

© Авторы, 2009

**Евгений Васильевич
Шалобаев –**

канд. техн. наук, доцент,
кафедра измерительных
технологий и компьютерной
томографии, Санкт-
Петербургский государственный
университет информационных
технологий, механики и оптики
(СПбГУ ИТМО), ЗАО НПО «Скала»
E-mail: shalobaev47@mail.ru

**Наталья Владимировна
Леонтьева –**

доктор мед. наук, профессор,
Санкт-Петербургская
химико-фармацевтическая ака-
демия (СПб ХФА)

**Юрий Сергеевич
Монахов –**

аспирант, кафедра измеритель-
ных технологий
и компьютерной томографии,
Санкт-Петербургский государст-
венный университет
информационных технологий,
механики и оптики.
E-mail: monahovv@yandex.ru

**Алексей Владимирович
Ефименко –**

аспирант, кафедра
измерительных технологий
и компьютерной томографии,
Санкт-Петербургский государст-
венный университет
информационных технологий,
механики и оптики,
ЗАО НПО «Скала».

**Константин Валентинович
Подмастерьев –**

доктор техн. наук, профессор,
кафедра «Приборостроение,
метрология и сертификация»,
Орловский государственный тех-
нический университет.
E-mail: pms35@mailostu.ru

**Андрей Валерьевич
Дунаев –**

канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Приборостроение,
метрология и сертификация»
Орловский государственный
технический университет.
E-mail: inohvat@pisem.net

ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ И СРЕДСТВ ТОМОГРАФИИ В ЛАЗЕРНЫХ СКЕНИРУЮЩИХ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

**Е.В. Шалобаев, Н.В. Леонтьева, Ю.С. Монахов,
А.В. Ефименко, К.В. Подмастерьев, А.В. Дунаев**



Приведено краткое описание лазерных физиотерапевтических установок сканирующего типа. Рассмотрены особенности реализации схем биологических обратных связей (БОС) в установках подобного типа, указаны проблемы, стоящие перед разработчиками БОС. Особое внимание уделяется рассмотрению возможности применения оптической когерентной томографии в качестве БОС. Также предлагается механизм проведения сочетанного воздействия облучения лазером и магнитным полем.

Ключевые слова: низкоинтенсивная лазерная терапия, лазерные сканирующие аппараты, томография, биологическая обратная связь, магнитотерапия.



This work has a short description of laser physiotherapeutic setting of scanning type. It was examined particularities of realization of circuitries of biological feedback in such kind of setting. It was indicated problems, which formers of biofeedback have. It is taken into consideration how to use optical coherent tomography as biofeedback. This work also suggests mechanism of conducting of combined impact of laser illumination and magnetic field.

Keywords: low level laser therapy, laser scanning devices, tomography, biofeedback, magnetotherapy.

Бурное развитие в последние годы лазерной медицины (как хирургической, так и терапевтической) обуславливается определенным качественным скачком в области так называемых «высоких», или критических технологий, к которым относятся лазерные технологии и мехатроника. Разрабатываемое устройство – лазерный сканирующий стимулятор, располагается на стыке этих двух направлений, представляя собой интерес для специалистов как в области медицины, так и в области техники.

Обычно при использовании разнообразных лазерных аппаратов на выходе излучателя имеется точка, которую расфокусируют с целью получения пятна, соответствующего облучаемой зоне. Лазерный луч имеет свои физические характеристики и состоит из поперечных мод, что определяет неравномерное поперечное распределение энергии в лазерном пучке. Следовательно, при расфокусировке луча создаются условия для неравномерного распределения лазерного излучения на всю площадь облучаемой поверхности.



Метод сканирующей лазеротерапии позволяет избавиться от перечисленных выше недостатков лазерного излучения, получаемого при расфокусировке луча. Особенность метода сканирующей лазеротерапии заключается в бесконтактном воздействии сфокусированным лазерным лучом без потери мощности излучения на поверхность объекта с различной частотой сканирования. Облучение сфокусированным лучом дает возможность равномерно воздействовать дозированным излучением на каждую точку пораженной поверхности, но для этого луч должен перемещаться по всей поверхности. Воздействие на большие поверхности сфокусированным лучом обеспечивает передачу энергии излучения тканям за более короткое время по сравнению с облучением аналогичной пораженной поверхности расфокусированным лазерным лучом, так как за счет перемещения луча создаются условия для последовательного периодического воздействия и равномерного распределения энергии лазерного излучения в зоне обрабатываемой поверхности, что позволяет получить лечебный эффект. Импульсный режим обеспечивает благоприятные условия лечения, поскольку не дает возможности облучаемой клетке адаптироваться к лазерному излучению. Благодаря сканирующему устройству можно подобрать фигуру сканирования в соответствии с площадью и состоянием поверхности, подлежащей лечению.

Достоинством лазерной медицинской аппаратуры является возможность оперативного изменения параметров лазерного излучения для получения желаемого результата его воздействия, что достигается с помощью цепей биологической обратной связи (БОС) [1]. С их помощью осуществляется оптимизация лазерного воздействия на биоткань, при котором физиотерапевтическое воздействие на ткани и органы является наиболее эффективным и атравматичным [2 – 4].

Среди предприятий, разрабатывающих системы с БОС, одним из ведущих является НПО «СКАЛА», где проводятся работы по созданию БОС на основе фиксации частоты пульса и дыхания, мышечных напряжений, давления и других проявлений реакции человеческого организма на воздействие лазерного излучения. Разрабатываемые приборы отличаются новизной и пользуются спросом, и успешно зарекомендовали себя во

многих известных медицинских учреждениях России, в частности в клиниках и в Лазерном центре СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова, в Центральном военно-клиническом госпитале им. акад. А.А. Вишневского (Москва), Центральном военном санатории (г. Пятигорск), в Госпитале ветеранов войны в г. Краснодаре, в Областной клинической больнице г. Оренбурга, больницах Тульской и Волгоградской областей.

Рассмотрим проблемы реализации БОС и представим некоторые результаты работ по решению данных проблем. В качестве объекта анализа рассматриваются системы с БОС, основанные на создании блока управления, предназначенного для выработки сигналов для блока излучателя в соответствии с программой, учитывающей индивидуальные особенности пациента и данные, полученные от датчиков. К числу основных проблем, стоящих перед разработчиками таких систем, относятся следующие.

1. Нет точного и однозначного ответа на большинство вопросов, касающихся проявления результатов воздействия лазерного излучения не только на генном, клеточном и межклеточном уровнях, но даже на уровне органов человеческого организма. Поэтому до сих пор не утихает дискуссия о возможности замены лазера на светодиоды.

2. Проблема измерительных преобразователей для контроля за параметрами биообъектов. Используемые практически повсеместно контактные (накладные и вживляемые) электроды, основными преимуществами которых являются простота конструкции, надежность и относительно низкая стоимость, вытесняются бесконтактными датчиками, в основном фотоэлектрическими. В то же время основной недостаток контактных электродов (изменение условий контактирования из-за механических перемещений сопряженных поверхностей и происходящих там же физико-химических процессов) может быть практически устранен, а бесконтактные датчики достаточно сложны в расчете, эксплуатации и относительно дороги.

3. При наличии гелий-неоновых лазеров регулировка мощности может осуществляться довольно грубо и дискретно (в пределах 100, 75, 50 и 25 %), в то время как полупроводниковые лазеры имеют возможность плавной регулировки мощности.



4. Датчики температуры по сравнению с датчиками артериального давления и пульса обладают значительной инерционностью.

5. Крайне разнообразные индивидуальные особенности пациентов, что видно на примере поглощения и отражения лазерного излучения кожными покровами. Как показывают работы [5, 6], полезная для профилактики лечения мощность низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) существенно уменьшается после прохождения кожного покрова, и степень этого снижения зависит от места на теле человека направления кожных борозд, состояния здоровья кожного покрова, возраста пациента, пигментации кожи и т.п. Так, например, при длинах волн излучения от 0,67 до 0,83 мкм (красное и инфракрасное излучение) в худшем случае проходит 5 % энергии, а в лучшем – до 20 %.

Известные сегодня приборы, осуществляющие процедуру лазеротерапии, в своем большинстве не имеют технических средств для контроля за проведением процедуры облучения. Их режим работы основан на некоторых эмпирических данных, заложенных производителем или вводимых врачом, проводящим процедуру. Такой подход имеет очевидные недостатки, ведь он не учитывает индивидуальных особенностей каждого пациента. Это можно пояснить на таком примере – до сих пор рекомендуемые параметры плотности мощности излучения в разных руководствах отличаются в сотни и более раз (от 0,5 до 200 мВт/см²), а рекомендуемые дозы варьируют от 0,1 до 120 Дж/см². Анализируя сложившиеся представления об оптимальных параметрах лазерной терапии и параметры выпускаемых разными фирмами лазеров, некоторые авторы пришли к выводу, что «в медицинской практике по существу используется неконтролируемое воздействие лазерного излучения на пациента». А, следовательно, эффективность воздействия в таком режиме зависит от опыта и в некоторой мере от интуиции врача, проводящего процедуру и задающего параметры работы установки. Отсюда закономерно встает вопрос о необходимости разработки технических систем для реализации обратных связей от пациента к установке.

Проведенные разработки совместно с учеными из ОрелГТУ по исследованию механизмов взаимодействия НИЛИ с тканями че-

ловека на основе изучения схем поглощения, отражения и преломления показали возможность построения систем БОС на основе учета пульса и артериального давления [5 – 7].

В основе терапевтического эффекта – сложного биомеханизма взаимодействия низкоэнергетического электромагнитного излучения с живым организмом, лежат фотофизические и фотохимические реакции, связанные с резонансным поглощением энергии излучения биотканью, а также с восприятием энергии излучения и переносом эффекта воздействия жидкими средами организма на нескольких уровнях воздействия. Характер и уровни этих взаимодействий зависят как от спектра излучения, так и от спектральных характеристик биотканей.

В прямых экспериментах на тканевом уровне доказано, что фазы усиления энергетики клеток совпадают с увеличением кровенаполнения ткани. Следовательно, благоприятные моменты лазерного терапевтического воздействия должны приходиться на фазы систолы и вдоха самого больного. Технически это оказалось возможным реализовать в автоматическом режиме биоуправления сигналами с датчиков пульса и дыхания, расположенных на теле пациента. Таким образом, относительно рекомендуемого уровня интенсивности (мощности) лазерного воздействия во время выдоха и во время диастолы уровень интенсивности (мощности) синхронно снижается. Этим достигается устранение относительно сильных воздействий в неблагоприятные моменты, когда из-за уменьшения энергетического обеспечения возможны пессимальные и парабактерные реакции клеток. Наоборот, в моменты увеличения кровенаполнения, увеличения транспорта энергетических метаболитов и диффузии кислорода в клетки уровень лазерного воздействия достигает рекомендуемого (методикой, утвержденной Минздравом) уровня. Благодаря такой синхронизации изменений интенсивности лазерного воздействия и изменений кровенаполнения ткани резко расширяется диапазон положительных реакций клеток, увеличивается их чувствительность и уменьшается вероятность передозировки лазерного воздействия. Сигналы датчиков пульса (оптическая пара светодиод-фотодиод в виде прищепки на палец) и дыхания (термосопротивления возле носа реагируют на изменение температуры при дыхании) в ав-



томатическом режиме синхронно изменяют в ритмах кровотока интенсивность лазерного излучения. Лазеротерапевтические устройства с БОС нашли свое применение и в учебном процессе, например, в лабораторном практикуме по дисциплине «Лазерные и световые аппараты в физиотерапии и хирургии», которая с 2005 г. читается в ОрелГТУ [8].

Термин «биоуправление» используется разными авторами для совершенно разных случаев использования обратных связей и сигналов от биообъекта. Все предложенные методы используют известные из теории автоматического управления способы регуляции по отклонению или регуляции по возмущению, имея целью стабилизировать или удерживать в нужном диапазоне регулируемые по обратной связи те или иные параметры биообъекта. Так, например, обеспечивается изменение тока стимуляции биологически активной точки в зависимости от каких-либо ее характеристик (электропроводности, тонуса ткани и др.), нагрузки на организм в зависимости от изменения частоты пульса и т.д. В случае лазерной терапии решается принципиально новая задача синхронизации воздействия с усилением кровенаполнения ткани, что равноценно внутренним многократным контурам управления естественных регуляторных систем организма. Решается задача не увеличения стабильности отдельной подсистемы, а усиления взаимозависимости и интеграции центра и периферии за счет искусственной внешней связи.

Приведенные выше методы контроля проведения процедуры лазеротерапии оказались довольно сложными и недостаточно объективными.

В настоящей работе в качестве одного из информационных каналов для контроля за состоянием пациента предлагается использование оптической когерентной томографии (ОКТ), позволяющей получать информацию и оценивать состояние тканей человека, подвергающихся воздействию НИЛИ [3, 9, 10].

Сама оптическая когерентная томография появилась относительно недавно, примерно 15 – 20 лет назад. В последнее десятилетие достигнуты значительные успехи в этой области, обеспечивающей разрешение до единиц микрометров при восстановлении томографических изображений. Технология ОКТ успешно используется для клинической медицинской диагностики состояния кож-

ных покровов человека, в кардиологии, зубоврачебной медицине и некоторых других областях медицины (в ряде перечисленных областей ведутся экспериментальные работы).

Принцип ОКТ состоит в освещении объекта оптическим излучением с определением степени отражения излучения по глубине среды от каждого отдельного слоя. С технической точки зрения основной частью ОКТ является двухлучевой интерферометр, освещаемый источником излучения с широким спектром. В интерферометре излучение разделяется на измерительную волну, освещающую объект, и опорную волну, оптическая длина пути которой может изменяться при управляемом перемещении опорного отражателя. При формировании трехмерных изображений внутренней структуры среды необходимо учитывать характеристики оптической системы: особенности фокусировки пучка, сканирования, регистрации отраженного излучения и др.

Естественно, что каждый вид БОС имеет определенную «нишу» использования, поэтому необходимо исследование возможности реализации различных систем БОС для наиболее адекватного использования. Например, при необходимости контроля поверхностного воздействия предлагается применение ОТК, а для воздействия на внутренние органы, например, применение датчиков частоты сердечных сокращений, артериального давления, мышечного напряжения и др.

Для наиболее оптимального проведения медицинской процедуры и получения максимального терапевтического эффекта предлагается использовать в качестве инструмента для определения зоны облучения магниторезонансную томографию, позволяющую получать изображения с сечениями внутренних органов, по которым возможно наиболее точное определение пораженной области. Также предлагается для повышения терапевтического эффекта процедуры проводить воздействие на организм пациента не только лазерным излучением, но и электромагнитным полем.

Известно, что среди множества физических факторов, значительно влияющих на организм человека, являются магнитные поля. Фундаментальными исследованиями в этом вопросе являются труд Н. Тодорова «Магнитотерапия» (1980), работы отече-



венных ученых из СПб ГМУ им. акад. И.П. Павлова. В настоящее время наибольший интерес вызывает импульсное магнитное поле (ИМП) в связи с его способностью проникать на необходимую глубину в ткани и на клеточном уровне оказывать физико-химическое воздействие, не моделируемое иными средствами.

В то же время медицинская практика достаточно остро нуждается в разработках и внедрении новых эффективных способов терапии ряда заболеваний и, в том числе вирусных гепатитов, что видно из работ А. Блюгера, М. Саздыкова. Большую опасность в этой группе представляют затяжные формы острого вирусного гепатита, чреватые возможным переходом этих форм заболевания в хронические. Следует отметить, что существуют способы лечения различных (в том числе затяжных) форм вирусных гепатитов с применением как постоянного, так и переменного, синусоидного магнитных полей. Однако использование ИМП в этом аспекте до сих пор не осуществлялось.

На кафедре измерительных технологий и компьютерной томографии СПбГУ ИТМО предложен к испытаниям прибор для импульсной магнитотерапии, с помощью которого по созданной на кафедре инфекционных болезней СПбГМУ им. акад. И.П. Павлова методике проведены исследования с целью повышения эффективности лечения острых вирусных гепатитов. Результатом этой совместной работы явился новый способ лечения затяжных форм острых вирусных гепатитов путем воздействия ИМП на печень, пораженную патологическим процессом, позволивший повысить эффективность лечения по сравнению с общепринятой терапией (диетотерапия, витаминотерапия, гепатопротекторы) до 44%.

Прибор для магнитной импульсной терапии, которым при работе достигается этот эффект, изготовлен с таким расчетом, чтобы в нем предусматривалась регулировка параметра импульса. В этом случае импульсное магнитное поле, очевидно, обладает специфическим воздействием на живую ткань. У.Р. Эйди в своей работе «Частотные и энергетические окна при воздействии слабых электромагнитных полей» (1980) отметил, что для воздействия на живые клетки, по-видимому, требуются усилительные

механизмы, которые основаны на неравновесных процессах с дальнейшими резонансными взаимодействиями молекул. Установлено, что подобные кооперативные процессы играют важную роль в гормональных реакциях, а также в процессах возбуждения нервных клеток.

Прибор для импульсной магнитотерапии содержит генератор импульсов (ГИ) и две последовательные катушки (рис. 1). Схема генераторов импульсов представлена на (рис. 2). Принцип работы прибора следующий. При подаче питания задающий мультивибратор М1 вырабатывает прямоугольные импульсы заданной длительности и переменной скважности Т5. Сформированный импульс через дифференцирующую цепочку поступает в ждущий мультивибратор ЖМ1, срабатывающий при поступлении импульса. На его выходе формируется прямоугольный импульс с регулируемой длительностью Т4. Далее от импульса отрезается отрицательная полуволна, а импульс положительной полярности поступает на мультивибратор М2,

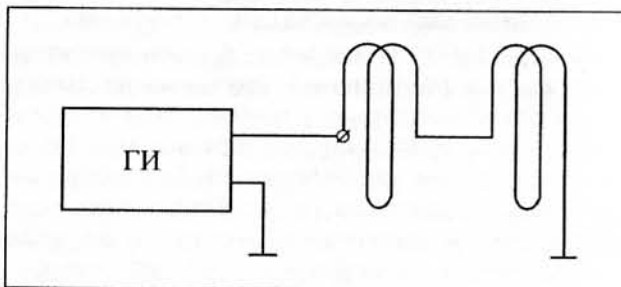


Рис. 1. Структурная схема прибора для импульсной магнитотерапии

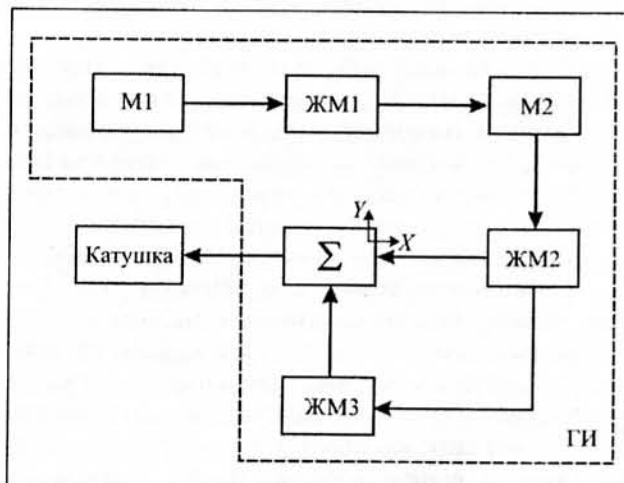


Рис. 2. Схема генератора импульсов (Σ – сумматор-смеситель)

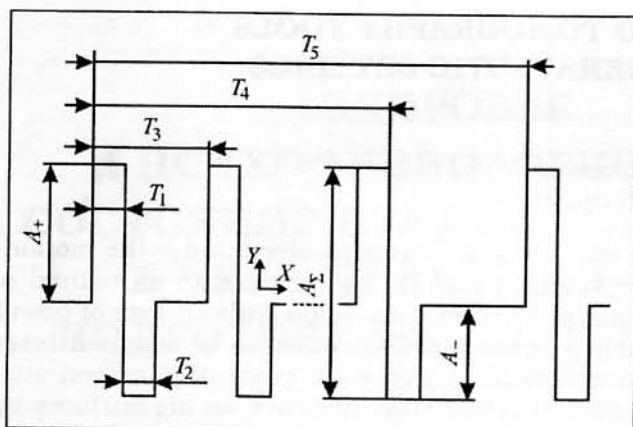


Рис. 3. Временные диаграммы прибора для импульсной магнитотерапии: $T_1 - T_5$ – длительности соответствующих импульсов; A_+ , A_- , A_Σ – амплитуды соответствующих импульсов

работающий в течение времени T_4 . Пройдя дифференцирующую цепочку, получаем импульс постоянной длительности T . Решив несколько элементарных задач, на выходе получаем импульс нужной формы (рис. 3).

При лечении затяжных форм вирусных гепатитов использовались приборы, имеющие напряженность поля 0,4 ... 10 мТл, частоту следования импульса 1 ... 25 Гц, скважность 1 – 3 в течение 20 ... 30 мин. Длительность курса составляла 10 – 12 сеансов.

Для получения наиболее результативного воздействия указанный прибор должен быть использован для работы в сочетании с прибором, базирующимся на другом физическом принципе воздействия, например НИЛИ.

Литература

1. Шалобаев Е.В., Юркова Г.Н., Ефименко В.Т. и др. Управление в биотехнической системе // Материалы 3-й Междунар. конф.: Управление в технических системах. 13 – 15 ноября 2000 г. Ковров: КГТА, 2000. С. 89 – 91.
2. Леонтьева Н.В., Золотницкая В.П., Дмитриева Я.В., Ефименко А.В. Лазеротерапия в комплексном лечении сосудистой патологии нижних конечностей // Медицинский академический журнал. 2001. №1. С. 39 – 40.
3. Ефименко В.Т., Шалобаев Е.В., Ефименко А.В., Юркова Г.Н. Сканирующие лазерные датчики в системе диагностики и лечения заболеваний // Датчики и системы. 2001. № 11. С. 47 – 49.
4. Леонтьева Н.В. Рекомендации для медицинского персонала по практическому применению стимулятора лазерного сканирующего физиотерапевтического СЛСФ-01.20К / под ред. Н.Н. Петрищева, В.Т. Ефименко. СПб.: ГМУ-НПО СКАА. 1999. 36 с.
5. Шалобаев Е.В., Ефименко В.Т., Юркова Г.Н. Сканирующие лазерные стимуляторы // Сб. науч. трудов: Электроника, информатика и управление. Вып.2. Владимир: ВлГУ. 2001. С. 174 – 178.
6. Шалобаев Е.В., Юркова Г.Н., Монахов Ю.С., Ефименко В.Т., Ефименко А.В., Корндорф С.Ф., Дунаев А.В. Проблемы создания биологических обратных связей и их применение в сканирующих лазерных медицинских установках // Известия ОрелГТУ. Сер. «Машиностроение. Приборостроение». Орел: ОрелГТУ. 2003. С. 92 – 96.
7. Дунаев А.В., Евстигнеев А.Р., Шалобаев Е.В. Лазерные терапевтические устройства / учебное пособие / Под ред. К.В. Подмастерьева. – Орел: ОрелГТУ. 2005. 143 с.
8. Дунаев А.В., Подмастерьев К.В. Лазерные и световые аппараты в физиотерапии и хирургии: лабораторный практикум / Учебное пособие. Орел: ОрелГТУ. 2006. 78 с.
9. Беликов А.В., Приходько К.В. Основные направления развития лазерных медицинских систем с обратной связью // Изв. вузов. Сер. Приборостроение. 2001. № 6. С. 36 – 41.
10. Иванов В.А., Шалобаев Е.В., Сытник В.М., Монахов Ю.С. Применение оптической когерентной томографии для реализации обратных связей в приборах лазеротерапии // Материалы Междунар. конф.: Приборостроение-2005. Винница-Ялта: 2005. С.45-48.

Поступила 18 июня 2007 г.



THE USE OF BIOFEEDBACK AND TOMOGRAPHY TOOLS IN LASER SCANNING PHYSIOTHERAPEUTIC SETTINGS

© Authors, 2009

*E. V. Shalobaev, N. V. Leontyeva, Yu. S. Monahov,
A. V. Efimenko, K. V. Podmasteryev, A. V. Dunaev*

The method of scanned laser therapy is allowed to deliver from defects received under the motion-blur of laser beam within ordinary low level laser therapy (LLLT). The peculiarity of method of scanned laser therapy includes non-contact influence of focused laser beam without loss of power radiation on surface of object with various frequency scanning. The radiation of scanned laser beam gives opportunity to influence by uniform dosed radiation on each point of damaged surface, but for that laser beam should place on the whole surface. The influence on big surfaces by focused beam provides the transfer of energy radiation to tissue for shorter periods with comparison to radiation of analogous damaged surface by out-of-focus laser beam. Due to scanned device it is possible to select appropriate figure of scanning in accordance with area and state of surface which is under recovery.

The dignity of laser medical device is opportunity of operative change of parameters of laser radiation for getting of wished results of influence which it is possible to get with help of biofeedback. It is also possible to realize optimization of laser influence on tissue under which physiotherapy influence on tissue and organs is the most effective. Among main problems for creators of such systems there is lack of simple reply on most of questions concerned manifestation of results of influence of laser radiation not only on genetic, bit-mapped and cell-spacing levels, but even on level of organs of human organism and also with counting of individual of peculiarities of patients that it is possible to see on example of absorption and bounce of laser radiation by skin tissues.

We offer in this work as informational canal for control for condition of patient to use optical coherent tomography, which allow to get information and vale of state of tissue of person which is under LLLT. For optimal providing of medical procedure and getting of maximum therapeutically effect we suggest to use as instrument for determination of zone of radiation the magnetic resonance tomography, which allows to receive image with section of inner organs which helps to determine of damaged area more exactly. We also suggest for increase therapy effects of procedure to influence on organism of patient not only by laser radiation, but electric magnetic field, for instance, impulse magnetic field.