

*Идиев С.Б.*

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОСЕДАНИЯ ЭРИТРОЦИТОВ КРОВИ В ПОЛЕ ТЯГОТЕНИЯ ЗЕМЛИ**

*S.B. Idiev*

**TESTING THE SPEED SEDIMENTATION OF THE ELEMENTS OF BLOOD CORPUSCLE IN THE GRAVITATION FIELD OF EARTH**

УДК: 53.577.3.

*Изучена скорость падения или скорость оседания эритроцитов крови в поле тяготения Земли. Выяснено, уравнение описывающее скорость оседания эритроцитов в поле тяготения Земли. Получена формула, которая описывает зависимость скорости оседания монетных столбиков от концентрации. Определено, что скорость оседания эритроцитов в поле тяготения Земли обратно пропорциональна числу монетных столбиков и вязкости плазмы крови.*

**Ключевые слова:** *кровь, скорость оседания эритроцитов, поле тяготения Земли, монетных столбиков, концентрация монетных столбиков, вязкости плазмы крови.*

*In this paper the rate of fall or rate of sedimentation of blood erythrocytes is studied. The formula describing the rate of sedimentation in the gravitation field was founded. The dependence of the sedimentation rate of rouleaux from concentration was obtained. It was determined, that the rate of sedimentation of erythrocytes in the gravitation field of Earth is inversely to the number of rouleaux and viscosity of blood plasma.*

**Key words:** *blood, rate of sedimentation of erythrocytes, the Earth gravitation field, rouleaux, concentration of rouleaux, viscosity of blood plasma.*

Скорость падения или скорость оседания эритроцитов крови в поле тяготения Земли экспериментально определяется в неподвижном объёме (в пробирке). В экспериментальной медицине об оседании эритроцитов крови, судят только по изменению высоты их осадков, не придавая значения на характер изменения скорости оседания форменных элементов. Это изменение расстояния (мм) на которые осели эритроциты за час.

В процессе оседания эритроцитов действует три фазы:

I – агрегация – формирование монетного столбика эритроцитов;

II – седиментация – продолжение формирования столбика эритроцитов и их оседания;

III – уплотнение – завершение агрегации эритроцитов и оседание столбиков эритроцитов на дно пробирки (рис.1).

Если взять пробу крови в пробирку с цитрата натрия (для связывания кальция, чтобы кровь не сворачивалась) и оставить её в покое, то эритроциты начинают медленно падать (оседать) на дно пробирки, оставляя над собой слой жидкости плазмы крови. Как известно измерение оседание эритроцитов в медицине производится по методу Т. Понченкова [2], А. Вестергрена [3] и метод измерения кинетики агрегации эритроцитов [4]. Для определения СОЭ наиболее широкое распространение в развитых странах мира получил метод А. Вестергрена [5].

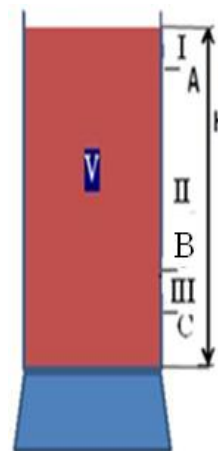


Рис 1.

В этом методе используют стандартный капилляр из стекла длиной 300 мм (рабочий является длиной 200 мм), диаметром 2,55 мм. Измерение СОЭ по методу А. Вестергрена включают следующие: шприц на 2 мл, содержащего 0,4 мл 3,8 % раствора цитрата натрия из локтевой вены берут 1,6 мл крови. Затем наполняют пробирку градуированную в мм полученным раствором и укрепляют её в вертикальном положении. Через 1 час измеряют столб жидкости (плазмы) без эритроцитов.

Скорость оседания эритроцитов, в отличие от лейкоцитов и тромбоцитов зависит от их склеивания (монетных столбиков) и от величины их электрических зарядов (эритроцит имеет отрицательный заряд) [1,6]. Белковые молекулы (фибриноген, иммуноглобулин)

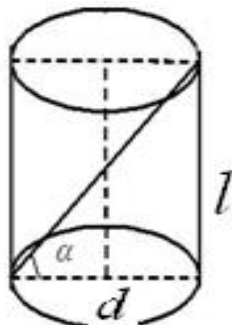


Рис 2.

снижают отрицательный заряд эритроцитов. Если заряды эритроцитов будут уменьшаться, то они теряют свою стабильность и начинают склеиваться друг с другом, то есть происходит агрегация с формированием монетных столбика состоящий из  $n$  эритроцитов. Скорость оседания не является постоянной. Сначала образуются агрегаты, а когда эритроциты начинают оседать в нижней части трубочки, скорость оседания снижается за счёт увеличения концентрации монетных столбиков. При образовании монетных столбиков, увеличивается масса оседающих частиц (эритроцитов).

Для объяснения этой закономерности рассмотрим процесс формирования монетного столбика цилиндрической формы (рис 2).

Из рисунка 2 находим высоту  $l$  и объём  $V_0$  одного эритроцита.

$$l = d \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

$$V_0 = Sl = Sd \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где  $S$  - площадь сечения,  $d$  - диаметр эритроцита. С другой стороны, объём одного монетного столбика в пробирке ( $V_{\text{mc}}$ ) равняется:

$$V_{\text{in}} = nV_0, \quad (6)$$

где  $n$  - число эритроцитов в монетном столбике.

Подставляя (5) в (6) находим число эритроцитов в монетном столбике.

$$V_{\text{in}} = nSd \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$n = \frac{V_{\text{in}}}{Sd \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (7)$$

Из полученного равенства следует, что число эритроцитов в столбике ( $n$ ) обратно пропорционально  $\operatorname{tg} \alpha$ .

При равномерном оседании форменных элементов в кровеносной сети на них действует сила сопротивления Стокса  $F_C$ , выталкивающая сила Архимеда  $F_A$  направленная вертикально вверх и сила тяжести  $F_O$ , направленная вертикально вниз. Под действием этих сил форменные элементы крови совершают движение и в соответствии с законом Ньютона:

$$F + F_T - F_A - F_C = 0, \quad (8)$$

Где  $F = ma = \rho_{\text{mc}} V_{\text{mc}} a,$

$F_O = mg = \rho_{\text{in}} V_{\text{in}} g,$   $F_A = \rho_{\text{te}} V_{\text{in}} g$  и  $\rho_{\text{in}}$  - плотность плазмы крови,  $V_{\text{mc}}$  - объём,  $\rho_{\text{in}}$  - плотность,  $m$  - масса,  $a$  - ускорение монетных столбиков,  $g$  - ускорения свободного падения.

В процессе оседания движение эритроцитов может быть описано с помощью обобщенной формулы Стокса, учитывающей форму и размеры эритроцитов. При этом формула Стокса применялась с поправочным коэффициентом  $k$ , то есть, в виде:

$$F_C = 6\pi\eta r k g, \quad (9)$$

где  $k$  - коэффициент пропорциональности.

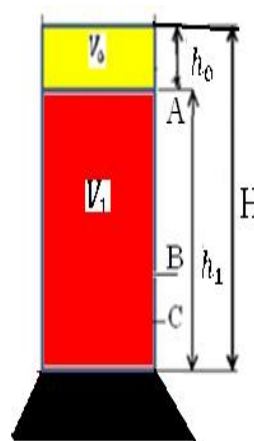


Рис 3.

Согласно [7] поверхность эритроцита, благодаря его форме, в 1,6 раза больше, если бы он имел вид шарика, при том же объёме. Коэффициент  $k$  принимается  $k=1,6$ ,  $\eta$  -

вязкость плазмы,  $r$  - радиус,  $g$  - скорость падения монетных столбиков.

Учитывая значения  $F$ ,  $F_T$ ,  $F_A$  и  $F_C$  из уравнение (8) и (9) получим:

$$\rho_{MC} V_{MC} a + \rho_{MC} V_{MC} g - \rho_{PK} V_{MC} g - 6\pi \eta r k g = 0 \quad (10)$$

В начале движения сила Стокса мала, а сила тяжести больше выталкивающей силы Архимеда. Сила тяжести направлена вниз и некоторое время эритроциты движутся с ускорением  $a > 0$ , (I фаза рис.3). При этом из (10) и (7) можно записать в виде:

$$g = \frac{nStg\alpha(\rho_{MC}(g+a) - \rho_{PK}g)}{3\pi\eta k} \quad (11)$$

По мере падения монетных столбиков, скорость их оседания возрастает, что приводит к возрастанию силы Стокса. Через определенное время монетные столбики достигают такой скорости, при которой их ускорение становится равным нулю ( $a = 0$ ), а движение становится

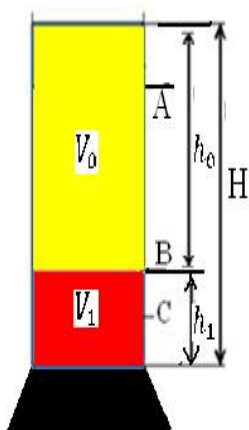


Рис 4.

равномерным, II-фаза. В этом случае, уравнение описывающее скорость оседания в поле тяготения Земли, будет:

$$g = \frac{nStg\alpha(\rho_{MC} - \rho_{PK})g}{3\pi\eta k} \quad (12)$$

Из (12) следует, что скорость оседания эритроцитов пропорциональна число эритроцитов в монетном столбике, площадь сечения монетного столбика, тангенс угла  $\alpha$ , разнице её плотности и плотности плазмы крови, обратно пропорционально вязкость плазмы крови. Формула (12) описывают СОЭ от верхняя метка А начиная с которой движения монетных столбиков становится равномерным до нижняя метка В, то есть II-го фаза (рис 4).

Плотность монетных столбиков  $\rho_{i\ddot{u}} = 1,06 \cdot 10^3 \text{ г/см}^3$ , вязкость плазма крови  $\eta = 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  плотность плазмы  $\rho_{i\grave{e}} = 1,03 \cdot 10^3 \text{ г/см}^3$  [8], площадь сечение эритроцитов  $S = 137,5 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$  [9]. Если подставляя числовые значение в (12), то получим скорость оседание, длина монетного столбика и число эритроцитов в монетном столбике для различных значений  $tg\alpha$  (табл. 1).

Таблица 1

Скорость оседания эритроцитов в зависимости от  $tg\alpha$  и длина монетных столбиков

№ п/п	Монетные эритроциты под углом $\alpha$	Число эритроцитов в монетных столбиках (n)	Длина столбика $l, 10^{-6}, \text{ м}$	Скорость оседания монетных столбиков $g, 10^{-6}, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$g, \frac{\text{мм}}{\text{час}}$
1.	$\alpha = 4^{\circ} 30'$	1	0,59	0,15	0,54
2.	$\alpha = 9^{\circ}$	2	1,188	0,61	2,196
3.	$\alpha = 13^{\circ} 30'$	3	1,80	1,38	4,968
4.	$\alpha = 18^{\circ}$	4	2,437	2,490	8,964
5.	$\alpha = 30^{\circ}$	7	4,33	7,74	27,86
6.	$\alpha = 45^{\circ} 42'$	13	7,685	25,52	91,87
7.	$\alpha = 50^{\circ}$	15	8,94	34,25	---

Из таблицы видно, что  $\alpha$  принимает значение от  $9^\circ$  до  $30^\circ$ .

Для вычисления концентрации монетных столбиков в капиллярную трубку в области метка С нужно в начале определить объём  $V_1$  и высота  $h_1$  оседающих эритроцитов (рис 5).

$$V_1 = V - V_0 \text{ и } h_1 = H - h_0$$

где  $V$  - объём крови,  $V_0$  - объём плазма крови,  $H$  - высота крови в капилляр,  $h_0$  высота плазма крови.

С другой стороны

$$V_1 = SH - Sh_0 = \frac{\pi d^2}{4} (H - h_0),$$

где  $d$  - диаметр капилляр,  $S$  - площадь сечения капилляр.

Отсюда находим концентрация монетных столбиков в объём  $V_1$

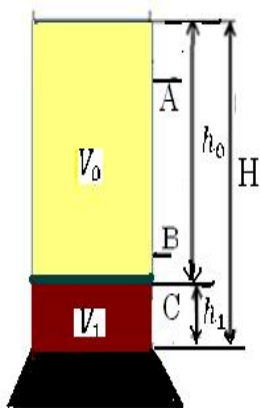


Рис 5.

$$c = \frac{N}{V_1} = \frac{4N}{\pi d^2 (H - h_0)}, \quad (13)$$

где  $N$  - число монетных столбиков.

В течение времени объём  $V_1$  становится меньше и, следовательно, в этом объёме концентрация монетных столбиков возрастает. Когда объём  $V_1$  достигает отметки В, концентрация будет еще больше, и скорость оседания эритроцитов становится равновозможной ( $a < 0$ ), то есть, начинается III фаза (рис 4). Скорость оседания в III фазе будет записана в виде:

$$g = \frac{n \cdot S \cdot \operatorname{tg} \alpha (\rho_{\text{MC}} (g - a) - \rho_{\text{ПК}} g)}{2\pi \eta k} \quad (14)$$

Исследования показывают, что скорость оседания обратно пропорциональна концентрации монетных столбиков:

$$g \sim \frac{T}{c}, \quad (15)$$

где  $T$  - коэффициент пропорциональности между скоростью оседания и концентрацией монетных столбиков.

Учитывая условия (15) подставляя (13) в (14) получим уравнение зависимости скорости оседания монетных столбиков от концентрации:

$$g = \frac{T \cdot d^2 (H - h_0) \cdot n \cdot S \cdot \operatorname{tg} \alpha (\rho_{\text{MC}} (g - a) - \rho_{\text{ПК}} g)}{12 \eta k N}, \quad (16)$$

где  $N$  - число монетных столбиков. Из (16) видно, что скорость оседания монетных столбиков в поле тяготения Земли в III фазе, обратно пропорциональна числу монетных столбиков и вязкости плазмы крови. В точке С, в объёме  $V_1$ , осталось только эритроциты, то есть, эритроциты полностью отделяются от плазмы крови. Когда в объёме  $V_1$  эритроциты полностью отделяются от плазмы, тогда в уравнении (16) разность плотности будет равна нулю, и за счёт увеличения концентрации монетных столбиков, скорость оседания полностью прекращаются ( $g = 0$ ) (рис 5).

При различных заболеваниях в основном воспалительного характера повышается концентрация фибриногена или глобулинов в плазме крови (глобулин увеличивает скорость оседания и альбумины уменьшает её). Следовательно, СОЭ увеличивается в несколько раз за счёт увеличения число глобулинов в плазме.

Снижение СОЭ меньше нормы, приводит к повышению вязкости жидкости крови, причем вязкость ее определяется содержанием число монетных столбиков и растворенных белков. От вязкости крови в значительной степени зависит скорость, с которой кровь протекает по кровеносным сосудам.

#### Литература:

1. Чижевский А.Л. Структурный анализ движения крови. Площадь поверхности и объём эритроцитов - М.: АН СССР, 1959, 475с.
2. Панченков Т.П. Определение оседания эритроцитов при помощи микрокапилляра // Врач. дело. - 1924, № 16-17, с. 695-697.
3. Westergren A. Studies on the suspension stability of the blood in pulmonary tuberculosis // Acta Med. Scand. - 1921, Vol. 54, Pg. 247-281.
4. Plebani M., De Toni S., Sanzari M.C., Bernardi D., Stockreiter E. The TEST 1 Automated System - a new method for measuring the erythrocyte sedimentation rate // Am. J. Clin. Pathol. - 1998, Vol. 110, Pg. 334-340.

5. NCCLS «Reference and Selected Procedure or ESR Test; Approved standard – 4th Edition». –Vol. 20, № 27, Pg.10.
6. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов – Киев, Наукова думка, 1973, 92с.
7. Белановский А.С. Основы биофизики в ветеринарии- М.: Агропромиздат, 1989, 271с.
8. Чижевский А.Л., Биофизические механизмы реакции оседания эритро-цитов. – Новосибирск: Наука, 1980, 173 с.
9. Атаулаханов Ф.И., Корунова Н.О., Спиридинов И.С. и др. Как разгуляется объём эритроцита, или что могут и не могут математические модели в биологии. РАН, Биологические мембраны, 2009, т26, №3, с.166-178.
10. Идиев С.Б. Определение скорости оседания форменных элементов крови в поле тяготения Земли. Материалы республиканской конференции по ядерно-физическим методам анализа состава биологических, геологических, химических и медицинских объектов, посвященной 55-летию Кафедры ядерной физики и 75-летию со дня рождения профессорского – преподавательского состава Шухиева С., Аббосова О., Шукурова Я., Кодир С. и Нарзиева Х. Душанбе, Эрграф, 2014, с.77-80.

**Рецензент: д.т.н., профессор Сафаров М.**

---