

ДІЯ ФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ НА БІОЛОГІЧНІ ОБ'ЄКТИ

УДК 577.3'3

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ НА ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ КЛЕТОК И СОСТОЯНИЕ ХРОМАТИНА В КЛЕТКАХ ЧЕЛОВЕКА**Ю.Г. Шкорбатов^{1,2}, В.А. Катрич², В.Н. Пасюга^{1,2}, Е.А. Антоненко²,
Д.Д. Иванченко³, О.Ю. Ключивская⁴, Р.С. Стойка⁴**¹ Харьковський національний університет імені В.Н.Каразіна, інститут біології, г. Харків, 61022, пл. Свободи, 4, Україна
shckor@univer.kharkov.ua² Харьковський національний університет В.Н.Каразіна, кафедра фізичної і біомедицинської електроніки і комплексних інформаційних технологій, г. Харків, 61022, пл. Свободи, 4, Україна
vkatrich@univer.kharkov.ua³ Харьковський національний університет В.Н.Каразіна, кафедра теоретичної радіофізики, г. Харків, 61022, пл. Свободи, 4, Україна
ivdd@univer.kharkov.ua⁴ Інститут біології клітки Національної Академії Наук України, Львів, 79005, ул. Драгоманова, 14/16
stoika@cellbiol.lviv.ua

Поступила в редакцію 27 марта 2013 года

Принята 22 апреля 2013 года

Показано влияние низкоинтенсивного микроволнового излучения на жизнеспособность клеток эпителия ротовой полости человека (буккального эпителия) и состояние хроматина при облучении микроволнами *in vitro*. Исследовали влияние низкоэнергетического микроволнового излучения (частота 36,64 ГГц и 1,85 ГГц). Состояние повреждения клеток оценивали при помощи окрашивания клеток витальными красителями Hoechst 33342 и бромидом этидия. Конденсацию хроматина в клетках определяли по изменению количества гранул гетерохроматина в интерфазных ядрах после окрашивания клеток орсеином. Показано повреждение клеток после микроволнового облучения, частично восстанавливающееся через определенные промежутки времени (1,5 и 4 ч), в зависимости от интенсивности облучения. Низкоэнергетическое микроволновое излучение также вызывало повышение уровня конденсации хроматина (гетерохроматинизацию) и ее зависимость от длительности облучения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: микроволновое излучение, повреждение клеток человека.**ВПЛИВ МИКРОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НИЗЬКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ НА ЖИТТЄЗДАТНІСТЬ КЛІТИН І СТАН ХРОМАТИНУ В КЛІТИНАХ ЛЮДИНИ****Ю.Г. Шкорбатов^{1,2}, В.А. Катрич², В.Н. Пасюга^{1,2}, Е.А. Антоненко², Д.Д. Иванченко³,
О.Ю. Ключівська⁴, Р.С. Стойка⁴**¹ Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна, інститут біології, м. Харків, 61022, пл. Свободи, 4, Україна² Харківський національний університет В.Н.Каразіна, кафедра фізичної і біомедицинської електроніки і комплексних інформаційних технологій, м. Харків, 61022, пл. Свободи, 4, Україна³ Харківський національний університет В.Н.Каразіна, кафедра теоретичної радіофізики, м. Харків, 61022, пл. Свободи, 4, Україна⁴ Інститут біології клітини Національної Академії Наук України, м. Львів, 79005, вул. Драгоманова, 14/16

Показано вплив низькоінтенсивного мікрохвильового випромінювання на життєздатність клітин епітелію ротової порожнини людини (клітин буккального епітелію) і стан хроматину при опроміненні мікрохвилями *in vitro*. Досліджували вплив низькоенергетичного мікрохвильового випромінювання (частота 36,64 ГГц і 1,85 ГГц). Стан пошкодження клітин оцінювали за допомогою забарвлення клітин вітальними барвниками Hoechst 33342 і бромідом етидію. Конденсацію хроматину в клітинах визначали по зміні кількості гранул гетерохроматину в інтерфазних ядрах після забарвлення клітин орсеїном. Показано пошкодження клітин після мікрохвильового опромінення, яке частково відновлюється через певні проміжки часу (1,5 і 4

годин) , залежно від інтенсивності опромінення. Низькоенергетичне мікрохвильове випромінювання також викликало підвищення рівня конденсації хроматину (гетерохроматинізації) в залежності від тривалості опромінення.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: мікрохвильове випромінювання, пошкодження клітин людини.

THE EFFECT OF MICROWAVE RADIATION OF LOW INTENSITY ON CELL VIABILITY AND CHROMATIN STATE IN HUMAN CELLS

Y.G. Shkorbatov ^{1,2}, V.A. Katrych ², V.N. Pasyuga ^{1,2}, E.A. Antonenko ², D.D. Ivanchenko ³,
O.Y. Klyuchivskaya ⁴, R.S. Stoika ⁴

¹ V.N.Karazin Kharkov National University, Institute of Biology, Kharkov, 61022, pl. Svobody, 4, Ukraine

² V.N.Karazin Kharkov National University, Department of Physical and Biomedical Electronics and Complex Information Technologies, Kharkov, 61022, pl. Svobody, 4, Ukraine

³ V.N.Karazin Kharkov National University, Department of Theoretical Radiophysics, Kharkov, 61022, pl. Svobody, 4, Ukraine

⁴ Institute of Cell Biology, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, 79005, ul. Drahomanova 14/16

The effects of low intensity microwave radiation on the viability of the epithelial cells human buccal epithelium and chromatin state after in vitro microwave irradiation were investigated. After the exposure to low-energy microwave radiation (frequency of 36.64 GHz and 1.85 GHz) the cell damage was assessed by staining with vital dye Hoechst 33342 and ethidium bromide . Condensation of chromatin in the cells was determined by the change in the number of granules of heterochromatin after staining with orcein in interphase nuclei. The cell damage after microwave irradiation was partially recovered after a certain period of time (from 1.5 to 4 hours) in dependence on radiation intensity. The low-energy microwave radiation also induced an increase in chromatin condensation (heterochromatinization) in dependence on the duration of cell exposure to microwaves.

KEY WORDS: microwave radiation, human cell damage.

ВВЕДЕНИЕ

Низкоинтенсивные электромагнитные поля (ЭМП) техногенного происхождения в современных условиях являются важным компонентом окружающей среды. Многие аспекты биологического действия ЭМП еще недостаточно изучены, хотя в ряде эпидемиологических исследований было показано, что они могут приводить к ухудшению здоровья человека [1-3]. Показано, что ЭМП выступает в качестве индуктора процессов апоптоза [4, 5]. В наших предыдущих работах мы показали, что КВЧ излучение (36,64 ГГц) низкой интенсивности вызывает конденсацию хроматина [6] и повышение проницаемости клеточных мембран, и эти изменения обратимы в течение 3-4 часов [7]. Ранее нами исследовался вопрос о реакции клетки на микроволновое излучение с разной эллиптической поляризацией. Было показано, что клетки буккального эпителия человека относительно более молодых доноров проявляют более выраженную реакцию повышения проницаемости мембран на левосторонне поляризованное излучение, чем на правосторонне поляризованное излучение, а линейно поляризованное излучение действует, как правило, наиболее эффективно [8]. При действии на показатель содержания гранул гетерохроматина (СГГ) в ядрах клеток человека проявляют индивидуальную специфичность. В клетках одного донора левосторонне эллиптически поляризованное излучение вызывает менее выраженный эффект повышения СГГ, то есть конденсации хроматина, чем правосторонне поляризованное излучение. Линейно поляризованное излучение, как правило, вызывает наибольший эффект конденсации хроматина [9].

В настоящей работе исследовали процессы повреждения и восстановления клеток после воздействия микроволн (36,64 ГГц) с различной эллиптической поляризацией, а также процессы изменения конденсации хроматина при воздействии микроволнового облучения (1,8 ГГц).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперименты проводили с клетками буккального эпителия человека, взятыми у доноров-добровольцев, которые были проинформированы о цели исследования. Операция взятия клеток была совершенно бескровной и безболезненной и проводилась в соответствии с Европейской конвенцией о правах человека и биомедицине (1997), декларациями и рекомендациями Первого, Второго и Третьего национальными (украинскими) конгрессами по биоэтике (Киев, Украина, 2001, 2004, 2007) и законодательством Украины. Все доноры были мужского пола. Донор А - 18 лет, донор В - 20 лет, донор С - 24 года, донор D - 37 лет, донор Е - 53 года и донор F - 56 лет.

Для создания электромагнитного поля с частотой 36,64 ГГц, применяли генератор на основе диода Ганна (изготовлен на кафедре теоретической радиофизики ХНУ), плотность падающего потока мощности на поверхности объекта – 0.1 и 1 Вт/м², время воздействия - 10 с. Для получения эллиптически поляризованного излучения использовали решетчатый поляризатор. Для создания электромагнитного поля с частотой 1,85 ГГц использовали генератор P2-38. Плотность падающего потока мощности на поверхности объекта в этом случае составляла – 0.1 Вт/м², время воздействия – от 1 до 60 минут.

Для обработки электромагнитным полем суспензию клеток в объеме 200 ккл помещали в пробирки Эппендорфа в раствор следующего состава: 3,03 мМ фосфатный буфер, рН = 7,0 с добавлением 2,89 мМ хлорида кальция.

Перед просмотром клетки окрашивали Hoechst 33342 (5 мкг/мл, 30 мин) и бромидом этидия (2 мкг/мл). Живые клетки способны поглощать Hoechst 33342 (голубая флуоресценция). Окрашивание бромидом этидия (красная флуоресценция хроматина) было использовано в качестве маркера повреждения клеточной мембраны, поскольку этот краситель проникает только через поврежденную мембрану. В живых клетках хроматин ядра был синего либо темно-синего цвета, а в поврежденных клетках отмечалась розовая или красная флуоресценция, в зависимости от степени повреждения клеток. Процентное содержание клеток, ядра которых имели розовую или красную флуоресценцию, служило критерием повреждения клеток в популяции.

Состояние хроматина в ядрах клеток исследовали, оценивая содержание гранул гетерохроматина (СГГ) после окрашивания клеток 2% раствором орсеина в 45% уксусной кислоте [10]. Определение количества гранул гетерохроматина проводили при 600-кратном увеличении. Величину СГГ в каждом варианте эксперимента определяли в 30 ядрах. Это количество близко к оптимальному, поскольку дальнейшее увеличение количества проанализированных ядер не приводит к значительному уменьшению величины стандартной ошибки, но в значительной мере замедляет анализ. О различиях между контролем и опытом судили по средним величинам СГГ (N=30). Каждый эксперимент проводили в трех независимых повторах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, полученные в экспериментах по определению жизнеспособности клеток после микроволнового облучения, представлены на рисунках 1-4, а в таблице 1 представлены результаты дисперсионного анализа полученных данных. В Приложении (таблица 1) представлены данные отдельных экспериментов. Поскольку в опыте участвовали 6 доноров, наглядно (в виде диаграмм) представить данные, полученные на клетках одного донора в рамках одной статьи невозможно, поэтому мы ограничились графическим представлением данных, полученных на клетках доноров, наиболее различающихся по возрасту – донора А (18 лет) и донора F (56 лет). Клетки доноров разного возраста были исследованы потому, что ранее было показано, что возможно, существует зависимость между чувствительностью мембран клеток к микроволновому облучению и возрастом доноров [8].

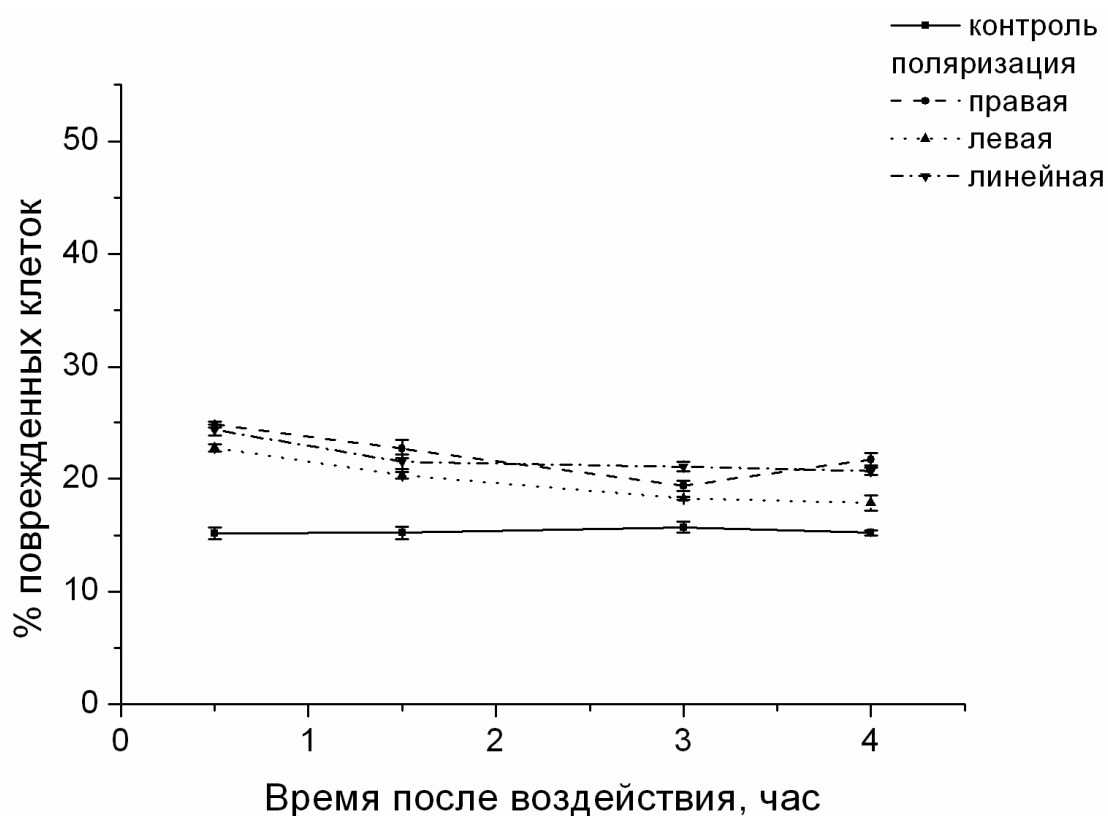


Рисунок 1. Степень повреждения клеток донора А при воздействии микроволнового излучения различной поляризации ($E=0,1 \text{ Вт/м}^2$, время воздействия 10 с) в различные периоды после облучения.

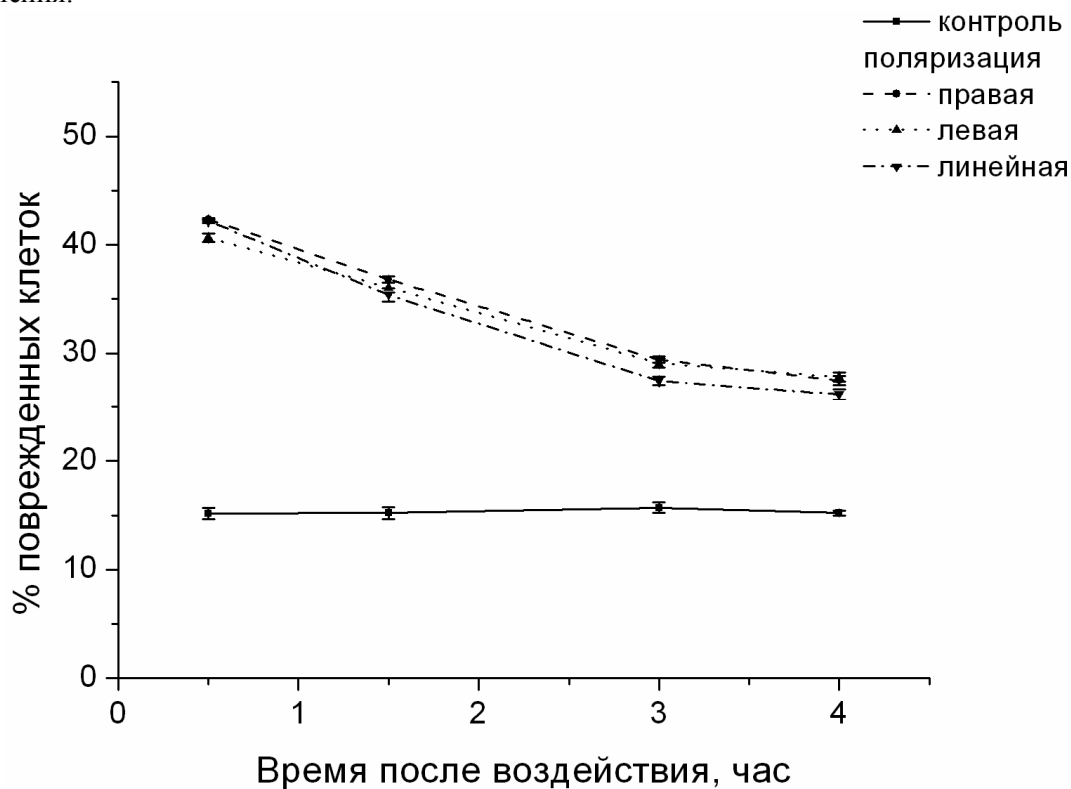


Рисунок 2. Степень повреждения клеток донора А при воздействии микроволнового излучения различной поляризации ($E=1 \text{ Вт/м}^2$, время воздействия 10 с) в различные периоды после облучения.

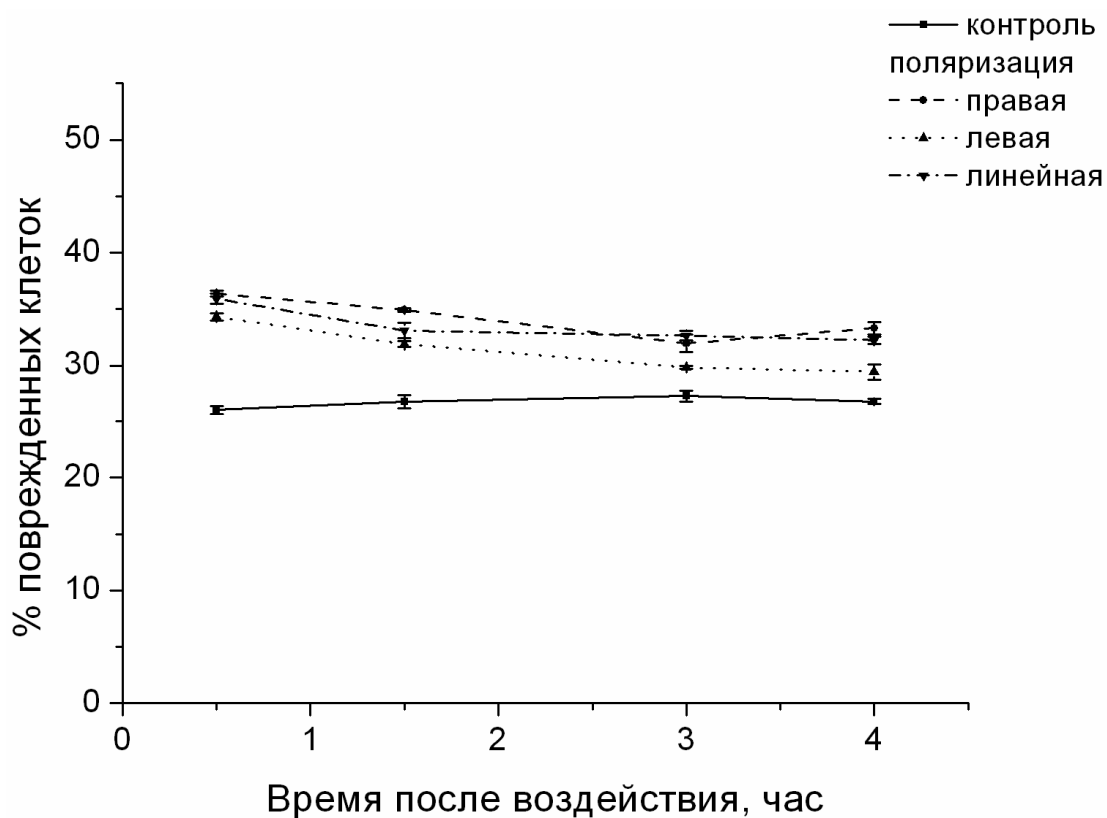


Рисунок 3. Степень повреждения клеток донора F при воздействии микроволнового излучения различной поляризации ($E=0,1 \text{ Вт/м}^2$, время воздействия 10 с) в различные периоды после облучения.

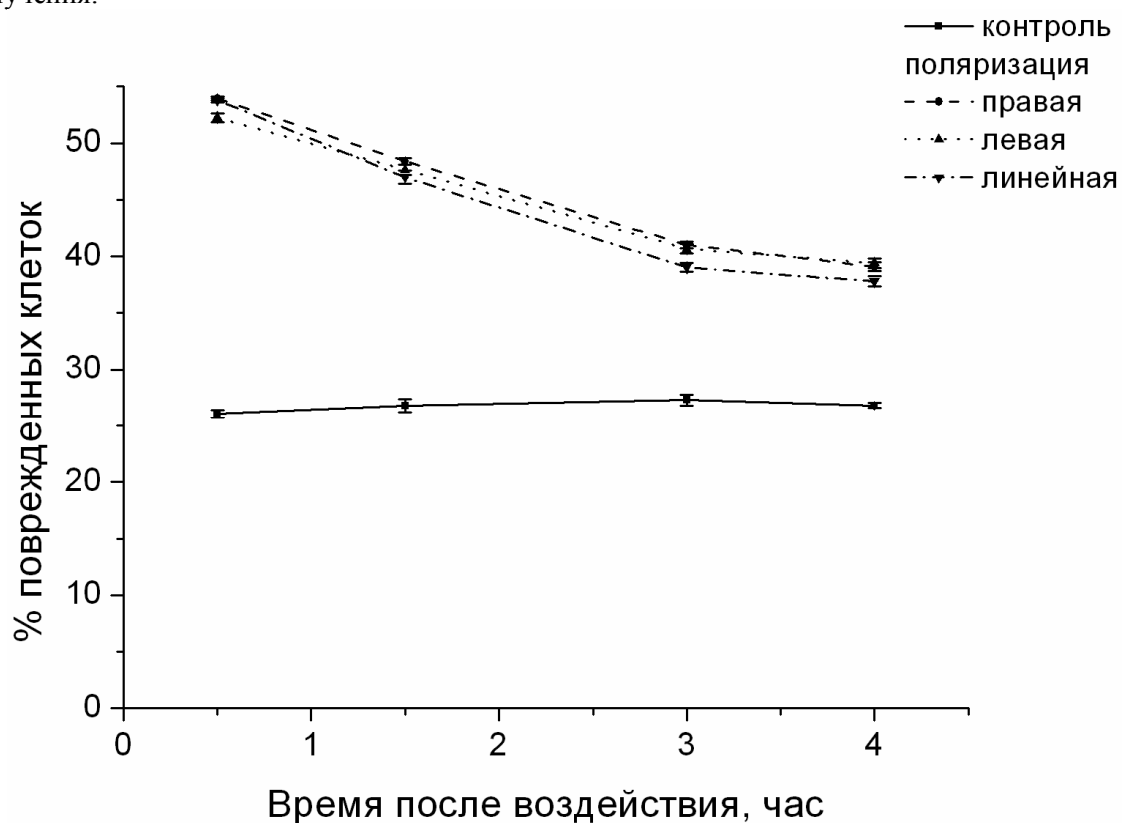


Рисунок 4. Степень повреждения клеток донора F при воздействии микроволнового излучения различной поляризации ($E=1 \text{ Вт/м}^2$, время воздействия 10 с) в различные периоды после облучения.

Микроволновое облучение приводило к значительному увеличению содержания поврежденных клеток в препарате, более выраженному при большей интенсивности облучения. При интенсивности облучения $0,1 \text{ Вт/м}^2$ заметно, что левосторонне поляризованное облучение проявляет меньшее повреждающее действие на клетки. При интенсивности облучения 1 Вт/м^2 такой закономерности не отмечено. Интересно, что клетки способны восстанавливать повреждения, вызванные микроволновым облучением. В период 1-3 часа после облучения наблюдается снижение процента поврежденных клеток, относительно более выраженное у пожилого донора.

Для обобщенного анализа влияния микроволнового облучения на клетки разных доноров, нами был проведен дисперсионный анализ полученных данных (ANOVA), результаты которого представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка влияния микроволнового излучения на жизнеспособность клеток буккального эпителия человека в различные периоды времени после воздействия с помощью ANOVA test (Т - независимый фактор времени восстановления после микроволнового облучения: 1 - 30 мин., 2 - 1,5 ч, 3 - 3 ч, 4 - 4 ч; Р - независимый фактор поляризации излучения: 1 - контроль, 2 - правая, 3 - левая, 4 - линейная; В - зависимый фактор индивидуальной разницы между донорами)

	F	p
10^{-1} Вт/м^2		
T	76,88*	0,00
P	547,68*	0,00
T*P	16,70*	0,00
V	3841,97*	0,00
V*T	0,61	0,87
V*P	5,46*	0,00
1 Вт/м^2		
T	944,50*	0,00
P	3679,68*	0,00
T*P	121,29*	0,00
V	6844,29*	0,00
V*T	77,01*	0,00
V*P	84,93*	0,00

Из анализа результатов, полученных на клетках шести доноров и представленных в таблице 1, видно, что все факторы: Т - фактор времени восстановления после микроволнового облучения, Р - фактор поляризации излучения, В - фактор индивидуальной разницы доноров – достоверно влияют на процент клеток, поврежденных в результате облучения.

Мы также исследовали влияние на клетки микроволнового излучения с частотой 1,85 ГГц, поскольку известно, что излучение близкой частоты используется в

устройствах для мобильной связи (так называемый стандарт GSM или Global System for Mobile Communications). Широко обсуждается негативное воздействие излучений устройств мобильной связи на человека и есть свидетельства повышения риска заболевания раком у пользователей мобильных телефонов [12, 13]. В то же время высказываются мнение, что собранных свидетельств вредного воздействия мобильных телефонов на здоровье человека пока недостаточно и поэтому данный вопрос должен быть исследован более тщательно [14, 15].

Мы исследовали изменение степени гетерохроматинизации хроматина под действием микроволнового излучения диапазона GSM (рис. 5).

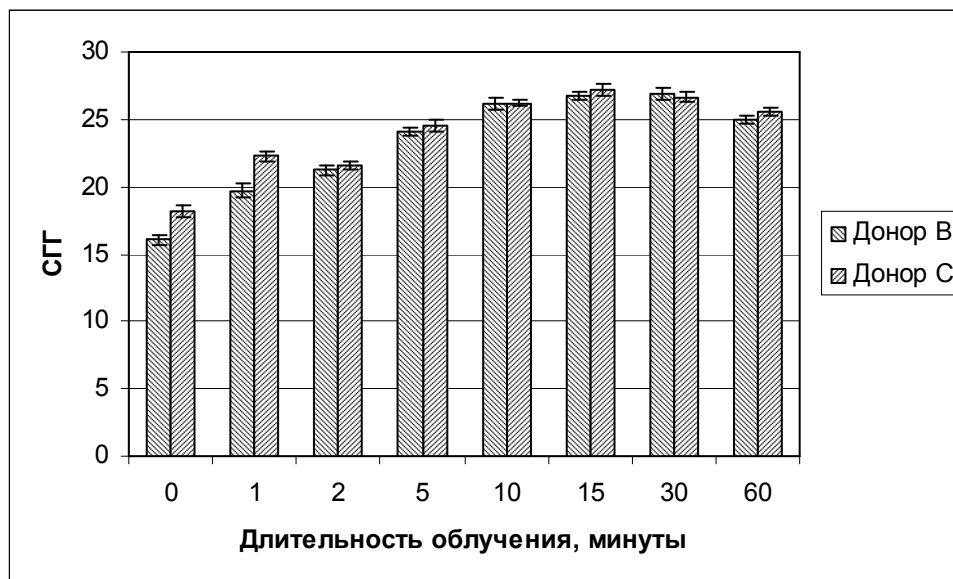


Рисунок 5. Содержание гранул гетерохроматина (СГГ) в ядрах клеток доноров С (24 года) и В (56 лет) при воздействии микроволнового излучения ($E=0,1 \text{ Вт/м}^2$, частота 1,85 ГГц) при различном времени воздействия.

Из представленных на рисунке 5 данных видно, что уже минимальное время облучения (1 минута) вызывает значительное возрастание СГГ, то есть конденсацию хроматина. Как известно, процесс конденсации хроматина связан со снижением его биосинтетической активности [16]. Показатель СГГ, отражающий этот процесс, может быть с успехом применен для характеристики стресса на клеточном уровне [17]. При увеличении времени воздействия электромагнитного поля конденсация хроматина увеличивается до экспозиции 15 мин. Дальнейшее увеличение экспозиции не приводит к увеличению эффекта, что, по нашему мнению, связано со значительным повреждением клетки и невозможностью адекватно отвечать на стресс.

Таким образом, полученные нами и рядом других исследователей данные свидетельствуют о значительном влиянии низкоэнергетического микроволнового излучения на клетку. Это влияние сопровождается изменениями микроскопической структуры хроматина – гетерохроматинизацией, которое часто сопровождает клеточный ответ на повреждение. Наблюдающиеся на клеточном уровне изменения степени гетерохроматинизации частично обратимы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations / H.-P. Hutter, H. Moshhammer, P. Wallner, M. Kundi //Occup. Environ. Med. – 2006 – V. 63. – P. 307–313.

2. Hardell L. Epidemiological evidence for an association between use of wireless phones and tumor diseases / L. Hardell, M. Carlberg, Mild K. Hansson // *Pathophysiology*. – 2009. – V. 16 – P. 113–122.
3. Living near overhead high voltage transmission power lines as a risk factor for childhood acute lymphoblastic leukemia: a case-control study / M.-R. Sohrabi, T. Tarjoman, A. Abadi, P. Yavari // *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*. – 2010. – V. 11. – P. 423–427.
4. Non-thermal effects of 2.45 GHz microwaves on spindle assembly, mitotic cells and viability of Chinese hamster V-79 cells / M. Ballardin, I. Tusa, N. Fontana [et al.] // *Mutat. Res.* – 2011. – V. 716. (1-2). – P. 1–9.
5. Non-thermal cellular effects of lowpower microwave radiation on the lens and lens epithelial cells / Y. Yu, K. Yao // *J. Int. Med. Res.* – 2010 – V. 38(3). – P.729–36.
6. Effects of differently polarized microwave radiation on the microscopic structure of the nuclei in human fibroblasts / Y. G. Shckorbatov, V. N. Pasiuga, E. I. Goncharuk [et al.] // *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* – 2010. – V. 11 (10). – P. 801–805.
7. Cell nucleus and membrane recovery after exposure to microwaves / Y. G. Shckorbatov, V. N. Pasiuga, N. N. Kolchigin [et al.] // *Proc. Lat. Acad. Sci. Sect. B.* – 2011. – V. 65 (672/673). – P. 13–20.
8. Влияние циркулярно-поляризованного низкоинтенсивного излучения миллиметрового диапазона на проницаемость клеточной мембраны в клетках человека / В. Н. Пасюга, Ю. Г. Шкорбатов, В. А. Грабина [и др.] // *Біофізичний вісник*. – 2008. – № 20 (1). – С. 107–113. /Vlijanie cirkuljarno-poljarizovanogo nizkointensivnogo izluchenija millimetrovogo diapazona na pronicaemost' kletочноj membrany v kletkah cheloveka / V. N. Pasjuga, Ju. G. Shkorbatov, V. A. Grabina, [i dr.] // *Biofizichnij visnik*. – 2008. – № 20 (1). – S. 107–113./
9. The influence of differently polarized microwave radiation on chromatin in human cells / Y. G. Shckorbatov, V. N. Pasiuga, N. N. Kolchigin [et al.] // *International Journal of Radiation Biology*. – 2009. – V. 85(4). – P. 322–329.
10. Shckorbatov Y. G. He-Ne laser light induced changes in the state of the chromatin in human cells / Y. G. Shckorbatov // *Naturwissenschaften*. – 1999. – V. 86(9). – P. 450–453.
11. On age-related changes of cell membrane permeability in human buccal epithelium cells / Y. G. Shckorbatov, V. G. Shakhbazov, A. M. Bogoslavsky, A. O. Rudenko // *Mech. Ageing Develop.* – 1995. – V. 83. – P.87–90.
12. Cell phones and brain tumors: a review including the long-term epidemiologic data / V. G. Khurana, C. Teo, M. Kundi [et al.] // *Surg. Neurol.* – 2009 – V. 72. – P. 205–215.
13. Cellular phone use and risk of benign and malignant parotid gland tumors – a nationwide case-control study / S. Sadetzki, A. Chetrit, A. Jarus-Hakak [et al.] // *Am. J. Epidemiol.* – 2008. – V. 167, (4). – P. 457–467.
14. O'Keefe S. Does the use of cell phones cause brain tumors? / S. O'Keefe // *Clin. J. Oncol. Nurs.* – 2008. – V. 12, № 4. – P.671–672.
15. Brain tumour risk in relation to mobile telephone use: results of the INTERPHONE international case-control study / E. Cardis, I. Deltour, M. Vrijheid [et al.] // *Int. J. Epidemiol.* – 2010. – V. 39. – P. 675–694.
16. Lewin B. *Genes VIII* / B. Lewin. – New York: Pearson Prentice Hall. – 2004. – 1002 p.
17. Shckorbatov Yu. The state of chromatin as an integrative indicator of cell stress / Yu. Shckorbatov. In: *New Developments in Chromatin Research* // N.M. Simpson V.J. Stewart [Ed.]. – New York: Nova Publishers. – 2012. – P. 123–144.

Приложение

Таблица 1.

Изменение жизнеспособности клеток буккального эпителия человека в различные периоды после облучения (*отличие от контроля $P < 0,05$)

Направление поляризации микроволнового излучения	Показатель жизнеспособности					
	Донор А	Донор В	Донор С	Донор D	Донор Е	Донор F
1	2	3	4	5	6	7
10^{-1} Вт/м ²						
30 мин после облучения						
контроль	15,2±0,5	11,2±0,1	10,7±0,1	17,5±0,1	19,9±0,5	26,1±0,3
правая	24,8±0,2*	22,0±0,2*	21,6±0,2*	28,4±0,2*	29,6±0,2*	36,4±0,2*
левая	22,7±0,3*	17,9±0,6*	17,4±0,3*	24,2±0,4*	27,5±0,3*	34,3±0,3*
линейная	24,3±0,5*	23,0±0,9*	22,6±0,9*	29,4±0,9*	29,1±0,5*	35,9±0,5*
1,5 часа после облучения						
контроль	15,2±0,6	12,7±0,3	13,5±0,2	18,7±0,2	20,0±0,6	26,8±0,6
правая	22,7±0,8*	19,9±0,4*	19,5±0,4*	26,3±0,4*	28,1±0,2*	34,9±0,2*
левая	20,3±0,3*	15,3±0,3*	14,7±0,4	21,6±0,4*	25,1±0,3*	31,9±0,3*
линейная	21,5±0,7*	19,6±0,2*	19,1±0,2*	25,9±0,2*	26,3±0,7*	33,1±0,7*
3 часа после облучения						
контроль	15,7±0,5	12,3±0,3	11,8±0,2	18,6±0,2	20,5±0,5	27,3±0,5
правая	19,4±0,4*	17,7±0,4*	17,3±0,4*	23,4±0,5*	25,2±0,8*	31,9±0,7*
левая	18,3±0,1*	15,6±0,5*	15,0±0,4*	21,8±0,4*	23,1±0,1*	29,8±0,1*
линейная	21,1±0,4*	18,6±0,4*	18,2±0,4*	24,6±0,2*	25,9±0,4*	32,7±0,4*
4 часа после облучения						
контроль	15,2±0,2	12,3±0,3	11,8±0,2	18,6±0,2	20,0±0,2	26,8±0,2
правая	21,7±0,5*	17,9±0,5*	17,6±0,5*	24,1±0,6*	26,5±0,5*	33,3±0,5*
левая	17,9±0,7*	15,6±0,5*	15,0±0,5*	21,8±0,5*	22,7±0,7*	29,5±0,7*
линейная	20,7±0,3*	18,8±0,2*	18,4±0,2*	24,8±0,1*	25,5±0,3*	32,3±0,3*
1 Вт/м ²						
30 мин после облучения						
контроль	15,2±0,5	11,2±0,1	10,7±0,1	17,5±0,1	19,9±0,5	26,1±0,3

правая	42,4±0,1*	35,2±0,3*	34,8±0,2*	41,6±0,2*	47,1±0,1*	53,9±0,1*
левая	40,7±0,4*	31,5±0,4*	31,1±0,4*	37,9±0,4*	45,5±0,4*	52,3±0,4*
линейная	42,2±0,2*	37,1±0,3*	36,7±0,3*	43,5±0,3*	47,0±0,2*	53,8±0,2*
1,5 часа после облучения						
контроль	15,2±0,6	12,7±0,3	13,5±0,2	18,7±0,2	20,0±0,6	26,8±0,6
правая	36,8±0,3*	37,2±0,7*	36,7±0,7*	43,5±0,7*	41,6±0,3*	48,4±0,3*
левая	36,1±0,5*	32,2±0,3*	31,8±0,3*	38,6±0,3*	40,9±0,5*	47,7±0,5*
линейная	35,4±0,6*	35,5±0,5*	35,1±0,5*	41,9±0,5*	40,2±0,6*	47,0±0,6*
3 часа после облучения						
контроль	15,7±0,5	12,3±0,3	11,8±0,2	18,6±0,2	20,5±0,5	27,3±0,5
правая	29,4±0,3*	30,8±0,3*	30,3±0,3*	37,1±0,3*	34,2±0,3*	41,0±0,3*
левая	29,1±0,4*	22,2±0,5*	21,8±0,5*	28,6±0,5*	33,9±0,4*	40,7±0,4*
линейная	27,4±0,4*	28,6±0,2*	28,2±0,2*	35,0±0,2*	32,2±0,4*	39,0±0,4*
4 часа после облучения						
контроль	15,2±0,2	12,3±0,3	11,8±0,2	18,6±0,2	20,0±0,2	26,8±0,2
правая	27,5±0,4*	24,2±0,6*	23,7±0,6*	30,5±0,6*	32,3±0,4*	39,1±0,4*
левая	27,8±0,4*	20,5±0,4*	20,1±0,4*	26,9±0,4*	32,6±0,4*	39,4±0,4*
линейная	26,2±0,5*	24,0±0,1*	23,6±0,1*	30,4±0,1*	31,0±0,5*	37,8±0,5*