

平成 22 年 4 月 30 日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2009

課題番号：19500666

研究課題名（和文）

易摂食性食品における咀嚼・嚥下特性と力学特性の関係

研究課題名（英文）

Relationship between mastication or swallowing properties and rheological property of foods for dysphagia

研究代表者

森高 初恵（MORITAKA HATSUE）

昭和女子大学・生活機構研究科・教授

研究者番号：40220074

研究成果の概要（和文）：寒天ゲル、ゼラチンゲルおよび寒天ゲル分散ペーストの摂取量と咀嚼回数が、食塊の咽頭部通過時における移動速度と食塊の力学特性に及ぼす影響を検討した。その結果、寒天ゲルでは主に破碎された食片の大きさと量が、ゼラチンゲルでは咀嚼後の融解の程度が影響すると推察された。4種類の寒天ゲル分散ペーストにおいては、キサンタンガムが最も分散媒の添加割合および咀嚼回数の影響を受け難くかった。これらの結果から、食塊の最大速度は食塊がやわらかく、まとまるに従い低下することが判明した。

研究成果の概要（英文）：An ultrasonic pulse Doppler method, rheological measurements, and sensory evaluation were used to determine the effects of the amounts of gel and mastication on the velocity of agar gel, gelatin gel and agar gel dispersed in paste passing through the pharynx as well as the physical characteristics following mastication. Possible reasons for the increase in the maximum velocity of bolus passing through the pharynx include the fact that agar gel leaves behind a large bolus after mastication, and that gelatin gel changes in form from a gel to a sol. In agar gels dispersed in xanthan gum paste, guar gum paste, starch paste and water, the maximum velocity of xanthan gum paste was not influenced by the mixing ratio and mastication. From above results, the maximum flow rate of bolus passing through the pharynx is discovered to decrease, as the bolus became soft and turns into a lump.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
2009年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：生活科学・食生活学

キーワード：食品，嚥下，咀嚼，ペースト，固体分散，寒天ゲル，ゼラチンゲル

## 1. 研究開始当初の背景

高齢化社会へと移行する中で、咀嚼・嚥下機能の低下した人へ安全な食事を提供することは社会的に大きな課題である。咀嚼・嚥下の行為は味を感じ、咀嚼の楽しさや喉越しの良さを認識するだけでなく、唾液や唾液ホルモンの分泌、脳への血流量の増加など健康上からも大切であり、生きてゆこうとする積極的な気力を呼び覚ましてくれる。咀嚼・嚥下困難者が安全に食べるためには、食べる際の食べ方の工夫の他に、食物の物理的性質を変えて提供する方法がとられている。一方、咽頭部での食塊の移動に関する研究は、学問領域の異なる様々な研究者が試みているが、決定的な測定方法の確立にはいたっていない。そのため、咀嚼・嚥下機能の低下した人に対する食物の物性と咀嚼・嚥下の関係については、その解明が求められている。

## 2. 研究の目的

本申請研究は、ヒトの咽頭部における食塊の移動特性を、超音波画像診断装置を用いてパルスドップラー法により測定して数値的解析を行い、食品の力学特性との関係を明らかにし、咀嚼・嚥下困難者に安全に安心して食べることでできる食物の基礎データを得ることを目的とする。

## 3. 研究の方法

ゲル単独の試料としては、1.0%寒天と3.0%ゼラチンを用いた。ペーストに分散する寒天ゲルは1.5%とし、分散媒にはキサントガム、グアーガム、馬鈴薯澱粉ペーストを用い、比較として水を用いた。ペーストは重量割合で0, 25, 50, 75, 100%添加した。試料の摂取量は3, 6, 9, 12g、咀嚼回数は5, 10, 30, 50回、咀嚼速度は1秒間に1回とした。

テクスチャー特性の測定にはクリーブメーター(R E-3305S山電社製)を用い、直径40mm×高さ15mmの容器に試料を入れた。円柱状プランジャーで試料の厚さの66.7%まで、速度10mm/secで2回定速圧縮して測定した。官能評価は昭和女子大学の学生9名により、寒天ゲルでは口腔内に含んだ試料の量、咀嚼の程度、普段の咀嚼回数との比較、付着しやすさ、まとまりやすさ、ばらつきやすさ、飲み込みやすさの7項目とし、ゼラチンゲルでは咀嚼後の試料の状態を評価項目に加え8項目とし、5点尺度法にて行った。寒天ゲル分散ペーストについても同様に官能評価を実施した。食塊の流速

は、超音波画像診断装置(東芝メディカル社製、NEMIO SSA-550A型)を用い、嚥下造影検査による食塊の流速測定には、レントゲン撮影機器のTOSHIBA KS0-80N(東芝メディカル社製)を用い、医師立会いの下、ビデオ撮影を行った。統計処理はSPSS16.0Jを用い、有意差の検定は5%の有意水準にて判定した。本研究はヘルシンキ宣言に基づき、昭和女子大学の倫理委員会の承認を得て行った。

## 4. 研究成果

(1) 寒天ゲルとゼラチンゲルの咽頭部での移動速度とテクスチャー特性

### ① テクスチャー

摂取量が同一の場合、寒天ゲルの硬さは、咀嚼回数が増えるにつれて低下した。同一咀嚼回数では摂取量が増えると硬さは増加し、摂取量が増えるほど咀嚼回数の影響は大きくなった。付着性は摂取量が同一の場合、咀嚼回数が増えると増加する傾向にあり、5回咀嚼では摂取量の増加による付着性の低下が有意に認められた。ゼラチンゲルの5回と10回咀嚼においては、摂取量が増加すると硬さは増したが、30回と50回咀嚼では咀嚼回数の少ない5回と10回咀嚼と比較して、硬さは摂取量の影響を受けにくかった。ゼラチンゲルの付着性は、寒天ゲルとは反対の傾向を示し、咀嚼回数が少なくなるほど付着性は大きくなった。

### ② 官能評価

寒天ゲルでは、咀嚼の程度は、50回咀嚼では有意差が認められなかったが、30回より咀嚼回数の少ない場合には、摂取量が増加すると評価が有意に下がった。まとまりやすさについては、同一摂取量において、30回、50回咀嚼の試料では5回、10回咀嚼と比較して、まとまりやすいと評価された。飲み込みやすさでは、寒天ゲルの摂取量が少なくなると、より飲み込みやすいと評価された。3gの5回咀嚼と12gの50回咀嚼では有意差が認められなかったことから、摂取量と咀嚼回数の組み合わせで物性や飲み込みやすさが変わると考えられる。

ゼラチンゲルでは、咀嚼の程度について、50回咀嚼においては3gは9g、12gと、6gは12gと有意差が見られ、寒天ゲルの結果と異なった。飲み込みやすさは、6g、9g、12gにおいては、咀嚼回数が多く、摂取量が少なくなるほど飲み込みやすいと評価されたが、3g

のみは、全咀嚼回数において有意差が認められなかった。飲み込みやすさは、摂取量 12g の 5 回咀嚼と 10 回咀嚼、摂取量 9g の 5 回咀嚼間では有意差が認められなかったことから、これらの条件では咀嚼後においても非常に飲み込みにくい食塊であったといえる。

### ③ 咽頭部通過時の最大速度

Fig. 1 a) の寒天ゲルの最大速度では、咀嚼

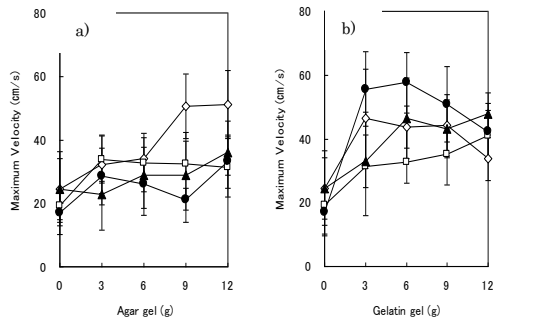


Fig.1 Maximum velocity of bolus in pharynx in pharynx

a) Agar gel, b) Gelatin gel  
Amount of mastication ◇:5, □:10, ▲:30, ●:50

回数の少ない 5 回咀嚼において、摂取量の多い 9g および 12g と、3g、6g との間に有意差が認められた。これは、9g と 12g では口腔内の試料が咀嚼しきれておらず、硬さは寒天ゲルの食塊中で最も大きく、まとまりが悪く、飲み込みにくいことから、勢いよく飲み込むことで最大速度が大きくなったのではないかと考えられる。

Fig. 1 b) のゼラチンゲルの最大速度では、3g、6g の 50 回咀嚼で高い値を示した。この試料では、摂取量が少なく咀嚼回数が多いため、硬さが小さくなっており、ゲルがゾル化したことが原因と考えられる。なお、超音波画像診断装置と造影検査による流速測定の結果を比較すると、流速の値は近似していた。

### ④ 造影検査

嚥下造影検査によるレントゲンの測定では、食塊の先端部分が、軟口蓋挙上時から口峡まで到達したもの、口峡から食道入口部まで到達したもの、食道入口部から第 6 頸椎まで到達したもの、すべての部位を合わせたものとして比較した。最も流速が高かったのは、食塊の最先端部分が食道入口部から第 6 頸椎までを通過するものであった。これは、食道内は蠕動運動による動きも加わり、食塊の流路もまっすぐであるためと考えられる。反対に、最も流速が低い値を示したものは、軟口蓋挙上時から口峡までであった。

次に、食塊の先端部分と後端部分の流速の比較を行った。Fig. 2 より、造影剤と水を混

合した水溶液試料、造影剤入り寒天ゲルおよびゼラチンゲルでは、摂取量 6g、咀嚼回数 5 回、10 回、30 回咀嚼において、先端部分の流速が顕著に高い値を示した。後端部分は流速の差が明確には認められなかった。このことから、試料や咀嚼回数によって、後端部分の流速は食塊の先端部分の流速よりも影響を受けにくいと考えられ、食塊の先端部分の速度を制御することで誤嚥を防げるこの可能性が示唆された。

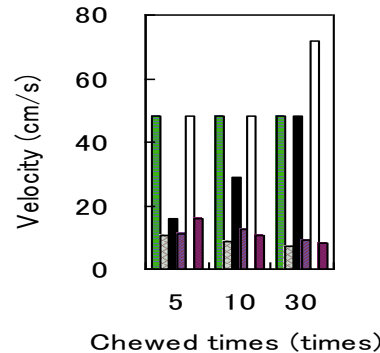


Fig.2 Velocity at top and bottom of bolus of contrast medium, agar gel and gelatin gel

6 g contrast medium □:top ▨:bottom 6 g agar gel ■:top ▩:bottom 6 g gelatin gel □:top ▨:bottom

### ⑤ 主成分分析

寒天ゲルとゼラチンゲルの機器測定より求めた硬さ、付着性、官能評価の咀嚼の程度、まとまりやすさ、飲み込みやすさ、超音波測定から求めた最大速度、通過時間を変数とし、摂取量と咀嚼回数を対象に主成分分析した結果、第 1 主成分は硬さであり、第 2 主成分では最大速度と得られ、第 2 主成分までで累積寄与率は 78% であり、第 3 主成分の寄与率は 11% であった。

寒天ゲルとゼラチンゲルでは明確に分布が異なり、寒天ゲルは、摂取量が多く咀嚼回数が少ないゲルでは硬く、最大速度が高く、反対に咀嚼回数の多いゲルではやわらかく最大速度は遅くなった。この結果から、寒天ゲルでは、最大速度は咀嚼回数によって制御でき、よく咀嚼することで最大速度を遅くすることが可能であると考えられる。一方、ゼラチンゲルでは、咀嚼回数の多いやわらかいゲルでは、最大速度が速く、咀嚼回数の少ない硬いゲルでは、他のゼラチンゲルと比較し最大速度が特に速くなることはなかった。ゼラチンゲルでは、食塊の硬さと最大速度との関係は寒天ゲルよりも弱く、どのゼラチン食塊でも最大速度は速い領域に属し、咀嚼回数のみによって最大速度を制御することは困

難であると考えられた。

## (2) 寒天ゲルを分散したペーストの力学特性と飲み込み特性

### ① テクスチャー特性

咀嚼前：硬さはすべての種類で、ペーストの添加割合が増加するのに伴い減少したが、低下の割合が最も大きいのはキサンタンガムであった。これは強いシュドプラスチック粘性によるためと考えられる。凝集性で最もペースト添加による影響が大きかったのは、キサンタンガムであった。付着性においては、グアーガム、澱粉およびキサンタンガムは添加割合が25%で増加したが、その後は添加割合が高くなるに従って減少した。

5回咀嚼：グアーガム、澱粉の5回咀嚼では、硬さおよび付着性は咀嚼前と比較して減少し、凝集性はやや高い値を示した。しかし、キサンタンガムのすべてのテクスチャー特性値は咀嚼前とほぼ同じ値を示し、有意差は認められなかった。分散媒が水の場合、100%寒天ゲルよりも水の50、75%添加割合で硬さが高い値を示した。これは、水の添加割合が高くなると寒天ゲルが口腔内でバラバラになりやすく、噛み残した寒天ゲルが多くなるのが原因と考えられる。咀嚼前のグアーガムとデンプンの付着性は高い値を示したが、咀嚼後では澱粉の付着性は水とほぼ同程度となった。

30回咀嚼：30回咀嚼ではいずれの増粘剤を添加した場合も、100%寒天ゲルよりも硬さおよび付着性は同程度か低い値を示し、反対に凝集性は高い値を示した。ペーストの種類による30回咀嚼の付着性の大小の順番は5回咀嚼と変わりがなかった。しかし、咀嚼前と比較すると澱粉では5回咀嚼、30回咀嚼共に付着性が大きく低下し、咀嚼の影響を強く受けていた。

### ② 官能評価

5回咀嚼：硬さはペーストの添加割合が高くなるに従い、各添加割合間で有意に軟らかくなると評価された。付着しやすさは、キサンタンガムとグアーガムにおいてはペーストの添加割合が高くなるに従い有意に付着しやすいと評価された。また、ペーストの添加割合が高くなるに従い、まとまりやすさは評価が高くなる傾向にあり、ばらつきやすさは評価が低くなる傾向にあった。飲み込みやすさでは、澱粉と水ではペーストの添加割合が高くなるにつれて、評価も高くなる傾向を示したが、キサンタンガムとグアーガムはペーストの添加割合による影響を受けず、ほぼ一定の評価となった。

飲み込む力でも、キサンタンガムとグアーガムはペーストの添加割合に影響を受けず、ほぼ一定の評価となった。澱粉と水ではペーストの添加割合が高くなるにつれて、評価が低くなる傾向を示した。

30回咀嚼：硬さでは、5回咀嚼と30回咀嚼との間に有意差は認められなかった。付着しやすさの評価では、5回咀嚼と比較すると澱粉のみが有意に低い値を示した。澱粉では、口腔内での滞留時間の長さや咀嚼回数の増加により、5回咀嚼よりもアミラーゼによる澱粉の分解が進んだためと考えられる。まとまりやすさ、ばらつきやすさの評価では、キサンタンガムやグアーガム添加試料ではまとまりやすく、ばらつきにくいと評価された。

### ③ 咽頭部通過時の最大速度

5回咀嚼：5回咀嚼の食塊の咽頭部の最大速度は、分散媒が水の場合、他の試料に比べ有意に高く、また標準偏差も最も大きかった (Fig. 3a)。キサンタンガム、グアーガムはペーストの添加割合が異なる試料間での有意差は認められなかった。澱粉の場合は最大速度が添加割合50%で最も低くなり、添加割合0、25、100%間で各々有意差が認められた。これは、ペーストの添加割合が50%以下の0、25%では咀嚼された寒天ゲルが速度に反映され、ペーストの添加割合100%では澱粉の分解が影響したと推察される。

30回咀嚼：30回咀嚼の食塊の咽頭部の最大速度は、5回咀嚼と比較すると、分散媒が水の場合、有意に遅くなり、さらに標準偏差も小さくなった。機器測定において、30回咀嚼では硬さは低下したが、凝集性が増加していたことから、咀嚼回数の増加により、寒天ゲルが破壊され、唾液と試料が混ざり合い、食塊の量も多くなり、一塊となってゆっくり移動すると推察される。

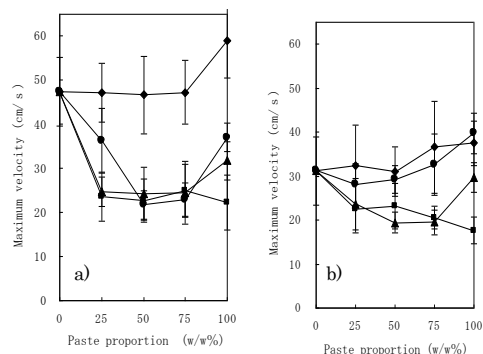


Fig.3 Maximum velocity of agar gel dispersed in paste  
a) chewed 5 times, b) chewed 30 times  
◆Water, ▲Xanthan gum, ■Guar gum, ●Potato starch

キサンタンガムでは30回咀嚼でもペースト

の添加割合間における有意差は認められず、さらに5回咀嚼と30回咀嚼においても有意差は認められないことから、飲み込みに固形物の割合や咀嚼回数の影響が反映されていなかったことが示唆された。澱粉は添加割合が50%以上になると有意に高い値を示した。これは、口腔内での滞留時間の長さや咀嚼回数の増加により、5回咀嚼よりもアミラーゼによる澱粉の分解が進み、澱粉の添加割合が多くなるに伴い、液状の割合も多くなり、高い値になったと考えられる。

#### ④ 相関係数

咽頭部の最大移動速度とテクスチャー特性、官能評価の相関係数を求めた。

5回咀嚼：分散媒が水の場合、咽頭部での食塊の最大移動速度との間に相関が認められたのは、機器測定 hardness (r=-0.921)、官能評価の hardness (r=-0.923)、官能評価の飲み込み易さ (r=0.893)、および官能評価の飲み込む力 (r=-0.912) であった。このことから機器測定での hardness が大きいほど官能評価でも硬く飲みにくいと感じ、飲み込む力は大きくなり、最大移動速度が低下することが示された。官能評価の飲み込みやすさでは分散媒が水や澱粉の場合、ペーストの添加割合の増加に伴い、有意に飲み込み易いと評価され、また、飲み込む力は有意に低くなったが、キシリタンガムとグアーガムでは添加割合による飲み込みやすさ、飲み込む力への影響は認められなかった。キシリタンガムではテクスチャー特性の測定結果より分散媒のペーストの性質が寒天ゲルよりも強く反映されているため、咽頭部での食塊の最大移動速度との間に相関が認められなかったと考えられる。

30回咀嚼：グアーガムの最大移動速度と相関が認められたのは、機器測定 hardness (r=0.988)、官能評価 hardness (r=0.952)、機器測定付着性 (r=0.998)、官能評価付着しやすさ (r=-0.957) であった。グアーガムでは硬さと付着性は食塊の移動速度を考える際、重要な因子であると考えられる。澱粉は5回咀嚼時ではいずれの項目でも相関は認められなかったが、30回咀嚼時では5回咀嚼時の水とほぼ類似した相関関係が認められ、液状の挙動を示した部分が最大移動速度に反映していた。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① 佐川敦子, 森下真理子, 森高初恵, 寒天ゲルとゼラチンゲルの咽頭部通過時における移動速度に及ぼす摂取量および咀嚼回数の影響, 日本食品科学工学会誌, 査読有, 55巻, 2008, 276-286
- ② 井上悠季, 笹井美友紀, 志賀清悟, 森高初恵, 寒天ゲルとゼラチンゲルの咽頭部通過時における移動速度に及ぼす摂取量および咀嚼回数の影響, 日本食品科学工学会誌, 査読有, 56巻, 2009, 261-270
- ③ Hatsue Moritaka, Fumiko Nakazawa, The rheological and swallowing properties of rice starch, Food Science and Technology Research, 査読有, Vol.15, 2009, 133-140

[学会発表] (計9件)

- ① 佐川敦子, 森下真理子, 森高初恵, 固体分散ゾルの飲み込み特性と力学特性, 第30回日本バイオレオロジー学会, 2007年6月14日, 北海道大学
- ② 森高初恵, 岡崎可奈, 石黒真理, 鈴木絵里子, 咽頭部におけるゼラチンゲルの流速に及ぼす咀嚼回数の影響, 日本調理科学会平成19年度大会, 2007年8月31日, お茶の水女子大学
- ③ 森高初恵, 佐川敦子, ゲル状食品の物性と飲み込み特性, 第55回レオロジー討論会, 2007年11月1日, 金沢大学
- ④ 井上悠季, 笹井美友紀, 志賀清悟, 森高初恵, 咽頭部の寒天ゲル・ゼラチンゲルの流速に及ぼす摂取量と咀嚼回数の影響, 日本家政学会第60回大会, 2008年, 5月31日, 日本女子大学
- ⑤ 佐川敦子, 井上悠季, 森高初恵, 固体分散ペーストの力学特性と飲み込み特性, 第56回レオロジー討論会, 2008年10月5日, 宇部全日空ホテル
- ⑥ 森高初恵, 咽頭における食塊の移動特性とテクスチャー, 第20回ハイドロコロイドシンポジウム, 2009年5月19日, 日本教育会館
- ⑦ 森高初恵, 咽頭での食塊の移動特性, 第32回日本バイオレオロジー学会年会, 2009年6月5日, 桐生市市民文化会館
- ⑧ 井上悠季, 平野有香, 森高初恵, 筋電位計測による寒天ゲルとゼラチンゲルの咀嚼・嚥下特性, 日本調理科学会平成21年度大会, 2009年8月29日, 同志社女子大学
- ⑨ 佐川敦子, 小暮英梨子, 中島綾, 村上伊都, 小林央樹, 森高初恵, 咀嚼機能に及ぼす増粘剤の影響, 日本調理科学会平成21年度大会, 2009年8月29日, 同志社女子大学

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

森高 初恵 (MORITAKA HATSUE)  
昭和女子大学・生活機構研究科・教授  
研究者番号：40220074

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

志賀 清悟 (SHIGA SEIGO)  
昭和女子大学・生活機構研究科・教授  
研究者番号：50196367