

НОВЫЕ ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ЕДИНИЦЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СВЕРХНИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

На основе результатов экспериментальных исследований выявлено прямую зависимость зміни функції окремої тканинної структури живого цілісного організму ссавця при прямій дії на неї ЕМВ СНЧ від його параметрів і часу. Запропоновано для клінічного застосування нові дозиметричні величини та одиниці. Доза, яка активує функцію, виражається в $KiKh$, доза, яка гнітує функцію – у $KhiK$.

Ключові слова: нові дозиметричні величини та одиниці.

На основе результатов экспериментальных исследований выявлена прямая зависимость изменения функции отдельной тканевой структуры живого целостного организма млекопитающего при прямом действии на нее ЭМИ СНЧ от его параметров и времени. Предложены для клинического применения новые дозиметрические величины и единицы. Доза, активирующая функцию, выражается в $KiKh$, доза, угнетающая функцию – в $KhiK$.

Ключевые слова: новые дозиметрические величины и единицы.

On the basis of results of experimental researches direct dependence of variation of function of separate fabric structure of an alive complete organism of the mammal is revealed at direct action on it of a magnetic field from its parameters and time. New dosimetric sizes and units are offered for clinical application. The doze activating function is expressed in $KiKh$, a doze oppressing function – in $KhiK$.

Key words: new dosimetric quantities and units.

В настоящее время в экономически развитых странах четко прослеживается тенденция увеличения продолжительности жизни населения. Поэтому во главу угла ставится вопрос улучшения ее качества. Между тем, к старым, хорошо известным болезням, прибавляются новые, количество людей, страдающих и теми и другими, неуклонно возрастает, вместе с арсеналом средств помощи и непрекращающимся поиском новых, более эффективных.

Эволюционно сложившиеся принципы терапии предполагают подходы в тактике, начиная с этиотропной, патогенетической и далее.

Вместе с тем, неподдающееся счету количество внутренних и внешних факторов, которые изменяют течение болезни у конкретного человека, до сих пор делают профессию врача скорее искусством, чем ремеслом. И тем более искусным считается врач, чем больше факторов, влияющих на индивидуальные особенности течения болезни, он может учесть.

Радикально изменить такое положение дел невозможно, поскольку организм человека открытая система и всегда будут находиться новые, неучтенные внешние, внутренние факторы или их сочетания.

Отсюда показания к назначению того или иного вида лечения, тактика, дозировки химических и физических воздействий носят ориентировочный,

общий характер для ситуации и в меньшей степени определяются индивидуальными особенностями больного.

Это вряд ли устраивает обе стороны – больного, поскольку он не может получить однозначный ответ на вопрос о том, что ему принесет назначенное врачом лечение, и врача – поскольку он не может дать однозначный ответ на этот вопрос.

Не в последнюю очередь причина этого в отсутствии инструмента четкой и простой количественной оценки функционального состояния органа или системы органов у конкретного человека, на которые направлено воздействие и критериев количественной оценки степени химического или физического фактора воздействия для конкретного человека.

Если не углубляться в особенности жизнедеятельности отдельных органов – печени, почек, сердца, эндокринных желез и т. д., которые сегодня определяются комплексами инструментальных и лабораторных исследований, а выделить общее, свойственное для всех, то можно констатировать, что это – функция того или иного органа, которая в определенной клинической ситуации может быть повышена или снижена.

Степень этих изменений определяются как полоса нормы, функциональные или патологические.

Сегодня сложно отказаться от перспективы привнести в клиническую практику средства количественного определения функционального состояния интересующего органа и гарантировано, количественно изменяющих это состояние.

Причем, именно комплекс средств, позволяющий как отслеживать функцию, так и гарантированно количественно изменять ее, одновременно следить за степенью этого изменения, позволит существенно изменить ситуацию и придать медицине действительно, доказательный характер в полном объеме и в прямом смысле этого слова, поскольку сам пациент будет проинформирован до начала лечения о тех количественных изменениях функции его органа, системы или организме, и теми количественными изменениями его функции, которые будут происходить во время лечения и произойдут после его окончания.

В данной работе речь пойдет о средствах гарантированного количественного управления функцией органа живого целостного организма млекопитающего.

Термин «гарантированно» считаем ключевым, поскольку, как уже было сказано, обе стороны взаимодействия – врача и пациента, прежде всего интересует, чтобы первый мог предоставить второму необходимый объем помощи, выражающийся в гарантированной количественно оцениваемой коррекции функции того или иного органа, а второй мог гарантированно получить эту помощь, и сам убедиться в количественной степени полученного эффекта.

Вряд ли такой характер взаимодействий «врач – пациент» не устроил бы обе стороны.

Итак, все острые и хронические заболевания имеют одну характерную особенность – их течение закономерно сопровождается изменением функции клеток поврежденного органа. В одних случаях эта функция повышена, в других, наоборот снижена. Как правило, степень изменения функции больного органа свидетельствует о тяжести процесса.

Главными критериями в выборе вероятного средства позволяющего изменять функциональную активность клеток различных тканевых структур были: широкая полоса биологического эффекта, отсутствие токсического действия, неинвазивность, безболезненное, комфортное применение, отсутствие ограничения по возрасту, общедоступность, простота применения, низкая стоимость, надежность, долговечность, относительная известность, объяснимый механизм действия и т. д.

В наибольшей степени отвечает этим критериям электромагнитное поле сверхнизкой частоты (ЭМИ СНЧ).

В терапии целого ряда заболеваний онкологической и неопухольевой природы, ЭМП выступает как основной лечебный фактор или средство выбора при неэффективности традиционных лечебных мероприятий.

В последнее десятилетие, в мире колоссально возрос интерес к проявлениям биологического

действия неионизирующего электромагнитного излучения (ЭМИ), прежде всего, в изучении его негативного влияния на организм человека и особенно вероятного канцерогенного действия.

В созданной под эгидой ВОЗ Международной Комиссии по защите от Неионизирующего Излучения, в «Руководствах МКЗНИ по ограничению воздействия переменных электрических, магнитных и электромагнитных полей (до 300 ГГц)» обозначены механизмы и проявления биологических эффектов ЭМИ СНЧ.

Вместе с тем, для практического применения не предложено дозиметрического инструмента (величин и единиц), с помощью которого можно оценить и спрогнозировать изменения, закономерно возникающие в отдельной тканевой структуре живого организма, при воздействии на нее ЭМИ СНЧ [1-3].

Цель исследования состоит в определении зависимости степени изменения функции отдельной тканевой структуры живого целостного организма млекопитающего, от времени воздействия на нее ЭМИ СНЧ известных параметров для введение в практику новой дозиметрической величины и единицы ее измерения.

Материалы и методы

Действие ЭМИ СНЧ исследовали с помощью специально сконструированного нами объемного индуктора, который представлял собой С – образный, излучатель магнитного поля, выполненный на ферромагнитных магнитопроводах с обмоткой возбуждения, позволяющий получить в диамагнитном зазоре переменное магнитное поле от 0 до 35 мТл, с равномерностью распределения по индукции до 90 %. При удалении от излучателя, магнитная индукция резко уменьшалась и на расстоянии 10 мм не превышала 0,2 мТл (уменьшение в 75 раз). Замеры магнитной индукции магнитного поля в рабочем объеме проводили «Тесламетром универсальным 43205/1».

Исследование проведено на 24 крысах Вистар, обоого пола, массой 200-240 г, которые были разделены на 3 группы. Облучение проводили бесконтактно, в течение 15 минут. Расстояние между поверхностью излучателя и мышцей составляло не менее 3 мм. Изменение электрофизиологических составляющих мышечного сокращения регистрировали ежеминутно на протяжении всего времени воздействия ЭМИ СНЧ. Затем прекращали подачу электрического тока на излучатель и регистрировали параметры (без магнитного поля) через 1, 2, 5 минут. В эксперименте использовали стандартное электрофизиологическое оборудование, комплект которого состоял: усилитель УБМ, осциллограф С-1-83, электростимулятор ЭСУ-2, фоторегистратор ФОР-2. Статистическая обработка результатов проводилась разностным методом [4].

В первой группе (7 крыс) – изучали изменение порога раздражения и хронаксии мышечного сокращения при облучении икроножной мышцы крысы в ЭМИ СНЧ магнитной индукцией 10 мТл. Стимуляция сокращения была прямая, в условиях блока нервно-

мышечной проводимости миорелаксантом – ардуаном из расчета 0,5 мг/100г.

Животным, под общим обезболиванием (тиопентал-натрия, 5мг/100г массы интروперитонеально), выделяли икроножную мышцу, помещали ее в просвет излучателя, накладывали на нее раздражающие и регистрирующие биполярные электроды, после чего с помощью игольчатых электродов фиксировали исходное функциональное состояние – порог раздражения и хронаксию

Во второй группе (7 крыс) изучали изменение латентного периода (ЛП), длительности и амплитуды вызванного потенциала действия (ПД), при облучении икроножной мышцы крысы ЭМИ СНЧ магнитной индукцией 15 мТл. Стимуляция сокращения – не прямая.

В третьей группе (10 животных) – изучали изменение порога раздражения и хронаксии мышечного сокращения при облучении икроножной мышцы крысы в ЭМИ СНЧ магнитной индукцией 28мТл.

Результаты и обсуждения

Сложность выявления прямой причинно-следственной связи, возникающих биологических эффектов при действии внешних факторов, в том числе и ЭМИ СНЧ, состоит в том, что в живом организме, являющимся саморегулирующейся открытой системой, изменения в какой либо из ее составляющих, неизбежно вызывают изменения всей системы. Более того, отдельная тканевая структура живого организма представляет собой сложно функционирующую совокупность функционального элемента, включающего: ориентированную систему специфических (эпителиальных, мышечных и др.) клеток, соединительную ткань, микроциркуляторную единицу (артериола, капилляры, венола) и терминальное нервное окончание. Такой элемент представляет собой относительно автономную саморегулирующуюся систему, которая благодаря взаимосвязи всех частей элемента и связи с другими элементами, органом и организмом регулирует микроциркуляцию, проницаемость, питание клеток и гомеостаз в целом [5].

Эти обстоятельства диктовали необходимость выбора в качестве экспериментальной модели такую тканевую структуру живого организма, изменения в которой являются прямым следствием воздействия на нее ЭМИ СНЧ, исключив влияние не только целого организма, но и клеток функционального элемента.

По современным представлениям о механизмах, обеспечивающих клеточное функционирование считается, что системы, осуществляющие трансмембранный перенос ионов, обеспечивают выполнение клеткой любой гистологической принадлежности множества обычных клеточных функций, включая поддержание клеткой определенной необходимой формы, клеточный транспорт, взаимодействие клеток и производство энергии, биосинтез липидов, белков и нуклеиновых кислот, контроль клеточного цикла. Прежде всего это относится к Na^+ , K^+ -насосу (16). Поэтому совершенно очевиден факт, что влияние на процессы трансмембранного переноса ионов позволит

корректировать характеристики клеточной жизнедеятельности.

Клеточной системой, изменение функциональной активности которой напрямую связано с трансмембранной кинетикой ионов, является поперечно-полосатая мышца. Функция поперечно-полосатой мышцы – сокращение. Процесс мышечного сокращения всесторонне изучен и напрямую обусловлен трансмембранной кинетикой ионов, в частности Na^+ , K^+ , Ca^{2+} . Изменение трансмембранной кинетики Na^+ , K^+ , Ca^{2+} является условием изменения функциональной активности поперечно-полосатой мышцы.

Это явилось основной причиной для выбора в качестве экспериментальной модели именно поперечно-полосатой мышцы живого организма.

Следующим аргументом в пользу данной экспериментальной модели явился тот, что мышечное волокно обладает возбудимостью, поэтому прямая стимуляция мышцы и ее ответ на эту стимуляцию, позволит при изучении изменения ее функции – сократимости исключить влияние других клеточных систем организма, в том числе единиц функционального элемента и в частности синаптических процессов.

Сама экспериментальная методика и применяемое оборудование для регистрации результатов являются классическими, что позволяет исключить элемент случайно неучтенного фактора, повлиявшего на результат. Кроме того, эксперимент на данной модели позволяет уже в ходе его проведения оценивать результаты как прямое следствие влияния переменного магнитного поля на изменение функциональной активности отдельной клеточной структуры живого организма.

Общезвестно, что мышечное сокращение электрический процесс. Снижение разности потенциалов между наружной и внутренней поверхностями мембраны до порогового значения, порождающего мышечное сокращение, осуществляется благодаря активному трансмембранному переносу ионов Na^+ и K^+ .

Иницирует мышечное сокращение акт раздражения либо самого мышечного волокна, либо соответствующего нервного окончания. В следствие раздражения возникает деполяризация клеточной мембраны. Деполяризация клеточной мембраны с возникновением потенциала действия, который обуславливает начало мышечного сокращения, происходит в результате активации Na , K -насоса и активного трансмембранного перераспределения ионов Na^+ и K^+ . Условие функционирования Na , K -насоса – активация Na , K -АТФазы плазматической мембраны.

Активный центр фермента (центр связывания АТФ) включает COOH -, NH_2 - и SH -группы, OH -группа остаток серина и положительный заряд, представленный аргинином. Активность Na , K -АТФазы зависит от определенной пространственной конформации ее полярных групп в мембране [6].

Собственно мышечное сокращение это процесс, который прямо связан с внутри и внеклеточной

кинетики ионов Ca^{2+} . Перераспределение ионов Ca^{2+} является следствием работы Са-насоса. Материальным субстратом работы Са-насоса служит Ca^{2+} -зависимая АТФаза. Активность этого фермента зависит от определенной пространственной конформации его полярных групп в мембране и клеточных органеллах [7].

Таким образом, обобщая можно констатировать: активное перераспределение ионов Na^+ и K^+ относительно плазматической мембраны с формированием потенциала действия является материальной основой начала процесса мышечного сокращения; активное трансмембранное и внутриклеточное перераспределение ионов Ca^{2+} является необходимым условием мышечного сокращения; материальным субстратом Na^+ , K^+ - и Ca^{2+} -насосов служит Na-, K-, Са-АТФазы, изменение активности которых зависит от определенной пространственной конформации их полярных групп в мембране и времени [7].

Изложенные классические представления механизма сокращения поперечно-полосатой мышцы показывают, каждая его составляющая обусловлена движением зарядов (полярных групп активного центра АТФ-аз: $COOH^-$, NH_2^- , SH^- , OH^- и др. ионов Na^+ , K^+ - и Ca^{2+}).

Согласно всеобщей теории взаимодействия вещества и поля, характер их взаимодействия проявляется силой, которой действует внешнее магнитное поле на заряд (заряженную частицу).

Сила Лоренца

$$F = B g v \sin \alpha,$$

где g – заряд;

v – скорость движения заряда;

B – вектор магнитной индукции;

α – угол между вектором индукции магнитного поля B и вектором скорости заряда v .

Поэтому действие этой силы влияет не только на пространственную ориентацию полярных групп активного центра АТФ-аз: $COOH^-$, NH_2^- , SH^- , OH^- и др., создавая большую или меньшую активность фермента, но и на скорость движения заряженных частиц Na^+ , K^+ - и Ca^{2+} , пропорциональной величине заряда и магнитной индукции внешнего поля.

Данное положение не противоречит литературным данным [8, 9].

Таким образом, можно утверждать, что внешнее ЭМИ СНЧ, влияя силой на заряды, приводя к изменению пространственной ориентации полярных групп транспортных ферментов и трансмембранной

кинетики ионов, проявит биологическое действие в виде качественного и количественного изменения функции поперечнополосатой мышцы.

Электрофизиологические параметры, характеризующие степень функциональной активности поперечнополосатой мышцы при прямой ее стимуляции – порог возбуждения и хронаксия дающие представление о степени функциональной активности Na^+ , K^+ - и Са-насосов, а так же о скорости и силе мышечного сокращения.

При непрямой стимуляции это – латентный период – характеризующий скорость течения синаптических процессов, в том числе и активность Na^+ , K^+ -насоса мембраны мышечной клетки; длительность и амплитуда ПД – характеризует степень функциональной активности Na^+ , K^+ - и Са-насосов.

Совершенно очевидно, что изменение (увеличение или уменьшение) скорости хотя бы одного из составляющих процесса мышечного сокращения проявится изменением (увеличением или уменьшением) самого сокращения, которое является биологической функцией поперечно-полосатой мышцы.

Значения магнитной индукции – 10, 15 и 28 мТл, выбранные нами для изучения изменений функциональной активности поперечнополосатой мышцы при действии на нее ЭМИ СНЧ, были установлены экспериментальным путем, так как при прямом действии на икроножную мышцу магнитного поля с индукцией от 1 до 10 мТл изменений ее функциональной активности не определялось, в полосе значений магнитной индукции 12-20 мТл наблюдалась стимуляция функции, при 22-30 мТл и выше – угнетение. Это стало основанием для более детального изучения биологической активности ЭМИ СНЧ с магнитной индукцией предполагаемого порогового значения – 10 мТл; среднего значения, при котором наблюдалась стимуляция функции – 15 мТл и значений магнитной индукции, при которых функция клеток угнеталась – 28 мТл.

Во всех экспериментальных сериях мы получали однонаправленные результаты, статистически достоверные и поэтому не было необходимости в тиражировании экспериментов, в которых, к сожалению, гибли животные. Это и определило наше решение, ограничиться таким небольшим, по обычным меркам, количеством животных, участвовавших в исследовании.

Результаты первой серии эксперимента представлены в таблице № 1

Таблица 1

Динамика параметров возбудимости икроножной мышцы при действии ЭМИ СНЧ напряженностью 10 мТл

Показатели возбудимости	Исходное значение	Время регистрации изменений		
		5 мин	10 мин	15 мин
Порог возбуждения (мВ)	18,3±0,3	17,9±0,3	18,0±0,3	18,0±0,3
Хронаксия (мс)	5,0±0,03	5,0±0,3	5,0±0,3	5,0±0,3

Приведенные в таблице данные показывают отсутствие изменений изучаемых параметров сокра-

тимости. После прекращения облучения, изменения сохранялись (табл. 5)

Результаты этой экспериментальной группы выявили нижний порог действия ЭМИ СНЧ, при котором не происходит изменение функциональной активности клеток при прямом их облучении. Вероятно, что ЭМИ, таких значений индукции, недостаточно для конформационной переориентации полярных групп транспортных ферментов.

Изменение функциональной активности, при прямом облучении наблюдали при напряженности поля более 10 мТл.

Результаты второй серии экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

Для расчета статистически достоверных изменений, мы применили разностный метод, в котором оценивалась разность между исходными значениями и наступившими после каждой минуты облучения, поскольку исходные значения, в частности амплитуды, значительно отличались в каждом случае [4].

При общей оценке происходящих изменений видно, что ЭМИ, со значениями магнитной индукции порядка 15 мТл, приводит к выраженной стимуляции функции икроножной мышцы, которая наступала после второй минуты облучения.

Таблица 2

Изменения латентного периода, длительности потенциала действия и амплитуды икроножной мышцы при воздействии переменного магнитного поля напряженностью 15 мТл

Исследуемая составляющая сокращения	Значения разности	Время регистрации изменений			
		2 мин (M±m)	3 мин (M±m)	7 мин (M±m)	15 мин (M±m)
Латентный период (мс)		0,2±0,07*	0,2±0,08*	0,47±0,09*	0,9±0,06*
Длительность ПД (мс)		-0,27±0,33	-0,24±0,32	0,6±0,2*	1,17±0,11*
Амплитуда (мВ)		1,25±0,53	1,6±0,67*	2,55±0,87*	4,18±1,62*

Примечание: * – статистически достоверные изменения

Достоверное уменьшение латентного периода происходило после второй минуты облучения, амплитуды – после третьей, потенциала действия – после седьмой минуты.

Латентный период после второй минуты облучения сократился с 1,942 до 1,814. Разница показателей достоверна (P < 0,05).

К 15 минуте эксперимента сокращение ЛП достигло 53 %, с 1,942 до 1,028 (P < 0,001), уменьшение в 1,9 раза.

Длительность ПД в первые три минуты несколько увеличилась, по сравнению с исходными значениями и достоверно уменьшилась после 7-й минуты облучения с 5,84 до 5,2 (P < 0,05). После 15-ти минутного воздействия ЭМП, время потенциала действия стало

меньше контрольного на 20 %, с 5,84 до 4,68 (P < 0,001).

Амплитуда ПД уменьшилась после 2-х минут облучения с 43,73 до 42,64 (P < 0,05); через 15 минут она сократилась на 15 % и составила 37,37 (P < 0,05).

Ежеминутная регистрация исследуемых параметров показала – при увеличении времени облучения, их значения прогрессивно уменьшались, достигая минимума (максимума изменений) к 15-й минуте облучения, после чего оставались на том же уровне, не смотря на продолжающееся воздействие (30 минут).

После прекращения подачи электрического тока на излучатель изменения латентного периода, длительности ПД и его амплитуды сохранялись (табл. 3).

Таблица 3

Изменения латентного периода, длительности потенциала действия и амплитуды икроножной мышцы после прекращения воздействия ЭМИ СНЧ

Исследуемая составляющая сокращения	Значения возбуждения (15мин эксперимента)	Время регистрации изменений после выключения аппарата		
		1 мин	2 мин	5 мин
Латентный период (мс)	1,028±0,028	1,028	1,142±0,15	1,17±0,121
Длительность ПД (мс)	4,68±0,33	4,68	4,68	4,68
Амплитуда (мВ)	37,37±2,72	35,40±1,47	35,40±1,47	36,74±1,19

Как видно из представленных в таблице данных, изменения незначимы, статистически недостоверны.

Результаты первой серии экспериментов, свидетельствуют о выраженном (в 2 раза) увеличении функции клеток, которое возникло вследствие повышения производительности их транспортных систем.

Возрастание степени этих изменений при увеличении времени облучения, может происходить как за счет более полной, «рационально-комфортной» пространственной ориентации (разворот полярных групп ферментов под действием силы Лоренса на более комфортный для работы угол), что в зависимости от времени действия ЭМИ, в большей или

меньшей степени «открывает» эти транспортные «шлюзы», увеличивая их пропускную способность для ионов. При достижении определенной дозы (степени воздействия) «шлюзы» открыты полностью и увеличение функциональной активности (пропускной способности «шлюзов») прекращается.

Таким образом, результаты данной серии экспериментов показывают – прямое действие на отдельную тканевую структуры целостного, живого организма млекопитающего, ЭМИ СНЧ в полосе значений напряженности поля в очаге свыше 10 до 20 мТл, приводит к стимуляции ее функции, степень выраженности которой, зависит от времени облучения.

Результаты, полученные в третьей экспериментальной группе показали, что ЭМИ СНЧ, со значением магнитной индукции в очаге (напряженности) более 20 мТл, угнетает функцию клеток, степень угнетения которой, так же зависит от значений напряженности поля в очаге и времени воздействия. В этом случае конформация полярных групп клеточных транспортных ферментов изменяется таким

образом, что пропускная способность ионных «шлюзов» падает ниже исходной и функция клетки уменьшается (табл. 4).

Полученные данные свидетельствуют о прогрессивном увеличении порога возбуждения мышцы и увеличении хронаксии, достоверное изменение которых констатировалось после третьей минуты облучения.

Таблица 4

Динамика параметров возбудимости икроножной мышцы при действии ЭМП напряженностью 28 мТл

Показатели возбудимости	Исходное значение	Время регистрации изменений			
		2 мин	3 мин	4 мин	15 мин
Порог возбуждения (мВ)	18,4±0,3	18,4±0,3	19,2±0,3	19,6±0,3*	23,3±0,3*
Хронаксия (мс)	5,2±0,03	5,3±0,02	5,4±0,03*	5,3±0,03*	5,9±0,08*

Примечание: * – статистически достоверные изменения.

Таблица 5

Показатели мышечной возбудимости после прекращения действия ЭМП

Показатели возбудимости	Параметры возбудимости (15 мин эксперимента)		Время регистрации изменений после прекращения действия магнитного поля	
	10 мТл	28 мТл	5 мин	
			10 мТл	28 мТл
Порог возбуждения (мВ)	18,0±0,3	23,3±0,3	18,3±0,3	22,7±0,4*
Хронаксия (мс)	5,0±0,3	5,9±0,08	5,0±0,3	5,8±0,08*

Примечание: * – статистически недостоверные изменения

Представленные в таблице результаты показывают, что после прекращения облучения, изменения сохранялись.

Таким образом, тремя сериями экспериментов показано, что ЭМИ СНЧ, вызывает выраженный биологический эффект при прямом облучении отдельной тканевой структуры целого живого организма млекопитающего, который проявляется в одних случаях увеличением функциональной активности выше исходных значений, степень увеличения которых, зависит от времени облучения. В других – ее уменьшением ниже исходных значений, степень уменьшения которых, зависит от времени облучения.

Прямая зависимость качественного и количественного изменения функциональной активности отдельной гистологической структуры организма от значений напряженности переменного магнитного поля и времени, которое воздействуют на нее, позволяют нам предложить новую дозиметрическую величину – «**эффективная тканевая очаговая доза ЭМП СНЧ**» – такой совокупности напряженности ЭМП СНЧ (H) и времени (t), которая при воздействии на массу клеток (m) очага отдельной тканевой структуры организма, вызывает закономерные изменения ее функции.

Изменения, происходящие в отдельной тканевой структуре живого организма при действии на нее внешнего ЭМП СНЧ можно описать формулой:

$$D_{\text{э}} = \frac{H}{m} \times t,$$

где $D_{\text{э}}$ – эффективная тканевая доза – совокупность величины напряженности – H внешнего электромагнитного поля сверхнизкой частоты, в течении определенного времени t , вызывающей

закономерный биологический эффект в отдельной тканевой структуре массой m , живого организма.

H – напряженность магнитного поля

$$H = \frac{B}{\mu\mu_0}.$$

B – вектор магнитной индукции, (значения определяются экспериментально для каждой тканевой структуры живого организма);

μ – магнитная проницаемость среды (ткани);

μ_0 – магнитная постоянная.

Общий вид формулы будет иметь вид:

$$D_{\text{э}} = \left(\left(\frac{B}{\mu\mu_0} \right) : m \right) t$$

H – напряженность магнитного поля в очаге;

q – заряд;

v – скорость движения заряженной частицы;

$\sin \alpha$ – угол, действия поля на движущуюся заряженную частицу;

m – масса ткани;

t – время воздействия;

Аналогичный принцип положен в основу определения очаговой дозы при лучевой терапии, ионизирующим излучением.

Вместе с тем, поскольку качественные изменения зависят от полосы значений магнитной индукции и носят прямо противоположный характер – стимуляцию функции или ее угнетение, необходимо разделить дозиметрические понятия границами, в которых разные по качеству проявления изменяются количественно и на практике применять:

1 – Дозу Активирующую Функцию (ДАФ) – в случаях, когда биологический эффект (активация функции), вызывается при облучении клеток ткани

ЭМП СНЧ в полосе значений магнитной индукции в очаге (напряженности) 12-20 мТл, выраженность которого прямо зависит от значений магнитной индукции в очаге (напряженности) и времени воздействия.

2 – **Дозу Угнетающую Функцию (ДУФ)** – в случаях, когда биологический эффект (угнетение функции), вызывается при облучении клеток ткани ЭМП СНЧ в полосе значений магнитной индукции в очаге (напряженности) 22-30 мТл, выраженность которого прямо зависит от значений магнитной индукции в очаге (напряженности) и времени воздействия.

Для однозначного толкования того, о каком количественном воздействии (дозе) идет речь – активирующем или угнетающем назвать единицу ее количества по заглавным буквам фамилии авторов

1 – Дозу Активирующую Функцию (ДАФ) – измеряемую в единицах **KiKh** (Кихтенко и Хворостенко) – **KiKh** в СИ – k^{-1}

Например: **1 KiKh** это такая активирующая функцию доза **ДАФ** ЭМИ СНЧ, которая при прямом воздействии на очаг (зону интереса) минимально активирует функцию клеток тканей очага (в СИ-1 k^{-1})

2 – **Дозу Угнетающую Функцию (ДУФ)** – измеряемую в единицах **KhiK** (Хворостенко и Кихтенко) – **KhiK** в СИ – k^{-1}

Например: **1 KhiK** это такая угнетающая функцию доза **ДУФ** ЭМИ СНЧ, которая при прямом воздействии на очаг (зону интереса) минимально угнетает функцию клеток тканей очага (в СИ – 1 k^{-1})

Таким образом, вполне вероятно, что ответ разных тканей на действие ЭМИ СНЧ может иметь некоторые особенности, но выявленная закономерность, сохраняется и это создает условия для количественного подхода в изучении биологического действия этого вида неионизирующего излучения и его рационального клинического применения.

Расчет очаговой дозы ЭМИ СНЧ проводится по аналогии с расчетом поглощенной дозы ионизирующего излучения: $Gr = D_{ж/кг} = m^2/c^2$, для $KiKh / KhiK = Ht/m = k^{-1}$

Пример расчета дозиметрической полосы для ДАФ можно представить исходя из экспериментально клинических данных где значения напряженности лежат в полосе 11-20 мТл для ДАФ и 21-30 мТл для ДУФ, времени облучения 2-15 минут и массе, соответствующей массе патологического очага, которую можно определить для тканей любой локализации как наружной так и внутренней по результатам рентген компьютерной томографии, определив объем и плотность тканей очага.

Рассчитываем ДАФ и ДУФ по аналогии с определением очаговой поглощенной дозы ионизирующего излучения, которая в клинике рассчитывается путем определения времени облучения объема патологического очага, зная мощность излучения источника.

Определяем очаговую дозу активирующую функцию ЭМИ СНЧ, по формуле: $D_{ДАФ} = \frac{H_t}{m}$, $0,01 > B >$

$0,02$; $120 > t > 900$, находим, что для горячего патологического очага массой 0,5 кг с большой функциональной активностью тканей значения напряженности ЭМП может составлять 11-13 мТл, время воздействия 2-5 минут находим, что доза стимулирующая функцию ДАФ будет лежать в пределах

$$\frac{0,011(0,019) \times 12}{0,5} = 2,64 (34,2) \text{ KiKh } (k^{-1}).$$

Для «холодного» патологического очага такой массы значения ДУФ определяем по формуле:

$$D_{ДУФ} = \frac{H_t}{m}, 0,02 > B > 0,03; 120 > t > 900, \text{ находим,}$$

что для «холодного» повреждения дозы ДУФ будут лежать в пределах

$$\frac{0,02(0,03) \times 12}{0,5} = 4,8 (54) \text{ KiKh } (k^{-1}).$$

Вместе с тем, с целью упрощения практического применения, вероятно можно ограничиться при планировании дозы облучения временем и напряженностью поля в очаге, при условии применения аппаратов, позволяющих ограничить воздействие на патологический очаг, исключив окружающие ткани. Тогда расчет доз ДАФ и ДУФ будет вестись по времени и напряженности.

В заключении необходимо отметить, что все острые и хронические заболевания имеют одну характерную особенность – их течение закономерно сопровождается изменением функции поврежденного органа. В одних случаях эта функция резко повышена, в других, наоборот снижена. Как правило, степень изменения функции больного органа свидетельствует о тяжести процесса.

Клиническое применение электромагнитного поля сверхнизкой частоты, позволит корректировать функцию органа или ткани в заданном направлении режима ДАФ – активируя ее, ДУФ – угнетая, степень изменения которых зависит от дозы активирующей функцию, количественно выражаемую в $KiKh$, или дозы угнетающей функцию, выраженную в $KhiK$.

Выводы

1. ЭМП СНЧ при прямом воздействии на отдельную тканевую структуру живого, целостного организма млекопитающего имеет порог магнитной индукции – 10 мТл, ниже которого биологический эффект не проявляется.

2. ЭМП СНЧ при прямом воздействии на отдельную тканевую структуру живого, целостного организма млекопитающего в полосе значений магнитной индукции 12-20 мТл, проявляет биологический эффект в виде активации ее функции, в полосе значений 22-30 мТл – ее угнетения. Степень проявления биологического эффекта прямо зависит от времени облучения.

3. Для количественной оценки Дозы Активирующей Функцию (ДАФ) и Дозы Угнетающей Функцию (ДУФ) предложены дозиметрические единицы – $KiKh$ и $KhiK$ соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Холодов Ю. А. Нейробиологические подходы к магнитотерапии. // Биомедицинская радиоэлектроника. – 1998. – № 4. – С. 30-36.
2. Грушина Т. И. Физиотерапия при постмастэктомическом синдроме // Медицинская физика. – 1995. – № 2. – С. 110
3. Соловьева Г. Р. Магнитотерапевтическая аппаратура. – М: Медицина, 1991.-165с
4. Лакин Г. Ф. Биометрия. – М.:Медицина, 1990. – 352 с.
5. В. В. Серов, А. Б. Шехтер Соединительная ткань / М.: Медицина, 1981. – 310с.
6. А. И. Дворецкий, С. Н. Айрапетян, А. М. Шаинская Трансмембранный перенос ионов при действии ионизирующей радиации на организм / Киев: Наук. думка, 1990.-136с. .
7. А. Котык, К Яначек Мембранный транспорт/ М.: «Мир», 1989. – 318 с.
8. Пресман А. П. Электромагнитные поля и живая природа. – М.: 1968. Наука. – 256 с.
9. Демецкий А. М., Чернов В. Н., Попова Л. И. Введение в медицинскую магнитологию/Ростов-на-Дону.-изд. Ростовского университета,-1991.-95с.

Рецензенти: Чорна В. І., д.б.н., професор;
Томілін Ю. А., д.б.н., професор

© Кихтенко И. Н., Хворостенко М. И., 2011

Стаття надійшла до редколегії 05.06.2011 р.