

ハヤシ ナオユキ
林 直亨

共同研究者

染矢菜美
亀井真澄

略 歴

1995年 早稲田大学大学院人間科学研究科博士課程中退
1995年 大阪大学健康体育部助手
1999年 カリフォルニア大学デービス校客員研究員(1年間)
2003年 九州大学健康科学センター健康科学第一部門
助教授(2007年 准教授)

唾液を用いた食欲評価法の探索

Search for index of appetite by using saliva

To search for an index of appetite, we investigated responses of saliva flow rate, viscosity and amylase concentration to presenting potato chips to subjects. We measured these salivary variables before and after eating, and before, during and after light and moderate intensity cycling exercises in eleven healthy subjects. The saliva flow rate response to presenting potato chips was related to the increase of subjective appetite. Some of salivary responses to presenting potato chips showed significant correlation to individual response of subjective appetite. Conversely, baseline salivary variables without presenting foods showed no significant correlation to subjective appetite, suggesting that salivary variables does not relates to mid- to long-term appetite without stimulation. These results imply a possibility that acute change of appetite such as presenting foods could be estimate by using saliva flow rate, viscosity and amylase concentration.

はじめに

食欲は、摂食行動を調節する重要な欲求である。さまざまな生理・心理状態における食欲を評価することは、過食や食欲不振など、摂食行動にまつわる問題を解決するための重要な手がかりとなると予想される。しかし、食欲に関する研究は進んでいないのが現状である。例えば、一過性の運動によって食欲がどのように変化するかといったことも、明らかではない(例えばThompson et al. 1988, King et al. 1997)。この一因として、食欲の評価法が確立されていないことが挙げられる。質問紙を用いた評価や、摂食量を指標とした評価が行われているが、これらの方法には、被験者の意図や実験条件に左右されやすいといった問題点がある。したがって、より信頼性が高く、客観的かつ簡便な食欲の評価法を確立することが望まれる。

本研究では、新たな食欲の評価法として、唾液の指標に着目した。「パブロフのイヌ」の実験で示されたように、あるいは、日常生活からも経験的に理解できるように、食物に関連するさまざまな刺激(味覚、嗅覚、視覚、聴覚など)が与えられると、唾液の分泌は増加する。このようなことか

ら、唾液分泌の変化が食欲の変化と関連する可能性は高いと予想される。唾液の採取は非侵襲的であり簡便である。また、採取した唾液の評価指標にも簡便なものを利用でき、その指標と主観的な食欲との間に関連が得られれば、簡便かつ客観的な食欲の評価指標を提案することができるだろう。そこで、本研究では摂食や運動により食欲を変化させ、その際に対応する変化が唾液の指標に観察されるかどうかについて検討した。

さらに本研究では、唾液採取の際に食欲を増進させるような食物の呈示を行った。これは、従来とは異なる観点の食欲評価の可能性を探る側面もある。すなわち、日常生活では、呈示された食物の結果として食欲が決定される。あるいは買い物時などに食物を選択して食事とする。したがって、食物呈示の結果の食欲を捉えることは、食事直前の食欲を評価することにつながり、より日常の食事場面に即した食欲の評価が可能になると考えられる。

実験方法

【実験1：摂食に対する食欲と唾液分泌の変化】

被験者は健常成人11名（男性4名、女性7名； 26 ± 1 歳）であった。以下全ての実験は九州大学健康科学センターの倫理委員会の承認を得て行った。全ての被験者に、本研究の目的と実験方法を説明し、実験に参加することの同意を書面で得た上で実験に参加してもらった。

実験開始前2時間は、水以外の飲料および摂食と日常生活以外の運動を禁止した。以下の測定を昼食あるいは夕食の前後に行った。食前の測定は食事の直前に、食後の測定は摂食終了30分後に行った。食事内容はコントロールしなかった。

被験者に食物（ポテトチップスコンソメ味65g、カルビー）を呈示し、視覚刺激と嗅覚刺激とを与えた。食物は市販のものを袋に入ったまま呈示した。被験者には、袋の中を見たり、匂いを嗅いだりするように指示した。食物の呈示を行わない状態と食物呈示中に、各3分間唾液を採取した。その際、まず口腔内の唾液を飲み込ませ、その直後から唾液を口腔内に溜めさせて、1分毎にサンプルカップへ吐き出させた。唾液採取中に、主観的食欲を評価した。

採取した唾液の重量を電磁式はかりで計測し、1分当たりの流量を算出した。0.5mLの唾液を用い、コーンプレート型粘度計（LV DV-II+Pro、Brookfield、U.S.A.）により粘度を計測した。測定時のずり速度は先行研究（Rantonen et al. 1998）で用いられた範囲にある 22.5^{-1} を選択した。スピンドルの回転速度は10秒とした。これは先行研究で十分な測定時間として示されている（林ら、2008）。

主観的食欲は、「どのくらい食欲がありますか」「どのくらい空腹を感じていますか」「どのくらい満腹を感じていますか」「どのくらい食べられそうですか」という4つの質問を示した100mmのvisual analog scaleによって評価した（Doucet et al. 2000）。

データは平均値 \pm 標準誤差で示した。時間（摂食前後）と試行（食物呈示の有無）の効果を評価するために、繰返しのある二元配置の分散分析を行った。有意な主効果が得られた場合は、対応のあるt検定を用いてそれぞれ比較した。食物呈示に伴う主観的食欲の変化と唾液流量および唾液粘度の変化の間の相関係数を算出した。有意水準は危険率5%未満とした。

【実験2：運動に伴う食欲と唾液分泌の変化】

被験者は健常成人11名(男性7名、女性4名; 25±1歳)であった。実験開始前2時間は、水以外の飲料および摂食と日常生活以外の運動を禁止した。

6分間の安静時の測定後に、各被験者に以下の試行をランダムな順序で行わせた。運動後は36分間安静を保たせた。

- ①低強度運動、食物呈示なし試行(LexN試行)：低強度の自転車エルゴメータ運動(男性：体重(kg)×1W、女性：同0.8W)を24分間行わせた。
- ②低強度運動、食物呈示あり試行(LexP試行)：運動はLexN試行と同じとし、唾液採取時には実験1と同様に食物を呈示した。
- ③中等度運動、食物呈示なし試行(MexN試行)：中等度の運動(男性：体重(kg)×2W、女性：同1.6W)を12分間行わせた。運動による消費エネルギーをLexNおよびLexP試行と等しくしたため、運動時間は短いものとなった。
- ④中等度運動、食物呈示あり試行(MexP試行)：運動はMexN試行と同じとし、唾液採取時には実験1と同様に食物を呈示した。
- ⑤対照試行：24分間安静を保たせた。唾液採取時には実験1と同様に食物を呈示した。

唾液の採取は、6分間の安静時中後半3分、運動中は9～12分および21～24分、運動終了後9～12分、21～24分、33～36分に唾液を採取した。ただし、運動時間の短かったMexP試行およびMexN試行では運動中21～24分の唾液採取は行わなかった。

測定項目は実験1に加え、アミラーゼ濃度を測定した。採取した唾液に、唾液アミラーゼモニター(CM-2.1、ニプロ)の測定チップを30秒間浸した後、アミラーゼモニターにて計測した。

データは平均値±標準誤差で示した。時間(運動前後および運動中)と試行(食物呈示の有無)の効果を評価するために、繰返しのある二元配置の分散分析を行った。有意な時間の効果が得られた場合は、Dunnettの事後検定を用いて、安静時との比較を行った。対応のあるt検定を用い、LexP試行とLexN試行の差およびMexP試行とMexN試行の差を、運動前と運動終了30分後で比較した。食物呈示に伴う主観的食欲の変化と唾液流量および唾液粘度の変化の間の相関係数を算出した。有意水準は危険率5%未満とした。

結 果

【実験1：摂食に伴う食欲と唾液分泌の変化】

(1) 主観的食欲の変化

食後は、食前と比較して「どのくらい食欲がありますか」「どのくらい空腹を感じていますか」「どのくらい食べられそうですか」の指標が有意に低下し、「どのくらい満腹を感じていますか」の指標が有意に増加した。一例として「どのくらい食欲がありますか」の指標を図1に示した。

食物呈示により、「どのくらい食欲がありますか」および「どのくらい空腹を感じていますか」の2指標が有意に増加した。食物呈示に伴うこれらの増加量は摂食によって変化しなかった。

(2) 唾液の流量および粘度

食事前後の唾液量に、有意な差は見られなかった(図1)。食物呈示は食前、食後ともに唾液流

量を有意に増加させた。食物呈示に伴う唾液流量の増加量は、摂食によって変化しなかった。食事前後の唾液粘度に、有意な差は見られなかった。食前の食物呈示により、唾液粘度が有意に減少した。食後の食物呈示により唾液粘度が減少する傾向が見られた。

(3) 主観的食欲と唾液分泌との関連

食物呈示に対する主観的食欲の指標の変化量と、唾液流量の増加および唾液粘度の減少との間には有意な相関関係は見られなかった。

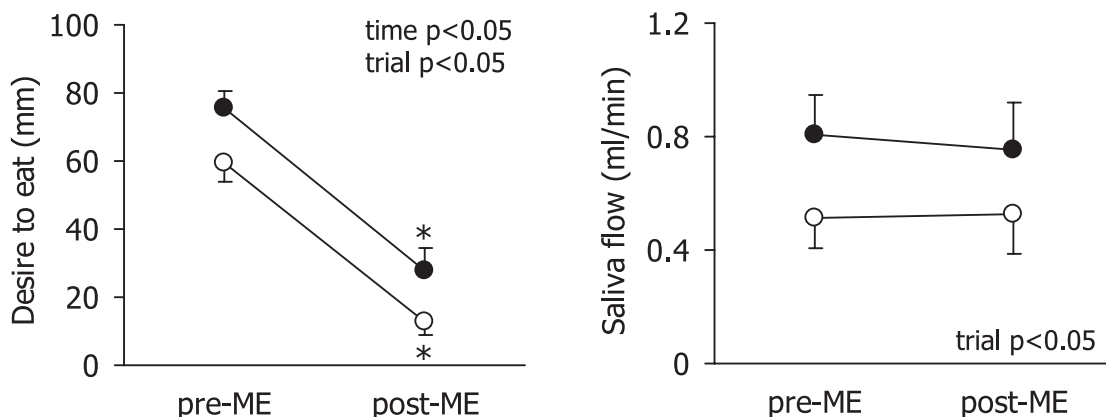


図1 食事前後(pre-ME, post-ME)における主観的食欲(左図)と唾液流量(右図)。食物を呈示した際(●)は、呈示しない際(○)よりも食欲が増加し、唾液流量も有意に増加した。摂食後には食欲は減少したものの、唾液流量が低下することなく、食物呈示に伴うそれぞれの応答はそのまま維持された。

【実験2：運動に伴う食欲と唾液分泌の変化】

(1) 主観的食欲の変化

運動はいずれの主観的食欲の指標へも有意な影響を与えなかった。一方、対照試行では「どのくらい食欲がありますか」および「どのくらい空腹を感じていますか」の2指標において、試行開始40分経過以降に安静時と比較して有意差に増加した。運動前後および運動中、「どのくらい食欲がありますか」および「どのくらい空腹を感じていますか」の2指標は、LexNと比較してLexPで、またMexNと比較してMexPで、有意に高い値を示した。

「どのくらい満腹を感じていますか」の指標のMexPとMexNとの差は、運動前と比較して、運動後に有意に増加した(図2)。すなわち、運動前はMexPとMexNとの差は負であり、食物呈示により満腹感が低下する傾向にあったが、運動後はMexPとMexNとの差が正となり、食物呈示により満腹感が増加する傾向が示された。一方、LexPとLexNにおける満腹感には、このような傾向は見られなかった。

(2) 唾液の流量、粘度およびアミラーゼ濃度

MexPおよびMexNの運動中には唾液の流量が有意に減少し、粘度およびアミラーゼ濃度が有意に増加した(図3)。運動中および運動後には、MexNとMexPの粘度とアミラーゼ濃度はほとんど差がなかった。MexNと比較して、MexPの唾液流量が有意に高い値を示した。このMexNとMexPの唾液流量の差は運動後に有意に減少した(図4)。すなわち、中等度運動後は、食物呈示に対す

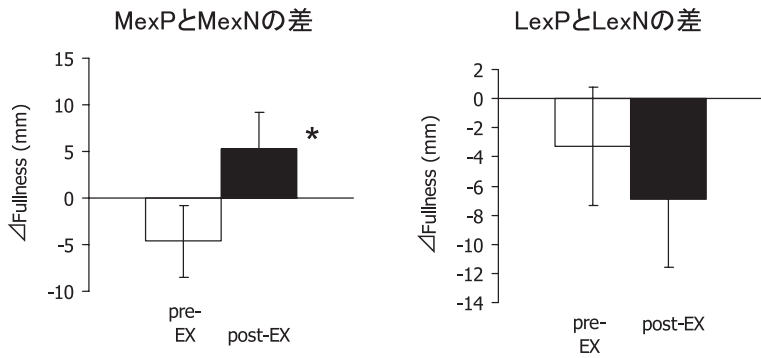
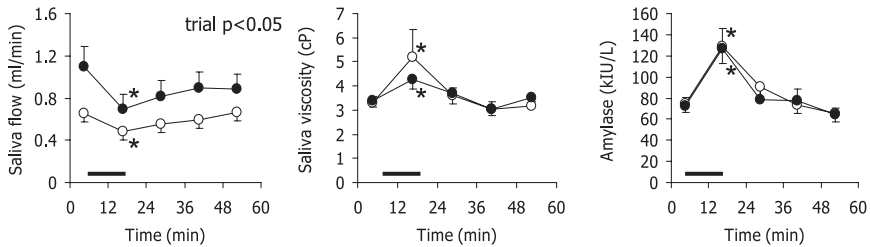


図2 運動前後における、食物提示の有無による客観的食欲(「どのくらい満腹感じますか」)の変化。中等度の運動後(左)にはMexPとMexNとの差が正となり、食物提示による満腹感の低下が抑制されることが示されている。

中等度強度の運動



低強度の運動

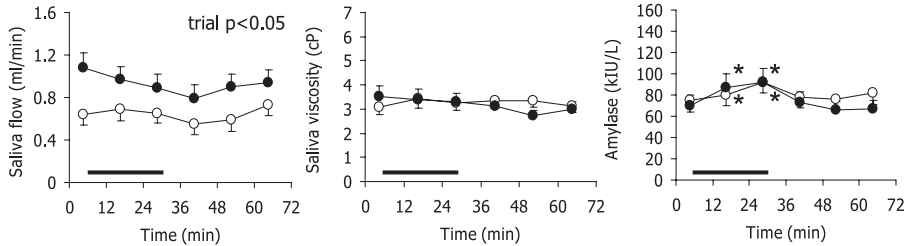


図3 運動前後および運動中における、唾液の流量(左)および粘度(中央)、アミラーゼ濃度(右)。中等度強度の運動中(上段)は、食物提示した試行(●)および提示しなかった試行(○)の流量を有意に減少し、粘度およびアミラーゼ濃度が有意に増加した。低強度運動中(下段)は、両試行のアミラーゼ濃度が有意に増加した。食物提示の有無は、唾液の流量に有意な影響を与えた(p<0.05)。

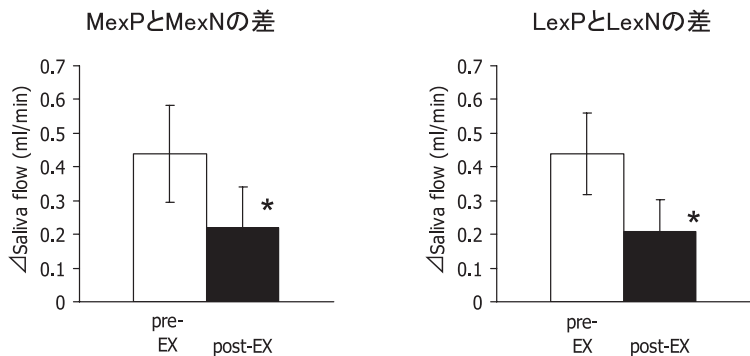


図4 運動前後における、食物提示の有無による唾液流量の変化。中等度(左)および低強度(右)の運動後には、食物提示を行った場合と行わなかった場合の差が減少し、食物提示による唾液分泌の応答が抑制されることが示された。

る唾液流量の増加が弱められることが示された。LexPおよびLexNの運動中には唾液の流量および粘度は有意な変化を示さず、アミラーゼ濃度は有意に増加した(図3)。LexNと比較して、LexPの唾液流量が有意に高い値を示し、この唾液流量の差は運動後に有意に減少した(図4)。運動中および運動後には、LexNとLexPの粘度とアミラーゼ濃度はほとんど差がなかった。一方、LexNとLexPの唾液流量の差は運動後に有意に低下した(図4)。すなわち、中等度運動後と同様に、低強度運動後は、食物呈示に対する唾液流量の増加が弱められることが示された(図4)。

(3) 主観的食欲と唾液分泌との関連

食物呈示に伴う主観的食欲(ここでは「どのくらい空腹を感じていますか」のみ)の変化と唾液の流量、粘度およびアミラーゼ濃度の変化の間には、以下の項目間にも、有意な相関関係が見られた。すなわち、①低強度運動前のアミラーゼ濃度、②低強度運動後のアミラーゼ濃度、③低強度運動後の粘度、と主観的食欲との間に有意な負の関係が見られた(図5)。

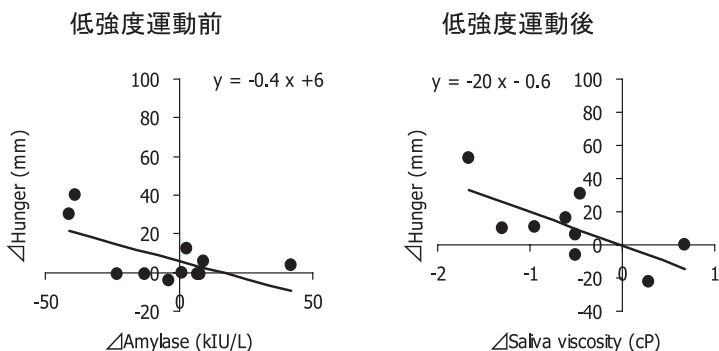


図5 低強度運動前(左)には、食物呈示に対するアミラーゼ濃度の変化(低下)と空腹感の変化(増加)との間に有意な相関関係が見られた。低強度運動後(右)には、食物呈示に対する唾液粘度の変化と空腹感の変化の間に有意な相関関係が見られた。

考 察

【実験1：摂食に伴う食欲と唾液分泌の変化】

ポテトチップスを袋ごと持たせ、それを見ながら臭いを嗅がせたところ、唾液流量は有意に増加し、同時に唾液の粘度は減少した。この食物呈示は、主観的食欲も増加させた。このことから、唾液の流量と粘度の変化は、食物が呈示された際のような非常に短期的の食欲の変化を反映する可能性が示唆された。ただし、食物呈示に対する唾液と主観的食欲の変化量同士には有意な相関関係が認められなかった。したがって、唾液分泌の変化が主観的食欲の変化を反映するものであると結論することは難しい。

食物を呈示した際のような短期間の食欲変化は通常測定されておらず、本研究で独自に行ったものである。食事を呈示すると、食事の前後に関わらず、唾液の分泌が促された。実際に食物を摂取する量は、食物が呈示されてから決まる。視覚や嗅覚への感覚刺激を受けることによって、唾液の分泌が増加したものと考えられる。ところが、食物呈示に対する食欲の増加と、唾液分泌の増加との間に被験者ごとの関連は見られなかった。

また、無刺激状態での主観的食欲と唾液変量の変化とは全く一致していないことが明らかになった。昼食後あるいは夕食後には、食前に比較して主観的食欲は低下したにも関わらず、唾液の流量と粘度とは変化しなかった。実際、食物呈示を行わなかった場合の主観的食欲と唾液の指標との間には相関関係は全く見られなかった。これらのことから、何の刺激もない状態での唾液の指標は、主観的食欲と関連がないことが示唆された。また、唾液分泌の変化は、摂食による空腹感の低下や満腹感の増加といった中期的な食欲の変化を反映しないことが示唆された。

【実験2：運動に伴う食欲と唾液分泌の変化】

運動は主観的食欲にはわずかな影響しか与えなかった。一方、LexNと比較してLexPで、またMexNと比較してMexPで主観的食欲および唾液流量が有意に高い値を示した。したがって、食物呈示に対しては主観的食欲と唾液流量とは同様に増加することが示され、これは、唾液の流量変化が、食物呈示のような短期間の食欲変化を反映する可能性を示唆するものであった。

また、食物呈示に対する満腹感の減少は、中等度強度の運動によって抑制されたと同時に(図2)同時に、食物呈示に伴う唾液流量の増加は運動後に有意に低くなった(図2)。これらのことから、食物呈示に対する主観的食欲と唾液流量の変化とに関係があることが示唆された。

食物呈示に伴う主観的食欲と、唾液の粘度およびアミラーゼ濃度の変化とには負の相関関係が見られた。食物呈示に伴って食欲が増加したものは、粘度およびアミラーゼ濃度が減少した。したがって、食物呈示に伴う短期的な食欲変化を、唾液指標によって評価できる可能性を示唆している。

主観的食欲が増加したもので粘度およびアミラーゼ濃度が減少したことは、食欲呈示に伴って唾液流量が増加し、その結果、粘度やアミラーゼ濃度が減少した結果と考えられる。唾液流量との相関が見られなかったことから、直接的な論拠とはならないが、これは合理的と考えられる。

本研究では、食物呈示に伴う主観的食欲の変化と、唾液指標の変化とが、同様の時系列変化を示したことから、あるいは両者に相関関係があることから、食物呈示に伴う短期的な食欲変化を、唾液指標が反映している可能性が示された。ただし、相関関係は決まった条件で見られるわけではなく、特定の唾液指標が食欲と関連するというほどの決定的な相関関係があるわけではなかった。また、条件によっては主観的食欲の4指標の中には関係のない指標があることもあり、食欲と関係のある指標を決定することは困難である。ただし、それぞれの対応する時系列や相関関係は、食事開始時における応答としては生理学的な合理性をもって理解することができるものであり、矛盾するような応答ではなかった。また、統計的に偶然であると判断するには多くの計測時点において主観的食欲の短期変化と唾液指標の変化とが関連していた。これらのことから、食欲の短期的変化を唾液の指標から評価できる可能性があることを示唆することは合理性を持つ。

まとめ

唾液流量は短期的な主観的食欲の変化と全体的には関連があり、また一部の指標には個人値の相関関係がみられた。このことから、食物呈示に対する短期的な食欲変化は、唾液の流量、粘度およびアミラーゼ濃度によって推測できる可能性が示された。

一方、唾液の流量、粘度およびアミラーゼ粘度は、食物呈示をしない状態での主観的食欲とは関連を示さなかった。このことから、刺激のない状態でのこれら唾液の指標は主観的食欲と関連がないことが示唆された。

謝 辞

本研究をご支援頂きました財団法人アサヒビール学術振興財団に深謝申し上げます。

参考文献

Doucet E, Imbeault P, St-Pierre S, Alm eras N, Mauri ege P, Richard D, Tremblay A. Appetite after weight loss by energy restriction and a low-fat diet-exercise follow-up. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 24:906-914, 2000.

林直亨、亀井真澄、染矢菜美、福場良之。運動に対する唾液粘度の変化。第23回生体・生理工学シンポジウム論文集 361-362、2008。

King NA, Tremblay A, Blundell JE. Effects of exercise on appetite control: implications for energy balance. *Med Sci Sports Exerc.* 29:1076-1089, 1997.

Rantonen PJ, Meurman JH. Viscosity of whole saliva. *Acta Odontol Scand.* 56:210-214, 1998.

Thompson DA, Wolfe LA, Eikelboom R. Acute effects of exercise intensity on appetite in young men. *Med Sci Sports Exerc.* 20:222-227, 1988.