

## 総説特集：摂食機能と味覚・うま味の関連－5

## 味覚・うま味と自律神経活動

杉本 久美子

(東京医科歯科大学・歯学部・口腔保健学科)

食物を口に入れると、食物に含まれる栄養素をはじめとする化学成分の情報が味覚情報として中枢神経系に運ばれ、食欲そして摂食行動の調節が行われる。この味覚情報は、同時に反射性に自律神経活動を変化させ、唾液分泌や胃・腸の消化機能を調節する。味覚刺激が反射性に唾液分泌を促進する効果については今日までに検討されているが、今回各被験者の味覚感受性を考慮した形で分泌促進効果を調べ、苦味を除く4基本味すべてが高い唾液分泌促進効果を有し、うま味は効果が持続する特徴があるとの結果が得られたので紹介する。また、同時に心電図記録を行い、心拍の揺らぎから味覚刺激時の自律神経活動の動態を分析した結果、うま味刺激による副交感神経活動の亢進と、苦味刺激による交感神経活動の亢進が認められた。このことから、うま味刺激は迷走神経を介する胃腸機能の促進を生じ、苦味刺激はストレスを生じる可能性が示唆されたので報告する。

キーワード：味覚刺激、うま味、唾液分泌、自律神経、反射性調節、摂食機能

## はじめに

味覚は、食物中の成分を検出するために、その化学的シグナルを受け取って、味の感覚情報を生じ、摂取するか、忌避するかの基本的判断情報を提供するとともに、おいしい、あるいは、まずくて嫌といった情動から食欲、摂食行動の調節に関わる。それと同時に、味覚は意識には登らない形で、自律神経活動に影響を及ぼし、摂食機能、消化機能を調節するための重要な情報を発信する役割をも担っている。

本論文では、まず、味覚刺激が自律神経を介して誘発する主要な反射性応答である唾液分泌促進についての知見と我々が行っている実験を紹介し、5基本味刺激、特にうま味刺激の唾液分泌促進への効果を検討した結果から、唾液分泌低下を改善する方法としてのうま味刺激の利用について考察する。さらに、味覚刺激による唾液分泌を測定すると同時に、心電図を記録し、心拍のゆらぎから味覚刺激時の自律神経活動の動態を検討した結果についても報告す

る。一般的に、自律神経活動から、情動の状態を把握することも可能であると考えられており、緊張や不快状態では交感神経活動が亢進し、リラックスした状態では副交感神経活動が高まることが知られている。そこで、味覚刺激に伴う自律神経活動の変動から、唾液分泌以外の胃腸の消化機能への影響、ならびに情動への関与についても検討を加える。

## 1. 摂食機能と唾液

摂取した食物は、咀嚼運動によって細かくなり、さらに唾液によって溶解され、軟らかくなって、食塊として飲み込める状態に変えられる。消化器系の入り口で分泌される唾液には、多様な機能をもつ物質が含まれ、生体の摂食機能を支える重要な役割を担っている。唾液の主要成分である水分は清浄作用を発揮し、粘液成分のムチンは、歯、口腔粘膜の表面を覆って滑らかにし、組織を保護する役割をもつとともに、かつ食塊形成に関わって、嚥下を助ける。リゾチーム、ペルオキシダーゼ、ラクトフェリン、

\* Received July 14, 2010; Accepted July 21, 2010

Autonomic neural responses induced by taste –umami stimulation.

\*\* Kumiko Sugimoto, School of Oral Health Care Sciences, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University 1-5-45 Yushima, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8549, Japan; ksugimoto.fohc@tmd.ac.jp; FAX: +81-3-5803-4641

杉本 久美子

分泌型免疫グロブリン A (sIgA) といった細菌等の増殖を防ぐ成分が含まれ、さらに、上皮増殖因子や神経成長因子なども含まれるため、口腔は感染から守られるとともに、速やかに傷害が修復される性質をもつ。また、酵素アミラーゼは、デンプンをマルトースまで分解して、甘く感じられる形に変え、おいしさを付加する。

このように唾液は重要な働きを担っているため、不足すると、う蝕や歯周病が増加し、口腔粘膜が傷つきやすく、炎症が起こりやすくなるなど、様々な問題が発生してくる。一旦口腔に問題が発生すると、摂食機能が損なわれて、食事を十分に楽しむことが難しくなり、ひいては体重減少、生活の質 (QOL) の大幅な低下を招いてしまうことになる。実際急速に進行する高齢社会、そして、ストレスの多い現代社会において、唾液分泌減少に悩む人が増加しており、一般に高齢者の25%は口腔乾燥症とその関連症状で困っているといわれる。そこで、現在、高齢者が食事を楽しみ、QOLを向上出来るようにと、介護予防事業の柱の一つに、口腔機能向上プログラムが組み込まれ、全国的に展開されている。その中で、食事の前に、唾液分泌を促す方法として、唾液腺マッサージ、舌体操などが実施されている<sup>1,2)</sup>。このねらいは、まず唾液分泌を促して、摂食機能をスムーズに開始させることである。実際に食物が口に取り込まれると、食物からの味覚刺激や触圧覚などの体性感覚刺激によって、反射的に唾液分泌が促される。なかでも最も唾液分泌を促す要因は味覚といわれ、味覚刺激は反射性に、主として副交感神経系を介して多量の唾液を分泌させる。その溶解作用によって一層味覚が促進され、ますます摂食機能はスムーズに遂行されることとなる。この反射性神経回路を図1に示すが、延髄孤束核に送られた舌、軟口蓋および咽頭・喉頭にある味蕾からの情報は、介在ニューロンを経て、延髄にある上・下唾液核ニューロンに送られる。ここから出たそれぞれの節前神経が、三大唾液腺の耳下腺、顎下腺、舌下腺の近くの神経節で節後ニューロンに興奮を伝え、それぞれの唾液腺から多量の唾液が分泌される<sup>3)</sup>。

## 2. 味覚と唾液分泌

酸味は唾液分泌促進に効果的であることが知られており<sup>4,5)</sup>、唾液分泌機能が低下した高齢者の分泌

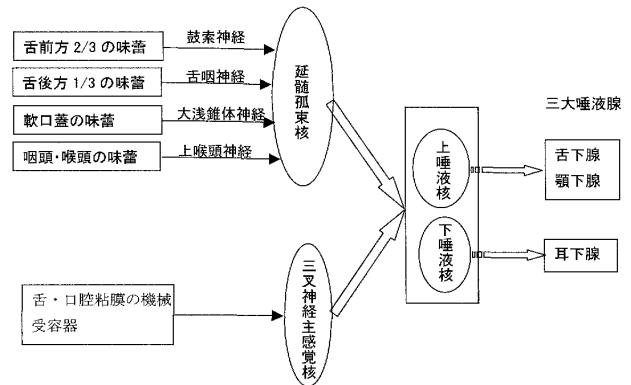


図1 食物による味覚・触圧覚刺激が唾液分泌を促す反射経路

を促すために、酸味食品がしばしば利用されるが、むせのある人には適用できない問題がある。そこで、酸味以外、とくにうま味刺激の唾液分泌促進効果を検討することが重要と考えられる。早川らは、不快刺激である苦味を除く味溶液の唾液分泌効果を全唾液量で比較し、すべての味溶液が最初の1分間は同程度の分泌効果を有するが、繰り返し刺激を行った場合には、うま味が酸味よりも持続的効果を発揮すると報告している<sup>6)</sup>。また、Hodson と Linden は、種々濃度の5基本味溶液で刺激した際の耳下腺唾液の流量を測定し、唾液分泌は刺激濃度に依存して増加すること、分泌効果は、全体として酸味 (クエン酸) > うま味 (グルタミン酸ナトリウム: MSG) > 塩味 (NaCl) > 甘味 (ショ糖) ≥ 苦味 (硫酸マグネシウム) の順であることを報告した<sup>7)</sup>。このように、うま味刺激は唾液分泌促進に効果的であることが示唆されているが、紹介した研究では、特定濃度の溶液について刺激効果を比較したかたちとなっており、個々人の味覚感受性は考慮されていない。しかし、味覚刺激が個々人において有効な情報を発信するためには、その味を認識できる濃度以上であり、かつ濃すぎない濃度であることが必要と考えられる。

そこで、本論文では、各被験者の味覚閾値を求めたうえで、閾値以上の濃度で刺激した際の唾液分泌促進効果を検討した結果について紹介する。使用した濃度段階を表1に示すが、被験者は22~32歳の女性であったため、認知閾値はクエン酸とキニーネでは2~4段階、MSGでは2~6段階、ショ糖では4~7段階に分布していた。ただし、食塩に関しては、2~5段階で大半の被験者が認知したものの、7段階

## 味覚・うま味と自律神経活動

表1 使用した5基本味溶液の濃度

味刺激	濃度段階								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
クエン酸 (mM)	0.1	0.3	0.5	1.0	3.0	5.0	10.0	30.0	50.0
食塩 (M)	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5
グルタミン酸ナトリウム (M)	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5
ショ糖 (M)	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3	0.5	1.0
塩酸キニーネ (mM)	0.0005	0.001	0.003	0.005	0.01	0.03	0.05	0.1	0.3

まで上げないと認知できない被験者がおり、個人によるばらつきが大きいという結果であった。

閾値測定時に、各味の好みに関して好き～嫌いまで5段階で評価を得、味覚閾値と味の嗜好度との関連をみたところ、酸味の嗜好度と閾値（濃度段階）との間に有意な負の相関（ $\rho$ （ロー） $= -0.89$ 、 $p < 0.01$ ）が認められ、うま味についても、嗜好度と閾値との間に有意ではないものの負の相関傾向が認められた。すなわち、酸味、うま味に関しては、好んでよく摂取する方が検出感度が高くなる可能性が示唆された。

唾液分泌促進効果の検討には、各被験者の認知閾値濃度より1および2段階上の濃度の溶液を用い、中程度の刺激となる濃度設定とした。被験者には、3 ml（ミリリットル）の刺激溶液を1分間口に含んだ後、全量を吐き出してもらい、その間の液量増加を分泌唾液量として計測した。図2にその結果を示すが、NaCl-1（閾値より1段階上の濃度のNaCl）

を除くすべての味刺激で、無刺激時および純水を口に含んだ場合と比較して、有意に分泌量が増加した。NaCl-1については、被験者数が8名と少なく、ばらつきが大きいと、有意とならなかった点を考慮すると、すべての味質が唾液分泌を促すという結果であった。クエン酸刺激は他の刺激よりも効果的とはいえ、キニーネ-1、-2による分泌促進効果は、NaCl-2、ショ糖-2、MSG-2 およびクエン酸-2 に比べて有意に弱かった。また、MSG-2 では、味刺激後純水でうがいをを行った後も、無刺激時および純水を含んだ場合と比較して、唾液分泌が増加した状態を維持しており、早川らの報告と同様に、うま味刺激では促進効果が持続する特徴がみられた。

さらに、唾液分泌量と味の嗜好との関連を検討したところ、NaCl についてのみ、唾液分泌量と嗜好との間に強い正の相関がみられ（NaCl-1： $\rho = 0.73$ ；NaCl-2： $\rho = 0.83$ 、 $p < 0.05$ ）、塩味を好む者では塩味刺激による唾液分泌量も多くなる傾向が認めら

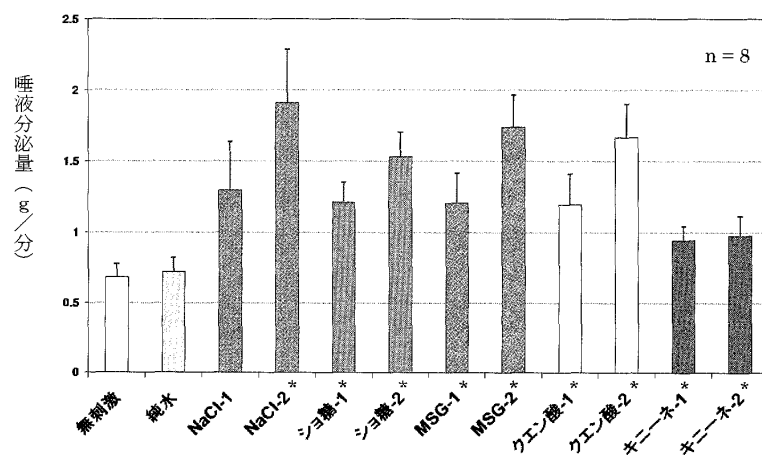


図2 味覚刺激時の唾液分泌量の平均値

それぞれの味質について、各被験者の閾値より1段階（1）および2段階（2）上の刺激濃度を用いた。刺激のうち、無刺激時および純水を口に含んだ時の唾液量に比較して、有意に分泌量が増加した刺激に\*（ウィルコクソンの符号付き順位検定、 $p < 0.05$ ）を付した。バーは標準誤差を示す。

れた。

### 3. 味覚と自律神経活動

前述のように、NaCl、シヨ糖、MSG およびクエン酸による味覚刺激は、唾液分泌促進に効果的であることが明かとなった。脳幹を反射中枢とした唾液分泌は、主として、副交感神経系の活動を介すると考えられる。しかし、延髄にある副交感神経系の唾液分泌中枢には、大脳皮質、扁桃体、視床下部などの上位中枢からも情報が送られ、その活動を調節する。おいしい、好みの食物を摂取したときには、大脳皮質味覚野からの情報により、食欲、摂食行動が促進され、唾液分泌が一層促進される。また、三大唾液腺は交感神経系の入力も受け、その興奮はアミラーゼなどの有機物質に富む粘性の高い唾液を少量分泌させる。

そこで、味覚刺激時、交感神経、副交感神経の活動状態にはどのような変動が起きるのかを検討することで、味覚刺激が情動も含め、全身的にどのような影響を及ぼすのかについて知ることが可能となる。さらに、自律神経活動変化と唾液分泌との関連を検討することにより、味覚刺激による唾液分泌促進の背景として、どのような交感神経、副交感神経の活動変化が起きているのかを検索できる。

ここでは、心拍のゆらぎから、自律神経活動を推計する方法を用いて得られた結果を報告する。具体的には、味覚刺激時の唾液分泌量を測定する際に、ポータブルの心電計（アクティブトレーサー、ジー・エム・エス社製）を被験者に装着し、実験開始から終了まで連続的に心電図を記録し、記録された心電図から RR 間隔の変動を周波数解析し、自律神経活動を解析する方法を用いた。その理論的根拠は、心拍の呼吸に伴う変動は副交感神経活動により生じ、血管の圧受容器等からの信号による心拍の変動は交感神経活動の結果であるとの考えに基づき<sup>8,9)</sup>、心電図記録の RR 間隔の 1 拍ごとの変動をパワースペクトル解析にかけることにより、背景にある交感神経および副交感神経の活動状態を推計できるというものである。周波数解析した成分のうち、0.25Hz にピークをもつ高周波数成分（HF）を副交感神経の活動を反映するもの、0.07 Hz にピークをもつ低周波数成分（LF）を交感神経および副交感神経両者の活動を反映するもの<sup>10)</sup>として抽出する。交感神

経活動のみの指標としては、LF 成分を HF 成分で割ったものが一般的に用いられている。

この方法を用いて、味覚刺激時の自律神経活動を分析した結果を図 3 に示す。副交感神経活動においては、MSG-2 で、無刺激時に比較して有意に活動が上昇し、純水と比較すると上昇傾向が認められた。NaCl-1 では、有意ではないものの上昇傾向がみられたのに対し、NaCl-2 では NaCl-1 よりも減少する結果となり、交感神経の変化も考慮すると、濃度上昇に伴って塩辛さが強くなり、不快感が増したためと推測される。クエン酸では、無刺激時および純水に比べて、有意な変化は認められなかった。一方、キニーネ -2 では、副交感神経活動が、無刺激時と比較して減少傾向となり、純水と比較すると有意に減少した。

交感神経活動については、キニーネ -1 において無刺激時と比較して有意に上昇し、キニーネ -2 でも上昇傾向が観察された。苦味を嫌いと言った被験者がほとんどであったことから、嫌悪感を反映して、交感神経活動が上昇し、かつ副交感神経活動が減少したものと考えられる。一方、NaCl-1 および MSG-2 では、純水の場合に比べて、有意ではないものの交感神経の減少傾向が認められた。

### 4. 味覚刺激時の唾液分泌と自律神経活動との関連

味覚刺激時の唾液分泌と自律神経活動との関連を検討した結果、MSG-1については、唾液分泌量と副交感神経活動との間に有意な相関関係（ $r = 0.786$ 、 $p < 0.05$ ）が認められたが、その他の刺激では、唾液分泌と副交感神経活動、交感神経活動との間に全く関連が認められなかった。そこで、全体を総合して、唾液分泌と自律神経との間の関係を検討した結果、唾液分泌量と副交感神経活動との間に、弱いながらも有意な相関関係が認められ（ $r = 0.208$ 、 $p < 0.05$ ）、交感神経活動との間には全く関連は認められなかった（ $r = -0.080$ 、 $p > 0.05$ ）。また、副交感神経活動と交感神経活動の間には有意な負の相関が認められた（ $r = -0.478$ 、 $p < 0.001$ ）。このことから、味覚刺激時、唾液分泌量は副交感神経の活動上昇にともなって、緩やかながら上昇すること、また、副交感神経の活動が高い状態の時には交感神経活動は低下する傾向にあることが示された。

味覚・うま味と自律神経活動

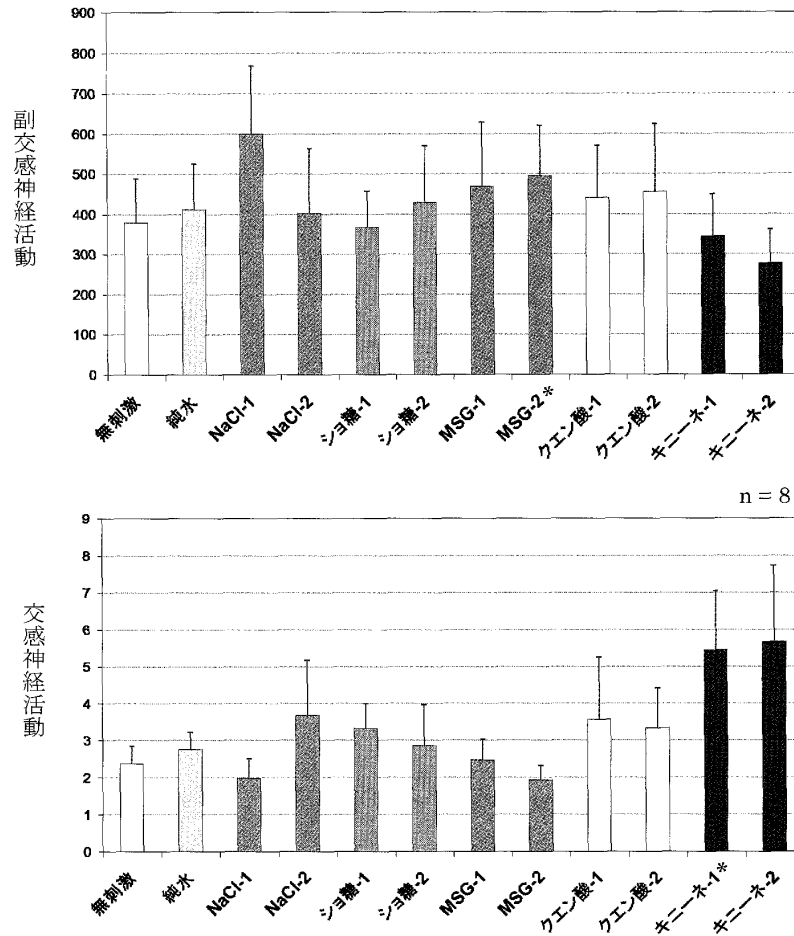


図3 味覚刺激時の自律神経活動

各味刺激時の副交感神経活動および交感神経活動の平均値を示す。バーは標準誤差を示す。有意な変化 ( $p < 0.05$ ) がみられた刺激に\*を付けた。

5. まとめと今後の課題

味覚刺激による唾液分泌促進および自律神経活動変化について今回得られた知見をまとめて図4に示す。まず唾液分泌に関し、5種類の基本味について、各被験者の感受性に合わせた中程度の味覚強度が得られる濃度を用いて効果を検討した結果、すべての味に促進効果が認められ、苦味は他の味に比べると効果が弱いということが示された。また、MSGは他の刺激に比べ効果が持続的であること、NaCl刺激による唾液分泌は塩味嗜好がある場合にはより増加する傾向があることが明らかとなった。このことから、味覚刺激による唾液分泌促進は脳幹の反射性回路だけで単純に決定されるものではなく、味の嗜好などに基づく上位脳からの情報の関与も大きいことが確認された。以上の結果から要介護高齢者など唾液分泌低下状態にある人に対して、味覚刺激を利用して唾液分泌を促進するには、刺激がマイルドでも

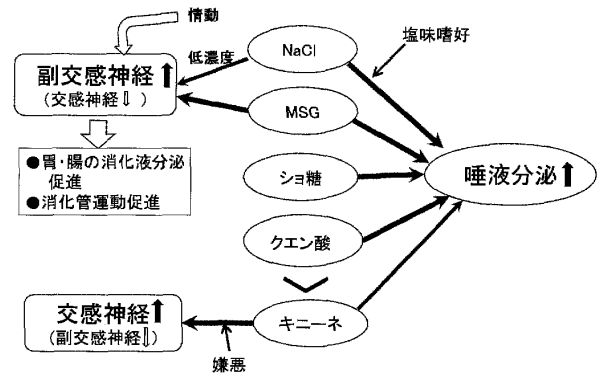


図4 味覚刺激とくにうま味刺激による唾液分泌促進および自律神経活動の変動のまとめ

せを誘発せず、持続的効果のあるうま味刺激が有用であり、うま味嗜好が加われば一層の促進効果が期待できることが示唆された。

ここで今日の高齢社会で問題となるのが、高齢者の味覚感受性である。健康な高齢者で舌における感受性を調べた結果、触圧覚、痛覚の感受性は若年者

杉本 久美子

と変わらないのに対して、味覚感受性は低下することが報告されている<sup>11)</sup>。さらに、要介護状態で、口腔衛生状態が悪く、舌苔が付着している場合には、一層の味覚感受性低下が引き起こされる。そこで、舌清掃などの口腔ケアによる改善効果が期待されることとなるが、実際に要介護高齢者において、口腔ケアにより味覚閾値の低下がみられたとの報告がある<sup>12)</sup>。また、現在我々が実施している予備実験において、健康高齢者の舌清掃により、甘味、塩味では明確な変化がみられないのに対して、うま味では閾値が低下する傾向が観察されており、今後さらにこの検討を進め、口腔ケアの有用性を明確にする予定である。

一方、味覚刺激に伴う自律神経活動の変化では、低濃度 NaCl と MSG の刺激時に、副交感神経の活動亢進と同時に交感神経の活動傾向が認められた。NaCl の濃度が高くなると、副交感神経活動の亢進消失と交感神経の活動亢進傾向がみられたことから、強めの塩辛さからの不快情動が自律神経活動に反映したものと考えられる。また、酸味は唾液分泌に効果的ではあるものの、副交感神経活動の亢進は認められず、唾液分泌促進に関わる神経メカニズムはうま味とは異なることが示唆された。

他方、キニーネは嫌いな味と答えた者がほとんどで、拒否情動が交感神経活動の亢進と副交感神経活動の低下傾向として現れたと考えられ、摂食、消化機能に抑制的作用を及ぼす可能性が示唆された。動物は毒物が呈する味として、苦味を本能的に忌避することから、自律神経活動の変化は、この生理的反応を反映した可能性がある。

口腔への味覚刺激によって、頭相の胃腸の消化液分泌促進や消化管運動の促進が起こり、消化への準備が開始されることは、よく知られている現象である<sup>13)</sup>。血中グルコース濃度を低下させるホルモンであるインスリンの分泌も、頭相による反射性調節を受け<sup>14)</sup>、うま味刺激後 3 分で増加が認められることが報告されている<sup>15)</sup>。この頭相による反射性調節は、副交感神経の迷走神経を介することが知られている<sup>16)</sup> ため、本研究において、MSG 刺激時に特徴的に、副交感神経活動の亢進が観察されたことは、MSG 刺激が唾液分泌促進だけではなく、同時に消化器系、内分泌系への促進性調節も誘起する可能性を示唆する。

今回得られた結果を総合すると、うま味刺激は唾液分泌効果を介して摂食機能を高めるだけではなく、自律神経の副交感神経活動を高め、交感神経活動を低下させる作用があることから、消化機能を高めると同時に、情動的にも落ち着いた状態を生じる可能性が示唆された。この性質は、他の味質にはみられない特徴であり、うま味刺激が摂食機能、消化機能の促進、改善に有用であることの根拠を示すものと考えられる。しかし、今回の結果は若年女性を対象としたものであるため、味覚刺激の効果を利用する対象である高齢者、とくに要介護高齢者において同様の結果が得られるかについては、今後さらなる検討が必要である。

## 文 献

- 1) 北原 稔：新予防給付における口腔機能向上の実際. 歯科衛生士 (別冊), pp.68-121 (2006)
- 2) 白田チヨ子：地域支援事業の実際. 歯科衛生士 (別冊), pp.122-140 (2006)
- 3) Proctor GB and Carpenter GH: Regulation of salivary gland function by autonomic nerves. *Autonom Neurosci: Basic & Clinical* 133, 3-18 (2007)
- 4) 河村洋二郎、山本 隆、藤原秀子、松尾龍二、高橋知敬：各種呈味増強物質による味覚-唾液分泌反射に関する研究. 大阪大学歯学雑誌 25, 179-185 (1980)
- 5) Horio T and Kawamura Y: Salivary secretion induced by umami taste. *Jpn J Oral Biol* 31, 107-111 (1989)
- 6) 早川有紀、河合美佐子、鳥居邦夫、畝山寿之：うま味刺激による唾液分泌促進効果測定. 日本味と匂誌 15, 367-370 (2008)
- 7) Hodson NA and Linden RWA: The effect of monosodium glutamate on parotid salivary flow in comparison to the response to representatives of the other four basic tastes. *Physiol Behav* 89, 711-717 (2006)
- 8) Smith ML, Carlson MD and Thames MD: Reflex control of the heart and circulation: implication for cardiovascular electrophysiology. *J Cardiovasc Electrophysiol* 2, 441-449 (1991)
- 9) Ori Z, Monir G, Weiss J, Sayhouni X and Singer DH: Heart rate variability. Frequency domain analy-

味覚・うま味と自律神経活動

- sis. *Cardiol Clin* 10, 499-537 (1992)
- 10) Kamath MV and Fallen EL: Power spectral analysis of heart rate variability: a noninvasive signature of cardiac autonomic function. *Crit Rev Biomed Eng* 21, 245-311 (1993)
- 11) Fukunaga A, Uematsu H and Sugimoto K: Influences of aging on taste perception and oral somatic sensation. *J Gerontol: Medical Sci*, 60A, 109-113 (2005)
- 12) Ohno T, Uematsu H and Sugimoto K: Improvement of taste sensitivity of the nursed elderly by oral care. *J Tokyo Med Dent Univ* 50, 101-107 (2003)
- 13) Mattes RD: Physiologic responses to sensory stimulation by food: nutritional implications. *J Am Diet Assoc* 97, 406-413 (1997)
- 14) Teff KL, Levin BE and Engelman K: Oral sensory stimulation in men: effects on insulin, C-peptide, and catecholamines. *Am J Physiol* 265, R1223-1230 (1993)
- 15) Nijijima A, Togyama T and Adachi A: Cephalic-phase insulin release induced by taste stimulus of monosodium glutamate (umami taste). *Physiol Behav* 48, 905-908 (1990)
- 16) Jiang ZY and Nijijima A: Effects of taste stimuli on the efferent activity of the gastric vagus nerve in rats. *Neurosci Lett* 69, 42-46 (1986)

<著者紹介>

杉本 久美子 (すぎもと くみこ) 氏略歴

1973年 大阪大学薬学部卒業  
1973年 東京医科歯科大学歯学部技官  
1983年 薬学博士の学位取得 (大阪大学)  
1986年~1987年 米国モネル化学感覚研究所 研究員 (Postdoctoral fellow)  
1992年 東京医科歯科大学大学院歯学研究科助手  
1997年 東京医科歯科大学大学院歯学研究科講師  
1997年 米国ルイジアナ州立大学生物科学研究員  
2004年 東京医科歯科大学 歯学部口腔保健学科教授

