Рис. 3. Фрагмент спектра SP/MAS ^{13}C ЯМР целлюлозы с длительностью между импульсами 50 секунд контрольных и опытных (противоположная и тянущая сторона) образцов КС растений. *i, s* – сигналы углерода внутренней и поверхностной кристаллической целлюлозы, соответственно. Пунктирной линией показана область сигналов аморфной целлюлозы.

1. Эзау К. Анатомия семенных растений. В 2 т. М.: Мир, 1980. с. 558.
2. Mellerowicz E.J., Gorshkova T.A. Tensional stress generation in gelatinous fibres: a review and possible mechanism based on cell wall structure and composition // J. Exp. Bot. 2012. V. 63. № 2. P. 551–565
3. Gorshkova T., Morvan C. Secondary cell-wall assembly in flax phloem fibres: role of galactans // Planta. 2006. V. 223. P.149-158.
4. Ibragimova, N.N.; Ageeva, M.V.; Gorshkova, T.A. Development of gravitropic response: unusual behavior of flax phloem G-fibers. Protoplasma. 2017, 254, 749–762.
5. Gorshkov, O.; Mokshina, N.; Ibragimova, N.; Ageeva, M.; Gogoleva, N.; Gorshkova, T. Phloem fibres as motors of gravitropic behaviour of flax plants: level of transcriptome. Functional Plant Biol. 2017, 45(2), 203-214.
6. Mokshina, N.; Gorshkov, O.; Ibragimova, N.; Pozhvanov, G.; Gorshkova T. Screenplay of flax phloem fiber behavior during gravitropic reaction. Plant Signal. & Behavior 2018, 13(6), 1486144.
7. Ibragimova N., Mokshina N., Ageeva M., Gurjanov O., Mikshina P. Rearrangement of the Cellulose-Enriched Cell Wall in Flax Phloem Fibers over the Course of the Gravitropic Reaction. Int. J. Mol. Sci. 2020, 21, 5322.
8. Иоелович М.Я., Модели надмолекулярной структуры и свойства целлюлозы. Высокомолекулярные соединения, Сер.А, 2016, 58 (6), 604-624.
9. Vietor, R.J.; Newman, R.H.; Ha, M.A.; Apperley, D.C.; Jarvis, M.C. Conformational features of crystal-surface cellulose from higher plants. Plant J. 2002, 30, 721-731
10. Larsson, P.T.; Wickholm, K.; Iversen, T. A CP/MAS ^{13}C NMR investigation of molecular ordering in celluloses. Carbohydr. Res. 1997, 302(1), 19-25.

Лин Э.Э.

Кластерная модель образования эритроцитов из малых зародышей

Российский Федеральный Ядерный Центр
(Россия, Саров)

doi: 10.18411/lj-03-2021-23

idsp: ljjournal-03-2021-23

Аннотация

В дополнении к известным представлениям об образовании эритроцитов в костном мозге позвоночных путем деления более крупных биологических мезообъектов – эритробластов, в данной работе предложена кластерная модель образования эритроцитов из малых зародышей – молекул аминокислот глутамата и

триптофана, а также из белковых наночастиц гемоглобина. Подобные механизмы образования эритроцитов могут быть связаны с внешними воздействиями на биологическую среду, в частности, на кровь.

Ключевые слова: кластерная модель образования, эритроцит, малый зародыш, молекулы аминокислот, глютамаат, триптофан, белковая наночастица, гемоглобин.

Abstract

In addition to the well-known idea about formation of erythrocytes in a bone marrow of vertebral organisms by fission of erythroblasts as more large biological mesoobjects, the cluster model has been proposed for erythrocytes formation from small germs— amino acid molecules of glutamate and tryptophan as well as from protein nanoparticles of haemoglobin. Such mechanisms of erythrocytes formation can be connected with external influences on a biological medium, in particular, on the blood.

Key words: cluster model of formation, erythrocyte, small germ, amino acid molecules, glutamate, tryptophane, protein nanoparticle, haemoglobin.

Введение

Известно, что эритроциты человека представляют собой квазиплоские диски толщиной 1,5 мкм, диаметром 8 мкм и состоят, в основном, из белка гемоглобина [1]. В настоящее время общепринятыми являются представления об образовании эритроцитов при делении более крупных биологических мезообъектов – эритробластов с характерными размерами около 20 мкм, выделяемых из стволовых клеток [2-7]. Этот процесс протекает в несколько стадий, причем предшественники эритроцитов (ретикулоциты) превращаются в нормоциты в костном мозге взрослого организма позвоночных. При анемичных состояниях организмов размеры эритроцитов отличаются от указанных выше «нормальных» величин как в большую, так и в меньшую сторону. Отмечается, что 1-2% от общего числа ретикулоцитов созревают непосредственно в крови. В зародышах организмов млекопитающих эритроциты образуются в кроветворных органах, а в организмах низших позвоночных они образуются в сосудах. При этом вопрос о механизмах образования таких объектов без ядер и без ДНК остается открытым, так как в крови не происходит деления эритробластов.

В данной работе предпринимается попытка рассмотреть возможный механизм образования эритроцитов в плазме крови, исходя из кластерной природы наноструктурированных биологических объектов [1, 8]. Предлагаемая модель основана на кинетических представлениях [9, 10] о росте биологических наночастиц и мезообъектов в результате случайных взаимодействий с малыми зародышами – молекулами аминокислот в присутствии молекул рибонуклеиновых кислот как центров кристаллизации, но без образования полипептидных цепочек. При этом процесс роста рассматриваемых объектов связан с проявлением их квантовых свойств – фоновых возбуждений. Подобный механизм образования эритроцитов в биологической среде (в частности, в крови) может проявляться при воздействии на неё внешнего облучения, вызывающего возбуждение колебательных уровней энергии молекул аминокислот. Кроме того, рассматривается возможность образования эритроцитов из белковых наночастиц гемоглобина. Такой механизм образования биологических мезообъектов может быть связан с конформационными движениями в белковой среде при механических воздействиях.

Метод

Процесс необратимой агрегации объектов будем рассматривать в терминах волны $\varphi(a, t)$ плотности распределения в пространстве размеров кластеров a , распространяющейся с течением времени t в сторону их увеличения [10]. Исходя из

вытекающего из теоремы Фурье универсального соотношения для полуширины волнового пакета и полуширины спектральной линии, справедливого для волны любой физической природы, можно записать следующее соотношение неопределенностей для координаты и импульса в пространстве размеров кластеров:

$$\Delta a \cdot \Delta p \cong \frac{\hbar}{2}. \quad (1)$$

Здесь $\Delta p \sim p = m \Delta a / \Delta t$ – неопределенность импульса, m – масса кластера, $\hbar$ – приведенная постоянная Планка. Неопределенность импульса по порядку величины равна самому импульсу, т. е. взаимодействие кластера с зародышем либо имеет место, либо его нет. Физический смысл соотношения (1) заключается в том, что в течение промежутка времени Δt элементарного (единичного) акта взаимодействия кластера с зародышем точный размер кластера не может быть определен до тех пор, пока это взаимодействие не завершится либо захватом зародыша, либо частичным или полным разрушением кластера, либо упругим рассеянием участников взаимодействия. Это связано с тем, что до окончания рассматриваемого элементарного акта невозможно определить, к какому из объектов относится каждый из их взаимодействующих поверхностных элементов, из которых состоят рассматриваемые объекты. Зародышами биологических объектов являются молекулы аминокислот, а поверхностными элементами – кристаллообразующие атомы углерода, азота и кислорода. В предложенной трактовке принцип неопределенности допускает мутации биологических объектов на молекулярном уровне. Упомянутый промежуток времени Δt в пределе равен масштабу времени t_i взаимодействия кластера с зародышем.

Условие сохранения массы в элементарном акте захвата зародыша кластером записывается следующим образом:

$$m(a) + m_0 = m(a + \Delta a) \Rightarrow V(a)/V_0 + 1 = V(a + \Delta a)/V_0. \quad (2)$$

Здесь m_0, V_0 – масса и объем зародыша, $V(a)$ – объем кластера до взаимодействия с зародышем как функция размера a , $V(a + \Delta a)$ – объем кластера после окончания элементарного акта взаимодействия, масса кластера представляется как произведение массы зародыша на число зародышей в объеме кластера, которое равно отношению объема кластера к объему зародыша.

Результаты

В плоской геометрии размер кластера a равен диаметру диска D с толщиной z . Из уравнений (1) и (2) получаем следующие приблизительные выражения для толщины диска и зависимости его диаметра от полного времени роста τ :

$$z \approx 2m_0 a_0^3 / \pi \hbar t_i. \quad (3)$$

$$D \approx (2\hbar \tau / m_0)^{1/2}. \quad (4)$$

В качестве зародышей будем рассматривать молекулы глутамата ($m_0 = 2,45 \times 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,7$ нм, $n = 9$ – число кристаллообразующих связей C–C, C–O и C–N) и триптофана ($m_0 = 3,4 \times 10^{-25}$ кг, $a_0 = 0,67$ нм, $n = 16$) как наиболее крупные из основных аминокислот [1]. Рассматриваемые молекулы содержат в себе структурные элементы всех меньших аминокислот.

Характерное время колебания указанных связей равно $t_v = 3,3 \times 10^{-14}$ с для основного уровня энергии колебаний [9, 10]. Тогда масштабы времени колебательного взаимодействия молекул глутамата и триптофана с кластерами в основном состоянии равны $t_i = n t_v = 2,97 \times 10^{-13}$ с и $t_i = n t_v = 5,28 \times 10^{-13}$ с соответственно. Из формулы (3) получаем, что в случае зародышей – молекул глутамата толщина диска равна $z \approx 1,72$

мкм, в случае триптофана $z \approx 1,17$ мкм. Рассчитанные величины отличаются от приведенной в [1] толщины эритроцита 1,5 мкм соответственно на 15% и на 22%. Если же молекулы аминокислот находятся в первом возбужденном колебательном состоянии, то по формулам квантовой механики уровень энергии колебаний увеличивается в 3 раза [10]. В этом случае, в соответствии с правилом Гейзенберга, время t_v в 3 раза меньше, чем в основном состоянии. Масштабы времени t_i взаимодействия с кластерами также уменьшатся в 3 раза. Из формулы (3) следует, что в первом возбужденном состоянии толщина диска будет в 3 раза больше, чем в основном состоянии. Во втором возбужденном состоянии толщина диска увеличивается в 5 раз и т. д. Эти процессы могут быть связаны со склеиванием эритроцитов в столбики. Из формулы (4) получаем, что независимо от толщины время образования диска диаметром 8 мкм из молекул глутамата равно $\tau \approx 61$ мс, а в случае молекул триптофана $\tau \approx 104$ мс.

Если предположить, что эритроциты образуются из зародышей – белковых наночастиц гемоглобина, то из формулы (3) при $m_0 = 1,14 \times 10^{-22}$ кг, $a_0 = 7$ нм [1] и при $t_i = 10^{-7}$ с (наибольший характерный масштаб времени конформационных движений в биологической среде [8]) получаем, что толщина диска равна $z \approx 2,4$ мкм. При этом, в соответствии с формулой (4), время образования диска диаметром 8 мкм составляет около 54 с.

Рассчитанные времена роста рассматриваемых мезообъектов достаточно велики для того, чтобы можно было наблюдать процесс образования эритроцитов из малых зародышей в лабораторных условиях при тех или иных внешних воздействиях на исходные образцы.

Заключение

Кластерный подход к описанию процессов в наноструктурированных биологических средах формально допускает возможность образования эритроцитов из малых зародышей – молекул аминокислот глутамата и триптофана, а также из белковых наночастиц гемоглобина. Предложенная модель может оказаться полезной при лабораторных исследованиях процессов в крови, вызванных внешними воздействиями.

1. Пул-мл. Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнология. - Москва: Техносфера, 2007. С. 271-278.
2. Газарян К.Г., Смирнов А.Н. Эритроциты. Большая Советская Энциклопедия (БСЭ). Том 30. М.: «Советская Энциклопедия», 1978. С. 237.
3. Кроветворение. БСЭ. Том 13, 1973. С. 462-463.
4. Кровь. Там же. С. 468-471.
5. Mary Louise Turgeon. Clinical Hematology: Theory and Procedures. Lippincott Williams & Wilkins. 2004.
6. Erich Sackmann. Biological Membranes Architecture and Function. Handbook of Biological Physics / Ed. by R. Lipowsky and E. Sackmann – Elsevier, 1995. Vol. 1.
7. Pierige F., Serafini S., Rossi L., Magnani M. Cell-based Drug Delivery. Advanced Drug Delivery Reviews. 2008. Vol. 60. No. 2. Pp. 286-295.
8. Суздалев И.П. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. – М.: КомКнига, 2006. С. 462-483.
9. Лин Э.Э. Кластерный механизм стохастической кинетики образования мутационных белковых наночастиц и мезообъектов // Наука России: Цели и задачи. Сборник научных трудов по материалам XIV международной научно-практической конференции 10 апреля 2019 г. Часть 4. Изд. НИЦ «Л-Журнал», 2019. С. 25-32.
10. Лин Э.Э. Асимптотическая кинетика образования объектов с квантовыми свойствами: монография. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2019.