



Université Montpellier Paris-Saclay
Mémoire en vue de l'obtention du
Diplôme interuniversitaire de CANNABIS MEDICAL

**Intérêt du Myoton Pro pour l'évaluation du
CBD sur les paramètres biomécaniques tonus,
élasticité et rigidité dans le cadre de la lombo-
sciatique d'origine discale.**

.

Présenté par **Lefèvre Fabrice**
Année universitaire 2022-2023

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier Messieurs les Pr Amine Benyamina, Pr Pierre Labauge, le Dr pascal Douek, vos exigences durant ce DIU de cannabis médicinal ont été une source d'amélioration constante et je ne peux être qu'admiratif de l'étendue de vos connaissances et l'habilité avec laquelle vous savez les partager.

Je souhaite exprimer toute ma gratitude au corps professoral des université de Montpellier et Paris Saclay pour la qualité des interventions. Ce fût passionnant de vous écouter et d'apprendre de vous.

Je remercie plus généralement l'Université de Paris Saclay et de Montpellier pour la mise en place du DIU de Cannabis Médical.

Je remercie également Madame marine Monot pour la très belle organisation et sa sympathie.

Un grand merci à mon ami Olivier Pons qui m'a orienté vers ce DIU. Notre amitié constante au cours des embûches de la vie me réjouit et nos retrouvailles autour de sujets passionnants comme le cannabis médical était un passage obligé. Ton optimisme en toute circonstance a été un appui dynamisant pour mener à bien ce travail. Un grand merci à toi !

Sommaire

Page 5	: Introduction
Page 6	: Partie I - Données actuelles sur la dégénérescence discale et le conflit disco-radicaire
Page 6	: 1) Voies d'induction de la dégénérescence discale
Page 8	: 2) Différents types d'hernie discale
Page 9	: 3) Dispositions des hernies discales
Page 10	: 4) Vascularisation et nutrition du disque
Page 11	: 5) Innervation
Page 12	: 6) Diagnostic des lombo-sciatiques et différentes méthodes d'évaluation
Page 13	: 7) Les traitements conservateurs pour la lombo-sciatique
Page 14	: Partie II - Intérêt du CBD dans le traitement de la sciatique
Page 14	: 1) Revue de la littérature du CBD appliqué à la sciatique
Page 16	: 2) Différentes options et produits à base de CBD pour la prise en charge de la sciatique
Page 18	: 3) Physiologie du système endocannabinoïde
Page 20	: 4) Rôle du THC et du CBD dans la modulation de l'anandamide
Page 20	: 5) Le CBD et ses actions thérapeutiques
Page 22	: 6) Les autres composés du cannabis et leurs propriétés pharmacologiques
Page 24	: Partie III - Rôle du système endocannabinoïde dans l'homéostasie et la régulation de la réponse inflammatoire
Page 27	: Partie IV - Le Myoton Pro : Digital Palpation Device
Page 27	: 1) Historique et explication de l'outil
Page 28	: a) Les données mesurées
Page 32	: b) Les tissus biologiques mesurés par le Myoton Pro
Page 33	: c) Limitation de l'outil de mesure Myoton Pro
Page 34	: d) Application de la technologie
Page 34	: e) Processus de mesure à l'aide de la technologie Myoton
Page 35	: f) Valeur de référence
Page 36	: 2) Revue de la littérature de la Myotonométrie
Page 44	: Conclusion
Page 47	: Référence Bibliographique

RÉSUMÉ

La lombo-sciatique d'origine discale est un problème important de santé publique avec des retentissements socio-professionnels importants. Le cannabis contient divers cannabinoïdes, dont le tétrahydrocannabinol (THC) et le cannabidiol (CBD) qui font l'objet de recherches approfondies pour sur leurs effets physiologiques et thérapeutiques. A l'inverse du THC, l'intérêt du CBD est qu'il est dépourvu d'effet psychotrope et qu'il est bien toléré. Les patients atteints de lombo-sciatique discale pourraient bénéficier d'un traitement par CBD car il a montré des résultats prometteurs dans la gestion de la spasticité, de la douleur et de l'anxiété ce qui pourrait en faire une alternative ou une complémentarité intéressante aux traitements actuels souvent décevant car peu efficace. Cependant à l'heure actuelle peu d'études ont vu le jour peut être en raison du caractère stigmatisé du cannabis médical. Avant d'établir une étude clinique sur l'intérêt de l'apport du CBD dans le cadre de la sciatique discale, il nous semble fondamental de présenter un outils de mesure innovant le Myoton pro qui permettra para sa facilité et rapidité d'utilisation, sa reproductibilité et fiabilité intra et inter-opérateur d'apporter des données biomécaniques (tonus, raideur, élasticité) qui aideront à la compréhension des mécanismes physiologiques du CBD sur la lombo-sciatique discale.

Mots-clés :

Sciatique : Une condition médicale associée à une inflammation du nerf sciatique, provoquant des douleurs.

Sciatalgie : Une forme spécifique de sciatique caractérisée par des douleurs neuropathiques.

Cannabis : Une plante qui contient différents cannabinoïdes, dont le THC et le CBD.

Cannabinoïdes : Les composés chimiques présents dans le cannabis.

THC : Le tétrahydrocannabinol, un cannabinoïde psychoactif.

CBD : Le cannabidiol, un cannabinoïde non psychoactif.

Douleurs neuropathiques : Des douleurs dues à des lésions ou des dysfonctionnements nerveux.

Introduction

La sciatique encore connue sous le nom de « lombo-sciatique », est une maladie qui se traduit par une douleur liée à la compression du nerf sciatique avec une topographie de la douleur en fonction de l'innervation L4, L5, S1. Elle résulte de la conjonction d'une hernie discale à proximité de la racine nerveuse L4/L5 et/ou L5/S1 avec le développement d'une inflammation locale radiculaire et tronculaire. Les lombosciatiques représentent un motif fréquent de consultation en médecine de ville mais également en neurochirurgie.

La sciatique par hernie discale est un problème de santé publique avec un impact significatif sur la qualité de vie des patients en raison de la douleur qu'elle provoque. Les personnes de tous âges consultent fréquemment pour cette affection mais elle touche en général les personnes âgées de plus de 30 ans. La prise en charge est bien souvent difficile et décevante de par la douleur neuropathique liée à l'inflammation et la compressions nerveuse d'origine disco-vertébrale engendrant de possible répercussion psychologiques et implications socio-professionnelles.

Depuis quelques années, la compréhension de cette pathologie a évolué, montrant que des facteurs chimiques jouent un rôle important en plus de la compression mécanique de la hernie discale sur le nerf.

Le traitement initial est généralement conservateur, mais la chirurgie peut être indiquée en cas de déficits moteurs ou sensitifs importants, de troubles sphinctériens ou de douleurs sévères non maîtrisées.

En plus du caractère d'urgence en cas de syndrome de la queue de cheval par exemple, il faut prendre en considération que le patient peut entrer dans une condition de sciatique chronique, qui peut entraîner des douleurs neuropathiques persistantes malgré des traitements conventionnels.

De fait et au vu des difficultés des traitements conventionnels parfois lourds et décevant (chirurgie, AINS, corticoïdes, antiépileptiques, antidépresseurs etc.) pour venir à bout de la sciatique par hernie discale, l'utilisation potentielle du cannabidiol (CBD), un composé dérivé du cannabis pourrait trouver un intérêt dans le traitement de la sciatique de par ses multiples propriétés thérapeutiques.

La sciatique s'accompagne de modifications biomécaniques dans les tissus mous en relation avec la topographie de l'atteinte radiculaire. De ce fait, il nous semble intéressant de démontrer dans cette étude préliminaire l'utilité d'un nouvel appareil de mesure le Myoton Pro qui permet d'évaluer le tonus musculaire, l'élasticité, la rigidité et le fluage des muscles, tendons, ligament et peau. Cet appareil servirait ainsi d'outil de référence pour analyser avec précision les modifications physiologiques des tissus musculaires atteints par la compression du nerf sciatique après la mise en place d'un traitement par CBD.

Partie I - Données actuelles sur la dégénérescence discale et le conflit disco-radicaire.

La dégénérescence discale est une condition où les disques intervertébraux de la colonne vertébrale subissent des changements pathologiques.

1) Voies d'induction de la dégénérescence discale

Il existe deux voies d'induction possibles pour la dégénérescence discale : (Fig.1)

- La voie mécanique et traumatique : Cette approche considère que la dégénérescence discale peut être causée par des contraintes mécaniques excessives sur le disque intervertébral. Le disque est vu comme une structure semi-mobile ligamentaire qui peut résister à certaines contraintes mécaniques. Cependant, des contraintes excessives, telles que des sollicitations répétées ou une pression mécanique trop importante sur un disque déjà dégénéré, peuvent provoquer des fissures dans le tissu du disque, ce qui peut éventuellement conduire à la formation d'une hernie discale.
- La voie biochimique et biologique : Cette approche, plus récente, considère que la dégénérescence discale peut être le résultat de processus biochimiques et cellulaires. Les sollicitations mécaniques peuvent déclencher des réponses cellulaires et moléculaires qui modifient le métabolisme du disque intervertébral, contribuant ainsi à la dégénérescence. Par exemple, certaines enzymes appelées matrix métalloprotéases (MMP) et certaines cytokines pro-inflammatoires sont impliquées dans la dégradation des composants du disque.

Ces deux mécanismes d'induction ne sont pas mutuellement exclusifs, et ils sont liés dans le développement de la hernie discale. Les facteurs qui influencent la dégénérescence discale comprennent des éléments mécaniques (comme le port de charges lourdes et les expositions professionnelles), des facteurs environnementaux (comme le tabagisme et l'obésité), l'âge et même des états psychologiques tels que la dépression et le stress.

De plus, certains facteurs de croissance et de régulation métabolique modulent la dégénérescence discale.

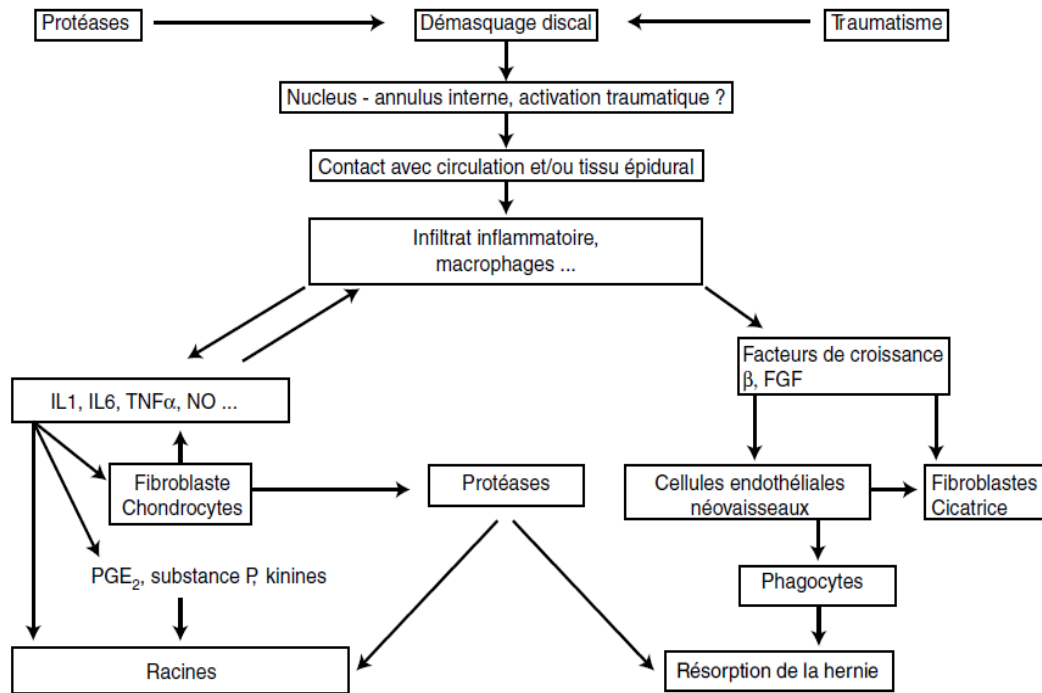


Figure 1 : Processus de lésion discal

La hernie discale lombaire est ainsi le résultat de la dégénérescence de l'anneau fibreux avec rupture progressive peu ou pas évoluée du nucleus.

En théorie, cette dégénérescence se caractérise principalement par un déplacement focal de matériel du noyau à travers les fibres du l'annulus fibrosus. Or, des analyses histologiques portées sur des prélèvements chirurgicaux ont révélé un tissu mixte, difficilement identifiable, où la proportion de noyau n'apparaît prédominante que chez l'individu de moins de 30 ans.

La hernie est définie comme étant clairement un déplacement localisé de contenu discal en dehors de son espace naturel. Le relâchement circonférentiel ($>180^\circ$), ou quasi circonférentiel du disque, n'est ainsi pas considéré, à proprement parler, comme une hernie discale par la classification radiologique de référence. (Fig.2)

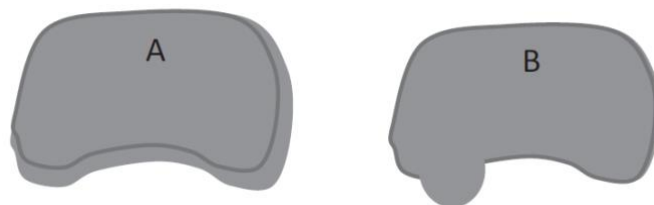


Figure 2 : Pourtour du disque débordant des plateaux vertébraux adjacents : A. Relâchement circonférentiel ($> 180^\circ$) du disque, et B. Hernie discale.

La hernie discale postérieure est donc une protrusion du nucleus pulposus à travers une lésion radiale de l'annulus fibrosus vers l'extérieur du disque intervertébral. Ce tissu

peut venir compresser une racine nerveuse au niveau du canal rachidien et engendrer de vives douleurs projetées (notamment au niveau des membres inférieurs). (Fig.3)

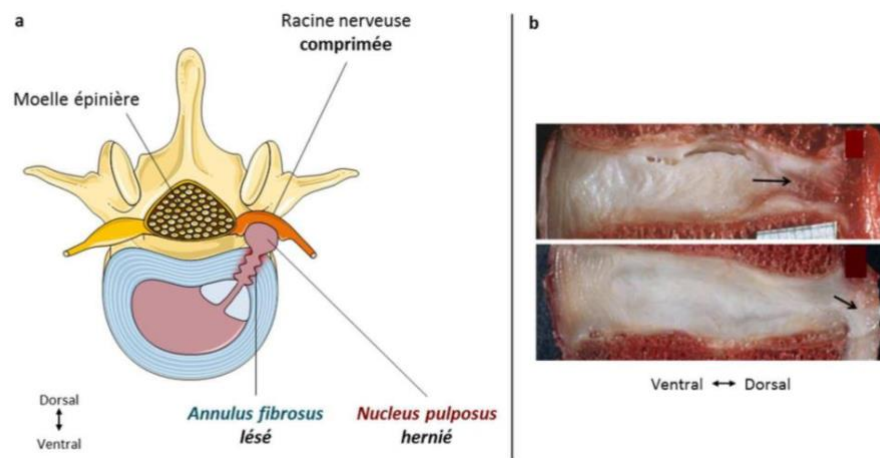


Figure 3 : Section sagittale médiane de disque intervertébral hernié en position dorsale à droite (flèches)

2) Différents types d'hernies discales

Il existe plusieurs types de hernies discales. Elles se différencient par la persistance ou non d'un continuum avec le disque intervertébral et selon leur position par rapport au ligament longitudinal postérieur (Fig.4). Ainsi, on qualifiera la hernie discale :

Sous-ligamentaire		Sous- ou extraligamentaire		Extraligamentaire
Protrusion discale	Prolapsus discal	Hernie discale extrudée		Hernie discale séquestrée
				

Figure 4 : Différents types d'hernie discale

- Prolapsus discal ou protrusion discale, qui par définition, est systématiquement sous-ligamentaire,
- D'extrusion discale appelée aussi « hernie discale vraie », qui peut être sous ou extra- ligamentaire
- Hernie discale séquestrée, extra-ligamentaire, montrant une rupture partielle de l'annulus fibrosus.

3) Dispositions des hernies discales

Selon la classification topographique de Bonneville, on distingue quatre groupes de hernies discales :

- médianes
- postéro-latérales (ou paramédianes)
- foraminales
- extraforaminales

Il a été longtemps accepté que la douleur sciatique était principalement causée par la compression d'une racine nerveuse par une hernie discale. Par conséquent, la chirurgie était souvent utilisée pour lever cette compression.

Cependant, plusieurs observations ont remis en question cette idée :

- La gravité des symptômes neurologiques n'était pas toujours en corrélation avec la taille de la hernie discale.
- La chirurgie ne réussissait pas toujours à soulager la douleur.
- Des hernies discales importantes pouvaient être asymptomatiques.
- Un traitement conservateur (non chirurgical) pouvait parfois améliorer la situation.
- La douleur sciatique pouvait se produire en l'absence de compression visible de la racine nerveuse.

En conséquence, des recherches ont été menées au cours des 30 dernières années pour explorer d'autres causes possibles de la lombosciatique, en mettant l'accent sur une composante inflammatoire.

La compression mécanique d'une racine nerveuse peut provoquer des symptômes tels que des fourmillements, des brûlures, des modifications de la sensibilité et un affaiblissement musculaire. Des étirements ou des mouvements brusques du rachis peuvent causer une radiculopathie lombaire par traction, en particulier en cas d'adhérence des racines nerveuses ou d'un canal lombaire étroit.

En cas de compression mécanique aiguë ou prolongée de la racine nerveuse, les types de lésions rencontrées sont des altérations de la conduction nerveuse, des réactions inflammatoires et des problèmes vasculaires.

La composante chimique de la lombosciatique est en faveur de l'implication de processus inflammatoires dans la genèse de la douleur, notamment l'immunogénicité du nucleus pulposus, des enzymes pro-inflammatoires telles que la phospholipase A2, des prostaglandines, des cytokines, l'acide nitrique, et des enzymes protéolytiques.

Dans l'étude du disque intervertébral il faut pouvoir appréhender les différents types de cellules présentes dans le nucleus pulposus, annulus fibrosus, plaques cartilagineuses et les composants moléculaires de ces cellules, notamment les protéoglycanes et le collagène car elles contribuent au maintien de l'intégrité du complexe disco-vertébral. (Fig.5)

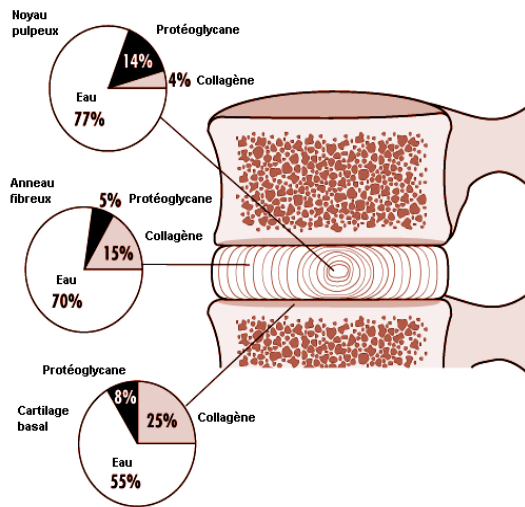


Figure 5 : Composition moléculaire de l'unité disco-vertébrale

En résumé, actuellement la notion selon laquelle la lombosciatique est exclusivement due à la compression mécanique de la racine nerveuse par une hernie discale est remise en question. Des facteurs inflammatoires pourraient jouer un rôle important dans la douleur sciatique, en plus de la composante mécanique.

4) Vascularisation et nutrition du disque

Le disque intervertébral est généralement considéré comme une structure dépourvue de vaisseaux sanguins (avasculaire), mais il s'agit en réalité d'un tissu vivant avec des cellules qui renouvellent une importante matrice extracellulaire. La principale raison pour laquelle le disque mature ne contient pas de vaisseaux sanguins est liée aux pressions mécaniques auxquelles il est soumis. Ces pressions empêchent la présence de vaisseaux sanguins qui ne pourraient pas maintenir un coussin liquide. Cependant, à la périphérie de l'annulus (la partie extérieure du disque), on trouve des canaux provenant des artères lombaires situées à distance des disques.

La nutrition du disque intervertébral est assurée par deux principales voies : (Fig.6

- Un système de diffusion et de convection qui apporte les nutriments essentiels aux cellules du disque et élimine les déchets métaboliques.
- Des vaisseaux sanguins pénètrent quelques millimètres de l'anneau externe du disque pour contribuer à sa nutrition.

Il existe des prolongements vasculaires présents dans les couches superficielles de l'annulus fibrosus (partie extérieure du disque) et dans les plateaux vertébraux adjacents. Les nutriments tels que l'oxygène et le glucose, ainsi que les déchets métaboliques comme l'acide lactique, diffusent à travers ces capillaires. Cependant, la vascularisation du disque diminue avec l'âge.

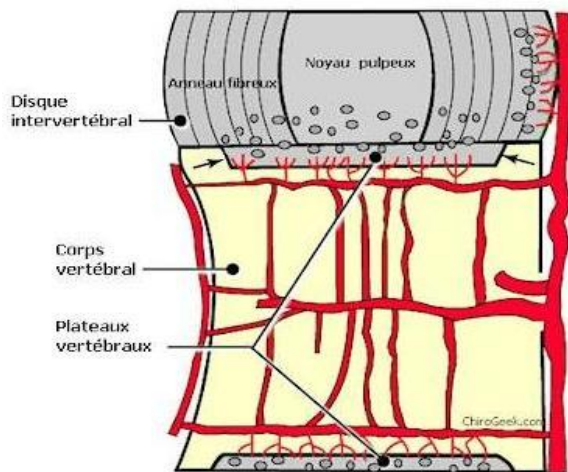


Figure 6 : Représentation de la vascularisation du complexe disco-vertébral

5) Innervation

Chez une personne en bonne santé, seule la partie postérieure de l'anneau externe du disque est innervée, car il est difficile d'imaginer un système nerveux dans une structure soumise à de fortes pressions. C'est donc la périphérie du disque qui est essentielle pour la transmission de la douleur.

Les structures musculaires et ligamentaires du dos sont innervées par des fibres somatiques, formant le rameau dorsal du nerf spinal. En revanche, les ligaments longitudinaux et le disque intervertébral sont innervés par des fibres végétatives. Ces structures possèdent des fibres nerveuses faiblement myélinisées et des mécanorécepteurs. Les terminaisons nerveuses sont plus abondantes au niveau de la cinquième vertèbre lombaire et de la première vertèbre sacrée (L5-S1), et elles contiennent des marqueurs associés à la douleur.

La douleur radiculaire est souvent localisée et suit un schéma caractéristique. Elle peut être liée à une compression des racines nerveuses dans le bas du dos, ce qui peut provoquer des douleurs spécifiques dans certaines parties du corps, en fonction de la racine affectée. La douleur est souvent décrite en termes de trajet du nerf atteint, allant de la fesse jusqu'aux orteils, en passant par la cuisse et le mollet. (Fig.7)

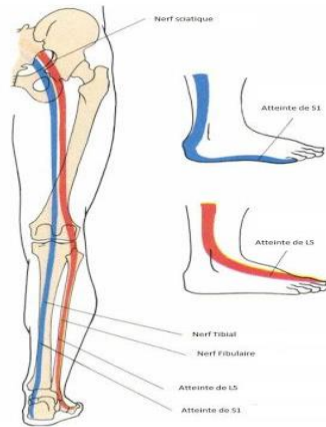


Figure 7 : Schémas représentant la topographie de la douleur sciatique

6) Diagnostic des lombos-ciatalgies et des différentes méthodes d'évaluation.

Le diagnostic des lombo-sciatalgies est essentiellement clinique, reposant sur l'interrogatoire du patient et l'examen neurologique. L'imagerie n'est recommandée que lorsque nécessaire, notamment en cas de hernie discale ou avant une intervention chirurgicale. La douleur radiculaire est confirmée par des manœuvres telles que le test de Lasègue, qui consiste à élever progressivement la jambe tendue du patient pour provoquer la douleur. Un test de Lasègue controlatéral positif peut indiquer une hernie volumineuse.

En ce qui concerne l'imagerie, les radiographies sont utilisées en première intention pour évaluer l'intégrité osseuse, tandis que l'IRM est privilégiée pour l'examen des pathologies discales. La tomodensitométrie (scanner) est utile pour visualiser les calcifications et les ostéophytes. D'autres techniques, telles que la myélographie et la discographie, sont parfois utilisées.

La classification de Modic permet de distinguer les modifications de la moelle osseuse des plateaux vertébraux.

Enfin, le diagnostic différentiel des lombo-sciatalgies est complexe, avec de nombreuses causes possibles, notamment les traumatismes, les inflammations et les maladies systémiques. Un interrogatoire précis et un examen clinique approfondi sont essentiels pour distinguer les différentes causes de douleur lombaire et sciatique.

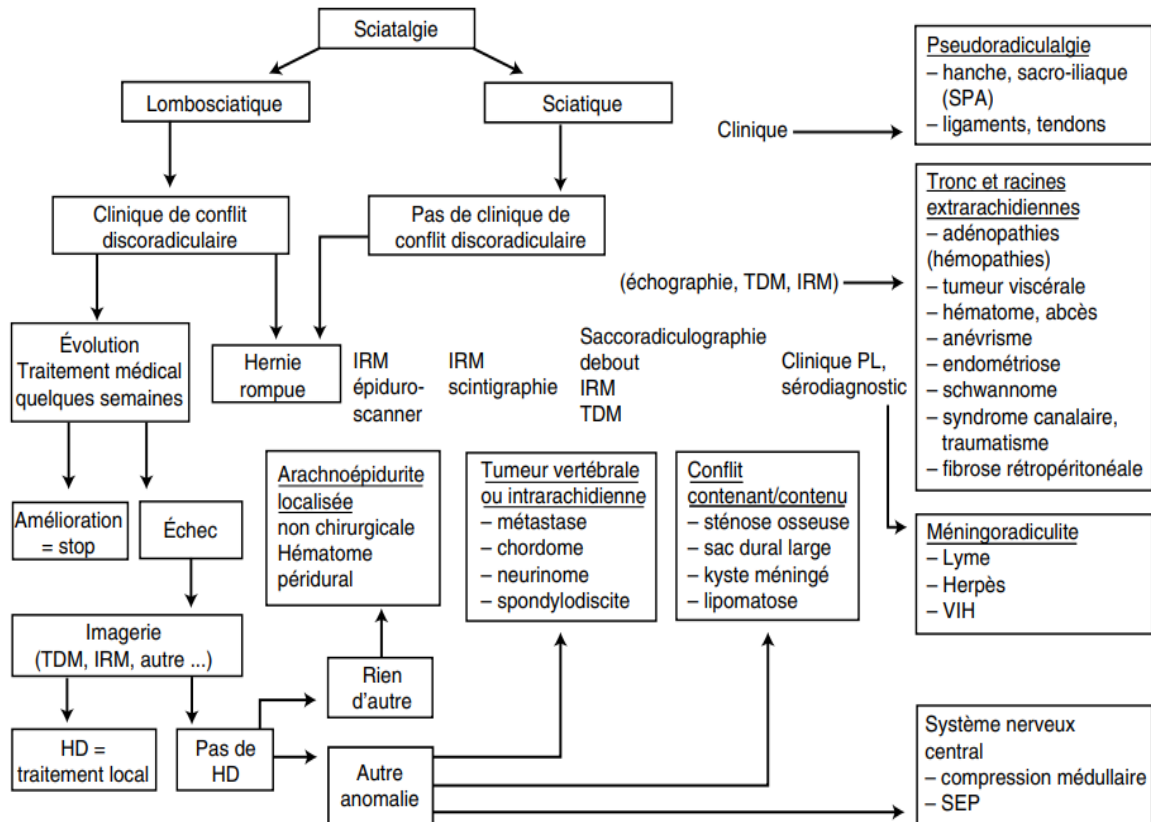


Figure 8 : Arbre décisionnel diagnostique de la lombo-sciatique

7) Les traitements conservateurs pour la lombosciatique

Le traitement conservateur est la première option pour la lombosciatique, sauf en cas d'urgence chirurgicale.

Il peut inclure des approches médicamenteuses, topiques et non médicamenteuses comme la kinésithérapie et les tractions :

- Les biothérapies anti-TNF α semblaient prometteuses, mais les essais n'ont pas confirmé leur efficacité.
- Les corticothérapies systémiques se sont avérées inefficaces dans le traitement de la lombosciatique.
- Les myorelaxants et les antidépresseurs n'ont pas non plus de preuves solides de leur efficacité.
- Traitements médicamenteux relativement efficaces : Les antalgiques peuvent améliorer la qualité de vie à court terme, bien que leur efficacité à long terme ne soit pas prouvée. Les anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS) sont le traitement médicamenteux de première intention, mais leur efficacité est incertaine. Les infiltrations de corticostéroïdes dans la colonne vertébrale sont préconisées en cas de lombosciatique persistante.
- Le repos n'est pas nécessairement recommandé, car il n'a pas d'impact positif prouvé sur l'évolution de la sciastique.
- La kinésithérapie est couramment prescrite pour améliorer la douleur chez les patients atteints de lombosciatique.

Les traitements percutanés, tels que la nucléolyse chimique, la nucléotomie au laser, la nucléolyse à l'ozone et la nucléotomie par coblation, sont des alternatives moins invasives à la chirurgie. Cependant, leur efficacité est sujette à débat, bien que certaines études rapportent des résultats positifs.

La chirurgie discale est réservée aux cas graves de sciatique, notamment en cas de douleur intense, de paralysie ou de syndrome de la queue de cheval. Elle vise à libérer la racine nerveuse comprimée par la hernie discale, mais elle comporte des risques et des complications.

Il est important de noter que chaque cas de lombosciatique est unique, et le choix du traitement dépendra des caractéristiques spécifiques du patient et de sa condition. La prise en charge doit être personnalisée en fonction des résultats observés lors du suivi médical.

En fin de compte, le choix du traitement dépend de la gravité de la sciatique et de la réponse du patient aux options de traitement conservateur. La décision de recourir à la chirurgie est prise en dernier recours après l'échec des autres traitements.

Partie II) : Intérêt du CBD dans le traitement de la sciatique

Le Cannabidiol (CBD) est un composé trouvé dans le Cannabis sativa, qui a suscité un grand intérêt en raison de ses nombreux effets thérapeutiques et de son absence d'effets psychotiques. Il est souvent présent en faibles quantités dans le cannabis, mais il peut devenir dominant dans certaines variétés, atteignant jusqu'à 15% des cannabinoïdes.

Le CBD a un large éventail d'effets bénéfiques, notamment des propriétés analgésiques, anti-inflammatoires, anticonvulsivantes, relaxantes musculaires, anxiolytiques, neuroprotectrices, antioxydantes et antipsychotiques. Ces effets sont dus à des mécanismes pharmacologiques complexes.

Suite à la légalisation du CBD, de nombreuses études scientifiques ont été menées pour évaluer ses effets sur la santé. Cependant à notre connaissance, peu d'études sont spécifiquement dédiées à son utilisation pour le traitement de la sciatique d'origine discale.

Certaines études ont examiné les propriétés du CBD en tant qu'agent anti-douleur, antalgique et anti-inflammatoire, ce qui suggère un potentiel pour soulager les symptômes associés à la sciatique.

1) Revue de la littérature du CBD appliqué à la sciatique

En 2016 une étude publiée dans l'"International Journal of Anesthesiology & Pain Medicine" a suivi 46 patients souffrant de douleurs dorsales chroniques qui ont été traités avec du cannabis contenant du CBD. Les résultats ont montré une amélioration de la condition physique et mentale des patients, ainsi qu'une réduction significative de la douleur.

Plus récemment, Jonathan P Eskander et al. (1) présentent deux cas de patients dans lesquels le cannabidiol (CBD) a été utilisé pour soulager des symptômes spécifiques d'une fracture de compression lombaire et des douleurs thoraciques et dysesthésie après une opération de méningiome.

Dans cette étude, Le CBD semble avoir des propriétés anti-douleur et anti-inflammatoires chez des patients qui n'avaient pas utilisé d'opioïdes et qui souffraient de douleurs neuropathiques et radiculaires. Il est important de noter que les patients ont utilisé la même crème au CBD, contenant 400 mg de CBD par deux fois, appelée Baskin Essentials Body Wellness Cream.

Ces études de cas indiquent que le CBD, lorsqu'il est utilisé sous forme de crème transdermique, peut être efficace pour soulager la douleur neuropathiques et radiculaires.

La douleur chronique est étroitement liée aux troubles anxieux, ce qui a un impact négatif sur la qualité de vie. Le système cannabinoïde joue un rôle essentiel dans la sensibilité à la douleur, et le cannabidiol (CBD) est considéré comme une stratégie prometteuse pour traiter la douleur neuropathique.

Afin de déterminer le mécanisme d'action du CBD contre la sciatique il nous semble important d'en rappeler ses propriétés. Le CBD, dérivé du cannabis Sativa L, possède des propriétés anti-oxydantes, antalgiques, anti-inflammatoires et décontractantes. De ce fait, le CBD peut relâcher les muscles, réduire la tension accumulée et soulager la douleur grâce à ses propriétés anti-inflammatoires et analgésiques.

Ces effets se feraient par ses interactions avec le système endocannabinoïde : Le CBD agit en interagissant avec le système endocannabinoïde du corps, qui régule divers processus physiologiques, notamment la douleur et l'inflammation. Les récepteurs cérébraux liés à ces mécanismes sont positivement influencés par les cannabinoïdes, ce qui peut contribuer à réduire la douleur et à améliorer le bien-être.

Gleice K Silva-Cardoso et al. (2) ont évalué les effets d'un traitement systémique sous CBD à différentes doses sur des rats soumis à une lésion chronique du nerf sciatique ou non, en utilisant des tests de douleur et de comportement. L'étude a également examiné l'activité des récepteurs CB1 et TRPV1 dans certaines régions du cerveau. Les résultats montrent que de faibles doses de CBD ont inversé la douleur mécanique et thermique ainsi que les comportements anxieux induits par la douleur chronique. De plus, le CBD a augmenté l'expression des récepteurs CB1 et TRPV1 dans certaines régions cérébrales, ce qui suggère que le CBD pourrait jouer un rôle important dans la régulation de la douleur chronique et de l'anxiété. Ces résultats sont pertinents sur le plan clinique car ils contribuent à la preuve des effets bénéfiques du CBD dans le traitement de la douleur chronique et des comorbidités associées telles que l'anxiété.

Malvestio et al. (3) ont fait une étude portant sur la division prélimbique (PrL) du cortex préfrontal médian (mPFC) du cerveau, qui pourrait être liée à la douleur chronique et à la dépression. L'étude a été menée sur des rats Wistar soumis à une lésion de constriction chronique du nerf sciatique (CCI) et à des tests de natation forcée (FS) et d'allodynie mécanique (test von Frey). Les chercheurs ont également étudié les effets du blocage des synapses avec du chlorure de cobalt (CoCl₂) et du traitement du cortex PrL

avec du cannabidiol (CBD), de l'antagoniste du récepteur CB1 AM251 et de l'antagoniste du récepteur 5-HT1A WAY-100635.

Les résultats ont montré que le CoCl₂ a réduit le temps passé immobile lors du test FS, mais n'a pas modifié l'allodynie mécanique. Le CBD dans le cortex PrL a réduit la fréquence et la durée de l'immobilité, et seulement à une dose de 30 nmol, il a atténué l'allodynie mécanique chez les rats souffrant de douleur neuropathique chronique. L'AM251 et le WAY-100635 dans le cortex PrL ont diminué l'effet antidépresseur et analgésique du CBD, mais n'ont pas modifié l'immobilité et l'allodynie mécanique lorsqu'ils ont été administrés seuls.

Ces résultats suggèrent que le cortex PrL du cerveau est impliqué dans la comorbidité entre la douleur neuropathique et la dépression. De plus, le blocage préalable des récepteurs cannabinoïdes CB1 et des récepteurs sérotoninergiques 5-HT1A dans le cortex PrL a atténué les effets antidépresseurs et analgésiques du CBD. Ils suggèrent également que le CBD pourrait être un traitement potentiel pour les symptômes dépressifs et douloureux chez les patients souffrant de douleur neuropathique chronique et de dépression concomitante.

En conclusion, Le CBD pourrait donc être considéré comme une option de traitement naturelle, non addictive et potentiellement efficace pour soulager la douleur liée à la sciatique.

La découverte des cibles pharmacologiques du CBD a permis de mieux comprendre son rôle en tant qu'anti-inflammatoire. Le Cannabidiol a montré un potentiel significatif pour être utilisés comme nouvel agent anti-inflammatoire et le ciblage spécifique des récepteurs CB2 promet de médier les effets immunosuppresseurs sans exercer d'effets secondaires psychotropes.

De plus, les effets secondaires du CBD sont généralement limités, contrairement à d'autres composés du cannabis tels que le THC, qui peuvent avoir des effets psychoactifs indésirables

2) Différentes options de produits à base de CBD pour la prise en charge de la sciatique (Fig.9)

- Les huiles de CBD ou huile de Cannabidiol : existe sous trois types d'huiles de CBD (isolée, à large spectre et à spectre complet). Le full spectrum contient tous les composés de la plante. Elle peut être administrée par voie sublinguale ou par ingestion mélangés à des boissons et des aliments. Ils sont disponibles dans diverses concentrations, ce qui les rend adaptés à tous les niveaux d'expérience des utilisateurs. Les huiles de CBD permettent de trouver le dosage optimal.
- Les tisanes et infusions au CBD : Ces produits combinent les bienfaits du CBD avec le plaisir de boire une tisane ou un thé. Ils sont disponibles dans différentes catégories, comme celles axées sur le bien-être, le sommeil, la détente et la digestion. Il est recommandé d'ajouter une matière grasse lors de leur préparation pour une meilleure dissolution du CBD.
- Les capsules et les gélules CBD : Ces produits offrent un dosage précis du CBD, ce qui les rend pratiques pour de nombreux utilisateurs. Ils sont faciles à intégrer dans la routine quotidienne et peuvent être pris avec d'autres médicaments ou

suppléments. Cependant, il faut faire attention aux éventuels additifs ajoutés par certains fabricants. Les gélules Cannabidiol sont rapidement absorbées par la muqueuse digestive.

- Les crèmes à base de CBD : Les baumes et les huiles de massage CBD s'appliquent directement sur la peau pour un soulagement localisé de la douleur, y compris la sciatique. Ils agissent sur les récepteurs du système endocannabinoïde de la peau. Le dosage dépend du produit, mais il est plus facile à contrôler avec les gélules ou l'huile de CBD.
- Le Cannabidiol en cuisine : Le CBD est utilisé dans diverses recettes de cuisine, offrant un effet doux à long terme lorsqu'il est consommé lentement.
- Les e-liquides Cannabidiol : Les e-liquides contenant du CBD sont inhalés par vapotage pour profiter de l'effet relaxant du CBD. L'absorption est plus lente que celle de la nicotine.

CBD : les modes d'administration

						
		Vitesse de l'effet	Durée de l'effet	Bio-disponibilité	Rapport quantité/Prix	Risques sur la santé
	Huile de CBD	5 à 20 min	2 à 3 heures	Bonne	Excellent	⊗
	Capsules CBD	30 à 60 min	3 à 6 heures	Moyenne	Bon	⊗
	Aqua Intense CBD Liposomal	30 à 60 min	3 à 6 heures	Excellente	Excellent	⊗
	Baumes au CBD	20 à 30 min	1 à 2 heures	Moyenne	Bon	⊗
	Cigarette fleur de chanvre au CBD	5 à 15 min	2 à 3 heures	Bonne	Moyen	Très élevés
	E-cigarette CBD	5 à 15 min	1 à 2 heures	Bonne	Moyen	Elevés
	Nébuliseur	Immédiat	2 à 3 heures	Excellente	Excellent	⊗
	Vaporisateur	Immédiat	2 à 3 heures	Excellente	Moyen	⊗

CBDissimo.com

Figure 9 : Mode d'administration du CBD

Le dosage de CBD dépend du produit utilisé. Les capsules indiquent généralement le dosage par prise, tandis que le dosage des e-liquides se révèle plus difficile à déterminer. Les flacons d'huile de CBD peuvent être dosés à l'aide d'un compte-gouttes, par exemple, 2,5 mg de CBD par goutte pour une concentration de 5 %. (Fig.10). Il est important de noter que le risque de surdosage avec le CBD est pratiquement inexistant, mais il est recommandé de ne pas dépasser 700 mg de CBD par jour.

Quantité de CBD par goutte							
	3%	5%	6%	10%	12%	15%	25%
Quantité totale de CBD / flacon (10 ml)	300 mg	500 mg	600 mg	1000 mg	1200 mg	1500 mg	2500 mg
Quantité totale de CBD / goutte* *10ml = 200 gouttes	1.5 mg	2.5 mg	3 mg	5 mg	6 mg	7.5 mg	12.5 mg

Figure 10 : Quantité de CBD par gouttes

Il est important de noter qu'il y a peu de risques de surdosage avec le CBD, mais il est recommandé de ne pas dépasser 700 mg de CBD par jour. Le choix du produit dépendra du design de l'étude choisi pour évaluer le CBD sur la sciatique.

3) Physiologie du système endocannabinoïde

Les phytocannabinoïdes, en synergie avec d'autres composants du Cannabis Sativa, peuvent avoir un grand intérêt thérapeutique pour diverses affections aiguës ou chroniques. Pour comprendre leur pharmacologie, il est essentiel de comprendre le système endocannabinoïde.

Le système endocannabinoïde comprend les récepteurs aux cannabinoïdes CB1 et CB2, les endocannabinoïdes (anandamide et 2-AG) et les enzymes impliquées dans leur biosynthèse et leur dégradation. Il est répandu dans tout le corps et permet une régulation à large spectre pour maintenir l'homéostasie.

Ces récepteurs cannabinoïdes sont des protéines situées dans les membranes cellulaires qui peuvent être activées par des agonistes tels que les endocannabinoïdes, les phytocannabinoïdes ou les cannabinoïdes synthétiques. Ils sont présents dans de nombreux tissus, y compris le cerveau, le cœur, les poumons, l'intestin, la rate, le système reproducteur et les globules blancs. Leur activation peut entraîner une modulation de l'activité des enzymes ou des canaux ioniques.

Les récepteurs CB1 sont principalement situés dans le système nerveux central et sont associés à des fonctions telles que la mémoire à court terme, la motricité, l'apprentissage moteur, et la coordination des fonctions motrices. L'activation des récepteurs CB1 peut inhiber la libération de neurotransmetteurs.

Les récepteurs CB2 sont principalement présents dans les tissus périphériques, en particulier les tissus immunitaires. Ils jouent un rôle dans la régulation de la libération des cytokines, de l'apoptose, de la prolifération cellulaire et de la survie cellulaire. Contrairement aux récepteurs CB1, ils ont une localisation post-synaptique.

Les endocannabinoïdes sont des molécules synthétisées par l'organisme en réponse à des stimuli. Ils agissent en tant que messagers rétrogrades, réduisant la libération de médiateurs par les cellules environnantes. Ils ont un rôle important dans la régulation de l'homéostasie.

L'anandamide (AEA) est le premier endocannabinoïde identifié, découvert en 1992 dans le cerveau du cochon. Son nom provient du mot sanskrit "ananda," signifiant bonheur suprême. Pour cela on l'appelle parfois la "molécule du bonheur".

Le système endocannabinoïde (SEC) du corps comporte des récepteurs CB1 et CB2, qui sont présents dans tout le corps.

L'anandamide contribue à l'homéostasie, le maintien des fonctions régulières du corps, ainsi qu'au système de récompense.

Contrairement à d'autres médiateurs, l'AEA n'est pas stocké mais est synthétisé et libéré en réponse à des stimuli physiologiques ou pathologiques, impliquant une augmentation du calcium intracellulaire ou l'activation de récepteurs métabotropiques.

La principale voie de biosynthèse de l'AEA implique l'hydrolyse enzymatique de la N-acyl-phosphatidyléthanolamine (NAPE) par une enzyme appelée NAPE-PLD.

L'AEA a une affinité quatre fois plus élevée pour les récepteurs CB1 que pour les récepteurs CB2. Il est présent en concentration élevée dans certaines régions du cerveau.

L'AEA agit en tant qu'agoniste partiel des récepteurs CB1 et CB2, et il active également les récepteurs vanilloïdes (TRPV1), ce qui lui confère des effets différents.

La synthèse du 2-AG se fait à partir du phosphatidylinositol(4,5)-biphosphate, et il est converti en 2-AG par la DAG lipase, généralement suite à une activité neuronale ou à l'activation de certains récepteurs.

Le 2-AG agit comme un agoniste entier des récepteurs CB1 et CB2 et est présent en concentrations beaucoup plus élevées que l'AEA dans le cerveau.

Les niveaux de 2-AG sont 170 fois supérieurs à ceux de l'AEA dans le cerveau, mais ses effets sont moins puissants en raison de son activité sur les récepteurs CB2, limitant les effets psychoactifs.

L'activation des récepteurs CB1 et CB2 par les endocannabinoïdes inhibe l'adénylate cyclase, réduisant la concentration intracellulaire d'AMP cyclique (cAMP), ce qui a un impact sur la phosphorylation de diverses protéines.

Les récepteurs CB1 inhibent les canaux calciques voltage-dépendants de type N, L et Q/P, tandis que les récepteurs CB2 ne semblent pas interagir avec ces canaux.

Les récepteurs CB1 modulent la sensibilité des canaux potassiques à inactivation rapide de type A, ce qui réduit la durée du potentiel d'action.

Les endocannabinoïdes activent la voie des MAP kinases, qui régule l'expression des gènes et la synthèse protéique.

L'activation des endocannabinoïdes peut inhiber la voie de signalisation NF-kappaB, impliquée dans la réponse inflammatoire et immunitaire.

En résumé, l'anandamide et le 2-arachidonylglycérol sont deux endocannabinoïdes impliqués dans le système endocannabinoïde, agissant sur divers récepteurs et voies de signalisation intracellulaire pour réguler des processus physiologiques tels que la neurotransmission, l'inflammation et la survie cellulaire.

Les endocannabinoïdes comme l'AEA et le 2-AG sont lipophiles, ce qui signifie qu'ils ont une durée de vie courte dans le milieu extracellulaire. Ils sont régulés par la recapture cellulaire, où ils diffusent à travers la membrane plasmique vers le milieu intracellulaire, où leur concentration est plus faible. Ce processus de recapture est facilité par des mécanismes contrôlables et sélectifs, y compris des transporteurs membranaires d'endocannabinoïdes (EMT) et des systèmes enzymatiques intracellulaires pour réduire rapidement leur concentration intracellulaire.

L'hydrolyse de l'AEA et du 2-AG est catalysée par une enzyme intracellulaire appelée "fatty acid amide hydrolase" (FAAH). Cette enzyme transforme l'AEA en acide arachidonique et éthanolamine, tandis que le 2-AG devient de l'acide arachidonique et du glycérol.

Contrairement à l'AEA, le 2-AG peut être estérifié directement en phosphoglycérides par phosphorylation et/ou acylation de ses deux groupements hydroxyle libres. L'inactivation de la noladine se fait également par estérification, et l'oxydation enzymatique du groupement arachidonoyl des endocannabinoïdes est catalysée par des enzymes telles que les lipoxigenases, la cyclooxygénase-2 et les cytochromes P450 oxydases, produisant des prostaglandines et des éthanolamides correspondantes.

4) Rôle du THC et du CBD dans la modulation de l'anandamide

Le THC interagit directement avec les récepteurs CB1 et CB2, imitant l'anandamide et provoquant l'effet psychotrope du cannabis. Le CBD agit différemment en bloquant ces récepteurs et en inhibant la production des enzymes qui décomposent l'anandamide. Le CBD augmente ainsi la concentration d'anandamide disponible pour les récepteurs CB1 et CB2.

Des recherches sont en cours pour explorer le potentiel thérapeutique de la manipulation de l'anandamide, notamment dans un contexte clinique. Une étude sur des rats a montré que l'activation des récepteurs CB1 et CB2 par l'anandamide pouvait réduire les marqueurs associés à l'inflammation des gencives.

L'anandamide est donc un endocannabinoïde naturel essentiel. Le THC et le CBD composés du cannabis, interagissent avec ce système de manière différente, ce qui peut avoir des implications sur la douleur neuropathique.

5) Le CBD et ses actions thérapeutiques

Nous avons vu précédemment que l'inflammation joue un rôle clé dans la sciatique. L'intérêt du Le THC et du CBD et qu'ils ont des effets anti-inflammatoires.

Bien que le THC agit en activant les récepteurs CB1 et en détruisant les cellules pro-inflammatoires il possède des effets indésirables psychotropes. En revanche, le CBD possède des propriétés anti-inflammatoires sans les effets psychoactifs du THC. Il inhibe la production de cytokines pro-inflammatoires, notamment le facteur de nécrose tumorale.

Le CBD se lie aux récepteurs CB1 et CB2 du système endocannabinoïde, mais il a également d'autres interactions, telles que l'activation des récepteurs sérotoninergiques 5-HT1A et vanilloïdes TRPV1-2, l'antagonisation des récepteurs alpha-1 adrénergiques et μ -opioïdes, l'inhibition de l'absorption de neurotransmetteurs comme la noradrénaline, la dopamine, la sérotonine, le GABA et l'anandamide, ainsi que d'autres actions sur les mitochondries et les canaux calciques.

Le CBD a également des effets positifs en augmentant la génération d'espèces réactives de l'oxygène (ROS), favorisant l'apoptose (mort cellulaire programmée) et en influençant diverses molécules impliquées dans la régulation cellulaire, ce qui peut inhiber la progression des cellules cancéreuses et des métastases.

En termes d'effets sur le corps, le CBD a un effet relaxant puissant sur les muscles et induit un état de sédation. Il a une affinité plus élevée pour le récepteur CB2 que pour le récepteur CB1 et son action sur d'autres récepteurs non-cannabinoïdes, comme le 5-HT1A contribue à son effet anxiolytique.

L'extraction supercritique au CO₂ est une méthode optimale pour obtenir une huile en préservant les principes actifs du CBD.

Les produits "Full Spectrum" contiennent l'ensemble des principes actifs de la plante, ce qui est préférable aux isolats de cristaux de CBD.

La douleur neuropathique dans la sciatique est due à un dysfonctionnement du système nerveux. Le glutamate est une molécule, contribue à la perception de la douleur. Le CBD stimule les récepteurs du système endocannabinoïde pour inhiber la production de glutamate et réduire les douleurs neuropathiques.

Le CBD a également des effets neuroprotecteurs et réduit l'excitotoxicité, ce qui améliore les fonctions motrices et cognitives.

Chaque personne réagit différemment au CBD, et le dosage optimal peut varier. Une dose quotidienne de 25 mg de CBD est généralement efficace pour la plupart des adultes mais des symptômes plus graves peuvent nécessiter des dosages plus élevés.

L'efficacité du CBD dans le soulagement de la douleur a été démontrée dans certaines études. Les résultats ont montré un bénéfice significatif par rapport au placebo dans la réduction de la douleur.

L'efficacité du CBD dans la gestion de la sciatique et d'autres douleurs neuropathiques est un sujet de recherche actif.

Le CBD présente un potentiel prometteur dans le traitement de la sciatique en raison de ses propriétés anti-inflammatoires et de son action sur les douleurs neuropathiques. Il peut être administré sous différentes formes, et le dosage optimal varie d'une personne à l'autre.

Cependant, des contre-indications et des précautions liées à l'utilisation du cannabidiol (CBD) à des fins médicales sont à prendre en considération lors de la prescription.

En effet, certains risques d'interaction sont possibles avec le CBD. Les interactions graves sont généralement limitées et dépendent du processus de métabolisation des

médicaments par les enzymes du foie, notamment le cytochrome P450. Il a été démontré que le CBD peut affecter les enzymes du cytochrome P450 dans le foie, ce qui peut influencer la métabolisation des médicaments, augmentant ainsi le risque d'effets secondaires ou de surdosage.

Ainsi, le dosage, tant du CBD que des médicaments, joue un rôle crucial dans ces interactions.

Il faut remarquer que des doses thérapeutiques de CBD dans les études sont souvent plus élevées (200 à 300 mg par jour) que la consommation moyenne de CBD en tant que complément alimentaire (20 à 60 mg par jour).

Des précautions sont à prendre sur les prescriptions du Le CBD (et THC) car il peut perturber l'action de 57 médicaments classiques.

Cela souligne l'importance de consulter un professionnel formé au cannabis médical avant d'utiliser le CBD en combinaison avec d'autres médicaments.

D'autre part, les personnes diabétiques prenant des anti-hyperglycémiques à base de metformine doivent être prudentes lors de la consommation de CBD, car les cannabinoïdes peuvent contrecarrer les effets de la metformine.

La surveillance régulière du taux de sucre dans le sang est recommandée pour les personnes diabétiques utilisant du CBD.

Il est donc important de continuer la recherche pour mieux comprendre les effets et les interactions du CBD avec d'autres médicaments.

6) Les autres composés du cannabis et leurs propriétés pharmacologiques (Fig.11)

- Cannabichromene (CBC) : Il est synthétisé tôt dans le cycle de la plante et possède des propriétés anti-inflammatoires, sédatives, antibiotiques et antifongiques. Ses effets analgésiques dépendent de son association avec le THC.
- Cannabigérol (CBG) : Il agit comme le précurseur de la synthèse du CBC, CBD et THC. Le CBG est un agoniste partiel des récepteurs CB1 et CB2, et il a des effets bénéfiques non psychotiques, notamment des propriétés analgésiques, anti-inflammatoires, antifongiques, antidépressives et antihypertensives.
- Cannabinol (CBN) : Il résulte de l'oxydation du THC lors du séchage, du stockage et de la consommation. Le CBN a une faible affinité pour les récepteurs CB1 et CB2, ce qui le rend peu psychotrope. Il possède des propriétés anti-convulsivantes et sédatives, et il peut affecter la fréquence cardiaque, la motilité intestinale et l'agrégation plaquettaire.
- Les terpénoïdes sont des composés aromatiques présents dans les trichomes du cannabis, responsables de son odeur distinctive. Il en existe plus de 200, et bien que la plupart des terpènes présents dans différentes plantes soient sans danger pour la santé, ceux du Cannabis sativa ont un potentiel thérapeutique intéressant. En effet, Les terpénoïdes présents à une concentration supérieure à 0,05% ont un intérêt pharmacologique. Ce sont des composés lipophiles qui interagissent avec

les membranes cellulaires, les récepteurs couplés aux protéines G et les canaux ioniques, leur permettant d'exercer des effets pharmacologiques tout en régulant l'activité des phytocannabinoïdes.

Voici quelques exemples de terpènes et de leurs propriétés pharmacologiques :

- Limonène : Anxiolytique, antifongique, anti-bactérien, anti-cancéreux, et inhibiteur de la croissance tumorale.
- Linalol : Anxiolytique, sédatif, anti-insomnie, anti-convulsivant, anesthésique local.
- Eucalyptol : Antalgique et amélioration de la concentration et de l'équilibre interne.
- Terpinéol : Anti-inflammatoire, sédatif.
- Pinène : Anti-inflammatoire, expectorant, broncho-dilatateur, antiseptique local, inhibiteur de l'acétylcholinestérase.
- Myrcène : Analgésique, anti-inflammatoire, anti-spasmodique, sédatif, et potentialisation des effets des cannabinoïdes, notamment du THC.
- Bisabolol : Anti-bactérien, cicatrisation des plaies.
- Bornéol : Antalgique, anti-inflammatoire, antifongique.
- Caryophyllène : Anti-inflammatoire et agoniste sélectif des récepteurs CB2.
- Carène : Anti-inflammatoire, asséchant des fluides corporels.

Ces terpènes peuvent avoir diverses applications thérapeutiques et contribuer aux effets globaux des produits à base de cannabis en modulant l'action des cannabinoïdes.

- Les Cannflavines A et B sont des flavonoïdes peu connus présents dans le Cannabis Sativa, isolés en 1985. Ils sont responsables des propriétés anti-inflammatoires de cette plante. Ces flavonoïdes se trouvent dans les graines et toutes les parties de la plante adulte. Les Cannflavines A et B inhibent les voies des prostaglandines E2 et des leukotriènes en raison de leur grande lipophilie. Leur pouvoir anti-inflammatoire est 30 fois plus puissant que celui de l'aspirine et de la dexaméthasone, et ils ne semblent pas avoir d'effets indésirables tels que les ulcères gastro-intestinaux, les infarctus du myocarde et les accidents vasculaires cérébraux.

DE QUOI EST REELLEMENT CONSISTÉE UNE GOUTTE D'HUILE DE CBD ?

EXEMPLE AVEC LA
GAMME CLASSIC HEMP +

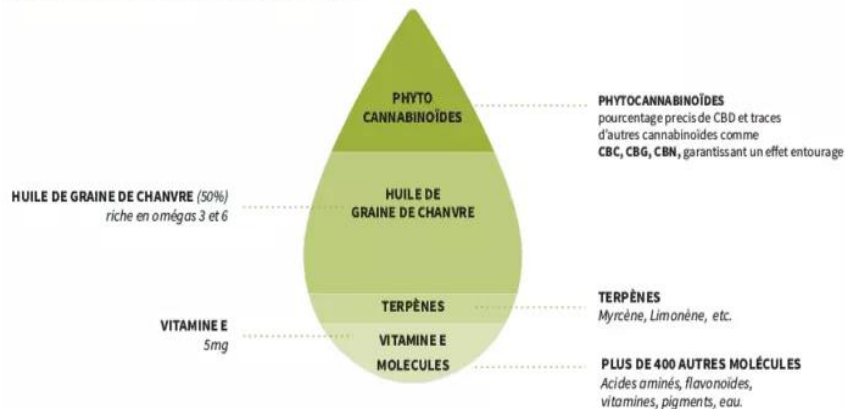


Figure 11 : Constitution d'une goutte de CBD

En résumé, les Cannflavines contribuent aux propriétés anti-inflammatoires du cannabis, ainsi que le fonctionnement du système endocannabinoïde, y compris les récepteurs CB1, CB2, et les endocannabinoïdes, et comment ils interagissent avec les composants du cannabis pour produire des effets thérapeutiques.

les endocannabinoïdes sont régulés dans le corps, en mettant l'accent sur la recapture cellulaire, l'hydrolyse, l'estérification et l'oxydation. Il explique également les différentes formes galéniques du CBD et leur utilisation potentielle.

Partie III - Rôle du système endocannabinoïde dans l'homéostasie et la régulation de la réponse inflammatoire.

L'homéostasie, concept introduit par Claude Bernard en 1865, est fondamental pour la survie. Il se réfère à la capacité du corps à maintenir un équilibre constant dans son environnement interne malgré les variations et les contraintes extérieures.

L'homéostasie implique la régulation de divers aspects physiologiques tels que la température corporelle, la fréquence respiratoire, le rythme cardiaque, la tension artérielle et les cycles de sommeil pour assurer le bon fonctionnement du corps. L'hypothalamus, une région du cerveau, joue un rôle central dans cette régulation.

Le système endocannabinoïde, découvert dans les années 90 grâce à l'étude des cannabinoïdes d'origine végétale, est omniprésent dans le corps et contribue à maintenir l'homéostasie en régulant diverses fonctions vitales. (Fig.12)

Lorsque le corps est soumis à des stress, il doit contrebalancer ces contraintes internes pour éviter les dommages et maintenir ses fonctions.

L'homéostasie est la régulation constante de ces processus ou réponses que le corps utilise pour maintenir un environnement interne stable, quelles que soient les conditions extérieures.

L'hypothalamus, une région du cerveau, joue un rôle clé dans cette régulation en reliant le système endocrinien et le système nerveux autonome. Il est responsable de la régulation de fonctions essentielles telles que la faim, la soif, le sommeil et la température corporelle.

Le système endocannabinoïde, composé de récepteurs CB1 et CB2, est impliqué dans l'homéostasie. Il régule diverses fonctions corporelles, notamment l'équilibre énergétique, l'appétit, la digestion, et la distribution de la graisse. Il est essentiel pour maintenir la stabilité du corps malgré la fatigue, la faim ou la douleur.

Ce système endocannabinoïde peut être modulé de manière naturelle, par exemple par l'exercice physique, la consommation d'acides gras oméga-3, la prise de CBD, ou même en consommant certains aliments tels que le chocolat noir, les truffes noires et le poivre noir.

Le système endocannabinoïde intervient de fait dans la régulation de la réponse inflammatoire au côté d'autres molécules plus connues :

- Les chimiokines :

Les chimiokines sont de petites cytokines produites en réponse à une inflammation. Elles ont pour rôle d'activer et de recruter les cellules immunitaires vers le site de l'inflammation. Par exemple, l'IL-8 recrute les polynucléaires neutrophiles.

- Le TNF- α (facteur de nécrose tumorale alpha) :

Le TNF- α est une cytokine pro-inflammatoire majeure. Il agit au niveau du foie en induisant la synthèse de molécules de la phase aiguë de l'inflammation et au niveau de l'endothélium vasculaire en induisant la synthèse de protéines membranaires nécessaires à la diapédèse des cellules immunitaires.

- Les interleukines (IL) :

L'IL-1 est une cytokine pro-inflammatoire qui induit la fièvre en agissant sur l'hypothalamus. Elle active également la synthèse de molécules de la phase aiguë de l'inflammation au niveau du foie.

L'IL-4 est produite par les cellules NK et favorise la différenciation des lymphocytes T-CD4 en lymphocytes T auxiliaires 2 (LTH2) et aide à la différenciation des lymphocytes B en plasmocytes.

L'IL-6 est une cytokine pro-inflammatoire qui agit au niveau du foie pour activer la synthèse de molécules de la phase aiguë de l'inflammation.

L'IL-7 joue un rôle essentiel dans la maturation des lymphocytes B en étant sécrétée dans la moelle osseuse.

Ces cytokines sont produites par divers types cellulaires impliqués dans le système immunitaire, notamment la lignée myéloïde, la lignée lymphoïde et les cellules endothéliales.

L'IL-10 est une cytokine anti-inflammatoire produite par les monocytes et certains lymphocytes T4. Elle inhibe la synthèse de cytokines pro-inflammatoires. Le TGF- β régule la tolérance immunitaire en inhibant la division cellulaire. Ces cytokines jouent un rôle clé dans la régulation de la réponse inflammatoire.

- Médiateurs lipidiques :

En réponse à la détection d'un signal de danger, les mastocytes et les cellules dendritiques activent la phospholipase A2, qui transforme les acides gras de la membrane plasmique en leucotriènes, prostaglandines et Platelet Activating Factor (PAF). Ces composés attirent les neutrophiles et les macrophages vers le site de l'inflammation et augmentent la perméabilité vasculaire.

- Protéine C Réactive (CRP) :

Lors de la phase aiguë de la réponse inflammatoire, la CRP est produite en réponse à la stimulation par l'IL-6. Cette protéine permet de diagnostiquer l'inflammation en mesurant son taux dans le sérum.

- Les interférons :

Les interférons sont des cytokines induites en réponse à diverses infections ou à la présence de cellules tumorales. Ils ont des actions antivirales, antibactériennes et stimulent d'autres cellules immunitaires comme les cellules NK, les macrophages et les lymphocytes. On distingue les interférons de type 1 (α et β) qui agissent dans la réponse immunitaire innée et les interférons de type 2 (γ) produits lors de la réponse immunitaire adaptative.

Le rôle du système endocannabinoïde dans la régulation de la réponse inflammatoire, notamment en ce qui concerne les cellules immunitaires est fondamental. Il découle de fait un intérêt pour le cannabidiol (CBD) comme agent anti-inflammatoire.

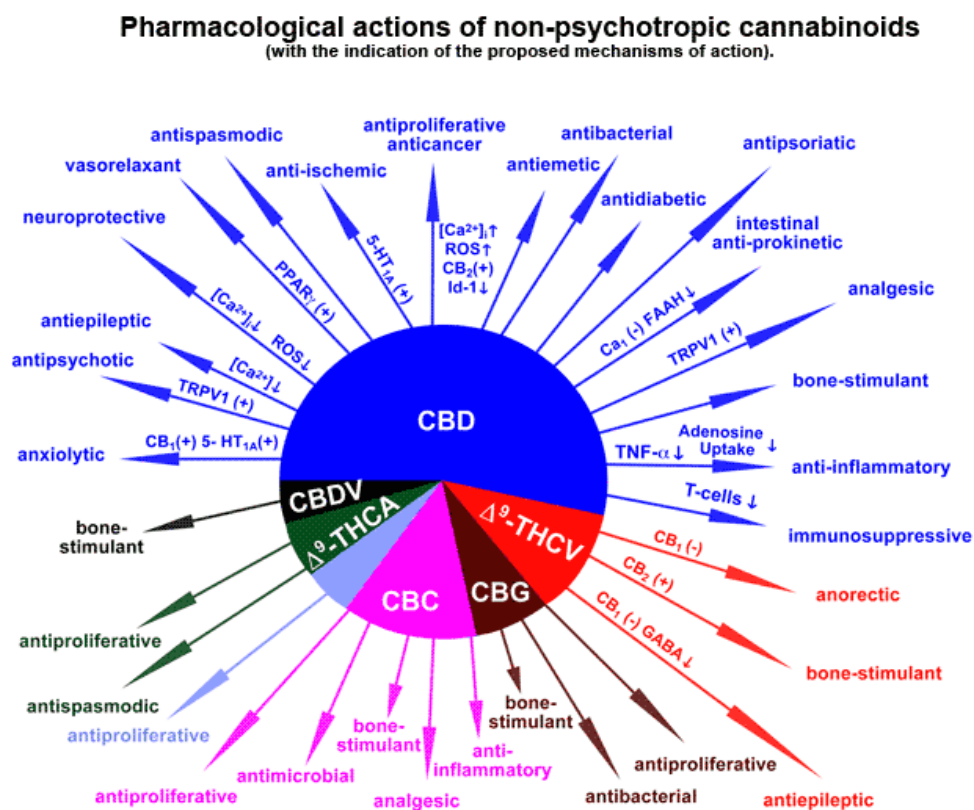
En effet, Les cellules immunitaires telles que les macrophages, les leucocytes, les mastocytes et les basophiles expriment à la fois les récepteurs CB1 et CB2 du système endocannabinoïde. Elles sécrètent également des endocannabinoïdes et possèdent les mécanismes nécessaires pour transporter ces composés et les dégrader via l'enzyme FAAH. Les cellules immunitaires montrent différents niveaux d'expression des récepteurs cannabinoïdes, avec une prédominance dans l'ordre suivant : cellules B > cellules NK > monocytes > neutrophiles polymorphonucléaires > lymphocytes CD8 > lymphocytes CD4. Les récepteurs CB2 sont plus fortement exprimés que les récepteurs CB1 dans ces cellules. Ainsi, les endocannabinoïdes contribuent à la régulation de la réponse inflammatoire en influençant l'inflammation, le tonus vasculaire et d'autres interactions immunitaires. Les endocannabinoïdes ont été démontrés pour réduire l'inflammation dans divers modèles expérimentaux de maladies, notamment l'hépatite, l'inflammation pulmonaire, la douleur inflammatoire, la colite, la septicémie, l'hypersensibilité de contact et la sclérose en plaques.

Les endocannabinoïdes modulent divers aspects de la réponse immunitaire, notamment la prolifération et l'apoptose des lymphocytes T et B, la destruction des cellules sensibilisées par les macrophages, la production de cytokines inflammatoires, l'activation des cellules immunitaires en réponse à des stimuli inflammatoires, la chimiotaxie et la migration cellulaire inflammatoire.

L'effet immunosuppresseur des endocannabinoïdes sur les cellules immunitaires est principalement médié par les récepteurs CB2. Ils inhibent la voie AMPc/proteine kinase A (PKA), ce qui diminue l'expression des gènes sensibles à l'AMPc. Les endocannabinoïdes agissent également au niveau nucléaire, influençant la

phosphorylation de I κ B- α , l'activation de NF- κ B et l'expression de gènes apoptotiques régulés par NF- κ B, l'inhibition de PPAR- γ , le TNF alpha, l'interférence avec le cycle cellulaire et l'induction de l'arrêt de phase G1/S.

Dans des modèles précliniques d'inflammation aiguë, le CBD a montré la capacité d'atténuer l'accumulation de cellules immunitaires, de stimuler la production de cytokines anti-inflammatoires comme l'IL-4 et l'IL-10, tout en inhibant la production de cytokines pro-inflammatoires telles que l'IL-1 β , l'IL-6, l'IL-8 et le TNF- α . Ces effets anti-inflammatoires sont observés principalement à des doses plus élevées de CBD in vivo, bien que des doses plus faibles aient montré une efficacité dans certaines études. Le CBD a également été étudié dans le contexte de l'inflammation musculaire, montrant des améliorations de la force musculaire et de la coordination, ainsi que des réductions de la dégénérescence tissulaire.



TRENDS in Pharmacological Sciences

Figure 12 : Actions pharmacologiques des cannabinoïdes

Partie IV - Le MyotonPRO : Digital Palpation Device

1) Historique et explication de l'outil

Le Myoton a été créée au sein de l'Université de Tartu, en Estonie. Le Dr. Arved Vain est le fondateur de la méthode de mesure. Il a consacré une grande partie de sa carrière

professionnelle à la recherche et au développement de solutions de mesure pour le tonus musculaire squelettique et les propriétés biomécaniques.

Après des années de recherche et développement, l'entreprise a réussi à créer une technologie de pointe en matière de palpation numérique, établissant ainsi une nouvelle norme pour l'évaluation des tissus biologiques mous.

L'entreprise offre un soutien technique aux chercheurs du monde entier pour soutenir les études scientifiques avec les dispositifs MyotonPRO dans diverses applications médicales et sportives. Le Siège social Myoton AS est basée à Tallinn, en Estonie.

L'entreprise détient des brevets technologiques dans plusieurs pays, notamment en Europe (Office européen des brevets), les États-Unis, le Japon, le Canada et l'Australie.

La mission de Myoton AS était de combler le vide dans l'évaluation des muscles et des tissus mous en développant une solution innovante de palpation numérique. Ils souhaitaient développer une technologie non invasive à faible coût pour la mesure et le suivi des tissus biologiques mous, avec les principes de la médecine préventive et de la médecine fondée sur les preuves.

Le MyotonPRO est un dispositif de « palpation » numérique qui offre une solution non invasive, fiable et précise pour l'exploration quantifiée des tissus biologiques mous. Le dispositif permet de mesurer les muscles squelettiques superficiels, les tendons, les ligaments, les tissus adipeux et la peau. C'est un appareil de la taille d'un smartphone, facile à utiliser et rapide. Des recherches scientifiques ont démontré sa praticité et sa polyvalence. Le modèle actuel de MyotonPRO est conçu exclusivement à des fins de recherche. (Fig.13)



Figure 13 : Prise de mesure par le Myoton Pro

a) Les données mesurées

La méthode de mesure de Myoton s'inspire de la nature et utilise une approche appelée "tape et écoute", similaire à celle utilisée par la faune pour localiser de la nourriture, naviguer et communiquer. Le Myoton utilise une méthode de mesure définie comme la méthode de réponse dynamique mécanique.

Cette méthode comprend plusieurs étapes :

- Une impulsion mécanique de précision est appliquée au tissu biologique. La réponse dynamique du tissu est enregistrée sous forme de déplacement physique et de signal d'accélération d'oscillation.(Fig.14)

Les paramètres caractérisant l'état de tension, les propriétés biomécaniques et viscoélastiques sont ensuite calculés à partir de ces données.

Il existe cinq paramètres clés :

- Accélération :
Il mesure la vitesse de la réponse du tissu à l'impulsion mécanique.
Temps : Il indique la durée de la réponse du tissu.
max a : Il représente la valeur maximale de l'accélération enregistrée.
max a1 : Il correspond à une autre mesure de la valeur maximale de l'accélération.
a : Il s'agit d'un paramètre supplémentaire lié à l'accélération.

En résumé, le Myoton utilise une méthode de mesure inspirée de la nature qui repose sur l'application d'une impulsion mécanique et l'analyse de la réponse dynamique du tissu pour calculer divers paramètres. Cette méthode vise à fournir une base scientifique solide pour l'analyse des tissus biologiques.

- TONE (Hertz) :

La fréquence d'oscillation est utilisée pour caractériser les tissus biologiques mous et les muscles squelettiques.

La fréquence d'oscillation caractérise la tension intrinsèque des tissus biologiques mous au niveau cellulaire : Cela signifie que la fréquence d'oscillation est utilisée pour mesurer la rigidité ou la tension naturelle des tissus mous du corps, tels que les muscles, les tendons ou les ligaments, au niveau de leurs cellules constitutives. Cette caractéristique est importante pour comprendre les propriétés mécaniques des tissus biologiques.

La fréquence d'oscillation caractérise le tonus des muscles squelettiques superficiels dans leur état passif ou de repos sans contraction volontaire (signal EMG silencieux) : Cela signifie que la fréquence d'oscillation peut être utilisée pour évaluer le niveau de tension ou de tonus musculaire des muscles squelettiques qui se trouvent près de la surface du corps. Cette mesure est effectuée lorsque les muscles sont au repos, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas activement contractés, et elle est indépendante du signal électromyographique (EMG) provenant de l'activité musculaire.

La fréquence d'oscillation d'un muscle dans son état contracté caractérise l'état de tension : Lorsque les muscles sont contractés de manière volontaire, la fréquence d'oscillation de ces muscles change. Cette modification de la fréquence d'oscillation est utilisée pour évaluer l'état de tension du muscle lorsqu'il est actif.

En résumé, la fréquence d'oscillation est un paramètre utilisé pour caractériser la tension des tissus mous au niveau cellulaire et pour évaluer le tonus des muscles squelettiques, que ce soit lorsqu'ils sont au repos ou en contraction. Cela permet de comprendre le comportement musculaire et les propriétés mécaniques des tissus du corps.

- STIFFNESS

Le « Dynamic stiffness » caractérise la résistance des tissus biologiques mous à une force de déformation : La dynamic stiffness est une mesure qui permet d'évaluer à quel point les tissus mous du corps résistent à une force externe qui tente de les déformer ou de les comprimer. En d'autres termes, elle indique la capacité des tissus à maintenir leur forme et leur structure lorsque des forces sont appliquées.

Le terme « dynamic stiffness » est une caractéristique spécifique de la technologie Myoton, qui utilise une méthode de mesure dynamique pour évaluer les propriétés mécaniques des tissus biologiques. Cette méthode permet de recueillir des données en temps réel sur la réponse des tissus à une impulsion mécanique.

L'inverse de la stiffness (raideur) est la compliance. En d'autres termes, la compliance représente la capacité des tissus à se déformer ou à se comprimer sous l'effet d'une force. Plus une substance est "compliant", plus elle est souple et facile à déformer, tandis que plus elle est "stiff", plus elle résiste à la déformation.

En résumé, la dynamic stiffness est une mesure qui évalue la résistance des tissus mous du corps à la déformation, en se basant sur une méthode de mesure dynamique utilisée dans la technologie Myoton. Cette mesure est complémentaire de la compliance, qui représente la capacité des tissus à se déformer en réponse à une force.

- ELASTICITY

Le concept de "décrément logarithmique" est lié à l'amortissement des oscillations des tissus biologiques mous, ainsi qu'à la notion d'élasticité et de plasticité de ces tissus.

Le Décrément logarithmique caractérise donc l'amortissement des oscillations des tissus. C'est une mesure qui permet d'évaluer à quel point les oscillations naturelles des tissus mous du corps diminuent ou s'amortissent. Plus ces oscillations s'atténuent rapidement, plus l'énergie mécanique induite par l'impulsion de mesure est dissipée.

Le décrément des oscillations naturelles des tissus décrit inversement leur élasticité. En effet, l'élasticité est une propriété biomécanique des tissus mous qui indique leur capacité à retrouver leur forme initiale après avoir été déformés. Le décrément est inversement lié à l'élasticité, ce qui signifie que plus le décrément est élevé, moins les tissus sont élastiques. En d'autres termes, une forte diminution des oscillations est associée à une capacité réduite des tissus à revenir à leur forme d'origine après avoir subi une déformation.

En théorie, un décrément de zéro représente une élasticité absolue (absence d'amortissement). Si le décrément est égal à zéro, cela signifie qu'il n'y a aucun amortissement des oscillations, ce qui correspond à une élasticité totale. Les tissus seraient alors capables de revenir parfaitement à leur forme d'origine sans aucune perte d'énergie.

L'inverse de l'élasticité est la plasticité. La plasticité est une propriété opposée à l'élasticité. Elle décrit la capacité des tissus à conserver une forme déformée plutôt que

de revenir à leur forme initiale. Donc, plus les tissus sont élastiques, moins ils sont plastiques, et vice versa.

En résumé, le décrétement logarithmique est une mesure qui reflète l'amortissement des oscillations des tissus mous. Il est inversement lié à l'élasticité, qui représente la capacité des tissus à retrouver leur forme initiale après déformation. Un décrétement élevé indique une faible élasticité, tandis qu'un décrétement nul serait synonyme d'une élasticité totale. La plasticité est le contraire de l'élasticité, décrivant la capacité des tissus à rester déformés.

- RELAXATION

Le concept de "Mechanical Stress Relaxation Time" (temps de relaxation du stress mécanique) caractérise le temps nécessaire à un tissu pour récupérer sa forme après un déplacement. Ce temps de relaxation est une mesure qui indique la rapidité avec laquelle un tissu biologique reprend sa forme d'origine après avoir été déformé par une force mécanique. Plus ce temps est court, plus le tissu est rapide pour récupérer sa forme.

Plus un tissu est tendu ou raide, plus il récupère rapidement sa forme, ce qui se traduit par une valeur plus faible. Cela énonce une relation inverse entre la tension ou la rigidité d'un tissu et son temps de relaxation du stress mécanique. En d'autres termes, les tissus qui sont sous une tension élevée ou qui sont rigides ont tendance à retrouver leur forme plus rapidement, ce qui se traduit par une valeur plus basse pour le temps de relaxation du stress mécanique.

Pour clarifier, imaginez un élastique très tendu. Lorsque vous le tirez et le relâchez, il revient rapidement à sa forme d'origine. Cela signifie qu'il a un temps de relaxation du stress mécanique court. En revanche, un élastique moins tendu prendra plus de temps pour revenir à sa forme initiale, ce qui correspond à un temps de relaxation du stress mécanique plus long.

En résumé, le temps de relaxation du stress mécanique est le temps nécessaire à un tissu pour retrouver sa forme après avoir été déplacé, et ce temps est inversement lié à la tension ou à la rigidité du tissu. Plus le tissu est tendu ou rigide, plus il récupère rapidement sa forme, ce qui se traduit par une valeur plus basse pour cette mesure.

- CREEP

Le concept de "ratio of relaxation and deformation time" (ratio du temps de relaxation et du temps de déformation) est lié à un phénomène appelé "creep" (fluage) qui se produit dans les tissus biologiques sous contrainte de tension constante.

Le creep est un phénomène dans lequel un matériau, dans ce cas, un tissu biologique, s'étire progressivement au fil du temps lorsqu'il est soumis à une tension constante. Le ratio du temps de relaxation et du temps de déformation est une mesure qui permet d'évaluer la manière dont un tissu réagit à cette contrainte de tension constante.

Plus la tension, l'intégrité structurelle ou la rigidité d'un tissu est élevée, plus sa résistance au creep est importante, ce qui se traduit par une valeur plus basse. Il existe

une relation inverse entre la résistance au creep d'un tissu et ses caractéristiques telles que la tension, l'intégrité structurelle ou la rigidité. En d'autres termes, lorsque ces caractéristiques sont élevées, le tissu résiste davantage au phénomène de creep, ce qui se traduit par une valeur plus basse pour le ratio du temps de relaxation et du temps de déformation.

Pour clarifier, imaginez un matériau soumis à une tension constante. Si ce matériau est très tendu, résistant et rigide, il aura tendance à s'étirer beaucoup moins au fil du temps (creep) par rapport à un matériau plus mou et moins résistant. Par conséquent, le premier matériau aura une valeur plus basse pour le ratio du temps de relaxation et du temps de déformation.

En résumé, le ratio du temps de relaxation et du temps de déformation est utilisé pour caractériser le creep, qui est l'extension progressive d'un tissu soumis à une tension constante. Plus un tissu est tendu, résistant ou rigide, plus il résiste au creep, ce qui se traduit par une valeur plus basse pour cette mesure.

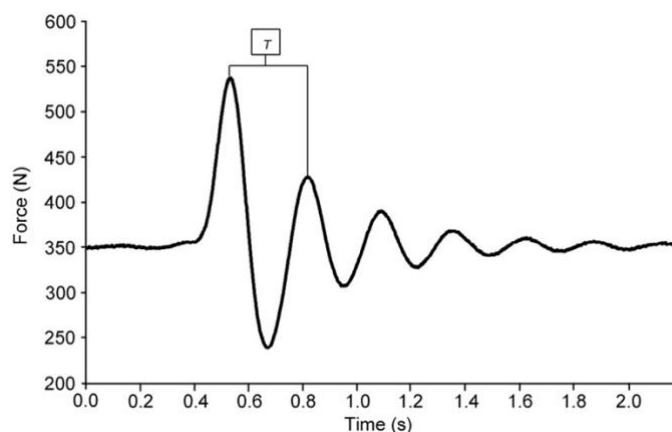


Figure 14 : Représentation d'une oscillation recueillie par le Myoton Pro

b) Les tissus biologiques mesurés par le myoton pro

- Muscles squelettiques superficiel :

Le dispositif permet de mesurer les muscles squelettiques qui se trouvent proches de la surface du corps. De plus, il peut distinguer les muscles individuels au sein d'un groupe musculaire plus large. Par exemple, il peut mesurer un muscle spécifique d'un groupe de muscles, comme le biceps au sein du groupe musculaire du bras.

La technologie permet également de mesurer différentes parties d'un muscle particulier. Un muscle peut avoir plusieurs régions ou zones distinctes, et cette technologie permet de mesurer ces zones spécifiques séparément.

- Tendons and ligaments :

En plus des muscles, cette technologie peut mesurer les tendons et les ligaments. Les tendons sont les tissus qui relient les muscles aux os, tandis que les ligaments relient les

os entre eux. Mesurer ces tissus peut fournir des informations sur leur tension et leur élasticité.

- Superficial Myofascial Tissues :

Le fascia est un tissu conjonctif qui entoure les muscles, les tendons et d'autres structures corporelles. Le Myoton permet de mesurer les tissus myofasciaux superficiels afin d'évaluer les propriétés mécaniques du fascia et des tissus musculaires sous-jacents.

- Peau et tissu sous-cutané :

Cette technologie peut également mesurer la peau et les tissus sous-cutanés, qui sont situés juste en dessous de la peau.

- Autres tissus mou :

En plus des tissus mentionnés précédemment, cette technologie peut être utilisée pour mesurer d'autres tissus mous biologiques du corps, tels que la langue et le palais mou.

c) Limitation de l'outil de mesure Myoton Pro

La technologie Myoton dans sa configuration standard n'est pas conçue pour mesurer des groupes musculaires entiers, mais plutôt des muscles individuels. Elle n'est pas adaptée pour évaluer la mécanique de plusieurs muscles agissant ensemble en tant que groupe.

De plus, les muscles très minces, ayant une épaisseur de moins de 3 millimètres, ne peuvent pas être mesurés efficacement avec cette technologie. Elle peut avoir du mal à détecter et à évaluer les caractéristiques mécaniques de tels muscles.

Les muscles ayant une masse très faible, inférieure à 20 grammes, sont également en dehors de la capacité de mesure de la technologie Myoton. Cette technologie nécessite une masse musculaire minimale pour une mesure précise.

Si un muscle n'est pas palpable, c'est-à-dire qu'il ne peut pas être facilement senti ou localisé à la surface du corps, la technologie Myoton peut avoir du mal à le mesurer de manière précise.

Les muscles profonds situés sous plusieurs couches de tissus autres que musculaires (comme les tissus adipeux ou les tissus conjonctifs) ne sont pas accessibles à la mesure avec la configuration standard de la technologie Myoton. Elle ne peut pas pénétrer ces couches pour mesurer les muscles profonds.

Les muscles recouverts par une couche de graisse sous-cutanée épaisse de plus de 20 millimètres ne peuvent pas être mesurés efficacement par la technologie Myoton standard. La graisse peut interférer avec la mesure des propriétés mécaniques des muscles.

La technologie Myoton est spécifiquement conçue pour mesurer les tissus biologiques mous. Elle n'est pas adaptée à la mesure d'autres types de tissus, tels que les tissus durs comme l'os.

En résumé, la technologie Myoton a des limitations concernant les types de muscles, leur épaisseur, leur masse, leur accessibilité et la présence de tissus adipeux ou autres tissus recouvrant les muscles. Elle est principalement adaptée à la mesure des muscles individuels et des tissus mous de l'organisme.

d) Application de la technologie

La technologie Myoton fournit des informations précieuses sur l'état des muscles squelettiques superficiels, des tendons et d'autres tissus mous dans plusieurs domaines de la médecine.

Les propriétés biomécaniques, telles que le tonus musculaire, la rigidité et l'élasticité, jouent un rôle crucial dans la détermination de l'état fonctionnel des muscles. Ces propriétés sont de plus en plus comprises comme étant des indicateurs importants de la santé musculaire et de la condition physique.

Le Myoton permet de comprendre la relation entre le tonus, la rigidité et l'élasticité. Elle permet d'explorer la façon dont ces trois aspects (tonus, rigidité et élasticité) sont liés à l'intégrité musculaire et à la condition physique.

Les informations fournies par la technologie Myoton permettent d'évaluer objectivement la progression et l'efficacité de divers facteurs, tels que les interventions médicales, l'exercice physique, la symétrie, les blessures et le vieillissement. Cela fait de cette technologie un outil qui peut être utilisé pour suivre les données biomécaniques en relation avec une pathologie afin d'évaluer les améliorations ou les détériorations avec la mise en place d'un traitement au fil du temps.

Une application pratique potentielle de la technologie Myoton est la détection précoce des troubles musculosquelettiques, des maladies ou des risques de blessure. En fournissant des informations précoces sur l'état des tissus mous et en les comparant sur le côté sain, elle permettrait la mise en place de mesures préventives et de traitements médicaux appropriés dès que possible.

De nombreuses études scientifiques existantes ont démontré la fiabilité, la validité et la reproductibilité de la technologie Myoton.

e) Processus de mesure à l'aide de la technologie Myoton

L'utilisation du Myoton est simple mais elle doit être effectuée avec rigueur afin d'éviter tout artefact de mesure et d'optimiser le temps d'enregistrement des valeurs :

- Préparer et télécharger l'ensemble de mesures à partir du logiciel Myoton Desktop.

- Activation et sélection du sujet : Appuyez sur le bouton "ON/NEXT" ou touchez "Mesures" à l'écran principal pour activer le dispositif. Ensuite, sélectionnez le premier sujet dans la liste en appuyant sur "ON/NEXT" ou en tapant sur l'écran pour choisir un autre sujet.
- Sélection du modèle : Choisissez le premier modèle dans la liste en appuyant sur "ON/NEXT" ou en tapant sur l'écran pour sélectionner un autre modèle.
- Démarrage de la nouvelle mesure : Appuyez sur "ON/NEXT" pour démarrer une nouvelle mesure ou touchez l'écran pour afficher les résultats des mesures précédentes.
- Positionnement de la sonde : Placez la sonde perpendiculairement à la surface de la peau directement sur le point de mesure préalablement marqué au-dessus du tissu examiné (par exemple, un muscle ou un tendon).
- Prise de mesure : Déplacez le dispositif vers la peau jusqu'à ce que la lumière verte s'allume pour indiquer une position de mesure précise.
- Maintien stable : Maintenez doucement le dispositif en place jusqu'à ce qu'il effectue automatiquement les mesures.
- Fin de la mesure : Appuyez sur "ON/NEXT" ou touchez "Terminer" lorsque toutes les mesures ont été effectuées.
- Téléchargez les résultats dans le logiciel Myoton Desktop pour les importer et les analyser plus en détail.

f) Valeurs de référence

Les valeurs de référence pour les muscles squelettiques superficiels mesurés dans un état de repos peuvent varier en fonction de différents facteurs tels que le genre, l'âge, le mode de vie, la profession, les activités sportives et les conditions médicales.

Voici quelques exemples de valeurs de référence :

- F (fréquence d'oscillation) : Entre 12.0 et 18.0 Hertz (Hz)
- S (rigidité) : Entre 220 et 380 Newton/mètre (N/m)
- D (décroissance logarithmique) : Entre 1.00 et 1.60 (unité arbitraire relative)
- R (temps de relaxation) : Entre 14.0 et 30.0 millisecondes (ms)
- C (compliance) : Entre 1.00 et 2.00 (unité arbitraire relative)

Cependant, ces valeurs peuvent varier très fortement en fonction de l'exercice physique qui peut influencer le tonus musculaire, la rigidité et l'élasticité. Par exemple, l'exercice peut entraîner une augmentation du tonus musculaire et de la rigidité. Il existe aussi des différences entre les muscles des enfants et des adultes en termes d'élasticité et de rigidité.

En conclusion dans la pratique, nous utiliserons des comparaisons de moyenne avant et après intervention (exercice, médication, supplémentation, etc.) pour le tissu examiné et aussi comparaison tissu lésé / tissu sain avant et après intervention.

2) Revue de la littérature de la myotonométrie

L'objectif de cette revue de la littérature est de montrer l'intérêt de la mesure par Myoton Pro dans l'évaluation des données biomécaniques sur les territoires musculaires affectés par une lombo-sciatique d'origine discale.

Il n'y a pas à notre connaissance d'études concernant des données spécifiques à la lombo-sciatique d'origine discale. Cependant de nombreux chercheurs ont travaillé sur l'intérêt du myoton sur la neuropathie, la fiabilité inter et intra praticien des muscles concernés par la topographie de la sciatique (Gastrocnémien, Ischio-jambiers, sole plantaire, Fibulaires etc.)

De ce fait il nous semble intéressant de pouvoir utiliser les études existantes et par analogie définir le champs d'application du Myoton pro dans l'évaluation et le monitoring des données biomécaniques dans le cadre de la lombo-sciatique.

En 2023, Jared M. McGowen et al. (4) examine la la fiabilité test-retest de la myotonométrie pour évaluer la raideur musculaire, chez 30 cadets de l'armée de l'Université Baylor. Les mesures de raideur ont été prises dans les muscles de la colonne lombaire et de la cuisse, en position debout et en squat, avec une semaine entre chaque mesure. Les mesures ont été prises dans les muscles vastus lateralis (VL), biceps femoris (BF), multifidus lombaire (LM) et longissimus thoracis (LT), avec les participants en position debout et en squat. Les coefficients de corrélation intraclasse (ICC3,2) ont été estimés, avec des intervalles de confiance à 95 % calculés sur la base d'un modèle à effets mixtes.

Les résultats montrent que la myotonométrie est fiable pour mesurer la raideur musculaire dans ces positions corporelles, ce qui pourrait être utile pour évaluer les déficits musculaires et l'efficacité des interventions par CBD dans le contexte de la lombo-sciatique discale.

Rumeysa Cakici et al. (2023) examine la raideur de la fascia plantaire (PF) chez des patients atteints de diabète de type 2 (T2DM) par rapport à des sujets en bonne santé et son lien avec le risque de chute et la vitesse de la marche. Cinquante patients atteints de diabète de type 2 ont été évalués à l'aide d'un myotonomètre pour mesurer la raideur de la PF.

Cette étude indique que la raideur de la PF augmente chez les patients atteints de T2DM, ce qui est associé à une réduction de la vitesse de la marche et à un risque accru de chute : Cette étude nous donne donc une fiabilité de la mesure sur les paramètres biomécaniques du fascia plantaire tel que la raideur évalué dans cet article transposable à l'étude de la raideur du fascia plantaire chez des patients atteints de sciatique discale S1 avant et après traitement par CBD.

Heeae Seo et al.(2023) (6) se penche sur l'utilisation du myotonomètre pour évaluer la tonicité musculaire chez des enfants atteints de handicaps développementaux (DD).

Cette étude vise à déterminer la fiabilité intra-évaluateur et inter-évaluateur de l'utilisation du myotonomètre chez ces enfants.

L'étude a inclus 26 enfants diagnostiqués avec des handicaps développementaux. Deux thérapeutes physiques ont mesuré la tonicité musculaire des enfants à l'aide du myotonomètre. La fiabilité a été évaluée à l'aide du coefficient de corrélation intraclasse (ICC), de l'erreur standard de mesure (SEM) et du changement minimal détectable (MDC). Les résultats ont montré une excellente fiabilité intra-évaluateur pour tous les muscles mesurés, à l'exception du biceps brachii, où la fiabilité était légèrement moins élevée. De plus, la fiabilité inter-évaluateur était excellente pour tous les muscles. Les valeurs de SEM et de MDC étaient également faibles, indiquant de petites erreurs de mesure. En conséquence, la fiabilité intra-évaluateur et inter-évaluateur des mesures effectuées avec le myotonomètre s'est avérée être bonne à excellente.

Ces résultats suggèrent que le myotonomètre est un outil capable d'évaluer objectivement la tonicité musculaire, et il pourrait être utilisé en pratique clinique pour mesurer rapidement et commodément la tonicité musculaire dans le cas de suivi de traitement de la sciatique par CBD dans une étude multi-centrique.

Filiz Basol et al. (7) ont examiné les effets de l'exposition à des vibrations de l'ensemble du corps (WBV) avec une posture de squat statique sur la raideur, l'élasticité et la force des muscles extenseurs du membre inférieur. L'étude a été menée sur 40 adultes jeunes en bonne santé et non entraînés, répartis en deux groupes, un groupe exposé aux vibrations (groupe WBV) et un groupe témoin.

Pendant 6 semaines, le groupe expérimental a été exposé aux vibrations deux fois par semaine, tandis que le groupe témoin n'a pas été exposé. La raideur et l'élasticité des muscles extenseurs du genou et des muscles dorsiflexeurs de la cheville ont été mesurées à l'aide du dispositif MyotonPRO. La force musculaire isométrique a été évaluée avec un dynamomètre manuel. Toutes les mesures ont été effectuées par le même évaluateur au début de l'étude et après les 6 semaines d'exposition aux vibrations. Les résultats ont montré des interactions significatives entre le groupe et le temps pour l'élasticité des muscles dorsiflexeurs de la cheville droite et gauche, ainsi que pour la force musculaire des dorsiflexeurs de la cheville droite et gauche. Cela signifie que l'exposition aux vibrations a entraîné une amélioration de l'élasticité et de la force musculaire dans ces muscles.

En revanche, aucune différence significative n'a été observée en ce qui concerne la raideur musculaire ni pour la force musculaire et l'élasticité des muscles extenseurs du genou.

Cette étude suggère que l'exposition aux vibrations pendant 6 semaines avec une posture de squat statique peut être bénéfique pour augmenter l'élasticité et la force des muscles dorsiflexeurs de la cheville chez des individus en bonne santé et non entraînés. Cependant, cela n'a pas eu d'effet significatif sur la raideur musculaire ou sur les muscles extenseurs du genou. Au vu de la fiabilité des mesures de cette étude, nous pouvons donc trouver un intérêt dans l'utilisation du myoton pour la mesure du tonus, de l'élasticité et de la raideur des muscles dorsi-fléchisseurs de la cheville en cas de sciatique discale territoire L5.

Maria Isabel Garcia-Bernal et al. (8) ont eu pour objectif de caractériser les changements de tonicité musculaire, de raideur et d'épaisseur des muscles des membres supérieurs et inférieurs chez les survivants d'accidents vasculaires cérébraux (AVC). L'étude a inclus quarante patients ayant survécu à un AVC subaigu ou chronique et

trente et un témoins. Les mesures ont été effectuées à l'aide de la myotonométrie (MyotonPRO), avec des évaluations à plusieurs sites au niveau du ventre musculaire (MB) et au niveau musculo-tendineux (MT) des muscles biceps brachii et gastrocnémien. L'épaisseur musculaire a été mesurée pour chaque muscle à l'aide de l'échographie. Les performances motrices des membres supérieurs et inférieurs ont été évaluées à l'aide de l'Évaluation Fugl-Meyer pour les membres supérieurs et de la Catégorie d'Ambulation Fonctionnelle.

Dans l'ensemble, la tonicité musculaire et la raideur étaient significativement plus élevées au niveau des sites MT par rapport aux sites MB. Parmi les patients ayant survécu à un AVC, des différences entre le membre parétique et le membre non parétique ont été observées pour le biceps brachii, avec une tonicité musculaire, une raideur et une épaisseur inférieures du côté parétique (toutes, $p < 0,05$). Il y avait des corrélations faibles à modérées entre les changements mécaniques (myotonométrie) et structurels (échographie) des muscles, indépendamment du stade post-AVC. Cela suggère que la myotonométrie et l'échographie évaluent des constructions similaires bien que différentes, et qu'elles peuvent être combinées en milieu clinique. Leur capacité discriminatoire entre le côté parétique et non parétique et entre les participants avec et sans AVC diffère en fonction du muscle, du niveau fonctionnel et du stade de l'AVC.

En résumé, cette étude révèle des différences significatives dans la tonicité musculaire, la raideur et l'épaisseur des muscles entre les survivants d'AVC et les témoins. Les mesures mécaniques (myotonométrie) et structurelles (échographie) sont corrélées, mais évaluent des aspects différents des muscles. Leur capacité à discriminer entre les côtés parétique et non parétique dépend du muscle étudié, du stade de l'AVC et du niveau de performance motrice. Concernant l'utilisation de la myotonométrie dans le monitoring et l'évaluation du CBD sur la sciatique, cette étude nous apporte un intérêt sur la fiabilité de l'instrument sur la topographie musculaire étudiée dans cette étude le gastrocnémien transposable à l'évaluation des paramètres biomécaniques dans le cas du traitement par CBD sur la sciatique avec les répercussions sur le gastrocnémien (territoire S1).

Katja Bartsch et al. (9) ont comparé la fiabilité de différents outils de mesure de la raideur (stiffness) sur un modèle de tissu fantôme multicouche (MPTM). Le MPTM en polyuréthane simulait les quatre couches de la région thoracolombaire : la cutis (CUT), le tissu conjonctif sous-cutané (SCT), le fascia profond (FPR) et les muscles érecteurs du rachis (ERS), avec des paramètres de raideur variables. Les outils de mesure de la raideur évalués comprenaient le Shore Durometer, le Semi-Electronic Tissue Compliance Meter (STCM), l'IndentoPRO, le MyotonPRO et l'imagerie par ultrasons. Les mesures ont été effectuées par deux examinateurs indépendants et aveugles.

Les résultats ont montré que le MyotonPRO était l'outil de mesure de la raideur présentant les corrélations les plus élevées pour tous les paramètres de raideur (0,94 pour les changements CUT, 0,98 pour SCT et 0,91 pour ERS). La fiabilité inter-évaluateurs pour le MyotonPRO était excellente pour toutes les couches du MPTM (0,98 pour CUT, 0,99 pour SCT, 0,94 pour ERS).

En ce qui concerne les autres outils, le Shore Durometer, le STCM, l'IndentoPRO et le MyotonPRO ont détecté de manière fiable les changements de raideur dans trois des

quatre couches du MPTM, à l'exception de la couche fine (1 mm d'épaisseur) simulant la FPR. Quant à l'imagerie par ultrasons, seuls les changements de raideur dans les couches d'épaisseur supérieure à 3 mm ont pu être mesurés de manière fiable. En résumé, cette étude montre que le MyotonPRO est l'outil le plus fiable pour détecter les changements de raideur dans différentes couches de tissu simulant la région lombaire du corps humain. Les autres outils ont également montré une fiabilité dans la détection de la raideur, mais ils ont des limites en termes d'épaisseur de tissu pouvant être mesurée de manière fiable. Le myoton pro nous semble donc être le meilleur moyen de mesure pour évaluer les paramètres biomécaniques de raideur après une intervention par CBD sur la sciatique d'origine discale.

F. Javier Nunez et al.(10) ont comparé la longueur des fascicules, l'angle de pennation et les propriétés mécaniques du muscle long de la tête du biceps fémoral (BFlh) entre les membres dominants et non dominants de joueurs de football professionnels ayant été blessés précédemment et ceux n'ayant pas été blessés. Quinze joueurs de football professionnels ont participé à l'étude, dont sept avaient subi une blessure au BFlh au cours de la saison précédente. Les propriétés mécaniques du BFlh ont été mesurées dans les régions proximale, au niveau du tendon commun et distale du BFlh à l'aide du MyotonPRO, tandis que la longueur des fascicules et l'angle de pennation ont également été mesurés.

Les résultats ont montré que la fréquence, la rigidité, le décrochage, la relaxation et la fluage étaient significativement plus élevés dans la région distale du BFlh par rapport à la région proximale et au tendon commun. Les joueurs précédemment blessés présentaient une fréquence et une rigidité significativement plus élevées, ainsi qu'une relaxation et un fluage plus faibles dans le BFlh dominant par rapport aux joueurs non blessés. En revanche, il n'y avait pas de différences significatives en ce qui concerne la longueur des fascicules et l'angle de pennation entre les BFlh précédemment blessés et non blessés.

En résumé, cette étude montre que la mesure par myotonomètre permet une évaluation rapide et peu coûteuse des propriétés du BFlh chez les joueurs de football professionnels. Les joueurs précédemment blessés au BFlh présentaient une tension intrinsèque plus élevée dans le muscle au repos, une plus grande résistance à la force externe déformant la forme initiale du muscle, et une capacité significativement réduite à fournir un allongement progressif du muscle dans le temps sous contrainte de traction constante, malgré une architecture musculaire similaire. Les longueurs des fascicules du BFlh et l'angle de pennation chez les joueurs de football professionnels n'ont pas montré de différences significatives entre les membres blessés et non blessés, ni entre les membres dominants et non dominants chez les joueurs non blessés. Cela nous amène à penser que lors de l'évaluation de l'effet du cbd sur la sciatique, il y a un intérêt à mesurer lors de l'atteinte du territoire S1, la partie proximale et distale du muscle biceps crural et de le comparer avec le côté contro-latéral.

Jin-yong Lim et al.(11) ont mené une étude visant à comparer les effets de l'étirement actif (AS) et de la mobilisation des tissus mous assistée par instrument (IASTM) sur l'amplitude de mouvement (ROM) de l'articulation de la hanche et la raideur musculaire du tenseur du fascia lata (TFL) raccourci chez des sujets présentant un TFL raccourci. L'étude a été réalisée avec un groupe témoin pré- et post-intervention. Vingt hommes en bonne santé présentant un TFL raccourci ont été sélectionnés. Ils ont été répartis de manière aléatoire entre le groupe AS (n = 10) et le groupe IASTM (n = 10). Un

smartphone a été utilisé pour mesurer l'amplitude de mouvement en adduction de la hanche, tandis que le MyotonPRO a été utilisé pour mesurer la raideur du TFL. Une comparaison statistique a été effectuée à l'intérieur de chaque groupe avant et après l'intervention, et une comparaison entre les groupes a été réalisée pour évaluer les variations.

Les résultats ont montré que, dans les deux groupes AS et IASTM, il y avait une augmentation significative de l'amplitude de mouvement en adduction de la hanche après l'intervention. Cependant, aucun des deux groupes n'a montré de différence significative en ce qui concerne la raideur du TFL après l'intervention. Dans la comparaison entre les groupes, une plus grande augmentation de l'amplitude de mouvement en adduction de la hanche a été observée dans le groupe AS par rapport au groupe IASTM.

En conclusion, cette étude a révélé que l'amplitude de mouvement en adduction de la hanche des sujets présentant un TFL raccourci augmentait immédiatement dans les deux groupes AS et IASTM, bien que la raideur du TFL n'ait pas diminué. De plus, l'augmentation de l'amplitude de mouvement en adduction de la hanche était plus importante dans le groupe AS que dans le groupe IASTM. Par conséquent, cette étude suggère que l'étirement actif est plus efficace que la mobilisation des tissus mous assistée par instrument pour augmenter immédiatement la flexibilité du TFL raccourci. Elle nous apporte aussi une fiabilité dans la mesure de raideur du TFL par le myoton pro qui pourrait être utilisé en cas de sciatique de topographie L4 avec atteinte du TFL.

Grzegorz Wojdala, Michal Krzysztofik (12) souligne que le Myoton semble être un outil fiable et compact pour évaluer la fatigue locale et les propriétés musculaires pendant l'entraînement, en particulier immédiatement avant et après des exercices spécifiques ou entre les séries.

Une relation existerait entre la fatigue musculaire locale et la raideur musculaire. En effet, au niveau spinal, la répétition de contractions volontaires, ou leur caractère continu, induirait la génération de signaux nerveux supplémentaires aux trains de potentiels d'action (Behm, 2004). Ces doubles décharges seraient associées à une plus grande raideur musculaire (Binder-Macleod & Lee, 1996).

Il y a donc un intérêt dans une étude sur le CBD et la sciatique de mesurer cette raideur musculaire sur les chefs musculaires affectés et ainsi de pouvoir monitoriser la fatigue neuro-musculaire locale et son évolution en fonction du traitement par CBD. Cela est corroboré par les travaux de Prarthana Sanya Lall et al. (13) qui ont eu pour objectif d'examiner le muscle gastrocnémien médial (MG) et le muscle gastrocnémien latéral (LG) afin de déterminer les changements de raideur entre ces deux muscles mesurée à l'aide de l'élastographie par ondes de cisaillement (SWE) et d'un MyotonPRO après avoir provoqué une fatigue musculaire.

Un total de 35 jeunes adultes en bonne santé ont participé à l'étude. La raideur du MG et du LG a été évaluée avant et après un protocole de fatigue musculaire (MFP), comprenant trois séries de 50 contractions excentriques des muscles du mollet de la jambe dominante, au repos et lors de la contraction volontaire maximale (MVC). Les mesures ont été prises simultanément avec la SWE et le MyotonPRO.

Comparée à la ligne de base, la raideur au repos du MG et du LG a augmenté de manière significative immédiatement, 24 heures et 48 heures après la fatigue musculaire ($p < 0,05$) ; cependant, lors de la MVC, la raideur du MG a diminué ($p < 0,05$) et celle du LG n'a pas montré de changement ($p > 0,05$). Lorsque la raideur du MG et du LG a été comparée avant et après le MFP, les changements de raideur du MG étaient

significativement plus importants que ceux du LG ($p < 0,05$). Cela signifie que le MG a été davantage affecté par la fatigue musculaire due à l'exercice que le LG.

Par conséquent, la mesure de la raideur peut renforcer la compréhension de la fatigue musculaire et des changements qu'elle provoque dans le muscle lui-même. L'évaluation des tissus musculo-squelettiques et de leurs caractéristiques soumis à une altération fonctionnelle causé par une irritation du nerf sciatique prait donc engendrer une fatigue musculaire locale que l'on pourrait déterminer indirectement par la mesure de la rigidité musculaire mesuré par le myoton pro.

Dans l'ensemble, les résultats de ces études peuvent avoir des applications pertinentes dans la stratégie dévalauton du cbd sur la sciatique d'origine discale.

Anastasija Plehuna et al. (14) se penchent sur les effets de l'immersion sèche (DI), une analogie de la microgravité sur Terre, sur les muscles érecteurs du rachis, et examinent comment ces effets pourraient être liés à l'allongement de la colonne vertébrale et aux douleurs lombaires induites par la microgravité.

Lors de l'étude, dix hommes en bonne santé ont été immergés dans un bain de DI pendant 6 heures. Les chercheurs ont évalué à l'aide du MyotonPro la raideur, le creep (la déformation rémanente), et la tonicité superficielle bilatérale des muscles érecteurs du rachis lombaire (L1, L4) et thoracique (T11, T9). Ils ont également mesuré la longueur de la colonne vertébrale avant et après la DI. De plus, les participants ont noté leurs douleurs lombaires sur une échelle de 0 à 10.

Cette étude démontre que les changements de tonicité, de creep et de raideur des muscles érecteurs du rachis bilatéraux induits par la DI persistent au-delà de 2 heures, bien que tendant à s'atténuer. Les résultats suggèrent que ces changements dans les tissus musculo-squelettiques du tronc pourraient jouer un rôle dans la pathogenèse des douleurs lombaires observées en microgravité réelle et simulée. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre ces relations, notamment avec une DI de plus longue durée et une évaluation de la géométrie des disques intervertébraux et de la stabilité de la colonne vertébrale. Ces résultats pourraient également être utiles pour développer des mesures spécifiques contre la détérioration des propriétés biomécaniques et viscoélastiques des muscles du dos induite par la microgravité, notamment pour les astronautes en vol spatial prolongé. L'étude permet aussi de confirmer l'intérêt du Myoton Pro dans l'évaluation des muscles du tronc au niveau lombaire et thoracique avant et après la mise en place d'une manipulation expérimentale. Les facteurs biomécaniques des muscles dorso-lombaires étudiés ici tel que la tonicité, la raideur musculaire et le creep (déformation rémanente) sont des données biomécaniques qui trouvent un intérêt dans l'évluation du CBD sur la lombo-sciatique d'origine discale.

L'étude de Kurashina Wataru et al. (15) vise à évaluer la raideur musculaire chez les patients atteints de capsulite rétractile de l'épaule (CRÉ) à l'aide du dispositif MyotonPRO. Une corrélation très élevée (coefficient de corrélation de 0,99) a été trouvée entre les mesures de raideur musculaire effectuées avec le MyotonPRO et celles réalisées avec la méthode d'élastographie par ondes de cisaillement (SWE) démontrant ainsi que le MyotonPRO est un outil fiable pour évaluer la raideur musculaire.

La fiabilité intra-opérateur et inter-opérateur du MyotonPRO a été évaluée chez des volontaires en bonne santé, et des coefficients de fiabilité très élevés (supérieurs à 0,9) ont été obtenus. Cela signifie que le MyotonPRO est reproductible et que les mesures sont cohérentes, même lorsqu'elles sont prises par différents opérateurs.

Les chercheurs ont mesuré la raideur musculaire chez 40 patients atteints de CRÉ. Ils ont évalué la raideur des muscles deltoïde antérieur (DA), grand pectoral (GP), et grand dorsal (GD) des côtés affectés et non affectés.

Les résultats ont montré que les valeurs de raideur musculaire (exprimées en N/m) étaient significativement plus élevées du côté affecté que du côté non affecté pour les muscles DA et GD ($p=0,005$ et $p=0,002$, respectivement), indiquant une augmentation de la raideur musculaire dans ces muscles chez les patients atteints de CRÉ.

En résumé, cette étude a utilisé le MyotonPRO pour évaluer la raideur musculaire chez des patients atteints de capsulite rétractile de l'épaule. Les résultats ont montré une raideur significativement plus élevée dans les muscles deltoïde antérieur et grand dorsal du côté affecté par rapport au côté non affecté. Cette observation nous apporte encore d'autres éléments en faveur du Myoton Pro concernant la fiabilité intra et inter opérateur dans l'évaluation des paramètres biomécaniques tel que la raideur, le tonus et l'élasticité sur une pathologie donnée.

Jared M. McGowen et al (16) ont aussi étudié l'utilisation de la myotonométrie comme une méthode fiable pour quantifier objectivement la raideur musculotendineuse dans les structures tissulaires palpables. Ils expliquent que la myotonométrie est une méthode relativement nouvelle qui permet de mesurer les propriétés biomécaniques et viscoélastiques (raideur, compliance, tonus, élasticité, fluage, relaxation mécanique) des structures musculotendineuses palpables à l'aide de dispositifs mécaniques portables appelés myotonomètres. Les myotonomètres obtiennent ces mesures en enregistrant l'amplitude de la déformation tissulaire radiale qui se produit en réponse à la force perpendiculaire appliquée au tissu par l'intermédiaire de la sonde du dispositif. Des paramètres myotonométriques tels que la raideur et la compliance ont régulièrement démontré de fortes corrélations avec la production de force et l'activation musculaire. De manière paradoxale, les mesures individuelles de la raideur musculaire ont été associées à la fois à des performances sportives supérieures et à une incidence plus élevée de blessures. Cela suggère qu'il pourrait exister des niveaux de raideur optimaux qui favorisent la performance sportive, tandis que trop de raideur ou trop peu pourraient augmenter le risque de blessure.

Il y aurait donc une utilité potentielle de la myotonométrie en tant qu'outil clinique aidant les cliniciens dans le diagnostic, la rééducation et la prévention des lésions et l'amélioration de l'efficacité des traitements des blessures musculosquelettiques et dans le cadre d'une étude sur le CBD et la sciatique d'origine discale de monitoriser ces états physiologiques de raideur tonus élasticité dans le temps et d'établir une corrélation entre l'amélioration de la douleur et des niveaux de tonus raideur et élasticité optimaux en fonction du membre sain contro-latéral.

Melanie Roch et al (17) ont recherché des effets immédiats de l'acupuncture à sec (dry needling, DN) sur les propriétés viscoélastiques (tonus, raideur, élasticité) d'un point déclencheur (trigger point, TP) dans le muscle infra-épineux chez des individus souffrant de douleurs chroniques à l'épaule non traumatiques.

L'étude a recruté 48 personnes souffrant de douleurs chroniques non traumatiques à l'épaule. La présence d'un TP dans le muscle infra-épineux a été confirmée par un examen palpatoire standardisé. Les propriétés viscoélastiques ont été mesurées à l'aide d'un dispositif MyotonPRO au début (T1), immédiatement après le DN (T2) et 30 minutes plus tard (T3). Une ponction DN a été appliquée sur le TP pour obtenir une réponse locale alors que la technique était effectuée.

Les résultats ont montré des diminutions significatives du tonus ($p < 0.001$) et de la raideur ($p = 0.003$) au fil du temps après la technique de DN. Les tests post-hoc ont révélé une réduction significative du tonus et de la raideur de T1 à T2 ($p \leq 0.004$) et aucune modification significative de T2 à T3 ($p \geq 0.10$). À T3, seule la raideur est restée significativement plus faible par rapport à T1 ($p = 0.013$).

En conclusion, cette étude apporte de nouvelles informations sur les effets mécaniques immédiats du DN sur le tonus et la raideur des TP. Dans la même stratégie d'évaluation, nous pourrions définir certains trigger point en relation avec la lombo-sciatique sur les muscles du rachis lombaire, glutéus, ischio-jambiers, gastrocnémien médial et latéral, sole plantaire afin d'en évaluer précisément par le myoton pro les données biomécaniques.

Les autres outils ont également montré une fiabilité dans la détection de la raideur, mais ils ont des limites en termes d'épaisseur de tissu pouvant être mesurée de manière fiable. Le myoton pro nous semble donc être le meilleur moyen de mesure pour évaluer les paramètres biomécaniques de raideur après une intervention par CBD sur la sciatique d'origine discale.

CONCLUSION

Bien que les êtres humains consomment du cannabis depuis des siècles, son utilisation à des fins thérapeutiques est encore relativement récente en raison de contraintes légales. Cependant, les restrictions sont en train de s'assouplir dans le monde entier et permettent ainsi d'identifier et de mener des études notamment pour tenter de démontrer que le CBD a la capacité de réduire la douleur chez les patients atteints de sciatique.

En effet il est intéressant de constater la présence de récepteurs CB2 dans le système immunitaire qui suscite des perspectives de recherche sur le rôle potentiel du cannabis dans le traitements des pathologies immuno-inflammatoires. A l'heure actuelle, de nombreuses études montrent que la douleur de lombo-sciatique discale serait due à la fois à une altération biomécanique de l'unité disco-vertébrale et les conséquences biochimiques avec des processus inflammatoires associés, d'où l'intérêt de la mise en place d'un traitement para cannabis médicinal avec notamment ses effets sur l'inflammation, la douleur, l'anxiété, le relâchement musculaire etc.

Il est donc fondamental de mener à la fois des recherches sur les mécanismes physiologiques du CBD et sur les possibles effets thérapeutiques sur cette pathologie car l'efficacité des traitements actuels conventionnels sont mitigés, parfois inefficaces et non dépourvu d'effets secondaires conduisant souvent à la chronicisation des symptômes. La chirurgie reste l'ultime traitement et n'est pas sans effets néfaste (possible infection per-opératoire, déstabilisation des autres niveaux vertébraux, douleur chronique post intervention etc.).

Nous avons présenté dans cette étude le Myoton Pro, un outils de mesure facile à utiliser, avec une très bonne reproductibilité intra et inter-opérateur afin de démontrer l'intérêt d'utiliser cet appareil pour mesurer l'efficacité du CBD sur les paramètres biomécaniques (tonus, élasticité, rigidité) des muscles impliqués dans la lombo-sciatique discale et les possibles effets concomitants sur la diminution de la douleur de sciatique discale.

Nous avons démontré par une revue de la littérature exhaustive que la myotonométrie permet d'obtenir de manière fiable des mesures de raideur musculaire au niveau du tronc et des membres inférieurs, ce qui permettra à la myotonométrie d'identifier les déficits musculaires sur les muscles multifidus, biceps fémoris (racine S1) causé par une sciatique d'origine discale.

Nous avons aussi exposé la fiabilité de la mesure de raideur du fascia plantaire qui a un intérêt dans l'évaluation des patients atteints de sciatique discale S1 avant et après traitement par CBD.

Nous avons démontré l'intérêt de l'utilisation du Myoton pour la mesure du tonus, de l'élasticité et de la raideur des muscles dorsiflexisseurs de la cheville (racine L5) qui trouve son intérêt dans l'étude en cas de sciatique discale de territoire L5.

Plusieurs études nous apportent des éléments sur la fiabilité de l'instrument intra et inter-opérateur qui laisse envisager la possibilité d'une étude multi-centrique et la

fiabilité sur la topographie musculaire étudié en l'occurrence le gastrocnémien et le biceps crural (territoire S1)

Les différences de résultats entre la partie proximale et distale pour un même muscle notamment ici sur les muscles étudiés le biceps crural et le gastrocnémien implique que lors de l'évaluation de l'effet du CBD sur la sciatique de territoire S1, il y aura un intérêt à mesurer la partie proximale et distale du muscle biceps crural et gastrocnémien et de les comparer avec le côté sain contro-latéral.

Il y a aussi une fiabilité dans la mesure de raideur du TFL par le Myoton pro qui pourrait être utilisé en cas de sciatique de topographie L4 /L5 avec atteinte du TFL.

D'autre part, l'évaluation des tissus musculo-squelettiques et de leurs caractéristiques soumis à une altération fonctionnelle causé par l'irritation du nerf sciatique pourrait engendrer une fatigue musculaire locale que l'on pourrait déterminer indirectement par la mesure de la rigidité musculaire mesuré par le Myoton pro.

Il y a aurai donc un intérêt dans une étude sur le CBD et la lombo-sciatique discale de mesurer la raideur musculaire sur les chefs musculaires affectés et ainsi de pouvoir « monitoriser » indirectement la fatigue neuro-musculaire locale et son évolution en fonction du traitement par CBD.

D'autres études ont aussi confirmé l'intérêt du Myoton Pro dans l'évaluation des muscles du tronc au niveau lombaire et thoracique avant et après la mise en place d'une manipulation expérimentale. Les facteurs biomécaniques des muscles dorso-lombaires étudiés tel que la tonicité, la raideur musculaire et le creep (déformation rémanente) sont des données biomécaniques qui trouvent un intérêt dans l'évaluation du CBD sur la lombo-sciatique d'origine discale.

Il existe une corrélation entre la douleur neuropathique et lombaire et l'altération biomécanique des états physiologiques de raideur, tonus, élasticité des tissus atteints. Nous pourrions donc envisager d'émettre l'hypothèse d'une amélioration de la douleur et de l'anxiété en relation avec l'amélioration des paramètres physiologique après un traitement par CBD ce qui nous permettrait d'établir une relation entre les composantes algo-psycho-émotionnelles et des niveaux optimaux sur les paramètres biomécaniques tissulaires tel que le tonus, la raideur et l'élasticité sur le membre atteint et en comparaison avec le membre sain contro-latéral.

De plus, nous avons vu que le Myoton permet d'identifier des points dits trigger de tension maxima. Nous pourrions donc définir certains points triggers en relation avec la lombo-sciatique sur les muscles du rachis lombaire, glutéus, TFL, ischio-jambiers, gastrocnémien médial et latéral, sole plantaire afin d'en évaluer précisément leur caractéristique biomécanique par le Myoton pro avant et après la mise en place du traitement par CBD oral et/ou topique.

En conclusion, le Myoton pro nous semble être le meilleur outils de mesure pour évaluer les paramètres biomécaniques de tonus, raideur, élasticité après une intervention par CBD sur la lombo-sciatique d'origine discale.

Il est important de pouvoir déterminer dans le cadre de la lombo-sciatique discale les effets et mécanismes biomécaniques sous-jacent après l'administration de CBD par voie orale ou topique en plus de l'évaluation de la douleur et de son retentissement psychologique et professionnels.

Le design et la mise en place d'un protocole d'intervention fera l'objet de notre prochain travail pour évaluer l'efficacité du CBD sur la douleur neuropathique et lombaire associée à la sciaticque aigue et chronique d'origine discale.

Référence Bibliographique

- 1- J Jonathan P Eskander, Junaid Spall, Awais Spall, Rinoo V Shah , Alan D Kaye. Cannabidiol (CBD) as a treatment of acute and chronic back pain: A case series and literature review. *Opioid Manag.* 2020 May/Jun;16(3):215-218. doi: 10.5055/jom.2020.0570.
- 2- Gleice K Silva-Cardoso , Willian Lazarini-Lopes, Jaime E Hallak, José A Crippa, Antonio W Zuardi , Norberto Garcia-Cairasco, Christie R A Leite-Panissi. Cannabidiol effectively reverses mechanical and thermal allodynia, hyperalgesia, and anxious behaviors in a neuropathic pain model: Possible role of CB1 and TRPV1 receptors. *Neuropharmacology.* 2021 Oct 1;197:108712. doi: 10.1016/j.neuropharm.2021.108712. Epub 2021 Jul 16.
- 3- R B Malvestio , P Medeiros, S E Negrini-Ferrari, M Oliveira-Silva, A C Medeiros, C M Padovan, L Luongo, S Maione, N C Coimbra, R L de Freitas. Cannabidiol in the prelimbic cortex modulates the comorbid condition between the chronic neuropathic pain and depression-like behaviour in rats: The role of medial prefrontal cortex 5-HT1A and CB1 receptors. *Brain Res Bull* 2021 Sep;174:323-338. doi: 10.1016/j.brainresbull.2021.06.017. Epub 2021 Jun 27.
- 4- Jared M. McGowen, Carrie W. Hoppes, Jeff S. Forsse, Stephanie R. Albin, John Abt, Shane L. Koppenhaver. Myotonometry is Capable of Reliably Obtaining Trunk and Thigh Muscle Stiffness Measures in Military Cadets During Standing and Squatting Posture. *Journal: Military Medicine* - May 2023, usad179 (DOI: 10.1093/milmed/usad179)
- 5- Rumeysa Cakici , Tulay Cevik Saldiran , Ilke Kara 2, 3, Hasan Acik. Plantar fascia stiffness in patients with type 2 diabetes mellitus: Stiffness effect on fall risk and gait speed. *The Foot* - September 2023, Volume 56, Article no. 102020 (DOI: 10.1016/j.foot.2023.102020)
- 6- Heeae Seo, Jeongseon Kim, Changseon Yu, Hyoungwon Lim. Intra-Rater and Inter-Rater Reliability Analysis of Muscle-Tone Evaluation Using a Myotonometer for Children with Developmental Disabilities. *Healthcare* - March 2023, Volume 11, Issue 6, Article no. 782.
- 7- Filiz Basol, Ilke Kara, Tulay Cevik Saldiran. The Effects of Vibration Exposure on Lower-Limb Extensor Muscles' Stiffness, Elasticity, and Strength Responses in Untrained Young Individuals: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport Rehabilitation* - January 2023, Volume 32, Issue 4, Pages 415-423 (DOI: 10.1123/jsr.2022-0067)
- 8- Maria Isabel Garcia-Bernal, Paula Gonzalez-Garcia, Pascal Madeleine, Maria Jesus Casuso-Holgado, Alberto Marcos Heredia-Rizo. Characterization of the Structural and Mechanical Changes of the Biceps Brachii and Gastrocnemius Muscles in the Subacute and Chronic Stage after Stroke. *Int J Environ Res Public Health.* 2023 Jan 12;20(2):1405. doi: 10.3390/ijerph20021405.

- 9- Katja Bartsch, Andreas Brandl, Patrick Weber, Jan Wilke, Sabine F. Bensamoun, Wolfgang Bauermeister, Werner Klingler, Robert Schleip. Assessing reliability and validity of different stiffness measurement tools on a multi-layered phantom tissue model. *Nature - Scientific Reports* - January 2023, Volume 13, Article no. 815 (DOI: 10.1038/s41598-023-27742-w)
- 10- F. Javier Nunez, Juan Carlos Martinez, Jan-Arie Overberg, Nacho Torreno, Luis Suarez-Arrones. Hamstring muscle architecture and myotonometer measurements in elite professional football players with a prior strained hamstring. *Biology of Sport* - January 2023, Volume 40, Issue 1, Pages 93-99 (DOI: 10.5114/biolsport.2023.112092)
- 11- Jin-yong Lim, Suk-ho Nam, Kyoung-don Kim. Effect of Active Stretching and Instrument-Assisted Soft Tissue Mobilization on the Hip Joint Range of Motion and Stiffness of the Tensor Fascia Lata in Subjects with Shortened Tensor Fascia Lata. *Journal of Musculoskeletal Science and Technology* - December 2022, Volume 6, Issue 2, Pages 43-50 (DOI: 10.29273/jmst.2022.6.2.43)
- 12- Grzegorz Wojdala, Michal Krzysztofik. The Effects of the “Sling Shot” Device on Bench Press Performance, Mechanical Properties of Muscle, and Movement Kinematics. *Journal of Strength and Conditioning Research* - April 2023, Volume 34, Issue 4, Pages 780-786 (DOI: 10.1519/jsc.0000000000004349)
- 13- Prarthana Sanya Lall, Abdulrahman M. Alsubiheen 2, Mishal M. Aldaihan 2, Hanuel Lee. Differences in Medial and Lateral Gastrocnemius Stiffness after Exercise-Induced Muscle Fatigue. *International Journal of Environmental Research and Public Health* - October 2022, Volume 19, Issue 21, Article no. 13891 (DOI: 10.3390/ijerph192113891)
- 14- Anastasija Plehuna, David Andrew Green, Liubov E. Amirova, Elena S. Tomilovskaya, Ilya V. Rukavishnikov, Inessa B. Kozlovskaya. Dry immersion induced acute low back pain and its relationship with trunk myofascial viscoelastic changes. *Frontiers in Physiology* - October 2022, Volume 13, Article no. 1039924 (DOI: 10.3389/fphys.2022.1039924)
- 15- Kurashina Wataru, Yuki Iijima, Hideyuki Sasanuma, Tomohiro Saito, Katsushi Takeshita. Evaluation of muscle stiffness in Adhesive Capsulitis with MyotonPRO. *JSES International* - January 2023, Volume 7, Issue 1, Pages 25-29 (DOI: 10.1016/j.jseint.2022.08.017)
- 16- Jared M. McGowen 1, 2, Carrie W. Hoppes 4, Jeff S. Forsse 1, Stephanie R. Albin 6, John Abt 5, Shane L. Koppenhaver. The Utility of Myotonometry in Musculoskeletal Rehabilitation and Human Performance Programming. *Journal of Athletic Training* - July 2022, Online First (DOI: 10.4085/1062-6050-0616.21).
- 17- Melanie Roch, Melanie Morin, Nathaly Gaudreault. Immediate Effect of Dry Needling on the Viscoelastic Properties of a Trigger Point on the Infraspinatus Muscle Measured with MyotonPRO. *Physiotherapy Canada* - August 2022, Volume 74, Issue 3, Pages 232-239 (DOI: 10.3138/ptc-2020-0095)

