

表2 種々の基礎代謝量推定式

| | | | |
|--------------------------------|--------|---|--|
| 国立健康・栄養研究所 ⁷⁾ | | $0.1238 + 0.0481 \times \text{体重(kg)} + 0.0234 \times \text{身長(cm)} - 0.0138 \times \text{年齢(歳)} - 0.5473 \times \text{性別}^* \times 1.000 / 4.186$ *男性：1, 女性：2 | |
| Harris Benedict ⁸⁾ | 男性 | $66.47 + 13.75 \times \text{体重(kg)} + 5.0 \times \text{身長(cm)} - 6.75 \times \text{年齢(歳)}$ | |
| | 女性 | $665.09 + 9.56 \times \text{体重(kg)} + 1.84 \times \text{身長(cm)} - 4.67 \times \text{年齢(歳)}$ | |
| WHO/FAO/UNU ⁹⁾ | 18~30歳 | 男性 | $15.4 \times \text{体重(kg)} - 27 \times \text{身長(m)} + 717$ |
| | | 女性 | $13.3 \times \text{体重(kg)} + 334 \times \text{身長(m)} + 35$ |
| | 30~60歳 | 男性 | $11.3 \times \text{体重(kg)} + 16 \times \text{身長(m)} + 901$ |
| | | 女性 | $8.7 \times \text{体重(kg)} - 25 \times \text{身長(m)} + 865$ |
| | >60歳 | 男性 | $8.8 \times \text{体重(kg)} + 1.128 \times \text{身長(m)} - 1.071$ |
| | | 女性 | $9.2 \times \text{体重(kg)} + 637 \times \text{身長(m)} - 302$ |
| Mifflin-St Jeor ¹⁰⁾ | 男性 | $9.99 \times \text{体重(kg)} + 6.25 \times \text{身長(cm)} - 4.92 \times \text{年齢(歳)} + 5$ | |
| | 女性 | $9.99 \times \text{体重(kg)} + 6.25 \times \text{身長(cm)} - 4.92 \times \text{年齢(歳)} - 161$ | |

7~10)は文献リストの番号を示す。

表3 年齢別身体活動レベル(PAL) (男女共通)

| | レベル | | |
|--------|--------|---------|----------|
| | I (低い) | II (普通) | III (高い) |
| 18~29歳 | 1.50 | 1.75 | 2.00 |
| 30~49歳 | 1.50 | 1.75 | 2.00 |
| 50~69歳 | 1.50 | 1.75 | 2.00 |
| 70歳以上 | 1.45 | 1.70 | 1.95 |

(厚生労働省：日本人の食事摂取基準(2010年版)「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書、p.50、第一出版、2009より引用)

動によるエネルギー消費量の総和であり、種々の測定法が存在する。そのうち、日常生活におけるエネルギー消費量の測定方法で最も正確であるとされるのは二重標識水法である。この方法は、水素(O)と酸素(H)の安定同位体を用いてエネルギー消費量を測定する。

また、総エネルギー消費量÷基礎代謝量/日=身体活動レベル(physical activity level: PAL)と定義される。したがって推定エネルギー必要量は基礎代謝量×身体活動レベル(PAL)として算定される。『日本人の食事摂取基準(2010年度版)』では表3のように活動レベルを3段階に分け、それぞれのPALを設定している⁶⁾。70歳以上で比較的元気な高齢者で「普通の活動量」の場合のPALは1.70と設定しており、先の基礎代謝量を使用すると、推定エネルギー必要量は男性60kgの場合は $21.5 \text{ kcal/kg 体重/日} \times 60 \text{ kg} \times 1.70 = 2,193 \text{ kcal}$ となり、女性50kgの場合だと、 $20.7 \text{ kcal/kg 体重/日} \times 50 \text{ kg} \times 1.70 = 1,759.5 \text{ kcal}$ となる。

加齢による総エネルギー消費量の低下の要因として、加齢に伴う基礎代謝量の低下はあるものの、PALの差であることが推定され、20～90歳代まで10年ごとに約150kcalずつ低下し、20歳代の1.75のPALは90歳代では1.28まで低下すると報告もある¹¹⁾。欧米での2007年のメタ解析では、健康な高齢者(平均年齢70.6歳、平均BMI 25.6 kg/m²)の総エネルギー消費量は10の研究結果の平均は2,326±250 kcal/日の体重当たりになると32.4±2.5 kcal/kgとなる⁵⁾。

MEMO 元気な高齢者はしっかり食べている

健康な高齢者はどのくらいエネルギーを摂取しているかという、表4のように、70歳以上では低下するものの、69歳までの摂取量はほとんど加齢の影響を受けていない。この群には80歳以上も含まれていることを考えると、地域で元気に自立している高齢者はしっかり食べていることがわかる。蛋白質摂取も同様である。

表4 年齢階級別エネルギー摂取量ならびに蛋白質摂取量(平成23年国民健康栄養調査)

| | | 40～49歳 | | 50～59歳 | | 60～69歳 | | 70歳以上 | |
|----------------|----|--------|------|--------|------|--------|------|-------|------|
| | | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 | 平均 | 標準偏差 |
| エネルギー摂取量(kcal) | 男性 | 2,090 | 552 | 2,118 | 552 | 2,141 | 524 | 1,936 | 533 |
| | 女性 | 1,668 | 441 | 1,726 | 437 | 1,692 | 414 | 1,595 | 437 |
| 蛋白質摂取量(g) | 男性 | 72.6 | 20.8 | 76.2 | 23.4 | 78.9 | 23.2 | 71.8 | 23.5 |
| | 女性 | 60.5 | 18.3 | 64.7 | 19.3 | 66.4 | 19.7 | 60.2 | 20.4 |

■ 文献

- 1) Keys A, et al. : Basal metabolism and age of adult man. *Metabolism* 22(4) : 579-587, 1973.
- 2) Henry CJ : Mechanisms of changes in basal metabolism during ageing. *Eur J Clin Nutr* 54 (Suppl 3) : S77-91, 2000.
- 3) Poehlman ET, et al. : Determinants of decline in resting metabolic rate in aging females. *Am J Physiol* 264 (3 Pt 1) : E450-5, 1993.
- 4) Poehlman ET : Energy expenditure and requirements in aging humans. *J Nutr* 122 : 2057-2065, 1992.
- 5) Gaillard C, et al. : Energy requirements in frail elderly people : a review of the literature. *Clin Nutr* 26 : 16-24, 2007.
- 6) 厚生労働省 : 日本人の食事摂取基準(2010年版)「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書, pp.43-61, 第一出版, 2009.
- 7) Ganpule AA, et al. : Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur J Clin Nutr* 61 : 1256-1261, 2007.
- 8) Harris JA, Benedict FG : A Biometric Study of Human Basal Metabolism. *Proc Natl Acad Sci USA* 4 : 370-373, 1918.
- 9) Food and Agricultural Organization/World Health Organization/United Nations University : Energy and Protein Requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation World Health Organization Technical Report Series 724. Geneva, Switzerland, WHO, 1985.
- 10) Mifflin MD, et al. : A new predictive equation for resting energy expenditure in healthy individuals. *Am J Clin Nutr* 51 : 241-247, 1990.
- 11) Roberts SB, Dallal GE : Energy requirements and aging. *Public Health Nutr* 8(7A) : 1028-1036, 2005.

(葛谷雅文)

3. 高齢者の栄養管理に必要な知識

3) 加齢と蛋白質代謝の変化

Essence!

- 1 高齢者では骨格筋萎縮が起こりやすく、生活機能障害に直結する。
- 2 骨格筋萎縮の原因として筋肉内での蛋白質合成障害が想定されている。
- 3 高齢者では、原料となる蛋白質の供給がより必要かもしれない。

1 高齢者の健康維持のための蛋白質の重要性

高度成長期になり、日本人の栄養過多が問題となった。糖尿病、脂質異常症、動脈硬化症が心血管病、心血管死のリスク因子として注目されるに至り、マクロ栄養素として炭水化物ならびに脂質の摂取量が注目されてきた。これらの栄養素の制限により、生活習慣病の予防や改善につながるというロジックである。しかし昨今、人口の高齢化に伴い、高齢者の自立や身体機能障害予防の観点が目されるに至り、それらに密接に関わる加齢に伴う四肢骨格筋の萎縮、サルコペニアの問題がクローズアップされ、筋肉との関わりが強い蛋白質が再び注目されるに至っている。蛋白質代謝は無論、骨格筋のみに関わるだけではなく、高齢者医療の現場で大きな問題になる骨粗鬆症、免疫能の低下、創傷治癒の遅延などにも大きく関連している。しかし本項では特に骨格筋に限定して述べる。

2 加齢による骨格筋量の変化

骨格筋は、歩行をはじめとした日常生活活動を実践するうえで欠くことができない臓器であり、加齢とともにこの臓器の萎縮ならびに機能の低下が起こることが知られている。一般的には40歳頃から年に0.5~1.0%程度筋肉量自体が減少し20~40歳時には全体重の50%近くが筋肉で占められるのに対して、70~80歳の高齢者では25%まで低下することが報告されている¹⁾。加齢に伴う骨格筋の減少は筋力の低下につながっており、明らかに高齢者の転倒リスクに関連しているのみならず身体機能障害のリスクにもなっており、高齢社会においては医学的にもきわめて重

要な病態である。骨格筋量の減少は主に type II (速筋) の減少によっており、筋肉細胞の減少のみならず筋肉細胞自体の萎縮を伴うことが知られる。

MEMO サルコペニアとは？

1989年に Rosenberg は、骨格筋量の加齢変化は他の臓器の加齢変化よりも顕著であり、加齢に伴う骨格筋量の減少は高齢者の歩行、移動、運動、エネルギー消費などに関連するとして、その臨床上的重要性を指摘した。その論文の中で初めて「サルコペニア」(sarcopenia)という言葉を提唱した²⁾。はじめサルコペニアは骨格筋量の減少をさしていたが近年、筋肉量だけでなく筋力、身体機能を含めた定義に切り替わった。2009年にヨーロッパを中心とした老年医学、臨床栄養学に関連する学会よりサルコペニアの定義が表1のように提案された³⁾。

表1 サルコペニアの定義

1. 筋肉量減少
2. 筋力低下
3. 身体能力の低下

診断は項目1に加え項目2または項目3を併せもつ場合。

POINT

高齢者の骨格筋減少は、以下のリスクに直結する。

- ・転倒のリスク
- ・生活機能障害のリスク

3

筋肉萎縮の要因～anabolic resistance とは？～

筋肉細胞の萎縮は筋蛋白量に依存しており、さらに筋蛋白量は筋蛋白の合成と分解のバランスによって決まる(図1)。以前は、高齢者の骨格筋蛋白合成能は若年者に比較して著しく低下し、さらに分解が亢進していると考えられていた。しかし、近年の多くの報告では少なくとも安静時の筋蛋白合成、分解の年齢による相違はほとんど認められないとされている⁴⁾。むしろ近年では、筋蛋白の合成を刺激するさまざまな因子、たとえば運動や食事、インスリンによる筋蛋白合成への加齢の影響に注目が集まっている。

筋蛋白合成にはさまざまなシグナル経路が存在するが、最も重要なシグナルとしては a mammalian target of rapamycin (mTOR) complex I (mTORCI) ならびにその下流の the 70-kDa S6 protein kinase (S6K1) と、 the eukaryotic initiation factor 4E-binding protein のリン酸化がある(図2)。運動刺激によっても mTOR を介する経路の関与が想定されるが、若年者と比較して高齢者では運動後のこのシグナル

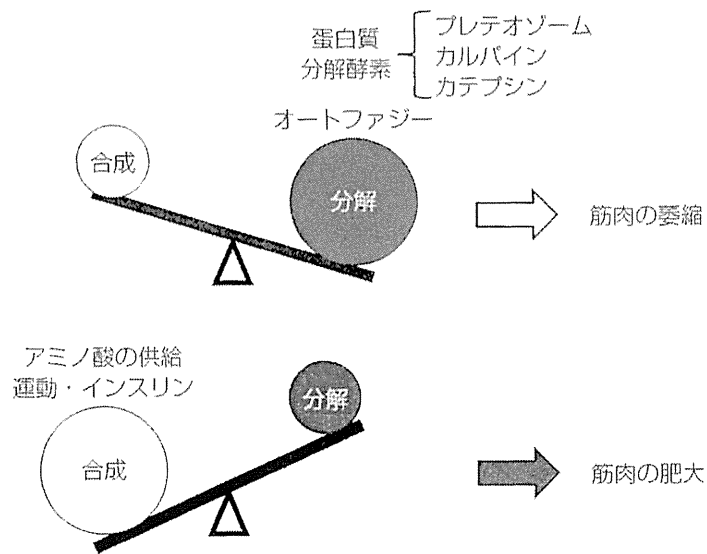


図1 筋蛋白の合成と分解

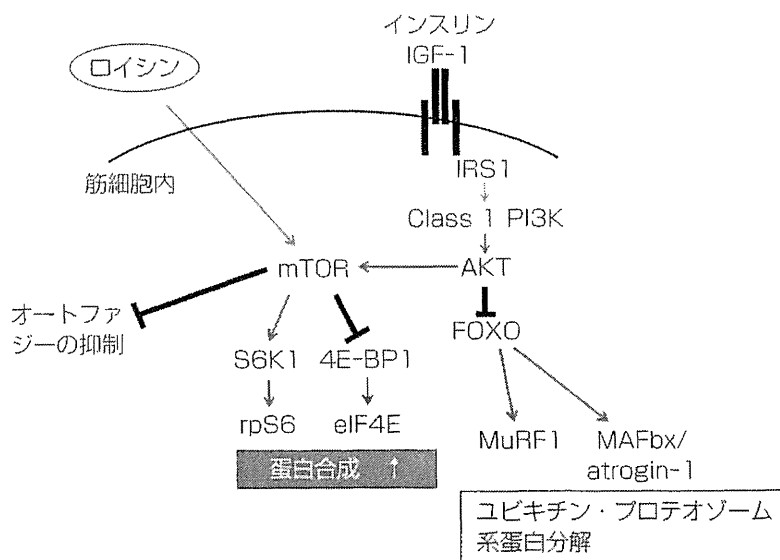


図2 ロイシンによる筋蛋白合成刺激

4E-BP : eukaryotic initiation factor 4 E binding protein 1, Akt : v-aktmurine thymoma viral oncogene or protein kinase B (PKB), eIF : eukaryotic initiation factor, FoXO : forkhead transcription factor, IGF-1 : insulin-like growth factor-1, mTOR : mammalian target of rapamycin, MuRF1 : muscle ring finger-1, S6K : ribosomal protein S6 kinase, rpS6 : ribosomal protein S6.

活性が不十分であると報告されている⁵⁾。

一方、筋蛋白の分解にはさまざまな分解酵素(カルパイン、ユビキチン・プロテオゾーム系、オートファジー・リソゾーム系など)が関わっている。ユビキチンリガーゼである atrogin-1 や MuRF 1、また calpains などの蛋白質の発現により筋蛋白の分解が促進される。これらの蛋白質発現が年齢の影響を受けるか否かはまだ明確にされていない。

食事による骨格筋蛋白合成刺激は食後の血中アミノ酸濃度の上昇に依存しており、アミノ酸の骨格筋への供給により筋蛋白は合成に向かう。しかしその際、非必須アミノ酸にはその効果はなく、必須アミノ酸に依存している。とりわけロイシンは mTOR を直接刺激することができ、その後の 4E-binding protein, S6K1 や ribosomal S6 が活性化され、蛋白合成が誘導される。したがって、食後に誘導される骨格筋における蛋白合成誘導は必須アミノ酸、特にロイシンを仲介していると考えられている^{6,7)}。

高齢者では食後(蛋白質摂取後)に誘導される骨格筋における蛋白質合成が若年者に比較して低下していることが報告されている。これを anabolic resistance とよぶ。現在、高齢者の骨格筋減少の主な理由はこの anabolic resistance にあるのではないかと想定されている。その1つの理由に高齢者では摂取した蛋白質の消化吸収が低下し、そのため血中に筋蛋白合成に必要なアミノ酸の濃度の上昇が阻害される可能性が考えられている。さらに、高齢者ではアミノ酸の代謝が内臓で高いため、骨格筋で使用されるアミノ酸量が低下しているという説もある⁸⁾。しかし、最近の研究では経口摂取した蛋白質の消化、吸収は高齢者も若年者も大きな差がないことが報告され、実際高齢者でも食後には血液中に十分なアミノ酸濃度の上昇が認められる⁹⁾。

一方、高齢者の骨格筋では十分な必須アミノ酸が血中に存在したとしても、筋蛋白合成を誘導する mTOR のリン酸化ならびにその下流のシグナル活性が低下していることが報告されている(anabolic resistance)。しかも、インスリンの筋蛋白分解抑制作用が高齢者ではかなり低下しているとの報告や、インスリンの筋蛋白合成能自体が高齢者で低下しているとの報告もある^{10,11)}。高齢者の骨格筋では、ロイシンの少量刺激による蛋白合成反応が若年者と比較して弱く、より高濃度のロイシン供給が必要とされる^{12,13)}。その原因はなお明確ではないが、同じ量のアミノ酸を筋肉に投与しても若年者の筋肉に比較し、高齢者の筋肉では mTOR やその下流のシグナルが十分に活性化されない、という多くの報告がある^{14,15)}。

4

運動と食事による介入効果

高齢者でも若年者と同様にレジスタンス運動と食事の介入により筋蛋白の合成が上昇することがわかっているが、高齢者では、運動後の蛋白質と炭水化物の摂取による骨格筋の蛋白質合成の亢進が若年者より遅延していると報告されているが、この原因はいまだ明確ではない¹⁶⁾。

現在、蛋白質摂取の推奨量として成人から高齢者までWHOを含め世界的に0.8 g/kg/日が提示され、『日本人の食事摂取基準 2010 年度版』では、高齢者について0.85 g/kg/日が基準とされている。これらの値は、主に窒素出納研究により導き出された結果を基としている。一方、蛋白質摂取量が低いと筋肉量の減少が認められ¹⁷⁾、これらの推奨される蛋白質量が果たして十分か否かの議論が現在世界的になされている。実際、蛋白質摂取量を0.8 g/kg/日で2週間継続した場合、ほとんどの高齢者で骨格筋の減少が観察されている¹⁸⁾。前述のように高齢者では蛋白質やアミノ酸に対して筋肉での蛋白質合成は若年者に比較し反応が低下しており(anabolic resistance)、それを相殺するためにより多くのアミノ酸供給を筋肉に与える必要があるとの考え方があ。実際に、1.0~1.3 g/kg/日程度の蛋白質摂取による筋肉量の増加が多くの研究で実証されている¹⁹⁾。高蛋白による健康障害は、高度の腎機能障害をもたない限り通常は起こらないとも報告されている。

MEMO

蛋白質摂取量と骨格筋萎縮

Houston らは地域の高齢者(70~79歳)2,066名の食事調査からカロリー当たりの蛋白質摂取量を5分位し、3年間に变化した除脂肪体重または四肢骨格筋量の比較を行った¹⁷⁾。結果は図3のごとく、カロリー当たりの蛋白質量が少ないほど除脂肪体重ならびに四肢骨格筋量の減少が大きかった。この中で最も減少が少なかったカロリー当たりの蛋白質量の最も多い群の蛋白質摂取量は1.1 g/kg/日であった。

■ 文献

- 1) Short KR, Nair KS : The effect of age on protein metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 3 : 39-44, 2000.
- 2) Rosenberg IH : Summary comments. *Am J Clin Nutr* 50 : 1231-1233, 1989.
- 3) Cruz-Jentoft AJ, et al. : Sarcopenia : European consensus on definition and diagnosis : Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age and Ageing* 39 : 412-423, 2010.
- 4) Volpi E, et al. : Basal muscle amino acid kinetics and protein synthesis in healthy young and older men. *JAMA* 286 : 1206-1212, 2001.
- 5) Kumar V, et al. : Age-related differences in the dose-response relationship of muscle protein synthesis to resistance exercise in young and old men. *J Physiol* 587 (Pt 1) : 211-217, 2009.
- 6) Volpi E, et al. : Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *Am J Clin Nutr* 78 : 250-258, 2003.
- 7) Norton LE, Layman DK : Leucine regulates translation initiation of protein synthesis in skeletal muscle after exercise. *J Nutr* 136 : 533S-537S, 2006.
- 8) Boirie Y, et al. : Splanchnic and whole-body leucine kinetics in young and elderly men. *Am J Clin Nutr* 65 : 489-495, 1997.

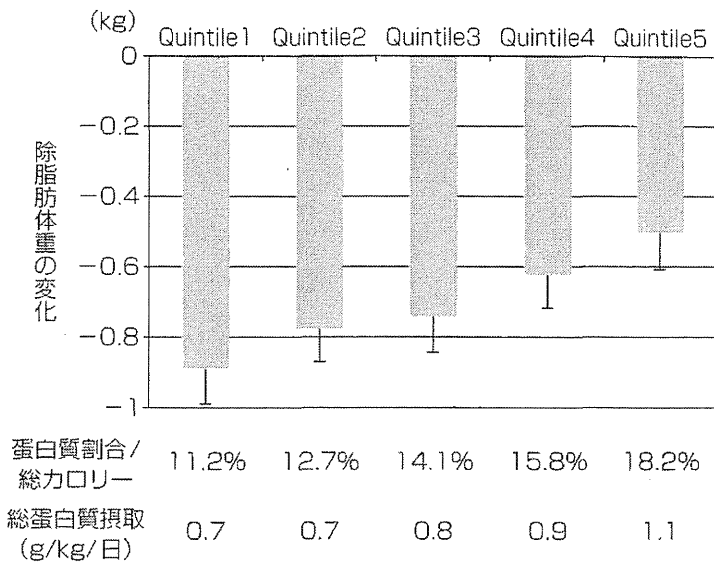


図3 カロリーで調整された蛋白質摂取量の5分位の3年間の除脂肪体重変化

地域在住の高齢者(70~79歳)2,066名の登録時のカロリー当たりの蛋白質摂取量を5分位し、3年間の除脂肪体重の変化を観察。変化はすべて交絡因子で調整済み。

(Houston DK, et al. : Health ABC Study. Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults : the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. Am J Clin Nutr 87 : 153, 2008 より引用・改変)

- 9) Koopman R, et al. : Dietary protein digestion and absorption rate and the subsequent muscle protein synthetic response are not different between young and elderly men. J Nutr 139 : 1707-1713, 2009.
- 10) Wilkes E, et al. : Blunting of insulin-mediated proteolysis in leg muscle of elderly subjects may contribute to age-related sarcopenia. Am J Clin Nutr 90 (5) : 1343-1350, 2009.
- 11) Rasmussen BB, et al. : Insulin resistance of muscle protein metabolism in aging. FASEB J 20 : 768-769, 2006.
- 12) Cuthbertson D, et al. : Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. FASEB J 19 : 422-424, 2005.
- 13) Rennie MJ : Anabolic resistance : the effects of aging, sexual dimorphism, and immobilization on human muscle protein turnover. Appl Physiol Nutr Metab 34 : 377-381, 2009.
- 14) Cuthbertson D, et al. : Anabolic signaling deficits underlie amino acid resistance of wasting, aging muscle. FASEB J 19 : 422-424, 2005.
- 15) Bohe J, et al. : Human muscle protein synthesis is modulated by extracellular, not intramuscular amino acid availability : a dose-response study. J Physiol 552 (Pt 1) : 315-324, 2003.
- 16) Drummond MJ, et al. : Skeletal muscle protein anabolic response to resistance exercise and essential amino acids is delayed with aging. J Appl Physiol 104 : 1452-1461, 2008.
- 17) Houston DK, et al. : Health ABC Study. Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults : the Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. Am J Clin Nutr 87 : 150-155, 2008.
- 18) Campbell WW, et al. : The recommended dietary allowance for protein may not be adequate for older people to maintain skeletal muscle. J Gerontol A Biol Sci Med Sci 56 : M373-380, 2001.
- 19) Wolfe RR, et al. : Optimal protein intake in the elderly. Clin Nutr 27 : 675-684, 2008.

(葛谷雅文)

3 高齢者

① はじめに

我が国では急速に高齢化が進展しており、平成22年の高齢化率（65歳以上人口割合）は23.0%、75歳以上の人口割合は11.1%となっている¹⁾。

今後、超高齢社会における栄養の問題として、健康寿命の延伸や介護予防の視点から、過栄養だけでなく、後期高齢者（75歳以上）が陥りやすい「低栄養」、「栄養欠乏」の問題の重要性が高まっている。

脳卒中を始めとする疾病予防の重要性は言うまでもないが、後期高齢者が要介護状態になる原因として無視できないものとして、「認知症」や「転倒」と並んで「高齢による衰弱」がある²⁾。「高齢による衰弱」とはまさしく老年医学で言う「虚弱：フレイルティ（frailty）」を含んでおり、低栄養との関連が極めて強い。また、高齢者の身体機能障害のリスク因子、転倒リスク因子として加齢に伴う筋力の減少、又は老化に伴う筋肉量の減少（以下、サルコペニア）も注目されている。この病態は栄養障害、虚弱（以下、フレイルティ）とも関連が強く、転倒予防や介護予防の観点からも重要である。

また、認知症は要介護状態に至る原因のみならず、医療、介護、福祉、その他多くの分野に関わる超高齢社会が抱える大きな課題である。最近の調査によると認知症の有病率は、65歳以上の高齢者では15%にも及び、日本には平成24年時点で450万人以上の認知症患者が存在すると推定されている³⁾。高齢者の更なる増加が予測されている我が国にとって、認知症予防の重要性は言うまでもない。昨今、認知機能並びに認知症発症と種々の栄養素との関連が報告されてきている。そこで、本項では健康寿命の延伸、さらには要介護状態に至る過程を予防する視点を重視し、フレイルティとそれに関連するサルコペニアの予防、及び認知症並びに認知機能障害の予防と栄養との関連を主目的としてレビューを行った。今回、対象とした高齢者は、軽度の介助を要する者や幾つかの慢性疾患を有する者も含まれているが、比較的健康状態を保っており（何とか自立した生活が可能）、要介護状態ではない者とした。

② 基本的事項

2-1 加齢による消化・吸収・エネルギー代謝の変化

2-1-1 消化・吸収

消化管の消化機能として、胃酸の分泌は加齢による変化を受けやすく、高齢者では低酸症を来しやすい。しかし、これは加齢自体によるものよりは高齢者で高率に感染しているヘリコバクター・ピロリ菌の影響を受けることによる場合が多い。同様にペプシンの産生も健康な高齢者では大きな減少がないとされるが、ヘリコバクター・ピロリ菌の感染により産生が低下することが知られる⁴⁾。膵臓の外分泌ホルモンの分泌量は加齢と共に減少することが言われているが、大きく健康障害に関連するほどの低下ではない⁵⁾。

消化管の吸収能力として、ヘリコバクター・ピロリ菌に伴う低酸症が存在すれば鉄欠乏や、小腸の細菌異常増殖、また自己免疫性萎縮性胃炎や内因子を分泌する壁細胞の障害が存在するとビタミンB₁₂欠乏に関連する場合がある。一方、小腸の栄養吸収能は加齢による変化がほとんどない⁶⁾ことが知られる。加齢の影響を受ける可能性のある栄養素は報告されているが、一般には臨床上の

参考資料 1 対象特性

問題になるレベルの変化ではない⁶⁾。大腸は高齢者、特に80歳以上では便の排出速度が遅くなる⁷⁾。そのために水分の吸収が過度に起こり、便秘のリスクになる可能性がある。

2-1-2 エネルギー代謝

基礎代謝は加齢と共に減少し、縦断調査の結果よりおよそ10年の経過により1~3%程度減少し、特に男性での減少率が大きいことが報告されている^{8,9)}。この現象は加齢に伴う除脂肪組織の減少によることが想定されている。しかし、除脂肪組織量で調整しても高齢者では成人に比較し5%程度基礎代謝量が低いことが報告され¹⁰⁾、またその原因は十分解明はされていない。また、加齢に付随する基礎代謝量の減少は必ずしも直線的に変化するわけではなく、男性では40歳代、女性では50歳代に著しく減少することが報告されている^{11,12)}。女性の場合は、閉経後の除脂肪組織が減少するためと考えられる。

食事誘発性体熱産生は、総エネルギー消費量の10%程度に相当し、この食事誘発性体熱産生も加齢と共に減少するとの報告もあれば、加齢変化は受けないとする報告もあり、一定の結論に至っていない¹³⁾。

2-1-3 たんぱく質代謝と筋肉

食事摂取により骨格筋のたんぱく質合成が増加し、一方でたんぱく質異化は減少する。これは食事摂取により増加する栄養素並びにホルモンによるものである。特に血中のアミノ酸やインスリンは食後の骨格筋たんぱく質同化作用に主要な要因として理解されている¹⁴⁾。一方、筋肉において炎症性サイトカイン、酸化ストレス、グルココルチコイドなどの刺激により様々なたんぱく質分解酵素を介して異化が起こる。この異化を導く刺激が強いとアミノ酸などによるたんぱく質の同化を上回り、筋肉は萎縮する¹⁵⁾。

アミノ酸の全てに骨格筋たんぱく質同化作用があるわけではなく、不可欠アミノ酸(必須アミノ酸)、特にロイシンに強い筋肉たんぱく質同化作用が存在することが知られる^{16,17)}。したがって、これらの不可欠アミノ酸は単なるたんぱく質合成の基質となるばかりか、筋肉たんぱく質合成を誘導する重要な mammalian/mechanistic target of rapamycin complex (mTORC) 1 やその下流のシグナルの活性化を介して同化作用を誘導する作用がある¹⁸⁾。

高齢者では、食後(たんぱく質摂取後)に誘導される骨格筋におけるたんぱく質合成が成人に比較し反応性が低下しており、anabolic resistance(同化抵抗性)が存在すると報告されている¹⁹⁾。その一つの理由として、高齢者では摂取したたんぱく質の消化吸収が低下し、そのため血中に十分なアミノ酸の濃度の上昇が阻害されているのではないかとの仮説も存在したが、現在は経口摂取したたんぱく質の消化及び吸収は高齢者も成人も大きな差がないことが報告されている²⁰⁾。一方で、高齢者の骨格筋では不可欠アミノ酸が血中に存在したとしても、mTORC1 やその下流のシグナルの活性化が抑制されていることが報告されている²¹⁾。しかし、その原因については十分に解明されていない。

一方、運動、特にレジスタンス運動によっても筋肉でたんぱく質合成が上記のmTORC1を介して誘導されることが知られる。一方、アミノ酸が十分に供給されない空腹時に運動を実施すると、筋肉においてたんぱく質合成よりも異化反応が亢進し、正味たんぱく質量が減少する。したがって、筋たんぱく質合成に最も有効なのは運動(特にレジスタンス運動)とアミノ酸の供給を同時期(運動後

1時間程度後)に実施することである²²⁾。

2-2 高齢者における栄養と健康

2-2-1 高齢者の栄養管理上の問題点

栄養評価の方法は、種々提案されているが、今のところ絶対的な評価法はない。一般的に栄養状態の評価として身体計測は広く用いられている。例えば、BMIは栄養アセスメントの項目としては最重要項目であり、種々の評価法の中に組み込まれている。このBMIの値を得るには身長と体重の値が必要であるが、高齢者においてこの身長、体重測定は多くの問題がある。

一般に、身長測定は立位で測定するが、寝たきり、または立位困難な高齢者では当然臥位測定で行われ、それらに比較すると立位時の測定値が短く測定される可能性がある。また、立位保持ができたとしても、椎体の骨折、さらには関節腔が狭小のため、成人のときに比較し明らかに身長の短縮が起こる。たとえ体重が成人の時と同じであったとしても、加齢と共に身長の短縮が起こり、BMIの値は上昇する。また、要介護高齢者では極度の亀背や筋肉、関節の拘縮のため身長が測定できないケースがまれではない²³⁾。

体重に関しても、要介護高齢者では日常生活動作(activity of daily living: ADL)障害のため、特別な測定機器がなければ在宅での体重測定が困難なケースはまれではない。したがって、高齢者では成人での栄養評価として一般的に使用される身体計測値が得られにくい、または得られたとしても成人と同一の解釈でよいかどうか判断が難しい。BMIに代わって上腕身体計測値を使用する報告もあるが、まだ一般的ではない²⁴⁾。

高齢者では様々な要因が栄養管理を困難にしている。その多くは栄養摂取量の減少につながり、健康障害の誘因になっている。

2-2-2 低栄養・過栄養

加齢に伴う生理的、社会的、経済的問題は高齢者の栄養状態に影響を与える。表1に高齢者の代表的な低栄養の要因を挙げた²⁵⁾。

表1 高齢者の代表的な低栄養の要因²⁵⁾

| | |
|--|---|
| 1. 社会的要因 独居 介護力不足・ネグレクト 孤独感 貧困 | 4. 疾病要因 臓器不全 炎症・悪性腫瘍 疼痛 義歯など口腔内の問題 薬物副作用 |
| 2. 精神的心理的要因 認知機能障害 うつ 誤嚥・窒息の恐怖 | 咀嚼・嚥下障害 日常生活動作障害 消化管の問題(下痢・便秘) |
| 3. 加齢の関与 嗅覚、味覚障害 食欲低下 | 5. その他 不適切な食形態の問題 栄養に関する誤認識 医療者の誤った指導 |

過栄養は生活習慣病に直結し、肥満症、糖尿病、脂質異常症、高血圧、メタボリックシンドロームなどにつながり、ひいては動脈硬化性疾患を誘導する。しかしながら、このような過栄養は高齢者、特に後期高齢者に対しても成人と同様に生命予後に著しい影響を与えるか否かは議論のあるところである。高齢者では内臓脂肪が蓄積しやすく、メタボリックシンドロームの有病率は高齢者では高いことが知られるが、一方で心血管病に関わる生命予後、全生命予後は高齢者ではメタボリックシンドロームの存在の影響が少ないことが報告されている²⁶⁾。さらに、血清コレステロール値や肥満の生命予後に与える影響も加齢とともに少なくなることも知られている^{27,28)}。

一方で、欧米からの報告では過栄養、特に肥満 (BMI 30 kg/m² 以上) の存在はフレイルティに関連していることが報告されている²⁹⁾。フレイルティの診断によく使用される5項目 (表2) の中で体重減少はこの肥満グループでは該当率は少なく、身体能力 (歩行速度) の減弱、日常生活活動量の減少、筋力 (握力) の低下などの該当が高率に認められている。しかし、日本の高齢者で BMI 30 kg/m² 以上の肥満者の割合は極めて少なく、日本人にこのデータが当てはまるかについては、今後検証が必要である。

③ フレイルティ及びサルコペニアと栄養の関連

3-1 基本的概念と高齢者に与える影響

フレイルティとは、老化に伴う種々の機能低下 (予備能力の低下) を基盤とし、様々な健康障害に対する脆弱性が増加している状態、すなわち健康障害に陥りやすい状態を指す³⁰⁾。健康障害の中には ADL 障害、要介護状態、疾病発症、入院や生命予後などが含まれる。フレイルティには老化の影響のみならず、併存症 (comorbidity) の影響を当然受けている。この病態は単一の疾患などによるものや単一臓器の機能低下によるものよりも、臨床的な症状は呈していないものの多数臓器の機能低下に起因することも多い³¹⁾。

日本には「高齢による衰弱」、いわゆる「老衰」という言葉があり、一般的には“年をとって心身が衰えること”を意味しており、生物学的・医学的には“老化に伴って個体を形成する細胞や組織の機能の低下、恒常性の維持が困難になることが原因”とされる。この中身はまさしくフレイルティの概念と同じである。フレイルティは要介護状態に至る前段階として捉えることができ、介護予防との関連性が高い状態と言える。実際、後期高齢者の要介護状態に至る原因は脳卒中のような疾病よりも「高齢による衰弱」を要因とする割合が高くなる³²⁾。2000年代になり Fried らが表2に挙げた5項目、すなわち①体重減少、②主観的疲労感、③日常生活活動量の減少、④身体能力 (歩行速度) の減弱、⑤筋力 (握力) の低下、のうち3項目が当てはまればフレイルティとし、1~2項目が当てはまる場合はフレイルティ前段階として定義づけをした³³⁾。

表2 Fried 5のフレイルティの定義

-
- ①体重減少
 - ②主観的疲労感
 - ③日常生活活動量の減少
 - ④身体能力 (歩行速度) の減弱
 - ⑤筋力 (握力) の低下
-

上記の5項目中3項目以上該当すればフレイルティ³³⁾

一方、サルコペニアとは「加齢に伴う筋力の減少、又は老化に伴う筋肉量の減少」を指し、Rosenbergにより提唱された比較的新しい造語である³⁴⁾。骨格筋量の減少は四肢骨格筋量(kg)を身長(m)の二乗で除した骨格筋指数(SMI:skeletal muscle index:四肢除脂肪軟組織量(kg)/身長(m)²)を使用し、健康な18~40歳未満のSMIの2標準偏差(2SD)未満を有意な骨格筋量減少と定義することが多い³⁵⁾。2010年にヨーロッパ老年医学会、さらには栄養学に関連する4つのヨーロッパ又は国際学会が共同でEuropean Working Group on Sarcopenia in Older People(EWGSOP)を立ち上げ、表3のようなサルコペニアの定義を提唱した³⁶⁾。すなわち、骨格筋量の減少を必須としてそれ以外に筋力又は運動機能の低下のいずれかが存在すれば、サルコペニアと診断するという定義である。

さらには、サルコペニアの原因により原発性又は二次性サルコペニアという概念を提示した(表4)。これにより、今まで疾病が関与する骨格筋萎縮、カヘキシア(悪液質)もサルコペニアの亜系と考えるとしている。

フレイルティの診断項目には、身体機能の減弱や筋力の低下が組み込まれており、サルコペニアとフレイルティは密接な関連があることが分かる。サルコペニアの存在は、高齢者の「ふらつき」、「転倒・骨折」、さらには「フレイルティ」に関連し、身体機能障害や要介護状態との関連性が強い³³⁾。

表3 サルコペニアの診断

- ①筋肉量減少
- ②筋力低下(握力など)
- ③身体機能の低下(歩行速度など)

診断は上記の項目1に加え、項目2又は項目3を併せ持つ場合、文献36)を改変

表4 サルコペニアの分類

| | |
|----------------|--|
| 原発性サルコペニア | |
| 年齢が関与したサルコペニア | 年齢以外明らかな原因なし |
| 二次性サルコペニア | |
| 活動量に関連したサルコペニア | ベッド上安静、不活発な生活習慣 体調不良、無重力状態 |
| 疾病が関与するサルコペニア | 進行した臓器不全(心臓、肺、肝臓、腎臓、脳) 炎症性疾患、悪性腫瘍、内分泌疾患 |
| 栄養に関連するサルコペニア | 摂食不良、吸収不良、食思不振 |

文献36)を改変

3-2 フレイルティ・サルコペニアの病態と栄養

フレイルティの原因の一つに、サルコペニアが存在する。サルコペニアの要因は、いまだ十分解明されているわけではない。図1はFriedらの論文を参照し改変したものであるが、低栄養が存在すると、サルコペニアにつながり、活力低下、筋力低下・身体機能低下を誘導し、活動度、消費エネルギー量の減少、食欲低下をもたらし、さらに栄養不良状態を促進させるというフレイルティ・サイクルが構築される³⁷⁾。

参考資料 1 対象特性

一方では、欧米からの報告では過栄養、特に肥満の存在はフレイルティに関連していることが報告されている²⁹⁾。

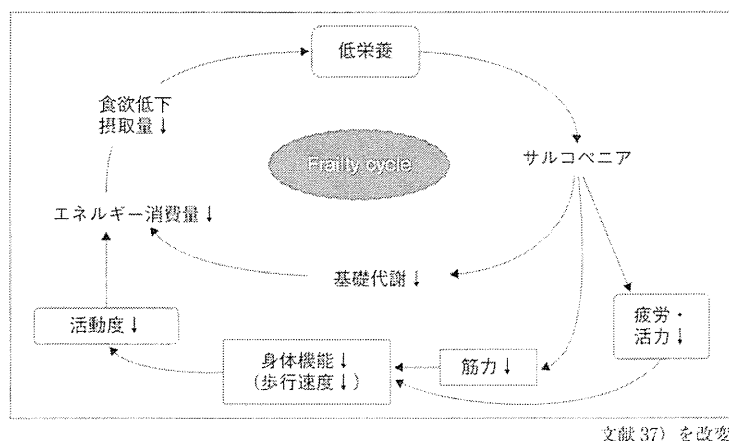


図1 フレイルティ・サイクル

3-3 たんぱく質の関与

3-3-1 たんぱく質摂取と高齢者の健康維持

近年、先進国での人口の高齢化、寿命の延長があり、要介護状態になることなくできるだけ自立した生活を目指すという健康寿命の重要度が高まる中で、将来の身体機能障害との関連が強いフレイルティとサルコペニアの予防の重要性が注目されている。この予防のターゲット臓器とゴールは骨格筋とその機能維持であり、骨格筋量、筋力、身体機能は栄養素としてはたんぱく質摂取量に強い関連があるため、たんぱく質の重要性が注目されている。実際、高齢者では健康維持のために必要な十分なたんぱく質摂取ができていないとの事実も報告されている³⁸⁾。

3-3-2 たんぱく質摂取と骨格筋

地域在住の70歳代の高齢者を3年間観察したところ、3年間の除脂肪体重の減少が、登録時の総エネルギー摂取量当たりのたんぱく質摂取量に依存し、五分位で最もエネルギー摂取量当たりのたんぱく質摂取量が多い群（平均91.0 g/日、1.2 g/kg体重/日）では、最も低い群（平均56.0 g/日、0.8 g/kg体重/日）に比較し、交絡因子で調整後においても除脂肪体重の減少が40%抑制されていた³⁹⁾。また、最近のコホート調査でも、たんぱく質摂取量が少ないことは3年後の筋力の低下と関連し⁴⁰⁾、さらに高齢女性の3年間の観察で、たんぱく質摂取量が少ないとフレイルティの出現のリスクが増加することが確認されている⁴¹⁾。日本人の高齢女性の横断研究でもフレイルティの存在とたんぱく質摂取量との関連が明らかにされている⁴²⁾。

また、高齢者では同化抵抗性（anabolic resistance）が存在しており、アミノ酸が筋肉に供給されたとしても筋肉たんぱく質同化作用が成人に比較し弱い可能性がある。しかし、高齢者の筋肉細胞もアミノ酸供給を増やすことにより、たんぱく質同化作用は十分惹起される。このことは骨格筋でたんぱく質合成を誘導するには高齢者では成人以上にアミノ酸の血中濃度を上げる必要があり、そのためには十分なたんぱく質の摂取が必要となることを示唆する。実際十分量のたんぱく質摂取やアミノ酸投与により高齢者においても成人と同等の筋肉たんぱく質の合成が起こることが報告されて

いる^{20, 43, 44}。筋肉たんぱく質の合成を促すために必要なロイシンを始めとする不可欠アミノ酸の濃度（閾値）が存在しており、高齢者では成人よりもその閾値が高いと想定されている⁴⁵。良質なたんぱく質 20 g/食（不可欠アミノ酸を 5~8 g 含む）を摂取したとしても、血中不可欠アミノ酸濃度は高齢者のその閾値には到達しない。実際 7.5 g/食未満の不可欠アミノ酸摂取では高齢者では筋肉の同化は誘導されないが、10~15 g/食の不可欠アミノ酸の摂取では成人と同様に筋肉でたんぱく質合成が誘導される^{46, 47}。したがって、少なくとも毎食良質なたんぱく質を 25~30 g 程度摂取しなければ骨格筋で有効なたんぱく質合成が 1 日を通して維持できない可能性がある⁴⁸。

3-3-3 たんぱく質摂取と腎機能

高たんぱく食の摂取により、腎機能の低下した高齢者での安全性が危惧される場所である。実際、2.0 g/kg 体重/日の多量のたんぱく質摂取により、健康な高齢者の腎障害のリスクが上昇すると報告され、軽度の腎障害のある高齢女性（estimated glomerular filtration rate (eGFR): 55~88 mL/min/1.73 m²）では、高たんぱく質摂取（>1.3 g/kg 体重/日）により 11 年間の観察で腎機能が悪化する（10 g/日のたんぱく質摂取の増加に伴い、11 年間で eGFR 7.72 mL/min/1.73 m² 低下）と報告されている^{49, 50}。しかし、慢性腎臓病の項にあるように、高齢者でも軽度の腎機能障害ステージ G3a（eGFR 45~60 mL/min/1.73 m²）では、健康な人の推奨量以下のたんぱく質制限を行うことは、末期腎不全に至るリスクを減らすという意義が乏しいので推奨されていない。

3-3-4 たんぱく質の推奨量

たんぱく質の推奨量の設定は、窒素出納維持量を基に算出している。しかし、この窒素平衡法から得たたんぱく質の推奨量は高齢者が健康維持するために、若しくは新たな疾病発症を予防するために、必要十分なたんぱく質量を規定しているわけではない。まして、サルコペニア、虚弱に陥り、今後骨格筋の増量を図らねばならない高齢者にとっては、窒素消失を満たすだけのたんぱく質の摂取では不十分である可能性が高い。定められた推奨量に準じたたんぱく質を 2 週間摂取させたアメリカの研究では、高齢者の除脂肪体重は 2 週間後には明らかに減少していた⁵¹。

このように、高齢者が骨格筋におけるたんぱく質同化作用を期待するには、成人と同等以上のたんぱく質量を摂取しなければならない可能性があり、また過去の疫学研究で体重当たりのたんぱく質摂取量と四肢骨格筋量の減少の関係はたんぱく質摂取量が少なくなるにつれ、連続的に四肢骨格筋量が減少するとの報告³⁹より、高齢者のサルコペニア予防には十分なたんぱく質摂取の必要性が指摘されている。また、毎食良質なたんぱく質を 25~30 g 程度摂取するということは、理論上、1 日 75 g 以上のたんぱく質を摂取するというもので、例えば 60~70 kg の体重の高齢者ではたんぱく質 1.0~1.25 g/kg 体重/日以上を摂取することとなる⁴⁸。最近報告された日本人高齢女性 2,108 人（平均±標準偏差：年齢 74.7±5.0 歳、体重 51.4±7.8 kg、BMI 22.7±3.2 kg/m²）を対象にした食事摂取とフレイルティを検討した横断調査の報告では、1 日のたんぱく質摂取量を五分位階級別に検討すると、第一階級 62.9 g 未満と比較し、たんぱく質摂取量が増えるに従いフレイルティと診断される対象者は減少し、多変量解析では第三階級（69.8~76.1 g/日）以上の摂取をしている対象者では有意にフレイルティと判定されるオッズ比が低下〔第三階級のオッズ比（95% 信頼区間）、0.64（0.45~0.93）〕していた⁴²。日本人の食事摂取基準（2015 年版）では高齢者（70 歳以上）のたんぱく質の推定平均必要量は 0.85 g/kg 体重/日と成人の 0.72 g/kg 体重/日より高い値を基に算出されている。推奨量算定係数を成人と同様に 1.25 とすると、高齢者たんぱく質推奨量は 1.06 g/kg

参考資料 1 対象特性

体重/日から算定される。高齢者では軽度の腎機能障害ステージの範疇にある対象者も多いが、サルコペニアの予防を考慮すると、推奨量程度のたんぱく質を摂取することの危険性は低いと考えられる。平成 22、23 年国民健康・栄養調査の結果では、たんぱく質摂取量の平均値は男性では 15～17 歳で 88.8 g/日であり、18～69 歳では 75 g/日程度である。70 歳以上では 71.9 g/日（標準偏差：23.4 g/日）となっている。女性では、70 歳以上で 61.5 g/日（標準偏差：19.9 g/日）となっている⁵²⁾。平均値でみると比較的十分なたんぱく質量を摂取しているように見えるが、標準偏差が大きく、推奨量に満たない対象者が相当数いる可能性も考えられる。しかし、国民健康・栄養調査は 1 日調査であることもあり、摂取量の分布についての解釈は慎重にする必要がある。

3-3-5 たんぱく質並びにアミノ酸の介入研究

サルコペニア予防及び改善の観点から、栄養補給、レジスタンス運動、又は両方を組み合わせた介入研究は、国内外で多く報告されている。通常の食品からたんぱく質を補給する介入試験としては、60 歳以上のサルコペニアと診断された高齢者 40 人を対象とした 3 か月間のランダム化比較試験 (RCT) において、高たんぱく質食品（リコッタチーズ 210 g/日：70 g×3 食 エネルギー：267 kcal/日、たんぱく質：15.7 g/日）を補給したが、男女共に骨格筋量、筋力共に有意な増加を示さず、食事に高たんぱく質の食品を増量することが難しい上に、筋肉量や筋力の改善の可能性が低いことが示された⁵³⁾。一方、ミルクプロテインやアミノ酸などのサプリメントとしてたんぱく質を補給する介入試験では、虚弱高齢者 65 人を対象とした RCT において、たんぱく質 15 g 含有のミルクプロテインリキッド 250 mL を 1 日に 2 回補給したところ、身体機能は有意に改善したものの、骨格筋量の増加は認められなかった⁵⁴⁾。また、身体機能の低下した高齢男女 95 人を対象に、11 種のアミノ酸を混合したサプリメント 12 g を 3 か月間補給し、歩行能力や筋力を比較した研究において、アミノ酸補給群では歩行能力が改善し、筋力の増強を認め、高齢者へのアミノ酸の経口投与は、歩行能力、筋力向上に効果がある可能性が示された⁵⁵⁾。

また、 β -ヒドロキシ- β -メチル酪酸 (beta-hydroxy-beta-methylbutyrate : HMB) を単独若しくはアミノ酸と配合し、サプリメントとして補給する介入試験が近年幾つか報告されている。HMB はロイシンの体内における代謝産物であり、筋肉におけるたんぱく質合成を誘導する重要な働きをすると想定されている。ロイシンの約 5% が HMB に変換されると報告されている⁵⁶⁾。台湾の施設入所高齢者を対象に行われた RCT では、HMB 2 g/日を 4 週間補給し、BMI などの身体計測指標、血中尿素窒素及び尿中窒素排泄量などの指標の変化を観察したところ、コントロール群では身体計測指標が低下したのに対し、HMB 補給群で 2 週間後の血中尿素窒素及び尿中窒素排泄量がベースライン値に比べ有意に減少し、また体重、上腕筋囲、下腿周囲長などの指標も有意に改善していた⁵⁷⁾。さらに、アメリカの施設入所中の高齢女性を対象とした RCT では、HMB にアルギニン、リシンを混合したサプリメント (HMB 2 g, ARG 5 g, LYS 1.5 g) を 12 週間補給した結果、補給群では筋力が有意に増加し、身体機能も有意に向上した⁵⁸⁾。同様に HMB/ARG/LYS を 1 年間補給した RCT においてもたんぱく質の代謝率を増加させたとの報告がある⁵⁹⁾。また近年、高齢者の anabolic resistance (同化抵抗性) が報告され、筋肉たんぱく質合成により効率的なアミノ酸の組成を考慮することが、サルコペニアを改善させる可能性があることが指摘されている。ロイシン含量を高めた不可欠アミノ酸とアルギニンの化合物 (ロイシンは全体の 35.88%) 11 g を、1 日 2 回食間に付加する 4 か月間の介入試験の結果、介入前に比べ、除脂肪体重と筋力の増加、歩行機能の改善が認められ、ロイシン補給の有用性が示された⁶⁰⁾。2011 年に報告された Nicastro らの

ロイシンとサルコペニア予防に関するレビューでは、五つのサルコペニアとロイシンに関する研究を考察し、ロイシンの補給は高齢者の筋肉の萎縮を改善すると結論づけている⁶¹⁾。また、同年に報告された Leenders らのロイシンとサルコペニア、2 型糖尿病の予防と治療に関するレビューにおいても、高齢者へのロイシンの補充が食後のたんぱく質合成の割合を増加させることを示唆している⁶²⁾。しかしながら、この二つのレビュー共、今後、長期的な介入研究の実施とロイシンの効果に関する基礎的なメカニズムを解明することが必要であるとも述べている。

一方、高齢者サルコペニアに対しての運動、特にレジスタンス運動の効果は、Peterson らの 47 研究 1,079 人を対象としたメタ・アナリシス⁶³⁾、及び Hunter らのレビュー⁶⁴⁾ で報告されており、その中でレジスタンス運動と栄養を組み合わせた介入試験について多くの成果が報告されている。アメリカの 100 人の施設入所している虚弱高齢者を対象に、レジスタンス運動（週 3 回）とサプリメントの補給（240 mL、エネルギー 360 kcal、糖質 60%、脂質 23%、たんぱく質 17%）を組み合わせた 10 週間の RCT の結果、栄養介入単独では筋力の増加効果はなかったが、レジスタンス運動と栄養補給を組み合わせることにより有意に下肢筋力が向上することを報告した⁶⁵⁾。筋力トレーニングをしている閉経後の女性 29 人を対象としたデンマークにおける RCT では、高たんぱく質サプリメント（たんぱく質 10 g、ビタミン D 5 μg、カルシウム 250 mg を配合）を 24 週間補給した結果、補給群では筋肉量及び筋力の増加が認められ、さらに大腿部の骨塩量に有意な改善が認められた⁶⁶⁾。アメリカの 70 歳の地域在住高齢者を対象とした RCT においても、レジスタンス運動中に HMB を毎日 3 g 補給することにより、筋肉量の増加が期待できることが示された⁶⁷⁾。しかしながら、一方では、レジスタンス運動とミルクプロテインなどのサプリメント補給を組み合わせた介入試験において、たんぱく質の補給は筋肉量の増加や筋力の増強には関連がなかったとの相反する報告もある^{68, 69)}。

最近、日本人を対象とした、ロイシン高配合（42%）のサプリメントとレジスタンス運動を組み合わせた介入試験の結果が報告された。地域在住のサルコペニアが顕在化している 75 歳以上の 155 人の高齢女性を対象とした RCT 研究で⁷⁰⁾、レジスタンス運動（週 2 回のトレーニング）のみ、レジスタンス運動とサプリメント補給（ロイシン高配合アミノ酸のサプリメント 3 g を 1 日 2 回）、サプリメント補給のみ、コントロールの 4 群で 3 か月間の介入後、レジスタンス運動とロイシン高配合アミノ酸サプリメントを組み合わせた群において、高齢女性の筋量、歩行速度、筋力が有意に改善することを明らかにした。

このように運動療法と栄養補給療法の併用による筋肉量や筋力への効果について、様々な成果が報告されているが、2012 年に発表されたメタ・アナリシスの結果では、若年者、高齢者共に運動中にたんぱく質を補給することは筋肉量と筋力の増大を促進すると結論づけ⁷¹⁾、さらに 2013 年に発表されたレビューにおいても、サルコペニアの高齢者に対する運動療法と栄養療法の併用が有用であると述べている⁷²⁾。

3-4 ビタミン D

ビタミン D はカルシウム代謝、骨代謝に密接に関わっており、高齢者においては骨粗鬆症との関連が以前より注目され、腸管でのカルシウム吸収を促すため、カルシウム摂取量が相対的に少ない日本人にとって重要な栄養素である。近年、ビタミン D は骨以外の骨格筋などの組織にも何らかの本質的な役割を果たしている可能性が示唆されている⁷³⁾。高齢者を対象とした三つの横断研究及び一つの縦断研究（合計 3,000 人程度）より、血中 25-ヒドロキシビタミン D（体内のビタミ

ンD量の指標となるビタミンDの代謝物)濃度が50 nmol/L未満であると身体機能の低下、筋力の減少、血中パロトルモン(副甲状腺ホルモン)濃度の増加、転倒及び骨折のリスクが高いことが報告されている⁷⁴⁻⁷⁷⁾。ビタミンD欠乏は転倒や骨折などから身体活動が低下し、筋肉量を減少させサルコペニア及びフレイルティのリスクを高める恐れがある。アメリカの地域高齢者約2,500人を対象とした調査において血中25-ヒドロキシビタミンD濃度と身体能力向上との関係は70~80 nmol/L、筋力向上との関係は55~70 nmol/Lで閾値となる報告がある⁷⁸⁾。また、アメリカの高齢女性約6,000人を対象とした調査において、血中25-ヒドロキシビタミンD濃度が50~75 nmol/Lの範囲において、フレイルティのリスクが低いことが報告されている⁷⁹⁾。また、血中25-ヒドロキシビタミンD濃度を75 nmol/L以上に維持するためには、経口で25 µg/日以上ビタミンD摂取が必要である⁷⁸⁾。平成22、23年国民健康・栄養調査⁵²⁾によると、日本人70歳以上のビタミンD摂取量は、平均値で9 µg/日程度である。

幾つかの介入試験の結果、ビタミンD欠乏に対する10~20 µg/日のビタミンDのサプリメントは身体機能や筋力を向上させ、転倒や骨折のリスクを下げるが⁸⁰⁻⁸⁴⁾、ビタミンDが不足していない(血中25-ヒドロキシビタミンDが50 nmol/L以上)対象者や筋力が低下していない対象者に対して、ビタミンDのサプリメントの効果はあまり期待できない⁸⁴⁻⁸⁷⁾。幾つかのメタ・アナリシスによる結果も、同様の結論を示している⁸⁸⁻⁹⁰⁾。また、ビタミンDサプリメント量を20 µg/日以上に増やしても、それ以上の効果が期待できないとする報告もある⁹¹⁾。

ビタミンDは、紫外線を浴びることにより皮膚でも産生される。食事のみからサルコペニア・フレイルティの予防を期待する量のビタミンDを摂取することは困難であるため、適度な日光浴は有効な手段である。具体的には、晴れた日なら10~15分、曇りならば30分程度屋外で過ごすことが勧められる⁹²⁾。

3-5 その他のビタミン、ミネラル並びに脂肪酸

ここではビタミンD以外のビタミン、ミネラルと脂肪酸について報告する。

3-5-1 抗酸化作用と関連のある栄養素

高齢者では、加齢に伴いフリーラジカル産生が増加し、種々の臓器障害に関連していることが知られる^{93,94)}。ある種の栄養素〔ビタミンC、ビタミンE、カロテン類、ポリフェノール類(フラボノイド類)、またスーパーオキシドジスムターゼやグルタチオンペルオキシダーゼの補助因子(亜鉛、セレン、マンガン)など〕は、活性酸素種の産生や脂質過酸化反応、アポトーシス、たんぱく質の酸化、細胞膜の損傷、またDNA及びベータアミロイドの毒性や蓄積を阻害することで、酸化反応による神経細胞の損傷や細胞死を抑制すると思われる^{95,96)}。これら抗酸化作用に関連する栄養素の摂取量が少ないと、運動機能が低下し、フレイルティ状態に陥る可能性があることが報告されている^{93,97-100)}。

抗酸化作用を有するとされるサプリメントの摂取(ビタミンC及びビタミンE)とレジスタンス運動を組み合わせたカナダでの二重盲検ランダム化比較試験では、6か月間のビタミンC:1,000 mg/日及びビタミンE:600 mg/日摂取と運動の併用で、除脂肪量と筋肉量指標が増加した報告がある⁹⁸⁾。アメリカの地域高齢者を対象とした観察研究では、血清α-トコフェロール濃度15.87 µmol/Lをカットオフとして、ビタミンEの血中濃度が低値であるとフレイルティへ陥るリスクが上昇した⁹⁹⁾。イタリアでの3年間の縦断研究では、登録時の血中ビタミンB₆、B₁₂、葉酸、鉄濃度

と身体機能低下との関連性は見いだされなかったが、血中ビタミンE濃度が四分位の最低レベル〔カットオフ1.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (24.9 $\mu\text{mol}/\text{L}$)〕では、3年後の身体機能低下との関連を認めている¹⁰⁰⁾。一方、イギリスでの横断研究(ビタミンE摂取量中央値:男性10.2 mg/日、女性10.0 mg/日;ビタミンC摂取量中央値:男性132 mg/日、女性150 mg/日の集団)ではビタミンE摂取量と身体機能との関連は認められていないが、ビタミンCの摂取量は女性のみで身体機能との関連を認めている⁹⁷⁾。このように、抗酸化に関連するビタミンであるビタミンE並びにビタミンCとサルコペニア並びに身体機能との関連については、いまだ十分な科学的根拠の蓄積があるとは言えない。

ビタミンAについては、血清カロテノイド並びにレチノールとフレイルティの出現との関連を検討した3年間のアメリカの前向き縦断研究では、血清カロテノイドの低値(対象者の下位1/4、血清カロテノイド濃度1.038 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 未満)とフレイルティ出現との関連を認めるが、血清レチノール濃度の低値(レチノール濃度1.97 $\mu\text{mol}/\text{L}$ 未満)との関連性は認めていない⁹⁹⁾。同じコホートで、ADL障害の出現と関連性を検討すると、同濃度のカットオフで、血清カロテノイド、レチノール共に新たなADL障害の出現と有意な関連はなかった¹⁰¹⁾。さらにイギリスでの横断研究では、 β -カロテン摂取量の中央値が、男性3.115 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、女性3.471 $\mu\text{g}/\text{日}$ の集団では、女性のみ身体機能低下と関連がみられた⁹⁷⁾。このように、ビタミンAとフレイルティ並びに新たなADL障害の出現との関連についても、一定の結果が得られていない。

アメリカの研究では、血清セレン濃度105.7 $\mu\text{g}/\text{L}$ (1.3 $\mu\text{mol}/\text{L}$) をカットオフとして、3年間の追跡で、血清セレン濃度の低値と新たなADL障害との関連を認めた¹⁰¹⁾。イギリスの横断研究で、セレン摂取量の中央値が、男性52.5 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、女性52.1 $\mu\text{g}/\text{日}$ の集団では、女性のみ身体機能低下との関連を認めている⁹⁷⁾。このように血清セレンはフレイルティとの関連がある可能性があるが、今後更なる科学的根拠の蓄積が望まれる。

3-5-2 ホモシステインとホモシステインに関連するビタミン

加齢に伴い、血漿ホモシステイン濃度は上昇し、この血中濃度の上昇は多様な疾患発症との関連が報告されている。また、ビタミンB₆、B₁₂、葉酸はいずれが欠乏してもホモシステインが上昇する¹⁰²⁾。

アメリカの研究では、血中ビタミンB₆濃度4.4 ng/mL (17.8 nmol/L)、ビタミンB₁₂濃度313.0 pg/mL (230.9 pmol/L) をカットオフとして、3年間の追跡で、これらのビタミンの低下とADL障害との関連を認めている⁹⁸⁾。一方、オランダの横断研究では血漿ホモシステインと身体機能との関連はあるものの、高齢女性では、血中ビタミンB₁₂濃度と身体能力の関連は明らかではなかった¹⁰⁰⁾。ビタミンB₆、ビタミンB₁₂、葉酸欠乏がフレイルティ、ADL障害の独立した要因か否かはいまだ十分な科学的根拠が得られておらず、今後の研究が待たれる^{98, 99, 101)}。

3-5-3 脂肪酸

イタリアの前向き研究では、n-6/n-3比の高値と、身体機能低下と関連するという報告がある¹⁰⁵⁾。また、アメリカのRCTでは、8週間サプリメント(EPA:1.86 g、DHA:1.50 g含有/日)を補給した結果、n-3系脂肪酸は高齢者において筋肉たんぱく合成を促進し、サルコペニアの予防と治療の可能性を報告している¹⁰⁶⁾。アメリカでのRCTの先進研究では、6か月間魚油(EPA:360 mg/日、DHA:240 mg/日)を補給した結果、身体能力が上昇したという報告がある⁹⁴⁾。しかし、なお十分な科学的根拠は得られておらず、フレイルティ予防のための摂取量については言及で

きない。

④ 認知機能低下及び認知症と栄養との関連

昨今の調査からは脳血管性の認知症のみならず、アルツハイマー病においても、生活習慣並びに生活習慣病と強い関連があることが指摘され始めている¹⁰⁷⁾。今回は代表的な栄養素と認知機能低下、認知症発症との関係を検討したが、以下に示すように各栄養素との関係は予防を目的とした目標量を示すほど十分な証拠は今のところなく、今回は文献的考察をするに留めた。

4-1 ホモシステインとホモシステインに関連するビタミン

ホモシステインは必須アミノ酸メチオニンの代謝過程で生成され、その代謝には、葉酸、ビタミンB₆、ビタミンB₁₂が関与している。いずれのビタミンが欠乏しても血中のホモシステイン濃度は上昇する。

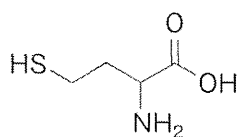


図2 ホモシステイン

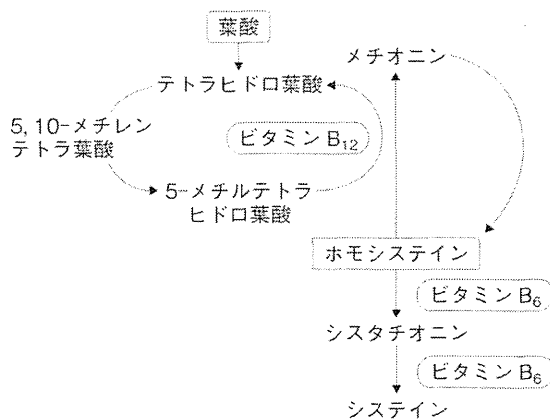


図3 ホモシステイン代謝

ホモシステインは、血管さらには神経毒性が指摘されており、長らく脳血管性認知症さらにはアルツハイマー病との関連が指摘されてきた。実際、複数の横断調査で認知症患者の高いホモシステイン血中濃度が指摘されている¹⁰⁸⁾。最近のメタ・アナリシスでは脳血管性認知症並びにアルツハイマー病患者では認知症ではない対照者に比較し、有意にホモシステイン濃度が高値であることが報告されている¹⁰⁸⁾。また、アルツハイマー病と脳血管性認知症患者との比較も報告されており、脳血管性認知症でよりホモシステイン値が高かった¹⁰⁸⁾。

しかしながら、このような横断調査の結果は必ずしもホモシステイン自体が認知症発症または認