

トピックス

エネルギー消費を促進する食品成分の探索

嶋津 孝^{*1}, 石見 百江^{*2}

^{*1}愛媛大学医学部名誉教授 ^{*2}岐阜市立女子短期大学食物栄養学科

味覚刺激と連動するエネルギー消費

食事をとると、その直後に体が熱くなる、いわゆる“食事誘導性熱産生”は生体のエネルギー消費の重要な一成分であるが、そのメカニズムには食べ物による口腔内の味覚刺激が中枢にインプットされ、交感神経系の発動をひき起こして体内のエネルギー消費を促すためであると考えられる。

例えば、イヌを用いたDiamondとLeBlancの実験¹⁾によると、美味な流動食を経口摂取させた場合、基礎代謝量[酸素消費量(VO_2)]は摂食開始15分後くらいにピークをもつ著しい上昇と、一度下降したのち食後30分頃からゆるやかに上昇する2相性の変化が認められる。ところが、同一組成の流動食を経管栄養法によって直接胃内に投与すると(口腔味覚の回避)、胃での消化活動に同期すると思われる第2相目の VO_2 の高まりは経口投与の場合と同様に認められるのに、 VO_2 の初期上昇(第1相)は消失する。他方、食道ポーチを設置して味覚刺激を障害することなく食物を食道から体外に排出させると(にせの摂食)、経口摂取直後の VO_2 の初期上昇は観察されるのに消化活動に伴う後期上昇は認められない。さらに、その際、交感神経活動の指標となる血中ノルアドレナリン(NA)レベルを測定すると、通常の経口摂食ならば

に食道ポーチを介する“にせの摂食”の場合には、摂食開始数分後にピークを持つNAの著明な上昇が検出できるのに対し、経管栄養の場合にはNAレベルの上昇は検出されなかった。

エネルギー消費に及ぼす味覚刺激の重要性に関する類似の実験結果は斉藤ら²⁾によっても得られている。彼らは、経口栄養に比べて経管栄養では体重増加が大きく、体脂肪沈着と肝の中性脂肪量が増加することを認め、その際、エネルギー浪費器官である褐色脂肪組織における交感神経活動の上昇に基づく機能亢進が起こっていることを明示した。

このような観点と実験結果に立脚し

て私どもは、いわゆる香味食品の中には味覚を刺激することによって中枢神経—交感神経系と連動して体内のエネルギー消費を促すものが存在すると考え、小動物代謝計測システムを駆使して一連の探索実験を行った。

エネルギー消費に及ぼすショウガとその有効成分

ショウガは消炎鎮痛作用や発汗作用を持つといわれ、和食に繁用される香味食材の一つである。手始めに、高糖質食ならびに高脂肪(ラード)食で飼育したラットにショウガを添加して、酸素消費量(VO_2)と呼吸商(RQ)の変化を調べた³⁾。その結果、ショウガ粉末を2%になるように加えた食餌を急性投与すると、添加前と比べた暗期12時間(摂食時)の累積 VO_2 は、高糖質食ならびに高脂肪食群で共に有意に(～10%)増加することがわかった。その際、RQはショウガの添加によって両食餌群とも有意な低下をみた。比較のために、体熱産生を高めることが知られている唐辛子を2%添加して調べたところ

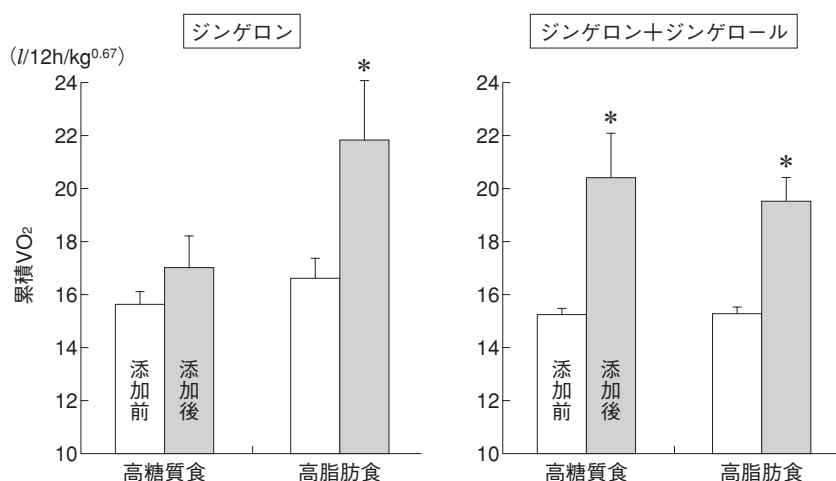


図1 暗期12時間(摂食時)の累積 VO_2 に及ぼすジンゲロン単独あるいはジンゲロンとジンゲロールの同時添加の効果
ジンゲロンおよびジンゲロールは0.4%になるように各食餌に添加し、添加前後で累積 VO_2 を測定した。* $p < 0.05$ (vs 添加前)。

ろ、ショウガの場合とほぼ同程度の VO_2 の増加とRQの低下を認めた。

ショウガの有効成分を追究すると、辛味成分であるジンゲロンの添加(0.4%)によってエネルギー消費に及ぼすショウガの効果を再現することができた。さらに、ジンゲロンとジンゲロール(ジンゲロンの還元型)の同時添加によって著明な VO_2 増大作用(約30%の増加)とRQ低下作用が確認され、両成分の相乗効果が観察された(図1)。RQが低下することは、これらの実験条件下ではタンパク質の酸化分解は変化しないと考えると、摂取した栄養素がエネルギーとして燃焼される際に、糖質よりも脂肪の酸化分解が亢進することを意味している。つまり、ショウガあるいはその辛味成分であるジンゲロンは生体まるごとの VO_2 を増加させ、かつ体内の脂肪の燃焼を盛んにすることによって、エネルギー消費を促進する作用を持つことが明らかになった。

エネルギー代謝と脂肪代謝に対するラズベリーケトン(RK)の効果

ショウガの辛味成分であるジンゲロンにエネルギー消費を促進する作用のあることが判明したので、ジンゲロンと構造類似性を持つRKにも同様な作用があるのではないかと考えた。RKは木イチゴの一種であるラズベリーの特徴的な香氣成分であり、食品や化粧品などに広く用いられている。

RKを高糖質食ならびに高脂肪食に急性添加し、ラットに摂食させた場合の累積 VO_2 は両実験食群とも、暗期摂食時のみならず明期非摂食時においても有意に上昇した(図2)。また、RKの添加量(0.4~5%)に依存して VO_2 は増大し、5%添加によって高糖質食群で22%、高脂肪食群で38%(いずれも

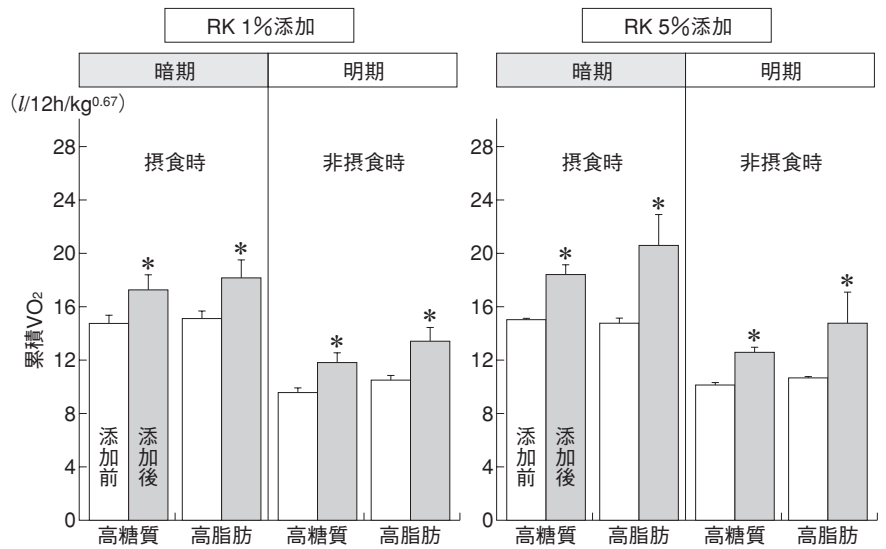


図2 暗期および明期12時間の累積 VO_2 に及ぼすラズベリーケトン(RK) 1%あるいは5%添加の効果
* $p < 0.05$ (vs 添加前).

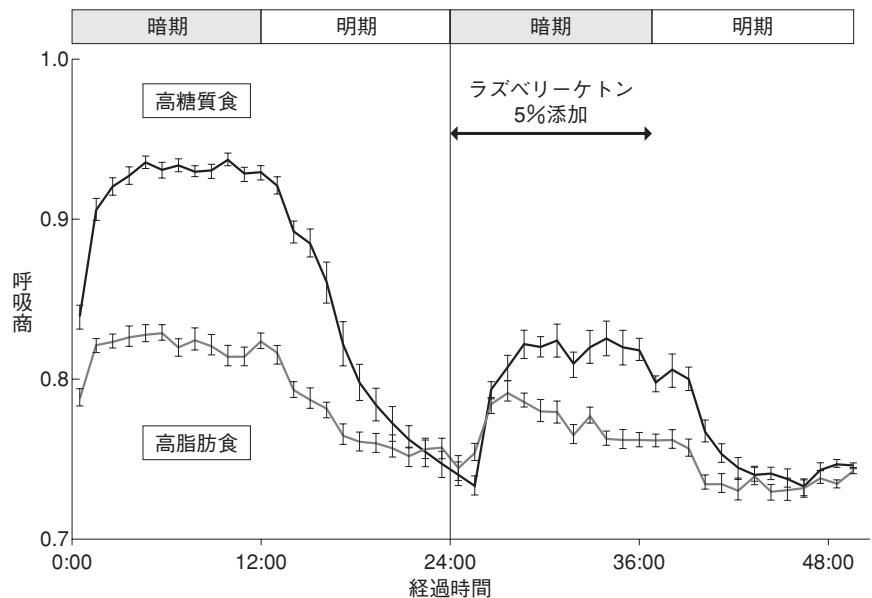


図3 ラズベリーケトン添加(5%)による呼吸商の変化
各食餌にラズベリーケトンを5%添加する前後各24時間の呼吸商の変化を平均値±SEで示した。

暗期摂食時)と著しい増加をみた⁴⁾。

RQの変化を調べると、一般に暗期摂食時のRQは高く明期非摂食時には低くなるという日内変動が観察されるのに加えて、高糖質食群のRQは高く(0.93-0.92)、高脂肪食群で低い(0.82付近)。このことは、糖質あるいは脂肪が体内で燃焼する場合の理論上の

RQ値が1.0ならびに0.7であることに対応している。さらに、RKの急性添加によって用量依存的にRQは総じて低下した(図3)。すなわち、暗期摂食時の平均RQはRK 5%の添加によって、高糖質食群で0.92から0.82へ、高脂肪食群では0.82から0.74へと著しい低下をみた⁴⁾。

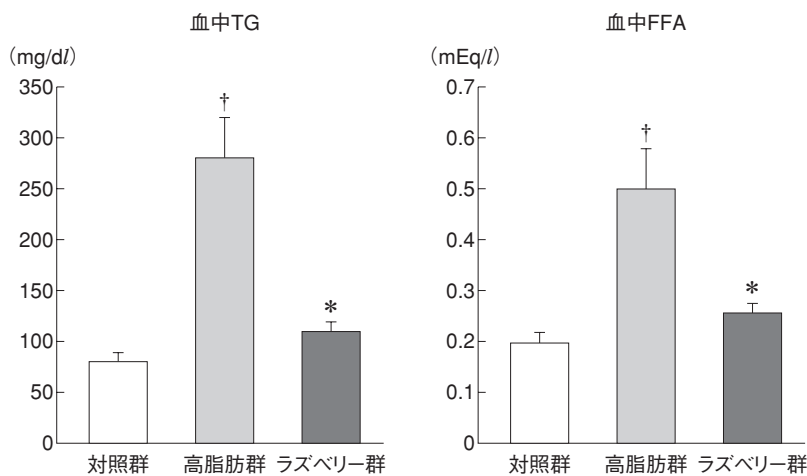


図4 血漿中のトリグリセリド(TG)ならびに遊離脂肪酸(FFA)濃度に及ぼすラズベリーケトンの影響

ラズベリー群はエネルギー比で46%のラードを含む高脂肪食に5%になるようにラズベリーケトンを添加した。

† $p < 0.05$ (vs 対照群), * $p < 0.05$ (vs 高脂肪群)。

表1 組織重量に及ぼす食餌組成ならびに1%カルニチン添加の影響

実験食群	後腹膜脂肪(g)	副睾丸脂肪(g)	肝臓(g)	大腿四頭筋(g)
高糖質食	6.5±0.5	5.8±0.5	14.6±0.8	3.1±0.2
高糖質食+カルニチン	6.0±0.9	4.7±0.5	15.3±0.7	3.2±0.1
高脂肪食	12.5±1.2 [†]	9.4±0.8 [†]	17.3±0.8	3.2±0.1
高脂肪食+カルニチン	6.2±0.8*	6.0±0.7*	14.6±0.8	3.5±0.1

[†] $p < 0.05$ (高糖質食群 vs 高脂肪食群) * $p < 0.05$ (高脂肪食群 vs 高脂肪食+カルニチン群)

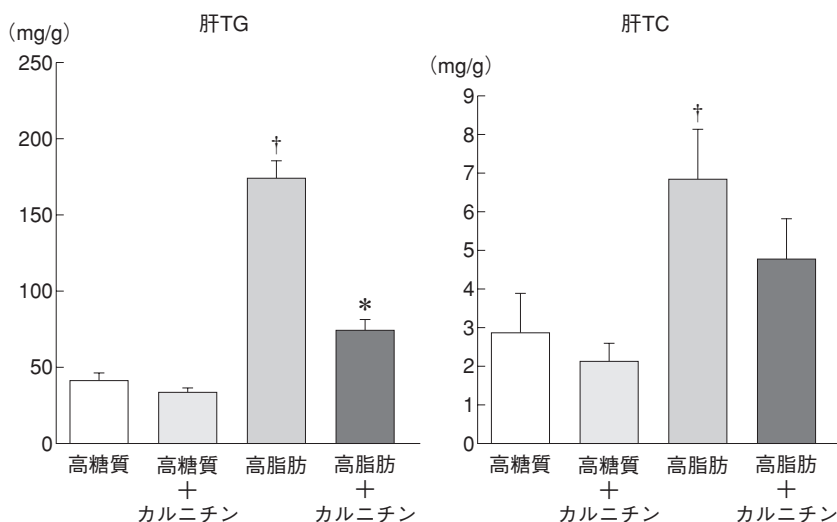


図5 肝臓のトリグリセリド(TG)ならびに総コレステロール(TC)含量に及ぼす1%カルニチンの添加効果

† $p < 0.05$ (vs 高糖質食), * $p < 0.05$ (vs 高脂肪食)。

エネルギー消費に及ぼすRKの効果は、高糖質食よりも高脂肪食の方が大きい傾向がみられる。そこで、高脂肪食で1ヵ月間飼育したラットについて、RKの慢性的投与が脂質代謝に対してどのような影響を与えるかを追究した⁵⁾。高脂肪食で飼育したラットでは対照標準食ラットに比べて、白色脂肪組織(後腹膜ならびに副睾丸脂肪)重量や肝臓中の中性脂肪および総コレステロール含量は2.5~4倍に増大し、また血漿中のトリグリセリド(TG)および遊離脂肪酸(FFA) (図4)、レプチン濃度等も同様に著しく増加するが、これらの脂肪蓄積(肥満)ならびに脂質代謝異常はRKの5%添加によってほぼ完全に抑制・改善された。

RKの体脂肪減少効果はヒトにおいても認められる。最近、鈴木ら⁶⁾は肥満傾向のある成人男性(平均BMIが25.1±4.3)に毎日200mgのRKを4週間摂取させたところ、食事量、活動量は変わらないのに安静時代謝量の有意な増加と体脂肪率ならびに体脂肪量の減少が認められたと報告している。

上述のエネルギー消費を促進するジングロンやRKの作用発現に関与すると思われる味覚受容体はまだ同定されていない。おそらく共通の受容体か、あるいはそれぞれに特異的な受容体が口腔や鼻腔内に存在し、それからの入力情報が中枢神経系を経て、交感神経系の発動を促す結果であろうと想像される。

カルニチンは基礎代謝を高める

食品成分の中には味覚刺激とは関係なく、ミトコンドリアに直接働いてエネルギー代謝を盛んにする因子も存在する。たとえば、カルニチンは骨格筋や心筋に多く含まれ、脂肪酸をミトコンドリア内に運搬する上で必須の生理活性因子である。ラットを用いてVO₂

ならびにRQに及ぼすL-カルニチンの1%添加効果を調べると⁷⁾、2週間以上の慢性投与によって暗期(摂食時)および明期(非摂食時)の累積VO₂を8~13%増大させた。しかし、ジンゲロンやRKの場合と異なり急性投与では有意な効果が認められなかった。また、RQは高糖質食ならびに高脂肪食群ともカルニチンの慢性添加によって僅かに低下した。

高脂肪食で4週間飼育したラットの後腹膜ならびに副睾丸脂肪重量および体重は高糖質食ラットに比べて有意に増加し、この増加はカルニチン1%添加群で抑制された(表1)。また、高脂肪食ラットでみられる肝臓のTGおよび総コレステロール(TC)含量の著明な増加もカルニチン添加食群で有意に抑制された(図5)。しかし、血漿中のTG濃度はカルニチン投与群で減少するものの、血漿TC濃度には変化が認

められなかった⁷⁾。つまり、これらの実験結果は、カルニチンの慢性投与が安静時のエネルギー消費を増大させる効果を持つと共に、高脂肪食の長期摂取による内臓脂肪の蓄積を抑制・改善することを示している。カルニチンの投与によって活動量は変化しないと考えられるが、骨格筋における脂肪酸の酸化・利用が活発になる有酸素運動と併用することによって、カルニチンの脂肪燃焼促進効果を高めることができるのではなからうか。

文 献

- 1) Diamond P, LeBlanc J: Role of autonomic nervous system in postprandial thermogenesis in dogs. *Am J Physiol* 1987, **252**: E719-E726.
- 2) Saito M, Minokoshi Y, Shimazu T: Metabolic and sympathetic nerve activities of brown adipose tissue in tube-fed rats. *Am J Physiol* 1989, **257**: E374-E378.
- 3) 石見百江, 寺田澄玲, 砂原 緑ほか: ショウガの成分がラットのエネルギー代謝に及ぼす効果. *日栄・食糧会誌* 2003, **56**: 159-165.
- 4) 石見百江, 嶋津 孝, 寺田澄玲: ラズベリーケトンがラットのエネルギー代謝に及ぼす作用(I) 酸素消費ならびに呼吸商への影響. *肥満研究* 2003, **9**: 296-301.
- 5) 寺田澄玲, 石見百江, 嶋津 孝: ラズベリーケトンがラットのエネルギー代謝に及ぼす作用(II) 組織ならびに血中の脂質代謝動態に対する効果. *肥満研究* 2003, **9**: 302-307.
- 6) 鈴木 公, 渡辺 真, 今泉かおりほか: ラズベリーケトン摂取によるヒトの体脂肪減少効果. *肥満研究* 2005, **11**(Suppl.): 147.
- 7) 石見百江, 下岡里英, 嶋津 孝: カルニチンがラットのエネルギー代謝に及ぼす効果. *日栄・食糧会誌* 2006, **59**(2): 87-93.

第16回 生理活性ペプチド国際シンポジウム

日 時: 2006年8月30日(水)~9月2日(土)
 場 所: 品川(ホテルパシフィック東京), 箱根(箱根プリンスホテル)
 主 催: 菅野 健太郎(自治医科大学教授)
 演題投稿締切(オンライン): 2006年5月10日(水)午前9時
 問い合わせ先: REPGPEP'06 事務局 (株)バイリンガル・グループ内
 〒102-0074 東京都千代田区九段南3-3-6
 TEL: 03-3263-1261 FAX: 03-3263-1264
 E-mail: regpep2006@bilingualgroup.co.jp
<http://www.bilingualgroup.co.jp/regpep2006/>