



No 32 (2019)

P.1

The scientific heritage

(Budapest, Hungary)

The journal is registered and published in Hungary.

The journal publishes scientific studies, reports and reports about achievements in different scientific fields. Journal is published in English, Hungarian, Polish, Russian, Ukrainian, German and French.

Articles are accepted each month. Frequency: 12 issues per year.

Format - A4

ISSN 9215 — 0365

All articles are reviewed

Free access to the electronic version of journal

Edition of journal does not carry responsibility for the materials published in a journal. Sending the article to the editorial the author confirms it's uniqueness and takes full responsibility for possible consequences for breaking copyright laws

Chief editor: Biro Krisztian

Managing editor: Khavash Bernat

- Gridchina Olga - Ph.D., Head of the Department of Industrial Management and Logistics (Moscow, Russian Federation)
- Singula Aleksandra - Professor, Department of Organization and Management at the University of Zagreb (Zagreb, Croatia)
- Bogdanov Dmitrij - Ph.D., candidate of pedagogical sciences, managing the laboratory (Kiev, Ukraine)
- Chukurov Valeriy - Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Biochemistry of the Faculty of Physics, Mathematics and Natural Sciences (Minsk, Republic of Belarus)
- Torok Dezso - Doctor of Chemistry, professor, Head of the Department of Organic Chemistry (Budapest, Hungary)
- Filipiak Pawel - doctor of political sciences, pro-rector on a management by a property complex and to the public relations (Gdansk, Poland)
- Flater Karl - Doctor of legal sciences, managing the department of theory and history of the state and legal (Koln, Germany)
- Yakushev Vasilii - Candidate of engineering sciences, associate professor of department of higher mathematics (Moscow, Russian Federation)
- Bence Orban - Doctor of sociological sciences, professor of department of philosophy of religion and religious studies (Miskolc, Hungary)
- Feld Ella - Doctor of historical sciences, managing the department of historical informatics, scientific leader of Center of economic history historical faculty (Dresden, Germany)
- Owczarek Zbigniew - Doctor of philological sciences (Warsaw, Poland)
- Shashkov Oleg - Candidate of economic sciences, associate professor of department (St. Petersburg, Russian Federation)

«The scientific heritage»

Editorial board address: Budapest, Kossuth Lajos utca 84,1204

E-mail: public@tsh-journal.com

Web: www.tsh-journal.com

BIOLOGICAL SCIENCES

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СВОЙСТВА ЭРИТРОЦИТОВ ЖИВОТНЫХ

Гуцол Т.Д.

Подольский государственный аграрно-технический университет,
г. Каменец-Подольский (Украина), к.т.н., доцент, проректор

EFFECT OF ELECTROMAGNETIC FIELDS ON THE PROPERTIES OF ANIMAL ERYTHROCYTES

Hutsol T.D.

Podolsk State Agrarian Technical University
Kamenetz-Podolsky (Ukraine), Ph.D., Assist. Prof., Vice Rector

Аннотация

Исследован процесс активного переноса ионов через мембрану эритроцита под воздействием внешнего электромагнитного поля. Получены уравнения, описывающие изменение объема эритроцита во время этого процесса, а также потенциала на мембране эритроцита. Данный процесс зависит как от исходного потенциала, существующего на мембране, так и от амплитуды и частоты падающего поля.

Abstract

The process of active transfer of ions through the erythrocyte membrane under the influence of an external electromagnetic field is investigated. Equations are obtained that describe the change in the volume of the erythrocyte during this process, as well as the potential on the erythrocyte membrane. This process depends both on the initial potential existing on the membrane and on the amplitude and frequency of the incident field.

Ключевые слова: электромагнитное поле, кровеносная система, эритроциты, мембрана, диффузия, поверхностные заряды.

Keywords: electromagnetic field, circulatory system, red blood cells, membrane, diffusion, surface charges

Введение. Исследование влияния электромагнитного поля на кровеносную систему животного требует учета не только электрических свойств крови в целом, но также и учета влияния на эти свойства собственного электрического заряда эритроцита. Взаимодействие этих зарядов с внешним электромагнитным полем вызывает нарушение равновесия электрических и гидродинамических сил, действующих между эритроцитами при его отсутствии.

Постановка задачи. В работе [1] показано, что равенство электростатических сил $\vec{F}'_e$ и $\vec{F}''_e$ между двумя соседними эритроцитами, расположенными вдоль оси кровеносного сосуда, дает условие их взаимного равновесия:

$$\frac{Q^2}{[(d + d_1)^2 + R^2]} \left[1 + \frac{3R^2}{4[(d + d_1)^2 + R^2]} \right] = \frac{Q^2}{[(d - d_1)^2 + R^2]} \left[1 + \frac{3R^2}{4[(d - d_1)^2 + R^2]} \right] - F_z, \quad (2)$$

где d - расстояние между центрами эритроцитов в отсутствие внешнего поля; d_1 - смещение эритроцита в сторону сближения с другими; Q - поверхностный заряд эритроцита; R - радиус эритроцита.

Следствием появления силы F_z является возникновение условий, способствующих сближению эритроцитов, что может вызвать их слипание. Соприкосновение двух эритроцитов будет иметь место, когда $d - d_1 = 2R$. Это условие дает возможность определить величину, как самой силы F_z , так и величину полей, вызывающих появление такой силы.

$$\vec{F}'_e = \vec{F}''_e. \quad (1)$$

Условия равновесия (1) свободны от недостатков модели, предложенной в работе [2].

Однако данное условие справедливо лишь в случае отсутствия электромагнитных излучений действующих на кровоток, как со стороны внешних искусственных источников, так и со стороны других кровеносных сосудов [3]. Считая, что координатная ось OZ совпадает с осью сосуда, учетом влияния составляющей силы F_z , возникающей при наличии внешнего ЭМП. При отсутствии внешнего поля равновесие между эритроцитами в продольном сечении сосуда определяется равенством (1). Наличие силы F_z изменяет это соотношение. Если принять во внимание статическое выражение для силы F_e [2], то условие равновесия (1) переходит в условие [1]:

$$\frac{Q^2}{[(d + d_1)^2 + R^2]} \left[1 + \frac{3R^2}{4[(d + d_1)^2 + R^2]} \right] = \frac{Q^2}{[(d - d_1)^2 + R^2]} \left[1 + \frac{3R^2}{4[(d - d_1)^2 + R^2]} \right] - F_z, \quad (2)$$

Появление внешнего электромагнитного поля приводит не только к изменению баланса сил в кровотоке, но и к нарушению процесса проникновения ионов через мембрану эритроцитов и других элементов крови.

Методы исследования. Рассмотрим задачу о диффузии вещества во внутреннюю область клетки. Ионы могут проходить через мембрану под действием химического или электрического потенциала в качестве движущей силы. Принимая во внимание, что мембрана имеет незначительную толщину, процесс проникновения вещества через нее описывается уравнением [4, 5]:

$$\frac{1}{A} \frac{\partial m}{\partial t} = k(c_s - c_i), \quad (3)$$

где A - площадь поперечного сечения мембраны; m - масса проходящего вещества; k - проницаемость мембраны; c_s , c_i - концентрация ионов вне и внутри клетки соответственно.

Задача о диффузии вещества во внутреннюю область клетки сильно упрощается, если скорость проникновения вещества через клеточную оболочку много меньше скорости диффузии по обе ее стороны. Эритроциты оказываются весьма подходящими для исследования такого рода. Они ведут себя как «осмометры», разбухая и сжимаясь в соответствии с изменениями внутреннего осмотического давления.

Следует отметить, что даже при очень больших изменениях объема площадь поверхности эритроцитов остается почти постоянной. Таким образом, по объему можно судить о концентрации вещества внутри клетки. Поскольку площадь поверхности не меняется, можно вычислить коэффициент проницаемости k , однако удобнее пользоваться величиной проницаемости

$$P = kA. \quad (4)$$

Так как диффузия протекает быстрее, чем проникновение через мембрану, то можно считать, что

$$c_i = \frac{m}{V}, \quad (5)$$

где V - объем клетки.

Тогда уравнение (3) примет вид:

$$\frac{\partial m}{\partial t} = P \left(c_s - \frac{m}{V} \right). \quad (6)$$

По мере увеличения в клетке концентрации вещества, через оболочку возникает ток воды, направленный внутрь. Предположим, что равновесие для воды устанавливается мгновенно. Это допущение эквивалентно тому, что осмотическое давление внутри клетки, определяемое суммой концентраций проникающего c_i и непроникающего c_0 вещества, совпадает с осмотическим давлением вещества в окружающей среде, концентрация которого постоянна и равна c_s :

$$c_s = c_i + c_0 = \frac{m + c_0 V_0}{V}, \quad (7)$$

где V_0 - объем эритроцита в начальный момент времени.

Из (7) следует:

$$m \approx c_s(V - V_0), \quad (8)$$

и

$$dm \approx c_s dV. \quad (9)$$

Подставляя (7), (9) в уравнение (6), получим:

$$\frac{dV}{dt} = P \frac{c_0 V_0}{c_s V}. \quad (10)$$

Это уравнение описывает изменение объема эритроцита при отсутствии внешнего электромагнитного поля.

Пусть теперь эритроцит находится во внешнем электромагнитном поле с амплитудой E_0 и частотой ω

$$\vec{E} = \vec{E}_0, \quad (11)$$

ориентированном перпендикулярно плоскости основания эритроцита. Так как размеры эритроцита

значительно меньше длины волны электромагнитного поля, то задача становится задачей электростатики [6].

В этом случае влияние электрического поля эквивалентно действию некоторого эквивалентного заряда с концентрацией ионов:

$$c_3 = \frac{4\pi\epsilon d^2 m_i}{q V_1}, \quad (12)$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость окружающей среды; d - толщина мембраны; V_1 - объем сосредоточения эквивалентного заряда; q - заряд иона; m_i - масса иона.

Уравнение (10) с учетом внешнего поля принимает вид:

$$\frac{dV}{dt} = P \left(\frac{c_0 V_0}{c_s V} + \frac{4\pi\epsilon d^2 m_i}{c_s q V_1} E \right). \quad (13)$$

Положив $V = V_1$, что с достаточной для поставленной задачи точностью соответствует реальной ситуации, получим окончательно

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{c_s V} \left(\epsilon_0 V_0 + \frac{4\pi\epsilon d^2 m_i}{q} E_0 e^{i\omega t} \right). \quad (14)$$

Решение данного дифференциального уравнения приводит к выражению

$$V^2 = \frac{P}{c_s} \left(2c_0 V_0 t + \frac{8\pi\epsilon d^2 m_i}{\omega q} E_0 \cos \omega t \right) + C. \quad (15)$$

Так как $V(0) = V_0$, постоянная интегрирования равна:

$$C = V_0^2.$$

Следовательно, частное решение уравнения (14) имеет вид

$$V^2 = V_0^2 + \frac{P}{c_s} \left\{ 2c_0 V_0 e^{-\frac{qF\phi_0}{RT}} + \frac{8\pi\epsilon d^2 m_i}{\omega q} E_0 \cos \omega t \right\}, \quad (16)$$

где F - число Фарадея; ϕ_0 - потенциал на мембране в начальный момент времени; R - газовая постоянная; T - абсолютная температура. Экспоненциальный множитель после V_0 характеризует изменение начального объема в зависимости от потенциала на мембране и температуры среды.

Полученное выражение (16) позволяет определить зависимость объема эритроцита от величины приложенного электромагнитного поля, а также определить величину проницаемости для всех веществ, проникающих сквозь мембрану медленнее, чем вода.

Значительный интерес в данном явлении представляет изменение потенциала на мембране. Используя введенное ранее понятие эквивалентного заряда, получим для потенциала следующее выражение:

$$\varphi^2 = \varphi_0^2 + P \left\{ \frac{c_0 V_0 q^2 c_s}{8\pi\epsilon d^2} e^{-\frac{qF\phi_0}{RT}} + \frac{q c_s m_i}{2\pi\epsilon \omega} E_0 \cos \omega t \right\}. \quad (17)$$

Выводы. Проведен численный анализ выражений (16) и (17) при различных концентрациях ионов, а также различных амплитудах и частотах падающего поля. Выявлено существенное влияние на объем эритроцита и потенциал на его мембране третьего слагаемого обоих выражений. Полученные результаты показывают сложность происходящих в клетках диффузионных и обменных процессов под влиянием внешнего электромагнитного поля.

Список литературы

1. Гуцол Т. Д. Моделирование взаимодействия эритроцитов с внешним электромагнитным полем. *Slovak international scientific journal*. 2019, vol. 1, no. 25, pp. 42-45.
2. Чижевский А. Л. *Электрические и магнитные свойства эритроцитов*. Киев: Наукова думка, 1973. 86 с.
3. Нефедов А. И. *Внутреннее электромагнитное поле человека и биоэлектромагнетизм: монография*. Москва: Русайнс, 2017. 184 с.
4. Волкова С. А., Боровков Н. Н. *Основы клинической гематологии*. Нижний Новгород: Нижегородская государственная медицинская академия, 2013. 400 с.
5. Рубин А. Б. *Биофизика: в 2-х кн. Кн. 2: Биофизика клеточных процессов*. Москва: Высшая школа, 1999. 303 с.
6. Никольский В. В., Никольская Т. И. *Электродинамика и распространение радиоволн*. Москва: Либроком, 2012. 544 с.