

共軸二重円筒形回転粘度計を用いた 半消化態栄養剤の粘度特性解析

岸 和 廣

金城学院大学大学院人間生活学研究科
金城学院大学 生活環境学部

Analysis of the Viscosity properties in Defined Formula Diets Using the
Coaxial Double Cylinder Rotation Viscometers.

Kazuhiro Kishi

Kinjo Gakuin University, Graduate School of Humanities,
College of Human Life and Environment

1. はじめに

経腸栄養法に用いられる半消化態栄養剤は、経鼻胃管チューブや胃瘻から消化管内へ注入することのできる栄養剤であり、一般的な組成の食品とは異なり、カゼインやデキストリンなどのように人工的な消化を進めた原材料から構成されている。半消化態栄養剤は食味が良好な製品が大半を占めており、原則全製品が経口摂取可能である。また、歴史的経緯から低栄養解消のための製品が多いが、近年では病態に応じた配合の製品も増え、現代医療では欠かせないツールになっている。

液状の半消化態栄養剤は半固形化栄養剤に比べて粘度が低いので、細いチューブを容易に通過できる特性があるが、半消化態栄養剤は胃内から逆流しやすく、誤嚥性肺炎を引き起こす原因にもなり得る。医療の現場でも多用される半消化態栄養剤の粘度の数値は製品表記されているが、測定の実理や条件の詳細は必ずしも明らかにされておらず、また、半消化態栄養剤自体の粘度特性を明らかにした報告は殆どみられない。このことは、半消化態栄養剤と半固形化栄養剤のような異なる特性を持つ栄養剤との粘度の比較を困難にしている。そこで本研究では、前報¹⁾にて半固形化栄養剤の粘度解析に使用した共軸二重円筒形回転粘度計を用いて市販半消化態栄養剤の粘度特性を明らかにし、温度が半消化態栄養剤の粘度変化にどのような影響を与えるのかを検討した。

2. 方法

2.1 粘度計の概要

本研究では前報¹⁾を一部改変し、共軸二重円筒形回転粘度計（Brookfield B型粘度計に温調可能な共軸二重円筒形回転部を装着したシステム、LVDV2T型、及び少量サンプルアダプター、SC4-21型スピンドル、いずれも英弘精機株式会社製）を使用した。試料温度を高精度に保温するために、少量サンプルアダプターへ循環型恒温槽（FUBER社製、MPC-K6型）を装着した。

2.2 測定条件

本研究における試料温度は、製造元が表記している粘度の測定温度である20℃（20.0±0.1℃）及び体温（37.0±0.1℃）とした。

スピンドルの回転数は20 rpm、30 rpm、40 rpm、50 rpm、60 rpm、75 rpm、100 rpm、120 rpm、150 rpm、175 rpm、200 rpm（本研究におけるシステムでは、それぞれ、ずり速度18.6 s⁻¹、27.9 s⁻¹、37.2 s⁻¹、46.5 s⁻¹、55.8 s⁻¹、69.8 s⁻¹、93.0 s⁻¹、112 s⁻¹、140 s⁻¹、163 s⁻¹、186 s⁻¹に相当）とし、粘度測定時のトルク値が10～100%の間で得られた粘度（mPa・s）を有効な数値とした。試料は異なるロットの製品を4包用い、同一サンプルにて粘度を2回測定し、それらの平均値を解析に用いた。

分析に用いたサンプルは経腸栄養剤注入用シリンジを通過させ、サンプル量は7.1 mLとした。

2.3 試料

本研究で用いた試料は、市販の半消化態栄養剤（濃厚流動食）3種である。それぞれ、試料A（メイバランスmini、半消化態栄養剤 [栄養調整食品]、株式会社明治製、製品表記粘度は20 mPa・s [20℃]）、試料B（クリミール、半消化態栄養剤 [総合栄養飲料]、森永乳業株式会社製、製品表記粘度は20 mPa・s [20℃]）試料C（ジャネフ ファインケア、半消化態栄養剤 [栄養調整食品]、キューピー株式会社製、製品表記粘度は14 mPa・s [20℃]）とした。なお、製品には数種のフレーバーがあるが、本研究では3製品に共通するコーヒー風味を実験に供した。また、これら3製品は粘度（mPa・s）と温度（℃）のみが公表されており、粘度測定時のローター回転数や粘度計の種別は公表されていなかった。

2.4 統計処理

本研究で得られた2つの温度における粘度の数値に対して、SPSS 25 Statistics（日本アイ・ビー・エム株式会社）を用いて対応のあるサンプルのt検定により統計処理を行った。

3. 結果

共軸二重円筒形回転粘度計を用いて、半消化態栄養剤3種の粘度測定を行ったときのスピンドル回転数と粘度との関係をグラフに示す（図1）。

試料Aにおいては、20℃にてスピンドル回転数30～200 rpmの範囲で測定値を得ることがで

き、その数値は約17.5 mPa・s前後のほぼ一定な粘度であった。37℃ではスピンドル回転数50～200 rpmの範囲で測定値が得られ、その数値は約9.5 mPa・s前後のほぼ一定な粘度であった。(図1左上)。試料Bにおいても20℃にてスピンドル回転数30～200 rpmの範囲で測定値が得られ、その数値は約17.0 mPa・s前後のほぼ一定な粘度であった。37℃ではスピンドル回転数50～200 rpmの範囲で測定値が得られ、その数値は約8.7 mPa・s前後のほぼ一定な粘度であった。(図1右上)。試料Cでは20℃にてスピンドル回転数20～150 rpmの範囲で測定値が得られ、その数値は約23.2 mPa・s前後のほぼ一定な粘度であった。37℃ではスピンドル回転数40～200 rpmの範囲で測定値が得られ、その数値は約11.0 mPa・s前後のほぼ一定な粘度であった。(図1左下)。

また、すべての試料において、20℃から37℃へ試料温度が上昇すると、測定値が得られた範

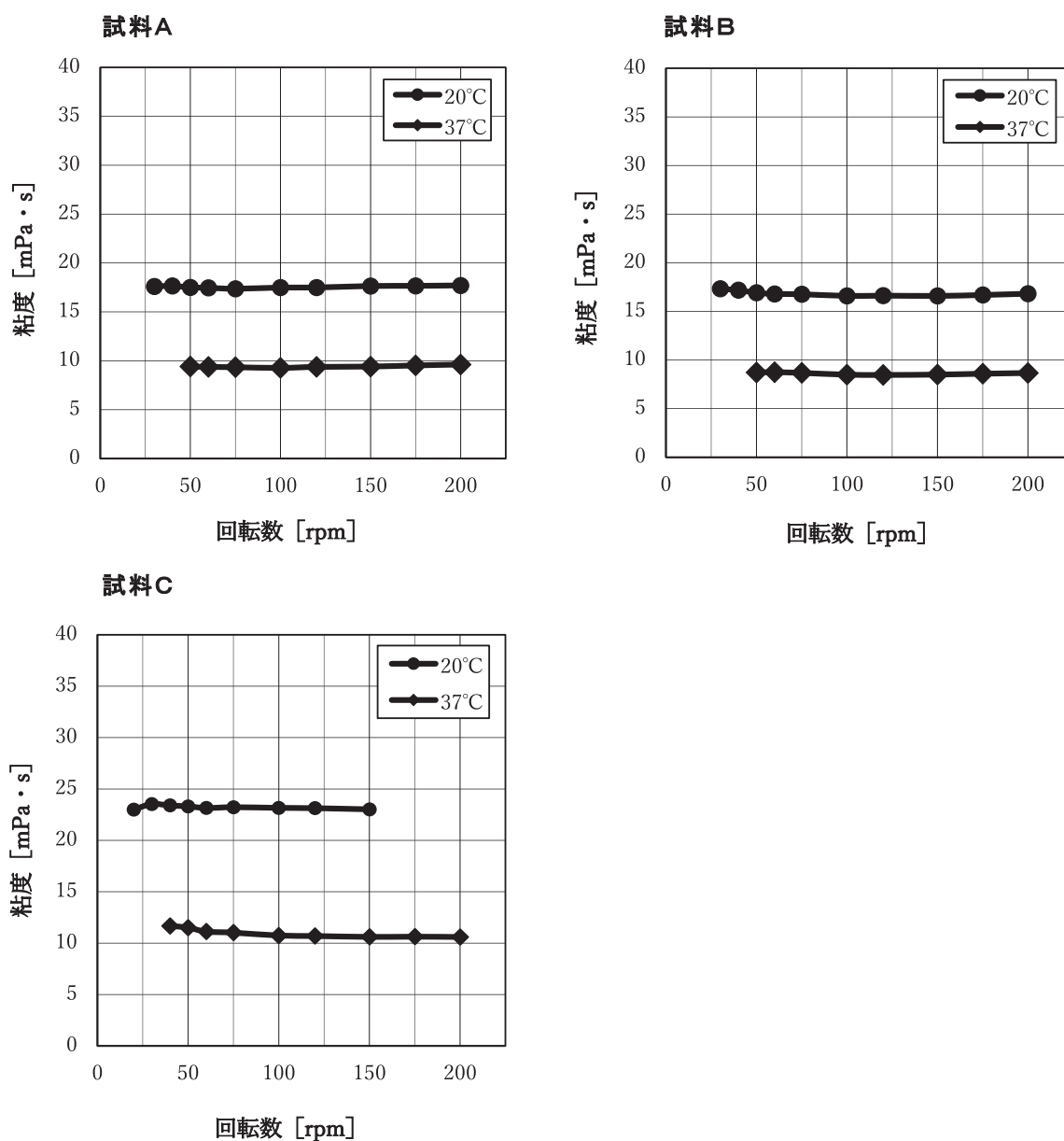


図1 半消化態栄養剤の粘度と試料温度との関連 (左上：試料A、右上：試料B、左下：試料C)

囲において粘度は有意に低下した。本研究の結果を各製品表記の粘度の数値と比較すると、試料Aと試料B（それぞれ、20℃、20 mPa・s）では低値を示し、試料C（20℃、14 mPa・s）では高値を示した。3試料間の粘度を比較すると、粘度の高い順に試料C、試料A、試料Bとなり、20℃、37℃いずれの設定温度においてもこの順位が変わることはなかった。

図1で用いた数値を、両軸対数グラフに再プロットした結果を図2に示す。

すべての試料において本研究で測定したずり速度の範囲では、粘度の数値がX軸に水平な直線状を示した。試料Cを37℃にて測定した際、やや右肩下がりの傾向がみられたが、試料Cの37℃におけるずり速度37.2 s⁻¹における粘度（40 rpm、11.68 mPa・s）と186 s⁻¹における粘度（200 rpm、10.60 mPa・s）の数値間には有意差が認められなかった（p=0.176）。

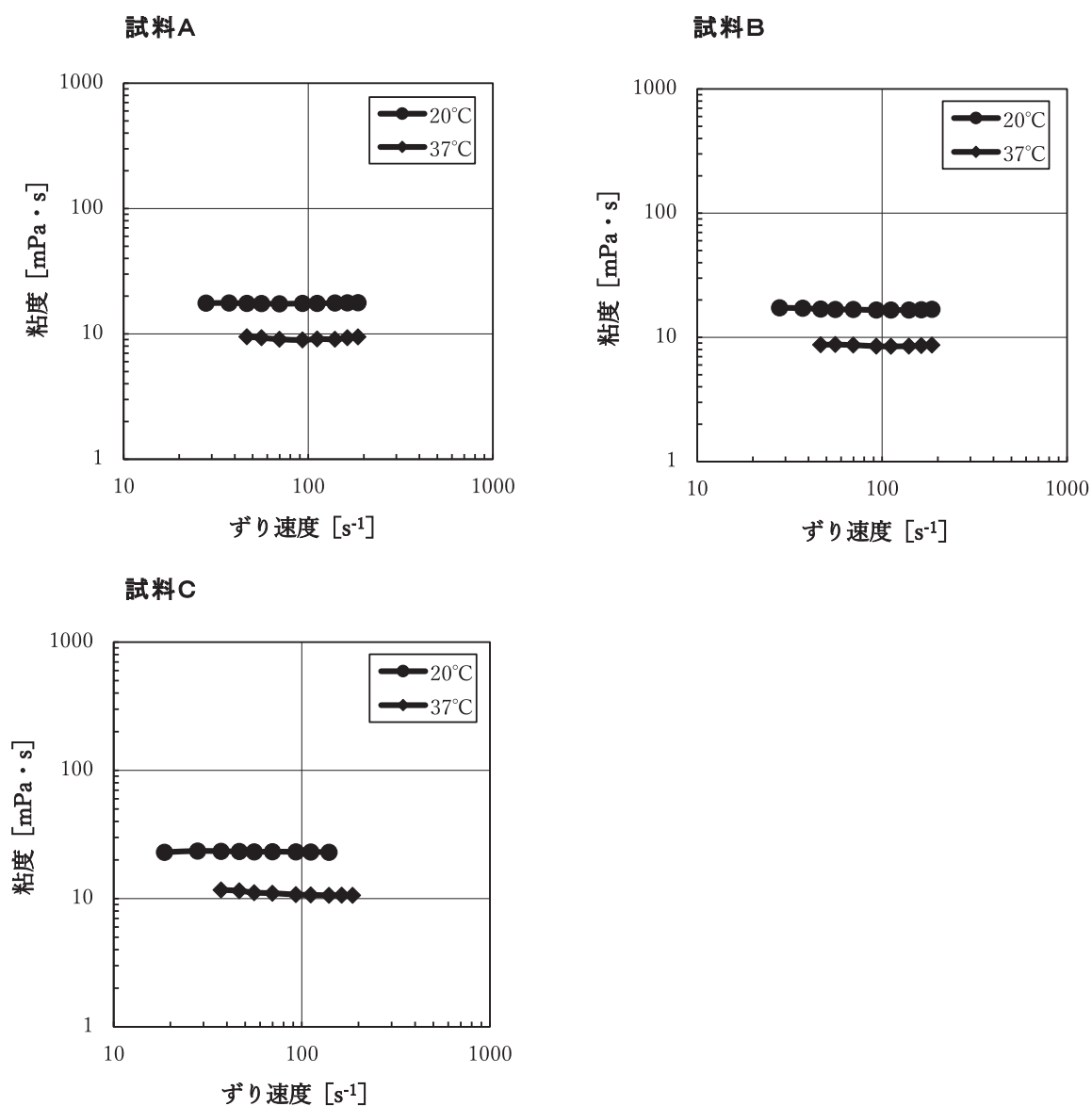


図2 半消化態栄養剤のずり速度と試料温度との関連
(両軸対数グラフ、左上：試料A、右上：試料B、左下：試料C)

4. 考察

経腸栄養法の利点として、①腸管粘膜の維持（腸管粘膜の萎縮の予防）、②免疫能の維持、bacterial translocationの回避、③代謝反応の亢進の抑制（侵襲からの早期回復）、④胆汁うっ滞の回避、⑤消化管の生理機能の維持（腸蠕動運動、消化管ホルモン分泌）、⑥カテーテル関連血流感染症（カテーテル敗血症）、気胸などのTPN時の合併症がない、⑦長期管理が容易である、⑧廉価であること等が挙げられる²⁾。また、半消化態栄養剤は様々な疾患の栄養管理に用いられており、筋萎縮性側索硬化症（ALS）などのような筋萎縮による嚥下困難が伴う進行性疾患の長期経腸栄養管理を行う際には特に有効な手段となる³⁾。

流動性のある食品は、ニュートン流体と非ニュートン流体に分けることができる。近年においても、ずり速度の上昇に伴わず一定の粘度を保つ特性のあるニュートン流体の特性を持つ食品として「はちみつ」⁴⁾ や「水あめ」⁵⁾ を、ずり速度の上昇に伴って粘度が低下する非ニュートン流体の特性を持つ食品として「プレーンヨーグルト」⁴⁾ や各種の「とろみ調整食品」^{4), 5)} が該当するという報告がある。本研究で用いた3試料の半消化態栄養剤は、測定値が得られたずり速度範囲内において粘度変化がみられず、ニュートン流体の特性を持つことが分かった。筆者はこれまで、半固形化栄養剤の粘度特性を解析し、非ニュートン流体の特性を持つことを明らかにしてきた^{1), 6)} が、この結果とは大きく異なっていた。

一般的に、流体の温度が上昇すると、その粘度は低下する傾向にある。川端ら⁷⁾ は、3種の市販ペクチン2%溶液を10~90℃まで上昇させた際に、温度上昇に伴う粘度低下が起こることを明らかにした。この報告は、本研究同様の共軸二重円筒形回転粘度計を用いて粘度を計測しているが、3種の市販ペクチンのうち、粘度が高い高メトキシルペクチンの製品では、低温度における高いずり速度での粘度測定で数値が得られていない。トルクオーバーが原因であると考えられ、これらの結果は本研究の結果と一致する。

本研究では高精度の温調を可能にした共軸二重円筒形回転粘度計を用いて解析した。この粘度計はB型粘度計の測定部を改変したもので、B型粘度計では検討することができない「ずり速度」を得ることができる。また共軸二重円筒形回転粘度計はコーンプレート型回転粘度計（E型粘度計）にくらべて粒子の粗い試料の分析に適している反面、同一条件下で広範囲のずり速度を検討することが難しい。回転粘度計は測定原理にバネを用いており、トルク値が低い範囲では安定した粘度を得られず、トルク値が規定を越えると粘度を検出できなくなることが原因である。20℃における純水の粘度は1.002 mPa・s、ネクター状飲料は200 mPa・s、中濃ソースは1,000 mPa・sである⁸⁾ ので、半消化態栄養剤の粘度は液状食品の中でも低いことがわかるが、本研究の測定条件では、胃内で想定されているずり速度範囲（2.0~20.0 s⁻¹）⁹⁾ で数値が得られたのは20℃における試料Cの粘度（ずり速度18.6 s⁻¹における粘度23.40 mPa・s）のみであった。しかしながら、河合ら¹⁰⁾ は、ずり速度1.0~100 s⁻¹の範囲における牛乳の粘度は3~6 mPa・s程度で横ばい傾向となり、ほぼニュートン流体特性を持つと結論づけていることから、一般的な半消化態栄養剤は胃内ずり速度範囲においても本研究で得られた粘度と同程度

を示している可能性が高い。

また、河合らの同報告¹⁰⁾では、低粘性液状食品（牛乳）あるいは水を嚥下する際の口蓋帆挙筋の活動について解析しており、水と水よりも粘度が僅かに高い牛乳の嚥下における口蓋帆挙筋活動量を比較したとき、水に比べて牛乳の方が有意に小さくなっていることを明らかにしている。さらに、低粘性の液状食品を嚥下する際には、同じ量であっても粘度が高い方が小さい筋活動量で口峽を開大させ、咽頭への流入量を調節している可能性があるとして結論づけ、この現象は口腔内に試料を含んだときに得られる末梢からの情報をもとに、過去に経験し、獲得した嚥下運動の調節の仕方に基づいて口蓋帆咽頭閉鎖機能が調節されている可能性があるとして考察した。この説は、水と低粘性液状食品との僅かな粘度の差が原因となって誤嚥を発生させる可能性があることを示唆している。

5. 謝辞

本研究は2017年度金城学院大学特別研究助成費の助成対象である。

6. 文献

- 1) 岸和廣, 半固形化栄養剤の粘度特性に及ぼす温度の影響, 金城学院大学消費者科学研究所紀要22, 1-6 (2017)
- 2) 丸山道生, PDNレクチャー Chapter2 経腸栄養, 1. 経腸栄養の特徴と適応, NPO法人PEGドクターネットワーク2018 summer 1-2 (2018)
- 3) 井上裕, 岡田博美, 内田明宏, 筋萎縮性側索硬化症における濃厚流動食を用いた長期経腸栄養管理の検討, 難病と在宅ケア21, 29-32 (2015)
- 4) 岩崎裕子, 高橋智子, 西成勝好, 大越ひろ, 市販とろみ調整食品調整時の指標となる食品の検討, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌15, 3-13 (2011)
- 5) 藤谷順子, 飯島正平, 5つの濃度のニュートン流体を用いた官能試験による, とろみ液の粘度測定条件（ずり速度）の検討, リハビリテーション医学 53, 164-171 (2016)
- 6) 岸和廣, 共軸二重円筒形回転粘度計を用いた半固形化栄養剤の粘度の解析, 金城学院大学論集自然科学編14, 1-5 (2018)
- 7) 川端昌子, 澤山茂, 名古屋知之, ペクチン溶液の粘度挙動, 栄養と食糧30, 149-154 (1977)
- 8) 合田文則, 半固形化栄養剤（食品）による胃瘻からの短時間注入法, 臨床栄養106, 757-762
- 9) 合田文則, 飯島正平, 蟹江治郎 他, 栄養材の形状と用語の統一, 臨床栄養114, 645-650 (2009)
- 10) 河合利彦, 館村卓, 富山義雄, 阪井丘芳, 低粘性液状食品の粘性の相違が嚥下時の口蓋帆挙筋活動に及ぼす影響, 日本摂食嚥下リハビリテーション学会誌13, 128-134 (2009)