



Dans ce chapitre :

Les différents types de muscles du corps humain 62

Le muscle squelettique 62

Propriétés 62

Synergies musculaires 64

Structure des fibres musculaires 64

Types de fibres musculaires 68

L'interaction nerf-muscle 69

L'unité motrice 70

La coordination intramusculaire 72

La coordination intermusculaire 72

Entraînement pour sports spécifiques 72

L'adaptation du muscle à l'entraînement de la force 74

Sommaire 75



Explorons la structure et la fonction des muscles...

CHAPITRE 3



La structure et la fonction des muscles

Après avoir terminé ce chapitre, vous devriez pouvoir :

- décrire les structures macroscopiques et microscopiques du muscle squelettique ;
- décrire la contraction musculaire et expliquer la théorie du glissement des filaments ;
- comprendre l'interaction muscle-nerf ;
- distinguer les différentes fibres musculaires ;
- décrire les actions des groupes de muscles ;
- discuter de l'adaptation du muscle à l'entraînement de la force.

Structures et fonctions sont indissociables. Cette affirmation définit l'essentiel de l'anatomie et de la physiologie humaines. Le tissu musculaire – le spécialiste de la contraction – illustre parfaitement comment la structure d'un tissu peut s'adapter pour l'exécution d'une fonction particulière. Avec environ 660 muscles dans le corps humain adulte – presque la moitié de la masse corporelle – l'importance de l'activité musculaire est indéniable. Les structures et les différents types de muscles assurent diverses fonctions vitales telles que la ventilation, l'activité physique, l'exercice, la digestion et, bien sûr, la circulation du sang dans le corps via un muscle cardiaque spécialisé. Dans ce chapitre, l'accent sera mis sur le muscle squelettique. C'est un muscle qui possède des propriétés uniques et qui permet l'activation du mouvement volontaire.

Le muscle est souvent perçu comme une seule entité et non pas comme un tissu dont la molécularité et la structure hiérarchique sont complexes. Néanmoins, cette structure particulière, qui permet au muscle de se raccourcir et de s'allonger, assure l'exécution d'une multitude de mouvements. Des mouvements les plus simples, comme se donner la main ou ramasser un livre, aux mouvements plus complexes, tels que ceux exécutés dans les sports, le système musculaire est vital au fonctionnement quotidien. Toutefois, comment l'activité musculaire est-elle liée au système nerveux afin de produire le mouvement ? Quelles sont les propriétés contractiles fondamentales du muscle ?

Les différents types de muscles du corps humain

Si nous observons la structure musculaire, avec ses propriétés contractiles et ses mécanismes de contrôle, nous pouvons définir trois types de muscles dans le corps humain : (1) les muscles squelettiques ; (2) les muscles lisses ; et (3) le muscle cardiaque.

La plupart des **muscles squelettiques** sont

attachés à l'os et leurs contractions assurent le soutien et le déplacement du squelette. La contraction des muscles squelettiques est initiée par un stimulus au niveau des motoneurones jusqu'au muscle ; cette contraction est une activation **volontaire**.

Les **muscles lisses** sont contrôlés par des systèmes nerveux autonomes et la contraction est une activation **involontaire**. Les muscles lisses forment la paroi des vaisseaux sanguins et des organes corporels, tels que la voie respiratoire, l'iris de l'œil, et la voie gastro-intestinale. Les contractions des muscles lisses sont lentes, uniformes et présentent une bonne résistance à la fatigabilité. La contraction des muscles lisses permet de modifier l'activité de plusieurs parties du corps afin de répondre à ses besoins ponctuellement.

Le **muscle cardiaque**, le muscle du cœur, présente des caractéristiques similaires à celles des muscles squelettiques et des muscles lisses. Le muscle cardiaque sert à assurer l'activité contractile du cœur et possède son propre rythme intrinsèque. Tout comme celle du muscle squelettique, l'activité contractile du muscle cardiaque peut être modulée ; cependant, le muscle cardiaque est très résistant à la fatigue. Tout comme celle du muscle lisse, le contrôle de l'activité du muscle cardiaque est involontaire.

Bien que l'exercice physique soit bénéfique aux trois types de muscles, nous examinerons dans ce chapitre principalement son action sur le muscle squelettique.

Le muscle squelettique

Propriétés

Le muscle squelettique est composé de nombreuses fibres musculaires groupées en faisceau par du tissu conjonctif. Il est attaché à l'os par des groupes de fibres de collagène ; les **tendons**. Les tendons se trouvent à chaque extrémité du muscle (figure 3.1A). Durant la contraction, le muscle squelettique se raccourcit et, grâce à



L'origine et l'insertion

Durant la contraction, les muscles s'attachent aux os grâce aux tendons (des tissus musculaires forts et fibreux situés aux deux extrémités de chaque muscle) pour créer le mouvement. L'extrémité du muscle attachée à l'os qui demeure statique durant l'articulation s'appelle l'**origine**, tandis

que le point d'attache du muscle, sur l'os qui se déplace, est l'**insertion** (figure 3.1A). L'origine est souvent l'attache proximale (plus proche du corps) tandis que l'insertion est l'attache la plus distale (plus loin du corps).

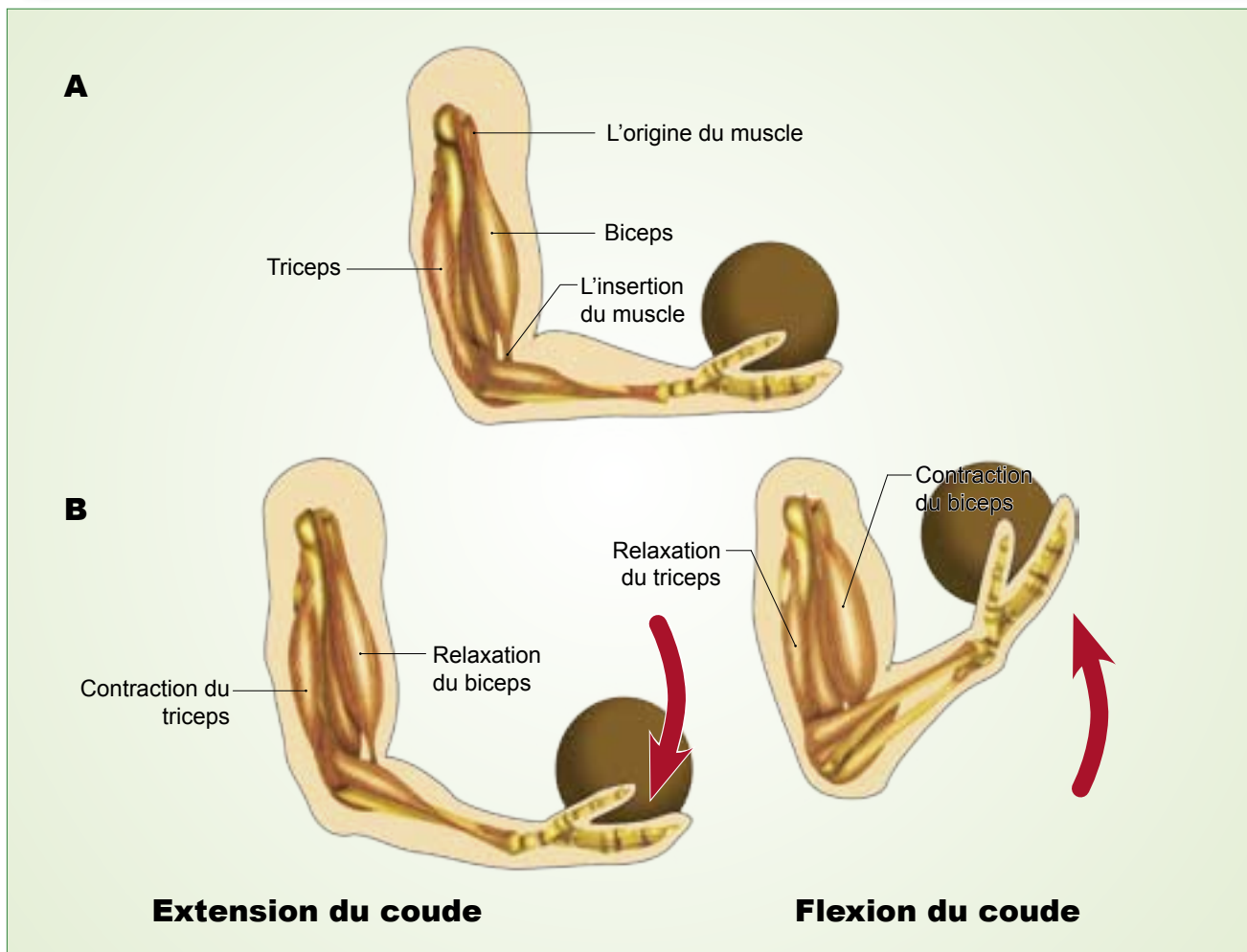


Figure 3.1 L'extension ou la flexion du coude requièrent l'action coordonnée du biceps et du triceps.

l'attache tendineuse sur l'os, il déplace les parties du squelette autour des articulations, afin de changer la position d'un segment du squelette par rapport à un autre. L'ancrage de divers muscles aux deux « extrémités » d'une articulation permet le mouvement dans plusieurs plans. Grâce à une activation graduée, la vitesse et la douceur d'un mouvement peuvent alors varier.

Les muscles squelettiques peuvent effectuer des contractions et des décontractions rapides. Une activité intense entraîne des signes précoces de fatigue. La **biomécanique du mouvement humain** nous permet d'évaluer le mouvement et le patron séquentiel de l'activation musculaire sur l'articulation lors du déplacement des segments (voir chapitre 7).

Muscles volontaires ou striés

Les muscles attachés au squelette dans le but de le déplacer sont appelés **muscles squelettiques**. Ils sont également appelés muscles striés ou volontaires. On qualifie le muscle squelettique de muscle *strié* à cause de l'alternance de bandes pâles et foncées – organisation des fibres musculaires ou des cellules – qui sont visibles lors de l'examen du tissu musculaire au microscope. On les appelle également muscles *volontaires*, car les muscles squelettiques répondent à une activation volontaire ; la flexion du biceps par exemple.

Synergies musculaires

Les muscles travaillent en parfaite synergie. Lorsqu'un muscle se contracte (se raccourcit) afin de déplacer un os, un autre muscle se décontracte permettant à l'os de se déplacer. Le muscle ou le groupe de muscles qui assure l'effet désiré s'appelle l'**agoniste**, ce sont les **muscles moteurs initiaux**. Le muscle ou le groupe de muscles qui s'oppose à l'action s'appelle l'**antagoniste**.

La relation agoniste – antagoniste existe entre les biceps et les triceps dans la partie supérieure du bras. Lorsque les biceps (agonistes) se contractent pour le plissement du coude, les triceps (antagonistes) se décontractent et permettent la flexion. Lorsque les triceps (agonistes) se contractent pour la tension du bras, les biceps (antagonistes), à leur tour, se décontractent (figure 3.1B).

La synergie d'action entre les biceps et les triceps est typique des actions réalisées dans le corps. Lorsqu'il s'agit d'interactions entre des groupes entiers de muscles, la relation agoniste – antagoniste est plus complexe.

Les muscles qui entourent les articulations en mouvement et qui fournissent un soutien pendant le déplacement sont appelés des **synergistes** (ils complètent l'action des muscles moteurs initiaux). Un autre groupe de muscles – les **fixateurs** – stabilisent les articulations les plus rapprochées de l'axe du corps afin que l'action désirée puisse se produire. Par exemple, lors du grimpeur de corde, les fixateurs maintiennent la

ceinture de l'épaule aux côtes ; permettant ainsi aux autres muscles de l'épaule, du coude, du poignet et des doigts de placer une main au-dessus de l'autre pour avancer sur la corde.

Structure des fibres musculaires

Le muscle squelettique est composé de plusieurs cellules cylindriques appelées **fibres musculaires**. Chaque fibre est composée de plusieurs **myofilaments** (figure 3.2). Le diamètre de chaque fibre varie entre 0,05 et 0,10 mm et leur longueur dépend principalement de la distance entre les attaches des muscles (dans le cas du biceps, la longueur d'une fibre est d'environ 15 cm). Chaque cellule (fibre) est entourée d'une membrane : un tissu conjonctif appelé le **sarcolemme**. Un certain nombre de fibres musculaires sont regroupés en faisceau par un tissu conjonctif plus épais (figure 3.2B). Non seulement chaque fibre contient la machine contractile nécessaire pour développer la force musculaire (figure 3.3), mais chacune d'elles contient aussi les organites nécessaires à la respiration cellulaire (voir chapitre 5, L'énergie pour l'activité musculaire). À l'extérieur de chaque fibre nous observons également une réserve de capillaires dans lesquels la cellule puise ses nutriments et envoie ses déchets métaboliques.

La fibre musculaire est constituée sur toute sa longueur de plusieurs fibrilles qui sont parallèles les unes aux autres – les **myofibrilles**. Les myofibrilles

Le « tir à la corde » des muscles

Pour certains muscles, les fibres individuelles s'étendent sur la longueur totale du muscle, mais pour la plupart des autres muscles elles sont plus courtes. Ces fibres plus courtes, ancrées dans le réseau de tissu conjonctif autour des fibres musculaires, sont positionnées selon un certain angle par rapport à l'axe longitudinal du muscle. Lorsqu'un muscle tire sur l'os, durant la transmission de la force, l'action est similaire à celle du « tir à la corde ». Chaque membre de l'équipe correspond à une fibre musculaire et la corde représente les tissus conjonctifs et les tendons.



contiennent les unités contractiles (organites) responsables de la contraction musculaire (figure 3.2D).

Le muscle : la machine contractile

La myofibrille est composée d'unités contractiles placées en série – les unes derrière les autres – appelées **sarcomères** (figure 3.3A). Chaque sarcomère est composé de deux myofilaments : **la myosine** (le filament épais) et **l'actine** (le filament mince). Une coupe transversale de ces filaments indique que chaque filament de myosine est entouré de filaments d'actine (figure 3.3A). À l'examen microscopique, une coupe longitudinale du sarcomère révèle des stries ; caractéristiques du muscle squelettique ou muscle strié (figure 3.4). Cette coupe nous permet également de repérer des **ponts de myosine** (d'autres unités contractiles) formant un angle de 45° avec les filaments de myosine auxquels ils sont attachés ; projection angulaire similaire à celle de l'aviron par rapport à la coque du canot (figure 3.3).

la contraction par glissement des filaments. Il s'agit d'une théorie dont la complexité n'est pas expliquée en détails dans ce chapitre. Néanmoins, il est

La théorie de la contraction par glissement des filaments. Lors de la contraction musculaire, le glissement des filaments d'actine entre les filaments de myosine rétrécit le muscle afin de générer un mouvement. Ce phénomène est expliqué par la **théorie de**

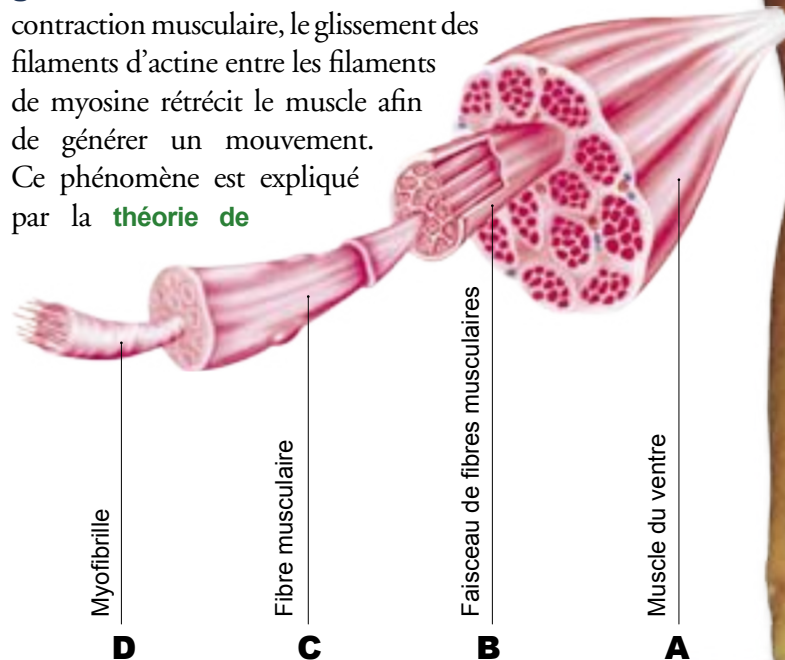


Figure 3.2 Composition de la fibre musculaire squelettique. **A.** Muscle du ventre (50 mm de diamètre). **B.** Faisceau de fibres musculaires (0,5 mm). **C.** Fibre musculaire (0,05-0,1 mm). **D.** Myofibrille (0,001-0,002 mm).

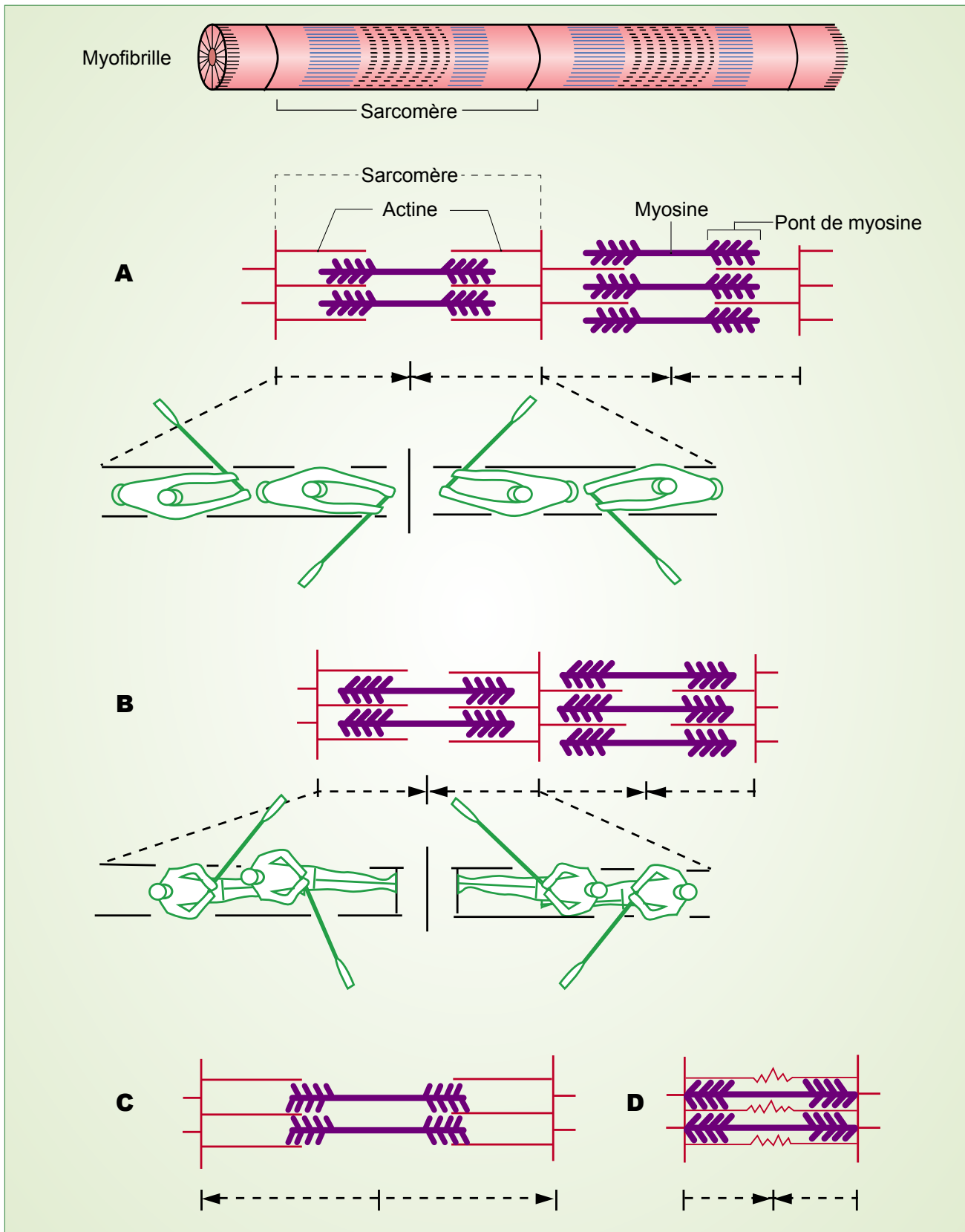


Figure 3.3 Coupe longitudinale d'une myofibrille et représentation simplifiée d'une contraction musculaire : **A.** Au repos. **B.** Contraction. **C.** Extension forte. **D.** Contraction forte.



important que vous sachiez apprécier la complexité de toutes les structures anatomiques qui sont impliquées dans le mouvement humain.

Le « coup » de l'aviron. Lorsqu'un nerf moteur génère un stimulus, activant ainsi la fibre musculaire, les têtes des filaments de myosine s'attachent temporairement aux filaments d'actine (figure 3.3D). Il s'agit du **complexe actine-myosine (CAM)** ; un mouvement similaire au « coup » d'un aviron et au mouvement subséquent réalisé par l'embarcation. Le complexe actine-myosine active le glissement des fibres d'actine sur celles de myosine, provoquant ainsi un raccourcissement du sarcomère. Un seul glissement raccourcit ce dernier d'environ 1% de sa longueur. Le système nerveux est capable d'activer et de former des CAM à une fréquence de 7 à 50 par seconde. Puisque les sarcomères sont attachés en série, le raccourcissement de chaque sarcomère est additionnel. Le raccourcissement total peut atteindre environ 25 à 40 pour cent de la longueur de la myofibrille.

Afin d'obtenir un « coup » efficace, les avirons doivent être placés de façon optimale, c'est-à-dire qu'ils doivent se projeter suffisamment loin, mais pas trop éloignés. Il en est de même pour la formation du CAM ; les sarcomères doivent se trouver à une distance optimale les uns des autres. Pour la contraction musculaire, cette distance optimale est de 0,0019 à 0,0022 mm. Si les sarcomères sont placés à cette distance, un nombre optimal de CAM se réalise par unité de temps. Si les sarcomères sont plus éloignés les uns des autres,

le nombre de CAM diminue ; les projections de myosine ont en effet de la difficulté à rejoindre les filaments d'actine et la capacité à produire la force musculaire est réduite. De même, lorsque les sarcomères sont trop rapprochés (flexion d'un muscle, par exemple), le nombre de CAM décroît pour la même raison ; difficulté pour les têtes de myosine à rejoindre les filaments d'actine. Dans ce cas également, la capacité à produire la force musculaire est réduite.

La distance entre les sarcomères dépend de l'étirement du muscle, qui, à son tour, dépend de sa position par rapport à l'articulation. Ainsi, toute force musculaire activée ne pourra libérer une force maximale que si un nombre optimal de CAM se forme à un angle optimal de l'articulation. Puisque la force musculaire dépend de la longueur du muscle, la force musculaire maximale s'observe à une longueur optimale du muscle. Lorsqu'une articulation se déplace pour couvrir l'étendue de son mouvement, les muscles liant les deux segments de l'articulation se déplacent d'une position étirée à une position comprimée. À un certain moment de l'étendue du mouvement, ils passeront par l'angle maximal de l'articulation où le muscle est à sa longueur optimale pour le développement d'une force maximale (figure 3.5). Il existe donc, pour chaque mouvement dans une articulation, un angle d'articulation optimal pour le développement de la force maximale. Il est donc important de connaître les angles d'articulation qui favorisent une force maximale dans le développement de la biomécanique optimale du mouvement.

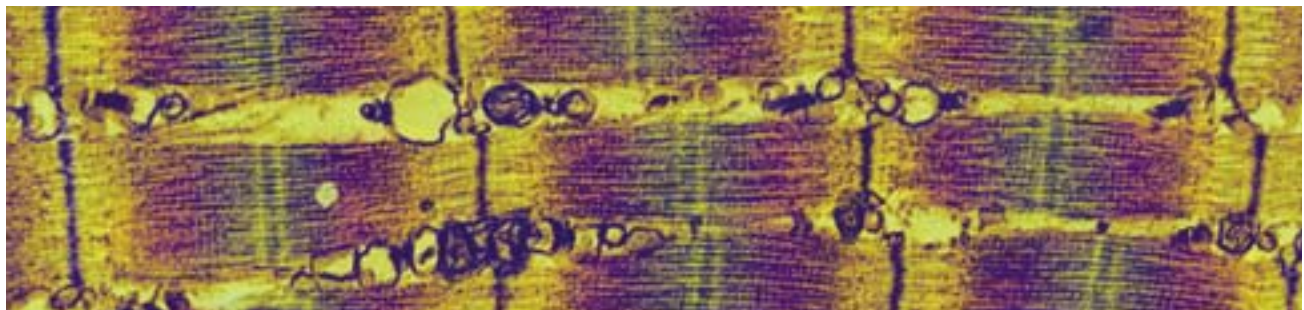


Figure 3.4 Vue microscopique grossie de sarcomères à l'intérieur d'une myofibrille. L'apparence « striée », caractéristique du muscle squelettique, correspond à l'alternance des bandes d'actine et de myosine.