

食品の「飲み込みやすさ」を数値化

～嚥下食の安全性評価に新手法～

ポイント

- ・嚥下食の「飲み込みやすさ」を粘着試験により工学的に評価する新手法を開発。
- ・ホタテムースと全粥を用い、咽頭粘膜への付着・はく離挙動を数値化。
- ・高齢者や嚥下障害患者の誤嚥リスク低減や食事の最適化に貢献。

概要

北海道大学大学院工学研究院の高橋航圭准教授、北海道大学病院栄養管理部の熊谷聡美栄養士長らの研究グループは、嚥下食の「飲み込みやすさ」を、工業用粘着テープの試験手法を応用して評価する新しい方法を開発しました。この研究により、従来の粘度測定では評価が難しかった固形や半固形の食品について、咽頭粘膜への付着・はく離を数値化することで、より実態に近い「飲み込みやすさ」の評価が可能となります。

高齢化が進む日本では、嚥下障害を抱える患者数は増加の一途を辿っています。嚥下障害は誤嚥性肺炎などの重大な健康リスクと密接に関係し、食べやすく安全な嚥下食の開発が急務です。これまでに、粘度測定や経験に基づく評価手法が提案されてきましたが、特におかゆやムース状食品などの半固形食では適切な定量評価が困難でした。

本研究では、食品と咽頭粘膜との間に生じる「べたつき」に着目し、工業用粘着テープの評価に用いられるはく離試験を応用しました。ホタテムースと全粥を試料とし、増粘剤や唾液モデルを加えた条件で、咽頭部表面を模したシリコンシートとのせん断力・はく離力を計測する手法を開発したことで、嚥下時の食品の残留や飲み込みやすさを直接評価できるようになりました。これにより、従来の粘度評価だけでは見逃されていた「咽頭への残りやすさ」なども評価可能となりました。

実験の結果、ホタテムースは増粘剤の添加によって付着力が増してはく離しにくくなり、粘度測定による従来の評価手法と同じ傾向を示しました。唾液モデルの添加によって付着力が低下しましたが、シリコンシート表面には残存してしまい、結果として飲み込みにくくなってしまう可能性が示されました。一方で、全粥のように米粒と液体が混ざった不均質な食品では、増粘剤によって粘度が低下したにも関わらず、せん断力・はく離力には大きな変化が見られず、従来の粘度評価だけでは「飲み込みやすさ」を予測するのが困難なことが明らかとなりました。唾液モデルの添加によってシリコンシートへの残存が無くなったことから、全粥の場合には唾液が飲み込みやすさに寄与することを定量的に示しました。

本手法により、固形に近い嚥下食を対象にした「飲み込みやすさ」の評価法が確立できたと言えます。今後は、唾液に含まれる消化酵素の効果やより現実的な咽頭粘膜モデルを組み合わせた実験系を構築し、個々の患者の状態に応じた食事設計や、嚥下リハビリテーションへの応用を目指していきます。

なお、本研究成果は、2025年7月28日（月）公開の Food Hydrocolloids 誌にオンライン掲載されました。

【背景】

日本では超高齢化が進行し、嚥下障害を抱える高齢者が急増しています。嚥下障害は食物を安全に飲み込むことが困難となり、誤嚥性肺炎や栄養不良のリスクを高める重大な健康問題です。そのため、嚥下しやすく安全な嚥下食の開発が求められています。従来、嚥下食の「飲み込みやすさ」は経験則に依存していましたが、近年は粘度測定による評価手法が提案されています。

しかし、粘度計測は固形に近い食品への適用が困難なため、適切に評価できていませんでした。本研究は、嚥下時に食塊が咽頭粘膜に付着・はく離する現象に着目し、粘着テープを対象に確立された工学的手法を応用して科学的かつ定量的に嚥下の容易さを評価する新たなアプローチを提案するものです。

【研究手法】

本研究では、粘着テープのはく離試験を応用することで、食品と咽頭粘膜との界面におけるせん断力・はく離力を計測する手法を考案しました。シリコンゴムシートを咽頭粘膜モデルとして用い、食品サンプルにはホタテムースと全粥を選定しました。まず、これらに増粘剤や唾液モデル(PEO 溶液)を加え、食品自体の粘弾性を動的粘弾性解析(DMA)で評価しました。

続いて、シリコンゴムシートとの間に生じるせん断力・はく離力を嚥下における付着・はく離挙動として数値化しました。食品自体の粘度だけでは評価できない、咽頭粘膜との相互作用を直接測定し、嚥下しやすさの工学的理解を可能にしました。

【研究成果】

実験では、ホタテムースは増粘剤の添加により粘度と付着力が増大し、咽頭への残留リスクが高まる結果となり、従来の粘性による評価と同じ傾向が得られました。唾液モデルを加えることではく離力は低下し、シリコンゴムシートへ残存しやすくなってしまい、食べにくくなることを示唆する結果となりました。全粥では、増粘剤により粘性が低下しましたが、せん断力・はく離力との相関は見られませんでした。唾液モデルを加えると、はく離力の低下とともにシリコンゴムシートへの残存も見られなくなり、唾液によって飲み込みやすくなることを示唆する結果となりました(図1)。

つまり、食品自体の粘度評価だけでは嚥下特性は予想できず、食品による不均質性並びに咽頭との相互作用が付着挙動に強く影響することが示されました。これにより、食品の粘弾性に加えて「咽頭への付着性」を指標とした、嚥下食の新たな評価基盤を提示しました。

【今後への期待】

本研究で確立した粘着試験を用いた嚥下評価法は、嚥下食の工学的な設計・開発や安全性向上に大きく貢献することが期待されます。今後は、消化酵素を含む実際の唾液や、生体模倣モデルを用いたより現実的な評価系の構築へと進めていきます。

さらに、患者ごとの嚥下機能や咽頭の状態に応じた個別化された食事設計や、嚥下リハビリテーションの支援ツールとしての応用も見込まれます。今回の手法は嚥下食だけでなく、栄養補助食品や新規食品開発の食感設計にも応用可能であり、高齢者の健康寿命延伸や誤嚥性肺炎の予防に寄与することが期待されます。

【謝辞】

本研究は、北海道大学研究戦略室・総合イノベーション創発機構(創成特定研究事業)の助成を受けたものです。

論文情報

論文名 Adhesion testing of dysphagia diets for the quantitative evaluation of swallowing (嚥下の定量的評価に向けた嚥下障害食の粘着力試験)
著者名 高橋航圭¹、吉田稜生²、大家広平³、熊谷聡美⁴、田坂裕司¹ (¹北海道大学大学院工学研究院、²北海道大学大学院工学院、³名古屋大学大学院工学研究科、⁴北海道大学病院栄養管理部)
雑誌名 Food Hydrocolloids (食品科学の専門誌)
DOI 10.1016/j.foodhyd.2025.111816
公表日 2025年7月28日(月)(オンライン公開)

お問い合わせ先

北海道大学大学院工学研究院 准教授 高橋航圭 (たかはしこうすけ)

T E L 011-706-6420 F A X 011-706-6420 メール ktakahashi@eng.hokudai.ac.jp

U R L <https://mfem.eng.hokudai.ac.jp/>

配信元

北海道大学社会共創部広報課 (〒060-0808 札幌市北区北8条西5丁目)

T E L 011-706-2610 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

【参考図】

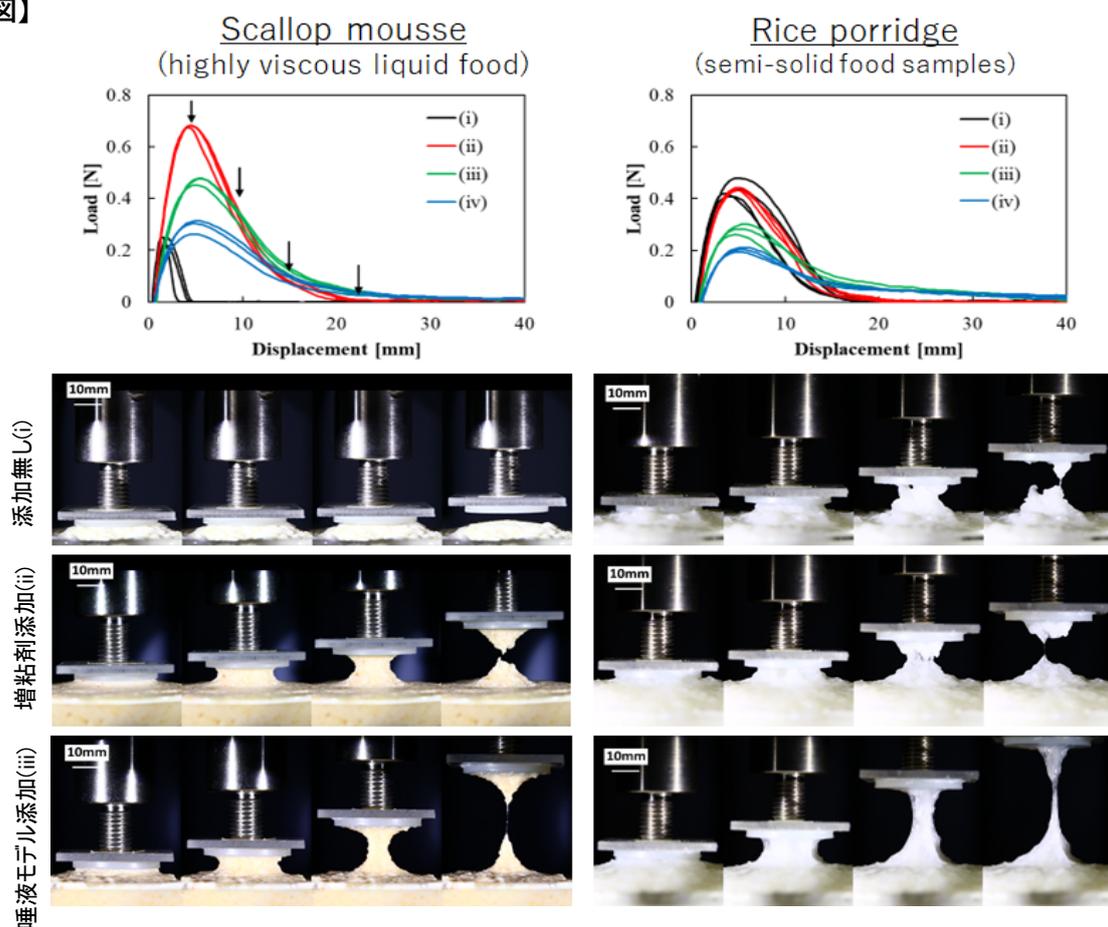


図 1. ホタテムース (左) と全粥 (右) のプローブタック試験*1、グラフの横軸はプローブの変位、縦軸はプローブに働く荷重を示している。

【用語解説】

*1 プローブタック試験 … 粘着剤の「タック」、つまり瞬間的な粘着力を評価する試験方法。円柱状のプローブを粘着面に接触させた後、引き剥がす際の力を測定することで、粘着剤の初期の接着特性を数値化する。