

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K15770

研究課題名（和文）食塊の易変形性に基づく食品の被嚥下特性評価法の開発

研究課題名（英文）Development of a novel method to evaluate swallowability of food bolus based on its deformability

研究代表者

服部 佳功 (Hattori, Yoshinori)

東北大学・歯学研究科・教授

研究者番号：40238035

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,400,000 円

研究成果の概要（和文）：食塊の易変形性の評価方法を開発し、種々の食品について、易変形性と官能試験による嚥下可否判断の関連を検討した。易変形性は、食品テクスチャー試験機を改造した装置で試験食品を圧搾、変形し、その際の反力の大きさに基づいて評価した。試験食品のうち水の重量比を変化させた即席マッシュポテトでは、水分量の増大に伴い易変形性は単調に増大したが、嚥下可否判断との関連は乏しかった。リンゴでは、フードプロセッサによる加工時間の増大に伴って易変形性は単調増加し、その変化と嚥下可否判断に関連を認めた。

研究成果の概要（英文）：We developed a method for evaluating deformability of food bolus. It utilized a food texture analyzer and a special jig to squeeze a test food bolus, and evaluate its deformability by using the peak reaction force at that moment as the index. As for instant mashed potatoes with various water content, the deformability monotonously increased with an increase of water content; however, mutual relation between the deformability of a test food and subjective judgement on its swallowability was not found. In case of apples, which were ground in a food processor to various degrees, deformability monotonously increased with increasing processing time, and related to subjective judgement on swallowability.

研究分野：老年歯科学

キーワード：嚥下 食品 食塊 易変形性

1. 研究開始当初の背景

常食の摂取が困難な人々に向けて開発された介護食の要件には、おいしさや見た目の美しさ、成分や栄養価など、食品が備えるべき一般的要件に加え、食べやすいこと、飲み込みやすいことが含まれる。前者は食品の嚥下可能な状態までの被加工性であり、後者は嚥下時点での被移送性と言い換えて良い。

介護食の利用者は咀嚼・嚥下機能が低下している。口腔内で嚥下可能な状態にまで加工するのに高い咀嚼能力や咀嚼運動量を要さない食品が、食べやすい食品と評されるのであろう。一方、嚥下とは、口腔から食道以遠へと食塊を移送する過程であり、それは気道を閉鎖して食道を開口したわずかな時間のうちに完了しなければならない。つまり、嚥下の安全性と関連の深い食品側の因子に食塊移送の容易さがあり、凝集性や易変形性、粘膜との間の潤滑性に富む、移送に適した食塊が、飲み込みやすいと評されるであろうと推察される。

今日、介護食の備えるべき物理的要件は、食品そのものの硬さ、凝集性、付着性(「えん下困難者用食品」の基準)や硬さと粘性(「ユニバーサルデザインフード」の基準)などに基いて定められている。しかし、上述の観点からは、これらに加えて口腔における被加工性や、嚥下可能な食塊に加工された時点での被移送性を評価する視点を導入することの必要は明らかである。これは、要介護者の口腔機能に見合った食品選択を可能にするうえで、避けて通れない課題といえるだろう。

これらふたつの特性を評価する際に問題となるのが、嚥下可否判断の基準が不明瞭であることである。今日、口腔での食品加工の過程を機械的に模倣する咀嚼シミュレータが開発されており、たとえば仏 INRA の開発した chewing simulator は食品を粉碎する上下顎歯列、粉碎された食品粒子を歯列上に移送する舌、唾液注入部のほか、咀嚼中の唾液や揮発成分を採取、分析する機構を備え、咀嚼進行に伴う味覚、嗅覚の変化の実験的検討が可能である(図1)。

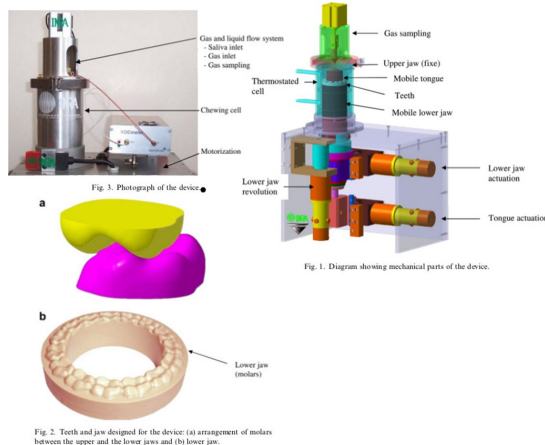


Fig. 2. Teeth and jaw designed for the device: (a) arrangement of molars between the upper and the lower jaws and (b) lower jaw.

図1 INRAの咀嚼シミュレータ

(Salles C et al. *J Food Eng* 2007; **82**: 189-198)

咀嚼食塊における嚥下可否の判断基準が明確になれば、咀嚼シミュレータを用いて嚥下可能になるまでの咀嚼量から被加工性を評価したり、その時点の食塊の物理特性から被移送性を評価できる。

しかし、嚥下可否の判断基準には未だ定説がない。かつては歯科領域において、嚥下時点の食塊の水分量や粒状性が調査され、同一食品を同一個人が摂取する場合、それらに高い再現性を認めるなどの成果が報じられていたが、個人や食品を跨いだ汎用的な基準に議論が及んでいなかった。

一方、食品科学の領域では双閾値モデル(図2)が知られている。咀嚼進行に伴い、食塊の構造と潤滑性が変化し、それらがそれぞれの嚥下閾値を超えたときに、食塊は嚥下可能になるというモデルである。

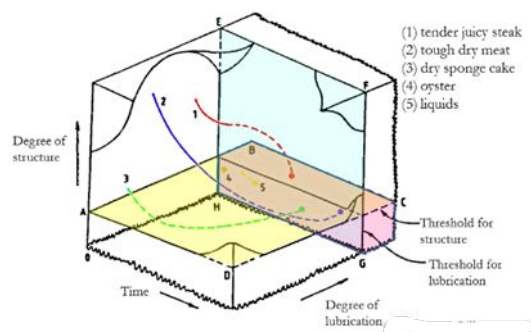


図2 Hutchings と Lillford の双閾値モデル (Hutchings JB, Lillford PJ. *J Texture Stud* 1988; **19**: 103-115)

モデル自体は長らく仮説にとどまっていたが、著者らが2014年度に挑戦的萌芽研究の助成を受けた「食塊の口腔粘膜に対する潤滑性に基づく食品の被嚥下特性評価法の開発」において、ウシ食道から剥離した筒状の粘膜標本を用い、そのなかに食塊を入れ、ローラーに挟んで一定の力で引き絞り、食道粘膜内の食塊の移送速度を測定することにより、食塊の粘膜に対する潤滑性を評価する方法を開発した(図3)。

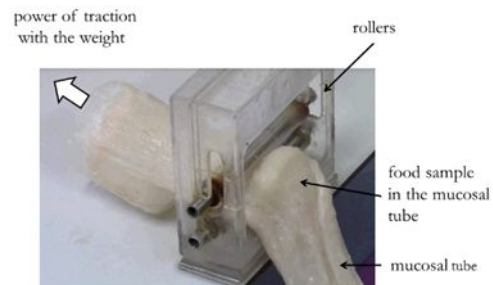


図3 食塊の潤滑性評価装置の一部

この研究では、即席マッシュポテトに種々の重量比で水を混和した試験食品を被験者の舌上に置き、咀嚼なしに直ちに嚥下できるかを訊ねる官能試験を行うと同時に、食道粘膜内を食塊が移送される速度を測定し、両者

の関連を検討した。その際、咽頭括約筋の蠕動波伝播速度である 108 mm/s を超える場合に嚥下に要する潤滑性が備えると判断したところ、この条件を満たす水分量 80 wt% および 85 wt% のマッシュポテトの嚥下可能性を被験者の 60% 以上および 90% 以上が肯定的に評価する一方で、潤滑性がこの基準に満たない 60~75 wt% のマッシュポテトの嚥下可能性における肯定的評価は 10% 未満であり、潤滑性と嚥下可否判断の関連が示された。

一方、双閾値モデルで想定された食品の構造については、Seo らが嚥下における食品のコンプライアンスの概念を、測定方法とともに提案している(図 4)。円柱状容器に満たした食品を、直径が容器の内径と等しく、中央が梵鐘型に陥凹した円柱状のプランジャーで押し、食品の外形が円柱状から梵鐘型に変化するのに要する力を、変形しやすさの指標とする工夫である。

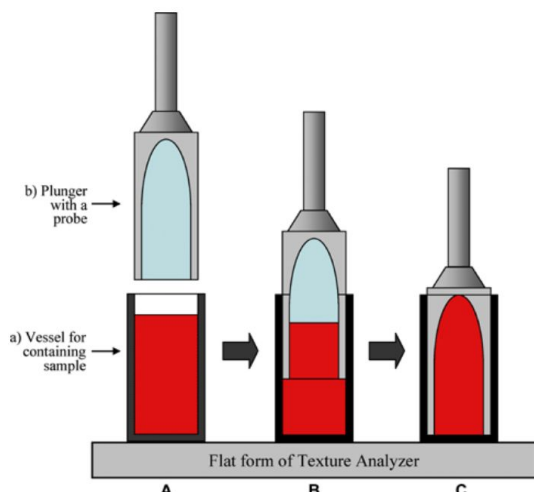


図 4 Seo らの食品 compliance 評価法 (Seo HS et al. *J Food Sci* 2007; **72**: S707-713)

この研究で Seo らは、測定されたコンプライアンス値と官能評価の結果に有意な相関を報じたが、嚥下可否判断に関して、コンプライアンス値の閾値が食品を跨いで設定できるか否かについては検討していず、コンプライアンス値として評価される食品物性と嚥下可否判断の関連はいまだ不明である。

介護食開発には物性に関する明確な基準が必要だが、既に述べたように口腔における食品の被加工性や、嚥下食塊の被移送性に関する基準はない。その評価法の開発や、評価基準の策定には、ヒトにおける嚥下可否判断に用いられる食塊特性、とくに食品構造に関する特性解明の必要性が認められていた。

2. 研究の目的

介護食の利用者に、その摂食嚥下機能に見合った介護食を提供するには、介護食の区分と摂食嚥下機能の関連を明確化する必要がある。著者らは、食塊の潤滑性と易変形性が嚥下食塊の被移送性を構成する具体的要件

であるとの仮説を設け、本研究においてその検証を試みた。

すなわち本研究の目的は、(1) 食塊易変形性の評価方法を開発し、(2) 咀嚼進行に伴う食塊易変形性の変化と嚥下可否判断の関連を解明することにある。

3. 研究の方法

(1) 試験食品

本研究では、介護食として利用される食品を想定し、以下の 3 食品を用いた。

市販の即席マッシュポテト(雪印メグミルク社製)に水を重量比で 60~85% まで、5% 刻みで添加し、体積 4 ml の円柱状に賦形したもの

かまぼこ(堀川社製、堀川のかまぼこ)をフードプロセッサで 30 秒間細分して、ペースト状に加工し、これにゲル状油脂(主成分: 食用植物油・中鎖脂肪酸油・食用精製加工油脂、日清オイリオグループ社製、マトメアップラス)を重量比で 0~20% まで、5% 刻みで添加し、体積 4 ml の円柱状に賦形したもの

リンゴ(青森県産、ふじ)の 3 個の皮を剥き、4 分割し、種子を含む中央部分を除去したのち、フードプロセッサにて 3 秒、6 秒、12 秒、24 秒および 48 秒間細分したもの。重量 4 g。

包丁でみじん切り(概ね 3 mm 角)にしたニンジン(品種不明) 3 g に、量(0、1、2、3 ml)と濃度(0、3、6%)の異なる介護食用増粘剤(クリニコ社製、つるりんこ Quickly、主成分: デキストリン、キサンタンガム)を添加したもの。

(2) 食塊易変形性の評価方法

屠殺直後のウシ食道から筋と粘膜下組織を可及的に除去した筒状の粘膜標本作製し、これに試験食塊を入れる。これを幅 20 mm、深さ 40 mm の桶状の溝を刻んだ容器に置き、幅 19 mm、高さ 20 mm から 5 mm まで圧平し、プランジャーに作用した反力を易変形性の指標とした。反力が小さいほど、易変形性が高いと評価する。

測定には食品テクスチャー試験装置(島津製作所社製、テクスチャーアナライザー、プランジャー降下速度: 1000 mm/min)ならびに自製のプランジャー等を用いた。

(3) 食塊の嚥下可否に関する官能評価

試験食品を舌上に置き、咀嚼することなく直ちに嚥下するように指示し、嚥下可否や嚥下の難易を、容易に嚥下できた、困難を感じたが嚥下できた、嚥下できなかった、の 3 段階で評価させた。3 回の試行で、評価が「のみもしくは」とであれば「嚥下可」、のみもしくはとであれば「嚥下不可」、のみであれば「中立」ともし

くは の場合は「混乱」とした。

また各試験食品について、それぞれ水分量、油脂量、細分程度の相違が、口腔においてどのようなテクスチャー感覚の相違として感じられたかを聴取した。聴取にあたっては、まずオープンクエスチョンで自由回答を求め、次いで日本語テクスチャー用語(445語、早川文代ほか、日本食品科学工学会誌 2005; 52: 337-346)を呈示して、感覚の相違を最もよく表現する語を選択させ、さらに特性別の用語分類の中・小分類を記した表(早川文代、日本食品科学工学会誌 2013; 60: 311-322に基づいて作成)を示して、感覚の相違がどの特性のドメインに属すると感じられたかを訊ねた。

4. 研究成果

本研究に用いた4種の試験食品について官能試験による嚥下可否判断を調査し、概略、以下の結果を得た。

即席マッシュポテトの「嚥下可」の評価は、加えた水の重量比に依存して増大し、これに伴い「嚥下不可」は減少した。「中立」は水分量75%と80%に含まれ、「混乱」はなかった。かまぼこは、すべて「嚥下可」であった。リンゴは、フードプロセッサによる加工時間3秒では、すべての被験者が「嚥下不可」と評価したが、加工時間の増大とともに「嚥下可」の比率が増え、24秒と48秒では全員が「嚥下可」と評価した。ニンジンはすべて「嚥下不可」または「中立」で、増粘剤の添加による系統的な影響は認められなかった。

マッシュポテト試料におけるテクスチャー感覚の変化は、1.3「凝集の小ささ」、1.4「変形しやすさ」、3.3「水分」のドメインの変化として感じられることが多かった。かまぼこは2.3「なめらかさと均一性」および3.1「脂肪」、リンゴは2.4「粗さと不均一性」および3.3「水分」、ニンジンは1.5「粘りとぬめり」および3.3「水分」の変化を指摘するものが多かった。

上述の官能試験の結果から、試験食品の易変形性と嚥下可否判断の関連は、マッシュポテトならびにリンゴのみで可能であった。

マッシュポテトは、水分量の増大に伴って圧縮に対する反力は単調に減少し、易変形性が単調に増大することが示された。また水分量の変化に対する易変形性の変化は、水分量が小さい範囲で、より大きかった。しかし多くの被験者で嚥下可否判断が分かれる水分量75%と80%の間で反力の差は小さく、既に粘膜に対する潤滑性と嚥下可否判断の関連が示されているこの食品では、易変形性はより水分量が小さいうちに条件が満たされ、結果として嚥下可否判断への関与が小さいことが推察された。

リンゴについても、フードプロセッサによる加工時間の増大に伴い、反力は単調に減少し、易変形性の単調増加が認められた。この

試験食品では、加工時間3秒~12秒における易変形性の上昇が著しく、24秒以降の変化は乏しかった。リンゴにおける易変形性の変化は、嚥下可否判断の変化と関連が認められ、水分量の多いこの食品では、液性潤滑による粘膜との潤滑性によって上昇する被移送性に比べ、易変形性が嚥下可否判断により強く関与することが推察された。

本研究では、現有装置の制約から、プランジャーによる食品の変形速度を16.7 mm/s以上にすることができなかった。しかし、従来の報告でこの速度では、それを遅く評価したもので40 mm/sほどとしている。食塊は、口腔、咽頭、食道と、断面形態や断面積の異なる管腔を、形状を変化させつつ、この速度で移送されなければならないこと、形状変化の速度と易変形性には当然ながら関連が予想されることを考慮すれば、プランジャーをより高速で駆動できる装置を用い、同様の検討を繰り返す必要が推察された。また試験食品の選定にも更なる配慮が必要と考えられた。

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 0 件)

〔学会発表〕(計 2 件)

1. 古川奈緒, 田中恭恵, 服部佳功. 食べる機能と食形態の関連 増粘剤の添加が咀嚼能率に及ぼす影響 . 日本補綴歯科学会平成28年度東北・北海道支部学会大会, 一般口演, 2016年10月30日, 於北海道大学工学部オープンホール.
2. Tanaka Y, Furukawa N, Hattori Y. Does thickening agent for dysphagia management affect efficiency of peanuts chewing in healthy individuals? 4th International Conference on Food Oral Processing (FOP2016): Food Oral Processing through life: interplay between food structure, sensory, pleasure and nutritional needs, 3-6 July 2016, the Swiss Tech Convention Center, Lausanne, Switzerland.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

服部 佳功 (Hattori, Yoshinori)
東北大学・大学院歯学研究科・教授
研究者番号：40238035

(2)研究分担者

猪狩 洋平 (Igari, Yohei)
東北大学・大学院歯学研究科・助教
研究者番号：10734270

田中 恭恵 (Tanaka, Yasue)
東北大学・大学院歯学研究科・助教
研究者番号：50613064

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし