

Impact de l'alimentation sur la régénération musculaire.

Eve Le Vaillant

Bachelor en Diététique et Nutrition Sportive 2^{ème} Année

Travail de recherche présenté à :

Carla DOMINGUES - Physiologie et métabolismes

Miriam FELLAG - Nutrition du sportif 2^{ème} année



EDNH - Paris

Avril 2022

Sommaire

Introduction	2
I/ La régénération musculaire	3
II/ L'impact de l'alimentation	4
III/ Le microbiote et le sommeil	5
Conclusion	6
Resume	7
Annexes	8
Myogenèse au cours de la régénération musculaire	8
Bibliographie	9

Introduction

Suite à un effort physique, les fibres subissent des microlésions. Naturellement, le corps met en place un système automatique qui permet de régénérer le muscle. C'est toutefois à nous de fournir au corps le nécessaire pour travailler. C'est pourquoi aujourd'hui nous nous intéressons, au sein de ce travail de recherche, à l'importance de l'alimentation dans ce domaine. L'objectif est de répondre à la problématique suivante :

En quoi l'alimentation peut-elle impacter la régénération musculaire ?

Dans un premier temps, le processus de régénération musculaire est explicité. Par la suite, l'essentiel de macro et micronutriments nécessaires à ce processus est étudié et leurs sources alimentaires sont citées. Enfin, le lien entre microbiote, sommeil et régénération musculaire est exploré.

I/ La régénération musculaire

En biologie, la régénération est définie comme le : “mécanisme de reconstitution d'un tissu ou d'un organe détruit naturellement ou accidentellement; résultat de ce mécanisme.”

⁽¹⁾ Lors d'un effort physique, il est tout naturel de voir le muscle squelettique s'altérer. Suite à cela, les cellules immunitaires et musculaires travaillent en symbiose pour reconstruire le muscle. Cela se passe en 4 étapes: la nécrose, l'inflammation, l'activation et différenciation des cellules puis la maturation ⁽²⁾.

Les **macrophages pro-inflammatoires** s'activent lorsqu'ils détectent les débris générés par la nécrose. Ils détruisent ces débris par phagocytose pour laisser un terrain propre pour la réparation.

Ils sécrètent des **cytokines pro-inflammatoires**, tels que les TNF-alpha (Tumor Necrosis Factor) ou des interleukines (IL-1 beta). Les vaisseaux sanguins réceptionnent ces sécrétions via leurs récepteurs et déclenchent à leur tour une plus grande perméabilité vasculaire en augmentant la taille des jonctions entre les cellules endothéliales ⁽³⁾.

Les **neutrophiles**, sécrétés par les motoneurons, viennent assister les macrophages pro-inflammatoires dans leur mission, attirés par leurs cytokines CXCL. Les monocytes (globules blancs) vont eux aussi être attirés par ces cytokines. Ils se différencient (se transforment) en cellules dendritiques ou d'autres macrophages.

Les macrophages sécrètent aussi les cytokines IL-6, qui permettent de réchauffer localement le corps, pour le plus grand plaisir des cellules immunitaires qui aiment travailler avec une température élevée, contrairement aux éléments pathogènes et les bactéries.

Les macrophages pro-inflammatoires activent via la sécrétion de cytokines CCL4, IFN-γ, IL-6, TNF-alpha (aussi par les neutrophiles), les cellules souches, aussi appelées cellules satellites. Les **cellules satellites activées prolifèrent** et sécrètent en autocrine des facteurs de croissance, ce qui contrôle leur mobilisation et amène au renouvellement des cellules satellites quiescentes et la régénération des myoblastes.

Enfin, les macrophages pro-inflammatoires (M1) sont convertis en **macrophages anti-inflammatoires** (M2) qui favorise la différenciation des cellules satellites et conduit à la formation et réparation des myofibrilles ^(annexe 0).

Ainsi est déclenchée la **myogenèse et l'angiogenèse**, deux processus qui fonctionnent en symbiose ⁽⁴⁾. La myogenèse permet la création de nouvelles fibres musculaires ^(annexe 1) tandis que l'angiogenèse répare la vascularisation en mettant en place de nouvelles cellules endothéliales. Ces dernières mobilisent les cellules satellites et synthétisent des facteurs de croissance (IGF et HGF) ⁽⁵⁾.

C'est l'heure de la maturation, : les **myoblastes** se dirigent vers le site de lésion puis ont deux possibilités : soit ils fusionnent entre eux et créent une nouvelle fibre (**hyperplasie**, augmentation du nombre de fibres), soit ils fusionnent avec la fibre musculaire déjà présente et lésée (**hypertrophie** des fibres musculaires) ^(annexe 2). Aujourd'hui, l'idée que l'entraînement physique chez l'adulte puisse entraîner de l'hyperplasie est sujet à débat ⁽⁶⁾.

Toutefois, pour que tout ce système se mette en place et que chaque élément fonctionne correctement, le corps a besoin de matière première, de carburant pour optimiser son travail. C'est ce que nous aborderons dans la deuxième partie.

II/ L'impact de l'alimentation

Tout d'abord, il est indispensable d'évoquer la **dénutrition** ⁽⁷⁾. Un bon **apport énergétique**, respectant les besoins journaliers de chaque individu est indispensable pour une bonne régénération musculaire. À contrario, un excès de nutriments menant au surpoids ou à l'**obésité** peut amener à des dysfonctionnements métaboliques et compromettre la récupération ⁽⁸⁾. Aussi, le **rapport protéines/calories** ou dégradation/apport doit être équilibré (dégradation < apports) ⁽⁹⁾.

Au sujet des **protéines**, l'alimentation apporte 8 **acides aminés essentiels** que notre corps ne sécrète pas lui-même ^(annexe 3). La qualité des protéines ingérées est indispensable pour améliorer la réponse immunitaire face à la régénération musculaire. Il faut d'ailleurs surveiller les facteurs limitants lors de régimes végétariens/végétaliens.

Les protéines se trouvent principalement dans les produits animaliers (viande, poisson, œufs [VPO], produits laitiers) ou le quinoa, les graines, le soja etc...

La **protéine de morue**, de par sa teneur élevée en arginine, glycine, taurine et lysine, accélère la transformation des M1 en M2 et a démontré sa capacité à optimiser la réparation musculaire ⁽¹⁰⁾.

La **leucine** est l'acide aminé le plus reconnu pour la régénération musculaire ⁽¹¹⁾, notamment parce qu'elle est à l'origine des biglycane qui favorisent l'anabolisme musculaire ⁽¹²⁾. Elle limite le développement de la fibrose, empêche, lors de la régénération du muscle, d'altérer la fonction musculaire, augmente la quantité de chaînes lourdes de myosine (type II) et optimise l'activation de mTor (rapamycine), acteur de l'anabolisme musculaire ⁽¹³⁾. On la trouve dans les aliments riches en protéines, tels que les VPO, produits laitiers ou encore la spiruline et la Whey.

Les **glucides** ont un effet anabolisant puissant sur les protéines membranaires. De plus, ils permettent une bonne élimination de l'azote dans les urines par la formation d'alanine et glutamine (ammoniac dû à la dégradation de protéines, toxique pour le corps). Mais surtout, ils permettent la stimulation de l'**insuline** qui, elle, exerce un effet anabolique puissant sur les protéines musculaires ⁽¹⁴⁾ et inhibe la lipolyse ⁽¹⁵⁾ via son facteur de croissance (IGF-1 qui active mTORC1) ⁽¹⁶⁾⁽¹⁷⁾.

Les acides gras polyinsaturés n-3 (**oméga 3**) à longues chaînes (DHA, EPA) sont utilisés pour l'homéostasie tissulaire ⁽¹⁸⁾ et l'autophagie ⁽¹⁹⁾. Ils ont une forte action anti-inflammatoire ⁽²⁰⁾, permettent la sécrétion de cytokines et inhibent la protéolyse donc favorisent l'anabolisme ⁽²¹⁾. L'EPA augmente la fusion myogénique et protège notre organisme du vieillissement cellulaire ⁽²²⁾. La DHA quant à lui, s'avère favoriser l'anabolisme et inhiber la protéolyse ⁽²³⁾. Dans l'alimentation, on les trouve dans l'huile de foie de morue, les poissons gras et certaines huiles végétales crues (colza, noix...).

Les **oméga 6** quant à eux sont plutôt pro-inflammatoires et contrebalancent les effets des oméga 3 ⁽²⁴⁾. Ils passent par des étapes anti-inflammatoires avant d'aboutir à leur forme finale ⁽²⁵⁾. Ils accélèrent la phase d'inflammation et réduisent les M1. On retrouve les oméga 6 dans les céréales, graines et huiles (tournesol, soja...)

Les acides aminés sont essentiels à la formation des **hormones**. Et les hormones sont essentielles à la régénération musculaire. C'est le cas de mTor ou de la **GH** (hormone de croissance, 191 acides aminés) qui participe à la synthèse protéique et aux acides nucléiques des muscles ainsi que à la cicatrisation lors d'accidents musculaires ⁽²⁶⁾ ⁽²⁷⁾. Comme vu précédemment, leur source est principalement d'origine animale.

La **testostérone**, hormone stéroïdienne, agit elle aussi sur la croissance musculaire ⁽¹⁵⁾ ⁽²⁸⁾ ⁽²⁹⁾. Elle peut être stimulée par l'ingestion de zinc ⁽³⁰⁾ ou vitamine D ⁽³¹⁾ et même de fenugrec ⁽³²⁾ et surtout en évitant l'alcool ⁽³³⁾. On trouve du zinc dans les huîtres, les abats, les produits complets ou encore les œufs.

La **vitamine D** semble améliorer la migration des cellules musculaires et surtout dynamiser la fusion des myotubes, la différenciation et l'hypertrophie des myoblastes ⁽³⁴⁾ ⁽³⁵⁾. De plus, elle intervient dans le système immunitaire et elle permet la fixation du calcium ⁽³⁶⁾. Les lipides sont indispensables pour l'assimilation des vitamines liposolubles dont fait partie la vitamine D (ADEK). Nos sources de vitamine D se situent principalement dans les poissons gras et le soleil.

Les aliments riches en **antioxydants** (polyphénols, zinc, flavonoïdes, vitamines A, C, E) sont généralement recommandés. Les antioxydants permettent de maîtriser les radicaux libres qui poussent à l'apoptose des cellules environnantes et donc aux microlésions ⁽³⁷⁾. Les polyphénols ont été étudiés de plus près, démontrant leurs effets positifs sur la régénération des fibres musculaires via l'amélioration de la réponse inflammatoire ⁽³⁸⁾.

Le zinc ne doit pas être ingéré avec du cuivre ou du fer pour éviter l'inhibition de ses effets. On retrouve ces antioxydants dans: les fruits rouges, graines oléagineuses, thé, chocolat noir, beurre, abats et huîtres...

Enfin, l'**hydratation** permet l'élimination des toxines, l'homéostasie, la bonne circulation sanguine et même, dans certains cas, de compléter les apports en minéraux (eaux minérales en bouteilles).

III/ Le microbiote et le sommeil

Le microbiote intestinal a une réputation bien bâtie, il est connu pour être le deuxième cerveau de notre corps et à juste titre.

C'est au niveau de la flore intestinale que de très nombreux nutriments sont assimilés. Cela est indispensable au bon fonctionnement du corps, **régénération musculaire incluse** ⁽³⁹⁾. Les intestins permettent aussi de limiter le passage de mauvaises bactéries dans le corps grâce à sa perméabilité.

Mais c'est aussi l'endroit où bon nombres des **neurotransmetteurs** sont sécrétés, par exemple la sérotonine (hormone du bien être) à 95%. C'est pourquoi, une **dysbiose** peut entraîner des insuffisances en neurotransmetteurs via des **carences** en micronutriments, oligo-éléments et en oméga 3.

Pour assurer un bon équilibre du microbiote, la **mastication** est la première étape à respecter. La deuxième est de manger suffisamment de **prébiotiques** (fibres [artichauts, choux], ferments [yaourt, kimchi...]) pour nourrir la flore et améliorer l'assimilation des minéraux perdus lors des efforts physiques (calcium, magnésium, fer, zinc...). Enfin, il faut **éviter la surconsommation de produits irritants** (oeufs en grande quantité [souffre], produits raffinés et très sucrés...). En cas de gênes chroniques, la supplémentation en **probiotiques** pour repeupler la flore est une piste à explorer.

Le **sommeil** est un facteur essentiel pour la récupération ⁽⁴⁰⁾. Sans lui, des troubles de la mémoire ⁽⁴¹⁾, de l'humeur et des **réponses immunitaires** s'installent, ainsi que des risques de diabète de type 2 (résistance à l'insuline) et d'**excès de poids** (trop de ghréline, hormone de la sensation de faim).

Le sommeil est régulé grâce à des neurotransmetteurs ⁽⁴²⁾. C'est eux, qui nous permettent d'être dans un état serein (sérotonine, pic de production à 16h), d'entrer dans un sommeil profond (mélatonine, pic à 3h du matin) ou encore nous font ressentir que c'est l'heure de se lever (dopamine, pic vers 8h du matin et adrénaline, pic vers 11h du matin).

Manger en fonction de ces neurotransmetteurs permet de leur donner la matière première nécessaire, les précurseurs, à leur fonction primaire.

A chaque carence sa solution. Lorsque l'on **manque de sérotonine**, on observe des difficultés à s'endormir, des migraines, des addictions compensatoires ou des envies incontrôlables de sucré en fin de journée. On peut alors améliorer sa façon de consommer du **tryptophane**, précurseur de sérotonine. Tout d'abord en mangeant des aliments riches en hydrates de carbone et sélénium (fruits de mer, poissons, champignons, abats) en fin de journée. Ensuite, on optimise l'assimilation via de la vitamine B3 ou B6, du magnésium, du fer ou du zinc. Enfin, on évite de consommer de la tyrosine ou de la phénylalanine en même temps car ils sont en compétition pour les transporteurs. La **sérotonine est le précurseur de la mélatonine**, sa carence induit celle de la mélatonine ⁽⁴³⁾.

La **dopamine et l'adrénaline**, qui ensemble permettent d'assurer un sommeil réparateur, d'être motivé pour se lever et d'être dynamique, dépendent quant à elles de la tyrosine. On en trouve dans la banane, le chocolat, les légumineuses, les viandes, poissons et produits de la mer ou encore produits laitiers. De préférence, il faut coupler la tyrosine aux vitamines B6, B9 et B12 et en consommer dans la matinée ⁽³⁹⁾.

Conclusion

Finalement, nous pouvons déduire que le corps ne peut fonctionner en autarcie et dépend d'éléments extrinsèques. Nous avons besoin de lui apporter, pour une bonne régénération musculaire, de la matière première aussi bien pour le système immunitaire que pour les muscles. L'impact de l'alimentation se joue au niveau de l'équilibre énergétique, des protéines (acides aminés essentiels et particulièrement la leucine), des glucides (qui impactent notamment l'insuline), des lipides (oméga 3 et oméga 6 en première ligne), d'antioxydants et d'une bonne hydratation. Nous avons aussi abordé le sujet des hormones (GH, mTor, testostérone ou encore vitamine D), qui régulent la régénération musculaire et qui sont directement impactées par notre alimentation.

Enfin, nous avons constaté le lien entre la régénération musculaire, le microbiote et le sommeil et exploré l'impact de l'alimentation sur ces derniers.

Ainsi, on en conclut que l'alimentation impacte directement la qualité de notre régénération musculaire.

Suite à mes recherches, j'en ai déduit que de nombreuses pistes restent à explorer scientifiquement. Certains articles laissaient perplexe, comme toutes expériences menées sur des souris mais pas encore sur des humains. De nombreux facteurs, comme le moment propice pour consommer certains aliments afin d'optimiser la récupération, restent souvent dans le flou.

Pourtant le marketing de la sphère sportive s'empresse de s'emparer de ces études pour vendre toujours plus de produits et de stratégie de régimes.

Finalement, une question me taraude toujours: comment peut-on prendre en charge un sportif qui travaille de nuit ou qui a de gros problèmes d'insomnies, au vu de l'impact qu'à l'horloge biologique sur la régénération musculaire ?

Resume

Finally, we can deduce that the body cannot function in autarky and depends on extrinsic elements. We need to bring it, for good muscle regeneration, raw material for both the immune system and the muscles. The impact of nutrition is played out in terms of energy balance, proteins (essential amino acids and especially leucine), carbohydrates (which impact insulin in particular), lipids (omega 3 and omega 6 on the front line), antioxidants and good hydration. We also discussed hormones (GH, mTor, testosterone or vitamin D), which regulate muscle regeneration and are directly impacted by our diet.

Finally, we found the link between muscle regeneration, microbiota and sleep and explored the impact of diet on sleep.

Thus, we conclude that diet directly impacts the quality of our muscle regeneration.

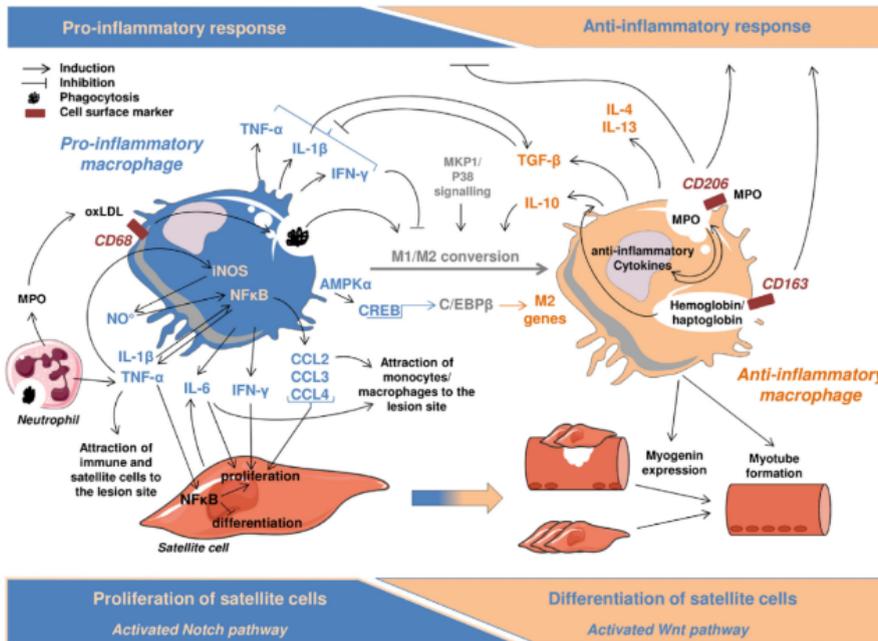
Following my research, I deduced that many avenues remain to be explored scientifically. Some articles were perplexing, as were all experiments on mice but not yet on humans. Many factors, such as when to consume certain foods to optimize recovery, often remain unclear.

Yet the marketing of the sports sphere hastens to use these studies to sell more and more products and diet strategy.

Finally, one question always bothers me: how can one take charge of a sportsman who works at night or who has big problems of insomnia, in view of the impact that the biological clock has on muscle regeneration?

Annexes

Annexe 0:

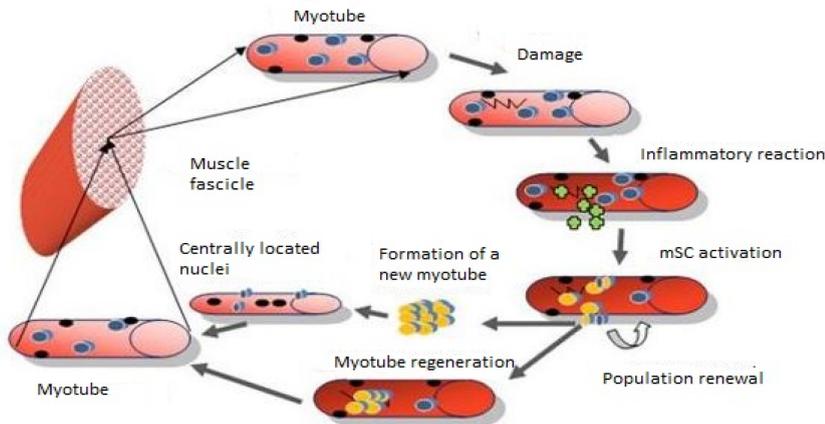


Interaction entre les macrophages, les neutrophiles et les cellules satellites lors de la régénération du muscle squelettique.

Source : Skeletal muscle regeneration and impact of aging and nutrition, PubMed, 2015

Annexe 1 :

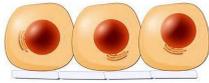
Myogénèse au cours de la régénération musculaire



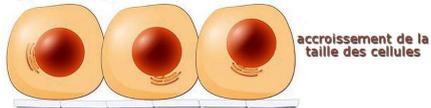
Annexe 2 :

Schéma représentation de l'hypertrophie et de l'hyperplasie.

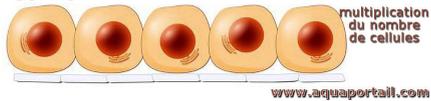
cellule saine



hypertrophie



hyperplasie



www.aquaportail.com

Annexe 3 :

les 8 acides aminés essentiels et leurs sources alimentaires

Les 8 acides aminés essentiels (pour l'adulte)

	Leucine	Isoleucine	Valine	Phénylalanine	Thréonine	Méthionine	Lysine	Tryptophane
Oeufs	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Volaille	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Viande rouge	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Poisson	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Fromage	✓		✓	✓	✓	✓		✓
Soja	✓	✓	✓	✓			✓	
Céréales (blé, riz, maïs)		✓				✓	✓	✓
Légumineuses (haricots, lentilles)		✓	✓	✓		✓	✓	
Fruits à coque (amande, noix)		✓		✓				✓

Bibliographie

- (1) *RÉGÉNÉRATION : Définition de RÉGÉNÉRATION.* (2012). Ortolang. <https://www.cnrtl.fr/definition/r%C3%A9g%C3%A9n%C3%A9ration>
- (2) *Skeletal muscle regeneration and impact of aging and nutrition.* (2015). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26690801/>
- (3) *Macrophages cytokines local effects.* (2017, août 29). YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=VM42rq7QGxM>
- (4) *Régénération musculaire : le couplage entre myogenèse et angiogenèse est stimulé par les macrophages.* (2017, 30 novembre). INSB. <https://www.insb.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/regeneration-musculaire-le-couplage-entre-myogenese-et-angiogenese-est-stimule-par-les>
- (5) *Enseignement d'Histologie Humaine, Pr Serge Nataf - Tissu Musculaire Strié.* (s. d.). Histoblog. <http://histoblog.viabloga.com/texts/tissu-musculaire-strie>
- (6) Bruchard, A. (2020). *Identification des adaptations structurelles qui sont à l'origine de la croissance des muscles squelettiques induite par les charges mécaniques.* KINESPORT : Formations continues en kinésithérapie du sport et thérapie manuelle. https://www.wmaker.net/kinesport/Identification-des-adaptations-structurelles-qui-sont-a-l-origine-de-la-croissance-des-muscles-squelettiques-induite-par_a5318.html
- (7) *Hospital malnutrition : prevalence, identification and impact on patients and the healthcare system.* (2011). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21556200/>
- (8) Akhmedov, D. (2013). *The effects of obesity on skeletal muscle regeneration.* Frontiers. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2013.00371/full>
- (9) *ASPECTS PHYSIOLOGIQUES DE LA RECUPERATION.* (2015). Charles-Yannick Guezennec. <https://essonne.franceolympique.com/essonne/fichiers/File/larecuperation.pdf>
- (10) *Effect of a cod protein hydrolysate on postprandial glucose metabolism in healthy subjects : a double-blind cross-over trial.* (2019). PubMed. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6277920/>
- (11) Pereira, M. G. (2014, 8 janvier). *Leucine Supplementation Improves Skeletal Muscle Regeneration after Cryolesion in Rats.* PLOS ONE. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0085283>
- (12) *Transient up-regulation of biglycan during skeletal muscle regeneration : delayed fiber growth along with decorin increase in biglycan-deficient mice.* (2004, 15 avril). ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012160604000223>

- (13) *The mTOR pathway in the control of protein synthesis.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16990457/>
- (14) *Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11350780/>
- (15) *Exercise, protein metabolism, and muscle growth.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11255140/>
- (16) *The role of hormones in muscle hypertrophy.* (s. d.). Taylor & Francis. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00913847.2018.1406778?journalCode=ipsm20>
- (17) *mTOR as a Key Regulator in Maintaining Skeletal Muscle Mass.* (2017). National Library of Medicine. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5650960/>
- (18) *Omega-3 fatty acid-derived mediators that control inflammation and tissue homeostasis.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30772915/>
- (19) Williams-Bey, Y. (2014, 9 juin). *Omega-3 Free Fatty Acids Suppress Macrophage Inflammasome Activation by Inhibiting NF- κ B Activation and Enhancing Autophagy.* PLOS ONE. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0097957>
- (20) Vidé, J. (2017). *Effets potentiels et mécanismes d'action antioxydant et anti-inflammatoire d'un apport nutritionnel de spirulines enrichies en silicium.* https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01629826/file/43594_VIDE_2015_archivage_cor.pdf
- (21) Perdiguero, E. (2011, 17 octobre). *p38/MKP-1–regulated AKT coordinates macrophage transitions and resolution of inflammation during tissue repair | Journal of Cell Biology | Rockefeller University Press.* Journal of Cell Biology. <https://rupress.org/jcb/article/195/2/307/36641/p38-MKP-1-regulated-AKT-coordinates-macrophage>
- (22) Power and the objectification of social targets. (2008). *Journal of Personality and Social Psychology.*
- (23) F. (s. d.). *FlyBase Reference Report : Morton et al., 2008, J. Exp. Biol. 211(10) : 1645--1656.* FlyBase. <http://flybase.org/reports/FBrf0204697.html>
- (24) *Omega-6 fatty acids and inflammation.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29610056/>
- (25) Conférence tenue à l'EDNH lors du salon de la nutrition en mars 2022, par Holonage.
- (26) *Action of GH on skeletal muscle function : molecular and metabolic mechanisms.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24163428/>
- (27) *Skeletal muscle repair in a rat muscle injury model : the role of growth hormone (GH) injection.* (s. d.). PubMed. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32894561/>

(15) *Exercise, protein metabolism, and muscle growth.* (s. d.-b). PubMed.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11255140/>

(28) *Testosterone action on skeletal muscle : Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care.* (s. d.). LWW.
https://journals.lww.com/co-clinicalnutrition/Abstract/2004/05000/Testosterone_action_on_skeletal_muscle.6.aspx

(29) *Alcohol consumption and hormonal alterations related to muscle hypertrophy : a review.* (2014). National Library of Medicine.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4056249/>

(30) *Zinc status and serum testosterone levels of healthy adults.* (1996, 1 mai). ScienceDirect.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089990079680058X?via%3Dihub>

(31) *Effect of Vitamin D Supplementation on Testosterone Levels in Men.* (s. d.). Thieme.
<https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/abstract/10.1055/s-0030-1269854>

(32) *Effect of fenugreek extract supplement on testosterone levels in male : A meta-analysis of clinical trials.* (2020). Wiley Online Library.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ptr.6627>

(33) Mendelson, J. H. (1977, 1 septembre). *Effects of acute alcohol intake on pituitary-gonadal hormones in normal human males.* Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics. <https://jpet.aspetjournals.org/content/202/3/676.long>

(34) Daniel J. Owens, Adam P. Sharples, Ioanna Polydorou, Nura Alwan, Timothy Donovan, Jonathan Tang, William D. Fraser, Robert G. Cooper, James P. Morton, Claire Stewart, And Graeme L. Close. (2015, 15 décembre). *A systems-based investigation into vitamin D and skeletal muscle repair, regeneration, and hypertrophy.* Journal Physiology. https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpendo.00375.2015?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org

(35) Stéphane, V. M. W. (2014b, décembre 15). *Evaluation de l'action régulatrice de la vitamine D sur le dialogue entre cellules immunitaires et musculaires : implication dans la capacité de régénération du muscle squelettique au cours de la sarcopénie.* <http://www.theses.fr/>. <http://www.theses.fr/2014CLF1PP06>

(36) livre alimentation nutrition et régime, collection diététique et nutrition, 2017

(37) Inserm. (2008). *Activité physique et fonctions physiologiques.* Ipubli Inserm. https://www.ipubli.inserm.fr/bitstream/handle/10608/97/Chapitre_10.html

(38) Kathryn H Myburgh. (2014, mai). *Polyphenol Supplementation : Benefits for Exercise Performance or Oxidative Stress?* https://www.researchgate.net/publication/267032307_Polyphenol_Supplementation_Benefits_for_Exercise_Performance_or_Oxidative_Stress

(39) Manetta, J. (2020). *MICRONUTRITION ET NUTRITHÉRAPIE* (2ème éd.). SPARTE.

(40) *Sleep-Related Issues for Recovery and Performance in Athletes*. (s. d.). PubMed.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29651858/>

(41) *About Sleep's Role in Memory*. (s. d.). Pubmed.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3768102/>

(42) *Basic sleep mechanisms : an integrative review*. (s. d.). PubMed.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22524274/>

(43) Billiard M., Dauvilliers Y. (2012). *Les troubles du sommeil* (p. 544). Elsevier Masson Paris.