

УДК 612.821

## ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА ПРОЦЕССЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ

Чуян Е.Н., Трибрат Н.С.

В статье приведен обзор литературных данных о влиянии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции и представлены возможные механизмы этого влияния.

Ключевые слова: микроциркуляция, низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ, метод ЛДФ.

Многочисленными исследованиями показано, что электромагнитные излучения крайне высоких частот (ЭМИ КВЧ) (30-300 ГГц) или миллиметрового (мм) диапазона ( $\lambda=1-10$  мм) низкой интенсивности (меньше  $10 \text{ мВт/см}^2$ ) обладают выраженной биологической эффективностью. В последние десятилетия обнаружены многочисленные факты, свидетельствующие о высокой чувствительности биологических объектов различной степени сложности к низкоинтенсивному ЭМИ мм диапазона, сформулирован целый ряд гипотез о возможности резонансного взаимодействия ЭМИ этого диапазона с биологическими системами [1-2], высказано предположение, что мм волны используются для передачи информации между организмами и внутри организмов, выявлена зависимость биологической эффективности КВЧ-излучения от частоты и интенсивности воздействующего фактора, определены «частотные» и «амплитудные» окна. Среди наиболее изученных эффектов ЭМИ КВЧ известны антистрессорный, иммуномодулирующий, антиоксидантный, синхронизирующий, противовоспалительный, радиопротекторный, антиноцицептивный и некоторые другие [3 - 6].

В связи с высокой биологической эффективностью эми квч используется в медицинской практике для лечения широкого круга заболеваний. Так, положительные результаты от применения квч-терапии показаны при лечении следующих заболеваний: гастроэнтерологических (язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, гепатитов, холецистопанкреатитов); сердечно-сосудистых (стабильной и нестабильной стенокардии, гипертонической болезни, инфаркта миокарда); заболеваний сосудов головного и спинного мозга; неврологических (болевого синдрома, невритов, радикулита, остеохондроза); онкологических (для защиты кроветворной системы, устранения побочных явлений при химио- и рентгенотерапии); костно-мышечной системы, депрессивных состояний, атопического дерматита, почечной недостаточности, саркаидоза и туберкулеза легких; урологических (пиелонефрита, импотенции, простатита); гинекологических (аднекситов, эндометритов, эрозии шейки матки); стоматологических (пародонтоза, пародонтита, некоторых видов стоматитов, периоститов); хирургических, офтальмологических; кожных (нейродермитов, в том

числе, псориаза, стрептодерии, угревой сыпи), стрептококкового импетиго, сахарного диабета, патологий щитовидной железы, травматического арахноидита с ликвородинамическими нарушениями, алкоголизма и наркомании [3, 7].

Опыт клинического применения этого метода позволяет говорить об отсутствии отдаленных неблагоприятных последствий и побочных эффектов, что является дополнительным преимуществом в применении КВЧ-терапии с целью лечебного воздействия. Мм терапия хорошо сочетается с другими методами лечения (лекарственными, физиотерапевтическими и др.) и не имеет абсолютных противопоказаний.

Известно, что большинство заболеваний, на лечение которых направлено действие КВЧ-терапии, сопровождается нарушениями в микроциркуляторном русле. Однако влияние ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции изучено не достаточно, и многие данные весьма противоречивы. Поэтому целью данной работы является обзор литературных данных о влиянии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции. Изучение этого вопроса имеет как практическое значение, поскольку расстройства микроциркуляции являются одним из основных звеньев патогенеза многих заболеваний, так и теоретическое. Это связано, во-первых, с тем, что объемно-скоростные характеристики процесса гемомикроциркуляции служат важнейшим источником информации о состоянии тканей, органов и организма в целом [8], а во-вторых, рецепция ЭМИ КВЧ, помимо периферических элементов нервной системы, клеток диффузной нейроэндокринной и иммунной систем, также может осуществляться и микроциркуляторной системой кожи [3]. Поэтому исследования изменения процессов микроциркуляции под влиянием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ вносит определенный вклад в понимание механизма действия этого физического фактора.

Известно, что нарушения микроциркуляции служат одним из стереотипных признаков повреждения функции органов и тканей. Вместе с тем, во многих экспериментальных и клинических исследованиях показано, что под влиянием ЭМИ КВЧ происходит нормализация процессов микроциркуляции, выражающаяся в уменьшении периваскулярных нарушений и неравномерности диаметра венул и артериол [2]. Именно этим объясняется выраженный клинический эффект КВЧ-терапии при облитерирующем эндартериите [3], остеомиелите [9]. Воздействие мм волнами показало свою эффективность и при нормализации микроциркуляторных расстройств у больных пародонтозом [10].

Расстройства микроциркуляции лежат в основе патогенеза сердечно-сосудистых заболеваний, для лечения которых давно и успешно применяется КВЧ-терапия. В частности, В.А. Люсовым с соавторами [11] было отмечено улучшение микроциркуляции в сердечной мышце у больных нестабильной стенокардией, получавших курс КВЧ-терапии.

У больных ишемической болезнью сердца методом бульбарной биомикроскопии глаза исследовали параметры микроциркуляции. Выявлено что на фоне мм-терапии наблюдалось значительное снижение общего конъюнктивального индекса, индекса сосудистых и внутрисосудистых изменений. Отмечено также увеличение калибра артериол, числа функционирующих петель лимба, уменьшение

количества эритроцитарных агрегантов в венах [3]. Аналогичные результаты были получены и при исследовании микроциркуляции в бульбарной конъюнктиве глаза у больных острым инфарктом миокарда. Выявлено, что к окончанию курса ЭМИ КВЧ у пациентов отмечалось значительное улучшение тканевой перфузии, что проявлялось в виде уменьшения отека конъюнктивы, увеличения числа функционирующих капилляров, скорости кровотока по ним, уменьшения извитости и неравномерности сосудов различного калибра, дилатации сосудов [12].

Методом реографии исследовали микроциркуляцию у больных некоторыми нейрососудистыми расстройствами – ангиоветеродистонией, гипертонией, синдромом Рейно, получавших курс мм-терапии. Авторами было отмечено, что КВЧ-терапия оказывала нормализующее воздействие на нарушенную микроциркуляцию независимо от конкретной патологии. В частности, зарегистрировано увеличение числа функционирующих капилляров и увеличение наполнения их кровью. У больных гипертонической болезнью оценка состояния мозгового кровотока на фоне мм-терапии методом динамической сцинтиграфии выявила улучшение кровотока в бассейнах пораженных артерий, перераспределение объема крови в сторону наиболее ишемизированных участков [3]. При изучении центральной и периферической гемодинамики у больных гипертонической болезнью, ЭМИ КВЧ способствовало снижению периферического сопротивления [13].

Как правило, в проводимых исследованиях по изучению биологического действия ЭМИ КВЧ используется облучение целого организма или изолированных органов, тканей, клеток. Поэтому уникальные эксперименты проведены А.А. Яшиным и Т.И. Субботиной [2] по исследованию процесса прямого воздействия ЭМИ КВЧ на открытый орган – печень. В опытной группе животных преобладали изменения в микроциркуляторном русле, выражающиеся в прогрессирующем усилении микроциркуляции с компенсированным оттоком крови.

На микроциркуляторном уровне кровь проявляет себя как сложная гетерогенная система корпускулярной природы, имеющая реологические свойства, существенно отличающие ее от других жидкостей. Следовательно, на условия гемодинамики в системе микроциркуляции оказывает влияние агрегатное состояние крови. Показано, что метод КВЧ-терапии может с успехом применяться в лечении больных хроническим генерализованным парадонтитом в сочетании с заболеваниями желудочно-кишечного тракта, так как он способствует нормализации процессов микроциркуляции за счет восстановления нарушенных реологических свойств крови. Кроме того, комбинированная с фармакологическими препаратами КВЧ-терапия способствует полному восстановлению реологических свойств крови у больных локализованной и диссеминированной формами, легкой и средней степени тяжести атопическим дерматитом, что выражается в нормализации таких показателей гемореологии как индексы агрегации и деформируемости эритроцитов, величина гематокрита, степень доставки кислорода к тканям [14].

Вязкость крови в значительной степени определяется способностью эритроцитов к агрегации [15]. Вместе с тем, результаты исследований свидетельствуют и о высокой чувствительности эритроцитов к ЭМИ мм-диапазона. Так, ЭМИ КВЧ достоверно увеличивает скорость оседания эритроцитов *in vitro*, что

может быть связано с увеличением агрегации красных клеток крови [16]. Получены убедительные доказательства влияния ЭМИ КВЧ на кислородтранспортную функцию и антиоксидантный потенциал эритроцитов [17]. Выявлено, что облучение эритроцитов сопровождается интенсификацией процессов регенерации, что связано с характерными количественными и качественными изменениями липидов в эритроцитарных мембранах [17]. После экспериментального КВЧ-воздействия на образцы цельной крови животных *in vitro* параллельно со снижением количества эритроцитов выявлено увеличение их среднего диаметра, периметра, объема и снижение жесткости мембран [18]. Показано что ЭМИ КВЧ корригирует стресс-индуцированные морфологические изменения эритроцитов *in vitro*. КВЧ-воздействие препятствует деформации эритроцитов, вызываемой стрессом, способствует сохранению нормальной формы и объема клеток, о чем свидетельствуют значения коэффициентов изрезанности границ и деформируемости клеток, близкие к таковым у животных контрольной группы [5]. Этот факт, по всей видимости, объясняется тем, что под воздействием ЭМИ КВЧ эритроциты приобретают повышенную прочность. Таким образом, ЭМИ КВЧ препятствует нарушению функциональной целостности эритроцитов, т.е. развитию деформационного стресса.

Исследование влияния ЭМИ частот 42,19 и 53,54 ГГц на гемореологические параметры и морфофункциональные показатели эритроцитов практически здоровых лиц выявило значимое повышение вязкости цельной крови и агрегационной способности эритроцитов в условиях *in vitro*. ЭМИ КВЧ является также эффективным методом восстановления показателей физико-химических свойств эритроцитов больных стенокардией, хроническим генерализованным пародонтитом и др. [15].

Из эритроцитов освобождаются тромбопластические соединения и вещества с антигепариновой активностью, о чем свидетельствует удлинение времени рекальцификации и снижение потребления протромбина по сравнению с контрольными образцами крови [18].

Нарушения в системе микроциркуляции могут быть обусловлены изменениями системы, регулирующей агрегатное состояние крови [15]. Известно, что нормальный эндотелий обладает выраженной антитромбогенной активностью – препятствует активации тромбоцитов, факторов системы свертывания крови, фибринолиза. Однако при повреждении сосудистой стенки происходит синтез ряда веществ, активирующих систему гемостаза, что способствует образованию гемостатического тромба у места повреждения сосуда. Вместе с тем, к настоящему времени КВЧ-терапия признана одним из наиболее эффективных немедикаментозных средств коррекции гемостаза. Многочисленными исследованиями показано благоприятное влияние ЭМИ КВЧ на динамику показателей гемостаза и фибринолиза, что может играть важную роль в профилактике внутрисосудистого свертывания крови у больных инфарктом миокарда, стенокардией, сосудистыми заболеваниями головного и спинного мозга, с закрытой черепно-мозговой травмой, атопическим дерматитом, простатитом. В частности, В.Ф. Киричуком, С.С. Паршиной [19] были отмечены следующие сдвиги в системе гемостаза больных стенокардией, подвергавшихся КВЧ-воздействию:

повышение антикоагулянтной (уровня гепарина, активности антитромбина — III) и фибринолитической активности крови, снижение содержания комплексных соединений мономеров фибрина, что свидетельствует об ограничении внутрисосудистого свертывания крови у больных под влиянием волн КВЧ. На фоне традиционного лечения инсульта регресс лабораторных признаков ДВС-синдрома встречался в 1,5 раза чаще, если одновременно проводилась КВЧ-терапия [20]. Применение ЭМИ мм диапазона позволяет сократить сроки лечения, предотвратить повторные рецидивы заболевания и предупредить тромбогенные осложнения у больных язвенной болезнью желудка и двенадцатиперстной кишки. Нормализующее действие ЭМИ КВЧ на показатели коагуляционного потенциала и факторы свертывания крови, синтезируемые печенью, антикоагулянтную активность, содержание фибриномерных комплексов и продуктов деградации фибриногена отмечено у детей, больных вирусным гепатитом.

Известно, что нормальное состояние системы гемостаза обеспечивается динамическим равновесием между прокоагулянтным, антикоагулянтным и фибринолитическим звеньями системы гемостаза. В экспериментах на инфицированных *Musorplasma hominis* животных, предварительно подвергавшихся как изолированному, так и комбинированному с гипокинетическим стрессом действию ЭМИ КВЧ, зарегистрировано увеличение прокоагуляционного потенциала системы гемостаза на фоне компенсаторного повышения активности фибринолитической и антикоагуляционной систем [5].

Были изучены также хронобиологические аспекты использования КВЧ-терапии для коррекции гемостаза больных ишемической болезнью сердца [21]. В частности, было замечено, что максимальным нормализующим влиянием на систему гемостаза обладает КВЧ-воздействие, осуществляемое во временном промежутке с 11 до 13 часов.

В.Ф. Киричуком, С.С. Паршиной, Т.В. Головачевой [19] исследованы и отдаленные результаты применения ЭМИ мм диапазона в лечении больных нестабильной стенокардией. Авторы отмечали, что КВЧ-терапия оказывает не только непосредственное (во время лечения), но и отдаленное гипокоагуляционное действие, проявляющееся в дальнейшем нарастании антикоагулянтного и фибринолитического потенциалов системы гемостаза, угнетении прокоагулянтной способности крови. В среднем, ЭМИ КВЧ способствовало нормализации системы гемостаза больных нестабильной стенокардией на срок до 4 месяцев.

Как видно из вышеприведенных данных, ЭМИ КВЧ оказывает выраженное многостороннее влияние на процессы микроциркуляции. Однако механизмы действия этого физического фактора на микроциркуляторное русло до конца не изучены.

Исходя из собственных и литературных данных механизм действия ЭМИ КВЧ на систему микроциркуляции нам представляется следующим.

Известно, что практически все ЭМИ КВЧ поглощается в кожных покровах на глубине до 1 мм, а максимум удельной поглощаемости в коже локализован на глубине 0,7 мм [22, 23]. Поэтому именно элементы кожи рассматриваются в качестве основных мишеней для миллиметровых волн, а кожа выполняет функцию распределенного рецептора излучения. Под непосредственное действие излучения

попадают периферические кровеносные и лимфатические сосуды, клетки иммунной системы (кожное депо Т-лимфоцитов), диффузной нейроэндокринной системы (ДНЭС, APUD-система), разнообразные рецепторы (механорецепторы, ноцицепторы и т.д.), нервные окончания, периферические нервы, а также биологически активные точки.

В.Н. Воронков и Е.П. Хижняк [22] гистологическими методами показали, что облучение кожи экспериментальных животных (52 ГГц; плотность потока мощности 50 мВт/см<sup>2</sup>) в течение 15 мин вызывает расширение капилляров кожи, диapedез эритроцитов в экстравазальное пространство, дегрануляцию тучных клеток. Однако в данной работе обращает на себя внимание значительный уровень мощности используемого ЭМИ, что обуславливает характерную гистологическую картину. По-видимому, биологические эффекты низкоинтенсивного ЭМИ могут быть обусловлены и/или другими закономерностями. В более поздних исследованиях теми же исследователями [24] также зарегистрированы ультраструктурные изменения кожи экспериментальных животных под влиянием ЭМИ КВЧ (42,253 ГГц, плотность потока мощности от 100 мкВт/см<sup>2</sup> до 50 мВт/см<sup>2</sup>). Локальные изменения в коже, происходящие под влиянием ЭМИ КВЧ, по мнению авторов, усиливают синтез или выделение биологически активных веществ в клетках кожи и тем самым вызывают эффекты КВЧ-излучения на уровне всего организма.

Нам представляется, что рецепцию ЭМИ КВЧ могут осуществлять многие образования, локализованные в коже. Вероятно, эти первичные физиологических мишени, «входные ворота», в значительной степени и определяют участие соответствующих систем в реализации биологических и терапевтических эффектов мм-излучения в отношении процессов микроциркуляции.

Рецепция ЭМИ КВЧ может осуществляться микроциркуляторной системой кожи, которая располагается на глубине около 150 мкм. Температурный порог расширения кожных сосудов довольно низок и составляет всего 0,06°С, т.е. находится в границах нагрева тканей, обусловленного действием ЭМИ КВЧ. Роль кровеносных капилляров в реализации биологических эффектов сводится к резонансному поглощению в них мм волн и изменению динамики протекания жидкости при одновременном уменьшении сил адгезии жидкости с внутренней стенкой капилляра (Бецкий, Яременко, 1998). Было показано [25], что ЭМИ КВЧ приводит к ряду структурных изменений в коже экспериментальных животных, в том числе к расширению мелких сосудов. Эффект вазодилатации в коже наблюдался после однократного КВЧ-воздействия и проявлялся в увеличении диаметра сосудов в 3-10 раз по сравнению с контролем. Данные результаты свидетельствуют о прямом влиянии ЭМИ на гемодинамику в облученном участке. Таким образом, сосуды кожи вполне доступны для непосредственного воздействия ЭМИ КВЧ.

Не исключено, что первичными мишенями ЭМИ КВЧ являются клетки крови. Большое количество экспериментальных данных, свидетельствует о высокой чувствительности к ЭМИ КВЧ тромбоцитов и эритроцитов, лейкоцитов крови [26, 27, 15]. Эритроциты, подвергнутые воздействию ЭМИ КВЧ, освобождают факторы гемокоагуляции, что является следствием повышения проницаемости эритроцитарных мембран [27].

Существует мнение, что тромбоциты являются высокореактивными, возбудимыми клетками, напоминающими по некоторым свойствам нервные клетки, а поскольку нейроны участвуют в информационном взаимодействии можно предположить, что именно обладающие повышенной чувствительностью тромбоциты определяют отклик системы гемостаза на информационное воздействие электромагнитных факторов [28].

Многочисленные данные свидетельствуют о непосредственном участии лейкоцитов крови и клеток соединительной ткани в регуляции агрегатного состояния крови [29].

Показано, что в результате эффекта прайминга происходит увеличение функционального статуса лимфоцитов и нейтрофилов, наблюдаемых при воздействии ЭМИ КВЧ [5], что выражается в увеличении интенсивности освобождения интерферона, фактора некроза опухоли, интерлейкинов из клеток.

Известно, что среди химических факторов, регулирующих состояние сосудистой стенки, особая роль принадлежит физиологически активным пептидам, в частности цитокинам, интерлейкинам, интерферонам, фактору некроза опухоли, хемокинам и низкомолекулярным соединениям. Роль пептидов в регуляции периферических сосудов сводится к модулированию регуляторных механизмов центральной нервной системы путем пептидэргической иннервации сосудистых стенок, паракринной регуляции, гормональных эффектов благодаря циркуляции в крови [30].

Интерес представляет также тот факт, что сходной с клетками крови и селезенки интерферонаобразующей способностью обладают культуры клеток ткани кожи, следовательно, кожа является также важным продуцентом интерферона. Поэтому некоторые авторы [31] считают, что система интерферона принимает непосредственное участие в механизмах биологического действия ЭМИ КВЧ.

В ответ на любые стимулы активированные лейкоциты и макрофаги продуцируют кроме многочисленных факторов белковой природы неорганические соединения, обладающие высокой реактивностью, в частности NO. Поэтому, биологическое действие ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции может быть связано с повышением активности системы NO. Доказательством этого являются литературные данные. Показано, что молекулярные спектры излучения и поглощения NO находятся в КВЧ-диапазоне. Воздействие ЭМИ КВЧ на частотах этих спектров (150,176 – 150,644 ГГц) оказывало значительное влияние на реологические свойства крови белых крыс, находящихся в состоянии стресса [15]. После 10-ти кратного воздействия мм излучения ( $\lambda = 7,1$  мм; плотность потока мощности =  $0,5$  мкВт/см<sup>2</sup>) в эритроцитах, макрофагах у экспериментальных животных [32] и женщин, больных хроническими воспалительными гинекологическими заболеваниями обнаружены значительное возрастание продукции NO и активация окислительного NO-синтазного метаболического пути.

NO является нейротрансмиттером, мощным фактором гемостаза, ингибирует агрегацию тромбоцитов, опосредует снижение деформационной способности эритроцитарных мембран, является эндогенным вазодилататором [33]. Увеличения его продукции в клетках, связано с активацией Ca<sup>2+</sup>-независимой изоформой фермента NO-синтазы, основного фермента участвующего в образовании NO путем

окисления L-аргинина. Известно, что NO-синтаза легко активируется в клетках при действии цитокинов, в частности интерферона, эффект которого может быть усилен фактором некроза опухолей [32]. Следовательно, воздействие ЭМИ КВЧ-диапазона, возможно, является естественным регулятором активности эндогенного NO в физиологических системах организма и/или увеличения его продукции в клетках вследствие активации NO-синтазы.

Клетки ДНЭС, частью которой является APUD-система (amine precursor uptake and decarboxylation), попадая под непосредственное действие излучения, также могут вносить свой вклад в реализацию эффектов ЭМИ КВЧ на микроциркуляторном уровне. В клинических и экспериментальных исследованиях зарегистрирован быстрый ответ со стороны показателей ДНЭС уже после первого воздействия ЭМИ КВЧ [34]. Многие пептиды, содержащиеся в апудоцитах, могут оказывать как вазоконстрикторное действие, в частности нейротетид Y, так и вазодилаторное действие, например вещество P, вазоактивный интестинальный пептид, участвующие в местной регуляции [30].

Элементами APUD-системы являются, в частности, тучные клетки (ТК) кожи, дегрануляция которых наступает под действием ЭМИ КВЧ [25]. Усиление выброса секрета из ТК (гистамин, протеазы, серотонин, гепарин) при их дегрануляции, по-видимому, является одним из механизмов в каскаде событий, ведущих к системному ответу организма на воздействие низкоинтенсивного ЭМИ. Показано, например, что уровень гистамина в зоне дегрануляции ТК под действием КВЧ-излучения увеличивается в 30 раз [20], что вызывает, в свою очередь, пролонгированное расширение капилляров.

Основной гуморальный агент противосвертывающей системы гепарин, выделяющийся в кровотоки после дегрануляции ТК, в ответ на появление в крови тромбина образует комплексные соединения с белками и аминами крови [35]. Образовавшиеся комплексы обладают неферментативной фибринолитической активностью, антикоагулянтными, антиполимеризационными и антиагрегационными свойствами [35]. Следовательно, образование комплексных соединений гепарина способствует повышению антикоагулянтного фона и фибринолитической активности крови, что и выявлено во многих исследованиях при действии ЭМИ КВЧ.

В ответ на выделение протеаз ТК макрофаги синтезируют  $\alpha_2$ -макроглобулин, которому принадлежит функция модуляции некоторых цитокинов (фактор некроза опухоли и интерлейкины).  $\alpha_2$ -макроглобулин, кроме того, оказывает нормализующее действие на систему прокоагуляции, являясь быстродействующим ингибитором, нейтрализующим тромбин, химотрипсин, трипсин, коллагеназу, кининогенин, плазмин. Поэтому лечебный эффект ЭМИ КВЧ относительно ДВС-синдрома может быть связан именно с увеличением концентрации в крови  $\alpha_2$ -макроглобулина [20].

Выделение серотонина из ТК стимулирует эндотелий-зависимую вазодилатацию. Биологически активные вещества, выделяемые из ТК, оказывают действие и на многочисленные нервные окончания, что также может быть причиной формирования ответа всего организма на действие ЭМИ КВЧ [31].



Кроме того, многие исследователи делают вывод о том, что интенсивности ЭМИ КВЧ, используемые в терапии, достаточны для активации рецепторов (механо-, термо- и болевых рецепторов) и других нервных окончаний и периферических волокон, расположенных в коже [7]. После первичной рецепции сигнал из периферических нервных окончаний и волокон поступает в ЦНС, что может быть причиной рефлекторного изменения тонуса кровеносных сосудов.

Гормональные факторы также влияют на параметры системной гемодинамики. Для регуляции сосудов кожи важное значение имеют циркулирующие катехоламины – норадреналин (НА) и адреналин (А) [30]. Причем в физиологических условиях при сохранной симпатической иннервации влияние катехоламинов крови на величину сосудистого тонуса клинически незначимо, а регулирующая роль циркулирующих катехоламинов проявляется в стрессовых условиях.

Изменение содержания катехоламинов под воздействием ЭМИ КВЧ зарегистрировано как в наших [5], так и в других клинических и лабораторных исследованиях. В частности, КВЧ-излучение приводило к снижению стресс-индуцированного повышения содержания катехоламинов в эритроцитах периферической крови животных [5]. Применение КВЧ-терапии у больных гипертонической болезнью оказывало корригирующее влияние на обмен КА, отмечалось достоверное снижение в крови концентраций А, НА на фоне значительного увеличения их экскреции с мочой (Люсов и др., 1998). Повышенное стрессом содержание катехоламинов в тимусе, селезенке, структурах брыжеечных лимфатических узлов крыс снижалось вплоть до нормализации под влиянием предварительного или последующего КВЧ-излучения. При лечении посттравматического остеомиелита после 15 сеансов микрорезонансной терапии зарегистрировано резкое понижение А в крови и приближение к норме коэффициента отношения НА/А [9].

Под влиянием ЭМИ КВЧ зарегистрировано увеличение содержания серотонина в лейкоцитах периферической крови крыс [36]. Стресс-лимитирующие системы, к которым относят серотонинергическую систему угнетают высвобождение КА из нервных окончаний и надпочечников и действие этих моноаминов, тем самым, ограничивая чрезмерную стресс-реакцию и ее повреждающее действие на организм. Показано также, что многие медиаторы стресс-лимитирующих систем играют ключевую роль в предупреждении агрегации и адгезии тромбоцитов, что может определять их защитное действие при стрессорной активации тромбообразования и препятствовать развитию ДВС-синдрома. Именно такие эффекты и были обнаружены в нашем исследовании при воздействии ЭМИ КВЧ на организм животных [5].

Таким образом, учитывая, что под непосредственное действие излучения попадают микрососуды кожи, клетки крови, ДНЭС, а также нервные окончания и периферические нервы кожи, процесс восприятия ЭМИ КВЧ организмом, видимо, носит системный характер и может включать реакции со стороны нервной, иммунной, эндокринной систем организма с изменением содержания или синтеза биологически активных веществ (гормонов, цитокинов, нейромедиаторов), что играет существенную роль в механизмах регуляции процессов микроциркуляции крови.

Результаты настоящего литературного обзора дают объяснение эффективному использованию ЭМИ КВЧ для лечения заболеваний, в патогенезе которых отмечаются выраженные нарушения процессов микроциркуляции. Вместе с тем, необходимы дополнительные исследования влияния ЭМИ КВЧ как на процессы микроциркуляции, так и на механизмы управления микрокровооток, так как это предполагает большие перспективы для понимания механизмов биологического действия этого физического фактора. В связи с этим необходим адекватный выбор показателей и методов исследования.

Существует множество методов изучения микрогемодинамики, среди которых различают офтальмоскопию, микроскопию бульбарной конъюнктивы, микроскопию сосудов кожи, ногтевого ложа. Данные методы позволяют оценить структуру и диаметр микрососудов, состояние их тонуса, выявить различные вне- и внутрисосудистые изменения. Кроме того, существуют методы оценки тканевого кровотока, в частности, окклюзионная плетизмография, вымывание радиоактивных изотопов, введение меченых микросфер, флюорисцентная микроангиография, и т.д. Однако некоторые из них связаны с применением дорогостоящей техники, а другие позволяют лишь косвенно оценить особенности регуляции периферической гемодинамики [37]. Вместе с тем, механизмы управления микрокровооток позволяет исследовать метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ). Благодаря последним достижениям компьютерных технологий в области спектрально анализа колебаний кровотока микрососудистого русла и разработке адекватных функциональных проб, стало возможным неинвазивно с помощью ЛДФ выделить и проанализировать регуляторные факторы, контролирующие микрогемодинамику. Многие авторы указывают, что этот метод является объективным, точным благодаря возможности длительной экспозиции, воспроизводимым и высокочувствительным по отношению к малейшим изменениям кровотока [37]. Современные лазерные доплеровские флоуриметры позволяют исследовать целый ряд обменно-динамических процессов в системе микроциркуляции и хорошо зарекомендовали себя как в клинической практике, так и в экспериментальных исследованиях. Однако сведения об изменениях показателей микроциркуляции под воздействием ЭМИ КВЧ, исследуемых методом ЛДФ, единичны. В частности, методом ЛДФ было выявлено, что включение мм-терапии в лечение больных с острым панкреатитом привело к раннему восстановлению системной микроциркуляции и ее реституции к моменту клинического выздоровления, что выразилось в исчезновении компенсаторных механизмов гемомикроциркуляции на системном уровне и снижении степени микроциркуляторной недостаточности до первой степени в сигнальной точке поджелудочной железы [8]. Необходимо отметить, что метод ЛДФ позволяет получить не только детальный анализ состояния микроциркуляции, но и оценить механизмы активной и пассивной модуляции тканевого кровотока, что является новым в исследовании процессов микроциркуляции. Использование фармакологических проб в рамках данного метода позволит расширить представления о влиянии ЭМИ КВЧ на функциональное состояние эндотелия и, следовательно, выявить возможные механизмы влияния ЭМИ КВЧ на микроциркуляторное русло посредством

сравнения ответа на введение специфических агентов, вызывающих эндотелий-зависимую и эндотелий-независимую вазодилатацию. В связи с вышеизложенным представляется актуальным изучение изменений параметров микроциркуляторного русла при воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ методом ЛДФ.

#### ВЫВОДЫ

1. Согласно клиническим и экспериментальным литературным данным, низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ оказывает выраженное влияние на процессы микроциркуляции.
2. Результаты данного литературного обзора могут служить основой для дальнейшего экспериментального исследования влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на процессы микроциркуляции у человека и животных методом лазерной доплеровской флоуметрии.

#### Список литературы

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. Субботина Т.И., Яшин А.А. Экспериментально-теоретическое исследование КВЧ-облучения открытой печени прооперированных крыс и поиск новых возможностей высокочастотной терапии // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5, № 1. – С. 122-126.
3. Бецкий О.В., Кислов В.В., Лебедева Н.Н. Миллиметровые волны и живые системы. – М.: «САЙНС-ПРЕСС», 2004. – 107с.
4. Киричук В.Ф., Волин М.В., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Тупикин В.Д. Тромбоциты в реакциях системы гемостаза на КВЧ-воздействие. – Саратов: Изд-во Саратовского мед. ун-та, 2002. – 190 с.
5. Чуян Е.Н. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти // Автореф. дис... докт. біол. наук. – Київ, 2004. – 40 с.
6. Чуян Е.Н., Джелдубаева Э.Р. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения. - Симферополь: «ДИАЙПИ», 2006. – 326 с.
7. Pakhomov A.G., Prol U.K., Mathur S.P., Ak'el Y., Camp-belt C.B.C. Search for frequency-specific effects of millimeter-wave radiation on isolated nerve function // Bioelectromagnetics. – 1997. – Vol. 18. – P. 324-334
8. Букатко В.Н., Данилова С.А. Лазерная доплеровская флоуметрия в изучении эффектов миллиметровой волновой терапии // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2004. – N 4(36). – С. 28-39.
9. Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины / Под ред. С.П. Ситько. – Киев: ФАДА, ЛТД, 1999. – 199 с.
10. Ефанов О.И., Волков А.Г. Влияние КВЧ-терапии различных длин волн на клиническое течение пародонтита // Сб. докл. 11-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 43-44.
11. Люсов В.А., Волов Н.А., Лебедева А.Ю. и др. Некоторые механизмы влияния миллиметрового излучения на патогенез нестабильной стенокардии // Сб. докл. 10-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН, 1995. – С. 26-27.
12. Смирнова М.Ю., Волов Н.Л., Лебедева А.Ю. Состояние микроциркуляторного русла у больных инфарктом миокарда на фоне терапии ЭМИ ММД. - 13 Российский симпозиум с междунар. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии», Москва, 1—3 декабря 2003 г., С.72.

13. Головачева Т.В., Петрова В.Д., Паршина С.С., Афанасьева Т.Н., Ляльченко И.Ф., Карченкова Е.В. Электромагнитное излучение миллиметрового диапазона как метод патогенетической терапии заболеваний сердечно-сосудистой системы // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2000. - №1(17). – С.18-25.
14. Киричук В.Ф., Сушкова М.А., Суворов А.П. миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2002. - №2(26). – С.10-19.
15. Киричук В.Ф., Малинова Л.И., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Тупикин В.Д. Гемореология и электромагнитное излучение КВЧ-диапаона. – С.: Изд-во Саратовского мед. университета, 2003. - 188с
16. Рыбалко С.Ю., Кацев А.И., Бисюк Ю.А., Горлов А.А., Чирский Н.В. Низкоинтенсивное ЭМИ КВЧ диапазона ускоряет СОЭ и изменяет агрегацию эритроцитов человека // Таврический медико-биологический вестник. – 2002. – Т. 5, № 4. – С. 124 – 127.
17. Логинов В.В., Русяев В.Ф., Туманянц Е.Н. Влияние электромагнитного излучения КВЧ на эритроциты человека (in vitro) // Миллиметровые волны в биологии и медицине – 1999. – № 1 (13). – С.17-21.
18. Авдеев В.С., Калужный И.И., Креницкий А.П., Майбородин А.В., Тупикин В.Д. Изменение метаболических процессов в крови животных (in vitro) под воздействием ЭМИ КВЧ МСПИ O<sub>2</sub> // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2003. – № 3 (31). – С. 21-28.
19. Киричук В.Ф., Паршина С.С., Головачева Т.В. ЭМИ ММД в лечении стенокардии: отдаленные результаты. – Сб. докл. 11 Российского симпозиума с Междунар. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии». – М.: МТА КВЧ. – 1997. – С. 20-22.
20. Родштат И.В. Новые физиологические подходы к оценке КВЧ-воздействия на биологические объекты // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. - № 3. – С. 11-16.
21. Головачева Т.В. Хронобиологические аспекты КВЧ-терапии ишемической болезни сердца // Сб. докл. 11-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 19-20.
22. Воронков В.Н., Хижняк Е.П. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ // Сб. докл. между. симпоз. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. – С. 635-638.
23. Бецкий О.В., Яременко Ю.Г. Кожа и электромагнитные волны // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1998. – №1 (11). – С. 3-14.
24. Воронков В.Н., Загородний С.В., Хижняк Е.П., Садовников В.Б., Зискин С.М. Ультроструктурные изменения кожи мышц, вызванные КВЧ-облучением // Сб. докл. 11-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 117-119.
25. Хижняк Е.П., Бецкий О.В., Воронков В.Н. и др. О роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ-облучении // Сб. докл. Междунар. симпозиума «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине». – М.: ИРЭ АН СССР, 1991. – Т. 3. – С.630-635.
26. Лукьянов В.Ф., Гончарова Л.Н., Синицин Н.И., Голант М.Б. Изменение флюоресценции мембран эритроцитов и энергетического обмена эритроцитов больных ишемической болезнью сердца при лечении КВЧ // Миллиметровые волны в медицине и биологии. – М.: ИРЭ АН СССР, 1989. – С. 51-55.
27. Логинов В.В., Русяев В.Ф., Туманянц Е.Н. Влияние электромагнитного излучения КВЧ на эритроциты человека (in vitro) // Миллиметровые волны в биологии и медицине – 1999. – № 1 (13). – С.17-21.
28. Логінов В.В., Русяєв В.Ф., Шпак С.І., Шпак В.С. Вплив електромагнітного випромінювання надвисоких частот на коагуляційні та фібринолітичні властивості крові in vitro // Фізіол. журн. – 2001. – Т. 47. - № 6. – С. 35-38.
29. Антоняк Г.Л. Роль протеолитических ферментов в функциональной активности нейтрофильных гранулоцитов // Успехи современной биологии. – 1999. – Т. 119, № 5. – С. 476-486.
30. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. – М.: Медицина, 2005. – 254 с.

31. Струсов В.В., Уткин Д.В., Дремучев В.А. Хирургические аспекты применения КВЧ-терапии // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1995.– № 6. – С. 48-49.
32. Новоселова Е.Г., Огай В.Б., Синотова О.А., Глушкова О.В., Сорокина О.В., Фесенко Е.Е. Влияние миллиметровых волн на иммунную систему мышей с экспериментальными опухолями // Биофизика. – 2002. – Т. 47, вып.5. – С. 933-942.
33. Julia C. McKey, Frank S. Prato, Alex W. Thomas A literature review: the effects of magnetic field exposure on blood flow and blood vessels in the microvasculature // Bioelectromagnetics. - 2007. – Vol.28. – P. 81-98.
34. Чаяло П.П., Грубник Б.П., Куценко В.А. Биохимическое обоснование применения микроволновой резонансной терапии при гастродуоденальной патологии // Фізика живого. – 2002. – Т. 10, N2. – С.113-118.
35. Ляпина Л.А., Пасторова В.Е. Кудряшов Б.А. Комплексные соединения гепарина и их физиологическое значение // Успехи физиол. наук. – 1989. – Т. 20, № 1. – С. 90-105.
36. Чуян Е.Н., Махонина М.М. Роль опиоидных пептидов в изменении концентрации цитокинов в плазме крови крыс при действии низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2006. – Т. 19 (58). – № 2. – С. 131-136.
37. Метод лазерной доплеровской флоуметрии в кардиологии. Пособие для врачей // Московская медицинская академия им. И.М. Сеченова: Под ред. Маколкин В.И., Бранько В.В., Богданова С.А. и др. – М.:Россельхозакадемия, 1999. – 48 с.

Чуян О.М., Трибрат Н.С. Вплив ЕМВ НВЧ на процеси мікроциркуляції // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2008. – Т. 21 (60). – № 1. – С. 156-166.

У статті наведено огляд літературних даних що до впливу низькоінтенсивного ЕМВ НВЧ на процеси мікроциркуляції та представлені можливі механізми цього впливу.

Ключові слова: мікроциркуляція, низькоінтенсивні ЕМВ НВЧ, метод ЛДФ.

Chuyan E.N., Tribirat N.S. Influence EMV VLF on processes of microcirculation // Uchenye zapiski Tavricheskogo Natsionalnogo Universiteta im. V. I. Vernadskogo. Series «Biology, chemistry». – 2008. – V.21 (60). – № 1. – P. 156-166.

In the article is presented a literature review about influence a lowintensity EMR VLF on the process by the microcirculation and are presented a possible mechanisms of this influence.

Keywords: microcirculation, lowintensity EMV VLF, method LDF

Пост упила в редакцію 26.03.2008 г.