

МАГНИТНАЯ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕРАПИЯ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ МУЛЬТИДИСЦИПЛИНАРНОЕ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКОЕ ИННОВАЦИОННОЕ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ НАПРАВЛЕНИЕ

С.Е.Корнелик

ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И КОММЕРЧЕСКИЙ ЦЕНТР
«ИНТЕГРАЛ» – резидент Технологического бизнес – инкубатора
Томского государственного университета

634050, Томск, ул. Герцена, 2, офис 8, тел.: +7 (3822) 783683, 783688,
факс: +7(3822) 783686, e-mail: k.s.e.@mail.tsu.ru

Магнитная и электромагнитная терапия

За последние 60 лет магнитная и электромагнитная терапия различных заболеваний и патологий получила широкое и успешное распространение во всем мире. Однако точного описания механизмов воздействия этих полей на клетку, орган и организм до сих пор не существует. Построение же методик для строго ориентированного на конкретную медицинскую цель воздействия магнитным полем – это еще более сложная задача. В тоже время мировая медицинская практика уже давно использует методику локального воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) на органы или ткани. Здесь используют различные аппликаторы – проводники ЭМИ, которые накладываются поверх органа или ткани, а само поле изменяется таким образом, чтобы они получили необходимую плотность магнитного потока. Такой способ позволяет точно предсказывать и дозировать воздействие магнитного поля на конкретную биологическую цель, что невозможно при терапии с помощью фармакологических препаратов, когда необходимая доза лекарства очень приближенно оценивается исходя из веса пациента. Хорошо известно, что такой способ определения необходимой дозы медикамента приводит к значительному повышению его концентрации в биохимическом цикле организма, которая может превышать достаточную лечебную дозу в 100 – 1000 раз. В большинстве случаев это является основной причиной побочных и нежелательных эффектов.

В случае ЭМИ – терапии побочные эффекты практически исключены, что подтверждается многолетними наблюдениями во всем мире за более чем 3 миллионами пациентов, которые подвергались лечению с помощью магнитных полей [1] – [3].

Исследователи отмечают [4], что информационный обмен между клетками и тканями, который выражается в ряде кооперативных процессов, ответственен за наблюдаемую в эксперименте высокую чувствительность к слабым электромагнитным полям. Поэтому справедливо предположить, что 100% доза ЭМИ, которую получил конкретный орган, в состоянии за счет межклеточного и межорганного информационного обмена вызвать реакцию абсолютно другого органа, не подвергавшегося воздействию. Эти изменения могут выражаться в смене режима функционирования органа или системы и могут оказаться недостаточно сильными для эффективной борьбы с болезнью или раной, хотя и находиться в пределах возможной компенсации. Например, точки акупунктуры, известные еще с античных времен, значительно отличаются по своим электрическим свойствам от точек, расположенных даже на расстоянии нескольких микрон от точки касания иглы при том, что микроскопия не показывает даже малейшей морфологической разницы между этими точками. В настоящее время акупунктурные меридианы хорошо известны и используются для лечения различных заболеваний, которые развиваются далеко от точки, где вставлена игла.

Заметим, что анатомия и физиология живых организмов определяется сложным комплексом органов и систем, который зависит от их «компоновки», физиологических, биохимических и биофизических характеристик. Физиологическая согласованность между разными тканями, органами и системами гарантирует нормальное функционирование организма.

Все вышеперечисленные факты приводят к выводу о необходимости развивать строго ориентированную на конкретный медицинский результат ЭМИ – терапию. На протяжении последних лет многие исследователи предложили терапевтические методики, которые предусматривают локальное применение ЭМИ в точках, расположенных на значительном расстоянии от органа – реципиента. В одной из первых книг по магнитной терапии предположено, что воздействие ЭМИ на щитовидную железу может стимулировать эндокринную систему и вызывать положительный терапевтический эффект на уровне отдельных органов и тканей через реакции этой системы [5]. В серии работ по этой тематике отмечается, что ЭМИ существенно влияет на работу нервной системы, а также указывается на наличие в организме биологически замкнутых электрических цепей [6] – [8]. В совокупности практически все ранние исследования в этом направлении показали, что локальное воздействие ЭМИ инициирует реакцию организма на значительном удалении от точки приложения и актуален поиск новых моделей взаимодействия магнитного поля с живым веществом, которые в состоянии объяснять наблюдаемые явления «дистанционного» влияния магнитного поля на организм.

Рядом авторов предложена теория интегрального системного эффекта, которая базируется на неоспоримом научном факте того, что функционирование почти всех, если не всех, клеток, органов и систем человеческого организма управляется электрическими потенциалами и электрическими токами [9]. Например, функция нейрона – это передача электрического импульса, течение крови – это движение заряженных частиц, другими словами любой транспорт в организме связан с перемещением потенциалов и электрических зарядов. Поэтому выбор соответствующего магнитного или электромагнитного воздействия на отдельные органы может вызвать системный отклик в виде реакции организма, проявляющийся в локализованном месте, отличном от места приложения поля. Особенно это важно при контроле над болью, которая часто проявляется в местах, не являющихся ее прямым источником. В этом случае системный эффект должен затрагивать как сосудистую, так и лимфатическую системы [10], [11].

Основополагающий принцип интегрального системного эффекта базируется на предположении существования связи между субклеточными процессами и процессами на уровне всего организма, реализующейся с помощью биохимических механизмов переноса зарядов и гемодинамических процессов течения крови по сосудистым руслам, так как кровоток может быть рассмотрен как движение заряженных частиц через большие и малые сосуды. Именно поэтому в нормальной ситуации, когда организм здоров, такие компоненты крови, как эритроциты, лейкоциты, лимфоциты перемещаются в сбалансированном слабом магнитном поле, создаваемом стенками сосудов и окружающими сосуды тканями. Когда же организм находится под действием внешнего магнитного поля, возникает взаимодействие движущихся зарядов с этим полем, которое проявляется в виде сил Лоренца.

Последние исследования показали, что плазма крови и межклеточная жидкость являются ионными средами, способными эффективно проводить электрический ток. Таким образом, кровеносные сосуды и межклеточная среда могут рассматриваться как электрические проводники, передающие заряды в коротких и «длинных» цепях [12]. Исходя из такого рассмотрения ионного транспорта в живом организме, была построена теория «Замкнутого биоэлектрического круговорота» (ЗБЭК) [9].

Известно, что в человеческом теле нет обособленных клеток, которые не вовлечены тем или иным способом в общий физиологический процесс. Примером может служить органическая взаимосвязь и взаимозависимость между работой сердечно-сосудистой, лимфатической и нервной системами. Однако перечисленные системы также взаимодействуют и синхронизируются с работой эндокринной, иммунной и дыхательной систем. При этом наиболее значимый отклик организма на воздействие электромагнитного поля проявляется на

уровне нервной, эндокринной и иммунной систем. В то время как нервная и эндокринная системы выполняют координирующие функции, иммунная система защищает организм от сторонних вредных вмешательств. Поэтому управление реакцией именно иммунной системы на ЭМИ является наиболее актуальной задачей, так как эта система активно участвует в восстановлении и борьбе против агентов, вызывающих заражения и патологии.

В дополнение отметим, что даже единичный путь передачи сигналов внутри организма может лежать от внутриклеточного импульса, который, каскадно усиливаясь, вызывает наблюдаемые реакции организма. Это подтверждает то, что органы и ткани организма представляют собой функционально связанную систему, где каждый компонент активно связан и влияет на все остальные составляющие системы. В организме нет независимо функционирующих частей, а есть скоординированное взаимодействие, обеспечивающее его нормальное функционирование.

Введение понятия ЗБЭК приводит к необходимости рассматривать движение зарядов и создаваемых ими потенциалов в рамках еще одной циркуляционной системы, помимо кровеносной. Здесь движение зарядов, является следствием метаболической активности организма, которая создает соответствующие градиенты электрических потенциалов. Возникает вопрос, что происходит с распределением электрических потенциалов внутри организма, когда он болен или перестал функционировать? Можно однозначно сказать, что в случае заболевания или гибели организма изменяется его метаболическая активность и происходят изменения градиентов электрических потенциалов. Авторы ЗБЭК экспериментально показали, что электрические потенциалы спонтанно генерируются в разных органах, формируя соединительную ткань на их границах. Далее авторы предположили, что границы органов, а также другие разделяющие внутреннюю полость организма поверхности сформировались так, чтобы обеспечить оптимальный замкнутый биоэлектрический круговорот. Другими словами, ЗБЭК представляет собой коммуникационную систему, оперирующую потенциалами и токами. Если круговорот градиентов электрических потенциалов замкнут, то он образуется и распространяется на большую дистанцию по специфичным проводящим путям. Кровеносные русла могут играть роль таких проводящих путей, которые переносят заряженные компоненты крови по организму с помощью плазмы. Поэтому кровеносная система была первой ЗБЭК, которая идентифицирована. Известно, что электрическое сопротивление стенок кровеносных сосудов в 150 – 200 раз выше, чем у крови. Поэтому они могут рассматриваться как пути, проводящие ионы и электрические потенциалы. Ввиду того, что внутренняя поверхность сосудов покрыта вытянутыми клетками эндотелия, то существует возможность выделить замкнутые петли разного масштаба, по которым осуществляется циркуляция ионов и потенциалов. Таким образом, внешнее магнитное поле действует не только на заряды и ионы, перемещающиеся в кровотоке, но и на целые замкнутые разномасштабные петли – проводники. В дополнение: внешнее магнитное поле может напрямую действовать на состояние и течение межклеточной жидкости и опосредованно влиять на возникновение слабых электрических взаимодействий между плазмой крови, кровеносными сосудами и межклеточной жидкостью.

Межклеточная жидкость представляет собой сеть жидких микроканалов, которые имеют большое значение при прохождении сигналов от клетки к клетке [13]. Эти каналы являются наиболее эффективным путем распространения собственных и внешних электромагнитных полей. Основным проводником ионных токов во всем межклеточном пространстве является межклеточная жидкость. Поэтому межклеточная жидкость играет важнейшую роль во взаимодействии между клетками, тканями и органами, обеспечивая передачу сигналов и информации. Понятно, что при кооперации и обмене информацией с помощью импульсов взаимодействующие части живой материи существуют за счет способности усиливать проходящие через них сигналы в виде проявления реакций на действие магнитного поля на большом расстоянии от места его приложения. Отсюда понятна роль межклеточной жидко-

сти: она поддерживает гомеостаз¹. Например, продукты жизнедеятельности клетки диффундируют в межклеточное пространство и попадают в общую циркуляцию, определяемую общим метаболизмом, откуда они, в конечном счете, удаляются, возобновляя гомеостаз. Гомеостаз может нарушаться при травмах, инфекциях и отмирании отдельных тканей. Нарушение гомеостаза сопровождается дискомфортом и болью. Один из механизмов возникновения боли связан с воспалением в конкретной ткани, которое ведет к значительному увеличению межклеточной жидкости. Повысившееся давление действует на нервные окончания, сжимая их и посылая сигнал в мозг. Предполагается, что магнитное поле способно уменьшать боль, снижая количество межклеточной жидкости, выделившейся в результате воспаления. Как следствие причина компрессии нервных окончаний устраняется, болевые сигналы перестают поступать в мозг и боль проходит. Такой механизм положительного воздействия магнитного поля был установлен при изучении кровеносных сосудов и лимфатической системы [14].

Предполагается, что магнитное поле через толщу тканей и мембрану клетки может влиять на «ключевые точки», которые находятся в различных молекулах внутриклеточных протеинов. Главным образом, ключевые точки располагаются в протеинах, прикрепленных к внутренней поверхности клеточной мембраны. Хвосты этих протеинов погружены в цитоплазму, и протеины влияют на ионную селекцию, физические свойства воды и проницаемость клеточной мембраны [15], [16]. Предполагается, что ионные токи в межклеточном объеме вызывают вихревые токи внутри клеточной мембраны, которые, в свою очередь, приводят к структурным изменениям в мембране и внутреннем пространстве клетки.

По определению ЗБЭК может иметь характерные размеры от нескольких микрометров до нескольких метров. ЗБЭК осуществляется за счет электронной и ионной проводимости и обеспечивает наиболее оптимальные пути для биоэлектрических токов, которые могут быть разной частоты, при разных длинах волн и амплитудах. Исходя из этого, можно утверждать, что внешнее магнитное поле способно инициировать изменения в движении жидкостей в сосудах и в межклеточном пространстве, приводя к восстановлению нормального функционирования организма.

С другой стороны, кровоток является неселективным транспортным механизмом для доставки кислорода, ионов, гормонов, множества секреторных нейроэндокринов, химических и других субстанций органам и тканям посредством диффузии, фильтрации и осмоса через капиллярную сеть. Это справедливо для «нормального» кровотока. Однако, в случае воздействия магнитным полем эти субстанции также переносят энергию и информацию к органам и тканям, расположенным на удалении от источника воздействия. Особенно это характерно при воздействии модулированным ЭМИ. При этом сначала происходят изменения в органе или ткани, на которые непосредственно оказывается воздействие, а затем инициируются изменения в самом кровотоке, приводящие к нарушению его «нормального» состояния. Причем, когда ткань повреждена или отмирает, этот эффект наиболее заметен. Заметим, что слишком сильное воздействие ЭМИ может дестабилизировать орган или ткань и привести к их гибели.

Другой механизм, который также участвует в возникновении интегрального системного эффекта от воздействия ЭМИ, связан с наличием соединительных промежутков и протеиновых комплексов, обеспечивающих взаимодействие между клетками и низкое сопротивление соответствующих каналов. Многие исследователи рассматривают реакцию ткани на внешнее ЭМИ как электрическое взаимодействие ионного или электронного транспорта через внутриклеточное и внеклеточное пространство.

Последние исследования [17] показали, что сеть нейронов способна усиливать слабые сигналы, передавая импульсы, поступающие с внешним электромагнитным или магнитным

¹ **ГОМЕОСТАЗ** (греч. *homoiος* подобный, одинаковый + греч. *stasis* стояние, неподвижность) – способность организма поддерживать функционально значимые переменные в пределах, обеспечивающих его оптимальную жизнедеятельность. Регуляторные механизмы, поддерживающие физиологическое состояние или свойства клеток, органов и систем целостного организма на уровне, соответствующем его текущим потребностям, называются гомеостатическими.

полем таким образом, что неспецифичные шумы подавляются, а наиболее эффективный путь передачи сигнала до ткани или органа реципиента создается автоматически.

Общеизвестно, что электрический потенциал опухоли отличается от электрического потенциала окружающей ее ткани. Поэтому нейтрализация опухоли и восстановление функционирования ткани тесно связано с восстановлением ее метаболизма на уровне электрического потенциала. Одним из способов реализации этой задачи является стимуляция внешним магнитным или электромагнитным полем [18]. Основываясь на теории ЗБЭК, ряд авторов предложили проведение лечения и терапии рака с помощью электрического тока [19]. Основной их идеей является изменение распределения ионов внутри опухоли путем стимуляции таких электрохимических процессов, которые приведут к нормализации рН жидкости ткани и ее электропроводимости. Аналогичный подход был предложен учеными и клиницистами, которые используют электрофорез при терапии поверхностных опухолей [20]. Оба из предложенных в [19] и [20] метода предусматривают помещение электродов внутрь опухоли. Поэтому они применимы только для поверхностных опухолей. При этом имеются экспериментальные доказательства того, что опухолевые клетки значительно более чувствительны к внешним электрофизическим воздействиям, чем здоровые [21]. Поэтому методика лечения опухолей с использованием электрических токов заключается в том, что между двумя или несколькими иглами, вставленными в ткань создается потенциал, который приводит к взаимодействию индуктивно или ёмкостно индуцированных магнитных и электромагнитных полей с замкнутыми биологическими токами организма. Это может быть использовано для лечения и профилактики множества других заболеваний и патологий. Такой подход основан на понимании взаимодействия внешнего поля с зарядами и диполями, сосредоточенными внутри клетки, в тканях и органах. При этом поведение единичной клетки во внешнем электромагнитном поле уже должно рассматриваться с учетом влияния более высокого тканевого, органного и системного уровней.

В научной литературе по исследованию влияния электромагнитного поля на полностью помещенного в это поле животного и при анализе результатов клинического применения магнитных полей необходимо учитывать интегральный системный характер взаимодействия и наложения эффектов. К сожалению, в большинстве исследований наблюдаемые эффекты от воздействия электромагнитных полей на специфические биологические объекты не учитывают реакцию – отклик, которая вызвана не полем, а другими биологическими факторами. Поэтому необходим учет интегральных системных эффектов при разработке новых технологий применения магнитных и электромагнитных полей в медицине. Экспериментально установлено, что воздействие электромагнитного поля на сердечно-сосудистую систему вызывает реакцию лимфатической и иммунной систем одновременно.

Известно, что любые химические или физические изменения в окружающей обстановке воспринимаются организмом как стресс, который тут же «включает» защитные механизмы, определяющиеся совместной мобилизирующей работой нервной, иммунной и эндокринной системами. В этой ситуации наиболее важен отклик иммунной системы, «борющейся» с посторонним вмешательством в функционирование организма [22], включая механизмы адаптивности в процессе гомеостаза. Поэтому нарушение динамического равновесия организма по тем или иным причинам проявляющееся в изменении гомеостаза, автоматически регулирует и компенсирует этот дисбаланс. Защитная реакция организма реализуется и через аутоиммунные реакции, проявляющиеся в разных аллергических заболеваниях [23].

Известно, что существует целый ряд компенсаторных механизмов, которые позволяют живому существу противостоять различным отклонениям от нормальных условий его функционирования [24]. Однако, когда внешний стресс-фактор превышает некоторый компенсационный предел, происходят необратимые изменения в организме, которые ведут к заболеванию или патологии. Известно, что при механической травме, например, при порезе или ранении, в месте травмирования происходит нарушение циркуляции биоэлектроток. Медики - практики этот факт не учитывают, опираясь лишь на медикаментозные способы лечения. К сожалению, это приводит к значительным передозировкам лекарств и их накоп-

лению в организме. Поэтому с электрохимической точки зрения фармакологический способ борьбы малоэффективен, а применение магнитных или электромагнитных полей для стимуляции восстановительных функций органов и организма более привлекательно и как показано в [25] эффективно.

Внешнее электромагнитное поле существенно влияет на взаимодействие между отдельными системами организма через движение электрических зарядов в циркулирующей крови и лимфе или при передаче нервных импульсов по нервной системе. Поэтому внешнее магнитное поле влияет и специфически вызывает изменения в работе этих систем. Если учесть, что нервная система связывает информацию за счет непосредственного контакта с адренергическими или холинергическими молекулами на окончаниях нервных волокон или в синапсах², а гормоны и нейромедиаторы переносятся циркуляционной системой к специфическим рецепторам от мест, где они были синтезированы, то становится понятным, что взаимодействие между отдельными подсистемами организма, осуществляются посредством гуморальных механизмов и прямых нервных соединений [26]. Информация передаётся посредством слабых электрических импульсов через клеточные мембраны [27], которые, включая интегрированные белки и липиды клеточных мембран, все время находятся в состоянии гидрирования и малое возмущение в гидратных слоях³ может приводить к перераспределению поверхностных зарядов, а также к изменениям в упаковке мембраны, выражающимся в перемещениях мембранных белков. Это вызывает эффект усиления сигнала при его прохождении через клеточную мембрану.

Внешнее магнитное поле способно изменять микроструктуру кластеров воды или гидратных слоев [28]. Когда перемещающиеся и имеющие заряд клетки, например, эритроциты, лейкоциты и тромбоциты подвергаются воздействию внешнего магнитного поля, то возможны множественные изменения в их гидратных слоях, являющихся усиливающей средой, и внешние сигналы могут передаваться на значительные расстояния от точки воздействия с полем. В [29 – 30] было показано, что протекание хронической боли ассоциируется с клеточным циклом Т – лимфоцитов⁴, а из [31] и [32] известно, что изменения в физическом состоянии воды происходят на протяжении разных фаз клеточного цикла. Отсюда ясна связь между протеканием боли и изменениями в структуре клеточной воды. Если под термином «вода» понимается организованная в пространстве и времени субстанция, включая гидратацию ионов, белков и клеточных структур [30 – 34], то цитоплазматическая и межклеточная вода также представляет собой структурированную жидкость, способную «записывать» и транспортировать информацию по каналам, обеспечивающим термодинамическое равновесие. Опираясь на вышеуказанные работы, можно попытаться понять связь между физическим состоянием воды и механизмами, определяющими протекание боли. Это возможно при наличии полной и достоверной информации о системных эффектах, сопровождающих боль. Априори учитывая факт того, что при воздействии внешнего электромагнитного поля на кровеносный сосуд происходят изменения в структуре воды и в характере гидратации заряженных эритроцитов и лейкоцитов, которые «запоминаются» и переносятся в различные

² **СИНАПСИС** (от греч. *synapsis*), конъюгация хромосом, попарное временное сближение гомологичных хромосом, во время которого между ними может произойти обмен гомологичными участками. На этой стадии хромосомы под влиянием разных воздействий легко сжимаются в комок; это явление было описано английским учёным Д.Е.Муром в 1895.

³ **ГИДРАТНЫЙ СЛОЙ** – это слой молекул воды, определенным образом ориентированных на поверхности белковой молекулы или клетки. Поверхность большинства белковых молекул и клеток заряжена отрицательно, и диполи молекул воды притягиваются к ней своими положительно заряженными полюсами. Чем больше гидрофильных свойств у белковой молекулы или клетки, чем больше в ее составе и на ее поверхности аминокислот с полярными (гидрофильными) радикалами, тем сильнее выражена и прочнее удерживается гидратная оболочка и тем больше в ней слоев. Вода гидратной оболочки обладает особыми свойствами: она не является свободной, а связана с белковой молекулой или клеткой. Это – «связанная» вода. Она принадлежит белку или клетке, и поэтому имеет особые свойства.

⁴ **ЛИМФОЦИТЫ** (от *лимфа* и греч. *kýtos* – вместилище, здесь – клетка) – клетки иммунной системы, представляющие собой разновидность лейкоцитов, и отвечающие за приобретённый иммунитет. Лимфоциты подразделяются на В-клетки, Т-клетки и НК-клетки. В-лимфоциты распознают чужеродные структуры (антигены) вырабатывая при этом специфические антитела (белковые молекулы, направленные против чужеродных структур). Т-лимфоциты выполняют функцию регуляции иммунитета. Т-помощники стимулируют выработку антител, а Т-супрессоры тормозят ее. К-лимфоциты способны разрушать чужеродные структуры, помеченные антителами. Под влиянием этих клеток могут быть разрушены различные бактерии, раковые клетки или клетки инфицированные вирусами. НК-лимфоциты осуществляют контроль над качеством клеток организма. При этом НК-лимфоциты способны разрушать клетки, которые по своим свойствам отличаются от нормальных клеток, например, раковые клетки.

точки организма с помощью кровотока, можно оценить «водную» гипотезу, объясняющую возникновение и развитие боли. С одной стороны, мозг воспринимает боль как реакцию на изменения в структуре воды и увеличение объема межклеточного пространства. С другой стороны, «память» воды – это возможное проявление способности разных систем организма человека взаимодействовать и передавать информацию друг другу, а физические свойства клеточной и тканевой воды могут зависеть от степени и характера протекания хронической боли, испытываемой человеком [28, 33]. В тоже время хроническая боль и характер ее протекания напрямую связаны со статусом Т – лимфоцитов [22], [28], [34 – 37].

Ранее было показано, что воздействие магнитного поля на активированные Т – лимфоциты, т.е. на лимфоциты, которые уже мобилизованы тем или иным нарушением функционирования организма, приводит к более заметным изменениям в характере их поведения, нежели чем, если бы в начальный момент они были «спящими» [36]. Этот факт может быть экстраполирован на всю сердечно-сосудистую систему, когда мы можем предположить, что «активированные» воспалением, патологией или другим повреждением клетки более чувствительны к внешнему магнитному полю нежели их «здоровые собратья». В этом случае остается лишь выбрать подходящие физические характеристики электромагнитного поля для наиболее быстрого и эффективного оздоровления клеток. В последнее время ведется активная дискуссия о возможности применения специфичных внешних электромагнитных сигналов, которые могут быть распознаны клетками, органами и тканями [9]. Такие электромагнитные сигналы могут быть «распознаны» через нетермические механизмы, инициируя конформационные «изменения» ионов⁵, передачу сигналов и компенсационные токи, которые в совокупности могут вызвать оздоровление или при сильном полевом воздействии к повреждениям или гибели ткани [38]. Принимая во внимание, что Т – лимфоциты – это ключевые клетки, контролирующие заражение организма, то их состояние и возможности становятся очень важным критерием в развитии интегральных системных эффектов, вызываемых действием внешних электромагнитных полей [22, 37]. Поэтому детальное исследование влияния электромагнитного поля на лимфоциты важная исследовательская задача.

Детальное описание клинических успехов, достигнутых с использованием магнитных и электромагнитных полей дано в [26], где описан широкий круг приложений в лечении ран и терапии костей, в терапии и лечении церебральной аневризмы и эпилепсии. Это подтверждение успешного применения магнитного и электромагнитного полей в практической медицине. Предложенный и апробированный в [5] метод воздействия на гипофиз направленного и модулированного электромагнитного поля, показал, что возникает широкий спектр положительных системных реакций организма, запущенных через эндокринную систему. Однако, успешное применение этой методики требует определения точного диагноза пациента и выбора наиболее приемлемого биологического носителя информации, передаваемой органам, клеткам и рецепторам тканей посредством внешнего магнитного или электромагнитного поля и оптимизации параметров магнитного или электромагнитного поля [39, 40]. Например, в [5] и [41] было показано, что при малых амплитудах (до 45 мкТл) и низких частотах (до 300 Гц) одни комбинации частот и амплитуд стимулируют агрегацию эритроцитов в кровотоке, а другие приводят к интегральному системному эффекту снижения степени агрегации форменных элементов крови. Однако, до сих пор при проведении магнитной или электромагнитной терапии не учитывается влияние интегральных системных эффектов, что связано со сложностью проведения соответствующего анализа. Если учесть, что необходимо учитывать совокупный отклик иммунной, сердечно-сосудистой, лимфатической и нервной систем, а комплексные и сложнейшие исследования практически невозможны, то внимание

⁵ **КОНФОРМАЦИЯ** (от лат. conformatio – форма, построение, расположение) молекул, геометрические формы, которые могут принимать молекулы органических соединений при вращении атомов или групп атомов (заместителей) вокруг простых связей при сохранении неизменными порядка химической связи атомов (химического строения), длины связей и валентных углов. Молекулы, отличающиеся только своими конформациями, называются конформерами, или поворотными изомерами. Существование конформации обусловлено пространственным взаимодействием (например, отталкиванием, притяжением, образованием водородных связей) не связанных между собой заместителей, в т. ч. и атомов водорода. Молекулы органических соединений обычно существуют в виде смеси находящихся в равновесии конформеров, среди которых преобладают энергетически наиболее выгодные, т.е. обладающие наименьшей энергией. Конформационное состояние молекул влияет на физические свойства веществ, на направление и скорость их химических превращений.

большинства исследователей было сконцентрировано на поиске наиболее «чувствительных» к электромагнитному воздействию участков организма, по реакции которых можно получить знания о предсказуемых метаболических путях возникновения интегральных системных реакций на воздействие магнитных и электромагнитных полей.

Следует отметить, что ряд авторов [44] отмечают биологические реакции на воздействие электромагнитного поля, которые проявляются не только «точечно» в пределах одного органа, но и в пространственном распространении сигнала за пределы рассматриваемого органа с запуском сразу нескольких биологических механизмов. В этом случае кроме прямого отклика на электромагнитное воздействие можно ожидать побочные явления в зависимости от параметров полевого воздействия.

Установлено, что к ЭМИ весьма чувствительны клетки, ткани и органы, которые находятся в зоне ранения или нарушений, связанных с заболеванием и патологией. В то же время экспериментально подтверждено, что на здоровый организм слабые ЭМИ не влияют [43]. При этом даже локально пораженный участок, находясь в состоянии дисбаланса, через механизм обратной связи может быть восстановлен при слабом воздействии ЭМИ на весь организм человека [36], [42]. Такая магнитная и электромагнитная терапия эффективна в малых дозировках или при низких напряжениях поля у больных с гипертонией или при приеме сильных фармацевтических препаратов.

Перспективы развития магнитной терапии

Медицинская общественность признает, что успешное развитие методов и устройств магнитной терапии требует совместных усилий физиков, инженеров, биологов, физиологов. Особая роль здесь отводится медикам – клиницистам, включая физиотерапевтов и терапевтов, которые ежедневно используют физические магнитные и электромагнитные поля в своей практике. Исследователи – универсалы (физики, биофизики, биомеханики, техники и др.) призваны разрабатывать аппаратуру, методы и способы лечебного воздействия ЭМИ на организм человека.

Из-за малого набора эффективных устройств магнитной терапии в клинической практике трудно убедить представителей традиционной медицины, опирающихся лишь на лечебный эффект от фармакологических препаратов и хирургию, широко лоббировать в инстанциях, финансово стимулирующих магнитную терапию. На наш взгляд, учебный процесс поставлен так, что студенты – медики недостаточно изучают и понимают физику и биофизику, а будучи практическими врачами не имеют специализированной новой техники и доступа к информации о лечебном воздействии ЭМИ. При этом в медицинской науке исследования и применения ЭМИ также ограничены из-за сложности эффективного взаимодействия с техническими специалистами, далекими от медицинских «забот» и интересов. Если добавить сюда скромное финансовое стимулирование этого направления со стороны государства, то понятно, что темпы развития этого направления крайне низки. Тем не менее, исследования, в основном, на энтузиазме ученых, ведутся и достигаются существенные результаты. Например, переменное ЭМИ и ЭМИ радиочастотного диапазона успешно применено для положительной стимуляции каналов захвата ионов Ca^{2+} кальмодулином⁶, которые биологи ассоциируют с первичным регуляторным механизмом.

Научно-технический фундамент технологий магнитной терапии в основном создавался на протяжении четырех последних десятилетий. Современный уровень развития магнитной терапии таков, что в ближайшем будущем, при достаточном финансировании, возможно создание методик лечения рака, сердечной мышцы, диабетов, артритов, неврологических

⁶ **КАЛЬМОДУЛИН** – это широко распространенный белок, встречающийся в немышечных и гладкомышечных клетках, где он функционирует в качестве первичного внутриклеточного рецептора Ca^{2+} . Кальмодулин участвует практически во всех процессах, регулируемых ионами Ca^{2+} ; «мишенями» кальмодулина, как вторичного посредника, служат до 30 различных клеточных систем, включая различные протеинкиназы и фосфатазы, синтетаза окиси азота. Кальмодулин обнаружен почти во всех клетках животных и растений. Типичная животная клетка содержит более 107 молекул КМ, что соответствует почти 1% всего клеточного белка. КМ функционирует как многоцелевой внутриклеточный рецептор для Ca^{2+} , участвующий в большинстве процессов, регулируемых этими ионами.

расстройств и т.д. К настоящему времени низкочастотное ЭМИ уже успешно использовано при лечении бронхиальной астмы, инфаркта миокарда, венозных и варикозных язв. Появляются исследования о влиянии ЭМИ на ангиогенез⁷ и стволовые клетки с целью лечения болезней Альцгеймера и Паркинсона, а также восстановления периферических нервных волокон. Помимо этого перспективным является разработка и создание устройств для управления движением крови и других биологических жидкостей с помощью электромагнитного поля. Здесь актуально создание бесконтактной неразрушающей магнитогидродинамической помпы для прокачки крови в приборах вспомогательной циркуляции и устройства для разделения биожидкостей, включая кровь её форменные элементы и т.д.

Над этой проблемой работают в ООО НПКЦ «ИНТЕГРАЛ» и в Томском государственном университете. Решение этих задач требует консолидации усилий многопрофильных специалистов: физиков, биофизиков, биомехаников, биологов и физиологов, медиков, биохимиков и др. Успешное развитие этого направления помимо исследований тесно связано с подготовкой кадров с широкопрофильными знаниями в области медицины, физики, биологии и механики.

В Томском государственном университете с участием ООО НПКЦ «Интеграл» открыта междисциплинарная учебно-исследовательская лаборатория прикладной биомеханики и начата подготовка кадров по специализации «Прикладная биомеханика», установлено тесное сотрудничество с Сибирским государственным медицинским университетом и Университетом Париж 12 Валь де Марн, что позволило начать теоретические исследования по нескольким инновационным проектам, дающим информацию для разработчиков приборов магнитной терапии и специальных МГД – устройств для медицинских задач в кардиологии, хирургии и др. К проектам проявлен интерес со стороны Европейской комиссии по атомной энергии и бизнес – структур Франции, которые планируют их финансировать.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Markov, M.S. and Colbert, A.P.* Magnetic and Electromagnetic Field Therapy, *J. Back Musculoskeletal Rehab* **15**, 2001, P. 17–29.
2. *Markov, M.S.* Can Magnetic and Electromagnetic Fields be Used for Pain Relief? *Bulletin of American Pain Society* **12**, 2002, P.1:3–7.
3. *Markov, M.S.* How to go to Magnetic Field Therapy? *International Workshop of Biological Effects of Electromagnetic Fields*, Rhodes, Greece, 7–11 October 2002, P. 5–15. ISBN 960-86733-3-X.
4. *Adey, W.R.* Horizons in Science: Physical Regulation of Living Matter as an Emergent Concept in Health and Disease, in F. Bersani (ed.), *Electricity and Magnetism in Biology and Medicine*, NY, Kluwer/Plenum, 1998, P. 53–57.
5. *Todorov, N.* *Magnetotherapy*, Meditzina i Physcultura Publishing House, Sofia, 1982, p. 106.
6. *Kholodov, YuA.* Basic Problems in Electromagnetic Biology, in M. Markov and M. Blank (eds.), *Electromagnetic Fields and Biomembranes*, Plenum Press NY, 1988, P. 109–116.
7. *Becker, R.O.* *Cross Currents*, Putnam Publishing Group, 1990.
8. *Nordenstrom, B.E.W.* *Biologically Closed Electrical Circuits: Clinical, Experimental and Theoretical Evidence for an Additional Circulatory System*. Nordic Medical Publications, Stockholm, 1983.
9. *Markov M., Hazlewood C., Ericsson A.* System effect: A new approach to magnetic field therapy. *The environmentalist*, 25, 2005, P. 121 – 129.

⁷ **АНГИОГЕНЕЗ** – процесс образования новых кровеносных сосудов в органе или ткани. В норме в организме процессы ангиогенеза протекают с умеренной интенсивностью и только при регенерации повреждённых тканей, реканализации тромбов, ликвидации очагов воспаления, образовании рубца и тому подобных процессах восстановления, а также при росте и развитии организма.

10. *Travell J.G. and Simons D.G.* Myofascial Pain and Dysfunction: The Trigger Point Manual V.2: The Low Extremity, Williams and Wilkins, Baltimore, MD, 1992.
11. *Vallbona C., Hazlewood C.F. and Jurida G.* Response of Pain to Static Magnetic Fields in Post Polio Patients: A Double Blind Pilot Study—Archives, Phys Med Rehab **78**, 1997, P. 1200 – 1203.
12. *Rosch P.J. and Nordenstrom B.E.W.* Is There an Electrical Circulatory System that Communicates Internally and Externally? in P.J. Rosch and M.S. Markov (eds.), Bioelectromagnetic Medicine, Marcel Dekker Inc. NY, 2004, P. 229–249.
13. *Adey W.R.* Potential Therapeutic Application of Nonthermal Electromagnetic Fields: Ensemble Operation of Cells in Tissue as a Factor in Biological Field Sensing, in P.J. Rosch and M.S. Markov (eds.), Bioelectromagnetic Medicine, Marcel Dekker Inc. NY, 2004, P. 1–15.
14. *Markov M.S.* Can Magnetic and Electromagnetic Fields be Used for Pain Relief? Bulletin of American Pain Society **12**, 2002, 1:3–7.
15. *Hazlewood C.F.* A View of the Significance and Current Understanding of the Physical Properties of Cell-Associated Water, in W. Drost-Hansen and J. Clegg (eds.), Cell-Associated Water, Academic Press, NY, 1978, P. 165–259.
16. *Ling G.N.* Life and the Cell and Bellow-Cell Level, Pacific Press, NY, 2001, p. 373.
17. *Jenrow L.A. and Liboff A.R.* Electromagnetic Techniques in Neural Therapy, in P.J. Rosch and M.S. Markov (eds.), Bioelectromagnetic Medicine, Marcel Dekker Inc. NY, 2004, P. 213 – 228.
18. *Nordenstrom, B.E.W.* Electrochemical Treatment of Cancer. I. Variable Response to Anodic and Cathodic Fields, Amer. J. Clin. Oncol., 1989, **12**, P. 530 – 536.
19. *Nordenstrom, B.E.W.* An Additionally Circulatory System: Vascular-Interstitial Closed Electric Circuits, J. Biol. Phys., 1987, **15**, P. 43 – 55.
20. *Jarozeski M.J., Heller R. and Gilbert R.* (eds.), Methods in Molecular Medicine. Electrically Mediated Delivery of Molecules to Cells Totowa, NJ: Humana Press, vol. 37, 2000.
21. *Xin Y., Zhao H., Zhang W., Liang C., Wang Z. and Liu G.* Electrochemical Therapy of Tumors, in P.J. Rosch and M.S. Markov (eds.), Bioelectromagnetic Medicine, Marcel Dekker Inc. NY, 2004, P. 709 – 726.
22. *Markov M., Nindl G., Hazlewood C. and Cuppen J.* Interactions Between Electromagnetic Fields and Immune System: Possible Mechanism for Pain Control. In: S. Ayrapetyan and M. Markov (eds.), The Mechanisms of Biological Effects of Extra High Power Pulses, NATO Advance Research Workshop series, Springer, 2006.
23. *Lushnikov K.V., Gapayev A.B. and Chemeris N.K.* Effects of Extremely High Frequency Electromagnetic Radiation on the Immune System and System Regulation of the Homeostasis, *Radiation Biology. Radioecology*, **42**, 2002, P. 533 – 545 (in Russian).
24. *Markov M.S.* Electromagnetic Fields – A new ecological factor, in M. Markov and M. Blank (eds.), Electromagnetic fields and biomembranes, Plenum Press NY, 1988, P. 136 – 140.
25. *Canaday D.J. and Lee R.C.* Scientific Basis for Clinical Applications of Electric Fields in Soft-Tissue Repair, in C.T. Brighton and S.R. Pollack (eds.), Electromagnetics in Biology and Medicine, San Francisco Press Inc., 1991, P. 275 – 291.
26. *Rosch P.J. and Markov M.S.* Bioelectromagnetic Medicine, Marcel Dekker Inc. NY, 2004 (eds.), P. 850.
27. *Markov M.S.* Informational Character of Magnetic Field Action on Biological Systems, in K. Jensen and Yu. Vassileva (eds.), Biophysical and Biochemical Information Transfer in Recognition, Plenum Press, NY, 1979, P. 496 – 500.
28. *Hazlewood C.F.* Water Movement in Diffusion in Tissues, in D. Bihan and B. Rosen (eds.), Diffusion and Perfusion: Magnetic Resonance, Imaging – New York, 1995, Raven Press.
29. *Hazlewood C.F. and Van-Zandt R.L.* A Hypothesis Defining an Objective end Points for the Relief of Chronic Pain, Medical Hypothesis, **44**, 1995, P. 63 – 65.

30. *Beal P.T., Hazlewood C.F. and Rao P.N.* Nuclear Magnetic Resonance Patterns of Intracellular Water as a Function of HeLa Cell Cycle, *Science* **192**, 1976, P. 904 – 907.
31. *Hazlewood C.F., Markov M.S. and Ericsson A.D.* Electromagnetic Field Therapy: A Role for Water, in S. Ayrapetyan and M. Markov (eds.) BIOELECTROMAGNETICS. Current concepts NATO. Advanced Research Workshop series, Springer, 2006.
32. *Rorschach H.E., Lin C. and Hazlewood C.F.* Diffusion of Water in Biological Tissues, *Scanning Microscopy Suppl.* **5**, 1991, P. S1 – S10.
33. *Ling G.N.* A Revolution in the Physiology of the Living Cells, Krieger Publ. Company, Malabar, 1992.
34. *Hazlewood C.F.* Treatment of Post-Polio Pain with a Static Magnetic Field and Some Notions on Mechanisms, in M.J. McLean, S. Engstrom and R.R. Holcomb (eds.), *Magnetotherapy: Potential Therapeutic Benefits and Adverse Effects*, TEG Press, NY, 2003, P. 191 – 207.
35. *Edmonds D.T.* Larmor Precession as a Mechanism for Detection of Static and Alternating Magnetic Fields, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* **30**, 1993, P. 3 – 12.
36. *Nindl G., Johnson M.T., Hughes E.F. and Markov M.S.* Therapeutic Electromagnetic Field Effects on Normal and Activated Jurkat Cells, International Workshop of Biological effects of Electromagnetic fields, Rhodes, Greece, 7–11 October, 2002, P. 167 – 173. ISBN 960-86733-3-X.
37. *Nindl G., Johnson M.T., Balcavage W.X.* Low-Frequency Electromagnetic Field Effects on Lymphocytes: Potential for Treatment of Inflammatory Diseases, in P.J. Rosch and M.S. Markov (eds.), *Bioelectromagnetic Medicine*, Marcel Dekker Inc. NY, 2004, P. 369 – 390.
38. *Ayrapetyan S. and Markov M.* BIOELECTROMAGNETICS. Current concepts, NATO Advanced Research Workshop series, Springer (eds.), 2006.
39. *Markov M.S.* Biological Effects of extremely low Frequency Magnetic Fields, in *Biomagnetic Stimulation* S. Ueno (ed.), Plenum Press, New York, 1994, P. 91 – 103.
40. *Valberg P.* How to Plan EMF Experiments. *Bioelectromagnetics* **16**, 1995, P. 396 – 401.
41. *Markov M.S. and Todorov N.G.* Electromagnetic Field Stimulation of Some Physiological Properties, *Studia Biophysica*, **99**, 1984, P. 151 – 156.
42. *Pilla A.A., Muehsam D.J., Markov M.S. and Siskin B.F.* EMF Signals and Ion/Ligand Binding Kinetics: Prediction of bioeffective waveform parameters, *Bioelectrochem. Bioenerg.* **48**, 1999, P. 27 – 34.
43. *Ohkubo C. and Okano H.* Static Magnetic Fields and Microcirculation, in P.J. Rosch and M.S. Markov (eds.), *Bioelectromagnetic Medicine*. Marcel Dekker Inc. NY, 2004, P. 563 – 599.
44. *Ericsson A.D., Hazlewood C.F., Markov M.S., and Crawford F.* Specific biochemical changes in circulating lymphocytes following acute ablation of symptoms in reflex sympathetic dystrophy (RSD), *The environmentalist*, **25**, 2005, P. 144 – 156.