

Zakład Biofizyki
Akademia Medyczna w Białymstoku

Emanuel TREMBACZOWSKI

Wiskozymetr do pomiaru lepkości
mikroobjętości cieczy

Viscometer for Determining the Viscosity
of Microvolume of Liquids

Вискозиметр для обозначения вязкости
микрообъёма жидкости

Większość stosowanych w praktyce laboratoryjnej metod oznaczania lepkości cieczy opiera się bądź na prawie Poiseuille'a dotyczącym laminarnego przepływu cieczy, bądź na prawie Stokes'a ruchu ciał względem cieczy. Stosowane tu różne typy wiskozymetrów: Ostwalda, Arrheniusa, Hessa, lub Stokes'a czy Höpplera [4, 6] – wymagają dość znacznych objętości cieczy (kilka do kilkaset cm^3). Nie wszystkie też nadają się do absolutnego pomiaru współczynnika lepkości.

W badaniach lekarskich oznaczanie lepkości różnych płynów ustrojowych, w tym krwi, nabiera w ostatnich czasach coraz większego znaczenia tak z punktu badań diagnostycznych jak i poznawczych. Pojawiły się nowe metody pomiarowe, czynione są również próby wykorzystania bardzo subtelnych zjawisk np. ERP do oznaczania lepkości krwi [7]. Metody te z uwagi na bardzo skomplikowany, trudny i czasochłonny pomiar, poza znaczeniem teoriopoznawczym, nie rokują szerszego zastosowania klinicznego.

Lepkość krwi jako cieczy złożonej zależy od wielu czynników, w dodatku nie wszystkich dobrze poznanych. Stosowanie metod na molekularnym poziomie badań ruchów cieczy [5] może wnieść wiele informacji dotyczących zmian strukturalnych krwi. Nie są to jednak badania, które w praktyce lekarskiej, gdzie fluktuacje lepkości spowodowane różnymi klinicznymi czynnikami [1, 3, 8, 9, 10] można stwierdzić już „klasycznymi” metodami, znajdują szerokie zastosowania.

Różnorodność występujących typów wiskozymetrów [6], podyktowana została właściwościami cieczy jak i uwarunkowaniami laboratoryjnymi. Nie sposób też znaleźć wiskozymetru o uniwersalnym przeznaczeniu.

Wiskozymetr poniżej opisany, opracowany przez autora i sprawdzony w niektórych Zakładach i Klinikach AMB, przeznaczony jest do pomiarów absolutnych współczynnika lepkości cieczy o objętości około $0,1 \text{ cm}^3$. Zakres mierzalnych lepkości wynosi od najmniejszych do około 10 cP ($10^{-2} \text{ N s m}^{-2}$).

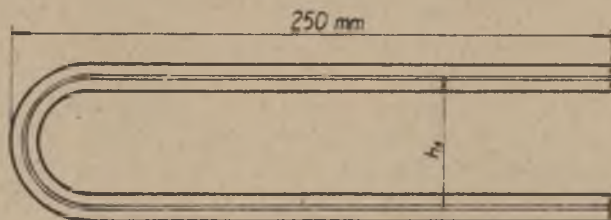
OPIS PRZYRZĄDU I METODY POMIARU

Metoda opiera się na pomiarze czasu przepływu określonej objętości cieczy, płynącej w kapilarze ruchem laminarnym z małą prędkością pod stałym ciśnieniem. Spełnione są zatem warunki, dla których słuszne jest prawo Poiseuille'a:

$$V = \frac{\pi r^4 \Delta p t}{8 l \eta},$$

gdzie: V – objętość przepływającej cieczy, r – promień kapilary, Δp – różnica ciśnień powodująca ruch cieczy, t – czas przepływu, η – współczynnik lepkości.

Z uwagi na specyficzną konstrukcję wiskozymetru, równanie powyższe ulegnie modyfikacjom, w wyniku czego przyjmie znacznie prostszą postać.



Ryc. 1. Schemat wiskozymetru w wersji U-rurki

Wiskozymetr zbudowany jest (Ryc. 1) z grubościennej kapilary w kształcie litery U (wersja 1) lub w kształcie litery V (Ryc. 2) (wersja 2).

Odległość między ramionami wiskozymetru jest dla pierwszej wersji przyrządu stała i wynosi między kapilarami h_0 (Ryc. 1). Kapilara osadzona jest w odpowiednich jarzmach na ośce, którą przytwierdza się do podstawy przyrządu, i za pomocą której można dokonywać jej obrotu w płaszczyźnie poziomej (Ryc. 3).

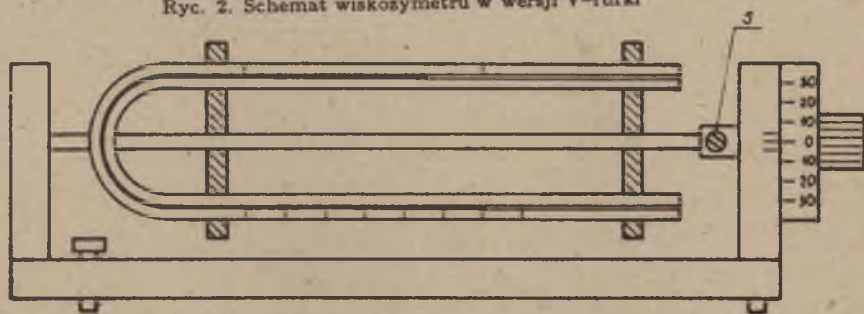
Kąt obrotu mierzony jest na bębnie wyskalowanym w jednostkach kątowych (Ryc. 4).

Różnym kątom ustawienia płaszczyzny wiskozymetru w stosunku do płaszczyzny poziomej odpowiadają różne różnice ciśnień wymuszające ruch cieczy:

$$\Delta p = h d g,$$



Ryc. 2. Schemat wiskozymetru w wersji V-rurki



3. Ogólny widok wiskozymetru z podstawą

gdzie: $h = h_0 \sin \alpha$, d – gęstość cieczy, g – przyspieszenie ziemskie, α – kąt między płaszczyzną wytyczoną przez ramiona wiskozymetru a płaszczyzną poziomą.

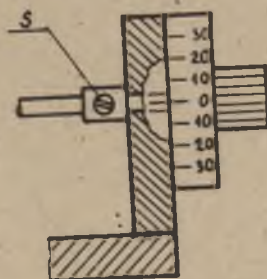
Objętość przepływającej cieczy, V , można wyrazić wzorem:

$$V = 2l_1 \pi r^2,$$

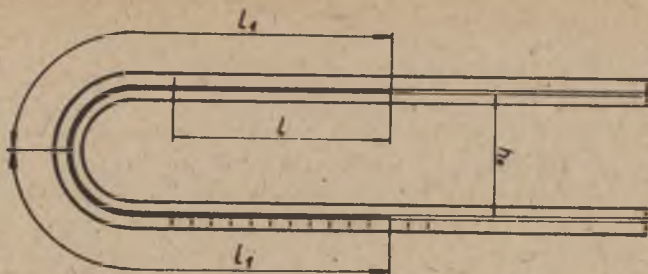
gdzie: l_1 – długość słupa cieczy (Ryc. 5) w jednym z ramion kapilary, r – promień kapilary.

Uwzględniając powyższe zależności, równanie Poiseuille'a przyjmie postać:

$$\eta = A_1 \frac{t d \sin \alpha}{l_1},$$



Ryc. 4. Skala kątomierza



Ryc. 5. Określenie długości słupa (l_1) przesuwanej się cieczy

gdzie $A_1 = \frac{r^2 h_0 g}{16 l}$ jest wartością stałą dla wiskozymetru o stałej odległości ramion h_0 (wersja 1).

Metoda jak i pomiar lepkości za pomocą drugiej wersji wiskozymetru (litera V) opiera się na tych samych założeniach. Również i w tym przypadku ruch cieczy wymuszony jest różnicą ciśnień, która wprawdzie zależna jest między innymi od objętości biorącej udział w ruchu cieczy, jednakże dla danej objętości jest stała. Różnica poziomów h_0 powinna być zatem mierzona (Ryc. 2) każdorazowo dla wypełniającej wiskozymetr cieczy. Wobec tego wartość jej nie wchodzi do poprzedniego wzoru jako stała, a równanie określające η przyjmie postać:

$$\eta = A_2 \frac{h_0 t d \sin \alpha}{l_1},$$

gdzie $A_2 = \frac{r^2 g}{16 l}$ – stała dla wiskozymetru wersji 2.

Pomiar współczynnika η sprowadza się do wykonania dwóch rodzajów czynności:

- 1) czynności przygotowawcze,
- 2) pomiar zasadniczy.

Do pierwszych należą: chemiczne oczyszczenie kapilary, wypoziomowanie podstawy oraz „zerowanie” bębna osi obrotu z kątomierzem. Pomiar zasadniczy polega na odczytaniu długości słupka cieczy, zmierzeniu h_0 (dla wersji 2) oraz zmierzeniu czasu przepływu (przemieszczenie się menisku) na odcinku l , zaznaczonym na ramionach wiskozymetru (Ryc. 2 i 5). Pomiar czasu przepływu może być realizowany w wielu wariantach. Optymalnym będzie dokonanie serii pomiarów przy również optymalnie dobranym kącie α , którego wartość zmieniamy z dodatniej na ujemną. Ma to na celu zmianę kierunku przepływu cieczy. Mierząc czas przepływu na tym samym odcinku, raz w lewo, drugi raz (po obrocie o tę samą wartość kąta w stronę przeciwną) w prawo, eliminujemy niedokładności popełnione przy poziomowaniu i zerowaniu przyrządu. Do końcowego równania wprowadzamy czas, który będzie średnią arytmetyczną z serii pomiarów przy danym α .

UWAGI KOŃCOWE I WNIOSKI

Właściwości płynów ustrojowych, w szczególności krwi, w znacznym stopniu odbiegają od właściwości cieczy niutonowskich, dla których słuszne jest prawo Poiseuille'a [1, 2]. Metoda opisana wyżej nie jest zatem wolna od błędów, jakie wynikają z samych założeń. Płyny ustrojowe traktowane są tu jako uogólnine cieczy niutonowskie [2, 8], a wyznaczany współczynnik η jest tzw. pozorną lepkością [2, 9]. Dokładność metody nie jest mniejsza od innych opartych na prawie Poiseuille'a, bądź też opartych na zastosowaniu wiskozymetrów innych typów [6, 8, 9]. Z analizy błędów pomiaru wynika, że maksymalny błąd wynosi do 5%, podczas gdy rozrzut wyników mieści się w zakresie 2%.

Stosunkowo mała wartość rozrzutu – a tym samym dość duża dokładność wyników – spowodowana jest nie tylko możliwościami precyzyjnego wykalibrowania przyrządu (określenia stałej wiskozymetru A), ale również pewnymi zaletami metody. Stałość ciśnienia wymuszającego przepływ cieczy, co leży u podstaw wyprowadzenia równania Poiseuille'a, jest tu w pełni zachowana. Fakt ten ma bardzo duże znaczenie, gdyż wynika z niego stacjonarność ruchu jak i laminarność przepływu. W nielicznych typach wiskozymetrów warunki te są spełnione. Fakt, że stosunkowo niewielka część całkowitej objętości cieczy zmienia kierunek przepływu (zachowując jednakże stałą wartość liczbową prędkości) nie wpływa w sposób istotny na otrzymane wyniki. Działanie siły odśrodkowej na zakrzywionym ramieniu wiskozymetru jest zbyt małe w porównaniu do pozostałych sił. Nie zachodzi zatem konieczność wprowadzenia poprawki podobnej do poprawki typu Hagenbacha [6].

Na podkreślenie zasługuje łatwy sposób dokonywania pomiarów przy różnych ciśnieniach wymuszających ruch cieczy. Daje to możliwość uwzględnienia zmian η w zależności od Δp , zwłaszcza w pobliżu granicy płynności [2, 9]. Umieszczenie wiskozymetru w termostacie nie nastęrcza zasadniczych trudności. Zdaniem autora nie jest to jednak konieczne. Pomiar czasu przepływu można tak dobrać, aby nie był zbyt długi, a tym samym odbył się w stałej temperaturze. Wyznaczenie η tej samej próbki cieczy w innej temperaturze pozwala rachunkowo [4, 6] określić parametry dotyczące zmiany lepkości w funkcji temperatury, a tym samym obliczyć lepkość dla innej żądanej temperatury.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Anufrijewa E. W., Bołotina I. A.: *Biofizyka*, 10, 918, (1965).
- [2] Beir W.: *Biofizyka*, PWN Warszawa 1986.
- [3] Dintenfass L.: Blood viscosity factors in diagnosis and preventive medicine. First World Congr. Microcirculation, Toronto 1975.
- [4] Dryński T.: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*, PWN Warszawa 1976.
- [5] Friedman G.B.: *Magn. Res. Rev.*, 8, 243, (1983).
- [6] Kohlrausch F.: *Fizyka laboratoryjna*, t. 1; PWN, Warszawa 1959.
- [7] Rączka J., Lembicz F., Sadłowski L., Kuriata J., Lipiński E., Stawarczyk W., Frydryk J.: *Postępy Fizyki Medycznej*, 21, 76.4, (1986).

- [8] Sulek K., Wróblewska A., Wańkowicz Z.: *Pol. Arch. Med. Weun.*, 76.4, (1986).
[9] Turczyński B.: *Acta. Physiol. Pol.*, XX.1, (1969).
[10] Turczyński B., Znamirowska D., Szczęsny S., Grzegorzczak S.: *Pol. Arch. Med. Weun.*, 77.6, (1987).

SUMMARY

The paper presents a viscometer which allows absolute measurement of coefficient of viscosity basing on Poiseuille's law. The volume of examined liquid is about 0.1 c.c. which allows the device to be also used for examination of various physiological liquids. The liquid flows under constant pressure the volume of which can be chosen from several up to 100 mm of column of the examined liquid. Scatter of results is about 2% while maximum error estimated is not greater than 5%.

РЕЗЮМЕ

В работе представлен вискозиметр, позволяющий на абсолютное измерение коэффициента вязкости жидкости по закону Пуазейля. Объем исследуемой жидкости составляет около 0,1 см³, что позволяет на применение прибора также к исследованиям физиологических растворов. Жидкость протекает под consistentным давлением, объем жидкости можно подбирать в пределах от нескольких до 100 миллиметров столба исследуемого раствора. Разброс результатов составляет около 2%, в то время как максимальное измерительное отклонение не превышает 5%.

Złożone 20.IV.1988