

原 著

新しい真空吸引式流体粘度計（谷ロー小川式）による血液レオロジー的検討

大友直樹* 谷口興一** 小池 朗***
 小川浩平**** 大川原真一****

要 旨

新しく開発された真空吸引式流体粘度計（谷ロー小川式）を用いて、装置の測定精度と安定性をしらべ、さらに健常者血液について血液レオロジー的検討を行った。本装置は少量の血液（5～8 ml）で短時間（1～2分）に測定することが可能であり、測定誤差は3%未満で、再現性にも優れており、取扱も簡便で、誰でも測定ができる。さらに測定部がディスポーザブルなので、感染などの危険性もない。したがって、ベットサイドあるいは検査室において、簡単かつ迅速に測定することができ、日常臨床に活用することが可能である。

I. はじめに

血液粘度の測定は、疾患の病態診断、治療方針の決定、治療効果の判定、臨床経過の評価などに活用されているが、血液は、採血後の時間経過や添加される抗凝血薬などによって変化するため、採血後可能な限り短時間で測定することが必要である。従来の粘度計は、操作の煩雑さや、精度の問題などから日常の臨床に応用することが困難であった。そこで、今回新しく開発された真空吸引式流体粘度計（谷ロー小川式）を用いて、装置の精度と安定性について検討するとともに、採血後の血液についてレオロジー的検討を行った。

*東京医科歯科大学霞ヶ浦分院検査部

**県立前橋病院循環器センター

***東京医科歯科大学霞ヶ浦分院内科

****東京工業大学工学部化学工業科

II. 方 法

1. 測定システム¹⁾ (Figure 1)

血液を貯めた貯血液ガラス管③は、恒温槽⑤に入っており、両端がゴム栓で密封された特殊真空

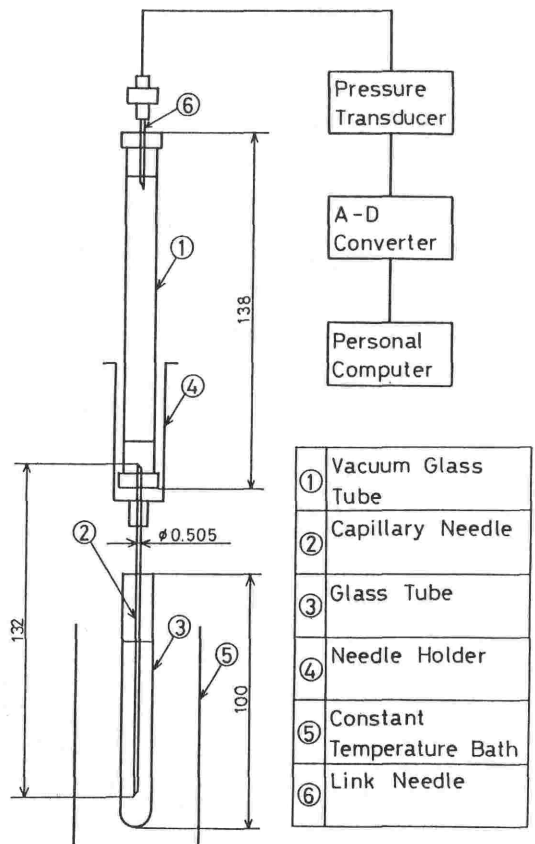


Fig. 1 Schematic diagram of measuring system (Unit of length is mm)

ガラス管① (真空ゲージ圧約 0.5×10^{-5} Pa 一定, 体積約 10 cc 一定: ニプロ社製) とは特殊穿刺針② (内径 0.505×10^{-3} 一定, 長さ 132×10^{-3} 一定, 相対粗度 10^{-3} オーダー: ニプロ社製) で連結されている. また, 特殊真空ガラス管①とその圧力を検知する圧力変換器は穿刺針⑥で連結されている.

2. 測定原理

特殊穿刺針の両端の圧力差を推進力として流体を特殊真空ガラス管内に吸引すると, 吸引開始後の時間の経過とともに特殊真空ガラス管内の空間部分の体積は減少し, 圧力が増加していく現象を利用する. 吸引前の特殊真空ガラス管内の容積 V_0 , 圧力 P_0 , および特殊穿刺針の内径 D が既知であるとき, 特殊真空ガラス管内の圧力 P の経時変化を測定することによって, 特殊穿刺針中を層流で流動する流体の粘度はパーソナルコンピュータを利用して求められる.

3. 測定方法^{1), 2)} (Figure 2)

測定ステップは

- 1) 特殊穿刺針の下端を貯血液ガラス管内の血液中に挿入する.
- 2) 特殊真空ガラス管上端のゴム栓を穿刺針で貫通させ, 初期圧力 P_0 を測定する.
- 3) 特殊真空ガラス管下端のゴム栓を特殊栓刺針

上端で貫通する.

- 4) 特殊真空ガラス管内の圧力 P_i を適当な時間間隔 Δt で測定し, パーソナルコンピュータに ONLINE で取り込む (約40秒で特殊真空ガラス管内の圧力は大気圧 P_A と等しくなり血液の流入は止まる).
- 5) 得られた特殊真空ガラス管内の圧力 P_i の経時変化に基づいて血液の流動特性をパーソナルコンピュータで計算し, 粘度を求める.

III. 結 果

1. 測定精度と安定性

本装置の精度と安定性を評価するために, 日本工業規格 (JIS) の粘度計校正用標準液 JS-2.5, 5, 10 の3種類を用いて, 測定誤差, 同時再現性, 日差変動について確認実験を行った. 結果は Table 1 に示すように, JIS の検定温度における測定誤差は最大2.9%, 同時再現性は, 5回連続測定において変動係数 (coefficient of variation: CV) で最大3.5%, 実際の検体測定温度である 37°C で12日間測定した日差変動は, CV で最大3.9%であった.

2. 健常者血液の測定

健常成人42例 (男性23例, 女性19例, 平均年齢43.5歳) についてヘパリン加採血管に採血後, 37°C で1分以内に全血粘度 (μ_B) の測定を行った. また, この血液を 3000 r/min で5分間遠心後, 血漿を分離し同様に血漿粘度 (μ_P) の測定を行った. 同時に, μ_B に影響を及ぼすヘマトクリット (Ht) と, μ_P に影響を及ぼす γ -グロブリンおよびフィブリノーゲンの測定を行った. Ht が正常範囲であった35例の結果は Table 2 に示すように, μ_B は2.61~3.69センチポアズ (cP), μ_P は1.19~1.59 cP であった. 従来よりずり速度 100 sec^{-1} 以上では, 血液粘度は 3.0 cP 程度であると報告されているが³⁾, 今回の本装置による測定でもほぼ同様の結果を得た. 3SD 反復切断法により算出した健常値は μ_B が 2.59~3.67 cP, μ_P が 1.19~1.43 cP, 全血粘度と血漿粘度の比 μ_B/μ_P が2.27~2.56であった. 同時に測定した γ -グロブリンおよびフィブリノーゲンと μ_P との間には, Figure 3 に示すようにいずれも高い相関は認められなかった. また, μ_B は Ht の指数関数 $\mu_B = \mu_P e^{C \cdot \text{Ht}}$ ($C =$ 係数) で示されるが⁴⁾, 今回の対象群

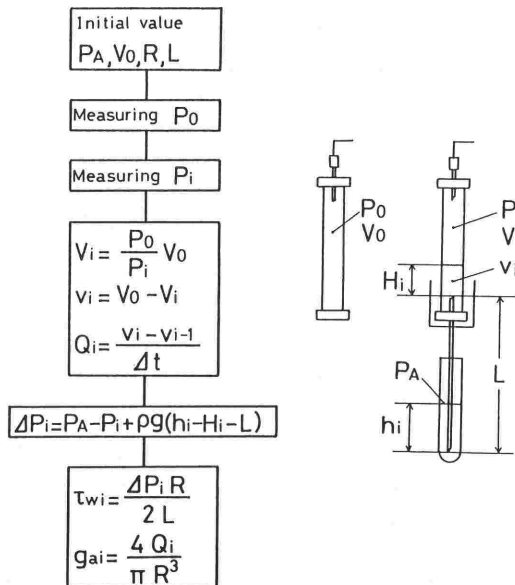


Fig. 2 Step of measuring

Table 1 Analytical accuracy and stability

1. Analytical error		unit=cp		
		JS-2.5	JS-5	JS-10
20°C	indication value	1.98	4.10	8.41
	measurement value	1.94	4.01	8.48
	Analytical error	2.0 %	2.1 %	0.8 %
30°C	indication value	1.62	3.18	6.11
	measurement value	1.66	3.12	5.95
	Analytical error	2.4 %	1.6 %	2.6 %
40°C	indication value	1.36	2.53	4.62
	measurement value	1.39	2.61	4.51
	Analytical error	2.4 %	2.9 %	2.5 %

2. With run variation		n=5, unit=cp		
		JS-2.5	JS-5	JS-10
20°C	mean	1.94	4.06	8.39
	standard deviation (SD)	0.01	0.06	0.05
	coefficient of variation (CV)	0.8 %	1.5 %	0.6 %
30°C	mean	1.66	3.16	6.03
	SD	0.01	0.04	0.05
	CV	0.8 %	1.4 %	0.9 %
40°C	mean	1.39	2.59	4.46
	SD	0.05	0.01	0.03
	CV	3.5 %	0.7 %	0.6 %

3. Day-to-day variation		n=12, temp.=37°C, unit=cp		
		JS-2.5	JS-5	JS-10
mean		1.41	2.67	4.91
SD		0.05	0.09	0.10
CV		3.9 %	3.3 %	2.1 %

について係数Cを求めたところ、平均0.020であった。すなわち、Figure 4 に示すように、健常者の μ_B と Ht との関係は $\mu_B = 1.31e^{0.020 \cdot Ht}$ (1.31 は Ht が 0 % すなわち μ_P の健常者中央値) 示された。さらに、 μ_B/μ_P と係数Cとの間に、相関係数 $r=0.81$ と高い相関を認めた。(Figure 5)

IV. 考 察

新しく開発された真空吸引式流体粘度計（谷ロー小川式）は、簡単な操作、迅速な測定、高い精度の3つの特徴を有し、誰でも容易に測定操作ができるという利点があり、測定装置セットはコンパクトで移動運搬が容易であり、ベットサイドでの測定も可能である。本装置での測定時間は約1

分であり、患者からの採血時間を加えても約2分で結果を出すことができる。これにより、従来の粘度計による測定で問題であった、時間経過による血球の変化などの影響は認められず、さらに真空ガラス管がディスポーザブルなので、取扱者の感染の危険性がない。また、本装置では、特殊穿刺針を通過する時間がきわめて短いため（約1～2秒）赤血球の機械的溶血が認められず¹⁾、粘度測定を実施した後の血漿で、血液生化学の測定が可能であり、検体を無駄にすることがなく、きわめて有用である。さらに、 μ_B/μ_P と、 μ_B および Ht の関係を表す式 $\mu_B = \mu_P e^{C \cdot Ht}$ における係数Cとの間に高い相関を認めたことから、係数Cは血漿、Ht、および血球レオロジー特性を総合的に示

Table 2 Measuring of blood viscosity and plasma viscosity, using a new vacuume viscometer developed by Taniguchi and Ogawa

1. Blood viscosity and plasma viscosity with healthy people's blood ($36.0 \leq \text{hematocrit} \leq 48.0\%$)

	age	blood viscosity (μ_B)	plasma viscosity (μ_P)
number of sample	35	35	35
maximum	59	3.69 (cp)	1.59 (cp)
minimum	26	2.61 (cp)	1.19 (cp)
range	33	1.07 (cp)	1.25 (cp)
mean	42.8	3.12 (cp)	1.41 (cp)
standard deviation (SD)	10.1	0.29	0.09

2. Normal range of blood viscosity and plasma viscosity with healthy people's blood (Repeadly cut off technique of 3SD)

	blood viscosity (μ_B)	plasma viscosity (μ_P)	μ_B/μ_P
normal range (cp)	2.59~3.67	1.19~1.43	2.27~2.56

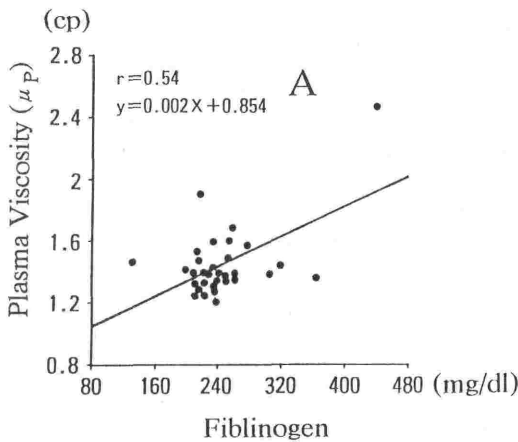
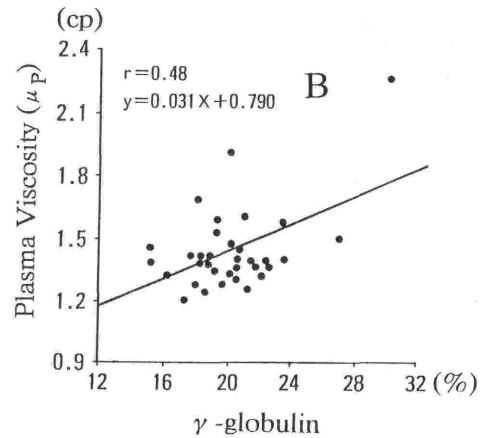


Fig. 3 A : Correlation between fibrinogen and plasma viscosity (μ_P)



B : Correlation between γ -globulin and plasma viscosity (μ_P)

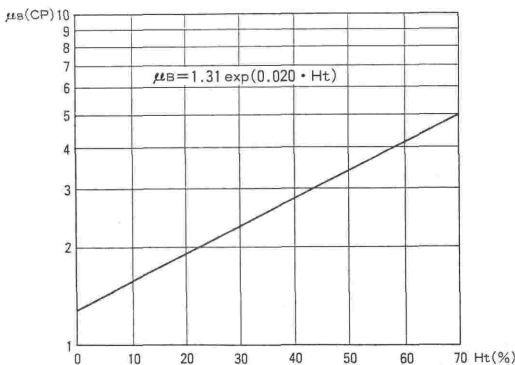


Fig. 4 Relativity of hematocrit and blood viscosity (μ_B)

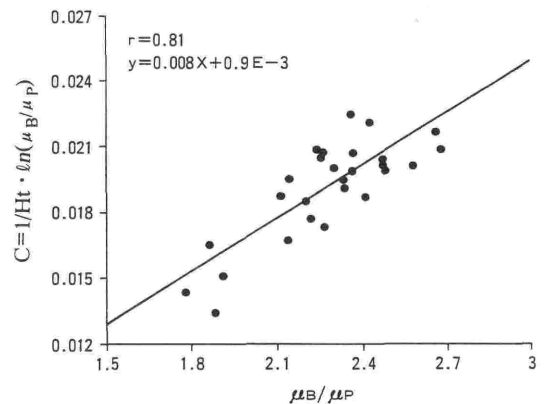


Fig. 5 Correlation between μ_B/μ_P and coefficient "C"

す指標と考えられる。

V. ま と め

新しく開発された真空吸引式流体粘度計（谷ロー小川式）を用いて行った今回の検討結果を要約すると、次のようにまとめられる。

1. 本装置の特徴は、
操作が簡単で、誰でも測定できる。
誤差が小さく、測定精度が高く、かつ短時間で測定できる。
2. 測定値の評価として、
 μ_B/μ_P は、血漿と血球の関係を、表す指標であり、また、 $\mu_B = \mu_P e^{C \cdot Ht}$ における係数 $C = 1/Ht \cdot \ln(\mu_B/\mu_P)$ は血液流動特性を総合

的に示す指標である。

（本論文の要旨は、1992年5月22日、第13回日本循環制御医学会総会（東京）において発表した。）

参 考 文 献

- 1) Ogawa, K., Ookawara, S., Taniguchi, K. et. al: Blood Viscometer with Vacuum Glass Suction Tube and Needle. J. Chemical Engineering of Japan, 24(2):215~220, 1991.
- 2) 東京医科歯科大学医学部附属病院霞ヶ浦分院編：真空吸引型流体粘度計（谷ロー小川式）仕様書, 1991.
- 3) 谷口興一：微小循環の血液レオロジー。呼と循, 37: 707~715, 1989.
- 4) 土肥まゆみ, 足立博雅, 谷口興一ほか：市販の真空採血管と注射針を用いた血液粘度の測定法。日本バイオレオロジー学会誌, 3: 70~74, 1989.

Hemorheological Study Using a New Vacuum Blood Viscometer

Naoki Ohtomo*, Koichi Taniguchi**, Akira Koike*
Kohei Ogawa*** and Shinichi Ookawara***

*Tokyo Medical and Dental University Kasumigaura Branch
Hospital, Ibaraki, 300-04

**Maebashi Hospital, Cardiovascular Center, Gunma, 371

***Tokyo Institute of Technology, Department of Chemical
Engineering, Tokyo, 152

The viscosity of blood and plasma were determined using a new vacuum viscometer developed by Taniguchi and Ogawa, and its rheological characteristics were evaluated from the clinical standpoint. This apparatus, made by using a special vacuum glass tube and a capillary needle, has the following superior features: (1) It needs only 5 to 8 ml of blood, (2) Procedure is easy and simple, (3) It requires on-

ly one to two minutes for a measurement, (4) Results are sufficiently accurate and reliable, (5) The apparatus is not expensive and is easy to carry. Therefore, our new disposable blood viscometer is useful for a routine examination in daily clinics, because we can easily and simply determine blood viscosity in bed-side as well as laboratory.