

# MUSCLE ATTITUDE

Le muscle représente la force et l'histoire des hommes est émaillée de héros musclés accomplissant des exploits peu ordinaires. Apprécié comme un gage de virilité, de puissance, le muscle se voit, se palpe et se montre.

Que ce soit au sens propre ou figuré, le muscle est au centre de l'action humaine, balançant entre violence et tendresse, son rôle contractile cependant reste toujours en adéquation avec la finalité du geste. Mais un muscle n'est jamais mobilisé seul comme on le voit sur cette séquence, il existe une harmonie qui se déroule de muscle à muscle pendant le mouvement. On peut se demander alors si l'harmonie est orchestrée exclusivement par le système nerveux comme on le pense généralement ou si elle procède en plus d'une certaine élasticité se propageant de muscle à muscle.

Pour cela nous allons explorer le muscle dans son environnement chez le vivant.

0.36 L'exploration per opératoire de la région para vertébrale au niveau de l'insertion du muscle Grand Dorsal avec les masses sacro-lombaires et le grill costal est un parfait terrain d'exploration. Les muscles sont juste sous la peau en continuité directe avec l'hypoderme jusqu'aux vertèbres. Le muscle grand dorsal et les masses musculaires para vertébrales sont de fortes structures thoraciques imposantes et leurs identifications anatomiques seront facilitées.

1.04 Ces observations macroscopiques, cependant, ne peuvent pas ignorer de grandes zones de glissement qui permettent tous les mouvements de mobilisation entre les muscles ou avec la peau et le grill costal. A un niveau dit mésosphérique, c'est à dire celui de l'observation humaine, entre les groupes musculaires distincts, lentement en se rapprochant, l'observateur va être impressionné par un véritable feutrage, un entrelacs de fibres opalescentes créant un lien de continuité total entre les muscles.

1.39 Dès que l'on écarte les muscles, ces images fibrillaires se transforment en miroirs étincelants mobiles, leurs éphémères disparaissant dans l'instant pour laisser la place à d'autres.

1.46 Quels sont ces reflets, comment et pourquoi se réalisent ils, pourquoi existent ils entre les structures musculaires ?

Alors, pour aller au delà, sans bien s'en rendre compte, l'étudiant va être amené à écarter, dilacerer, détruire cet ensemble de structures qui ne semble pas faire partie des organes et qui souvent en empêche leur accès. Car en fait comme pour le chirurgien, afin de mettre en évidence les structures, il va falloir faire sa route, créer sa voie d'accès, et pour cela il faut effondrer ces ensembles de fibres denses, hétérogènes, en continuité, donnant l'impression d'englober, d'empaqueter toutes les éléments dits nobles et de les lier.

2.30 Ce véritable continuum de fibres présent dans tous les espaces a été appelé par les anatomistes, le tissu conjonctif. Il occupe toute la scène allant des profondeurs musculaires à la surface cutanée et reliant les éléments séparés. Mais ce tissu n'est il que conjonctif, n'a t'il vraiment que ce rôle ?

2.55 Vue de loin, la perception reste assez uniforme et négligeable mais la simple mise en place après accord écrit des patients d'un endoscope lors d'interventions chirurgicales, va tout changer. L'endoscope comporte une caméra Haute Définition, dite fullHD avec un tube gainé de fibres de verres, une optique et une source de lumière

froide. Grâce à cette nouvelle technologie, il est possible d'obtenir des niveaux de détail jamais atteints. Les diamètres des optiques sont soit de 4mm soit de 2.5mm avec une mise au point excellente mais sur une profondeur de champ. A cette courte capacité se rajoutent des problèmes de mise au point incessants qui se mêlent à ceux de l'apparition étrange de buée, de gouttelettes, de dépôts graisseux exigeant un nettoyage de l'optique sans cesse avec un liquide spécial.

3.27 L'endoscopie va nous permettre de découvrir un monde arachnoïdien d'une diversité morphologique extrême et sans le savoir, aborder une organisation biologique structurelle inattendue, ouvrant à des abîmes de réflexion. En fait cette apparente monotonie recèle des gammes de couleurs, des formes presque géométriques diverses avec des mouvements fins et précis. Avancer l'optique à fort grossissement dans ces zones environnant le muscle permet de découvrir les vaisseaux sanguins apportant l'énergie, des amas cellulaires en plaques curieusement étalés sur la surface du muscle ou dans les fibres de glissement. Puis on retrouve à nouveau les espaces en facette étincelants, réfringent la lumière comme des miroirs déposés en vrac. En effet, la lumière froide émise par l'endoscope renforce certains contrastes et il est facilement observable que ces miroirs sont constitués eux mêmes d'entrelacs de fibres, entrelacs sans régularité comme jetés au hasard associés à des liquides. Regardons ces images dans lesquelles le voile opalescent est tressé de petits câbles en faisceaux chaotiques.

Nous avons vu lors des films précédents « Promenades sous la peau et le Passage de l'épiderme » que ces fibres sont constituées de collagènes surtout de type I et les liquides contiennent notamment des glycosaminoglycanes dont les natures chimiques sont variées. Nous savons aussi que ces fibres sont à disposition irrégulière, apparemment fractale, c'est à dire que les grandes fibres vont dégager des plus petites qui elles mêmes font être divisées en plus petites encore. Ces fibres et liquides définissent des espaces que nous avons appelés micro vacuoles. Ces structures formant un ensemble homogène dans l'hétérogénéité définissent le tissu conjonctif et nous avons déjà commencé à étudier leurs dispositions et leur comportement dynamique dans les systèmes de glissement. Mais en est il de même dans le muscle ? Se pourrait il que l'on y rencontre aussi une organisation fractale qui ferait par exemple un lien entre fibres musculaires, l'épimysium, le péri-mysium et l'endomysium. On serait alors en présence d'un ensemble global fonctionnel alors que l'on a plutôt l'habitude de le considérer en autant d'entités histologiques distinctes ?

Une fois la peau franchie, le muscle n'est pas très loin. Il se reconnaît à sa couleur Bordeaux, violacée et à sa structure filandreuse, striée et contractile dès que l'on utilise le bistouri électrique. Le muscle n'est pas cependant une entité anatomiquement distincte des autres structures avoisinantes car le muscle est entouré, nous l'avons vu, de ce tissu conjonctif et il faut éplucher l'épimysium pour arriver vraiment au contact du faisceau musculaire. Parfois l'épimysium peut pour certains muscles être entouré d'une membrane de renforcement permettant le glissement lors de la contraction, c'est l'aponévrose, parfois par contre le mode de glissement est plus ténu.

Pénétrer dans un muscle n'est pas une chose aisée, la résistance à l'endoscope est forte comme une sensation de tressage, et même si le spectacle est hallucinant, la moisson scientifique est pauvre et oblige à battre en retraite. Il faut aborder le muscle en le contournant comme font les chirurgiens. Orientons donc l'endoscope vers des zones d'exploration plus faciles. Laissons le glisser vers ces fibrilles opalescentes longues ou courtes avec des vaisseaux sanguins aux formes variées dans ces zones entourant les muscles. C'est ce que l'on appelle l'épimysium. Les fibrilles épimysiales sont en continuité vers la surface de la peau et se confondent dans l'hypoderme comme nous

**l'avons déjà décrit dans nos précédents films. Mais elles pénètrent aussi , sortent, se mélangent, s'associent, se dissocient et s' enfoncent au plus profond du perimysium séparant les faisceaux de fibres musculaires . Il semble évident , outre la beauté, ce qui n'est pas négligeable, que tout est lié, tout est en continuité .Il n'y a pas de rupture de continuité dans la matière vivante , pas de lames , lamelles , de couches et sous couches sorties de rien . L'épimysium et le périmysium sont des structures en continuité. Quant à l' endomysium, qui colle les cellules musculaires entre elles , sa finesse fait qu' on peut tout juste le deviner à l' endoscopie .**

**La projection des fibres du perimysium semble encore beaucoup plus désorganisée et globalisante. Par rapport à l' aspect allongé globalement longitudinal et parallèle des cellules musculaires , leur architecture n'est pas parallèle, symétrique et régulière.**

**Car ces fibres périmysiales elles aussi entourent, pénètrent, encerclent le faisceau de cellules musculaires, mais ce qui est surprenant, c'est cette impression de fusion tissulaire entre ces fibres de collagène et les cellules qui composent les faisceaux, tout en préservant en apparence une indépendance anatomique , colorimétrique et certainement fonctionnelle. La cellule musculaire se love dans cette architecture fibrillaire comme l' adipocyte dans le maillage du lobule graisseux . On pourrait penser que les fibres de collagène et leurs composantes plus fines, façonnent les cellules musculaires comme une architecture intime.**

**Et quand on sait que ces réseaux sans fin de fibres et fibrilles de collagène plus ou moins diffus vont relier les grandes et épaisses formations conjonctives, comme les fascias, les tendons se pose alors la vraie question pour celui qui aura à intervenir sur des organismes vivants : Ce tissu conjonctif n'est il vraiment que ce tissu de seconde catégorie négligé par tous les manuels d' anatomie et d' histologie ? Pourrait-il avoir d' autres rôles que celui de « tissu de soutien », terme classique accepté mais dont le sens est du reste plutôt vague.**

**L'endoscopie peropératoire malgré des efforts de mise au point, des grossissements parfois de 50 et en haute définition ne permet pas de voir la finesse ultime, L'absence de contraste entre les différentes structures du vivant ne permet pas d'aller beaucoup plus loin et persiste donc le doute sur la continuité entre toutes ces structures et en particulier vers l' endomysium. Les limites exploratoires de l'endoscopie actuelle sont atteintes.**

**Le recours à d'autres techniques peut rendre alors des services appréciables pour préciser les limites et du même coup la nature de ce système. 9.58**

***Nous allons utiliser la microscopie électronique à balayage sur une patte de rat . La patte de rat a été formolée et ensuite nous l' avons soumise à la technique de la digestion sodique , c' est à dire qu'on l'a trempé dans de la soude caustique et après rinçage la patte a été lyophilisée. Alors il reste ce que vous voyez ici, c' est à dire un tissu tout blanc où tous les composants musculaires et cellulaire sont été éliminés. Mais la microscopie à balayage ne permettant que de voir la surface des objets, il faut ensuite pénétrer à l' intérieur de la patte . Pour bien savoir ce que l' on va dégager, on procède alors sous loupe binoculaire . Le microscope électronique permet d' observer avec une très grande profondeur de champ, pratiquement dans l' espace , des objets et on va pouvoir observer à de faibles grossissements la structure globale de l' objet , en l' occurrence ici la patte de rat et on va pouvoir grossir à volonté et observer les détails les plus fins des fibres les plus fines du tissu conjonctif.***

Cela permet, comme sur cette image à faible grossissement, de voir par exemple ce qui était le muscle Jumeau externe (*Gastrocnemius lateralis*). et d'y entrevoir que des fibres de collagène présentes entre le jumeau externe et l'extenseur commun des doigts (*Extensor digitorum*) rejoignent l'épimysium du jumeau externe.

Puis, si on se déplace dans le muscle et à plus fort grossissement, on peut voir que le réseau de collagène qui constitue l'épimysium se continue dans le muscle par tout un réseau de cloisons parallèles et obliques.

De ces cloisons, des fibres de collagène se ramifient dans l'espace compris d'une cloison à l'autre jusqu'à une échelle qui correspond à l'échelle de grandeur de celle d'une cellule, soit environ 50 microns. Toutes ces structures collagéniques de l'intérieur du muscle rejoignent alors l'autre partie du muscle qui se trouve être la lame tendineuse, facilement reconnaissable à ses faisceaux parallèles et serrés de fibres de collagène.

Des fibres de collagène de la lame tendineuse s'échappent à leur tour pour former le paratendon se résolvant en un réseau très fin de fibres qui s'entrelacent vers les aponévroses de glissement et ensuite vers l'hypoderme.

*Quelles sont les incidences de ces observations microscopiques et endoscopiques? C'est essentiellement la continuité fibrillaire. Il n'y a pas de rupture dans la continuité tissulaire, et dans le muscle, et dans le tendon, et dans les structures veineuse et artérielles ou dans les structures adipocytaires de la graisse, toutes ces structures sont constituées de la même façon et sont en continuité. Nous avons déjà vu ces problèmes lorsque nous avons abordé le tissu sous cutané dans le film « Promenades sous la peau » et au niveau de l'épiderme et du derme lorsque nous avons abordé dans le film « Le passage de l'Epiderme » ces structures. Et bien on retrouve là, les mêmes dans le muscle. la vision de l'organisation de la matière vivante en couches stratifiées, en couches hiérarchisées en lames, en lamelles, en strates et même en fascia ne peut pas séduire un anatomiste qui fait de l'anatomie précise, endoscopique et fonctionnelle. Elle est utile certes pour apprendre l'anatomie descriptive facile mais c'est une globalité tissulaire qu'il faut essentiellement accepter.*

*Même si elles ont des couleurs différentes, des textures différentes, des formes différentes, elles sont liées toutes les unes avec les autres. C'est un concept de globalité tissulaire. Nous avons mis en évidence ces structures fibrillaires en 3 dimensions d'organisation irrégulière que l'on pourrait considérer comme chaotique se développant dans les 3 dimensions de l'espace. Peut être que au niveau du muscle, maintenant, on pourrait envisager la même chose et considérer que le muscle est un tramage collagénique fibrillaire orienté dans le sens de la contrainte et cellularisé par des fibres musculaires, éléments contractiles. Dans le quel, bien sûr, tout est lié. Cette perception ne peut avoir que des conséquences conceptuelles et la première de ces conséquences concerne la transmission de la force et la création de la force, c'est à dire le rôle princeps de la fonction musculaire.*

En effet si les éléments sont liés, toute contrainte mécanique s'exercera sur l'ensemble des structures musculaires ou épi, péri et endomyosiales. Mais alors comment et où s'exerce la transmission? On voit bien sur cette séquence que la traction sur un faisceau musculaire induit une transmission de force dans le voisin et que le tissu collagénique y participe. De loin cela semble sans mystère, mais si on se rapproche, le

comportement des fibres lors de ce mouvement est surprenant, et loin d'être linéaire comme une simple cordelette.

Lors d'une observation endoscopique attentionnée nous avons constaté que ces fibres périnysiales bougent les unes sur les autres. Mais ce n'est pas un dépliement régulier, direct, mais ce sont divers mouvements simultanés imprévisibles, comme la division, l'allongement et le glissement des fibres qui sont recensés.

Regardons cette séquence entre deux fibres de collagène de  $20\mu$  de diamètre dans le perimysium, en 2 secondes, on peut noter mobilité, division et distension, Cela est surprenant mais conforte nos hypothèses de globalité comportementale car tous ces mouvements ont été déjà décrits à la fois sous la peau, autour des tendons et maintenant on les retrouve autour et dans le muscle.

Ces fibrilles de collagène ont donc une dynamique propre, particulière, non linéaire mais à leur extrémité, comment s'attachent elles à l'élément contractile : la cellule musculaire

L'observation endoscopique sur le vivant peine à identifier la nature de ces liaisons musculo-conjonctives.

Là encore la microscopie électronique après lyophilisation, c'est à dire après fixation de tous les composants du muscle et non pas uniquement le collagène, va pouvoir révéler l'existence de liens physiques.

On peut alors écarter les longues cellules musculaires qui sont devenues dures. Les espaces ainsi créés révèlent des foules de détails au gré des dissections.

A fort grossissement on peut se rendre compte en observant la surface d'une cellule musculaire que des fibres de collagène qui se ramifient depuis un faisceau du perimysium viennent comme des ramures de lierre au contact de la surface de la cellule et de l'endomysium.

Et encore plus étonnant, sur cette image, on voit nettement que les fibres de collagène sont en continuité avec des structures qui se trouvent dans la membrane de la cellule musculaire et qu'elles sont même en continuité avec le cytosquelette.

Ainsi, les forces de la contraction développées dans la myofibrille peuvent être conduites morphologiquement et mécaniquement vers les tendons, d'autant plus que l'on trouve de telles liaisons à peu près tous les 300 microns le long des cellules musculaires et cela dans les 3 dimensions de l'espace.

Le muscle n'est donc pas qu'un ensemble de cellules musculaires longitudinales disposées en barillet transmettant la force au tendon.

Chacune est en réalité déjà associée au réseau de collagène par un moulage réticulé fait d'endomysium composé surtout de collagène type 4 et qui relie les cellules musculaires entre elles sur de longues distances. TROTTER et PURSLOW ont ainsi pu dire que la force produite par une cellule qui se contracte peut être transmise latéralement par ce réseau à ses voisines.

Alors que se passe-t-il durant la contraction musculaire déclenchée par l'influx nerveux ?

La contraction provoque l'interpénétration des filaments d'actine et de myosine situés dans le sarcomère puis le raccourcissement se propage dans la cellule vers le tendon mais il se propage aussi latéralement à l'endomysium et surtout aux faisceaux de fibres de collagène du périnysium.

De là, le déplacement se transmet vers les gros faisceaux de collagène qui rejoignent le tendon.

Mais les faisceaux de collagène ne vont pas tous au tendon, ils vont constituer aussi l'épimysium qui représente une liaison de muscles à muscles et qui pourra transmettre

une partie des forces aux muscles voisins comme avaient pu le mettre en évidence HOEling et ses collaborateurs .

Finalement la contraction musculaire se transmet par une véritable diffusion des forces grâce à ce tramage à 3 dimensions qui relie entre eux tous les points du muscle puis tous les muscles et même au delà tous les points du membre.

Cette diffusion de la force dans l' ensemble de la structure , la modulant est d' un grand intérêt car elle permet d' expliquer l' absence de rupture des vaisseaux sanguins dans la contraction au moment où la demande d' énergie est majeure , évitant ainsi les ecchymoses et hématomes.

On peut se demander également si les liaisons entre le périmysium et la cellule musculaire se font au hasard le long de la surface de la cellule ou à des endroits précis?

Pour en savoir plus, il fallait retourner au laboratoire et la microscopie électronique à transmission a apporté la réponse.

*Cette fois ci nous allons utilisé la microscopie électronique à transmission. Pour cela on prend un tout petit morceau de muscle que l'on fixe par des techniques spéciales puis imprégné et inclus dans une résine époxy qui est très dure et va permettre de faire des coupes extrêmement fines. Et ensuite, le microscope électronique va permettre de savoir et observer ce qu'il y a dans l' épaisseur de cette coupe.*

Cette coupe de cellule musculaire contractée de Rat, coupée en long, va nous apporter les premiers renseignements . En effet , à tous les points de contact avec le perimysium, contact ici bien visible en haut et tirant dessus à tel point qu'elle en est déformée, on trouve systématiquement un ou plusieurs noyaux et d'impressionnants amas de mitochondries juste au contact du conjonctif.

La même chose sera observée sur une coupe transversale dans deux cellules musculaires de Bœuf permettant de montrer que les fibres de collagène de type I du perimysium, reconnaissables à leur striation, font leurs contacts à des endroits où il y a encore un noyau et une abondance de mitochondries à leur périphérie.

De telles coïncidences ne peuvent être dues au hasard lorsque l'on sait que les noyaux contrôlent la production et l'entretien des protéines et que les mitochondries assurent le métabolisme énergétique et en partie calcique. Un phénomène de mécano-transduction peut être alors évoqué .

Cette conception plus globalisante du muscle comme étant une zone de cellularisation contractile du tissu collagénique architecturant, en liens avec tous les autres tissus, est confortée par cette dernière séquence prise sous la peau ou l' on voit , qu' une manipulation faite à la surface de la peau , déclenche sous la peau une mobilité pluridirectionnelle de fibres de l' épimysium musculaire ,démontrant ainsi une interaction physique directe . Peut être que la recherche sur les myopathies exploitera ces nouvelles voies d' orientations mais il est sûr que les bienfaits apportés par les massages , la rééducation post opératoire ou l'exercice physique régulier ne pourront qu' y trouver une explication physiologique rationnelle en agissant ainsi sur la souplesse de ces architectures contractiles et conjonctives si intimement liées.