◇◇◇◇ 原著論文 ◇◇◇◇

2 バイトテクスチャー試験 (TPA) で得られるパラメータと超音波パルスドプラー法で求められる咽頭部流速との関係

谷米 (長谷川) 温子¹, 小倉聖美², 秋間彩香², 神山かおる³,
熊谷日登美¹, 熊谷 仁^{2†}

¹ 日本大学生物資源科学部, ² 共立女子大学家政学部,

³ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構食品総合研究所

Relationship between the Parameters Obtained by 2-bite Texture Profile Analysis (TPA) and the Velocity through the Pharynx Measured by the Ultrasonic Pulse Doppler Method

Atsuko HASEGAWA-TANIGOME¹, Kiyomi OGURA², Ayaka AKIMA², Kaoru KOHYAMA³,
Hitomi KUMAGAI¹, and Hitoshi KUMAGAI^{2†}

¹College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa-shi, Kanagawa 252-0880, Japan

²Faculty of Home Economics, Kyoritsu Women's University, 2-6-1 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101-0003, Japan

³National Food Research Institute, National Agriculture and Food Research Organization,
2-1-2 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan

Relation between the parameters obtained from 2-bite TPA (Texture Profile Analysis) and the velocity of foods through the pharynx were investigated. TPA tests were conducted at plunger speeds of 1 and 10 mm/s, and three textural parameters of 'hardness', 'adhesiveness', and 'cohesiveness' were obtained from TPA profiles. The velocity through the pharynx was measured by the ultrasonic pulse Doppler method. The 'hardness' was correlated best with the maximum velocity through the pharynx, $V_{\max}$, which has been reported to be one of the best predictors of aspiration risk, among three textural parameters. On the other hand, the 'cohesiveness' was not correlated with velocity distribution through pharynx, with changing in sample properties. The 'hardness' is, therefore, considered to be the most suitable index for care foods for dysphagic patients among these three parameters. The plots of $V_{\max}$ vs. three textural parameters measured at a plunger speed of 10 mm/s were similar to those at 1 mm/s. Therefore, a test speed of 1 mm/s in TPA was suggested to be more suitable than 10 mm/s, considering that the parameters measured under a plunger speed of 1 mm/s were independent of rheometers used according to a previous work.

Keywords: TPA, aspiration, ultrasonic Doppler method, gel, thickener

1. 緒 言

近年, 社会の高齢化に伴い, 咀嚼・嚥下が困難な高齢者が増加している。食物が食道から胃という正常な経路を通らず, 気管から肺へ到達してしまう誤嚥は, 誤嚥性肺炎の原因にもなる。高齢者が誤嚥する大きな

理由の1つは咽頭部において食塊の通過のタイミングが取れないことにあることから, 増粘剤 (トロミ剤) やゲル化剤を用いた介護食の開発が行われている。しかし, 介護食として適した食品物性についてはまだ十分に明らかではない。

介護食として適した食品物性の基準化も試みられている。厚生省 (現厚生労働省) は, 1994 年に「高齢者用食品」の基準を策定した [1] が, そこには「そしゃく・えん下困難者用食品」の項目が含まれている。2009 年に, 厚生労働省は, 旧「高齢者用食品」にあった「そしゃく・えん下困難者用食品」を廃止し, 「えん下困難者用食品」

(受付 2012 年 11 月 13 日, 受理 2013 年 3 月 5 日)

1 〒252-0880 神奈川県藤沢市亀井野1866

2 〒101-0003 東京都千代田区一ツ橋2-6-1

3 〒305-8642 茨城県つくば市観音台2-1-12

FAX: 03-3237-2787, E-mail: kumagai@kyoritsu-wu.ac.jp

の基準を策定した (2010 年に消費者庁に移管) [2]. この新基準では, 従来からある 2 バイトテクスチャー試験 (TPA; Texture Profile Analysis) が採用されている [3-6]. TPA 試験では, 円筒形の試料の上部にレオメータに装着した平らなプランジャーを当てて一定の速度 (測定速度) で 2 回圧縮し, 応力 *vs.* 歪みの関係を測定する. そして, 1 回目の圧縮ピークの高さがかたさ (hardness), その直後の引っ張り過程の負の応力を示すピーク面積が付着性 (adhesiveness), 2 回目の圧縮ピークと 1 回目の圧縮ピークの面積比が凝集性 (cohesiveness) と定義される. 新基準で定められている TPA 試験の方法においては, 定められた円筒状の容器に入れた直径 40 mm, 高さ 15 mm の食品試料を樹脂製のプランジャーにより測定速度 10 mm/s, クリアランス 5 mm の条件で 2 回圧縮する測定法が採用されている. 円筒状容器に入れるのは, 側壁のない状態で TPA 試験が行えるのが固体状試料に限られ, 保形性のない液状試料では容器に入れずに測定ができないためである (液状, 固体状に関わらず一律に測定法が定められている). 評価基準には「硬さ」(「えん下困難者用食品」の基準では硬さという漢字が用いられている), 「付着性」, 「凝集性」の 3 つのパラメータに関して, 許可基準 I (重度の障害者用) から許可基準 III (軽度の障害者用) までそれぞれの範囲が設定されている [2]. 以下, 本論文では, 「えん下困難者用食品」の基準法で求めたパラメータを「」つきで示す. 介護食の指標として「付着性」や「凝集性」が採用されているのは, “べたつかず”, 口腔内で “まとまりやすい” 食品が飲み込みやすい [7] とされるためである. しかし, TPA 試験から求められるパラメータがヒトの口腔内における食物・食塊の挙動とどの程度関連があるかは明らかでない. 固体, 液状など様々な性状をとる試料を円筒容器に入れて測定して得られたパラメータに関して, 一律な物理的な意味づけをすることは疑問である. また, TPA 試験には, プランジャー速度の測定値への影響, 測定機器による測定値の差異も指摘されている [6,8] が, 新基準にある測定速度などの測定条件についての根拠も不明である. さらに, 新基準における評価基準は金谷が提唱した嚥下食ピラミッド [7] にある食品 (ゲル化剤としてゼラチンを用いたものが多い) の TPA 試験結果から設定されているように見受けられるが, そこにある食品以外に関しての設定値の適用性ははっきりしない. 新たな介護食の素材開発のためには, パラメータの物理的意味や嚥下中におこる現象の関係をとらえたうえで, 評価基準を作ることが望ましいと考えられる.

誤嚥は, 咽頭部における食物の流動性と関係するので, 咽頭部における食物 (あるいは食塊) の流速と食物の物性値との関係を検討するのが有力なアプローチ

である. 我々は, これまで人体に害のない超音波を用いたパルスドプラー法により, 嚥下時の咽頭部における流速測定を行った [9-14]. その結果, 咽頭部での最大流速 $V_{\max}$ が誤嚥しやすいといわれる水では大きく, 誤嚥しにくいといわれるヨーグルトはその 1/3 から 1/2 程度であり, $V_{\max}$ により誤嚥の危険性を予測できることが確認された.

本研究では, 市販のゲル化剤, 増粘剤を用いて, TPA 試験から求められるパラメータと咽頭部の流速との関係について検討を行った. 固体状, 液状の試料に関して, 「えん下困難者用食品」の基準にある円筒容器を用いる測定を行うことにより, その測定法の問題点, 誤嚥の尺度として適したパラメータやその範囲について考察した.

2. 方 法

2.1 試料および調製法

2.1.1 試料

試料としては, ゲル化剤として κ -カラギーナン製剤 (クールアガー, 新田ゼラチン株式会社, 大阪), トロミ調整食品 (トロミパーフェクト, 日清オイリオグループ株式会社, 東京) を用いた. また, 比較対照試料として, 誤嚥しにくいといわれているヨーグルト (明治ブルガリアヨーグルト LB81 (低糖), 株式会社明治, 東京) および誤嚥しやすいといわれている水 (天然水南アルプス, サントリーホールディングス株式会社, 大阪) を用いた.

2.1.2 試料調製法

κ -カラギーナンについては, 「凝集性」の値を変えるために, 溶媒を水のみとしたのもの (以下, CA と呼ぶ), 水 60 g に牛乳 30 g と砂糖 10 g を添加したもの (以下, MC と呼ぶ) の 2 種類を調製した. また, ゲルの濃度については, 予備実験の結果から, ゴルーゲル転移点付近の低濃度から, 厚生労働省の「えん下困難者用食品」中の許可基準 I における「硬さ」の値の上限値 10,000 N/m² 程度になる濃度の範囲に設定した. また, トロミ調整食品の濃度に関しては, 嚥下困難者用によく用いられる濃度 (0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 3.0%, 4.0%) とした. TPA 試験と超音波測定で, 同一温度の試料を用いた. 「えん下困難者用食品」の基準では, TPA の測定温度は 10℃ または 20℃ とされている. CA と増粘剤溶液に関しては測定温度を 20℃ としたが, 牛乳が入っている MC に関しては一定温度保持中の腐敗の懸念があるため測定温度を 10℃ とした.

溶媒を水のみとした CA に関しては, 三角フラスコに蒸留水を秤量し, 所定量の κ -カラギーナン製剤のパウダーを添加し, マグネットスターラつきホットプレートを用いて攪拌しながら 80℃ まで加熱を行った. さ

に $80 \pm 2^\circ\text{C}$ を保持しながら 5 分間攪拌して完全に溶解させた。室温下で 55°C まで降温し濃度調整後、直径 40 mm、高さ 15 mm のステンレス容器に分注し、 20°C の恒温槽に 22 ± 2 時間保持したものを試料として測定に用いた。

牛乳と砂糖を添加した MC に関しては、三角フラスコに所定の κ -カラギーナン製剤のパウダーとグラニュー糖を加えて混ぜ合わせた中に、秤量した蒸留水を加えマグネットスターラつきホットプレートを用いて攪拌しながら 80°C まで加熱を行った。さらに保温しながら 5 分間攪拌して完全に溶解させた後、 40°C まで加温した牛乳を所定量加え十分に攪拌した。カラギーナンと同様に室温で 55°C まで降温し、濃度調整後、容器に分注し、 10°C の恒温槽に 22 ± 2 時間保持したものを試料とした。

増粘剤溶液に関しては、200 ml 容のビーカーに蒸留水を秤量し、所定のトロミ調整食品のパウダーを添加し、スパチュラを用いて 30 秒間に 50 回手で攪拌を行った後、容器に分注し 20°C の恒温槽に 30 分保持したものを試料とした。トロミ調整食品については、試料調製後の保持時間に関して、15, 30, 60, 120 分における時間依存性を確認した結果、大きな違いがないことを確認した上で、30 分とした。

2.2 TPA 試験

装置としては、山電（東京）社製のレオメータ“レオナー RE2-33005”（加速時間が短い改良型）を用いた。

2 バイトテクスチャー（TPA）測定に関しては、「えん下困難者用食品」の基準の測定方法に準拠して [2]、直径 40 mm のステンレス製のシャーレに高さあるいは深さ 15 mm に充填した試料を、直径 20 mm、高さ 8 mm の樹脂製円筒型プランジャーを用いてクリアランス 5 mm（変形率 66.6%）で、試料の中心部を 2 回連続圧縮した。得られたテクスチャー曲線（応力 *vs.* 歪みプロット）から、1 回目の圧縮ピークの高さである「硬さ」、その直後の引っ張り過程のピーク面積である「付着性」、2 回目の圧縮ピークと 1 回目の圧縮ピークの面積比である「凝集性」を算出した。それぞれの機器および圧縮速度に関して、同一濃度の試料について、試料調製を 2 回以上行い、ゲル、ヨーグルト、水については 15 回以上、増粘剤溶液については 10 回以上測定した。測定温度は、試料の保存温度と同一とした。

圧縮速度については、基準での試験方法で定められた 10 mm/s に加え、一般的に多く使われてきた速度であり、野内ら [8] が機器による測定値の差異が小さいと報告している 1 mm/s でも測定を行った。

2.3 超音波測定および解析

超音波測定および解析は既報 [9-14] の方法を一部修

正して行った。

2.3.1 被験者

被験者は咀嚼・嚥下機能に異常がない 20 歳代の健康女性 2 人、被験者 A（年齢、28 歳：身長、155 cm：首周り、31 cm）、被験者 B（年齢、23 歳：身長、153 cm：首周り、31 cm）とした。なお、本試験はヘルシンキ宣言の精神に則り、共立女子大学・共立女子短期大学研究倫理審査委員会の承認を受けるとともに、被験者に研究の趣旨および試験内容を十分に説明し同意を得て行った。

2.3.2 測定方法

超音波測定には医療用超音波診断装置 SSA-340A（東芝メディカルシステムズ株式会社、栃木）を用いた。プローブはドプラー測定可能なりニアスキャンプローブ PLF-703NT を用いた。超音波の周波数は比較的深さが浅い部分の観察に適する 5.0 MHz を使用した。

被験者は自然な状態で姿勢を保ちながら、繰り返し咀嚼・嚥下できるように、頭の位置に凹みのある枕と背もたれがついた椅子に腰掛け、背筋を伸ばした状態で嚥下した。嚥下量は、前報までと同様に 6 g とした。測定試料温度は、保存温度と同一とした。枕の位置は被験者に適した高さに調節できるようにした。喉頭蓋を通過する直前の食塊を測定するため、プローブの接触点を顎下とし、超音波の進行方向は水平に対して上向きに 60° の角度に固定した。プローブはマイクのスタンドに取り付けて、高さと角度を調節した。B モード、カラードブラーモードを使用し、器官の位置に対して超音波の進行方向を確認した。B モードは超音波の反射が器官によって異なることを利用し、咽頭部の断面を観察して測定部位を確認する方法として使用した。カラードブラーモードは流れに対応したカラー表示がされることから、嚥下したときの食物の流れを定性的に確認するために使用した。嚥下した食物の流速測定はパルスドプラー法で行った。

超音波測定および解析により、嚥下した食物が咽頭部を通過する特定の時間において特定の流速をもつ粒子の割合がカラー表示された流速スペクトルが得られる。流速スペクトルにおいては、粒子密度（特定の流速をもつ粒子体積 / 測定される全体積）が高いと赤く、低いと青く表示される。得られた流速スペクトルから、既報 [9-14] の方法により重みつき平均である平均流速とノイズ部分をカットした最大流速 $V_{\max}$ を求めた。

3. 結 果

3.1 TPA 試験

Fig. 1 に TPA 試験で求められた「硬さ」、「付着性」、「凝集性」の濃度依存性を示す。「硬さ」に関しては、水（▼▽）が最小で、カラギーナンや増粘剤の濃度増

加に伴って上昇した。ヨーグルト (●○) の「硬さ」の値は、増粘剤よりはるかに大で、高濃度のゲルの値よりは小さかった。「付着性」に関しては、増粘剤、ゲル化剤ともに、バラつきはあるものの濃度増加に伴って上昇する傾向がみられ、ヨーグルトの値が最大であった。「凝

集性」については、水の値がほぼ1と最大で、ヨーグルトの値は0.6程度で増粘剤より小さかった。MC (■□) の「凝集性」の値は、他の試料に比べてやや小さかったが、これは牛乳の添加によって試料がもろくなったためと考えられる。「硬さ」「付着性」「凝集性」いずれにおいても、CA (▲△) のデータのバラつきが大きかったが、これは大変形によりゲルが破壊されたためと考えられる。テストスピードについては、増粘剤とCAについて1 mm/s, 10 mm/sでの測定値に多少の差がみられた。なお、MCに関して、Fig. 1に示したものは10℃での測定値だが、今回用いたゲルに関しては10℃と20℃における測定値の差は小さかった。

3.2 超音波パルスドプラー法による咽頭部流速分布測定

Fig. 2に超音波パルスドプラー法によって得られる典型的な流速スペクトルの測定例を被験者Aについて示す。Fig. 2 (a) が水、ヨーグルト、増粘剤、Fig. 2 (b) がCAとMCの流速スペクトルである。誤嚥しやすい水に関しては、流速分布が広く様々な流速の粒子が咽頭部を通過しているのに対し、誤嚥しにくいとされるヨーグルトについては、水ほど流速の速い粒子が存在せず、水に比べて流速の小さい粒子のみが咽頭部を通

Fig. 1 Concentration Dependence of the Parameters Obtained from TPA Test. ◆◇, a Thickening agent; ▲△, CA (a Commercial Gelling Agent containing κ -Carrageenan); ■□, MC (CA with Milk and Sucrose); ●○, Yogurt; ▼▽, Water Test Speed: ◆▲■●▼, 1 mm/s; ◇△□○▽, 10 mm/s

Fig. 2 Typical Color Spectra Showing Velocity through the Pharynx of Samples. CA, a Commercial Gelling Agent Containing κ -Carrageenan; MC, CA with Milk and Sucrose; T, Thickener solution

Fig. 3 Dependence of Velocity of Bolus through the Pharynx on Sample Concentration. ◆◇, T; ▲△, CA; ■□, MC; ●○, Yogurt; ▼▽, Water Test speed: ◆▲■●▼, Mean Velocity through Pharynx; ◇△□○▽, Maximum Velocity through Pharynx, $V_{\max}$

過したことを示している。また、増粘剤、ゲル化剤ともに、濃度上昇に伴い流速スペクトルはヨーグルトのスペクトルに近づく傾向がみられた。これらの傾向は、我々のこれまでの報告と同様である [9,11,12-14]。流速分布の広さの観点からは、水は断片化して“バラバラ”になって、ヨーグルトは“まとまって”、ゆっくりと咽頭部を通過していること、増粘剤やゲル化剤を添加することによって、食物は“まとまって”、流速が低下すると解釈できる。

Fig. 3 に流速スペクトルから算出された平均流速と最大流速 $V_{\max}$ を示す。流速の絶対値は被験者 A, B によって異なるものの、いずれの被験者でも、平均流速、最大流速の値は、濃度の増加に伴って減少し、ヨーグルトの値に近づく傾向がみられた。このことは、既報の結果 [9,11,12-14] と同様で、誤嚥の要因や嚥下困難者にとって増粘剤やゲル化剤を用いた食品やヨーグルト

が誤嚥しにくいという経験則と矛盾しない。Fig. 3 のデータは、流速の大きさによって誤嚥の危険性を判断できることを示しているが最大流速 $V_{\max}$ の方が平均流速より変化が大きく、誤嚥の危険性を判断するのに便利であるため、前報まで [9-14] と同様、以下では $V_{\max}$ を用いて議論する。

3.3 TPA 試験から得られるパラメータと咽頭部最大流速 $V_{\max}$ との関係

TPA 試験から得られたパラメータ（「硬さ」、「付着性」、「凝集性」と咽頭部最大流速 $V_{\max}$ との関係を Fig. 4（被験者 A）および Fig. 5（被験者 B）に示す。測定速度に関しては、 $V_{\max}$ vs. 「硬さ」、 $V_{\max}$ vs. 「付着性」、 $V_{\max}$ vs. 「凝集性」いずれも、1 mm/s と 10 mm/s とで、プロットの形にそれほど差はみられなかった。これは、咽頭部食塊流速との議論をする際、TPA 測定速度については、機器的に適切な方を用いればよいことを示している。

Fig. 4 と Fig. 5 の上図に示す「硬さ」に関しては、値の増加に伴って $V_{\max}$ の値が減少する傾向がみられた。ヨーグルトに関して「硬さ」が中程度にも関わらず $V_{\max}$ の値が小さいのは、「付着性」が大きいためである可能性がある。

Fig. 4 と Fig. 5 の下図に示す「凝集性」に関しては、MC (■□), CA (▲△), 増粘剤 (◆◇) で「凝集性」の値が 0.2 から 0.8 程度まで変化しても、 $V_{\max}$ の値が同程度のデータが存在した。また、増粘剤 (◆◇) においては、「凝集性」の値が約 0.85 と同程度にも関わらず $V_{\max}$ の値が異なるデータも存在した。「凝集性」のデータ全体をみると、値が大きいと $V_{\max}$ 値が大きい傾向がみられるが、これは、Fig. 1 および Fig. 3 の結果から、水や低濃度の試料で「凝集性」の値が 1 に近いためと考えられる。つまり、「凝集性」は同一の試料において濃度を増加させた場合は、Fig. 1 に示すように単調に減少するので、 $V_{\max}$ と一見相関があるが、異なる試料間で嚥下特性の議論をするには適さないことがうかがわれる。

4. 考 察

Fig. 4 および Fig. 5 に示すように、TPA 試験から求められるパラメータの中では、「硬さ」が咽頭部最大流速 $V_{\max}$ との関連性が高く、咽頭部流速の観点からは誤嚥の危険性の指標として適していると考えられる。Fig. 1 に示すように、TPA 試験から求められる「硬さ」は濃度増加に伴って上昇した。また、我々がこれまでに報告し [9,11,12-14]、Fig. 3 にもみられるように、増粘剤溶液、ゲル化剤ともに、 $V_{\max}$ の値は濃度増加に伴って減少した。高濃度の試料の場合、増粘剤については溶液粘度が大で、ゲルの場合には食塊の見かけの粘度

Fig. 4 Relation between the Parameters from TPA Tests and $V_{\max}$ for Subject A. ◆◇, T; ▲△, CA; ■□, MC; ●○, Yogurt; ▼▽, Water Test Speed: ◆▲■●▼, 1 mm/s; ◇△□○▽, 10 mm/s

が大きいと推察される。我々は、液状試料の粘度は $V_{\max}$ との相関が高いことを報告している [12-14]。そのことから、濃度増加に伴って単調に増加する「硬さ」は粘度と相関が高く、咽頭部流速との関連性が高かったと推察される。

Fig. 4 および Fig. 5 の結果は、誤嚥のしにくさの指標として、「硬さ」に下限値が存在することを意味している。「えん下困難者用食品」の基準においては「硬さ」

の範囲が、許可基準Ⅰ（重度の障害者）で $2.5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$ N/m²，許可基準Ⅱ（中程度の障害者）で $1 \times 10^3 \sim 1.5 \times 10^4$ N/m²，許可基準Ⅲ（軽度の障害者）で $3 \times 10^2 \sim 2 \times 10^4$ N/m² と上限値と下限値が設定されている [2]。「硬さ」の下限値については、許可基準Ⅱで 1×10^3 N/m² 以上となっているが、Fig. 4 および Fig. 5 から、「硬さ」の値がその程度あれば、 $V_{\max}$ の値はヨーグルトに近く、誤嚥の危険性は小さいと考えられる。一方、「え

Fig. 5 Relation between the Parameters from TPA Tests and $V_{\max}$ for Subject B. ◆◇, T; ▲△, CA; ■□, MC; ●○, Yogurt; ▼▽, Water Test Speed: ◆▲■●▼, 1 mm/s; ◇△□○▽, 10 mm/s

「下咽困難者用食品」の基準における「硬さ」に上限値があるのは、嚥下食ピラミッドにある食品に関する TPA 試験から値が設定されたこともあるが、嚥下困難者には“かたすぎる”食品は飲みづらいので、上限値があるのは妥当といえる。ただ、この上限値は“のみやすさ” (ease to swallow) に関するもので、流速が大のために食塊が食道でなく気管に入る誤嚥のしにくさの目安ではないと考えられる。誤嚥のしにくさの指標として「硬さ」を用いるなら、下限値が存在することも妥当である。

一般に“べたつき”の度合いが小さく、咽頭部での“ま

とまりやすさ” (食塊の形成しやすさ) が良好な食品が嚥下機能の低下した高齢者に適しているとされる [7]。嚥下困難者用食品の基準を設定する際には、“まとまりやすさ”の指標として TPA 試験から得られる「凝集性」が採用される。「えん下困難者用食品」の基準においては「凝集性」の範囲が、許可基準Ⅰで 0.2~0.6、許可基準Ⅱで 0.2~0.9 と設定されている (許可基準Ⅲに「凝集性」の設定はない) [2]。確かに、ビスケットのように圧縮によって破壊されるような食品の場合、TPA 曲線の第二ピークの面積 A_2 の値は 0 に近くなるだろうから、「凝集性」の値は小さくなり、“まとまりやすさ”

を評価している側面はみられる。しかし、全く破壊しない試料でも最初の圧縮後に形が復元するまでの時間が長ければ A_2 の値は小さく、復元するまでの時間が短ければ A_2 の値は大きくなる。つまり、「凝集性」は、「口腔内での食塊形成能」という意味の“まとまりやすさ”ではなく、圧縮などの変形において「変形後の形の回復のしやすさ」という意味でのまとまりやすさと考える方が自然である。“まとまりやすさ”の数値化は難しいが、Fig. 2に示す流速スペクトルからは、水は“バラバラ”になって、ヨーグルトは“まとまって”ゆっくりと咽頭部を通過していることが観察されている。しかしFig. 1において、「凝集性」の値は、誤嚥しやすい水で約0.96（プランジャーに付着するため、実際は1に近いと考えられる）、誤嚥しにくいとされるヨーグルトで0.6~0.7であった。つまり、“まとまりやすさ”の指標のほぼであるTPA試験から得られる「凝集性」が大きい試料が誤嚥しやすいことになる。水の「凝集性」が1に近いのは、「えん下困難者用食品」の基準にあるように円筒容器に入れて測定した場合に変形後の形状回復性がよいためであり、容器に入れなければ「凝集性」はほぼ0となるだろう。このように容器に入れた状態で測定され、機械的変形からの回復の意味での“まとまりやすさ”を表すパラメータにより、食塊形成能という介護食に重要な特性である“まとまりやすさ”を評価するのは問題である。そもそもまとまりやすい食品ほど嚥下しやすいなら、「えん下困難者用食品」の基準において、“まとまりやすさ”の指標であるはずの「凝集性」に上限値が設定されているのは論理的に矛盾している。大きな理由の1つは、「えん下困難者用食品」の基準値の設定が、嚥下食ピラミッドにある食品のTPA測定から決定されており、水に近い低粘性の食品の「凝集性」は1に近いため介護食として不適切となり上限値が設定されたと考えられる。以上から、円筒容器を用いたTPA試験から求められる「凝集性」は特に保形性の悪い試料に関しては“まとまりやすさ”の指標にはなりにくいと考えられる。側壁のない状態でTPA試験を行えば、ゲル状試料の破壊のしやすさが反映され、より適した介護食の指標が得られる可能性もある。大変形後の回復性が高い試料は飲み込みにくいことも予想され、「凝集性」に上限値が存在する可能性もある。そうした測定値と嚥下のしやすさとの関係については今後の検討課題である。

野内ら[8]は、市販の4機種を用いて、2バイトテクスチャー試験における測定速度が測定値に及ぼす影響について検討を行った。その結果、測定速度10 mm/sにおいては、プランジャーの動作方向反転時のノイズや加速度の差異などの理由により、機種間で測定に様々な違いが現れた。一方、測定速度1 mm/sにおいては機種による差異は小さかった。このことから野内らは、

市販の測定装置を活用して汎用的に運用する評価値を得るためには、機種間差が小さい測定速度1 mm/s程度の低速による測定を行う方が望ましいと述べている。本研究では、Fig. 3にみられるように、測定速度により「硬さ」、「付着性」、「凝集性」の値に差はみられるものの、それほど顕著ではない。また、Fig. 4およびFig. 5にみられるように、各パラメータと最大流速 V_{max} との関係もTPAの測定速度の影響を受けない。公的に嚥下障害者用の基準を作るうえでは、測定装置に依存しない測定値が得られる必要がある。よって本研究の結果からも、TPAの測定速度においては、現基準における測定速度10 mm/sより1 mm/sの方が望ましいと考えられる。

今回用いた試料のうち、MCについては10℃、他の試料については20℃でTPA試験および超音波測定を行った。厚生労働省の基準では、TPA試験での測定温度が 20 ± 2 、 10 ± 2 ℃とされている。そのことから本研究では、許可基準にある方法で測定されたパラメータ値と咽頭部流速との関係を議論するために10℃で超音波実験を行った牛乳を含む試料MCのみ10℃でTPA測定を行った。今回用いた試料に関しては、10℃と20℃での測定値には大きな差がなく、本論文の結論には影響がない。ただし、同一温度でテクスチャーの異なる試料を用いて検討を行うことは今後の検討課題である。

以上のように、「硬さ」は、TPA試験から求められるパラメータの中で、咽頭部流速の観点からは誤嚥の危険性の指標として最も適していると考えられる。しかし、Fig. 1でもみられるように「硬さ」は大変形下で測定するためか、測定値のバラつきが大きい。上述の議論から、濃度上昇に伴い増加する物性値なら「硬さ」の代替の指標となりうるはずである。Tashiroらは増粘剤溶液について、粘度 μ の他に動的粘性率 η' 、複素粘性率 η^* （いずれも濃度上昇に伴って増加）が介護食の物性指標になりうることを示している[12]。Cox-Merzの経験則によれば、液状試料については、粘度と η^* が一致する（ずり速度と角周波数の値が一致する場合）ことから[15]、流動性を表す物性値である粘度が指標になるなら微小変形下で測定される動的粘弾性も指標になりうると思われる。また、長谷川らは、ゲル状試料についても動的粘性率 η' の増加に伴って咽頭部最大流速が低下することから、介護食の物性指標になりうることを述べている[9,11]。粘度 μ や動的粘性率 η' は試料サイズによらない物性値であり、TPA試験で求められるパラメータより測定精度が高い。動的粘性率 η' は微小変形下で測定されるので、不均質な試料には向かないこと、試料の大きさやべたつきなども関与する“飲み込みやすさ”を評価するのが困難な可能性もあるが、今後、固体・半固体状介護食の物性指標として検討する余地はあると考えられる。

5. 結 論

厚生労働省の「えん下困難者用食品」の基準にある方法に基づいたTPA試験で求められるパラメータである「硬さ」、「付着性」、「凝集性」の中では、「硬さ」が誤嚥の危険性の指標である咽頭部最大流速 $V_{\max}$ との関連が強く、咽頭部流速の観点からは嚥下困難者用介護食の指標として最も適していると考えられた。「まとまりやすさ」（食塊の形成能）の指標とされる「凝集性」は、誤嚥しやすく、咽頭部を“バラバラ”になって通過する水が最大で、食物の口腔内でのまとまりやすさとは無関係なことが確認された。また、「凝集性」は $V_{\max}$ との関連がみられず、嚥下困難者用介護食の指標としては適さないと考えられた。これは、「えん下困難者用食品」の基準にある試料を円筒容器に入れての測定が液状の試料には妥当でないことを示唆している。

市販の測定装置を活用して汎用的に運用する評価値を得るためには、現基準における測定速度 10 mm/s より 1 mm/s の方が望ましいと考えられた。

TPA試験で求められるパラメータ以外に、試料サイズによらない物性値（動的粘弾性など）について、固体・半固体状介護食の物性指標として検討することは今後の課題である。

謝 辞

本研究の一部は科研費（21300274）、日本食品化学研究振興財団の助成を受けて行った。

引 用 文 献

- 1) Japanese Ministry of Health and Welfare, Treatment of approval of indication as a Food for Elderly. Notification from Inspection and Safety Division, Department of Food Safety, Health Policy Bureau, Ei-shin No.15 (1994).
- 2) Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare.” Indication permission of Food Safety Bureau and Department of Food Safety. No.0511001 (2009) (placed under Consumer Affairs Agency, Government of Japan from 2010).
- 3) H. Ogoshi, “Measurement of Solid under Large Deformation (Daihenkeika Deno Sokutei)”, in “Texture Research in Progress (Shinkasuru Tekusucha Kenkyu) 1st ed., ed. By Y. Yamano, NTS, Tokyo, Japan, 2011, pp. 47-55.
- 4) H. Akabane, N. Nakahama; Rheology Measurement in Cokking 3 (Chori Niokeru Reorohj Tokuseui Sono 3), J. of Cookery Sci. of Japan, **22**, 173-182 (1989).
- 5) M. Pons, S. M. Fisman; Instrumental texture profile analysis with particular reference to gelled systems, J. Texture Stud., **27**, 597-624 (1996).
- 6) A. J. Rosenthal, Texture profile analysis – How important are the parameters?, J. Texture Stud., **41**, 672-684 (2010).
- 7) S. Kanaya, N. Jinno, Y. Yamagata; “Classification of 250 Foods for Dysphagic Patients on the basis of Dysphagic Food Pyramid (Engeshokupiramiddo Niyoru Reberubetsu Shihan Shokuhin 250)”, 1st ed., ed. by J. Kayashita, Ishiyaku Pub. Inc., Tokyo, Japan, 2008.
- 8) Y. Nouchi, Y. Ajiki, K. Tobitsuka, T. Sasaki, K. Kohyama; “Bite-speed Effects in Two-bite Texture Analysis” (in Japanese), Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **59**, 96-103 (2012).
- 9) A. Hasegawa, A. Ootoguro, H. Kumagai, F. Nakazawa; “Velocity of Swallowed Gel Food in the Pharynx by Ultrasonic Method” (in Japanese), Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **52**, 441-447 (2005).
- 10) A. Hasegawa, F. Nakazawa, H. Kumagai; “Measurement of Mass Dependence of Swallowed Food Velocity in the Pharynx by Ultrasonic Method” (in Japanese), Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **55**, 330-337 (2008).
- 11) A. Hasegawa, F. Nakazawa, H. Kumagai; “Velocity of Swallowed Food for Dysphagic Patients through the Pharynx by Ultrasonic Method” (in Japanese), Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi, **55**, 541-548 (2008).
- 12) H. Kumagai, A. Tashiro, A. Hasegawa, K. Kohyama, H. Kumagai; Relationship between Flow Properties of Thickener Solutions and their Velocity through the Pharynx Measured by the Ultrasonic Pulse Doppler Method, Food Sci. and Technol., Res., **15**, 203-210 (2009).
- 13) A. Tashiro, A. Hasegawa, K. Kohyama, H. Kumagai, H. Kumagai; Relationship between the Rheological Properties of Thickener Solutions and Their Velocity through the Pharynx, As Measured by the Ultrasonic Pulse Doppler Method, Biosci. Biotech. Biochem., **74**, 1598-1605 (2010).
- 14) A. Tashiro, K. Ono, A. Hasegawa-Tanigome, H. Kumagai, H. Kumagai; Flow Properties and the Velocity through the Pharynx of Solutions Prepared from Commercial Thickening Agents and Those of Yogurt with Relevance to Liquid-Type Care Foods for Dysphagic Patients, Japan J. Food Eng., **11**, 177-185 (2010).
- 15) W. P. Cox, E. H. Merz; Correlation of dynamic and steady flow viscosities, J. Polym. Sci., **28**, 619-622 (1958).

要 旨

2-バイトTPA (Texture Profile Analysis) 試験から求められるパラメータと咽頭部通過時の食物の流速との関係について検討した。TPA試験は、厚生労働省の「えん下困難者用食品」の基準法に準拠して行ったが、プランジャー速度については、基準にある 10 mm/s に加

えて 1 mm/s についても検討を行った。得られた TPA 曲線から 3 つのパラメータ「硬さ」(hardness)、「付着性」(adhesiveness)、「凝集性」(cohesiveness) を求めた。咽頭部の流速は，超音波パルスドプラー法により測定した。3 つのパラメータの中では「硬さ」が，誤嚥の危険性の尺度と報告のある咽頭部最大流速 $V_{\max}$ との相関が最も高く，嚥下困難者用介護食の指標として適していると考えられた。一方，「凝集性」は，試料の性状によって変化し，咽頭部流速分布との相関がみら

れなかった。このことは，「えん下困難者用食品」の基準にある試料を円筒容器に入れての測定が液状の試料には妥当でないことを示唆している。3 つのパラメータに対する $V_{\max}$ のプロットの形はプランジャー速度 10 mm/s と 1 mm/s であまり変わらなかった。このことから，TPA 試験におけるプランジャー速度に関しては，装置依存性があまりないという報告のある 1 mm/s の方が 10 mm/s より適していることが示唆された。