

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 9 月 7 日現在

機関番号：32608

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450179

研究課題名(和文)嚥下困難者用介護食のテクスチャーデザインの基礎としての食品物性論的研究

研究課題名(英文)Basic study on physical properties of foods for texture-design of care foods for dysphagic patients

研究代表者

熊谷 仁(Hitoshi, Kumagai)

共立女子大学・家政学部・教授

研究者番号：20215015

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：味覚が類似し、テクスチャーの異なるゲルを用いて、国の「えん下困難者用食品」の基準中の方法に基づいた2-バイトTPA(Texture Profile Analysis)試験を行った。得られたTPA曲線から、3つのパラメータ「硬さ」、「付着性」、「凝集性」を求めた。また、超音波パルスドプラー法により、咽頭部通過時の食物の流速を測定した。

また、ゲルの嚥下音測定を行った。試料の嚥下音波形から、喉頭蓋閉鎖に関わる時間 $t_1$ 、食塊流動時間 $t_2$ 、喉頭蓋開口に関わる時間 $t_3$ が求められた。試料濃度の増加に伴い、 $t_2$ は減少した。「硬さ」や食塊の見かけの粘度が大きい試料ほど、 $t_2$ の値は減少する傾向がみられた。

研究成果の概要(英文)：Two-bite Texture Profile Analysis (TPA) according to the National Criteria for Patients with Difficulties in Swallowing was conducted by using gels with similar taste but different textures. Three textural parameters of 'hardness,' 'adhesiveness,' and 'cohesiveness' were obtained from the TPA profiles. In addition, the velocity of the passage of the same gels through the pharynx was measured by the ultrasonic pulse-Doppler method.

Acoustic analysis of sounds during swallowing gels was conducted. The profiles of swallowing sounds of each subject were divided into three parts; time for the closure of epiglottis ( $t_1$ ), time for the flow of bolus ( $t_2$ ), and time for the opening of epiglottis ( $t_3$ ). The parameter  $t_2$  tended to decrease as concentration increase, approaching to that of yogurt which is rarely aspirated. In addition,  $t_2$  tended to decrease with increase in the "hardness" obtained from TPA tests or the apparent steady viscosity of gel bolus.

研究分野：食品工学

キーワード：誤嚥 超音波パルスドプラー法 食塊 TPA試験 粘度 嚥下困難者用食品 咽頭部流速 嚥下音

## 1. 研究開始当初の背景

高齢化率が 26% を超え超高齢社会を迎えた今日、嚥下機能の低下によって口から取り入れた食物が、気管から肺に侵入する「誤嚥」をおこす高齢者が増加している。そうした嚥下困難者のために、増粘剤やゲル化剤を用いて流動性を低下させた介護食の重要性が高まっており、嚥下困難者用介護食の開発・販売が進んでいる。高齢者にとって飲み込みやすい食品は、適度なかたさを有し、べたつかず、まとまりやすいものとされる。そうした飲み込みやすさの評価は、PA 試験 (Texture Profile Analysis) といわれる定速 2 回圧縮試験から求められる「かたさ」、「付着性」(「べたつき」の指標とされる)、「凝集性」によって行われることが多い。これらのパラメータを用いた嚥下困難者用の基準化も国や民間企業の団体により試みられているが、基準は統一されていない。その理由は、科学的根拠が不明瞭なまま、基準が設定されていることが一因と考えられる。また、実際の咀嚼・嚥下の過程では、食物の性状や物性が大きく変化しながら口腔内から咽頭部、食道へ移動するため、TPA 試験のような一定条件下で得られた機器測定による物理量・物性や化学分析のみでは、食物のおいしさや食感などのヒトの感覚的な評価をすることは困難なことも大きな問題である。そうした機器測定とヒトの感覚とのギャップを埋める手法として近年、食品科学においてヒトの体の一部に計測機器を取り付けて身体から信号を直接取り出す「生体計測」が注目されている。嚥下機能の程度を診断する生体計測としては、実際に嚥下している状態を観察できる嚥下造影検査 (VF) はよく知られているが、被ばくの危険性があるうえに、造影剤を添加することにより食品物性が変化する可能性もある。これまで我々は、人体に安全な超音波診断装置を用いて咽頭部流速測定を行い、求められる咽頭部最大流速  $V_{max}$  が誤嚥しやすい水では大きく誤嚥しにくいとされるヨーグルトでは小さいことから、 $V_{max}$  が誤嚥の危険性の指標となりうることを提唱した (文献)。しかし、固体・半固体の食品については、未だ不明な点が残っている。

## 2. 研究の目的

本研究では、テクスチャーが異なるゲルや増粘剤溶液を調製し、機器測定から得られる物性と生体計測から評価される嚥下特性との関係について検討した。最初に複数の多糖類系のゲル化剤を用いてテクスチャーが異なるゲルを調製し、TPA 試験から求められるパラメータと咽頭部流速との関係について検討した。また、それらのパラメータが咽頭部での食塊の流動性と関連する理由を明らかにするために、食塊の見かけの粘度測定を行った。さらに近年、嚥下障害の簡便な診断方法として注目されている嚥下音計測を行い、食物の嚥下特性と嚥下時間との関係につ

いて検討を行った。

## 3. 研究の方法

### (1) 試料

試料としては、三栄源エフ・エフ・アイ株式会社製の以下の 3 種のゲル化剤を用いて調製したゲルを使用した。ピストップ® D-2074 (以下、PS とよぶ) は、サイリウムシードガムを主成分とし、ケルコゲル® (以下、GE とよぶ) は脱アシル型ジェランガムを主成分とするゲル化剤である。サンサポート® G-1014 (以下、PG とよぶ) は、サイリウムシードガムと脱アシル型ジェランガムを混合したゲル化剤である。比較対照試料として、誤嚥しにくいとされるヨーグルト (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) TPA 試験

TPA 試験には、Stable Micro System 社 (UK) 製のレオメータ “TA-XT2i” を用いた。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、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 の樹脂製円柱型プランジャーを用いてクリアランス 5 mm (変形率 66.6%)、測定速度 10 mm/s 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、硬さ、付着性、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、測定温度は、全て 20 とした。

### (3) 咽頭部流速測定

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。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 6g とした。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。食塊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を示す流速スペクトルが得られる。得られた流速スペクトルから、既報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。 $V_{max}$  は、その算出法から、流速分布の広さ、つまり、流速分布の観点から咽頭部における“まとまり程度”を定量化していると解釈できる。

### (4) 嚥下音測定

嚥下測定には、咽頭マイク (有限会社南豆無線電機、静岡) とレコーダー (三洋電機株式

会社、大阪)を用いた。

被験者は椅子に腰掛け、背筋を伸ばした状態で、咽頭マイクを咽頭部に装着し、一定量の試料を咀嚼・嚥下した。その際の、嚥下直前から嚥下後の間に生じる音をレコーダーで録音した。嚥下量に関しては、5 g では、試料物性による波形の差異が見づらく、15 g の嚥下が困難な被験者もいたため、嚥下量 10 g で実験を行った。また、必要に応じて、被験者に試料の飲み込みやすさなどについて聞き取り調査を行った。

試料を嚥下後、得られた音響データをコンピュータに取り込み、ソフトウェア CSL-4400 (Kay Elemetrics Corp., NJ, USA) を用いて、波形データの観察と、再生した嚥下音の音調の変化とから、喉頭蓋閉鎖に関わる時間  $t_1$ 、食塊流動時間  $t_2$ 、喉頭蓋開口に関わる時間  $t_3$  を得た。

#### (5)ゲルの食塊の粘度測定

増粘剤溶液に関しては、ずり速度 20~30  $s^{-1}$  での粘度が  $V_{max}$  との相関が高いことは報告されている。ゲルなどの固体の場合、口腔内で咀嚼され唾液と混合されて流動性のある食塊となることから、ゲルの咀嚼物の粘度測定を行い、「硬さ」と  $V_{max}$  とが相関する理由についても検討した。

試料 6 g を口を含み超音波測定のとくと同様に咀嚼した後飲み込む直前に吐き出した食塊を 8-10 回分容器に集めた(食塊にして 50~60 g)、吐き出す操作は、1つの試料について 2 回以上行い、それぞれの食塊試料のみかけ見かけの粘度測定を下記の方法で行った。

粘度測定には、分散粒子が存在しても粘度測定が可能な B 型 (Brookfield-type) 粘度計 (東機産業株式会社製 TVB-25L 形粘度計) を用いた。この粘度計では、非ニュートン流体でも粘度がずり速度の関数として求められる。測定試料を入れる円筒容器は、直径 30 mm × 135 mm (H) のステンレス製の円筒容器を使用した。食塊の見かけの粘度測定は、飲み込む直前の状態に合わせるため、咀嚼直後の食塊の温度にて行った。ずり速度については、1.6~25.9  $s^{-1}$  で測定を行った。

## 4. 研究成果

### (1)TPA 試験

いずれの試料でも「硬さ」の値は濃度の増加に伴い増加した。また、本研究で用いた試料については、濃度やゲル化剤の種類を変えることによって、「硬さ」の大きさを「えん下困難者用食品」での重度の障害者用の許可基準の設定範囲である  $2.5 \times 10^3 \sim 1 \times 10^4$   $N/m^2$  で変えられることが確認できた。

「付着性」については、濃度の増加に伴い値がわずかに増加する傾向は示したが、GE で一部例外がみられた。また、いずれの試料においても「付着性」の値は 10~200  $J/m^3$  程度であった。

「凝集性」の値は、濃度上昇に伴って、PG および GE に関しては 0.2 程度まで減少したが、PS に関しては 0.8~1.0 の間でほとんど変化しなかった。

### (2) TPA 試験から求められるパラメータと咽頭部流速との関係

ゲルの  $V_{max}$  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。 $V_{max}$  は流速分布の観点から咽頭部において“まとまっている程度”を定量化していると解釈できる。さらに、ゲル化剤を添加することによって、食物は“まとまって”、低流速で咽頭部を通過すると解釈できる。添加するゲル化剤濃度増加によって、咽頭部で食塊がヨーグルトのように“まとまる”ようになることは、誤嚥の要因や嚥下困難者にとって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。

「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。「硬さ」の値が 1000  $N/m^2$  以上になると  $V_{max}$  値が 0.2~0.4 m/s 程度まで低下し、さらに数千  $N/m^2$  以上になるとヨーグルトと同程度の  $V_{max}$  値となった。つまり、「硬さ」が 1000  $N/m^2$  以上になると咽頭部を食塊が緩やかに流れるようになり、数千  $N/m^2$  程度になると  $V_{max}$  がヨーグルトと同程度となり、誤嚥の危険性が小さくなることを意味している。

「付着性」に関しては、値の増加に伴い  $V_{max}$  が減少する傾向がみられたが、GE については「付着性」の値が高い試料のほうが  $V_{max}$  が高いものもみられた。

「凝集性」に関しては、値が 0.2~1 近くまで変化したが、「凝集性」に対する  $V_{max}$  の依存性は試料によって異なっており、「凝集性」は咽頭部流速との関連が全くないことがうかがわれるた。

以上から現在のところ、TPA 試験から求められる 3 つのパラメータの中では、ゲル状試料の誤嚥の危険性の評価には、「硬さ」が最も適していると考えられる。一方、“まとまりやすさ”の指標とされる「凝集性」は、 $V_{max}$  との関連が見られず、嚥下困難者用介護食の指標としては適さないことが確認された。これは、「凝集性」が表す“まとまりやすさ”とは、試料に大変形を加えた際の破壊のしにくさ、変形後に応力を 0 とした際の形の戻りやすさで、誤嚥のしにくさと関連する食塊の形成しやすさではないためと考えられる。

### (3) 嚥下音測定と咽頭部流速との関係

水や、ヨーグルト、ゲルの嚥下音波形は、喉頭蓋閉鎖に関わる時間  $t_1$ 、食塊流動時間  $t_2$ 、喉頭蓋開口に関わる時間  $t_3$  とし大きく 3 つの部位に分けられた。時間  $t_1$  および  $t_3$  は、試料によって大きな差はみられなかったが、 $t_2$  は、水の方がヨーグルトより長く、試料による差がみられた。

ゲルの  $t_2$  の値は、試料濃度の増加に伴い減少し、ヨーグルトの  $t_2$  の値に近づく傾向がみられた。また、「硬さ」の値の増加に伴って  $t_2$  がやや減少する傾向がみられた。

いずれの被験者に関しても、 $V_{max}$  の値が減少するほど  $t_2$  の値は小さくなる傾向がみられた。 $t_2$  の値が 50~100 ms 程度であると、ヨーグルトと同程度の  $V_{max}$  の値となった。

$V_{max}$  は咽頭部流速分布の広さを表し、 $V_{max}$  の値が大きい試料（食塊）では、流速が大きい部位と小さい部位が存在する。咽頭部を通過する時間は、流速大の部位（試料素片）が流速小の部位より短いため、その結果、 $V_{max}$  が大きい場合、試料全体の通過時間である  $t_2$  が大きくなると考えられる。つまり、 $V_{max}$  の値が小さいほど  $t_2$  の値が小さいことにも矛盾がない。以上から、 $t_2$  と  $V_{max}$  は異なる物理量であるが、その増減傾向は類似していると考えられる。言い換えると、 $t_2$  あるいは  $V_{max}$  が大きい場合、咽頭部において流速分布が広く、つまり食塊が“まとまらずに”通過していることになる。このことから、 $t_2$  あるいは  $V_{max}$  は咽頭部における流速分布の観点において、食塊の“まとまりやすさ”（ $t_2$  あるいは  $V_{max}$  が小さいほど“まとまりやすい”）と解釈できる。

以上から、嚥下音測定から求められる食塊流動時間  $t_2$  は、ゲルに関して、食塊の“まとまりやすさ”（咽頭部流速分布の観点から）の簡易評価法となりうると考えられる。

#### (4) ゲルの食塊の粘度と咽頭部流速

いずれのゲルの食塊試料においても、ずり速度の増加によって粘度が低下する、いわゆるずり流動化が観察された。両対数グラフ上で、粘度 vs. ずり速度のプロットは直線になっており、用いたゲルの食塊の流動特性は見かけ上、power law に従うことが明らかとなった。また、同じずり速度では、濃度増加に伴って粘度の値は増加する傾向がみられた。Tashiro らは、レオロジー特性の異なる増粘剤溶液に関して検討し、ずり速度が 20-30  $s^{-1}$  における粘度が  $V_{max}$  との相関が高いこと、そのずり速度での粘度が 1 Pa·s 程度以上で  $V_{max}$  の値がヨーグルト程度になることを報告している（文献）。固体状食品では粘度は定義されないが、固体嚥下の際には、食品は咀嚼によって微細化され、唾液と混合され、流動性のある食塊となっているので、その見かけの粘度は本研究で用いた B 型粘度計のようにクリアランスの大きな粘度計であれば実測可能である。ずり速度 25  $s^{-1}$  における食塊の見かけの粘度も試料濃度増加と共に増大し、粘度の値が 1 Pa·s 程度以上では  $V_{max}$  の値がヨーグルトの値に近くなった。このことは、固体食品の場合にも、食塊のずり速度数十  $s^{-1}$  の粘度が咽頭部流速に大きな影響を与えていることを意味する。「硬さ」の値は濃度増加に伴って上昇したことから、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いと考えられる。

#### <引用文献>

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、日本食品科学工学会誌、52 巻、2005、441-447

A.Tashiro, A. Hasegawa, K. Kohyama, H. Kumagai, and 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)

#### 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)

秋間彩香、篠原由妃、谷米（長谷川）温子、石原清香、磯野舞、中馬誠、中尾理美、船見孝博、熊谷日登美、熊谷仁、嚥下困難者用介護食の基礎としての食品ゲルの嚥下音に関する音響解析、日本食品科学工学会誌、査読有、2016、印刷中

秋間彩香、遠藤樹里奈、原田珠希、谷米（長谷川）温子、熊谷仁、嚥下困難者用介護食の許可基準における TPA 試験法に関する考察 その 2、共立女子大学家政学部紀要、査読無、61 号、2015、85-98

秋間彩香、谷米（長谷川）温子、熊谷日登美、熊谷仁、“えん下困難者用食品”の基準中のテクスチャー試験法（TPA）に関する考察、日本食品工学会誌、査読有、15 巻、2014、15-24

#### 〔学会発表〕(計 10 件)

秋間彩香、佐々木明子、山形文乃、寺崎美里、谷米（長谷川）温子、熊谷日登美、熊谷仁、嚥下音測定による増粘剤溶液の嚥下特性の評価法 食物の物性および嚥下量と嚥下時間との関係、日本食品科学工学会 63 回大会、2016 年 8 月 25 日~27 日、名城大学（愛知県名古屋市）

山形文乃、秋間彩香、池田美加子、谷米温子、熊谷日登美、熊谷仁、嚥下困難者用介護食の物性と嚥下特性に関する研究”、日本食品科学工学会 62 回大会、2015 年 8 月 28 日、京都大学吉田キャンパス（京都府京都市）講演要旨集 p. 86

秋間彩香、山形文乃、池田美加子、谷米（長谷川）温子、熊谷日登美、熊谷仁、嚥下困難者用介護食の物性指標に関する考察、日本食品工学会第 16 回年次大会、2015 年 8 月 12 日、広島市立大学（広島県広島市）

山形文乃、秋間彩香、篠原由妃、谷米温子、熊谷日登美、熊谷仁、嚥下困難者用食

品およびユニバーサルデザインフーズの物性指標に関する研究、日本食品科学工学会 61 回大会、2014 年 8 月 30 日、中村学園大学（福岡県福岡市）

篠原由妃、秋間彩香、谷米温子、熊谷日登美、熊谷仁、多糖類ゲルのテクスチャーと嚥下特性、日本食品科学工学会 61 回大会、2014 年 8 月 30 日、中村学園大学（福岡県福岡市）

熊谷仁、食品の物性と水、日本食品科学工学会 61 回大会食品と水・研究小集会（招待講演）2014 年 8 月 29 日、中村学園（福岡県福岡市）

秋間彩香、田代晃子、谷米（長谷川）温子、熊谷日登美、熊谷仁、増粘剤溶液およびゲルの食塊の流動性と咽頭部における流速との関係、日本食品工学会第 15 回年次大会、2014 年 8 月 8 日、つくば国際会議場（茨城県つくば市）

秋間彩香、磯野舞、石原清香、中馬誠、船見孝博、篠原由妃、谷米温子、熊谷日登美、熊谷仁、食品の嚥下時における嚥下音の挙動と咽頭部流速分布との関係、日本食品科学工学会 60 回大会、2013 年 8 月 30 日、実践女子大学（東京都日野市）

篠原由妃、秋間彩香、谷米温子、熊谷日登美、熊谷仁、ゲル状食品の咀嚼物粘度と食塊の流速との関係”、日本食品科学工学会 60 回大会、2013 年 8 月 30 日、実践女子大学（東京都日野市）

秋間彩香、篠原由妃、谷米（長谷川）温子、熊谷日登美、熊谷仁、TPA 試験から求められるパラメータと多糖類ゲルの嚥下特性、日本食品工学会第 14 回年次大会、2013 年 8 月 10 日、京都テレサ（京都府京都市）

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

熊谷 仁 (KUMAGAI, Hitoshi)  
共立女子大学・家政学部・教授  
研究者番号：20215015

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：