

嚥下食の定量化へ向けた簡易粘性評価法による粘稠液状食品のレオロジー評価

遠藤 彩華 (鶴岡工業高等専門学校 生産システム工学専攻, s190004@edu.tsuruoka-nct.ac.jp)

高橋 史夫 (株式会社ガオチャオエンジニアリング, fumio@gaoqiao-eng.com)

小野寺 良二 (鶴岡工業高等専門学校 創造工学科, r-onodera@tsuruoka-nct.ac.jp)

穴戸 道明 (鶴岡工業高等専門学校 創造工学科, m-shishido@tsuruoka-nct.ac.jp)

Rheology evaluation of viscous liquid foods by simple viscosity evaluation method for quantification of swallowing foods

Ayaka Endo (Department of Advanced Engineering, National Institute of Technology, Tsuruoka College, Japan)

Fumio Takahashi (Gaoqiao Engineering Corp., Japan)

Ryoji Onodera (Department of Creative Engineering, National Institute of Technology, Tsuruoka College, Japan)

Michiaki Shishido (Department of Creative Engineering, National Institute of Technology, Tsuruoka College, Japan)

要約

摂食および嚥下障害による誤嚥は、食欲を低下させることから嚥下困難者の生活の質に悪影響を及ぼしている。このような嚥下困難者の食事における液状食品の誤嚥防止には、対象者の摂食状況レベルに応じた粘性抵抗を液状食品へ付与することが効果的である。しかし、医療や介護現場では栄養士の主観と経験に基づいており、液状食品に増粘剤を定量的に付与することは困難である。そこで、液状食品の粘性を定量的に評価する簡易的な測定器を開発した。得られた値をThickness Resistance Value (Tr値)と定義し、本測定器独自の単位として扱う。本研究では、増粘剤を添加した飲料水の時間依存特性によってTr値と粘度の関係を解明した。また、増粘剤および介護食のTr値を用いて物性表を作成し、その有用性を検討した。その結果、Tr値と粘度は強い正の相関が確認された(水: $r=0.94$ 、茶: $r=0.98$ 、果汁飲料: $r=0.97$)。これより、Tr値は増粘剤や飲料水の種類によらず粘度に類似した値を得ることが明らかとなった。一方、複数の増粘剤や介護食からなる物性表は、他職種間でも共通認識が持ちやすいことから、栄養指導や連携のツールとなりうることを期待される。

Abstract

Aspiration which is caused by the ingestion/swallow difficulty has a bad influence upon "the quality of life of people with dysphagia", for it reduces appetite. In order to prevent aspiration of liquid foods during meals of the people with dysphagia, it is effective to impart viscous resistance to liquid foods following FILS (Food Intake LEVEL Scale) of the object person. However, it is difficult to add a thickener quantitatively to liquid foods in the sites of medical and nursing care, based on the subjectivity and experience of dietitians. Thus, a simple measuring machine that quantitatively evaluates the viscous liquid foods was developed. The obtained value is defined as "Thickness Resistance Value (TRV)" and treated as a unit unique to this machine. In this study, the relationship between TRV and viscosity was clarified by time dependence of drinking water with thickeners added. In addition, a physical property table was created using TRV of thickeners and nursing care foods, and its usefulness was examined. As a result, the time dependence of drinking water with thickeners, a strong positive correlation was confirmed between TRV and viscosity (Water : $r=0.94$, Tea : $r=0.98$, Juice drink : $r=0.97$). From these results, it was clearly shown that TRV obtained a value similar to viscosity regardless of the type of thickeners and drinking water. On the other hand, a physical property table can be expected to serve as a tool both for nutrition guidance and cooperation consisting of multiple thickeners and nursing care foods, for this table is easy to have a common understanding among other professions.

キーワード

嚥下障害, 粘度, レオロジー, 増粘剤, 生活の質

1. 緒言

近年、少子高齢化の進行にともない肺炎患者が増加している。とりわけ、肺炎死亡者の内訳に着目すると、その約9割以上が高齢者であり、その多くは誤嚥性肺炎であるといわれている(大類, 2013)。誤嚥性肺炎患者の多くが高齢者である要因のひとつとして、加齢にともなう摂食・嚥下機能の低下が挙げられる。摂食・嚥下障害による誤嚥は、食欲の低下だけでなく栄養状態の悪化を招くことから、嚥下困難者の生活

の質に影響を及ぼしている。

嚥下困難者の食事を見直して栄養状態の改善を図ることは、誤嚥性肺炎の発症を抑制につながるといわれている(小原・土肥, 2006)。近年では、摂食・嚥下機能に応じた食形態や物性を考慮した嚥下食が導入されている。とりわけ、液状食品へ粘性抵抗を付与する手段のひとつとして、増粘剤を液状食品へ添加することが挙げられる。しかし、高齢者施設や病院において液状食品に付与する粘性抵抗の程度は栄養士の主観に委ねられている。そのため、液状食品に付与する粘性抵抗の程度は作り手によってばらつきが生じる(山縣他, 2017)ことが報告されている。現状において、液状物の粘性

抵抗を測定する方法は回転式粘度計が主流であるが、一般的に回転式粘度計は高価であり操作が複雑であるため、介護や医療現場への導入は困難である。そのため、粘性抵抗の定量化には安価かつ操作が容易な機器が求められる。そこで、株式会社ガオチャオエンジニアリングにより液状食品の粘性を簡易的に測定するとろみ抵抗測定器が開発された。本測定器は、液状食品の攪拌によって測定子に生ずる抵抗を数値化する。得られた値をThickness Resistance Value (Tr値)と定義し、粘性抵抗を評価する本測定器独自の単位として扱う。既往研究により、粘度計校正用標準液および増粘剤を添加した飲料水においてTr値と粘度は強い正の相関を示すことが明らかとなっている(遠藤他, 2021)。一方、医療や介護現場では、大量に作成した食事の分配に時間がかかるため、適切な粘性抵抗を付与した介護食の提供には、増粘剤を添加した液状食品の有する粘性の経時的変化について把握する必要がある。したがって、とろみ抵抗測定器による簡易粘性評価法を介護現場へ導入および運用するためには、増粘剤を添加した飲料水の経時的な粘性の変化によるTr値と粘度の関係を解明する必要がある。くわえて、市販の増粘剤や介護食品の粘性を簡易粘性評価法により定量化することで、嚥下困難者の摂食状況レベルに応じた食事の提供が可能となり、嚥下困難者の生活の質向上が期待される。

本研究では、医療や介護現場におけるとろみ抵抗測定器による簡易粘性評価法の導入および運用へ向け、増粘剤を添加した飲料水の時間依存特性によってTr値と粘度の関係を明らかにした。また、増粘剤および介護食品によるTr値の物性表を作成し、その実用性を検討した。

2. 実験方法

2.1 時間依存特性評価

表1に実験に使用した増粘剤および飲料水を示す。UDF(ユニバーサルデザインフード)に登録されている増粘剤3種を溶質とし、飲料水3種を溶媒とした。UDFに登録されている増粘剤は、“硬さ”に基づき、200 N/m²以下(フレンチドレッシング状、以下FD)、200～400 N/m²(とんかつソース状、以下TS)、400～700 N/m²(ケチャップ状、以下KT)、700 N/m²以上(マヨネーズ状)と定義されており、この指標を基準とした添加量が記載されている(日本食品協議会, 2010)。

表2に各社が定めている100 mlあたりにおける増粘剤の目安添加量を示す。この添加量を参考にし、各増粘剤をそれぞれ飲料水に添加した。その後、攪拌機(AK-16-P12 TL-256、株式会社大創産業)により15秒間攪拌し、5分間、1時間、6時間、12時間、24時間放置した計135種類の溶液を試料とした。なお、各試料の温度は20±2℃とした。粘度の測定には回転式粘度計(LV DV1M、英弘精機株式会社)を、Tr値の測定にはとろみ抵抗測定器を用いた。回転式粘度計の測定時間は2分とし、各試料に対する粘度およびTr値を10回測定した。なお、Tr値と粘度の関係を、ピアソンの積率相関係数による無相関

表2：各社が定めている増粘剤の添加(g/100 ml)

	FD	TS	KT
増粘剤A	1.0	2.0	3.0
増粘剤B	1.0	2.0	3.0
増粘剤C	1.2	2.4	3.6

表1：実験に使用した増粘剤および飲料水

溶質	原材料名
トロミアップHP (以下、増粘剤A)	増粘多糖類、デキストリン、CMC、グルコン酸Na、塩化Mg
つるりんこ Quickly (以下、増粘剤B)	キサンタンガム、デキストリン、クエン酸三Na、乳酸Ca
とろみエール (以下、増粘剤C)	増粘多糖類、デキストリン、クエン酸Na、乳酸Ca
溶媒	主成分(100 mlあたり)
軟水 (以下、水)	エネルギー：0 kcal タンパク質：0 g 脂質：0 g 炭水化物：0 g 食塩相当量：0.001～0.003 g
緑茶 (以下、茶)	エネルギー：0 kcal タンパク質：0 g 脂質：0 g 炭水化物：0 g 食塩相当量：0.02 g
オレンジジュース (以下、果汁飲料)	エネルギー：45 kcal タンパク質：0.7 g 脂質：0 g 炭水化物：10.5 g 食塩相当量：0 g

注：増粘剤A／日清オイリオグループ株式会社、増粘剤B／株式会社クリニコ、増粘剤C／アサヒグループ食品株式会社、水／サントリー食品インターナショナル株式会社、茶／日本コカ・コーラ株式会社、果汁飲料／ゴールドバック株式会社。

検定により評価した。このとき、有意水準は5%とした。

2.2 粘稠液状食品の特徴分析

増粘剤の物性評価では、時間依存特性評価におけるTr値の結果を用いて変化率を導出し、増粘剤の時間経過による粘性の変動を明らかにした。このとき、増粘剤TをC (g/100 ml) だけ添加した飲料水fをt時間放置したときのTr値を $V_{(T,C,f,t)}$ (Tr) とおく。式(1)より、1、6、12、24時間放置した試料の平均値を導出した。ここで、Tr値の平均を $\bar{V}_{(T,C,f)}(Tr)$ とする。

$$\bar{V}_{(T,C,f)} = \frac{1}{4} \sum V_{(T,C,f,t)} \quad (1)$$

次に、5分放置した試料のTr値を基準値 $V_{(T,C,f,t_0)}$ 、1、6、12、24時間放置した試料の平均値を変化量 $\bar{V}_{(T,C,f)}$ として、時間経過によるTr値の変化率を(2)式により導出した。ここで、 t_0 は5分とする。

$$\frac{\bar{V}_{(T,C,f)} - V_{(T,C,f,t_0)}}{V_{(T,C,f,t_0)}} \times 100 \quad (2)$$

表3に実験に使用した介護食品を示す。介護食品の物性評価では、UDFに登録されている介護食品のうち、“かまなくてよい”の区分に分類される介護食品5種類（主菜3種、栄養補助食品2種）を試料とした。提供時の温度を考慮し、主菜の温度は 60 ± 2 ℃、栄養補助食品の温度は 10 ± 2 ℃とした。なお、各介護食品の変化率を(3)式より導出した。このとき、1回目の介護食品の測定結果を基準値 $F_{(n_0)}$ (Tr)、10回測定したときの平均値 \bar{F}_n (Tr)を変化量とした。

$$\frac{\bar{F}_n - F_{(n_0)}}{F_{(n_0)}} \times 100 \quad (3)$$

表3：実験に使用した介護食品

分類	試料
主菜	なめらか野菜：人参(以下、A)
	なめらかおかず：鶏肉と野菜(以下、B)
	なめらかおかず：クリームシチュー (以下、C)
栄養補助食品	ゼリー飲料：りんご(以下、D)
	すりおろし果実：りんご(以下、E)

注：A、B、D、E / キューピー株式会社、C / アサヒグループ食品株式会社。

3. 結果および考察

3.1 時間依存特性評価

図1に各増粘剤を添加した水の経時的な粘性の変化を示す。図1(a)は粘度の変化、(b)はTr値の変化を示している。各増粘剤の種類により、3段階の濃度における粘度およびTr値にばらつきがみられた。とくに、増粘剤Aは増粘剤BおよびC

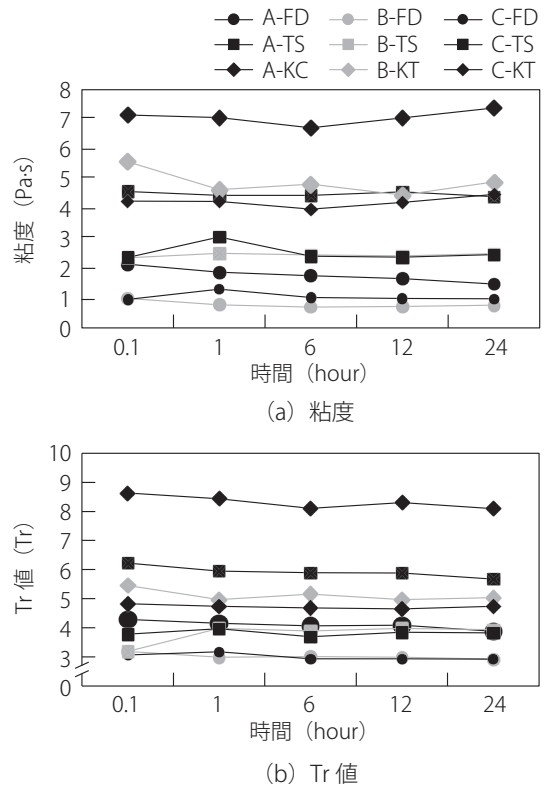


図1：各増粘剤を添加した水の経時的な粘性の変化

と比較してTr値および粘度が高い傾向があった。この要因のひとつとして、増粘剤は製造者側の観点に比重を置いて製造されているため、増粘剤に含まれる原材料であるキサンタンガムやデキストリンなどの配合量の違いが挙げられる。本実験に使用した増粘剤は増粘多糖類であるキサンタンガムとデキストリンを主成分とする。これらの増粘多糖類を主成分とする増粘剤は、第三世代に分類される。この他にデンプンを主成分とする第一世代や、デンプンとデキストリンを主成分とする第二世代がある(富田他, 2018; 中村他, 2012)。本実験の結果から、同じ世代間の増粘剤であっても増粘剤の添加量や添加する液状食品により異なった粘性となることを理解して増粘剤を使用する必要があるといえる。

粘性の経時的変化における分析には、対応のあるt検定により行った。なお、有意水準は5%とした。対応のあるt検定の結果、短時間放置した試料(5分間)と長時間放置した試料(1時間以上)の間で有意差が認められた。以上の結果より、増粘剤を添加した飲料水は時間に依存する傾向があるため、適切な粘性を付与した介護食の提供には、粘性を付与し提供するまでの時間を考慮する必要がある。

図2に各飲料水におけるTr値と粘度の相関関係を示す。図2(a)は水、図2(b)は茶、図2(c)は果汁飲料に各増粘剤を添加したときのTr値と粘度の相関関係を示す。なお、各試料のTr値および粘度の平均値を代表値としてプロットした。また、スミルノフ・グラブス検定により、有意水準5%のとき外れ値と同定された値は除外した。経時的な粘性の変化におけるTr値と粘度の関係は、遠藤他(2021)で得られたTr値と粘度の相関と同様に線形性が確認できた。そのため、増粘剤を添加

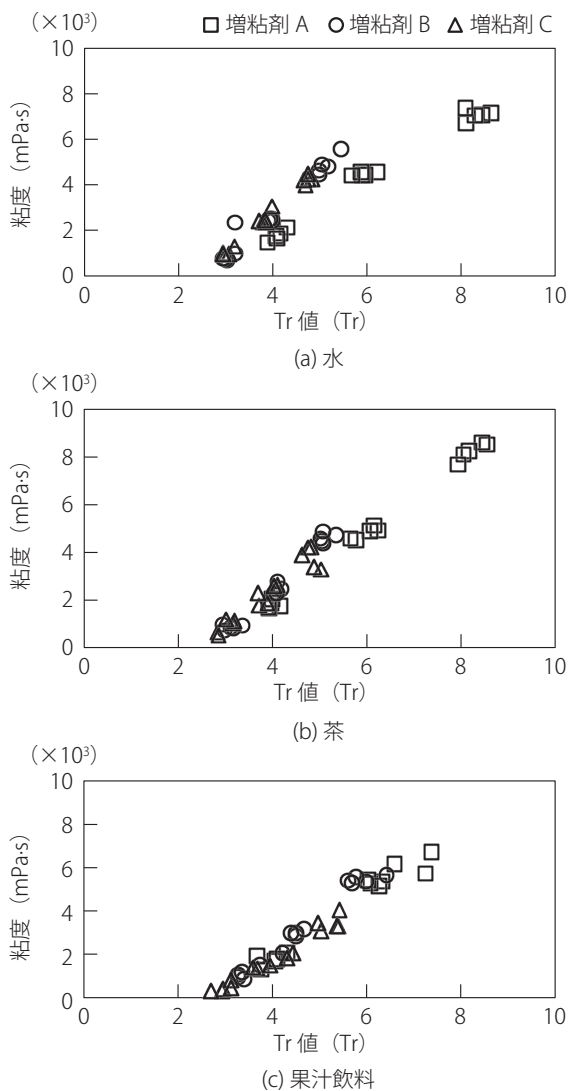


図2：各飲料水におけるTr値と粘度の相関関係

した飲料水においてTr値は粘度に類似した時間依存特性を有するといえる。また、各飲料水におけるTr値と粘度の相関関係において有意差が認められ、強い正の相関が得られた(水： $r = 0.943$ 、茶： $r = 0.982$ 、果汁飲料： $r = 0.973$)。この結果をふまえて、増粘剤を添加した飲料水の粘度を目的変数、Tr値を説明変数として単回帰分析を行った。なお、Tr値は増粘剤や飲料水の種類によらず粘度に類似した値を得ることから、増粘剤や飲料水の種類に分けず、得られた全ての粘度とTr値を用いた。その結果、決定係数 $R^2 = 0.921$ にて有意差が認められ、次式が得られた。

$$Y = 1268.176X - 2836.64 \quad (4)$$

ここで、Yは粘度 (mPa・s)、XはTr値 (Tr) を表す。このことから、Tr値は第三世代の増粘剤を添加した飲料水(水、茶、果汁飲料)を測定する場合において、(4)式により粘度を推定できるといえる。よって、とろみ抵抗測定器を医療や介護現場へ導入することにより、増粘剤を添加した飲料水の定量的な粘性評価が期待される。

3.2 粘稠液状食品の特徴分析結果

表4に粘稠液状食品の物性表を示す。表4(a)は増粘剤を添加した飲料水、表4(b)は介護食品の物性表を示している。

表4(a)より、増粘剤の種類や添加量、飲料水の種類などの条件の違いによって、時間経過による粘性の変化が異なることが明らかとなった。増粘剤Aに着目すると、溶媒が水および茶の場合、いずれの添加量においても時間経過により粘性が低下した。その一方、溶媒が果汁飲料の場合、TSを基準として増粘剤を添加した溶液の粘性は低下したが、FDおよびKTを基準とした溶液の粘性は増加した。粘性が増加した要因のひとつとして、増粘剤Aに配合されているCMC(カルボキシメチルセルロース)による影響が挙げられる。このCMCは、中性およびアルカリ性の状態ではカルボキシル基が解離しているため、カルボン酸の負電荷による静電反発が起き、CMCの分子鎖同士は離れた状態を保っている。しかし、酸性の状態ではカルボキシル基の水素が結合し、カルボン酸の負電荷による静電反発が抑制される。加えて、水素結合が起こり、CMCの分子鎖が橋掛けされる。これにより分子鎖のネットワークが構築し、ゲル化するという特徴をもつ(日本原子力研究開発機構, 2008)。そのため、増粘剤Aに含まれるCMCが果汁飲料に含まれる酸と反応し、ゲル化したため粘性が増加したと考えられる。

溶質や溶媒が同一かつ添加量が異なる溶液において、時間経過によって粘性が増加する溶液と減少する溶液が確認された。そのひとつとして、増粘剤Bに着目する。増粘剤Bを水に添加した溶液において、FDを基準とした添加量では5.95%の粘性の減少が確認された一方で、TSを基準とした添加量では23.75%の増加が確認された。市販の増粘剤は、増粘を目的として複数の多糖類が配合されている。そのため、溶媒に添加した増粘剤の粉末に含まれる多糖類に偏りが生じ、溶質や溶媒が同一であっても粘性の変動に影響を与えたといえる。

表4(b)より、UDFに登録されている“かまなくてよい”の区分に分類される介護食品の粘性において、最大11.6Trの差が確認された。また、主菜の変動率はいずれにおいても±7%以内であったが、栄養補助食品の変動率は-10%以上であった。この要因のひとつとして、栄養補助食品の形状が挙げられる。本実験で使用した栄養補助食品は、すりおろした果実やゼリーである。そのため、加熱調理されたペースト状の主菜と比較し、実験に使用した栄養補助食品は保形性が低いと考えられる。この結果を踏まえて、攪拌による影響を考慮し測定回数を目的変数、栄養補助食品の測定結果を説明変数として単回帰分析を行った。なお、有意水準は5%とした。有意差が認められた場合、モデル式から測定前のTr値を導出し、1回目の測定結果と比較した。その結果、介護食品Dでは決定係数 $R^2 = 0.70$ において有意差が認められ、測定前のTr値は13.7Tr、介護食品Eでは決定係数 $R^2 = 0.87$ において有意差が認められ、測定前のTr値は15.9Trと導出された。しかし、いずれの栄養補助食品においても測定1回目のTr値より低い値を示した。そのため、測定前の栄養補助食品のTr値をより正確に推察するためには、繰り返し同一の条件下で測定する必要がある。

表4：粘稠液状食品の物性表

(a) 増粘剤を添加した飲料水

		基準値(Tr)※			変化率(%)		
		増粘剤A	増粘剤B	増粘剤C	増粘剤A	増粘剤B	増粘剤C
水	FD	4.29	3.19	3.07	-5.59	-5.95	-4.58
	TS	6.22	3.19	3.78	-6.50	23.75	-7.61
	KT	8.63	5.45	4.83	-2.36	1.52	-2.59
茶	FD	4.16	3.36	3.16	-5.11	-5.18	-4.65
	TS	6.23	4.18	4.10	-9.38	-2.51	-5.38
	KT	8.55	5.34	4.81	-6.01	-6.59	0.21
果汁飲料	FD	3.75	3.27	2.93	7.47	-1.27	23.55
	TS	6.32	4.49	3.68	5.12	-1.06	-10.32
	KT	7.25	6.42	5.40	1.28	10.53	-3.75

(b) 介護食品

基準値(Tr)				
主菜			栄養補助食品	
A	B	C	D	E
6.7	8.8	4.7	15.4	16.3
変化率(%)				
-2.09	3.98	-6.81	-28.57	-10.86

注：※基準値は、各増粘剤を各飲料水に添加したのちに5分間静止したときのTr値である。
出典：遠藤他(2021)を元に著者一部改編。

各世代の増粘剤だけでなく、種々の介護食品においても増粘を目的として多糖類を2種類以上配合した場合、略称として“増粘多糖類”と表記することができる。そのため、市販の増粘剤や介護食の成分表示から粘性の特徴を推察することは困難である。このことから、複数の増粘剤や介護食品からなる物性表は、他職種間でも共通認識がもちやすいことから、栄養指導や連携のツールとなりうることを期待される。

5. 結言

本研究では、医療や介護現場におけるとろみ抵抗測定器による簡易粘性評価法の導入および運用へ向け、増粘剤を添加した飲料水の時間依存特性によってTr値と粘度の関係を明らかにした。また、増粘剤および介護食品によるTr値の物性表を作成し、その実用性を検討した。得られた結果の要約を以下に示す。

- 増粘剤の添加量の増加にともない、Tr値および粘度が増加した。
- 時間依存特性評価の結果から、Tr値と粘度は強い正の相関が確認された(水:r = 0.94、茶:r = 0.98、果汁飲料:r = 0.97)。
- 短時間放置した試料(5分間)と長時間放置した試料(1時間以上)の間において、対応のあるt検定より有意差が認められた。
- 増粘剤や介護食の種類によって、UDFが定める基準内においてばらつきが確認された。
- 複数の増粘剤や介護食からなる物性表は、他職種間でも共通認識が持ちやすいことから、栄養指導や連携のツールとなりうることを期待される。

引用文献

- 浅井一輝・一柳正昭・佐藤根大士・森隆昌・椿淳一郎・伊藤葉子(2009)非ニュートン性が単一円筒型粘度計(B型粘度計)の測定結果に及ぼす影響について。粉体工学会誌, Vol. 46, No. 12, 873-880.
- 出戸綾子・江頭文江・栢下淳(2008). 病院・施設における市販トロミ調整食品の使用状況。県立広島大学人間文学部紀要, Vol. 3, 33-42.
- 遠藤彩華・高橋史夫・小野寺良二・穴戸道明(2021). 高齢者の「食の安全」を目指す嚥下食の定量化へ向けた簡易粘性評価法の提案。産業応用工学会論文誌, Vol. 9, No. 1, 25-30.
- 森隆昌・森山将平・中川琢登・椿淳一郎(2017). B型粘度計及び振動粘度計による種々の流体の見かけ粘度測定。日本レオロジー学会誌, Vol. 45, No. 4, 157-165.
- 中村愛美・吉田智・西郊靖子・林静子・鈴木靖志(2012). 食材の物性に及ぼす影響から見た市販とろみ調整食品の分類。栄養学雑誌, Vol. 70, No. 1, 59-70.
- 日本原子力研究開発機構(2008). カルボキシメチルセルロースを主成分とするゲルの製造方法およびゲル。特開2008-230996号.
- 日本食品協議会(2010). とろみ調整食品の「とろみの目安」の設定にあたって。缶詰時報, Vol. 89, No. 4, 34-36.
- 小原仁・土肥守(2006). 摂食・嚥下障害を有する慢性期リハビリテーション患者におけるゼラチンを活用した嚥下障害食の栄養状態に対する効果。栄養学雑誌, Vol. 64, No. 4, 237-242.
- 大類孝(2013). 超高齢社会における誤嚥性肺炎の現状。日本老年医学会雑誌, Vol. 50, No. 4, 458-460.

-
- 富田隆・幸田幸直・工藤賢三 (2018). とろみ調整食品が速崩壊性錠剤の崩壊、溶出、薬効に及ぼす影響. 薬学雑誌, Vol. 138, No. 3, 353-356.
- 山縣誉志江・與儀沙織・栢下淳 (2017). 官能評価による学会分類2013 (とろみ) の粘度範囲の妥当性. 日本摂食嚥下リハビリテーション学会雑誌, Vol. 21, No. 3, 129-135.

(受稿：2021年2月12日 受理：2021年3月1日)