

力学的特性の異なるヨーグルトゲルの食べやすさと嚥下時筋活動

Ease of eating and suprahyoid muscular activity while swallowing of yogurt-gel samples with different physical properties

高橋智子*[§] 大越ひろ**

Tomoko Takahashi Hiro Ogoshi

Yogurt-gel samples, prepared by mixing yogurt with gelatin or agar-derived gelling agents with various molecular weights, were tested to determine how the different physical properties of the samples affected their ease of eating by healthy subjects and the suprahyoid muscular activity while swallowing. The samples with a bolus evaluated as "easily mobile while being conveyed from the oral cavity to the pharynx" were found to require significantly shorter suprahyoid muscular activity time, as well as significantly smaller momentum of suprahyoid muscular activity than the other samples. Each sample bolus was substantially deformed while being conveyed from the oral cavity to the pharynx. The results suggest that the physical properties obtained from substantial deformation of the yogurt-gel samples had an effect on the momentum of suprahyoid muscular activity taking place while swallowing the samples.

キーワード：ヨーグルトゲル yogurt-gel；寒天 agar；ゼラチン gelatin；力学的特性 physical properties；官能評価 sensory evaluation；筋電図 electromyography

緒言

ヨーグルトのアミノ酸価は100と良質のたんぱく質を有する食品であり、また、骨代謝に関与し、血液凝固、筋肉の収縮、神経伝達を助けるカルシウムが吸収されやすい形で存在している。そのため、摂食機能に障害の無い健康な人はもとより、摂食・嚥下機能に障害のある小児や高齢者からも、頻度高く摂取されている食品の一つである。市販されているヨーグルトの形態として、プレーンヨーグルトのように流動性を有するもの、ゲル化剤を用いたゲル状のヨーグルトなどがある。既報において、プレーンヨーグルトを力学的特性の基準とし、粘稠液状食品の飲み込みやすさについて検討した¹⁻⁴⁾。

そこで、本研究では食べやすいゲル状ヨーグルトの力学的特性の特徴を、官能評価、嚥下時舌骨上筋群の筋電位測定から、把握することを目的とした。高橋等が12種類の市販ゲル状ヨーグルトの硬さを測定したところ、その硬さは $1.48\sim 6.11\times 10^3\text{ N/m}^2$ に分布し、そのうち、10種類が $5\times 10^3\text{ N/m}^2$ 以下であった⁵⁾。また、ゲル状の市販ヨーグルト13種類のゲル化剤を原材料名表示より確認したところ、寒天が7種類、ゼラチンが3種類、寒天とゼラチンの混合が3種類であった。そこで、本研究では、プレーンヨーグルトに寒天2種類（分子量の異なるもの）、ゼラチン

を添加したヨーグルトゲルの硬さを、 $1\times 10^3\text{ N/m}^2$ （器から出すと自重で壊れる程度の硬さ）、 $5\times 10^3\text{ N/m}^2$ （卵豆腐程度の硬さ）の2段階に調製したものを試料とした。プレーンヨーグルトに添加するゲル化剤の違いにより、ヨーグルトゲルの力学的特性がどのように異なり、その力学的特性の違いが官能評価、嚥下時筋活動に影響するかを検討した。若干の知見が得られたので、ここに報告する。

実験方法

1. 試料調製方法

材料となるプレーンヨーグルトは、ビヒダスプレーンヨーグルト BB 536（森永乳業(株)）を用いた。表1に、ヨーグルトゲル試料の調製のために用いたゲル化剤3種類について、平均分子量、凝固点、融点、および特徴を示した。ゲル化剤Aは、分子量を変化させていない一般的な寒天である。ゲル化剤Bは、寒天（ゲル化剤A）を原料とし、分子量を減少させることでその物性を变化させた寒天由来のゲル化剤（ゲル化剤Aとともに伊那食品工業(株)）である。型より切り出せるようなゲル状に調製しても、攪拌したり、押しつぶすことで簡単に粘稠なペースト状となるものである。ゲル化剤Cはゼラチンパウダー（宮崎化学工業(株)）であり、前処理としてアルカリ処理を施したものである。

材料としたプレーンヨーグルトの硬さ（測定方法は後述）は、 $(0.53\pm 0.16)\times 10^3\text{ N/m}^2$ であった。このプレーンヨーグルトに、表1に示したゲル化剤3種類を各々添加し、 $1\times 10^3\text{ N/m}^2$ 、および $5\times 10^3\text{ N/m}^2$ の硬さになるよう、ヨーグルトゲル試料の硬さを調製した。

各ゲル化剤を定量の蒸留水に分散させ攪拌した後、60分間室温で膨潤させた。環流冷却管付きナスフラスコ中で

* 山梨県立大学
(Yamanashi Prefectural University)

** 日本女子大学
(Japan Womens University)

[§] 連絡先 山梨県立大学人間福祉学部 〒400-0035
甲府市飯田5丁目11-1
TEL 055(224)5261 FAX 055(228)6819

力学的特性の異なるヨーグルトゲルの食べやすさと嚥下時筋活動

Table 1. Gelling agents used for preparing samples

Gelling agent	Mean molecular weight	Coagulating point	Melting point	Special features etc.
A	300,000	36°C	88°C	Agar whose molecular weight has not been changed
B	80,000	35°C	78°C	Agar obtained by decreasing the molecular weight of gelling agent A. Deformation brought about by mixing creates fluidity
C	100,000	8°C	23°C	Gelation obtained by the alkali method

ゲル化剤 A, B は 95°C 30 分間, ゲル化剤 C は 60°C 30 分間加温した。加温停止後, 室温で溶液温度 50°C まで冷却しゲル化剤溶液を調製し, 50°C に加温したプレーンヨーグルトを加え, 混合した (プレーンヨーグルト:ゲル化剤 = 重量比 9:1)。テクスチャー測定, およびみかけのひずみと応力の測定用試料は, 直径 55 mm, 試料厚 15 mm になるようプラスチック製試料ケースに分注した。動的粘弾性測定用試料は試料厚 2 mm, 官能評価および舌骨上筋群筋の電位測定用試料は試料厚 10 mm になるよう, アルミ製流し箱に分注し, 20°C 恒温器で 20 時間静置したものを試料とした。動的粘弾性測定試料は, 測定時に治具の直径に合わせて成形した。また, 官能評価試料, および舌骨上筋群の筋電位測定用試料は一口量約 5 ml とし, 20(W)×25(D)×10(mm) に成形した。

2. 力学的特性測定方法

1) テクスチャー特性

テクスチャー特性の測定は厚生労働省が定めた高齢者用食品群別許可基準⁶⁾に従った。測定は, レオナー (高分解能型レオナー Model RE 33005: 山電(株)) により直径 20 mm のアクリル製プランジャーを用い, 定速運動方式により圧縮速度 10 mm/sec, クリアランス 5 mm (圧縮量 10 mm:圧縮率 67.7%) で行った。測定温度は 20±2°C, 測定試料数は 20 である。得られたテクスチャー記録曲線より, プランジャー面積を考慮し, 硬さ, 付着エネルギーおよび凝集性を算出した。

2) みかけのひずみと応力の関係

みかけのひずみと応力の関係は, レオナーにより直径 20 mm の円柱プランジャーを用い, 圧縮速度 10 mm/sec, ひずみ 90%迄の測定を行った。本来, 破断測定の場合, ゲル試料を切り出し成形し, プランジャーにより試料を全圧縮して測定するべきであるが, ことに $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さのヨーグルトゲル試料は容器より出すと自重で壊れ, 切り出し成形不能のため, 本研究では測定用容器に試料を充填したままの測定となった。すなわち直径 20 mm 円柱プランジャーの試料への接触面積を圧縮面積とし, みかけのひずみと応力の関係で結果を示した。

3) 動的粘弾性

動的粘弾性は ARES 100 FRT-N 1 (Rheometric Far East Ltd.) により, 直径 25 mm の平行板治具を用い, ギャップ (試料厚) 2.0 mm, 測定温度 20°C で測定を行った。ひずみ依存性の測定は, 周波数 10 rad/sec, ひずみ量 0.1

~400% まで変化させて行った。周波数依存性の測定は, いずれの試料も線形領域であるひずみ量 0.5% で, 周波数 0.1~100 rad/s で行った⁷⁾。

3. 官能評価

$1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ および $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ のそれぞれの硬さにおいて, ゲル化剤の異なる 3 種類のヨーグルトゲル試料より, 組み合わせを考慮しながら 2 種類づつ選びだし, 一対比較による評価を行った。試料の組み合わせは本実験の場合, 6 通りとなり, 繰り返し 15 回の評価を行ったのでパネル総数は 90 名である。本研究は, 22~32 才の顎・口腔系に異常が認められない女性分析型パネル 90 名により, 分析型官能評価を行った。高齢者用食品群別許可基準⁶⁾における, そしゃく・えん下困難者用食品のゲルは硬さ $1 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ 以下とされており, その硬さの目安は舌でつぶせる程度であると示されている。また, 本研究では, ヨーグルトゲルの力学的特性と嚥下時の舌骨上筋群の筋活動との関係を検討することを目的としている。本研究では, ヨーグルトゲル試料を一口で口腔内に入れてもらい, 歯を用いた咀嚼を行わず, 舌と口蓋で押さえた後, 嚥下してもらうように指示した⁷⁾。評価項目および順序は, 舌と口蓋で押さえた時に感じるかたさ (-3: 非常にかたくない ← 0: 同じ → +3: 非常にかたい), 口中で感じるべたつき感 (-3: 非常にべたつかない ← 0: 同じ → +3: 非常にべたつく), 食塊の口中でのまとまりやすさ (-3: 非常まとまりやすい ← 0: 同じ → +3: 非常にまとまりにくい), 口腔から咽頭へのヨーグルトゲル食塊の移動しやすさ (-3: 非常に移動しやすい ← 0: 同じ → +3: 非常に移動しにくい) である。ヨーグルトゲル試料の提示温度は 20±2°C とした。

4. 舌骨上筋群の筋電位測定

官能評価パネルのうち 21 名を被験者とした。筋電位の測定はパワーラプシステム 4/25 T (ADInstruments.com) を用いた。左右の舌骨上筋群上の筋繊維走行方向の皮膚上に, 10 mm 直径の双局表面銀電極を電極間距離 20 mm で粘付し, 双極性筋電位を得た⁸⁾。なお, 接地電極は全員, 額に貼り付けた。被験者のフランクフルト平面ができるだけ床と平行になるように椅子に腰掛けさせ, 嚥下してもらった。官能評価と同様, ヨーグルトゲル試料 5 ml (20(W)×25(D)×10 mm) を, 一口で口腔内に入れてもらい, 舌と口蓋で押さえた後, 一回で嚥下してもらうこととした。

得られた生体信号は, ADInstruments 社製のパワーラプシステムチャートソフト・チャート 5 により解析した。

嚥下時に得られる模式的な波形より (Fig. 5), 舌骨上筋群の筋電位の開始点から終了点までの時間を筋活動時間, 筋電位の最大振幅, 筋活動時間と振幅の積分値として筋活動量を求めた。測定結果は一元配置分散分析を行い, Fisherの最小有意差法により群間の検定を行った。

5. 倫理性の配慮

この研究を行うにあたって, 官能評価のパネル, 咀嚼方法および嚥下終了までの咀嚼回数の検討に対する被験者には, 本研究の趣旨および意義の説明を十分に口頭と文書にて行い, 事前に同意を得た上で研究を行った。なお, 本研究は日本女子大学, ヒトを対象とした実験研究に関する倫理審査委員会の許可を得たものである。

結 果

1. 力学的特性

1) テクスチャー特性

$1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ および $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さのヨーグルト

ゲル試料を得るための各ゲル化剤の添加濃度を表2に示した。いずれの硬さにおいても, ゼラチン由来ゲル化剤Cの添加濃度が最も高く, また, 低分子量化した寒天由来のゲル化剤Bの添加率は, 同じく寒天由来のゲル化剤Aよりも高いことが示された。

$1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ および $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ のいずれの硬さにおいても, 分子量を変化させていない寒天由来ゲル化剤A試料の付着エネルギーは, 他の2試料よりも有意に小さいことが認められた。一方, $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さにおいて, 変形させることで流動性が生じるゲル化剤B試料の付着エネルギーは, 他の2試料よりも有意に大きいことが認められた。

2) みかけのひずみと応力の関係

図1に試料のみかけのひずみと応力の関係を示す。みかけのひずみ-応力曲線を示した。本研究において, テクスチャー特性を得るひずみ66.7%までの最大のみかけの応力は, テクスチャー特性の硬さを意味するものである。3

Table 2. Additive concentration of gelling agent, and textural properties gel samples

Gelling agent	$1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$			$5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$		
	Concentration % (w/v)	Adhessiveness ($\times 10^2 \text{ J/m}^3$)	Cohessiveness	Concentration % (w/v)	Adhessiveness ($\times 10^2 \text{ J/m}^3$)	Cohessiveness
A	0.11	1.31 ± 0.13^a	0.68 ± 0.07^a	0.28	3.27 ± 0.28^a	0.59 ± 0.03^a
B	0.39	2.11 ± 0.18^b	0.71 ± 0.02^a	1.15	9.60 ± 0.64^c	0.59 ± 0.02^a
C	2.35	1.82 ± 0.31^b	0.78 ± 0.04^a	3.90	7.21 ± 0.58^b	0.68 ± 0.02^a

A,B,C shown in Table 1.

a,b,c: In this column, the different alphabets have significant differences from one another at a risk rate of 5% or below. n=20

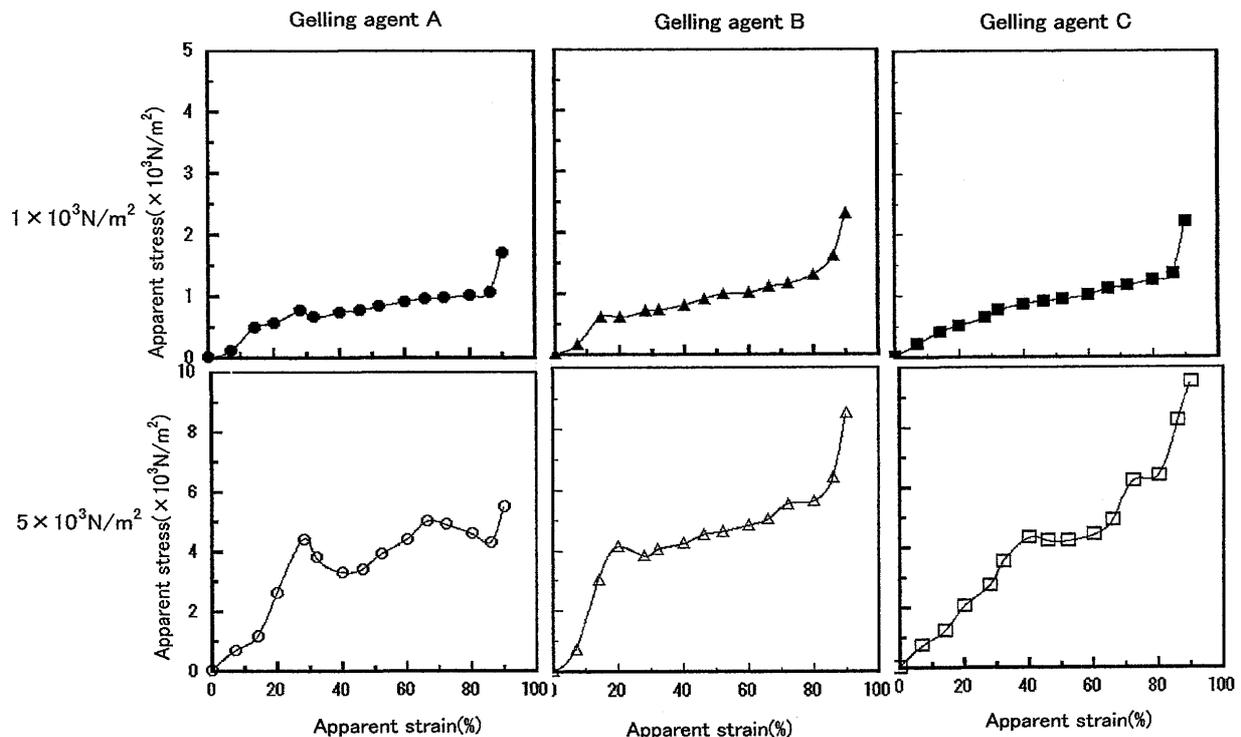


Fig. 1 Relation between apparent strain and stress

力学的特性の異なるヨーグルトゲルの食べやすさと嚥下時筋活動

種類の試料の、ひずみ 66.7% までにおけるみかけの最大応力（いずれもひずみ 66.7% における応力であるが）は、いずれも $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 、あるいは $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 程度を示している。さらに、みかけのひずみ-応力曲線は、ひずみ 70% 以上の大変形領域に入ると、ことに $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さの試料で、ゲル化剤 B および C 試料のみかけの応力がゲル化剤 A 試料に比べ、顕著に増加していることがわかる。

また、ヨーグルトゲル試料のみかけのひずみ-応力曲線における最初の変曲点（破断点）は、試料の表面に亀裂が生じたことを示すものと考えられる。最初の変曲点を境に、いずれの試料もひずみの増加に従い、一旦、応力は低下する。ことに、ゲル化剤 A 試料のひずみ 30~40% におけるみかけの応力の減少は他の 2 試料に比べ、顕著に大であることが示されている。加えて、ゲル化剤 A 試料は、ひずみ 90% 程度でも、他の 2 試料よりも顕著な応力の低下がみられる。

3) 動的粘弾性

図 2 に、貯蔵弾性率 G' 、損失正接 $\tan \delta$ 、およびトルクのひずみ依存性の測定結果を示した。いずれの硬さにおいても、変形させることで流動性が生じ、また有意に他の試料よりも付着エネルギーが大きいゲル化剤 B 試料の線形領域における G' とトルクが、他の 2 試料よりも大きく、 $\tan \delta$ は小さいことが示された。しかし、ゼラチンゲル化剤 C 試料の G' のひずみ依存性は小さく、ひずみ 80% を超えた非線形領域では、ゲル化剤 C 試料の G' が最も大きく

なり、ゲル化剤 A 試料の G' は最も小さいものとなった。また、ゲル化剤 C 試料の非線形領域におけるトルクは、他の試料よりも顕著に増加し、ひずみ 100% ではゲル化剤 B 試料のトルクと同程度となり、それより大きなひずみ領域では、ゲル化剤 C 試料のトルクが大きく、ゲル化剤 A 試料のトルクが小さいことが示された。

図 3 に G' の周波数依存測定結果を示した。いずれの硬さにおいても、測定周波数の範囲ではゲル化剤 B 試料の G' が高く、ゲル化剤 C 試料の G' は低いことが示された。

2. 官能評価

図 4 に、官能評価結果を示した。いずれの硬さの試料においても、ゲル化剤 A 試料が他の 2 試料に比べ、有意にかたたくなく、またべたつかないと評価された。容器より取り出すと自重で壊れる程度の硬さである $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 試料の場合、口中のまとまりやすさ、口腔から咽頭への食塊の移動しやすさの評価項目では、試料間に有意差は認められなかった。一方、卵豆腐程度の硬さである $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の試料では、かたたくなく、べたつかないと評価されたゲル化剤 A 試料が、他の 2 試料よりも有意にまとまりやすく、口腔から咽頭へ食塊は移動しやすいと評価された。一方、ゲル化剤 B 試料は、まとまりにくく、口腔から咽頭へ移動しにくいと評価された。

3. 舌骨上筋群の筋電位測定

嚥下時における舌骨上筋群の筋電位測定結果を表 3 に示した。 $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さの試料では、筋活動時間、最大振幅、筋活動量において、ゲル化剤の相違による有意差は

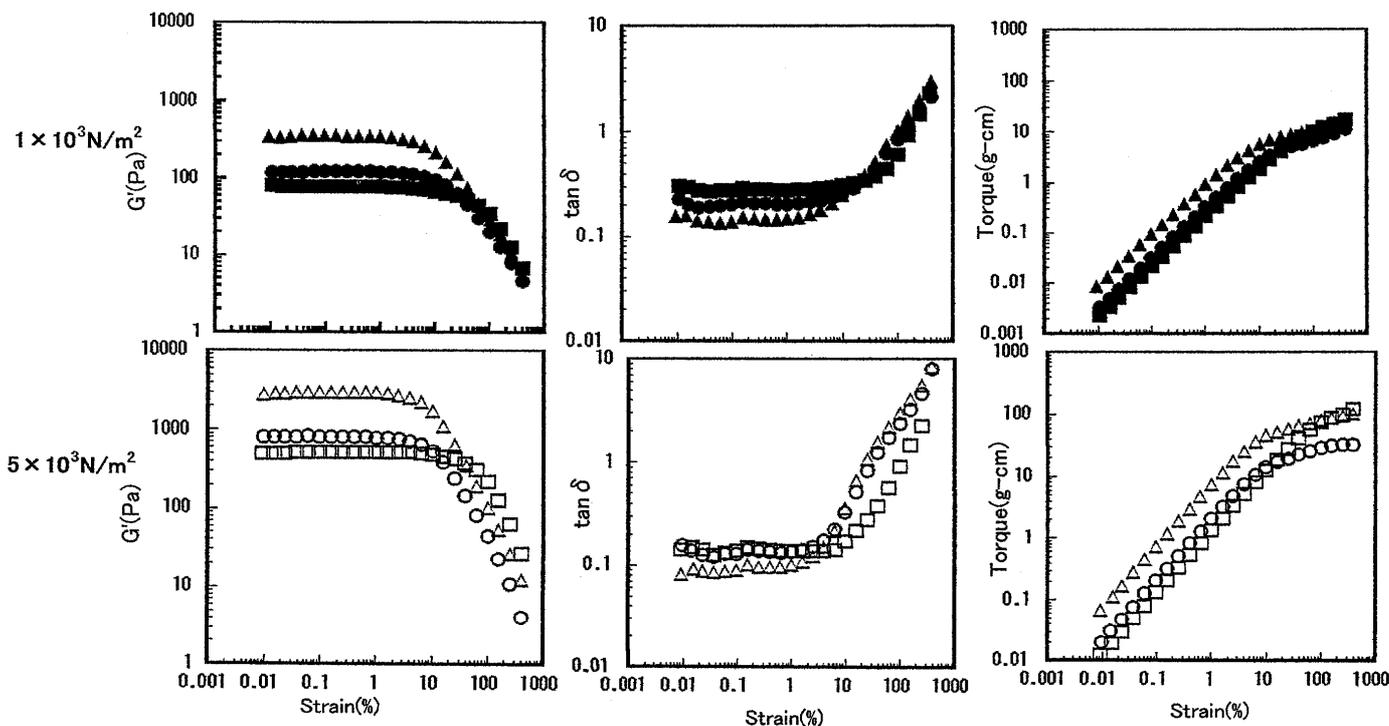


Fig. 2 Strain dependence of samples

●○ : gelling agent A, ▲△ : Gelling agent B, ■□ : Gelling agent C

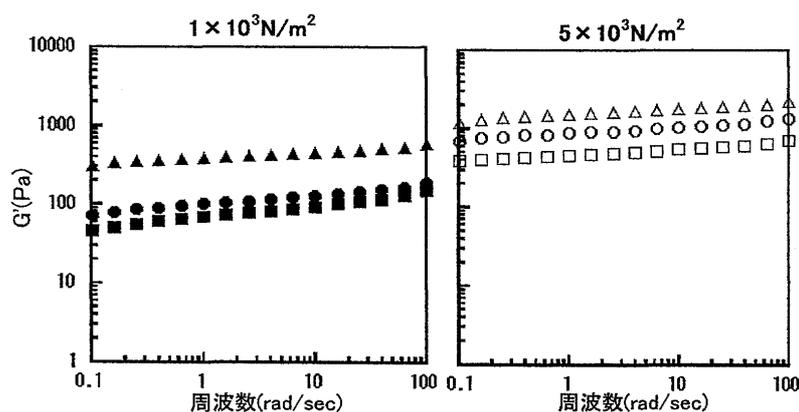


Fig. 3 Frequency dependence of samples

●○ : gelling agent A, ▲△ : Gelling agent B, ■□ : Gelling agent C

Table 3. Results of swallowing measurements for yoghurt gel samples by EMG from suprahyoid musculatures

Gelling agent	$1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$			$5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$		
	Duration (s)	Amplitude (μV)	Muscle activity ($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)	Duration (s)	Amplitude (μV)	Muscle activity ($\mu\text{V}\cdot\text{s}$)
A	1.7 ± 0.6^a	721.3 ± 359.4^a	223.6 ± 160.7^a	2.0 ± 0.7^a	838.1 ± 343.3^a	268.2 ± 150.2^a
B	1.7 ± 0.4^a	767.3 ± 307.5^a	264.9 ± 192.0^a	2.8 ± 1.0^b	$1,005.1 \pm 388.3^a$	449.7 ± 265.7^b
C	1.9 ± 0.8^a	809.8 ± 406.3^a	298.4 ± 222.6^a	3.7 ± 1.3^c	$1,033.3 \pm 378.4^a$	561.9 ± 326.2^b

A,B,C shown in Table 1.

The value represents mean value \pm standard deviation

a,b,c: In this column, the different alphabets have significant differences from one another at a risk rate of 5% or below. n=21

認められなかった。 $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さの試料では、筋活動時間と筋活動量に有意差が認められ、ゲル化剤 A 試料の筋活動時間は、有意に短く、筋活動量も少ないことが認められた。一方、ゼラチンゲル化剤試料 C の筋活動時間は、有意に他の 2 試料よりも長く、また、ゲル化剤 C 試料の筋活動量は B 試料との間に有意差は認められなかったものの、ゲル化剤 A 試料に比べ、有意に大きいことが認められた。

考 察

1. 官能評価と舌骨上筋群筋電位の関係

官能評価結果より、容器より取り出すと自重で壊れる程度の硬さである $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 試料に、口腔から咽頭への食塊の移動しやすさの評価結果に有意差が認められなかった。一方、 $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 試料では、口腔から咽頭への食塊の移動しやすさの評価結果に有意差が認められた。

筋電位測定でも、 $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さの試料に、いずれの項目も有意差は認められなかったが、 $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さの試料の筋活動時間、筋活動量で有意差が認められた。本研究で用いた舌骨上筋群筋電図測定を、多くの先行研究では嚥下第二相(咽頭期)の嚥下筋活動の指標として用いている⁹⁻¹²⁾。本研究の結果より、 $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 程度の硬さのヨーグルトゲル試料で、官能評価において口腔から咽頭

へ移動しやすいと評価されたゲル試料 A の筋活動時間は、有意に短く、筋活動量は有意に小さいことが示された。しかし、有意に口腔から咽頭へ移動しにくいと評価されたゲル化剤 B 試料の筋活動時間が有意に長く、また、筋活動量も大きいという結果は得られなかった。

本研究の結果では、ヨーグルトゲル試料において、口腔から咽頭へ食塊移動しやすさの評価結果と嚥下時の舌骨上筋群筋活動状態とは一致していないが、筋活動量が小さいヨーグルトゲル食塊は、口腔から咽頭へ移動しやすいことが推測される。

2. 力学的特性と官能評価、舌骨上筋群筋電位の関係

いずれの硬さの試料においても、口腔感覚として捉えられる舌と口蓋で押さえた時に感じるかたさ、口中で感じるべたつき感に有意差が認められた。圧縮変形より得られるみかけのひずみと応力の関係より、ヨーグルトゲル試料の大変形領域における応力が小さく、また、ヨーグルトゲル試料の表面に亀裂が入った後、一旦、大きく応力が減少するゲル化剤 A 試料が、有意にかたくないと評価された。このことは、口蓋と舌により押さえることで、ヨーグルトゲルの表面に亀裂が生じた後、大きな力を加えなくても、変形できるものが口中でもかたくないと評価されたと推測する。また、テクスチャー特性の付着エネルギーが大きいゲル化剤 B, C 試料は、付着エネルギーの小さいゲル化剤

力学的特性の異なるヨーグルトゲルの食べやすさと嚥下時筋活動

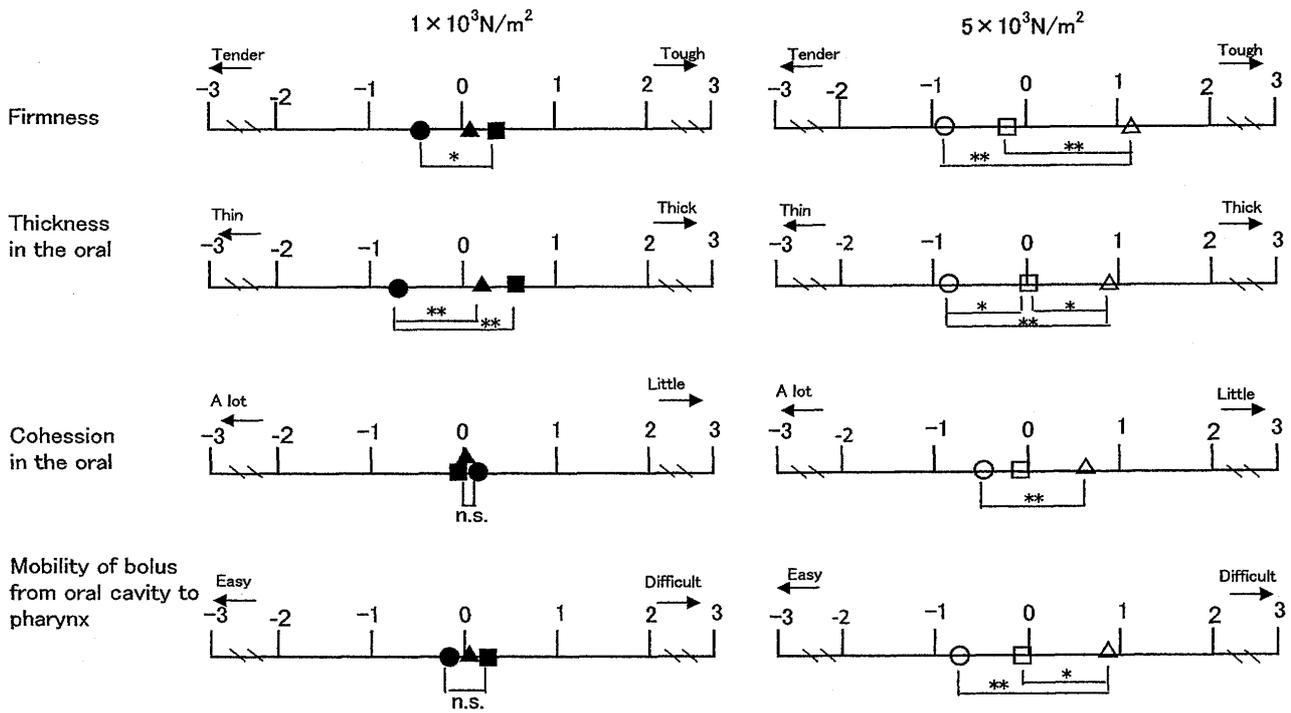


Fig. 4 Results of sensory evaluation

●○ : gelling agent A, ▲△ : Gelling agent B, ■□ : Gelling agent C

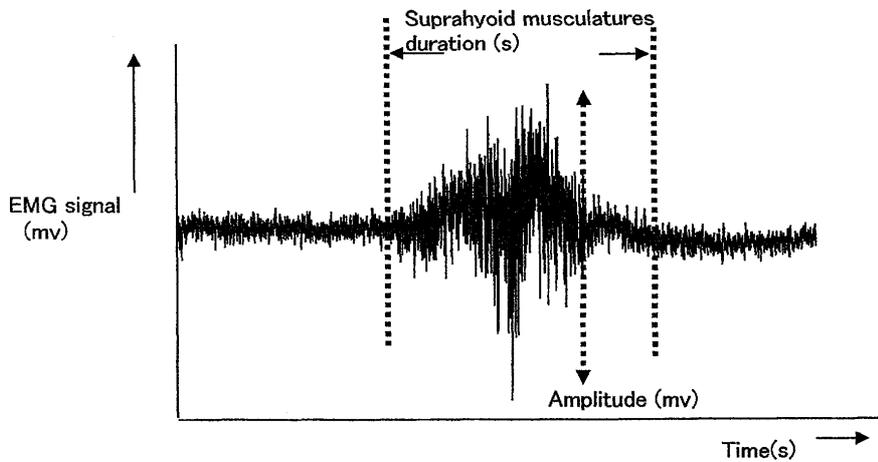


Fig. 5 Schematic drawing of EMG activity from suprahyoid musculatures

A 試料に比べ、有意にべたつくと評価された。

図6に、力学的特性と筋活動量（筋活動時間と振幅の両要素が含まれる）との間に、直線関係が得られたものを示した。圧縮変形より得られるみかけのひずみと応力の関係より、最も大きく変形させたひずみ90%における応力と筋活動量との間に、各々の硬さで直線関係が得られた。すなわち、みかけのひずみ90%における応力が大きくなるに従い、筋活動量は大きくなることが示された。

ずり変形より得られる動的粘弾性のひずみ依存測定より、最も大きく変形させたひずみ400%（非線形領域）の貯蔵弾性率G', およびトルクと筋活動量との間に、正の相関関係が認められた（いずれもp<0.01）。すなわち、大

きくずり変形させた場合に得られる弾性要素を示すG', および回転軸の周りにかかる力のモーメントを示すトルクが大きくなるに従い、筋活動量は大きくなることが認められた。

形成された食塊を口中から咽頭へ送り込む際、試料は大きく変形していると考えられる¹³⁾。従って、圧縮変形、およびずり変形ともに、大きく変形することで得られる力学的特性と筋活動量との間に、高い相関関係が得られたと考ええる。また、ずり変形より得られた6試料全てのひずみ400%におけるG', トルクと筋活動量との間に、高い相関関係が認められた。しかし、圧縮変形より得られたみかけのひずみ90%における応力と筋活動量は、各々の硬さごと

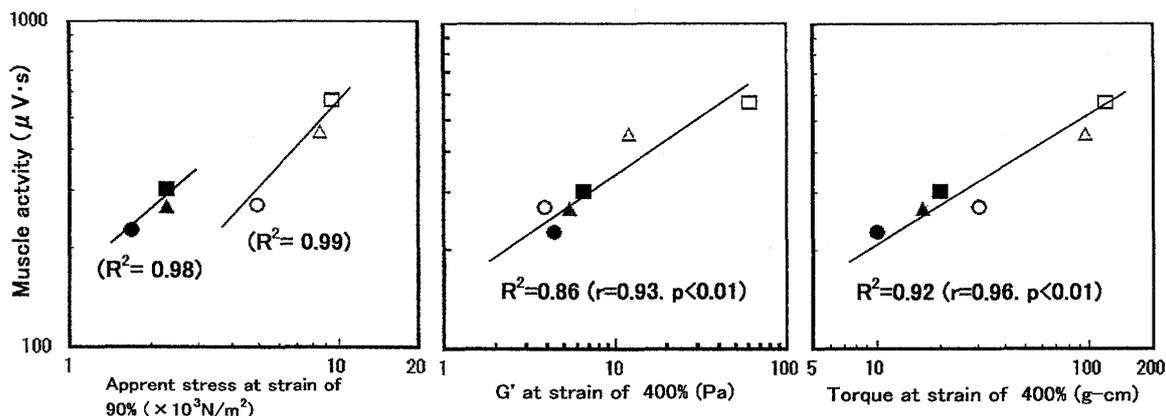


Fig. 6 Relation between physical properties and muscle activity obtained from EMG

●○: gelling agent A, ▲△: Gelling agent B, ■□: Gelling agent C

に直線関係が得られた。このことより、嚥下第二相（咽頭期）における食塊の変形は、圧縮変形よりもずり変形の影響が大きいと推測される。

本研究では、器から出すと自重で壊れる程度の $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ 、卵豆腐程度の $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ のそれぞれの硬さにおいて、ゲル化剤の異なるヨーグルトゲル試料を調製し、それらの試料について、官能評価結果、舌骨上筋群の筋電位測定を行った。官能評価結果より、ことに $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さのヨーグルトゲルで、分子量を変化させていない一般的な寒天ゲル化剤 A を使用したゲル化剤 A 試料は他の 2 試料よりも、口蓋と舌で押さえた時に感じるかたさはやわらかく、口中でべたつかず、まとまりやすく、口腔から咽頭へ食塊は移動しやすいと評価された。また、舌骨上筋群の筋電位測定結果より、ゲル化剤 A 試料の筋活動時間は、有意に短く、筋活動量も少ないことが認められた。これらのことより、一般的な寒天ゲル化剤 A を使用することで、食べやすいヨーグルトゲルの調製を可能にすることが示された。一方、ゼラチンゲル化剤 C を用いたヨーグルトゲルは、健常な人にとって、ゲル化剤 A 試料よりも、嚥下時筋活動を多く必要とすることが示された。

加えて、これまで寒天は口蓋と舌で押さえると口中でばらばらになるイメージが強かったが、平均分子量を変えて加工することで、寒天はゲル化剤として異なる力学的特性を有するようになり、また、そのことが食べやすさや嚥下時筋活動に影響を与えることが示された。

パーキンソン症候群等の疾病により、舌を口蓋に押しつけることで生じる、口腔から咽頭への食塊の送り込みが認められなくなった被験者に、ゼラチンゼリーを食べさせたところ、口腔内でゼラチンゼリーは溶解し、ゾル状となった。その後、ゼラチンゾルは少量ずつ軟口蓋と舌根の間を通過し、下咽頭に達した時点で嚥下反射が誘発された。この被験者は、口腔相の顕著な延長により口腔内温度の影響を受け、溶解してゾル化したゼラチンゼリーの誤嚥が認められたことが報告されている¹⁴⁾。

本研究では健常者を被験者としたため、舌と口蓋で押しつけた後、すぐに口腔から咽頭に送り込まれ、ゲル試料の力学的特性への口腔内温度による影響は少なかったものと考えられる。しかし、融点が低いゼラチンゲルは、先の症例でも示したように、口腔内貯留時間が延長した場合、口腔内温度の影響を受け、ゲルからゾルに状態が変化し、そのことにより誤嚥を引き起こす場合がある。一方、ゼラチンゲルの表面が、口腔内温度により適度にゾル化することで滑りやすくなるため、嚥下しやすくなるとし、嚥下食に用いている場合もある¹⁵⁾。このように、食べる人の摂食機能により、ゼラチンゲルの嚥下状態への影響は異なる。ゼラチンゲルの特性を十分に把握した上で、ゲル化剤としてのゼラチンを用いる必要があると考える。

現在、健常な高齢者により、本研究で調製したヨーグルトゲルの官能評価を進行中である。引き続き、ヨーグルトゲルの力学的特性および風味の食べやすさへの影響を検討する予定である。

要 約

ヨーグルトゲルに用いるゲル化剤の違いにより、ヨーグルトゲルの力学的特性がどのように異なり、その力学的特性の違いが官能評価、嚥下時筋活動にどのように影響するかについて、 $1 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ および $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の 2 段階の硬さで検討した。

- 1) いずれの硬さにおいても、分子量を変化させていない寒天由来ゲル化剤 A 試料の付着エネルギーは、他の 2 試料よりも有意に小さいことが認められた。一方、 $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さにおいて、変形させることで流動性が生じるゲル化剤 B 試料の付着エネルギーは、他の 2 試料よりも有意に大きいことが認められた。
- 2) 官能評価において口腔から咽頭へ移動しやすいと評価されたゲル試料 A の筋活動時間は、有意に短く、筋活動量は有意に小さいことが、 $5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ の硬さのヨー

力学的特性の異なるヨーグルトゲルの食べやすさと嚥下時筋活動

グルトゲル試料で示された。

- 3) 圧縮変形より得られるみかけのひずみと応力の関係で、硬さを得たひずみ 66.7% よりも大きいひずみ領域における応力が小さいものほど、口蓋と舌で押さえた時にかたかないと評価された。
- 4) テクスチャー特性の付着エネルギーが大きいゲル化剤 B, C 試料は、付着エネルギーの小さいゲル化剤 A 試料に比べ、有意にべたつくことと評価された。
- 5) みかけのひずみ 90% における応力が大きくなるに従い、筋活動量は大きくなることと示された。
- 6) 動的粘弾性、ひずみ依存測定のみずみ 400% における G', およびトルクが大きくなるに従い、筋活動量は大きくなることと認められた。
- 7) 本研究の結果より、分子量を変化させていない一般的な寒天ゲル化剤 A を使用することで、健常な人が食べやすいヨーグルトゲルの調製を可能とすることが示された。一方、ゼラチンゲル化剤 C を用いたヨーグルトゲルは、健常な人にとって、ゲル化剤 A 試料よりも、嚥下時筋活動を多く必要とすることが示された。

文 献

- 1) 高橋智子, 丸山彰子, 大越ひろ (1997) 固嚥補助食品としての増粘剤の利便性について—テクスチャー特性及び官能評価からの検討—, 栄養学雑誌, **55**(5), 253-262
- 2) 高橋智子, 川野亜紀, 大越ひろ (1998), ピューレ状食品に用いた異なる増粘剤の飲み込み特性の評価, 日本官能評価学会誌, **2**(1), 21-27
- 3) 高橋智子, 大越ひろ (1999), 粘稠な液状食品の飲み込み特性と力学的特性の関係, 日本家政学会誌, **50**(4), 333-339
- 4) Takahashi, T. Ogoshi, H. Miyamoto K. and Yao, M (1999),

Viscoelastic properties of commercial plain yoghurt and the trial foods for swallowing disorders, *NihonReorogi Gakkaishi*, **27**(3), 167-172

- 5) 高橋摩理, 内海明美, 向井美恵 (2007), 障害児におけるヨーグルト摂取の実態と物性に関する検討, 日摂食下リハ会誌, **11**(3), 187-194
- 6) 厚生省高齢者用食品の標準許可の取り扱いについて 平成 6 年 2 月 23 日衛新第 14 号厚生省生活衛生局長通知 (1994)
- 7) 高橋智子, 園田明日佳, 古宇田恵美子, 中村彩子, 大越ひろ (2006), ゲル状食品の力学的特性と一口摂取量が咀嚼方法, 嚥下回数に及ぼす影響, 栄養学雑誌, **66**(5), 231-240
- 8) 興津太郎, 有田元英, 園田茂, 大田哲生, 堀田富士子, 本田哲三, 千野尚一 (1998), 舌骨上筋群における嚥下表面筋電図の電極位置の検討, リハビリテーション医学, **35**, 241-244
- 9) Bonnie, J, W (1994), Coordination between respiration and swallowing—respiratory phase relationships and temporal integration, *J. Appl. Physiol.*, **76**, 714-723
- 10) Smith, J. (1989), Coordination of eating, drinking and breathing in adults, *Chest*, **96**, 578-582
- 11) 森敏裕 (1989), 嚥下圧伝搬速度の評価法, 耳鼻臨床誌, **82**, 1441-1445
- 12) 森敏裕 (1992), 嚥下第二期における嚥下圧動態の研究, 日本耳鼻咽喉学会誌, **95**, 1022-1034
- 13) Takahashi, T. (2003), Effects of Physical properties and oral perception on transit speed and passing time of semi-liquid foods from the mid-pharynx to the hypopharynx, *J. Texture Studies*, **33**(6), 585-598
- 14) 高橋素彦, 廣田誠, 東海林志保美, 咽頭への送り込み障害に対して軟口蓋挙上機能を有する補綴装置が効果であった進行性核上性麻痺の一症例 (2007), 日摂食下リハ会誌, **11**(1), 67-73
- 15) 嚥下障害ポケットマニュアル, 聖隷三方原病院嚥下チーム (2002), pp 79-90, 医歯薬出版株式会社, 東京

(平成 20 年 8 月 6 日受付, 平成 21 年 1 月 16 日受理)

和文抄録

本研究では、分子量を変えた寒天由来のゲル化剤とゼラチンにより調製したヨーグルトゲルを試料として、その力学的特性が健常人の食べやすさの評価および嚥下時筋活動にどのように影響するかについて検討した。食塊が口腔から咽頭へ移動しやすいと評価されたヨーグルトゲルの筋活動時間は有意に短く、筋活動量は有意に小さいことが示された。食塊を口中から咽頭へ送り込む際、試料は大きく変形していると考えられる。ヨーグルトゲル試料を大きく変形させることで得られる力学的特性が嚥下時筋活動量に、影響を与えていることが本研究の結果より示された。