



Ю. В. Иванова, В. К. Иванов,
О. А. Головина, А. С. Фатеев,
Е. В. Мушенко

ГУ «Институт общей
и неотложной хирургии АМН
Украины», г. Харьков

Институт радиофизики
и электроники НАН Украины,
г. Харьков

© Коллектив авторов

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ НА КУЛЬТУРЫ МИКРООРГАНИЗМОВ IN VITRO

Резюме. В результате проведенных экспериментальных исследований выявлена зависимость биологического отклика на частоты облучения. При облучении в дискретных полосах частот КВЧ-диапазона установлена зависимость показателей биологической активности от несущей частоты облучения. Установлено, что облучение в дискретных полосах частот может быть стимулирующим, нейтральным и угнетающим. Наблюдается зависимость биологического отклика от времени воздействия сигнала. Облучение ЭМ-полями различных диапазонов в течение 30 минут не приводит к изменению биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам и противогрибковым препаратам, эффекты обнаружены после 60-минутного воздействия. Неспецифическое воздействие ЭМ-полей на показатели биологической активности проявляется в изменении биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. Для грамположительных микроорганизмов эффективными оказались частоты 64,7 ГГц, облучения в полосах частот 36,7 и 70,0 ГГц не дали статистически достоверных изменений, облучение ЭМ-полями с частотами 54,7 ГГц приводит к повышению резистентности золотистого стафилококка и *Enterococcus faecium*. Для грамотрицательных микроорганизмов эффективными оказались частоты 64,7 и 54,7 ГГц, после облучения ЭМ-полями с частотой 64,7 ГГц резистентность некоторых видов грамотрицательных микроорганизмов повышается. На *Candida albicans* угнетающее действие оказало облучение ЭМ-полем с частотой 37,6 ГГц.

Ключевые слова: КВЧ-излучение, культуры микроорганизмов, эксперимент.

Введение

В настоящее время одним из приоритетных направлений является изучение возможностей использования в медицинской практике все более коротких волновых диапазонов электромагнитных волн, в частности, волн КВЧ-диапазона (длина волны 1—10 мм), что соответствует частотам колебания 300—30 ГГц [1].

Электромагнитное излучение КВЧ как физический фактор, действующий на биологические объекты, характеризуется такими параметрами: частота, длина волны, интенсивность, плотность потока энергии, направленность; наличие или отсутствие модуляции, вид модуляции [2—3]. Во многих научно-исследовательских работах в области радиофизики, электроники и медицины отмечаются характерные особенности действия электромагнитного излучения КВЧ низкой интенсивности на биологические объекты различного уровня [2]. По данным литературы, этот вид электромагнитного излучения играет исключительную роль в процессах регуляции жизнедеятельности организма в норме и патологии. Было выявлено, что КВЧ-терапия способствует ускорению репаративных процессов в тканях, обладает иммуномодулирующим, сосудорасширяющим, анальгезирующим и некоторыми другими эффектами [4—7], поэтому в последние годы появилось много работ по изучению действия электромаг-

нитного излучения КВЧ и практическому применению его в биологии и медицине.

Уже доказана эффективность КВЧ-терапии при многих заболеваниях: желудочно-кишечного тракта (язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, эрозивный гастрит, хронический холецистит, панкреатит, язвенный колит и др.) [7—11], сердечно-сосудистой системы (стенокардия, эндартериит, трофические поражения конечностей, ДВС-синдром) [3, 4, 9], кожных [12—13], офтальмологических [3, 13] и многих других. В последние несколько лет появились работы, свидетельствующие об использовании КВЧ-терапии в хирургии, травматологии, ортопедии [5, 6, 9, 14—17].

Материалы и методы

Проведена серия экспериментальных исследований *in vitro* по облучению чистых культур микроорганизмов и грибов электромагнитным полем КВЧ-диапазона. Исследованию подвергались 40 суточных чистых культур *Staph. aureus*, 40 суточных чистых культур *Staph. epidermidis*, 40 суточных чистых культур *Enterococcus faecium*, 40 суточных чистых культур *E. coli*, 40 суточных чистых культур *Enterobacter spp.*, 40 суточных чистых культур *Proteus vulgaris*, 40 суточных чистых культур *Pseudomonas aeruginosa*, 40 суточных чистых культур *Candida albicans*, выращенных на



агаре. Избраны следующие режимы облучения: по 5 культур — длина волны (λ) 5, 4 мм, частота (f) 54,7 ГГц, мощность (W) 100 мВт, время — 30 минут, плотность потока мощности — 500 мкВт/см²; по 5 культур — λ 5, 4 мм, f 54,7 ГГц, W 100 мВт, время — 60 минут, плотность потока мощности — 500 мкВт/см²; 5 культур — λ 4,6 мм, f 64,6 ГГц, W 100 мВт, время — 30 минут, плотность потока мощности — 500 мкВт / см²; 5 культур — λ 4,6 мм, f 64,6 ГГц, W 100 мВт, время — 60 минут, плотность потока мощности — 500 мкВт/см²; по 5 культур — λ 4,2 мм, f 70,0 ГГц, W 100 мВт, время — 30 минут, плотность потока мощности — 500 мкВт/см²; по 5 культур — λ 4,2 мм, f 70,0 ГГц, W 100 мВт, время — 60 минут, плотность потока мощности — 500 мкВт/см²; по 5 культур — λ 8 мм, f 35,7 время — 30 минут, плотность потока мощности — 200 мкВт/см²; по 5 культур — λ 8 мм, f 35,7 время — 60 минут, плотность потока мощности — 200 мкВт/см². Кратность облучения — двукратно через 24 часа.

Изучались биохимические свойства исследуемых микроорганизмов, а также чувствительность к антибиотикам по стандартным методикам.

Облучение восьмимиллиметровым диапазоном проводилось при помощи магнетрона М—82, режим излучения непрерывный, выходная мощность 5 Вт. В качестве облучателя использовался пирамидальный рупор длиной 50 мм с размерами апертуры 41x34 мм, который располагался над чашкой Петри с пробой на высоте около 300 мм (расстояние от плоскости апертуры до поверхности образца), продольная ось рупора нормальная к поверхности образца и проходит примерно через его центр. Облучение в остальных режимах осуществлялось генератором Г4—142, режим излучения непрерывный, выходная мощность 10 мВт. В качестве облучателя использовался пирамидальный рупор длиной 90 мм с размерами апертуры 31x24 мм. Расстояние от плоскости апертуры до поверхности образца составляло 15—20 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Непосредственно контролировать в эксперименте плотность потока мощности падающего на образец СВЧ-излучения и ее распределение по площади образца, а также динамику изменения температуры в различных участках образца в течение сеанса не представляется возможным. Поэтому было проведено численное моделирование процесса СВЧ-нагрева образца методами конечного интегрирования в программной среде CST Studio Suite, позволяющей решить как электродинамическую, так и тепловую задачу. Решение электродинамической задачи (с помощью пакета CST Microwave Studio) позволяет получить распределение удельной поглощаемой мощности (specific absorption rate — SAR) по объему семеника. Для того чтобы получить картину поля температуры и проследить динамику его изменения

в течение сеанса нагрева, необходимо решить уравнение теплового переноса

$$\rho_t C_t \frac{dT}{dt} = \text{div}(k_t \text{grad} T) + \rho_t SAR,$$

где ρ_t , C_t , k_t — соответственно плотность, удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности среды.

Для решения этого уравнения использовался Thermal Transient Solver из пакета CST EM Studio.

Для того чтобы моделировать на много порядков более длительные процессы нагрева, был использован предложенный в [18] метод масштабирования времени нагрева, состоящий в том, что при умножении величин k_t , и SAR на коэффициент $\alpha \gg 1$, равный соотношению характерных времен тепловых и электродинамических процессов, изменение температуры ускоряется в α раз без изменения его пространственного распределения. В данной работе при моделировании процессов нагрева выбиралось значение $\alpha = 10^{10}$.

Для расчета величины SAR необходимо знать комплексную диэлектрическую проницаемость вещества $\epsilon = \epsilon' + i\epsilon''$ на соответствующей частоте. Поскольку такие данные для исследовавшейся среды отсутствуют, ее диэлектрическая проницаемость в 8-миллиметровом диапазоне была экспериментально определена с помощью известного волноводного метода [19, 20] по результатам измерений модулей коэффициентов отражения и прохождения электромагнитной волны через измерительную ячейку, заполненную образцом среды. Ячейка представляла собой отрезок прямоугольного волновода 7,2x3,4 мм длиной 1,6 мм, помещенный в измерительный волноводный тракт такого же сечения. По результатам измерений было определено значение $\epsilon = (16 \pm 2) + i(20 \pm 2)$.

Для тепловых расчетов вместо неизвестных физических параметров *agar-agar* использовались усредненные по известным литературным данным аналогичные параметры мышечной ткани: $\rho_t = 1050$ кг/м³; $C_t = 3600$ Дж/(кг·°C); $k_t = 0,45$ Вт/(м·°C). Температура окружающего воздуха и начальная температура образца принимались равными 25 °C.

Электродинамические расчеты показали, что плотность потока мощности электромагнитной волны частотой 35,7 ГГц, падающей на поверхность образца, распределена вдоль нее неравномерно (следствие интерференции). При мощности источника 5 Вт и расстоянии от апертуры 300 мм ее значение изменяется в интервале от 15 до 65 мВт/см² при средней величине — около 40 мВт/см². При моделировании процесса нагрева образца электромагнитным полем длительность сеанса облучения составляла 15 минут, и еще 5 минут контролировалось изменение температуры в процессе «остывания» образца. Приращение температуры при таком уровне падающей на образец мощности происходит медленно и практически



линейно во времени, за 15 минут температура повышается на 13,5 °С (скорость нагрева примерно 0,015 °С/с). При этом температура на глубине 2 мм незначительно отличается от температуры вблизи поверхности (отставание составляет менее 0,3 °С), в то время как глубина проникновения электромагнитного поля в образец на этой частоте очень мала. На глубине 1 мм плотность потока мощности падает примерно в 40 раз, а на глубине 2 мм — в 20000 раз.

В экспериментах в 5-миллиметровом диапазоне частот мощность падающего на образец излучения была существенно меньше. Рассчитано распределение плотности потока мощности, излучаемой применявшемся в экспериментах рупором, в плоскости, отстоящей на 20 мм от его апертуры, при подводимой ко входу рупора мощности 10 мВт на частоте 53,5 ГГц. Плотность потока мощности лишь в малых областях достигает 4 мВт/см², а средняя ее величина более чем на порядок меньше, чем в экспериментах в 8-миллиметровом диапазоне. Поскольку диэлектрические характеристики образца не должны существенно (более чем на 30%) измениться в данном диапазоне частот, можно считать, что нагрев образцов электромагнитным полем в экспериментах не превышал 1—1,5 °С.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *Staph. aureus* ЭМ-полями с частотами 54,7, 64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. После облучения культур ЭМ-полями указанных частот в течение 60 минут выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 1).

После облучения культур ЭМ-полем с частотой 64,6 ГГц увеличилась чувствительность к гатифлоксацину, цефуроксиму, цефтазидиму, цефтриаксону; появилась чувствительность к цефоперазону-сульбактаму, к которому контрольная культура была резистентна. Облучение культур ЭМ-полями с частотами 70 и 35,7 ГГц изменений чувствительности не вызвали, а облучение ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц приводит к снижению чувствительности золотистого стафилококка к нетилмицину, гатифлоксацину и цефтазидиму (табл. 1).

Исследование биохимических свойств микроорганизмов, облученных ЭМ-полем с частотами 64,6 и 70 ГГц, показало, что гемолиз и лецитиназная реакция отсутствуют у 100% колоний, плазмокоагуляционный тест отрицательный. При посеве на среды с маннитом и глюкозой микроорганизмы кислоту не образуют. Через 24 часа — на среде Чистовича колонии мелкие, пигментация отсутствует, лецитиназная активность наблюдается у 50% колоний, плазмокоагуляционный тест — отрицательный, при посеве на среды с глюкозой и маннитом кислоту не образуют. Те же результаты получены при двукратном облучении культуры *St. aureus* в течение 60 минут через 24 часа. Биохимические свойства культур, облученных ЭМ полями с частотами 54,6 и 35,7 ГГц, не изменились.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *Staph. epidermidis* ЭМ-полями с частотами 54,7, 64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. После облучения культур ЭМ-полями указанных частот в течение 60 минут

Таблица 1

Результаты определения чувствительности культур *Staph. aureus*, облученных в течение 60 минут, к антибиотикам

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм										
	Антимикробный препарат										
	Нетилмицин	Левомецетин	Офлоксацин	Гатифлоксацин	Цефазолин	Цефуроксим	Цефотаксим	Цефоперазон	Цефоперазон-сульбактам	Цефтазидим	Цефепим
Контроль	12,61 ±0,13	14,52 ±0,21	12,12 ±0,29	12,63 ±0,15	16,68 ±0,21	12,38 ±0,26	12,36 ±0,38	14,22 ±0,36	0	12,65 ±0,23	0
54,7	10,22 ±0,42	14,61 ±0,33	12,66 ±0,42	10,32 ±0,61	16,54 ±0,42	12,44 ±0,29	12,77 ±0,19	14,69 ±0,36	0	10,07 ±0,12	0
64,6	14,35 ±0,62	14,24 ±0,23	12,46 ±0,82	12,52 ±0,21	18,32 ±0,18	14,56 ±0,42	16,14 ±0,45	16,14 ±0,45	14,08 ±0,11	16,77 ±0,31	10,01 ±0,11
70,0	12,02 ±0,19	14,32 ±0,17	6,84 ±0,12	6,72 ±0,15	16,59 ±0,27	12,11 ±0,28	14,33 ±0,18	14,77 ±0,14	0	14,12 ±0,24	0
35,7	12,33 ±0,16	44,11 ±0,25	8,53 ±0,22	14,28 ±0,13	16,42 ±0,22	12,36 ±0,12	12,54 ±0,25	14,23 ±0,51	0	12,54 ±0,38	0

Таблиця 2

Результаты определения чувствительности к антибиотикам *Staph. epidermidis* после облучения в течение 60 минут

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм														
	Антимикробный препарат														
	Амоксилав	Доксициклин	Гентамицин	Амикацин	Нетилмицин	Левомецетин	Ванкомицин	Ципрофлоксацин	Офлоксацин	Норфлоксацин	Зацеф	Цефобид	Цефтриаксон	Цефазолин	Цефуроксам
Контроль	16,06 ±0,32	20,20 ±0,41	20,21 ±0,36	16,65 ±0,43	20,11 ±0,32	16,52 ±0,71	10,12 ±0,28	16,38 ±0,41	20,32 ±0,51	16,88 ±0,22	0	20,33 ±0,18	12,08 ±0,45	12,52 ±0,17	10,06 ±0,31
64,7	16,31 ±0,27	20,45 ±0,26	20,58 ±0,35	16,64 ±0,38	20,84 ±0,32	16,36 ±0,25	10,42 ±0,19	16,84 ±0,32	20,54 ±0,42	20,75 ±0,32	0	20,28 ±0,23	12,25 ±0,13	12,42 ±0,64	10,26 ±0,27
35,7	16,48 ±0,36	20,38 ±0,16	20,18 ±0,45	16,37 ±0,45	20,74 ±0,18	16,48 ±0,13	10,51 ±0,18	16,62 ±0,13	20,32 ±0,27	20,56 ±0,17	0	20,33 ±0,56	12,08 ±0,15	12,18 ±0,45	10,36 ±0,31
54,7	18,64 ±0,42	24,82 ±0,27	22,79 ±0,45	18,75 ±0,46	22,82 ±0,15	18,53 ±0,32	12,75 ±0,23	18,89 ±0,12	20,12 ±0,44	20,62 ±0,31	0	20,35 ±0,41	12,41 ±0,18	12,29 ±0,32	10,11 ±0,48
70,0	18,51 ±0,23	24,56 ±0,28	22,79 ±0,45	18,75 ±0,45	22,85 ±0,18	18,52 ±0,33	12,75 ±0,23	18,88 ±0,13	20,12 ±0,44	20,62 ±0,31	0	20,35 ±0,41	12,42 ±0,18	12,29 ±0,31	10,11 ±0,48

Таблиця 3

Результаты определения чувствительности *Enterococcus faecium* к антибиотикам после ЭМ-облучения в течение 60 минут

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм				
	Антимикробный препарат				
	Амикацин	Нетилмицин	Офлоксацин	Цефтриаксон	Меропенем
Контроль	8,85 ±0,13	20,35 ±0,51	16,12 ±0,34	20,52 ±0,31	0
64,7	30,05 ±0,44	20,48 ±0,21	22,88 ±0,15	26,02 ±0,54	16,02 ±0,0,54
35,7	9,18 ±0,45	20,28 ±0,16	16,28 ±0,36	20,38 ±0,21	0
54,7	6,11 ±0,22	20,71 ±0,12	18,22 ±0,13	20,41 ±0,24	0
70,0	9,44 ±0,15	20,56 ±0,32	16,31 ±0,38	20,61 ±0,15	0

выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 2).

После облучения культур *Staph. epidermidis* ЭМ-полями с частотой 35,7 ГГц и f 64,7 ГГц в течение 60 минут изменений чувствительности возбудителя не отмечено. Изучение биохимических свойств культур, облученных в указанных режимах, изменений не выявили.

После облучения культур ЭМ-полями с частотой 54,7 и 70,0 ГГц в течение 60 минут отмечено увеличение чувствительности исследуемого микроорганизма к амоксиклаву, доксициклину, гентамицину, амикацину, нетилмицину, левомицетину, ванкомицину, ципрофлоксацину.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *Enterococcus faecium* ЭМ-полями с частотами 54,7, 64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам.

После облучения культур ЭМ-полями указанных частот в течение 60 минут выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 3).

После облучения ЭМ-полем с частотой 64,7 ГГц в течение 60 минут достоверно увеличилась чувствительность к большинству исследуемых антибиотиков, появилась чувствительность к меропенему, к которому контрольная культура была резистентная. Изучение культуральных свойств *Enterococcus faecium*, облученных ЭМ-полем с частотой 64,7 ГГц, показало отсутствие образования кислоты на средах с магнитом и глюкозой.

Облучение культур *Enterococcus faecium* ЭМ-полем с частотами 35,7 и 70,0 ГГц в течение 60 минут существенных изменений чувствительности не вызвало, а облучение культур ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц привело к снижению чувствительности к амикацину. Изменений биохимических свойств культур *Enterococcus faecium* после облучения ЭМ-полями с частотами 70,0, 35,7 и 54,7 ГГц не выявлено.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *E. coli* ЭМ-полями с частотами 54,7, 64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. После облучения культур ЭМ-полями



указанных частот в течение 60 минут выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 4).

Таблица 4

Результаты определения чувствительности *E. coli* к антибиотикам после ЭМ-облучения в течение 60 минут

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм		
	Антимикробный препарат		
	Амикацин	Нетилмицин	Левомецетин
Контроль	9,38±0,45	12,33±0,28	12,58±0,33
64,7	8,61±0,12	12,45±0,18	12,42±0,17
35,7	9,41±0,57	12,28±0,36	12,62±0,23
54,7	15,38±0,54	18,71±0,51	20,17±0,36
70,0	12,84±0,48	14,37±0,55	14,05±0,29

В результате проведенных исследований установлено, что после облучения культур *E. coli*, ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц в течение 60 минут увеличилась чувствительность ко всем исследуемым препаратам, после облучения ЭМ-полями с частотами 35,7 и 70,0 ГГц существенных изменений чувствительности не выявлено, а после облучения ЭМ-полем с частотой 64,7 ГГц несколько уменьшилась чувствительность к амикацину.

Изучение биохимических свойств *E. coli*, облученных ЭМ-полем с частотами 54,7 и 70,0 ГГц в течение 60 минут, показало, что микроорганизмы не расщепляют глюкозу и лактозу, при посеве на полужидкую среду с ТТХ — подвижность отсутствует.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *E. coli* ЭМ-полями с частотами 54,7, 64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. После облучения культур ЭМ-полями указанных частот в течение 60 минут выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 5).

Таблица 5

Результаты определения чувствительности культур *Enterobacter spp.* к антибиотикам после облучения в течение 60 минут

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм						
	Антимикробный препарат						
	Гентамицин	Амикацин	Нетилмицин	Цефазолин	Цефтриаксон	Цефоперазон-сульбактам	Меропенем
Контроль	0	20,51±0,45	22,45±0,51	0	0	14,48±0,25	16,72±0,26
64,7	0	18,38±0,17	0	0	0	13,16±0,12	16,35±0,33
35,7	0	20,44±0,32	20,08±0,15	0	0	14,56±0,42	16,52±0,41
54,7	18,05±0,36	20,60±0,45	24,76±0,33	14,12±0,36	25,11±0,42	25,15±0,18	25,12±0,61
70,0	0	20,25±0,32	22,61±0,17	0	0	14,34±0,51	16,05±0,38

После облучения культур *Enterobacter spp.* ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц в течение 60 минут возросла чувствительность ко всем исследуемым антибиотикам, появилась чувствительность к гентамицину, цефазолину, цефтриаксону. Изучение биохимических свойств *Enterobacter spp.* показало, что облучение ЭМ-полями с частотами 35,7 и 70,0 ГГц в течение 60 минут не привело к изменению чувствительности к антибиотикам, а после облучения ЭМ-полем с частотой 64,7 ГГц уменьшилась чувствительность к амикацину. Изменений биохимических свойств *Enterobacter spp.* после облучения ЭМ-полями с частотами 35,7; 70,0 и 64,7 ГГц не выявлено.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *Proteus vulgaris* ЭМ-полями с частотами 54,7, 64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. После облучения культур ЭМ-полями указанных частот в течение 60 минут выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 6).

После облучения культур *Proteus vulgaris* ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц отмечено увеличение чувствительности к амикацину, ципрофлоксацину, гатифлоксацину, появилась чувствительность к цефтриаксону и цефоперазону. После облучения культур *Proteus vulgaris* ЭМ-полями с частотами 64,7; 35,7 и 70,0 ГГц изменений чувствительности к антибактериальным препаратам не отмечено.

Таблица 6

Результаты определения чувствительности культур *Proteus vulgaris* к антибиотикам после облучения в течение 60 минут

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм								
	Антимикробный препарат								
	Амикацин	Нетилмицин	Ванкомицин	Ципрофлоксацин	Гатифлоксацин	Цефотаксим	Цефтриаксон	Цефоперазон	Цефтазидим
Контроль	12,61±0,24	20,38±0,41	30,32±0,43	26,08±0,11	28,65±0,32	10,86±0,15	0	0	25,26±0,32
64,7	12,36±0,52	20,44±0,25	30,13±0,25	26,25±0,71	28,58±0,51	0	0	0	25,38±0,61
35,7	12,44±0,32	20,55±0,22	20,12±0,25	26,32±0,44	28,77±0,36	0	0	0	25,62±0,13
54,7	16,61±0,33	20,38±0,41	30,44±0,61	28,84±0,38	32,64±0,38	12,05±0,24	20,05±0,24	10,13±0,16	25,55±0,38
70,0	13,18±0,15	20,72±0,17	30,32±0,26	26,25±0,36	28,22±0,35	0	0	0	25,81±0,16

Исследование биохимических свойств *Proteus vulgaris*, облученных ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц в течение 60 минут, показало, что при посеве на среды с глюкозой кислота и газ не образуются, гемолитическая активность через 48 часов отсутствует.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *Pseudomonas aeruginosa* ЭМ-полями с частотами 54,7;

64,7, 70,0 и 35,7 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. После облучения культур ЭМ-полями указанных частот в течение 60 минут выявлены следующие изменения чувствительности к антибиотикам (табл. 7).

Таблица 7

Результаты определения чувствительности культур *Pseudomonas aeruginosa* к антибиотикам после облучения в течение 60 минут

Частота, ГГц	Диаметр зон задержки роста бактерий (M±m), мм			
	Антимикробный препарат			
	Амикацин	Нетилмицин	Ципрофлоксацин	Норфлоксацин
Контроль	20,66±0,22	20,38±0,45	22,53±0,61	18,09±0,31
64,7	22,53±0,18	20,51±0,23	24,82±0,15	18,61±0,56
35,7	20,48±0,35	20,37±0,18	16,25±0,51	18,55±0,24
54,7	20,19±0,52	28,08±0,23	28,61±0,21	20,85±0,13
70,0	20,56±0,16	20,42±0,51	22,72±0,33	18,44±0,61

Облучение культур *Pseudomonas aeruginosa* ЭМ-полем с частотами 64,7 и 54,7 ГГц в течение 60 минут привело к увеличению чувствительности микрофлоры по сравнению с контрольной культурой. Изучение биохимических свойств культур *Pseudomonas aeruginosa*, облученных ЭМ-полями с частотами 64,7 и 54,7 ГГц в течение 60 минут, показало, что на среде Хью—Лейфсона через 24 часа в аэробных условиях глюкозу не расщепляют, положительная реакция наблюдается через 36 часов, кислоту образуют через 72 часа. Через 24 часа после облучения гемолиз и протеолитическая активность отсутствуют, на среде Хью—Лейфсона а аэробных условиях глюкозу расщепляют. После облучения культур *Pseudomonas aeruginosa* ЭМ-полем с частотой 70,0 ГГц в течение 60 минут изменений чувствительности к антибиотикам не наблюдалось, а после облучения ЭМ-полем с частотой 35,7 ГГц в течение 60 минут отмечено снижение чувствительности к ципрофлоксацину. Изменений биохимических свойств культур *Pseudomonas aeruginosa* после облучения ЭМ-полями с частотами 70,0 и 35,7 ГГц в течение 60 минут не отмечено.

В результате серии проведенных экспериментов установлено, что облучение культур *Candida albicans* ЭМ-полями с частотами 54,7; 64,7; 70,0 и 37,6 ГГц в течение 30 минут не вызывают изменений культуральных свойств и чувствительности к противогрибковым препаратам.

Изменений чувствительности *Candida albicans* после облучения ЭМ-полями с частотами 64,7; 54,7 и 70 ГГц не выявлено. После облучения *Candida albicans* ЭМ-полем с частотой 54,7 ГГц обнаружено образование хламидиоспор.

После облучения культур *Candida albicans* ЭМ-полем с частотой 37,6 ГГц в течение 60 минут увеличилась чувствительность к флуконазолу, появилась чувствительность к кларитромицину и низоралу, к которым контрольные культуры были резистентны. Отмечено также, что после

облучения культур в указанном режиме отсутствует ферментация глюкозы.

Выводы

Проведенное численное моделирование позволило определить зависимость увеличения температуры проб от времени облучения в условиях реального эксперимента. Результаты моделирования показали также, что при мощности использовавшегося в экспериментах источника 5-миллиметрового диапазона эффектами теплового воздействия электромагнитного излучения на пробы можно пренебречь. Полученные распределения полей свидетельствуют о неравномерности степени облучения и нагрева отдельных областей поверхности пробы при фиксированном ее положении относительно облучателя в течение сеанса. Для получения равномерного нагрева можно рекомендовать непрерывное незначительное перемещение образца относительно оси облучателя.

Выявлена зависимость биологического отклика на частоты облучения. При облучении в дискретных полосах частот КВЧ-диапазона установлена зависимость показателей биологической активности от несущей частоты облучения. Установлено, что облучение в дискретных полосах частот может быть стимулирующим, нейтральным и угнетающим. Наблюдается зависимость биологического отклика от времени воздействия сигнала. Облучение ЭМ-полями различных диапазонов в течение 30 минут не приводит к изменению биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам и противогрибковым препаратам, эффекты были обнаружены после 60-минутного воздействия. Неспецифическое воздействие ЭМ-полей на показатели биологической активности проявляется в изменении биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам. Для грамположительных микроорганизмов эффективными оказались частоты 64,7 ГГц, облучения в полосах частот 36,7 и 70,0 ГГц не дали статистически достоверных изменений, облучение ЭМ-полями с частотами 54,7 ГГц приводит к повышению резистентности золотистого стафилококка и *Enterococcus faecium*. Для грамотрицательных микроорганизмов эффективными оказались частоты 64,7 и 54,7 ГГц, после облучения ЭМ-полями с частотой 64,7 ГГц резистентность некоторых видов грамотрицательных микроорганизмов повышается. На *Candida albicans* угнетающее действие оказало облучение ЭМ-полем с частотой 37,6 ГГц.

Экспериментально доказана возможность модификации показателей биологической является в изменениях биохимических свойств и чувствительности к антибиотикам, активности посредством облучения низкоинтенсивными ЭМ-полями. Результаты проведенных исследований позволяют предположить, что ЭМ-поля влияют преимущественно на морфологические и функциональные свойства биологических объектов.



ЛИТЕРАТУРА

1. Балакирева Л.З. Применение волн миллиметрового диапазона для лечения язв гастродуоденальной зоны / Л.З. Балакирева, М.Б. Голлант, А.А. Головатюк // Электронная промышленность. — 1985. — № 1. — С. 9—10.
2. Бессонов А.Е. Миллиметровые волны в биологии и медицине / Бессонов А.Е. — М: Медицина, 1997. — 132 с.
3. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах / Брандт А.А. — М.: Физматлит, 1963. — 400 с.
4. Гапеев А.Б. Действие непрерывного и модулированного ЭМИ КВЧ на клетки животных. Часть I / А.Б. Гапеев, Н.К. Чемерис // Вестник новых медицинских технологий. — 1999. — № 6(1). — С. 15—19.
5. Гаркави Л.Х. Магнитные поля, адаптационные реакции и самоорганизация живых систем / Л.Х. Гаркави, Е. Б. Квакина, А.И. Шихлярова // Биофизика. — 1996. — № 4. — С. 17—24.
6. Девятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Девятков Н.Д., Голлант М.Б. — М: Радио и связь, 1991. — 239 с.
7. Девятков Н.Д. Научное обоснование возможности использования электромагнитных излучений миллиметрового диапазона в медицине и биологии / Н.Д. Девятков, О.В. Бецкий, М.Б. Голлант // Биологические эффекты электромагнитных полей. Вопросы их использования и нормирования. — Пушино. — 1986. — С. 75—94.
8. Запорожан В.Н. Возможности КВЧ-терапии в комплексном лечении доброкачественных и злокачественных опухолей матки / В.Н. Запорожан, М.Б. Голлант, О.В. Хаит // Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине: международный симпозиум, 5—7 мая 1991 г.: тез. докл. — М: ИРЭ АН СССР, 1991. — С. 39—55.
9. Каменев Ю.Ф. Применение ЭМИ в травматологии и ортопедии / Каменев Ю.Ф. // Миллиметровые волны в биологии и медицине. — 1999. — № 2. — С. 20—24.
10. Каменев Ю.Ф. Обоснование применения КВЧ излучения для стабилизации дегенеративно-дистрофических изменений в суставном хряще при деформирующем остеоартрозе / Ю.Ф. Каменев, А.М. Герасимов // Миллиметровые волны в биологии и медицине. — 1996. — № 4. — С. 30—34.
11. Карлов В.А. КВЧ-терапия при переломах длинных трубчатых костей / Карлов В.А., Резников К.М. // Применение КВЧ излучения низкой интенсивности в биологии и медицине: VII Всесоюзный семинар, 3—7 ноября 1989 г. — М.: ИРЭ АН СССР, 1989. — С. 21—24.
12. Ключева Л.Н. Опыт применения КВЧ-терапии в практике педиатра-гастроэнтеролога / Л.Н. Ключева, А.М. Чердниченко // Миллиметровые волны в биологии и медицине. — 1992. — № 1. — С. 22—27.
13. Неганов В. А. Применение КВЧ терапии в педиатрии / В. А. Неганов., Л. В. Зарицкая, Л.В. Малькова // Вестник новых медицинских технологий. — 1995. — № 1—2. — С. 31—33.
14. Неганов В.А. Особенности воздействия волн КВЧ диапазона на биологические объекты / В.А. Неганов // Вестник новых медицинских технологий. — 1994. — № 2. — С. 13—18.
15. Полякова А.Г. Комплексное изучение КВЧ воздействия в эксперименте и в реабилитации больных с дегенеративно-дистрофической патологией крупных суставов / А.Г. Полякова, Т.В. Буйлова // Миллиметровые волны в биологии и медицине. — 1999. — № 1. С. 22—27.
16. Резников К.М. Количественная оценка действия КВЧ терапии у больных с переломами голени / К.М. Резников, Н.Е. Нехаенко // Вопросы курортологии, физиотерапии. — 1997. — № 3. — С. 25—26.
17. Угнивенко В.И. Асептический некроз головки бедренной кости / В.И. Угнивенко // Разработка новых методов медицинской реабилитации ортопедотравматологических больных с нарушениями функции нижних конечностей для применения в условиях поликлиники: фрагмент отчета НИР N 632\056\022. — Х.: ИРЭ, 2008. — С. 31—72.
18. Шевченко С.Д. Опыт лечения электромагнитным излучением миллиметрового диапазона нетепловой интенсивности некоторых ортопедических заболеваний / С.Д. Шевченко, В.И. Маколинец // Миллиметровые волны в биологии и медицине. — 1996. — № 8. — С. 69—70.
19. Torres F. Complete FDTD analysis of microwave heating processes in frequency-dependent and temperature-dependent media / F. Torres, B. Jecko // IEEE Trans. Microwave Theory Tech. — 1997. — Vol. 45. — P. 108—117.
20. Wang Y. Measurement of complex permittivity of liquids using waveguide techniques / Y. Wang, M. Afsar // Progress in Electromagnetics Research. — 2003. — Vol. 42. — P. 131—142.

ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ КХЧ-ВИПРОМІНЕННЯ НА КУЛЬТУРИ МІКРООРГАНІЗМІВ IN VITRO

**Ю. В. Іванова, В. К. Іванов,
О. А. Головіна, А. С. Фатєєв,
Е. В. Мушенко**

Резюме. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлена залежність біологічного відгуку на частоті опромінення. При опроміненні в дискретних полосах частот КХЧ-діапазону встановлена залежність показників біологічної активності від частоти опромінення. Опромінення в дискретних полосах частот може бути стимулюючим, нейтральним та пригнічуючим. Спостерігається залежність біологічного відгуку від часу дії сигналу. Опромінення ЕМ-полями різних діапазонів протягом 30 хвилин не призведе до змін біохімічних властивостей та чутливості до антибіотиків і протигрибкових препаратів, ефекти виявлені після 60-хвилинного впливу. Неспецифічна дія ЕМ-полів на показники біологічної активності виявляється в зміні властивостей і чутливості до антибіотиків. Для грампозитивних мікроорганізмів біохімічними ефективними виявилися частоти 64,7 ГГц, опромінення в полосах частот 36,7 та 70,0 ГГц не дали статистично виразних змін, опромінення ЕМ-полями з частотами 54,7 ГГц призведе до підвищення резистентності золотистого стафілокока та *Enterococcus faecium*. Для грамнегативних мікроорганізмів ефективними були частоти 64,7 і 54,7 ГГц, після опромінення ЕМ-полями



з частотою 64,7 ГГц резистентність деяких видів грамнегативних мікроорганізмів підвищується. На *Candida albicans* пригнічуючу дію оказало опромінення ЕМ-полем з частотою 37,6 ГГц.

Ключові слова: КХЧ-випромінення, культури мікроорганізмів, експеримент.

THE STUDY OF INFLUENCE
OF EHF RADIATION
ON THE CULTURE OF
MICROORGANISMS IN
VITRO

*Yu. V. Ivanova, V. K. Ivanov,
O. A. Golovina, A. S. Fateev,
E. V. Mushenko*

Summary. The dependence of biological response on frequencies of the radiation was established due to experiments that had been made. When the radiation in discrete lines of frequencies of the EHF (extremely high frequency) range was performed, the dependence of the factors of biological activity on the carrying frequency was found. It was established that the radiation in discrete lines of frequencies can have stimulating, neutral or oppressing effect. The dependence of biological response on the time of signal influence was also found. The 30-minutes electromagnetic (EM) radiation of different ranges doesn't lead to the changes of biochemical properties or antibacterial and antifungous sensitivity, but such effects were discovered after 60-minutes influence. Non specific EM influence on factors of biological activity is revealed in changing of biochemical properties and antibacterial sensitivity. The frequencies with the range 64,7 GHz had effective influence on Gram-positive microorganisms. The radiation with lines of frequencies 36,7 and 70,0 GHz didn't show any statistically reliably changes. Electromagnetic radiation with 54,7 GHz frequencies led to increasing of the resistance of *Staphylococcus aureus* and *Enterococcus faecium*. The frequencies with range 64,7 and 54,7 GHz had an effective influence on Gram-negative microorganisms. The resistance of some gram-negative microorganisms after EM radiation with range 64,7 GHz increased. EM radiation with 37,6 GHz frequency had oppressing effect on *Candida albicans*.

Key words: EHF-radiation, the cultures of microorganisms, experimental study.