

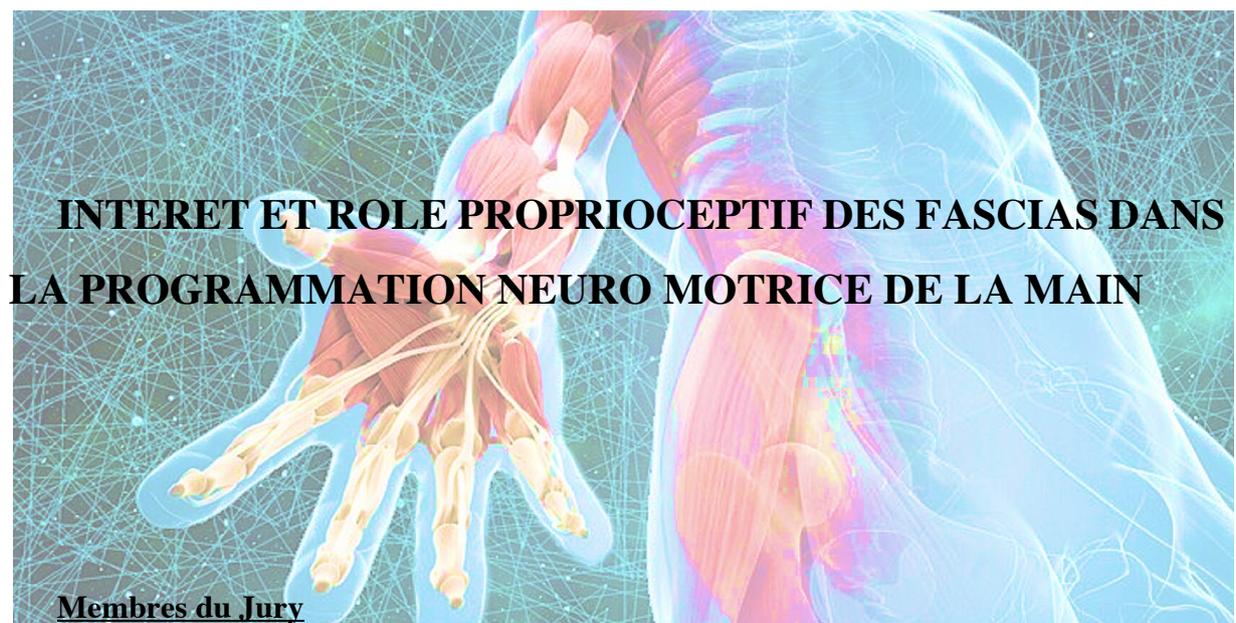
Mémoire présenté pour l'obtention du

Diplôme Inter-Universitaire Européen de

Rééducation et d'Appareillage de la main

Université de Grenoble Alpes

Session 2022-2023



Alexandra FORLI

Isabelle AUQUIT AUCKBUR

Denis GERLAC

Michel BOUTAN

Margot LANGLOIS MAHE

Kinésithérapeute Caen Normandie

REMERCIEMENTS À

Alexandra FORLI et Denis GERLAC pour leur gentillesse, leur proximité et pour la qualité de leur interventions et l'ensemble des intervenants de ce DIU pour leur enseignement passionnant et passionné et pour le temps qu'ils nous ont accordé.

Aux équipes des lieux de stages pour leur accueil et le partage de temps et de connaissance.

Armelle De Cordoue et Etienne Lanthier mes deux compagnons de routes pendant ces deux années qui ont contribué activement à mon épanouissement dans ce projet.

A ma famille qui m'a toujours soutenue, comprise, aiguillée et conseillé. Mention spéciale à ma maman qui a donné de son temps pour me permettre d'en avoir.

A mes collègues, qui chaque jour égaient mes journées de travail et sans qui cette passionnante aventure qu'est la rééducation de la main ne serait pas aussi colorées

Et enfin à Jordan, qui depuis deux ans relaie, écoute, s'organise, se désorganise et toujours avec amour et bienveillance pour me permettre de mener à bien ce projet qui me tenait à cœur. Merci tu as été ma deuxième paire de mains sans qui rien n'aurait été aussi simple.

TABLE DES MATIERES

1	INTRODUCTION	5
2	ETAT DE L'ART	6
2.1	LA MAIN ET SES CHAINES MYOFASCIALES	6
2.1.1	ROLE	6
2.1.2	CHAINES MYOFASCIALES DU MEMBRE SUP	6
2.2	LES FASCIAS	9
2.2.1	DEFINITION	9
2.2.2	HISTOLOGIE	10
2.2.3	STRUCTURE	11
2.2.4	ROLE ET IMPLICATIONS BIOMECANIQUES	13
2.2.5	INNERVATION	16
2.3	PROPRIOCEPTION	17
2.3.1	LES RECEPTEURS ANATOMIQUES	17
2.3.2	LA CONDUCTION NEURO-PHYSIOLOGIQUE	22
2.3.3	FRONTIERE ENTRE PROPRIOCEPTION ET NOCICEPTION	24
2.3.4	CONTRÔLE MOTEUR LIÉ A LA PROPRIOCEPTION	25
3	METHODOLOGIE	27
4	DISCUSSION	28
5	CONCLUSION	31
6	BIBLIOGRAPHIE	32

ABREVIATIONS

FNC : Fascia Nomenclature Committe

MS : Membre Supérieur

AH : Acide Hyaluronique

OTG : organes tendineux de golgi

FNM : Fuseaux Neuro Musculaire

1 INTRODUCTION

Les fascias, structures longtemps oubliées des anatomistes, chirurgiens et rééducateurs, semblent actuellement bénéficier d'un regain d'intérêt. Les avancées scientifiques, et les améliorations techniques nous permettent aujourd'hui de mieux connaître ce système à part entière.

Neurologie, proprioception, interception, cicatrisation, transmission de la force et de contrainte, il n'existe finalement que peu de domaines dans lesquels leur rôle n'est pas déterminant. La mobilité des fascias est essentielle pour la fonction musculosquelettique et peut jouer un rôle important, mais peu étudiée, dans la proprioception. Reconnu comme étant fortement innervé et vecteur de nociception, le tissu conjonctif n'est pas à négliger lorsque l'on parle de mouvement. Les patients souffrant de troubles du tissu conjonctif sont nombreux à souffrir d'une proprioception anormale. Une particularité anatomique de la main est l'union des fascias superficiels et profonds conférant à ce membre une fusion de ses systèmes proprioceptifs et extéroceptifs. Cela facilite la perception de la forme, du volume et des surfaces des différents objets, et par conséquent le mouvement, en garantissant l'adaptation de la main aux différentes surfaces de contact.

Le contrôle moteur est fondamentalement lié à l'interaction entre nos neurones et nos mécano récepteurs qui baignent dans le stroma fibreux de nos tissus conjonctifs. En d'autres termes, la dynamique couplée de notre système neuromoteur et de notre appareil musculosquelettique donne lieu à un comportement moteur intelligent, conscient et inconscient.

L'objectif de cette revue de la littérature est de mettre en avant l'importance de la considération des fascias dans la prise en charge neuromotrice de la main. La compréhension du fonctionnement du système fascial aussi appelé tissu conjonctif, de la proprioception et des mécanismes mis en jeu pour les lier à une activité motrice permettra de comprendre comment l'intégrer dans la rééducation des pathologies de la main. La discussion portera sur l'intérêt de la considération du système fascial dans la pratique rééducative quotidienne, mais également sur les difficultés rencontrées dans une rééducation basée sur des données probantes (-EBP-).

2 ÉTAT DE L'ART

2.1 LA MAIN ET SES CHAINES MYOFASCIALES

2.1.1 RÔLE

La main est l'outil le plus perfectionné et performant qui a été donné à l'Homme. Au cours des milliers d'années, l'adaptation de la main à la vie de l'Homme lui a permis d'acquérir de nouvelles facultés. De la simple main de suspension, elle est devenue main de préhension, de création, de démonstration et de communication. Il est également un rôle dont on ne peut négliger l'importance : son rôle perceptif et proprioceptif. Deux notions fortes et indissociables, qui font de la main, l'un des organes sensitifs les plus représentés du cortex sensitif.

Reliée au cerveau grâce à un système sensitivomoteur à double sens, la main fonctionne à 80 % de façon automatique et à 20 % de façon consciente. L'intégration des données transmises par la main permet une adaptabilité rapide et précise du schéma de mouvement. Associée au poignet, coude et épaule, ils forment le membre supérieur. Entités d'un membre en parfaite continuité, c'est avec un synchronisme hors du commun, qu'une tâche aussi simple que la prise en main d'un verre d'eau est rendue possible.

2.1.2 CHAINES MYOFASCIALES DU MEMBRE SUPÉRIEURE

De nombreuses recherches ont démontré l'existence d'expansions myofasciales spécifiques et quasi constantes, du membre supérieur(1-3). Les connexions myofasciales créent une continuité tissulaire anatomique entre les différents muscles impliqués dans un même schéma de mouvement, et confirment la base anatomique des chaînes musculaires. L'ensemble de ces chaînes sont sous-tendues par un système complexe appelé système fascial permettant un retour d'information réciproque avec les muscles environnants.

Dans ce mémoire, nous ne décrivons pas de manière détaillée les chaînes myofasciales du membre supérieur. Une revue systématique de Wilke et Krause a mis en évidence trois grandes chaînes au niveau du membre supérieur(1).

CHAÎNE VENTRALE DU BRAS

La chaîne ventrale du bras prend naissance au niveau du muscle grand pectoral. Elle est intimement liée au fascia brachial, qui est relié au biceps brachial. Dans sa partie distale, la chaîne ventrale du bras s'évase bilatéralement en aponévrose bicipitale (*lacertus fibrosus*) et est en continuité avec le muscle *brachioradialis* et le muscle *flexor carpi radialis*.

CHAINE LATÉRALE DU BRAS

La chaîne latérale du bras commence dans le cou. L'aponévrose du muscle trapèze fusionne directement avec celle du deltoïde moyen. À partir de là, la continuité avec le septum intermusculaire latéral du bras assure la connexion morphologique avec la partie inférieure du bras, à savoir le *brachioradialis* et l'*extensor carpi radialis brevis*.

CHAINE DORSALE DU BRAS

Deux voies commencent à l'arrière de l'épaule et du bras : Le *latissimus dorsi* et les muscles *infraspinatus* et *teres minor* fusionnent avec le *triceps brachii*. Au niveau du coude, ce dernier fusionne avec le petit muscle *anconeus*, qui se connecte ensuite à l'*extensor carpi ulnaris* de la partie inférieure du bras

D'autres auteurs tels que Michel Boutant décrivent un système musculo-aponévrotique du membre supérieur disposé en continuité de chaînes qui se combinent de façon multiple pour le déplacement de la main dans l'espace et pour son utilisation. Il décrit huit chaînes myo-fasciales selon les continuités anatomiques.

Chaînes myo-fasciales du MS

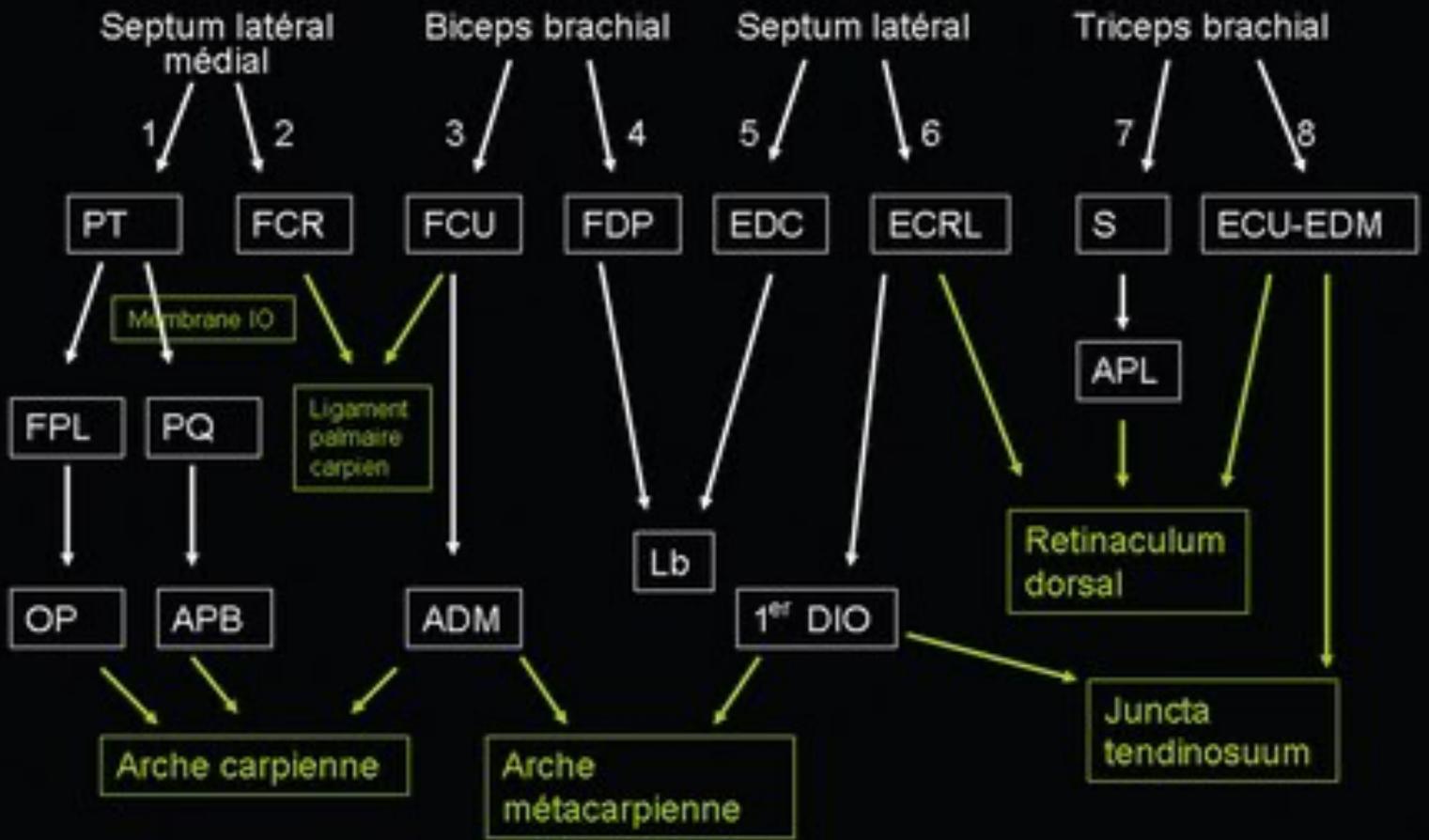


FIGURE 1 : CHAINES MYOFASCIALES SELON MICHEL BOUTAN

La littérature s'accorde pour dire que l'on pourrait décrire des chaînes conjonctives à tous niveaux, dans toutes les directions et de la superficie à la profondeur puisque les fascias sont omniprésents et continus. Cependant il semble exister des chaînes préférentielles intervenant plus fréquemment dans la mécanique du corps, comme nous l'avons décrit ci-dessus. Celles-ci sont décrites selon leur direction, l'épaisseur des fibres, ainsi que leurs fonctions spécifiques.

2.2 LES FASCIAS

2.2.1 DÉFINITION

L'utilisation de la notion de « fascias » a longtemps été ambiguë et inexacte. Afin de répondre à cette problématique, « The Fascia Research Society » a réuni un comité : le FNC (Fascia Nomenclature Committee) clarifiant la terminologie précise du terme « fascia ».

Grâce à un vocabulaire commun, les échanges scientifiques sur le sujet ont alors retrouvé de la cohérence.

En 2017, le FNC a livré deux terminologies basées sur des classifications différentes. La première, centrée sur le terme "fascia", est recommandée pour la communication des aspects histologiques et topographiques à l'échelle microscopique. En revanche, la seconde terminologie, qui utilise le terme "système fascial", est recommandée pour la description des propriétés fonctionnelles à l'échelle macroscopique. Ses propriétés fonctionnelles comprennent la transmission de la force, les fonctions sensorielles (proprioception, interception et nociception), la transmission des fluides, ainsi que la régulation de la cicatrisation des plaies et des processus pathologiques fibrotiques (4)

Dès lors, le consensus adopté par l'ensemble du comité pour décrire ces notions a été :

« Le système fascial consiste en un continuum tridimensionnel de tissus conjonctifs fibreux élastiques, de collagènes lâches et denses qui imprègnent le corps. Il incorpore des éléments tels que tissu adipeux, adventice et gaines neurovasculaires, aponévroses, fascias profonds et superficiels, épinèvre, capsules articulaires, ligaments, membranes, méninges, expansions myofasciales, périoste, retinacula, septa, tendons, fascias viscéraux, et tous les intramusculaire, les tissus conjonctifs intermusculaires, y compris endo- / péri- / épimysium. Le système fascial pénètre et entoure les organes, muscles, os et fibres nerveuses, dotant le corps d'une structure fonctionnelle et fournissant un environnement permettant à tous les systèmes de l'organisme de fonctionner de manière intégrée »(4)

Les recommandations du FNC en matière de nomenclature sont fondées sur l'idée que le terme de "système fascial" décrit un sous-ensemble de tissus appartenant au système de tissus conjonctifs. De même, le terme "fascia" décrit un sous-ensemble de tissus appartenant à la catégorie plus large du "système fascial"(5).

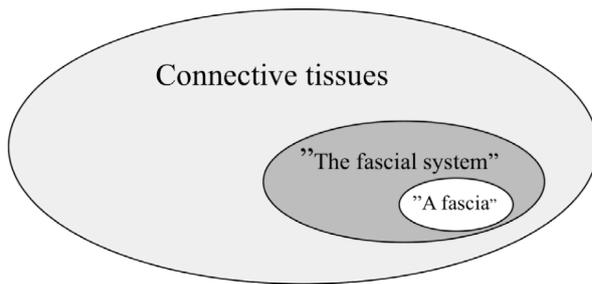


FIGURE 2 : ILLUSTRATION TIRÉE DE : « FASCIAL NOMENCLATURE: UPDATE ON RELATED CONSENSUS PROCESS » (6)

Le comité reconnaît également les implications fonctionnelles que remplit le système fascial dans l'organisme, tel que les fonctions architecturales/structurelles, neurologiques, la transmission des forces biomécaniques, la morphogenèse et la transmission des signaux cellulaires(4).

2.2.2 HISTOLOGIE

Tous les tissus conjonctifs sont constitués de composants cellulaires et extracellulaires. Ce sont les différentes caractéristiques moléculaires et architecturales de ces composants extracellulaires, qui déterminent leurs propriétés mécaniques. Certains types de tissus conjonctifs (par exemple, le fascia superficiel) sont peu organisés et souples, tandis que d'autres (par exemple, le fascia profond) sont étroitement tissés et par conséquent plus rigides.

Le tissu fascial est un tissu conjonctif dont la matrice est majoritairement constituée de deux protéines responsables de ses propriétés dynamiques: **l'élastine**, capable de s'étirer jusqu'à 150% de sa longueur et de revenir à son état initial et le **collagène** quasi inextensible et qui oppose une résistance à l'étirement (7). Ces deux protéines sont sécrétées par les **fibroblastes** (cellules au métabolisme lent, dont la sécrétion est stimulée par le mouvement et freinée par l'immobilisation), qui baignent dans une substance fondamentale gélatineuse. L'omniprésence de **l'acide hyaluronique** (6) au sein de la substance fondamentale confère à la matrice un pouvoir de lubrification puissant permettant au tissu conjonctif un glissement facilité et de bonnes forces de transmissions. Cette structure supramoléculaire peut fixer de larges quantités d'eau et d'ions pour maintenir l'hydratation et la turgescence des tissus(8). Cette caractéristique explique pourquoi le système fascial contient environ 23% de la composition hydrique générale du corps et pourquoi il est lui-même composé à plus de 68% d'eau. Une

"densification" réversible du tissu conjonctif peut se produire en cas de modification de la concentration en acide hyaluronique, du pH et de la température(9).

Parmi les fibroblastes présents dans la matrice, certains se sont « spécialisés ». Les **myofibroblastes** (qui sont un type de fibroblastes) sont retrouvés dans les cicatrices, les tendons et les fascias. Lors de la réparation d'une blessure, les fibroblastes se transforment en myofibroblastes pour fabriquer un muscle lisse de type actine-myosine qui fera contracter les bords de la blessure tissulaire. Lorsque la cicatrisation sera terminée, celles-ci entreront en apoptose. Si ce n'est pas les cas apparaîtra une cicatrice chéloïde ou hypertrophique. Bien que la contractilité des myofibroblastes fasse consensus dans le domaine scientifique, son influence dans la biomécanique et son implication dans la proprioception et la nociception, fait encore débat(9).

2.2.3 STRUCTURE

Le fascia est un tissu conjonctif présent dans le corps. Cependant, il existe différents types de fascias. Le système de classification générale reconnaît un fascia superficiel, un fascia profond (ou musculaire) et un fascia viscéral.

FASCIA SUPERFICIEL

C'est au sein du tissu sous-cutané que l'on trouve le fascia superficiel. Son réseau dense de fibres élastiques le rend très extensible et par conséquent adaptable. Celui-ci le divise en deux couches fibroadipeuses, superficielles et profondes. Des retinacula relient ce fascia superficiel à la peau et au fascia profond, formant un réseau tridimensionnel entre les lobules graisseux(10).

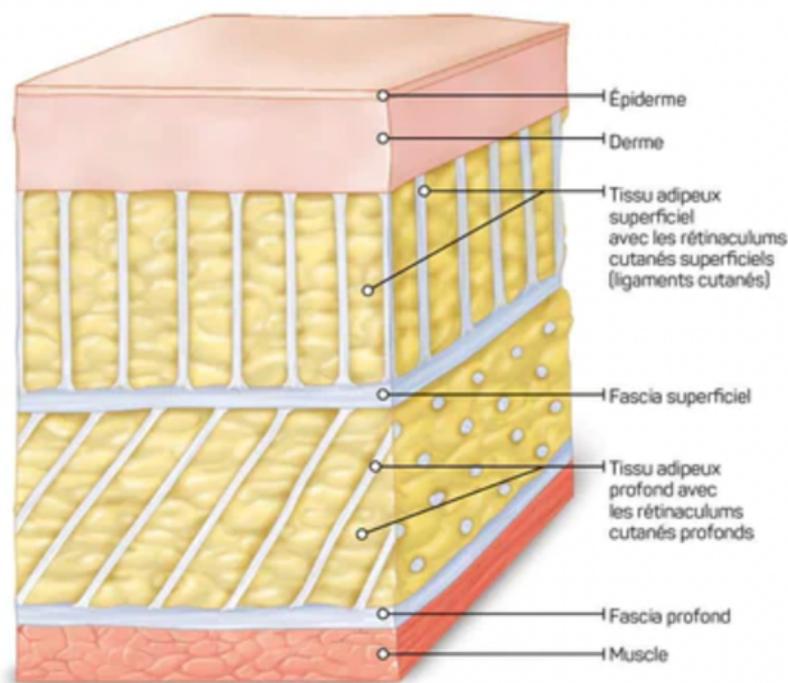


FIGURE 2.2 Organisation du tissu sous-cutané.

FIGURE 3: SCHÉMA TIRÉ DE L'ATLAS FONCTIONNEL DU SYSTÈME FASCIAL HUMAIN (CARLA STECCO)

De nombreuses fibres nerveuses peuvent être mises en évidence dans le fascia superficiel, ce qui indique une participation active au système extéroceptif. Plus épais dans le tronc que dans les membres, il s'amincit vers les extrémités des membres.

Le fascia superficiel se compartimente autour des principales veines sous-cutanées et des vaisseaux lymphatiques, et étend des septa fibreux qui s'attachent à la paroi du vaisseau. Ses implications dans les mécanismes de retour lymphatique et veineux ont été discutées(11).

D'un point de vue fonctionnel, le fascia superficiel peut jouer un rôle dans l'intégrité de la peau et dans le soutien des structures sous-cutanées (en particulier les veines et les vaisseaux lymphatiques).

FASCIA PROFOND

Le fascia profond désigne le tissu conjonctif dense qui pénètre et entoure le muscle, l'os, les nerfs et les vaisseaux sanguins du corps, liant ainsi toutes les structures en une seule et même entité(6). Dans l'une de ses publications, Stecco décrit même le périoste, le paratendon et les gaines neurovasculaire, comme des « spécialisations » du fascia profond, puisqu'ils sont dans sa continuité, mais également, car ils possèdent les mêmes caractéristiques histologiques(6). Sa localisation et ses caractéristiques lui donnent parfois des noms spécifiques : c'est le cas pour

l'épimysium (qui enveloppe l'ensemble du muscle), le périmysium (qui entoure les faisceaux musculaires) et l'endomysium (qui entoure chaque fibre musculaire).

Le fascia profond est également décrit comme un renfort des capsules articulaires et des ligaments(6)(10)(2).

FASCIA VISCÉRAL

Le tissu viscéral est nécessaire à la suspension et à « l'encastrement » des organes internes. Tout comme la couche profonde, elle est moins extensible que la couche superficielle.

2.2.4 RÔLE ET IMPLICATIONS BIOMÉCANIQUES

Afin de bien établir le concept de la biomécanique d'un tissu, il est nécessaire de rappeler quelques principes fondamentaux.

LA VISCO ÉLASTICITÉ

Nous l'avons vu précédemment, le tissu conjonctif possède une structure variable allant d'une organisation lâche à une structure dense. Sa **visco élasticité** est dépendante de nombreux paramètres tels que sa localisation, son état d'hydratation, sa spécificité ou encore son état inflammatoire ou fibrotique(12).

Le paramètre déterminant **la composante élastique** d'une structure ou d'un système est la relation entre la contrainte (force appliquée), la déformation (déformation résultant d'une force appliquée) et la rigidité. En d'autres termes, une même force appliquée produira plus ou moins de déformation en fonction des propriétés de rigidité du système : le tissu le plus rigide se déformera moins, tandis que le tissu le plus souple se déformera davantage.

Relationship Between Stiffness and Shear Strain

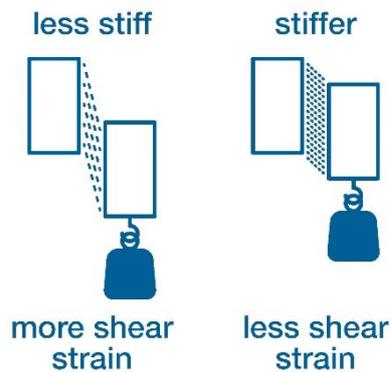


FIGURE 4 : RELATION ENTRE LA RIGIDITÉ ET LA DÉFORMATION PAR CISAILLEMENT : ILLUSTRATION ISSUE « FASCIA MOBILITY, PROPRIOCEPTION, AND MYOFASCIAL PAIN(13).

La viscosité est un paramètre déterminant l'effet des forces normales et de cisaillements. Influencée par la composante "liquide" de la déformation, elle est vitesse dépendante, c'est-à-dire que le tissu conjonctif se déforme moins lorsqu'une force est appliquée rapidement que lorsqu'elle est appliquée lentement.

Les couches de tissus conjonctifs lâches et denses qui entourent et séparent les muscles créent de multiples interfaces où la déformation par cisaillement se produit lorsque les tissus sont déplacés passivement sous l'effet d'une force extérieure ou activement sous l'effet des contractions musculaires.

Nous comprendrons donc que les mobilités des fascias dépendent particulièrement de ces propriétés biomécaniques. La mobilité du tissu conjonctif est importante pour comprendre les signaux proprioceptifs, générés par les stimuli mécaniques sur les tissus et les cellules (particulièrement lorsque des conditions pathologiques affectent la souplesse du tissu) (13). Lorsqu'un muscle se contracte, ses insertions osseuses permettent des actions mécaniques, alors que les expansions du fascia s'étirent dans les zones. Selon Stecco et al. l'étirement du fascia activerait des schémas spécifiques de proprioception, ce qui entrainerait la perception de la direction du moteur(2).

RÉPONSE CELLULAIRE À LA BIOMÉCANIQUE

Au niveau cellulaire, plusieurs types de canaux ioniques sont activés par des stimuli mécaniques.

Les canaux ioniques activés mécaniquement (par exemple, les canaux Piezo, les canaux à potentiel récepteur transitoire) peuvent répondre à la déformation (contrainte) de la membrane cellulaire plutôt qu'à la force (13). Si tel est le cas, la réponse du canal à une force appliquée devrait varier en fonction des modifications de la rigidité de son environnement. Il peut s'agir de modifications de la matrice extracellulaire, du cytosquelette intracellulaire ou de la membrane elle-même. Une littérature croissante sur la mécanotransduction, suggère que la contrainte normale ou de cisaillement peut être un déterminant majeur des réponses cellulaires (12-13).

INFLUENCE BIOMÉCANIQUE DU FASCIA

Un pourcentage substantiel de la force exercée par un muscle n'est pas transmis au tendon, mais plutôt aux muscles adjacents à travers les couches de fascia. Pour qu'une force soit transmise, les fascias doivent donc être couplés mécaniquement en cisaillement. Si le tissu conjonctif interfascial est lâche et hypermobile, la force peut ne pas, ou peu, être transmise au fascia. Si le tissu conjonctif interfascial est rigide et hypomobile, les tissus adjacents deviendront mécaniquement couplés plus tôt et les muscles perdront leur autonomie de mouvement. Une force de cisaillement donnée entrainera une déformation plus ou moins importante en fonction de la rigidité et de la viscosité de la couche aréolaire, qui est elle-même déterminée par la densité et la réticulation du collagène.

Une autre considération importante est que si la tension de cisaillement entre les couches de fascia est réduite, les couches peuvent adhérer et perdre toute mobilité. Par conséquent, la transmission de la force myofasciale peut varier selon que le tissu conjonctif d'une personne est hypermobile ou hypomobile (13).

Le réseau omniprésent de tissus aponévrotiques dans le corps humain a longtemps été considéré comme un contributeur passif à la coordination motrice. L'ensemble des recherches précédentes vise à remettre en question ce point de vue et suggère que le système fascial serait un acteur dynamique du système musculosquelettique.

Le fascia aponévrotique permettrait donc un synchronisme musculosquelettique. En outre, la création d'un point d'adhérence implique la formation de nouvelles lignes de force au sein de l'aponévrose. Cela renforce l'hypothèse selon laquelle le tissu conjonctif entourant les muscles contribue de manière importante au phénomène de douleur myofasciale(6).

2.2.5 INNERVATION

Jusqu'à récemment, les connaissances sur l'innervation du tissu conjonctif étaient très limitées. Actuellement, un consensus est admis pour décrire les aponévroses et les fascias musculaires profonds comme richement innervé, par des fibres afférentes de petits diamètres, permettant la transmission de signaux nociceptifs(13), particulièrement en présence d'une inflammation (6).Le système fascial comporte un réseau extrêmement riche de terminaisons nerveuses sensibles. Selon Schleip on pourrait même parler de « l'organe le plus sensoriel » puisqu'il semblerait même que la majeure partie de la proprioception et de l'interception soient assurées par les récepteurs intrafasciaux. Ce qui permet de le décrire comme un organe perceptif à part entière, selon (15).

2.3 PROPRIOCEPTION

La définition de la proprioception ne cesse d'évoluer. Déjà décrite par Charles Sherrington (prix Nobel de médecine en 1932), comme étant la capacité d'une personne à percevoir, sans avoir recours à la vue, elle est actuellement définie comme la conscience de l'état mécanique et spatial du corps et de ses parties musculosquelettiques (16) . À nuancer avec l'interception qui inclut la proprioception dans son sens le plus large, et est le processus par lequel le corps perçoit, interprète, intègre et régule les signaux provenant de l'intérieur de lui-même (17). Cependant, elle est trop souvent restreinte en clinique, « comme la capacité à sentir si une articulation bouge dans une direction plutôt que dans une autre » (11).

Les perceptions de la position et du mouvement du corps sont regroupées et désignées sous le nom de kinesthésie. La proprioception peut donc être définie comme la conscience de l'état mécanique et spatial du corps et de ses parties musculosquelettiques. Essentielle aux actions motrices, elle contribue à notre sentiment d'appartenance à notre corps (16).

2.3.1 LES RÉCEPTEURS ANATOMIQUES

Les signaux proprioceptifs comprennent des entrées périphériques provenant des fuseaux musculaires, des organes tendineux de Golgi, des récepteurs cutanés et articulaires, ainsi que des entrées centrales provenant des commandes motrices efférentes. Ensemble, ces signaux proprioceptifs nous permettent de percevoir la position et le mouvement de notre corps, la force et l'effort générés par nos muscles et la masse des objets que nous soulevons.

SYSTÈMES MUSCULOTENDINEUX

Au sein du système musculo-tendineux, deux structures sont prépondérantes :

- Les organes tendineux de Golgi (OTG)

Les organes tendineux de Golgi sont des mécanorécepteurs proprioceptifs situés à la jonction myotendineuse. Ils donnent naissance à des fibres sensorielles afférentes de type Ib qui sont des fibres myélinisées de gros diamètre à conduction rapide (même vitesse de conduction que les 34 fibres de type Ia). Les organes tendineux de Golgi sont spécifiquement sensibles à la tension du muscle : le stimulus qui les active est la force exercée sur le tendon du muscle. L'organe tendineux de Golgi code donc la force (la tension) exercée sur le muscle (à la différence des

fuseaux neuromusculaires qui codent la longueur et les changements de longueur du muscle). Du fait de leur disposition en série avec les fibres musculaires, les organes tendineux de Golgi peuvent être activés à la fois lors d'un étirement passif du muscle et lors d'une contraction. Ils sont cependant davantage excités lors d'une contraction active que pour un étirement passif (quand un muscle est étiré passivement, le changement de longueur concerne essentiellement les fibres musculaires qui ont une élasticité supérieure aux fibres des tendons).

- Les fuseaux neuromusculaires

On appelle les fuseaux neuromusculaires (FNM), les mécanorécepteurs situés dans le corps des muscles striés. Les fuseaux sont constitués de 4 à 10 fibres musculaires spécialisées appelées fibres musculaires intrafusales. Les fibres musculaires intrafusales sont plus fines que les fibres musculaires ordinaires (les fibres musculaires striées extrafusales) et n'ont aucun rôle mécanique sur la force développée par le muscle. Ce sont des fibres musculaires modifiées situées dans une capsule conjonctive fibreuse et disposées parallèlement aux fibres musculaires ordinaires. Le récepteur sensoriel, situé dans la région centrale du fuseau est constitué par un complexe formé des axones des fibres sensorielles afférentes de type Ia (fibres myélinisées de gros diamètre, à conduction rapide) et de type II (fibres myélinisées de plus petit diamètre à conduction intermédiaire). Les fibres sensorielles s'enroulent en spirale autour des fibres musculaires du fuseau et forment la terminaison annulo-spiralée du fuseau.

Alors que les organes tendineux de Golgi sont placés en série avec les fibres musculaires, les fuseaux sont placés en parallèle. Cette disposition différente permet à ces deux types de récepteurs de transmettre des informations de nature différente et complémentaire sur l'état du muscle. Les fuseaux neuromusculaires détectent les modifications de longueur du muscle et permettent de maintenir cette longueur constante alors que les organes tendineux de Golgi détectent la tension du muscle (la force exercée par ou sur le muscle). En revanche, ces deux circuits réflexes ont en commun de ne pas fonctionner en boucle fermée: les fibres afférentes issues de ces deux récepteurs se projettent sur des interneurons spinaux qui reçoivent les influences synaptiques d'une grande variété de sources (récepteurs cutanés, articulaires, voies descendantes) aptes à moduler la réponse musculaire.

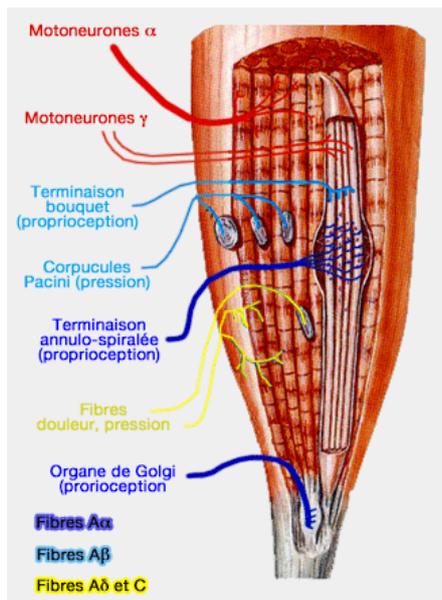


FIGURE 5 : FUSEAU NEUROMUSCULAIRE ET ORGANE TENDINEUX DE GOLGI

SYSTÈME CUTANÉ

On compte des milliers de mécanorécepteurs tactiles cutanés. Connus sous le nom de papilles ou corpuscules de Merkel, Meissner et Golgi. De nature protéique, localisée dans le derme et à sa frontière avec l'épiderme, ils sont sensibles aux vibrations, à la température et aux déformations mécaniques de la peau et relai leurs informations aux aires sensibles du cerveau. Leurs propriétés physiologiques sont bien définies et sont résumées dans le tableau suivant :

NOM	ANATOMIE	FIBRE NERVEUSE ET VITESSE D'ADAPTATION	TAILLE DU CHAMP RÉCEPTEUR	MODALITÉ ET SEUIL D'ACTIVATION
MERKEL	Terminaison en arborisation. Reliées entre elles pas une fibre nerveuse non myélinisée	Aβ LENT	80-10MM2 Petit et bien défini	Toucher léger
MEISSNER	Terminaison encapsulée	Aβ RAPIDE	2-4MM2	TOUCHER LEGER

			BIEN DÉFINIT	VIBRATION BASSE FRÉQUENCE 30-50Hz
PACCINI	En bulbe d'oignon	Àβ RAPIDE	20-50cm ² Large Limite floue	Vibration haute fréquence 250-300Hz
RUFFINI	Allongé et encapsulé	Àβ LENT	20-10cm ² Large Limite floue	Étirement de la peau



Homunculus sensitif

Nom	Localisation	Champ récepteur	
Corpuscule de Meissner	Couches superficielles		Etroit à limites nettes
Disque de Merkel	(jonction derme-épiderme)		
Corpuscule de Pacini	Couches profondes + tissu sous-cutané		Etendu à limites floues
Corpuscule de Ruffini			

FIGURE 6 : LOCALISATION ET CHAMPS RÉCEPTEURS DES DIFFÉRENTS TYPES DE MÉCANORÉCEPTEURS CUTANÉS DE LA PEAU GLABRE DE LA MAIN CHEZ L'HOMME (D'APRÈS JOHANSSON & VALLBO, 1983)

SYSTÈME FASCIAL

Stecco et al. utilisent l'expression « propriocepteur intégral du corps entier », lorsqu'ils décrivent le rôle des fascias dans la coordination musculaire. Les connexions faciales permettent, selon eux, une explication alternative aux douleurs référées et soulignent les connexions entre les membres inférieurs, le tronc et le membre supérieur (18). Richement innervés, les aponévroses et le fascia musculaire profonds permettraient, en partie, la construction du schéma corporel.

Plusieurs auteurs établissent une distinction entre le dermatome et le fasciatome. Le premier représente la portion de tissu composée de peau, d'hypoderme et de fascia superficiel alimenté par toutes les branches cutanées d'un nerf spinal individuel. Le second comprend la portion de fascia profond alimentée par la même racine nerveuse et organisée selon des lignes de force pour souligner les principales directions de mouvement. « Le dermatome est important pour l'extéroception, tandis que le fasciatome est important pour la proprioception. S'ils sont altérés, le dermatome présente une douleur clairement localisée et le fasciatome, une douleur irradiante selon l'organisation de l'anatomie fasciale »(3).

Mais dans quelles mesures le tissu conjonctif contribue-t-il à des sensations non douloureuses telles que celles ressenties lors de pressions profondes et d'étirements, et comment transmet-il les sensations qui participent à la proprioception et à l'interception ?(13)

La riche innervation du tissu conjonctif a été mise en relation avec son tissu fibreux environnant. Il apparaît alors que les capsules des corpuscules et les terminaisons nerveuses libres sont étroitement liées aux fibres de collagène environnantes. Selon l'étude de Stecco et al., cela laisse supposer que ces terminaisons nerveuses pourraient être étirées et s'activer chaque fois que le fascia profond environnant est étiré. « Les mécanorécepteurs, qui sont immergés dans un stroma fibreux, sont ainsi sensibles à la traction des muscles sous-jacents que les expansions tendineuses transmettent au fascia ». Cette hypothèse est également étayée par des études embryogénétiques qui ont établi que la capsule fibreuse de tous les mécanorécepteurs est dérivée du tissu conjonctif environnant ; il est donc très probable que les connexions entre ces deux éléments persistent dans la vie postnatale(6).

Le fascia peut donc percevoir un étirement produit par un muscle grâce à ses expansions, et transmettre cette tension à distance, informant les structures avoisinantes de l'état de contraction du muscle, via l'activation du fuseau musculaire(19). Ainsi, les fascias aponévrotiques relient différents segments et articulations, coordonnant l'activation synergique de différents muscles et la modification angulaire des articulations concernées(6).

Ce modèle biomécanique, associé à la recherche anatomique, a donné lieu à des considérations importantes concernant le rôle du fascia profond dans diverses dysfonctions proprioceptives(11).

Le système fascial peut être considéré comme un élément important en ce qui concerne la biomécanique musculaire, la coordination motrice périphérique, la proprioception et la régulation de la posture.

2.3.2 LA CONDUCTION NEUROPHYSIOLOGIQUE

Le système somatosensitif régit quatre modalités sensibles : le toucher, la proprioception, les sensations thermiques (chaud et froid) et la douleur. Les neurones qui répondent de façon sélective aux stimuli, sont constitués par différentes fibres dont les caractéristiques sont présentées dans le tableau suivant :

Type de fibres	Myélinisation	Diamètre (µm)	Vitesse de conduction (m/s)	Fonction
A α	+++	10 – 25	60 – 100	Fibres motrices
A β	++	4 – 12	20 – 100	Fibres sensibles : toucher, pression
A γ	++	4 – 8	20 – 80	Fibres proprioceptives
A δ	+	1 – 6	5 – 25	Douleur, température
B	+	<3	3 – 15	SNA, fibres préganglionnaires
C	0	0,3 – 2	0,2 – 2,5	Douleur, température, SNA, fibres postganglionnaires

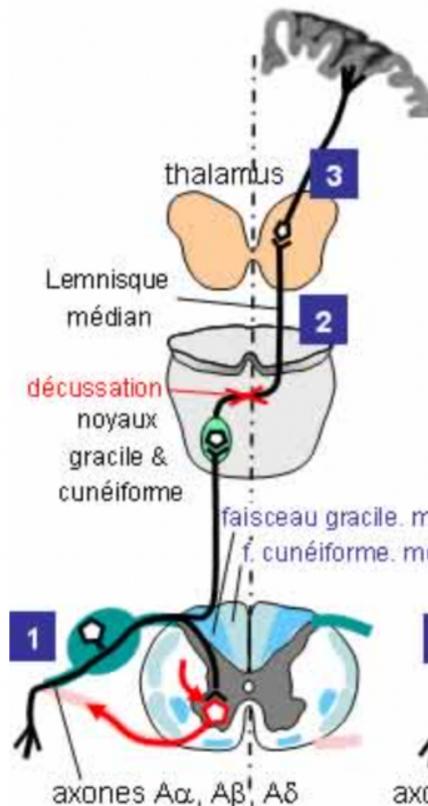
SNA : système nerveux autonome.

FIGURE 7 : CARACTÉRISTIQUES DES FIBRES SOMESTHÉSIQUES (20)

L'information proprioceptive est captée par des récepteurs situés dans les muscles, les tendons, les articulations et également par les mécanorécepteurs (présents au sein du stroma fibreux du tissu conjonctif), appelés propriocepteurs. Cette afférence est transmise au système nerveux central (SNC) via la corne postérieure de la moelle épinière (ME): La voie lemniscale pour la proprioception et le tact épicrotique (tact fin), et la voie extra lemniscale pour la thermoalgésie et le tact protopathique (tact grossier).

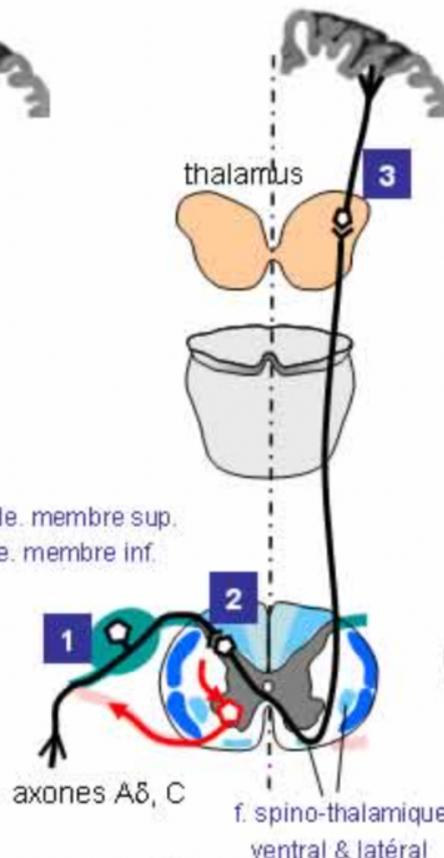
Les connexions réflexes avec les interneurons et les motoneurons de la corne antérieure permettent aux messages mécaniques d'atteindre le cervelet, le thalamus et les aires multisensorielles du cortex pariétal et d'être intégrées et traitées comme des schémas de déplacements(21).

Voie Lemniscale



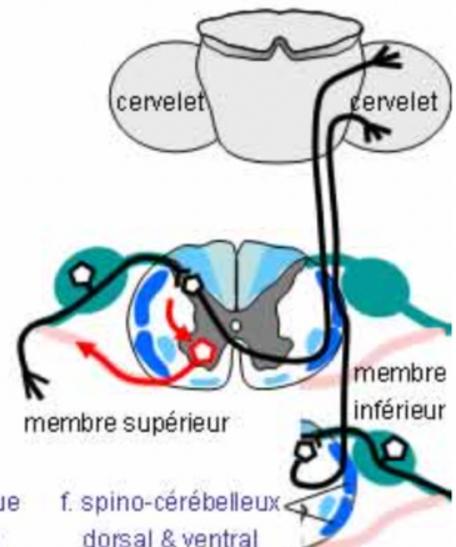
- Sensibilités:**
- épicrotique (tactile fine),
 - proprioceptive consciente,
 - pression, vibrations, ...

Voie spinothalamique (extra-lemniscale)



- Sensibilités:**
- protopathique (tactile grossière),
 - thermique, algésique (douleur), ...

Voie spino-cérébelleuse



- Sensibilités:**
- proprioceptive inconsciente

FIGURE 8 : VOIES ASCENDANTES DE LA SOMESTHÉSIE(22)

Les différents processus neuronaux, périphériques et centraux, contribuent aux différents sens proprioceptifs. La proprioception, comme les autres sens, exige que les signaux sensoriels soient d'abord traités par des zones spécifiques du cerveau avant d'être intégrés dans des fonctions cérébrales de plus haut niveau.(16)

Ces afférences proprioceptives multiples, complexes et traitées par l'ensemble du SNC permettent une régulation biomécanique à l'origine de nombreux changements physiologiques, posturaux et nociceptifs.

2.3.3 FRONTIÈRE ENTRE PROPRIOCEPTION ET NOCICEPTION

Quelle que soit l'échelle (micro ou macro), la quantification de la mobilité du fascia est importante pour comprendre les signaux proprioceptifs et nociceptifs générés par les stimuli mécaniques sur les tissus et les cellules, en particulier, lorsque des conditions pathologiques affectent la rigidité du tissu (23).

Tout obstacle au glissement entre les fibres endofasciales et les plans interfasciaux pourrait provoquer une tension anormale. Étant donné que de nombreux mécanorécepteurs sont intégrés dans le fascia, une altération des afférences proprioceptives pourrait alors entraîner des mouvements non physiologiques au niveau des articulations. Ces mouvements pourraient provoquer une inflammation dans l'articulation d'une unité myofasciale défaillante ou une douleur le long d'une séquence myofasciale (9,11,13,24).

Des conditions « pathologiques » altèreraient la formation et le maintien du collagène du tissu conjonctif. Or en l'absence d'élasticité physiologique normale, les récepteurs incorporés dans le fascia sont en état de tension active permanente. Il en résulte que chaque étirement supplémentaire peut déclencher une entrée surmaximale. Il est admis que des récepteurs stimulés de façon excessive sont responsable de la propagation de signaux nociceptifs même dans des situations d'étirement physiologique (2,12,23).

Les tissus fasciaux remplissent donc d'importantes fonctions biomécanique et sensitive. Une forte charge de tension peut induire une déformation viscoélastique temporaire et même une lésion. L'innervation du fascia indique une fonction sensitive et un potentiel nociceptif.

Une détérioration de la structure fasciale peut être une source directe de douleur musculo-squelettique. En outre, le fascia peut être une source indirecte de problèmes physiques tels que les douleurs référées en raison d'une sensibilisation des terminaisons nerveuses du fascia associée à des processus inflammatoires dans d'autres tissus au sein du même segment.

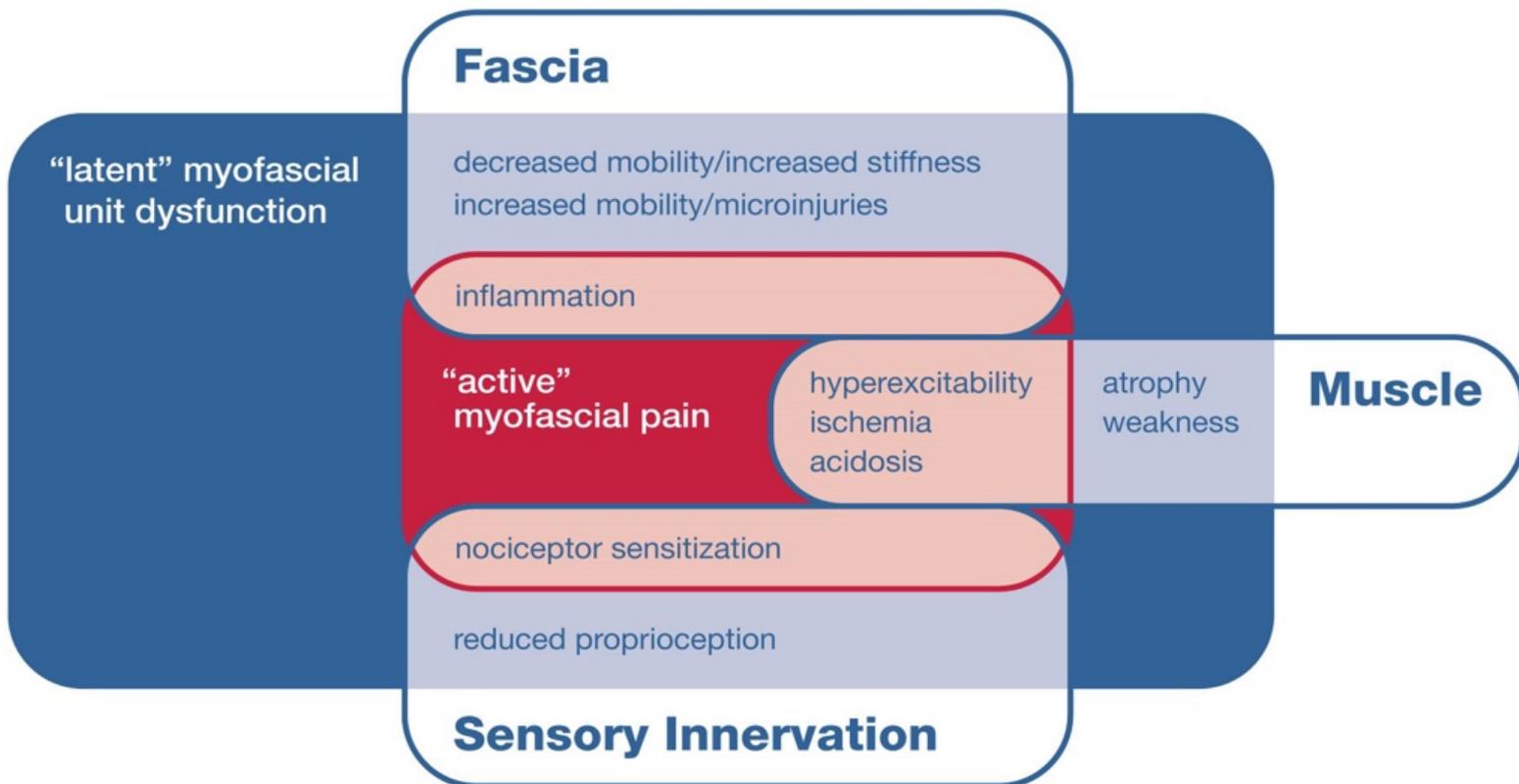


FIGURE 9 : MODÈLE HYPOTHÉTIQUE RELIANT LA MOBILITÉ DU FASCIA, LA PROPRICEPTION ET LA DOULEUR(13)

La force de la relation entre les déficits de proprioception et la fonction physique varie considérablement. Il est important de noter que cette relation est associative et non causale, d'autres déficits ayant un impact sur la fonction et la performance aux tests proprioceptifs étant souvent présents(16).

La réduction de la proprioception peut donc être attribuée à une altération des mécanismes de rétroaction, à la douleur ou à une combinaison des deux (13).

2.3.4 CONTRÔLE MOTEUR DE LA MAIN LIÉE A LA PROPRICEPTION

Comme nous l'avons vu précédemment, il existe différents types de fascia avec des caractéristiques qui leur sont propres. Il est une particularité dans la paume de main (ainsi qu'au niveau du pied) : le fascia superficiel et profond fusionnent en combinant donc les systèmes proprioceptifs et extéroceptifs(25). Cela facilite la perception de la forme, du volume et des surfaces des différents objets, et par conséquent le mouvement, en garantissant l'adaptation de la main aux différentes surfaces de contact.

Au cours des dernières décennies, un changement important s'est produit dans les domaines de la neuroscience motrice et de la rééducation. Contrairement à l'accent mis autrefois sur la manière dont les individus génèrent et contrôlent une action motrice, les travaux contemporains ont évolué pour mettre davantage l'accent sur le traitement du retour d'information sensoriel. Ce changement fondamental est probablement le résultat de notre compréhension croissante du rôle que jouent les informations sensorielles dans la promotion de la plasticité neuronale. En effet, il est désormais bien admis qu'il existe une relation étroite entre la pratique sensorimotrice et les représentations neuronales dans un certain nombre d'aires sensorimotrices du cerveau. La source de feedback sensoriel la plus importante pour promouvoir la plasticité neuronale étant : la proprioception(26). Des études portant sur des personnes dépourvues de sens proprioceptif en raison d'une neuropathie à grosses fibres démontrent l'importance du rôle du retour proprioceptif pendant l'exécution d'activités. « *Bien que les systèmes moteurs restent intacts, la "désafférentation" résultant de l'absence de retour proprioceptif entraîne de profonds déficits dans la plupart des aspects de la capacité motrice* » (27).

Le contrôle moteur est fondamentalement lié à l'interaction entre nos mécano récepteurs présents au sein du système fascial, nos neurones et notre cerveau. En d'autres termes, la dynamique couplée de nos neurones et de notre appareil musculo-squelettique donne lieu à un comportement moteur intelligent, conscient et inconscient.

3 METHODOLOGIE

Cette revue de littérature ne se veut pas exhaustive, mais plutôt une revue commentée des articles publiés contenant les termes « fascia et proprioception/ fascia and proprioception », « fascia membre supérieur/ fascia in the upper limb », « proprioception et main/ hand and proprioception », « rééducation proprioceptive de la main ». La base de données PubMed a été consultée pour trouver des études cliniques contenant ces termes clés. Notre recherche a consisté à combiner ces termes. Elle a porté sur des rapports de cas, des essais cliniques, des essais cliniques contrôlés, des revues, des études comparatives, des études multicentriques et des essais contrôlés randomisés chez l'homme et d'autres animaux. Notre recherche a été élargie en utilisant les listes de référence de ces textes. Des références secondaires importantes ont également été utilisées.

L'objectif de la revue de littérature est de concentrer une partie du savoir et de permettre aux professionnels de santé d'orienter leurs traitements en accédant à des informations valides.

4 DISCUSSION

Il s'avère consensuel de prendre en compte les tissus conjonctifs comme des acteurs majeurs du synchronisme musculosquelettique. Certains auteurs parlent de « squelette flexible », d'autres de système tenségrite, autant de termes qui soulignent l'importance de la considération du système fascial au sein du fonctionnement corporel.

Vaste sujet que celui du rôle des fascias, nous avons centré cette revue de la littérature sur son aspect proprioceptif et en conséquence l'influence que ce système pourrait avoir sur la programmation neuro motrice de la main. Nos recherches sur ces sujets nous ont permis de constater qu'il existe un consensus général permettant de considérer le système fascial ou tissu conjonctif comme un système proprioceptif à part entière. C. Stecco parle même de « l'organe le plus proprioceptif » du corps. Son omniprésence et son intrication au cœur des structures les plus profondes et les plus microscopiques du corps confèrent aux fascias un extraordinaire pouvoir de liaison, coordination, transmission, mais surtout d'influence sur ses structures environnantes. Véritable toile tissée, le tissu conjonctif englobe l'ensemble des mécanorécepteurs et récepteurs sensitifs et permet une continuité tissulaire du bout des doigts jusqu'à l'épaule. Les dissections cadavériques ont permis de constater la constance de certaines expansions fasciales chez un ensemble d'individus. Mais le tissu conjonctif, connu pour son adaptabilité et son remaniement permanent, reste majoritairement propre à chacun. La formation et le maintien du collagène dans les tissus conjonctifs denses dépendent fortement du stress et des stimuli physiques, et qu'ils peuvent être altérés dans des conditions pathologiques (par exemple : immobilisation, traumatisme, syndrome de surutilisation, chirurgie). En l'absence d'élasticité physiologique normale, les récepteurs incorporés dans le fascia peuvent être dans un état de tension. Par conséquent, tout étirement supplémentaire, qui est transmis au fascia, peut provoquer une entrée supra maximale. On sait également que tous les récepteurs, au-delà d'un certain seuil, peuvent potentiellement devenir des nocicepteurs avec pour conséquence la propagation de signaux douloureux, même dans des situations d'étirements physiologiques normales. Le fascia profond, richement innervé, pourrait alors être une source d'irradiation douloureuse.

L'étirement du fascia active des schémas spécifiques de propriocepteurs, ce qui entraîne la perception de la direction du moteur. Si ces schémas proprioceptifs se trouvent perturbés, il en résulterait une altération de la fonction motrice.

Malgré toutes ces données, il est important de garder un œil critique quant à l'analyse que nous faisons de l'ensemble de cette revue de littérature. Dans un premier temps, il est nécessaire d'indiquer que la maîtrise de l'anglais s'est avérée difficile. La précision de la terminologie et les degrés de détails, ont parfois rendu délicate la compréhension des articles. Deuxièmement, la mesure, l'observation et les remaniements des tissus *in vivo*, sont particulièrement difficiles à observer. En effet, la majorité des études anatomiques ont été effectuées sur des pièces cadavériques. Ce qui laisse supposer que *in vivo*, certains mécanismes pourraient être observés différemment. La superposition et l'intrication du système fascial en fait un tissu difficile à séparer, notamment dans la main où le fascia superficiel et profond fusionne. Récemment, une nouvelle technique d'IRM utilisant la cartographie pour imager le contenu hydrique des tissus a été proposée. La cartographie permet une quantification indirecte de la teneur en glycosaminoglycanes (GAG) et a été utilisée pour quantifier la teneur en protéoglycanes, responsable de la viscosité du tissu fascial(23).

L'objet de ce mémoire était d'attirer l'attention sur une structure dont on ne parle encore que trop peu, dans la prise en charge de la main et encore moins dans un contexte de réadaptation motrice. La considération du système fascial dans la rééducation pose des difficultés dans une science qui est basée principalement sur des données probantes (EBP).

Pourtant largement endommagée après un traumatisme ou une chirurgie, elle n'est que peu prise en compte lors d'une reprogrammation neuro motrice, neuro sensitive et dans la perte potentielle du schéma moteur. Actuellement, l'ordre des kinésithérapeutes ne reconnaît pas la fascia thérapie comme une discipline à part entière de notre prise en charge. Il y a peu, l'utilisation de ventouse a même été interdite (outils largement utilisés dans la prise en charge des fascias).

La chirurgie évolue favorablement pour la conservation des tissus conjonctifs, avec des chirurgies moins invasives et plus respectueuses. Les progrès technologiques et le perfectionnement de l'outillage permettent une avancée dans ce sens.

Cette revue bibliographique nous aura permis de comprendre que toutes actions, qu'elles soient mécaniques (de la pression la plus appuyée ou toucher le plus léger), chimiques, internes ou externes, influencent le remaniement du tissu conjonctif. Qu'elle soit consciente ou inconsciente, cette réponse tissulaire influence une cascade de réactions. Certaines thérapies telles que le tapping, la dermoneuromodulation (DNM), l'acupuncture utilisent déjà ce concept,

bien qu'aucune étude n'a encore objectivée leur l'influence sur la modification des structures fasciales. Le développement et la compréhension des nouvelles thérapies basées sur les mécanismes pour traiter la douleur musculosquelettique ou la fibrose répondraient à un besoin clinique majeur non satisfait et aurait des avantages cliniques, économiques et sociétaux significatifs.

Il serait intéressant d'étudier l'influence des manipulations des fascias, sur l'organisation du schéma moteur et en conséquence observer s'il existe des modifications des signaux au niveau du cortex moteur et sensitif.

5 CONCLUSION

La mobilité des fascias et la proprioception sont deux sujets qui, à ce jour, n'ont pas été fusionnés dans la littérature scientifique, mais qui ont beaucoup à s'apporter l'un à l'autre. La mobilité du tissu conjonctif, est essentielle au fonctionnement musculosquelettique et doit être mieux intégrée dans les modèles biomécaniques et dans la prise en charge des rééducations de la main. Acteur dynamique moteur, il permet le synchronisme musculosquelettique et conditionne une prise en charge locale mais également périphérique. Sa continuité tissulaire et son omniprésence en font un système complexe et diffus, intriqué au plus profond de nos structures corporelles. Fusionnés dans la paume de la main, les fascias superficiels et profonds combinent leurs systèmes proprioceptifs et extéroceptifs, ce qui facilite la perception de la forme, du volume, des surfaces et par conséquent le mouvement, en garantissant l'adaptation de la main. Un déficit de mobilité du fascia entraînerait des déficits proprioceptifs et pourrait même être pourvoyeurs de perceptions nociceptives.

Des boucles de rétroaction entre la fonction musculaire et le remodelage du tissu conjonctif sont permanentes et sensibles. Le contrôle moteur précis nécessite donc le calibrage continu du système neuro et sensorimoteur : un processus piloté par le retour proprioceptif. L'ensemble de ces données argumentent l'importance du maintien de la viscoélasticité du tissu conjonctif de la main, afin d'assurer son fonctionnement et sa précision.

6 BIBLIOGRAPHIE

1. Wilke J, Krause F. Myofascial chains of the upper limb: A systematic review of anatomical studies. *Clin Anat.* oct 2019;32(7):934-40.
2. Stecco A, Macchi V, Stecco C, Porzionato A, Ann Day J, Delmas V, et al. Anatomical study of myofascial continuity in the anterior region of the upper limb. *J Bodyw Mov Ther.* janv 2009;13(1):53-62.
3. Stecco C, Pirri C, Fede C, Fan C, Giordani F, Stecco L, et al. Dermatome and fasciatome. *Clin Anat N Y N.* oct 2019;32(7):896-902.
4. Adstrum S, Hedley G, Schleip R, Stecco C, Yucesoy CA. Defining the fascial system. *J Bodyw Mov Ther.* janv 2017;21(1):173-7.
5. Schleip R, Hedley G, Yucesoy CA. Fascial nomenclature: Update on related consensus process. *Clin Anat.* oct 2019;32(7):929-33.
6. Stecco A, Gesi M, Stecco C, Stern R. Fascial Components of the Myofascial Pain Syndrome. *Curr Pain Headache Rep.* août 2013;17(8):352.
7. Bishop JH, Fox JR, Maple R, Loretan C, Badger GJ, Henry SM, et al. Ultrasound Evaluation of the Combined Effects of Thoracolumbar Fascia Injury and Movement Restriction in a Porcine Model. Miao D, éditeur. *PLOS ONE.* 28 janv 2016;11(1):e0147393.
8. Masson E. Acide hyaluronique et matrice extracellulaire : une molécule primitive ? [Internet]. EM-Consulte. [cité 8 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.em-consulte.com/article/250424/acide-hyaluronique-et-matrice-extracellulaire-une->
9. Ercole B, Antonio S, Julie Ann D, Stecco C. How much time is required to modify a fascial fibrosis? *J Bodyw Mov Ther.* oct 2010;14(4):318-25.
10. Stecco C, Macchi V, Porzionato A, Duparc F, De Caro R. The fascia: the forgotten structure. *Ital J Anat Embryol Arch Ital Anat Ed Embriologia.* 2011;116(3):127-38.
11. Stecco C, Day JA. The Fascial Manipulation Technique and Its Biomechanical Model: À Guide to the Human Fascial System. 2010;3(1).
12. Elosegui-Artola A. The extracellular matrix viscoelasticity as a regulator of cell and tissue dynamics. *Curr Opin Cell Biol.* oct 2021;72:10-8.
13. Langevin HM. Fascia Mobility, Proprioception, and Myofascial Pain. *Life.* 8 juill 2021;11(7):668.
14. Chesler AT, Szczot M, Bharucha-Goebel D, Čeko M, Donkervoort S, Laubacher C, et al. The Role of PIEZO2 in Human Mechanosensation. *N Engl J Med.* 6 oct

2016;375(14):1355-64.

15. Schleip R, Zorn A, Lehmann-Horn F, Klingler W. The fascial network: an exploration of its load bearing capacity and its potential role as a pain generator.

16. Héroux ME, Butler AA, Robertson LS, Fisher G, Gandevia SC. Proprioception: a new look at an old concept. *J Appl Physiol*. 1 mars 2022;132(3):811-4.

17. Chen WG, Schloesser D, Arensdorf AM, Simmons JM, Cui C, Valentino R, et al. The Emerging Science of Interoception: Sensing, Integrating, Interpreting, and Regulating Signals within the Self. *Trends Neurosci*. janv 2021;44(1):3-16.

18. Stecco C, Macchi V, Porzionato A, Morra A, Parenti A, Stecco A, et al. The Ankle Retinacula: Morphological Evidence of the Proprioceptive Role of the Fascial System. *Cells Tissues Organs*. 2010;192(3):200-10.

19. Yavari F, Towhidkhah F, Ahmadi-Pajouh MA, Darainy M. The role of internal forward models and proprioception in hand position estimation. *J Integr Neurosci*. sept 2015;14(03):403-18.

20. Chap-1-Les-Voies-de-la-Douleur.pdf [Internet]. [cité 23 avr 2023]. Disponible sur: <https://anesthesiologie.umontreal.ca/wp-content/uploads/sites/33/Chap-1-Les-Voies-de-la-Douleur.pdf>

21. Jahn K, Krewer C. Propriozeption – Der „sechste Sinn“ und seine Störungen. *DMW - Dtsch Med Wochenschr*. déc 2020;145(25):1855-60.

22. LE CERVEAU À TOUS LES NIVEAUX! [Internet]. [cité 23 avr 2023]. Disponible sur: https://lecerveau.mcgill.ca/flash/i/i_03/i_03_cl/i_03_cl_dou/i_03_cl_dou.html

23. Menon RG, Oswald SF, Raghavan P, Regatte RR, Stecco A. T1ρ-Mapping for Musculoskeletal Pain Diagnosis: Case Series of Variation of Water Bound Glycosaminoglycans Quantification before and after Fascial Manipulation® in Subjects with Elbow Pain. *Int J Environ Res Public Health*. 22 janv 2020;17(3):708.

24. Kuwahara H, Ogawa R. Using a Vibration Device to Ease Pain During Facial Needling and Injection. 16.

25. Stecco C, Pirri C, Fede C, Fan C, Giordani F, Stecco L, et al. Dermatome and fasciatome. *Clin Anat*. oct 2019;32(7):896-902.

26. Tsay JS, Kim HE, Parvin DE, Stover AR, Ivry RB. Individual differences in proprioception predict the extent of implicit sensorimotor adaptation. *J Neurophysiol*. 1 avr 2021;125(4):1307-21.

27. Goble DJ, Anguera JA. Plastic Changes in Hand Proprioception Following Force-Field

Motor Learning. J Neurophysiol. sept 2010;104(3):1213-5.