20 (19, 21)	<0.001
Thigh	Circumference	27 (25, 30)	35 (33, 37)	<0.001

IQR: Interquartile range; *Repeated measures ANOVA comparing Collies and Labradors while adjusting for sex and age.

Annexe 2 : Fiches d'évaluation de la douleur

Figure 65 : Canin Brief Pain Inventory (CBPI) proposé par BROWN et al. en 2007

Description of pain:

Rate your dog's pain:

1. Fill in the oval next to the one number that best describes the pain at its **worst** in the last 7 days.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
No pain Extreme pain

2. Fill in the oval next to the one number that best describes the pain at its **least** in the last 7 days

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
No pain Extreme pain

3. Fill in the oval next to the one number that best describes the pain at its **average** in the last 7 days.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
No pain Extreme pain

4. Fill in the oval next to the one number that best describes the pain as it is **right now**.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
No pain Extreme pain

Description of function:

Fill in the oval next to the one number that best describes how during the last 7 days **pain has interfered** with your dog's:

5. **General Activity**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Does not interfere Completely interferes

6. **Enjoyment of Life**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Does not interfere Completely interferes

7. **Ability to Rise to Standing From Lying Down**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Does not interfere Completely interferes

8. **Ability to Walk**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Does not interfere Completely interferes

9. **Ability to Run**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Does not interfere Completely interferes

10. **Ability to Climb Stairs, Curbs, Doorsteps, etc.**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Does not interfere Completely interferes

Overall impression:

11. Fill in the oval next to the one number that best describes your dog's overall quality of life over the last 7 days.

Poor Fair Good Very Good Excellent

Figure 66 : Échelle descriptive utilisée dans l'étude de VASSEUR et al. pour évaluer le degré de douleur arthrosique des chiens avant et après traitement (Vasseur et al., 1995)

Category and score	Clinical signs
Lameness	
1	Stands and walks normally
2	Stands normally; slight lameness when walking
3	Stands normally; slight lameness when walking
4	Abnormal posture when standing; severe lameness when walking
5	Reluctant to rise and will not walk more than 5 strides
Weight bearing	
1	Normal weight bearing on all limbs at rest and when walking
2	Normal weight bearing at rest; favors affected limbs when walking
3	Partial weight bearing at rest and when walking
4	Partial weight bearing at rest; does not bear weight on affected limb when walking
5	Does not bear weight on limb at rest or when walking
Joint mobility	
1	No limitation of joint movement; no palpable crepitus
2	Mild (10 to 20%) decrease in range of motion; no palpable crepitus
3	Mild (10 to 20%) decrease in range of motion with palpable crepitus
4	Moderate (20 to 50%) decrease in range of motion, palpable joint crepitus
5	Severe (>50%) decrease in range of motion; palpable joint crepitus
Willingness to hold up contralateral limb	
1	Readily accepts contralateral limb being held up and bears full weight on affected limb
2	Offers resistance to elevation of contralateral limb but bears full weight on affected limb for more than 1 minute after contralateral limb is elevated
3	Offers moderate resistance to elevation of contralateral limb and replaces it after 30 secondes
4	Offers resistance to elevation of contralateral limb and replaces it after 10 secondes
5	Refuse to raise contralateral limb
Signs of pain	
1	No signs of pain during palpation of affected joint
2	Signs of mild pain during palpation of affected joint; dog turns head in recognition
3	Signs of moderate pain during palpation of affected joint; dog pulls limb away
4	Signs of severe pain during palpation of affected joint; dog vocalizes or become aggressive
5	Dog will not allow examiner to palpate joint

Figure 67 : Grille multicritère 4AVET utilisée dans l'évaluation de la douleur post-opératoire (source : Vetoquino)

ÉVALUATION CLINIQUE DE LA DOULEUR		Date et heure													
 Identification :		<table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> </tr> </table>									:	:	:	:	:
:	:	:	:	:											
Appréciation globale subjective	Pas de douleur  Douleur intolérable 	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3										
Attitude générale	Parmi les symptômes suivants : <ul style="list-style-type: none"> • présente des modifications respiratoires • gémit • vousse le dos • reste figé en posture antalgique • s'agite ou est abattu • perd l'appétit • regarde, mordille ou lèche la zone opératoire • boite, se déplace difficilement ou est réticent à se déplacer - Aucun signe présent - 1 seul présent - 2 à 4 présents - 5 à 8 présents	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0 1 2 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0 1 2 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0 1 2 3	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 0 1 2 3										
Comportement interactif	Est attentif et répond aux caresses, à la voix Répond timidement Ne répond pas immédiatement Ne répond pas ou répond de façon agressive	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3										
Réaction à la manipulation de la zone opératoire	Pas de réaction visible ou audible - après 4 manipulations Réaction(s) visible(s) ou audible(s) - à la 4 ^e manipulation - à la 2 ^e et 3 ^e manipulation - à la 1 ^{re} manipulation ou non évaluable	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3										
Appréciation globale subjective	Aucune réponse Répond faiblement, essaye de se soustraire Tourne la tête ou vocalise Tente de fuir ou d'agresser ou non évaluable	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3	0 1 2 3										
SCORE TOTAL	1 à 5 :  douleur légère 6 à 10 :  douleur modérée 11 à 15 :  douleur sévère														
TRAITEMENT	 <table border="1"> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>														

PRISE EN CHARGE EN PHYSIOTHÉRAPIE VÉTÉRINAIRE DES PRINCIPALES AFFECTIONS ORTHOPÉDIQUES D'ORIGINE NON NEUROLOGIQUE DU CHIEN

AUTEUR : VENTURA Erwan

RÉSUMÉ :

Les affections orthopédiques sont très fréquentes chez le chien qu'elles soient d'origine traumatique, dégénérative, inflammatoire ou autre.

La physiothérapie vétérinaire ou rééducation fonctionnelle regroupe l'ensemble des méthodes thérapeutiques utilisant des agents physiques afin de prendre en charge des patients atteints de déficiences du système musculosquelettique, neurologique ou cardiorespiratoire. Elle a pour objectifs de prévenir les altérations des capacités fonctionnelles, de concourir à leur maintien et, lorsqu'elles sont altérées, de les rétablir ou d'y suppléer.

Les différentes techniques développées à ce jour en physiothérapie vétérinaire sont : la kinésithérapie qui regroupe les exercices de mobilisation, les étirements et les massages ainsi que les ondes de chocs, l'hydrothérapie, la cryothérapie, la thermothérapie, les ultrasons thérapeutiques, l'électrothérapie et les thérapies lasers.

Nombreux sont les chiens qui peuvent bénéficier de cette médecine alternative. Préventivement dans le cadre d'un suivi d'animaux sportifs ou ayant une prédisposition à développer une affection de l'appareil musculosquelettique. Curativement, en alternative à une prise en charge médicamenteuse ou chirurgicale. Mais aussi en complément de la chirurgie orthopédique ou neurologique. Dans ces derniers cas la physiothérapie améliore le confort de vie à court terme en accélérant le processus de guérison et en réduisant l'inflammation ainsi que la douleur. Sur le long terme, elle améliore qualitativement la capacité fonctionnelle de l'animal.

Cette thèse résume dans une première partie l'état actuel des connaissances pour chacune des techniques de physiothérapie utilisées en médecine vétérinaire, leurs indications et contre-indications ainsi que leur mise en œuvre. A la fin de chaque chapitre des fiches synthétiques reprennent les points clés des différentes thérapies. Dans la deuxième partie, un court résumé du déroulement des consultations et du suivi de l'animal a été rédigé. Enfin, des protocoles de prise en charge physiothérapeutique des affections orthopédiques d'origine non neurologique les plus couramment rencontrées chez les canidés domestiques ont été élaborés.

Ce manuscrit a pour objectif de faciliter la pratique de la physiothérapie en répondant à toutes les interrogations des professionnels de la santé animale s'intéressant au sujet. Il traite aussi de la communication avec les clients et propose aux vétérinaires généralistes des guides thérapeutiques de prise en charge des affections orthopédiques d'origine non neurologique les plus couramment rencontrées chez les canidés domestiques.

MOTS CLÉS : PHYSIOTHÉRAPIE / RÉÉDUCATION FONCTIONNELLE / KINÉSITHÉRAPIE / ONDE DE CHOC / HYDROTHÉRAPIE / CRYOTHÉRAPIE / THERMOTHÉRAPIE / ULTRASON THÉRAPEUTIQUE / ÉLECTROTHÉRAPIE / LASER / ORTHOPÉDIE / PROTOCOLE / CARNIVORE DOMESTIQUE / CHIEN

JURY :

Président :

1^{er} Assesseur : Pr Dominique GRANDJEAN

2nd Assesseur : Dr Mathieu MANASSERO

PHYSIOTHERAPEUTIC MANAGEMENT OF NON-NEUROLOGICAL ORIGIN ORTHOPEDIC AFFECTIONS COMMONLY FOUND IN DOMESTIC CANINE POPULATION

AUTHOR: VENTURA Erwan

SUMMARY:

Dogs commonly suffer from orthopedic affections. These affections can be traumatic, degenerative, inflammatory, etc.

Animal physical therapy or canine functional rehabilitation, regroup all the therapeutic methods using physical agents in order to manage patients suffering from musculoskeletal, neurological or cardiorespiratory disorders. Physical therapy has been developed to prevent alterations of functional capacities, help to maintain and, when they are altered, restore or compensate them.

The different technics that have been developed until now in animal physical therapy are: kinesitherapy regrouping joint mobilization, stretching exercises and massages and other therapy like extracorporeal shockwave therapy, hydrotherapy, cold and heat therapy, therapeutic ultrasound therapy, electrical stimulation and laser therapy.

Many dogs are likely to benefit from this alternative medicine. In prevention, with athletic animals or with animals predisposed to develop musculoskeletal affections. As a curative treatment, in replacement of surgical treatment or medication. Also in synergy with orthopedic or neurologic surgical treatment. In these cases, animal physical therapy improves the short term comfort of living by stimulating the recovering processes and by reducing the inflammation and, thus, the pain. The animals benefit from physical therapy in long term by improving qualitatively the functional capacities of the animals.

This thesis sums up in the first part the actual canine rehabilitation and physical therapy knowledge for each of the technics commonly used in veterinary medicine, their indications and contraindications and how to perform a session. At the end of each chapter you can find a table resuming key points about the technic we discussed in the chapter. In the second part, a short summary of the physical therapy evaluation consultation and the follow-up has been written. Lastly, physiotherapeutic management protocols of non-neurological origin orthopedic affections commonly found in domestic canine population have been developed.

The general purpose of this manuscript is to make the animal physiotherapy more available by giving answers to all the questions the practitioners may have on the topic. It also gives some advice concerning the communication with the client and offers to the general practice veterinarians therapeutic guidelines of physiotherapeutic management of non-neurological origin orthopedic affections commonly found in domestic canine population.

KEYWORDS: PHYSICAL THERAPY/ PHYSIOTHERAPY/ FUNCTIONAL REHABILITATION / KINESY THERAPY / EXTRACORPOREAL SHOCKWAVE THERAPY / HYDROTHERAPY / COLD THERAPY / HEAT THERAPY / THERAPEUTIC ULTRASOUND / ELECTRICAL STIMULATION / LASER / ORHTOPEDIC DISORDERS / GUIDELINE / DOG

JURY:

Chairperson:

1st Assessor: Pr Dominique GRANDJEAN

2nd Assessor: Dr Mathieu MANASSERO