

МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ ПРИ ЭКЗОГЕННОЙ БИОРЕЗОНАНСНОЙ ТЕРАПИИ

М.Ю. Готовский

Центр интеллектуальных медицинских систем «ИМЕДИС» (г. Москва)

Magnetic resonance processes in organs and tissues during exogenous bioresonance therapy

M.Yu. Gotovskiy

Center of intellectual medical systems «IMEDIS» (Moscow, Russia)

РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается один из механизмов биологического действия экzogенной биорезонансной терапии, который реализуется в лечебный эффект через механическое преобразование переменных магнитных полей в организме. Обсуждаемый магниторезонансный эффект осуществляется благодаря присутствию в органах и тканях магнитных наночастиц биогенного и техногенного происхождения, а также наличию в клеточных мембранах механосенситивных ионных каналов.

Ключевые слова: экzogенная биорезонансная терапия, механизм действия экzogенной биорезонансной терапии, биогенные и техногенные магнитные наночастицы, механосенситивные ионные каналы клеточных мембран.

RESUME

One of mechanisms of exogenous bioresonance therapy biological action which is realized by means of mechanical transformation of alternating magnetic fields in the organism is considered in the article. The effect under consideration is realized due to presence of magnetic nanoparticles of biogenic and technogenic origin as well as presence of mechanosensitive ion channels in cell membranes.

Keywords: exogenous bioresonance therapy, biogenic and technogenic magnetic nanoparticles, mechanosensitive ion channels in cell membranes.

ВВЕДЕНИЕ

Терапевтическое использование собственных электрических сигналов организма человека, которое в настоящее время прочно зарекомендовало себя как эффективный неинвазивный метод лечения, берет свое начало в 1970-х годах. Основоположником этого метода считается немецкий врач F. Morell (1921–1990), который предположил существование в организме двух видов электрических колебаний: физиологических и патологических.

Свою идею инвертировать и элиминировать патологические колебания F. Morell реализовал в терапевтическом устройстве, которое он начал разрабатывать вместе с инженером E. Rasche (1946–2010). Затем в 1977 г. ими совместно с биофизиком L. Mersmann (1949–2004) был создан фильтр для отделения физиологических колебаний от патологических [1]. Несколько позже E. Rasche и W. Ludwig (1927–2004) вместо фильтра L. Mersmann разработали очень похожее электронное устройство для усиления сигналов и их спектральной филь-

трации [2]. В 1978 г. F. Morell впервые описал принцип лечебного применения разделения патологических колебаний от физиологических, который получил название MORA-терапия как аббревиатура от фамилий изобретателей метода «МО» – Morell и «РА» – Rasche [3]. Впоследствии на основе этого метода H. Brügemann разработал прибор с подключением к компьютеру, применение которого в лечебных целях назвал «биорезонансной терапией» [4].

Параллельно с применением собственных электрических колебаний в лечебных целях по F. Morell, впоследствии получивших название эндогенной биорезонансной терапии (БРТ), W. Ludwig разрабатывал метод лечебного использования переменных магнитных полей низкой частоты и интенсивности [5]. Предложенный метод заключался в использовании индукционных катушек (соленоидов) для локального воздействия на ту или иную область тела переменным магнитным полем с основной частотой 10 Гц с вариацией в диапазоне от 4 до 12 Гц. W. Ludwig предполагал, что при этом

будет реализовано избирательное (резонансное) воздействие на различные органы и ткани (находящиеся в основном в патологическом состоянии), не затрагивая при этом другие, как это происходит в методе БРТ [6, 7]. Терапевтический эффект при этом достигался при использовании низкоинтенсивных магнитных полей. [8]. В дальнейшем возможности метода W. Ludwig были расширены за счёт применения магнитных полей более высоких частот (до 500 Гц). Данные о терапевтической значимости магнитных полей в этом диапазоне были получены эмпирически исходя из результатов электропунктурного тестирования и наблюдаемого клинического эффекта. Позднее этот метод получил название экзогенной БРТ.

В основе механизма лечебного действия как эндогенной, так и экзогенной БРТ, несмотря на различие в характере действующего фактора (электрические колебания и переменные магнитные поля), лежит стохастический резонанс [9]. Стохастический резонанс при эндогенной БРТ состоит в преодолении порога и реализации ответной реакции в процессе усиления величины воздействующего (терапевтического) сигнала в результате поступления энергии из широкополосного шума. В случае экзогенной БРТ ведущую роль также играет стохастический резонанс как результат синхронной модуляции потенциала управляемых ионных каналов мембран, индуцированный внешними переменными магнитными полями.

Представления о механизмах взаимодействия переменных магнитных полей низких

интенсивностей (рис. 1) с биологическими средами в последнее время существенно расширились [10, 11].

В частности, процессы взаимодействия переменных магнитных полей с биологическими объектами не ограничиваются только индуцированием токов в среде, но существует и другой путь – преобразование в механические колебания [12]. Таким образом, в механизме экзогенной БРТ помимо других стало возможно рассматривать магниторезонансную (механическую) составляющую при действии внешних переменных магнитных полей. Подобный подход можно считать вполне адекватным, поскольку все процессы жизнедеятельности в той или иной степени сопровождаются механическими явлениями, происходящими как на уровне целого организма, так и в органах и тканях. Исследования о присутствии в органах и тканях магнитных наночастиц и существование механосенситивных ионных каналов клеточных мембран предоставили возможность проанализировать и обосновать роль механических преобразований переменных магнитных полей в органах и тканях при экзогенной БРТ, которая рассматривалась нами ранее [9].

БИОГЕННЫЙ МАГНЕТИТ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ

Концепция «биогенного магнетита» в некоторой степени объясняет чувствительность к геомагнитному полю некоторых бактерий, рыб, птиц и высших животных присутствием в их тканях скоплений окисного железа – биоминерализации. Биоминерализация – это совокупность биохимических процессов, в результате которых в живых организмах образуются минеральные включения. Среди подобных включений особое внимание привлекли неорганические соединения железа или биогеогенный магнетит – частицы, обладающие ферромагнитными свойствами [13]. Самые распространенные магнитные включения в основном состоят из соединений магнетита (Fe_3O_4) или грейгита (Fe_3S_4), которые накапливаются внутри клеток в виде частиц (ферромагнитных кристаллов) диаметром от 30 до 120 нм – магнитосом [14]. Впервые присутствие биогеогенного магнетита было отмечено в бактериях и многоклеточных организмах, а в 1981 г. J.L. Kirschvink обнаружил наличие соединений магнетита в головном мозге приматов [15]. Обнаруженные кристаллы магнетита у животных в пределах одного биологического вида одинаковы по своим размерам. Магнито-

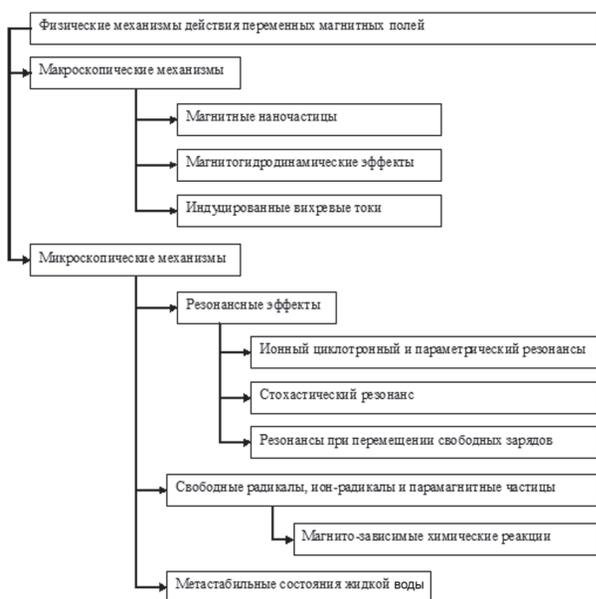


Рис. 1. Физические механизмы действия переменных магнитных полей.

метрические и морфологические исследования тканей показали, что у некоторых животных, например, у обезьян включения магнетита содержатся в надпочечниках, мозжечке, среднем мозге и мозолистом теле [16]. Наибольшее количество кристаллов биогенного магнетита обнаружено в головном мозге человека, где на 1 г ткани приходится не менее 5×10^6 кристаллов магнетита размером от 10 до 200 нм, которые равномерно распределены в мозжечке, базальных ганглиях, среднем мозге [17]. Согласно представлениям R.R. Baker, хоминговая реакция человека (ориентация и навигация) объясняется присутствием биогенного магнетита в тканях головного мозга, являясь, таким образом, шестым чувством [18]. В то же время наличие магнетитовых кристаллов в головном мозге человека не позволяет однозначно утверждать о какой-либо избирательной чувствительности к внешним геомагнитным полям.

Однако нельзя исключить возможность участия кристаллов биогенного магнетита в реализации воздействия внешних переменных магнитных полей через магнитоакустические эффекты. Магнитные моменты всех атомов ферромагнетиков ориентированы параллельно, в результате чего величина магнитного момента кристалла равна сумме всех магнитных моментов атомов. Ферромагнитные кристаллы реагируют на изменение внешнего магнитного поля в большей степени, чем диамагнитные или парамагнитные материалы такого же объема.

Находящиеся в тканях кристаллы магнетита в принципе способны реагировать на изменение величины магнитных полей двумя путями. Один из предполагаемых механизмов заключается в том, что присутствующий в тканях организма биогенный магнетит может поглощать энергию поля через магнитоакустический резонанс. Энергия взаимодействия кристаллов магнетита с внешним магнитным полем от 10^3 до 10^7 раз больше, чем величина тепловой энергии kT (k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура) тела при нормальной температуре. В принципе, магнитосомы способны реагировать резонансным образом на переменное магнитное поле через магнитоакустический резонанс, при котором энергия поля преобразуется в механические колебания в этом же диапазоне частот [12]. Объединение частиц магнетита в однонаправленные цепочки позволяет рассматривать их как структуру, отвечающую резонансом на переменное магнитное поле более низкой частоты, чем одиночные кристаллы, обеспечивая, в связи с этим, большую широкопо-

лосность взаимодействия. Другой механизм определяется тем, что магнетит распределен в организме в виде образований размером значительно меньше одного микрометра, в связи с чем было высказано предположение, что каждый из множества N кристаллов может быть своеобразным «приемником» переменного магнитного поля [17]. Тогда для N -числа расположенных в тканях организма кристаллов отношение сигнал/шум стало бы в \sqrt{N} раз больше, что значительно повысило бы чувствительность к магнитным полям низких интенсивностей.

Стохастический резонанс магнитных наночастиц рассматривается так же, как один из механизмов биологического действия низкочастотных магнитных полей, который определяется усредненной ориентацией магнитосом [19, 20]. Одним из признаков стохастического резонанса является наличие области, в которой отношение сигнал/шум парадоксально растет с увеличением температуры.

Предполагается, что конформационные колебания макромолекул в процессе ферментативного катализа сопровождаются возникновением распространяющихся в окружающей среде упругих механических волн в диапазоне частот от 0,001 Гц до 1,6 кГц и выше [21]. Теоретическая оценка позволяет рассматривать возможность синхронизации и затягивания частоты колебаний макромолекул индуцированным внешним магнитным полем, механическими волнами и вызывать благодаря этому биологические эффекты.

МАГНИТНЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ

В последнее время установлено, что в число загрязняющих составляющих атмосферы крупных городов входят наночастицы размером от нанометров до нескольких микрометров с концентрацией до 10^7 частиц в 1 см^3 воздуха [22]. Источниками таких наночастиц, среди которых обнаружены и магнитные, являются выбросы электростанций, промышленных предприятий и выхлопы двигателей автомобилей [23–25]. Наиболее вероятным путем попадания в организм наночастиц из-за их малого размера является ингаляционный, хотя нельзя исключить и возможность их поступления через желудочно-кишечный тракт. Следует упомянуть результаты исследований основоположника метода магнитокардиографии D. Cohen, которым вместе с соавторами при изучении остаточной намагниченности различных органов человека была обнаруже-

на наибольшая величина в легких [26]. Таким образом, результаты этих исследований еще в 1970-х годах однозначно указали на ингаляционный путь поступления магнитных наночастиц в организм, который в настоящее время считается основным.

В последнее время стало актуальным изучение проблемы патогенной минерализации в результате техногенного загрязнения окружающей среды, наряду с естественным содержанием частиц магнетита в организме. Поступление техногенных магнитных наночастиц в организм человека в сочетании с содержащимся в органах и тканях биогенным магнетитом, которое увеличивается с возрастом, может нарушать клеточный гомеостаз и вызывать развитие патологий [27, 28]. Магнитные наночастицы обнаружены в тканях сердечно-сосудистой системы и головного мозга человека, поскольку обладают способностью проникать через гематоэнцефалический барьер, что может приводить к развитию некоторых нейродегенеративных заболеваний, включая болезнь Альцгеймера [29–31]. Можно полагать, что магнитные наночастицы преимущественно накапливаются в патологически измененных органах, что в какой-то степени и является причиной возникновения заболеваний [32]. Исследование динамики естественного биораспределения магнитных наночастиц железа при пероральном и парентеральном введении лабораторным животным показало характер их распределения в организме [33, 34]. При этом установлено, что характеристики наночастиц оказывают влияние не только на их естественное распределение в организме, но и на определенную тропность к конкретным тканям и органам. Техногенные магнитные наночастицы так же, как и частицы биогенного магнетита способны взаимодействовать с переменными магнитными полями низкой частоты, причем как с полями естественного происхождения, так и техногенными. Характер взаимодействия позволяет наночастицам модулирующим образом влиять на основные нервные процессы (возбуждение и торможение) в центральной нервной системе [35]. Подобный процесс может также реализовываться через магнитоакустический резонанс и преобразование в механические колебания. Вполне возможно, что отмечающаяся в последнее время повышенная метеочувствительность может быть связана с накоплением в организме техногенных магнитных наночастиц, приводящих к неблагоприятным реакциям на изменение геомагнитного поля Земли.

Вместе с тем, необходимо принимать во внимание тот факт, что распространение механических колебаний в биологических тканях гетерогенных по своей массе с упругими свойствами и структурной организацией, характеризующейся низкой добротностью, приводит к очень значительному затуханию [36]. В связи с этим, следует рассмотреть механизм преобразования механических колебаний в сигналы, которые в клетках реализуются через механосенситивные каналы мембран.

МЕХАНОСЕНСИТИВНЫЕ ИОННЫЕ КАНАЛЫ КЛЕТОЧНЫХ МЕМБРАН

Механочувствительность как прием и преобразование механических колебаний является свойством не только специализированных рецепторных структур, но и представляет собой универсальный принцип, который распространяется практически на все клетки организма [37]. Механические раздражители преобразуются во внутриклеточные сигналы через механосенситивные ионные каналы, которые активируются при деформации (растяжении или сжатии) клеточной мембраны [38]. Механосенситивные ионные каналы мембран обнаружены не только в возбудимых клетках, но и в тех, функция которых не связана с восприятием стимулов, например, эритроциты крови, клетки эпителия и др. [39, 40]. В зависимости от уровня действующего механического стимула происходит активация механосенситивного канала, которая преобразуется в клетке в электрические и/или химические внутриклеточные сигналы, вызывающие дальнейшие биологические эффекты [40]. Можно а priori утверждать, что в результате механического воздействия в клетке реализуется ответная реакция, которая складывается из двух составляющих – быстрой и медленной. Быстрая реакция характерна для возбудимых клеток, например, нейронов или нервных волокон, и происходит в виде местного или распространяющегося возбуждения. Медленная составляющая является метаболической и связана с модулирующим влиянием работы активного транспорта ионов Na^+ и K^+ на энергетику клетки [41, 42]. В сущности, медленную составляющую можно рассматривать как один из элементов механохимической регуляции клеточного метаболизма, также участвующий в процессах развития [43, 44]. Есть все основания предполагать, что резонансный отклик как биогенных, так и техногенных магнитных наночастиц в виде механических колебаний при действии переменного низкочастотного маг-

нитного поля воспринимается механосенситивными ионными каналами мембран, преобразуясь во внутриклеточные сигналы по двум составляющим. Таким образом, можно рассматривать быструю составляющую в нервных волокнах при экзогенной БРТ как трансформацию частоты переменного магнитного поля в распространяющееся нервное возбуждение. Исходя из величины периода абсолютной рефрактерности для нервного волокна в среднем порядка 0,4–2 мс, можно предположить, что частота трансформации механических колебаний магнитных наночастиц в нервные импульсы будет лежать в диапазоне от 500 до 2500 Гц. Нельзя также исключить возможность расширения диапазона трансформируемых частот переменного магнитного поля при экзогенной БРТ в более низкочастотную область, что определяются видом нервного волокна и выполняемой им физиологической функцией. Медленная компонента внутриклеточных сигналов от механосенситивных каналов при действии механических колебаний магнитных наночастиц, которая связана с энергетикой клетки, при экзогенной БРТ формирует не нервную, а, скорее, гуморальную регуляцию и может способствовать формированию более стойкого терапевтического эффекта. С другой стороны, в последнее время показана возможность управления биохимическими реакциями в условиях *in vitro* посредством приложения внешнего магнитного поля частотой 50 Гц [45]. В результате этого реализуется наномеханическое воздействие при помощи магнитных наночастиц, находящихся в комплексе с биологическими макромолекулами. Наномеханическое управление биохимическими реакциями с помощью внешних магнитных полей принципиально отличается от других методов как селективностью и локальностью, так и большими потенциальными возможностями управления на уровне отдельных биологических макромолекул [46].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ роли и значения механического преобразования переменных магнитных полей в органах и тканях при экзогенной биорезонансной терапии показал, что ведущая роль в этих процессах принадлежит присутствующим в органах и тканях организма магнитным наночастицам биогенного и техногенного происхождения как источникам механических колебаний. Приемниками таких колебаний являются механосенситивные ионные каналы клеточных мембран, активация

которых преобразуется в клетке в электрические и/или химические сигналы, вызывающие дальнейшие биологические эффекты. Можно предположить, что магнитные поля при экзогенной БРТ избирательно (резонансным образом) реагируют с накопившимися в патологически измененных органах и тканях организма магнитными наночастицами, что связано с клинически обоснованным выбором частоты переменного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mersmann, L. Verfahren zur Untersuchung biologisch wirksamer elektromagnetischer Strahlungen von anorganischen und organischen Substanzen sowie deren komplexe Verbindungen bezüglich ihrer toxischen und nichttoxischen Quantität und Qualität ihrer Einwirkungen auf biologische Systeme wie Mineralien, Pflanzen, Tiere und Menschen, sowie sonstige Elemente und deren Verbindungen / L. Mersmann. – Заявка ФРГ № 2840114. МКИ G01N21/00, G01N23/00, G01N27/22. Заявл. 15.09.78. Оpubл. 29.05.80.
2. Rasche, E., Ludwig, W. Elektronikgerät zur Signalverstärkung und Spektralfiltrierung für meteorologische, landwirtschaftliche und medizinische Anwendungen / E. Rasche, W. Ludwig. – Заявка ФРГ № 3114905. МКИ G01R23/165. Заявл. 13.04.81. Оpubл. 26.05.83.
3. Morell, F. Die MORA-Therapie – Therapie mit korpereigenen Schwingungen / F. Morell. – Friesenheim, Med-Tronic, 1978. – 181 s.
4. Brügemann, H. Bioresonanztherapie. Grundlagen und Praxis der weiterentwickelten Therapie mit patienteneigenen Schwingungen nach Morell / H. Brügemann // Erfahrungsheilkunde. – 1989. – Bd.38, H.3a. – S.162–167.
5. Ludwig, W. Die Debatte um die Magnetfeldtherapie aus der Sicht der Biophysik / W. Ludwig // Erfahrungsheilkunde. – 1988. – Bd.12, H.6. – S.735–739.
6. Ludwig, W. Die Grundlagen der Mora-Therapie / W. Ludwig // Erfahrungsheilkunde. – 1985. – Bd.34, H.5. – S.668–672.
7. Ludwig, W. Die Bedeutung der Bio- und Umweltresonanz für die moderne Diagnostik und Therapie Ergebnisse der Grundlagenforschung medizinischer Biophysik / W. Ludwig // Erfahrungsheilkunde. – 1989. – Bd.38, H.3a. – S.159–161.
8. Ludwig, W. Wie ist die Therapiewirkung mit schwachen elektromagnetischen Signalen erklärbar? / W. Ludwig // Erfahrungsheilkunde. – 1995. – Bd.44, H.5. – S.353–355.
9. Готовский, М.Ю. Биорезонансная терапия / М.Ю. Готовский, Ю.Ф. Перов, Л.В. Чернецова. 3-е изд. – М.: ИМЕДИС, 2019. – 256 с.
10. Бинги, В.Н. Принципы электромагнитной биофизики / В.Н. Бинги. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 592 с.
11. Бучаченко, Л.А. Магнитно-зависимые молекулярные и химические процессы / Л.А. Бучаченко // Успехи химии. – 2014. – Т.83, № 1. – С.1–12.
12. Magnetite in human tissues: A mechanism for the biological effects of weak ELF magnetic fields / J.L. Kirschvink [et al.] // Bioelectromagnetics. – 1992. – Vol.27, Suppl. 1. – P.101–113.
13. Ловенстам, Х.А., Киршвинк, Д.Л. Биоминерализация железа: геобиологический подход // Биогенный

магнетит и магнитоцепция. Новое о биоманетизме: В 2-х т. Т.1. / Х.А. Ловенстам, Д.Л. Киршвинк; под ред. Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. – М.: Мир, 1989. – С.15–31.

14. Gorobets, S.V., Gorobets, O.Yu. Functions of biogenic magnetic nanoparticles in organisms / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets // *Functional Materials*. – 2012. – Vol.19, N.1. – P.18–26.

15. Kirschvink, J.L. Ferromagnetic crystals (magnetite?) in human tissue / J.L. Kirschvink // *J. Exp. Biol.* – 1981. – Vol. 92, N. 1. – P. 333–335.

16. Kirschvink, J.L. Magnetite biomineralization in the human brain / J.L. Kirschvink, A. Kobayashi-Kirschvink, B.J. Woodford // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 1992. – Vol.89, N.8. – P.7683–7687.

17. Киршвинк, Дж.Л. Размер частиц в магнитных магнитоцепторах / Дж.Л. Киршвинк, М.М. Уокер // Биогенный магнетит и магнитоцепция. Новое о биоманетизме: В 2-х т. Т.1. / Под ред. Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. – М.: Мир, 1989. – С.319–333.

18. Baker, R.R. Human Navigation and the Sixth Sense / R.R. Baker. – Hodder & Stoughton, London, 1981. – 183 p.

19. Бинги, В.Н. Стохастический резонанс магнитосом, закрепленных в цитоскелете / В.Н. Бинги, Д.С. Чернавский // *Биофизика*. – 2005. – Т.50, вып. 4. – С.684–688.

20. Бинги, В. Фактор температуры и магнитный шум в условиях стохастического резонанса магнитосом / В. Бинги, Д. Чернавский, А. Рубин // *Биофизика*. – 2006. – Т. 51, вып.2. – С.274–277.

21. Шноль, С.Э. Конформационные колебания макромолекул / С.Э. Шноль // Колебательные процессы в биологических и химических системах / Тр. Всесоюз. симп. по колебательным процессам в биологических и химических системах. – М.: Наука, 1967. – С.22–41.

22. Air pollution and cardiovascular disease: A statement for healthcare professionals from the expert panel on population and prevention science of the American Heart Association / R.D. Brook [et al.] // *Circulation*. – 2004. – Vol.109, N.21. – P. 2655–2671.

23. Giere, R. Solid particulate matter in the atmosphere / R. Giere, X. Querol // *Elements*. – 2010. – Vol. 6, N.4. – P.215–222.

24. Grobety, B. Airborne particles in the urban environment / B. Grobety [et al.] // *Elements*. – 2010. – Vol.6, N.4. – P.229–234.

25. Magiera, T. Magnetic particles in alkaline dusts from power and cement plants / T. Magiera, B. Coluchowska, M. Jablonska // *Water Air Soil Pollut.* – 2013. – Vol.224, N.1: 1389.

26. Part I. Abnormal patterns and physiological variations in magnetocardiograms / D. Cohen [et al.] // *J. Electrocardiol.* – 1976. – Vol.9, N.4. – P.398–409.

27. Искусных, И.Ю. Роль магнитосом в нарушении клеточного гомеостаза и развитии патологии / И.Ю. Искусных, Т.Н. Попова // *Биомедицинская химия*. – 2010. – Т. 56, №5. – С.530–539.

28. Giere, R. Magnetite in the human body: biogenic vs. anthropogenic / R. Giere // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2016. – Vol.113, N.43. – P.11986–11987.

29. Ламанова, Л.М. Методы обнаружения внеклеточных минеральных зерен в тканях сердечно-сосудистой системы / Л.М. Ламанова, Н.Н. Борозновская // *Сибирский медицинский журнал*. – 2010. – Т.25, № 1. – С.78–83.

30. Magnetite pollution nanoparticles in the human brain / B.A. Maher [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. – 2016. – Vol.113, N.39. – P.10797–10801.

31. Magnetic nanoparticles in the central nervous system: targeting principles, applications and safety issues / F. D'Agata [et al.] // *Molecules*. – 2018. – Vol.23, N.1: 23010009.

32. Gorobets, S.V. Physiological origin of biogenic magnetic nanoparticles in health and disease: from bacteria to humans / S.V. Gorobets, O.Yu. Gorobets, M. Koralewski // *Int. J. Nanomedicine*. – 2017. – Vol.12. – P.4371–4395.

33. Морфологические изменения во внутренних органах лабораторных животных при однократном введении наночастиц Fe / Н.А. Наволокин [и др.] // *Изв. Саратовского ун-та*. – 2011. – Т.11. Сер. Физика, вып. 2. – С.62–66.

34. Динамика естественного биораспределения магнитных наночастиц, полученных различными способами, при их однократном введении крысам стока Wistar / Д.В. Королев [и др.] // *Трансляционная медицина*. – 2016. – Т.3, № 4. – С.56–65.

35. Progress in neuromodulation of the brain; a role for magnetic nanoparticles? / M. Roet [et al.] // *Progr. Neurobiol.* – 2019. – Vol.177. – P.1–14.

36. Романов, С.Н. Биологическое действие механических колебаний / С.Н. Романов. – Л.: Наука, 1983. – 208 с.

37. Mechanosensitivity and Mechanotransduction // *Mechanosensitivity in Cells and Tissues*. Vol.4. / A. Kamkin, I. Kiseleva eds. – Springer Science + Business Media B.V., 2011. – 371 p.

38. Martinac, B. Mechanosensitive ion channels: molecules of mechanotransduction / B. Martinac // *J. Cell. Sci.* – 2004. – Vol.117, pt.12. – P.2449–2460.

39. Sackin, H. Mechanosensitive channels / H. Sackin // *Annu. Rev. Physiol.* – 1995. – Vol.57, N.1. – P.333–353.

40. Sachs, F. Mechanosensitive ion channels in nonspecialized cells / F. Sachs, C.E. Morris // *Reviews of Physiology Biochemistry and Pharmacology*. – Springer, Berlin, Heidelberg, 1998. – Vol.132. – P.1–77.

41. Dittrich, F. Mechanism of ATP free-energy transfer and utilization in (Na, K)-ATPase transport function / F. Dittrich, R. Schön, K.R. Repke // *Acta Biol. Med. Ger.* – 1974. – Vol.33, N.1. – P.17–25.

42. Скулачев, В.П. Энергетика биологических мембран / В.П. Скулачев. – М.: Наука, 1989. – 564 с.

43. Ingber, D.E. The mechanochemical basis of cell and tissue regulation / D.E. Ingber // *Mech. Chem. Biosyst.* – 2004. – Vol.1, N.1. – P.53–68.

44. Farge, E. Mechanotransduction in development / E. Farge // *Curr. Top. Dev. Biol.* – 2011. – Vol.95. – P.243–265.

45. Однодоменные магнитные наночастицы как генераторы силы для наномеханического управления биохимическими реакциями низкочастотным магнитным полем / Ю.И. Головин [и др.] // *Известия РАН. Сер. физическая*. – 2013. – Т.77, № 11. – С.1621–1630.

46. Наномеханическое управление свойствами биологических мембран с помощью стержнеобразных наночастиц в супернизкочастотном магнитном поле / Ю.И. Головин [и др.] // *Письма в ЖТФ*. – 2015. – Т.41, №9. – С.96–102.

Адрес автора

К.т.н. Готовский М.Ю., генеральный директор
ООО «ЦИМС «ИМЕДИС»
info@imedis.ru