

УДК 612.821

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО ДИАПАЗОНА НА ПРОЦЕССЫ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ

Трибрат Н.С., Чуян Е.Н., Раваева М.Ю.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь, Украина
e-mail: tribratnatalia@rambler.ru*

В статье приведен обзор литературных данных о влиянии электромагнитных излучений различных диапазонов на процессы микроциркуляции крови.

Ключевые слова: электромагнитные излучения, микроциркуляция крови.

В настоящее время к изучению вопросов системы микроциркуляции крови, а также к проблемам влияния на процессы микрогемодинамики факторов различной природы и интенсивности проявляется большой интерес. Это обусловлено тем, что система микроциркуляции крови принимает непосредственное участие в поддержании местного гомеостаза, обеспечении оптимального функционирования тканей и органов, как в норме, так и при патологии и в связи с этим может являться одним из основных звеньев в цепи ответных реакций организма на действие различных факторов. Среди таких факторов наиболее интенсивно изучаются электромагнитные излучения (ЭМИ) различных диапазонов, поскольку известно, что они обладают выраженной биологической активностью, а эффекты их действия могут быть обусловлены, в том числе, и изменением функционального состояния системы микроциркуляции крови.

Предпринималось множество попыток исследовать изменения параметров микрогемодинамики, когда ткань и/или кровеносные сосуды подвергались экспериментальному влиянию ЭМИ [1 – 9]. Такие экспериментальные данные имеют важное значение, поскольку могут привнести свой вклад в более глубокое понимание механизмов действия ЭМИ на процессы микроциркуляции и, соответственно, на течение многих процессов в целом организме. Следовательно, выявление закономерностей действия ЭМИ на периферическое кровообращение должно послужить основой эффективного применения этого физического фактора для профилактики и лечения функциональных и органических нарушений различного генеза.

Несмотря на многочисленные исследования, изучающие действие ЭМИ на тканевой кровоток, до сих пор нет единого мнения по этому вопросу. Так, некоторые авторы указывают на то, что действие ЭМИ приводит к вазорелаксации [1, 10, 11] и увеличению потока крови [12 – 15], другие источники сообщают, что ЭМИ оказывают, напротив, вазоконстрикторное действие [2, 16] и снижению

потока крови [17, 18], третьи констатируют отсутствие эффекта ЭМИ [3, 4, 8, 19, 20 – 22]. Следовательно, необходимо исследовать возможные причины этих противоречий. Поэтому целью данной работы является систематизация существующих данных и выявление закономерностей действия ЭМИ на микроциркуляторные процессы.

В настоящее время под объектив исследователей попадают важнейшие функции системы микроциркуляции, к которым относят, во-первых, стабилизацию кровяного давления при развитии местных регуляторных приспособлений [23 – 27], что требует изучения влияния ЭМИ на кровяное давление. Однако давление крови невозможно изучать без рассмотрения динамики потока крови, поэтому немалая толика исследований посвящена изучению сосудодвигательных функций ЭМИ [28 – 31].

Во-вторых, микроциркуляторная система призвана обеспечивать гематотканевой обмен, согласно изменяющимся метаболическим потребностям тканей, следовательно, необходимо также рассматривать возможность действия ЭМИ и на этот аспект [21, 32, 33].

В виду того, что в системе микроциркуляции кровь представлена в виде гетерогенной системы, следовательно, клетки крови и их взаимоотношения с сосудистой стенкой также могут модулировать микроциркуляторные процессы, а ЭМИ, оказывая влияния не клетки крови, могут опосредовать через них свое действие на микрогемодинамику [34 – 35].

Известно, что характер взаимодействия электромагнитной волны с биологическими объектами во многом определяется параметрами излучения: частотой или длиной волны, скоростью распространения, когерентностью колебаний, работой в импульсном или непрерывном режиме, частотой модуляции, поляризацией волны. Поэтому естественно, что при сравнении данных о действии ЭМИ на процессы микроциркуляции эти показатели должны учитываться.

1. Влияние постоянных магнитных полей на процессы микроциркуляции

Большинство исследований, посвященных изучению влияния ЭМИ на периферическое кровообращение, связано с действием статических или постоянных магнитных полей (ПМП).

S. Хи с соавторами (12) выявили пороговый эффект действия ПМП. В частности, было показано, что порогом действия ПМП, вызывающего изменения в микрогемодинамике, является индукция 1 мТл. После 10-минутного воздействия на область большеберцовой кости анестезированных мышей наблюдалось увеличение перфузии на 20-45%. Вероятно, именно этим можно объяснить отсутствие эффекта при воздействии ПМП с магнитной индукцией 0,1 мТл на кожный капиллярный кровоток человека [3] и 0,3 мТл [12] на микрососуды большеберцовой области крыс, поскольку такие интенсивности являются подпороговыми.

Некоторые исследователи обнаружили, что ПМП способствуют увеличению потока крови. Так, при действии ПМП 10 мТл скорость кровотока в большеберцовой кости крыс увеличивалась на 15% во время воздействия и на 45% после окончания воздействия [12]. В исследовании кровотока в ткани мочки уха у кроликов, предварительно подвергавшихся обезболиванию, при действии ПМП индукцией 0,25 Тл в течение 40 минут методом микрофотоэлектрической

плетизмографии зарегистрировано увеличение потока крови на 20–40 %, начиная с 10-ой минуты воздействия [15]. Несколько позже, вазодилатирующий эффект был подтвержден для ПМП индукцией 0,35 Тл в результате увеличения чувствительности барорецепторов, модулирующих периферическую гемодинамику [36]. Увеличение потока крови также было зафиксировано для ПМП 180 мТл при непрерывном воздействии на протяжении 4-х недель на кожный кровоток ушной раковины предварительно анестезированных кроликов [13], а также для ПМП 8 Тл с экспозицией 20 минут на микрокровоток дорсальной складки крыс, предварительно подвергнутых обезболиванию. Однако в последнем случае увеличение кровотока было очень кратковременным – в течение 5-ти минут после воздействия ПМП и, по мнению авторов [14], явилось компенсаторной реакцией на снижение кровотока, зарегистрированное во время облучения.

Ряд исследований, наоборот, указывает на снижение интенсивности кровотока при действии ПМП. Так, 45-минутное воздействие ПМП 400 мТл на тканевой кровоток человека, исследуемый методом лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), способствовало снижению его интенсивности. S. Ichioka (14), изучая воздействие ПМП высоких интенсивностей, исследовал действие ПМП 8 Тл на периферическую гемодинамику в микрососудах кожи спины крыс методом витальной микроскопии. Было показано, что при действии ПМП наблюдалось угнетение кожной микроциркуляции как при 5-тиминутном [18], так и при 20-тиминутной экспозиции [17]. Наряду со снижением потока крови, было зарегистрировано и снижение температуры тела, что, по мнению авторов, явилось причиной применения анестезии. Кроме того, ПМП 8 Тл вызывало испарение влаги с поверхности тела, что также могло быть причиной снижения температуры во время воздействия. Однако в другом исследовании на грызунах было показано, что действие ПМП 1,5 Тл с градиентом 60 м^{-1} в течение 3-х часов не изменяло температуру тела [37].

Некоторые авторы указывают на отсутствие эффекта при действии ПМП на сосудодвигательные реакции. Так, воздействие ПМП как с низкой индукцией 50 мТл в течение 15-ти минут [38] и 60 мТл в течение 1 часа [39], так и высокой индукцией 8 Тл на протяжении 1 часа у человека [40] не изменяло параметров кровяного давления. Изменения в интенсивности потока крови также не были зарегистрированы при действии ПМП индукцией 27 мТл в течение 48 часов [41], 20-тиминутной экспозиции 85 мТл [4] получасового воздействия 80 мТл [42] и 100 мТл на протяжении 36 минут [3]. При изучении эффекта действия ПМП (10000 мкТл в течение 36 минут) на ограниченные участки рук здоровых добровольцев не было показано никаких видимых изменений в кожном кровообращении [3]. По мнению некоторых авторов [3, 28], отсутствие эффекта при действии ПМП, вероятно, связано с тем, что воздействие проводилось на здоровых людей с нормальным сосудистым тонусом.

Выявлена обратно пропорциональная зависимость между геомагнитной активностью и сосудодвигательными реакциями со стороны капиллярного русла. В частности, J. Gmitrov (2005) методом микрофотоэлектрической плетизмографии выявил, что у кроликов в дни интенсивной геомагнитной активности происходило снижение чувствительности барорецепторов и, как следствие, интенсивности тканевого кровотока.

Вопрос о влиянии полюса магнита (0,4 Тл в области ладонной части пальца, 87,9 мТл на дорсальной стороне пальца) на кожную гемодинамику изучали Н. Мауаровитц и Е. Groseclose (3), в исследованиях которых было показано, что полярность магнита не оказывает влияние на гемодинамический эффект.

В некоторых исследованиях показано, что эффекты действия ПМП зависят не только от параметров поля, а во многом могут определяться свойствами биологического объекта. В частности, Н. Окано и С. Охкубо было проведено несколько серий экспериментов с применением различных параметров ПМП, результаты которой свидетельствуют о том, что направленность сосудодвигательной реакции определяется исходным состоянием сосудистого тонуса [29, 30, 31, 46 – 48]. Также, методом микрофотоэлектрической плетизмографии было выявлено, что ПМП (1,5 и 10 мТл) [36, 44] способствовало нормализации сосудистого тонуса в мочке уха кролика, приводя к его увеличению в случае исходно сниженного тонуса и, наоборот, к снижению в случае первоначально повышенного. Аналогичные изменения были зафиксированы и при более высоких значениях индукции ПМП (70 мТл) в области микрососудов скелетных мышц крыс методом витальной микроскопии [26].

Разнонаправленное действие ПМП обнаружено и в экспериментальных работах с применением препаратов, оказывающих действие на сосудистый тонус, методами витальной микроскопии и окклюзионной плетизмографии. Так, при экспериментальном моделировании высокого тонуса в микрососудах кожи у кроликов введение вазоконстрикторов (норадреналина или ингибитора NO-синтазы) ПМП 1 мТл вызывало расширение сосудов и, как следствие, увеличение потока крови и снижение давления, в то время как при введении вазодилататоров, в частности, ацетилхолина или блокаторов кальциевых каналов, под действием ПМП тех же параметров наблюдалось сужение сосудов и увеличение кровяного давления и, соответственно, снижение потока крови [29, 47].

Аналогичные изменения были зарегистрированы и в периферических сосудах мочки уха [29] и области шеи кроликов [26] при введении норпинефрина, когда действие ПМП индукцией 5,5 мТл приводило к снижению давления крови, зарегистрированного методом микрофотоэлектрической плетизмографии. При таких же параметрах ПМП введение никардипина (ингибитора кальциевых каналов) вызывало увеличение сосудистого тонуса в области шеи кроликов, в то время как в области таза при действии ПМП подобного эффекта не наблюдалось. Авторы отметили, что ПМП с локализацией в области шеи, способствует повышению чувствительности барорецепторов через 40-60 мин после воздействия.

Гомеостатическое действие ПМП было подтверждено и Н. Окано [30] в экспериментах с использованием резерпина, вызывающего гипотонию. Воздействие ПМП 25 мТл в течение 12-ти недель существенно сократило действие резерпина, нормализуя кровяное давление, в то время как ПМП 10 мТл не оказывало воздействия на периферический кровоток.

Серия экспериментов, проведенная на крысах-гипертониках, также продемонстрировала гомеостатический эффект ПМП различных параметров, оказывающего гипотензивное действие [29 – 31, 45, 46, 48]. Интересны результаты

исследования, проведенного на крысах с наследственной гипертонией, подвергавшихся действию ПМП индукцией 10 и 25 мТл в течение 12-ти недель. Гормональный анализ выявил снижение уровня ангиотензина II и альдостерона до 65,3% и 39,6% соответственно при действии ПМП 10 мТл; при 25 мТл наблюдалось снижение уровня ангиотензина II до 63,8%, альдостерона – до 36,6% [35].

Некоторые литературные данные свидетельствуют о влиянии ПМП на транскапиллярный обмен, изучаемый на модели гемато-энцефалического барьера (ГЭБ). Так, было показано, что ПМП высоких интенсивностей увеличивало проницаемость ГЭБ. Например, воздействие ПМП (0,15 Тл; 23,2 минуты) [33], ПМП (0,15 Тл двукратно по 23,2 минуты) [49] и ПМП (1,5 Тл и 1,89 Тл двукратно по 22,5 минуты) [32] приводило к значительному увеличению проницаемости ГЭБ.

Таким образом, большинство исследований, представленных в доступной, в основном зарубежной, литературе свидетельствуют о том, что действие ПМП в диапазоне от 1 мТл до 8 Тл длительностью от 10 минут до 12 недель оказывает влияние на различные аспекты микрогемодинамики, в частности на кровное давление, поток крови, особенности транскапиллярного обмена. Эффекты действия ПМП определяются как параметрами поля, причем максимальное модулирующее действие на сосудодвигательные функции оказывают умеренные интенсивности ПМП (высокие уровни интенсивности ПМП способствуют угнетению микроциркуляции и увеличению проницаемости ГЭБ), так и свойствами биологического объекта, в частности, исходным состоянием сосудистого тонуса. ПМП различных параметров оказывают гомеостатическое действие, как на сосудодвигательные реакции, так и на поток крови. Возможно, именно с этим зачастую и связаны разнонаправленные реакции микроциркуляторных процессов на действие ПМП, зарегистрированные различными исследователями.

2. Влияние переменных электромагнитных полей на процессы микроциркуляции крови

2.1. Влияние ЭМИ экстремальнонизких, сверхнизких и низких частот на процессы микроциркуляции

Было предпринято несколько попыток исследовать действие ЭМИ экстремальнонизких, сверхнизких и низких частот (ЭНЧ, СНЧ, НЧ) на процессы микрогемодинамики. При этом, большинство экспериментальных исследований свидетельствуют об отсутствии выраженных эффектов при действии ЭМИ указанных диапазонов на кровяное давление [22]. Так, методом ЛДФ не выявлено влияния на кожную микроциркуляцию и температуру кожи стопы человека при использовании сочетанного действия ЭНЧ высокоинтенсивного (10 Гц; 8,4 мТл) и низкоинтенсивного (30 Гц; 0,1 мТл) ЭМИ в течение 30-ти минут. Авторы предположили, что отсутствие эффекта, возможно, связано с кратковременным и однократным воздействием этого физического фактора [19]. При действии ЭМИ ЭНЧ (50 Гц, 96 мТл) также не было зарегистрировано изменение кровотока в мозге крыс [20].

В эксперименте с имплантированной в мозг крыс опухолью исследовали влияние ЭМИ ЭНЧ (50 Гц; 03 мТл и 3 мТл, курсовое воздействие в течение 18 дней) на процессы микроциркуляции. На 15-е сутки экспериментального воздействия ЭМИ зарегистрировано, что микроциркуляторные параметры, включая сосудистую

плотность, средний диаметр сосудов оставались неизменными при сравнении с группой плацебо [35].

Интересно, что ЭМИ ЭНЧ (225 мГл, экспозиция 30 и 60 минут) не изменяют амплитудно-частотных параметров колебаний тканевого кровотока, измеренного методом ЛДФ с ацетилхолиновой пробой [8].

Некоторые экспериментальные данные демонстрируют наличие выраженных эффектов действия ЭМИ ЭНЧ на взаимодействие клеток крови с микроваскулярным эндотелием. Так, было показано, что однократное воздействие ЭМИ ЭНЧ (50 Гц; 30 мГл) приводит к значительному увеличению взаимодействия лейкоцитов с клетками эндотелия [34]. Аналогичные результаты получены у мышей при однократном и курсовом (в течение 15 дней) воздействии ЭМИ ЭНЧ (50 Гц) [50]. А. Ushiyama, С. Ohkubo показано, что пороговым уровнем для увеличения адгезии лейкоцитов к эндотелиальной выстилке для 50 Гц ЭМИ ЭНЧ при однократном воздействии составляет индукция - 3 мГл, в то время как при курсовом воздействии – 1 мГл.

Изучению действия низкочастотного ЭМИ (32 и 48 мГл; 3,8 кГц) посвящено исследование S. Ueno (2), которым было описано снижение потока крови в коже человека, зарегистрированное методом ЛДФ. Автор предположил, что уменьшение потока крови, зафиксированное уже через 6-8 с после начала воздействия обусловлено «защитной» вазоконстрикторной реакцией организма в ответ на действие ЭМИ и высказал мнение, что в механизмах действия МП на процессы микроциркуляции большое значение принадлежит нервной, в частности кортико-гипоталамо-бульбарной системе.

Таким образом, в доступной литературе имеются сведения о том, что ЭМИ ЭНЧ не оказывают воздействие на сосудодвигательную функцию микрососудов. В то же время, точкой приложения действия ЭМИ ЭНЧ, СНЧ и НЧ в системе микроциркуляции может быть функциональное состояние клеток крови, что позволяет рассматривать действие этого фактора в качестве вероятного триггера, модулирующего лейкоцитарно-эндотелиальные взаимодействия.

2.2 Влияние ЭМИ высокочастотного диапазона на процессы микроциркуляции

Большое количество исследований, проведенных в последние десятилетия, посвящено изучению ЭМИ высокочастотного диапазона (ВЧ) на процессы микроциркуляции.

Существуют весьма разноречивые данные о влиянии ЭМИ ВЧ на микроциркуляторные процессы. Так, некоторые источники сообщают о том, что ЭМИ ВЧ способствует увеличению потока крови [51, 52], причем большинство из них было получено при тепловом воздействии ЭМИ ВЧ высокой интенсивности [53, 54].

Однако показано, что нетепловое действие ЭМП ВЧ также влияет на показатели тканевого кровотока и способствует изменению проницаемости ГЭБ [55, 56]. В частности, ЭМП ВЧ (915 МГц) способствовало увеличению проницаемости сосудистой стенки для альбуминов в мозге у крыс [57]. Необходимо отметить, что воспроизвести цитируемые результаты многим исследователям не удалось [5 – 7, 58], в связи с чем, авторами было сделано заключение, что отсутствие эффекта,

возможно, обусловлено низкими уровнями среднего удельного поглощения излучения тканями мозга (ниже, чем 2,0 Вт/кг).

Большинство исследований, посвященных рассмотрению влияния ЭМИ ВЧ на сосудодвигательные реакции, выявили четкую зависимость вазодилаторного эффекта от времени и частоты воздействия. Так, М. Miura, J. Okada (10), подвергая область перепонки лягушки воздействию ЭМИ ВЧ разных параметров, выявили, что наибольшим вазодилаторным действием обладают ЭМИ с частотами в диапазоне от 10 до 100 МГц с частотой модуляции 10 кГц, при этом дилатация сосудов происходила медленно, выходя на плато через 60 минут.

Н. Mayarovitz и Р. Larsen [59] описали эффекты действия ЭМИ ВЧ (27,12 МГц, 600 имп/с) на микроциркуляцию кожи человека. Методом ЛДФ было выявлено, что 45-минутное воздействие ЭМИ ВЧ увеличивает капиллярный кровоток в коже руки, находящейся под воздействием указанного фактора, на 29%, в то время как кровоток в коже руки, не подвергавшейся действию поля, оставался без изменений. Позже (60) теми же авторами было показано, что при действии ЭМИ ВЧ (27,12 МГц, 600 имп/с, 0,1 мТл), капиллярный кровоток в большей степени увеличивался на участке кожи вокруг язвы у больных сахарным диабетом.

Р. Huber [61] сообщил, что воздействие ЭМИ (900 МГц) с экспозицией 30 минут приводило к увеличению кровотока в мозге испытуемых, выявленного позитронно-эмиссионным сканированием. В то же время, некоторые исследования сообщают о вазоконстрикторном эффекте действия ЭМИ ВЧ у людей при аналогичной частоте ЭМИ (900 МГц; 2 Вт) с экспозицией 35 минут, однако в данном случае применялась модуляция ЭМИ с частотой 217 Гц. По мнению авторов, такая ответная реакция на действие ЭМИ ВЧ обусловлена увеличением активности симпатических афферентов [16].

Наряду с этим, существуют данные [62], свидетельствующие об отсутствии влияния ЭМИ ВЧ (902 МГц, 217 Гц, экспозиция - 45 минут) на регионарный церебральный кровоток испытуемых. Другие исследования также подтверждают отсутствие эффекта при длительном облучении биообъектов ЭМИ ВЧ. В частности, проводилось изучение воздействия ЭМИ ВЧ 1,439 МГц и 1439 МГц на микрогемодинамику в мозге крыс с различными показателями коэффициента среднего удельного поглощения излучения тканями мозга - 0,6, 2,4 и 4,8 Вт/кг для острого воздействия в течение 10-ти минут и 2,4 Вт/кг для хронического экспериментального воздействия с экспозицией 1 час на протяжении 5-ти дней в течение 4-х недель. Среди показателей микроциркуляции рассматривались скорость потока крови, диаметр сосудов, лейкоцитарная активность и функционирование ГЭБ. Методом интравитальной микроскопии было выявлено, что все указанные выше показатели микроциркуляции, исследуемые в этих экспериментах, не изменялись как при остром, так и при хроническом воздействии ЭМП ВЧ [21, 63, 64].

Таким образом, данные о влиянии ЭМИ ВЧ на параметры микроциркуляции весьма неоднозначны. Влияние ЭМИ ВЧ на проницаемость ГЭБ в значительной степени определяется интенсивностью действующего поля, в то время как зависимость эффекта действия ЭМИ на сосудодвигательную активность от параметров поля не является столь определенной, приводя к различным

вазоактивным реакциям при сходных частотных параметрах, поэтому требует дальнейшего изучения.

2.3. Влияние ЭМИ сверхвысокочастотного и крайневысокочастотного диапазонов на процессы микроциркуляции крови

ЭМИ сверхвысокочастотного (СВЧ) и крайневысокочастотного (КВЧ) в настоящее время широко применяется в медицинской практике для лечения различных заболеваний, в патогенезе которых, в том числе, присутствуют и изменения процессов микроциркуляции.

Исследованиям эффектов влияния ЭМИ СВЧ и КВЧ диапазонов на систему микроциркуляции крови посвящены в основном клинические исследования. В частности, ответная реакция со стороны сосудов на действие дециметрового (ДМВ)-воздействия заключалась в увеличении кровотока за счет расширения сосудов и сопровождалось повышением капиллярного давления, проницаемости сосудов и, как следствие, интенсификацией обмена веществ [65, 66] и усилением регенерации поврежденных тканей [66, 67].

Представлены результаты изменения гемодинамических показателей у больных гипертонической болезнью в процессе ДМВ-терапии с воздействием на воротниковую область и область проекции почек [68, 69] и сделан вывод о гипотензивном действии изучавшегося фактора.

В работе Е.И. Сорокиной и А.И. Крупенникова [70] было показано улучшение периферического кровообращения по результатам капилляроскопии и реовазографии при воздействии ДМВ на грудной отдел позвоночника у больных остеохондрозом и стабильной стенокардией.

Экспериментальными исследованиями на крысах с моделированным инфарктом миокарда показано, что ДМВ-воздействие на область сердца повышает кровенаполнение сосудов микроциркуляторного русла миокарда и скорость кровотока в них, увеличивает количество функционирующих сосудов [67].

Отчетливо проявилась однонаправленность вазодилатирующих реакций при воздействии ДМВ разной локализации: на область сердца и рефлекторно-сегментарную зону C_v — Th_{iv} , что свидетельствует не о местном, а о генерализованном характере ответной реакции всего организма. Генерализованная вазодилатация, вызванная ДМВ, по-видимому, является одним из механизмов снижения периферического сосудистого сопротивления, обычно компенсаторно повышенного при сердечной недостаточности даже в начальных стадиях [71]. По мнению авторов, определенная роль в перестройке периферической и регионарной гемодинамики под влиянием воздействий ДМВ принадлежит изменениям вегетативной регуляции — ослаблению симпатических влияний и усилению парасимпатических, приводя к снижению тонуса артериолярных и веноулярных отделов микроциркуляторного русла.

Применение в медицинской практике ЭМИ сантиметрового диапазона приводит к усилению регионарной гемо- и лимфодинамики за счет увеличения скорости кровотока, количества функционирующих капилляров и расширения микрососудов [72].

Ряд исследователей [73 – 75] описывают положительное влияние КВЧ-терапии

на микроциркуляцию, в частности, снижение "конъюнктивного индекса", уменьшение диаметра венул, ускорение кровотока [76]. По данным инфракрасной термографии, мм-терапия улучшает состояние микроциркуляции в тканях в патологическом очаге [77]. В процессе КВЧ-терапии наблюдалось увеличение кровотока в зоне поражения, начиная с первых минут сеанса лечения, которое сохранялось длительное время. В других 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, исчезновении отека, увеличении функциональных капилляров [78, 79].

Расстройства микроциркуляции лежат в основе патогенеза сердечно-сосудистых заболеваний, для лечения которых давно и успешно применяется КВЧ-терапия. М.А. Ронкин и др. [75] выявили выраженный положительный вазотропный эффект КВЧ-терапии в экспериментальном исследовании и рекомендовали ее применение при заболеваниях, в патогенезе которых имеют место гемодинамические расстройства [80].

В.А. Люсовым с соавторами [81] было отмечено улучшение микроциркуляции в сердечной мышце у больных нестабильной стенокардией, получавших курс КВЧ-терапии. Методом бульбарной биомикроскопии глаза у больных ишемической болезнью сердца, острым инфарктом миокарда было выявлено, что на фоне мм-терапии наблюдалось значительное снижение общего конъюнктивного индекса, индекса сосудистых и внутрисосудистых изменений, увеличение калибра артериол, числа функционирующих петель лимба, на фоне чего происходило уменьшение извитости и неравномерности сосудов различного калибра и, как следствие, значительное улучшение тканевой перфузии [82, 83]. 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 [80, 84]. В другом исследовании у больных гипертонической болезнью при лечении нарушений центральной и периферической гемодинамики, ЭМИ КВЧ способствовало снижению периферического сопротивления [85].

Методом реографии исследовали микроциркуляцию у больных некоторыми нейрососудистыми расстройствами — ангиоветодистонией, гипертонией, синдромом Рейно, получавших курс мм терапии. Авторами [86] 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.

ЭМИ КВЧ оказывает выраженное влияние на функциональные расстройства кровообращения в сосудистом бассейне органов малого таза. В пользу этого свидетельствует существенная динамика реографических показателей, характеризующих тонус сосудов и венозный отток при КВЧ-терапии [87].

Интересны результаты о влиянии КВЧ-терапии на тканевую гемодинамику, выявленные в репрезентативной точке поджелудочной железы у больных с острым панкреатитом методом ЛДФ. Было показано, что включение мм-терапии в лечение больных 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 [88].

Одним из наиболее методологически эффективных является применение ЭМИ КВЧ на рефлексогенные зоны заинтересованных органов, точки акупунктуры, соответствующие им, или зоны проекции этих органов. КВЧ–пунктура улучшает микроциркуляцию в заинтересованном суставе, происходит выравнивание градиента глубинной интегральной температуры больной и здоровой конечности, что подтверждается данными радиотермометрического исследования [89].

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 [79] 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.

Обращает на себя внимание тот факт, что ЭМИ КВЧ, также как и некоторые ЭМИ других диапазонов оказывает модулирующее действие на сосудистый тонус, в частности, понижает исходно повышенный сосудистый тонус и способствует облегчению затрудненного венозного оттока [90, 91]. Так, при КВЧ-терапии снижается тонус мелких артерий и артериол, что приводит к возрастанию количества функционирующих капилляров и увеличению их диаметра [92]. Увеличение кровенаполнения капилляров создает условия для адекватного трансапиллярного обмена [93]. Кроме того, в процессе КВЧ-терапии повышается исходно сниженный тонус вен, что приводит к сокращению их диаметра и, как следствие, к облегчению венозного оттока [94].

Таким образом, модулирующий сосудодвигательный эффект КВЧ-воздействия выражен в большей степени, вероятно, при исходно измененном состоянии сосудистого тонуса [87, 95].

2.4. Влияние ЭМИ оптического диапазона на процессы микроциркуляции крови

Известно нормализующее действие лазерного излучения на лимфо- и гемомикроциркуляцию в зоне воздействия [96, 97]. Различными методами исследования (фотоплетизмография, реовазография, осциллография и др.) было определено повышение скорости кровотока при воздействии на ткани низкоинтенсивным лазерным излучением (НИЛИ), а витальная микроскопия позволила точно установить реализацию эффекта лазерного воздействия в различных отделах микроциркуляторного русла. Было показано, что в процессе облучения в патологической ткани увеличивается число функционирующих

капилляров. Воздействие лазерным излучением на поврежденную ткань приводит к уменьшению интерстициального и внутриклеточного отека, что связано с повышением кровотока в тканях, активации транспорта веществ через сосудистую стенку, а также с интенсивным формированием сосудов, особенно капилляров. Таким образом, механизм активации регионарных микроциркуляторных процессов при действии НИЛИ заключается в увеличении количества функционирующих капилляров, ранее находившихся в резервном состоянии и/или активации ангиогенеза [98].

Методом высокочастотной ультразвуковой доплерографии было обнаружено, что воздействие видимого (385-750 нм), а также сочетанного видимого и инфракрасного (385-1700 нм) поляризованного света с интенсивностью 40 мВт/см² уже через 2 минуты после облучения пояснично-крестцовой зоны приводило к увеличению объемной скорости кровотока на 20-29%, а через 30 минут - на 35% в удаленных от места облучения тканях – коже кистей рук, что свидетельствует об улучшении микроциркуляции на системном уровне у больных сахарным диабетом 2-го типа с полинейропатией. Авторы предполагают, что световое воздействие инициирует появление в циркуляции эндогенных вазодилататоров, прежде всего, оксида азота [99].

При воздействии на открытый орган – печень непрерывным лазерным излучением с длиной волны 0,63 мкм и импульсным НИЛИ с длиной волны 0,89 мкм наблюдалось значительное увеличение кровотока в микроциркуляторном русле печени с компенсированным оттоком крови [100].

Использование в комплексном лечении нетяжелой внебольничной пневмонии НИЛИ 0,02—0,2 мДж/см² при гиперемическом типе нарушений микроциркуляции оказывало корригирующее действие на эндотелий-зависимый и нейрогенный механизмы вазорегуляции, что позволяет рекомендовать его добавление к стандартной фармакотерапии. В то же время, как применение лазерного излучения более высоких интенсивностей при аналогичной патологии, в частности 0,3—9,5 мДж/см² приводило к формированию стазического типа нарушений [101].

Можно сделать вывод, что излучение оптического диапазона, в частности НИЛИ, обладает вазотропным эффектом, причем биологический эффект определяется как интенсивностью, так и временем воздействия излучения на ткани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что ЭМИ различных диапазонов обладают выраженной биологической активностью, в том числе способствуют изменению процессов микроциркуляции. Однако сведения, касающиеся действия ЭМИ на процессы микроциркуляции крови крайне противоречивы. Так, ряд работ свидетельствует о вазодилаторном эффекте влияния ЭМИ [1, 10, 11], другие сообщают о вазоконстрикторном действии [2, 16, 17] и, наконец, третьи вообще констатируют отсутствие каких-либо эффектов [4, 8, 19 – 22].

Анализ литературных данных отечественных и зарубежных авторов позволяет утверждать, что невозпроизводимость результатов исследования может быть связана с рядом факторов.

Во-первых, известно, что величина биологического эффекта, или биотропность, связана с параметрами ЭМИ (частота, интенсивность, экспозиция, модуляция). Для решения вопроса о биологической значимости того или иного фактора важное значение имеют данные о минимальных значениях его интенсивности, при которой фиксируется биологический ответ. Однако вопрос о пороговом характере ответной реакции микроциркуляторных процессов на ЭМИ остается открытым. Вместе с тем, как показали результаты проведенных исследований, зарегистрирована биологическая активность в отношении изменения показателей микроциркуляции ЭМИ различных диапазонов достаточно низкой интенсивности [82]. Эти данные соответствуют современным представлениям о биологической эффективности сверхмалых или микродоз [102]. Выяснено также, что биологический эффект далеко не всегда возрастает с увеличением интенсивности ЭМИ, более того, применение ЭМИ высоких интенсивностей чаще вызывает негативные реакции со стороны микрососудистого русла [17]. Обращает на себя внимание также тот факт, что биологический эффект переменного ЭМИ зависит от частоты: действие ЭМИ только определенных частот вызывает биологический эффект, а на разных частотах эффект может иметь различный знак, то есть существуют «частотные окна», однако для каждой выделенной биоактивной частоты существует своя оптимальная интенсивность, при которой фиксируется максимальный биологический эффект [82]. Продолжительность воздействия также является важным фактором, определяющим величину и характер ответной реакции, развивающейся на действие ЭМИ.

Следовательно, полученные в ряде работ отрицательные эффекты действия ЭМИ на процессы микроциркуляции или вообще отсутствие статистически значимых результатов, могут быть связаны со сложной зависимостью биоэффективности поля от его параметров.

Во-вторых, биологическая эффективность ЭМИ зависит от свойств биологического объекта. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что изменение микроциркуляторных процессов под влиянием ЭМИ существенно зависят от особенностей биологического объекта. В экспериментальных исследованиях воздействовали на различные биообъекты: ткани и органы человека и животных (кожа конечностей [3, 4], мышцы [28] хвостовые сосуды [12] и др.), целостный организм. При этом, следует отметить, что в полной мере чувствительность к ЭМИ проявляется только у целостных организмов и значительно снижается у изолированных органов и тканей [103].

Анализ литературных данных убедительно демонстрирует зависимость изменений показателей микроциркуляции крови под влиянием ЭМИ от исходного функционального состояния биологического объекта. Большинство исследований, посвященных действию ЭМИ на периферическое кровообращение, свидетельствуют о гомеостатическом эффекте этого фактора, т.е. эффективность действия ЭМИ зависит от исходного сосудистого тонуса, приводя к его снижению

или повышению в случае исходно повышенного или сниженного соответственно. В связи с этим, у некоторых исследователей [28] сформировалось представление об отсутствии действия ЭМИ, если исходный сосудистый тонус находится в норме. Доказательством этому служат исследования, в которых не было отмечено изменения перфузии у здоровых людей при действии ПМП [4].

Кроме того, в доступной литературе нам не встретились исследования, демонстрирующие зависимость изменений процессов микроциркуляции от индивидуальной чувствительности человека и животных к ЭМИ. Однако вопрос о неодинаковой чувствительности различных биообъектов к ЭМИ перешел из теоретической в чисто практическую плоскость в связи с описанием феномена гиперчувствительности к электрическим и магнитным полям [104].

Таким образом, вполне понятно, что невоспроизводимость результатов исследования во многом определяется неодинаковой чувствительностью к действию ЭМИ человека и животных с различными индивидуально-типологическими особенностями.

В третьих, указанные противоречия могут быть вызваны использованием различной измерительной аппаратуры, различных методов для оценки показателей микроциркуляции и, как следствие, разными исследуемыми параметрами капиллярного кровотока.

Невоспроизводимость результатов исследований может быть связана и с другими причинами. В реальных условиях редко наблюдается изолированное действие одного какого-то фактора, как правило имеет место комбинированное воздействие различных факторов, суммарный эффект воздействия которых может быть различным.

В большинстве приведенных исследований, в связи с методическими особенностями исследования параметров микрокровотока на животных, использовались различные виды анестетиков, оказывающие влияние на микроциркуляторную систему [105]. Так, например, в экспериментах на животных часто использовались кетамин, пенобарбитал, уретан, пропофол, известные своим действием на сосудистую систему. Однако вопрос о воздействии ЭМИ на механизм действия анестетиков, и как следствие, суммарное действие на сосудистую систему остается открытым в настоящее время.

Следует указать еще одну возможную причину противоречивости результатов экспериментальных и клинических исследований. В большинстве исследований, в связи с методическими трудностями, измерения показателей микроциркуляции проводят после воздействия ЭМИ, однако регистрация изменения изучаемых показателей во время действия ЭМИ позволит вскрыть механизмы биологического действия этого физического фактора.

Результаты настоящего литературного обзора свидетельствуют об эффективном использовании ЭМИ КВЧ для лечения заболеваний, в патогенезе которых отмечаются выраженные нарушения процессов микроциркуляции крови, однако они носят в основном описательный характер, в то время как экспериментальный материал практически отсутствует. В связи с этим, невозможно установить механизмы действия низкоинтенсивного мм-излучения на процессы

микродинамики. Поэтому 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, с одной стороны, а, с другой, более эффективного использования мм-терапии как с лечебной целью, так и для профилактики микроциркуляторных нарушений.

ВЫВОДЫ

1. Исследования воздействия ЭМИ разных диапазонов на показатели микроциркуляции являются относительно новыми и недостаточными, а результаты исследований весьма противоречивыми и плохо воспроизводимыми.
2. Действие ЭМИ на процессы микроциркуляции зависит от параметров воздействия (длина волны, интенсивность, частота, наличие или отсутствие поляризации, модуляции, экспозиция, локализация).
3. Микроциркуляторные эффекты действия ЭМИ зависят от свойств биологического объекта и определяются исходным состоянием сосудистого тонуса, оказывая гомеостатическое действие.
4. В большинстве исследований, в связи с методическими трудностями, измерения показателей микроциркуляции проводятся после воздействия ЭМИ, однако регистрация изменений изучаемых показателей во время действия ЭМИ позволит вскрыть механизмы биологического действия этого физического фактора.
5. Результаты литературного обзора свидетельствуют об эффективности использования ЭМИ КВЧ для лечения заболеваний, в патогенезе которых отмечаются выраженные нарушения процессов микроциркуляции.
6. 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.

Список литературы

1. Smith T. Microcirculatory effects of pulsed electromagnetic fields / T. Smith, D. Wong-Gibbons, J. Maultsby // *Orthop. Res.* – 2004. – №22. – P. 80–84.
2. Ueno S. Effects of alternating magnetic fields and low-frequency electric currents on human skin blood flow / S. Ueno, P. Lövsund, P. Oberg // *Med. Biol. Eng. Comput.* – 1986. – №24. – P. 57–61.
3. Effects of permanent magnet on resting skin blood perfusion unhealthy persons assessed by laser Doppler flowmetry and imaging / H. Mayrovitz, E. Groseclose, M. Markov [et al.] // *Bioelectromagnetics.* – 2001. – №22. – P. 494–502.
4. Mayrovitz H. No effect of 85 mT permanent magnets on laser-Doppler measured blood flow response to inspiratory gasps / H. Mayrovitz, E. Groseclose, D.King // *Bioelectromagnetics.* – 2005. – №26. – P. 331–335.
5. Effects of universal mobile telecommunications system (UMTS) electromagnetic fields on the blood-brain barrier in vitro / H. Franke, J. Streckert, A. Bitz [et al.] // *Radiation Research.* – 2005. – №164. – P. 258–269.

6. Lack of effects of 1439 MHz electromagnetic near field exposure on the bloodbrain barrier in immature and young rats / M. Kuribayashi, J. Wang, O. Fujiwara [et al.] // (Bioelectromagnetics. – 2005. – №26. – P. 578–588.
7. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz / L.G. Salford, A. Brun, K. Stuesson [et al.] // Microscopy Research and Technique. – 1994. – №27. – P. 535–542.
8. Extremely low frequency pulsed electromagnetic field designed for antinociception does not affect microvascular responsiveness to the vasodilator acetylcholine / C.J. McKay, M. Corbacio, K. Tymi [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2009. – №16 – P. 138–145.
9. Role of blood flow on RF exposure induced skin temperature elevations in rabbit ears / F. Jia, A. Ushiyama, H. Masuda [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2006. – №26. – P. 163–172.
10. Miura M. Non-thermal vasodilatation by radio frequency burst-type electromagnetic field radiation in the frog / M. Miura, J. Okada // J. Physiol. – 1991. – №435. – P. 257–273.
11. Alteration of diurnal rhythms of blood pressure and heart rate to workers exposed to radiofrequency electromagnetic fields / S. Szmigielski, A. Bortkiewicz, E. Gadzicka [et al.] // Blood Press. Monit. – 1998. – №3(6). – P. 323–330.
12. Xu S. Acute effects of whole-body exposure to static magnetic fields and 50-Hz electromagnetic fields on muscle microcirculation in anesthetized mice / S. Xu, H. Okano, C. Ohkubo // Bioelectrochemistry. – 2001. – №53. – P. 127–135.
13. Xu S. Subchronic effects of static magnetic fields on cutaneous microcirculation in rabbits /S. Xu, H. Okano, C. Ohkubo // In Vivo. – 1998. – №12. – P. 383–389.
14. Biological effects of static magnetic fields on the microcirculatory blood flow in vivo: a preliminary report / S. Ichioka, M. Iwasaka, M. Shibata [et al.] // Med. Biol. Eng. Comput. – 1998. – №36(1). – P. 91–95.
15. Gmitrov J. Effect of 0.25 T static magnetic field on microcirculation in rabbits / J. Gmitrov, C. Ohkubo, H. Okano // Bioelectromagnetics. – 2002. – №23. – P. 224–249.
16. Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field / S. Braune, C. Wrocklage, C. Wrocklage [et al.] // Lancet. – 1998. – №351(9119). – P. 1857–1858.
17. High-intensity static magnetic fields modulate skin microcirculation and temperature in vivo /S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2000. – №21. – P.183–188.
18. Skin temperature changes induced by strong static magnetic field exposure / S. Ichioka, M. Minegishi, M. Iwasaka [et al.] // Bioelectromagnetics. – 2003. – №24. – P. 380–386.
19. The effects of low-dosed and high-dosed low-frequency electromagnetic fields on microcirculation and skin temperature in healthy subjects / O. Schuhfried, G. Vacariu, H. Rochowanski [et al.] // Int. J. Sports Med. – 2005. – №26. – P. 886–890.
20. Wenzel F. Cutaneous Microcirculation is not altered by a Weak 50 Hz Magnetic Field / F. Wenzel, J. Reißweber, E. David // Biomedical Engineering. – 2006. – №50(1-2). – P. 14–18.
21. Effects of acute exposure to a 1439 MHz electromagnetic field on the microcirculatory parameters in rat brain / H. Masuda, A. Ushiyama, S. Hirota [et al.] // In Vivo. – 2007. – Vol. 21. – №4. – P. 555–562.
22. Jauchem J.R. Exposure to extremely-low-frequency electromagnetic fields and radiofrequency radiation: cardiovascular effects in humans / J.R. Jauchem // Int. Arch. Occup. Environ. Health. – 1997. – №70(1). – P. 9–21.
23. Neeman M. Structural, functional, and molecular MR imaging of the microvasculature / M. Neeman, H. Dafni // Ann. Rev. Biomed. Eng. – 2003. – №5. – P. 29–56.
24. Pittman R. Oxygen transport and exchange in the microcirculation / R. Pittman // Microcirculation. – 2005. – №2. – P. 59–70.
25. Popel A. Microcirculation and hemorheology /A. Popel, P. Johnson //Ann. Rev. Fluid Mech. – 2005. – №37. – P. 43–69.
26. Segal S. Regulation of blood flow in the microcirculation / S. Segal // Microcirculation. 2005. – №12. – P. 33–45.
27. Verdant C. How monitoring of the microcirculation may help us at the bedside / C. Verdant, D. De Backer // Curr. Opin. Crit. Care. – 2005. – №11. – P. 240–244.
28. Morris C. Static magnetic fields alter arteriolar tone in vivo / C. Morris, T. Skalak // Bioelectromagnetics. – 2005. – №26. – P. 1–9.

29. Okano H. Anti-pressor effects of whole-body exposure to static magnetic field on pharmacologically induced hypertension in conscious rabbits / H. Okano, C. Ohkubo // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – №24. – P. 139–147.
30. Okano H. Effects of 25 mT static magnetic field on blood pressure in reserpine-induced hypotensive wistar-kyoto rats / H. Okano, H. Masuda, C. Ohkubo // *Bioelectromagnetics*. – 2005. – №26. – P. 36–48.
31. Okano H. Effects of 12 mT static magnetic field on sympathetic agonist-induced hypertension and hemodynamic changes in wistar rats. / H. Okano, C. Ohkubo // *Bioelectromagnetics*. – 2007. – № 28. – P. 369–378.
32. Blood-brain barrier permeability in rats is altered by exposure to magnetic fields associated with magnetic resonance imaging at 1.5 T / F. Prato, J. Wills, R. Frappier [et al.] // *Microsc. Res. Tech.* – 1994. – №27. – P. 528–534.
33. Magnetic resonance imaging temporarily alters blood-brain barrier permeability in the rat / R.R. Shivers M. Kavaliers, G.C. Teskey [et al.] // *Neurosci Lett.* – 1987. – №76(1). – P. 25–31.
34. Ushiyama A. Acute effects of low-frequency electromagnetic fields on leukocyte-endothelial interactions in vivo / A. Ushiyama, C. Ohkubo // *In Vivo*. – 2004. – №18. – P. 125–132.
35. Ushiyama A. Effects of subchronic exposure to extremely low frequency electromagnetic fields on tumor growth and angiogenesis in the mouse cranial window / A. Ushiyama, H. Masuda, C. Ohkubo // *Microcirculation annual*. – 2003. – P. 101–102.
36. Gmitrov J. Static magnetic field and verapamil effect on baroreflex stimulus-induced microcirculatory responses / J. Gmitrov // *Electromagn. Biol. Med.* – 2004. – №23. – P. 141–155.
37. Tenforde T.S. Magnetically induced electric fields and currents in the circulatory system / T.S. Tenforde // *Progress in Biophysics and Molecular Biology*. – 2005. – №87. – P 279–288.
38. Hinman M.R. Comparative effect of positive and negative static magnetic fields on heart rate and blood pressure in healthy adults / M.R. Hinman // *Clinical Rehabilitation*. – 2002. – №16. – P. 669–674.
39. Kuipers N.T. Influence of static magnetic fields on pain perception and sympathetic nerve activity in humans / N.T. Kuipers, C.L. Sauder, C.A. Ray // *Journal of Applied Physiology*. – 2006. – №102. – P. 1410–1415.
40. Cognitive, cardiac, and physiological safety studies in ultra high field magnetic resonance imaging / A. Kangarlu, R.E. Burgess, H. Zhu [et al.] // *Magnetic Resonance Imaging*. – 1999. – №17. – P. 1407–1416.
41. Effect of a static magnetic field on blood flow to the metacarpus in horses / P.F. Steyn, D.W. Ramey, J. Kirschvink [et al.] // *Journal of the American Veterinary Medical Association*. – 2000. – №217. – P. 874–877.
42. Martel G.F. Comparison of static and placebo magnets on resting forearm blood flow in young, healthy men / G.F. Martel, S.C. Andrews, C.G. Roseboom // *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. – 2002. – №32. – P. 518–524.
43. Gmitrov J. Geomagnetic disturbance worsen microcirculation impairing arterial baroreflex vascular regulatory mechanism / J. Gmitrov // *Electromagn Biol Med.* – 2005. – №24. – P. 31–37.
44. Ohkubo C. Acute effects of static magnetic fields on cutaneous microcirculation in rabbits / C. Ohkubo, S. Xu // *In Vivo*. – 1997. – №11. – P. 221–225.
45. Okano H. Decreased plasma levels of nitric oxide metabolites, angiotensin II and aldosterone in spontaneously hypertensive rats exposed to 5 mT static magnetic field / H. Okano, H. Masuda, C. Ohkubo // *Bioelectromagnetics*. – 2005b. – №26. – P. 161–172.
46. Okano H. Elevated plasma nitric oxide metabolites in hypertension: Synergistic vasodepressor effects of a static magnetic field and nicardipine in spontaneously hypertensive rats / H. Okano, C. Ohkubo // *Clinical Hemorheology and Microcirculation*. – 2006. – №34. – P. 303–308.
47. Okano H. Exposure to a moderate-intensity static magnetic field enhances the hypotensive effect of a calcium channel blocker in spontaneously hypertensive rats / H. Okano, C. Ohkubo // *Bioelectromagnetics*. – 2005. – №26. – P. 611–623.
48. Okano H. Effects of static magnetic fields on plasma levels of angiotensin II and aldosterone associated with arterial blood pressure in genetically hypertensive rats / H. Okano, C. Ohkubo // *Bioelectromagnetics*. – 2003. – №24. – P. 403–412.
49. Magnetic resonance imaging increases the blood-brain barrier permeability to 153-gadolinium Odiethylenetriamine-pentaacetic acid in rats / F. Prato, R. Frappier, R. Shivers [et al.] // *Brain Res.* – 1990. – №523. – P. 301–304.

50. Subchronic effects on leukocyte-endothelial interactions in mice by whole body exposure to extremely low frequency electromagnetic fields / A. Ushiyama, H. Masuda, S. Hirota [et al.] // *In Vivo*. – 2004. – №18. – P. 425–432.
51. Microwave hyperthermia and its effect on tumor blood flow in rats / S. Shrivastav, W. Kaelin, G.Jr. Joines [et al.] // *Cancer Research*. – 1983. – №43. – P. 4665–4669.
52. Sharma H.S. Hyperthermia induced pathophysiology of the central nervous system / H.S. Sharma, P.J. Hoopes // *International Journal of Hyperthermia* – 2003. – №19. – P. 325–354.
53. Sequential changes in cerebral blood flow, early neuropathological consequences and BBB disruption, following RF-induced localized hyperthermia in the rat. / Y. Ohmoto, H. Fujisawa, T. Ishikawa [et al.] // *Int. J. Hyperthermia*. – 1996. – №12(3). – P. 321–334.
54. Role of blood flow on RF exposure induced skin temperature elevations in rabbit ears / F. Jia, A. Ushiyama, H. Masuda [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2006. – №26.
55. Aubineau P. Head exposure to 900 MHz microwaves induces plasma protein extravasation in the rat brain and dura mater at non-thermal SAR levels. In *Monografie Workshops: Influences of RF- and electromagnetic field interaction* / P. Aubineau, F. Tore // *Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik*. – 2005. – P. 82–83.
56. Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier in vitro / A. Schirmacher, S. Winters, S. Fischer [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2000. – №21. – P. 338–345.
57. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones / L.G. Salford, A.E. Brun, J.L. Eberhardt [et al.] // *Nviron. Health Perspect.* – 2003. – T.408. – №111. – P. 881–883.
58. Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field / G. Tsurita, H. Nagawa, S. Ueno [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2000. – №21. – P. 364–371.
59. Mayrovitz H.N. Effects of pulsed electromagnetic fields on skin microvascular blood perfusion / H.N. Mayrovitz, P.B. Larsen // *Wounds*. – 1992. – №4. – P. 197–202.
60. Mayrovitz H.N. A preliminary study to evaluate the effect of pulsed radio frequency field treatment on lower extremity peri-ulcer skin microcirculation of diabetic patients / H.N. Mayrovitz, P.B. Larsen // *Wounds*. – 1995. – №7. – P. 90–93.
61. Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG / R. Huber, V. Treyer, A. Borbély [et al.] // *J. Sleep Res.* – 2002. – №11. – P. 289–295.
62. Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: A PET study / C. Haarala, S. Aalto, H. Hautzel [et al.] // *Neuroreport*. – 2003. – №14. – P. 2019–2023.
63. Acute effects of local exposure to radio-frequency electromagnetic fields on the cerebral microcirculation in rats / H. Masuda, A. Ushiyama, K. Wake [et al.] // *The 23rd Annual Meeting of Bioelectromagnetic Society Abstract Book*. – 2001. – P. 139–140.
64. Chronic effects of local exposure to radiofrequency electromagnetic fields on the cerebral microcirculation in rats / [H. Masuda, A. Ushiyama, K. Wake et al.]. – *Asia-Pacific Radio Science Conference Digest, 2001*. – 410 p.
65. Кудряшов Ю.Б. Биофизические основы действия микроволн / Кудряшов Ю. Б., Исмаилов Э. Ш., Зубкова С. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 160 с.
66. Adair E.R. Microwaves modify thermoregulatory behaviour in squirrel monkey / E.R. Adair B.W. Adems // *Bioelectromagnetic*. – 1980. – №1. – P. 1–20.
67. Королев Ю.Н. Роль локализации воздействия дециметровыми волнами на течение процессов регенерации / Ю.Н. Королев, Ю.К. Королев, П.З. Загорская // *Вопросы курортологии*. – 1985. – № 2. – С. 37–42.
68. Мкртчян Р.И. Санаторно-курортное лечение в медицинской и трудовой реабилитации больных с различными формами ишемической болезни сердца / Р.И. Мкртчян // *Физические методы восстановительного лечения больных ишемической болезнью сердца в курортных и во внекурортных условиях*. – М., 1980. – С. 23–25.
69. Оржешковский В.В. Магнитотерапия / В.В. Оржешковский, Н.Г. Гусев // *Клиническая физиотерапия*. – К., 1984 – С. 79–86.
70. Сорокина Е.И. Применение физических факторов в отдаленном послеоперационном периоде после хирургического лечения ишемической болезни сердца / Е.И.Сорокина, Отто М.П. // *Вопросы курортологии*. – 1985. – №9 (3). – С. 8–12.

71. Мухарлямов Н. М. Ранние стадии недостаточности кровообращения и механизмы ее компенсации / Н. М. Мухарлямов, В. Ю. Мареев. – М.: Медицина, 1978. – 248 с.
72. Боголюбов В.М. Общая физиотерапия / В.М. Боголюбов, Г.Н. Пономаренко. – М.–С-Пб.: Правда, 1996. – 480 с.
73. Актуальные вопросы немедикаментозного лечения заболеваний органов дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем / А.Я. Дзюблик, Г.В. Капетан, Н.Н. Нодлинская [и др.]; под ред. С. С. Солдатченко. – Ялта, 1996. – С. 30–31.
74. Жуков Б.Н. Положительное влияние миллиметрового излучения низкой интенсивности на микроциркуляцию у мышей с аллоксановым сахарным диабетом / Б.Н. Жуков, Н.А. Лысов // Всеросс. конгресс. "Миллиметровые волны в биологии и медицине": Материалы. – М., 1997. – С. 120–121.
75. Ронкин М.А. Реография в клинической практике. / М.А. Ронкин, Л.Б. Иванов– М.: МБН, – 1997. – 403 с.
76. Бабов К.Д. Влияние ЭМИ частотой 59-68 ГГц на больных инфарктом миокарда в подострой стадии / К.Д. Бабов, С.А. Новиков // Вопр. курортол., физиотер. и леч. физкульт. – 1993. – №6. – С. 10.
77. Ситько С.П. Аппаратурное обеспечение современных технологий квантовой медицины / под ред. Ситько С.П., Скрипник Ю.А., Яненко А.Ф. – К.: ФАДА ЛТД, 1999. – 199 с.
78. Бессонов А.Е. Способ миллиметрово-волновой терапии / А.Е. Бессонов, М.В. Балакирев // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5, № 2. – С. 105 – 108.
79. Субботина Т.И. Экспериментально-теоретическое исследование КВЧ-облучения открытой печени прооперированных крыс и поиск новых возможностей высокочастотной терапии / Т.И. Субботина, А.А. Яшин // Вестник новых медицинских технологий. – 1998. – Т. 5. – №1. – С. 122–126.
80. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / под ред. Н.Д. Девяткова, М.Б. Голанта, О.В. Бецкого. – М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.
81. Некоторые механизмы влияния миллиметрового излучения на патогенез нестабильной стенокардии / В.А. Люсов, Н.А. Волов, А.Ю. Лебедева [и др.] // Сб. докл. 10-й Рос. симпозиум с междунар. участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине»: – М., 1995. – С. 26–27.
82. Миллиметровые волны и живые системы / под ред. О.В. Бецкого, В.В. Кислова, Н. Н. Лебедевой. – М.: САЙНС-ПРЕСС, 2004. – 107 с.
83. Смирнова М.Ю. Состояние микроциркуляторного русла у больных инфарктом миокарда на фоне мм-терапии ЭМИ ММД: 13-й Рос. симпозиум с междунар. участием «Миллиметровые волны в медицине и биологии»: 1–3 декабря, 2003 г. / М.Ю. Смирнова, Н.Л. Волов, А.Ю. Лебедева. – М., 2003. – С. 72.
84. Сравнительное изучение клинической эффективности электромагнитных волн миллиметрового диапазона при облучении различных рефлекторных зон у больных с гастродуоденальными язвами / П.Я. Гапонюк, Т.Ю. Шерковина, Е.А. Юркова [и др.] // Миллиметровые волны в медицине: Сб. статей / под ред. Н.Д. Девяткова, О.В. Бецкого: том 1. – М., 1991. – С. 32–36.
85. Электромагнитное излучение миллиметрового диапазона как метод патогенетической терапии заболеваний сердечно-сосудистой системы / Т.В. Головачева, В.Д. Петрова, С.С. Паршина, [и др.] // "Миллиметровые волны в биологии и медицине". – 2000. – №1(17). – С.18–25.
86. Коррекция нейрососудистых расстройств электромагнитным полем ММ диапазона / И. Детлавс, Ю. Лавенделс, М. Мурниеце [и др.] // 11-й Российский симпозиум с международным участием "Миллиметровые волны в квантовой медицине" – М.: ИРЭ РАН, 1997. – С. 78–79.
87. Силантьева Е.С. Лечение хронического воспаления придатков матки (гемодинамические аспекты КВЧ-терапии): дисс. на соиск. уч. Ст. канд. мед. наук: спец. 14.00.01 "Акушерство и гинекология" / Е.С. Силантьева – М., 2000. – 20 с.
88. Букатко В.Н. Лазерная доплеровская флоуметрия в изучении эффектов миллиметровой волновой терапии / В.Н. Букатко, С.А. Данилова // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2004. – N 4(36). – С. 28–39.
89. Использование глубинной интегральной радиотермометрии для оценки изменения микроциркуляции при КВЧ-терапии у больных с деформирующим артрозом тазобедренного сустава и болезнью Переса / Н.Б. Капустина, А.В. Корнаухов, А.Г. Полякова [и др.] // Вестник Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. – 2001. – №2(4). – С. 46–52.

90. Куницына Л.А. Сравнительная характеристика клинико-физиологического действия электромагнитного излучения миллиметрового и нанометрового диапазона при гипертонической болезни / Л.А. Куницына, С.В. Безрученко, Н.Н. Богданова // *Вопр. курортолог., физиотер. и леч. физкульт.* – 1998. – Т. 5. – С. 5–7.
91. Локшина О.Д. Состояние гемодинамики и изменение сократительной функции миокарда у больных стенокардией в процессе лечения КВЧ / О.Д. Локшина, Т.Б. Реброва // *Сб.: «Миллиметровые волны в медицине и биологии».* – М., 1989. – С. 41–42.
92. Запускалов И.В. Роль венозных сосудов в регуляции периферического кровообращения в норме и патологии.: автореф. дисс. . . докт. мед. / И.В. Запускалов. – Томск, 1995. – 39 с.
93. Соколов Б.А. Сравнительная оценка влияния электромагнитного поля крайне высокой частоты на церебральную гемодинамику у больных гипертонической болезнью при воздействии на различные рефлексогенные зоны / Б.А. Соколов, С.В. Безрученко, Л.А. Куницына // *Вопр. курортолог., физиотер. и леч. физкульт.* – 1998. – Т. 1. – С. 16–18.
94. Теппоне М.В. КВЧ-пунктура (крайневысокочастотная пунктура) / МВ. Теппоне. – М. : Логос, 1997. – С. 10–11.
95. Голант М.Б. КВЧ-радио-физические подходы к проблеме ускорения лечения локальных нарушений в организме, ослабленном возрастными или иными изменениями / М.Б. Голант, Л.Е. Гедымин, Л.Н. Новикова // *Материалы 10-го Российского Симп. с международ. участием "Миллиметровые волны в биологии и медицине"*. – М., 1995. – С.91–94.
96. Жуков Б.Н. Экспериментальное обоснование применения инфракрасного лазерного излучения в гепатологии / Б.Н. Жуков, Н.А. Лысов, С.П. Котова // *Лазерная медицина.* – 1999. – № 3(1). – С. 29–32.
97. Клебанов Г.И. Мембранные механизмы фотобиологического действия низкоинтенсивного лазерного излучения / Г.И. Клебанов // *Мембраны. Критические технологии.* – №6. – М.: ВНИИТИ, 2000. – С. 26–44.
98. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на микроциркуляцию и систему антиперекисной защиты при экспериментальном панкреатите / Ю.С. Винник, Д.В. Черданцев, А.А. Вахрунин [и др.] // *Методология флуометрии.* – 1999. – С. 69–79.
99. Самойлова А.К. Улучшение микроциркуляции крови у больных диабетом после локального облучения полихроматическим видимым и сочетанным видимым и ближним инфракрасным светом / А.К. Самойлова, М.А. Меншутина, Н.А. Жеваго // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция.* – 2006. – Т. 5. – С. 69–77.
100. Терман О.А. Состояние микроциркуляции в печени при воздействии на нее низкоэнергетического лазерного излучения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра: автореф. дисс. ... канд. мед. наук. / О.А. Терман. – М., 1995. – 18 с.
101. Кораблин П.Н. Нарушения микроциркуляции у больных пневмонией и их коррекция с применением низкоинтенсивного лазерного излучения: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. мед. наук: спец. 14.00.05 "Внутренние болезни" / П.Н. Кораблин. – Иваново, 2008. – 22 с.
102. Бурлакова Е.Б. Особенности действия сверхмалых доз биологически активных веществ и физических факторов низкой интенсивности / Е.Б. Бурлакова // *Российский химический журнал.* – 1999. – Т. XLIII. – № 5. – С. 3–11.
103. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. / Пресман А.С. – М.: Наука, 1968. – 288 с.
104. Knave B. Hypersensitivity to electricity – a workplace phenomenon related to low frequency electric and magnetic fields / B. Knave, U. Bergqvist, R. Wibon // *In. Worldwide Achievement in Public and Occupational Health Protection Association.* – 1992. – P. 1121–1124.
105. Longnecker D. Microcirculatory actions of general anaesthetics / D. Longnecker, P. Harris // *Fed. Proc.* – 1980. – №39. – P. 1580–1583

Трибрат Н.С. Вплив електромагнітних випромінювань різного діапазону / Н.С. Трибрат, О.М. Чуян, М.Ю. Равасва // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2009. – Т. 22 (61). – № 4. – С. 182-201.

У статті наведено огляд літературних даних що до впливу електромагнітних випромінювань різного діапазону на процеси мікрокровообігу.

Ключові слова: електромагнітні випромінювання, мікрокровообіг.

Tribrat N.S. Influence electromagnetic fields different ranges on processes of mircocirculation / N.S. Tribrat, E. N. Chuyan, M. Yu. Ravaeva // Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2009. – V.22 (61). – № 4. – P. 182-201.

In the article is presented a literature review about influence electromagnetic fields of different ranges on the process of the microcirculation.

Keywords: mircocirculation, electromagnetic fields.

Поступила в редакцию 16.11.2009 г.