

БИОФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТО- И ЭЛЕКТРОСТИМУЛЯЦИИ КОСТНЫХ ТКАНЕЙ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЯХ В ТРАВМАТОЛОГИИ

УДК 616.71+334.7

Герцик Ю.Г., Герцик Г.Я.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

BIOPHYSICAL PRECONDITIONS FOR APPLYING MAGNETIC AND ELECTRICAL STIMULATION OF BONE TISSUE AT THE REHABILITATION ACTIVITIES IN TRAUMATOLOGY

Gertsik YuG, Gertsik GYa

Moscow State Technical University n.a. N.E. Bauman, Moscow, Russia

Введение

Одним из физиотерапевтических методов, применяемых в травматологии является магнитотерапия. Сложность биофизической интерпретации воздействия магнитных полей на биологические структуры, обусловленная тем, что энергия магнитного поля много меньше тепловой энергии биологических тканей человека [1], длительное время не позволяла проводить широкие клинические исследования. Вместе с тем, учеными, в том числе и российскими (Прессман А.С., Холодов Ю.А. и др.), в теоретических и экспериментальных работах доказывалась возможность воздействия магнитных полей, даже слабой интенсивности (с индукцией до 30 мТл), на биологические структуры с учетом их специфики и сложной иерархической организации. Появились работы, описывающие положительные клинические эффекты при применении как постоянных, так и переменных магнитных полей слабой интенсивности (Жуков Б.Н. и др.). Авторы [1] на основании анализа работ в области физической химии, биофизики выдвинули гипотезу о возможности воздействия слабых электромагнитных полей на биологические структуры, обладающие биоэлектрическими свойствами (жидкокристаллическими, пьезоэлектрическими, сегнетоэлектрическими). В медицинских публикациях появились статьи о положительных результатах применения магнитотерапии в травматологии (Демецкий А.М.). В Московском высшем техническом училище (МВТУ) им. Н.Э. Баумана под руководством профессора Лощилова В.И. были организованы работы (Герцик Г.Я.) по исследованию слабых магнитных полей на процессы регенерации костных тканей в эксперименте. Работы проводились на базе экспериментальной лаборатории по применению низкочастотной ультразвуковых методов хирургии Центрального института травматологии и ортопедии (ЦИТО) им. Н.Н. Приорова (Шепелева И.С., Топоров Ю.А.). Методики исследований включали воздействие постоянным, низкочастотным (от 0,1 Гц до 10 Гц) полем с индукцией от 5 мТл до 10 мТл на травмированные костные ткани экспериментальных животных (кролики) с последующим биохимическим и морфоло-

гическим исследованиями. В различных экспериментах варьировалось время воздействия от 1 минуты до 15 минут. Достоверных изменений в ходе проведения экспериментальных исследований (в течение месяца) обнаружено не было. С учетом имеющихся гипотез о возможности системного воздействия магнитным полем указанных параметров на все системы организма, в том числе, на нервную, были проведены исследования в Институте неврологии АН СССР с использованием тех же параметров аппаратуры для магнитотерапии и тех же биологических объектов исследования [2]. Статистически значимых результатов не было получено и в этом случае. Вместе с тем, клинические исследования [3], также проводимые с использованием аппарата опытной серии, обеспечивающим вышеуказанные параметры воздействия, дали положительные результаты при терапии травматических повреждений, сопоставимые с результатами, полученными другими исследователями – клиницистами.

Перспективы применения данного метода при реабилитации больных с нарушениями двигательной активности вследствие повреждений опорно-двигательного аппарата следуют из возможности применения бесконтактного воздействия на травмированные ткани, простых и надежных применяемых технических решений. При этом, как правило, магнитотерапия в таких случаях не имеет противопоказаний, комфортна как для пациента, так и для обслуживающего персонала, не требует значительных финансовых затрат, удобна и безопасна как при эксплуатации, так и при техническом обслуживании. Устройства для магнитотерапии, в основном, мобильны и могут легко сопрягаться с реабилитационными комплексами, что и обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в этом направлении с учетом имеющихся гипотез о механизмах воздействия [1].

Другим методом, предлагаемым для повышения эффективности реабилитационных мероприятий в травматологии, является электростимуляция. Несмотря на то, что имеются экспериментальные и клинические исследования, подтверждающие возможность

и целесообразность электрической стимуляции костных тканей при различных видах переломов в травматологии, в том числе, с применением дополнительных физиотерапевтических методик [4-6], физические процессы воздействия тока на костные ткани остаются во многом изученными недостаточно. Анализ биофизических механизмов взаимодействия электрического тока с костными тканями может послужить основой выбора и коррекции параметров электростимуляции остеосинтеза. Для объективизации анализа необходимо учесть электрические свойства костных тканей и их динамику. Фундаментальные классические экспериментальные исследования [7] показали, что в сухой препарированной кости при динамических нагрузках регистрируются электрические потенциалы, что характеризует наличие пьезоэлектрического эффекта. Аналогичные явления обнаружены Бассетом и Беккером в гидратированной кости [7]. В 1968 году была высказана гипотеза о том, что обнаруженная электрическая активность костной ткани может быть основой восстановления костных тканей при создании переменных механических напряжений, что хорошо согласуется и с действующими в настоящее время методиками кинезо- и механотерапии, обеспечивающих, ускорение реабилитационного процесса в случае травм, связанных с повреждениями костных тканей за счет создания дополнительных перемещений конечностей, вызывающих, соответственно, и переменные механические напряжения в костных тканях. Логично предположить, что и в этом случае переменные механические напряжения, вызывают возникновение пьезоэлектричества в кости, стимулируя, таким образом, согласно гипотезе, выдвинутой Бассетом, Кокраном и Павлюком, процесс регенерации костных тканей. Соответственно, по мнению авторов данной статьи, выбор параметров кинезо- и механотерапии должен учитывать контроль регенерации костных тканей, как один из параметров, характеризующих эффективность процессов кинезо- и механотерапии. Кроме того, частотные параметры указанных процедур могут определяться частотными параметрами пьезоэлектричества в костных тканях, которые по данным [8], находятся в низкочастотном диапазоне и близки к 1 Гц, характеризуются передаточной функцией, соответствующей модели кости, которая автором рассматривается как механоэлектрический преобразователь.

Наиболее эффективна по данным клинических исследователей [7] перестройка костных тканей с учетом параметров биоэлектрических процессов, происходящих в кости, особенно, в детском возрасте, что, по мнению авторов данной работы, должно учитываться специалистами при оценке и планировании тактики лечения пациентов различных возрастных групп с применением реабилитационных методов механотерапии. Теоретические и экспериментальные исследования послужили основой для выдвижения гипотезы о возможности стимулирования регенерации костных тканей с путем воздействия на них электрическим током или полем с параметрами, соответствующими естественным биоэлектрическим процессам [9]. Исследования биофизических параметров воздействия на костные ткани с целью увеличения эффективности остеосинтеза с разработкой соответствующих методик и аппаратов были проведены в (80-90)-х годах в МВТУ им. Н.Э. Баумана, МП «ТЕХНОМЕД» (Азаронак В.А., Невский Д.И., Герцик Г.Я.). Исследования проводились на базе травматологического отделения ДГКБ №13 им. Н.Ф. Фила-

това, травматологического отделения ДГКБ №7 (Шейн В.Н.) в соответствии с решением Комитета по новой медицинской техники Министерства здравоохранения России. Целью исследований была оптимизация методики воздействия электрическим током при остеосинтезе для увеличения эффективности регенеративных процессов в костных тканях. Анализ медицинских исследований (Шейн В.Н.) выявил, что показаниями для данного метода являются:

- остеодистрофические идиопатические процессы в костях (болезнь Лагга-Калве Пертеса, болезнь Осгуда-Шлаттера, юношеский апифизиолиз головки бедренной кости);
- посттравматические аваскулярные процессы и заболевания;
- переломы длинных трубчатых костей с осложненным течением (замедленная консолидация, ложные суставы);
- повреждения костей в зонах с дефицитным кровоснабжением для профилактики аваскулярных осложнений.

Методика исследований включала оперативное хирургическое вмешательство с использованием соединительных токопроводящих травматологических электродов-спиц, к которым подключался стабилизированный источник тока с регулируемой частотой и амплитудой воздействия в диапазоне 1 Гц +/- 30% при скважности 2+/-30%. Амплитуда воздействия – от 5 мкА до 20 мкА при изменении нагрузки от 0,1 до 300 (кОм). Проведенные предварительные исследования показали возможность ускорения регенерации костной ткани и необходимость выделения зон электростимуляции, требовавшее усовершенствование конструкции электродов, что на том этапе исследований оказалось сложной техно-логической задачей. По мнению авторов целесообразно так же уточнение параметров воздействия.

Вышеприведенные результаты исследований, выявившие частичное противоречие между теоретическими положениями физики и биофизики, экспериментальными результатами и результатами клинического применения методик физиотерапии (на примере магнитотерапии и электростимуляции костных тканей при нарушении двигательной активности) в травматологии, показали необходимость повышения организационно-экономической составляющей исследований. В работе [10] показано, что наиболее эффективно будет проведение таких исследований в интегрированных структурах в сфере медицины и медицинской техники. Авторы полагают, что такая организация позволит повысить эффективность исследований за счет синергии взаимодействия предприятий медицинской промышленности и медицинских лечебно-профилактических учреждений. Анализ показал целесообразность кооперации предприятий в форме кластерных структур. Вместе с тем, необходимо более четкое определение кластеров, функционирующих в сфере медицинской промышленности и здравоохранения основной миссией которых является разработка, производство и внедрение в клиническую практику наукоемких, инновационных, высокотехнологичных медицинских изделий, которые в большинстве своем требуют биотехнологического подхода (Анохин П.К., Ахутин В.М., Попечителей Е.П., Лошилов В.И., Щукин С.И.). Наиболее полно будут представлены цели и задачи формирования такого кластера определением «Био-Медико-Технический-Кластер» (БМТ – К),

отражающим целесообразность и необходимость проведения в структуре кластера исследований биофизической и биологической и составляющих, обеспечивающих эффективность разрабатываемой биотехнической системы в клинике, включающей взаимосвязи предприятия медицинской промышленности с лечебно-профилактическими учреждениями системы здравоохранения (рис. 1).

В сфере медицины и медицинской промышленности, целесообразно создание кластеров, основанных на конкурентно-партнерских отношениях, непосредственных взаимосвязях с потребителями, юридической, производственной и финансовой самостоятельности участников, возможности участия государства в формировании и функционировании кластера (М. Портер, Л.И. Абалкин, В.С. Осипов, Е.М. Рогова, А.И. Балашов и др.), единства регионов функционирования кластеров, что, в условиях существующего информационного пространства не является определяющим и существенным. Анализ предложенной модели показывает целесообразность ее применения и для повышения эффективности исследований и разработок в области разработки и внедрения реабилитационных и физиотерапевтических методик в травматологии с учетом имеющего опыта сотрудничества МВТУ им. Н.Э. Баумана и ЦИТО им. Н.Н. Приорова, обеспечившего внедрение клиническую практику методов и аппаратов ультразвуковой хирур-

гии, проведение комплексных исследований биомеханики костных тканей (Волков М.В., Николаев Г.А., Лощилев В.И., Шепелева И.С., Веденков В.Г., Топоров Ю.А. и др.), изучение возможности применения в практике травматологии и ортопедии методов физиотерапии с целью повышения эффективности реабилитации больных с патологией или повреждениями костных тканей, обуславливающие нарушение двигательной активности человека, требующее применения реабилитационных мероприятий в травматологии.

Выводы:

- применение методов физиотерапевтического воздействия при реабилитации в травматологии на примере магнитотерапии и электростимуляции в соответствии с основными физическими положениями о биоэлектрических явлениях в костных тканях возможно и целесообразно;
- процессы, характеризующие физиотерапевтическое воздействие магнитными и электрическими полями, могут быть использованы при выборе параметров механотерапии и определении эффективности реабилитации с использованием методик электростимуляции;
- при проведении исследований целесообразна их организация с использованием кластерной теории взаимодействия участников исследований.

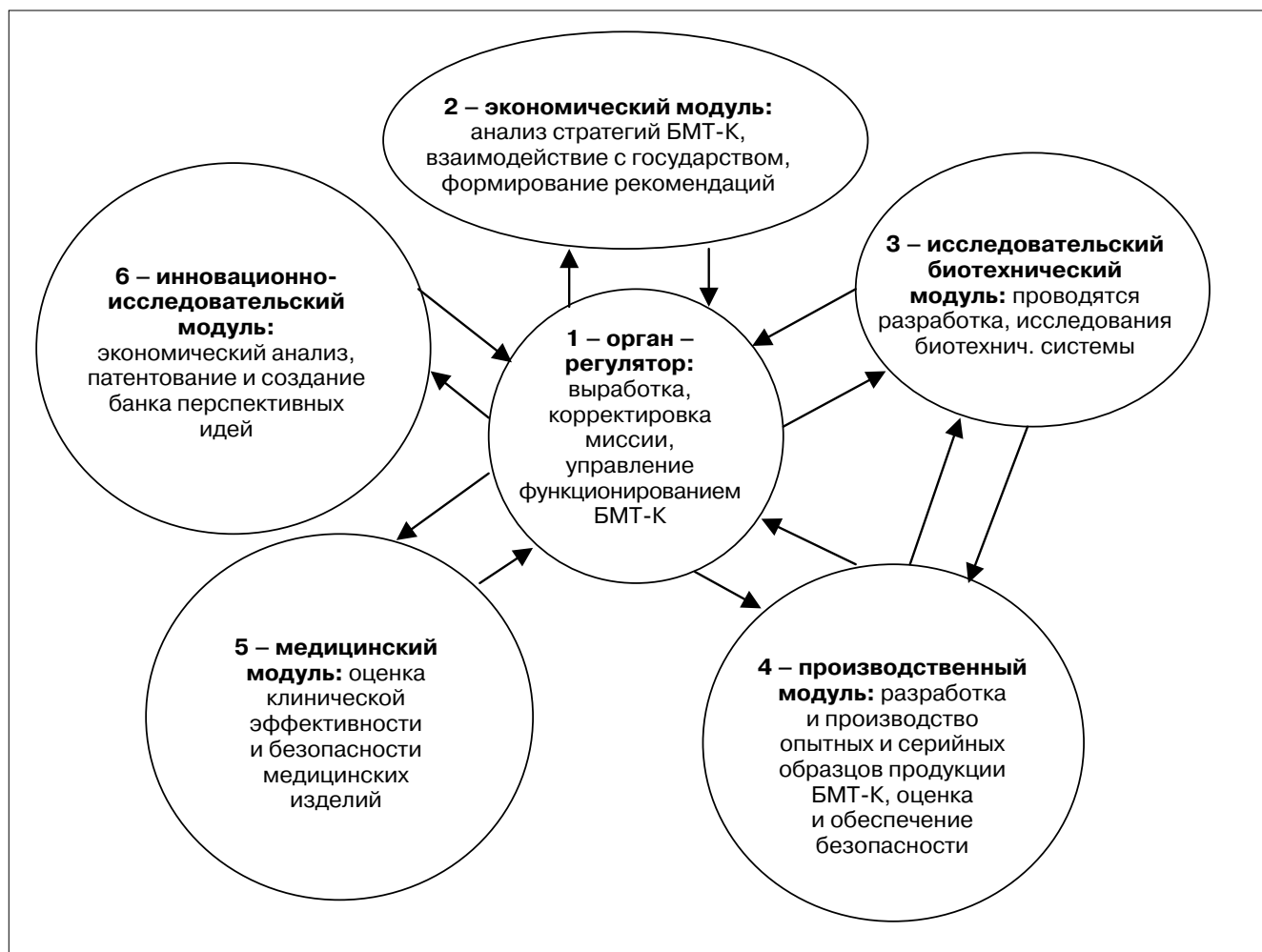


Рис. 1. Функциональная модель «Био-Медико-Технического Кластера» - БМТ-К.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гладышев, Г.П., Лошчилов, В.И., Герцик, Г.Я. и др. К вопросу о влиянии слабых магнитных полей на живые организмы/Г.П. Гладышев, В.И. Лошчилов, В.И., Г.Я. Герцик//Депонент ВНИИМИ, 1 разд. № 2, Публ.№ 631. – М.: 1983.
2. Черникова, Л.А., Рясина, Т.В., Высоцкая, В.Г., Герцик, Г.Я. Изучение воздействия переменного магнитного поля на циркуляцию и биоэлектрическую активность мозга/Л.А. Черникова, Т.В. Рясина, В.Г. Высоцкая, Герцик, Г.Я.// Материалы Международного симпозиума «Механизмы биологического воздействия электромагнитных излучений». – Пушchino, 1981.
3. Кипренский, Ю.В., Берлин, Ю.В., Герцик, Г.Я. Использование индуктора – соленоида и аппарата ГИМП –1 при травматических повреждениях/Кипренский, Ю.В., Берлин, Ю.В., Герцик, Г.Я.//Тезисы докладов Республиканской научно – практической конференции «Актуальные вопросы магнитотерапии», Ижевск, 1981.
4. Щеткин, В.А., Бялик, Е.И., Воронцов, Ю.А., Чукина, Е.А. Электростимуляция и прерывистая пневмокомпрессия в реабилитации больных с переломами верхних конечностей при политравме на этапе стационарного лечения/ В.А. Щеткин, Е.И. Бялик, Ю. А. Воронцов, Е.А. Чукина//Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 2012, №3. – С. 9–12.
5. C.A.L. Bassett. Biophysical principles affecting bone structure. in G.H. Bourne, Ed. The Biochemistry and Physiology of Bone, 2 nd ed., vol.III, New York: Academic Press, 1971, ch. 1, pp. 1–76.
6. C. Eriksson. Electrical properties of bone in The Biochemistry and Physiology of Bone, 2 nd ed., vol. IV, New York: Academic Press, 1976, ch. 8, pp. 330–384.
7. E. Fukada and Yasuda On the piezoelectric effect of bone / J. Phys. Soc. Japan, vol. 12, no, 10, pp. 1158–1162, Oct. 1957
8. D.D. Levy. A pulsed electrical stimulation technique for inducing bone growth/ Ann/ N.Y.Acad. Sci., vol.238, pp. 478–498, Oct. 1974
9. I. Yasuda, K. Noguchi, and T.Sata Dinamic callus and electric callus/J. Bone Joint Surg., vol.37A, pp. 1292–1293, 1955.
10. Герцик, Ю.Г., Иванова, Г.Е., Герасименко, М.Ю., Герцик, Г.Я. Социально-экономическая значимость внедрения медико-технических кластеров производства и эксплуатации оборудования для медицинской реабилитации и физиотерапии/Ю.Г. Герцик, Г.Е. Иванова, М.Ю. Герасименко, Г.Я. Герцик//Вестник восстановительной медицины. – 2015, №3. – С. 2–6.

REFERENCES:

1. Gladyshev, GP, Loshchilov, VI, Gertsik, GY and others. On the effect of weak magnetic fields on living organisms / GP Gladyshev, VI Loschilov, GY Gercik // Participant VNIIMI, Section 1. Number 2, Publ. № 631. – M.: 1983.
2. Chernikova, LA, Ryasina, TV, Vysotsky, VG, Gertsik, GYA. Research of action of an alternating magnetic field on the circulation and bioelectric activity of the brain / LA Chernikova, TV Ryasina, VG Vysotsky, GYA Gertsik // Proceedings of the International Symposium "The mechanisms of the biological effects of electromagnetic radiation." – Pushchino 1981.
3. Kiprensky, YV, Berlin, JV, Gertsik, Gya. Using the inductor – coil unit and GIMP-1 in traumatic injuries / Kip-Rensky, YV, Berlin, JV, Gercik, G.YA. // Abstracts Republic-Likanski scientific – practical conference "Actual problems of magnesium nitoterapii "Izhevsk 1981.
4. Shchetkin, VA, Bialik, EI, Vorontsov, YuA, Chukina, EA. Electrical and intermittent pneumocompression in the rehabilitation of patients with fractures of the upper extremities in polytrauma patient during treatment stage / VA Shchetkin, EI Bialik, Yuri Vorontsov, EyuA. Chukin // Physiotherapy, Balneology and Rehabilitation, 2012, №3. – P. 9–12.
5. C.A.L. Bassett. Biophysical principles affecting bone structure. in G.H. Bourne, Ed. The Biochemistry and Physiology of Bone, 2 nd ed, vol.III, New York: Academic Press, 1971, ch. 1, pp. 1–76.
6. C. Eriksson. Electrical properties of bone in The Biochemistry and Physiology of Bone, 2 nd ed., Vol. IV, New York: Academic Press, 1976, ch. 8, pp. 330–384.
7. E. Fukada and Yasuda On the piezoelectric effect of bone / J. Phys. Soc. Japan, vol. 12, no, 10, pp. 1158–1162, Oct. 1957.
8. D.D. Levy. A pulsed electrical stimulation technique for inducing bone growth / Ann / N.Y. Acad. Sci., Vol. 238, pp. 478–498, Oct. 1974.
9. I. Yasuda, K. Noguchi, and T.Sata Dinamic callus and electric callus / J. Bone Joint Surg., Vol.37A, pp. 1292–1293, 1955.
10. Gertsik, YuG, Ivanova, GE, Gerasimenko, MYu, Gertsik, GYA. Socio-economic importance of the implementation of health technology clusters, production and operation of medical equipment for rehabilitation and physiotherapy / YG Gercik, GE Ivanova, MYu Gerasimenko, GYu Gercik // Journal of restorative medicine. – 2015, №3. – P. 2–6.

РЕЗЮМЕ

Важнейшими задачами современной медицины являются решение проблем сохранения и укрепления здоровья граждан. Существенную часть в решении этих задач занимают методы реабилитации в травматологии и ортопедии, позволяющие человеку продлить период активного образа жизни даже в случае возникновения органических патологий или травм костных тканей, вызывающих ограничение его двигательной активности. К числу таких методов необходимо отнести и физиотерапевтические, результаты внедрения которых, по данным клинических исследований, повышают регенеративную функцию костной ткани, увеличивают сроки ремиссии после проведенного комплексного лечения. Эффективность разработок и применения таких методов во многом определяется организационно-экономическими формами организации исследований и внедрения их в клиническую практику.

Ключевые слова: травматология, реабилитация, магнитотерапия, электростимуляция, костная ткань, пьезоэффект, жидкие кристаллы, сегнетоэлектрики, организационно-экономическая эффективность, кластер.

ABSTRACT

Among most important tasks of modern medicine are the solution to the problems of preserving and strengthening the health of citizens. An essential part in solving these problems occupy rehabilitation methods in traumatology and orthopedics, allow a person to prolong the active life, even in the event of an organic pathology or bone injury, causing restriction of its motor activity. Among these methods, it is necessary to include physical therapy, implementation of which, according to clinical studies, increases the regenerative function of bone tissue, as well as increase the periods of remission after complex treatment. The effectiveness of development and application of these methods is largely determined by organizational and economic forms of organization studies and their introduction into clinical practice.

Keywords: traumatology, rehabilitation, magnetic therapy, electrical stimulation, bone, piezoelectric, liquid crystals, ferroelectrics, organizational and economic efficiency, cluster.

Контакты:

Герцик Ю.Г. E-mail: ygerzik@bmstu.ru