

1-6 ビタミン

(1) 脂溶性ビタミン

① ビタミン A

1. 基本的事項

1-1. 定義と分類

ビタミン A は、レチノイドといい、その末端構造によりレチノール（アルコール）、レチナール（アルデヒド）、レチノイン酸（カルボン酸）に分類される。経口摂取した場合、体内でビタミン A 活性を有する化合物は、レチノールやレチナール、レチニルエステル、並びに β -カロテン、 α -カロテン、 β -クリプトキサンチンなどおよそ 50 種類に及ぶプロビタミン A カロテノイドが知られている（図 1）。ビタミン A の食事摂取基準の数値をレチノール相当量として示し、レチノール活性当量（retinol activity equivalents : RAE）という単位で算定した。

なお、算定の考え方は、日本人の食事摂取基準（2010 年版）¹⁾ と同様であるが、単位の名称を前述のとおり改めた。

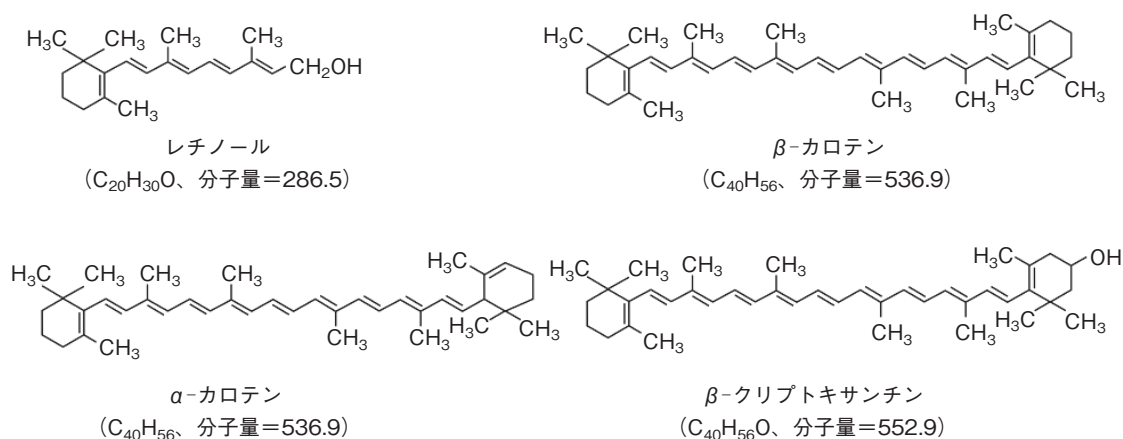


図 1 レチノール活性当量の計算に用いられる化合物の構造式

1-2. 機能

レチノールとレチナールは、網膜細胞の保護作用や視細胞における光刺激反応に重要な物質である。レチノイン酸は、転写因子である核内受容体に結合して、その生物活性を発現するものと考えられる。ビタミン A が欠乏すると、乳幼児では角膜乾燥症から失明に至ることもあり、成人では眼所見として暗順応障害が生じ、やがて夜盲症になる。角膜上皮や結膜上皮の角質化によって角膜や結膜が肥厚し、ビトー斑という泡状の沈殿物が白眼に現れる。また、皮膚でも乾燥、肥厚、角質化が起こる。

1-3. 消化、吸収、代謝

ビタミン A は、動物性食品から主にレチニル脂肪酸エステルとして、植物性食品からプロビタミン A であるカロテノイドとして摂取される。レチニル脂肪酸エステルは小腸吸収上皮細胞にお

いて、刷子縁膜に局在するレチニルエステル加水分解酵素によりレチノールとなって細胞内に取り込まれる。レチノールの吸収率は70～90%である^{2,3)}。β-カロテンの大部分は、小腸吸収上皮細胞内において中央開裂により2分子のビタミンA（レチナール）を生成する。他のプロビタミンAカロテノイドは、中央開裂により1分子のレチナールを生成する。β-カロテンの吸収率は、精製β-カロテンを油に溶かしたβ-カロテンサプリメントを摂取した場合と比べると1/7程度である。そこで、アメリカ・カナダの食事摂取基準⁴⁾に倣って1/6とした。

β-カロテンからレチノールへの転換効率は、従来どおり50%、すなわち1/2と見積もると、食品由来のβ-カロテンのビタミンAとしての生体利用率は、1/12（=1/6×1/2）となる。したがって、食品由来β-カロテン12μgはレチノール1μgに相当する量（レチノール活性当量：RAE）であるとして換算することとした。

そこで、全ての食品中のビタミンA含量はレチノール活性当量として下式で求められる。

$$\begin{aligned}\text{レチノール活性当量}(\mu\text{gRAE}) = & \text{レチノール}(\mu\text{g}) + \beta\text{-カロテン}(\mu\text{g}) \times 1/12 + \alpha\text{-カロテン}(\mu\text{g}) \times 1/24 \\ & + \beta\text{-クリプトキサンチン}(\mu\text{g}) \times 1/24 \\ & + \text{その他のプロビタミンAカロテノイド}(\mu\text{g}) \times 1/24\end{aligned}$$

なお、サプリメントとして摂取する油溶化β-カロテンは、ビタミンAとしての生体利用率が1/2程度なので、従来どおり2μgのβ-カロテンで1μgのレチノールに相当し、食品由来のβ-カロテンとは扱いが異なる。

2. 欠乏の回避

2-1. 要求量を決めるために考慮すべき事項

ビタミンAの典型的な欠乏症として、乳幼児では角膜乾燥症から失明に至ることもあり、成人では夜盲症を発症する。その他、成長障害、骨及び神経系の発達抑制もみられ、上皮細胞の分化・増殖の障害、皮膚の乾燥・肥厚・角質化、免疫能の低下⁵⁾や粘膜上皮の乾燥などから感染症にかかりやすくなる。ビタミンAの摂取が不足していても、肝臓のビタミンA貯蔵量が20μg/g以下に低下するまで血漿レチノール濃度の低下は見られない⁶⁾ので、血漿レチノール濃度はビタミンA体内貯蔵量の判定指標としては不適切である。現在のところ、肝臓のビタミンA貯蔵量がビタミンAの体内貯蔵量の最もよい指標となると考えられているが、侵襲性の高い分析法なので一般に測定されることはない。

2-2. 推定平均必要量、推奨量の設定方法

2-2-1. 推定平均必要量、推奨量の算定方法

成人が4か月にわたってビタミンAの含まれていない食事しか摂取していない場合でも、肝臓内ビタミンA貯蔵量が20μg/g以上に維持されていれば血漿レチノール濃度は正常値が維持される。すなわち、肝臓内貯蔵量の最低値（20μg/g）が維持されている限り、免疫機能の低下や夜盲症のような比較的軽微なビタミンA欠乏症状にも陥ることはない^{6,7)}。この肝臓内ビタミンA最小貯蔵量を維持するために必要なビタミンA摂取量が、推定平均必要量を算出するための生理学的な根拠となる。そこで、推定平均必要量は次のように算出することができる⁸⁾。安定同位元素で標識したレチノイドを用いてコンパートメント解析（注意：体内の化合物の動態を調べるときに、例えば体内を「血液」、「肝臓」、「その他」の三つ程度のコンパートメントに分け、その動きをモデル化し、「血液」中の化合物を放射性標識や安定同位体標識により追跡することにより、コンパー

トメント内の化合物の濃度や流入・流出速度を推定・算出するような解析方法をコンパートメント解析と呼ぶ)によりビタミン A の不可逆的な体外排泄処理率を算出すると、ビタミン A 摂取量・体内貯蔵量の比較的高いと考えられるアメリカの成人で $14.7 \mu\text{mol}/\text{日}$ ($4 \text{ mg}/\text{日}$)、ビタミン A の摂取量・体内貯蔵量が比較的低いと考えられる中国の成人で $5.58 \mu\text{mol}/\text{日}$ ($1.6 \text{ mg}/\text{日}$) となり、それぞれ体内貯蔵量の 2.35%、1.64% であった^{9,10)}。ビタミン A の体外排泄量は、ビタミン A の栄養状態に関係なく体内貯蔵量のおよそ 2% とほぼ一定であると考えられる^{10,11)} ので、

$$\begin{aligned} & \text{健康な成人の 1 日のビタミン A 体外最小排泄量 } (\mu\text{g}/\text{日}) \\ & = \text{体内ビタミン A 最小蓄積量 } (\mu\text{g}) \times \text{ビタミン A 体外排泄処理率 } (2\%/\text{日})^9) \end{aligned}$$

という式が成り立つ (従来、ビタミン A 欠乏者に対する放射性同位元素で標識されたレチノイドの投与による減衰曲線から体内ビタミン A の体外排泄処理率は体内貯蔵量の 0.5%/日とされてきた⁶⁾)。

一方、体重 1 kg 当たりの体内ビタミン A 最小蓄積量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重) は、

$$\begin{aligned} & \text{肝臓内ビタミン A 最小蓄積量 } (20 \mu\text{g}/\text{g}) \\ & \times \text{成人の体重 } 1 \text{ kg 当たりの肝臓重量 } (21 \text{ g}/\text{kg} \text{ 体重})^{9,12)} \\ & \times \text{ビタミン A 蓄積量の体全体と肝臓の比 } (10:9)^{9,13)} \end{aligned}$$

の積として表すことができる。

そこで、体重 1 kg 当たり 1 日のビタミン A 体外排泄量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日) は、

$$\begin{aligned} & \text{体内ビタミン A 最小蓄積量 } (20 \mu\text{g}/\text{g} \times 21 \text{ g}/\text{kg} \times 10/9) \times \text{ビタミン A 体外排泄処理率 } (2/100) \\ & = 9.3 \mu\text{g}/\text{kg} \text{ 体重}/\text{日} \end{aligned}$$

となる。

したがって、体重 1 kg 当たり 1 日のビタミン A 体外排泄量 $9.3 \mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日を補完するために摂取しなければならないビタミン A の必要量は $9.3 \mu\text{gRAE}/\text{kg}$ 体重/日と推定される。

言い換えると、 $9.3 \mu\text{gRAE}/\text{kg}$ 体重/日を摂取することにより、ビタミン A 欠乏症状を示さないで肝臓内ビタミン A 貯蔵量の最低値を維持できることになる。この値を推定平均必要量の参照値とする。

2-2-2. 成人 (推定平均必要量、推奨量)

推定平均必要量の参照値である $9.3 \mu\text{gRAE}/\text{kg}$ 体重/日と参照体重から概算すると、18 歳以上の成人男性のビタミン A の推定平均必要量は $550 \sim 650 \mu\text{gRAE}/\text{日}$ 、18 歳以上の成人女性は $450 \sim 500 \mu\text{gRAE}/\text{日}$ とした。

推奨量は、個人間の変動係数を 20% と見積もり⁴⁾、推定平均必要量に推奨量算定係数 1.4 を乗じ、成人男性は、 $800 \sim 900 \mu\text{gRAE}/\text{日}$ ($\approx 550 \sim 600 \times 1.4$)、成人女性は、 $650 \sim 700 \mu\text{gRAE}/\text{日}$ ($\approx 450 \sim 500 \times 1.4$) とした。

2-2-3. 小児 (推定平均必要量、推奨量)

これまで健康な小児で推定平均必要量の推定に用いることができるデータは報告されていない。もし、仮に単純に成人の推定平均必要量の参照値である $9.3 \mu\text{gRAE}/\text{kg}$ 体重/日を体重当たりの式で外挿した場合には、1~5 歳の小児の推定平均必要量は $150 \sim 200 \mu\text{gRAE}/\text{日}$ と見積もられることになる。しかし、この摂取レベルでは、血漿レチノール濃度が $20 \mu\text{g}/100 \text{ mL}$ 以下の小児がみられ、角膜乾燥症の発症リスクが上昇することが発展途上国では報告されている¹⁴⁾ ことから、1~5 歳の

小児の場合に 200 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ 以上の推奨量にする必要がある。そこで、男子は 18～29 歳の成人男性の推定平均必要量を基にして、また女子は 18～29 歳の成人女性の推定平均必要量を基にして、それぞれ成長因子を考慮し、体重比の 0.75 乗を用いて体表面積を推定する方法により外挿し、推定平均必要量を算出した⁴⁾。ただし、5 歳以下の小児では体重当たりの肝重量を 42 g/kg 体重^{9, 12)}として小児期の年齢階級別に推定平均必要量を算出した。つまり、1～5 歳の体重 1 kg 当たり 1 日のビタミン A 体外排泄量 ($\mu\text{g}/\text{kg}$ 体重/日) は、

$$\begin{aligned} & \text{体内ビタミン A 最小蓄積量 (20 } \mu\text{g/g} \times 42 \text{ g/kg} \times 10/9) \times \text{ビタミン A 体外排泄処理率 (2/100)} \\ & = 18.7 \mu\text{g/kg 体重/日} \end{aligned}$$

となる。

したがって、1～5 歳の推定平均必要量は、 $18.7 \mu\text{g/kg 体重/日} \times \text{参照体重} \times (1 + \text{成長因子})$ の式で求められる。

推奨量は、小児についても個人間の変動係数を 20% と見積もり⁷⁾、推定平均必要量に推奨量算定係数 1.4 を乗じた値とした。

2-2-4. 妊婦・授乳婦の付加量（推定平均必要量、推奨量）

ビタミン A は体内で合成できないが、胎児の発達にとって必須の因子である。したがって、ビタミン A は胎盤を経由して母体から胎児に供給されている。妊婦のビタミン A 必要量を考える場合には、胎児へのビタミン A の移行蓄積量を付加する必要がある。37～40 週の胎児では、肝臓のビタミン A 蓄積量は 1,800 μg 程度であるので、この時期の体内ビタミン A 貯蔵量を肝臓蓄積量の 2 倍として、3,600 μg のビタミン A が妊娠期間中に胎児に蓄積される^{20, 21)}。母親のビタミン A 吸収率を 70% と仮定し、最後の 3 か月でこの量のほとんどが蓄積される²¹⁾。したがって、初期並びに中期における付加量を 0 (ゼロ) とし、後期における付加量（推定平均必要量）を 56.3 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ を丸め処理を行った 60 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ とした。後期における付加量（推奨量）は個人間の変動係数を 20% と見積もり⁴⁾、推定平均必要量に推奨量算定係数 1.4 を乗じると 78.9 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ となるため、丸め処理を行って 80 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ とした。

授乳婦の場合には、母乳中に分泌される量 (320 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$) を付加することとし、丸め処理を行って 300 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ を付加量（推定平均必要量）とした。付加量（推奨量）は、個人間の変動係数を 20% と見積もり⁴⁾、推定平均必要量に推奨量算定係数 1.4 を乗じると 449 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ となるため、丸め処理を行って 450 $\mu\text{gRAE}/\text{日}$ とした。

2-3. 目安量の設定方法

2-3-1. 乳児（目安量）

日本人の母乳中のレチノール濃度は、分娩後 98 $\pm$ 7 日で 352 $\pm$ 18 $\mu\text{g}/\text{L}$ (平均 $\pm$ 標準誤差) と報告されている¹⁵⁾。また、600 例以上の健康な乳児を保育している日本人の母親から採取した母乳のビタミン A 濃度 (平均 $\pm$ 標準偏差) は 525 $\pm$ 314 $\mu\text{gRE}/\text{L}$ であったという報告¹⁶⁾もあるが、最近、LC-MS/MS 分析により、精密に、しかも詳細に日本人の母乳中のビタミン A 濃度と β -カロテン濃度が測定された¹⁷⁾。この最新の報告によると、分娩後 0～10 日で 1,026 $\pm$ 398 $\mu\text{gRE}/\text{L}$ 、11～30 日で 418 $\pm$ 138 $\mu\text{gRE}/\text{L}$ 、31～90 日で 384 $\pm$ 145 $\mu\text{gRE}/\text{L}$ 、91～180 日で 359 $\pm$ 219 $\mu\text{gRE}/\text{L}$ 、181～270 日で 267 $\pm$ 117 $\mu\text{gRE}/\text{L}$ となっている (文献 16 における RE の算定方法は、今回設定する RAE と同様。以後、RAE と示す)。母乳中の β -カロテン濃度は初乳では高く (分娩後 0～10 日目で

0.35~0.70 $\mu\text{mol/L}$)、分娩後約3か月では0.062 $\mu\text{mol/L}$ まで低下する^{15,17)}。

母乳中のビタミンA濃度(初乳を含めた分娩後6か月間の母乳の平均値411 $\mu\text{gRAE/L}$)¹⁷⁾に基準哺乳量(0.78 L/日)^{18,19)}を乗じると、母乳栄養児のビタミンA摂取量は320 $\mu\text{gRAE/日}$ となるため、300 $\mu\text{gRAE/日}$ を0~5か月児の目安量とした。

6~11か月児については、0~5か月児の目安量を体重比の0.75乗で外挿すると、男児が406 $\mu\text{gRAE/日}$ 、女児が410 $\mu\text{gRAE/日}$ となるため、400 $\mu\text{gRAE/日}$ を目安量とした。なお、母乳中のプロビタミンAカロテノイド濃度は、乳児にどのように利用されるか解析されていないので、レチノール活性当量の計算には加えていない。

3. 過剰摂取の回避

3-1. 摂取状況

過剰摂取による健康障害が報告されているのは、サプリメントあるいは大量のレバー摂取などによるものである⁴⁾。

3-2. 耐容上限量の設定方法

ビタミンAの過剰摂取により、血中のレチノイン酸濃度が一過性に上昇する²²⁾。過剰摂取による臨床症状の多くは、レチノイン酸によるものと考えられている²²⁾。ビタミンAの過剰摂取による臨床症状では頭痛が特徴である。急性毒性では脳脊髄液圧の上昇が顕著であり、慢性毒性では頭蓋内圧亢進、皮膚の落屑、脱毛、筋肉痛が起こる。

成人では肝臓へのビタミンAの過剰蓄積による肝臓障害²⁵⁾を指標にし、最低健康障害発現量を13,500 $\mu\text{gRAE/日}$ とした。不確実性因子を5として耐容上限量は2,700 $\mu\text{gRAE/日}$ とした。乳児ではビタミンA過剰摂取による頭蓋内圧亢進の症例報告²⁶⁾を基に、健康障害非発現量を6,000 $\mu\text{gRAE/日}$ とした。不確実性因子を10として乳児の耐容上限量は600 $\mu\text{gRAE/日}$ とした。

小児については、18~29歳の耐容上限量を体重比から外挿して設定した。外挿の基にする参照体重の関係で女性の方が男性よりも大きな値となるため、男性の値を女性にも適用することにした。1~2歳では6~11か月児の600 $\mu\text{gRAE/日}$ よりも小さな値(500 $\mu\text{gRAE/日}$)となるが、600 $\mu\text{gRAE/日}$ とした。

最近、推奨量の2倍程度(1,500 $\mu\text{gRAE/日}$)以上のレチノール摂取を30年続けていると、推奨量(500 $\mu\text{gRAE/日}$)以下しか摂取していない人に比べて高齢者の骨折のリスクが2倍程度になるという報告がなされた²⁷⁾。レチノイン酸は、骨芽細胞を阻害し破骨細胞を活性化することが知られているので、この報告は興味深い。その後、世界各国で同様の疫学的研究が報告されたが、否定的な報告も多い²⁸⁾。この食事摂取基準では高齢者の耐容上限量を別途決めることなく、他の成人と同じとした。

β -カロテンの過剰摂取によるプロビタミンAとしての過剰障害は、胎児奇形^{22,23)}や骨折²⁷⁾も含めて知られていないので、耐容上限量を考慮したビタミンA摂取量(レチノール相当量)の算出にはプロビタミンAであるカロテノイドは含めないこととした。

4. その他

4-1. カロテノイドに関する基本的な考え方

β -カロテン、 α -カロテン、クリプトキサンチンなどのプロビタミンAカロテノイドからのビ

タミン A への変換は厳密に調節されているので、ビタミン A 過剰症は生じない。ビタミン A に変換されなかったプロビタミン A カロテノイドやリコペン及びルテイン、ゼアキサンチンなどのビタミン A にはならないカロテノイドの一部は体内にそのまま蓄積する。これらカロテノイドの作用としては、抗酸化作用、免疫賦活作用などが想定されている。

世界の代表的なコホート研究のデータをまとめた解析によると、各種カロテノイドの摂取量と肺がん発症率との間に有意な負の関連が示唆されている²⁹⁾。一方、 β -カロテンをサプリメントとして大量に摂取させた介入試験の結果を総合すると、 β -カロテンの大量摂取はがん（特に肺がん）の予防に対して無効であるか、あるいは有害になる場合もあると考えられる³⁰⁻³³⁾。一方、前立腺に蓄積しやすいリコペンは前立腺がんの予防に^{34, 35)}、網膜黄斑に特異的に集積するルテイン及びゼアキサンチンは加齢性網膜黄斑変性症の改善に寄与することが示唆されている^{36, 37)}。また、カロテノイドの抗酸化作用は皮膚の光保護に機能すると考えられている³⁸⁾。さらに、ルテイン及びゼアキサンチンの摂取は、網膜の色素維持に必須であることが示唆されている。ただし、カロテノイド摂取の有効性と安全性については、今後の研究成果を待たねばならない。カロテノイドの欠乏症は確認されていないので、現時点では食事摂取基準を定めることは適当とは考えられなかった。

②ビタミン D

1. 基本的事項

1-1. 定義と分類

天然にビタミン D 活性を有する化合物として、キノコ類に含まれるビタミン D₂（エルゴカルシフェロール）と魚肉及び魚類肝臓に含まれるビタミン D₃（コレカルシフェロール）に分類される（図 2）。ビタミン D には二つの供給源がある。一つは、ヒトを含む哺乳動物の皮膚には、プロビタミン D₃（7-デヒドロコレステロール、プロカルシフェロール）がコレステロール生合成過程の中間体として存在し、日光の紫外線によりプレビタミン D₃（プレカルシフェロール）となり、体温による熱異性化によりビタミン D₃（カルシフェロール）が生成する。もう一つは、食品から摂取されたビタミン D₂ とビタミン D₃ である。ビタミン D₂ とビタミン D₃ は、側鎖構造のみが異なる同族体であり、両者の分子量はほぼ等しく、体内で同様に代謝される。ビタミン D の食事摂取基準は、両者を区別せず、単にビタミン D として両者の合計量で算定した。

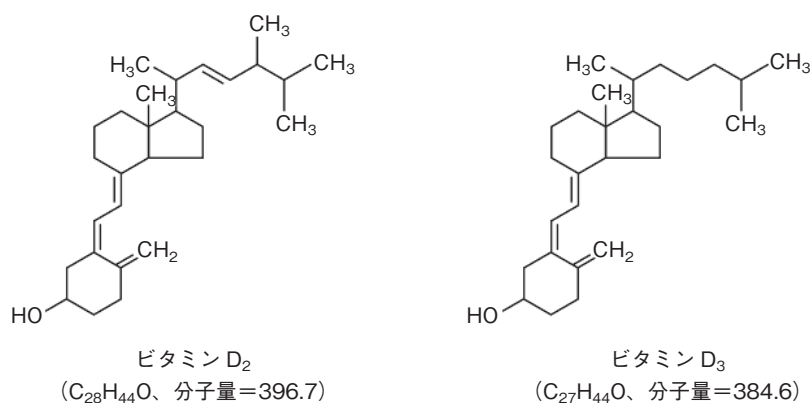


図 2 ビタミン D₂ とビタミン D₃ の構造式

1-2. 機能

ビタミン D は、肝臓で 25-ヒドロキシビタミン D に代謝され、続いて腎臓で活性型である 1 α , 25-ジヒドロキシビタミン D に代謝される。1 α , 25-ジヒドロキシビタミン D は、標的細胞の核内に存在するビタミン D 受容体と結合し、ビタミン D 依存性たんぱく質の遺伝子発現を誘導する。ビタミン D の主な作用は、ビタミン D 依存性たんぱく質の働きを介して、腸管や腎臓でカルシウムとリンの吸収を促進し、骨の形成と成長を促すことである。ビタミン D が欠乏すると、腸管からのカルシウム吸収の低下と腎臓でのカルシウム再吸収が低下し、低カルシウム血症となる。これに伴い二次性副甲状腺機能亢進症が惹起され、骨吸収が亢進し、小児ではくる病、成人では骨軟化症が惹起される。ビタミン D の過剰摂取により、高カルシウム血症、腎障害、軟組織の石灰化障害などが起こる。

1-3. 消化、吸収、代謝

血中の 25-ヒドロキシビタミン D 濃度は、皮膚で産生されたビタミン D と食物から摂取されたビタミン D の合計量を反映して変動する³⁹⁾。一方、1 α , 25-ジヒドロキシビタミン D はカルシウム代謝を調節するホルモンであり、健康な人でその血中濃度は常に一定に維持されている。このよ

うな理由から、25-ヒドロキシビタミン D は栄養生化学的な指標として重要である。また、ビタミン D が欠乏すると、血中のカルシウムイオン濃度が低下し、その結果として、血中副甲状腺ホルモン濃度が上昇する⁴⁰⁾。したがって、血中副甲状腺ホルモン濃度もビタミン D の欠乏を示す指標として有効である。

2. 欠乏の回避

2-1. 要求量を決めるために考慮すべき事項

ビタミン D が欠乏すると、小腸や腎臓でのカルシウム吸収量が減少し、体内でのカルシウム利用能が低下する。その結果、小児ではくる病、成人では骨軟化症の発症リスクが高まる。一方、成人、特に高齢者において、ビタミン D 欠乏とは言えないビタミン D 不足の状態が長期にわたって続くと、骨粗鬆症性骨折のリスクが高まる。

アメリカ・カナダから発表された、カルシウム・ビタミン D に関する食事摂取基準 2011 年版において、1997 年版においては目安量が定められていたのに対し、推定平均必要量・推奨量に変更された⁴¹⁾。ビタミン D は、食品からの摂取以外にも、紫外線の作用下で皮膚においても産生されることから、ビタミン D 摂取量と骨の健康維持に関しては、量・反応関係を示す科学的根拠に欠けるが、血清 25-ヒドロキシビタミン D 濃度は、食品からの摂取と紫外線による産生を合わせた、生体のビタミン D の優れた指標であるとして、これに基づいて策定が行われた。25-ヒドロキシビタミン D 濃度が 30 nmol/L 未満では、くる病（小児）・骨軟化症（成人）のリスク増大、カルシウム吸収率低下（小児・成人）、骨量低下（小児・若年者）、骨折リスク増加（高齢者）が起こる。骨折予防に関して、50 nmol/L で最大効果になるとして、25-ヒドロキシビタミン D 濃度 40 nmol/L が、50% の必要を満たす（すなわち推定平均必要量に相当する）濃度、50 nmol/L が 97.5% の必要を満たす（すなわち推奨量に相当する）濃度とされた。この濃度に相当するビタミン D 摂取量については、25-ヒドロキシビタミン D 濃度に対する日照関与の割合は算定が不可能であり、しかも種々の要因に影響されることから、日照のほとんどない条件下での、ビタミン D 摂取と血清 25-ヒドロキシビタミン D 濃度の関係に基づいて策定がなされた。しかし、我が国においては、同一対象者に対して、血清 25-ヒドロキシビタミン D 濃度測定とビタミン D 摂取量を同時に評価した報告が乏しいことから、上記の方法論に基づく推定平均必要量及び推奨量の設定は困難なものと考えられた。

長野県におけるコホート研究において、1,470 人の閉経後女性（ 63.7 ± 10.7 歳）を平均 7.2 年間追跡した結果、血清 25-ヒドロキシビタミン D 濃度が 50 nmol/L 未満の例は 49.6% にみられ、血清 25-ヒドロキシビタミン D 濃度が 62.5 nmol/L 以上群に対し、62.5 nmol/L 未満の長管骨骨折に対する相対危険率は 2.20（95% 信頼区間 1.37～3.53）であり、ビタミン D 不足が骨粗鬆症性骨折リスクを増加させることが示された⁴²⁾。

我が国においては、骨折予防をアウトカムとした介入試験は行われていないが、海外では多くの大規模臨床試験が行われており、1 日 10 μg 程度では無効だが、17.5 μg 以上では大腿骨近位部骨折を抑制するとの報告があり^{43, 44)}、その一方で骨密度へのビタミン D 投与の効果を検討した最近のメタ・アナリシスによると、大腿骨近位部のみ僅かに効果を認めたに留まると報告されている⁴⁵⁾。このように、いまだ十分な一致を認めていない。

2-2. 目安量の設定方法

2-2-1. 成人（目安量）

アメリカ・カナダの食事摂取基準では、前述（『2-1. 要求量を求めるために考慮すべき事項』）のような策定理論に基づいて、成人（19歳以上）に対して推定平均必要量を10 $\mu\text{g}/\text{日}$ 、推奨量を15 $\mu\text{g}/\text{日}$ （70歳以上では20 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）と定めている。しかし、これらの値は日照による皮膚でのビタミンD産生を考慮しないものであるため、そのまま目安量とすることは困難である。

国内3地域（札幌・つくば・那覇）において、顔と両手を露出した状況で、5.5 μg のビタミンD₃を産生するのに必要な日照への曝露時間を求めた報告によると、那覇では冬季でもビタミンD産生が期待できるが、12月の札幌では正午前後以外ではほとんど期待できないとする結果であった⁴⁶⁾。12月の札幌における結果に基づいて算出すると、晴天日に限定しなかった場合、正午では5.5 μg の産生に94.7分を要していたことから、正午前後の2時間日照を受ければ約7.5 μg のビタミンD₃が産生されると考えられる。このことから、1日に必要と考えられる15 μg から日照による産生7.5 μg を除いた残余、7.5 μg が1日における必要量となる。しかし、平均的な健康な日本人成人がどの程度（何時間）習慣的に日照に曝露しているかに関する信頼度の高いデータは存在せず、また、血清25-ヒドロキシビタミンD濃度がビタミンD摂取量以外に屋外での歩行歩数に影響されたとの報告もあり⁴⁷⁾、考慮すべき要因は多岐にわたるものと推測される。これらより、日本人の食事摂取基準（2010年版）¹⁾における目安量を変更すべきとする積極的な科学的根拠はないと判断し、5.5 $\mu\text{g}/\text{日}$ を目安量とした。なお、男女別のデータは十分に存在しないために男女とも同じ値とした。

ところで、骨粗鬆症により種々の部位の骨折リスクが高まり、ビタミンD不足は、特に大腿骨近位部骨折を含む、非椎体骨折のリスクを増加させる⁴⁸⁾。これらの骨折は、特に高齢者において発生する⁴⁸⁾。ビタミンDが不足状態にある例は、高齢者で特に多いことが日本人でも報告されている^{42, 49)}。さらに、日照の曝露機会が非常に乏しい日本人の施設入所高齢者に対する介入試験では、血清25-ヒドロキシビタミン濃度を50 nmol/L以上とするためには5 $\mu\text{g}/\text{日}$ では無効で⁵⁰⁾、20 $\mu\text{g}/\text{日}$ でも50 nmol/Lを超えたのは約40%に留まったとの報告がある⁵¹⁾。これらを根拠として、骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2011年度版（日本骨粗鬆症学会）では、10～20 $\mu\text{g}/\text{日}$ の摂取を推奨としている（グレードB）⁴⁸⁾。しかしながら、上記で引用した報告の多くは施設入所高齢者を対象とした研究であるため⁴⁹⁻⁵¹⁾、これらの結果を高齢者全体に適用できるか否かについては更なる検討が必要であると考えられる。そのため、70歳以上にも18～69歳に算定した目安量（5.5 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）を適用することとした。

冬季における日照時間が少ない地域に居住する人、戸外での活動が著しく制限されている人、高齢者ではここで示した目安量よりも多い摂取量が望ましいかもしれない。しかし、そのための摂取量を提言するのは現時点では困難である。

2-2-2. 小児（目安量）

日本人を対象として、12～18歳の男女1,380人（男子672人、女子718人）を対象として、ビタミンD摂取量を評価し、血中25-ヒドロキシビタミンD濃度を測定した報告⁵²⁾があり、ビタミンD摂取の平均値は対象者の性・年齢を問わず約10 $\mu\text{g}/\text{日}$ であり、血中25-ヒドロキシビタミンD濃度の中央値は約50 nmol/Lであった。しかし、日本人において、摂取と血中25-ヒドロキシビタミンD濃度の比較検討を行った報告が乏しいことから、これによって目安量を算定することは困難

と考え、成人で得られた目安量を基に成長因子を考慮し、体重比の 0.75 乗を用いて体表面積を推定する方法により外挿して求めた。なお、性別を考慮した値の算定は困難と考え、男女別の設定は行わなかった。

2-2-3. 乳児（目安量）

乳児において、ビタミン D 欠乏によるくる病はまれではないことが、海外でも我が国でも報告され⁵³⁻⁵⁵⁾、日照機会の乏しいこと、母乳栄養などがその危険因子として挙げられている。我が国におけるくる病の正確な頻度調査は発表されていないが、京都で行われた疫学調査⁵⁶⁾において、新生児の 22% に頭蓋癆^{ろう}（頭蓋骨の石灰化不良、原因としてビタミン D 欠乏が疑われる）がみられ、その発生率は 1～5 月にかけて上昇、7～11 月にかけて低下が認められた。さらに、頭蓋癆^{ろう}と診断された新生児の 37% において、1 か月健診時点で血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度の低値（25 nmol/L 未満）が認められた。この結果を、母乳のみを与えたグループ（母乳グループ）と母乳・乳児用調製粉乳混合を与えたグループ（混合グループ）で比較すると、母乳グループの 57% で血中濃度の低値（25 nmol/L 未満）がみられ、さらに 17% で著しい低値（12.5 nmol/L 未満）が認められた。一方、混合グループでは血中濃度の低値を示した児はいなかった。これらの結果から、出生時にビタミン D 不足であった児はビタミン D 栄養状態の改善に比較的長い時間を要する場合があることに注意すべきである。また、冬期で新生児の血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度を測定したところ、その値は 21.7 nmol/L であり、母乳のみを 1 か月間哺乳すると 15.1 nmol/L に低下したとの報告がある⁵⁷⁾。この結果も、新生児で比較的高率にビタミン D 不足が発生すること、さらに母乳からのビタミン D 供給量では改善が困難な場合があることを示唆している。このような事例はアメリカ・アイオワ州でもみられ、ビタミン D サプリメントを服用していない生後 112 日、168 日、224 日、280 日の母乳栄養児において、血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度が低値（27.5 nmol/L 未満）を示す乳児の割合がそれぞれ 70、57、33、23% であったと報告されている⁵⁸⁾。

日本人の母乳中の活性代謝物を含むビタミン D 濃度は 3.0 $\mu\text{g/L}$ の値が報告されている⁵⁹⁾。最近開発されたより精度・特異度の高い測定法を用いたものでは 0.6 $\mu\text{g/L}$ の値が報告されている⁶⁰⁾ が、その後の続報はない。また、母乳中のビタミン D 濃度は、日本食品標準成分表 2010 では、従来の測定法により 0.3 $\mu\text{g}/100\text{ g}$ とされている⁶¹⁾。母乳中のビタミン D 及びビタミン D 活性を有する代謝物の濃度は、授乳婦のビタミン D 栄養状態、授乳期あるいは季節などによって変動する。これらの理由から、母乳中の濃度に基づき目安量を算出することは困難と考えられ、くる病防止の観点から設定することとした。

日照を受ける機会が少なく、専ら母乳で保育された乳児では、くる病のリスクが高いとの報告がある⁶²⁾。このような状態にある乳児にビタミン D を 6 か月間 2.5、5、10 $\mu\text{g}/\text{日}$ で補給したところ、くる病の兆候を示した乳児はみられなかった。母乳に由来するビタミン D 摂取量を 2.38 $\mu\text{g}/\text{日}$ と見積もると、総ビタミン D 摂取量は、それぞれ、4.88、7.38、12.38 $\mu\text{g}/\text{日}$ となり、4.88 $\mu\text{g}/\text{日}$ のビタミン D 摂取で、くる病のリスクは回避できると考えられる。アメリカ小児科学会では 2003 年のガイドラインにおいて、くる病防止に必要な量として 5 $\mu\text{g}/\text{日}$ を定めたが⁶³⁾、2008 年のガイドラインでは 10 $\mu\text{g}/\text{日}$ が必要とした⁶⁴⁾。しかしこれは、ビタミン D サプリメントが必要となる量であり、このガイドラインの達成率は実際には低いという報告もあることから⁶⁵⁾、採用しなかった。以上のような理由により、0～5 か月児における目安量を 5 $\mu\text{g}/\text{日}$ とした。

生後 6 か月、12 か月時のビタミン D 摂取量がそれぞれ 8.6、3.9 $\mu\text{g}/\text{日}$ であった乳児（150 人）の

18 か月時における平均血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度の平均値は全て 25 nmol/L 以上であったと報告されている⁶⁶⁾。また、ノルウェーで冬に 10 $\mu\text{g}/\text{日}$ （哺乳量不明）のビタミン D 補給を受けた乳児は、夏過ぎに測定された血中濃度と乳児用調製乳で保育された乳児の血中濃度との中間値付近の血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度を示した。この摂取量を日本人の乳児用調製乳の摂取量（0.8 L/日）⁶⁷⁾ とすると、8 $\mu\text{g}/\text{日}$ に相当する。しかしこれは、ビタミン D サプリメントが必要となる量であり、かつ、適度な日照を受ける環境にある場合には、さらに低い摂取量でも、不足のリスクは大きくないと考えられる。これらの結果より、適度な日照を受ける環境にある 6～11 か月児の目安量を 5 $\mu\text{g}/\text{日}$ とした。日照を受ける機会が少ない 6～11 か月児についても、値の算定に有用なデータが十分に存在しないため、同じ値（5 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）とした。

2-2-4. 妊婦・授乳婦（目安量）

妊婦ではカルシウム要求性が高まるため、妊娠期間に伴って 1 α , 25-ジヒドロキシビタミン D の産生能が高くなり、出産後に低下する。ビタミン D 摂取量が 0.75～5.3 $\mu\text{g}/\text{日}$ で、日照を受ける機会の少ない妊婦で妊娠期間中に血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度の低下がみられる⁶⁸⁾。これに対して、ビタミン D 摂取量が 7.0 $\mu\text{g}/\text{日}$ 以上の妊婦ではビタミン D の不足は認められなかった⁶⁹⁾。このことから、妊婦では少なくとも 7 $\mu\text{g}/\text{日}$ 以上のビタミン D 摂取が必要と考えられる。したがって、妊婦の目安量を 7.0 $\mu\text{g}/\text{日}$ とした。

授乳婦においては、母乳栄養児でビタミン D 不足によるくる病、低カルシウム血症が報告されている⁵⁵⁾ ことなどから、乳児の目安量をくる病防止の観点から設定したことを踏まえ、ビタミン D 活性代謝物を含む母乳中ビタミン濃度 3.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ ⁵⁹⁾ に泌乳量の 0.78 L/日^{18,19)} を乗じ、丸め処理を行った 2.5 $\mu\text{g}/\text{日}$ を非妊娠時の 18 歳以上の女性の目安量に加え、8.0 $\mu\text{g}/\text{日}$ とした。

3. 過剰摂取の回避

3-1. 摂取状況

紫外線による皮膚での産生は調節されており、必要以上のビタミン D は産生されない。したがって、日照によるビタミン D 過剰症は起こらない。またビタミン D は、肝臓及び腎臓において活性化（水酸化）を受けるが、腎臓における水酸化は厳密に調節されており、高カルシウム血症が起ると、それ以上の活性化が抑制される。

3-2. 耐容上限量の設定方法

多量のビタミン D 摂取を続けると、高カルシウム血症、腎障害、軟組織の石灰化障害などが起こることが知られている。ビタミン D 摂取量の増加に伴い、血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度は量・反応関係を有して上昇するが、血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度が上昇しても必ずしも過剰摂取による健康障害が見いだされない場合もある。そのため、ビタミン D の過剰摂取による健康障害は、高カルシウム血症を指標とするのが適当であると考えられる。

乳児については、多量のビタミン D 摂取によって成長遅延が生じる危険があり、これを健康障害と考えて行われた研究が存在する。

3-2-1. 成人（耐容上限量）

成人男女（21～60 歳、30 人）に 3 か月間にわたって、10、20、30、60、95 $\mu\text{g}/\text{日}$ のビタミン D を摂取させたところ、95 $\mu\text{g}/\text{日}$ を摂取した群の中に血清カルシウム濃度の上昇を来した例があったが、60 $\mu\text{g}/\text{日}$ では血清カルシウム濃度が基準値範囲内であったとの報告がある⁷⁰⁾。しかし、対象例数が非常に少なく、また、元々高カルシウム血症を来しやすい肉芽腫性疾患患者を対象とした研究であるため、この結果をもって耐容上限量を定めるのは不適切であると考えられた。

この論文を除くと、250 $\mu\text{g}/\text{日}$ 未満では高カルシウム血症の報告はみられないため、これを健康障害非発現量とし、アメリカ・カナダの食事摂取基準に準拠して、不確実性因子を 2.5 として、耐容上限量を 100 $\mu\text{g}/\text{日}$ とした⁴¹⁾。さらに、1,250 $\mu\text{g}/\text{日}$ にて高カルシウム血症を来した症例報告があり^{71, 72)}、これを最低健康障害発現量とし、不確実性因子を 10 として耐容上限量を算出しても、ほぼ同等の値となることから、上記の算定はほぼ妥当なものと考えられた。なお、性別及び年齢階級ごとの違いは考慮しなかった。

現在までのところ、高齢者における耐容上限量を別に定める根拠がないことから、成人と同じ 100 $\mu\text{g}/\text{日}$ とした⁴¹⁾。妊婦に対して、100 $\mu\text{g}/\text{日}$ までの介入を行った研究において、高カルシウム血症を含む健康障害を認めなかったと報告されている⁷³⁾。また特に、妊婦・授乳婦に高カルシウム血症発症リスクが高いという報告がないことから、成人（妊婦・授乳婦除く）と同じ 100 $\mu\text{g}/\text{日}$ を耐容上限量とした^{41, 74)}。

3-2-2. 乳児（耐容上限量）

乳児（13 人）に対して出生後 6 日間にわたって 34.5～54.3 $\mu\text{g}/\text{日}$ （平均 44 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）を摂取させ、その後 6 か月間における成長を観察した結果、成長の遅れは観察されなかったと報告されている⁷⁵⁾。アメリカ・カナダの食事摂取基準⁴¹⁾では、この結果を基に、44 $\mu\text{g}/\text{日}$ を健康障害非発現量と考えている。そして、研究数が一つであること、追跡期間が短いこと、対象児数が少ないことを理由に不確実性因子を 1.8 とし、24.4 $\mu\text{g}/\text{日}$ （丸め処理を行って 25 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）を耐容上限量としている。この方法に従い、25 $\mu\text{g}/\text{日}$ を乳児の耐容上限量とした。

3-2-3. 小児（耐容上限量）

小児に関しては参考とすべき有用な報告が存在しない。そのため、18～29 歳の値（100 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）と乳児の値（25 $\mu\text{g}/\text{日}$ ）の間を、参照体重を用いて体重比から外挿した。計算は男女別に行い、その後、それぞれの年齢階級について、男女において数値が少ない方の値を採用した。すなわち、男女同じ値とした。

4. 生活習慣病の発症予防及び重症化予防

ビタミン D 不足は、骨折の危険因子であるが、その他にも種々の生活習慣病の関連が示唆されている。しかし、これらについてはまだ科学的根拠が十分ではないものと考え、考慮しなかった。

5. 今後の課題

日本人における日照曝露時間、ビタミン D の習慣的摂取量及び血中 25-ヒドロキシビタミン D 濃度の相互関係に関する信頼度の高いデータが必要である。

③ビタミン E

1. 基本的事項

1-1. 定義と分類

ビタミン E には、4 種のトコフェロールと 4 種のトコトリエノールの合計 8 種類の同族体が知られており、クロマノール環のメチル基の数により、 α -、 β -、 γ -及び δ -体に区別されている。

血液及び組織中に存在するビタミン E 同族体の大部分が α -トコフェロールである。このことより、 α -トコフェロールのみを指標にビタミン E の食事摂取基準を策定し、 α -トコフェロールとして表すことにした (図 3)。

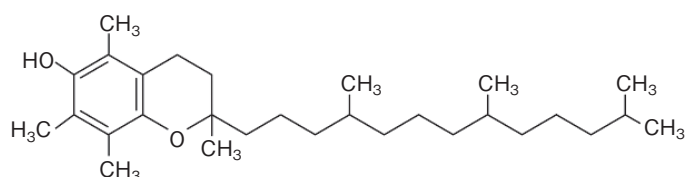


図 3 α -トコフェロールの構造式
($C_{29}H_{50}O_2$ 、分子量=430.7)

1-2. 機能

ビタミン E は、生体膜を構成する不飽和脂肪酸あるいは他の成分を酸化障害から防御するために、細胞膜のリン脂質二重層内に局在する。動物におけるビタミン E 欠乏実験では、不妊以外に、脳軟化症、肝臓壊死、腎障害、溶血性貧血、筋ジストロフィーなどの症状を呈する。過剰症としては、出血傾向が上昇する。通常の食品からの摂取において、ビタミン E 欠乏症や過剰症は発症しない。

1-3. 消化、吸収、代謝

摂取されたビタミン E 同族体は、胆汁酸などによってミセル化された後、腸管からリンパ管を経由して吸収される。ビタミン E の吸収率は、51~86% と推定された⁷⁶⁾が、21% あるいは 29% という報告⁷⁷⁾もあり、現在のところビタミン E の人における正確な吸収率は不明である。

吸収されたビタミン E 同族体は、キロミクロンに取り込まれ、リポプロテインリパーゼによりキロミクロンレムナントに変換された後、肝臓に取り込まれる。肝臓では、ビタミン E 同族体のうち α -トコフェロールが優先的に α -トコフェロール輸送たんぱく質に結合し、他の同族体は肝細胞内で代謝される。肝細胞内を α -トコフェロール輸送たんぱく質により輸送された α -トコフェロールは、VLDL (very low density lipoprotein) に取り込まれ、再度、血流中に移行する⁷⁸⁾。

2. 欠乏の回避

2-1. 要求量を決めるために考慮すべき事項

血中 α -トコフェロール値が 6~12 $\mu\text{mol/L}$ の範囲にある場合には、過酸化水素による溶血反応が上昇することが見いだされており、これがビタミン E の栄養状態の指標として用いられ⁷⁹⁾、その時の対照被験者の血中 α -トコフェロール値は、16.2 $\mu\text{mol/L}$ (697 $\mu\text{g/dL}$) であった。さらに、

血中 α -トコフェロール値が14 $\mu\text{mol/L}$ あれば、過酸化水素による溶血反応を防止できることが認められている⁸⁰⁾。また、ビタミン E 欠乏の被験者に対してビタミン E (0~320 mg/日) を補給した場合の血中 α -トコフェロールの変化を見た研究によると、12 $\mu\text{mol/L}$ の血中濃度に対応する摂取量は12 mg/日であったと報告をしている⁸¹⁾。しかしながら、これらの報告はかなり古いため、これらの報告を根拠として推定平均必要量と推奨量を算定するのは困難だと考えられる。

2-2. 目安量の設定方法

2-2-1. 目安量の算定方法

一方、日本人を対象として摂取量と血中 α -トコフェロール濃度を測定した報告をまとめると(表1)⁸²⁻⁸⁴⁾、サンプル数は少ないが、全ての集団で血中濃度の平均値は22 $\mu\text{mol/L}$ 以上に保たれており、その集団の摂取量の平均値は5.6~11.1 mg/日であった。また、これらの値は、平成22年、23年国民健康・栄養調査⁸⁵⁾における対応する性別及び年齢階級ごとの摂取量の中央値(男性6.2~6.8 mg/日、女性5.5~6.6 mg/日)に近かった。これらの事実は、現在の日本人の摂取量(中央値)程度を摂取していればビタミン E の栄養状態に問題がないであろうことを示唆している。以上より、推定平均必要量と推奨量ではなく、目安量を設定することとし、平成22年、23年国民健康・栄養調査⁸⁵⁾における性別及び年齢階級ごとの摂取量の中央値を基に目安量を設定した。

表1 健康な日本人を対象として α -トコフェロールの血中濃度と摂取量を測定した報告

参考文献 番号	性別	対象 人数 (人)	年 齢 (歳) ¹	血中濃度 ($\mu\text{mol/L}$) ¹	摂取量 (mg/日) ¹	国民健康・栄養調査 ²	
						年齢(歳)	摂取量(mg/日)
82)	男性	42	31~58	25.4 $\pm$ 5.6	11.1 $\pm$ 4.9	30~49	6.2
	女性	44	24~67	31.8 $\pm$ 10.5	9.5 $\pm$ 3.9	30~49	5.7
83)	女性	150	21~22	32.0 $\pm$ 10.5	7.0 $\pm$ 2.4 ³	18~29	5.5
84)	女性	10	21.6 $\pm$ 0.8	22.2 $\pm$ 2.2	7.1 $\pm$ 2.0 ⁴		
		11	21.2 $\pm$ 0.8	26.3 $\pm$ 4.2	6.2 $\pm$ 2.4 ⁴		
		10	21.0 $\pm$ 0.7	28.5 $\pm$ 3.6	5.6 $\pm$ 2.0 ⁴		

¹ 平均 $\pm$ 標準偏差。

² 参考値として、平成22年、23年国民健康・栄養調査⁸⁵⁾における類似した年齢階級の摂取量を示した。

³ α -トコフェロール当量。

⁴ α -トコフェロール。 α -トコフェロール摂取量(mg/kg 体重/日)と平均体重(kg)から算出した。

2-2-2. 成人(目安量)

前述のように、血中 α -トコフェロール濃度が12 $\mu\text{mol/L}$ 以上に保たれることが期待できる摂取量として、平成22年、23年国民健康・栄養調査⁸⁵⁾における性別及び年齢階級ごとの摂取量の中央値を加重平均した値を丸め、男性6.5 mg/日、女性6.0 mg/日を目安量とした。

高齢者でも、加齢に伴い、ビタミン E の吸収や利用が低下するというような報告は存在しないため、摂取量中央値を目安量とした。

2-2-3. 小児(目安量)

これまで健康な小児のビタミン E の目安量の推定に関するデータは見いだされていない。その

ため、それぞれの性別及び年齢階級ごとの摂取量の中央値を基に目安量を設定した。ただし11歳以下の各年齢階級において、男女の体格に明らかな差はないことから、男女の平均値を目安量に用いた。

2-2-4. 乳児（目安量）

母乳中のビタミンE濃度は、初乳、移行乳そして成熟乳となるにつれて低下し、初乳（6.8～23 mg/L）に対し、成熟乳（1.8～9 mg/L）ではおよそ1/3～1/5である⁸⁶⁾。また、母乳中のビタミンE濃度は、早期産あるいは満期産には関係なく、さらに日内変動もほとんど見られない⁸⁷⁾。日本人の母乳中の α -トコフェロール量の平均値（約3.5～4.0 mg/L）^{16,17)}に基準哺乳量（0.78 L/日）^{18,19)}を乗じると、2.7～3.1 mg/日となるため（ $\approx 3.5\sim 4.0\text{ mg/L} \times 0.78\text{ L/日}$ ）、丸め処理を行って3.0 mg/日を0～5か月児の目安量とした。

6～11か月児については、体重比の0.75乗を用いて体表面積を推定する方法で外挿すると、男児が3.85 mg/日、女児が3.80 mg/日となるため、4.0 mg/日を目安量とした。

2-2-5. 妊婦・授乳婦（目安量）

妊娠中には血中脂質の上昇が見られ、それと共に血中 α -トコフェロール濃度も上昇する⁸⁸⁾。妊娠中のビタミンE欠乏に関する報告はこれまでない。したがって、非妊娠時と同様、平成19年から23年までの国民健康・栄養調査の結果から算出された妊婦のビタミンE摂取量⁸⁹⁾の中央値（6.25 mg/日）を参考にし、6.5 mg/日を目安量とした。

授乳婦については、児の発育に問題ないと想定される平成19年から平成23年までの国民健康・栄養調査の結果から算出された授乳婦のビタミンE摂取量⁸⁹⁾の中央値（6.55 mg/日）を参考にし、7.0 mg/日を目安量とした。

3. 過剰摂取の回避

3-1. 摂取状況

通常の食品からの摂取において欠乏症を来すことや過剰症を来すことはない。

3-2. 耐容上限量の設定方法

ビタミンEの耐容上限量を設定する場合、出血作用に関するデータが重要となる。これまで α -トコフェロールを低出生体重児に補充投与した場合、出血傾向が上昇することが一部示されているが、健康な成人男性（平均体重62.2 kg）においては800 mg/日の α -トコフェロールを28日間摂取しても、非摂取群に比べて血小板凝集能やその他の臨床的指標に有意な差は見られなかったとの報告がある⁹⁰⁾。このことから、健康な成人の α -トコフェロールの健康障害非発現量は、現在のところ800 mg/日と考えられる。ビタミンEに対する最低健康障害発現量は現在のところ存在しないことから、不確実性因子を1として、小児を含め、800 mg/日と参照体重を用いて体重比から性別及び年齢階級ごとに耐容上限量を算出した。外挿の基となる体重には62.2 kgを用いた。

乳児についてはこれまで耐容上限量に関するデータがほとんどないことや、實際上、母乳や離乳食では過剰摂取の問題が生じないことから今回は耐容上限量を設定しないこととした。

4. 生活習慣病の発症予防及び重症化予防

一方、ビタミンEのサプリメントを用いた多くの介入試験の結果は、冠動脈疾患発症に対して有用であったとする報告と全く効果がないとする報告、さらにかえって死亡率を増加させるとする報告まで様々である⁹¹⁻⁹⁴⁾。また、最近過剰量のビタミンEと骨粗鬆症の関連を示す報告⁹⁵⁾があったが、動物実験データであり、臨床データの裏付けがないことから、考慮しなかった。

④ビタミン K

1. 基本的事項

1-1. 定義と分類

天然に存在するビタミン K には、ナフトキノンを経典的構造として、側鎖構造のみが異なるフィロキノン（ビタミン K₁）とメナキノン類がある。フィロキノンは、側鎖にフィチル基をもつ化合物である。メナキノン類は、側鎖のプレニル基を構成するイソプレレン単位の数（4～14）によって 11 種類の同族体に分かれる。このうち、栄養上、特に重要なものは、動物性食品に広く分布するメナキノン-4（ビタミン K₂）と納豆菌が産生するメナキノン-7 である（図 4）。フィロキノン、メナキノン-4 及びメナキノン-7 は、ヒトにおける腸管からの吸収率や血中半減期がそれぞれ異なることより、生理活性も異なるものと考えられる^{96, 97)}。しかし、ビタミン K 同族体の相対的な生理活性を決定する根拠は乏しいので、分子量のほぼ等しいフィロキノンとメナキノン-4 についてはそれぞれの重量を、また、分子量が大きく異なるメナキノン-7 は下記の式によりメナキノン-4 相当量に換算して求めた重量の合計量をビタミン K 量として食事摂取基準を算定した。

$$\text{メナキノン-4 相当量 (mg)} = \text{メナキノン-7 (mg)} \times 444.7/649.0$$

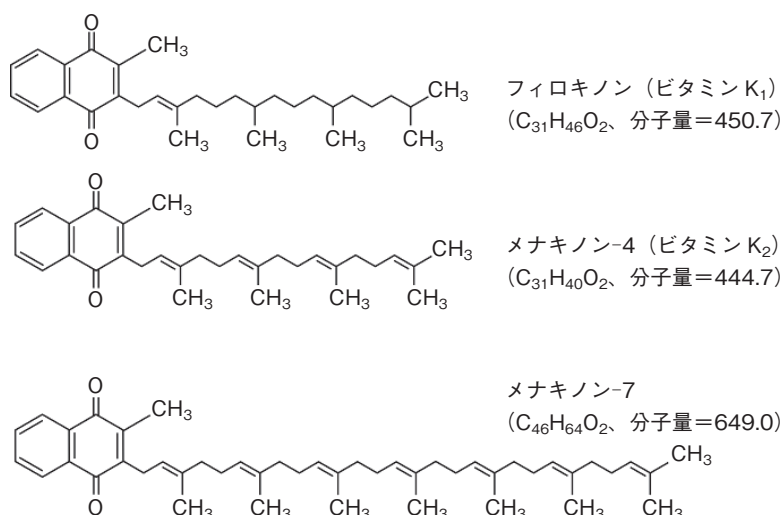


図 4 フィロキノン、メナキノン-4、メナキノン-7 の構造式

1-2. 機能

ビタミン K は、肝臓においてプロトンビンやその他の血液凝固因子を活性化し、血液の凝固を促進するビタミンとして見いだされた。肝臓以外にもビタミン K 依存性に骨に存在するたんぱく質オステオカルシンを活性化し、骨形成を調節すること、さらに、ビタミン K 依存性たんぱく質 MGP (Matrix Gla Protein) の活性化を介して動脈の石灰化を抑制することも重要な生理作用である。ビタミン K が欠乏すると、血液凝固が遅延する。通常の食生活では、ビタミン K 欠乏症は発症しない。

1-3. 消化、吸収、代謝

生体内のメナキノン類は、食事から摂取されるものの他に、腸内細菌が産生する長鎖のメナキノン類と⁹⁸⁾、組織内でフィロキノンから酵素的に変換し生成するメナキノン-4がある⁹⁹⁾。腸内細菌によるメナキノン類産生量や組織でのメナキノン-4生成量が、人のビタミン K 必要量をどの程度満たしているのかは明らかでない。しかし、健康な人において通常の食事から体重 1 kg 当たり 0.8～1.0 μg /日の量でフィロキノンの摂取を続けると、潜在的なビタミン K 欠乏症に陥る危険性があるので¹⁰⁰⁾、腸内細菌や組織でのメナキノン類産生量は、生体の需要を満たすほどには多くない。

2. 欠乏の回避

2-1. 要求量を決めるために考慮すべき事項

ヒトでビタミン K の欠乏症が明確に認められるのは血液凝固の遅延である。我が国において、健康な人でビタミン K 欠乏に起因する血液凝固遅延が認められるのはまれであり、手術後の患者や血液凝固阻止薬ワルファリンの服用者を除き、ビタミン K の栄養はほぼ充足していると考えられる。血液凝固因子の活性化に必要なビタミン K 摂取量は明らかでなく、欠乏充足実験として、10 人の若年男性 (28.3 ± 3.2 歳) を対象として 40 日間にわたってビタミン K 欠乏食を与えた研究があるが、例数が非常に少なく、これをもって設定することはできないものと考えられた¹⁰⁰⁾。

一方、大腿骨近位部骨折とビタミン K 摂取量との関連を検討した最近のコホート研究によると、100 μg /日程度（またはそれ以上）を摂取していた群で、それ未満の摂取量の群に比べて発生率の低下が観察されている^{101, 102)}。骨におけるビタミン K 作用不足の指標である血中低カルボキシル化オステオカルシン (ucOC) 高値は、骨密度とは独立した骨折の危険因子であり、ucOC を低下させるためには、肝臓で凝固因子の活性化に必要な量以上（おおむね 500 μg /日以上）を要することが示されている^{103, 104)}。骨折の予防に必要なビタミン K 摂取量は、血漿中非カルボキシル化プロトロンビンを指標とする場合に比べて多い可能性が考えられる。ビタミン K のサプリメント投与による骨折発生率の減少に関するメタ・アナリシスが発表されているが¹⁰⁵⁾、45 mg/日という多量のメナキノン投与によるものである。

以上より、骨折予防のためには肝臓の血液凝固因子活性化より多くのビタミン K を必要とすることが考えられるものの、現状では正常な血液凝固能を維持するのに必要なビタミン K 摂取量を基準として適正摂取量を設定するのが妥当と考えた。また、現時点では推定平均必要量・推奨量を算定するに足る科学的根拠はないものと考え、目安量を設定した。

2-2. 目安量の設定方法

2-2-1. 成人（目安量）

血液凝固因子の活性化に必要なビタミン K 摂取量は明らかでなく、我が国において、健康な人でビタミン K 欠乏に起因する血液凝固遅延が認められるのはまれであり、現在の食事摂取にてビタミン K の栄養はほぼ充足していると考えられる。平成 22 年、23 年国民健康・栄養調査における 18 歳以上のビタミン K 摂取量の平均値は 185 μg /日、280 μg /日であるが⁸⁵⁾、日本人では納豆摂取の影響が大きい。納豆摂取者のビタミン K 摂取は 336.2 ± 138.2 μg /日、非摂取者は 154.1 ± 87.8 μg /日との報告があり¹⁰⁶⁾、納豆非摂取者においても、明らかな健康障害は認められていないことから、これに基づいて 150 μg /日を目安量とした。

高齢者では、胆汁酸塩類や腓液の分泌量低下、食事性の脂質摂取量の減少などにより、腸管からのビタミン K 吸収量が低下すると考えられる。また、慢性疾患や抗生物質の投与を受けている場合には、腸管でのメナキノン産生量が減少することやビタミン K エポキシド還元酵素活性の阻害によるビタミン K 作用の低下が見られる。このような理由から、高齢者に対してはビタミン K の目安量をさらに引き上げる必要があると考えられ、高齢者ではより多量のビタミン K を要するとの報告もあるが¹⁰⁷⁾、この点に関する報告がいまだ十分に集積されていないので、50～69 歳と同じ値とした。

2-2-2. 小児（目安量）

成人で得られた目安量を基に成長因子を考慮し、体重比の 0.75 乗を用いて体表面積を推定する方法により外挿した。

2-2-3. 乳児（目安量）

日本人の母乳中ビタミン K 濃度の平均値は、 $5.17 \mu\text{g/L}$ と報告されている¹⁰⁸⁾。また、最近開発された測定法を用いた報告では、フィロキノンが 3.771 ng/mL 、メナキノン-7 が 1.795 ng/mL であったと報告されている¹⁷⁾。ビタミン K は胎盤を通過しにくいこと¹⁰⁹⁾、母乳中のビタミン K 含量が低いこと^{17, 108)}、乳児では腸内細菌によるビタミン K 産生・供給量が低いと考えられること¹⁰⁸⁾ から、新生児はビタミン K の欠乏に陥りやすい。出生後数日で起こる新生児メレナ（消化管出血）や約 1 か月後に起こる特発性乳児ビタミン K 欠乏症（頭蓋内出血）は、ビタミン K の不足によって起こることが知られており、臨床領域では出生後直ちにビタミン K の経口投与が行われる¹¹⁰⁾。

以上より、ここでは、臨床領域におけるビタミン K 経口投与が行われていることを前提として、0～5 か月児では、母乳中のビタミン K 濃度 ($5.17 \mu\text{g/L}$) に基準哺乳量 (0.78 L/日)^{18, 19)} を乗じて、目安量を $4 \mu\text{g/日}$ とした。6～11 か月児では、母乳以外の食事からの摂取量も考慮して目安量を $7 \mu\text{g/日}$ とした。

2-2-4. 妊婦・授乳婦（目安量）

周産期におけるビタミン K の必要量を詳細に検討した資料は極めて乏しい。これまでに、妊娠によって母体のビタミン K 必要量が増加したり、母体の血中ビタミン K 濃度が変化したりすることは認められていない。また、妊婦でビタミン K の欠乏症状が現れることもない。ビタミン K は胎盤を通過しにくく、このため妊婦のビタミン K 摂取が胎児あるいは出生直後の新生児におけるビタミン K の栄養状態に大きく影響することはない。したがって、妊婦と非妊婦でビタミン K の必要量に本質的に差異はなく、同年齢の目安量を満たす限り、妊婦におけるビタミン K の不足は想定できない。以上のことから、妊婦の目安量は非妊娠時の目安量と同様に $150 \mu\text{g/日}$ とした。

授乳中には、乳児への影響を考慮して、授乳婦に対するビタミン K の目安量を算出した方がよいと考えられる。しかし、授乳婦においてビタミン K が特に不足するという報告が見当たらないことから、根拠となる摂取量の値が見当たらないため、非授乳時の目安量と同様に $150 \mu\text{g/日}$ とした。

3. 過剰摂取の回避

ビタミン K の類縁化合物であるメナジオンは、大量摂取すると毒性が認められる場合があるが、フィロキノンとメナキノンについては大量に摂取しても毒性は認められていない。我が国では、メナキノン-4 が骨粗鬆症治療薬として 45 mg/日の用量で処方されており、これまでに安全性に問題はないことが証明されている⁴⁸⁾。この量を超えて服用され、副作用が発生した例は今までに報告がないので、ビタミン K の健康障害非発現量を設定することはできない。したがって、ビタミン K の耐容上限量は設定しなかった。

4. 生活習慣病の発症予防及び重症化予防

ビタミン K 不足は骨折のリスクを増大させることが報告されているが、栄養素としてのビタミン K 介入による骨折抑制効果については、十分な科学的根拠は得られていないことから目標量を設定しなかった。

参考文献

- 1) 厚生労働省. 日本人の食事摂取基準 (2010 年版). 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書, 2009.
- 2) Moise AR, Noy N, Palczewski K, Blaner WS. Delivery of retinoid-based therapies to target tissues. *Biochemistry* 2007; **46**: 4449-58.
- 3) Debier C, Larondelle Y. Vitamins A and E: metabolism, roles and transfer to offspring. *Br J Nutr* 2005; **93**: 153-74.
- 4) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. 2nd ed. National Academy Press, Washington D.C. 2002.
- 5) Sigmundsdottir H, Butcher EC. Environmental cues, dendritic cells and the programming of tissue-selective lymphocyte trafficking. *Nat Immunol* 2008; **9**: 981-7.
- 6) Sauberlich HE, Hodges RE, Wallace DL, *et al.* Vitamin A metabolism and requirements in the human studied with the use of labeled retinol. *Vitam Horm* 1974; **32**: 251-75.
- 7) Ahmad SM, Haskell MJ, Raqib R, *et al.* Men with low vitamin A stores respond adequately to primary yellow fever and secondary tetanus toxoid vaccination. *J Nutr* 2008; **138**: 2276-83.
- 8) Olson JA. Recommended dietary intakes (RDI) of vitamin A in humans. *Am J Clin Nutr* 1987; **45**: 704-16.
- 9) Cifelli CJ, Green JB, Wang Z, *et al.* Kinetic analysis shows that vitamin A disposal rate in humans is positively correlated with vitamin A stores. *J Nutr* 2008; **138**: 971-7.
- 10) Cifelli CJ, Green JB, Green MH. Use of model-based compartmental analysis to study vitamin A kinetics and metabolism. *Vitam Horm* 2007; **75**: 161-95.
- 11) Furr HC, Green MH, Haskell M, *et al.* Stable isotope dilution techniques for assessing vitamin A status and bioefficacy of provitamin A carotenoids in humans. *Public Health Nutr* 2005; **8**: 596-607.
- 12) 島田 馨. 内科学書: 改訂第 6 版. 中山書店. 東京. 2002.
- 13) Raica N Jr, Scott J, Lowry L, *et al.* Vitamin A concentration in human tissues collected from five areas in the United States. *Am J Clin Nutr* 1972; **25**: 291-6.
- 14) Joint FAO/WHO Expert Group. Human vitamin and mineral requirements, 2nd edition. Chapter 2. Vitamin A. WHO/FAO 2004; : 17-44.
- 15) Canfield LM, Clandinin MT, Davies DP, *et al.* Multinational study of major breast milk carotenoids of healthy mothers. *Eur J Nutr* 2003; **42**: 133-41.
- 16) Sakurai T, Furukawa M, Asoh M, *et al.* Fat-soluble and water-soluble vitamin contents of breast milk from Japanese women. *J Nutr Sci Vitaminol* 2005; **51**: 239-47.
- 17) Kamao M, Tsugawa N, Suhara Y, *et al.* Quantification of fat-soluble vitamins in human breast milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci* 2007; **859**: 192-200.
- 18) 鈴木久美子, 佐々木晶子, 新澤佳代, 他. 離乳前乳児の哺乳量に関する研究. 栄養学雑誌 2004; **62**: 369-72.
- 19) 廣瀬潤子, 遠藤美佳, 柴田克己, 他. 日本人母乳栄養児 (0~5 ヶ月) の哺乳量. 日本母乳哺育学会雑誌 2008; **2**: 23-8.
- 20) Montreewasuwat N, Olson JA. Serum and liver concentrations of vitamin A in Thai fetuses as a function of gestational age. *Am J Clin Nutr* 1979; **32**: 601-6.

- 21) Strobel M, Tinz J, Biesalski HK. The importance of beta-carotene as a source of vitamin A with special regard to pregnant and breastfeeding women. *Eur J Nutr* 2007; **46**: 11-20.
- 22) Penniston KL, Tanumihardjo SA. The acute and chronic toxic effects of vitamin A. *Am J Clin Nutr* 2006; **83**: 191-201.
- 23) Azais-Braesco V, Pascal G. Vitamin A in pregnancy: requirements and safety limits. *Am J Clin Nutr* 2000; **71**: 1325S-33S.
- 24) Rothman KJ, Moore LL, Singer MR, *et al.* Teratogenicity of high vitamin A intake. *N Engl J Med* 1995; **333**: 1369-73.
- 25) Minuk GY, Kelly JK, Hwang WS. Vitamin A hepatotoxicity in multiple family members. *Hepatology* 1988; **8**: 272-5.
- 26) Persson B, Tunell R, Ekengren K. Chronic vitamin a intoxication during the first half year of life; Description of 5 cases. *Acta Paediatr Scand* 1965; **54**: 49-60.
- 27) Michaelsson K, Lithell H, Vessby B, *et al.* Serum retinol levels and the risk of fracture. *N Engl J Med* 2003; **348**: 287-94.
- 28) Ribaya-Mercado JD, Blumberg JB. Vitamin A: is it a risk factor for osteoporosis and bone fracture? *Nutr Rev* 2007; **65**: 425-38.
- 29) Mannisto S, Smith-Warner SA, Spiegelman D, *et al.* Dietary carotenoids and risk of lung cancer in a pooled analysis of seven cohort studies. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 2004; **13**: 40-8.
- 30) The Alpha-tocopherol, Beta carotene Cancer Prevention Study Group. The effect of vitamin E and beta carotene on the incidence of lung cancer and other cancers in male smokers. *N Engl J Med* 1994; **330**: 1029-35.
- 31) Albanes D, Heinonen OP, Taylor PR, *et al.* Alpha-tocopherol and beta-carotene supplements and lung cancer incidence in the alpha-tocopherol, beta-carotene cancer prevention study: effects of base-line characteristics and study compliance. *J Natl Cancer Inst* 1996; **88**: 1560-70.
- 32) Omenn GS, Goodman GE, Thornquist MD, *et al.* Effects of a combination of beta carotene and vitamin A on lung cancer and cardiovascular disease. *N Engl J Med* 1996; **334**: 1150-5.
- 33) Hennekens CH, Buring JE, Manson JE, Stampfer M, Rosner B, Cook NR, Belanger C, LaMotte F, Gaziano JM, Ridker PM, Willett W, Peto R. Lack of effect of long-term supplementation with beta carotene on the incidence of malignant neoplasms and cardiovascular disease. *N Engl J Med* 1996; **334**: 1145-9.
- 34) Kavanaugh CJ, Trumbo PR, Ellwood KC. The U.S. Food and Drug Administration's evidence-based review for qualified health claims: tomatoes, lycopene, and cancer. *J Natl Cancer Inst* 2007; **99**: 1074-85.
- 35) Van Patten CL, de Boer JG, Tomlinson Guns ES. Diet and dietary supplement intervention trials for the prevention of prostate cancer recurrence: a review of the randomized controlled trial evidence. *J Urol* 2008; **180**: 2314-21.
- 36) Chong EW, Wong TY, Kreis AJ, Simpson JA, Guymer RH. Dietary antioxidants and primary prevention of age related macular degeneration: systematic review and meta-analysis. *BMJ* 2007; **335**: 755.
- 37) Leung IY. Macular pigment: new clinical methods of detection and the role of carotenoids in age-related macular degeneration. *Optometry* 2008; **79**: 266-72.
- 38) Stahl W, Sies H. Carotenoids and flavonoids contribute to nutritional protection against skin damage from sunlight. *Mol Biotechnol* 2007; **37**: 26-30.

- 39) Brustad M, Alsaker E, Engelsen O, *et al.* Vitamin D status of middle-aged women at 65–71 degrees N in relation to dietary intake and exposure to ultraviolet radiation. *Public Health Nutr* 2004; **7**: 327–35.
- 40) Holick MF. Vitamin D. *In*: Holick MF, Dawson-Hughes B, eds. Nutrition and Bone Health. NJ: Humana Press. Totowa. 2004; 403–40.
- 41) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary reference intakes for calcium and vitamin D. National Academy Press. Washington D.C. 2011.
- 42) Tanaka S, Kuroda T, Yamazaki Y, *et al.* Serum 25-hydroxyvitamin D below 25 ng/mL is a risk factor for long bone fracture comparable to bone mineral density in Japanese postmenopausal women. *J Bone Miner Metab* 2013; [Epub ahead of print].
- 43) Bischoff-Ferrari HA, Willett WC, Orav EJ, *et al.* A pooled analysis of vitamin D dose requirements for fracture prevention. *N Engl J Med* 2012; **367**: 40–9.
- 44) Bischoff-Ferrari HA, Willett WC, Wong JB, *et al.* Prevention of nonvertebral fractures with oral vitamin D and dose dependency: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Intern Med* 2009; **169**: 551–61.
- 45) Reid IR, Bolland MJ, Grey A. Effects of vitamin D supplement on bone mineral density: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 2014; **383**: 146–55.
- 46) Miyauchi M, Hirai C, Nakajima H. The solar exposure time required for vitamin D₃ synthesis in the human body estimated by numerical simulation and observation in Japan. *J Nutr Sci Vitaminol* 2013; **59**: 257–63.
- 47) Ohta H, Kuroda T, Onoe Y, *et al.* The impact of lifestyle factors on serum 25-hydroxyvitamin D levels: a cross-sectional study in Japanese women aged 19–25 years. *J Bone Miner Metab* 2009; **27**: 682–8.
- 48) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会. 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン 2011 年版. ライフサイエンス出版. 東京, 2011.
- 49) Kuwabara A, Himeno M, Tsugawa N, *et al.* Hypovitaminosis D and K are highly prevalent and independent of overall malnutrition in the institutionalized elderly. *Asia Pac J Clin Nutr* 2010; **19**: 49–56.
- 50) Himeno M, Tsugawa N, Kuwabara A, *et al.* Effect of vitamin D supplementation in the institutionalized elderly. *J Bone Miner Metab* 2009; **27**: 733–7.
- 51) Kuwabara A, Tsugawa N, Tanaka K, *et al.* Improvement of vitamin D status in Japanese institutionalized elderly by supplementation with 800 IU of vitamin D (3). *J Nutr Sci Vitaminol* 2009; **55**: 453–8.
- 52) 平成 18 年度厚生労働科学研究費補助金循環器疾患等生活習慣病対策総合研究事業報告書 (柴田克己). 日本人の食事摂取基準 (栄養所要量) の策定に関する研究. 平成 18 年度総括・分担研究報告書 2007; 246–91.
- 53) Ward LM, Gaboury I, Ladhani M, *et al.* Vitamin D-deficiency rickets among children in Canada. *CMAJ* 2007; **177**: 161–6.
- 54) 大藺恵一. 現代の栄養欠乏としてのビタミン D 欠乏. ビタミン 2012; **86**: 28–31.
- 55) Matsuno K, Mukai T, Suzuki S, *et al.* Prevalence and risk factors of vitamin D deficiency rickets in Hokkaido, Japan. *Pediatr Int* 2009; **51**: 559–62.
- 56) Yorifuji J, Yorifuji T, Tachibana K, *et al.* Craniotabes in normal newborns: the earliest sign of subclinical vitamin D deficiency. *J Clin Endocrinol Metab* 2008; **93**: 1784–8.
- 57) Nakao H. Nutritional significance of human milk vitamin D in neonatal period. *Kobe J Med*

- Sci* 1988; **34**: 121-8.
- 58) Ziegler EE, Hollis BW, Nelson SE, *et al.* Vitamin D deficiency in breastfed infants in Iowa. *Pediatrics* 2006; **118**: 603-10.
- 59) Sakurai T, Furukawa M, Asoh M, *et al.* Fat-soluble and water-soluble vitamin contents of breast milk from Japanese women. *J Nutr Sci Vitaminol* 2005; **51**: 239-47.
- 60) Kamao M, Tsugawa N, Suhara Y, *et al.* Quantification of fat-soluble vitamins in human breast milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci* 2007; **859**: 192-200.
- 61) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告. 日本標準食品成分表 2010. 全官報. 東京, 2010.
- 62) Specker BL, Ho ML, Oestreich A, *et al.* Prospective study of vitamin D supplementation and rickets in China. *J Pediatr* 1992; **120**: 733-9.
- 63) Gartner LM, Greer FR; Section on Breastfeeding and Committee on Nutrition. American Academy of Pediatrics. Prevention of rickets and vitamin D deficiency: new guidelines for vitamin D intake. *Pediatrics* 2003; **111**: 908-10.
- 64) Wagner CL, Greer FR; American Academy of Pediatrics Section on Breastfeeding; American Academy of Pediatrics Committee on Nutrition. Prevention of rickets and vitamin D deficiency in infants, children, and adolescents. *Pediatrics* 2008; **122**: 1142-52.
- 65) Perrine CG, Sharma AJ, Jefferds ME, *et al.* Adherence to vitamin D recommendations among US infants. *Pediatrics* 2010; **125**: 627-32.
- 66) Leung SS, Lui S, Swaminathan R. Vitamin D status of Hong Kong Chinese infants. *Acta Paediatr Scand* 1989; **78**: 303-6.
- 67) 菅野貴浩, 神野慎治, 金子哲夫. 栄養法別に見た乳児の発育, 哺乳量, 便性ならびに罹病傾向に関する調査成績 (第 11 報) —調粉エネルギーが栄養摂取量に及ぼす影響—. 小児保健研究 2013; **72**: 253-60.
- 68) MacLennan WJ, Hamilton JC, Darmady JM. The effects of season and stage of pregnancy on plasma 25-hydroxy-vitamin D concentrations in pregnant women. *Postgrad Med J* 1980; **56**: 75-9.
- 69) Henriksen C, Brunvand L, Stoltenberg C, *et al.* Diet and vitamin D status among pregnant Pakistani women in Oslo. *Eur J Clin Nutr* 1995; **49**: 211-8.
- 70) Narang NK, Gupta RC, Jain MK. Role of vitamin D in pulmonary tuberculosis. *J Assoc Physicians India* 1984; **32**: 185-8.
- 71) Schwartzman MS, Franck WA. Vitamin D toxicity complicating the treatment of senile, postmenopausal, and glucocorticoid-induced osteoporosis. Four case reports and a critical commentary on the use of vitamin D in these disorders. *Am J Med* 1987; **82**: 224-30.
- 72) Davies M, Adams PH. The continuing risk of vitamin-D intoxication. *Lancet* 1978; **2**: 621-3.
- 73) Hollis BW, Johnson D, Hulsey TC, *et al.* Vitamin D supplementation during pregnancy: double-blind, randomized clinical trial of safety and effectiveness. *J Bone Miner Res* 2011; **26**: 2341-57.
- 74) EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the tolerable upper intake level of vitamin D. *EFSA Journal* 2012; **10**: 2813.
- 75) Fomon SJ, Younoszai MK, Thomas LN. Influence of vitamin D on linear growth of normal full-term infants. *J Nutr* 1966; **88**: 345-50.
- 76) Kelleher J, Losowsky MS. The absorption of alpha-tocopherol in man. *Br J Nutr* 1970; **24**:

- 1033-47.
- 77) Blomstrand R, Forsgren L. Labelled tocopherols in man. Intestinal absorption and thoracic-duct lymph transport of dl-alpha-tocopheryl-3,4-14C2 acetate, dl-alpha-tocopheramine-3,4-14C2, dl-alpha-tocopherol-(5-methyl-3H) and N-(methyl-3H)-dl-gamma-tocopheramine. *Int Z Vitaminforsch* 1968; **38**: 328-44.
 - 78) Traber MG, Arai H. Molecular mechanisms of vitamin E transport. *Annu Rev Nutr* 1999; **19**: 343-55.
 - 79) Horwitt MK, Century B, Zeman AA. Erythrocyte survival time and reticulocyte levels after tocopherol depletion in man. *Am J Clin Nutr* 1963; **12**: 99-106.
 - 80) Farrell PM, Bieri JG, Fratantoni JF, *et al.* The occurrence and effects of human vitamin E deficiency. A study in patients with cystic fibrosis. *J Clin Invest* 1977; **60**: 233-41.
 - 81) Horwitt MK. Vitamin E and lipid metabolism in man. *Am J Clin Nutr* 1960; **8**: 451-61.
 - 82) Sasaki S, Ushio F, Amano K, *et al.* Serum biomarker-based validation of a self-administered diet history questionnaire for Japanese subjects. *J Nutr Sci Vitaminol* 2000; **46**: 285-96.
 - 83) Hiraoka N. Nutritional status of vitamin A, E, C, B₁, B₂, B₆, nicotinic acid, B₁₂, folate, and beta-carotene in young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 2001; **47**: 20-7.
 - 84) Maruyama C, Imamura K, Oshima S, *et al.* Effects of tomato juice consumption on plasma and lipoprotein carotenoid concentrations and the susceptibility of low density lipoprotein to oxidative modification. *J Nutr Sci Vitaminol* 2001; **47**: 213-21.
 - 85) 厚生労働省. 国民健康・栄養調査報告 (平成 22 年, 23 年).
http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkou_eiyouchousa_tokubetsushuukei_h22.pdf.
 - 86) Jansson L, Akesson B, Holmberg L. Vitamin E and fatty acid composition of human milk. *Am J Clin Nutr* 1981; **34**: 8-13.
 - 87) Lammi-Keefe CJ, Jensen RG, Clark RM, *et al.* Alpha tocopherol, total lipid and linoleic acid contents of human milk at 2,6,12 and 16 weeks. In: Schaub J (ed.). *Composition and Physiological Properties of Human Milk*. Elsevier Science, New York. 1985: 241-5.
 - 88) Herrera E, Ortega H, Alvino G, *et al.* Relationship between plasma fatty acid profile and antioxidant vitamins during normal pregnancy. *Eur J Clin Nutr* 2004; **58**: 1231-8.
 - 89) 厚生労働省. 国民健康・栄養調査 (平成 19~23 年).
http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/dl/kenkou_eiyouchousa_tokubetsushuukei_ninpu_h19.pdf
 - 90) Morinobu T, Ban R, Yoshikawa S, *et al.* The safety of high-dose vitamin E supplementation in healthy Japanese male adults. *J Nutr Sci Vitaminol* 2002; **48**: 6-9.
 - 91) Miller ER 3rd, Pastor-Barriuso R, Dalal D, *et al.* Meta-analysis: high-dosage vitamin E supplementation may increase all-cause mortality. *Ann Intern Med* 2005; **142**: 37-46.
 - 92) Bjelakovic G, Nikolova D, Gluud LL, *et al.* Mortality in randomized trials of antioxidant supplements for primary and secondary prevention: systematic review and meta-analysis. *JAMA* 2007; **297**: 842-57.
 - 93) Asleh R, Blum S, Kalet-Litman S, *et al.* Correction of HDL dysfunction in individuals with diabetes and the haptoglobin 2-2 genotype. *Diabetes* 2008; **57**: 2784-800.
 - 94) Milman U, Blum S, Shapira C, *et al.* Vitamin E supplementation reduces cardiovascular events in a subgroup of middle-aged individuals with both type 2 diabetes mellitus and the haptoglobin 2-2 genotype: a prospective double-blinded clinical trial. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2008; **28**: 341-7.

- 95) Fujita K, Iwasaki M, Ochi H, *et al.* Vitamin E decreases bone mass by stimulating osteoclast fusion. *Nat Med* 2012; **18**: 589–94.
- 96) Shearer MJ, Bach A, Kohlmeier M. Chemistry, nutritional sources, tissue distribution and metabolism of vitamin K with special reference to bone health. *J Nutr* 1996; **126**: 1181S–6S.
- 97) Schurgers LJ, Vermeer C. Differential lipoprotein transport pathways of K-vitamins in healthy subjects. *Biochim Biophys Acta* 2002; **1570**: 27–32.
- 98) Shearer MJ. Vitamin K. *Lancet* 1995; **345**: 229–34.
- 99) Okano T, Shimomura Y, Yamane M, *et al.* Conversion of phyloquinone (Vitamin K₁) into menaquinone-4 (Vitamin K₂) in mice: two possible routes for menaquinone-4 accumulation in cerebra of mice. *J Biol Chem* 2008; **283**: 11270–9.
- 100) Suttie JW, Mumma-Schendel LL, Shah DV, *et al.* Vitamin K deficiency from dietary vitamin K restriction in humans. *Am J Clin Nutr* 1988; **47**: 475–80.
- 101) Feskanich D, Weber P, Willett WC, *et al.* Vitamin K intake and hip fractures in women: a prospective study. *Am J Clin Nutr* 1999; **69**: 74–9.
- 102) Booth SL, Tucker KL, Chen H, *et al.* Dietary vitamin K intakes are associated with hip fracture but not with bone mineral density in elderly men and women. *Am J Clin Nutr* 2000; **71**: 1201–8.
- 103) Binkley NC, Krueger DC, Kawahara TN, *et al.* A high phyloquinone intake is required to achieve maximal osteocalcin gamma-carboxylation. *Am J Clin Nutr* 2002; **76**: 1055–60.
- 104) Bügel S, Sørensen AD, Hels O, *et al.* Effect of phyloquinone supplementation on biochemical markers of vitamin K status and bone turnover in postmenopausal women. *Br J Nutr* 2007; **97**: 373–80.
- 105) Cockayne S, Adamson J, Lanham-New S, *et al.* Vitamin K and the prevention of fractures: systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Intern Med* 2006; **166**: 1256–61.
- 106) Kamao M, Suhara Y, Tsugawa N, *et al.* Vitamin K content of foods and dietary vitamin K intake in Japanese young women. *J Nutr Sci Vitaminol* 2007; **53**: 464–70.
- 107) Tsugawa N, Shiraki M, Suhara Y, *et al.* Vitamin K status of healthy Japanese women: age-related vitamin K requirement for gamma-carboxylation of osteocalcin. *Am J Clin Nutr* 2006; **83**: 380–6.
- 108) Kojima T, Asoh M, Yamawaki N, *et al.* Vitamin K concentrations in the maternal milk of Japanese women. *Acta Paediatr* 2004; **93**: 457–63.
- 109) Shearer MJ, Rahim S, Barkhan P, *et al.* Plasma vitamin K₁ in mothers and their newborn babies. *Lancet* 1982; **2**: 460–3.
- 110) Puckett RM, Offringa M. Prophylactic vitamin K for vitamin K deficiency bleeding in neonates. *Cochrane Database Syst Rev* 2000; CD002776.

ビタミン A の食事摂取基準 (μg RAE/日) ¹

性 別	男 性				女 性			
年齢等	推定平均 必要量 ²	推奨量 ²	目安量 ³	耐容 上限量 ³	推定平均 必要量 ²	推奨量 ²	目安量 ³	耐容 上限量 ³
0～ 5 (月)	—	—	300	600	—	—	300	600
6～11 (月)	—	—	400	600	—	—	400	600
1～2 (歳)	300	400	—	600	250	350	—	600
3～5 (歳)	350	500	—	700	300	400	—	700
6～7 (歳)	300	450	—	900	300	400	—	900
8～9 (歳)	350	500	—	1,200	350	500	—	1,200
10～11 (歳)	450	600	—	1,500	400	600	—	1,500
12～14 (歳)	550	800	—	2,100	500	700	—	2,100
15～17 (歳)	650	900	—	2,600	500	650	—	2,600
18～29 (歳)	600	850	—	2,700	450	650	—	2,700
30～49 (歳)	650	900	—	2,700	500	700	—	2,700
50～69 (歳)	600	850	—	2,700	500	700	—	2,700
70 以上 (歳)	550	800	—	2,700	450	650	—	2,700
妊婦(付加量)初期					+ 0	+ 0	—	—
中期					+ 0	+ 0	—	—
後期					+ 60	+ 80	—	—
授乳婦 (付加量)					+ 300	+ 450	—	—

¹ レチノール活性当量 (μgRAE)

= レチノール (μg) + β-カロテン (μg) × 1/12 + α-カロテン (μg) × 1/24
+ β-クリプトキサンチン (μg) × 1/24 + その他のプロビタミン A カロテノイド (μg) × 1/24

² プロビタミン A カロテノイドを含む。

³ プロビタミン A カロテノイドを含まない。

ビタミンDの食事摂取基準（ $\mu\text{g}/\text{日}$ ）

性 別	男 性		女 性	
年 齢 等	目 安 量	耐 容 上 限 量	目 安 量	耐 容 上 限 量
0～ 5（月）	5.0	25	5.0	25
6～11（月）	5.0	25	5.0	25
1～ 2（歳）	2.0	20	2.0	20
3～ 5（歳）	2.5	30	2.5	30
6～ 7（歳）	3.0	40	3.0	40
8～ 9（歳）	3.5	40	3.5	40
10～11（歳）	4.5	60	4.5	60
12～14（歳）	5.5	80	5.5	80
15～17（歳）	6.0	90	6.0	90
18～29（歳）	5.5	100	5.5	100
30～49（歳）	5.5	100	5.5	100
50～69（歳）	5.5	100	5.5	100
70 以上（歳）	5.5	100	5.5	100
妊 婦			7.0	—
授乳婦			8.0	—

ビタミン E の食事摂取基準 (mg/日) ¹

性 別	男 性		女 性	
年 齢 等	目 安 量	耐 容 上 限 量	目 安 量	耐 容 上 限 量
0～ 5 (月)	3.0	—	3.0	—
6～11 (月)	4.0	—	4.0	—
1～ 2 (歳)	3.5	150	3.5	150
3～ 5 (歳)	4.5	200	4.5	200
6～ 7 (歳)	5.0	300	5.0	300
8～ 9 (歳)	5.5	350	5.5	350
10～11 (歳)	5.5	450	5.5	450
12～14 (歳)	7.5	650	6.0	600
15～17 (歳)	7.5	750	6.0	650
18～29 (歳)	6.5	800	6.0	650
30～49 (歳)	6.5	900	6.0	700
50～69 (歳)	6.5	850	6.0	700
70 以上 (歳)	6.5	750	6.0	650
妊 婦			6.5	—
授乳婦			7.0	—

¹ α -トコフェロールについて算定した。 α -トコフェロール以外のビタミン E は含んでいない。

ビタミンKの食事摂取基準（μg/日）

性 別	男 性	女 性
年 齢 等	目 安 量	目 安 量
0～5（月）	4	4
6～11（月）	7	7
1～2（歳）	60	60
3～5（歳）	70	70
6～7（歳）	85	85
8～9（歳）	100	100
10～11（歳）	120	120
12～14（歳）	150	150
15～17（歳）	160	160
18～29（歳）	150	150
30～49（歳）	150	150
50～69（歳）	150	150
70 以上（歳）	150	150
妊 婦		150
授乳婦		150