

**Н. В. Брюзгінова, С. П. Сиренко, А. І. Фісун, О. І. Белоус**  
*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины*  
*12, ул. Акад. Проскуры, Харьков, 61085, Украина*  
E-mail: obel@ire.kharkov.ua

### ИЗМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЯДЕР КЛЕТОК БУККАЛЬНОГО ЭПИТЕЛИЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Электрокинетическая подвижность ядер клеток является одним из показателей физиологического состояния организма, поэтому исследование изменения этого параметра под действием внешнего фактора, в данном случае микроволнового поля, является актуальной задачей. В работе представлены результаты исследований электрокинетических показателей клеток буккального эпителия больных с диагнозами дисциркуляторная энцефалопатия и острое нарушение мозгового кровообращения. Основным методом исследования был метод внутриклеточного микроэлектрофореза клеточных ядер. Определяемый параметр – электроотрицательность клеточных ядер (ЭОЯ, %) – отражает количество отрицательно заряженных ядер в пробе клеток. Установлено, что при воздействии на клетки микроволнового излучения (*in vitro*) на длине волны  $\lambda = 7,1$  мм изменение электроотрицательности ядра зависит от тяжести заболевания и, следовательно, реакции организма на внешний раздражитель. Результаты работы будут полезны в медицинской практике для определения степени тяжести заболевания и подбора методов лечения. Ил. 1. Библиогр.: 13 назв.

**Ключевые слова:** электромагнитные волны, электроотрицательность ядра, клетки буккального эпителия.

Активное и успешное развитие исследований воздействия электромагнитного излучения (ЭМИ) на живую материю обусловлено несколькими причинами. Во-первых, за последние десятилетия наблюдается значительное возрастание микроволнового фона техногенного происхождения. Во-вторых, спектры колебаний живой ткани ЭМИ лежат в области КВЧ,  $f = 30 \dots 300$  ГГц. Поэтому возникла необходимость выяснить механизмы действия ЭМИ на клетки организма человека.

Здоровой клетке сопутствуют нормальные акустоэлектрические колебания в плазматической мембране. При каких-либо нарушениях в процессах жизнедеятельности клетки акустоэлектрические колебания затухают [1].

Как известно, клеточные мембраны различных типов, в зависимости от того, частью каких органов они являются (плазматическая мембрана, мембрана, окружающая митохондрии, эндоплазматический ретикулум и др.), отличаются по своей структуре и химическому составу. Функционально можно выделить две категории плазматических мембран. Одна категория связана с проникновением различных веществ в клетку и из нее, другая выполняет ферментативные функции. Эти свойства клеточных мембран определяют электрофоретическую подвижность клеточных ядер. Внутримолекулярные системы тесно взаимосвязаны. В результате повреждение биологических процессов, происходящих в какой-либо изолированной части клетки, влияет на другие процессы, вызывая ряд нарушений. Механизмы, ответственные за повреждение клеток, иногда трудно описать, но чаще всего повреждается одна из четырех внутриклеточных систем. Этими четырьмя системами являются: дыхательная система, клеточная мембранная система или системы,

поддерживающие функции клеточных мембран (в основном синтезирующие фосфолипиды), система синтеза ферментов и структурных белков, а также система репарации генетических аппаратов [2].

Микроволновое излучение вызывает значительные изменения в свойствах мембран клеток разных типов. Воздействие миллиметрового излучения на клетку приводит к синхронизации либо к регенеративному усилению угасающих колебаний. Следствием этого является изменение (коррекция) метаболизма клетки – синтез биологически активных веществ. Возможно, это приводит к устранению застойных явлений в транспортных каналах, связывающих внутренний объем клетки с внеклеточной жидкостью, может возникнуть конвективное движение, что снимает ограничения диффузного движения жидкости вблизи клеток и, в свою очередь, приводит к более активному переносу веществ и электрических зарядов через мембраны [1].

Облучение стимулирует выход из клеток ионов калия и вход ионов натрия по градиенту концентрации, при этом наблюдается увеличение степени доступности атомов водорода в пептидах за счет изменения плотности упаковки липидов мембран. Некоторые авторы полагают, что мембраны играют основную роль в рецепции микроволнового излучения, в процессах передачи сигнала, индуцированного облучением, на внутриклеточные структуры [3].

Показано, что биологические свойства клеточных ядер играют не меньшую роль в жизнедеятельности клетки, чем биоэлектрические свойства клеточной оболочки [4]. Было установлено [2], что увеличение плотности заряда на поверхности ядра соответствует периоду репликации ДНК и, как следствие, увеличению актив-

ного метаболизма, связанного с синтезом РНК и белков. Это отражается на свойствах поверхности клеточной цитоплазматической мембраны, поскольку существует связь между цитоплазматической мембраной клетки и плазматической мембраной, окружающей ядро. Однако взаимосвязь подвижности клетки и ядра с их метаболизмом все еще остается предметом обсуждения. Исследования подтверждают взаимосвязь между интенсивными метаболическими процессами (репликация ДНК) и свойствами ядерных мембран и, как результат, электрофоретической подвижностью ядер [2].

Показатели электроотрицательности ядер (ЭОЯ %) отражают изменения в ядре баланса различно заряженных молекул, а также электрической поляризуемости ядра и внутриядерных структур. Поскольку электрический потенциал оболочки ядра играет важную роль в транспорте веществ между ядром и цитоплазмой, поддержание его на определенном уровне необходимо для нормального функционирования клеток [4, 5].

Изучению биоэлектрических свойств клеточных ядер и их связи с функциональным состоянием клеток и организма в целом посвящены работы [6–8]. Параметр ЭОЯ % является чувствительным маркером, позволяющим оценивать динамику течения болезни на разных стадиях развития патологии и фиксировать эффективность лечения при различных заболеваниях [9–12].

Целью настоящей работы является исследование электрокинетических показателей ядер клеток буккального эпителия (БЭ) человека под действием электромагнитного излучения миллиметрового диапазона.

**1. Материалы и методы.** Поскольку на нормальное функционирование здорового организма облучение, уровень которого не превышает предельно допустимый, практически не влияет [13], возникла необходимость в выборе доноров с заведомо отличным показателем ЭОЯ % от индивидуальной возрастной нормы (ВН) [8].

В эксперименте принимали участие 40 доноров с диагнозами дисциркуляторная энцефалопатия (ДЭП) и острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК) разной степени тяжести, находящихся на стационарном лечении в Харьковской городской клинической больнице № 7. Забор клеток проводили после постановки предварительного диагноза, до начала медикаментозного лечения. Подготовку образцов осуществляли согласно методике, описанной в работе [8]. Для каждого донора протестировано от 5 до 10 препаратов в каждом варианте опыта.

Источником КВЧ-излучения служил генератор типа Г4-141, облучение проводили на биологически активной длине волны  $\lambda = 7,1$  мм [3], плот-

ность потока мощности  $10 \text{ мВт/см}^2$ , с экспозицией 3...15 мин в зависимости от процентного соотношения между величиной ВН и полученными показателями ЭОЯ % контроля [8].

**2. Результаты и обсуждение.** Явление ЭОЯ % связано с биохимическим составом и физиологией клеточных структур, а также со свойствами физической и химической природы или электрокинетическими и электростатическими свойствами ядер и других клеточных структур [2].

В первой группе доноров (1–17) после облучения на выбранной частоте показатель электроотрицательности ядра либо соответствовал показателю ВН, либо снизился на 23...37 % относительно величины ЭОЯ % контроля (рисунок).

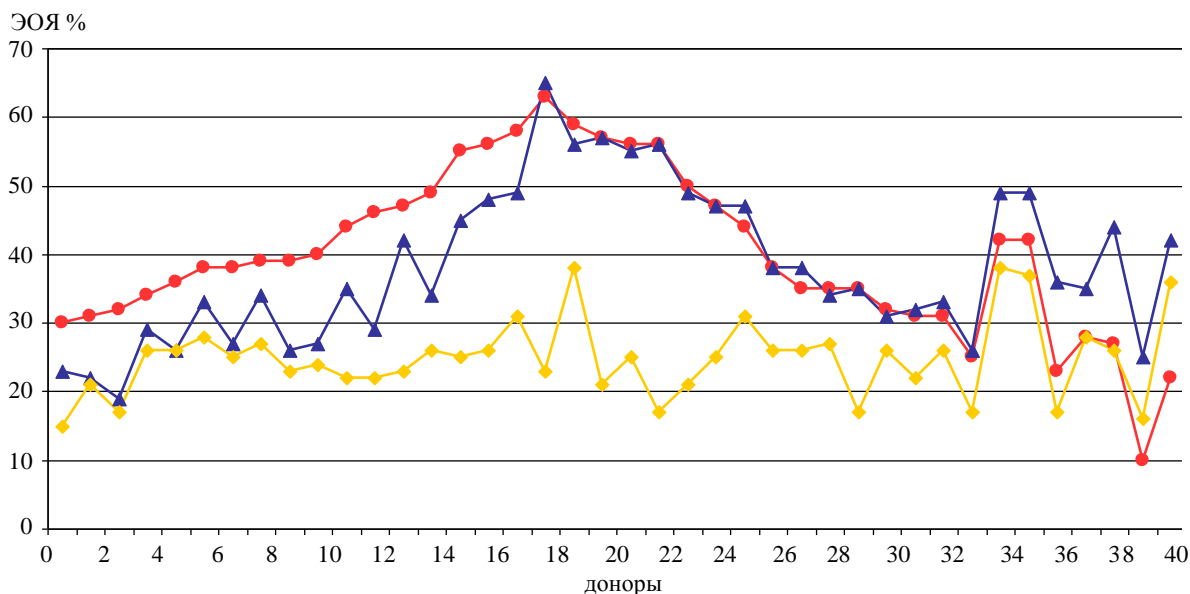
В некоторых случаях достаточно было минимального (по времени) воздействия на клетки биологически активной длины волны  $\lambda = 7,1$  мм, для того чтобы количество отрицательно заряженных ядер приблизилось к уровню ВН. Причем, чем больше разница между величиной ЭОЯ % контрольных образцов и величиной ВН, тем меньше эффект от воздействия облучения на выбранной частоте.

Нарушению процессов жизнедеятельности сопутствует уменьшение амплитуды колебаний. Воздействие на клетку полями в этом диапазоне частот приводит к коррекции, восстановлению собственных колебаний (по механизму синхронизации или регенеративного усиления) [1].

Клетки БЭ доноров второй группы (18–33) показали наибольшее отличие между величиной ЭОЯ % контроля и уровнем индивидуальной ВН среди всех доноров, участвовавших в эксперименте. Второй отличительной чертой этой группы является отсутствие реакции ядер клеток на облучение (рисунок).

Возможно, это свидетельствует о патологически стабильном состоянии клеток организма человека и для получения значимого эффекта недостаточно действия только одного фактора. Изучение комбинированного воздействия длиной волны  $\lambda = 7,1$  мм и других физических факторов на клетки БЭ в рамках данного проекта не проводилось.

В третью группу вошли доноры с тяжелыми формами ОНМК. Реакция ядер клеток БЭ доноров (34–40) характеризуется увеличением показателя ЭОЯ % облученных образцов относительно ЭОЯ % контроля не зависимо от уровня индивидуальной возрастной нормы (рисунок). Величина ЭОЯ % контроля у доноров (34–36) выше индивидуальных показателей ВН, у доноров 37, 38 контроль соответствует ВН, а величина ЭОЯ % контрольных образцов доноров 39, 40 ниже уровня возрастной нормы. Полученные результаты требуют дальнейшего исследования.



Действие электромагнитного излучения на клетки БЭ доноров (ВН – показатель индивидуальной возрастной нормы донора (◆); К – ЭОЯ % до облучения (●); КВЧ – ЭОЯ % после облучения (▲))

**Выводы.** Биологический (биофизический) механизм воздействия низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на биологические объекты носит многофакторный (комплексный) характер [1].

Исследование электрокинетических показателей ядер клеток буккального эпителия человека под действием электромагнитного излучения миллиметрового диапазона выявило три вида реакции ядер клеток. Первая группа характеризуется снижением показателя ЭОЯ % облученных образцов относительно ЭОЯ % контроля. Во второй группе фиксируется незначительная реакция ядер клеток на облучение. В третьей группе наблюдается увеличение показателя ЭОЯ % облученных образцов относительно ЭОЯ % контроля.

Облучение клеток на длине волны  $\lambda = 7,1$  мм включает компенсаторные внутриклеточные механизмы, которые изменяют процент отрицательно заряженных ядер по отношению к индивидуальной возрастной норме. Механизмы изменения заряда ядра клетки нуждаются в дальнейшем исследовании.

Авторы статьи благодарны сотрудникам Харьковской медицинской академии последипломного образования за помощь в проведении исследований.

#### Библиографический список

1. Бецкий О. В., Лебедева Н. Н. Современные представления о механизмах воздействия низкоинтенсивных миллиметровых волн на биологические объекты. *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. 2001. № 3(24). С. 5–19.

2. Czaplá Z., Ciešlik J. Electrophoretic Mobility of Cell Nuclei (EMN) index –relation to biological and physical properties of the cell. *Anthropological Review*. 1998. Vol. 61. P. 93–101.
3. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. Москва: Радио и связь, 1991. 168 с.
4. Шкорбатов Ю. Г., Шахбазов В. Г. Биоэлектрические свойства клеточных ядер. *Успехи совр. биол.* 1992. Т. 112, вып. 4. С. 499–510.
5. *Способ исследования функционального состояния человека*: пат. 2009494, Россия. С1 RU GO1 №33/483 / В. Г. Шахбазов, Ю. Г. Шкорбатов. Открытия. Изобретения. 1994. № 5.
6. Shkorbatov Y. G., Shakhbazov V. G., Navrotskaya V. V., Grabina V. A., Sirenko S. P., Fisun A. I., Gorobets N. N., Kiyko, V. I. Application of intracellular microelectrophoresis to analysis of the influence of the low-level microwave radiation on electrokinetic properties of nuclei in human epithelial cells. *Electrophoresis*. 2002. Vol. 23, N 13. P. 2074–2079.
7. Сиренко С. П., Григорьева Н. Н., Шахбазов В. Г., Фисун А. И., Белоус О. И., Горобец Н. Н., Кийко В. И. Действие сантиметровых и миллиметровых электромагнитных волн линейной и круговой поляризации на клетки буккального эпителия человека. *Материалы XI Междунар. Крымской конф. «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» (КрыМиКо 2001)*. 2001. С. 97–98.
8. Белоус О. И., Брюзгина Н. В., Сиренко С. П., Фисун А. И. Контроль биологической эффективности действие электромагнитных полей миллиметрового диапазона. *Радиофизика и электроника*. 2015. Т. 6(20), № 4. С. 98–102.
9. Шахбазов В. Г., Колупаева Т. В., Григорова И. А., Возницина К. Б. Изменение биологического возраста у больных с энцефалопатиями. *Тезисы доклада, представленного на III Конгрессе геронтологов и гериатров Украины*. 2000.
10. Мячина О. В., Зуйкова А. А., Пашков А. Н. Электрокинетическая активность клеток буккального эпителия у больных гипертонической болезнью. *Сибирский медицинский журнал*. 2012. Т. 27, № 2. С. 120–122.
11. Arkhylova K. A., Bilous O. I., Bruzginova N. V., Fisun A. I., Malakhov V. O., Nosatov A. V., Sirenko S. P., Yemets B. G. Role of mikrowave radiation in self-blood therapy.

- Telecommunications and Radio Engineering*. 2015. Vol. 74, N 14. P. 1305–1315.
12. Белоус О. И., Брюзгінова Н. В., Малахов В. А., Носатов А. В., Сиренко С. П., Фисун А. И., Антипенко Е. Г. КВЧ-физио-гемотерапия: аппаратура, методика проведения лечения и первые результаты. *Актуальные проблемы неврологии и нейрореабилитации*: сб. науч. работ. Харьков: Апостроф. 2012. С. 97–105.
13. Бещкий О. В., Девятков Н. Д., Кислов В. В. Миллиметровые волны низкой интенсивности в медицине и биологии. *Зарубежная радиоэлектроника*. 1996. № 12. С. 3–15.

#### REFERENCES

1. Betskii, O. V., Lebedeva, N. N., 2001. Modern view on the action of lowintensive millimetric waves at biological objects *Millimetry volny v biologii i meditsine*, 3(24), pp. 5–19 (in Russian).
2. Czaplá, Z., Cieslik, J., 1998. Electrophoretic Mobility of Cell Nuclei (EMN) index – relation to biological and physical properties of the cell. *Anthropol. Rev.*, **61**, pp. 93–101.
3. Devyatkov, N. D., Golant, M. B., Betskii, O. V., 1991. *Millimetric waves and its role in the vital activity*. Moscow: Radio i Svyaz' Publ. (in Russian).
4. Shkorbatov, Y. G., Shakhbazov, V. G., 1992. Bioelectricul propetis of cell kernels. *Usp. sovremennoy biologii*, **112**(4), pp. 499–510 (in Russian).
5. Shakhbazov, V. G., Shkorbatov, Y. G., 1994. *Metod of study of functional state of humen factors*. Russia. Pat. 2009494 (in Russian).
6. Shkorbatov, Y. G., Shakhbazov, V. G., Navrotskaya, V. V., Grabina, V. A., Sirenko, S. P., Fisun, A. I., Gorobets, N. N., Kiyko, V. I., 2002. Application of intracellular microelectrophoresis to analysis of the influence of the low-level microwave radiation on electrokinetic properties of nuclei in human epithelial cells. *Electrophoresis*, **23**(13), pp. 2074–2079.
7. Sirenko, S. P., Grigoryeva, N. N., Shakhbazov, V. G., Fisun, A. I., Belous, O. I., Gorobets, N. N., Kiyko, V. I., 2001. Effect of linear and circular polarized waves of SHF and EHF bands on human buccal epithelium cells. In: *11<sup>th</sup> Int. Crimean Microwave Conf. Microwave & Telecommunication Technology (CriMiCo 2001)*: proc. Sevastopol, Crimea, Ukraine, 10–14 Sept. 2001, pp. 97–98. IEEE Publ.
8. Bilous, O. I., Bryuzginova, N. V., Sirenko, S. P., Fisun, A. I., 2015. Biological efficiency testing of millimetric electromagnetic. *Radiofizika i Elektronika*, **6**(20)(4), pp. 98–102 (in Russian).
9. Shakhbazov, V. G., Kolupaeva, T. V., Grigорова, I. A., Vosnitsyna, K. B., 2000. Change in biological age for encephalopathy sickmans. *Tezisy doklada na III Kongresse gerontologov* (in Russian).
10. Myachina, O. V., Zuikova, A. A., Pashkov, A. N., 2012. Electrokinetic activity of buccal epithelium cells of hypertension sick mans. *Sibirskii meditsinskii zh.*, **27**(2), pp. 120–122 (in Russian).
11. Arkhypova, K. A., Bilous, O. I., Bryuzginova, N. V., Fisun, A. I., Malakhov, V. O., Nosatov, A. V., Sirenko, S. P., Yemets B. G., 2015. Role of microwave radiation in self-blood therapy. *Telecommunications and Radio Engineering*, **74**(14), pp. 1305–1315.
12. Belous, O. I., Bryuzginova, N. V., Malakhov, V. A., Nosatov, A. V., Sirenko, S. P., Fisun, A. I., Antipenko, E. G., 2012. SHF-therapy: egnipment, treatment technque and primary results. *Aktual. problemy neurologii*: sb. nauch. rabot. Kharkov: Apostrof Publ. (in Russian).

13. Betskii, O. V., Devyatkov, N. D., Kislov, V. V., 1996. Lowintensive millimetric waves in medicine and biolog. *Zarubezhnaya radioelektronika*, 12, pp. 3–15 (in Russian).

*Рукопись поступила 06.09.2017.*

N. V. Bryuzginova, S. P. Sirenko,  
A. I. Fisun, O. I. Belous

#### CHANGE IN ELECTROKINETIC PROPERTIES OF THE BUCCAL EPITHELIUM CELL KERNELS UNDER THE ACTION OF A MICROWAVE ELECTROMAGNETIC FIELD

An electrophoretic mobility of the cell kernels is one of the physiological factors of a human organism state. Therefore, investigation of change in that parameter under the influence of the external factors (in this context a microwave field) is a currently central problem. In this paper the results of electrokinetic factors study of buccal epithelium cells are presented. Patients with a discirculatory encephalopathy and acute disorder of the cerebral circulation have been studied. The main method of investigation was the method of intracellular microelectrophoresis of cell nuclei. The studied parameter, electrophoretic mobility of the cell nuclei (EMN, %) index, represents the number of negatively charged nuclei in the sample of cells. It has been found that the action by the wavelength  $\lambda = 7.1$  mm (one of the biologically active wavelength) has culminated in the change in electrophoretic mobility of cell nuclei index. These changes depend on the level of disease and thus, on the organism reaction to an external irritation. The investigated results may be useful in medical application for disease difficulty determination and pharmacological treatment selection.

**Key words:** electromagnetic waves, negative potential of nucleus, buccal epithelium cells.

Н. В. Брюзгінова, С. П. Сиренко,  
О. І. Фісун, О. І. Білоус

#### ЗМІНА ЕЛЕКТРОКІНЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯДЕР КЛІТИН БУККАЛЬНОГО ЕПІТЕЛІУ ПІД ДІЄЮ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПОЛІВ МІЛІМЕТРОВОГО ДІАПАЗОНУ

Електрокінетична рухливість ядер клітин є одним з показників фізіологічного стану організму, тому дослідження змін цього параметра під дією зовнішнього чинника, в даному випадку мікрохвильового поля, є актуальним. У роботі представлено результати досліджень електрокінетичних показників клітин буккального епітелію хворих з діагнозом дисциркуляторна енцефалопатія або гостре порушення мозкового кровообігу. Основним методом дослідження була методика внутрішньоклітинного мікроелектрофорезу клітинних ядер. Визначуваний параметр – електронегативність клітинних ядер (ЕНЯ, %) – відображає кількість негативно заряджених ядер у пробі клітин. Встановлено, що при впливі на клітини (*in vitro*) на довжині хвилі  $\lambda = 7,1$  мм зміна електронегативності ядра залежить від тяжкості захворювання, і отже, реакції організму на зовнішній подразник. Результати роботи будуть корисні в медичній практиці для визначення ступеня тяжкості захворювання і добору методів лікування.

**Ключові слова:** електромагнітні хвилі, електронегативність ядра, клітини буккального епітелію.