



DOSSIER NUTRITION: MISE À JOUR SUR LA SANTÉ MUSCULAIRE

Le rôle du lait et des produits laitiers dans la santé musculaire

Ulrike Gonder, Dipl. oec. troph.
Taunusblick 21, D-65510 Hünstetten
mail@ugonder.de

Berne, novembre 2025

swiss**milk**

Sous un muscle sain se trouve un os sain. Si cette affirmation correspond à une certaine vérité, la réalité est plus complexe. Certes, une bonne musculature squelettique constitue un complément idéal et un stimulant pour une ossature saine, toutes deux assurant mobilité, stabilité et équilibre. En plus de cela, des muscles en bonne santé contribuent, que ce soit de manière directe ou indirecte, à la santé de l'ensemble de l'organisme, et ce à chaque étape de la vie. En effet, une bonne musculature protège du surpoids et du diabète, envoie des signaux de croissance aux cellules nerveuses et à celles de la mémoire, et améliorent l'humeur. Mais quel est donc le rapport avec le lait et les produits laitiers? Leurs protéines, ainsi que d'autres de leurs composants, constituent l'un des meilleurs nutriments et messagers chimiques pour la santé des muscles.



Table des matières

4	La santé sous l'angle des muscles
5	L'importance des muscles à chaque étape de la vie
5	Muscles squelettiques: des stries transversales pour une santé à long terme
7	Puits de glucose et fabrique de signaux
8	Sarcopénie
9	Âge et résistance anabolique
11	Les protéines, les nutriments les plus importants pour la formation et l'entretien du tissu musculaire, entre autres
13	Protéines lactiques
15	<i>Le calcium, le phosphate, la vitamine D et le magnésium protègent eux aussi les muscles</i>
16	Recommandations en matière de protéines
17	État de la recherche sur le lait, les produits laitiers et la santé musculaire
17	Statu quo: les aliments d'origine animale constituent une meilleure source de protéines
17	Nouvel éclairage: les protéines végétales sont-elles équivalentes?
20	Personnes âgées: plus de protéines ou plus de produits laitiers?
22	Effets de matrice
22	<i>Produits laitiers versus poudres protéinées</i>
22	<i>Différences entre les produits laitiers</i>
24	Un bon timing fait-il vraiment toute la différence?
26	<i>Le lait et les produits laitiers s'inscrivent dans un mode d'alimentation bénéfique pour les muscles</i>
28	Résumé
28	Perspectives
30	Bibliographie et répertoire des sources

Impressum

© Swissmilk 2025

Éditeur: Producteurs Suisses de Lait PSL, Swissmilk, Berne

Responsable de projet: Susann Wittenberg, Oecotrophologin BSc en écotrophologie, Swissmilk

Traduction: Trait d'Union, Berne

Graphisme: Stefan Aebi, Grafik & Illustration, Stettlen

La santé sous l'angle des muscles

Pendant longtemps, il était mal vu de faire de la musculation. Qui voulait ressembler à Arnold Schwarzenegger ou avoir de la peine à courir à cause de tant de muscles? C'est surtout de la part de femmes que les entraîneurs·euses des salles de sport entendent aujourd'hui encore des réserves lorsqu'il s'agit d'établir un programme de musculation favorisant le développement musculaire. Pourtant, la science est plus que jamais unanime au sujet des muscles: il est bon d'en avoir suffisamment et de les utiliser régulièrement, quel que soit son âge. En effet, les muscles en activité envoient des stimuli de croissance aux os qui se trouvent en dessous d'eux et les stabilisent, ce qui en fait un élément important de la prophylaxie et du traitement de l'ostéoporose, mais pas seulement!

Certains ouvrages récents présentent une toute nouvelle vision des muscles, de leurs fonctions et de leur rôle dans le corps. En témoignent les titres d'ouvrages tels que «Muskeln – die Gesundheitsmacher» (Les muscles, alliés de la santé) (1), «Forever Strong» (Rester fort·e) (2) et des sous-titres comme «Gesundheit aus Sicht der Muskeln» (La santé du point de vue des muscles) (3). Les auteurs·trices y développent ce que la science a découvert ces dernières années: des muscles sains, pour autant qu'ils soient développés et utilisés, contribuent de diverses manières à la santé de l'ensemble du corps et à un vieillissement en bonne santé. En bref, ils contribuent à la prophylaxie et au traitement de nombreuses maladies qui frappent les sociétés «modernes». Dans «Forever Strong», la médecin et auteure américaine Gabrielle Lyon emploie une jolie formule:

En ciblant vos muscles pour améliorer votre santé, votre motivation peut se concentrer sur ce que vous avez à gagner (et non sur ce que vous devriez perdre).

Pour stimuler la prise de muscle, il faut de l'énergie, le bon mélange d'hormones et d'autres substances messagères, des exercices physiques appropriés, et bien sûr suffisamment d'éléments nutritifs. Il en va de même pour le maintien, si possible tout au long de la vie, d'une bonne musculature. En effet, comme les os et la plupart des autres tissus de notre corps, la masse musculaire se forme, se transforme et se dégrade en permanence. Si nous ne voulons pas en perdre (trop) avec l'âge et pouvoir en profiter toute notre vie, nous devons veiller à ce que sa dégradation ne prenne pas le dessus sur sa formation et sa transformation.

Dans cette optique, l'alimentation joue un rôle prépondérant, en particulier les protéines et leurs acides aminés. La science a fait de nouvelles découvertes passionnantes à ce sujet, par exemple en ce qui concerne les quantités nécessaires et les moments de la journée où leur consommation est la plus bénéfique. Certains acides aminés, comme la leucine, un acide aminé à chaîne ramifiée, sont utilisés comme matière première et substances messagères par les muscles. En ce qui concerne le choix des aliments pour favoriser une musculature saine, le mieux est de disposer des acides aminés adéquats, non seulement en quantité suffisante et bien digestibles, mais aussi dans une combinaison optimale. Tout au long de la vie, le lait et les produits laitiers ont de nombreux atouts à faire valoir à plusieurs niveaux en matière de santé musculaire. De quelle manière et pour quelles raisons, c'est ce que nous allons développer ci-après. Ce dossier étant une mise à jour, il portera en premier lieu sur les aspects et les études les plus récentes sur le sujet.

L'importance des muscles à chaque étape de la vie

Le corps humain possède plus de 600 muscles, dont la plus grande partie (environ 400) forme la **musculature squelettique**, qui se trouve au cœur de ce dossier.* Les muscles rendent notre corps mobile et stable, ils nous permettent de respirer et nous maintiennent en équilibre. Ils disposent en outre d'une **grande capacité d'adaptation aux stimuli d'entraînement, et ce à tout âge** (4).

Muscles squelettiques: des stries transversales pour une santé à long terme

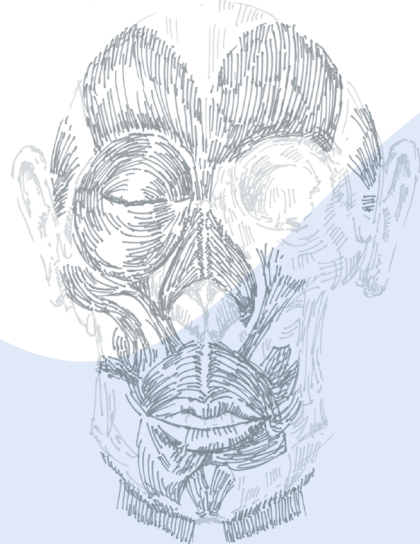
Les muscles sont composés de près de 80 % d'eau et de 20 % de **protéines**, dont l'importance est déjà évidente ici. Les muscles squelettiques représentent en moyenne 40 à 45 % de la masse corporelle, ce qui correspond à 24 à 27 kg chez une personne de 60 kg et à 32 à 36 kg chez une personne de 80 kg.

Des muscles pour un poids adapté

Au repos, un kilo de tissu musculaire consomme environ 15 kcal par jour, un kilo de tissu adipeux seulement 3 kcal. Pour 25 kg de muscles, cela correspond à 375 kcal, et pour 35 kg, ce sont 525 kcal qui sont utilisées par le **métabolisme au repos** (5). Pour une composition corporelle «normale», comprenant environ 33 % (femmes) à 44 % (hommes) de muscles, ceux-ci consomment donc au repos une part aussi importante de calories (environ 20 à 26 %) que le cerveau et le foie. Le tissu adipeux, avec une proportion d'environ 37 % chez les femmes et 20 % chez les hommes, ne représente quant à lui que 8 % et 4 % respectivement du métabolisme au repos. Cette comparaison montre pourquoi une proportion élevée de muscles aide à **maintenir un poids adapté** ou à ne pas en prendre trop facilement.

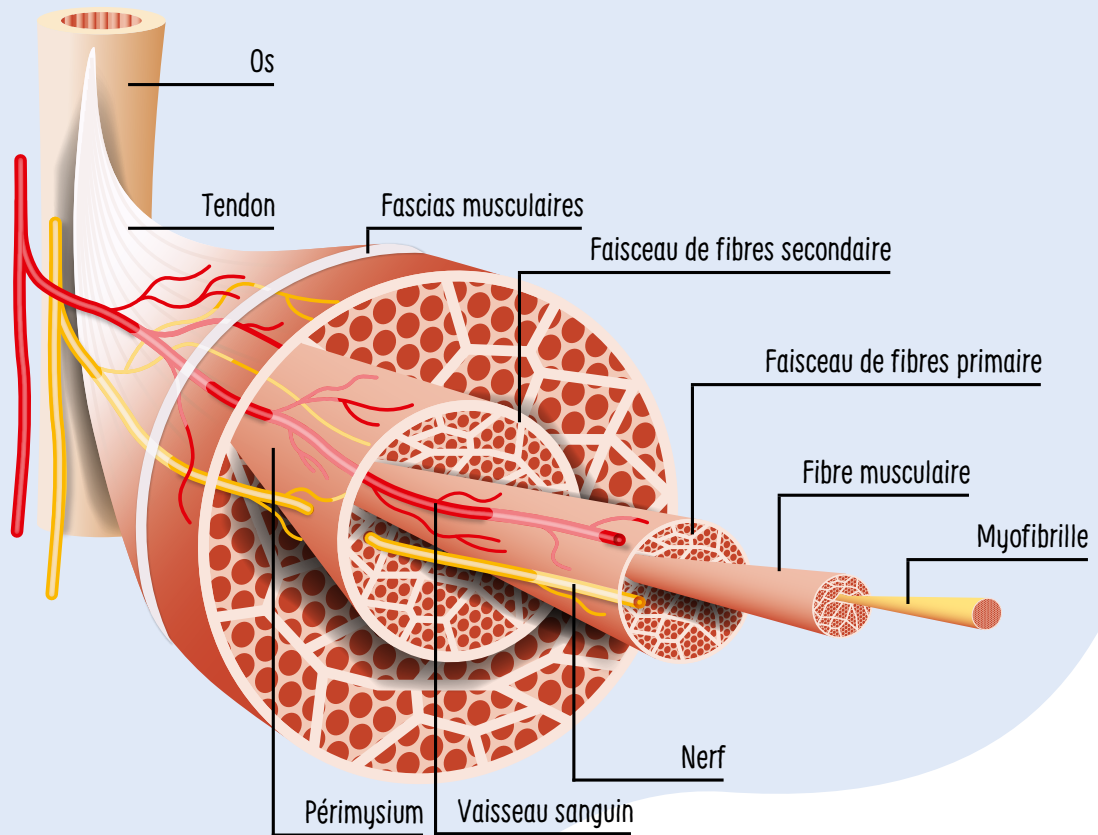
Outre la musculature squelettique pouvant être activée volontairement, nous disposons également du **muscle cardiaque**, de la musculature respiratoire et du diaphragme, ainsi que de la musculature des systèmes digestif, urogénital et sanguin. Celle-ci fait partie de ce que l'on appelle la **musculature lisse**, qui est innervée par le système végétatif. Elle est contrôlée de manière autonome (non consciente) et se contracte de manière involontaire. Le muscle cardiaque se contracte lui aussi de manière non volontaire, mais en raison de l'aspect de ses fibres, il fait partie de la **musculature striée**, comme les muscles squelettiques. Le graphique suivant donne un aperçu schématique de la structure de la musculature squelettique: on reconnaît les bandes transversales, résultant de la composition et de la disposition des fibrilles de myosine et d'actine dans les fibres musculaires.

La composition des fibres musculaires peut varier, ce qui a un impact sur leurs fonctions. Les fibres «blanches» se contractent rapidement, privilégient l'énergie glycolytique produite à partir du glucose, et se fatiguent rapidement. Elles sont appelées fibres de **type II** (à contraction rapide) et sont destinées aux exercices de musculation. En revanche, les fibres «rouges» de **type I** se contractent lentement (à contraction lente) et privilégient l'énergie produite par oxydation à partir des acides gras. Elles ne se fatiguent que lentement et sont donc prédisposées aux exercices d'endurance. Ces deux types de fibres musculaires se retrouvent chez les deux sexes, mais les femmes ont tendance à avoir plus de fibres lentes de type I, qui brûlent également mieux les graisses, et les hommes plus de fibres rapides de type II (6).



* Sauf mention contraire, le terme «muscles» utilisé ci-après désigne uniquement les muscles squelettiques.

Structure schématique des muscles squelettiques

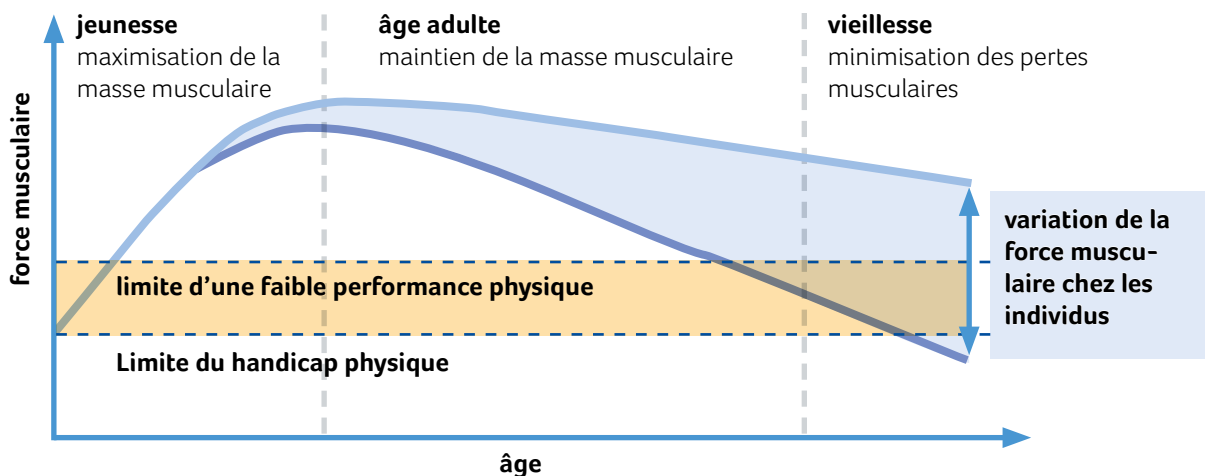


Source: <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-sind-muskeln-aufgebaut-und-wie-funktionieren-sie.html>

La **force musculaire** est déterminée par la masse musculaire et sa qualité. En principe, ces deux éléments peuvent être développés à tout âge, même si cela devient plus difficile après 75 ans (7, 8). Pendant l'enfance et l'adolescence, lorsque l'ensemble de l'organisme est en pleine croissance, les muscles sont également soumis à d'importantes influences hormonales: l'hormone de croissance sécrétée pendant le sommeil, qui assure les cascades de signaux

correspondants, et la testostérone à la puberté. Dans cette phase de vie anabolique, les muscles réagissent avec une sensibilité maximale à l'exercice et aux protéines. Par conséquent, les enfants et les adolescents ont besoin de beaucoup moins de protéines par repas (par exemple 10 à 15 g) pour stimuler la synthèse protéique musculaire (9). Pour les adultes et surtout les personnes âgées, de telles quantités sont loin d'être suffisantes.

Schéma de la force musculaire au cours de la vie



Source: modifié d'après Cruz-Jentoft, AJ et al.: Age Ageing 2019; 48: 16–31

Pour conserver une masse musculaire suffisante et fonctionnelle jusqu'à un âge avancé, l'idéal est de la développer le plus possible au cours de la jeunesse, de la conserver au mieux au cours de la vie adulte et de limiter au maximum les pertes avec l'âge. Plus on vieillit, plus il est important d'avoir un apport suffisant en protéines de qualité, en plus de l'activité physique. Le graphique ci-dessus montre de manière schématique les évolutions possibles et la façon dont une bonne musculature peut prévenir la diminution de la condition physique ou le handicap (10).

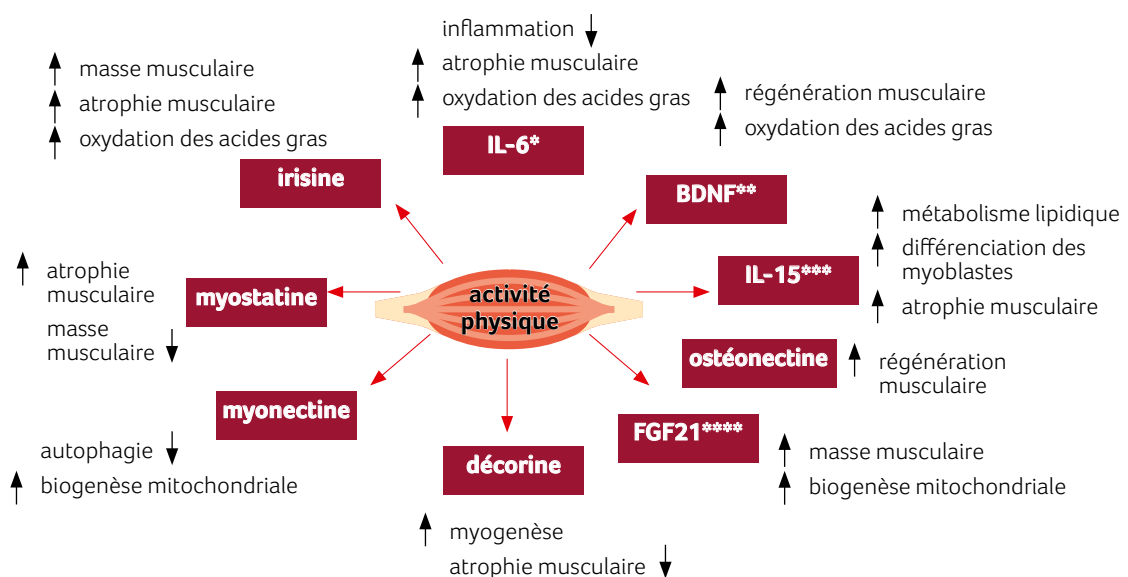
Puits de glucose et fabrique de signaux

Le maintien d'une musculature saine prévient l'ostéoporose, les chutes, les fractures, la fragilité et toutes sortes de maladies de civilisation, et pas seulement pour des raisons physiques. Lorsque la composition corporelle est normale, les muscles squelettiques

assurent également jusqu'à 80 % de l'**absorption du glucose présent dans le sang grâce à l'insuline**. De plus, les muscles en mouvement sont en mesure d'absorber du glucose, même indépendamment de l'insuline (11). Ils ont ainsi un effet bénéfique direct et indirect contre les maladies cardio-métaboliques, qui s'accompagnent de troubles du métabolisme du sucre et de l'insuline.

De plus, les muscles squelettiques sont des **organes sécréteurs**, pour autant qu'ils soient utilisés: en se contractant, les muscles squelettiques sécrètent de nombreuses **myokines**, la myostatine et l'irisine étant probablement les plus connues (12). Les cytokines ainsi produites contrôlent et renforcent la croissance musculaire locale (autocrine) et la fonction, ainsi que la fonte ou le remodelage des cellules musculaires (myostatine).

Le muscle comme organe sécréteur – effets locaux de diverses myokines



* interleukine 6 (IL-6)

** Brain Derived Neurotrophic Factor (BDNF = facteur de croissance du cerveau)

*** interleukine 15 (IL-15)

**** facteur de croissance des fibroblastes 21 (FGF21)

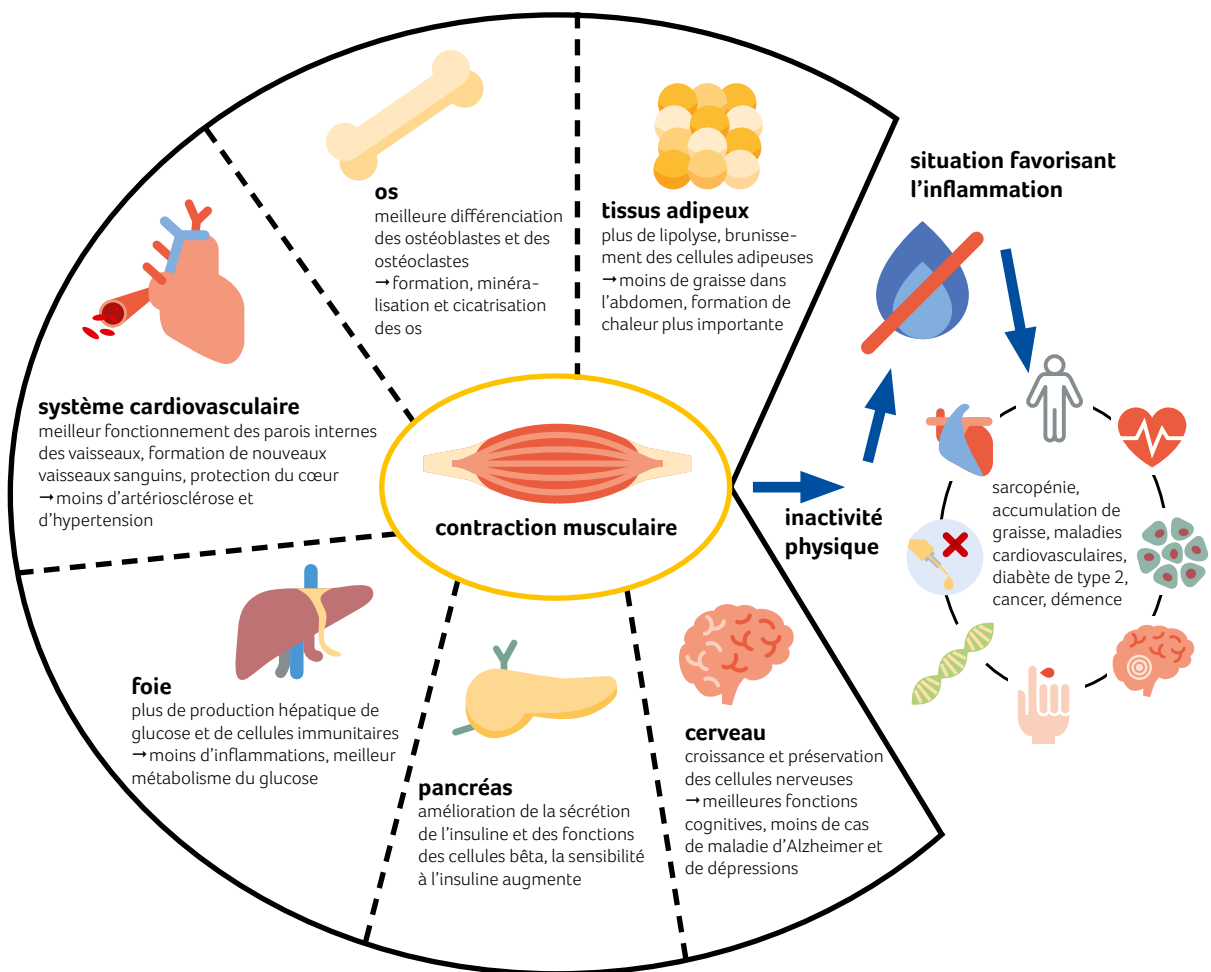
Source: d'après Lee & Jun: Frontiers in Physiology 2019; 10: 42



En outre, les cytokines des muscles exercent des fonctions régulatrices systémiques (paracrines/endocrines), ce qui veut dire qu'elles exercent un certain contrôle sur les organes et les tissus voisins

et éloignés, contribuant ainsi à la santé de l'ensemble du corps et du métabolisme. Le graphique suivant en donne un aperçu (13).

Le muscle comme organe sécréteur - effets systémiques de diverses myokines



Source: d'après Lee, K et al.: Korean Journal of Radiology 2019; 20: 205–217

Sarcopénie

La sarcopénie désigne une fonte musculaire (en grec: sarx = chair et penia = manque [14]), la diminution de la masse musculaire ayant longtemps été considérée comme un critère de définition. Cela a changé en 2018, lorsqu'une nouvelle définition s'est imposée (15). Étant donné que les conséquences sur la santé associées à la sarcopénie sont principalement corrélées à la diminution de la force plutôt qu'à la masse musculaires, la faiblesse musculaire est désormais au centre des discussions. Depuis lors, la sarcopénie est considérée comme une **insuffisance musculaire**, une maladie généralisée des

muscles squelettiques, aiguë ou chronique, définie par de faibles valeurs dans trois domaines:

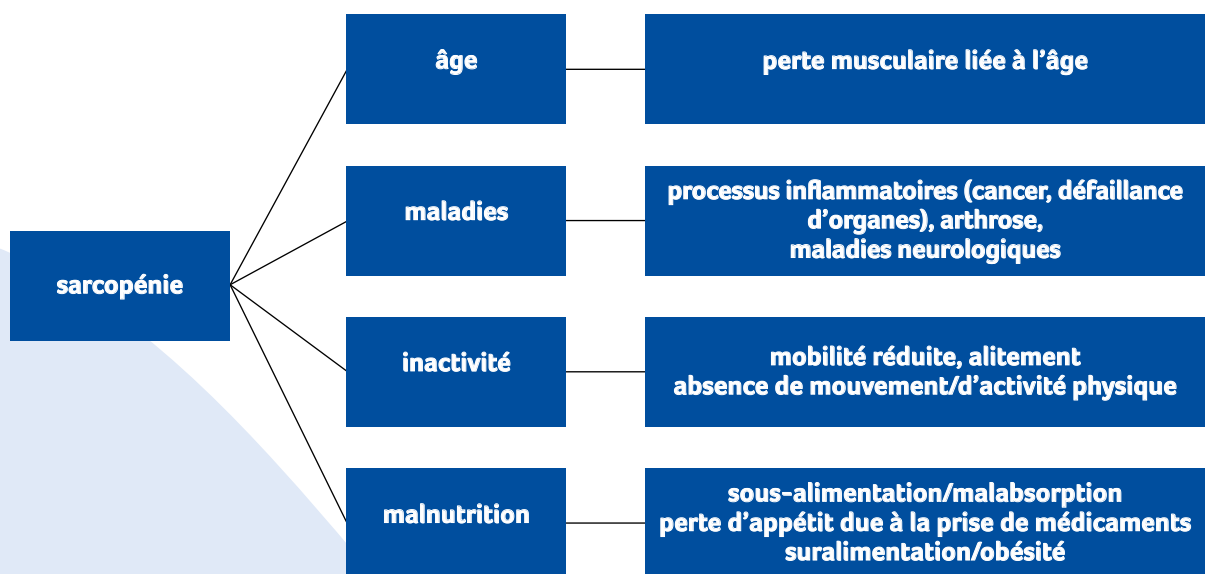
1. la force musculaire;
2. la quantité et/ou la qualité des muscles;
3. la performance physique comme indicateur de sa gravité.

La force est plus facile à déterminer que la masse et la qualité musculaires. Les seuils de faiblesse musculaire sont les suivants: une force de préhension des mains de 27 kg pour les hommes et de 16 kg pour les femmes, ainsi que la capacité à se lever d'une chaise et à s'asseoir cinq fois en 15 secondes (16).

En cas de sarcopénie, la protection des os par les muscles est réduite, ce qui augmente les risques de chutes, de fractures, de limitations physiques et de décès prématuré. La sarcopénie limite les activités de la vie quotidienne et la qualité de vie et peut entraîner une perte d'indépendance. Comme elle s'accompagne également d'une augmentation

de la graisse viscérale, elle favorise en outre des processus inflammatoires chroniques qui augmentent le risque de maladies cardiovasculaires, de diabète de type 2, de dépression, de démence et d'affections des voies respiratoires. Tout cela peut déclencher un cercle vicieux menant à la fragilité (en anglais: frailty) (17).

Facteurs provoquant et aggravant la sarcopénie

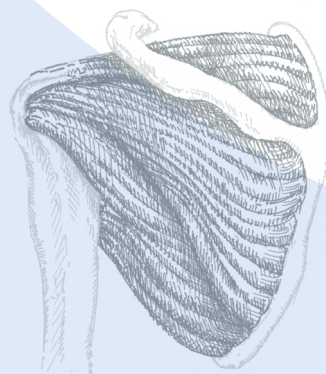


Source: d'après Cruz-Jentoft, AJ et al.: Age Ageing 2019; 48: 16–31

Âge et résistance anabolique

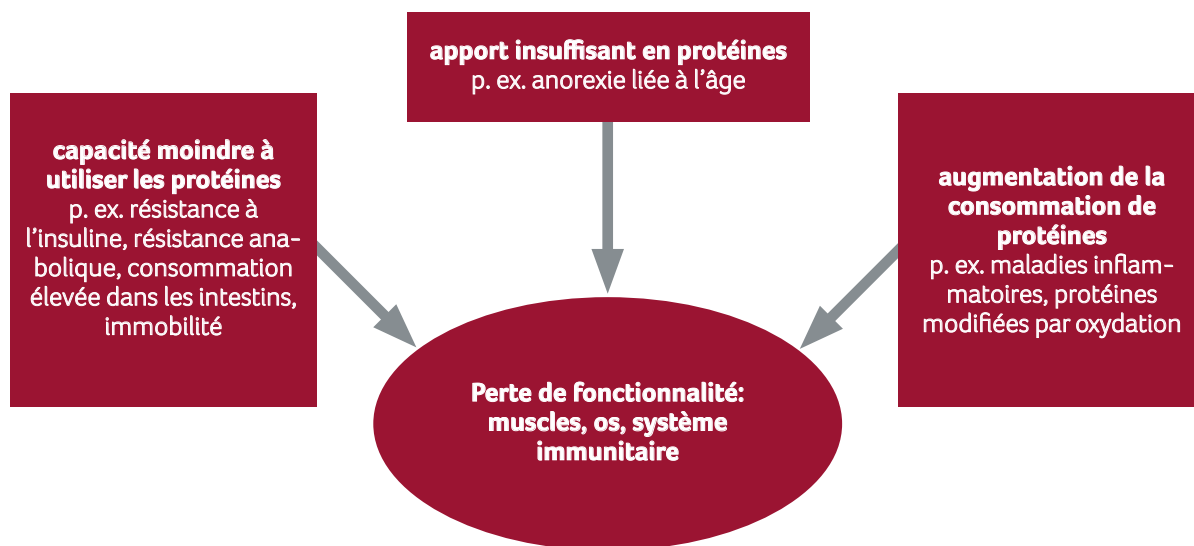
L'**âge** est considéré comme le premier facteur de risque de diminution de la force et de la masse musculaires, la première diminuant généralement plus rapidement que la deuxième. Comme ce sont surtout les fibres rapides de type II qui disparaissent, la force rapide diminue davantage que la force maximale. On perd généralement environ 40 % de nos fibres musculaires entre la troisième et la septième décennie de vie (18). Outre une atrophie et une diminution des cellules satellites nécessaires à la régénération*, le phénomène de **résistance anabolique** y contribue. Cela signifie qu'avec les années, il devient plus difficile de déclencher la synthèse protéique musculaire (SPM) et de maintenir sa masse corporelle maigre, davantage de protéines étant nécessaires à cette fin (voir ci-dessous). De plus, les maladies inflammatoires augmentent les besoins en protéines, et une diminution de l'appétit fait le reste, compromettant la santé des muscles et

des os ainsi que le système immunitaire (19). Néanmoins, chez les personnes âgées, la perte d'une musculature saine ou d'une masse maigre suffisante n'est pas une fatalité. L'activité physique et une alimentation «saine pour les muscles» permettent de stopper ou de réduire les pertes et de préserver les performances physiques (20, 21), même en cas de maladies telles que le diabète de type 2 (22).



* Les cellules satellites sont des cellules souches musculaires: elles peuvent donner naissance à de nouvelles cellules musculaires en cas de stimuli appropriés et d'un apport suffisant en protéines.

Causes liées à l'âge des problèmes d'approvisionnement/d'utilisation des protéines et troubles fonctionnels qui en découlent



Source: d'après: Rizzoli, R et al.: Maturitas 2014; 79: 122–132

Ce schéma illustre le fait qu'une bonne masse, fonction et force musculaires, ainsi que leur maintien le plus longtemps possible, sont essentiels au bon fonctionnement de l'ensemble de l'organisme, y compris des capacités cognitives (23). La musculature, avec les stimuli liés à l'activité physique et à l'effort, contribue de manière cruciale au vieillissement en bonne santé, tout comme l'alimentation. Ainsi, une étude transversale récente portant sur un bon millier de sujets dans l'agglomération de Pékin confirme que la prévalence de la sarcopénie augmente avec l'âge (de 5 à 26,2 % chez les personnes âgées de 50 à plus de 80 ans). En cas de carences alimentaires, le risque relatif est multiplié, de même qu'en cas d'alimentation principalement composée de légumes. En revanche, il diminue de manière significative en cas de consommation quotidienne de fruits, de noix ou de produits laitiers (24).

Conclusion intermédiaire:

La myogenèse/le maintien de muscles sains est possible tout au long de la vie, même si cela devient plus difficile avec l'âge et la maladie. Comme les muscles sont également des organes sécréteurs, ils contribuent de multiples façons à la santé du squelette et du métabolisme.



Les protéines, les nutriments les plus importants pour la formation et l'entretien du tissu musculaire, entre autres

Toutes les protéines du corps sont soumises à un processus continu de synthèse et de dégradation. Au total, un adulte utilise environ 300 g de protéines par jour, ce qui montre qu'une grande quantité d'acides aminés est recyclée par le métabolisme des protéines et des acides aminés. Les protéines ont à la fois la fonction d'éléments de base et de messagers chimiques. Parmi les 20 acides aminés protéinogènes, 9 sont essentiels, c'est-à-dire qu'ils sont nécessaires à la vie et doivent être apportés par l'alimentation: nous sommes obligés de les consommer. Les 11 autres acides aminés peuvent être synthétisés par l'organisme, ce qui ne signifie nullement que leur apport par l'alimentation n'est pas important (25). Ainsi, la formation musculaire, la régénération des organes et le développement osseux ne peuvent avoir lieu que si tous les acides aminés nécessaires (et suffisamment d'énergie) sont disponibles.

On lit souvent que nous n'avons pas besoin de protéines, mais uniquement d'acides aminés, ce qui serait vrai s'il s'agissait uniquement de survivre. Après leur consommation, les protéines sont tout d'abord digérées et dégradées par étapes, d'abord en peptides, dont certains ont des effets bioactifs. Certains peptides du lait, par exemple, ont des effets hypotenseur et antibiotique (26). Si l'on ne s'alimentait que d'acides aminés, on ne bénéficierait pas de ces effets. Ces peptides sont ensuite aussi digérés en acides aminés.

La muqueuse intestinale absorbe les acides aminés produits au cours de la digestion et les utilise directement, par exemple pour les cellules immunitaires et les anticorps, ce qui a la priorité sur les besoins des muscles, ou alors les libère dans le sang. Le foie filtre environ 50 % des acides aminés qui lui parviennent (effet de premier passage). Le reste passe dans tous les organes et tissus, où se décide à nouveau ce qu'il adviendra d'eux. Ils peuvent servir à la synthèse de nouvelles protéines musculaires, de transport ou structurales (par exemple pour la formation de lipoprotéines ou la régénération de tissus organiques, les cheveux, les ongles, la cicatrisation), à la synthèse d'hormones et d'enzymes ou encore à la production d'énergie (en partie après la gluconéogenèse). Lors de cette dernière, l'oxydation des acides aminés pour produire de l'énergie génère de l'azote qui doit être éliminé sous forme d'urée, d'acide urique ou de créatinine.

En matière de myogenèse, il convient de relever certaines particularités: les **acides aminés à chaîne ramifiée** leucine, isoleucine et valine ne sont que peu traités par le foie (effet de premier passage d'environ 20 % seulement), mais sont en grande partie acheminés vers les muscles où ils exercent leurs effets anaboliques. L'apport en protéines par l'alimentation et les exercices de musculation sont les principaux stimuli anaboliques pour la synthèse de protéines musculaires (SPM). En effet, l'exercice physique ou l'effort sensibilise les muscles aux propriétés anaboliques des protéines. L'efficacité des protéines alimentaires pour la SPM est influencée par leur quantité et leur digestibilité, leur teneur en acides aminés essentiels ainsi que leur absorption, le métabolisme des acides aminés dans les intestins (que l'on a tendance à oublier), la sécrétion d'insuline postprandiale, ainsi que l'absorption des acides aminés dans les muscles et les cascades de signaux qui s'ensuivent au sein des cellules musculaires (27).

La SPM est très réceptive aux protéines alimentaires (ainsi qu'à l'exercice et à l'insuline), bien que cela diminue avec l'âge. Elle a besoin d'un grand nombre d'acides aminés protéinogènes comme éléments de base, ainsi que des acides aminés à chaîne ramifiée comme signaux (28). Parmi eux, la leucine est considérée comme le principal activateur de la voie de signalisation mTOR (voir encadré), qui amorce la synthèse protéique musculaire. Ainsi, **la leucine peut être considérée comme l'acide aminé limitant dans la synthèse des protéines musculaires.**

Tous les acides aminés à chaîne ramifiée (valine, leucine, isoleucine) stimulent la sécrétion du facteur de croissance analogue à l'insuline 1 (IGF-1) dans le foie, qui a également un effet anabolique sur la croissance osseuse et musculaire (29).



mTOR, le centre de contrôle de la croissance

Les processus cellulaires du métabolisme et de la croissance (musculaire) sont extrêmement complexes. Parmi les nombreux acteurs, mTOR est l'un des plus importants. Derrière cette abréviation* se cache un complexe protéique présent dans l'organisme sous différentes formes. Sa mission est de détecter un bon approvisionnement en nutriments et de signaler aux cellules, par exemple, que le moment est optimal pour la croissance: mTOR assure donc les processus anaboliques.

Son principal antagoniste est l'enzyme AMPK**, qui détecte le manque d'énergie ou de nourriture et demande aux cellules d'économiser et de recycler (autophagie). Manger active mTOR, tandis que jeûner active l'AMPK. Ils se comportent donc comme le yin et le yang, comme le jour et la nuit et sont en constante alternance, à condition de respecter des pauses alimentaires de plusieurs heures.

La variante mTOR des muscles s'appelle mTOR1. Elle est notamment activée par la leucine (et l'insuline) et initie la synthèse de protéines musculaires dans les 30 minutes suivant un repas protéiné, atteignant son maximum après 60 à 90 minutes (30).

Un bon apport en protéines de qualité fournit donc les éléments de base (acides aminés) et les signaux nécessaires (leucine) à la formation ou à l'entretien des muscles. Suffisamment d'énergie et un peu d'insuline sont également nécessaires, l'insuline désinhibant la SPM. L'insuline permet pour ainsi dire aux muscles de se développer et de se régénérer et constitue l'hormone anabolique la plus importante. Il n'est toutefois pas nécessaire de disposer de sources de glucides supplémentaires (à l'exception de la récupération après un sport intensif), le petit pic d'insuline produit après la consommation de protéines ou de produits laitiers suffit (31).

L'insuline est soutenue par le facteur de croissance analogue à l'insuline 1 (IGF-1), produit par le foie. C'est là qu'intervient également un sommeil réparateur et suffisant, qui assure la production de l'hormone de croissance dans le cerveau pendant la nuit, laquelle incite le foie à produire l'IGF-1 le lendemain matin. L'IGF-1 est notamment utilisé par les muscles en mouvement pour contrôler la croissance et l'entretien des muscles. De plus, l'IGF-1 est important pour une bonne densité osseuse ainsi que pour la santé des tendons, des ligaments et des articulations. Il est également utile au système immunitaire, à l'hématopoïèse, à la santé des vaisseaux sanguins et à une fonction rénale suffisante (importante en cas d'apport protéique élevé). Le lait et les produits laitiers favorisent la synthèse d'IGF-1 (32, 33).

Chez les femmes, il semble difficile d'atteindre un apport protéique suffisant, car nombreuses sont celles, surtout les plus âgées, qui n'y parviennent pas dans leur alimentation habituelle (34). La perte musculaire liée à l'âge peut être compensée en consommant plus de protéines et/ou des protéines de meilleure qualité. Chez les personnes âgées, un seuil de 30 à 40 g de protéines par repas a été fixé pour optimiser la SPM (35). En particulier pendant les phases d'activité réduite (par exemple, alitement dû à une maladie), non seulement la quantité de protéines est importante, mais aussi leur qualité. Dans cette situation, le lait et les produits laitiers donnent de bons résultats, d'autant plus qu'ils fournissent également du calcium, du phosphate et de la vitamine D, qui contribuent également au maintien d'une bonne santé musculaire chez les personnes âgées (36).

Conclusion intermédiaire:

Les protéines sont les principaux macronutriments anaboliques. En matière de santé musculaire, ce sont surtout les acides aminés à chaîne ramifiée (valine, isoleucine et leucine) qui jouent un rôle clé. La leucine amorce la cascade de signaux pour la synthèse des protéines musculaires.

* mTOR est l'abréviation de l'anglais «mammalian/mechanistic Target of Rapamycin», et est issue de la recherche pharmaceutique: la substance active rapamycine inhibe un complexe protéique – qui est donc sa cible (Target) – chez les mammifères (mammalian).

**Protéine kinase activée par l'adénosine monophosphate, une enzyme cellulaire activée par l'augmentation du taux d'AMP lorsque le taux d'ATP diminue.

Protéines lactiques

Le lait de vache est composé d'environ 3,2 % de protéines. Il s'agit, comme pour le lait des autres mammifères, de mélanges complexes de protéines aux fonctions diverses. Par exemple, la lactoferrine (une partie de la protéine de lactosérum, voir ci-dessous), qui est également présente dans le lait maternel, a un effet antimicrobien et immunostimulant (37, 38). D'autres fractions protéiques (alpha-lactalbumine, glycomacropeptides) ont un effet bénéfique sur le fonctionnement du tractus gastro-intestinal et sur la flore intestinale, et la digestion des protéines produit des peptides bioactifs (39). On constate ici que la consommation de protéines intactes doit avoir d'autres effets que l'apport d'isolats ou d'hydrolysats*, dans lesquels les fractions protéiques d'origine ont perdu leurs effets physiologiques.

Les deux principales fractions des protéines du lait sont les **protéines du lactosérum** et les **caséines**. Les protéines du lactosérum (en anglais: whey proteins) dissoutes dans le lait représentent environ 20 %, les 80 % restants étant constitués de diverses caséines. Les protéines du lactosérum sont plus facilement absorbées et sont donc également appelées «protéines rapides». Les caséines ne sont pas présentes dans le lait sous forme de molécules individuelles, elles sont associées à des minéraux (Ca, P, Mg) et du citrate sous forme de micelles. De ce fait, elles restent plus longtemps dans l'estomac et sont digérées et absorbées beaucoup plus lentement, c'est pourquoi elles sont également appelées protéines «lentes». Cependant, comme elles restent plus longtemps dans l'estomac et que leur absorp-

tion est retardée, elles contribuent également de manière notable à la satiété après un repas riche en protéines lactiques. Les protéines lactiques complètes ont l'avantage de fournir à la fois des protéines du lactosérum «rapides» et des caséines «lentes» pour la SPM.

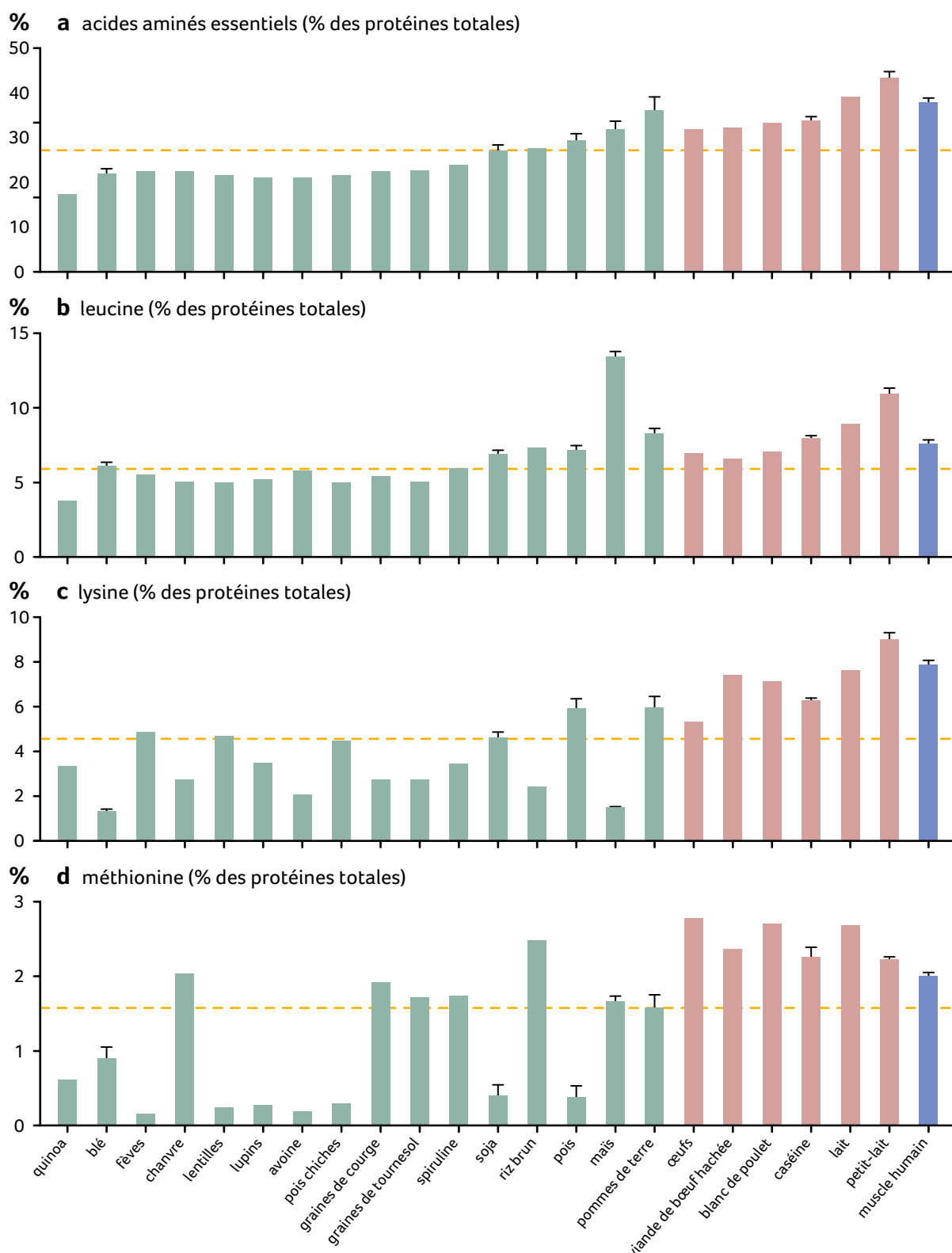
La fraction protéique du lactosérum contient plus d'acides aminés essentiels et à chaîne ramifiée que la fraction caséinique. Dans l'ensemble, le lait est riche en acides aminés essentiels, qui représentent près de la moitié de sa teneur en protéines. Cela correspond à 79 % de plus que ce que la FAO préconise pour une protéine de référence destinée à couvrir les besoins humains en acides aminés (40). La protéine lactique est considérée comme une protéine de qualité avec un score DIAAS supérieur à 100. Cela signifie qu'elle peut également combler les «lacunes en acides aminés» d'autres protéines. Pour en savoir plus sur la valeur des protéines du lait et des produits laitiers, consultez le dossier suivant: Les légumineuses dans une alimentation à base de plantes - première partie (swissmilk.ch).



* Les isolats de protéines contiennent 90 à 96 % de protéines et moins de 1 % de graisses et de glucides. Ils sont fabriqués à partir de concentrés de protéines, par exemple, qui ne contiennent que 70 à 80 % de protéines, ainsi que des graisses et des glucides. Un hydrolysat est une protéine divisée par des enzymes en courts fragments (di- ou tripeptides) et/ou en acides aminés. Un hydrolysat est donc une sorte de protéine «prédigérée», qui a généralement un goût amer et ne contient plus d'éléments protéiques bioactifs. Pour les isolats, la teneur en peptides bioactifs dépend du procédé de fabrication.

Part protéique des acides aminés essentiels leucine, lysine et méthionine par rapport au tissu musculaire humain

(attention: les chiffres se réfèrent à la part de protéines et non à la quantité d'aliments)



Les effets positifs du lait et des produits laitiers sur la masse musculaire ou la masse corporelle maigre dans les différents groupes d'âge ont été largement documentés. Ainsi, la consommation de lait est inversement corrélée à la masse corporelle maigre chez les enfants et les adolescents (41). La consommation de 20 g de protéines du lactosérum ou lactiques suffit à stimuler la SPM chez les hommes adultes. Le petit-lait entraîne une augmentation plus rapide des acides aminés dans le sang, mais la SPM ainsi amorcée est la même qu'avec les protéines lactiques. Dans les deux

heures qui suivent une séance de musculation, la SPM est plus prononcée après la consommation de lait écrémé que de viande de bœuf hachée maigre (tous deux contenant 30 g de protéines) (42). Deux revues systématiques ont constaté que la consommation de lait, de yogourt et de fromage contribuait au maintien de la masse et de la force musculaires chez les personnes âgées de plus de 50 ans, ce qui est également considéré comme une protection contre la sarcopénie (43, 44).

Tableau 1: Teneurs en énergie et en nutriments pour 100 g de différents produits laitiers

Produit laitier	énergie (kcal)	lipides (g)	glucides (g)	protéines (g)
Lait entier, pasteurisé (3,5 %)	68	4	4,7	3,2
Yogourt nature	66	3,6	4,5	3,9
Séré nature maigre	61	0,2	4,2	10,6
Séré nature demi-gras	99	5	4,1	9,4
Emmentaler	408	32,6	0	28,4
Berner Alpkäse	453	38,3	0	27,1

Source: Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV): Base de données suisse des valeurs nutritives.

Cependant, les protéines lactiques n'agissent pas seulement sur la masse maigre ou les muscles, mais aussi sur d'autres paramètres liés à la santé. Ainsi, la supplémentation en protéines lactiques ou lactosériques améliorerait le métabolisme du sucre et de l'insuline chez les adultes (45). Chez les personnes âgées, une collation riche en protéines lactiques, comparée à une collation sans lait, augmentait l'insuline à court terme et réduisait la glycémie, ce qui était considéré comme bénéfique pour l'équilibre protéique musculaire (46). Une consommation régulière de lait et de produits laitiers est également associée à un indice de masse corporelle (IMC) plus faible chez les adultes et à un risque réduit de surpoids abdominal (obésité abdominale) (47).

Le calcium, le phosphate, la vitamine D et le magnésium protègent eux aussi les muscles

La vitamine D favorise l'absorption du calcium, un régulateur important de la stimulation musculaire et nerveuse, tout comme le phosphate qui, sous forme d'ATP, permet en outre l'approvisionnement énergétique des cellules (48). Les personnes âgées atteintes de sarcopénie présentent également souvent de faibles taux de vitamine D et de calcium, alors que la supplémentation de ces deux nutriments aide à réduire la perte musculaire liée à l'âge (49).

Le magnésium contribue non seulement au maintien des os, mais aussi des muscles. Ainsi, une étude transversale portant sur plus de 156 000 hommes et femmes a montré une corrélation positive entre l'apport en magnésium et la masse corporelle maigre (constituée pour la plus grande partie de muscles) et la force de préhension, considérée comme un bon indicateur de la force musculaire (50).

Pour préserver leur santé musculo-squelettique, la Société européenne pour les aspects cliniques et économiques de l'ostéoporose et de l'arthrose (ESCEO) conseille aux femmes ménopausées de veiller à un apport optimal en protéines (1,0–1,2 g/kg de poids corporel), en plus d'une activité physique régulière, et de consommer au moins 20 à 25 g de protéines de qualité à chaque repas principal. Elles devraient en outre consommer suffisamment de vitamine D pour maintenir le taux de 25-hydroxy-vitamine D au-dessus de 50 nmol/l, ainsi que 1 g de calcium par jour (51). Le lait et les produits laitiers permettent de respecter facilement ces recommandations. De plus, la qualité des deux protéines du lait, les caséines et les protéines du lactosérum, est unique, surtout lorsqu'elles sont combinées (52).

Avec le lait et les produits laitiers, les Suisses consomment non seulement beaucoup de protéines de qualité (environ ¼ de la quantité recommandée), mais aussi une grande partie de la quantité de calcium, potassium, phosphore, zinc, iode, vitamine B₂ et acide pantothénique recommandée. Ces aliments sont par ailleurs d'importantes sources de vitamines A, D et B₁₂ ainsi que de minéraux tels que le magnésium, le sodium et le chlorure. Ainsi, le lait et les produits laitiers fournissent de nombreux nutriments importants pour les os et les muscles, avec un apport énergétique modéré, et à un coût relativement faible (53).

Recommandations en matière de protéines

Pour réduire la perte à la fois de masse musculaire et osseuse (ostéosarcopénie), un apport en proté-

ines de 1,2 à 1,5 g/kg/jour semble indiqué chez les personnes âgées de plus de 65 ans (54). Les recommandations de l'Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires (OSAV) pour les personnes âgées et les personnes particulièrement à risque d'être touchées par la fonte musculaire et osseuse se situent également dans cette fourchette (voir tableau 2) (55). Cependant, près de 27 % des Suisses, et surtout des Suissesses, n'atteignent pas les recommandations en matière de protéines. Environ 50 % des personnes âgées de 65 à 75 ans consomment moins de protéines que ce qui est recommandé (56), ce qui est préoccupant en ce qui concerne le maintien de la masse musculaire et la santé des os.

Tableau 2: Valeurs de référence des apports protéiques en Suisse

Âge et groupe	g/kg de poids corporel/jour
18-65 ans	0,8
dès 66 ans	1-1,2 (personnes à risque jusqu'à 1,5)
Femmes enceintes	0,8 (1 ^{er} trimestre + 1 g/jour; 2 ^e trimestre + 9 g/jour; 3 ^e trimestre + 28 g/jour)
Femmes qui allaitent	0,8 (0-6 mois post partum + 19 g/jour; >6 mois post partum + 13 g/jour)

Source: des valeurs de référence suisses. OSAV, 2024

Avec ses recommandations en matière de protéines pour les personnes âgées, la Suisse est en avance sur d'autres pays. En Allemagne, par exemple, on recommande en général 1 g de protéines par kilo de poids corporel, sans tenir compte des maladies chroniques ou aiguës, qui peuvent faire augmenter les besoins jusqu'à environ 1,5 g/kg (57). Même si les recommandations générales en matière d'alimentation concernent les personnes en bonne santé, les maladies les plus fréquentes dans la population âgée devraient être prises en compte. La recommandation de 0,8 g/kg de protéines pour les personnes jusqu'à 65 ans pourrait elle aussi être insuffisante (58). Une étude d'intervention portant sur des sujets âgés de 55 à 77 ans a en effet constaté que la consommation de cette quantité entraînait une réduction de la masse musculaire au niveau de la cuisse moyenne (59).

Conclusion intermédiaire:

En Suisse, le lait et les produits laitiers contribuent à environ un quart de l'apport en protéines. Dans le monde occidental, ils représentent les principales sources de protéines dans l'alimentation quotidienne. Non seulement les protéines du lait fournissent tous les acides aminés essentiels à la synthèse protéique musculaire dans une qualité élevée et une bonne combinaison, mais les deux protéines du lait (caséine et lactosérum) se complètent aussi de manière idéale. Le lait et les produits laitiers contribuent en outre à l'apport d'autres nutriments importants pour la santé musculaire. Les apports protéiques pour optimiser la santé musculaire doivent être nettement supérieurs à 0,8 g/kg de poids corporel pour plusieurs groupes de population.

État de la recherche sur le lait, les produits laitiers et la santé musculaire

Le lait et les produits laitiers se sont souvent révélés efficaces pour la synthèse de la masse corporelle maigre ou des protéines musculaires induite par l'entraînement. Cela vaut également pour les personnes âgées, sachant qu'en plus de l'alimentation quotidienne, 10 à 15 g de protéines lactiques, combinés à un entraînement physique, peuvent déjà suffire et avoir un effet plus efficace que les protéines du lactosérum à elles seules. Pour augmenter la force musculaire chez les personnes de plus de 60 ans, il fallait au moins 22 g de protéines lactiques (60, 61). Chez les Japonaises âgées, une consommation régulière de lait et de produits laitiers était associée à une meilleure force de préhension des mains et à une meilleure aptitude à la marche (62).

Statu quo: les aliments d'origine animale constituent une meilleure source de protéines

Les études menées ces dernières années montrent qu'à un âge avancé, une alimentation basée sur des sources de protéines animales est préférable à une alimentation basée sur des sources végétales en ce qui concerne la masse maigre (63) et la masse musculaire (64). Les protéines lactiques ont également permis d'augmenter davantage la SPM que les protéines de soja, par exemple. On pense que cela est dû à la digestibilité plus faible des protéines végétales ainsi qu'à la teneur en général aussi plus faible en leucine des portions (65). En d'autres termes: les quantités de lait et de produits laitiers nécessaires à la myogenèse sont inférieures à celles des sources de protéines végétales. Pour obtenir un effet anabolique comparable, il faut 0,25 g de protéines animales par kilo de poids corporel, contre 0,40 g/kg de protéines végétales. Vu sous cet angle, les sources de protéines animales telles que le lait contribuent à la durabilité et aident à couvrir l'approvisionnement en nutriments indispensables tels que les protéines et le calcium, et ce à moindre coût.

Une augmentation des apports (au moins 30 g de protéines par repas) permettrait toutefois de compenser les différences entre les sources de protéines végétales et animales, du moins chez les personnes jeunes et en bonne santé (66). Toutefois: 30 g de protéines végétales sont également associés à plus de glucides (hautement glycémiques), à un apport énergétique plus élevé et à d'énormes quantités par repas, comme le montrent le tableau suivant et le graphique de la page 19. Chez les personnes âgées, en raison de leur résistance anabolique, les quantités de protéines nécessaires sont encore plus importantes, ce qui remet en question la durabilité d'une telle stratégie (67).

De plus, les fibres et les antinutriments entravent la digestibilité et l'absorption de nombreuses protéines végétales. Pour cette raison, ces dernières sont de plus en plus extraites des plantes pour créer de nouveaux produits hautement transformés ou des poudres protéinées pour les sportifs-ives au moyen de concentrés, d'isolats et d'hydrolysats (voir ci-dessus). Toutefois, pour les personnes qui attachent de l'importance aux «vrais» aliments, il est possible d'obtenir une quantité et une qualité de protéines suffisantes pour la SPM par des combinaisons courantes et éprouvées de différentes sources protéiques dans un repas. Le lait et les produits laitiers sont parfaitement adaptés à cet usage en raison de leur teneur élevée en acides aminés essentiels et en leucine, notamment dans le cadre de régimes alimentaires à base de plantes. En raison de la combinaison et de la quantité de leurs acides aminés, ils complètent notamment très bien les légumineuses. (68).

Nouvel éclairage: les protéines végétales sont-elles équivalentes?

Des études d'intervention publiées récemment donnent l'impression que la SPM serait aussi élevée après l'ingestion de protéines végétales qu'avec la même quantité de protéines lactiques ou des mélanges des deux sources de protéines.

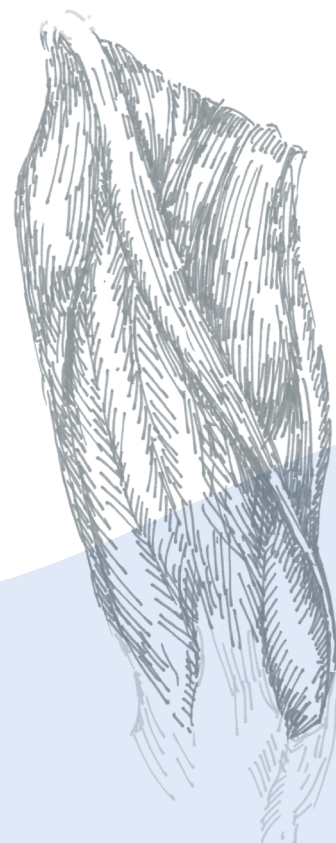


Tableau 3: Quantités nécessaires pour augmenter la SPM chez les jeunes adultes en bonne santé

Aliment	Leucine en % des protéines totales	Quantité de protéines pour env. 3 g de leucine	Quantité correspondante de l'aliment
Protéines animales			
Petit-lait	13,6	23 g	27 g
Lait	10,9	28 g	876 g
Caséine	10,2	30 g	35 g
Viande de bœuf	8,8	35 g	164 g
Œufs	8,5	36 g	5 Stück
Protéines végétales			
Maïs	12,3	25 g	264 g
Riz	8,2	37 g	500 g
Graines de soja	8,0	38 g	104 g
Lentilles	7,9	39 g	150 g
Petits pois	7,8	39 g	180 g
Avoine	7,7	35 g	236 g
Quinoa	7,2	43 g	302 g
Chanvre	6,9	45 g	121 g
Blé	6,8	45 g	299 g
Pommes de terre	5,2	58 g	2891 g

Source: d'après van Vliet, S et al.: J Nutr 2015; 145: 1981–1991

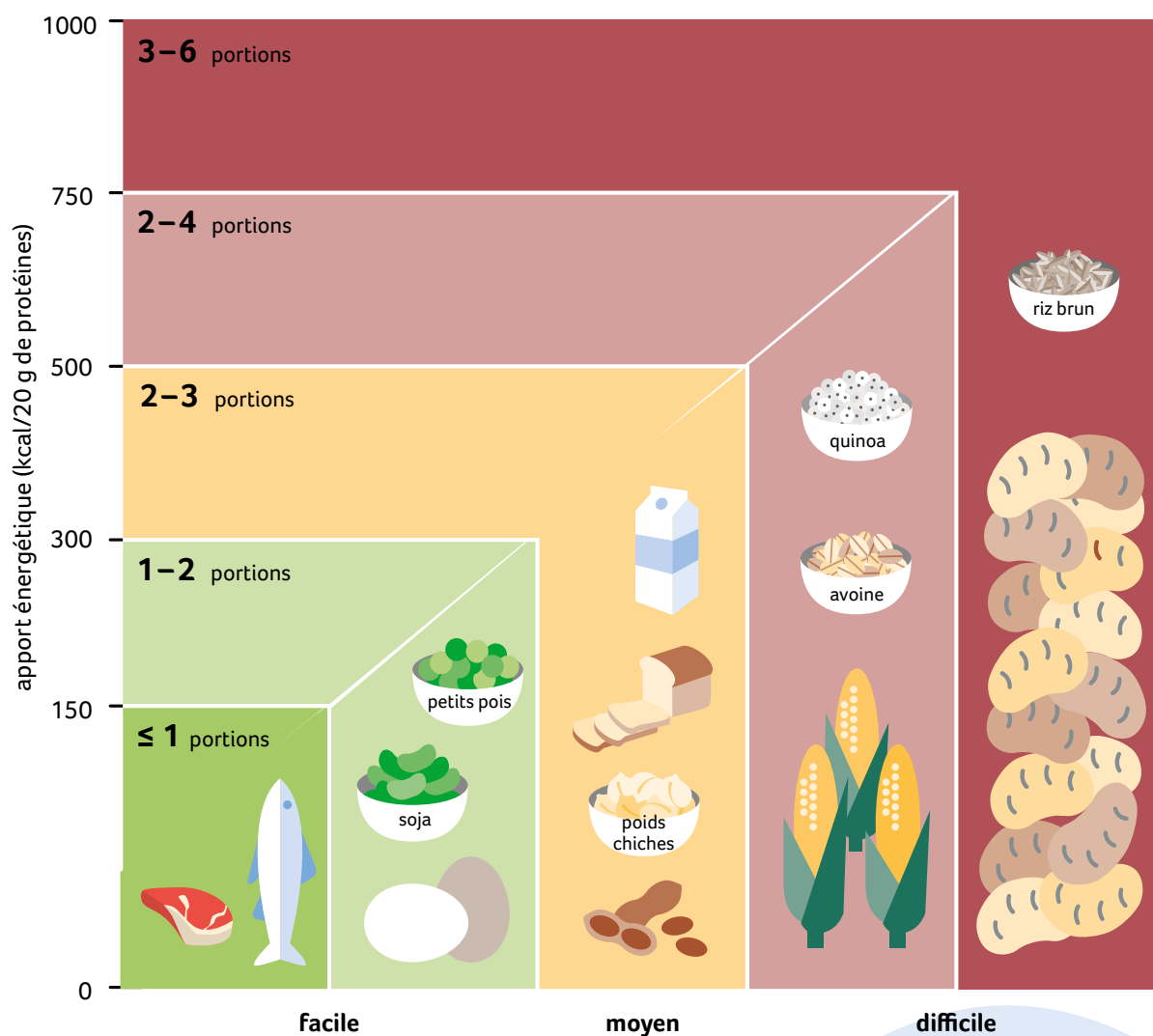
Les protéines étudiées jusqu'à présent sont les protéines de pomme de terre (69), de blé (70) et de maïs (71), ainsi que leur mélange à parts égales avec des protéines lactiques. La plupart du temps, les études portaient sur des hommes jeunes en bonne santé, parfois aussi sur des hommes d'âge moyen ou des sujets plus âgés (voir ci-dessous). Dans certaines études, les participants devaient faire des exercices avec une jambe pendant que l'autre était au repos. Ainsi, les modifications de la SPM ont pu être mesurées après la consommation de protéines, aussi bien au repos qu'après un effort. D'autres études ont comparé la SPM après une période de jeûne nocturne et après l'ingestion de protéines. Les résultats de toutes les études ont montré que 30 g de chacune des protéines, ainsi qu'un mélange à parts égales (15 g chacune) avec des protéines lactiques augmentaient la SPM dans la même mesure que les protéines lactiques seules.

Il ne faut cependant pas en conclure que le maïs, les pommes de terre ou le blé sont des sources de protéines équivalentes au lait. En effet, les études ont comparé les protéines isolées sur une base d'un

gramme pour un gramme. Cependant, dans les aliments végétaux, la concentration en acides aminés essentiels et la digestibilité des protéines sont nettement inférieures à celles du lait et des produits laitiers. Cela signifie que les acides aminés issus de protéines végétales sont moins biodisponibles et/ou qu'ils nécessitent une préparation et un traitement complexes afin de réduire les antinutriments et de rendre les acides aminés plus accessibles (72, 73).

Alors, comment expliquer les résultats des études actuelles? Elles ont en fait utilisé exclusivement des protéines isolées. Les protéines végétales isolées ne contiennent plus d'antinutriments et présentent donc une digestibilité et une biodisponibilité des acides aminés aussi bonnes que celles des protéines animales. En outre, la quantité de 30 g a son importance: si une telle quantité de protéines est apportée en une seule fois, la quantité d'acides aminés postprandiale est suffisante pour la SPM, même s'il s'agit de protéines végétales. Avec une portion de 20 g de protéines, seules les protéines animales y parviennent (74).

Taille et nombre des portions de différents aliments pour atteindre 20 g de protéines



1 portion correspond à : 100 g de viande/poisson, 2 œufs, 100 g de graines de soja, 150 g de petits pois, 150 g de pois chiches, 50 g d'arachides, 70 g (2 tranches) de pain de froment, 2 dl de lait, 150 g de maïs, 40 g de flocons d'avoine, 75 g de quinoa (cru), 75 g de riz brun (cru) et 175 g de pommes de terre. Toutefois, ces quantités ne tiennent pas compte des différences de qualité des protéines!

Source: d'après Pinckaers, PJM et al.: Sports Medicine 2021; 51(Suppl 1): S59–S74

Selon l'illustration, même pour ne consommer que 20 g de protéines de blé, de maïs ou de pommes de terre avec l'alimentation quotidienne, il en faudrait de grandes quantités (75). Ainsi, les cornflakes contiennent à peine 2 g de protéines par portion (de 30 g). Pour arriver à 30 g de protéines de maïs, comme dans l'étude susmentionnée, il faudrait manger environ 450 g de cornflakes. Cependant, cela impliquerait également un apport énergétique de 1700 kcal ainsi qu'un apport de 378 g de glucides (hautement glycémiques) (76). Par conséquent, les

affirmations des études actuelles sur l'effet anabolique des protéines végétales ne s'appliquent qu'aux poudres protéinées (isolats et concentrés).

De ces études, on peut également tirer l'observation suivante: la SPM était aussi élevée après l'ingestion de protéines végétales ou de mélanges avec des protéines lactiques qu'après celle de protéines lactiques uniquement, même si l'augmentation des acides aminés essentiels dans le sang n'était pas aussi prononcée qu'avec les protéines lactiques.

Dans le cas des protéines de maïs, on pourrait expliquer cela par la teneur nettement plus élevée en leucine. Cependant, l'effet a aussi été constaté après les protéines de blé (moins de leucine que les protéines lactiques) et les protéines de pomme de terre (même quantité de leucine). Les auteurs partent du principe que les différents taux sanguins d'acides aminés ne jouent plus aucun rôle lorsqu'on administre 30 g de protéines, car cette quantité fournit suffisamment d'acides aminés pour la SPM.

En outre, il est apparu qu'après l'ingestion de protéines de blé et de maïs, le taux sanguin de lysine n'augmentait pas, comme on pouvait s'y attendre, étant donné que les céréales sont pauvres en lysine, qui est leur acide aminé limitant. On a constaté la même chose pour le taux de méthionine après la consommation de protéines de blé. Cependant, cela ne semble pas entraver la SPM, du moins pas de manière prononcée, avec des portions de protéines de 30 g, et chez les jeunes hommes (77). Il n'est donc pas prouvé que ce soit le cas à long terme, c'est-à-dire que la SPM soit suffisante et que le corps reste en mesure d'empêcher les pertes (de force) musculaires.

On ne sait pas non plus si le faible apport en lysine et/ou en méthionine manquera ailleurs. La lysine est en effet nécessaire à la formation de protéines de transport dans le sang, d'anticorps, d'hormones et de protéines structurelles comme le collagène ainsi qu'à la protection des parois des vaisseaux sanguins. Enfin et surtout, elle favorise l'absorption du calcium dans l'intestin, ce qui est bénéfique non seulement pour les os et les dents, mais aussi pour la conduction neuromusculaire. La méthionine est nécessaire pour le transfert des groupes méthyle, extrêmement important sur le plan métabolique. Elle est en outre un précurseur de la cystéine, de la taurine et du glutathion, un antioxydant important (78).

Les résultats des études récentes décrites ci-dessus ne sont pas simplement transposables aux femmes, pas plus qu'aux personnes malades ou convalescentes ou à celles ayant une faible activité physique. En revanche, chez les hommes âgés, on sait que 30 g de protéines végétales ne suffisent pas pour la SPM (79).

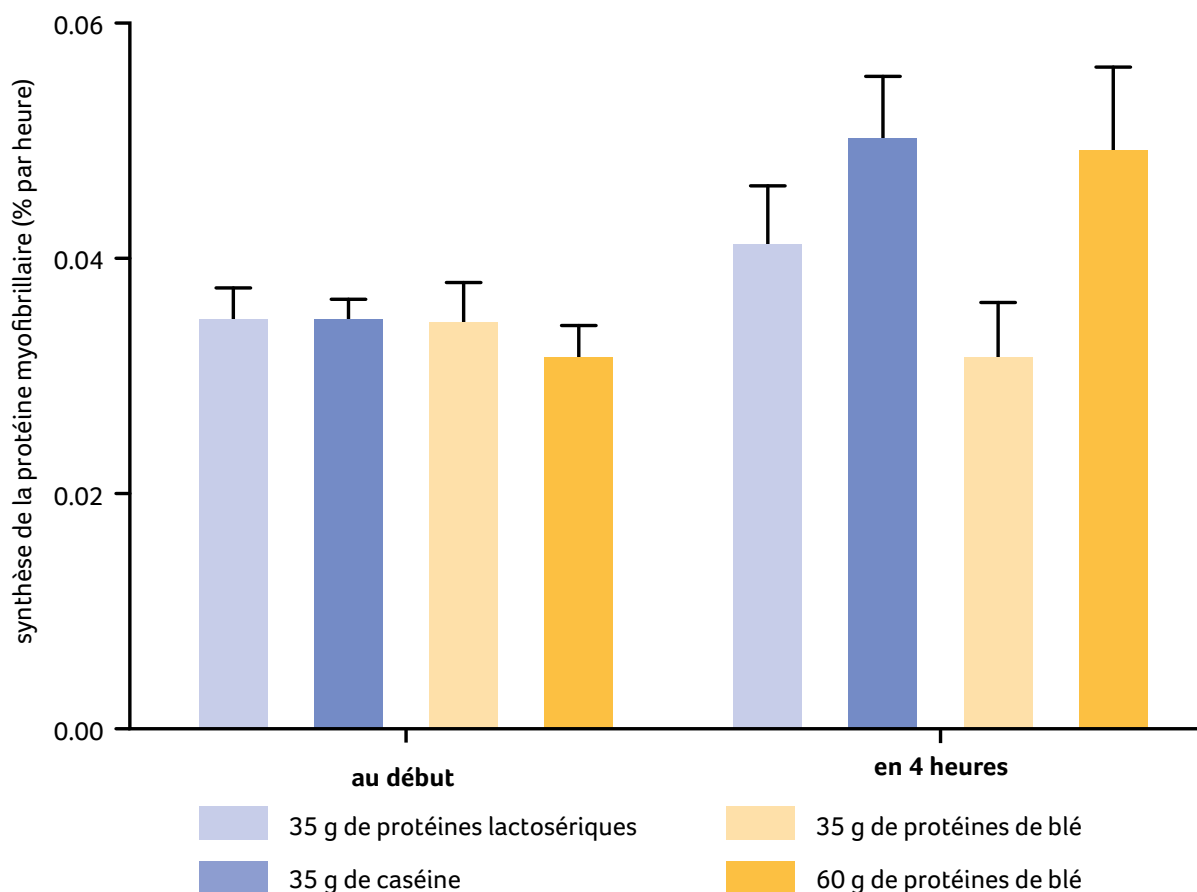
Personnes âgées: plus de protéines ou plus de produits laitiers?

Avec l'âge, la sensibilité de la SPM diminue (résistance anabolique), comme décrit plus haut. C'est également ce qu'ont révélé des études menées sur des protéines isolées. Mais qu'en est-il des vrais aliments? La SPM peut être stimulée par davantage de protéines et/ou des protéines de meilleure qualité. Les exercices de musculation avant un apport en protéines ainsi que les acides gras oméga-3 à chaîne longue renforcent également l'effet anabolique des protéines (80). Chez les personnes âgées, il semble en outre qu'il soit favorable que les taux sanguins d'acides aminés restent élevés plus longtemps, comme cela a été observé par exemple après un apport en caséine ou en fromage. Les personnes âgées ont donc besoin de plus de protéines par kilo de poids corporel que les adultes plus jeunes (30 à 40 g par repas) (81). Ainsi, les différences de SPM entre les hommes jeunes et âgés ont pu être compensées par une augmentation de l'apport en protéines de 0,78 à 1,15 g/kg de poids corporel (82).

Avec l'âge, le type de protéines joue également un rôle. Ainsi, 40 g de protéines de soja ne sont pas parvenus à stimuler la SPM chez les personnes âgées, contrairement aux protéines de lactosérum. Les auteurs ont attribué ce résultat à l'augmentation de l'oxydation de la leucine provenant du soja (83). Cela montre que ce ne sont pas seulement les quantités des différents acides aminés qui comptent, mais aussi comment le corps les utilise.

Comme le montre le graphique suivant, avec des protéines de blé, l'apport devait même être augmenté à 60 g pour obtenir un effet anabolique comparable à celui de la caséine chez les hommes âgés (84). Il ne faut en outre pas oublier qu'il s'agit ici à nouveau de protéines isolées, dont la digestibilité est élevée.

Synthèse protéique musculaire chez des hommes âgés en bonne santé après la consommation de différentes protéines



Source: d'après Gorissen SHM et al.; J Nutr 2016; 146: 1651–1659

Si ces 60 g de protéines devaient être consommés sous forme de «vrais» aliments, il faudrait consommer d'énormes quantités de produits à base de blé pour compenser leur biodisponibilité plus faible. De plus, les protéines de blé sous forme de pain ou de pâtes fournissent beaucoup plus d'énergie et de glucides et moins de micronutriments que le lait et les produits laitiers. Ici aussi, l'idéal serait de considérer les combinaisons usuelles de sources de protéines au quotidien, par exemple sous forme de pain garni de fromage ou de séré aux herbes, plutôt que les sources individuelles. En raison de leur teneur globalement élevée en acides aminés essentiels et de leur excellente digestibilité, les produits laitiers complètent idéalement aussi bien les protéines de céréales que de légumineuses (85).

Une méta-analyse de 14 études d'intervention (1424 sujets âgés de 61 à 81 ans) a trouvé dans 8 de ces études que la supplémentation sous forme de 14 à 40 g de différentes protéines lactiques pouvait augmenter la masse musculaire dans les extrémités

chez les personnes d'âge moyen à avancé. Cependant, aucun effet n'a été constaté sur la force musculaire, ce qui pourrait être dû au fait que l'activité physique, qui a un effet considérable sur la force musculaire, n'a pas été prise en compte (86).

Conclusion intermédiaire:

On sait depuis longtemps que l'apport en protéines animales stimule mieux ou davantage la synthèse protéique musculaire (SPM) que les protéines végétales. Bien entendu, les deux sources de protéines peuvent aussi très bien se compléter. Des études récentes suggérant que les protéines végétales sont équivalentes aux protéines animales pour amorcer la SPM ou maintenir la masse musculaire ont utilisé (parfois en grande quantité) des concentrés et des isolats dans lesquels certains inconvénients des protéines végétales ont été supprimés.

Effets de matrice

La plupart des études disponibles sur la SPM et les protéines (lactiques) ont été réalisées avec des concentrés et des isolats, ce qui ne reflète pas la «réalité alimentaire» de la plupart des gens, en particulier des personnes âgées. Les interactions avec d'autres macronutriments et avec les propriétés physiques des aliments ou des repas ne sont pas prises en compte. On parle ici d'**effets de matrice**, c'est-à-dire des interactions entre les nutriments, les composants bioactifs et la structure physique des aliments. Les effets des produits laitiers et des repas quotidiens habituels sur la SPM ne sont étudiés que depuis peu, leurs résultats montrent pourtant de grandes différences par rapport aux poudres et aux divers aliments.

Produits laitiers versus poudres protéinées

Ainsi, une étude d'intervention récente a comparé, chez de jeunes hommes en bonne santé, les effets de 30 g de protéines lactiques, soit sous la forme d'environ 100 g de **fromage à pâte mi-dure** (fromage de coupe hollandais), soit sous la forme de 30 g de **concentré de protéines lactiques**, tous deux ayant une teneur comparable en leucine. Il s'est avéré que les taux sanguins d'acides aminés (total, essentiels et leucine) augmentaient plus rapidement et plus fortement avec le concentré, mais qu'ils restaient élevés plus longtemps avec le fromage. Cela s'explique notamment par le fait que le fromage reste plus longtemps dans l'estomac, car il est digéré plus lentement en raison de sa teneur en graisse et en caséine. Aucune différence n'a été constatée en ce qui concerne l'ampleur de la SPM induite par les protéines dans les biopsies des muscles des jambes. La SPM était plus élevée dans la jambe en mouvement que dans celle au repos, mais le type d'apport en protéines et les différentes évolutions des taux d'acides aminés ne l'ont pas influencée (87). Cela montre que, même si le profil postprandial des acides aminés peut varier, les produits laitiers sont tout aussi capables d'augmenter la SPM que les concentrés de protéines. Quand on peut consommer suffisamment de protéines, il n'est pas nécessaire de recourir à des concentrés. Dans le cas contraire, ils offrent toutefois certains avantages, par exemple dans le sport de (haute) compétition, dans les états postopératoires, pendant la convalescence ou en cas de malnutrition avec une capacité de digestion limitée des protéines.

Différences entre les produits laitiers

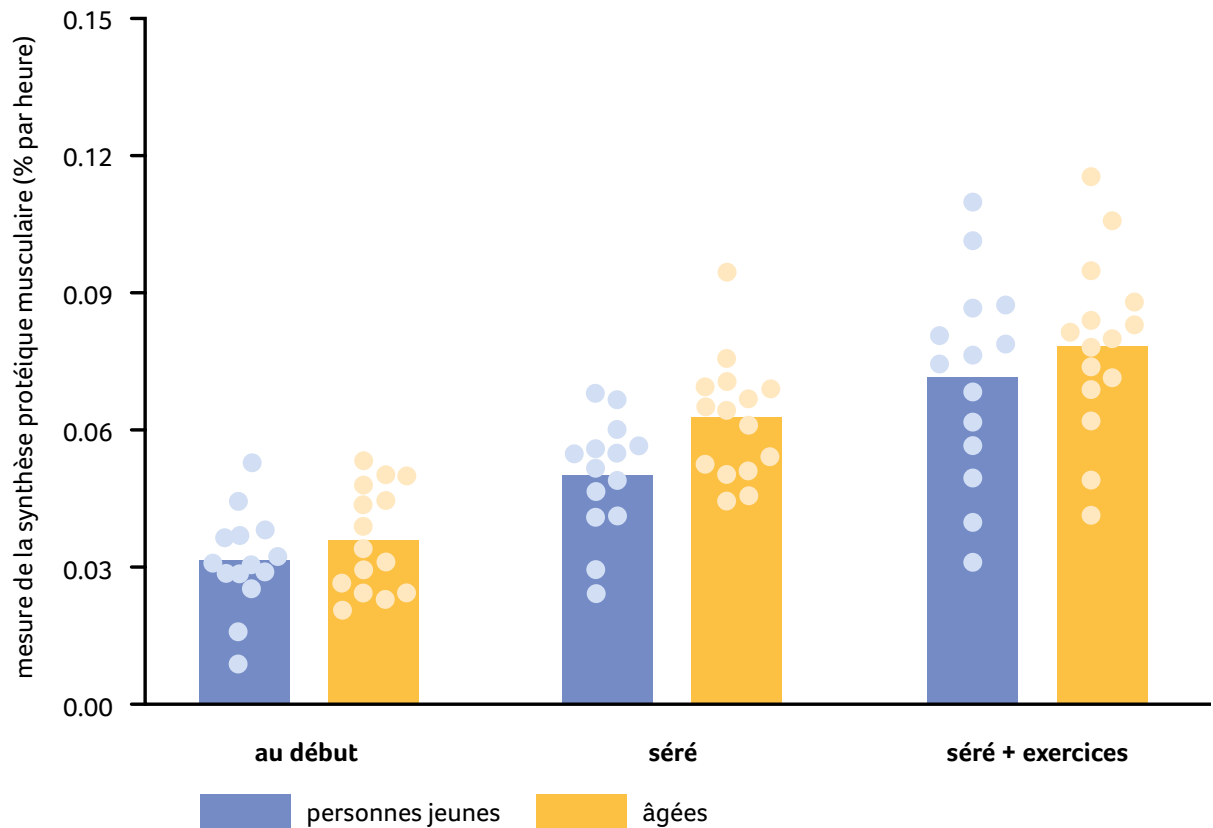
La structure physique du lait et des produits laitiers peut varier considérablement, ce qui influence la disponibilité et la valorisation des protéines, ainsi que leurs effets métaboliques et sur la santé (88).

À cela s'ajoutent les processus de fabrication tels que la fermentation, qui influent sur la valeur nutritionnelle, la structure et l'assimilation des protéines. Par exemple, les protéines des produits laitiers fermentés comme le **yogourt** sont digérées plus rapidement que celles du lait et font augmenter davantage les taux d'acides aminés sanguins (89). Dans le yogourt, contrairement au lait de table, les protéines se présentent sous la forme d'un réseau structuré. Il est donc possible qu'il ait pu (dans les quelques études disponibles à ce sujet) activer davantage la cascade de signaux mTOR et la SPM que le lait (90).

Le **fromage** a également un effet différent du **lait** sur les taux d'acides aminés dans le sang et sur la synthèse protéique musculaire. C'est ce qui ressort d'une étude menée sur 24 jeunes adultes de poids normal ayant consommé 65 g de fromage cheddar ou 370 ml de lait, les deux ayant fourni 20 g de protéines et 2 g de leucine. Les taux postprandiaux d'acides aminés à chaîne ramifiée (notamment la leucine) augmentaient plus lentement après l'ingestion de fromage que celle de lait, mais restaient élevés plus longtemps (pic après 2 heures). Les deux aliments ont stimulé les voies de signaux musculaires mTOR, l'effet du lait étant plus net, mais celui du fromage plus durable (91). Comme le montrent les études sur le fromage mentionnées ci-dessus, la matrice du fromage ne compromet pas la SPM, même si les profils d'acides aminés dans le sang sont différents. Cela serait dû à l'augmentation prolongée des taux d'acides aminés après la consommation de fromage.

Cela s'applique-t-il également aux **personnes âgées**, dont la SPM n'est plus aussi sensible aux protéines alimentaires? Une première étude livre des informations à ce sujet. Les effets de 30 g de protéines sous forme de **séré** sur la SPM y ont été étudiés chez 14 hommes jeunes (18-35 ans) et 15 hommes âgés (65-85 ans) en bonne santé. Les sujets étaient là aussi invités à laisser une jambe au repos et à effectuer des exercices ciblés avec l'autre, afin de pouvoir déterminer les effets aussi bien au repos que pendant la phase de récupération après l'effort. Pour obtenir les 30 g de protéines visés, il fallait 291 g de séré maigre, qui fournissaient 16 g d'acides aminés essentiels, dont 2,9 g de leucine, et 166 kcal. **Aucune différence n'a été constatée entre les groupes d'âge**: les augmentations des acides aminés totaux et de la leucine dans le plasma sanguin étaient équivalentes, et les biopsies musculaires ont révélé des augmentations équivalentes de la SPM dans les deux groupes (92).

**Les «vrais» aliments chez les personnes jeunes et âgées: pas d'indication de résistance anabolique.
30 g de protéines lactiques issues du séré augmentent la synthèse protéique musculaire chez les hommes en bonne santé**



Source: d'après Hermans, WJH et al.: J Nutr 2023; 153: 66–75

Ainsi, la résistance anabolique des personnes âgées constatée dans les études portant sur les poudres est à nouveau remise en question, du moins dans le cas des personnes âgées en bonne santé et d'un apport en protéines suffisant par de «vrais» aliments, comme c'était le cas dans cette étude. Il est également possible que la transformation du lait en séré renforce l'effet stimulant des protéines sur la SPM (93). Malheureusement, il n'existe pas (encore) de données supplémentaires à ce sujet, pas plus que sur la situation des personnes âgées malades et des femmes.

Le séré est une source de protéines de haute qualité, riche en leucine et très bon marché, ce qui est particulièrement intéressant pour les personnes (âgées) disposant d'un petit budget et d'une santé dentaire limitée. De plus, il peut être préparé de différentes manières et permet ainsi de varier les menus faisant la part belle aux protéines pour les muscles.

Conclusion intermédiaire:

Alors que la matrice des aliments végétaux peut limiter considérablement l'assimilation de leurs protéines, ce n'est pas le cas de la matrice du lait et des produits laitiers. Néanmoins, il y a des différences entre les produits laitiers: ainsi, la synthèse protéique musculaire (SPM) était plus élevée après l'ingestion de yogourt et de fromage qu'après celle de lait, ce qui s'explique notamment par la structure protéique et le temps passé dans l'estomac.

Un bon timing fait-il vraiment toute la différence?

Pour soutenir au mieux la SPM, il est habituellement recommandé de répartir l'apport en protéines le plus uniformément possible sur la journée, car la SPM est ainsi de 25 % plus élevée qu'en cas de répartition inégale (94). Les personnes qui ne mangent qu'une tartine à la confiture le matin ont un apport protéique trop faible pour stimuler la SPM, surtout après une pause alimentaire nocturne de plusieurs heures. Les personnes âgées en particulier devraient donc veiller à prendre un petit-déjeuner riche en protéines (95). L'idéal pour les plus de 60 ans serait de consommer à chaque repas 0,4 à 0,6 g de protéines de haute qualité (provenant par exemple de produits laitiers) par kilo de poids corporel (96).

L'exercice physique renforce l'effet anabolique des acides aminés. Une méta-analyse récente portant sur 116 études d'intervention incluant 4711 sujets parvient aux conclusions suivantes (97): comparé à un placebo,

- un apport protéique après un exercice physique augmente de manière significative la masse corporelle maigre et la masse musculaire squelettique;
- un apport en protéines le soir augmente le plus efficacement la masse et la force musculaires (mesurées par la force de préhension des mains et la presse à cuisses);
- les protéines lactiques, consommées sous forme de lait, de protéines lactosériques, de yogourt ou de caséine, stimulent efficacement la masse et la force musculaires, et constituent des sources de protéines privilégiées.

Dans les programmes de musculation, il est également recommandé de consommer des protéines (et éventuellement des glucides) juste avant et jusqu'à environ deux heures après les séances, afin de stimuler au maximum la SPM et d'optimiser la récupération. On estime généralement que la SPM s'atténue après deux à trois heures (98). Tous les acides aminés qui n'ont pas été intégrés dans des protéines ainsi que ceux apportés «en plus» sont oxydés pour produire de l'énergie et ne sont donc plus disponibles pour la synthèse de protéines.* Même si jusqu'à présent les résultats des études ne sont pas uniformes, il semble que la SPM soit un processus saturable qui nécessite un apport ciblé en protéines, réparti sur la journée, pour être soutenu de manière optimale. De ce point de vue, le jeûne intermittent serait égale-

ment contre-productif pour le maintien de muscles en bonne santé.

Selon le professeur Donald Layman, chercheur renommé dans le domaine de l'alimentation, de la nutrition et des protéines à l'université d'Urbana-Champaign dans l'Illinois (États-Unis), la fenêtre de temps pour la SPM ne s'applique toutefois qu'aux personnes non entraînées. Chez les sportifs entraînés, la SPM peut durer beaucoup plus longtemps, jusqu'à 36 heures (99). Cependant, comme ces personnes ont besoin de plus de protéines pour la myogenèse que les personnes non entraînées, elles ne font pas de longues pauses entre leurs apports en protéines, car consommer toutes les protéines nécessaires en une seule fois serait à la fois irréaliste et peu pratique.

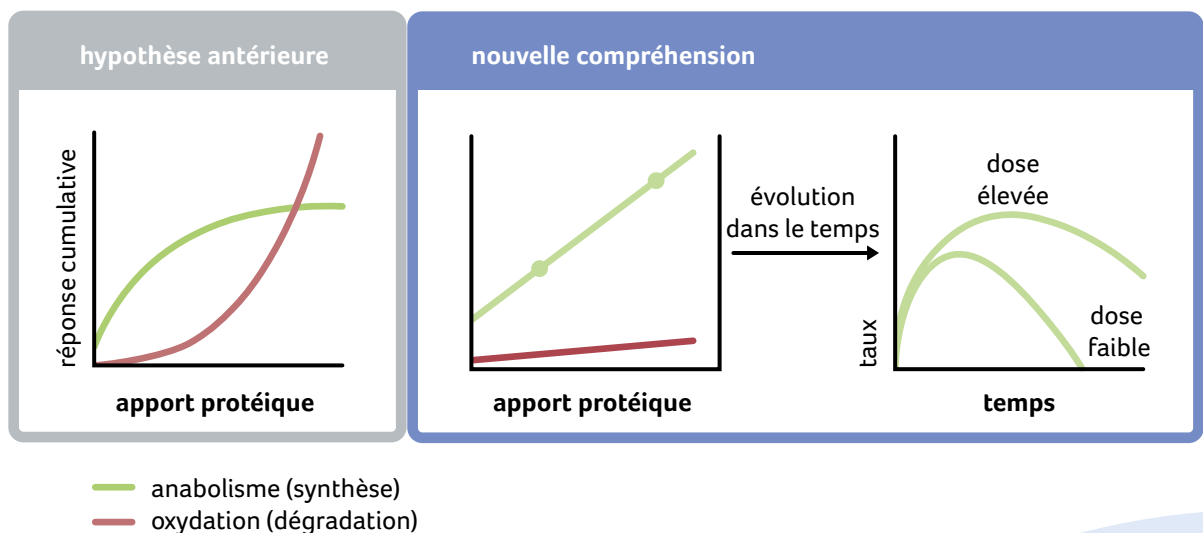
Un travail récent sème également le doute sur la vision établie selon laquelle la synthèse des protéines dans le corps n'a lieu que dans un bref laps de temps et que l'effet anabolique des protéines alimentaires est plafonné à environ 25 g (jusqu'à 40 g chez les personnes âgées). Au moyen d'acides aminés marqués par des isotopes, une étude néerlandaise portant sur 36 hommes en bonne santé (18-40 ans) a permis de retracer avec précision le parcours des acides aminés après l'ingestion de 25 ou 100 g de protéines lactiques sur une période de 12 heures. Avant l'ingestion des boissons à base de protéines de lait, les sujets, actifs pendant leur temps libre, avaient réalisés des exercices de musculation impliquant toutes les parties du corps. Leurs muscles étaient donc sensibilisés au maximum à la valorisation anabolique des acides aminés. Les analyses approfondies du sang, des organes, des tissus conjonctifs et des muscles dans cette étude d'intervention parallèle, randomisée et en double aveugle ont livré les résultats suivants (100):

- Un apport protéique plus élevé (100 g au lieu de 25 g) fait augmenter les taux d'acides aminés dans le sang pendant au moins 12 heures.
- Un apport protéique plus élevé (100 g au lieu de 25 g) s'accompagne d'une valorisation anabolique prolongée des acides aminés dans tout le corps: ils sont utilisés en permanence pour la synthèse des protéines du sang, des organes, des tissus conjonctifs et des muscles.
- L'augmentation de l'apport protéique n'a augmenté l'oxydation des acides aminés (et par conséquent l'azote à éliminer) que dans une mesure négligeable.

* C'est sur cette réflexion que repose le concept de Master Amino Acid Patterns (MAP): la prise d'acides aminés essentiels à effet exclusivement anabolique dans une composition adaptée à l'homme vise à réduire au maximum l'oxydation des acides aminés et donc la production d'azote à éliminer (ammoniac), ce qui peut être particulièrement intéressant pour les personnes souffrant de maladies rénales ou hépatiques.

- Bien que la SPM soit déclenchée par la voie de la leucine-mTOR1, après environ 4 heures, elle se poursuit indépendamment de cette voie de signaux, tant que des acides aminés affluent dans le sang. En d'autres termes: les cascades de signaux cellulaires déclenchées par la leucine semblent importantes uniquement pour initier la SPM, mais leur diminution après 2 à 4 heures ne limite pas sa durée. Les auteurs parlent d'une dissociation des effets cellulaires et métaboliques après un apport très élevé en protéines.
- Les acides aminés fournis par une boisson protéinée au lait sont les éléments constitutifs les plus importants des nouvelles protéines synthétisées dans tout le corps. Ils ont un effet supplémentaire sur le recyclage des protéines existantes.
- Contre toute attente, l'autophagie (processus de recyclage cellulaire, entre autres des protéines et organites défectueuses, considéré comme bénéfique pour la santé) n'est pas perturbée dans les cellules musculaires par la consommation de protéines. Cela est important, car une réduction de l'apport protéique par l'inhibition de la cascade de signaux mTOR est considérée comme un effet positif important du jeûne intermittent. Il est possible qu'à l'avenir il faille examiner séparément les muscles et les autres tissus.

Évolution des connaissances sur la durée et l'ampleur des effets anaboliques après la consommation de protéines (lactiques)



Source: d'après Trommelen, J et al.: Cell Reports Medicine 2023; 4: 101324

Que peut-on déduire de l'hypothèse antérieure et de la nouvelle compréhension? Une **grande quantité de protéines lactiques** (ici 100 g, composés de protéines de lactosérum «rapides» et de caséines «lentes») entraîne une **synthèse protéique prolongée dans tout le corps**, ce qui ne nous permet toutefois pas de savoir si cet effet se produirait également avec d'autres sources de protéines exclusivement «rapides». À l'inverse, cela signifie que les personnes qui souhaitent jeûner par intermittence ou ne consommer que deux grands repas par jour devraient, surtout avant de longues périodes de jeûne, consommer beaucoup de protéines lactiques (lait, yogourt, fromage) à teneur élevée en protéines lentes. En effet, la caséine, qui est digérée lentement, permet d'obtenir des taux d'acides aminés élevés et prolongés pour la synthèse protéique (101). Cela est particulièrement important pour les personnes

souffrant d'une résistance à l'insuline et/ou d'un syndrome métabolique, car ces deux facteurs favorisent le catabolisme, c'est-à-dire la dégradation des muscles, et réduisent l'efficacité des protéines, de sorte qu'il faut davantage et/ou de meilleures protéines pour entretenir les muscles (même s'il n'est pas nécessaire d'en consommer 100 g) (102).

En revanche, chez les personnes non entraînées, malades ou âgées, ainsi que chez les sportifs-ives qui ne veulent ou ne peuvent pas consommer autant de protéines à la fois (ou surtout des protéines de lactosérum rapides), il est judicieux de veiller à la répartition de l'apport protéique. Chez les personnes non entraînées et les personnes âgées, outre le petit-déjeuner (stimulant protéique après une longue nuit de sommeil), c'est surtout le repas du soir qui est décisif (103). En effet, comme nous

l'avons déjà mentionné plus haut, l'apport en protéines le soir est particulièrement efficace (en tout cas lorsqu'il s'agit de quantités modérées). La SPM peut donc aussi avoir lieu la nuit, à condition qu'il y ait suffisamment d'acides aminés qui circulent dans le sang.*

Cela est également pertinent pour la récupération musculaire après une séance de musculation. Un apport supplémentaire de protéines lentes avant le coucher s'est en effet avéré utile chez les personnes pratiquant la musculation, chez qui 40 g ont entraîné une augmentation plus importante de la masse et de la force musculaires à long terme (104). Ces effets pourraient également être utilisés chez les personnes âgées, par exemple en consommant du lait (chaud) avec du miel avant d'aller dormir. Une telle stratégie ne permettrait certes pas d'atteindre 40 g de protéines (à moins de compléter avec de la poudre de protéines lactiques), mais pourrait au moins stabiliser les acides aminés sanguins, de manière à contribuer un peu au maintien de la masse musculaire.

Le lait et les produits laitiers s'inscrivent dans un mode d'alimentation bénéfique pour les muscles

Ce que nous mangeons doit avoir du goût, être digeste et, bien sûr, être bon pour la santé et le bien-être en général, auxquels contribuent également des muscles sains, notamment avec leurs myokines. Une alimentation riche en protéines, comprenant du lait et des produits laitiers, est donc importante pour la santé musculaire.

Cela commencer dès le petit-déjeuner: prendre un petit-déjeuner riche en protéines lactiques favorise la santé métabolique, et pas seulement à un âge avancé. Ainsi, une étude d'intervention menée aux Pays-Bas a constaté que remplacer des sources de glucides (- 2 portions) par des produits laitiers (+2 portions) avait des effets bénéfiques mesurables sur le contrôle glycémique, le métabolisme osseux, la satiété et les taux d'acides aminés sanguins (tous les acides aminés essentiels et à chaîne ramifiée affichaient une augmentation continue). De plus, l'incrétine GLP-1** augmentait après deux portions de produits laitiers, ce qui améliorait encore la satiété (105). L'étude portait sur 20 hommes et femmes jeunes et en bonne santé. Si ces effets étaient également observés chez les personnes souffrant

d'obésité et/ou de syndrome métabolique, cela soulignerait l'importance du lait et des produits laitiers (plutôt que des aliments riches en glucides), tant pour une bonne santé osseuse et musculaire que pour la santé métabolique en général.

À l'heure où les régimes faisant la part belle aux produits végétaux ou exclusivement végétaux sont prônés comme sains pour l'humanité et la planète (106), il vaut la peine de se pencher sur leur effet sur la santé musculaire. Comme mentionné plus haut, un apport en protéines à partir de concentrés/isolats végétaux adapté à la SPM nécessite des quantités plus importantes, en particulier chez les personnes âgées (107, 108). Seule une étude a comparé la SPM après la consommation de repas entiers: 8 hommes et 8 femmes âgés de 65 à 85 ans ont consommé une fois un repas mixte composé de viande de bœuf haché, de haricots, de pommes de terre, de beurre aux herbes et de sauce à la pomme, et une autre fois un repas végétane composé de soja, de pois chiches, de fèves, de quinoa et de sauce soja. Les deux repas ont fourni la même quantité de calories et de protéines (0,45 g/kg de poids corporel, 36 g par repas). Malgré des quantités de protéines suffisantes et des teneurs similaires en acides aminés dans les deux plats, les acides aminés dans le sang ont augmenté plus nettement après le repas à base de protéines animales. La SPM était également nettement plus élevée de 47 % par rapport au repas végétane (109).

Certes, il ne s'agit que d'une étude aiguë, qui n'incluait pas de produits laitiers, mais elle montre que les effets d'un repas sur la santé musculaire ne peuvent pas être prédits simplement à partir des quantités calculées de protéines et d'acides aminés. En effet, les sources de protéines animales sont d'une importance capitale pour la santé musculaire. Ou, pour reprendre les termes des auteurs: «Un régime strictement végétane pourrait compromettre la capacité à maintenir la masse musculaire chez les adultes âgés.»

Des études antérieures avaient déjà indiqué que les personnes véganes consommaient environ un tiers de leucine en moins que les omnivores (110) et que les personnes âgées et malades perdaient moins de masse musculaire lorsque leur alimentation contenait des quantités plus importantes de protéines animales. Ainsi, comparées à des femmes omnivores,

* On ne sait pas si cela serait souhaitable pour la santé (activation durable de mTOR dans d'autres tissus) ou également bénéfique pour le corps dans son ensemble; d'autres études sont nécessaires à ce sujet.

** Les analogues du GLP-1 contribuent efficacement à la perte de poids (des produits comme Wegovy ou Ozempic font actuellement l'objet d'un véritable engouement). Cependant, contrairement à une alimentation riche en protéines présentant un faible indice glycémique, qui produit le même effet, ils ont parfois des effets secondaires importants.

les femmes âgées et végétariennes de longue date présentaient un moins bon maintien de leur masse musculaire, mesuré par une masse corporelle maigre plus faible (111).

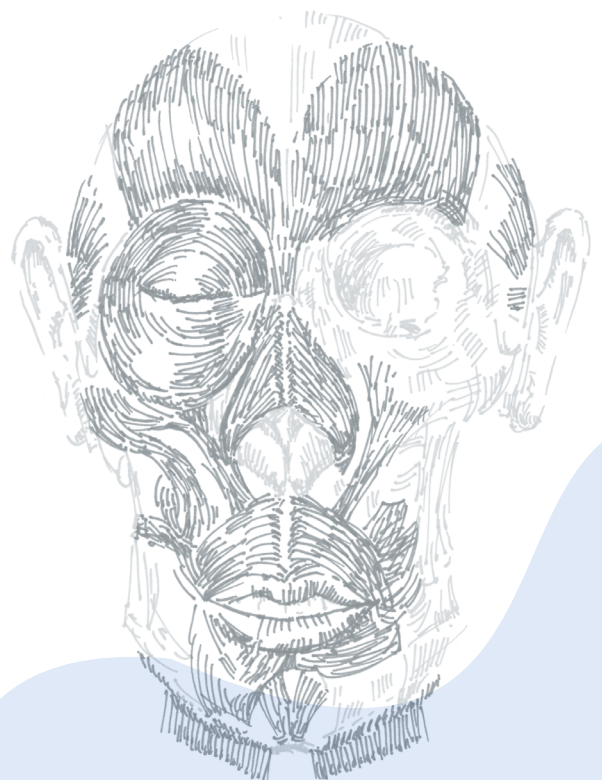
Il ne faut pas non plus oublier que les aliments riches en protéines apportent généralement toute une série d'autres nutriments importants. Dans le cas des sources de protéines végétales, il s'agit principalement de potassium, de magnésium et de fibres, mais aussi de quantités plus ou moins importantes de glucides et d'énergie. Une étude d'intervention menée sur 56 personnes âgées (en moyenne 70 ans) pendant 12 semaines a montré que l'augmentation de l'apport protéique (de 1,0 à 1,4–1,6 g/kg/jour) entraînait également une augmentation significative de l'apport en vitamines B, en sélénium et en iode, à condition que les protéines proviennent principalement d'aliments d'origine animale tels que la viande, le poisson, les produits laitiers et les œufs (112).

Trop de protéines sont-elles mauvaises pour le cœur et les vaisseaux sanguins?

En février 2024, une étude publiée dans une revue prestigieuse a soulevé des inquiétudes quant à un apport élevé en protéines (à partir de 22 % de l'apport énergétique quotidien ou 120 g/jour) (113). Après l'ingestion de protéines, on avait constaté une augmentation de mTOR1 induite par la leucine dans les cellules du système immunitaire humain (macrophages). Qu'est-ce que cela signifie? Sur la base d'essais alimentaires réalisés avec des souris génétiquement modifiées, qui développent rapidement des lésions cardiaques et vasculaires, les observations des études cytologiques ont été mises en relation avec des maladies cardiaques et vasculaires chez l'homme. Les résultats des études sur les souris transgéniques sont-ils pertinents pour l'alimentation humaine quotidienne? En ce qui concerne les protéines lactiques riches en leucine, les études menées sur des humains ne montrent en tout cas pas qu'elles seraient nocives pour le cœur et les vaisseaux. Au contraire, des effets soit neutres soit bénéfiques pour la santé ont été constatés après la consommation de lait et de produits laitiers (même dans leurs variantes entières) (114).

Conclusion intermédiaire:

Après une séance de musculation, un apport élevé en protéines lactiques (100 g) entraîne une synthèse protéique prolongée dans toutes les parties du corps. Avec de telles quantités, il ne semble pas y avoir de fenêtre anabolique. Les personnes qui ne peuvent ou ne veulent pas manger autant de protéines en une seule fois devraient répartir leur apport sur la journée, afin d'atteindre à chaque fois des quantités de leucine suffisantes pour la synthèse protéique musculaire (SPM). Les repas les plus importants sont le petit-déjeuner et le repas du soir. De plus, les repas contenant des protéines lactiques présentent des avantages pour la santé métabolique et le maintien du poids.



Résumé

L'état actuel des connaissances sur le lait, les produits laitiers et la santé musculaire peut être résumé comme suit.

- Les muscles nous maintiennent en bonne santé, et des muscles en bonne santé ont besoin de suffisamment de protéines, car ils se développent, se dégradent et se transforment tout au long de la vie (comme les os).
- Pour une bonne santé musculaire tout au long de la vie ou pour le maintien de la masse et de la force musculaires, il est important de stimuler suffisamment la synthèse protéique musculaire (SPM) et de ne pas laisser la dégradation prendre le dessus. Outre l'activité physique, une alimentation appropriée est nécessaire à cet effet.
- Les protéines constituent les nutriments les plus importants pour une SPM suffisante, leur quantité et leur qualité (digestibilité, absorbabilité) jouant un rôle pour garantir la disponibilité de suffisamment d'acides aminés.
- Au cours de la jeunesse, la régulation de la SPM par des hormones telles que l'hormone de croissance (HGH), l'IGF-1 et la testostérone prédomine. Les enfants, les adolescents et les jeunes adultes peuvent donc se contenter de moins de protéines par repas.
- À partir de la quatrième/cinquième décennie de vie environ, la sensibilité des cellules musculaires aux effets anaboliques des protéines/acides aminés diminue, comme le montre l'étude de protéines isolées. En raison de cette «résistance anabolique», des quantités plus importantes de protéines de qualité (environ 20 g, puis 30 à 40 g) par repas sont alors nécessaires pour obtenir une SPM suffisante.
- En ce qui concerne les vrais aliments, comme les produits laitiers et le fromage, la résistance anabolique des personnes âgées semble moins prononcée, mais d'autres études à ce sujet sont nécessaires.
- La leucine constitue le principal acide aminé anabolique; elle assure à la fois la (petite) sécrétion d'insuline nécessaire et, via mTOR-1, l'initiation de la SPM. Il convient de consommer environ 2 à 3 g de leucine par repas pour stimuler la SPM.
- Les protéines du lait, des produits laitiers et du fromage, ainsi que d'autres protéines animales, sont riches en leucine. On trouve également parmi les protéines végétales quelques très bonnes sources de leucine, comme celles provenant du maïs et des pommes de terre, même si leur teneur en protéines est faible.
- Dans le cas d'une alimentation exclusivement végétale, la SPM est nettement plus faible que dans le cas d'une alimentation omnivore contenant des sources de protéines animales.
- Le lait et les produits laitiers complètent très bien les sources de protéines végétales telles que les céréales et les légumineuses, notamment du point de vue de la durabilité (les protéines végétales seules devraient être cultivées en plus grande quantité, ce qui augmenterait considérablement la consommation d'eau douce, par exemple [115]).
- La teneur élevée en caséines du lait et des produits laitiers (protéines «lentes») peut prolonger considérablement la synthèse protéique dans l'organisme.
- Les poudres protéinées (isolats/concentrés) peuvent constituer un complément à l'alimentation lorsqu'un apport suffisant par le biais de vrais aliments (par exemple en raison de l'âge ou d'une maladie) n'est pas possible ou lorsqu'il s'agit de composer une alimentation exclusivement végétale contenant suffisamment de protéines.
- L'apport protéique ne doit pas être exprimé en pourcentage d'énergie, mais par kilo de poids corporel: au moins 0,8 g/kg pour les jeunes adultes et 1 à 1,5 g/kg pour les personnes âgées (65 ans et plus) ou les personnes présentant un risque de carence et 1 à 2 g/kg pour les sportifs-ves.
- D'autres études avec de vrais aliments, des repas complets ainsi qu'une plus grande prise en compte des femmes sont nécessaires pour combler les lacunes en matière de connaissances.

Le lait et les produits laitiers sont donc extrêmement utiles pour des muscles sains tout au long de la vie, et donc pour la santé en général. La Société suisse de nutrition (SSN) recommande de consommer 2 à 3 portions de lait ou de produits laitiers par jour,* une portion correspondant à 2 dl de lait, 150 à 200 g de yogourt, de séré, de cottage cheese ou d'autres produits laitiers, 30 g de fromage à pâte mi-dure/dure ou 60 g de fromage à pâte molle, ce qui fournit environ 20 à 40 g de protéines rassasiantes de qualité pour le développement musculaire et environ 1,9 à 4 g de leucine.

Perspectives

Les personnes qui consomment (plus) que les 2 à 3 portions de lait et de produits laitiers recommandées par jour peuvent améliorer non seulement leur apport en protéines de qualité et en autres nutriments, ainsi que leur santé musculaire et osseuse, mais encore bénéficier d'une réduction des risques

d'hypertension, de maladies cardiovasculaires et de diabète de type 2 (116). De plus, le lait et les produits laitiers s'intègrent aussi parfaitement dans les régimes à base de plantes et à faible teneur en glucides, qui ont fait leurs preuves pour la prophylaxie et le traitement de nombreuses maladies de civilisation.

Une hypothèse actuelle suggère que le galactose du lait et des produits laitiers est responsable d'une partie des effets anaboliques, ce qui plaide à nouveau en faveur des aliments complets plutôt que des isolats (117). Comme le fromage peut stimuler la SPM particulièrement longtemps et même pendant le sommeil, le lait chaud au miel avant le coucher est désormais concurrencé par les dés de fromage.

Parce que le corps donne la priorité à l'apport protéique, les aliments riches en protéines comme le lait et les produits laitiers aident à éviter la suralimentation calorique, ce qui peut contribuer à la prévention et au traitement du surpoids (118). La consommation de lait et de produits laitiers favorise le maintien d'un poids corporel normal et la perte de poids avec un bon maintien de la masse musculaire (119) et un bon contrôle glycémique (120). Une étude d'intervention avec 30 g de protéines par repas (0,8 au lieu de 1,2 g/kg/j) provenant principalement du lait pour le maintien des muscles dans le cadre d'un régime amaigrissant chez des personnes âgées obèses est en cours (121).

Actuellement, on s'efforce de développer de nouveaux indices de qualité pour les protéines, dans lesquels les acides aminés essentiels sont considérés comme des micronutriments individuels. Cela permettrait non seulement d'évaluer plus précisément la qualité des différentes sources de protéines (tous les scores actuels sont encore insuffisants à cet égard), mais aussi de combiner les aliments de façon idéale, par exemple à partir de produits laitiers et de sources végétales. La déclaration obligatoire des aliments dans le commerce, qui repose sur des directives obsolètes et sous-estime par exemple la teneur en protéines des produits laitiers, pourrait également être améliorée à l'aide des nouveaux indices (122). Le thème du lait, des protéines, des muscles et de la santé continue donc de revêtir un grand intérêt.



Bibliographie et répertoire des sources

Certaines des études mentionnées ont été en partie soutenues financièrement par la branche laitière ou réalisées par ses collaborateurs·trices. Il pourrait donc y avoir eu des conflits d'intérêts, ce qui est d'ailleurs mentionné dans les travaux originaux. Des conflits d'intérêts potentiels sont cependant

aussi présents dans certaines études portant sur des sources de protéines végétales ou mettant en avant leurs avantages, car elles sont souvent financées par des entreprises ou des représentants d'organisations végétariennes/véganes.

- (1) Froböse, I: Muskeln – die Gesundmacher. So bleiben wir fit, schlank und mental in Balance. Ullstein extra, Berlin 2023
- (2) Lyon, D: Forever strong. A new science-based strategy for aging well. Simon & Schuster, New York 2023
- (3) Krug, R: Eiweiss ganzheitlich betrachtet. Gesundheit aus Sicht der Muskeln. Kailo, Berlin 2023
- (4) Brandes, R et al. (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin 2019, 32^e édition, page 142
- (5) Bosy-Westphal, A et al.: Grade of adiposity affects the impact of fat mass on resting energy expenditure in women. *British Journal of Nutrition* 2009; 101: 474–477
- (6) Simoneau, JA, Bouchard, C: Human variation in skeletal muscle fiber-type proportion and enzyme activities. *American Journal of Physiology* 1989; 257: E567–572
- (7) Brandes, R et al. (Hrsg): Physiologie des Menschen. Springer, Berlin 2019, 32^e édition, page 574
- (8) Ren, Y et al.: Nutritional Intervention Improves Muscle Mass and Physical Performance in the Elderly in the Community: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life* 2024; 14: 70
- (9) Layman, DK et al.: Defining meal requirements for protein to optimize metabolic roles of amino acids. *Am J Clin Nutr* 2015; 101(Suppl): 1330S–1338S
- (10) Cruz-Jentoft, AJ et al.: Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 2019; 48: 16–31
- (11) Merz, KE, Thurmond, DC: Role of Skeletal Muscle in Insulin Resistance and Glucose Uptake. *Compr Physiol* 2020; 10: 785–809
- (12) Lee, JH, Jun, HS: Role of Myokines in Regulating Skeletal Muscle Mass and Function. *Frontiers in Physiology* 2019; 10: 42
- (13) Lee, K et al.: Recent Issues on Body Composition Imaging for Sarcopenia Evaluation. *Korean Journal of Radiology* 2019; 20: 205–217
- (14) <https://de.wikipedia.org/wiki/Sarkopenie>, (consulté le 20.2.2024)
- (15) Cruz-Jentoft, AJ et al.: Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 2019; 48: 16–31
- (16) Müller, T: Sarkopenie neu definiert. *Geriatric-Report* 2018; 13: 17
- (17) Lee, K et al.: Recent Issues on Body Composition Imaging for Sarcopenia Evaluation. *Korean Journal of Radiology* 2019; 20: 205–217
- (18) Schaupp, A et al.: Diagnostisches und therapeutisches Vorgehen bei Sarkopenie. *Z Gerontol Geriat* 2021; 14: 717–724
- (19) Rizzoli, R et al.: The role of dietary protein and vitamin D in maintaining musculoskeletal health in post-menopausal women: A consensus statement from the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO). *Maturitas* 2014; 79: 122–132
- (20) Hengeveld, LM et al.: Prospective associations of protein intake parameters with muscle strength and physical performance in community-dwelling older men and women from the Quebec NuAge cohort. *Am J Clin Nutr* 2021; 113: 972–983

- (21) Hanach, NI et al.: The Impact of Dairy Protein Intake on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Middle-Aged to Older Adults with or without Existing Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr* 2019; 10: 59–69
- (22) Phillips, SM et al.: Optimizing Adult Protein Intake During Catabolic Health Conditions. *Adv Nutr* 2020; 11: S1058–S1069
- (23) Cavalcante, BR et al.: «May the Force (and Size) Be with You»: Muscle Mass and Function Are Important Risk Factors for Cognitive Decline and Dementia. *J NutrHealth Aging* 2023; 27: 926–928
- (24) Wang, B et al.: Association of dietary patterns and sarcopenia in the elderly population: a crosssectional study. *Frontiers in Aging* 2023; 4: 1239945
- (25) Fuchs, CJ et al.: Branched-chain amino acid and branched-chain ketoacid ingestion increases muscle protein synthesis rates in vivo in older adults: a double-blind, randomized trial. *Am J Clin Nutr* 2019; 110: 862–872
- (26) Singh, A et al.: Milk-Derived Antimicrobial Peptides: Overview, Applications, and Future Perspectives. *Probiotics Antimicrob Proteins* 2023 Feb; 15: 44–62
- (27) Burd, NA et al. Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *J Appl Physiol* 2009; 106: 1692–1701
- (28) Pinckaers, PJM et al.: The Anabolic Response to Plant-Based Protein Ingestion. *Sports Medicine* 2021; 51(Suppl 1): S59–S74
- (29) Zittermann, A et al.: Protein intake and bone health: an umbrella review of systematic reviews for the evidence-based guideline of the German Nutrition Society. *Osteoporosis International* 2023, doi: 10.1007/s00198-023-06709-7
- (30) Layman, DK et al.: Defining meal requirements for protein to optimize metabolic roles of amino acids. *Am J Clin Nutr* 2015; 101(Suppl): 1330S–1338S
- (31) Pinckaers, PJM et al.: The Anabolic Response to Plant-Based Protein Ingestion. *Sports Medicine* 2021; 51(Suppl 1): S59–S74
- (32) Halmos, T, Suba, I: The physiological role of growth hormone and insulin-like growth factors. *Orvosi Hetilap* 2019; 160: 1774–1783
- (33) Hidayat, K et al.: The skeletal safety of milk-derived proteins: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Osteoporosis International* 2023; 34: 1937–1949
- (34) Kopf-Bolan, KA, Walther, B: Proteinkonsum in der Schweiz – Auswertung des menuCH Datensatzes. *Schweizer Ernährungsbulletin* 2021
- (35) Arentson-Lanz, EJ et al.: Important concepts in protein nutrition, aging, and skeletal muscle: Honoring Dr. Douglas Paddon-Jones (1969–2021) by highlighting his research contributions. *J Nutr* 2023; 153: 615–621
- (36) Du, Y et al.: Advantage of dairy for improving aging muscle. *J Obes Metab Syndr* 2019; 28: 167–174
- (37) Oshiro, S et al.: Antibodies against spike protein of SARS-CoV-2 variants in bovine whey IgG enriched fraction. *International Dairy Journal* 2022; 133: –105436
- (38) Givens, DI: Milk Symposium review: The importance of milk and dairy foods in the diets of infants, adolescents, pregnant women, adults, and the elderly. *J Dairy Sci* 2020; 103: 9681–9699
- (39) Auestad, N, Layman DK: Dairy bioactive proteins and peptides: a narrative review. *Nutr Rev* 2021; 79: 36–47
- (40) Food and Agriculture Organisation. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO expert consultation, 2011, FAO, Rome 2013
- (41) Kang, K et al.: Effects of milk and milk product consumption on growth among children and adolescents aged 6–18 years: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Advances in Nutrition* 2019; 10: 250–261
- (42) Gorissen, SHM, Witard, OC: Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 2018; 77: 20–31

- (43) Granic, A et al.: Myoprotective whole foods, muscle health and sarcopenia: A systematic review of observational and intervention studies in older adults. *Nutrients* 2020; 12: 1–32
- (44) Cuesta-Triana, F et al.: Effect of Milk and Other Dairy Products on the Risk of Frailty, Sarcopenia, and Cognitive Performance Decline in the Elderly: A Systematic Review. *Adv Nutr* 2019; 10(Suppl2): S105–S119
- (45) Mohammadi, S et al.: Effects of supplementation with milk protein on glycemic parameters: a GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis. *J Nutr* 2023; 22: 49
- (46) Törrönen, R et al.: Postprandial glycemic responses to a high-protein dairy snack and energy-enriched berry snacks in older adults. *Clin Nutr* 2022; 51: 231–238
- (47) Dougkas, A et al.: Associations between dairy consumption and body weight: A review of the evidence and underlying mechanisms. *Nutrition Research Reviews* 2011; 24: 72–95
- (48) Brandes, R et al. (Hrsg): *Physiologie des Menschen*. Springer, Berlin 2019, 32. Auflage
- (49) zit. n. Du, Y et al.: Advantage of dairy for improving aging muscle. *J Obes Metab Syndr* 2019; 28: 167–174
- (50) Welch, AA et al.: Dietary magnesium may be protective for aging of bone and skeletal muscle in middle and younger older age men and women: Cross-sectional findings from the UK Biobank cohort. *Nutrients* 2017; 9: 1189
- (51) Rizzoli, R et al.: The role of dietary protein and vitamin D in maintaining musculoskeletal health in postmenopausal women: A consensus statement from the European Society for Clinical and Economic Aspects of Osteoporosis and Osteoarthritis (ESCEO). *Maturitas* 2014; 79: 122–132
- (52) Phillips, SM, Martinson, W: Nutrient-rich, high-quality, protein-containing dairy foods in combination with exercise in aging persons to mitigate sarcopenia. *Nutr Reviews* 2018; 77: 216–229
- (53) Sixième rapport sur la nutrition en Suisse 2012. Office fédéral de la santé publique, Berne 2012
- (54) Kirk, B et al.: Nutrients to mitigate osteosarcopenia: the role of protein, vitamin D and calcium. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 2021; 24: 25–32
- (55) <https://kwk.blv.admin.ch/webpublication/grid5/tmpHTTP/bb617a310a7c6cbce269fc1da5811a58.pdf>
- (56) Kopf-Bolan, KA, Walther, B: Proteinkonsum in der Schweiz – Auswertung des menuCH Datensatzes. *Bulletin nutritionnel suisse* 2021
- (57) Lonnie, M et al.: Protein for life: Review of optimal protein intake, sustainable dietary sources and the effect on appetite in ageing adults. *Nutrients* 2018; 10: 360
- (58) Morgan, PT et al.: Dietary protein recommendations to support healthy muscle ageing in the 21st century and beyond: considerations and future directions. *Proc Nutr Soc* 2023, doi: 10.1017/S0029665123003750
- (59) Campbell, WW et al.: The recommended dietary allowance for protein may not be adequate for older people to maintain skeletal muscle. *Journal of Gerontology* 2001; 56: M373–M380
- (60) Huang, LP et al.: Effects of Milk Protein in Resistance Training-Induced Lean Mass Gains for Older Adults Aged 60 y: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 2021; 13: 2815
- (61) Nakayama, K et al.: Effects of low-dose milk protein supplementation following low-to-moderate intensity exercise training on muscle mass in healthy older adults: a randomized placebo-controlled trial. *Eur J Nutr* 2021; 60: 917–928
- (62) Miyazaki, R et al.: Associations between dairy consumption and the physical function in Japanese community-dwelling older adults: The Shimane CoHRE study. *Geriatric Nursing* 2023; 53: 19–24
- (63) Lim, MT et al.: Animal Protein versus Plant Protein in Supporting Lean Mass and Muscle Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients* 2021; 13: 661
- (64) Domic, J et al.: Perspective: Vegan Diets for Older Adults? A Perspective On the Potential Impact On Muscle Mass and Strength. *Advances in Nutrition* 2022; 13: 1712–1725
- (65) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991

- (66) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991
- (67) Gorissen, SHM, Witard, OC: Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 2018; 77: 20–31
- (68) Dossier Swissmilk: Les légumineuses (première partie)
- (69) Pinckaers, PJM et al.: Potato Protein Ingestion Increases Muscle Protein Synthesis Rates at Rest and during Recovery from Exercise in Humans. *Med Sci Sports Exerc* 2022; 54: 1572–1581
- (70) Pinckaers, PJM et al.: No differences in muscle protein synthesis rates following ingestion of wheat protein, milk protein, and their protein blend in healthy, young males. *Brit J Nutr* 2021; 126: 1832–1842
- (71) Pinckaers, PJM et al.: The muscle protein synthetic response following corn protein ingestion does not differ from milk protein in healthy young adults. *Amino acids* 2024; 56: 8
- (72) Dossier Swissmilk: Les légumineuses (première partie)
- (73) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991
- (74) Pinckaers, PJM et al.: The muscle protein synthetic response following corn protein ingestion does not differ from milk protein in healthy young adults. *Amino acids* 2024; 56: 8
- (75) Pinckaers, PJM et al.: The Anabolic Response to Plant-Based Protein Ingestion. *Sports Medicine* 2021; 51(Suppl 1): S59–S74
- (76) https://www.kelloggs.ch/fr_CH/brands/corn-flakes.html
- (77) Pinckaers, PJM et al.: The muscle protein synthetic response following corn protein ingestion does not differ from milk protein in healthy young adults. *Amino acids* 2024; 56: 8
- (78) Forester, SM et al.: Perspective: Developing a nutrient-based framework for protein quality. *J Nutr* 2023; 153: 2137–2146
- (79) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991
- (80) Gorissen, SHM, Witard, OC: Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 2018; 77: 20–31
- (81) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991
- (82) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991
- (83) Gorissen, SHM, Witard, OC: Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 2018; 77: 20–31
- (84) Gorissen, SHM et al.: Ingestion of Wheat Protein Increases In Vivo Muscle Protein Synthesis Rates in Healthy Older Men in a Randomized Trial. *J Nutr* 2016; 146: 1651–1659
- (85) Dossier Swissmilk: Les légumineuses (deuxième partie)
- (86) Hanach, NI et al.: The Impact of Dairy Protein Intake on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Middle-Aged to Older Adults with or without Existing Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Adv Nutr* 2019; 10: 1059–1069
- (87) Hermans, WJH et al.: Cheese Ingestion Increases Muscle Protein Synthesis Rates Both at Rest and During Recovery from Exercise in Healthy, Young Males: A Randomized Parallel-Group Trial. *J Nutr* 2022; 152: 1022–1030
- (88) Aoe, S: Milk, dairy products and bone health. Characteristics of calcium in milk. *Clin Calcium* 2018; 28: 493–498
- (89) Horstmann, AMH et al.: Postprandial blood amino acid concentrations in older adults after consumption of dairy products: The role of the dairy matrix. *Intl Dairy J* 2021; 113: 104890
- (90) Sumi, K et al.: Nutritional Value of Yogurt as a Protein Source: Digestibility/Absorbability and Effects on Skeletal Muscle. *Nutrients* 2023; 15: 4366

- (91) de Hart, NMMP, et al.: Acute Effects of Cheddar Cheese Consumption on Circulating Amino Acids and Human Skeletal Muscle. *Nutrients* 2021; 13: 614
- (92) Hermans, WJH et al.: Acute Quark Ingestion Increases Muscle Protein Synthesis Rates at Rest with a Further Increase after Exercise in Young and Older Adult Males in a Parallel-Group Intervention Trial. *J Nutr* 2023; 153: 66–75
- (93) Sumi, K et al.: Nutritional Value of Yogurt as a Protein Source: Digestibility/Absorbability and Effects on Skeletal Muscle. *Nutrients* 2023; 15: 4366
- (94) Marmerow, MM et al.: Dietary protein distribution positively influences 24-h muscle protein synthesis in healthy adults. *J Nutr* 2014; 144: 876–880
- (95) Aoyama, S et al.: Distribution of dietary protein intake in daily meals influences skeletal muscle hypertrophy via the muscle clock. *Cell Reports* 2021; 36: 109336
- (96) Phillips, SM, Martinson, W: Nutrient-rich, high-quality, protein-containing dairy foods in combination with exercise in aging persons to mitigate sarcopenia. *Nutr Reviews* 2018;77:216–229
- (97) Zhou, HH et al.: Effects of Timing and Types of Protein Supplementation on Improving Muscle Mass, Strength, and Physical Performance in Adults Undergoing Resistance Training: A Network Meta-Analysis. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2023; 34: 54–64
- (98) Layman, DK et al.: Defining meal requirements for protein to optimize metabolic roles of amino acids. *Am J Clin Nutr* 2015;101(Suppl):1330S–1338S
- (99) Entretien avec le professeur Layman dans le podcast n° 224 de Peter Attia du 6.9.2022, <https://www.youtube.com/watch?v=BqmG2y4leY8> (visionné en février 2024)
- (100) Trommelen, J et al.: The anabolic response to protein ingestion during recovery from exercise has no upper limit in magnitude and duration in vivo in humans. *Cell Reports Medicine* 2023; 4: 101324
- (101) Article du blog de Peter Attia sur l'étude Trommelen du 27.1.2024, https://peterattiamd.com/protein-anabolic-responses/?utm_sou...1b8-%5BLIST_EMAIL_ID%5D&mc_cid=6a427ce767&mc_eid=8c7d3e3288
- (102) Raubenheimer D, Simpson, SJ: Protein appetite as an integrator in the obesity system: the protein leverage hypothesis. *Phil Trans R Soc B* 2023;378:20220212
- (103) Entretien avec le professeur Layman dans le podcast n° 224 de Peter Attia du 6.9.2022, <https://www.youtube.com/watch?v=BqmG2y4leY8> (visionné en février 2024)
- (104) Trommelen, J, van Loon, LJC: Pre-sleep protein ingestion to improve the skeletal muscle adaptive response to exercise training. *Nutrients* 2016; 8: 763
- (105) Hilkens, L et al.: Graded Replacement of Carbohydrate-Rich Breakfast Products with Dairy Products: Effects on Postprandial Aminoacidemia, Glycemic Control, Bone Metabolism, and Satiety. *J Nutr* 2024; 154: 479–490
- (106) Willett, W et al.: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 2019; 393: 447–492
- (107) van Vliet, S et al.: The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant- versus Animal-Based Protein Consumption. 2015; 145: 1981–1991
- (108) Gorissen, SHM, Witard, OC: Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 2018; 77: 20–31
- (109) Pinckaers, PJM et al.: Higher Muscle Protein Synthesis Rates Following Ingestion of an Omnivorous Meal Compared with an Isocaloric and Isonitrogenous Vegan Meal in Healthy, Older Adults. *J Nutr* 2023, doi 10.1016/j.tjn.2023.11.004
- (110) Dietrich, S et al.: Amino acid intake and plasma concentrations and their interplay with gut microbiota in vegans and omnivores in Germany. *Eur J Clin Nutr* 2022; 61: 2103–2114
- (111) Gorissen, SHM, Witard, OC: Characterising the muscle anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Proceedings of the Nutrition Society* 2018; 77: 20–31
- (112) Hone, M et al.: Increases in protein intake, protein distribution score, and micronutrient intakes in older adults in response to a whole food-based dietary intervention. *Aging Clin Exp Res* 2022; 34: 927–934

- (113) Zhang, X et al.: Identification of a leucine-mediated threshold effect governing macrophage mTOR signalling and cardiovascular risk. *Nature Metabolism* 2024; 6: 359–377
- (114) Astrup, A et al.: Saturated Fats and Health: A Reassessment and Proposal for Food-Based Recommendations: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology* 2020; 76: 844–857
- (115) Dräger de Tean, T in WWF (Hrsg.): Wasserverbrauch und Wasserknappheit. D’après une étude d’écobilan d’Eberle, U, Mumm, N von der corsus – corporate sustainability GmbH, Hambourg avec la collaboration de Meier, T, Institut für Nachhaltige Land- und Ernährungswirtschaft e. V. (INL), Halle/Saale
- (116) Rice, BH et al.: Meeting and exceeding dairy recommendations: effects of dairy consumption on nutrient intakes and risk of chronic disease. *Nutrition Reviews* 2013; 71: 209–223
- (117) Homolak, J et al.: D-galactose might mediate some of the skeletal muscle hypertrophy-promoting effects of milk—A nutrient to consider for sarcopenia? *BioEssays* 2023;2300061
- (118) Raubenheimer, D, Simpson, SJ: Protein appetite as an integrator in the obesity system: the protein leverage hypothesis. *Phil Trans R Soc B* 2023; 378: 20220212
- (119) Mojtahedi, MC et al.: The Effects of a Higher Protein Intake During Energy Restriction on Changes in Body Composition and Physical Function in Older Women. *Journal of Gerontology* 2011, doi: 10.1093/gerona/glr120
- (120) Layman, KD, Walker, DA: Potential importance of leucine in treatment of obesity and the metabolic syndrome. *J Nutr* 2006; 136: 319S–323S
- (121) Miller, MG et al.: Rationale and design for a higher (dairy) protein weight loss intervention that promotes muscle quality and bone health in older adults with obesity: A randomized, controlled pilot study. *J Nutr Gerontol Geriatr* 2021; 40: 150–170
- (122) Forester, SM et al.: Perspective: Developing a nutrient-based framework for protein quality. *J Nutr* 2023; 153: 2137–2146



Producteurs Suisses de Lait PSL
Swissmilk
Santé & saveur

Laubeggstrasse 68
CH-3006 Berne

+41 31 359 57 28
marketing@swissmilk.ch
www.swissmilk.ch

© Swissmilk 2025

Suisse. Naturellement.

