

La conquête spatiale sans danger pour la santé ? Un muscle ? On vous explique tout !

Introduction

Nous possédons dans notre corps des centaines de muscles et ceux-ci sont responsables de nos mouvements. Nous en avons dans nos jambes, nos bras, notre langue, nos intestins etc. En bref, nous en avons partout (Figure 1). Les muscles sont des organes formés de tissus et donc de cellules musculaires appelées myocytes. En effet, notre corps est constitué de cellules qui ensemble forment des tissus et plusieurs tissus forment des organes.

Mais comment fonctionnent-ils ? Comment sont-ils structurés ? Existe-t-il plusieurs types de muscles et comment diffèrent-ils entre eux ? Quels rôles jouent-ils dans le corps ? Et enfin, pourquoi est-il si important de pratiquer une activité physique [1] ?

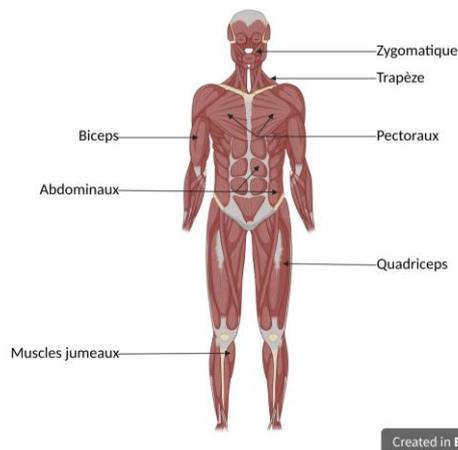


Figure 1 - Représentation simplifiée de quelques muscles striés présents dans le corps humain.

Les différents types de muscles

Dans notre corps, il existe différents types de muscles :

- Les muscles striés ou muscles rouges :

Les muscles striés sont formés de fibres musculaires dont la taille est du même ordre que celle des cheveux. Ces fibres sont regroupées ensemble sous forme de sacs.

Mais existe-t-il un seul type de muscle strié ? Et bien non, il en existe deux types : les muscles squelettiques et les muscles cardiaques.

a) Les muscles striés squelettiques :

Les muscles striés squelettiques sont des muscles qui s'attachent au squelette et qui ont le rôle de stabiliser le corps et de permettre les mouvements. Ces muscles sont caractérisés par la présence de rayures ou stries qui correspondent aux myofibrilles qui sont parallèles les unes aux autres. En effet, le muscle est composé de fibres musculaires aussi appelées myocytes et celles-ci sont formées de myofibrilles. Les myofibrilles constituent donc l'unité de base de la cellule musculaire (Figure 2) [1].

Accolées aux fibres musculaires, se trouvent des fibres nerveuses myélinisées ou nerfs [2]. On peut comparer la myéline à un isolant, c'est-à-dire au plastique entourant les câbles électriques. Celle-ci permet une circulation plus rapide des messages provenant du cerveau [1]. La contraction de ce type de muscles est consciente et dépend du cerveau et de la moelle épinière (structure au sein de la colonne vertébrale et reliant le cerveau aux muscles via des nerfs) [2].

Quelle est la structure de ces muscles ? Les muscles sont formés d'une partie centrale et de deux extrémités. La partie centrale est appelée « corps charnu » et correspond à la partie contractile du muscle. Les extrémités du muscle sont formées de tissu conjonctif fibreux. Le tissu conjonctif fibreux est un tissu qui soutient des organes, dans ce cas les muscles (Figure 2) [2].

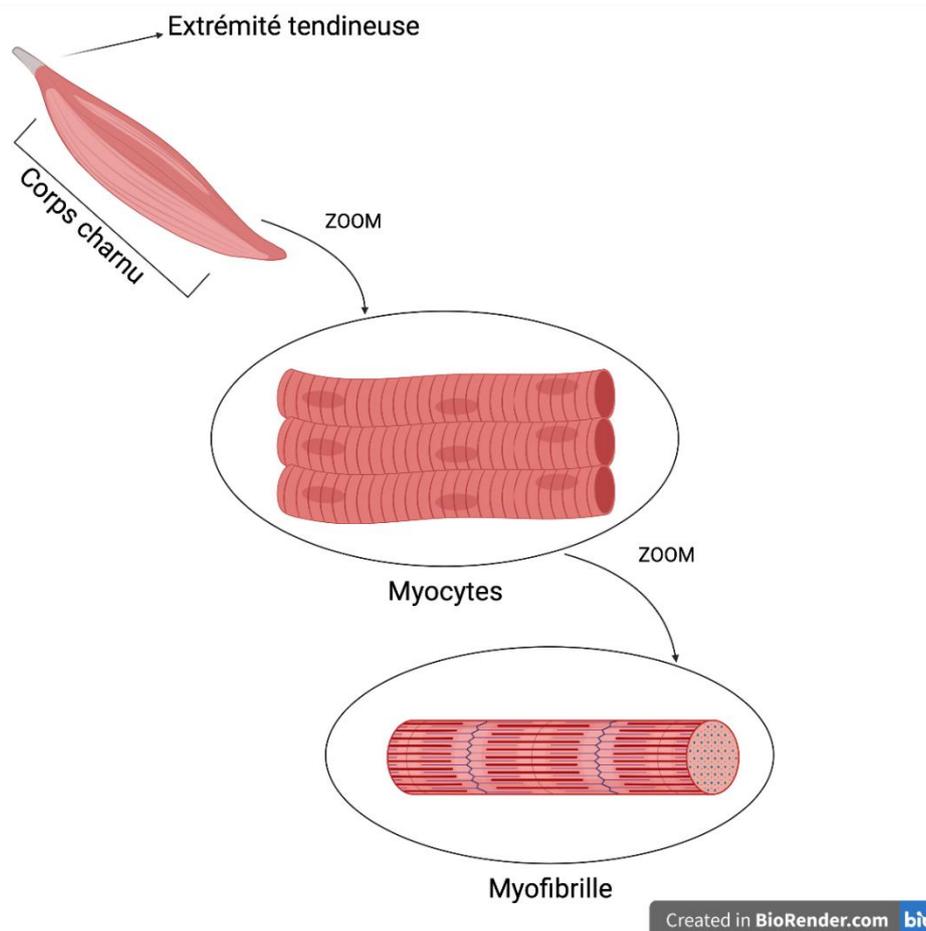


Figure 2 - Représentation schématique d'un muscle strié squelettique. Le muscle est composé d'une partie centrale et de deux extrémités. La partie centrale est appelée « corps charnu » et correspond à la partie contractile du muscle. Les extrémités sont formées de tissus conjonctifs fibreux en parallèle et en série avec le corps charnu. Elles ne se contractent pas mais s'étirent.

Les muscles squelettiques contiennent plusieurs protéines, notamment l'actine et la myosine. Ces deux protéines interagissent entre elles, et leur glissement l'une sur l'autre entraîne la contraction du muscle [2]. Ce processus nécessite du stimulus nerveux et de l'énergie et se divise en plusieurs étapes illustrées sur la figure 3 :

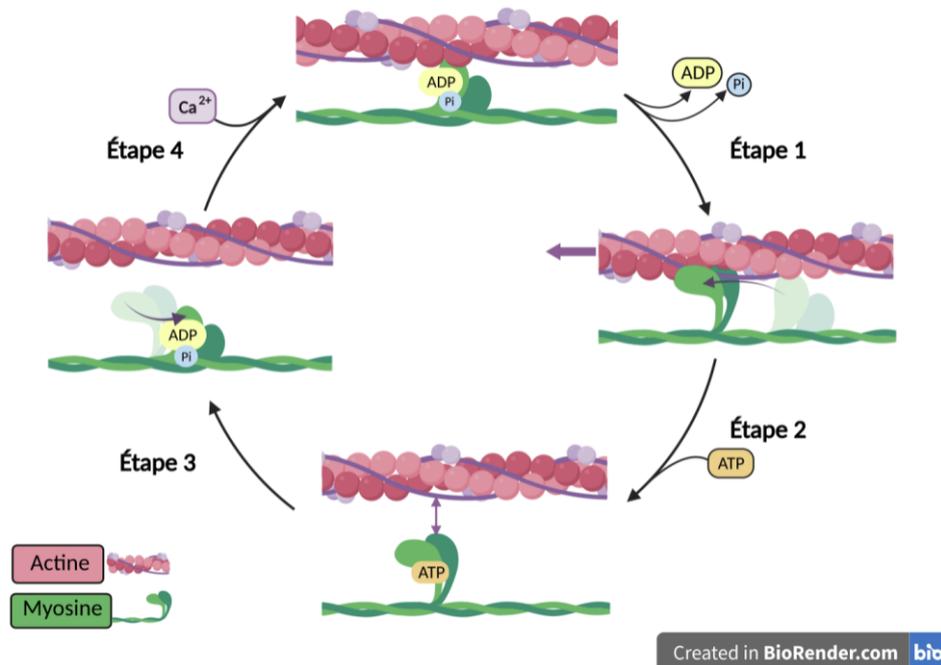


Figure 3 - La contraction musculaire. La myosine libère de l'adénosine diphosphate (ADP) et du phosphate ce qui entraîne un glissement sur l'actine (étape 1). Ensuite, l'adénosine triphosphate (ATP) se lie sur la myosine. La myosine se détache alors de l'actine et s'éloigne (étape 2). La myosine transforme l'ATP en ADP + phosphate et change de position (étape 3). Enfin, le calcium se fixe sur la troponine, une protéine associée à l'actine, ce qui permet le rapprochement de la myosine vers l'actine et une nouvelle liaison entre actine et myosine (étape 4).

Nous savons également qu'il existe trois types de fibres musculaires striées squelettiques qui coexistent au sein des muscles. On retrouve ces dernières en proportion variable selon la fonction du muscle et on les divise en plusieurs catégories :

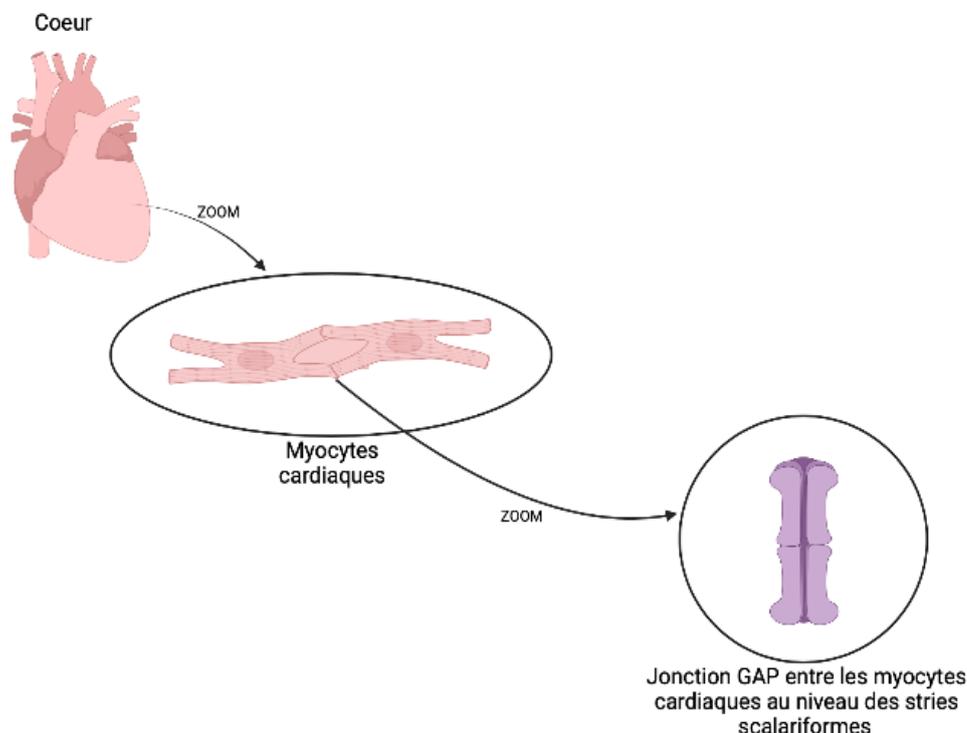
- **Fibres de type I** : On les retrouve essentiellement dans les muscles responsables de la posture. Elles permettent une contraction lente et soutenue (se contractent en 110 ms) et nécessitent l'apport d'oxygène. On les utilise lorsque l'on pratique des sports d'endurance comme le marathon ou lorsque l'on marche durant une période prolongée [3].
- **Fibres de Type II** : Elles sont également connues sous le nom de fibres à contraction rapide et servent de contreparties aux fibres de type I. Elles peuvent se contracter deux fois plus rapidement (seulement 50ms) faisant donc d'elles des fibres idéales pour les efforts liés à la force et à la puissance. Ces fibres musculaires sont rapidement fatigables et sont destinées à une activité telle que la course par intervalles durant laquelle on alterne entre course et marche. Il existe deux types de fibres de type II [2] :
 - **Fibres de type II A** : Elles permettent des contraction rapides et soutenues. Ces fibres musculaires sont utilisées dans des sports de puissance comme l'athlétisme et la natation [3].

- **Fibres de type II B** Permettent une contraction rapide et puissante [2]. Elles sont fortes et plus larges. Ces fibres musculaires sont adaptées aux efforts très intenses comme un sprint de 100 mètres [3].

b) Le muscle strié cardiaque :

Le muscle strié cardiaque ne se trouve qu'à un seul endroit dans le corps humain, le cœur. Ce muscle présente également des stries ou rayures comme les muscles striés squelettiques mais il existe tout de même des différences structurelles entre eux. En effet, les cellules musculaires cardiaques présentent des zones de contact entre elles appelées stries scalariformes. De plus, nous trouvons des structures spécifiques de communication entre les cellules musculaires cardiaques appelées jonctions GAP. Toutes ces structures permettent la communication entre deux cellules ainsi que le passage de l'information entre elles, on peut les comparer à des tunnels qui relient les cellules [1]. Ces structures permettent la synchronisation de la contraction.

La contraction dépend du système nerveux autonome. Cette partie du cerveau permet d'accélérer ou de ralentir le rythme cardiaque dans diverses situations, tant en période de stress que lorsque l'on pratique une activité physique. Pour permettre une contraction régulière du cœur, nous possédons également le nœud sinusal qui commande les battements du cœur. On retrouve ce nœud sinusal dans une cavité située dans la partie supérieure droite du cœur (appelée oreillette droite). Il est formé d'un ensemble de cellules spécifiques capables d'une activité autonome qui permet cette contraction régulière, sans qu'on puisse les distinguer à l'œil nu des autres cellules formant le cœur [4].



Created in BioRender.com 

Figure 4 - Représentation schématique du muscle strié cardiaque.

- Les muscles lisses ou muscles blancs :

Les muscles lisses sont présents en plus grand nombre que les muscles striés et on ne contrôle pas leur contraction. Il s'agit de muscles importants pour le soutien et la fonction des organes [2]. Les muscles lisses sont associés aux activités involontaires comme le péristaltisme dans le tube digestif ou la constriction des artères [5]. Le péristaltisme correspond aux mouvements propulsifs du tube digestif. Les contractions péristaltiques sont liées à des alternances de contraction-relâchement des différents muscles présents dans la paroi du tube digestif [6]. Dans le cas du péristaltisme intestinal, les muscles lisses génèrent des contractions circulaires par phase [7] qui permettront aux aliments d'avancer dans le tube digestif et les empêchent de se diriger en sens inverse [8].

Comme les muscles cardiaques, ils sont donc dépendants d'une partie de notre cerveau que nous ne contrôlons pas (système nerveux autonome). Les muscles lisses sont formés de cellules fusiformes. Les cellules fusiformes sont des cellules longues et fines, qui sont plus petites que les myocytes et qui sont non striées (Figure 5). Contrairement aux muscles striés, ce sont des fibres nerveuses ou nerfs non myélinisées qui sont accolées aux muscles lisses. Comme ces fibres n'ont pas de myéline et donc pas d'isolant, elles ne permettent qu'un passage lent des messages provenant du cerveau [2]. De plus, peu de vaisseaux sanguins sont présents dans ce type de muscles expliquant leur couleur blanche. La plupart du temps, on retrouve ce muscle dans du tissu conjonctif. Celui-ci est un tissu assurant une fonction de soutien, de protection et de nutrition des cellules composant un organe [1].

En fonction de la forme de l'organe, les muscles lisses sont appelés (Figure 5) :

- Tubulaires (muscle lisse de l'intestin).
- Annulaires (sphincter lisse de l'anus, muscle constricteur de l'iris).
- Plats (dartos pénien).
- Sacculaires (muscle de l'utérus) [2]

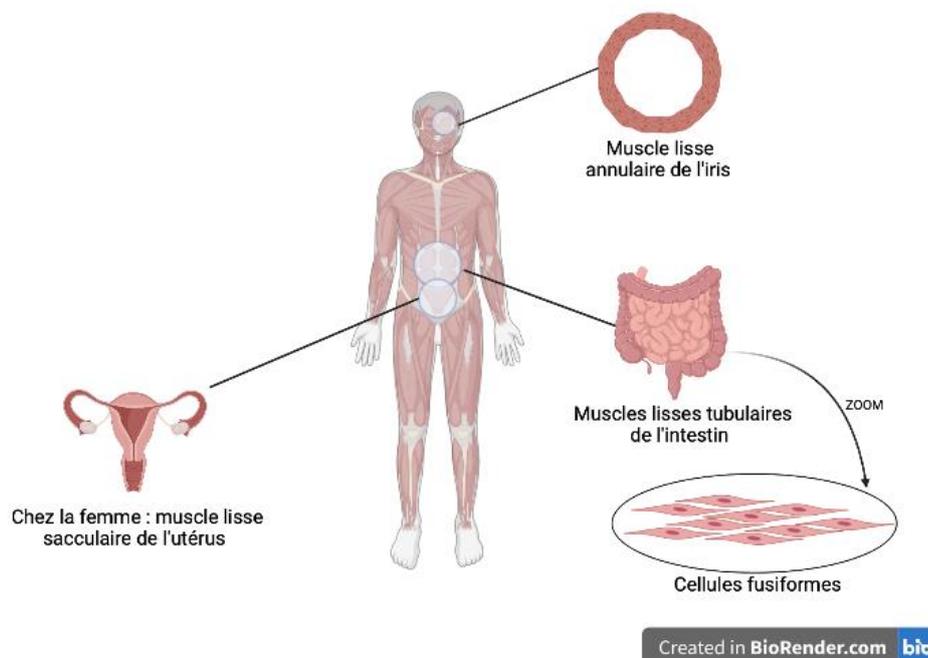


Figure 5 - Exemples de muscles lisses. On peut aussi observer les cellules fusiformes composant ce type de muscle. Exemple dans l'intestin où lorsque ces cellules se contractent, la nourriture avance dans l'intestin. Ce phénomène est appelé péristaltisme.

Pour conclure, les muscles de notre corps ont des structures différentes mais également des fonctions différentes. En effet, les muscles striés squelettiques nous permettent de réaliser un mouvement. Les muscles striés cardiaques permettent, en se contractant, de pomper le sang dans tout le corps. Enfin, les muscles lisses sont présents dans la paroi d'organes comme la vessie, l'estomac et l'intestin.

Les muscles et leurs carburants :

Intéressons-nous maintenant aux carburants des muscles. Comme tout organe, les muscles ont besoin d'énergie notamment pour pouvoir réaliser leur contraction lors d'un effort physique. Cette énergie est fournie aux muscles sous la forme d'ATP ou adénosine triphosphate. L'ATP est une molécule servant à fournir l'énergie dans nos cellules (voir ci-dessous) [3].

Lors d'un repas, nos aliments sont digérés en différents nutriments dont les acides aminés, les acides gras et le glucose. Ces nutriments sont captés par les cellules musculaires, ainsi que par d'autres cellules comme les cellules du foie [3]. Le glucose peut être stocké dans les cellules musculaires et les cellules du foie sous la forme de glycogène via la glycogénogenèse. La glycogénogenèse permet de synthétiser du glycogène, une molécule formée de plusieurs glucoses. Les acides aminés peuvent également être stockés dans les muscles mais cette fois sous forme de protéines. Le glycogène et les protéines forment donc les réserves énergétiques des muscles. Les acides gras sont quant à eux stockés sous forme de triglycérides dans le tissu adipeux, appelé plus couramment la graisse du corps (Figure 6) [3].

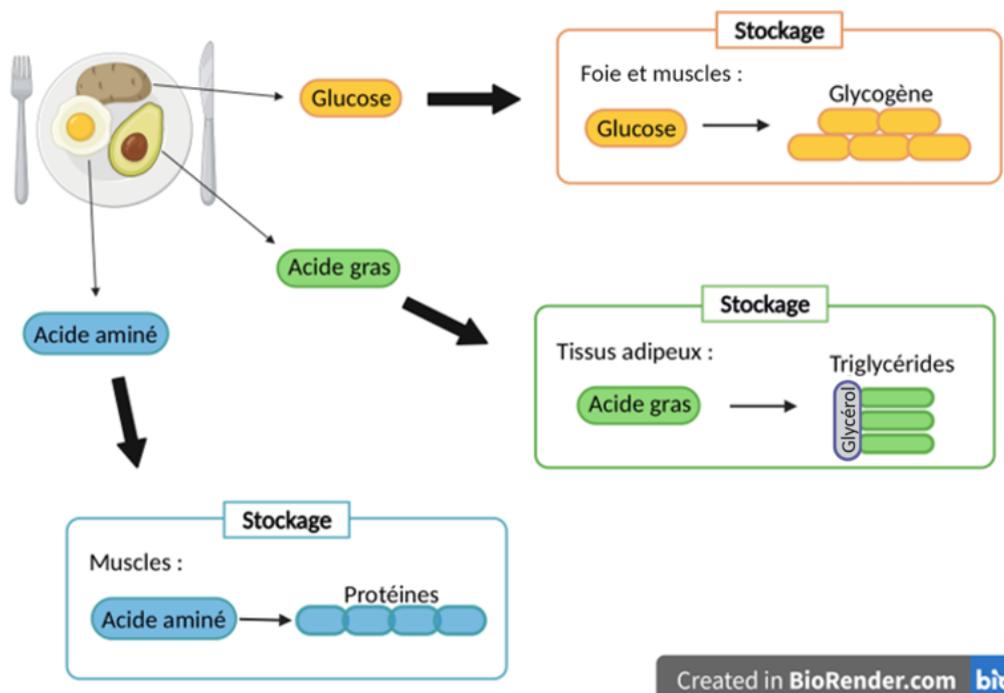
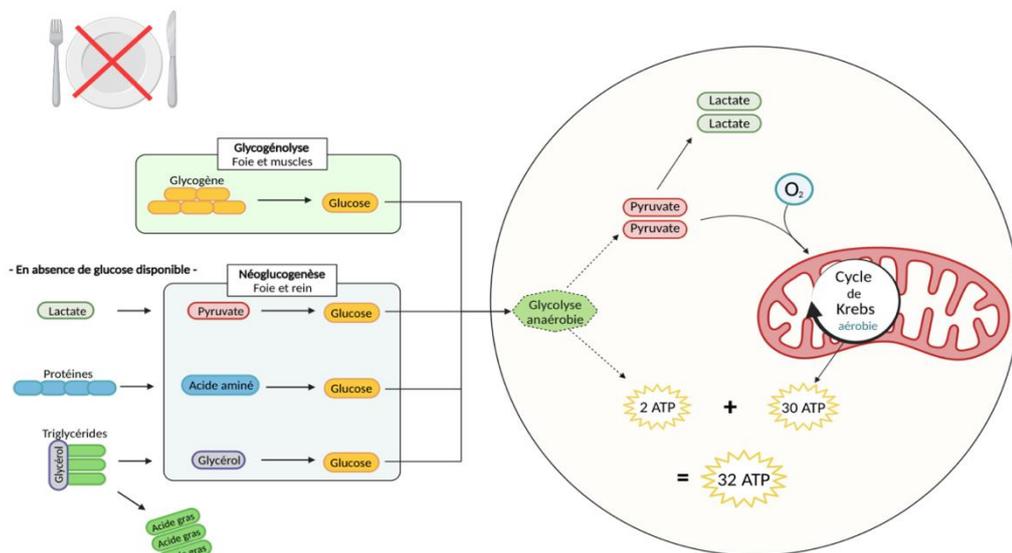


Figure 6 - Illustration des différents éléments qui proviennent de notre alimentation et de leur transformation pour être stockés : les acides aminés sont transformés en protéines dans les muscles, les tissus adipeux stockent les acides gras sous forme de triglycérides et les molécules de glucose s'assemblent pour être stockées en glycogène dans le foie et les muscles.

Entre les repas, nous ne mangeons pas et donc nous n'avons plus d'énergie disponible dans notre sang. Notre corps fait donc appel à nos stocks ! Le glycogène présent dans le foie et nos muscles est dégradé en glucose, ce mécanisme s'appelle la glycogénolyse. Le glucose produit par le foie est capté par le cerveau, les reins et les muscles afin de leur fournir de l'énergie par la suite. Pour produire de l'énergie, ce glucose est dégradé. Il subit d'abord la glycolyse anaérobie qui est en fait la dégradation du glucose en 2 pyruvates. Cette glycolyse permet la production de 2 ATP en absence d'oxygène. Le pyruvate rejoint ensuite le cycle de Krebs, une voie métabolique qui se trouve dans les mitochondries dans un processus qui se déroule en présence de dioxygène (aérobie). Le cycle de Krebs se résume en une série de réactions complexes qui produisent 30 molécules d'ATP. Au total, la dégradation d'une molécule de glucose fournit 32 molécules d'ATP (Figure 7) [3]. Au repos, dans les muscles squelettiques, cette production d'ATP se fait à partir d'acides gras (85%), de glucose (10%) et d'acides aminés (5%) [9].

Les muscles ont toujours besoin d'énergie et surtout durant un exercice. Les demandes en énergie sont donc plus intenses ce qui entraîne l'utilisation de leurs réserves de glycogène [10]. La production d'ATP se fera essentiellement à partir du glucose en fonction de l'intensité de l'activité (intensité modérée 50%, intensité forte 100%) [9]. Les réserves vont alors s'épuiser via la glycolyse et le cycle de Krebs [10]. Afin d'acquérir rapidement de l'énergie et donc de l'ATP, les muscles vont réaliser la glycolyse anaérobie puisque la circulation sanguine n'est pas encore en mesure d'apporter suffisamment d'oxygène aux muscles. La glycolyse anaérobie, ou dégradation du glucose en absence de dioxygène, permet aussi de produire du lactate qui est un substrat énergétique pour les muscles [11].

Lorsque le niveau en glucose diminue fortement, des molécules de glucose sont synthétisées (néoglucogenèse) dans le foie et dans les reins afin d'obtenir de l'énergie (Figure 7). Les protéines sont alors dégradées en acides aminés tandis que la graisse du corps est dégradée en triglycérides pour reformer du glucose. Il est également possible de retransformer le lactate en pyruvate pour recréer le glucose [12].



Created in BioRender.com bto

Figure 7 - Schéma représentant les différentes sources d'énergie utilisées par nos muscles. D'abord, il y a transformation du glycogène en glucose dans le foie et nos muscles. Ce glucose subit la glycolyse qui produit 2 ATPs. Ensuite, les 2 pyruvates ainsi formés rejoignent le cycle de Krebs ce qui permet la production de 30 ATPs supplémentaires. Les deux pyruvates permettent aussi la formation de lactates, sources d'énergie pour les muscles. Lorsqu'il n'y a plus de glucose disponible, il y a synthèse de nouvelles molécules de glucose à partir d'acides aminés, de pyruvates et de glycérol dans le foie et le rein, on parle de néoglucogenèse. Ces glucoses peuvent ensuite subir la glycolyse anaérobie pour reproduire de l'énergie grâce au cycle de Krebs comme expliqué précédemment.

La production d'énergie se fait donc de manière différente selon l'intensité de l'effort physique. Cette différence s'applique aux différents types de fibres de muscles striés squelettiques que nous avons cités précédemment : plus l'effort physique est important, plus la fibre utilisera la glycolyse anaérobie pour obtenir de l'énergie (tableau ci-dessous) [13].

Comparaison des différentes fibres musculaires striées squelettiques

Types de fibres	Fonctions	Carburants	Métabolismes
Type I	Posture, contraction lente et de longue durée	Glycogène, lipides et acides aminés	Aérobie
Type II A	Contraction rapide et puissante	Glycogène musculaire, lipides et acides aminés	Anaérobie + aérobie
Type II B	Contraction rapide et puissante, ces fibres sont plus fatigables	Glycogène musculaire, ATP	Anaérobie

Tableau adapté de Hultman E, Spriet LL (1986), Skeletal muscle metabolism, contraction force and glycogen utilization during prolonged electrical stimulation in humans. J Physiol 374:493-501

Pour rappel, la glycogénogenèse permet de synthétiser du glycogène, une molécule formée de plusieurs glucoses.

En conclusion, notre corps s'adapte pour fournir l'énergie nécessaire au bon fonctionnement de nos muscles. Ainsi, le glucose, les acides gras et les acides aminés provenant des aliments sont stockés sous différentes formes dans notre organisme pour fournir de l'énergie à notre corps selon ses besoins.

Importance des muscles squelettiques :

Pour finir, nous évoquerons les différents rôles des muscles squelettiques. En plus de réguler notre métabolisme comme expliqué ci-dessus, les muscles possèdent des fonctions variées.

Tout d'abord, les muscles squelettiques nous permettent d'effectuer des activités physiques. Si on pratique régulièrement ces activités physiques, cela a des effets positifs sur notre organisme : allongement de l'espérance de vie, diminution du risque d'obésité, prévention de la plupart des maladies chroniques telles que les diabètes et les cancers mais également amélioration de la santé mentale et de la qualité de vie en général [14]. En ce qui concerne les muscles, on constate aussi un effet bénéfique de l'exercice tant au niveau de l'endurance, de la souplesse qu'au niveau de la capacité et de la masse musculaire [15].

Par contre, le manque d'activité physique peut avoir des effets négatifs en ce qui concerne tous les points mentionnés précédemment. Il est donc recommandé de pratiquer une activité physique régulière en combinant à la fois l'endurance et le renforcement musculaire [14]. Par exemple, la course améliore l'endurance donc notre capacité à maintenir un effort physique pendant une certaine durée, tandis que la musculation permet le renforcement musculaire en rendant nos muscles plus forts, plus toniques.

Dans tous les cas, il convient de tenir compte du fait que chaque personne réagit différemment lors d'efforts physiques. Il est donc nécessaire pour chacun de trouver une activité sportive qui lui convienne en tenant compte de sa santé [16].

De plus, le muscle squelettique est considéré comme plastique. La plasticité varie par exemple en réponse à l'apport en calories et en nutriments, à la maladie et au stress physique. Le muscle s'adapte, notamment pour l'entraînement en endurance. Cette plasticité se manifeste par une accumulation de tissu musculaire, des changements dans le muscle ou une dégradation du tissu musculaire. Par exemple, lorsque nous sommes malades et que nous mangeons moins, nous perdons du poids, le tissu musculaire diminue. Par contre, si nous faisons beaucoup de sport, nos muscles vont se développer et nous serons plus musclés. [17].

Enfin, le corps humain possède un véritable système qui permet de maintenir la température du corps constante (37°C) et de conserver la chaleur. Pour les grands mammifères, ce sont les muscles squelettiques qui permettent en grande partie de produire de la chaleur. Cela est possible grâce à la contraction de ces muscles lors de leur activité ou encore de manière involontaire via le mécanisme de frissonnement [18]. Un autre élément permettant le maintien de la température est la graisse. Celle-ci est présente sous la peau et sert de barrière contre la perte de chaleur. Chez les mammifères aquatiques et les animaux qui vivent dans des milieux où la température ambiante est très basse, cette graisse permet donc d'envelopper les organes et de les garder au chaud [19].

Conclusion :

Les muscles et leurs composants permettent la réalisation des mouvements, le maintien de la posture et de l'équilibre ainsi que l'exécution des fonctions utiles du corps comme la digestion, la circulation sanguine ou la thermorégulation. Il est donc important d'avoir une bonne alimentation qui fournira l'énergie requise pour le bon fonctionnement des muscles, ainsi que de pratiquer une activité physique régulière pour améliorer leur condition et diminuer le risque de maladie.

Bibliographie :

1. Hill JA, Olson EN (2012) Chapter 1 - An Introduction to Muscle. In: Hill JA, Olson EN (eds) Muscle. Academic Press, Boston/Waltham, pp 3–9
2. Delmas V, Brémond-Gignac D, Clément O, Douard R, Dupont S, Latrémouille C, Le Minor JM, Pirró N, Vacher C, Yiou R (2019) Système musculaire. In: Toute l'UE 5 Anatomie, 2nd ed. Elsevier Masson SAS, Issy-les-Moulineaux-France, pp 59–70
3. Wilmore JH, Costill DL, Kenney L (2017) Structure et fonctionnement musculaire. In: Physiologie du sport et de l'exercice. De Boeck Supérieur, pp 39–42
4. Berntson GG, Thomas Bigger Jr. J, Eckberg DL, et al (1997) Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology* 34(6):623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
5. Campbell NA (2020) La structure et la fonction chez les Animaux: principes fondamentaux. Biologie, 11e édition ERPI 989–1015
6. Cheng LK, O'Grady G, Du P, Egbuji JU, Windsor JA, Pullan AJ (2010) Gastrointestinal system. *Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med* 2(1) 65–79
7. Sanders KM (2019) Spontaneous Electrical Activity and Rhythmicity in Gastrointestinal Smooth Muscles. Springer 3–46
8. Cheng HM, Mah KK, Seluakumaran K (2020) Motility: Peristalsis, Segmentation, Haustration and Mass Movement. Springer International Publishing, Cham Volume 2: Neurophysiology and Gastrointestinal Systems.:35–37
9. Kainoa Fialkowski Revilla M, Titchenal A, Gibby C, Calabrese A (2018) 16.4: Fuel Sources. In: Human Nutrition, 1st ed. University of Hawaii Manoa
10. Thyfault JP, Bergouignan A (2020) Exercise and metabolic health: beyond skeletal muscle. *Diabetologia* 63(8):1464–1474. <https://doi.org/10.1007/s00125-020-05177-6>
11. Sirikul B, Hunter GR, Larson-Meyer DE, Desmond R, Newcomer BR (2007) Relationship between metabolic function and skeletal muscle fatigue during a 90 s maximal isometric contraction. *Appl Physiol Nutr Metab* 32(3):394–399. <https://doi.org/10.1139/H06-117>
12. Tornheim K, Ruderman NB (2010) Intermediary Metabolism of Carbohydrate, Protein, and Fat. In: Metabolic Basis of Obesity. Springer New York, New York, NY, pp 25–51
13. Hultman E, Spriet LL (1986) Skeletal muscle metabolism, contraction force and glycogen utilization during prolonged electrical stimulation in humans. *J Physiol* 374:493–501
14. Duclos M (2017) Le concept d'activité physique pour la santé. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine* 201(4):855–868. [https://doi.org/10.1016/S0001-4079\(19\)30467-4](https://doi.org/10.1016/S0001-4079(19)30467-4)
15. Costes F (2021) Effets physiologiques de l'activité physique. *Revue du Rhumatisme Monographies* 88(3):183–186. <https://doi.org/10.1016/j.monrhu.2021.01.009>
16. Carré F (2015) Actualité en cardiologie du sport : trop de sport peut-il être néfaste pour le cœur ? *La Presse Médicale* 44(7):812–820. <https://doi.org/10.1016/j.lpm.2015.07.002>
17. Argilés J, Campos N, Lopez-Pedrosa J, Rueda R, Rodriguez-Mañas L (2016) Skeletal Muscle Regulates Metabolism via Interorgan Crosstalk: Roles in Health and Disease. *Life extension (Wilton Manors, Fla)* 789–796
18. Székely M, Garai J (2018) Thermoregulation and age. *Handb Clin Neurol* 156:377–395. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00023-0>
19. Speakman JR (2018) Chapter 26 - Obesity and thermoregulation. In: Romanovsky AA (ed) *Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier, pp 431–443