

РОЛЬ КВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ В ПОВЫШЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ КРОВИ

О. И. Белоус¹, Б. Г. Емец², В. А. Малахов³, А. В. Носатов³,
С. П. Сиренко¹, А. И. Фисун¹, Е. Б. Алмазова⁴

¹*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина*

E-mail: obel@ire.kharkov.ua

²*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина
4, пл. Свободы, 61077, Украина*

³*Харьковская медицинская академия последипломного образования
58, ул. Корчагинцев, Харьков, 61000, Украина*

⁴*Харьковский национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
21, ул. Фрунзе, Харьков, 61003, Украина*

Рассмотрены результаты использования облучения крови КВЧ излучением в лечении нарушения кровообращения головного мозга человека. Облучение дозы крови около 20 мл на длине волны $\lambda = 7,1$ мм проводилось в цилиндрическом резонаторе, возбуждаемом на высшем типе колебаний. Этим обеспечивалась равномерность распределения поля на поверхности раздела «кровь – диэлектрик». Наблюдалось улучшение неврологического состояния больных, уменьшение агрегативности тромбоцитов и активизация антиоксидантной системы. Приведена трактовка процесса активизации крови. Ил. 3. Библиогр.: 13 назв.

Ключевые слова: биологическая активность крови, активация крови, аутогемотерапия, электромагнитные волны, резонатор.

Развитие технических средств, позволяющих генерировать электромагнитные волны КВЧ диапазона, инициировало проведение ряда исследований по действию излучения указанного диапазона на биологические объекты. Интерес к действию электромагнитных полей КВЧ диапазона на живую материю вызван тем, что естественный фон в этом диапазоне практически отсутствует. Излучение КВЧ диапазона космического происхождения поглощается атмосферой (водяными парами, за исключением нескольких окон прозрачности), а в грозových разрядах и других электрических явлениях в атмосфере Земли эта часть спектра шумовых сигналов не регистрируется по той же причине.

На данный момент собран обширный экспериментальный материал по действию КВЧ излучения на биологические объекты [1, 2], выдвинуто ряд гипотез и построено несколько моделей, объясняющих эти эффекты [2], разработана и широко применяется аппаратура для КВЧ терапии [3]. Применение волн КВЧ диапазона базируется на идее использования живыми организмами информационного обмена на клеточном уровне именно в этом «безпомеховом» диапазоне [4], поскольку эволюция живого мира происходила в условиях отсутствия КВЧ электромагнитного фона. Однако нельзя сбрасывать со счетов другие механизмы действия КВЧ полей хотя бы по причине того, что вода и водные растворы меняют свою структуру и эти изменения сохраняются длительное время [5, 6], а организм человека на 65-70 % состоит из воды.

Предметом настоящей работы является исследование влияния КВЧ излучения на измене-

ние биологической активности крови как одной из водосодержащих структур живого организма.

1. Исследование влияния КВЧ излучения на кровь. Аутогемотерапия. Одним из объектов исследования действия электромагнитного излучения является кровь, плазма и ее растворы [2, 7]. Исследовалась ионная и ориентационная поляризуемости, структурные изменения, действие КВЧ излучения на эритроциты. Одним из важных медицинских показателей является повышение биологической активности крови, а в клинической практике достаточно давно используется аутогемотерапия как один из методов немедикаментозного лечения. Физиогемотерапия связана с воздействием различных внешних физических факторов на кровь больных: оптического (лазерного), ультрафиолетового и гамма излучений, магнитных полей. Фотогемотерапия получила широкое применение ввиду ее простоты и эффективности. В основе лечебного эффекта фотогемотерапии и фотоаутогемотерапии лежит ряд фотохимических реакций: фотоионизация, фотоокисление, фотовосстановление, образование димеров из двух молекул, изменение пространственной структуры молекул и их фотодиссоциация.

Несмотря на тот факт, что общая картина природы воздействия электромагнитных полей мм диапазона на живую материю еще не сформировалась, в клинической практике используются различные варианты метода КВЧ терапии для лечения обширного круга заболеваний [6]. Исходя из анализа действия электромагнитных полей мм диапазона на организм в целом и его системы вплоть до клеточного уровня, а также анализа методов физиогемотерапии, можно предполо-

жить, что активирование крови мм волнами даст положительный лечебный эффект. Предпочтение по многим медицинским показателям следует отдать использованию собственной крови пациента, т. е. осуществлять аутофизиотерапию.

В различных методиках использования действия электромагнитного излучения на биобъекты и в КВЧ терапии используются, как правило, антенные облучатели: рупорные, диэлектрические антенны, двузаходные спирали, открытые концы металлических и диэлектрических волноводов и т. д. Этому способу облучения присущи ряд недостатков, поскольку трудно обеспечить равномерность плотности падающего потока энергии и точность дозирования. Во время облучения возникает неконтролируемый внешний фон, что при систематическом использовании устройства требует экранирования аппаратуры и зоны облучения. Если кровь помещена в открытый сосуд, возрастает вероятность потери стерильности, в особенности, если облучаются большие дозы крови, до 20 мл и более.

В предложенной нами методике используется резонаторный способ облучения. Его суть заключается в том, что кровь, которая в мм диапазоне является сильно поглощающей средой, размещается в резонансной камере. Для достижения максимальной равномерности облучения поглощающая среда помещается в резонатор, возбуждаемый на высшем типе колебаний, и частично его заполняет. Полное заполнение резонатора поглотителем не позволяет возбудить его ни на одном из возможных (вынужденных) типов коле-

баний. Высказанное предположение иллюстрируется распределением поля, моделирующим возбуждение колебаний внешним источником в резонаторе с поглотителем. На рис. 1 показано возбуждение цилиндрического резонатора в случае, если диаметр заполняющего поглотителя сравнительно мал (а), при почти полном заполнении (в) и промежуточный случай (б). Здесь D – диаметр поглотителя, d – диаметр резонатора. Поглотитель помещен в тонкостенный диэлектрический цилиндр без потерь, имитирующий емкость, если поглотитель – жидкость. Вычислительные эксперименты проведены с использованием алгоритма, разработанного в работе [8]. Начально-краевая задача для случая E -поляризованного поля дискретизирована методом конечных разностей на сетке цилиндрических координат. Решалась двумерная задача, которую нетрудно обобщить на трехмерный случай. Падающая волна по волноводу, присоединенному к боковой стенке, поступает в резонатор. Проведено исследование отдельных типов колебаний, выделенных из общего спектра резонатора и наиболее иллюстративных для рассматриваемых случаев. Наиболее благоприятный случай (рис. 1, б) иллюстрируется распределением поля в плоскости, перпендикулярной оси, и в плоскости оси цилиндрического резонатора. Этот случай наблюдается, если внутренний диаметр резонатора d и диаметр поглотителя D связаны соотношением

$$d - D \geq \lambda / 2,$$

где λ – длина волны в свободном пространстве.

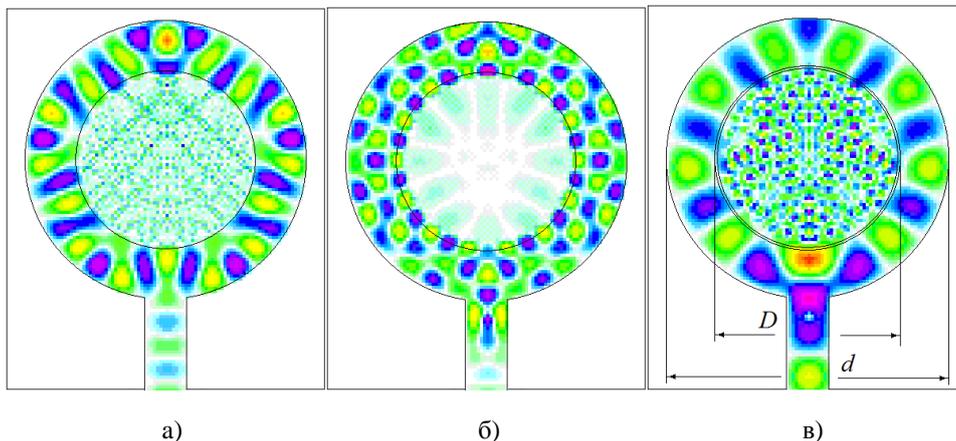


Рис. 1. Распределение поля в поперечном сечении резонатора

Структура поля в осевом направлении (рис. 2) падает в $1,5 \div 2$ раза на расстояние $(2 \div 3)\lambda / 2$, что обеспечивает равномерность облучающего поля в реальных длинах устройств. Устройство для облучения крови схематически

показано на рис. 3. Оно состоит из цилиндрического объемного резонатора 1 с отверстием связи 2 в боковой цилиндрической стенке резонатора. Щелевое отверстие связи соединено с прямоугольным волноводом стандартного сечения 3

плавным переходом. Для размещения облучаемой крови используется цилиндрическая емкость 4. Проточка 5, заполненная поглотителем, не позволяет излучать энергию во внешнее пространство. Источник излучения на схеме не показан. Предложенное устройство с высотой цилиндрического резонатора $h=78$ мм, диаметром резонатора $d=35$ мм, диаметром поглощающей жидкости $D=21$ мм апробировано на длине волны излучения $\lambda=7,1$ мм. Резонатор возбуждался через щель $0,1 \times 7,2$ мм с плавным переходом на стандартный волновод $7,2 \times 3,4$ мм. Выбранные размеры объясняются эмпирическим соотношением между внутренним диаметром резонатора и поглотителя. Использовалась одна из биологически активных частот $\lambda=7,1$ мм, а оптимальная доза крови в аутогемотерапии составляет около 20 мл.

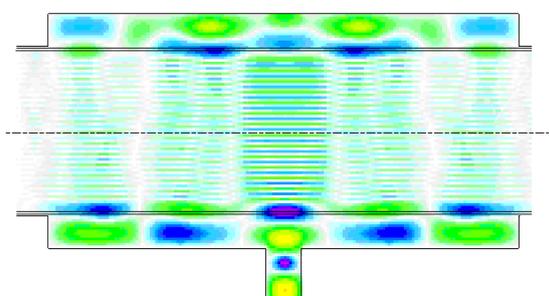


Рис. 2. Распределение поля в продольном сечении резонатора

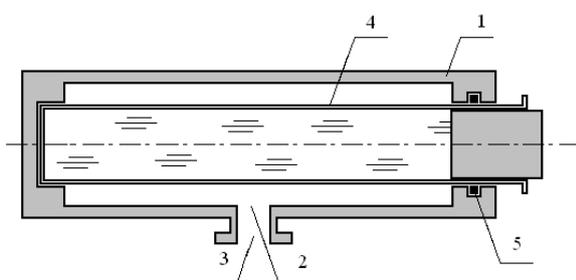


Рис. 3. Устройство для облучения крови

2. Активирование электромагнитными волнами крови в комплексном лечении нарушений мозгового кровообращения. Применялся метод аутогемотерапии с использованием гепаринизированной аутокрови больного и обработанной излучением $\lambda=7,1$ мм по специальной методике, которая получила название КВЧ аутогемотерапии по аналогии с другими методами применения излучения КВЧ диапазона [5, 6]. Под наблюдением находилось свыше 60 пациентов с диагнозом дисциркуляторная энцефалопатия 1 и 2 степени: 26 женщин и 37 мужчин. Средний возраст пациентов 46 ± 4 года. Аутогемотерапия проводилась у 40 больных в комплексном лече-

нии с использованием ноотропов оптимизаторов мозгового кровотока и антиоксидантов. У 23 пациентов аутогемотерапия применялась в качестве монотерапии. Курс составлял 10 процедур. Согласно субъективным критериям клиническое улучшение состояния наблюдалось у 58 больных, что составляет 92 %.

Применение КВЧ аутогемотерапии в лечении больных дисциркуляторной энцефалопатией гипертонического и атеросклеротического генезиса выразилось в чувстве «подъема сил», «просветления» в голове, снижения уровня и продолжительности головной боли, утомляемости (субъективное улучшение состояния). Кроме этого, наблюдалось улучшение неврологического состояния больных: уменьшение лицевой асимметрии, вестибулоатактического синдрома, улучшение эмоционального состояния. Проведение КВЧ аутогемотерапии в комплексном лечении больных с диагнозом дисциркуляторная энцефалопатия на фоне атеросклероза мозговых сосудов или в комбинации с артериальной гипертензией показало, что наряду с клиническими показателями наблюдаются позитивные сдвиги в структуре показателей липидного обмена, улучшение реологических свойств крови – уменьшение агрегативности тромбоцитов. В процессе изучения в динамике «до и после лечения» обнаружены позитивные сдвиги в состоянии антиоксидантной системы. Отмечается достоверное снижение диеновых и триеновых конъюгатов у больных 1 и 2 стадий дисциркуляторной энцефалопатии. Возрастание содержания в крови ферментов супероксиддисмутазы на всех стадиях и каталазы на 1 стадии также свидетельствует об активизации антиоксидантной системы.

3. Первичные процессы в системе «клетка – межклеточная среда», имеющие следствием улучшение состояния организма в целом. Подробности физического механизма, приводящего к вышеуказанным медицинским результатам, следует рассматривать на клеточном уровне, поскольку клетка является наименьшей структурной и функциональной единицей живого вещества. Очевидно, что факт КВЧ облучения клеток крови изменяет режим функционирования последних, т. е. изменяет скорость процессов переноса молекул и ионов через плазматическую мембрану в системе «клетка – межклеточная среда».

Важным элементом обменных процессов является пассивный транспорт неэлектролитов и ионов через мембрану. При этом перенос неэлектролитов обусловлен градиентом химического потенциала, перенос ионов – градиентом электрохимического потенциала. Пассивный транспорт осуществляется путем диффузии. Именно по диффузионному механизму переносятся через биологические мембраны вода, газовые молекулы –

кислород, углекислый газ и др. Как известно, основной термодинамический принцип, управляющий стационарным распределением диффундирующих молекул в системе с мембраной, состоит в том, что химические потенциалы молекул конкретного компонента, находящиеся по разным сторонам мембраны, должны выравниваться.

Химический потенциал μ связан с концентрацией вещества c в разбавленном растворе соотношением [9]

$$\mu = \mu_0 + RT \ln c, \quad (1)$$

где μ_0 – стандартный химический потенциал; R – газовая постоянная; T – температура. Рассмотрим систему, в которой мембрана разделяет два отсека, содержащих раствор вещества A , которое легко диффундирует через мембрану [10]. Для обозначения отсеков воспользуемся индексами 1 и 2. В соответствии с (1), если концентрации вещества A в отсеке 1 и в отсеке 2 не равны между собою ($c_{1A} > c_{2A}$), тогда не равны между собою и соответствующие химические потенциалы $\mu_{1A} \neq \mu_{2A}$. Перенос dN_A молей вещества из отсека 1 в отсек 2 сопровождается изменением свободной энергии системы на величину

$$dF = (\mu_{2A} - \mu_{1A}) dN_A.$$

Перенос прекращается, т.е. система переходит в состояние термодинамического равновесия, когда выравниваются химические потенциалы ($\mu_{2A} = \mu_{1A}$), что означает и выравнивание концентраций ($c_{2A} = c_{1A}$).

Закон Фика связывает поверхностную плотность потока вещества J в направлении x с градиентом концентрации вдоль этого направления dc/dx

$$J = -D dc/dx.$$

Здесь D – коэффициент диффузии. В случае, если стационарный транспорт идет через тонкую мембрану, то производную dc/dx можно заменить конечной разностью концентраций, отнесенной к толщине мембраны L . Тогда

$$J = -D \Delta c / L = P(c_1 - c_2).$$

Здесь введена проницаемость мембраны для диффундирующего вещества $P = D/L$. Для ряда случаев вместо P удобно ввести постоянную времени τ процесса трансмембранного переноса. С этой целью рассмотрим малый резервуар 2 (биологическая клетка) объемом V , образованный проницаемой мембраной площадью S . Концентрацию вещества в этом объеме обозначим c_2 . По определению поверхностная плотность потока вещества $J = d/dt(c_2V/S)$. Выше был записан

закон Фика $J = P(c_1 - c_2)$. Следовательно,

$$d/dt(c_2V/S) = P(c_1 - c_2). \quad (2)$$

Если реализуется ситуация, когда рассматриваемый малый резервуар 2, имеющий стабильные (неизменяющиеся) объем V и поверхность S , погружены в гораздо более крупный резервуар 1, то в достаточно хорошем приближении, несмотря на наличие трансмембранного переноса, можно считать концентрацию вещества в большом резервуаре c_1 постоянной величиной. Пусть в момент времени $t=0$ концентрация $c_2 = 0$. Тогда зависимость концентрации вещества в клетке c_2 от времени можно получить, проинтегрировав выражение (2)

$$\int_{c_2=0}^{c_2} \frac{dc_2}{c_1 - c_2} = \frac{PS}{V} \int_{t=0}^t dt,$$

откуда $\ln[(c_1 - c_2)/c_1] = -PSV^{-1}t$

или

$$c_2(t) = c_1[1 - \exp(-t/\tau)].$$

Здесь τ – постоянная времени процесса переноса

$$\tau = V(PS)^{-1}.$$

Используя $P = D/L$, имеем

$$\tau = VL/(DS).$$

Для случая, когда резервуар является сферой радиуса R (т.е. $V = 4\pi R^3/3$; $S = 4\pi R^2$), получаем

$$\tau = RL/(3D). \quad (3)$$

В реальной ситуации на границе раздела «мембрана – жидкость» всегда имеется слой жидкости (в случае водного раствора – слой воды), который из-за своего пограничного расположения является гидродинамически неподвижным [11]. Рассмотрим примыкающий непосредственно к мембране тонкий слой воды, который даже при наличии конвективного движения, происходящего в «окрестностях» клетки, остается неподвижным. Перенос веществ через этот слой (транзитом в клетку или из клетки) осуществляется только с помощью молекулярной диффузии. Поэтому указанный пограничный примембранный слой принято называть молекулярно-диффузионным или диффузионным примембранным водным слоем. Этот слой играет значительную роль в процессах трансмембранного переноса вещества. Действительно, если вне этого слоя в жидкости факт наличия гидродинамических движений (конвекция и т.п.) обеспечивает более-менее равномерное распределение по объему, например, конкретного

растворенного вещества A , то концентрация вещества A в толще указанного слоя имеет заведомо меньшую величину. Поэтому при рассмотрении диффузионного переноса молекул вещества A из межклеточной среды через мембрану в клетку (или в обратном направлении) обязательно необходимо учитывать, что молекулы A диффундируют не только через собственно мембрану, но и через примембранный слой воды. (Согласно литературным данным, толщина этого слоя Λ во много раз превышает толщину самой биологической мембраны L , поэтому совершенно некорректно пренебрегать фактом его наличия). Следовательно, поскольку $\Lambda \gg L$, то выражение (3) принимает вид

$$\tau = R\Lambda / (3D). \quad (4)$$

В работах [12, 13] выполнены измерения толщины слоя, прилегающего к мембране эритроцита. Оказалось, что четырехминутное облучение образца цельной крови ультрафиолетовым светом уменьшает толщину этого слоя на 20%. Примерно на такую же величину уменьшается толщина диффузионного примембранного слоя и в случае облучения крови мм волнами. Это обстоятельство приводит к тому, что увеличивается скорость обменных процессов в системе «клетка – межклеточная среда», в частности, ускоряется процесс доставки молекул кислорода к гемоглобину, расположенному внутри эритроцита. Этот факт обеспечивает повышение скорости транспортирования кислорода ко всем тканям организма, омываемым кровью. Следствием является существенное улучшение снабжения органов и тканей человека.

Выводы. В работе представлен новый подход к облучению сильно поглощающих жидкостей волнами КВЧ диапазона. Его суть заключается в том, что облучаемая жидкость размещается в цилиндрическом объемном резонаторе. Жидкость заполняет сосуд цилиндрической формы, расположенный на оси резонатора. Размеры сосуда и резонатора подобраны таким образом, что резонатор возбуждается на высшем типе колебаний. Этим исключается неравномерность распределения поля на поверхности жидкости. Кроме того, использование объемного резонатора и закрытых волноведущих трактов сводит к минимуму облучение обслуживающего персонала.

Рассмотрено применение крови, активированной КВЧ излучением, в лечении нарушений мозгового кровообращения. Наряду с клиническими показателями улучшения состояния пациентов наблюдаются положительные изменения в структуре крови и состоянии антиоксидантной системы.

Можно предположить, что изменение состояния ядра клетки, т. е. увеличение отрицательного заряда ядра под действием КВЧ излучения

[6], ускоряет транспорт положительно заряженных ионов через клеточную мембрану. Другим рассмотренным в работе фактором, влияющим на обмен, является уменьшение толщины примембранного диффузионного слоя, что способствует увеличению скорости доставки кислорода к тканям организма. Обсуждаемый механизм действия КВЧ излучения на кровь обуславливает наблюдаемый лечебный эффект.

1. Девятков Н. Д., Голант М. Б., Бецкий О. В. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности. – М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.
2. Бинги В. Н. Магнитобиология: эксперименты и модели. – М.: Милта, 2002. – 592 с.
3. Бецкий О. В., Лебедева Н. Н., Яременко Ю. Г. Аппаратура для КВЧ терапии // Радиотехника. – 2007. – № 3. – С. 4-15.
4. Синицын Н. И., Елкин В. А. Особая роль миллиметровых волн в медицине будущего // Радиотехника. – 2005. – № 1. – С. 86-90.
5. Емец Б. Г. О влиянии низкоинтенсивных электромагнитных волн на жидкости // Вестн. ХНУ. – 1999. – № 427. – С. 42-44.
6. Belous O. I., Fisun A. I., Malakhov V. A., Sirenko S. P. Physiotherapeutic Effect of Wideband EHF-Radiation Treatment of Atherosclerotic Discirculatory Encephalopathy // Telecommunication and Radio Engineering. – 2001. – 55, No 1. – P. 83-86.
7. Бережиский Л. И., Гридина Н. Я., Довбешко Г. И. и др. Визуализация действия миллиметрового излучения на плазму крови // Биофизика. – 1993. – 38, вып. 2. – С. 378-384.
8. Сиренко Ю. К. Моделирование и анализ переходных процессов в открытых периодических, волноводных и компактных резонаторах. – Харьков: Эдена, 2003. – 363 с.
9. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. Часть 1. – М.: Наука, 1976. – 584 с.
10. Котык А., Яначек К. Мембранный транспорт / Пер. с англ. под ред. Ю. А. Чизмадзева. – М.: Мир, 1980. – 341 с.
11. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. – М.: Гостехиздат, 1953. – 788 с.
12. Алмазова Е. Б., Бондаренко В. А., Емец Б. Г., Перский Е. Э. Зависимость величины изменения толщины примембранного водного диффузионного слоя эритроцита от длины волны облучающего света // Вісн. Харків. ун-ту. Біофізика. – 2005. – Вип. 2, № 716. – С. 53-56.
13. Алмазова Е. Б., Бондаренко В. А., Емец Б. Г. О первичном механизме влияния низкоинтенсивных ультрафиолетовых лучей на эритроциты // 6-ая Международ. крымская конф. «Космос и биосфера»: Тез. докл. – 2005. – С. 103.

FUNCTION OF UHF-RADIATION IN INCREASING OF THE BLOOD ACTIVATION

O. I. Belous, B. G. Yemets, V. A. Malakhov,
A. V. Nosatov, S. P. Sirenko, A. I. Fisun,
Ye. B. Almazova

The paper is devoted to use the human blood exposure to UHF-radiation for treatment of the brain circulation disorder. A cylindrical high-mode cavity resonator serves as irradiator of the blood dose of some 20 ml at the 7,1 mm wavelength. The high-mode excitation is associated with uniform field distribution at the blood – dielectric interface. There are observed an upgrading of neurological status of patients, a trombocyte aggregation comes to decrease, and an antioxidant system makes more active as well. Interpretation of the blood activation is discussed.

Key world: biological blood activity, blood activation, autohemotherapy, electromagnetic waves, resonator.

РОЛЬ КВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ
В ПІДВИЩЕННІ БІОЛОГІЧНОЇ
АКТИВНОСТІ КРОВІ

О. І. Білоус, Б. Г. Ємець, В. О. Малахов,
А. В. Носатов, С. П. Сіренко, А. І. Фісун,
О. Б. Алмазова

Наведено результати використання крові, опромі-
неної КВЧ випромінюванням, у лікуванні порушень кровообі-
гу головного мозку людини. Опромінювання дози крові приб-

лизно 20 мл на довжині хвилі $\lambda = 7,1$ мм здійснювалось у ре-
зонаторі циліндричної форми, що збуджувався на вищому
типі коливань. Цим забезпечувалась рівномірність розподілу
поля на поверхні поділу «кров – діелектрик». Спостерігалось
покращення неврологічного стану хворих, зменшення агрега-
тивності тромбоцитів та активізація антиоксидантної системи.
Розглянуто трактовку процесу активізації крові.

Ключові слова: біологічна активність крові,
активація крові, аутогемотерапія, електромагнітні хвилі, резонатор.

Рукопись поступила 9 сентября 2008 г.