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

井上悠季[§], 笹井美友紀*, 志賀清悟, 森高初恵

昭和女子大学大学院生活機構研究科

* 昭和女子大学生活科学科

Effects of Gel Amount and Mastication on the Velocity of Agar and Gelatin Gels Passing through the Pharynx

Yuuki Inoue[§], Miyuki Sasai*, Seigo Shiga and Hatsue Moritaka

Graduate School of Human Life Science, Showa Women's University,
1-7 Taishido, Setagaya-ku, Tokyo 154-8533

* Faculty of Food Science and Nutrition, Showa Women's University,
1-7 Taishido, Setagaya-ku, Tokyo 154-8533

Ultrasonic pulse Doppler profiling, rheology, and sensory evaluation were used to determine the effects of gel amount and mastication on the velocity of agar and gelatin gels passing through the pharynx as well as the physical characteristics following mastication. Gel samples (3, 6, 9, and 12 g) were masticated 5, 10, 30, or 50 times, respectively. The hardness of agar and gelatin gels decreased as gel amount decreased and mastication increased. Sensory evaluation showed that both agar and gelatin gels became easier to swallow as gel amount decreased and mastication increased. Higher maximum velocities were observed for 9- and 12-g agar gel samples masticated 5 times and for 3- and 6-g gelatin gel samples masticated 50 times. The increase in maximum velocity seen for the agar gel may be due to formation of a large bolus that passes through the pharynx after mastication, compared to that of gelatin gel, which forms a sol.

(Received Aug. 13, 2008 ; Accepted Jan. 26, 2009)

Keywords : transit velocity, agar gel, gelatin gel, mastication, swallowing

キーワード : 移動速度, 寒天ゲル, ゼラチンゲル, 咀嚼, 嚥下

わが国の高齢者人口は20%を超え、超高齢社会へと移行している。加齢に伴う生理機能、呼吸器機能、運動機能などの低下により、様々な疾患を引き起こし、要支援、要介護状態となる高齢者が増加しているが、健康日本21の目的にもあるようにQOLを高め、健康寿命を延長させることは非常に重要である¹⁾。その目的達成のために様々な対策がとられているが、栄養と食生活を考える上で重要となるのは、食物を経口摂取することである²⁾。しかしながら、歯の脱落、噛み合わせの悪化、義歯の装着などの理由から咀嚼機能は著しく低下する³⁾⁴⁾。また、舌などの動きが鈍ったり、服用する薬の副作用から唾液の分泌が少なくなるなど、食塊を形成しにくくなる場合が多い^{5)~7)}。このような状態になると、嚥下機能も必然的に低下し、併せて、反射の遅延から喉頭蓋の動きが鈍り、気管への誤嚥を引き起こす恐れが高まる⁸⁾。高齢者の肺炎罹患率の中でも、誤

嚥性肺炎の割合は高く⁹⁾、社会的にも問題となっている。

そこで、高齢者をはじめとし、咀嚼・嚥下困難者でも容易に咀嚼ができ、食塊が作りやすく嚥下しやすい食事の工夫が必要となる¹⁰⁾。これまでに、食感についての官能評価を用いた研究や咀嚼運動を対象とした生理学的研究が多く行われてきた⁸⁾。一方、反射性運動である嚥下機能については、随意的な飲み込み動作を介さずに反射性嚥下だけを誘発することができず、外的な介入が困難な過程と考えられてきたことから、咀嚼運動の研究と比較してその取り組みは少なかったと言われている⁸⁾。嚥下は咀嚼後の食塊の物性と深い関係にあることから、食品を摂取するにあたって、咽頭部での食塊の移動特性と食塊の物性との関連性を研究することは重要なことであると考えられる^{11)~19)}。

テクスチャー改良剤として、種々の増粘剤の開発が進められているが、ゲル化剤として家庭で用いられているものに、寒天やゼラチンがある。寒天とゼラチンはその物性が大きく異なるために、単独でゾルやゲルについての研究が

〒154-8533 東京都世田谷区太子堂 1-7

[§] 連絡先 (Corresponding author), s12208001@swu.ac.jp

多く報告されてきたが²⁰⁾²¹⁾、咀嚼によって破碎しかされない寒天ゲルと融解現象を伴うゼラチンゲルを摂取した際の生体内での挙動の相違について数値化して比較されたものはほとんど見られない。

本研究では、嚥下困難者にとって食べやすいとされる食品の基礎データを集積するために、寒天ゲルとゼラチンゲルを試料として、咀嚼後の物性を解析し、超音波画像診断装置による咽頭部での食塊の移動特性と、摂取量ならびに咀嚼回数との関係について検討した。併せて造影検査により、嚥下時の咽頭部の動きや食塊の流速についても検討した。

実 験 方 法

1. 試 料

試料としては、三栄源エフ・エフ・アイ社製の寒天とゼラチンを用いた。予備実験の結果から両試料によるゲルの物性値が近く、一般的に食されている物性²²⁾²³⁾を考慮して、ゲルの濃度は寒天では1.0%、ゼラチンでは3.0%とした。

試料を脱イオン水中に攪拌しながら所定濃度まで添加し、室温で30分間膨潤させた。寒天は90~95℃で、ゼラチンは60~65℃で各々30分間加熱溶解した。加熱溶解後、ステンレス製流し缶に流し入れ、10℃で24時間放置して試料とした。

試料の一口摂取量は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。

造影検査用の造影剤は、水溶性消化管造影剤 アミドリゾ酸ナトリウムメグルミン液(日本シェーリング社製(以下、造影剤とする))を用いた。試料は前述の方法と同様に調製したが、試料の物性に差が出ない造影剤の混合割合を求めるための予備実験を行った。その結果、造影剤の混合割合は寒天とゼラチンでは全試料の40%、水溶液試料では全試料の50%とした。前述の試料調製後に造影剤を混合してよく攪拌した後、10℃で24時間放置して試料とした。

2. テクスチャー特性

測定にはクリープメーター(RE-3305S 山電社製)を用い、2Nのロードセルを使用した。試料容器はステンレスシャーレ(直径40mm×高さ15mm)を用い、咀嚼後の試料を一杯に満たした状態で、直径20mmのアクリル樹脂製の円柱状プランジャーを用い、試料の厚さの66.7%まで圧縮速度10mm/secで2回定速圧縮して測定し、硬さと付着性を求めた。なお、付着性はプランジャーが1回目の圧縮終了後、2回目の圧縮のために10mm/secで上向きに動く時のプランジャーへの付着性として測定した。硬さは、テクスチャー曲線の第1ピークの頂点から求めた力をプランジャーの底面積で除して応力として求めた。付着性は、第1ピークと第2ピークの間のベースラインとベースラインより下方の力-歪曲線に囲まれた面積より求めた。

咀嚼後の食塊の状態については、歯列、噛み方や、唾液の分泌量が人によって異なるために、被験者は歯に欠損の

ない健康な21歳の女性1名とし、同一試料について20回繰り返し測定した。以後の実験においても官能評価を除いて同一の1名の被験者により実施した。咀嚼後の試料の温度は10℃の恒温器から取り出してすぐに咀嚼して熱電対(HFT-40, 安立計器社製)を用いて測定した。なお、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えて行った。

3. 唾液の分泌量

寒天ゲル、ゼラチンゲルともに、各々3, 6, 9, 12gの試料を1秒間に1回の割合で5, 10, 30, 50回咀嚼して、試料の咀嚼後の重量と咀嚼前の重量の差を唾液分泌量として求めた。被験者は1名とし、測定は各試料につき日にちを変えて3回ずつ行い、5日間の平均を用いた。

4. 官能評価

パネルは歯に欠損のない健康な21~22歳の昭和女子大学の学生9名とした。評価項目は、寒天では、口腔内に含んだ試料の量(+2:多い, -2:少ない), 咀嚼の程度(+2:十分, -2:不十分), 普段の咀嚼回数との比較(+2:多い, -2:少ない), 付着しやすさ(+2:付着しやすい, -2:付着しにくい), まとまりやすさ(+2:まとまりやすい, -2:まとまりにくい), ばらつきやすさ(+2:ばらつきやすい, -2:ばらつきにくい), 飲み込みやすさ(+2:飲み込みやすい, -2:飲み込みにくい)の7項目とし、ゼラチンゲルは寒天ゲルで実施した評価7項目と、咀嚼後の試料の状態(+2:固体状態, -2:液体状態)を加えた8項目とした。食塊の咽頭部の流速測定と同様に椅子に腰掛け、背筋を伸ばして、各3, 6, 9, 12gの試料を各々1秒間に1回の割合で5, 10, 30, 50回咀嚼後、嚥下して評価を行った。試料温度は10℃とし、評価は同一試料に対して異なる日に4回ずつ実施した。

5. 超音波画像診断装置による食塊の流速

本実験では東芝メディカル社製の超音波画像診断装置NEMIO SSA-550A型、スキャンプローブはPLM-703ATを用い、中沢らの方法により¹¹⁾²⁴⁾²⁵⁾ドップラ周波数を7.5MHz、パルスの周波数を10.4kHzで測定し、食塊の最大速度ならびに通過時間を求めた。被験者の咽頭部を流れる食塊に対し、照射される超音波の角度は、30°となるようにし、咽頭部正面中央にプローブの先端をあて、プローブの角度が上方に向かって60°になるように固定して測定した。被験者は測定用椅子に背筋を伸ばして深く腰掛けて測定し、測定は日にちを変えて各試料30回ずつ行った。

6. 嚥下造影検査による食塊の流速

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、摂取量を6g、咀嚼回数を5回、10回、30回として測定した。レントゲン撮影機器として、TOSHIBA KSO-80N(東芝メディカル社製)を使用し、医師立会いの下、レントゲンビデオ撮影を行った。測定時の被験者の咀嚼・嚥下は食塊の流速測定と同一方法で行った。

Table 1 Temperature of gels after mastication (°C)

		5 times	10 times	30 times	50 times
Agar gel	3 g	20.6	23.2	26.2	27.8
	6 g	19.3	21.8	24.7	25.8
	9 g	18.0	21.1	23.4	25.3
	12 g	16.5	18.9	22.6	23.6
Gelatin gel	3 g	21.0	24.2	27.7	29.0
	6 g	18.3	21.0	25.5	27.3
	9 g	17.3	20.2	25.0	26.0
	12 g	17.1	18.1	22.9	25.2

が、X線は身体の左側から横向きに照射し、食塊が口腔内から第6頸椎まで移動する間をビデオ撮影した。レントゲンビデオ撮影した咀嚼・嚥下時の食塊の状態を、1秒間を30分割して解析し、移動速度と通過時間を求めた。なお、食塊の先端部分とは最初に咽頭部を通過する食塊の部分、後端部分とは食塊の最後尾部をさす言葉として用いた。

7. 統計処理

SPSS16.0Jを用いて、唾液分泌量については三元分散分析を行い、唾液分泌量以外のデータについては二元分散分析を行い、各試料間の検定にはTukey法を用いた。

主成分分析は、JUSE-StatWorks/4.0を用い、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行った。なお、有意差の検定はすべてのデータについて5%の有意水準で行い、有意水準5%未満をもって有意と判定した。データは平均値±標準偏差で表した。

実験結果および考察

1. テクスチャー

Table 1に、摂取量と咀嚼回数の異なる試料の咀嚼後の温度を示した。咀嚼直後の試料温度は、摂取量が少なく、咀嚼回数の多い試料ほど高くなった。しかし、最も摂取量が少なく、咀嚼回数の多い試料でも、33.7°Cの口腔内温度ほど高くなかった。

佐川ら¹¹⁾は、食塊の硬さと最大速度には強い相関があることを報告している。また、平塚ら²⁶⁾は付着性の高さと飲み込みにくさについて報告し、飲み込む際にはテクスチャー特性の中でも硬さと付着性は重要な性質であると考えられる。寒天ゲルの硬さおよび付着性は、各々について摂取量ならびに咀嚼回数の各主効果が有意となり、摂取量と咀嚼回数の交互作用については硬さのみで有意となった。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が、30回咀嚼と50回咀嚼ではその差は小さかった。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 (Fig. 1 a)。付着性は摂取量が同一の場合、咀嚼回

Fig. 1 Texture properties of agar gel after mastication

a) Hardness b) Adhesiveness

Amount of mastication ◇; 5 times, □; 10 times, ▲; 30 times, ●; 50 times

Error bars express the standard deviation.

Fig. 2 Texture properties of gelatin gel after mastication

a) Hardness b) Adhesiveness

Amount of mastication ◇; 5 times, □; 10 times, ▲; 30 times, ●; 50 times

Error bars express the standard deviation.

数が増えると増加する傾向にあり (Fig. 1 b)), 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見られた。寒天ゲルは離漿しやすく付着性が低い。また、融解温度が高いために咀嚼によってゾル化はしないが、咀嚼されたゲルの小塊が増える。増えたゲルの小塊あるいは食塊の周りを唾液が囲み、ゲル同士あるいはゲルとプランジャー間で付着性が高まり、結果に反映されたと考えられる。

ゼラチンゲルの硬さおよび付着性では、各々について摂取量ならびに咀嚼回数の各主効果、摂取量と咀嚼回数の交互作用は有意となった。5回、10回咀嚼の硬さと30回、50回咀嚼の硬さがそれぞれ似た傾向を示し、近い値となった (Fig. 2 a)。5回と10回咀嚼においては、摂取量が増え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

Fig. 3 Amount of saliva

a) Agar gel b) Gelatin gel

Amount of mastication ◇ ; 5 times, □ ; 10 times, ▲ ; 30 times, ● ; 50 times

Error bars express the standard deviation.

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 (Fig. 2 b)). これは、本来強い付着性を示すゼラチンゲルの性質が、より多く咀嚼することによって消失したためと考えられる。

2. 唾液の分泌量

三元分散分析の結果、摂取量ならびに咀嚼回数の各主効果についてのみに有意となった。両ゲルともに共通して、摂取量が増加するほど、また咀嚼回数が増加するほど唾液の分泌量は多くなる傾向が見られた (Fig. 3)。しかし、同一摂取量で同一咀嚼回数の寒天ゲルの唾液量とゼラチンゲルの唾液量との間には有意差は見られなかった。このことから、唾液の分泌量は食塊が口腔内で融解してもしなくても、条件が同一の場合には差はないものと考えられる。

3. 官能評価

官能評価は、寒天ゲル 7 項目、ゼラチンゲル 8 項目で実施したが、寒天ゲルではその内、特徴的と考えられた 3 項目のみについて Fig. 4 に、ゼラチンゲルでは 4 項目のみについて Fig. 5 に示した。

Fig. 4 Sensory evaluation of agar gel

a) Sufficient mastication b) Cohesion after mastication c) Ease of swallowing

Amount of mastication ◇ ; 5 times, □ ; 10 times, ▲ ; 30 times, ● ; 50 times

Fig. 5 Sensory evaluation of gelatin gel

a) Sufficient mastication b) Cohesion after mastication c) Ease of swallowing d) State of gelatin gel after mastication

Amount of mastication ◇ ; 5 times, □ ; 10 times, ▲ ; 30 times, ● ; 50 times

(1) 寒天ゲル

咀嚼の程度、まとまりやすさ、飲み込みやすさの各々の項目について、二元分散分析を行った結果、摂取量ならびに咀嚼回数の各主効果は有意となり、摂取量と咀嚼回数の交互作用はまとまりやすさについては有意ではなかった。咀嚼の程度は、寒天ゲルの50回咀嚼においては、全摂取量間で有意差が見られず、摂取量にかかわらず咀嚼は十分にできると評価された (Fig. 4 a)). しかし、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有意に評価が下がり、咀嚼が不十分であると評価された。

まとまりやすさについては、同一摂取量において、咀嚼回数が多い30回、50回の試料では、咀嚼回数の少ない5回、10回と比較して、よりまとまりやすいと評価された (Fig. 4 b)). 50回咀嚼になると全摂取量間に有意差は認められなかったが、咀嚼回数5回における3gと12gでは有意差が見られ、咀嚼回数が少ない場合には摂取量が増加するにつれてまとまりにくくなると評価された。

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 (Fig. 4 c)). 摂取量ごとに見ると、咀嚼回数の少ない5回および10回咀嚼と、咀嚼回数の多い30回および50回との間では有意差が見られた。しかし、3gの5回咀嚼と12gの50回咀嚼では有意差が見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ってくると考えられる。

(2) ゼラチンゲル

咀嚼の程度、飲み込みやすさ、咀嚼後の試料の状態の各項目について二元分散分析を行った結果、すべての項目において摂取量ならびに咀嚼回数の各主効果で有意となり、摂取量と咀嚼回数の交互作用については咀嚼の程度と飲み込みやすさのみ有意となった。咀嚼の程度について、5回咀嚼においては、3gは他の全ての摂取量間で、6gは3gと12gとの間で有意差が見られた (Fig. 5 a)). 10回、30回および50回咀嚼においては、3gは9g、12gと、6gは12gと有意差が見られた。一方、寒天ゲルの50回咀嚼では異なる摂取量間で咀嚼の程度に有意差が見られず、ゼラチンゲルと結果が異なった。寒天ゲルでは咀嚼により破碎現象だけが生じるために、個々の食塊の大きさが十分に認識できなかったと考えられる。しかし、ゼラチンゲルでは破碎現象と共に融解現象が生じるために、融解しきれない部分が明確に識別され評価に影響したと考えられる。

まとまりやすさでは、すべての主効果および交互作用は有意ではなかった。ゼラチンゲルが咀嚼回数、摂取量に関わらず、融解されるためにまとまりやすいと評価されたためと考えられる (Fig. 5 b)).

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。しかし、3gのみは、全咀嚼回数において有意差が認められず、3gは最も飲み込みやすいと評価された (Fig. 5

Fig. 6 Spectra of bolus in pharynx measured by Ultrasonic pulse Doppler method

c)). 飲み込みやすさは摂取量が増加するにつれて、咀嚼回数の影響をより強く受けていた。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見られなかったことから、これらは咀嚼後においても非常に飲み込みにくい状態であったといえる。

咀嚼後の試料の状態では、同一摂取量間では全咀嚼回数において、同一咀嚼回数では摂取量間で有意差が見られ、摂取量が低下し、咀嚼回数が増加するにつれて試料の状態は、よりゾル化するという結果が得られた (Fig. 5 d)). 口腔内のゼラチンゲルの量が少なくなり、滞留する時間が長くなることで、ゼラチンのゾル化が進むことが顕著に評価された。

4. 飲み込み特性

(1) 最大速度

Fig. 6に咀嚼回数5回における摂取量3, 6, 9, 12gの寒天ゲルとゼラチンゲルを嚥下した際の、流速スペクトルを示した。寒天ゲルでは摂取量が増加すると、最大速度を示すスペクトルの高さが増加する傾向にあった。ゼラチンゲルでは反対に12gでは高さが低下する傾向にあった。

嚥下時には、食塊の最も速く流れる部分が気管に流入しやすく誤嚥を起こすことが問題となっており、佐川ら¹¹⁾や中沢ら¹²⁾¹⁴⁾²⁴⁾²⁵⁾²⁷⁾も食塊の移動特性の中で最大速度について検討している。

Fig. 7の水、寒天ゲルおよびゼラチンゲルの各試料の最大速度について二元分散分析を行った結果、摂取量ならびに咀嚼回数の各主効果、摂取量と咀嚼回数の交互作用は有意となった。Fig. 7 a)の水の最大速度について、同一咀嚼

Fig. 7 Maximum velocity of bolus in pharynx measured by Ultrasonic pulse Doppler method

a) Water b) Agar gel c) Gelatin gel

Amount of mastication ◇ ; 5 times, □ ; 10 times, ▲ ; 30 times, ● ; 50 times

Error bars express the standard deviation.

回数間では多くの試料で摂取量の変化による有意差が見られたが、同一摂取量間で、咀嚼回数により有意差が見られたものは少なかった。これは、水と唾液の物性が近似しており、咀嚼による物性の変化が小さかったためであると考えられる。

Fig. 7 b) の寒天ゲルの最大速度では、咀嚼回数の少ない 5 回咀嚼において、摂取量の多い 9g および 12g と、3g, 6g との間に有意差が見られた。これは、9g と 12g では口腔内の試料が咀嚼しきれておらず (Fig. 4 a)), 硬さは寒天ゲルの食塊中で最も大きく (Fig. 1 a)), 唾液量が少なく (Fig. 3 a)), まとまりが悪く (Fig. 4 b)), 飲み込みにくい (Fig. 4 c)) 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. 7 c) 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 (Fig. 2 a)), ゲルがゾル化し (Fig. 5 d)), 唾液量も多く分泌されており (Fig. 3 b)), 飲み込みやすかったこと (Fig. 5 c)) と、感覚的に嗜好性が低いいため勢いをつけて飲み込んだことが原因と考えられる。しかし、この点については今後の課題と考えられる。

Fig. 8 の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、流速は近似していた。Ku ら²⁸⁾ も、造影検査法により同様の結果を報告している。このことから、超音波画像診断装置を用いて咽頭部の食塊の流速を測定することの有用性が裏付けられたと判断される。

(2) 通過時間

Fig. 9 の水、寒天ゲル、ゼラチンゲルの各試料の通過時間についての二元分散分析の結果、摂取量の主効果はすべての試料で有意となり、咀嚼回数の主効果は水、ゼラチンゲルのみで、摂取量と咀嚼回数の交互作用は寒天ゲル、ゼラチンゲルのみ有意となった。水では、ゼラチンゲルより

Fig. 8 Velocity of 6-g bolus measured by Video-Fluorography and Ultrasonic pulse Doppler method

a) Agar gel b) Gelatin gel

◆ ; Video-Fluorography, □ ; Ultrasonic pulse Doppler method

も咀嚼回数による影響は受けにくかった。

Fig. 9 b) の寒天ゲルでは、5 回咀嚼においては、3g および 6g は 9g および 12g と有意差が見られ、摂取量が増加すると通過時間は長くなる傾向が見られた。

Fig. 9 c) のゼラチンゲルでは、通過時間は 5 回咀嚼については、摂取量の少ない 3g は他の摂取量より有意に短く、10 回、30 回咀嚼については、摂取量の多い 12g は他の摂取量より有意に長くなった。50 回咀嚼においては、3g, 6g, 9g 間では有意差は見られなかったが、12g においては顕著な上昇が見られた。これらのことから、通過時間は寒天ゲルよりもゼラチンゲルの方が、より強く摂取量の影響を受けると考えられる。

Fig. 10 の超音波画像診断装置と造影検査による通過時間の結果と比較し、通過時間が大きく異なっていないことが確認された。

5. 造影検査

Fig. 11 は、嚥下造影検査によるレントゲン写真に、測定

Fig. 9 Passage times of bolus in pharynx measured by Ultrasonic pulse Doppler method

a) Water b) Agar gel c) Gelatin gel

Amount of mastication ◇ ; 5 times, □ ; 10 times, ▲ ; 30 times, ● ; 50 times

Error bars express the standard deviation.

Fig. 10 Passage times of 6-g bolus measured by Video-Fluorography and Ultrasonic pulse Doppler method

a) Agar gel b) Gelatin gel

◆ ; Video-Fluorography, □ ; Ultrasonic pulse Doppler method

部位を示したものである。測定部位は、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を①、口峡から食道入口部まで到達したものを②、食道入口部から第6頸椎まで到達したものを③とし、①から③までを合わせたものを④とした。部位別の流速を示したFig. 12により、最も流速が高かった部位は、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③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、①の軟口蓋挙上時から口峡までであった。

食塊の先端部分と後端部分の流速の比較を行った。Fig. 13より、食塊の先端部分と後端部分での流速比較は、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。後端部分は今回の測定において流速の差があまり見られなかった。このことから、試料や咀嚼回数によって、後端部

Fig. 11 X-ray Video-Fluorography of bolus passage

① Soft palate ~ fauces

② Fauces ~ epiglottis

③ Esophagus ~ cervical vertebrae VI

④ Soft palate ~ cervical vertebrae VI

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る。

Takahashi ら²⁹⁾の報告においても、先端部分では試料によって食塊の移動速度に有意差が見られたのに対し、後端部分では見られていない。また、Ku ら²⁸⁾も、後端部分は先端部分よりも移動速度が遅いことを示しており、本報告でも同様の結果が得られた。食塊は咽頭部を通過する際には、形状が変化して細く伸びることにより、先端部分よりも後端部分では流速が低下すると考えられ、食塊の先端部分の速度を制御することで誤嚥を防げる可能性が示唆された。

6. 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にかけた結

Fig. 12 Velocity of bolus in pharynx, larynx and esophagus

a) 6 g contrast medium b) 6 g agar gel c) 6 g gelatin gel

1 : Soft palate~fauces 2 : Fauces~epiglottis

3 : Esophagus~cervical vertebrae VI 4 : Soft palate~cervical vertebrae VI

Amount of mastication □ ; 5 times, ▨ ; 10 times, ■ ; 30 times

Fig. 13 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

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。

Fig. 14 から, 寒天ゲルとゼラチンゲルでは明確に分布が異なった。寒天ゲルは, 摂取量が多く咀嚼回数が少ないゲル(グループ1)では硬く, 最大速度が高く, 反対に咀嚼回数の多いグループ3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グループ7では, 最大速度が速くなった。咀嚼回数の少ない硬いグループ4では, 寒天ゲルの場合とは異なり, 他のゼ

ラチンゲルのグループと比較し最大速度が特に速くなることはなかった。一方, これらのグループ7と4の中間の硬さをもつものではグループ5と6の2つのグループに分かれた。グループ5では, 咀嚼回数は比較的多いにもかかわらず固形物を含み最大速度が比較的速いという特徴を持ち, 反対に, 咀嚼回数の少ない, 唾液量ならびにゾル化の程度の低いグループ6では速度が遅くなった。しかし, 食塊の硬さと最大速度との関係は寒天ゲルよりも弱く, どのグループも最大速度は全般に速い領域に属し, 一概に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る。しかし, ゼラチンゲルにおいては咀嚼しすぎることは最大速度を反対に速めることになると推察される。

これら寒天ゲルとゼラチンゲルの相違は, ゲルが融解するか否かが大きく関与していると考えられる。

要 約

寒天ゲルとゼラチンゲルの摂取量および咀嚼回数が, 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, 超音波パルスドップラー法, テクチャー測定ならびに官能評価により検討し, 以下の結果を得た。

寒天ゲルの硬さは, 摂取量が少なく, 咀嚼回数が多くなるほど低下し, ゼラチンゲルの硬さは口腔内停滞時間の長い, 30回と50回咀嚼で低下し, 摂取量の影響は小さかった。

最大速度について, 寒天ゲルで高い値を示したのは5回咀嚼の9gと12gにおいてであり, ゼラチンゲルでは, 50回咀嚼の3gと6gであった。

これらの結果には, 寒天ゲルでは主に咀嚼によって破碎された食片の大きさと量が影響しており, ゼラチンゲルでは咀嚼後の融解の程度が主に影響していると推察された。

Fig. 14 Principal components analysis

▲; Agar gel, ●; Gelatin gel

The two numbers beside each mark express the amount of gel and the amount of mastication.

文 献

- 厚生省, 21 世紀における国民健康づくり運動 (健康日本 21) の推進について, 平成 12 年 3 月 31 日厚生省発健医第 115 号 厚生事務次官通知 (2000).
- 山田好秋, おいしく食べるためのしくみ, 「よくわかる 摂食・嚥下のメカニズム」, 第 1 版, (医歯薬出版, 東京), pp. 31-54 (2004).
- 塩浦政男, 「介護食ハンドブック」, 初版, 手嶋登志子編, (医歯薬出版, 東京), pp. 6-19 (1999).
- 大越ひろ, 嚥下障害者のための食事—高齢者を対象とした食事の安全性とテクスチャーの面から—, 日本食生活学会誌, **17**, 288-296 (2007).
- 山田好秋, 「咀嚼の本—噛んで食べることの大切さ—」, 第 1 版, 日本咀嚼学会編, (口腔保健協会, 東京), pp. 140-141 (2006).
- 松尾龍二, 唾液, 「食感創造ハンドブック」, 第 1 版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本 隆編, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 57-63 (2005).
- 山田晴子, 噛めないときの食事の工夫, 臨床栄養, **98**, 256 (2001).
- 館村 卓, 嚥下, 「食感創造ハンドブック」, 第 1 版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本 隆編, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 65-73 (2005).
- 金谷節子, 嚥下困難者のための食, 「食感創造ハンドブック」, 第 1 版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本 隆編, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 125-133 (2005).
- 大越ひろ, 高齢者食・介護食に求められるテクスチャー, 「食感創造ハンドブック」, 第 1 版, 西成勝好, 大越ひろ, 神山かおる, 山本 隆編, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 143-149 (2005).
- 佐川敦子, 森下真理子, 森高初恵, 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, 食科工, **55**, 276-286 (2008).
- 長谷川温子, 中澤文子, 熊谷 仁, 超音波により測定した咽頭部での液状食品の流速に及ぼす嚥下量の影響, 食科工, **55**, 330-337 (2008).
- 盛田明子, 中沢文子, 長門石亮, 超音波による嚥下した食物の咽頭部における流速比較, *New Food Industry*, **43**, 24-30 (2001).
- 長門石亮, 野口 修, 伊藤千枝子, 辻 宏明, 盛田明子, 中沢文子, 超音波によるヒトが嚥下した食品の咽頭部での流速比較, 家政誌, **52**, 343-350 (2001).
- 吉野陽子, 桑原礼子, 食品の切り方が咀嚼特性および飲み込みやすさに及ぼす影響, 栄養誌, **54**, 355-359 (2001).
- 高橋智子, 大越ひろ, 嚥下を補助するトロミ剤を用いた飲料の飲み込み特性とレオロジー特性, 日本バイオレオロジー学会誌, **19**, 125-136 (2005).
- 神山かおる, 食品調理と咀嚼特性, 日調科誌, **36**, 329-333 (2003).
- 神山かおる, 畠山英子, 小林知子, 八城正典, 東 輝明, 境知子, 鈴木建夫, おやつ昆布の噛みにくさと力学特性, 食科

- 工, **47**, 822-827 (2000).
- 19) 塩澤光一, 「咀嚼の本一噛んで食べることの大切さ」, 第 1 版, 日本咀嚼学会編, (口腔保健協会, 東京), pp. 134-135 (2006).
- 20) Moritaka, H. and Naito, S., Agar and gelatin gel flavor release. *J. Texture Stud.*, **33**, 201-214 (2002).
- 21) 石原三妃, 森高初恵, 冷凍解凍寒天ゲルの力学特性に及ぼすトレハロース・グリセリンの添加効果, *食科工*, **51**, 382-387 (2004).
- 22) 和田淑子, 大越ひろ, 「管理栄養士講座 健康・調理の科学—おいしさから健康へ—」, 初版, (建帛社, 東京), pp. 100-104 (2004).
- 23) 高橋淳子, 口腔内感覚のダイナミックス, 「新食感事典」, 第 1 版, 西成勝好, 中沢文子, 勝田啓子, 戸田 準編, (サイエンスフォーラム, 東京), pp. 66-74 (1999).
- 24) 中沢文子, 大野真由子, 盛田明子, 高橋淳子, 嚥下した飯・かゆ・水の超音波による咽頭部の流速比較, *家政誌*, **51**, 1067-1071 (2000).
- 25) 長谷川温子, 乙黒明子, 熊谷 仁, 中沢文子, 嚥下したゲル状食品の咽頭部での超音波による流速比較, *食科工*, **52**, 441-447 (2005).
- 26) 平塚陽子, 川野亜紀, 高橋智子, 大越ひろ, ゲル-ゾル混合モデル系試料の力学特性と飲み込み特性, *家政誌*, **55**, 381-388 (2004).
- 27) 中澤文子, 摂食から咀嚼・嚥下過程, *日調科誌*, **39**, 185-193 (2006).
- 28) Ku, D.N., Ma, P., McConnel, F.M.S. and Cerenko, D., A kinematic study of the oropharyngeal swallowing of a liquid, *Annals of Biomedical Engineering*, **18**, 655-669 (1990).
- 29) Takahashi, T., Nitou, T., Tayama, N., Kawano, A. and Ogoshi, H., Effects of physical properties and oral perception on transit speed and passing time of semiliquid foods from the mid-pharynx to the hypopharynx, *J. Texture Stud.*, **33**, 585-598 (2003).

(平成 20 年 8 月 13 日受付, 平成 21 年 1 月 26 日受理)