

超高濃度タイプ半消化態栄養剤の粘度解析

Analysis of the Viscosity in the Hyper-concentrated Type Semi Digestion Fluid Supplement.

岸 和 廣

Kazuhiro KISHI

【はじめに】

現在の我が国で用いられている半消化態栄養剤は、製品 1 mL 当たり 1 ~ 1.5 kcal のエネルギー量を持つ製品が大半を占めている。2017年 9 月に発売開始となった超高濃度タイプの半消化態栄養剤は、製品 1 mL 当たり 4 kcal のエネルギー量を持ち、食欲不振や低栄養状態に陥った患者への経口栄養補給に適している。しかしながら、この栄養剤の製品表記粘度は公表されているが、粘度特性の詳細については明らかになっていない。

本研究では、共軸二重円筒形回転粘度計を用いて超高濃度タイプの半消化態栄養剤がどのような粘度特性を有するのかを明らかにする。

(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)

【方法】

(1) 粘度計の概要

本研究では前報(岸, 2017)に準じ、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、LV DV 2 T型、及び少量サンプルアダプター、SC4-25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) 測定条件

本研究における試料温度は室温(25.0 ± 0.1°C)、体温(37.0 ± 0.1°C)とした。

スピンドルの回転数は5, 6, 10, 12, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 120, 150, 175及び200 rpm(本研究におけるシステムでは、それぞれ、ずり速度1.1, 1.32, 2.2, 2.64, 3.3, 4.4, 6.6, 8.8, 11, 13.2, 22, 26.4, 33, 38.5及び44 sec⁻¹に相当)とし、人体の胃のずり速度範囲(合田ら, 2009)を含めることとした。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。製品ロット番号が異なる試料を3包用い、ローター回転数毎に1包あたり2回、粘度を測定し、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16.1 mLとした。

(3) 試料

本研究で用いた試料は、超高濃度タイプの半消化態栄養剤(濃厚流動食, テルミール®アップリッド™りんご風味, 濃厚流動食品[ゼリータイプ], テルモ株式会社製)である。試料の製品表記粘度は、25°Cにおいて10,000前後(6 rpm, B型粘度計)としている。

(4) 統計処理

本研究で得られた測定結果の数値は、

SPSS25 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。

【結果】

共軸二重円筒形回転粘度計を用いて、超高濃度タイプ半消化態栄養剤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、ずり速度と粘度との関係をグラフに示す (図1左、右)。

試料温度が25°C (closed circle) もしくは37°C (opened circle) の場合、本研究の条件ではスピンドル回転数 5 rpm から 200 rpm までの範囲で粘度の数値を得ることができた。(図1左)

また、測定で得られた数値を、X軸にずり速度 (sec^{-1})、Y軸に粘度を設定した両軸対数グラフに再プロットすると、ずり速度の上昇に伴って粘度が低下し、右肩下がりの直線を示した。(図1右)

設定した回転数毎に得られた粘度の平均値を表1に示す。測定値が得られた 5 rpm から 200 rpm の範囲で試料温度25°Cと37°Cとの間で有意な差があるかどうかを検定したところ、試料温度37°Cで得られた数値はいずれの回転数においても試料温度25°Cよりも有意 ($p < 0.05$) に低値を示した。

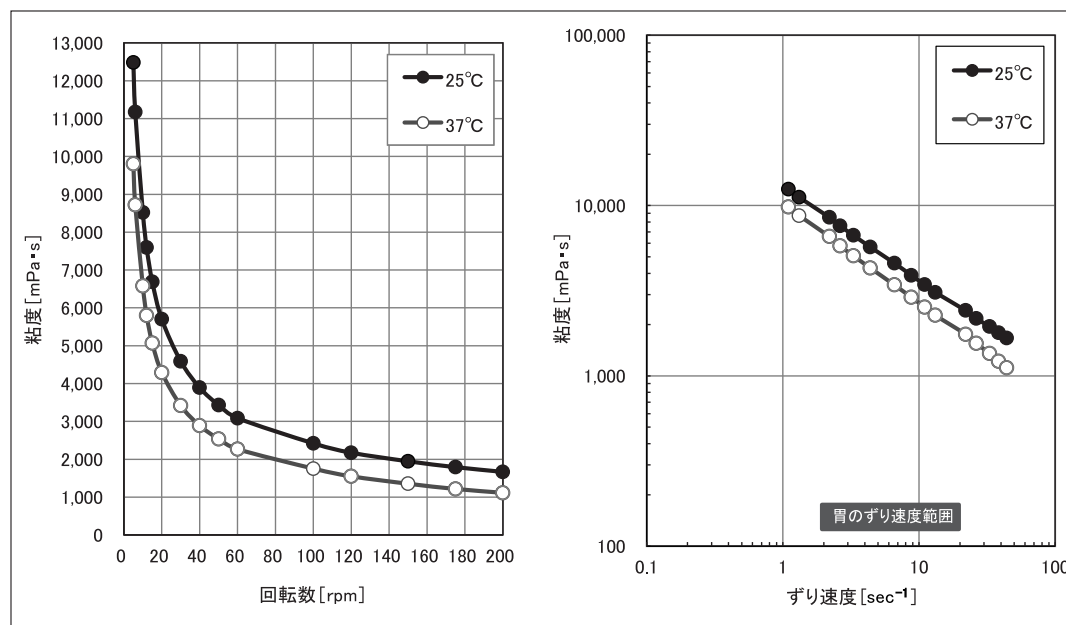


図1 超高濃度タイプ半消化態栄養剤の粘度解析

表 1 試料温度の上昇による超高濃度タイプ半消化態栄養剤の粘度の有意な低下（T-検定）

回転数	ずり速度 (sec ⁻¹)	粘度 (mPa・s)		P 値
		25℃	37℃	
5rpm	1.1	12,480±247	9,807±482	p=0.019
6rpm	1.32	11,173±217	8,720±449	p=0.021
10rpm	2.2	8,520±156	6,576±250	p=0.011
12rpm	2.64	7,593±143	5,800±201	p=0.009
15rpm	3.3	6,688±120	5,067±140	p=0.006
20rpm	4.4	5,700±113	4,292±96	p=0.004
30rpm	6.6	4,589±81	3,419±72	p=0.003
40rpm	8.8	3,892±64	2,890±42	p<0.001
50rpm	11	3,430±60	2,534±36	p<0.001
60rpm	13.2	3,087±62	2,267±39	p<0.001
100rpm	22	2,421±57	1,754±31	p=0.001
120rpm	26.4	2,173±45	1,550±25	p<0.001
150rpm	33	1,947±45	1,354±19	p<0.001
175rpm	38.5	1,792±51	1,216±17	p=0.001
200rpm	44	1,667±51	1,114±22	p=0.001

【考察】

本研究で用いた超高濃度タイプの半消化態栄養剤はりんご風味とサワー風味の2種があるが、主要な原材料の組成に差は無く、製品1 mL当たり4 kcalの熱量を持つ。製品容量100mL当たりの標準組成をみると、たんぱく質含有量は14.0g、脂質含有量は21.6gであり、一般的な組成の液状栄養剤に比べて数倍のたんぱく質と脂質を含んでいる。アップリードは低栄養患者への提供時に極めて有利であるが、風味は酸味が主体で、誤嚥しやすい患者には他の食品に混ぜて酸味を和らげる等の方策が必要となろう。

健常者や病者が実際に喫食した感想としては、「爽やかな酸味と適度な甘みがよい」、「これまでの栄養剤では全量喫食が果たせないこともあったが、食味と全量の少なさがよい」という肯定的意見が多く、一部に「強めの粘稠性と若干の脂っぽさも感じる」という意見もあった（結果未掲載）。

粘度特性を解析した結果、特に胃のずり速

度範囲（2～20 sec⁻¹）においては、[粘度－回転数] グラフでは両軸を漸近線とするような曲線状に、[粘度－ずり速度] 両軸対数グラフでは右肩下がりの直線状となったことから、試料は非ニュートン流体の特性を持つことが分かった（岸，2017，2018a）。試料の原材料名をみると、粘度を持つものとして中鎖脂肪酸グリセリド（以下、MCT）、寒天、安定剤としてペクチン、一部材料としてゼラチン（掲載順、いずれも含有率不明）とあることから、試料の粘度においてMCTが大きく影響している可能性がある。MCTは、長差脂肪酸トリグリセリド（以下、LCT）に比べて低粘度であるが、LCTの約1/2程度の粘度を有する（花崎ら，2011）。試料には細かい気泡が多くみられるが、市販されている殆どの液状栄養剤や半固形化栄養剤には目視できる気泡が顕著にみられないことから、気泡の形成には高含有のMCTが関与している可能性が考えられる。

著者らはこれまで、本研究と類似の条件

(SC-14型スピンドル使用)にて半固形化栄養剤 (PGソフトEJ, 濃厚流動食 [半固形タイプ], 製品表記粘度は約20,000 mPa・s [B型粘度計, 25°C, 6 rpm], テルモ株式会社製) の粘度解析を行ったが, 25°Cにおいてローター回転数 5 rpm (ずり速度 2.0 sec^{-1}) では $13,337 \pm 909 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 10 rpm (ずり速度 4.0 sec^{-1}) では $7,848 \pm 383 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 25 rpm (ずり速度 10.0 sec^{-1}) では $3,693 \pm 97 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 50 rpm (ずり速度 20.0 sec^{-1}) では $1,912 \pm 124 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 37°Cにおいてローター回転数 5 rpm では $11,947 \pm 198 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 10 rpm では $6,562 \pm 154 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 25 rpm では $2,933 \pm 87 \text{ mPa} \cdot \text{s}$, 50 rpm では $1,561 \pm 47 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ であった (岸, 2018b)。即ち, アップリッドはローター回転数 (もしくは, ずり速度) の低速域ではPGソフトEJよりも粘度が低いが, ローター回転数 (もしくは, ずり速度) の高速域ではアップリッドよりも粘度が高いことがわかる。また, 藤谷らは, ずり速度 3 sec^{-1} から 300 sec^{-1} の範囲で0.95%キサントガム系増粘剤溶液と1.4%グアガム系増粘剤液の粘度を測定し [粘度-ずり速度] 両軸対数グラフを作成したとき, ずり速度 30 sec^{-1} にて両溶液の直線が交差し, 粘度の高さの順位が逆転することを報告した (藤谷ら, 2016)。これらの結果を併せると, 栄養剤に添加される原材料 (特に脂質), 増粘剤の種類や含有量によって栄養剤全体の粘度特性が大きく変わることが考えられた。

市販栄養剤の製品粘度表記はB型粘度計による室温 (20°Cもしくは25°C) での測定結果が多く, ローター回転数は6 rpm前後での粘度を公表しているメーカーが多い。しかしながら, いずれのメーカー測定値においてもずり速度を公表していない。9種類の栄養剤の粘度を多角的に解析した山賀らの報告 (山賀ら, 2011) によると, 製品表記粘度と実測

値は必ずしも一致せず, 栄養剤の粘度を検討する際にはずり速度を用いて行う必要性を指摘している。本研究で用いた超高濃度タイプの半消化態栄養剤もB型粘度計を用いた計測値で製品表記粘度を示しており, 25°C, ローター回転数6 rpmにおいて10,000 mPa・s前後としている。本報では共軸二重円筒形回転粘度計を用いて粘度を計測し, 11,173 mPa・sという数値を得たが, 製品表記ではずり速度が明らかになっていないので, 直接的な比較はできない。

B型粘度計はコーンプレート型粘度計 (以下, E型粘度計) に比べて, 単一のローターで測定できる粘度の範囲が狭く, 精度もやや低いとされてきた。本研究においても, 試料温度25°Cにおけるローター回転数4 rpm以下の条件では測定値が不安定で, 良好な粘度を得ることができなかった (表1)。一方, E型粘度計はコーンスピンドルとサンプルカップ間のギャップが10 μm 前後であり, 微粒子や気泡の存在が測定値に大きな影響を及ぼすことが考えられる。前出の山賀らは, ゾルとゲルが混在している試料では測定値が試料全体を代表していない可能性があるが, 比較的に大量のサンプルを必要とするB型粘度計では, 測定に使用する試料の量, つまり母集団に対する標本が大きいと, E型粘度計に比べて誤差が生じにくいと指摘し, さらに, 液状の栄養剤に比べて粘度が高い半固形化栄養剤の粘度解析にはB型粘度計が適していると考察している。B型粘度計の原理に近い共軸二重円筒形回転粘度計は, 本研究で用いた試料の粘度解析に適していたと考えられる。

文献

- 合田文則, 飯島正平, 蟹江治郎, 西口幸雄, 栄養材の形状と統一臨床栄養 114, 645-650 (2009)
花崎憲子, 上中登紀子, 大喜多祥子, 倉賀野妙子,

超高濃度タイプ半消化態栄養剤の粘度解析（岸 和廣）

- 和田淑子, 中鎖脂肪 (MCT) および長鎖脂肪 (LCT) を使用した焼き菓子の物性と内部組織構造, 日本調理科学会誌44, 206-213 (2011)
- 山賀華奈子, 合田文則, 河本 彩, 土屋奈穂子, 小川紗扶里, 河野友美, 山縣誉志江, 栢下 淳, 半固形化経腸栄養剤の物性測定方法についての検討, 静脈経腸栄養26, 1247-1253 (2011)
- 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)
- 岸 和廣, 共軸二重円筒形回転粘度計を用いた流動性食品の粘度の解析, 金城学院大学論集 自然科学編 第14巻 第1号 1-5 (2017)
- 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 第14巻 第2号 1-5 (2018a)
- 岸 和廣, 半固形化栄養剤の粘度特性に及ぼす温度の影響, 金城学院大学消費生活科学研究所紀要 第22巻 1-6 (2018b)