
トピックス

爬虫類におけるβ-カロテン摂取と肝臓のビタミンA貯蔵 β-carotene assimilation and liver vitamin A storage in reptiles

日本人のビタミンAの食事摂取基準は、18～29歳の男性で推奨量850 μg RAE/日、18～29歳の女性で推奨量650 μg RAE/日とされている¹⁾。RAEはレチノール活性等量 (retinol activity equivalents) と呼ばれる単位である。植物性食品に含まれるβ-カロテンの吸収率がレチノールの吸収率の1/6程度であること、またβ-カロテンからレチノールへの変換効率が1/2と見積もられることから、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となる。したがって、日本人のビタミンAの食事摂取基準においては、食品由来β-カロテン12 μgが1 μg RAEとされている。なお、サプリメントとして摂取する油溶性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、2 μgのβ-カロテンで1 μgのレチノールに相当する。脂溶性ビタミンであるビタミンAには、欠乏症だけでなく過剰症も存在することから、耐容上限量(18～29歳の男女で2,700 μg RAE/日)も設定されている。

このようにビタミンAの食事摂取基準が厳密に定められているヒトと比べて、爬虫類におけるビタミンAの栄養状態はどうであろうか。エボシカメレオン、グリーンイグアナ、キスイガメ、ハコガメ、ワニなど多くの爬虫類において、ビタミンA欠乏症が報告されている²⁾。一般に、肉食性および雑食性の爬虫類においてビタミンA欠乏症が発症しやすく、草食性の爬虫類はビタミンA欠乏症を発症しにくい³⁾。これは、肉食性および雑食性の爬虫類ではβ-カロテン開裂酵素(β-carotene 15,15'-monooxygenase, BCMO)の発現を欠くのに対し、草食性の爬虫類ではBCMOが発現しており、β-カロテンからビタミンAを合成しているからであるとされている。

パンサーカメレオンなど一部の昆虫食性の爬虫類も、カロテノイドからビタミンAを合成できると考えられている⁴⁾。多くの昆虫のビタミンA含量は低値である⁵⁾ため、昆虫食性の爬虫類を飼育する際に、餌となる昆虫にビタミンAやβ-カロテンを摂取させてから爬虫類に与える(ガットローディング)ことが行われて

いる。しかしながら、β-カロテン補充食を与えた爬虫類の体内で、実際にビタミンAが合成されるかどうかは不明であった。Cojeanら²⁾は、昆虫食性の爬虫類であるヒョウモントカゲモドキを用い、ビタミンA補充食を与えたときとβ-カロテン補充食を与えたときの肝臓のビタミンAを定量・比較し、昆虫食性の爬虫類がβ-カロテンからビタミンAを合成できるかどうか検討した。その結果、β-カロテン補充食によってヒョウモントカゲモドキの肝臓に十分なビタミンAが蓄積することが明らかになったので、そのことを紹介する。

Cojeanらは、10匹のメスのヒョウモントカゲモドキを2群に分けて実験を行った。各群に毎日2匹のコオロギと1匹のミールワームを与えた。ビタミンA投与群に与える昆虫には、ビタミンAサプリメント(商品名 Reptivite without vitamin D)をガットローディングした。加えて、1週間に1回、タラの肝油を直接ヒョウモントカゲモドキに経口投与した。一方、β-カロテン投与群に与える昆虫には、β-カロテンサプリメント(商品名 Herptivite)をガットローディングし、加えて、1週間に1回、ニンジンジュースを直接ヒョウモントカゲモドキに経口投与した。ヒョウモントカゲモドキにおけるβ-カロテンのビタミンAとしての利用効率は、ヒトのそれと同等であると仮定して投与量を決定した。10週間の投与を行った後、肝臓を取り出しビタミンAの定量を行った。レチニルエステルは鹼化し、レチノールとして液体クロマトグラフィーで定量した。

その結果、ヒョウモントカゲモドキの肝臓のビタミンA含量は、β-カロテン投与群でビタミンA投与群に比べて有意に高値を示すことが判明した(13.43 μg/g wet tissue vs. 9.49 μg/g wet tissue, p=0.03)。この結果は、ヒョウモントカゲモドキがβ-カロテンを効率的に吸収・同化できることを示唆している。ビタミンA投与群よりβ-カロテン投与群の方が肝臓のビタミンA含量が多かった理由については、1)β-カロテンのビタミンAとしての生体利用率がヒョウモントカゲモドキにおいてヒトよりも高かった、2)ガットローディングに用

いた昆虫(コオロギとミールワーム)において、ビタミン A の嗜好性が低く β -カロテンの嗜好性が高かった、3) タラの肝油に含まれるビタミン D がビタミン A と競合し、肝臓のビタミン A 含量を低下させた⁶⁾などが考えられるとしている。

爬虫類においては、ヒトや齧歯類においてみられない、特殊なビタミン A の貯蔵が知られている。アカウミガメ、ミシシippアカミミガメ、スッポン、シヤムワニなどの卵に最も多く含まれるレチノイド(ビタミン A 誘導体)はレチナールであり、レチノールやレチニルエステルはわずかしが含まれていない⁷⁾。この爬虫類の卵に貯蔵されているレチナールはタンパク質とシッフ塩基結合しており、有機溶媒による抽出ではタンパク質から分離しないために見逃されることも多い。

以上述べたように、爬虫類における β -カロテン摂取と肝臓のビタミン A 貯蔵について、食性(肉食、雑食、草食、昆虫食)や種差による多様性があることが明らかとなってきた。この多様性は、BCMO の発現量や酵素活性の差によって生み出されていると考えられるため、そのメカニズムが遺伝子レベルやタンパク質レベルの研究により明らかになっていくと期待される。ヒトにおいて、BCMO の遺伝子多型が知られており、低 BCMO 活性を引き起こす遺伝子変異の頻度がヨーロッパ系、中国系、日系で異なることが報告されている⁸⁾。食習慣(肉食と菜食)という選択圧が BCMO の遺伝子多型とかわりを持つ可能性が指摘されており⁹⁾、興味深い。また、このことがヒトの健康へ応用されることも期待される。

(2019.3.2 受付)

Key Words: vitamin A, β -carotene, reptile, retinol, retinal, liver

Department of Laboratory Medicine, The Jikei University School of Medicine 3-25-8, Nishi-Shinbashi, Minato-ku, Tokyo, 105-8461, Japan

Yoshihiro Mezaki

東京慈恵会医科大学臨床検査医学講座

目崎 喜弘

文 献

- 1) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準(2015年版) <https://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/0000041824.html>
- 2) Cojean O, Lair S, Vergneau-Grosset C (2018) Evaluation of beta-carotene assimilation in leopard geckos (*Eublepharis macularius*). *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* **102**, 1411-1418
- 3) Mans C, Braun J (2014) Update on common nutritional disorders of captive reptiles. *Vet Clin North Am Exot Anim Pract* **17**, 369-395
- 4) Dierenfeld ES, Norkus EB, Carroll K, Ferguson GW (2002) Carotenoids, vitamin A, and vitamin E concentrations during egg development in panther chameleons (*Furcifer pardalis*). *Zoo Biol* **21**, 295-303
- 5) Barker D, Fitzpatrick MP, Dierenfeld ES (1998) Nutrient composition of selected whole invertebrates. *Zoo Biol* **17**, 123-134
- 6) Hoby S, Wenker C, Robert N, Jermann T, Hartnack S, Segner H, Aebischer CP, Liesegang A (2010) Nutritional metabolic bone disease in juvenile veiled chameleons (*Chamaeleo calytratus*) and its prevention. *J Nutr* **140**, 1923-1931
- 7) Irie T, Sugimoto T, Ueki N, Senoo H, Seki T (2010) Retinoid storage in the egg of reptiles and birds. *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol* **157**, 113-118
- 8) Leung WC, Hessel S, Meplan C, Flint J, Oberhauser V, Tourniaire F, Hesketh JE, von Lintig J, Lietz G (2009) Two common single nucleotide polymorphisms in the gene encoding beta-carotene 15,15'-monooxygenase alter beta-carotene metabolism in female volunteers. *FASEB J* **23**, 1041-1053
- 9) 木内幸子, 渭原博, 西口慶一, 横田浩充 (2018) β -カロテン代謝のニュートリゲノミクス研究. *生物試料分析* **41**, 168-173