



Кислородтранспортная функция кластеризованных в сладжи эритроцитов

И.А. Пономарев*, Г.Т. Гурия

*ilya.ponomarev@phystech.edu

Guria lab



Проблема



Головная боль



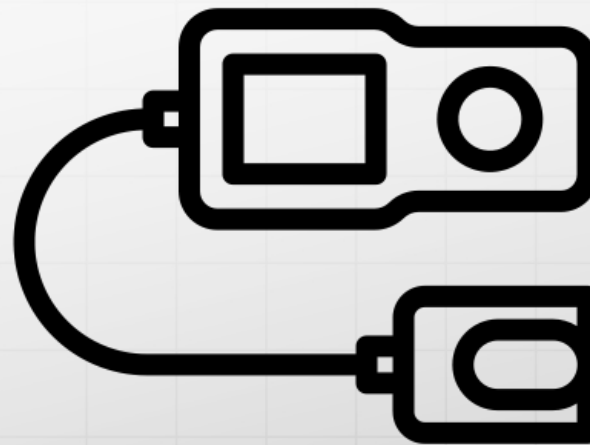
Посинение
носогубного
треугольника



Головокружение



Бледность

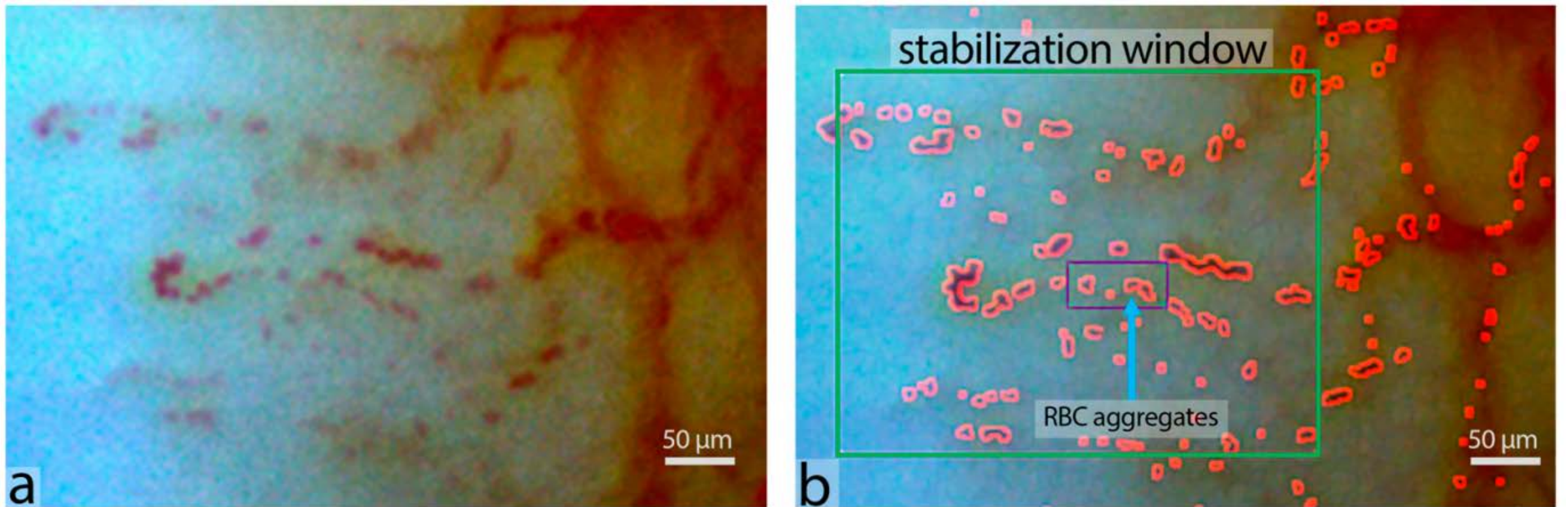


Сатурация
100 %

В чем дело?



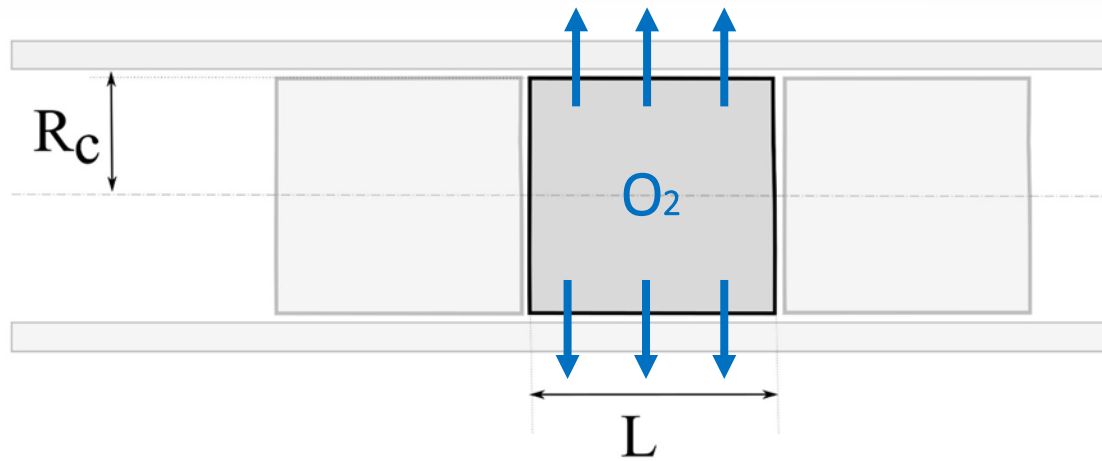
Кластеризация эритроцитов



- a) Пример изображения капилляров ногтевого ложа пациентки в возрасте 82 лет страдающей от ишемической болезни сердца;
b) Результат работы программы детекции эритроцитарных сладжей. Адаптировано из [1].

¹ Ermolinskiy, P., Gurfinkel, Y., Sovetnikov, E., Lugovtsov, A., & Priezzhev, A. (2023). Correlation between the Capillary Blood Flow Characteristics and Endothelium Function in Healthy Volunteers and Patients Suffering from Coronary Heart Disease and Atrial Fibrillation: A Pilot Study. *Life*, 13(10), 2043.

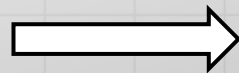
Цилиндрическое приближение



$$J \propto \Delta C \cdot \Sigma$$

$$S = 2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L$$

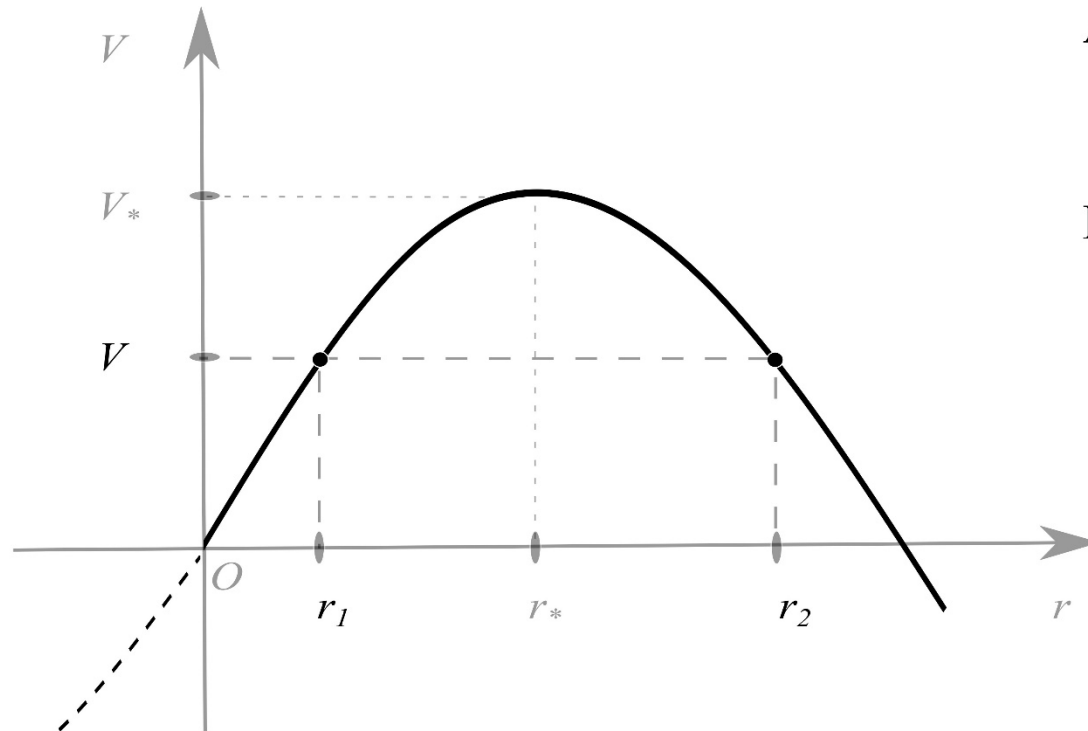
$$V = \pi \cdot r^2 \cdot L$$



$$V = \frac{1}{2} \cdot S \cdot r - \pi \cdot r^3$$

Условие протекания

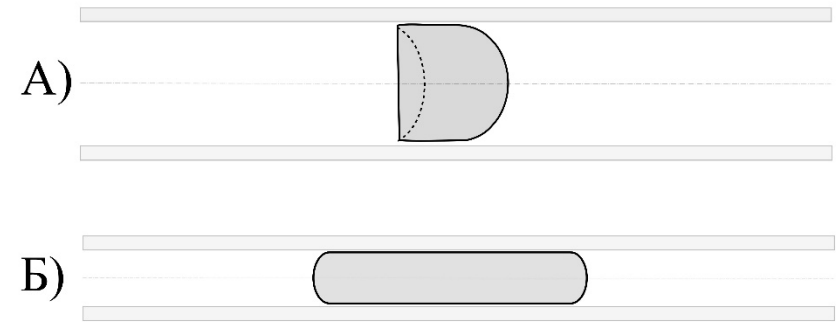
$$V_* = S^{3/2} \cdot \frac{1}{3\sqrt{6\pi}}$$



$$r_1 = 2 \sqrt[3]{\frac{V_*}{2\pi}} \cdot \cos((\varphi/3) - (2\pi/3))$$

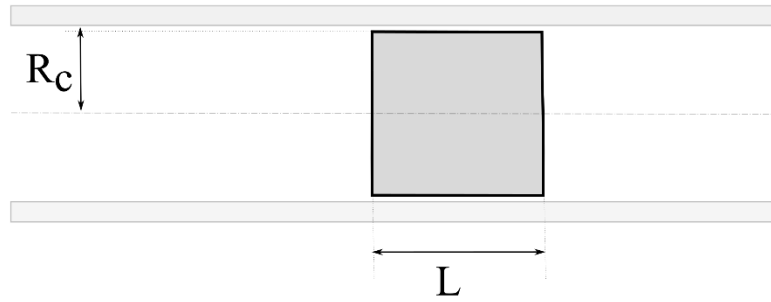
$$r_2 = 2 \sqrt[3]{\frac{V_*}{2\pi}} \cdot \cos(\varphi/3)$$

$$\varphi = \arccos(-V/V_*)$$

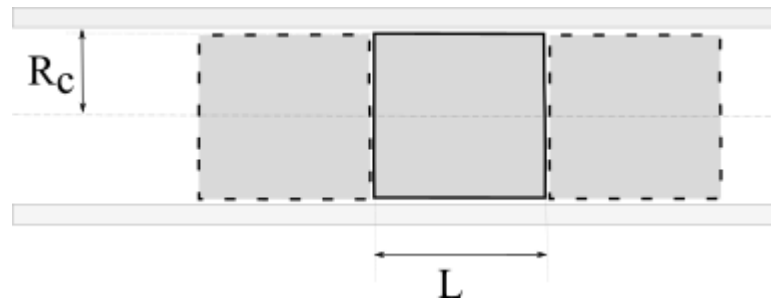


Формы эритроцита при движении в микрососудах.
А) Парашютообразная форма,
Б) Продолговатая форма, подобная «столбику»

Влияние кластеризации эритроцитов на площадь поверхности

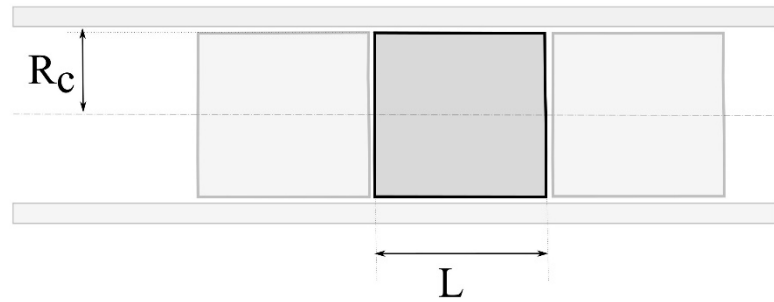


$$\Sigma_1 = 2 \cdot \pi \cdot r_1^2 + 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L_1$$



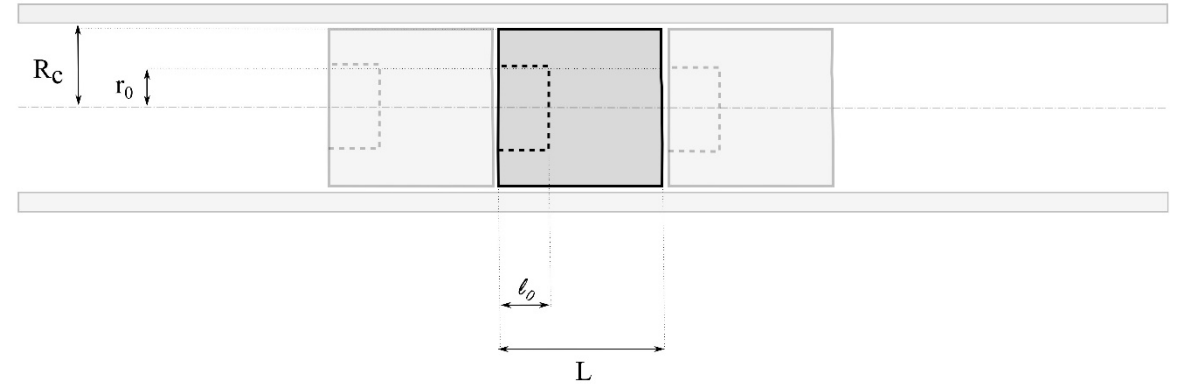
$$\Sigma_N = 2 \cdot \pi \cdot r_1^2 + N \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L_1$$

Изменение потока кислорода из эритроцитов в результате кластеризации



$$\frac{J_N}{N \cdot J_1} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon + 1} + \left(\frac{1}{\varepsilon + 1} \right) \cdot \frac{1}{N}$$

$$\varepsilon = L_1 / r_1$$

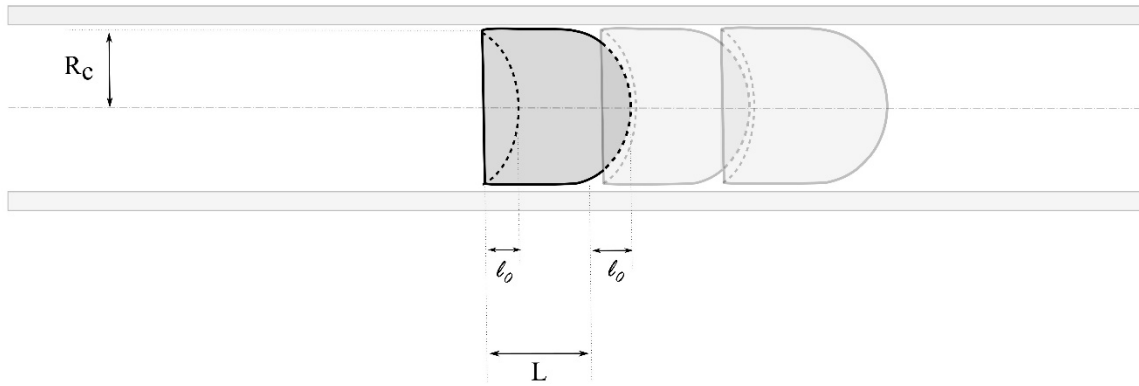


$$\frac{J_N}{N J_1} = \frac{\tilde{\varepsilon}}{1 + \tilde{\varepsilon}} + \frac{1}{1 + \tilde{\varepsilon}} \frac{1}{N}$$

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon / (1 + \tilde{\ell}_0 \tilde{r}_0)$$

$$\tilde{\ell}_0 = \ell_0 / R_c \quad \tilde{r}_0 = r_0 / R_c$$

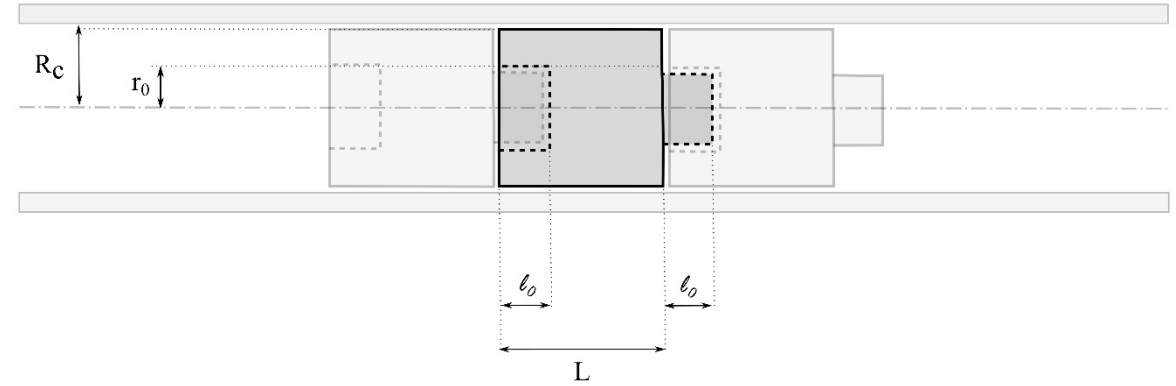
Изменение потока кислорода из эритроцитов в результате кластеризации



$$\frac{J_N}{NJ_1} = \frac{\tilde{\varepsilon}}{1 + \tilde{\varepsilon}} + \frac{1}{1 + \tilde{\varepsilon} N}$$

$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon / (1 + \tilde{\ell}_0^2)$$

$$\tilde{\ell}_0 = \ell_0 / R_c$$



$$\frac{J_N}{NJ_1} = \frac{\tilde{\varepsilon}}{1 + \tilde{\varepsilon}} + \frac{1}{1 + \tilde{\varepsilon} N}$$

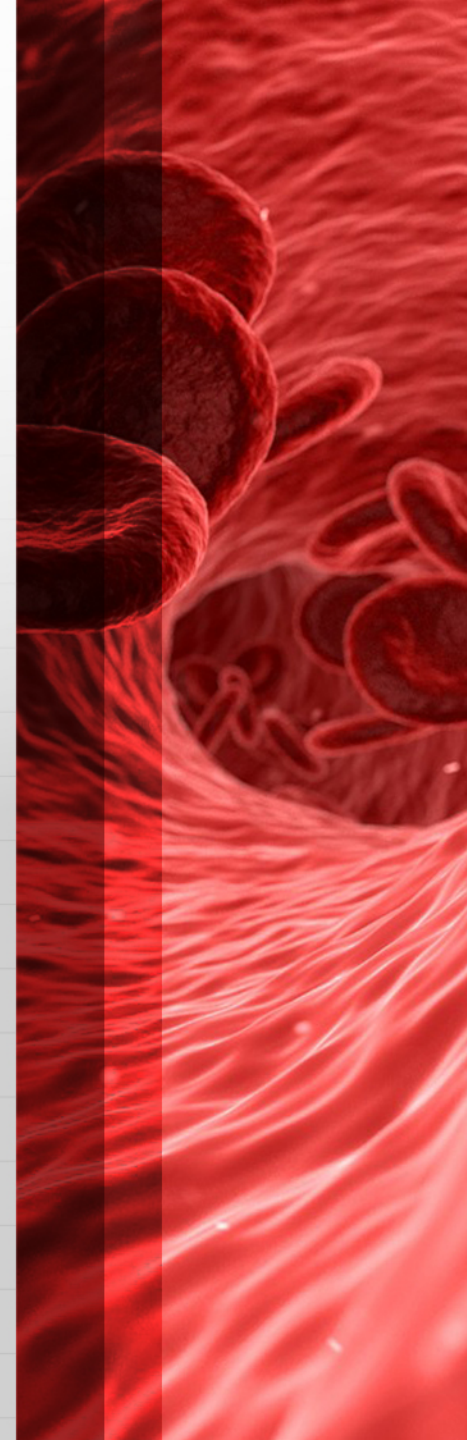
$$\tilde{\varepsilon} = \varepsilon / (1 + 2\tilde{\ell}_0\tilde{r}_0)$$

$$\tilde{\ell}_0 = \ell_0 / R_c \quad \tilde{r}_0 = r_0 / R_c$$



Выводы

- Эффективность транспорта кислорода из эритроцитов определяется степенью их кластеризации в микрососудах.
- Построена и исследована математическая модель переноса кислорода из эритроцитов при их группировки в виде сладжей.
- Получено аналитическое выражение для зависимости интенсивности высвобождения кислорода от размера эритроцитарного сладжа.
- Найденное выражение носит инвариантный характер. Его вид не зависит от способа учета деталей при описании формы эритроцитов в микрососудах.





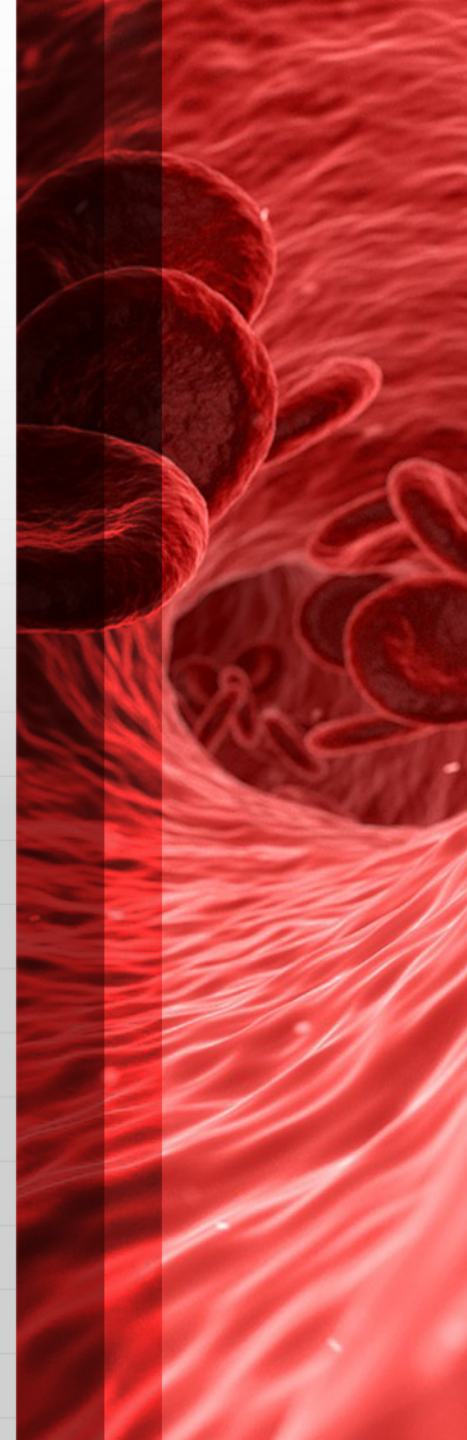
Публикация



Пonomarev, I.A., Guria, G.T. The Dependence of the Oxygen Release Intensity from Erythrocytes on the Degree of Their Clustering in Sludges.

BIOPHYSICS 68, 1004–1012 (2023).

<https://doi.org/10.1134/S0006350923060167>





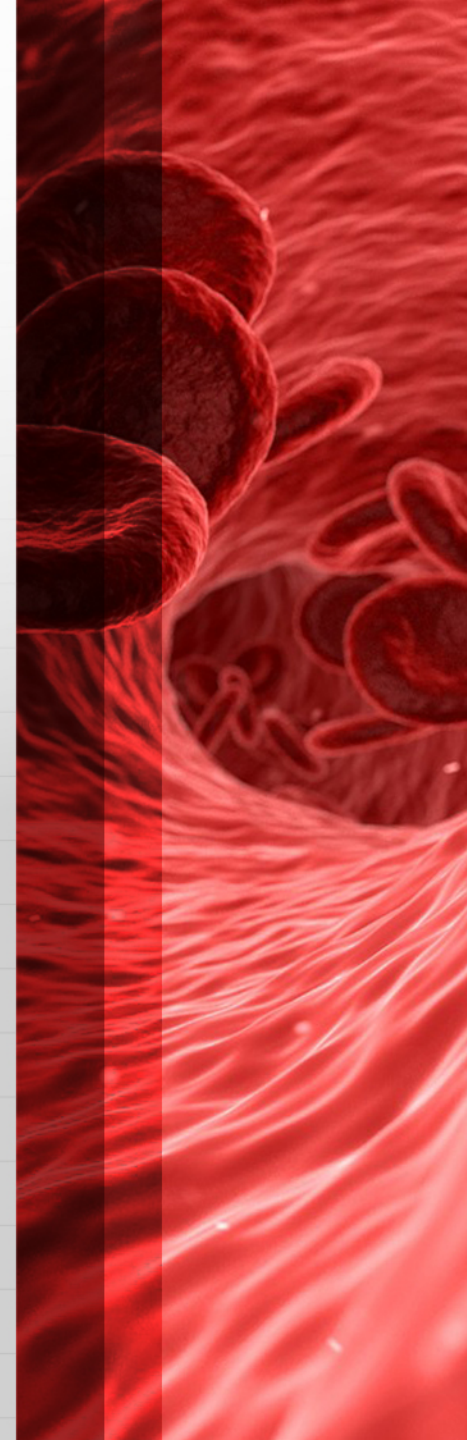
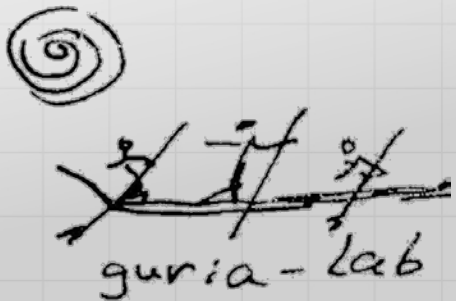
Коллектив авторов



Пономарев Илья



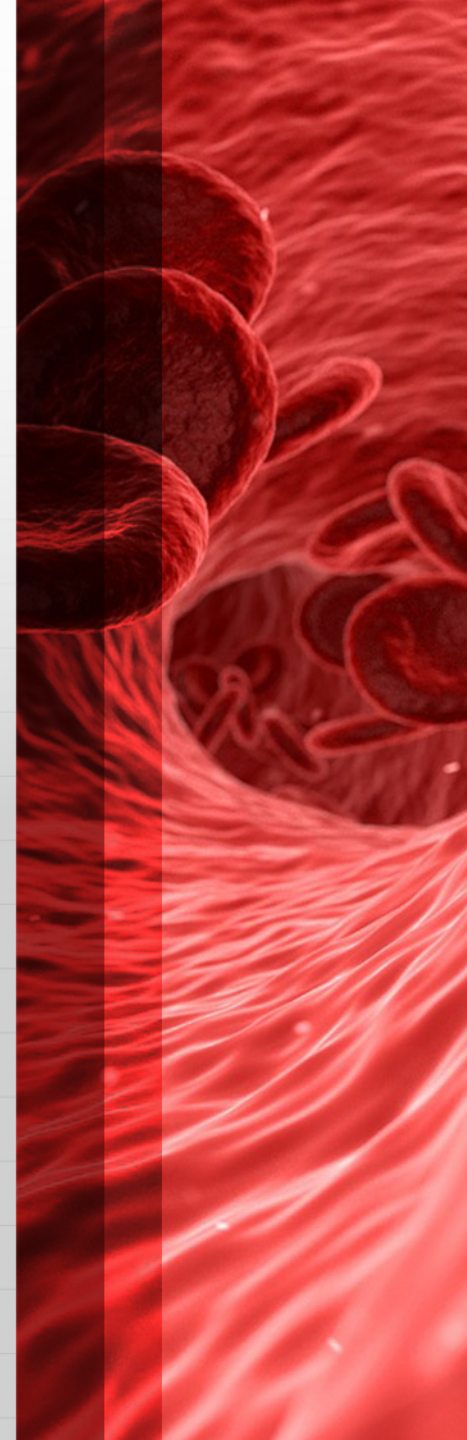
Георгий Гурия





Благодарности

Выражаю благодарность коллективу лаборатории математического моделирования биологических процессов за создание творческой атмосферы.



Спасибо за внимание!

