

機関番号：32644

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500490

研究課題名(和文) 調製へのフィードバックを目指した介護・治療食品の粘弾性評価

研究課題名(英文) Viscoelastic evaluation feedback to the preparation of therapeutic food.

研究代表者

浅香 隆 (ASAKA TAKASHI)

東海大学・工学部・准教授

研究者番号：50266376

研究成果の概要(和文): 液体や食べ物を飲み込むことが困難な嚥下障害患者や、経腸栄養剤を摂取する患者に対し、増粘剤の利用が障害改善の一助となることが知られている。本研究は、嚥下障害患者とその家族の「生活の質の向上」を目指し、介護・治療食の調製に用いられる増粘剤を水や経腸栄養剤に添加して粘弾性を調査した。結果、増粘剤の種類や濃度、温度のみならず、経腸栄養剤と増粘剤との組み合わせにより粘弾性挙動が大きく変化することを見出した。

研究成果の概要(英文): For patients with dysphagia (swallowing disorder) or feeding enteral food, the use of thickeners well known to be an improve nutrition status. In this study, to improving "quality of life" for dysphagia patient and their families, the viscoelasticity of water or enteral food in combination with thickeners were measured. As a result, we found that the viscoelasticity of the enteral food drastically changes in combination with thickeners.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：介護予防・支援技術・介護食・嚥下食・流動食・経管経腸栄養

1. 研究開始当初の背景

健常者が何気なく行っている摂食動作、すなわち食べ物を咀嚼して破砕物(固体)を唾液(液体)と共に混合形成された食塊を嚥下する行為は、咀嚼や嚥下の機能が低下した高齢者や、脳血管疾患やパーキンソン病などの神経・筋疾患が原因となっている患者にとってはハイリスクな動作である。

一般に食品に求められる特性は栄養価や味、生体調節機能であるが、食べ物を普通に飲み込めない嚥下障害を有している場合には、むしろ「食べやすさ」が重要になる。

特に老人や、脳障害などで嚥下機能が低下した患者では摂食時に水や食物が肺へ入り誤嚥性肺炎を起こし、最悪の場合には死亡す

るケースもあるため、胃瘻(PEG)による経管栄養補給患者が増加の一途を辿っている。

しかし、嚥下障害患者のうち摂食・嚥下障害のリハビリテーションを行うことにより嚥下障害が改善される可能性があること、また入院中や退院後の患者と介護する家族の労苦を考えると、嚥下食の調理に関する情報提供はまさにQOL(生活の質)の向上に繋がると考えた。特に嚥下食で重要となる食品の物性は「粘性・かたさ・もろさ・付着性・凝集性・弾力性」などであり、これらの物性・要素は「テクスチャー」と総称されている。

しかし、嚥下障害患者に対しては咀嚼に関する要素のみならず「喉ごしがよく・誤嚥を起こしにくい」嚥下のしやすさ、つまりレオ

ロジータ的な物性・要素も重要であると考えられる。

誤嚥が生じないような嚥下食の開発は国内外の各機関で進められているものの、その評価方法は主観的かつ健常者による官能評価によることが多く、粘弾性といった定量的な物性評価と対比されることは希であること、また物性評価方法が多岐にわたり、必ずしも統一されていないことが判明した。

一方、経口より食事を摂取できなくなった患者に対しては、流動食（経腸栄養剤）をチューブにより消化器内へと導入する経管栄養補給が行われており、手術手技の進展に伴って PEG による栄養補給患者が年々増加している。

経管栄養補給のための流動食には様々な種類があるが、その基本は水分・電解質の補給（浸透圧調整）とエネルギー補給である。

さらに、経管経腸栄養補給をつける患者が下痢により脱水症状を呈することも問題となっており、その解決の一助として増粘剤により粘度を調整して腸内の滞留時間（投与速度）を増し、下痢の発生を防ぐという試みがなされている。

2. 研究の目的

本研究では、東海大学医学部附属病院の管理栄養士らの援助の下、附属病院にて提供している介護・治療食品（ゼリー食やソフト食のような嚥下食、ならびにペースト食や経腸栄養剤などの流動食）の粘弾性（粘度やテクスチャー）計測・評価を通じて、これらの結果を介護・治療食品の調理・調製方法へとフィードバックし、嚥下障害や経管栄養補給の患者とその家族の QOL 向上に繋げることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、代表的な増粘剤や凝固剤（寒天やゼラチン、市販の増粘・凝固剤）を用いて調製したゲル状食品をはじめ、医学部附属病院にて患者へ実際に提供する嚥下食（ゼリー食）や流動食（ペースト食）、さらに PEG 患者へ実際に投与する経腸栄養剤へ増粘剤を加えた半固形化栄養剤について、これらの調製条件と、

- (1) SV 型粘度計ならびに B 型粘度計を利用した粘度測定結果
- (2) クリープメータを利用したテクスチャー測定・解析結果

をもとに評価・考察を行った。

なお、方法の詳細については以降の「4. 研究成果」において成果と共に示す。

4. 研究成果

(1) 増粘・凝固剤添加による粘度変化

まず、市販されている介護食調製の増粘剤（ネオハイトロミール（フードケア製））や凝固剤（寒天（伊那食品工業製）やゼラチン（新田ゼラチン製）、イナアガーL（伊那食品工業製）やソフティア ENS（ニュートリー製））を用いて調製したものをはじめ、病院で調理したゼリー食（嚥下食）やペースト食（流動食）の粘度測定を行った。

嚥下食については冷蔵・凝固（4℃）、常温（20℃）、摂食時の体温程度（40℃）を考慮し、温度変化（4℃～20℃～40℃）を与えた際の粘度を振動式粘度計（エー・アンド・デイ製 SV-10 型。以降、SV 型粘度計と称す）を用いて調査した。

この結果、寒天はわずか 0.5% の濃度であっても凝固するが、ゲル体は硬くて脆く（さくい）、さらに加熱により離水が生じること、またゼラチンは 4℃ で凝固するが 20℃ 以上となると液化（解膠）することから、寒天やゼラチンを単独に添加するだけで嚥下食を調製するには難点があることを確認した。

一方、嚥下食調製用に市販されている凝固剤であるイナアガーL（伊那食品工業製）を用いると、温度変化が生じてもゼラチンのように液化することもなく、また寒天のような離水も見られないゼリー食が調製できた。

図 1 にイナアガーL を 1.6% 添加して調製した、二種類のゼリー食の粘度と温度との関係を示す。

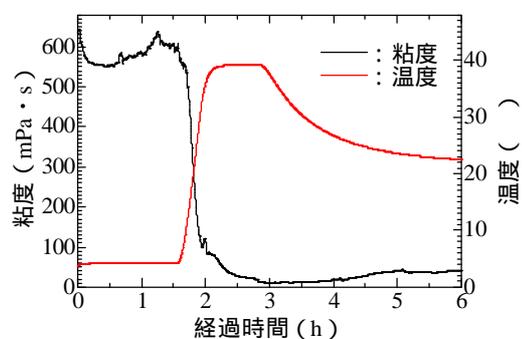


図 1(a) お茶ゼリーの粘度

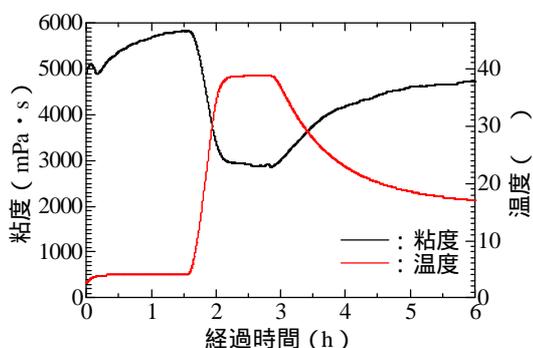


図 1(b) 里芋炒め煮ゼリーの粘度

ここで、(a)お茶ゼリーは 4 (調理後・冷蔵時)における粘度が 600mPa・s と高いが、20 (供食時)や 40 (摂食時)の粘度は 20~50mPa・s と、温度による粘度変化は少ない。一方、(b)里芋炒め煮ゼリーの粘度はお茶ゼリーに対して 4 では約 10 倍、40 では約 100 倍となった。里芋炒め煮ゼリーはペースト食をゼリー化したものであり、食材の里芋はデンプンをはじめ、粘性を有するガラクトン(糖質)とムチン(タンパク)との結合体を多く含むため、本結果のように粘度は高く、また温度の影響も受けやすいと考えた。なお、ISO9665 に準拠して測定した 4 におけるゼリー強度(ゼリーのかたさ)は、(a)お茶ゼリーでは 12g(930Pa)、(b)里芋炒め煮ゼリーでは 103g(7970Pa)であり、やはり固形物が含まれる(b)里芋炒め煮ゼリーのほうが「かたい」ことがわかる。以上、ゼリー食の粘度は食材の影響を大きく受けることを確認した。

つづいて流動食であるペースト食として、ミキサー五分粥へ増粘剤(ネオハイトロミール)を 1.25%添加した際の粘度測定結果を図 2 に示す。

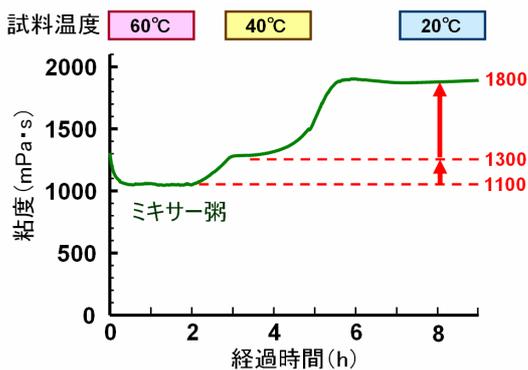


図 2 増粘剤を添加したミキサー粥の粘度

この結果、温度低下にともない粘度の増加がみられるが、40 20 における粘度増加は顕著であった。これは増粘剤よりもデンプンの糊化(老化)の影響が強く現れたためと考えた。なお、ここには提示していないが、ペースト食の場合は増粘剤未添加でも非常に高い粘度を示す等、食材により粘度が大きく変化することを確認している。

つぎに経腸栄養剤の粘弾性評価として、水や経腸栄養剤(アイソカル RTU(ネスレニュートリション製))へ増粘剤(ネオハイトロミール)や凝固剤(ソフティア ENS)を添加した際の粘度(20)を表 1 に示す。

まず、水の粘度は 1mPa・s、経腸栄養剤(アイソカル RTU)の粘度は 11mPa・s であるが、増粘剤(ネオハイトロミール)を 1%添加するだけで無添加時と比較して水の粘度は約 50 倍、経腸栄養剤の粘度は約 4 倍まで増加した。

表 1 増粘・凝固剤を添加した経腸栄養剤ならびに水の粘度

	添加量 ($W/V\%$)	粘度 (mPa・s)	
		水	アイソカル
無添加	0	1	11
ネオハイ トロミール	1	55	40
	2	180	230
	3, 5	600	800
ソフティア ENS	2, 15	2500	4000

さらに増粘剤の添加量と共に粘度は急増し、最終的には水も経腸栄養剤もほぼ同程度の粘度となった。この結果から、増粘剤は水に対して強く作用していると考えた。

一方、凝固剤(ソフティア ENS)を添加するとプリン状の半固形体が容易に得られ、その粘度は表 1 に示すように増粘剤添加の場合と比較して非常に高い値となった。

以上の結果を踏まえて、厚生労働省が示した「特定用途食品：高齢者用食品：そしゃく・えん下困難者用食品」の物性評価指標に基づき、回転円筒型粘度計(FungiLab 製 Viscostar Plus 型・以降、B 型粘度計と称す)を用い、ローター回転数 12rpm、試料温度 20 ± 2 の条件にて粘度を測定した。

図 3 は水ならびに経腸栄養剤(アイソカル RTU)へ増粘剤(ネオハイトロミール)を 2% 添加した際の SV 型および B 型粘度計による粘度測定結果である。

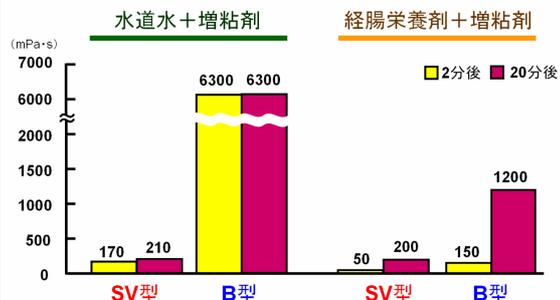


図 3 SV 型および B 型粘度計により測定した経腸栄養剤と水の粘度

この結果、同一試料でも SV 型よりも B 型粘度計により測定した粘度が高値を示した。

また厚生労働省が示した物性評価指標では、B 型粘度計を利用して測定開始 2 分後の粘度を採用することになっている。本結果によると水 + 増粘剤の組み合わせでは測定開始 2 分と 20 分後の粘度は同一であった。しかし、経腸栄養剤 + 増粘剤の組み合わせでは測定時間と共に粘度が増加し、水 + 増粘剤の粘度よりも低いという結果が得られた。

これらの結果より考察すると、まず粘度計の種類により粘度に差が生じる原因は、増粘剤の添加により「擬塑性(pseudo plasticity)」

が発現したためである。

水のようなニュートン性流体では、ずり速度が変化しても粘度は一定値を示すが、非ニュートン性流体ではずり速度に応じて粘度が変化し、すなわち非ニュートン性流体では“粘度を定められない”ということになる。

ここで SV 型粘度計は試料へ音叉状の振動板を挿入して約 8Hz の振動を与え、共振抵抗変化より粘度を算出するため、ゲル状（半固形体）試料に与えるダメージが少ない（ずり速度が低い）ことが利点である。一方、B 型粘度計は測定試料中で円筒（ローター）を回転させて、ローターが受ける「ずり応力」の変化より粘度を算出する。これは試料を絶えず攪拌しながら粘度を測定することと同義であり、半固形体試料では固化できにくいというデメリットに結びつくと考えられる。

粘度は物理量であり、基本的に測定装置による差はあってはならない。しかし、上述したように測定機構（ずり速度）の違いに加え、測定対象である増粘剤を加えた液体が「非ニュートン性流体・擬塑性」であることが粘度に差違を与える原因と考えた。

なお、経腸栄養剤 + 増粘剤の組み合わせで測定時間と共に粘度が増加する原因は、経腸栄養剤や増粘剤に含まれる成分の化学反応や結合によるものと推察した。

この理由は図 3 に示した結果に加え、B 型粘度計による測定結果が 1 時間経過後には 2300mPa・s となり、さらに増加を続けることに對し、40 分では約 10 分で粘度が一定値を迎えたためである。化学反応は温度上昇と共に反応速度が速まることから、経腸栄養剤 + 増粘剤の組み合わせにおけるゲル化反応は化学反応であること、さらに 20 分において経腸栄養剤へ増粘剤を添加しただけでは、短時間でゲル化が了しないことを見出した。

本成果は、第 56 回応用物理学関係連合講演会および第 13 回日本病態栄養学会年次学術集会にて公表した。

以上示した B 型粘度計による粘度測定では 500mL の試料容量を要した（SV 型粘度計では 10mL）。そこで、B 型粘度計による測定において試料容量の低減ならびに精密な温度管理を目的に、10mL 以下の試料容量で測定が可能な温度可変型少量サンプル容器（以降、APM と称す）を購入して粘度測定を行った。なお、厚生労働省が示した物性評価指標である B 型粘度計のローター回転数 12rpm に相当するずり速度は約 $3s^{-1}$ であるため、APM を利用した測定においては、数点のローター回転数における粘度を測定して粘度 - ずり速度線図を作成し、ずり速度 $3s^{-1}$ における粘度を補間して求めた。

表 2 には同一の熱量（200kcal/200mL）を有する二種類の経腸栄養剤（アイソカル RTU ならびにメイバランス 1k（明治乳業））へ増粘

剤（ネオハイトロミール）を 2% 添加して 10 分静置後、再び攪拌を行い、APM を利用して 20 分にて粘度を測定した結果を示す。

表 2 増粘剤（ネオハイトロミール）を 2% 添加した各種経腸栄養剤の粘度（20 分）

	粘度（mPa・s）	
	無添加	増粘剤添加
水	1	5670
アイソカル RTU	23	7210
メイバランス 1k	23	1850

表 2 より、偶然ではあるが双方の経腸栄養剤単独の粘度は共に 23mPa・s であった。しかし、増粘剤を添加するとアイソカル RTU では 7210mPa・s と水よりも粘度は増加し、一方、メイバランス 1k では 1850mPa・s と水よりも粘度は減少した。

このように、経腸栄養剤単体では同程度の粘度を呈しているにもかかわらず、増粘剤の添加により劇的に粘度が変化するのは、経腸栄養剤に含まれている安定剤やミネラルと増粘剤成分との化学反応（増粘多糖類同士の特異的な相乗・拮抗反応）によるためと結論づけた。

一般論として、私たちはキャラメルのような食品を温めれば柔らかく（緩く）なり、冷やせば固くなること、また玉子のようなタンパクを加熱すれば固くなること、さらに水溶性片栗粉のような増粘剤では濃度と共に粘度が増すことを「経験から体得」している。

しかし、「経腸栄養剤 + 増粘剤」では組み合わせによって粘度が劇的に変化したり、時間経過と共に粘度が増加するという現象が生じることを把握しておかないと、臨床の場のみならず在宅において家族が患者へ増粘剤を添加した経腸栄養剤を投与する場合、「経験から体得」したことがかえって「事故発生の原因」となる（事故発生のリスクが潜在している）という危惧を強く抱き、警鐘を鳴らす意味で第 71 回応用物理学学会学術講演会にて公表した。

(2) 増粘剤添加によるテクスチャー変化
市販されている介護食調製用の増粘剤や凝固剤を用いて調製したゲル体をはじめ、病院で調理した嚥下食（ゼリー食）や流動食（ペースト食）について、これまで示した粘度測定に加え、平成 20 年度の購入設備である「高分解能型クリープメータ（山電製 RE2-33005B 型）」と「自動解析ソフトウェア」を利用して、「かたさ・もろさ・附着性・凝集性」の各指標が得られるテクスチャー測定を行った。なお、測定にあたっては厚生労働省の「えん下困難者用食品」の物性測定指針に則り、温菜については 20 分と 45 分、冷菜については 20 分と 10 分で評価した。

図4にテクスチャープロファイルの例を示す。图中、写真で示したプランジャーが食品を圧縮 陥入 上昇 除荷するプロセスを2回繰り返す。まず1回目圧縮の最大ピーク高さが「かたさ」である。陥入して食品が破断・破碎して力が除かれる状況が「もろさ」に相当する。除荷する際、写真のようにプランジャーへ食品が付着した状況が「付着性」であり、これは粘度に相当する。つづいて2回目の圧縮工程で同様な状況が繰り返されるが、脆く・破碎しやすい食品では、圧縮2回目と1回目のピーク面積（エネルギーに相当する）の比（ $A2/A1$ ）=「凝集性」が1よりも小さくなり、一方、流体の場合では凝集性は1に近づく。

図5にはゼリー食の代表例として、濃度0.5%の寒天および1.6%のゼラチンゲルのテクスチャープロファイルを示す。

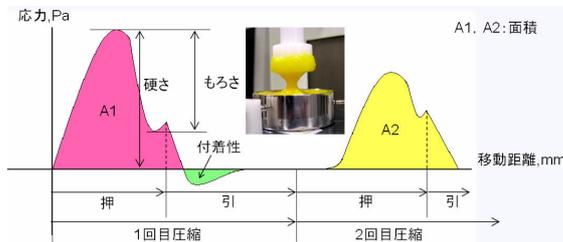


図4 テクスチャープロファイルの例

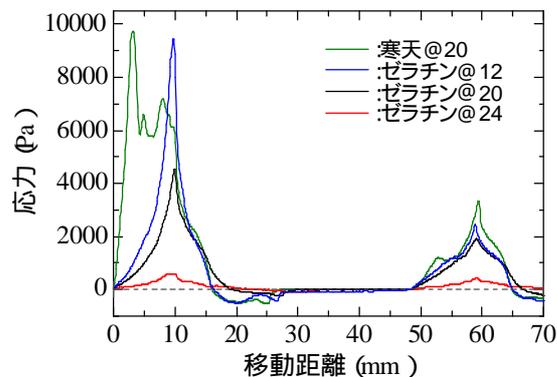


図5 寒天ならびにゼラチンゲルのテクスチャープロファイル

この結果は粘度測定結果を反映しており、寒天ゲルでは寒天濃度が0.5%であっても20のかたさ応力はゼラチンゲルの2倍となり、「かたい」ことがわかる。また、最大応力を迎えた後、約6000Paで推移しているが、これは寒天ゲルが脆く・崩壊したためである。一方、ゼラチンゲルは冷却すると寒天ゲルと同程度のかたさ応力を示すが、24では液化するためにかたさ応力は著しく低下した。

このようにテクスチャー解析結果からも、寒天やゼラチンを単独に添加して嚥下食を調製するには難点があることを表している。

図6には水やペースト食の代表であるミキサー五分粥へ増粘剤（ネオハイトロミール）を添加した際のテクスチャープロファイルを示すが、(b)ミキサー五分粥よりも、(a)増粘剤を添加した水のかたさ応力や付着性が高いことがわかる。また、(c)ミキサー五分粥へ増粘剤を添加するとかたさ応力や付着性は増加するが、45 20における粘度増加は顕著であった。この原因は、粘度測定結果と同様にデンプンの糊化（老化）やデンプンと増粘剤との反応によるものと考えた。

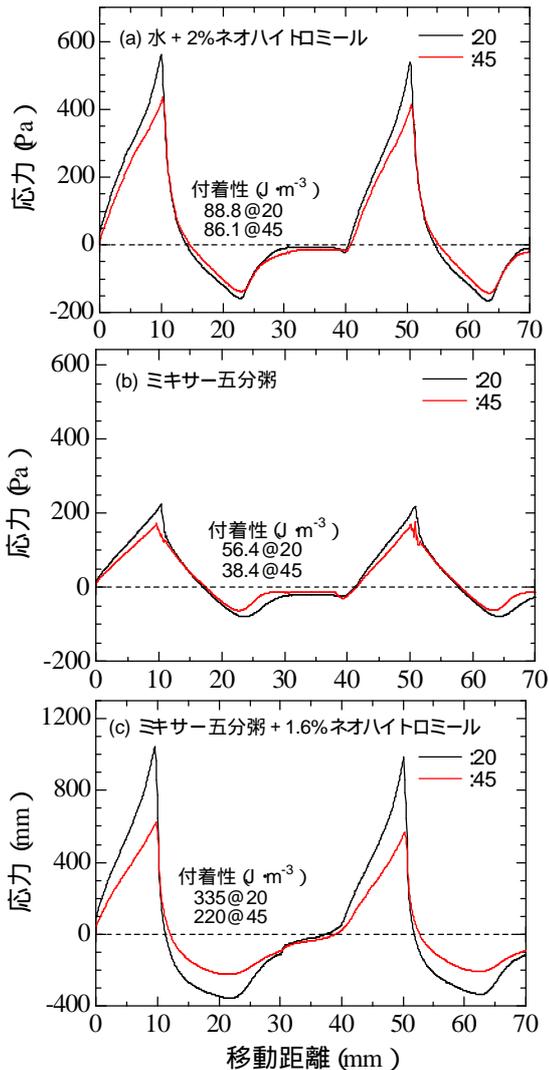


図6 各種ペースト食のテクスチャープロファイル

図7は増粘剤（ネオハイトロミール）を2%添加した経腸栄養剤（アイソカル RTU およびメイバランス 1k）のテクスチャープロファイルである。なお、増粘剤無添加の場合、テクスチャープロファイルは水も経腸栄養剤もほぼ同じ形状であった。これは、水のように低粘度の食品ではテクスチャーだけで物性を評価できないことを意味している。

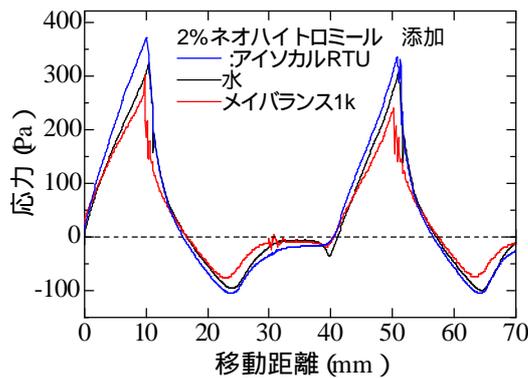


図7 増粘剤を添加した経腸栄養剤のテクスチャプロフィール

図7より、かたさ応力や付着性に関してはメイバランス1k<水<アイソカルRTUの順となることから、テクスチャー変化も粘度測定結果と同様、経腸栄養剤に含まれている安定剤やミネラルと増粘剤成分との化学反応・増粘多糖類同士の特異反応という考察を支持すると考えた。

さらに医学部付属病院にて患者へ提供している、かぼちゃを食材に用いたペースト食についてテクスチャー解析を行った。

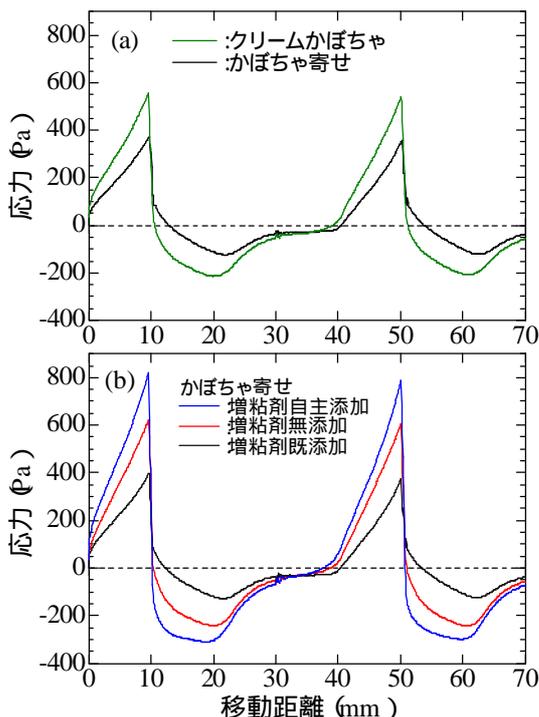


図8 食材にかぼちゃを用いたペースト食のテクスチャプロフィール

図8(a)に示す増粘剤(ソフティア1ゾル(ニュートルー))を添加したクリームかぼちゃとかぼちゃ寄せを比較すると、クリームかぼちゃのかたさ強度や付着性が高い。この理由は加温によりクリームかぼちゃに添加されている生クリームの液体脂肪が溶出、脂肪球同士が凝集・

固化するため、増粘剤より生クリームの影響を受け粘度が増加したと推察した。一方、図8(b)に別日に調理したかぼちゃ寄せのテクスチャプロフィールを示すが、増粘剤が無添加であるにもかかわらず、かたさ応力は図8(a)に示したかぼちゃ寄せの1.5倍あり、さらに等量の増粘剤を添加すると2倍にまで増加した。

本結果より、同一食材を用いたペースト食であっても増粘剤や調理手法によりテクスチャーが大きく変化することから、急遽、病院での食材・増粘剤の再選定や調理方法の検討へと本成果がフィードバックされた。

以上、交付された補助金にて購入した設備類を利用して治療食の粘弾性評価を行った。なお、当初計画に含めていた官能評価は諸事情により実施できなかったものの、本課題の主眼である「介護・治療食品の調製へフィードバック」は達成できたと自負している。

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)

[学会発表](計3件)

浅香隆, 菊川久夫, 徳丸季聡, 藤井穂波, 治療食(嚥下食・流動食)の粘弾性評価, 2009年春季第56回応用物理学関係連合講演会(2009年3月).

徳丸季聡, 浅香隆, 安積正芳, 櫻井千佳, 藤井穂波, SV型粘度計(振動式)を用いた病院食の物性測定(第1報), 第13回日本病態栄養学会年次学術集会(2010年1月).

浅香隆, 菊川久夫, 安積正芳, 元村久信, 徳丸季聡, 藤井穂波, 治療食の粘弾性評価, 2010年秋季第71回応用物理学学会学術講演会(2010年9月).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅香 隆 (ASAKA TAKASHI)
東海大学・工学部・准教授
研究者番号: 50266376

(2) 連携研究者

菊川 久夫 (KIKUGAWA HISAO)
東海大学・工学部・准教授
研究者番号: 50246162

(3) 研究協力者

徳丸 季聡 (TOKUMARU TOSHIAKI)
金沢大学附属病院・栄養管理部・管理栄養士

藤井 穂波 (FUJII HONAMI)
東海大学医学部付属病院・診療技術部栄養科・科長(管理栄養士)

安積 正芳 (ASAKA MASAYOSHI)
東海大学医学部付属大磯病院・診療協力部栄養科・管理栄養士

元村 久信 (MOTOMURA HISANOBU)
東海大学医学部付属大磯病院・診療協力部栄養科・科長(管理栄養士)