

帝京平成大学 大学院

学位論文の要旨

氏 名 芝崎 本実

博士論文題目

ヒト胃消化シミュレーター（GDS）を用いた澱粉性主食および介護食モデルの胃内消化挙動に関する基礎的研究

要 旨

【背景】

高齢者の健康維持・増進の観点から、低栄養の改善は重要な課題である。低栄養の一因は、加齢による咀嚼・嚥下機能、唾液・胃液分泌機能といった生理機能の低下による栄養摂取・吸収不良であると報告されている。通常、食塊が胃内に流入すると、胃内は塩酸により強い酸性を示す。一方、高齢者は胃液分泌量の低下により、胃内 pH が高い状態となり、これが食品の消化挙動に影響を与える可能性がある。

摂食後、食品の消化過程において、胃内滞留時の消化挙動には不明な点が多い。ヒトの胃内消化では、唾液や胃液による化学的消化に加え、ぜん動運動による物理的消化が重要な役割を果たしている。しかし、胃内消化に関する報告の多くは、化学的消化に関する評価であり、物理的消化を考慮した研究手法や知見は少ない。

以上を踏まえ、本研究では、胃のぜん動運動を定量的に模擬し、食品の胃内消化挙動を直接観察できる装置であるヒト胃内消化シミュレーター（Gastric Digestion Simulator：以下、GDS）を用い、**研究 1** では、澱粉性主食の種類による消化挙動の違い、**研究 2** では、研究 2-1 として介護食モデル（とろみ剤添加の有無および濃度の違い）と、研究 2-2 では、胃内 pH が消化挙動に及ぼす諸特性について検討した。

【対象（試料）】

研究 1 白米飯、食パン、うどん、十割そば、中華麺およびスパゲティの 6 種類

研究 2

- ・ 研究 2-1 全粥
- ・ 研究 2-2 全粥、全粥＋とろみ剤（キサンタンガム系 1.3 %、2.7 %、5.5 %）

【実験方法】

研究 1 では、試料を人工唾液 30 mL（pH 7.0）と混合後、人工胃液 240 mL（pH 1.3）を加え、GDS 容器にて 180 分間の人工胃内消化試験（ぜん動運動の進行速度 2.5 mm/秒、周期 1.5 回／分）を行った。試験中、ビデオカメラで消化挙動を撮影し、直接観

察を行った。試験開始前後 30 分毎に計 6 回、消化物の上部液層部よりサンプルを採取し、pH を測定した。試験終了後、消化物を目開きの異なる 4 種類の篩で分級し、各画分の湿潤重量を測定した。**研究 2** も同様の方法とし、高齢者の唾液分泌量低下、胃内 pH の上昇を考慮し、人工唾液を 10 mL、人工胃液には pH が異なる 4 種類 (pH 1.3、2.0、3.0、5.0) を用いた。

【分析方法】

1. 直接観察：試料の微細化、消化物の浮遊・沈殿を経時的に評価

- ①GDS 容器正面から撮影した試験映像を時系列に観察
- ②30 分毎に pH 測定・評価
- ③食塊と胃液から構成される堆積層の見かけ体積比を時系列に算出・評価
- ④各画分で捕捉された消化物の粒子形状の観察とサイズ分布および重量評価

2. 栄養成分の分析：消化物のタンパク質と糖質（澱粉消化物）を経時的に評価

消化物から採取したサンプルを高速液体クロマトグラフィ (HPLC) に供し、得られたクロマトグラムから、ピークの相対保持時間 (分) および合計面積 (AREA) を求めた。

- ①タンパク質の消化物の分子量 (1 万～100 万まで) の評価
- ②糖質消化物である単糖およびオリゴ糖 (C7 以下と C8 以上) 量の評価

【結果および考察】

研究 1

・直接観察

澱粉性主食は、いずれも上部の液層と下部の粒子堆積層の二層で構成され、経過と共に粒子堆積層上面に白濁液層が出現し、成分が拡散して放出量の増加が認められた。特に、白米飯は胃液の浸透による膨潤により、体積が増加する様子が観察できた。分級後の消化物は、白米飯では粒子表面に糊状物質が付着し、食パンおよび十割そばは糜粥状、うどんやスパゲッティは粒子表面の削弱はみられたものの微細化しにくいことが観察できた。食品の有する組織構造によって、胃内消化挙動が異なる可能性が明らかとなり、胃内停滞時間への影響も示唆された。

・栄養成分分析

タンパク質消化物の合計面積は、食パンでは試験前の 4.1 倍まで増加、その他は 1.4～1.7 倍となった。また、澱粉消化物の合計面積の変化率は、食パンや十割そばが 2.1 倍と 1.3 倍に増加し、その他は 1.1～1.3 倍であった。澱粉性主食の有する組織構造の違いや栄養成分の含有量により、栄養成分の放出・拡散においても様々な様子を呈することが直接観察で確認できた。それらは、タンパク質および澱粉の消化にも関わっていると推察した。

研究 2

・直接観察

介護食モデルでは、全粥は膨潤し、ぜん動運動によって糜粥化した。一方、とろみ剤添加では、胃液がとろみ剤に浸透し、膨潤する様子が観察された。さらに粒子表面にとろみ剤が付着し、凝集塊を形成していた。凝集塊の隙間により、ぜん動運動によ

る摩擦および圧縮が抑制され、粒子の微細化が進みにくい様子が観察された。湿潤重量では、大きなサイズの粒子が多く捕捉され、添加濃度が高くなるにつれ、その傾向は顕著に増加した。

胃内 pH の影響については、pH 2.0（人工胃液）以上では全粥の膨潤が見られず、栄養成分が拡散・放出して粒子が圧縮、裂断され、粒子堆積層の体積が顕著に減少した。

・栄養成分分析

介護食モデルのタンパク質消化物の合計面積の変化率は、全粥のみでは 1.3 倍の増加を示し、とろみ剤添加は増加せず、消化が抑えられる傾向を示した。澱粉消化物の合計面積の変化率は、全粥のみおよびとろみ剤添加のいずれも 1.0～1.1 倍となり、ほとんど消化されなかった。とろみ剤はタンパク質の消化に影響し、胃液中へ成分が拡散および放出することを抑制したと推察した。

胃内 pH による影響について、タンパク質消化物の合計面積の変化率は、pH 1.3（人工胃液）では 1.3 倍、pH 2.0 以上では微増となり、タンパク質の消化が抑えられる傾向を示した。一方、澱粉消化物の合計面積の変化率は、pH 1.3 で 1.1 倍、pH が高くなるにつれて増加した。特に pH 5.0 では 2.0 倍と糖質の消化が促進されることが明らかとなった。胃内 pH が高くなると主食の消化挙動は、粒子内部の栄養成分や胃液などの物質移動および消化酵素のペプシン活性の低下から化学的消化の影響が高まった。

【結語】

研究 1 では、澱粉性主食の有する組織構造の違いや栄養成分の含有量により、微細化の程度やパターンが異なり、栄養成分の放出・拡散挙動を直接観察で確認できた。また、観察された消化挙動は、栄養成分の消化にも直接的に影響していることが明らかとなった。さらに、胃内滞留時間などにも関連している可能性が示唆された。

研究 2 では、とろみ剤添加や濃度の違い、および胃内 pH によって全粥の微細化を抑制、もしくは促進するなどの消化挙動が異なり、消化物の粒子形状が異なった。これは、胃内滞留時間だけでなく、腹部膨満感にも影響を与えることが推察された。

本研究 では、胃内では消化が進まないものとされていた澱粉に関し、食品の種類や胃内 pH によって差があるものの、経時的な栄養成分の放出・拡散挙動により、一部、消化が進むことが明らかとなった。これらの知見は、高齢者等への食事計画や指導に関する有用な知見となり、介護食などの開発の一助となると考えている。