Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского
Серия «Биология, химия». Том 24 (63). 2011. № 4. С. 282-291.

УДК 576.315.4

ВЛИЯНИЕ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ЧАСТОТАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И СЕТИ WIMAX НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАН КЛЕТОК БУККАЛЬНОГО ЭПИТЕЛИЯ ЧЕЛОВЕКА

Скамрова Г.Б.[1], Евстигнеев М.П.[1], Лантушенко А.О.[1], Лукъянчук Г.А.[1], Саламатин В.В.[1], Шкорбатов Ю.Г.[2]

[1]Севастопольский национальный технический университет, Севастополь, Украина
[2]Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина, Харьков, Украина
E-mail: galina_skamrova@mail.ru

Исследовано влияние электромагнитного излучения разных интенсивностей и времен экспозиций на частотах мобильной связи (900 МГц), а также сети WiMAX – 3,7ГГц, на проницаемость мембран клеток буккального эпителия человека. Оценка проницаемости клеточных мембран производилась путем окрашивания клеток раствором индигокармина. Обнаружен статистически значимый эффект увеличения количества окрашенных клеток в зависимости от времени облучения и интенсивности излучения источника.
Ключевые слова: микроволновое излучение, проницаемость мембраны, индигокармин, буккальный эпителий.

ВВЕДЕНИЕ

На протяжении всей своей жизни человек находится под воздействием электромагнитного излучения (ЭМИ) искусственного происхождения, интенсивность которого повышается в результате научно-технического прогресса. Микроволновое излучение используется в активно развиваемых в настоящее время телекоммуникационных системах: сотовых телефонах, устройствах Bluetooth, WiFi и WiMAX, поэтому изучение его влияния на биосистемы различного уровня организации является актуальной задачей.

Одним из наиболее информативных способов выявления механизмов действия ЭМИ на живой объект является изучение вызываемых им эффектов на клеточном уровне. Несмотря на обилие проведенных исследований в данной области, четкого представления о характере взаимосвязи реакции клетки и параметров ЭМИ (таких как мощность излучения, частота, поляризация) в настоящее время не существует. Одна из причин этому заключается в том, что разные авторы в своих исследованиях используют разные клеточные объекты и разные параметры ЭМИ [1-8], что усложняет выявление закономерностей в опубликованном материале.

Ранее на примере клеток буккального эпителия нами было показано наличие выраженного эффекта действия микроволнового излучения на частотах мобильной связи и сети WiMAX на степень конденсации гетерохроматина в ядрах [9]. В

частности, было показано существование статистически значимой взаимосвязи количества гранул гетерохроматина (КГГ) с мощностью излучения и временем экспозиции. Допуская, что гранулирование хроматина является реакцией клетки на ЭМИ и отражает изменение её функциональной активности, можно предположить, что отклик на действие ЭМИ может также проявляться и на других клеточных компонентах. Ряд авторов сходятся во мнении, что значительную роль в рецепции микроволнового излучения играют мембраны [6,7]. В связи с этим, в настоящей работе нами рассматривается проницаемость мембраны клеток буккального эпителия для витального красителя индигокармина как фактор реакции клетки на действие ЭМИ с параметрами, близкими к тем, которые использовались нами в работе [9].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1.1 Объект исследования

Эксперименты проводились на краткосрочной клеточной культуре буккального эпителия. После изъятия с внутренней поверхности щеки с помощью стерильного шпателя клетки помещались в буферный раствор следующего состава: 3,03 мМ фосфатный буфер, pH = 7,0 с добавлением 2,89 мМ хлорида кальция [10]. Было показано, что при нахождении клеток в растворе такого состава в течение 24 часов, не наблюдается видимых изменений структуры ядра и клеточной мембраны [11]. Отбор клеток производился у трех доноров мужского пола разного возраста: донор A – 35 лет, B – 25 лет, C – 24 года, и двух доноров женского пола: донор D – 22 года, E – 54 года. Все доноры были практически здоровые, не курящие.

1.2 Источники излучения

1.2.1 Мобильный телефон

В качестве источника микроволнового излучения использовались два мобильных телефона, находящихся в режиме разговора. Частота излучения составляла 900 МГц. Для оценки излучаемой мощности использовался удельный коэффициент поглощения (Specific Absorption Rate - SAR), который также является показателем вредного воздействия мобильных телефонов на человека. Согласно паспорту телефонов, значение SAR составляет 0,531 Вт/кг и 1,1 Вт/кг.

1.2.2 Генератор ЭМИ рабочей частоты WiMAX

Для генерирования ЭМИ с частотой 3,7 ГГц (рабочий стандарт WiMAX) применяли установку, схема и принцип действия которой был подробно описан в работе [9]. Вкратце: прибор состоит из генератора сверхвысоких частот (СВЧ), коаксиально-волноводного перехода, ответвителя круговой поляризации и отрезка согласованного волновода, в котором располагается эппендорф с исследуемым образцом. Сигнал с волновода через ответвитель круговой поляризации передается на измеритель отношений, который позволяет измерять мощность генерируемой электромагнитной волны.

1.3 Процедура облучения

1.3.1 Облучение излучением мобильного телефона

Буферный раствор, содержащий клетки, наносился на поверхность предметного стекла и помещался в чашу Петри, на дне которой находилась заранее смоченная в

воде влажная фильтровальная бумага. Телефон, находящийся в режиме разговора, располагался над предметными стеклами на расстоянии 3-4 см. Клетки буккального эпителия подвергались электромагнитному облучению в течение 1, 2, 5, 10, 15, 30 и 60 минут. Данный этап эксперимента для клеток каждого донора проводился в один день, при комнатной температуре (20±2°С) и дневном освещении.

1.3.2 Облучение клеток на частоте 3,7 ГГц

Раствор, содержащий клетки и фосфатный буфер, распределялся между несколькими эппендорфами (пробирками по 0,5 мл каждая). Электромагнитное облучение проводилось при пяти значениях плотности потока мощности на поверхности исследуемого раствора: 1,25 мкВт/см^2, 2,5 мкВт/см^2, 10 мкВт/см^2, 20 мкВт/см^2 и 40 мкВт/см^2, в течение 0,5, 1, 5 и 10 минут. Эксперимент при заданном времени экспозиции и для каждого донора проводился при постоянной комнатной температуре (20±2°С). Признаков деградации клеток в течение эксперимента не наблюдалось, о чем свидетельствует отсутствие изменений морфологии клеток и количества окрашенных клеток в контрольном образце с течением времени.

1.4 Метод оценки проницаемости клеточных мембран

В настоящей работе был использован метод определения проницаемости клеточных мембран посредством окрашивания клеток с помощью раствора индигокармина. Считается [12], что процентное содержание окрашенных данным красителем клеток является показателем целостности мембран.

Состояние клеточных мембран оценивали по процентному содержанию клеток, которые окрашиваются *in vitro* 5 мМ раствором индигокармина в течение 1 мин [12]. При определении процента окрашенных клеток - окрашенности клеток индигокармином (ОКИ, %) в каждом варианте эксперимента учитывали по 300 клеток (3 повтора по 100 клеток) и рассчитывали среднюю величину показателя ОКИ. Оценка показателя ОКИ производилась визуально с помощью микроскопа MICROmed XC-3330 с увеличением х 400. Затем полученное значение сравнивалось с контрольным (ОКИ необлученного образца). Расчет производился в программе Microsoft Office Excel, где для каждого показателя ОКИ определялось среднеквадратичное отклонение и величина стандартной ошибки. Достоверность различий между средними оценивали с помощью t-критерия Стьюдента. В работе принят уровень достоверности $P<0,05$.

В случае, когда один этап эксперимента проходил в течение нескольких дней, то контрольное значение менялось, и ОКИ уже не являлось однозначной мерой наблюдаемых эффектов. Для пересчета показателя ОКИ относительно контрольного значения, нами использовалась относительная величина – показатель роста ОКИ (ПРО) - который рассчитывался по следующей формуле:

$$ПРО = \frac{ОКИ - ОКИ_К}{ОКИ_К} \cdot 100\%$$

где $ОКИ$ - окрашенность клеток индигокармином, %;

$ОКИ_К$ - контрольное значение ОКИ, %.

Показатель роста ОКИ показывает, на сколько процентов относительно контроля возросло количество окрашенных клеток

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

2.1 Облучение клеток буккального эпителия излучением мобильного телефона

На Рис. 1 представлены результаты первого этапа эксперимента по исследованию проницаемости мембран буккального эпителия для пяти доноров, подверженных излучению мобильных телефонов с разным временем экспозиции и с разной мощностью излучения.

Из представленных на рисунке 1 гистограмм следует наличие статистически значимого отклика клетки на электромагнитное излучение с разным временем экспозиции, выраженного в увеличении показателя ОКИ относительно контроля. Ранее схожий эффект был обнаружен при действии на клетки буккального эпителия слабого магнитного поля вихревого типа (25 мТл) в течение 1,5 и 10 мин [7].

В целом характер зависимости ОКИ от времени для всех доноров и SAR оказывается одинаковым, что является следствием единого механизма реакции клетки на ЭМИ: при малых временах менее 10 мин наблюдается рост ОКИ, затем в районе 10 мин – слабо выраженный пик, и далее – спад ОКИ. С помощью *t*-теста было установлено, что для всех доноров и всех уровней SAR пороговое значение времени экспозиции, в течение которого не наблюдается статистически значимого роста ОКИ по отношению к контролю, составляет 1 мин. Таким образом, разговор по мобильному телефону в течение 1 минуты можно условно считать «безопасным» для мембран буккального эпителия человека. С помощью *t*-теста было также обнаружено, что для всех доноров и SAR изменение ОКИ при облучении клеток в течение времени от 30 до 60 минут не является статистически значимым. Такой эффект можно условно трактовать как насыщение в пределах исследованного временного интервала, что может быть связано с эффектом восстановления клеточных мембран после действия ЭМИ, показанным в работе [13]. Интересно отметить, что в работе [9], в которой использовался параметр КГГ в качестве маркера функциональной активности клеток буккального эпителия, также наблюдался рост КГГ с увеличением времени экспозиции. Однако пика реакции клетки в виде экстремума КГГ не наблюдалось. К сожалению, в цитируемой работе максимальный исследованный интервал времен экспозиции как раз составил 10 мин, что не дает возможности однозначно утверждать о наличии или отсутствии экстремума КГГ.

Анализ параметра ОКИ на Рисунке 1 как функции SAR мобильного телефона для каждого донора по отдельности с использованием *t*-теста позволил заключить, что показатель роста ОКИ (ПРО) для уровня SAR, равного 0,531 Вт/кг меньше, чем для 1,1 Вт/кг, во всех случаях. К примеру, при 10-минутной экспозиции для донора С показатели роста ОКИ для SAR 0,531 и 1,1 Вт/кг равны 19% и 28%, соответственно. Таким образом, для рассмотренных значений SAR, мобильное излучение с более высоким уровнем SAR приводит к большему увеличению показателя ОКИ, а, следовательно, и к большему повреждающему эффекту. Поскольку SAR является мерой излучаемой мощности, то полученный результат означает, что с увеличением мощности излучения возрастает и проницаемость клеточной мембраны. Отметим, что аналогичная закономерность наблюдалась

ранее в работе [9] для показателя КГГ при излучении на частоте 3,7 ГГц, и вполне соответствует эмпирическому ожиданию.

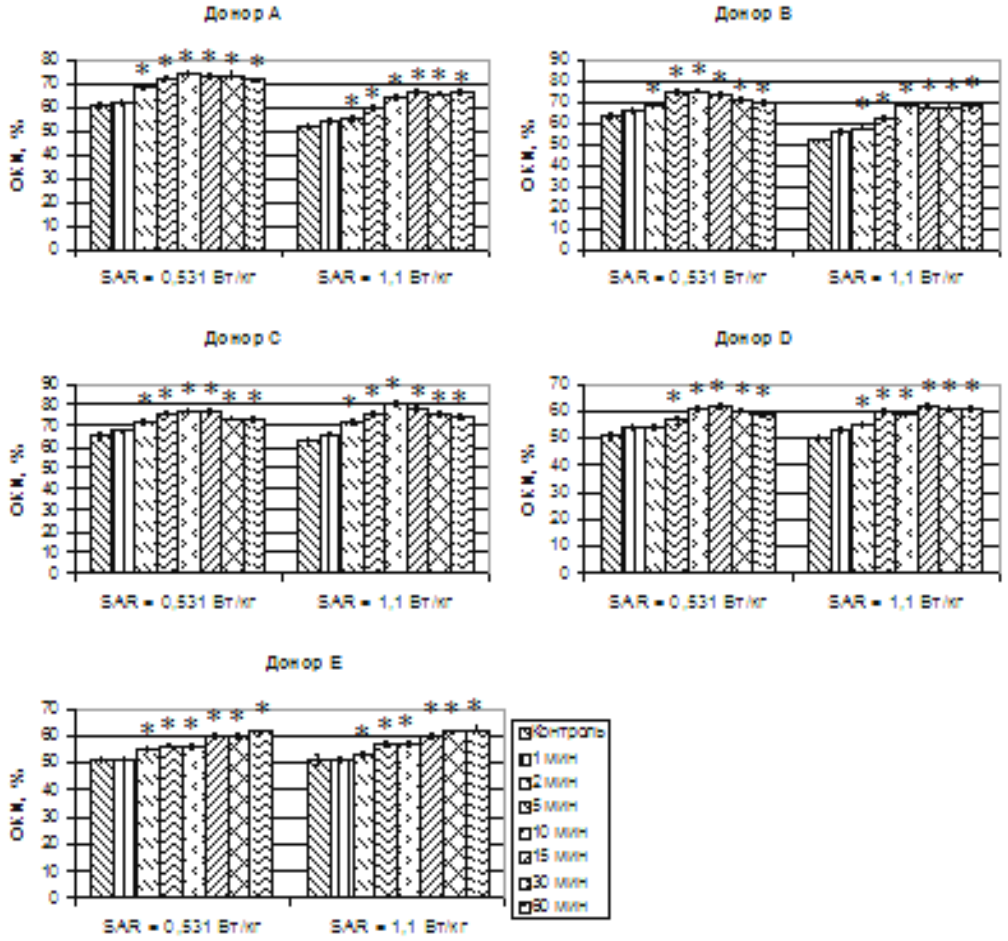

Рис. 1. Влияние излучения мобильного телефона на показатель окрашенности клеток индигокармином (ОКИ) для пяти доноров.

2.2 Облучение клеток буккального эпителия на частоте 3,7 ГГц

Данные второго этапа эксперимента по облучению клеток пяти доноров на частоте WiMAX - 3,7 ГГц, представлены на Рис. 2. Как будет показано ниже, выраженной закономерности в характере зависимости ОКИ от времени для этого типа излучения обнаружено не было, поэтому наиболее наглядным является представление результатов в виде зависимости ОКИ от плотности потока мощности. Специфика проведения данного типа эксперимента для разных мощностей излучения требовала отбора разных контрольных образцов. В этом

случае ОКИ уже не является однозначным показателем наблюдаемых эффектов, и более информативным является отображение результатов в виде зависимости показателя ПРО (исходные данные ОКИ, по которым проводился пересчет в ПРО, не приведены, см. формулу для пересчета в разделе «материалы и методы»).

Как следует из Рис. 2, показатель ПРО демонстрирует одинаковый характер зависимости от мощности для всех времен экспозиции и для всех доноров, проявляющийся в виде начального роста а, затем, спада ПРО, достигающего экстремума в диапазоне плотностей потока мощности 2,5…10 мкВт/см^2; при этом, согласно *t*-тесту, мощность 1,25 мкВт/см^2 является пороговой, начиная с которой эффект действия ЭМИ на проницаемость мембран приобретает статистическую значимость. Этот результат в целом согласуется с результатами предыдущего этапа эксперимента, на котором был обнаружен рост ОКИ при увеличении SAR телефона. В то же время в работе [9] пика грануляции гетерохроматина клеток буккального эпителия (КГГ) по мере увеличения плотности потока мощности в том же диапазоне обнаружено не было. По-видимому, здесь также имеет место эффект восстановления мембраны, обсужденный выше, и не проявляющийся на хроматине. Необходимо, однако, указать на результаты работы [14], в которой пик показателя КГГ был все же зафиксирован, однако при этом использовалось широкополосное импульсное излучение с мощностью, варьируемой от 10^{-6} до 10^{-2} Вт/см^2 и временем облучения 10 секунд. Интерпретация этих данных в контексте полученных нами выше результатов в рамках настоящей работы не представляется возможной именно по причине различия характеристик использованного разными авторами ЭМИ.

В целом, как следует из Рисунков 1 и 2, характер реакции клетки на ЭМИ разных плотностей потока мощности оказывается качественно подобным при использовании в качестве источников мобильного телефона и волноводного излучения с частотой 3,7 ГГц. В то же время зависимость показателя ПРО для ЭМИ на частоте 3,7 ГГц (см. рис.2) не демонстрирует четкой тенденции с увеличением времени экспозиции для разных доноров, что не согласуется с полученными нами выше результатами по мобильному телефону (см. рис.1). Отметим, что аналогичная картина имела место и в работе [9] по отношению к КГГ клеток буккального эпителия. Этот результат не соответствует эмпирическому ожиданию и требует дополнительного изучения.

2.3 Роль воды в эффекте действия ЭМИ на клетки буккального эпителия

В рамках проведенного в настоящей работе исследования формирование какого-либо представления о механизме возникновения обнаруженных эффектов действия ЭМИ на клетки буккального эпителия не представляется возможным. Вместе с тем некоторую информацию о роли водной среды во взаимодействии ЭМИ и исследуемыми клетками можно получить. Основой для постановки такого вопроса является распространенное мнение о том, что ЭМИ может действовать не только непосредственно на сам биообъект, но и опосредованно через водную среду, его окружающую, например, путем изменения физических свойств воды [15], или ее дегазации [16]. Более того, поскольку в качестве маркера реакции клетки выступает стороннее соединение (индигокармин), вводимое в среду, можно предположить, что

наблюдаемые эффекты действия ЭМИ могут быть отчасти связаны с изменением, например, электронных свойств красителя в облученной водной среде.

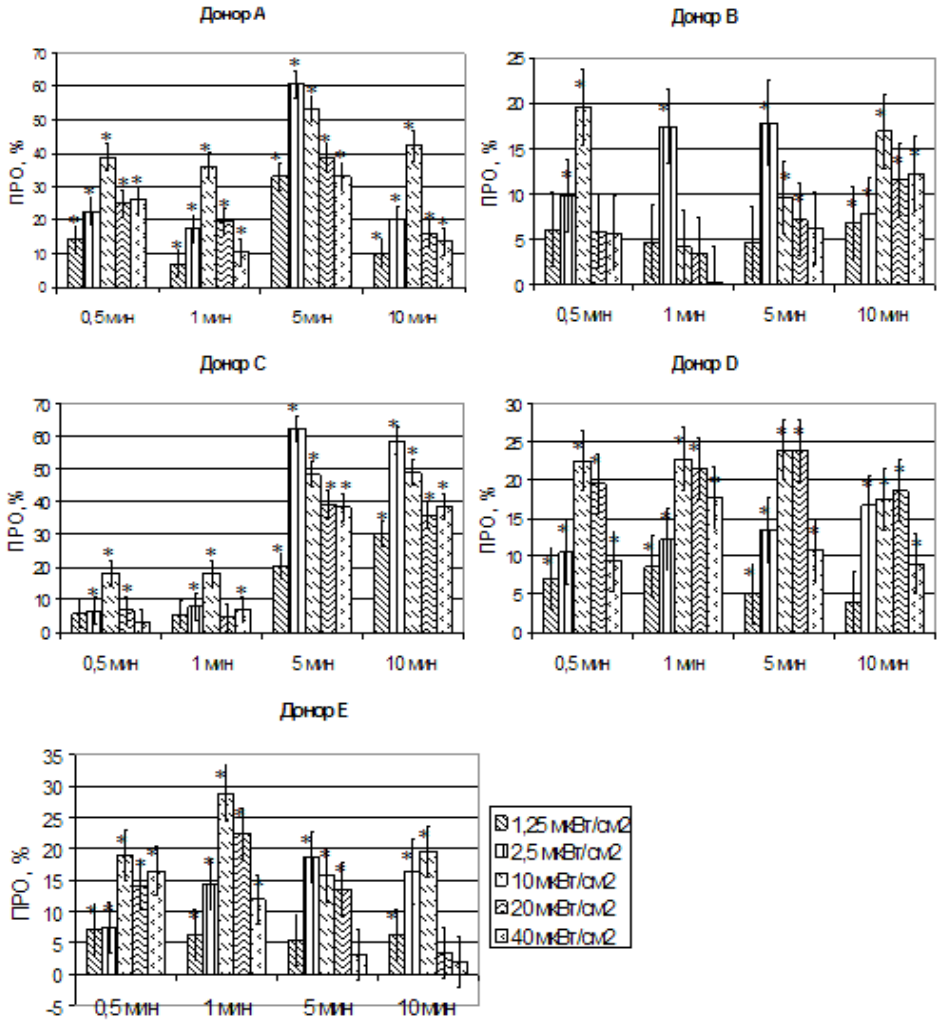

Рис. 2. Влияние излучения на частоте 3,7 ГГц на показатель роста окрашенности клеток индигокармином (ПРО) для доноров A – E.

С целью выяснения роли воды в использованной в настоящей работе методики регистрации изменения проницаемости мембран, нами было проведено два дополнительных эксперимента.

Эксперимент 1. Буферный раствор помещался в пробирки типа эппендорф и подвергался облучению мобильного телефона со значением SAR 0,531 Вт/кг в течение часа с шагом 5 мин. В каждый образец добавлялся краситель индигокармин в концентрации 1 мМ. Затем снимался спектр индигокармина в облученном

растворе в ультрафиолетовой и видимой области и сравнивался со спектром контрольного необлученного образца. Статистически значимого изменения спектра индигокармина с увеличением времени экспозиции обнаружено не было. Это означает, что в рамках использованной методики эффект действия ЭМИ на систему «краситель-вода» отсутствует.

Эксперимент 2. Облучению мобильного телефона в течение 15, 30 и 45 минут подвергался фосфатный буфер. Далее клетки буккального эпителия помещались в облученный буфер. После этого следовала оценка показателя ОКИ по методике, описанной выше. В ходе данного эксперимента было обнаружено статистически значимое в рамках *t*-теста, увеличение показателя ОКИ относительно контрольного образца. Для времен экспозиции 15, 30 и 45 минут, показатель роста ОКИ составил 10%, 12% и 13% соответственно. Это позволяет предположить, что облученный буферный раствор дает вклад в обнаруженное в настоящей работе изменение проницаемости клеток буккального эпителия человека. Схожее явление наблюдалось в работе [17], где было показано, что буферный раствор, предварительно облученный ЭМИ частотой 42,2 Гц с плотностью потока мощности 2 мВт/см^2, оказывал влияние на активность Ca^{2+}-активированных K^+-каналов с низкой активностью и снижал активность каналов с высоким уровнем активности. Таким образом, роль водной среды как рецептора ЭМИ необходимо учитывать в исследованиях действия микроволнового излучения на клеточном уровне.

ВЫВОД

В настоящей работе обнаружено статистически значимое изменение проницаемости мембраны клеток буккального эпителия человека при их облучении микроволновым излучением низкой интенсивности на частотах мобильной связи и сети WiMAX. Установлен характер изменения проницаемости мембраны в зависимости от времени экспозиции и мощности излучения. Показано, что реакция клетки в виде изменения степени проницаемости мембраны на величину плотности потока мощности ЭМИ частотой 3,7 ГГц, характеризуется четким максимумом в диапазоне плотностей потока 2,5…10 мкВт/см^2, при этом мощность 1,25 мкВт/см^2 является пороговой, начиная с которой эффект действия ЭМИ на проницаемость мембран приобретает статистическую значимость.

Показано, что рецепция ЭМИ водной средой также дает вклад в обнаруженные эффекты действия ЭМИ на клетки человека.

В целом, проведенный в настоящей работе анализ с использованием маркера проницаемости клеточной мембраны - ОКИ, позволяет сделать вывод о близком соответствии полученных результатов с выводами работы [9], выполненной на тех же самых клеточных объектах и источниках ЭМИ, но с использованием другого маркера – количества гранул гетерохроматина КГГ. Это дает основание полагать, что оба маркера являются адекватным отражением изменения функциональной активности клетки под действием ЭМИ. В то же время полноценное описание реакции клеток буккального эпителия на ЭМИ требует дальнейшего фронтального исследования для различных параметров микроволнового излучения.

Список литературы

1. Garaj-Vrhovac V. The correlation between the frequency of micronuclei and specific chromosome aberrations in human lymphocytes exposed to microwaves / V. Garaj-Vrhovac, A. Fucic, D. Horvat // Mutation Research. – 1992. –Vol. 281. – P. 181–186.
2. Garaj-Vrhovac V. The relatinoship between colony-forming ability, chromosome aberrations and incidence of micronuclei in V79 Chinese hamster cells exposed to microwave radiation / V. Garaj-Vrhovac, D. Horvat, Z. Koren // Mutat. Res.– 1991.– Vol. 263, No 3.– P. 143–149.
3. Garaj-Vrhovac V. Micronucleus assay and lymphocyte mitotic activity in risk assessment of occupational exposure to microwave radiation. / V. Garaj-Vrhovac // Chemosphre.–1999.– Vol. 39, No 13.– P. 2301–2312.
4. Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to radiofrequency radiation / G.J. Hook, P. Zhang, I. Lagroye, Li L. [et al] // Radiation Research. – 2004. –Vol. 161. – P. 193–200.
5. Effect of high-frequency electromagnetic fields with a wide range of SARs on chromosomal aberrations in murine m5S cells / Y. Komatsubara, H. Hirose, T. Sakurai [et al] // Mutation Research. – 2005. – Vol. 587. – P.114–119.
6. Девятков Н.Д. Роль синхронизации в воздействии слабых сигналов миллиметрового диапазона на живые организмы / Н.Д. Девятков, М.Б. Голант, А.С. Тагер // Эффекты нетеплового воздействия миллиметрового излучения на биологические объекты. – М.: ИРЭ, 1983.– С. 7–17.
7. Шкорбатов Ю.Г. Влияние постоянного и вращающегося магнитных полей вихревого типа на проницаемость мембран клеток человека / Ю.Г. Шкорбатов, В.А. Грабина, В.Н. Пасюга // Фотобіологія та фотомедицина. – 2009. – Vol. 4. – С 67–72.
8. Влияние циркулярно-поляризованного микроволнового излучения на свойства плазматической мембраны в клетках человека / Ю.Г. Шкорбатов, В.Н. Пасюга, В.А. Грабина [и др.] // Матер. 18-й Международ. Крымской конф. “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии (CriMiCo’2008)”, Севастополь, 2008. – С. 829–830.
9. Влияние микроволнового излучения на частотах мобильной связи и сети WiMAX на состояние хроматина клеток буккального эпителия человека. / О.В. Бойко, А.О. Лантушенко, Г.А. Лукьянчук [и др.] // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2010. – Т.23 (62), № 4. – С. 56–65.
10. Тартаковский А.Д. Питательные среды для культивирования клеток млекопитающих. Методы культивирования клеток. / А.Д. Тартаковский. – Л.: Наука, 1988.– С.44–63.
11. Microwave irradiation influences on the state of human cell nuclei / Y.G. Shckorbatov, V.G. Shakhbazov, N.N. Grigoryeva [et al] // Bioelectromagnetics. – 1998. – Vol. 19. – P. 414–419.
12. On age-related changes of cell membrane permeability in human buccal epithelium cells / Yu.G. Shckorbatov, V.G. Shakhbazov, A.M. Bogoslavsky, A.O. Rudenko // Mech. Ageing and Develop. – 1995.– Vol.83, No 1.– P.87–90.
13. The process of recovery of cell membrane damage produced by the lowlevel microwave radiation V.N. Pasiuga, Yu.G. Shckorbatov, N.N. Kolchigin [et al.] // International Conference on Antenna Theory and Techniques (ICATT) – 2009. – P. 360–362.
14. Changes in the human nuclear chromatin induced by ultra wideband pulse irradiation / Y.G. Shckorbatov, V.N. Pasiuga, N.N. Kolchigin [et al.] // Central European Journal of Biology. – 2009. – Vol. 4, No 1. – P. 97–106.
15. Бессонова А.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики / А.П. Бессонова, И.Е. Стась // Ползуновский вестник – 2008. – Т.3. – С. 305–309.
16. Шаталов В.М. Дегазация биожидкостей как механизм биологического действия слабых электромагнитных полей / В.М. Шаталов // Біофізичний вісник. – 2009 – Вип. 23 (2). – С. 120–128.
17. Preliminary microwave irradiation of water solutions changes their channel modifying activity / E.E. Fesenko, V.I. Geletyuk, V.I. Kazachenko [et al.] // FEBS Lett.– 1995.– Vol. 366.– P.49–52.

Скамрова Г.Б. Вплив мікрохвильового випромінювання на частотах мобільного зв'язку та мережі WiMAX на проникність мембран клітин букального епітелію людини / Г.Б. Скамрова, М.П. Євстигнєєв, А.О. Лантушенко, Г.О. Лукьянчук, В.В. Саламатін, Ю.Г. Шкорбатов // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія". – 2011. – Т. 24 (63), № 4. – С. 282-291.

Досліджено вплив електромагнітного випромінювання різних інтенсивностей і часів експозицій на частотах мобільного зв'язку (900 МГц), а також мережі WiMAX - 3.7ГГц, на проникність мембран клітин букального епітелію людини. Оцінка проникності клітинних мембран проводилася шляхом фарбування клітин розчином індигокармина. Виявлений статистично значимий ефект збільшення кількості забарвлених клітин залежно від часу опромінення та інтенсивності випромінювання джерела.
***Ключові слова*:** мікрохвильове випромінювання, проникність мембрани, індигокармін, букальний епітелій.

Skamrova G.B. The effect of mobile phone and WiMAX network microwave radiation on membrane permeability of human buccal epithelium cells / G.B. Skamrova, M.P. Evstigneev, A.O. Lantushenko, G.A. Lukyanchuk, V.V. Salamatin, Y.G. Shckorbatov // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 4. – P. 282-291.

The effects of different intensities and exposure time of electromagnetic radiation of mobile phone (900 MHz) and WiMAX network (3.7 GHz) on human buccal epithelium cell membranes permeability was investigated. The cell membranes permeability was estimated by staining the cells with indigocarmin solution. The statistically meaningfull effect of increase of the number of stained cells depending on the exposure time and intensity of the radiation source was observed.
Keywords: microwave radiation, membrane permeability, indigocarmin, buccal epithelium.

Поступила в редакцию 13.09.2011 г.