

11. Ронгинский М.Ю. (1991). Игровые элементы активного обучения: социально-психологический тренинг. Знание, 15.
12. Реньш М. А., Лопес. Е. Г. (2016). Психологический тренинг: учебно-методическое пособие, 235 с.
13. Самоукина Н.В. (1992). Игровые методы в обучении и воспитании.
14. Таткина Е.Г. (2010). Феноменологический анализ отношения к профессиональной деятельности и самопонимания медицинских сестер и студентов медицинского колледжа. Вестник ун-та Российской академии образования, 4, 57-59.

УДК: 61:53 : 532:612.014.462.7

## **ФИЗИКА В МЕДИЦИНЕ. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

**Феруза Нурматова**

*Заведующая кафедрой, Ташкентский государственный стоматологический институт  
Ташкент, Узбекистан  
[feruzanurmatova\\_tdsi@mail.ru](mailto:feruzanurmatova_tdsi@mail.ru)*

## **PHYSICS IN MEDICINE. METHODS FOR DETERMINING VISCOSITY OF PHYSIOLOGICAL FLUIDS**

**Feruzanurmatova**

*Head of Department, Tashkent State Dental Institute  
Tashkent, Uzbekistan  
[feruzanurmatova\\_tdsi@mail.ru](mailto:feruzanurmatova_tdsi@mail.ru)*

## **ТИББИЁТДА ФИЗИКА. ФИЗИОЛОГИК СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ЎПИШҚОҚЛИГИНИ АНИҚЛАШ УСУЛЛАРИ**

**Феруза Нурматова**

*Тошкент давлат стоматология институти  
Тошкент, Ўзбекистон  
[feruzanurmatova\\_tdsi@mail.ru](mailto:feruzanurmatova_tdsi@mail.ru)*

### **АННОТАЦИЯ:**

Жидкие среды составляют наибольшую часть организма, их перемещение обеспечивает обмен веществ и снабжение клеток кислородом, поэтому механические и реологические свойства, течение жидкостей представляют особый интерес для медиков и биологов. В статье рассматриваются наиболее распространённые методы определения вязкости физиологических жидкостей, метод Стокса, метод Оствальда-Пинкеевича, капиллярный метод. Материал изложенный в статье имеет отношение к гидродинамике – разделу физики, в котором изучают вопросы движения жидкостей и взаимодействие их с твёрдыми телами, и к реологии – учению

текучести вещества. Раскрывается физический смысл вязкости жидкостей, сущность закона Пуазейля. В жидкостях внутреннее трение обусловлено действием межмолекулярных сил. Расстояние между молекулами жидкости сравнительно невелики, а силы взаимодействия значительны. Рассматриваются применение закона течения жидкости.

**Ключевые слова:** вязкость, слюна, метод Стокса, вискозиметр.

#### **ABSTRACT:**

Liquid media make up the largest part of the body, their movement ensures metabolism and oxygen supply to cells, therefore, mechanical and rheological properties, the flow of liquids are of particular interest to physicians and biologists. The article discusses methods for determining the viscosity, Stokes method, Ostwald-Pinkevich method, capillary method. The material presented in the article is related to hydrodynamics - a branch of physics that studies the issues of the movement of liquids and their interaction with solids, and to rheology - the study of the fluidity of a substance. The physical meaning of the viscosity of liquids, the essence of Poiseuille's law, the application of the law of fluid flow are revealed. In liquids, internal friction is due to the action of intermolecular forces. The distance between liquid molecules is relatively small, and the interaction forces are significant. The application of the law of fluid flow is considered.

**Key words:** viscosity, saliva, Stokes method, viscometer, surface tension.

#### **АННОТАЦИЯ:**

Суюқ муҳитлар тананинг энг катта қисмини ташкил қилади, уларнинг ҳаракати моддалар алмашинувини ва ҳужайраларни кислород билан бойишини таъминлайди, шу сабабли суюқликларнинг оқими, уларнинг механик ва реологик хусусиятлари шифокорлар ва биологлар учун алоҳида қизиқиш уйғотади. Мақолада физиологик суюқликларнинг ёпишқоқлигини аниқлашнинг энг кенг тарқалган усуллари, Сток усули, Оствальд-Пинкеевич усули, капилляр усуллар кўриб чиқилади. Мақолада келтирилган материаллар – суюқликлар ва уларнинг қаттиқ жисмлар билан ўзаро таъсир масалаларини ўрганадиган физиканинг бўлими - гидродинамикага ва суюқликларнинг ёпишқоқлиги ва оқувчанлигини ўрганувчи бўлим – реологияга мансуб. Суюқликлар ёпишқоқлигининг физикавий мазмуни, Пуазейл қонунининг моҳияти очиб берилган. Суюқликларда ички ишқаланиш молекулалараро кучлар таъсиридан келиб чиқади. Суюқлик молекулалари орамидаги масофа нисбатан кичик ва ўзаро таъсир кучлари сезиларли. Шунингдек мақолада суюқликнинг ҳаракатланиш қонуниятлари кўриб чиқилади.

**Калит сўзлар:** ёпишқоқлик, сўлак, Стокс усули, вискозиметр.

При течении реальной жидкости отдельные слои её воздействуют друг на друга силами касательными к этим слоям. Это явление называют внутренним трением или вязкостью. [1, с.158] Вязкостью определяется характер движения жидкости в сосудах, поэтому в медицинской практике вязкости биологических жидкостей (кровь, слюна, моча и др.) уделяется большое внимание.

Реологические характеристики физиологических жидкостей изучаются в предмете биофизика [2, с.78]. В своей основе биофизика, как и физика является экспериментальной наукой – её законы базируются на фактах, установленных опытных путём. В результате обобщения экспериментальных фактов устанавливаются физические законы – устойчивые повторяющиеся объективные закономерности, существующие в природе, устанавливающие связь между физическими величинами [3, с. 18], [10, с.25].

Слюна является одной из наиболее важных секреторных жидкостей, производимых организмом. У людей слюна на 98% состоит из воды плюс электролиты, слизь, лейкоциты, эпителиальные клетки (из которых можно извлечь ДНК), ферменты (такие как амилаза и липаза), противомикробные агенты, такие как секреторный IgA, и лизоцимы [4, с. 27].

У здорового человека вырабатывается до 2-х литров слюны в день. При наличии проблем со здоровьем может наблюдаться повышение степени вязкости слюны: она становится густой и липкой, в некоторых случаях появляются пена и слизь белого цвета.

Вязкость – это одно из свойств слюны, изменение которого может явиться причиной патологического процесса.

Значительное повышение вязкости сопровождается также интенсивным поражением зубов кариесом.

При нормальном показателе вязкости, слюна имеет лишь немного бóльшую вязкость ( $1 \text{ сП} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{сек}$ ), чем вода ( $0,89 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ). Однако слюна — это неньютоновская жидкость, не имеет постоянного коэффициента вязкости, зависит от скорости сдвига (градиента скорости) [1, с.159]. Зачастую повышенная вязкость слюны является сигналом о появлении проблем со здоровьем и сопровождается иными подозрительными признаками. Проанализировав весь комплекс симптомов, можно определить заболевание.

Слюна – первый по доступности природный антисептик. Именно поэтому небольшие ранки во рту заживают намного быстрее, чем на коже.

Чтобы все эти процессы протекали именно так, как нужно, слюноотделение должно быть достаточным, а само отделяемое – прозрачным или слегка мутным, жидким и неощутимым для человека. Нарушение привычной консистенции слюны невозможно не заметить, так как создается навязчивое ощущение дискомфорта, нарушается речь и привычный ритм жизни, возможны проблемы с пищеварением, зубами и слизистыми полости рта [5, с. 184].

Стоматологические проблемы также могут являться «виновниками» появления густой вязкой слюны. Пародонтит, пародонтоз (воспалительные поражения мягких тканей ротовой полости) приводят к патологическим изменениям структуры десен, количество вырабатываемой слюны уменьшается. Кроме этого, элементы эпителиальной ткани смешиваются с секретом, делают его тягучим, густым.

Для установления количественных соотношений между физическими величинами их необходимо измерить, то есть сравнивать их с соответствующими эталонами. [7, с. 341].

**Материалы и методы:** Существует несколько методов определения коэффициента вязкости. Совокупность методов измерения вязкости называют вискозиметрией, а приборы - вискозиметрами [1, с.164].

### Метод Стокса

Коэффициент вязкости жидкости можно определить, измеряя скорость падения шарика в этой жидкости.

Задача обтекания шара была решена Стоксом. Им же была найдена формула, связывающая силу сопротивления при установившемся движении шарика в среде с коэффициентом вязкости  $\eta$

$$F_c = 6\pi r \eta v \quad (1)$$

где  $r$  - радиус шарика,  $v$  - скорость его движения.

Метод Стокса позволяет определить коэффициент вязкости жидкости  $\eta$  при движении не большого шарика, падающего вертикально в жидкости, На шарик при движении в жидкости действуют три силы

Вес шарика  $P = \frac{4}{3} r^3 \rho g$ , (2)

где  $\rho$  - плотность вещества шарика, выталкивающая сила

$$F_b = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  - плотность жидкости и сила сопротивления (I).

Первая и вторая силы постоянны по величине, третья - пропорциональна скорости. При движении шарика в жидкости наступает момент, когда все три силы уравниваются, и шарик начинает двигаться равномерно.

Условие равномерного движения шарика:

$$P = F_b + F_c$$

$$\frac{4}{3} r^3 \rho g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_0 g + 6 \pi r \eta v$$

$$\frac{4}{3} \pi r^3 g (\rho - \rho_0) = 6 \pi r \eta v$$

Сделав преобразования, получают следующую формулу

$$\eta = \frac{2 r_{cp}^2 g (\rho - \rho_0)}{9 v}$$

Скорость движения шарика находят по формуле:  $v = \ell / t$ , где  $\ell$  - путь равномерного движения,  $t$  - время движения. Т.к.  $\rho$ ,  $\rho_0$ ,  $g$  - величины постоянные, то  $\frac{2}{9}(\rho - \rho_0)g$  обозначим через «С» т.е.  $C = \frac{2}{9}(\rho - \rho_0)g$ . Рабочая формула будет иметь вид:

$$\eta = C \cdot r_{cp}^2 / v$$

Таким образом, в работе следует измерить радиусы шариков и время их движений в жидкости.

Для определения коэффициента вязкости берут высокий цилиндр с исследуемой жидкостью, на цилиндре имеется кольцевая метка сверху. Эта метка соответствует той высоте, где действующие на шарик силы уравниваются друг друга. Кроме того, на расстоянии  $\ell$  от верхней метки имеется такая же метка внизу. Бросая шарик в цилиндр, отмечают по секундомеру время прохождения им пути  $\ell$  между кольцевыми метками, откуда определяют скорость падения  $v$ .

Диаметр шарика определяют при помощи микрометра [6, с.3510].

Результаты измерений заносится в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты измерений.

№	D(см)	r <sub>cp</sub> (см)	Время падения t (с)	$v=l/t$ (см/с)	Коэф. вяз. $\eta$ (Пуаз)	$\Delta\eta$ (Пуаз)

Метод Стокса используется в медицине. По реакции оседания эритроцитов (РОЭ) в плазме крови судят о вязкости плазмы: чем вязкость плазмы больше, тем величина столба осевших на определенное время эритроцитов меньше [12, с.20].

### **Определение коэффициента вязкости с помощью капиллярного вискозиметра**

Хотя метод Стокса дает возможность наиболее просто определить коэффициент вязкости жидкости, он имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, измерение вязкости по Стоксу требует довольно большого количества исследуемой жидкости, что абсолютно неприемлемо при медико-биологических исследованиях. Во-вторых, метод Стокса определяет коэффициент динамической вязкости, а характер движения жидкости по сосудам зависит в основном от коэффициента кинематической вязкости  $\nu$ .

В-третьих, по методу Стокса трудно устранить температурную зависимость коэффициента вязкости, так как невозможно добиться постоянства температуры в большом объеме исследуемой жидкости. В связи с перечисленными недостатками в настоящее время в лабораторной практике коэффициент вязкости определяют с помощью капиллярного вискозиметра.

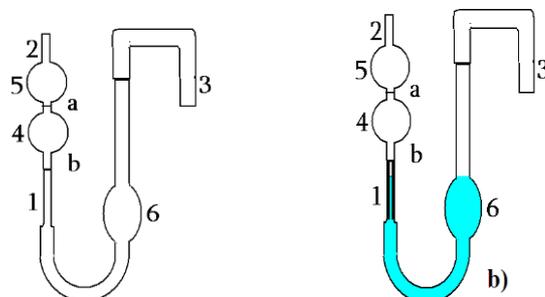
Капиллярными вискозиметрами измеряют вязкость от значений  $10^{-5}$  Па\*с до значений  $10^4$  Па\*с [1, с.165].

Для определения вязкости слюны используют вискозиметр Оствальда-Пинкевича [11, с.25].

Вискозиметр Оствальда-Пинкевича представляет собой U-образную стеклянную трубку с капилляром 1, шариками 4, 5 и резервуаром 6. Через конец трубки 2 в вискозиметр наливают исследуемую жидкость объемом 3-4 см<sup>3</sup> (так, чтобы резервуар 6 был заполнен). Затем грушу вставляют в

резиновую трубку 3 и всасывают жидкость так, чтобы она поднялась выше метки "а" и частично заполнила шарик 5.

Убирают грушу, жидкость начинает вытекать из шариков. Определяют время истечения жидкости из шарика 4, т.е. от метки "а" до метки "в".



В основе этого метода лежит формула Пуазейля, устанавливающая связь между объемом  $V$  жидкости вязкости  $\eta$ , протекающей через капилляр радиусом  $R$  и длиной  $L$  за время  $t$  при перепаде давления  $\Delta p$  на концах капилляра:

Для этого воспользуемся законом Пуазейля, согласно которому объем вытекающей жидкости  $V$  из длинной капиллярной трубки равен:

$$V = \frac{\pi r^4 t \Delta p}{8 \eta \ell} \quad (4)$$

где  $\Delta p$  - разность давлений на концах трубки в дин./см<sup>2</sup>,  $r$  - радиус капилляра в см.,  $t$  - время истечения в с.,  $\ell$  - длина капилляра в см., и

$\eta$  - вязкость жидкости.

Из формулы (I): 
$$\eta = \frac{\pi r^4 t \Delta p}{8 V \ell}$$

Если жидкость вытекает под влиянием своего собственного веса, то разность давлений равняется гидростатическому давлению, т.е.

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

где  $g$  - ускорение силы тяжести,  $\rho$  - плотность жидкости,  $h$  - высота столба жидкости, тогда

$$\eta = \frac{\pi r^4 t \rho g h}{8 V \ell} \quad (5)$$

Если опыт проделать с дистиллированной водой, вязкость которой  $\eta_0$  известна из таблиц, а затем с исследуемой жидкостью, вязкость которой обозначим через  $\eta_x$ , тогда вязкость дистиллированной воды будет равна

$$\eta_0 = \pi r^4 t_0 \rho_0 g h / 8 V_0 \ell \quad (6)$$

а вязкость исследуемой жидкости (при той же температуре, что и вода)

$$\eta_x = \pi r^4 t_x \rho_x g h / 8 V_x \ell \quad (7)$$

Разделив почленно равенство (7) на (6) и сократив радиус  $r$ , длину  $\ell$ , высоту  $h$ , объемы  $V_0$  и  $V_x$ , т.к. они одинаковые, получим:

$$\eta_x / \eta_0 = \rho_x t_x / \rho_0 t_0$$

Отсюда получаем рабочую формулу:

$$\eta_x = \eta_0 \frac{\rho_x t_x}{\rho_0 t_0} \quad (8)$$

В формуле (8)  $\eta_0$  и  $\eta_x$  - коэффициенты вязкости соответственно дистиллированной воды и исследуемой жидкости в Пуазах;

$\rho_0$  и  $\rho_x$  - плотности соответственно дистиллированной воды и исследуемой жидкости в г/см<sup>3</sup>;

$t_0$  и  $t_x$  - время истечения соответственно дистиллированной воды и исследуемой жидкости в секундах.

При упрощенном методе определения можно воспользоваться микропипеткой объемом 1,0 мл.

Сначала пипетку необходимо откалибровать по дистиллированной воде. Для этого нужно набрать воду в пипетку до нулевой отметки ( $V = 1,0$  мл), установив и удерживая пипетку рукой в строго вертикальном положении. Далее по секундомеру отмечается  $V(H_2O)$ , вытекающей за 10 сек. Аналогично проводится опыт со слюной [8, с.85].

По средним значениям  $V(H_2O)$  и  $V_{сл.}$  рассчитать относительную вязкость слюны, принимая вязкость воды равной 1: .

$$\eta_{сл.} = \eta_{H_2O} \cdot \frac{\bar{V}_{H_2O}}{\bar{V}_{сл.}}$$

Сравнивается полученное значение вязкости с нормой [9, с.84].

**Выводы.** Подобные факты, с одной стороны, свидетельствуют о важном значении биофизики в понимании биологических процессов, сопровождающих жизнедеятельность организма, а с другой, повышает

интерес к предмету.

Эти примеры, конечно представляют собой не полный обзор всего того множества способов, которыми физика реализуется в живых системах.

### **Литература/References**

1. Ремизов А.Н. *Медицинская и биологическая физика, учебник*, М. «Геотар-медиа» 2018.
2. Нурматова Ф. Б. *Междисциплинарная интеграция биофизики в медицинском вузе //Методы науки. – 2017. – №. 4. – С. 78-79.*
3. Абдуганиева Ш. Х., Нурматова Ф. Б., Джаббаров Р. А. *Роль биомедицинской и клинической информатики в изучении медицинских проблем //European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences. – 2017. – С. 18-20.*
4. Хи F., Laguna L., Sarkar A. *Aging-related changes in quantity and quality of saliva: Where do we stand in our understanding? //Journal of Texture Studies. – 2019. – Т. 50. – №. 1. – С. 27-35.*
5. Илларионова Е. А., Сыроватский И. П., Сыроватская Д. И. *Исследование вязкости ополаскивателей для полости рта //Инновационные технологии в фармации. – 2021. – С. 183-187.*
6. Bakhtiyarovna N. F. *Organization and Methodology Laboratory Works on Biophysics for Dental Direction //Psychology and Education Journal. – 2021. – Т. 58. – №. 1. – С. 3509-3517.*
7. Нурматова Ф. Б. *Методические подходы к преподаванию биофизики в стоматологическом вузе //педагогика и психология в медицине: проблемы, инновации, достижения: сборник материалов всероссийской научно-практической конференции с международным участием 3-4 июня 2019 года/Под редакцией Ванчаковой НП– СПб.: Изд-во: «ПСПбГМУ им. ИП Павлова», 2019 г.-341с. – С. 198.*
8. Рахимова Х. Ж., Нурматова Ф. Б. *Основные физико-химические свойства стоматологических материалов //Stomatologiya. – 2018. – №. 2. – С. 83-86.*
9. Рахимова Х. Д., Нурматова Ф. Б. *Лечение воспалительных процессов слизистой оболочки полости рта переменным магнитным полем //Высшая школа. – 2017. – №. 6. – С. 84-85.*
10. Абдуганиева Ш. Х., Нурматова Ф. Б. *Биомедицинская информатика //Теоретические и практические проблемы развития современной науки. – 2017. – С. 24-25.*
11. Кобзарь А. Н., Нурматова Ф. Б. *Из опыта преподавания биофизики в медицинских вузах (на примере России и Узбекистана) //Актуальные проблемы образовательного процесса в высшей медицинской школе: от теории к практике. – 2019. – С. 140-146.*
12. Herranz B. et al. *Effect of addition of human saliva on steady and viscoelastic rheological properties of some commercial dysphagia-oriented products //Food Hydrocolloids. – 2021. – Т. 111. – С. 106403.*

**УДК: 618.1-007.21:575.1-053.2**

### **СИНДРОМ ШЕРЕШЕВСКОГО-ТЕРНЕРА (ОБЗОР)**

**АЛИМОВА Насиба <sup>1,a</sup>, АХМЕДОВА Камола <sup>2,b</sup>**