



## Characteristics Of Blood Viscosity And Parameters Affecting It

**Vazira Patchakhanovna  
Ubaydullayeva**

vaziraubaydullayeva1@gmail.com  
Tashkent State Medical University

**Gulnoza Fayzulla  
Abdumazhidova**

First-year students, Faculty of General Medicine  
Tashkent State Medical University

**Gulrukh Shokhrukh  
Usmanova**

First-year students, Faculty of General Medicine  
Tashkent State Medical University

### ABSTRACT

Blood viscosity is an important biophysical parameter determining the efficiency of blood circulation and oxygen transport in the body. It depends on blood composition, red blood cell properties, temperature, and blood flow velocity. Changes in viscosity play a key role in clinical diagnostics and the functional state of the cardiovascular system.

### Keywords:

blood viscosity, fluid, hematocrit, blood flow velocity, vessels, erythrocyte deformability, temperature, thrombosis, density, plasma proteins, blood rheology, pseudoplasticity, thrombosis, stroke, microcirculation.

## Особенности Вязкости Крови И Влияющие На Неё Параметры

**Убайдуллева Вазира Патчахановна**  
vaziraubaydullayeva1@gmail.com

Ташкентский государственный медицинский университет  
**Абдумажидова Гульноза Файзулла кизи, Усманова Гульрух Шохрух кизи**  
Студентки 1-го курса факультет 2-лечебный  
Ташкентский государственный медицинский университет

**Аннотация.** Вязкость крови является важным биофизическим параметром, определяющим эффективность кровообращения и транспорт кислорода в организме. Она зависит от состава крови, свойств эритроцитов, температуры и скорости кровотока. Изменение вязкости играет ключевую роль в клинической диагностике и функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы.

**Ключевые слова:** вязкость крови, жидкость, гематокрит, скорость кровотока, сосуды, деформируемость эритроцитов, температура, тромбоз, плотность, плазменные белки, реология крови, псевдопластичность, тромбоз, инсульт, микроциркуляция.

**Введение.**

Кровь является важнейшей биологической жидкостью организма, обеспечивающей транспорт кислорода, питательных веществ и метаболитов, выведение продуктов обмена, поддержание гомеостаза и реализацию защитных реакций. Одним из значимых её физико-реологических свойств является вязкость — показатель внутреннего сопротивления крови течению.

Вязкость оказывает существенное влияние на гемодинамику, определяя характер движения крови по сосудам, нагрузку на сердце и эффективность микроциркуляции. Кровь относится к неньютоновским жидкостям, поэтому её вязкость изменяется в зависимости от скорости сдвига, температуры и биохимического состава. Повышенная вязкость может затруднять кровоток и увеличивать периферическое сопротивление, тогда как пониженная — снижать эффективность транспорта кислорода.

Изучение вязкостных свойств крови имеет важное диагностическое и клиническое значение: оно используется при оценке риска заболеваний, разработке медицинских устройств и анализе физиологических процессов. Для определения вязкости применяются ротационные и капиллярные вискозиметры, позволяющие моделировать условия, максимально приближенные к физиологическим.

Кроме того, вязкость крови тесно связана с уровнем гематокрита, концентрацией белков плазмы и реологическими свойствами эритроцитов. Комплексная оценка этих параметров способствует более точному прогнозированию сердечно-сосудистых рисков и оптимизации лечебных подходов.

**Основная часть.**

**Вязкость** — это мера внутреннего трения, возникающего между слоями жидкости при их относительном перемещении. В отношении крови данный показатель

формируется за счёт взаимодействия плазмы и форменных элементов, а также их деформационных свойств. Поскольку кровь является неньютоновской жидкостью, её вязкость снижается с увеличением скорости сдвига; такое поведение называют **псевдопластичностью**. Проще говоря, вязкость отражает «густоту» или «липкость» жидкости: чем она выше, тем более медленным становится поток при одинаковом приложенном усилии.

**1. Динамическая (абсолютная) вязкость**

$\eta$  — характеризует сопротивление слоев жидкости сдвигу. Измеряется в Па·с ( $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ ). Вязкость крови можно рассматривать как меру сопротивления внутреннего трения, возникающего при движении слоёв жидкости относительно друг друга. Для идеальной жидкости с постоянной вязкостью используется закон Ньютона:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} S$$

где:

$F$  — сдвиговое напряжение (Па),

$\eta$  — динамическая вязкость жидкости (Па·с),  
 $dx/dv$  — градиент скорости (1/с) вдоль направления потока.

$S$  - площадь поверхности, на которую действует сила. Кровь является неньютоновской жидкостью, поэтому её вязкость зависит от скорости потока и гематокрита (объёмного содержания эритроцитов). При медленном течении кровь становится более вязкой из-за образования эритроцитарных агрегатов (роллетов), а при быстром течении — более текучей, так как клетки ориентируются вдоль потока.

$$v = \eta / \rho$$

**2. Кинематическая вязкость  $v$**  — это отношение динамической вязкости плотности жидкости  $\rho$

Единицы —  $\text{м}^2/\text{с}$ . Она показывает, насколько легко жидкость деформируется под действием силы, учитывая её плотность.

**Влияние вязкости крови на кровоток: закон Пуазейля** Вязкость крови напрямую влияет на движение крови по сосудам и нагрузку на сердце. Для количественного описания этого процесса в биофизике используется **закон Пуазейля**, который связывает объёмный расход жидкости с её вязкостью и геометрией сосуда. Формула закона Пуазейля:

$$Q = \Delta P \pi r^4 / 8 \eta l$$

$Q$  — объёмный расход крови ( $\text{м}^3/\text{с}$ ),

$\Delta P$  — разность давления между концами сосуда (Па),

$r$  — радиус сосуда (м),

$L$  — длина сосуда (м),

$\eta$  — динамическая вязкость крови (Па·с).

Из этого закона видно, что даже небольшое увеличение вязкости  $\eta$  или уменьшение радиуса сосуда  $r$  сильно снижает кровоток. Например, при атеросклеротическом сужении сосудов или повышенном гематокрите сопротивление току крови возрастает в десятки раз. Закон показывает, что **объёмный расход жидкости сильно зависит от радиуса сосуда** — если радиус увеличивается в 2 раза, расход увеличивается в 16 раз ( $r^4$ ). Вязкость жидкости ( $\eta$ ) обратно пропорциональна расходу: чем более вязкая жидкость, тем медленнее она течёт при одинаковом перепаде давления. Длина сосуда  $L$  также влияет: чем длиннее сосуд, тем выше сопротивление и ниже расход.

**Влияние гематокрита на вязкость крови и кровоток**

Гематокрит (Hct) — это то процентное содержание форменных элементов крови, главным образом эритроцитов, обычно выражается в процентах. Он является основным фактором, определяющим вязкость крови: чем выше гематокрит, тем выше вязкость.

При анемии вязкость снижается, при обезвоживании и эритроцитозе — увеличивается.

**Чем выше гематокрит**, тем больше форменных элементов в крови и тем выше внутреннее трение между слоями жидкости. Это приводит к росту вязкости и увеличению гидравлического сопротивления сосудов.

**Нарушения гематокрита** могут возникать при анемии (пониженный Hct) или при полицитемии (повышенный Hct), что напрямую влияет на кровоток и нагрузку на сердце (рисунок-1).

Эмпирическая зависимость вязкости крови от гематокрита выражается формулой:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2.5 \cdot \text{Hct})$$

Где,  $\eta_0$  — вязкость плазмы, а Hct выражен в долях единицы.

Если  $\eta = 0.0012 \cdot (1 + 2.5 \cdot 0.45) \approx 0.00255 \text{ Па} \cdot \text{с}$

То есть вязкость крови почти в два раза выше, чем у плазмы.

Гематокрит влияет не только на вязкость, но и на **эффективность кровотока по закону Пуазейля**: при повышенном Hct расход крови снижается, а нагрузка на сердце растёт. Поэтому изучение гематокрита важно для оценки состояния сердечно-сосудистой системы и прогнозирования риска тромбозов.

## ГЕМАТОКРИТ

- отношение объема форменных элементов  
к объему крови (%)



**Рисунок-1: Показатель**

**гематокрита**

### Деформируемость и агрегация эритроцитов

Эритроциты являются ключевым фактором, определяющим вязкость крови, поскольку составляют до 99% всех форменных элементов. Их характерная двояковогнутая дисковидная форма и высокая эластичность мембраны обеспечивают способность изменять конфигурацию при прохождении через капилляры диаметром 3–5 мкм, что меньше среднего диаметра эритроцита (7–8 мкм).

### Деформируемость эритроцитов обеспечивается:

- структурой мембраны (липидный бислой и белковый цитоскелет);

- наличием структурных белков, включая спектрин и актин;
- оптимальной гидратацией клетки;
- вязкоэластичными свойствами цитоплазмы;
- нормальным уровнем АТФ, поддерживающим активные механизмы поддержания формы.

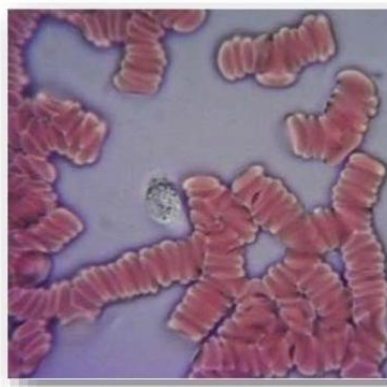
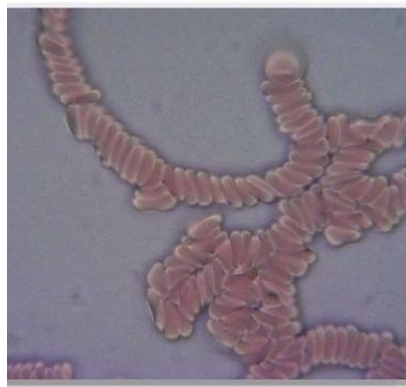
### Снижение деформируемости наблюдается при:

- серповидно-клеточной анемии;
- сахарном диабете;
- гипоксии;
- ацидозе;
- воспалительных процессах;
- старении эритроцитов;
- обезвоживании.

Уменьшение деформируемости приводит к росту гидродинамического сопротивления в микроциркуляторном русле и ухудшению доставки кислорода к тканям, что негативно влияет на трофику и обмен веществ.

**Агрегация эритроцитов** — это обратимое объединение клеток в цепочкообразные структуры («монетные столбики») при низких скоростях кровотока. Этот процесс усиливается под воздействием фибриногена, иммуноглобулинов, высокомолекулярных белков плазмы и при снижении отрицательного поверхностного заряда мембраны.

Агрегация приводит к значительному увеличению вязкости крови в венулах и капиллярах, особенно при замедлении кровотока, что может вызывать застой крови и нарушать микроциркуляцию (рисунок-2).



**Рисунок-2. Агрегация эритроцитов в виде («монетные столбики»)**

### Плазменные белки

Плазма крови представляет собой коллоидный раствор белков, среди которых ключевое значение для вязкости имеют:

**Фибриноген:** основной белок, повышающий вязкость; формирует мостики между эритроцитами; усиливает агрегацию; повышается при воспалении, травмах, инфекции.

**Глобулины:** увеличивают вязкость за счёт взаимодействия с мембранами клеток, участвуют в иммунных реакциях, повышаются при хронических воспалительных процессах.

**Альбумины:** уменьшают вязкость, удерживая воду в кровотоке, обеспечивают онкотическое давление, снижаются при заболеваниях печени и почек

Изменения концентрации белков плазмы существенно влияют на реологию крови. Например: гиперпротеинемия → повышение вязкости, гипопротеинемия → снижение вязкости, нарушение микроциркуляции

Изменения концентрации белков наблюдаются при воспалении, инфекциях, обезвоживании, заболеваниях печени, что клинически проявляется изменением текучести крови и нарушением кровообращения.

### Температура и скорость кровотока

*Температура* — один из важнейших факторов, влияющих на вязкость. При снижении температуры структурированность плазмы возрастает, мембраны клеток теряют гибкость, кровь становится гуще. Это объясняет: увеличение риска тромбозов при гипотермии, ухудшение периферического кровообращения на холоде, побледнение и онемение конечностей.

Повышение температуры приводит к уменьшению вязкости из-за повышения кинетической энергии молекул.

Пример: при снижении температуры с 37°C до 30°C вязкость крови увеличивается на 20–25%.

**Скорость кровотока** влияет на агрегацию эритроцитов: высокая скорость → агрегаты

разрушаются → вязкость снижается низкая скорость → агрегаты образуются → вязкость растёт.

Это явление подтверждает неньютоновский характер крови: она проявляет свойства **тиксотропии** — уменьшение вязкости при механическом воздействии.

В микроциркуляции (капилляры) кровь может вести себя как более жидкая среда благодаря плазменному скольжению и деформации клеток.

### Клиническое значение вязкости крови

Вязкость крови является одним из ключевых гемореологических показателей, определяющим эффективность кровотока и работу сердечно-сосудистой системы. Она напрямую влияет на сопротивление сосудов, распределение давления и скорость кровотока. Изменения вязкости способны оказывать значительное влияние на микроциркуляцию и тканевый обмен, а также на общую гемодинамическую стабильность организма.

Повышенная вязкость крови увеличивает периферическое сопротивление сосудов, что приводит к росту гемодинамической нагрузки на сердце. Это, в свою очередь, может вызывать компенсаторные реакции сердечно-сосудистой системы, включая увеличение частоты сердечных сокращений и артериального давления. Одновременно повышенная вязкость замедляет движение крови в микроциркуляторном русле, снижает скорость обмена веществ в тканях и ухудшает доставку кислорода и питательных веществ. В таких условиях формируются предпосылки для нарушения микроциркуляции и локальных обменных процессов на клеточном уровне.

Снижение вязкости крови, напротив, уменьшает сопротивление сосудов, но одновременно снижает способность крови эффективно переносить кислород. В микроциркуляторном русле это может приводить к неравномерному распределению кровотока и снижению эффективности тканевого обмена, что

повышает риск развития гипоксических состояний на клеточном уровне.

Особое значение имеет динамическая регуляция вязкости крови в зависимости от скорости кровотока и состояния сосудистого русла. Поскольку кровь обладает неньютоновскими свойствами, её реологические характеристики изменяются при различных гемодинамических режимах: при высокой скорости кровотока вязкость уменьшается за счёт разрушения эритроцитарных агрегатов, а при низкой скорости она повышается, создавая дополнительное сопротивление и изменяя распределение давления по сосудистой сети.

Контроль вязкости крови и понимание её клинического значения имеют большое значение для оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы, микроциркуляции и обменных процессов. Анализ гемореологических параметров позволяет прогнозировать потенциальные нарушения кровотока, корректировать терапевтические воздействия и оптимизировать условия для поддержания эффективного транспорта кислорода и питательных веществ.

Таким образом, вязкость крови является важнейшим индикатором физиологической и гемодинамической стабильности организма. Её исследование помогает понять механизмы адаптации кровотока к изменяющимся условиям, оценить функциональное состояние микроциркуляции и разработать подходы к нормализации кровообращения на биофизическом и клиническом уровне.

## Выводы

Вязкость крови является важнейшим биофизическим параметром, определяющим эффективность кровообращения и газообмена. На неё влияют клеточный состав, свойства плазмы, температура и скорость кровотока. Регуляция вязкости крови является результатом взаимодействия многочисленных факторов, среди которых

ведущую роль играют деформируемость и агрегация эритроцитов, концентрация плазменных белков, температура тела и скорость кровотока. Любое нарушение этих параметров способно привести к значительным изменениям реологических свойств крови и развитию патологических состояний. Повышение вязкости увеличивает периферическое сопротивление, повышает нагрузку на сердце и создаёт предпосылки для тромбообразования, ишемии органов и нарушений микроциркуляции. Снижение вязкости, напротив, ухудшает кислородотранспортную функцию крови, что может вызывать тканевую гипоксию.

Изучение вязкости крови имеет большое клиническое значение. Оценка её изменений используется при диагностике сердечно-сосудистых, воспалительных, метаболических и гематологических заболеваний. Понимание механизмов, влияющих на реологию крови, позволяет обоснованно подходить к выбору методов лечения, включающих инфузионную терапию, антикоагулянтные препараты, коррекцию водно-электролитного баланса и нормализацию уровня белков плазмы. Кроме того, контроль вязкости играет важную роль в профилактике осложнений, связанных с тромбозами и нарушением кровообращения.

Следовательно, исследование вязкости крови является не только фундаментальной задачей биофизики, но и важным практическим направлением современной медицины. Глубокое понимание её природы и факторов регулирования способствует улучшению диагностики, профилактики и терапии заболеваний, связанных с нарушением гемодинамики. В дальнейшем развитие методов оценки реологических свойств крови и их интеграция в клиническую практику позволит повысить эффективность лечения и качество жизни пациентов.

## Научная литература

1. Божкова Л.В., Рябов В.Г., Норицина Г.И. Смешанная плоская задача теории

- упругости для двухслойной кольцевой области // Известия МГТУ «МАМИ» . М.: МАМИ, 2011, №1, С.217-221
2. Божкова Л.В., Чебанюк А.М. Взаимодействия кольца, жестко насаженного на абсолютно твердое цилиндрическое тело, с жестким основанием. // Известия вузов. Машиностроение. - 1977., №8, с. 16-22.
3. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. Медицинская и биологическая физика. — Минск: БГУ, 2022.
4. Новиков Д.А. Биофизика: Учебник. — Москва: ВЛАДОС, 1999.
5. Артюхов В.Г. Биофизика. — Ереван: Изд-во ЕГУ, 1987.
6. Иванов А.А. Медицинская и биологическая физика. — Минск: БГУ, 2014.

#### Онлайн-ресурсы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кровь>
2. <https://studfile.net/preview/6214549/page:3/>
3. <http://oilblog.ru/?p=329>
4. <https://cyberleninka.ru/article/n/znachenie-imenno-tochnyh-resheniy-uravneniy-dvizheniya-vyazkoy-zhidkosti-navie-stoksa>
5. <https://bioniq.ru/media/post/analiz-krovi-hct>
6. <https://nestarenie.ru/gematokrit.html>
7. <https://tirit.org/articles/vyazkost-krovi/>