

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：32623

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25350102

研究課題名(和文) 咀嚼・嚥下過程での食塊挙動と食品の物性に関する体系的研究

研究課題名(英文) Systematic study on the physical properties of food and bolus behavior in chewing and swallowing process

研究代表者

森高 初恵 (MORITAKA, Hatsue)

昭和女子大学・女性健康科学研究所・客員研究員

研究者番号：40220074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：咀嚼による食片数の増加率は3.5mm立方体寒天ゲル(3.5mmゲル)よりも15mm立方体寒天ゲル(15mmゲル)で高かった。15mmゲルの咀嚼効率は、咀嚼後期よりは咀嚼前期の段階において、大きい平均サイズの食片で高かった。3.5mmゲルでは、咀嚼における咬筋活動強度が高く、咀嚼終了から嚥下までの時間が長かった。粘性率の高いジュースでは、嚥下時の舌と硬口蓋の総接触圧は大きく、咽頭部における食塊の最大速度は遅かった。米飯摂食後の血糖値の上昇は増粘剤の添加により抑制された。

研究成果の概要(英文)：The increase rate in the number of pieces by chewing was higher for agar gel cube with side length of 15 mm (15-mm gel) than for agar gel cube with side length of 3.5 mm (3.5-mm gel). The chewing efficiency of the 15-mm gel was higher in the large average size gels in the early stage of chewing than in the later stage. In the 3.5-mm gel, the masseter activity intensity in chewing was high, and the time from the end of chewing to swallowing was long. In juice with high viscosity, the total contact pressure of linguopalatal swallowing pressure was large, and the maximum speed of the bolus in the pharynx was slow. The elevation of the blood glucose level after eating cooked rice was suppressed by the addition of a thickener.

研究分野：食品物性

キーワード：咀嚼 咬筋活動量 嚥下 舌圧 食片サイズ 寒天ゲル 消化吸収 増粘剤

1. 研究開始当初の背景

咀嚼・嚥下を良好に行うためには、食品のテクスチャーが重要な役割を果たし、テクスチャーを変化させることで咀嚼・嚥下は容易となる。これまで食塊の嚥下に関する報告には、VF や MRI を用いた研究や、官能評価を用いた研究がある。しかし、VF では被験食に造影剤を添加する必要があり、測定に際しては被爆するなど、データの集積が難しい。食塊の嚥下に関する情報は希求されているものの、嚥下は反射による不随意運動であるために、随意的にコントロールすることは不可能であり、さらに測定部位が露出していないために測定は困難を極める。一方、咀嚼過程についても、直接食品の破碎過程を観察できないため、研究報告は少ない。さらに、嚥下時の舌圧についても閉鎖空間で嚥下が進行するために研究例は少ない。咀嚼・嚥下に関する研究は、学問領域の異なる研究者が各々の立場から試みているが、研究の歴史は浅く、決定的な研究方法の確立には至っておらず、課題は多い。

2. 研究の目的

加齢による咀嚼・嚥下機能障害では誤嚥性肺炎による死亡率が極めて高い。低下した咀嚼・嚥下機能に応じた適切な食物が入手できれば、誤嚥を減らすことが可能となる。誤嚥性肺炎のリスクを低減した食品開発のためには、口腔内や咽頭部での食塊の状態変化や動きを定量的に評価することが不可欠となる。本申請研究では、咀嚼による破壊過程を理論化し、咀嚼後の食片に関する情報を理論モデルへ適合させて咀嚼過程を評価し、嚥下時の舌と硬口蓋の接触様相をセンサーシートを用いて数値化し、咽頭部での食塊の移動特性値を測定することにより、口腔から咽頭部への食塊の状態や動きを明らかにし、食品の力学的特性との関係を究明することを目的とする。併せて、食物の消化吸収に及ぼす誤嚥防止用増粘剤の影響についても評価する。

3. 研究の方法

(1) 摂食前サイズの異なる寒天ゲルの咀嚼特性および感覚特性

食片サイズ

一辺が3.5mmの2.0%寒天立方体ゲル(以後、3.5mmゲル)と一辺が15mmの2.0%寒天立方体ゲル(以後、15mmゲル)を以下の項目の試料とした。被験者は21~23歳の女子学生10~15名とし、一回の摂食量は4gとした。なお、本報告書に記載している全研究は、ヘルシンキ宣言の精神に則り、昭和女子大学の倫理委員会の承認を得た後、被験者に実験内容を説明し、同意書を得て実施した。

咀嚼効率

咀嚼によるゲルの破壊効率を検討するために、1~10回咀嚼の食塊中の全食片のサイズを測定した。食片サイズは咀嚼後に、食片を

画像としてパソコンに取り込み、画像の面積を食片サイズとした。

テクスチャー特性

クリープメーター(山電製)を用いて、直径20mmのアクリル樹脂製の円柱状プランジャーにより、15mmの試料の高さの66.7%まで、10mm/secで2回定速圧縮して測定した。解析には、クリープメーター用自動解析装置テクスチャー解析Ver.2.0(山電製)を用いた。

食塊の刺激に対するヒトの感覚強度

咀嚼による破壊の程度、咀嚼の容易さ、食塊のまとまりやすさ、咀嚼の満足度の4項目について、5点尺度法により評価した。

咬筋活動強度

咀嚼中の咬筋と顎二腹筋の筋活動量を筋電位計(日本光電製)で測定し、最大筋活動強度、区間面積や咀嚼終了時から嚥下までの時間などを求めた。

(2) 分子量の異なる寒天ゲルの咀嚼過程のモデル化

3種類の分子量の異なるアガロースによる、3mmと15mmの立方体2.0%アガロースゲルを試料とした。小林ら¹⁾が報告した下式の対数正規分布を咀嚼過程のモデルとして用いた。

$$N(s) = (N_T/2) [1 - \text{erf}\{\log(s/s_0) / (\sqrt{2})\}]$$

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-y^2) dy$$

ここで、 $N(s)$ は累積サイズ分布関数、 N_T は食片総数、 $\text{erf}(x)$ は誤差関数、 s_0 は関連したパラメータを示す。

(3) 嚥下時の舌と硬口蓋の接触様相

野菜ジュースに粒径250 μm のにんじんピューレを0~30%添加した野菜ジュースを試料とした。嚥下時の舌と硬口蓋の接触様相はセンサーシート(ニッタ製)を被験者の硬口蓋に直接貼付し、小野らの方法²⁾により測定した。感圧点の位置は、切歯乳頭から2~3mm後方の硬口蓋正中部に1個、硬口蓋正中部に沿うように奥へ2個、硬口蓋後方周辺部に2個とした。座位にて、Frankfort planeが床と平行となるように保持して、17mlの試料を嚥下し、接触開始時間や総積分値などを求めた。

(4) 咽頭部における食塊の移動特性

野菜ジュースに粒径100 μm のにんじんピューレを0~30%添加した野菜ジュースを試料とした。超音波画像診断装置およびスキャンプローブ(東芝メディカル製)を用い、プローブの先端を咽頭部正面中央部にあて、ドップラ周波数を6.0MHz、パルスの周波数を10.4kHzにて測定した。

(5) 消化吸収性

米飯の消化吸収に及ぼすゾルおよびゲルの影響を検討するために、キサンタンガムゾル、しらたき、カラギーナンゲルを混合した米飯摂食後の血糖値を測定した。糖質量は50gとし、米飯と水とゾルあるいはゲルの総量を250gとした。試験前12時間は水のみを摂

取とし、試験前4時間は全ての飲食を禁止した。試験食の摂食時間は10分間とし、1口の咀嚼回数を30回とした。試験食摂食前0分および摂食後15~120分で血糖値を測定した。グリセミックインデックスはFAO/WHOの方法により、血糖値曲線の下部面積から算出した。体外消化過程におけるグルコースの放出量は熊井・中西ら³⁾の方法で測定した。

4. 研究成果

(1) 摂食前サイズの異なる寒天ゲルの咀嚼および感覚特性

食片サイズ

同一咀嚼回数における食片数は15mmゲルよりも3.5mmゲルで多かったが、咀嚼回数の増加に伴う食片数の増加率は15mmゲルで大きかった。15mmゲルでは少ない咀嚼回数でも小さいサイズ領域にも分布が認められる幅の広いサイズ分布であった。一方、3.5mmゲルのサイズ分布は少ない咀嚼回数では正規分布に近い単分散サイズ分布となり、咀嚼による破壊は進行していなかった。しかし、咀嚼回数が増加すると、3.5mmゲルは15mmゲルの食片サイズ分布と類似した分布を示した。

咀嚼効率

食片のサイズを各咀嚼回数で大きい順から10グループに分け、各グループの平均サイズを求めた。15mmゲルでは4~5回咀嚼を境に、サイズの指数減少が変化するクロスオーバー構造が認められた。15mmゲルでは、少ない咀嚼回数での傾きの絶対値は多い咀嚼回数での傾きの絶対値よりも大きく、咀嚼初期の段階で効果的にゲルは破壊されることが示唆された。初期および後期の両咀嚼段階の15mmゲルにおいて、咀嚼回数の増加に伴う食片サイズの指数減少は、小さい平均サイズのグループよりも大きい平均サイズのグループで大きかった。このことから、15mmゲルの大きい平均サイズのグループは小さい平均サイズのグループよりも、咀嚼により効果的に破壊されることが示唆された。一方、3.5mmゲルでは、クロスオーバー構造は大きい平均サイズグループでは認められず、小さい平均サイズグループのみで認められた。大きい平均サイズのグループでクロスオーバー構造が認められなかったのはサイズの分散が小さかったためであり、小さい平均サイズグループではサイズの分散が大きくなったためにクロスオーバー構造が現れたと考えられる。

テクスチャー特性

食塊の力学的特性を理解するために、テクスチャー特性値について検討した。10回までの咀嚼で、15mmゲルの食塊の硬さは顕著に低下したが、3.5mmゲルでは緩慢に減少した。付着性は両ゲル共に咀嚼回数の増加に伴い上昇し、7回咀嚼以降で同程度となった。15mmゲルでは1~5回咀嚼の付着性が低く得られた。これは、1~5回咀嚼の食塊には大きなサイズの食片が残存するために、食塊の界面張

力が低かったことによるためと考えられる。凝集性における有意差は両サイズゲル共に認められなかった。

食塊の刺激に対するヒトの感覚強度

ヒトが食塊の刺激により知覚する感覚強度を測定した。咀嚼により破壊されている感覚は、3.5mmゲルでは15mmゲルよりも低いと評価された。咀嚼の容易さは、7回咀嚼までは15mmゲルで3.5mmゲルよりも容易であると評価された。まとめやすさは、全ての咀嚼回数において15mmゲルで3.5mmゲルよりも容易であると評価された。このことから、まとめやすさは食片の最大サイズによるのではなく、食片サイズの分布など他の要因の影響を受けると推測される。

咀嚼における咬筋活動特性

5~20回咀嚼の咬筋のピーク値および20回咀嚼の咬筋総活動量は3.5mmゲルで15mmゲルよりも大きかった。また、10回および20回咀嚼の咀嚼終了から嚥下までの時間は、3.5mmゲルで15mmゲルよりも長かった。3.5mmゲルでは、高い咬筋活動量によって咀嚼しても、ゲルが破壊されにくかったことから、嚥下時の安全性を確保するためには、咀嚼回数を多くする必要があると考えられる。

(2) 咀嚼過程

3種類の分子量の異なる3mmおよび15mmアガロースゲルについて、同一咀嚼回数において、分子量の大きいゲルで大きい食片サイズの累積数が多かった。15mmアガロースゲルの食片サイズの累積数を対数正規分布へ適用すると、少ない咀嚼回数ではどの分子量のゲルにおいても対数正規分布への適合性は低かった。しかし、咀嚼回数が増加すると対数正規分布への適合性は高まり、分子量に関わらず2層性の咀嚼過程であることが示された。3mmゲルの食片サイズの累積数分布は対数正規分布への適合性がどの分子量のゲルにおいても低く、反対に指数関数分布への適合性が高く、1層性の咀嚼過程であることが示唆された。

(3) 舌と硬口蓋の摂食様相

全種類の250μmにんじんピューレ添加野菜ジュースで、舌との接触持続時間は硬口蓋後部よりも硬口蓋前部で長かった。低濃度のにんじんピューレを添加した野菜ジュースよりも高濃度のにんじんピューレ添加野菜ジュースで、舌と硬口蓋の接触持続時間は長かった。舌と硬口蓋の最大接触圧は高濃度のにんじんピューレ添加野菜ジュースで大きかった。

(4) 咽頭部における食塊の移動特性

100μmにんじんピューレ添加野菜ジュースにおいて、にんじんピューレ添加濃度が増加すると咽頭部を通過するジュース食塊の最大速度は遅く、低濃度にんじんピューレ添加野菜ジュースでは速く得られた。

(5) 消化吸収性

キサンタンガムゾルを混合した米飯摂食後の血糖値は、摂食後 15~60 分で米飯単独よりも低下したが、混合したキサンタンガム濃度間で有意差は認められなかった。キサンタンガムゾルの混合によりグリセミックインデックスおよびグルコース放出量は米飯単独よりも低下し、加えてグルコース放出量については、キサンタンガムゾルの濃度が増加すると更に低下した。併せて実施した -カラギーナンゲルあるいはしらたきについては、キサンタンガムゾルほどの米飯摂食後の血糖値上昇に対する抑制効果は認められなかった。

<引用文献>

Kobayashi N, Kohyama K, Shiozawa K, Fragmentation of a viscoelastic food by human mastication, *J. Phys. Soc. Jpn.*, Vol.79, 2010, 044801 044804
Ono T, Hori K, Nokubi T, Pattern of tongue pressure on hard palate during swallowing, *Dysphagia*. Vol.19, 2004, 259-264
糖類研究部会・簡易評価法研究会、食品の血糖応答性簡易評価法 (GR 法) の開発に関する基礎調査報告書、ILSI Japan Report Series, 2005, 4-8

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 8 件)

Nishinari K, Takemasa M, Brenner T, Su L, Fang Y, Hirashima M, Yoshimura M, Nitta Y, Moritaka H, Tomczynska-Mleko M, Mleko S, Michiwaki Y, The food colloid principle in the design of elderly food, *Journal of Texture Studies*, Peer reviewed, Vol.47, 2016, 284-312
DOI:10.1111/jtxs.12201
森高初恵、摂食前サイズの異なる寒天ゲルの咀嚼と嚥下特性、*New Food Industry*、査読無、12 巻、2015、45-51
<http://www.newfoodindustry.com/>
不破眞佐子、中西由季子、森高初恵、カラギーナンが米飯の食後血糖値に及ぼす影響、*日本食品科学工学会誌*、査読有、61 巻、2014、497-507
<http://doi.org/10.3136/nskkk.61.497>
北出昌美、佐川敦子、不破眞佐子、森高初恵、寒天ゲルのサイズが咬筋・顎二腹筋の活動に及ぼす影響、*日本食品科学工学会誌*、査読有、61 巻、2014、293-301
<http://doi.org/10.3136/nskkk.61.293>
石原三妃、中村美紀、古越理恵、田原絵里子、五十嵐麻美、磯部美咲、宮本由香、森高初恵、とろみ溶液調整における粘性の評価、*日本官能評価学会誌*、査読有、18 巻、2014、23-31

<http://doi.org/10.9763/jjsse.18.23>
北出昌美、小林奈央樹、森高初恵、寒天ゲルの咀嚼回数と食片サイズの関係、*日本食品科学工学会誌*、査読有、60 巻、2013、554-562
<http://doi.org/10.3136/nskkk.60.554>
不破眞佐子、中西由季子、小野仁志、森高初恵、グルコマンナンおよびしらたきが米飯摂取後の血糖値上昇に及ぼす影響、*日本家政学会誌*、査読有、64 巻、2013、567-576
<http://doi.org/10.11428/jhej.64.567>
佐川敦子、中西由季子、小野仁志、森高初恵、増粘剤添加が米飯の消化性および米飯食塊の力学特性に及ぼす影響、*日本食品科学工学会誌*、査読有、60 巻、2013、387-396
<http://doi.org/10.3136/nskkk.60.387>

[学会発表](計 20 件)

森高初恵、不破眞佐子、サイズの異なるゲルの食塊の物性と咀嚼挙動 (第 64 回レオロジー討論会) 2016 (10/29)、大阪大学 (大阪府吹田市)
森高初恵、ゲル物性による咀嚼挙動の変化 (第 27 回食品ハイドロコロイドシンポジウム) 2016 (05/13)、海洋大学 (東京都港区)
森高初恵、杉本悠貴、不破眞佐子、堀一浩、小野高祐、破碎寒天ゾルの嚥下特性 (日本調理科学会平成 28 年度大会) 2016 (08/28)、名古屋学芸大 (愛知県日進市)
不破眞佐子、中西由季子、森高初恵、ゾル状を呈する食物繊維が米飯摂取後の血糖値に及ぼす影響 (日本調理科学会平成 28 年度大会) 2016 (08/28)、名古屋学芸大 (愛知県日進市)
不破眞佐子、中西由季子、森高初恵、グアーガムが米飯摂取後の血糖値に及ぼす影響 (日本調理科学会平成 27 年度大会) 2015 (08/24)、静岡県立大学 (静岡県静岡市)
佐川敦子、中西由季子、森高初恵、増粘剤混合ゲル食塊の咽頭部移動特性と官能評価に及ぼす増粘剤混合比の影響 (日本調理科学会平成 27 年度大会) 2015 (08/24)、静岡県立大学 (静岡県静岡市)
森高初恵、不破眞佐子、佐川敦子、堀一浩、小野高裕、高齢者の野菜ジュースの嚥下特性に及ぼすにんじんピューレ添加の影響 (日本調理科学会平成 27 年度大会) 2015 (08/24)、静岡県立大学 (静岡県静岡市)
森高初恵、不破眞佐子、佐川敦子、堀一浩、小野高裕、寒天ゾルの舌圧及び咽頭部における移動特性、(日本食品科学工学会第 62 回大会) 2015 (08/29)、京都大学 (京都府京都市)
不破眞佐子、中西由季子、森高初恵、状

態の異なる -カラギーナン添加が米飯
摂取後の血糖値上昇の抑制に及ぼす影響
(日本調理科学会平成 26 年度大会)
2014 (08/30)、広島県立大学(広島県庄
原市)
他 12 件

〔図書〕(計 2 件)

Kaneda I, Moritaka H, et al.,
Springer London, Rheology of
Biological Soft Matter - Fundamentals
and Applications - , 2016, 97-118
西成勝好、森高初恵、他、シーエムシー
出版、食品ハイドロコロイドの開発と応
用 Food Hydrocolloidsni
:Development and Applications、
2015、179-184

6 . 研究組織

(1)研究代表者

森高 初恵 (MORITAKA Hatsue)
昭和女子大学・女性健康科学研究所・客員
研究員
研究者番号：40220074

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

志賀 清吾 (SHIGA Seigo)