



# РУКОВОДСТВО ПО Hilterapia®

Под редакцией **ASAcampus**



# РУКОВОДСТВО ПО Hilterapia®

Под редакцией **ASAcampus**

Авторы:

Алессандро Валент - Риккардо Пратези

Моника Моничи - Франко Фузи

**Алессандро Валент**

Преподаватель курса Хилтерапии®

Модена, Италия

**Риккардо Пратези**

Профессор Кафедры материаловедения

Физический факультет

Университет Флоренции, Италия

**Моника Моничи**

ASAcampus,

исследовательское подразделение ASA

Отделение клинической физиопатологии

Университет Флоренции, Италия

Франко Фузи

Отделение физических исследований

в области медицины

Отделение клинической физиопатологии

Университет Флоренции, Италия

Copyright © 2013 - ASA

Редактирование ASAcampus, Исследовательское подразделение ASA  
Опубликовано ASA срл. Аркугано (VI), Италия

Все права защищены.

Полное или частичное копирование, печать и распространение информации, опубликованной в данном руководстве, запрещено.

Указанные действия возможны только при получении от правообладателя письменного разрешения.

Спонсор: Отделение клинической физиопатологии,  
Университет Флоренции, Италия

## СОДЕРЖАНИЕ

### **ГЛАВА 1 \_ ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ**

#### 1.1 ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

#### 1.2 ЛАЗЕР

- Спонтанная эмиссия
- Стимулированная эмиссия

#### 1.3 ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЛАЗЕРОВ

- Твердотельный лазер
- Газовый лазер
- Полупроводниковый лазер

#### 1.4 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

- 1.4.1 Взаимодействия лазера и тканей
  - Фотохимическое взаимодействие
  - Фотомеханическое взаимодействие
  - Фототермическое взаимодействие

- 1.4.2 Биологическая ответная реакция

- Системные эффекты
- Эффекты воздействия на ткани
- Эффекты воздействия на клетки
- Список литературы

#### 1.5 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ЛАЗЕРОМ

- Список литературы

### **ГЛАВА 2 \_ Лазер Nd:YAG**

#### 2.1 Лазер Nd:YAG

#### 2.2 ГЕНЕРАТОРЫ

#### 2.3 БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ЛАЗЕРА Nd:YAG

## СОДЕРЖАНИЕ

### 2.4 НЕПРЕРЫВНЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ

### 2.5 ЭМИССИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ВОЛНЫ (CW) ЛАЗЕРОМ Nd:YAG

Обзор

Время достижения порогового нагрева

### 2.6 ЭМИССИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВОЛНЫ ЛАЗЕРОМ ND:YAG AD

Обзор

Список литературы

## ГЛАВА 3 \_ **Hilterapia®**

### 3.1 ОБЗОР И ТИП СИГНАЛА

### 3.2 ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

### 3.3 ПРИБОРЫ ДЛЯ Hilterapia®

### 3.4 ПОКАЗАНИЯ И ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ ДЛЯ Hilterapia®

### 3.5 ПАРАМЕТРЫ И ВАРИАНТЫ ЛЕЧЕНИЯ

Плотность потока

Частота

Общая энергия

Способы подачи

Скорость сканирования

Общая схема лечения

Практические рекомендации по проведению терапии

## ГЛАВА 4 \_ **ПРОТОКОЛЫ ЛЕЧЕНИЯ**

### 4.1 ВЕРХНИЕ КОНЕЧНОСТИ

#### **Плечо**

Основные патологии

Лечение

## СОДЕРЖАНИЕ

### Локоть

Основные патологии

Лечение

### Запястье и кисть руки

Основные патологии

Лечение

## 4.2 ПОЗВОНОЧНИК И ТАЗОВЫЙ ПОЯС

### Позвоночник

Основные патологии

Лечение

### Тазовый пояс

Основные патологии

Лечение

## 4.3 НИЖНЯЯ КОНЕЧНОСТЬ

### Бедро

Основные патологии

Лечение

### Колено

Основные патологии

Лечение

### Лодыжка и стопа

Основные патологии

Лечение

## 4.4 ОСОБЫЕ ПРОТОКОЛЫ ЛЕЧЕНИЯ

Гонартроз

Отек

Мышечные патологии

## 4.5 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ





ГЛАВА 1

# ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ



# 1.1

## ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Многие древние цивилизации поклонялись солнцу или божествам, связанным с ним, а также считали, что существует связь между солнцем и здоровьем.

По некоторым сохранившимся документам можно заключить, что древние римляне и греки использовали солнечные ванны, как в терапевтических целях, так и для общего поддержания здоровья.

В конце 19 века англичане Артур Доунс (Arthur Downes) и Томас Блант (Thomas Blunt) показали, что ультрафиолетовый компонент солнечного света может вызывать гибель бактерий и других микроорганизмов, тем самым заложив первые твердые научные основы для широкого использования фототерапии в клинической практике. Пионером современной фототерапии был Нильс Финсен (Niels Finsen), опубликовавший исследования по эффективности УФ излучения при лечении кожного туберкулеза, а также красного света для профилактики выхода жидкости из папул и образования рубцов у пациентов, страдающих от оспы. Позже он был награжден Нобелевской премией за успехи в терапии при помощи УФ излучения.

В течение многих лет источником света оставалось солнце, даже когда началось использование вспомогательных устройств, содержащих фильтры и линзы для удаления или фокусирования излучения, соответствующего определенным спектрам.

Солнечный свет впоследствии заменили дуговыми лампами с угольными электродами, которые, однако, оказались неэффективными источниками УФ излучения, и позднее вместо них начали применять более эффективные ртутные лампы. В первой половине двадцатого века фототерапия была методом, широко применяемым в клинической практике, как в Северной Европе, так и в Северной Америке. ЛАЗЕР – это самый современный и наиболее совершенный тип источника света, доступный на сегодняшний день. Лазеры активно используются во всех областях медицины, их применение может быть полезным при лечении совершенно различных патологий. Однако лазер не является «загадочным и магическим предметом», излечивающим все заболевания, каким его считают энтузиасты лазеротерапии. Однако его нельзя назвать также методом, «совершенно непригодным для получения эффективных результатов», как считают критики лазеротерапии. Имеющиеся заблуждения подпитываются из некоторых ненадежных источников, далее перечислены некоторые из них:

1. Использование литературы, которую нельзя считать строго научной, где излагаются результаты терапии лазером с неточными описаниями

использованных протоколов и параметров (длина волны, мощность, плотность потока, и т.п...)

2. Недостаточно полное понимание принципов фотобиологии и биологических эффектов лазеров теми людьми, которые проводят лечение.
3. Ненадлежащее использование лазерной терапии для лечения диагнозов, при которых данный метод не должен применяться.
4. Плохое знание молекулярных и клеточных процессов, лежащих в основе системных эффектов лазерной терапии.
5. Ограниченное знание правильного применения методов лазерной терапии, особенностей используемых аппаратов и мер безопасности.

Все эти факторы связаны с получением противоположных или неубедительных результатов, отсутствием лечебного эффекта или даже возможностью вредного воздействия.

В заключение важно отметить, что биологические и медицинские/хирургические эффекты излучения лазера не зависят от «когерентных» свойств. С этой точки зрения, можно получить одинаковые эффекты при использовании некогерентного излучения, эмитируемого специально (ad hoc) лампами со спектральными и пространственными фильтрами. Самым существенным преимуществом лазерного излучения, по сравнению с другими источниками, является очень высокая интенсивность, направленность (это позволяет получать эффективное фокусирование и взаимодействие оптических волокон), а также, во всех случаях, чрезвычайно высокую монохроматичность.

Цель этого руководства состоит в том, чтобы познакомить специалистов, которым предстоит работать с лазерами, с некоторыми фундаментальными основными характеристиками лазеров, процедурами обеспечения безопасности, биологическими эффектами, а также надлежащими протоколами для клинического применения. В руководстве описаны базовые системные, тканевые и клеточные эффекты, с указанием соответствующей справочной литературы. Как указывалось ранее, несмотря на наличие материалов большого количества исследований, молекулярные механизмы взаимодействия лазера и тканей, а также последующий клеточный ответ, по-прежнему не вполне ясны и все еще являются предметом изучения в области биомедицины лазеров. Эти исследования очень сложны вследствие наличия большого количества эффектов и биологических реакций, которые зависят от типа применяемого лазера, условий воздействия

и особенностей биологического субстрата (области тела, ткани, типа клеток и т.п.).

Тем не менее, эти исследования очень важны, так как совершенствование нашего знания в этой области дает возможность улучшения приборов и протоколов лечения, в то время как конечной целью является получение все более важных терапевтических результатов.

# 1.2

## ЛАЗЕР

Термин «лазер» - это сокращение по первым буквам слов, входящих в выражение «амплификация света при помощи стимулированной эмиссии излучения» («Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation»). Эта аббревиатура означает, что устройство способно эмитировать коллимированный и монохромный луч света. Кроме того, яркость (интенсивность) источника лазерного излучения очень высока по сравнению с традиционными источниками света.

Эти особенности когерентности (пространственные, то есть направленность, и временные, то есть монохромность) являются основой, обеспечивающей широкое применение лазеров. Работа лазера основана на стимуляции эмиссии излучения атомами особого вещества, называемого активным материалом. Сначала происходит «возбуждение» атомов, то есть, атом переводится на более высокий энергетический уровень при помощи внешнего источника энергии (процесс накачки). Затем атомы подвергаются «стимулированию», в результате чего они начинают испускать накопленную энергию в виде внешнего излучения определенной частоты.

Спонтанная эмиссия: Эмиссия фотонов происходит без внешней стимуляции атома. Спонтанный фотон может иметь любое направление движения, а его энергия (частота) распределяется в пределах спектральной полосы определенной ширины (линейность, отсутствие монохроматизма). Обычные лампы (накаливания, разрядные, флуоресцентные, диодные и т.п.) являются источниками спонтанно эмитируемых фотонов.

Стимулируемая эмиссия: Процесс инициируется произвольным фотоном, в этом случае атом, находящийся в возбужденном энергетическом состоянии испускает фотон, идентичный исходному, переходя при этом на более низкий энергетический уровень. Направленность и частота эмитируемого фотона идентичны характеристикам исходного

фотона. Поглощение и стимулированная эмиссия могут возникать с равной степенью вероятности. В норме, свет, проходящий через материал, поглощается, по мере продвижения, самим материалом. Таким образом, происходит передача энергии атомам, с которыми свет взаимодействует, с сопутствующим возбуждением этих атомов.

Другими словами, атомы материала переходят на более высокий энергетический уровень. Однако, в соответствии с анализом, проведенным Эйнштейном, если атомы материала были переведены в возбужденное состояние внешними источниками энергии, вероятность стимулированной эмиссии и поглощения определяется процентом атомов, находящихся в возбужденном состоянии, по сравнению с процентом атомов, имеющих исходный уровень энергии. Если количество возбужденных атомов выше, чем количество атомов с исходным уровнем энергии, свет, проходящий через материал, будет получать фотоны за счет стимулированной эмиссии атомов, вместо того, чтобы быть поглощенным ими.

Амплификация света достигается при помощи прохождения серии фотонов через активный материал, за счет отражения самих фотонов от двух зеркал, ориентированных так, что они образуют так называемый оптический резонатор. Двигаясь от одного зеркала к другому, фотоны лишают другие атомы избытка энергии, при этом эмиссия фотонов характеризуется той же частотой и направлением, что и у исходных фотонов. В результате возникает направленный монохромный луч фотонов высокой интенсивности. Часть этого излучения затем испускается из оптического резонатора одним из двух зеркал, которое делают полупрозрачным.

**Твердотельный лазер:** Наиболее часто используемыми материалами в твердотельных лазерах являются стержни из кристаллов, содержащих редкоземельные или переходные элементы, такие как YAG (алюмоиттриевый гранат) с неодимом, гольмием, эрбием, тулием и т.п., или сапфиром (оксид алюминия) с хромом (рубином). Завершения стержней имеют вид двух параллельных поверхностей, покрытых тонким слоем неметаллического материала с высокими показателями отражения.

**Газовый лазер:** Активным материалом является газ или пар нейтральных атомов, ионов, молекул, с добавлением других элементов (в частности, гелия) для облегчения выхода электрической энергии и улучшения эффективности накачки.

# 1.3

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ ЛАЗЕРОВ

Газ обычно находится в цилиндрической трубке из стекла, кварца или керамики, в зависимости от интенсивности электрического тока, необходимого для накачки. Газовые лазеры накачивают с помощью ультрафиолетового света, пучков электронов, электрического тока и химических реакций. Гелий-неоновый лазер, сейчас вытесненный полупроводниковым диодным лазером, хорошо известен стабильностью высокой частоты, чистотой света и высокой степенью коллимации производимых лучей. Лазеры на диоксиде углерода являются наиболее эффективными и мощными, они способны к непрерывной эмиссии. Полупроводниковый лазер: Эти лазеры имеют очень компактный размер, их работа основана на *n-p* переходах между противоположными полупроводниковыми элементами. Эти лазеры обладают чрезвычайно высокой эффективностью (более 50%).

# 1.4

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

Исследование взаимодействий лазера и тканей основано на знании среды, через которую проходит свет, и, следовательно, учитывает поглощение и передачу излучения. Тип взаимодействия в значительной степени зависит от параметров лазера и механизма преобразования энергии излучения на биомолекулярном уровне. При попадании света на биологическую ткань, около 3% отражается из-за изменения индекса рефракции на границе воздушной фазы и ткани. Оставшееся количество проникает в ткань, частично поглощаясь и частично рассеиваясь. Поглощение энергии света необходимо для того, чтобы на уровне ткани могли возникать какие-либо эффекты. Если феномен рассеивания ничтожно мал по сравнению с поглощающей способностью ткани, изучение лазера остается высоко коллимированным, и экстинкционная длина  $L_{\text{экстинкции}}$  (глубина, при которой интенсивность потока уменьшается примерно на 1/3 от исходного значения) зависит только от коэффициента поглощения. Если обозначить через  $I(x)$  интенсивность проникновения в биологическую ткань, снижение интенсивности света лазера в ткани подчиняется закону Ламберта-Бира (Lambert-Beer):

$$I(x) = I_0 \exp[-\alpha(\lambda)x]$$

Где  $\alpha(\lambda)$  - коэффициент поглощения ткани при длине волны, а  $x$  - проникновение в ткань. Экстинкционная длина соответствует  $L_{\text{экстинкции}} = 1/\alpha(\lambda)$ . Коэффициент поглощения зависит от типа и количества хромофоров в ткани. Хромофоры – это молекулы, отвечающие за поглощение оптического излучения и цвет ткани. Их состав, который зависит от типа ткани, определяет ответную реакцию самой ткани на лазерное излучение при определенных длинах волн. Хромофор, содержащийся в наибольшем количестве в биологических тканях - это вода, составляющая 70% массы тела. Вода практически прозрачна для видимого света, в тоже время она активно поглощает инфракрасный свет. Оставшиеся 30% массы тканей в значительной степени состоят из органических веществ: белков, жиров, сахаров и нуклеиновых кислот. Хотя некоторые из этих молекул частично поглощают видимый свет, они создают значительное рассеивание. Для того чтобы вызывать в них эффективное возбуждение, обычно используют способность к активному поглощению ультрафиолета, характерную для связей органических молекул. Волны видимого спектра, в основном, поглощаются специфическими пигментами тканей, например, гемоглобином эритроцитов или родопсином сетчатки.

При длинах волн, при которых тканевое поглощение очень низкое, прохождение оптического излучения подавляется рассеиванием. Следовательно, существует очень незначительная вероятность того, что фотон будет поглощен, в то же время очень велика вероятность его отклонения от первоначального направления. Траектория фотона напоминает зигзаг, она может быть смоделирована при помощи методов симуляции. Следовательно, коллимированный луч утрачивает коллимацию при проникновении в ткань, а фотоны могут распространяться даже в области, находящейся на значительном удалении от первоначальной зоны проникновения. Рассеивание преобладает в регионах с низким спектром поглощения, что в случае тканей соответствует дальнему видимому и ближнему инфракрасному спектру.

На основании имеющейся интенсивности и длительности воздействия лазерного излучения, можно выделить разные типы взаимодействия: фотохимическое, фототермическое и фотомеханическое.

# 1.4.1

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРА И ТКАНЕЙ

Фотохимическое взаимодействие: Происходит, когда поглощенная энергия (или ее часть) используется для i) конформационных или структурных преобразований молекулы; ii) образования новых видов; iii) передачи другой молекуле, которая, в свою очередь, взаимодействует с другими молекулами в среде нетермическим способом.

Фотохимическое взаимодействие является более избирательным, чем фототермическое или фотомеханическое. Причина состоит в том, что в ткани присутствуют эндогенные хромофоры (вещества, в норме находящиеся в тканях, например, молекулы, содержащие порфириновые кольца) или экзогенные хромофоры (молекулы, вводимые в ткани извне, например, краситель бенгальский розовый и кардиогрин). В фотодинамической реакции участвует молекула, которая поглощает фотон (фотосенсибилизатор) и одна молекула кислорода. После возбуждения фотосенсибилизатор передает энергию кислороду, который переходит из основного состояния низкой реакционной активности в возбужденное состояние высокого сродства к электронам, в котором он может вступать в реакции окисления с другими молекулами в биологической среде. Фотохимические реакции – это первый этап, на уровне тканей, сложного фотобиологического процесса, который ведет к появлению потенциально вредных или полезных эффектов в облученных тканях.

Важными последствиями фотохимического взаимодействия являются реакции, обеспечивающие активацию ферментов, синтез нуклеиновых кислот и белков, а также метаболизм. Например, в коже и подкожных слоях излучение лазера поглощается метаболически активными хромофорами митохондрий. Ключевые элементы окислительной цепи, такие как цитохромы, никотиновые коферменты и флавопротены, оказываются вовлеченными в процесс, наряду с другими молекулами. Была выдвинута гипотеза, согласно которой изменение стереохимической конформации, вызываемое магнитным полем, индуцируемым лазерным излучением, может приводить к активации метаболизма в клетке, при этом может происходить увеличение концентрации АТФ на 200%. Это повышение количества АТФ означает, что на клеточном уровне появляется больше энергии. Следовательно, при повреждениях, вызываемых воспалительными и дегенеративными процессами или травмами, это может способствовать как морфологическому, так и функциональному восстановлению.



Способность оптимизировать функции Na-K насоса на уровне клеточной мембраны, активация синтеза белков и значительное увеличение количества митозов – основные биологические эффекты фотохимических механизмов воздействия, описанные среди прочих других. Закрытие калиевых каналов мембраны, вызванное модификациями поверхностных липопротеинов, по всей видимости, связано с гиперполяризацией мембран нервных волокон. Этот феномен вызывает увеличение порога возбудимости болевых рецепторов. Следовательно, биохимические процессы могут играть важную роль в появлении противовоспалительных, противоотечных, обезболивающих и биостимулирующих эффектов, которые приписывают воздействию лазерного излучения.

Фотомеханическое взаимодействие: Это очень сложный процесс, возникающий из-за поглощения лазерного излучения высокой мощности. Данный тип взаимодействия характеризуется образованием акустических волн, причем некоторые из них имеют значительную длину (шоковые волны), а также удалением ткани (абляция). Лазерная абляция возникает благодаря действию нескольких механизмов, это зависит от условий и параметров излучения, а также от оптических, термических, механических и химических свойств ткани. Во всех случаях в ткани, для которой характерна значительная степень гомогенности, абляция может быть охарактеризована так называемым «порогом абляции», представляющим собой минимальный уровень излучения, выше которого наблюдается удаление ткани. Этот параметр, важный с точки зрения феноменологического анализа процесса абляции, в основном выражается плотностью энергии лазера (энергия/единица площади, Дж/см<sup>2</sup>), даже для режимов, индуцируемых лазерами с высокой мощностью, у которых энергия активации и развитие эффекта более четко связаны с интенсивностью (Вт/см<sup>2</sup>). Процесс фотоабляции в значительной степени зависит от присутствия воды (энергия, необходимая для увеличения температуры воды до 100°C составляет примерно 2500 Дж/см<sup>3</sup>), при этом существуют два варианта режимов i) режим ниже порога испарения, ii) режим выше порога испарения. Если длительность импульсного воздействия лазера находится в пределах от 1 до 10 нсек, и если лазерная энергия каждого импульса низкая, энергии, высвобождаемая в данном объеме, недостаточно для vaporизации значительного сегмента ткани в течение времени воздействия излучения.

Однако облученный объем подвергается сильному градиенту давления на поверхностном уровне. Следовательно, пик градиента локализован вблизи поверхностного слоя ткани, и, если пиковое значение давления выше, чем сопротивление самой ткани, происходит спонтанный выброс определенной фракции облученной массы.

В условиях достаточно высокой интенсивности лазера, а также очень коротких импульсов воздействия, происходит массовая ионизация вблизи облученной поверхности с образованием плазмы (сочетания электронов и положительно заряженных ионов). При средних значениях интенсивности воздействия лазера и промежуточных длительностях вспышки (1-100 нсек) происходит индукция взаимодействия между лазером и тканью с активным испарением воды. Удаление ткани происходит при исключительно быстром процессе испарения, и при исследовании на микроскопическом уровне наблюдаются явления, напоминающие взрыв. В данном случае возникает один из главных процессов лазерной абляции, используемых при проведении хирургических операций для аккуратного и контролируемого удаления мягких тканей, особенно когда важно минимизировать нежелательные реакции термического происхождения. Лазерный импульс может за очень короткий период времени передавать энергию, необходимую для испарения ткани, вызывающую исключительно быстрое и жесткое удаление материала с поверхности. Термические повреждения в целом пренебрежимо малы, так как энергия, переданная на облученную ткань, почти полностью используется для испарения ткани как таковой. В любом случае, слои, расположенные ниже, не вовлекаются в эту реакцию с точки зрения термического воздействия, так как процесс завершается очень быстро, по сравнению с временем, необходимым для распространения высокой температуры. Однако фотомеханические повреждения нельзя считать пренебрежимо малыми: фотоабляция обязательно связана с механическим процессом генерирования ударной волны, которая может вызывать нежелательные повреждения анатомических структур (например, на уровне сетчатки при рефракционной фотохирургической операции). Тем не менее, при надлежащем контроле и поддержании воздействия на уровне, значительно более низком, по сравнению с пороговым значением, на самом деле генерирование этих ударных волн может служить положительным стимулом для гомеостаза ткани, и в этом заключается одно из свойств лазера Nd:YAG нового поколения, используемого для нехирургических терапевтических целей (например, при проведении физиотерапии).

Фотомеханическому взаимодействию приписывают важные биологические эффекты, например, такие как ускорение лимфотока, что облегчает всасывание интерстициальных липидов и уменьшение

отеков воспалительного и посттравматического происхождения, а также реактивацию микроциркуляции, увеличение насыщения кислородом и лимфодренаж.

**Фототермическое взаимодействие:** На микроскопическом уровне фототермическая реакция развивается после поглощения фотонов целевыми молекулами, которые переходят на уровень вибрации возбужденных электронов. Впоследствии энергия их столкновения передается молекулам среды, в результате чего происходит увеличение кинетической энергии последних. Этот процесс нерадиоактивного распада происходит очень быстро (1-100 псек) и последующее быстрое нагревание вызывает местное повышение температуры. На уровне ткани совокупность биологических эффектов нагревания контролируется, в основном, поглощением целевыми молекулами, в частности, водой, гемопroteинами, пигментами (такими как меланин, каротиноиды, флавины, билирубин), а также поглощением другими макромолекулами, такими как нуклеиновые кислоты и молекулы, содержащие ароматические кольца. Изменения температуры во времени зависят от способа передачи лазерной энергии к ткани, а также, в частности, от длительности импульса и энергии. Постоянное нарастающее нагревание ткани вызывает сложную последовательность биологических эффектов, которые можно классифицированы, на макроскопическом уровне, в соответствии с различными термодинамическими процессами, соответствующими основным гистологическим изменениям.

Для температур между 43 и 45°C (гипертермический режим) эффектом является денатурация (разрыв водородных связей) биомолекул и их сложных образований (белков, коллагена, липидов и гемоглобина). Конформационные изменения, разрывы связей и изменения клеточных мембран можно наблюдать при температуре примерно 45°C.

При температурах, превышающих температуру денатурации, происходит коагулирующий (клеточный) некроз и вакуолизация. В пределах от 50 до 60°C происходит изменение активности ферментов (снижение активности) и начинается явная денатурация макромолекул (белков, коллагена, липидов, гемоглобина), что составляет основу процесса коагуляции. Коллаген представляет собой фиброзный белок, очень распространенный у млекопитающих, образованный четырьмя полипептидными цепями, которые формируют двойную спираль, и денатурация такой структуры представляет собой исключительно важное явление. Повышение температуры разрушает пространственную организацию макромолекулярных цепей, а петли формируются случайным образом, что приводит к значительному структурному сокращению волокон коллагена.

Тепловая денатурация, сокращение внутриклеточных белков и возможное разрушение цитоскелета вызывают изменения и уменьшение объема коагулированных клеток. Изменения и утрата целостности мембран – это основные типы повреждений различных клеток, если они серьезно пострадали из-за эффектов нагревания. В итоге, в тканях с более высоким пространственным порядком на клеточном уровне (как в мышечной ткани), обеспечивающим двойное лучепреломление, денатурация белков приводит к разрушению этой клеточной структуры, что сопровождается утратой соответствующих оптических свойств. Эти процессы фотокоагуляции используются, например, в глазной хирургии, для уменьшения отслоения сетчатки, а также в дерматологии, для устранения сосудистых дефектов и пигментных пятен. Кроме того, недавно появились методы, позволяющие осуществлять лазерную коагуляцию тканей, сосудов и протоков (урология), на основании изменений, вызываемых в структуре коллагеновых волокон нагреванием при помощи лазера при низких температурах (45-50°C). При средних и высоких температурах (>100°C) эффекты в значительной степени обусловлены присутствием воды. При постоянном облучении нагревание тканей характеризуется следующими параметрами: i) поглощение энергии через переход фаз жидкость-пар; ii) высушивание поверхности, iii) образование вапоризационных вакуолей внутри тканей, а также последующее iv) быстрое расширение вакуолей, расположенных в тканях. Удаление горячей ткани делает доступным для воздействия радиации более холодный слой, который сохраняет температуру примерно 100°C в течение времени, необходимого для того, чтобы излучение вызвало обезвоживание ткани. Потеря воды уменьшает местную проводимость тепла и ограничивает поступление тепла к окружающим тканям. После полного испарения воды из клеток, температура ткани быстро возрастает до 300°C. Сайты образования ядер скапливаются на поверхности, ткань получает ожог и обугливается (карбонизируется). Как вапоризация, так и карбонизация приводят к распаду ткани. Важным параметром для описания фототермического взаимодействия является время теплового расслабления ткани, рассчитываемое по формуле

$$t_{\text{thermal}} = (L_{\text{extinction}})^2 / (4 K)$$

Где  $K$  – показатель распространения тепла в материале, представляющий собой функцию теплопроводности, удельного нагревания и плотности. Для воды  $K$  равен  $1,43 \times 10^{-3} \text{ см}^2/\text{сек}$ , следовательно, за 1 секунду тепловая энергия может проникнуть на глубину 0,8 мм

Для того чтобы тепловая энергия проникла через кровеносный сосуд диаметром 10  $\mu\text{m}$ , требуется около 100  $\mu\text{s}$ , это время увеличивается примерно до 18  $\mu\text{s}$  для кровеносного сосуда диаметром 100  $\mu\text{m}$ . Как при фотохимической и фотомеханической стимуляции, при фототермическом воздействии также могут возникать значимые эффекты, проявляющиеся, по большей части, на циркуляторном уровне. Контролируемое повышение температуры подразумевает интенсивное воздействие на микроциркуляцию. Активация микроциркуляции способствует усилению притока питательных веществ, а также улучшению выведения катаболитов из тканей.

В заключение следует отметить, что многочисленные эффекты лазерной стимуляции могут быть описаны в рамках следующей схемы:

#### Эффекты системного уровня

- Противовоспалительные и противоточные: Уменьшение отека, вызванного экхимозом или воспалением суставов, что способствует восстановлению подвижности. Эффект связан с увеличением диаметра и изменением проницаемости лимфатических сосудов и капилляров, гиперемией и «выведением» провоспалительных молекул. Благодаря умеренному расширению сосудов, происходит увеличение поступления кислорода и питательных веществ к поврежденным тканям, что важно для процессов заживления (Honmura A. et al., 1992; Fulga C, 1998).
- Обезболивание: Обезболивающее действие обеспечивается несколькими механизмами. Во-первых, на поверхностном уровне лазер блокирует активность окончаний ноцирецептора, за счет изменения проницаемости мембран аксонов (Jimbo K. et al., 1998). Более того, гиперемия, индуцируемая нагреванием, обеспечивает дренаж веществ, связанных с возникновением боли, устраняя тем самым причину болевого синдрома (Navratil L et al, 2001; Ferreira D.M. et al, 2005). Также было описано повышение болевого порога, вероятно вследствие частичного уменьшения проницаемости плазматической мембраны для ионов калия, а также, отчасти, по причине стимуляции центральной нервной системы, индуцированной эндорфином (Svensson P. et al., 1991).

# 1.4.2

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОТВЕТНАЯ РЕАКЦИЯ

Процессы, стимулирующие восстановление ткани: Расширение сосудов вызывает увеличение поступления нутриентов и факторов роста, активирует фибробласты и активизирует синтез коллагена, белка, играющего важную роль в процессах восстановления и регенерации тканей (Almeida-Lopes L. et al., 2001; Liu H. et al., 2008). В поврежденных тканях, где восстановление нервных функций в норме замедлено, происходит ускоренная регенерация нервных клеток, а также восстановление состояния областей, потерявших чувствительность (Rochkind S. & Ouaknine G.E. 1992; Gigo-Benato D. et al., 2004; Rochkind S. et al., 2007). В итоге, расширение сосудов уменьшает образование рубцовой ткани после травмы или пореза, например, в случае хирургических ран и ожогов (Alster T. & Zaulyanov L., 2007).

#### Эффекты на тканевом уровне

- Увеличение синтеза коллагена и ремоделирование матрикса-ткани (Dang Y. et al., 2006; Liu H. et al., 2008).
- Индуцирование регенерации лимфатических и кровеносных сосудов (Maier M et al., 1990; Rebeiz E et al., 1991; Goldman M.P. et al., 1993).
- Увеличение и ускорение ангиогенеза (Mirsky N. et al, 2002; Garavello I. et al, 2004).
- Уменьшение времени реабсорбции отека (Giuliani A. et al., 2004; Albertini R. et al., 2007).
- Профилактика образования шрамов и гиперкератозных повреждений (Alster T.S. & Handrick C., 2000; Bouzari N. et al., 2007).

#### Эффекты на клеточном уровне

- Увеличение синтеза ДНК (Yamada K., 1991; Zubkova SM., 1995).
- Увеличение транскрипции РНК (Smol'ianinova NK., 1990).
- Увеличение синтеза АТФ (Mochizuki-Oda N. et al., 2002; Kujawa Дж. et al., 2004; Oron U. et al., 2007).
- Увеличение активности макрофагов (Dube A. et al., 2003)
- Увеличение пролиферации клеток (Karu T., 1991; Tuby H et al., 2007; Almeida-Lopes L et al., 2001; Moore P. et al., 2005; Chen C.H. et al, 2008).
- Высвобождение факторов роста фибробластами (Yu W. et al., 2004; Saygun I. et al., 2008).
- Пролиферация Т и В лимфоцитов (Stadler I. et al., 2000).
- Уменьшение количества тучных клеток в костном мозге (Puczek M. et al., 1994).
- Увеличение образования внеклеточного матрикса фибробластами и хондроцитами (Monici et al., 2008).

**Список литературы:**

- Albertini R, Villaverde AB, Aimbire F, Salgado MA, Bjordal JM, Alves LP, Munin E, Costa MS. Anti-inflammatory effects of low-level laser therapy (LLLT) with two different red wavelengths (660 nm and 684 nm) in carrageenan-induced rat paw edema. *J Photochem Photobiol B*. 2007 Nov 12;89(1):50-5. Epub 2007 Sep 6.
- Almeida-Lopes L, Rigau J, Zângaro RA, Guidugli-Neto J, Jaeger MM. Comparison of the low level laser therapy effects on cultured human gingival fibroblasts proliferation using different irradiance and same fluence. *Lasers Surg Med*. 2001;29(2):179-84.
- Alster T, Zaulyanov L. Laser scar revision: a review. *Dermatol Surg*. 2007 Jun;33(6):770.
- Alster TS, Handrick C. Laser treatment of hypertrophic scars, keloids, and striae. *Semin Cutan Med Surg*. 2000 Dec;19(4):287-92.
- Bolton P, Young S, Dyson M. The direct effect of 860 nm light on cell proliferation and on succinic dehydrogenase activity of human fibroblasts in vitro. *Laser Ther* 1995 7:55–60.
- Bouzari N, Davis SC, Nouri K. Laser treatment of keloids and hypertrophic scars. *Int J Dermatol*. 2007 Jan;46(1):80-8.
- Chen CH, Hung HS, Hsu SH. Low-energy laser irradiation increases endothelial cell proliferation, migration, and eNOS gene expression possibly via PI3K signal pathway. *Lasers Surg Med*. 2008 Jan;40(1):46-54.
- Dang Y, Ren Q, Liu H, Ma J, Zhang J. Effects of the 1,320-nm Nd:YAG laser on transepidermal water loss, histological changes, and collagen remodelling in skin. *Lasers Med Sci*. 2006 Sep;21(3):147-52. Epub 2006 Jul 29.
- Dube A, Bansal H, Gupta PK. Modulation of macrophage structure and function by low level He-Ne laser irradiation. *Photochem Photobiol Sci*. 2003 Aug;2(8):851-5.
- Ferreira D.M., Zingaro R.A., Balbin Villaverde A., Cury Y., Frigo L., Picolo G., Longo I., Barbosa D.G. Analgesic Effect of He-Ne (632.8 nm) Low-Level Laser Therapy on Acute Inflammatory Pain. *Photomedicine and Laser Surgery*. April 1, 2005, 23(2): 177-181. doi:10.1089/pho.2005.23.177.
- Fulga C. Anti-inflammatory effect of laser therapy in rheumatoid arthritis. *Rom J Intern Med*. 1998 Jul-Dec;36(3-4):273-9.
- Garavello I, Baranauskas V, da Cruz-Höfling MA. The effects of low

- laser irradiation on angiogenesis in injured rat tibiae. *Histol Histopathol.* 2004 Jan;19(1):43-8.
- Gigo-Benato D., Geuna S., Castro Rodrigues A., Fornaro M., Boux E., Battiston B., Tos P. Low-power laser biostimulation enhances nerve repair after end-to-side neurorrhaphy: a double-blind randomized study in the rat median nerve model. *Lasers in Medical Science* 19, 2004.
  - Giuliani A, Fernandez M, Farinelli M, Baratto L, Capra R, Rovetta G, Monteforte P, Giardino L, Calzà L. Very low level laser therapy attenuates edema and pain in experimental models. *Int J Tissue React.* 2004;26(1-2):29-37.
  - Goldman MP, Fitzpatrick RE, Ruiz-Esparza J. Treatment of port-wine stains (capillary malformation) with the flashlamp-pumped pulsed dye laser. *J Pediatr.* 1993 Jan;122(1):71-7.
  - Honmura A, Yanase M., Obata J., Haruku E. Therapeutic effect of Ga-Al-As diode laser irradiation on experimentally induced inflammation in rats. *Laser. Surg. Med.*, 12(4), 441-449, 1992.
  - Jimbo K, Noda K, Suzuki K, Yoda K. Suppressive effects of low-power laser irradiation on bradykinin evoked action potentials in cultured murine dorsal root ganglion cells. *Neurosci Lett.* 1998 Jan 9;240(2):93-6.
  - Karu T. Low power laser therapy. In *Biomedical Photonic Handbook*. CRC Press, 2003.
  - Karu TI (1991) Low intensity laser light action upon fibroblasts and lymphocytes. In: Ohshiro T, Calderhead RG (eds) *Progress in laser therapy. Selected papers from the October 1990 ILTA congress*. Wiley, West Sussex, England, pp 175–179
  - Kujawa J, Zavodnik L, Zavodnik I, Buko V, Lapshyna A, Bryszewska M. Effect of low-intensity (3.75-25 J/cm<sup>2</sup>) near-infrared (810 nm) laser radiation on red blood cell ATPase activities and membrane structure. *J Clin Laser Med Surg.* 2004 Apr;22(2):111-7.
  - Liu H, Dang Y, Wang Z, Chai X, Ren Q. Laser induced collagen remodeling: a comparative study in vivo on mouse model. *Lasers Surg Med.* 2008 Jan;40(1):13-9.
  - Maier M., Haina D., Landthaler M: Effect of low energy laser on the growth and regeneration of capillaries *Laser in Medical Science* 1990; 5(4): 381-386
  - Mirsky N, Krispel Y, Shoshany Y, Maltz L, Oron U. Promotion



of angiogenesis by low energy laser irradiation. *Antioxid Redox Signal*. 2002 Oct;4(5):785-90.

- Mochizuki-Oda N, Kataoka Y, Cui Y, Yamada H, Heya M, Awazu K. Effects of near-infra-red laser irradiation on adenosine triphosphate and adenosine diphosphate contents of rat brain tissue. *Neurosci Lett*. 2002 May 3;323(3):207-10.
- Monici M, Basile V, Cialdai F, Rohand G, Fusi F, Conti A. Irradiation by pulsed Nd:YAG laser induces the production of extracellular matrix molecules by cells of the connective tissues: a tool for tissue repair. SPIE Digital Library: <http://spiedl.org>; SPIE Paper Number: 6991-95; 2008
- Moore P, Ridgway TD, Higbee RG, Howard EW, Lucroy MD. Effect of wavelength on low-intensity laser irradiation-stimulated cell proliferation in vitro. *Lasers Surg Med*. 2005 Jan;36(1):8-12.
- Navratil L, Skopek J, Hronkova H, Kymplova J, Knizek J. Comparison of the analgesic effect of ultrasound and low-level laser therapy in patient suffering from plantar fasciitis (calcar calcanei) Proc. SPIE Vol.4606, p. 114-121, 2001.
- Oron U, Ilic S, De Taboada L, Streeter J. Ga-As (808 nm) laser irradiation enhances ATP production in human neuronal cells in culture. *Photomed Laser Surg*. 2007 Jun;25(3):180-2
- Pyczek M, Sopala M, Dabrowski Z. Effect of low-energy laser power on the bone marrow of the rat. *Folia Biol (Krakow)*.1994;42(3-4):151-6.
- Rebeiz E, April MM, Bohigian RK, Shapshay SM. Nd-YAG laser treatment of venous malformations of the head and neck: an update. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1991 Nov;105(5):655-61.
- Rochkind S, Ouaknine GE. New trend in neuroscience: low-power laser effect on peripheral and central nervous system (basic science, preclinical and clinical studies). *Neurol Res* 1992 14:2–11.
- Rochkind S., Leider-Trejo L., Nissan M., Shamir M.H., Kharenko O., Alon M. Efficacy of 780-nm Laser Phototherapy on Peripheral Nerve Regeneration after Neurotube Reconstruction Procedure (Double-Blind Randomized Study). *Photomedicine and Laser Surgery*. June 1, 2007, 25(3): 137-143. doi:10.1089/pho.2007.2076.
- Saygun I, Karacay S, Serdar M, Ural AU, Sencimen M, Kurtis B. Effects of laser irradiation on the release of basic fibroblast growth factor (bFGF),

insulin like growth factor-1 (IGF-1), and receptor of IGF-1 (IGFBP3) from gingival fibroblasts. *Lasers Med Sci.* 2008 Apr;23(2):211-5. Epub 2007 Jul 10.

- Smol'ianinova NK, Karu TI, Zelenin AV. Activation of the synthesis of RNA in lymphocytes following irradiation by a He-Ne-laser. *Radiobiologiya.* 1990 May-Jun;30(3):424-6.
- Stadler I, Evans R, Kolb B et al. In vitro effects of low-level laser irradiation at 660 nm on peripheral blood lymphocytes. *Lasers Surg Med* 2000; 27: 255-26.
- Svensson P, Bjerring P, Arendt-Nielsen L, Nielsen JC, Kaaber S. Comparison of four laser types for experimental pain stimulation on oral mucosa and hairy skin. *Lasers Surg Med.* 1991;11(4):313-24.
- Tuby H, Maltz L, Oron U. Low-level laser irradiation (LLLI) promotes proliferation of mesenchymal and cardiac stem cells in culture.
- Vladimirov YA, Osipov AN, Klebanov GI. Photobiological Principles of Therapeutic applications of laser radiation. applications of laser radiation. *Biochemistry (Mosc).* 2004 Jan;69(1):81-90.
- Yamada K. Biological effects of low power laser irradiation on clonal osteoblastic cells (MC3T3-E1). *Nippon Seikeigeka Gakkai Zasshi.* 1991 Sep;65(9):787-99.
- Yu HY, Chen DF, Wang Q, Cheng H. Effects of lower fluence pulsed dye laser irradiation on production of collagen and the mRNA expression of collagen relative gene in cultured fibroblasts in vitro. *Chin Med J (Engl).* 2006 Sep 20;119(18):1543-7.
- Yu W, Naim JO, Lanzafame RJ. The effect of laser irradiation on the release of bFGF from 3T3 fibroblasts. *Photochem Photobiol* 1994 59:167–170. Zubkova SM, Mikhaïlik LV. The effect of pulsed infrared laser radiation on DNA synthesis in intact rat tissues and under an active physical load. *Biull Eksp Biol Med.* 1995 Jun;119(6):625-7.

## 1.5

**МЕРЫ  
БЕЗОПАСНОСТИ  
ПРИ ЛЕЧЕНИИ  
ЛАЗЕРОМ**

Благодаря разработке все более разнообразных источников и дифференциации приборов в зависимости от терапевтических задач, применение лазеров в биологической медицине получает все большее распространение. В этой связи, проблемы безопасности, связанные с использованием источников лазеров, приобретают исключительно важное значение, как для специалиста, работающего с прибором, так и для пациента, наряду с разработкой соответствующих регулирующих норм законодательства и правил, а также появлением потребности и распространением культуры безопасной работы с лазерами, как таковой. Нормативы и процедуры по установке и использованию лазерного оборудования регулируется новым консолидированным актом по вопросам сохранения здоровья и обеспечения безопасности на рабочем месте, недавно одобренным Советом Министров.

Консолидированный акт соответствует Европейской Директиве 2006/25/CE от 5 апреля 2006 г., где предусмотрена ответственность работодателя, а также, при необходимости, измерение и/или вычисление уровня искусственного оптического излучения, воздействию которого подвергается работник (раздел 4, параграф 1).

На основании этих оценок, работодатель должен предпринять необходимые меры, чтобы избежать превышения лимита воздействия (раздел 3). Кроме того, в разделе 4, параграф 2, указывается на необходимость для работодателя использовать, через соответствующие интервалы времени, услуги сервисных служб или квалифицированного персонала для проведения таких оценок, измерений и/или вычислений. Для количественной оценки указных параметров, необходимо выполнять директивы национальных и международных руководств по надлежащей практике. Несмотря на то, что коммерческое лазерное оборудование производится в соответствии с соответствующим действующим законодательством, включающим меры обеспечения безопасности приборов, необходимым условием работы является планирование дальнейшего контроля, как технического, так и административного, чтобы минимизировать риск нежелательных событий.

Для разработки плана размещения лазера, необходимо соблюдение следующих условий:

- Помещение должно быть предназначено исключительно для использования лазерного оборудования, оно должно быть физически отделено несущими стенами от соседних комнат (не разрешается организация рабочего места по принципу «открытого пространства» или открытых отсеков).
- Поверхности должны быть «неотражающими» при длине волн используемых лазерных систем (для лазеров класса 3b и 4); для поверхностей (окна, разделительные стены,...) прозрачными при длине волн используемых лазерных систем (для лазеров класса 3b и 4), необходимо избегать передачи лазерной энергии при помощи соответствующих способов (использование панелей, занавесей,...).
- Необходима местная аспирация при испарении биологической ткани, так как при vaporизации образуются вредные вещества в форме аэрозоля. Аспиратор должен быть переносным и снабжен фильтрами HEPA 99% (CEI 76-6 file 5928) (4).
- План расположения посещений должен быть разработан так, чтобы минимизировать возможность того, что луч лазера будет направлен прямо или под углом, на вход в помещение.
- Необходимо наличие соответствующих сигналов для указания на наличие источника лазерного излучения.
- На входе в помещение следует разместить световой сигнал, предупреждающий о работе лазерной установки.

Наряду с рисками, связанными с воздействием лазерного луча, которые являются первичными, необходимо принимать во внимание некоторые другие риски, называемые сопутствующими, а именно:

- Загрязнение окружающей среды vaporизационными массами, возникшими в результате перфораций и иссечений при хирургических операциях, под воздействием газа поточных лазерных систем, криогенных выпаривателей, красителей, полихлорбинефилов;

- Коллатеральное оптическое излучение (УФ или ИК, эмитируемое газоразрядной лазерной трубкой, газоразрядной трубкой непрерывного действия, оптическими источниками накачки);
- Электричество (особенно при использовании высоковольтных лазеров);
- Ионизирующая радиация (испускание рентгеновских лучей электронными трубками с напряжением более 5 кВ);
- Криогенные хладагенты (холодовые ожоги, взрывы, огонь, асфиксия, интоксикации);
- Шум (конденсаторы импульсных лазеров с высокой мощностью).

Следовательно, необходимо определить структуру и технологические особенности инженерных коммуникаций помещений, где предполагается использовать лазерное оборудование, чтобы обеспечить наиболее удачный вариант размещения (5). В литературе приводятся данные по показателям отражающих свойств для разных материалов, например красок, используемых для стен и мебели в помещениях, где расположен лазер, а также металлических материалов, применяемых для производства специальных хирургических инструментов, взаимодействующих с лазерным лучом. По имеющимся данным можно прийти к заключению, что для некоторых длин волн особенно важное значение имеет цвет материала, тогда как для других диапазонов длин волн особое внимание нужно уделять обработке поверхности.

Что касается рассматриваемых рисков, необходимо организовать проверки и выполнять соответствующим образом процедуры, гарантирующие обеспечение адекватных мер безопасности для специалиста, работающего с лазером и пациента. Для выполнения этого требования работодатель, использующий лазерные источники класса 3В или 4, в соответствии с правилом CEI 76-6, должен назначить Инспектора по безопасной работе с лазером (LSO). Это должен быть специалист в данной области, который мог бы обеспечить выполнение необходимых условий, предложить новые меры безопасного использования таких медицинских устройств, а также способствовать проведению защитных и профилактических мероприятий. В частности, обязанности LSO должны включать следующее (6):

- Оценка пригодности помещений, где планируется установка лазера;
- Обозначение с указанием «ПОМЕЩЕНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ ЛАЗЕРА», с использованием клейких этикеток и специальных световых сигналов;
- Оценка безопасности для окружающей среды и операторов, как при покупке, так и при использовании источника лазерного излучения;
- Оценка «номинальной области риска для глаз»;
- Определение «помещения, предназначенного для лазера»;
- Разработка защитных мер для оператора (PPD);
- Определение всех мер безопасности, которые необходимо выполнить (между разными рабочими блоками, размещение письменных обозначений и/или световых указателей);
- Составление, при совместной работе с Инспекторами по здоровью и безопасности (HSO) и Директором Отдела/Лаборатории, правил по вопросам, связанным со здоровьем и регулируемыми мерами по безопасности;
- Проведение проверок качества и составление соответствующих протоколов;
- Анализ всех травм и нежелательных событий, связанных с использованием ЛАЗЕРА;
- Принятие решения, наряду с обслуживающей компанией, по вопросам, связанным с проведением сервисных процедур;
- Участие в тренингах для операторов лазерного устройства;
- Описание процедур безопасности;
- Разработка и совершенствование руководства по обеспечению качества (правило CEI 76-6).

**Список литературы:**

- LIA Laser Safety Guide, by Laser Institute of America Laser Safety Committee, Wesley Marshall, David H. Sliney, and Laser Institute of America (Paperback - Aug 2000).
- CEI 76-6 fasc. 5928 “Sicurezza degli apparecchi laser – Guida all’uso degli apparecchi laser in medicina”.
- “Linee Guida: Nuove installazioni di Apparecchiature laser ad impiego medicale” recepito dalla Regione Toscana, TCE Sicurezza Sociale Regione Toscana n° 25.
- Direttiva Europea 2006/25/CE del 5 aprile 2006 I
- Disegno di legge delega per l’emanazione del nuovo Testo Unico sulla salute e la sicurezza nei luoghi di lavoro varato dal Consiglio dei Ministri.





ГЛАВА 2

## ЛАЗЕР Nd:YAG



## 2.1

ЛАЗЕР  
Nd:YAG

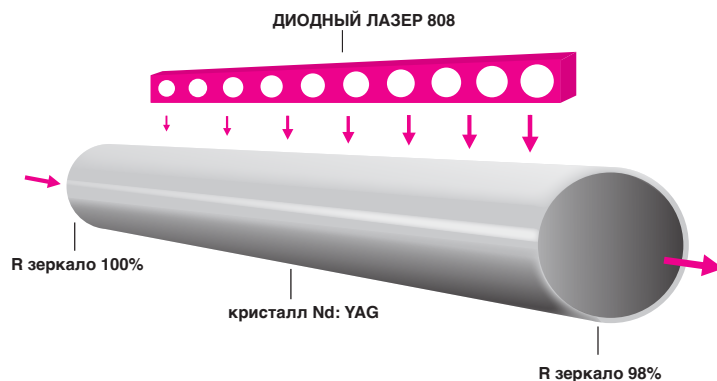
Неодимовый лазер YAG (Nd:YAG) впервые был использован в физиотерапии, как и в других областях медицины, в 1990-х годах. Его применение стало важным этапом эволюции в области лазерной терапии с применением приборов высокой мощности, главным образом, благодаря природным качествам источника излучения. Фактически, лазер Nd:YAG характеризуется длиной волны (1064 нм), обеспечивающей более высокую способность проникновения в ткани, по сравнению с другими лазерами, при этом его мощность аналогична мощности лазера на оксиде углерода. Кроме того, облучение передается при помощи оптических волокон, следовательно, скорость передачи очень велика. Первые лазеры Nd:YAG были основаны на использовании непрерывного и/или импульсного способа передачи энергии; затем были введены импульсные сигналы, после чего удалось получить очень интересные результаты.

## 2.2

## ГЕНЕРАТОРЫ

Лазер Nd:YAG характеризуется длиной волны 1064 нм (ближний инфракрасный диапазон спектра). Активная среда производится из искусственного кристалла иттрия и алюминия (алюмо-иттриевого граната), также используемого для производства искусственных полудрагоценных камней, «активированного» неодимом.

Накачка осуществляется импульсной лампой или, в последнее время, полупроводниковым диодным лазером при длине волны 808 нм, совпадающим с пиком поглощения Nd:YAG. Система вогнутых зеркал, одно с отражающей способностью 98%, а другое - 100%, является завершающим элементом базовой схемы лазера Nd:YAG (см. Рисунок 1).



**Рисунок 1:**  
Базовая схема  
лазера Nd:YAG

Несмотря на то, что испускаемое излучение уже в источнике коллимировано в высокой степени, в зависимости от использования могут возникать пятна разного размера. Насадки с сапфировыми головками и пятна диаметром 400 мкм используются в хирургии в качестве скальпелей. В физиотерапии методы расфокусирования используются для получения более крупных пятен, обычно с диаметром от 5 мм до 60 мм, для получения обезболивающего, противовоспалительного и трофического эффектов. Мощность испускаемого излучения высокая: в медицине используются средняя мощность примерно десять ватт и пиковая мощность в тысячи ватт. Излучение может испускаться непрерывным, полуимпульсным (прерывистой незатухающей волной) и импульсным способом, с образованием импульсов разной пиковой мощности и длительности (см. Таблицу I).

ЛАЗЕР Nd:YAG	
ДЛИНА ВОЛНЫ 1064 нм: БЛИЖНИЙ ДИАПАЗОН ИНФРАКРАСНОГО СПЕКТРА (NIR)	
Тип эмиссии	Непрерывная (CW) Прерывистая незатухающая волна (ICW) Импульсная (PW)
Частота эмиссии	1 Гц ÷ 50 Гц
Пиковая мощность	100 Вт ÷ 3000 Вт
Средняя мощность	0,5 Вт ÷ 50 Вт
Длительность импульса	70 мсек ÷ 350 мсек
Способ передачи	Фиксированный наконечник или ручное сканирование
Передача	Оптическое волокно

Таблица I:

Характеристики обычно применяемых лазеров Nd:YAG

Излучение, испускаемое лазером Nd:YAG, характеризуется длиной волны 1064 нм, соответствующей так называемому терапевтическому диапазону (600 нм ÷ 1200 нм), для него свойственно низкое низкочастотное поглощение света натуральными хромофорами. При этом диапазоне длин волн основное поглощение связано с меланином. Тем не менее, при 1064 нм это явление ограничено по сравнению с тем, что происходит в диапазоне 600-950 нм (типичном для гелий-неоновых и диодных лазеров).

Однако ограниченное поглощение меланином при 1064 нм связано с

2.3

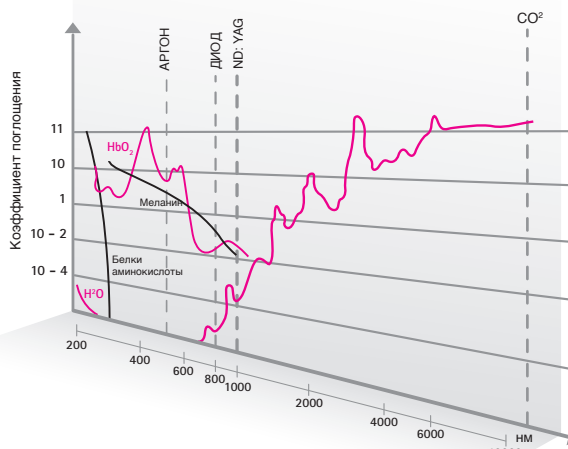
**БИОЛОГИЧЕСКИЕ  
ЭФФЕКТЫ  
ЛАЗЕРА Nd:YAG**

необходимостью соблюдения определенных мер предосторожности при терапевтических процедурах. Например, при лечении лазером Nd:YAG, особенно с применением «пятен» (см. далее), следует избегать воздействия излучения на родинки или другие темные пятна на коже. Более того, для темнокожих пациентов необходимо использовать более низкие показатели интенсивности облучения по сравнению с теми, что применяются для пациентов со светлой кожей.

При 1064 нм другими хромофорами с низким поглощением являются оксигемоглобин, а также, в меньшей степени, вода (см. рисунок 2).

В заключение необходимо отметить, что, из-за длины волны, излучение испускаемое лазером Nd:YAG, плохо поглощается меланином, гемоглобином и водой, и, следовательно, может проникать довольно глубоко. Более того, для других основных хромофоров, например, белков, содержащих ароматические аминокислоты, никотиновые коферменты, а также для флавинов и молекул, содержащих тетрапиррольные кольца, характерно низкое поглощение при длине волны около 1064 нм.

**Рисунок 2:**  
Коэффициент поглощения  
для воды ( $H_2O$ ),  
меланина и оксигемоглобина ( $HbO_2$ ).  
Особенно интересно низкое  
поглощение в диапазоне 1064 нм.



По имеющимся данным, способность проникновения в ткани излучения лазера Nd:YAG составляет несколько сантиметров. Плохое поглощение указанными выше хромофорами позволяет излучению проникать в ткани, при этом наблюдается рассеивание во всех направлениях, включая обратное направление. Следовательно, глубоко в тканях, луч никогда не бывает сфокусирован, он чаще разделен на отдельные лучи (имеет «дольчатую» структуру).

Поглощение молекулами внеклеточного матрикса в ближнем диапазоне инфракрасного спектра в настоящее время является объектом изучения. По имеющимся представлениям, молекулы внеклеточного матрикса могут играть довольно важную роль во взаимодействии между излучением лазера Nd:YAG и тканями. Хорошо известно, что инфракрасный свет не вызывает разрыва молекулярных связей, в отличие от ультрафиолетового и видимого излучения, для которых это, по всей видимости, характерно. Энергия, приобретенная молекулами, поглощающими в инфракрасном спектре, возвращается в виде тепла. Следовательно, в этом случае, не происходит реакции, в результате которых образуются вещества, отличные от реагентов, и/или образования свободных радикалов. Однако, особенно в случае использования импульсного лазера, есть вероятность того, что большое количество энергии высвободится за очень короткое время (импульс) и в пределах малого объема (езде, где молекулы внеклеточного матрикса могут поглощать излучение лазера Nd:YAG). Это может вызывать внезапные изменения температуры и давления, в результате чего могут возникать изменения и деформации внеклеточной микросреды, например, в форме сложной клеточной ответной реакции. В действительности, клетки очень чувствительны к химическим и физическим изменениям внеклеточной микросреды и ее деформациям, которые воспринимаются как механические стимулы. Эти стимулы могут активировать клетки и изменять их функции.

Фотомеханические эффекты в строгом смысле слова обычно индуцируются лазерами при коротких импульсах высокой пиковой мощности. В хирургии применяются фотомеханические эффекты, такие как фотоабляция и фотофрагментация, требующие очень высоких пиковых мощностей (более 106 Вт), а также с длительностью импульса в диапазоне наносекунд. Импульсы в диапазоне 3000 Вт и длительностью примерно 100-200 мкс используются в физиотерапии, так как они не вызывают повреждения клеток. Однако такие импульсы вызывают волновые изменения давления в тканях, что может порождать биологический ответ.

В соответствии с непосредственным опытом врачей и исследователей, использующих лазер Nd:YAG, с показателями мощности, указанными выше, значимые стимулирующие эффекты могут быть получены на уровне тканей сустава, тогда как более низкие мощности не позволяют получить аналогичную эффективность.

Лазер Nd:YAG может передавать большое количество энергии в ткани, и это вызывает увеличение количества тепла.

Пространственное распределение потока излучения в обрабатываемой ткани зависит от коэффициентов поглощения и диффузии (рассеивания) в каждой точке. В целом, пик плотности энергии достигается между 0,3 мм и 1 мм под кожей. Следовательно, максимальное нагревание тканей наблюдается на этом уровне.

Не вызывает сомнений, что, при необходимости передачи излучения в глубокие слои, нагревание кожи и подкожных слоев является ограничением для увеличения интенсивности падающего излучения. С другой стороны, это явление может рассматриваться как механизм защиты, обеспечивающий профилактику повреждений вследствие перегрева органов, расположенных на большей глубине. Увеличение фототермического воздействия лазера может вызывать как положительные биологические эффекты, так и вредные, в зависимости от достигнутой температуры.

Увеличение температуры ткани зависит, главным образом, от количества энергии, полученной единицей объема. Даже в этом случае, применение такого же количества энергии может вызывать различные эффекты в одной и той же структуре, в зависимости от интенсивности и продолжительности действия излучения.

Для того чтобы избежать термических повреждений, необходимо придерживаться следующих двух правил:

- необходимо обеспечить поступление излучения низкой интенсивности в течение достаточно длительного периода времени;
- необходимо обеспечить поступление излучения высокой интенсивности в течение достаточно короткого периода времени, чтобы избежать повреждения поверхностных тканей.

По всей видимости, соблюдение второй рекомендации позволяет получить воздействие наилучшей эффективности. В частности, передача коротких импульсов от 50 мкс до 200 мкс (1 мкс =  $10^{-6}$  с) с низкой частотой повторов, может защитить от термического повреждения большинство тканей.

# 2.4

## НЕПРЕРЫВНЫЕ И ИМПУЛЬСНЫЕ СИСТЕМЫ

При эмиссии непрерывной волны (CW), средняя мощность испускаемого излучения лазера равна мгновенной мощности.

Напротив, при эмиссии импульсной волны (PW), средняя мощность испускаемого гораздо ниже мгновенной мощности, возникшей в течение импульса, которая может достигать очень больших значений.

В соответствии с этим, импульсная эмиссия позволяет получить двойное преимущество по сравнению с непрерывной эмиссией:

- 1) Высокая мгновенная мощность обеспечивает более эффективную передачу энергии.
- 2) Паузы между двумя импульсами, в течение которых не происходит передачи энергии, создают условия для более эффективного рассеивания тепла.

Для улучшения рассеивания тепла при использовании систем с непрерывной эмиссией, на практике было начато применение отсроченной эмиссии или прерывистой незатухающей волны (ICW). Эта система позволяет предотвратить накопление тепла в ткани, но не оказывает отрицательного воздействия на передачу энергии.

Далее будет показано, как введение в практику применения импульсного лазера Nd:YAG (PW) позволило добиться улучшения эффективности передачи энергии без избыточного повышения температуры, благодаря высокой интенсивности очень коротких импульсов.

# 2.5

## ЭМИССИЯ НЕПРЕРЫВНОЙ ВОЛНЫ (CW) ЛАЗЕРОМ Nd:YAG

### Обзор

Первый лазер Nd:YAG, использованный для физиотерапии, был основан на непрерывной эмиссии (Parra 1992).

Непрерывный способ обеспечивает передачу большого количества энергии в течение ограниченного времени, то есть нескольких минут, и обычно излучение направлено на структуры двигательного аппарата, расположенные на поверхности, или локализованные на небольшой глубине. Недостатком такого воздействия является перегрев поверхностных тканей. Для того чтобы достигнуть более глубоких тканей без перегрева тканей на поверхности, необходимо изменить сигнал соответствующим образом, значительно уменьшив частоту эмиссии (10-20 Гц).

Проблема поверхностного нагревания решалась по двум критериям:

техническому и клиническому. Во-первых, был разработан новый способ эмиссии, с введением «неактивных» пауз в эмиссии фотонов.

Этот тип эмиссии, называемый «прерывистая незатухающая волна» (ICW), обеспечивает более высокие показатели рассеивания тепла тканями. Вторым критерий, клинический, был использован для разработки метода мониторинга реакции пациента на увеличение тепла в ходе сеанса лечения.

### **Время достижения порогового нагревания**

Одним из наиболее интересных методов изучения эффектов увеличения нагревания, индуцированного лечением, является метод, предложенный Кастеллачи (Castellacci 2003). Он основан на определении индивидуального «времени достижения порогового нагревания».

Время достижения порогового нагревания (Т.Т.Т.) - это время между поступлением энергии лазера при генерации излучения в непрерывном режиме (CW) и восприятие тепла в виде болевой реакции пациентом. Интенсивность лечения должна быть выбрана таким образом, чтобы показатель Т.Т.Т. был равен 10 секундам или более 10 секунд.

Этот параметр должен оцениваться в начале каждого сеанса лечения, он должен быть связан, насколько это возможно, со стандартными параметрами, предназначенными для получения специфических биологических эффектов (Таблица II). Значение Т.Т.Т. очень субъективно, так как болевой порог может различаться у разных пациентов. Например, у пациента с низким фенотипом (светлой кожей) время осознания воздействия тепла больше по сравнению с пациентом с высоким фенотипом (темной кожей). Кроме того, Т.Т.Т. нужно оценивать заново после нескольких сеансов, так как этот показатель имеет тенденцию меняться со временем у одного и того же человека. В заключение следует отметить, что необходимо принимать в расчет возможное наличие факторов, способных изменять температуру тканей, например, такого фактора как, воспаление.

Т.Т.Т. оказался очень полезным показателем с точки зрения использования самого высокого по интенсивности и безопасного режима передачи энергии, особенно при неподвижном положении насадки. В режиме ручного сканирования, скорость перемещения в значительной степени влияет на рассеивание тепла, поэтому значение Т.Т.Т. варьирует в большей степени. Когда Т.Т.Т. менее 7 секунд, рекомендуется



использовать при лазерной терапии прерывистую

незатухающую волну (ICW), уменьшая частоту эмиссии и мощность испускания излучения для получения времени лечения минимум 6-7 секунд.

ГЛУБИНА (мм)	СПОСОБ	Вт/см <sup>2</sup>
0 ÷ 20	CW	0.5 ÷ 1.5
0 ÷ 25	CW	2.0 ÷ 2.5
0 ÷ 30	CW	3.0 ÷ 3.5
0 ÷ 40	ICW 10 ÷ 15 Гц	4.0 ÷ 5.0
0 ÷ 60	ICW 10 ÷ 20 Гц	5.0 ÷ 8.0

Лазер Nd:YAG с непрерывной эмиссией по-прежнему используется в физиотерапии. Его основной биологический эффект заключается, главным образом, в улучшении питания тканей, при этом воздействие направлено на структуры двигательного аппарата, локализованные на поверхности или на средней глубине. Для проникновения в более глубокие слои необходимо соответствующее изменение сигнала с очень низкой частотой эмиссии (10-20 Гц) а также, что еще более важно, особое внимание следует уделить клинической реакции пациента.

### Обзор

Как указывалось ранее, идеальный лазер должен обеспечивать высокую интенсивность эмиссии излучения, передаваемого порциями со средней энергией за примерно одинаковые интервалы времени. В соответствии с данной логикой, лазер Nd:YAG с импульсной эмиссией – очевидный шаг вперед в этом направлении. Использование импульсной системы началось относительно недавно (Lubich 1997) и позволило добиться значительных улучшений с точки зрения эффективности и безопасности лечения. В примере, рассматриваемом далее, приводится сравнение непрерывной (CW) и импульсной систем (PW). При одинаковой средней мощности (1,5 Вт) и одинаковой площади пятна (0,3 см<sup>2</sup>), передача 50 Дж/см<sup>2</sup> может произойти за 10 секунд в обеих системах. Следовательно, в обоих случаях достигается одинаковое нагревание единицы поверхности (фактически, передаваемая энергия в течение рассматриваемого интервала времени одинакова), тогда как интенсивность излучения в этих двух системах оказывается совершенно разной: импульсная

### Таблица II:

Стандартные параметры для определения плотности мощности в соотношении с глубиной целевой ткани у взрослого человека с белой кожей.

# 2.6

## ЭМИССИЯ ИМПУЛЬСНОЙ ВОЛНЫ ЛАЗЕРОМ Nd:YAG

система (PW) может достигать интенсивности падающего излучения в 1000 раз больше, чем непрерывная система (CW).

Пример:

CW

$M_p = 1,5 \text{ Вт}$

Пятно =  $0,3 \text{ см}^2$

Плотность энергии за 10 сек =  $50 \text{ Дж/ см}^2$

Интенсивность падающего излучения =  $1,5 \text{ Вт/ } 0,3 \text{ см}^2 = 5 \text{ Вт/см}^2$

PW

$M_p = 1,5 \text{ Вт}$

Пятно =  $0,3 \text{ см}^2$

Плотность энергии за 10 сек =  $50 \text{ Дж/ см}^2$

$P_p = 1500 \text{ Вт}$

$t\text{-воздействия} = 100 \text{ мксек}$

Частота =  $10 \text{ Гц}$

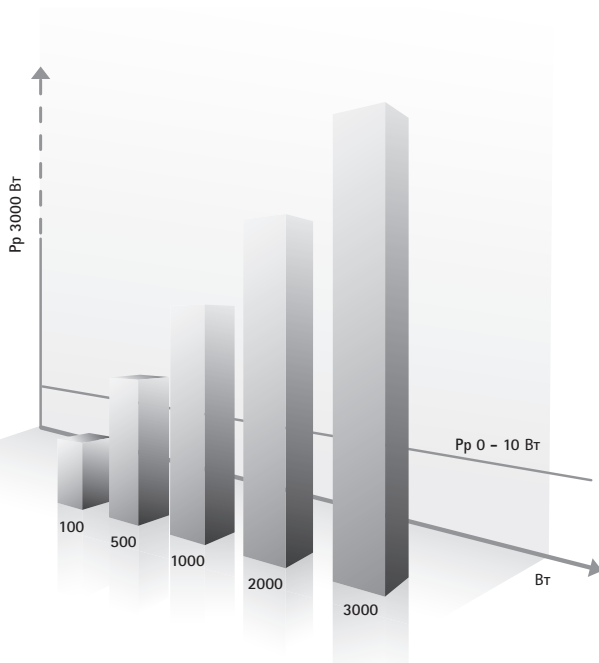
Интенсивность падающего излучения

за время импульса =  $1500 \text{ Вт/ } 0,3 \text{ см}^2 = 5000 \text{ Вт/см}^2$

Из этого примера можно сделать вывод, что представляется возможным, используя импульсную технологию, увеличить интенсивность падающего излучения, не увеличивая количества энергии, высвобождаемой в ткани. Увеличение интенсивности падающего излучения позволяет получить следующие преимущества:

- Увеличение глубины воздействия,
- Более равномерное распределение фотонов в объеме облученной ткани,
- Более высокие показатели безопасности, так как снижается вероятность термических повреждений в процессе лечения, в частности при воздействии на глубокие ткани.

Импульсные системы, доступные в настоящее время, могут эмитировать излучение со средней мощностью между  $0,3$  и  $10 \text{ Вт}$ . Они характеризуются более низкой частотой импульсов ( $10\text{-}30 \text{ Гц}$ ) и очень высокими пиковыми мощностями ( $200 \text{ Вт} \div 3000 \text{ Вт}$ ) (Рисунок 3).

**Рисунок 3:**

Импульсы различной пиковой мощности импульсного лазера Nd:YAG.

Импульсный лазер Nd:YAG – прибор, разработанный специально для этой цели, он не работает в непрерывном режиме.

Самые современные модели обладают большими возможностями: Они способны обеспечивать передачу сигналов, вызывающих существенное обезболивание, при этом они работают с пиковыми мощностями среднего или низкого уровня и очень низкими частотами. С другой стороны, они могут передавать очень высокие пиковые мощности (в диапазоне 1000 ÷ 3000 Вт), способные достигать и стимулировать такие органы как крупные и/или глубоко расположенные суставы, доступ к которым невозможен при применении классических лазеров.

#### Список литературы:

- Castellacci E., Ciuti F., Di Domenica F., Conforti M.: Il Nd:YAG e la terapia laser ad alta energia. Collana Medicina Funzionale. Clinica, Biomeccanica, Rieducazione e Sport, 2003.
- Lubich T., Mondardini P., Verardi L., Kannelopulu S., Zoratti M.: Impiego del laser di potenza nel trattamento precoce e nel recupero funzionale dell'atleta infortunato. Medicina dello Sport 50, (1), 71-83, 1997.
- Parra P.F., Ghinassi S., Ciuti F.: Il Neodymium YAG defocalizzato nella sua evoluzione per un trattamento sempre più efficace dell'atleta infortunato. Laser & Technology, 2, (1), 13-16, 1992.



ГЛАВА 3

**Hilterapia<sup>®</sup>**

**3**

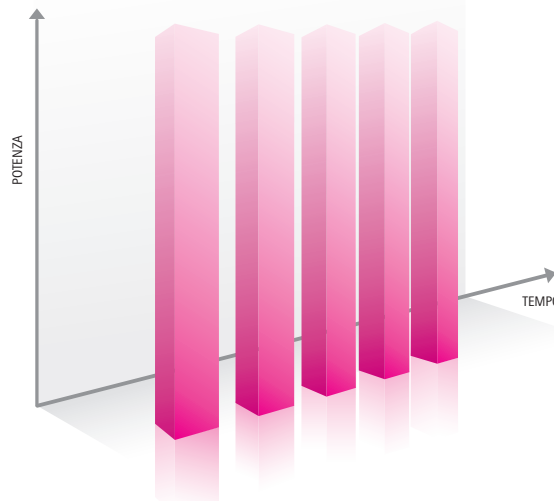
## 3.1

ОБЗОР  
И ТИП  
СИГНАЛА

Hilterapia® представляет собой самое современное достижение в области разработок импульсной лазерной терапии с применением лазера Nd:YAG. Данный метод, разработанный в Италии, признан и одобрен УПЛ (Управлением по пищевым продуктам и лекарственным препаратам, США) в 2004 г. Цель Hilterapia® - эффективное лечение не только поверхностных патологий, но также нарушений с глубокой локализацией, труднодостижимых для традиционных способов лечения.

При Hilterapia® используется источник с очень низким коэффициентом поглощения (Nd:YAG) с импульсной эмиссией. Зпатентованные импульсы характеризуются следующими показателями:

- Очень высокая пиковая мощность (1-3 кВт)
- Повышенная энергия (150 - 350 мДж)
- Короткая продолжительность действия (120-150 мсек)
- Низкая частота
- Коэффициент заполнения примерно 0,1%
- 
- 



## HILTERAPIA®

Источник Nd:YAG (= 1064 нм)
Импульсная эмиссия (PW)
Очень высокая пиковая мощность (1-3 кВт)
Повышенная энергия (150-350 мДж)
Короткая продолжительность действия импульсов (120-150 мсек)
Низкая частота повторения (10-40 Гц)
Коэффициент заполнения 0,1 %

Таблица III:

Технические характеристики  
Hilterapia®.

следовательно, для источника характерна высокая пиковая мощность (1-3 кВт), очень короткие импульсы ( $t$ :воздействия 120-150 мкс) и длинные интервалы между импульсами,  $t$ :отсутствия воздействия в диапазоне мсек).

Можно выделить следующие характеристики, четко отличающие Hilterapia® от других традиционных форм лечения:

- A. Высокая способность проникновения в ткани
- B. Более высокая эффективность, благодаря способности вызывать биологические эффекты даже в глубоких тканях
- C. Безопасность лечения

#### A - ВЫСОКАЯ СПОСОБНОСТЬ ПРОНИКНОВЕНИЯ В ТКАНИ

Как указывалось ранее, проникновение светового излучения в ткани может быть разным в зависимости от длины волны и мощности. Импульсный лазер Nd:YAG с длиной волны 1064 нм, источник энергии, используемой в Hilterapia®, характеризуется низким значением коэффициента поглощения хромофорами, присутствующими в ткани. Следовательно, это излучение обладает повышенной способностью проникновения в глубокие слои. Импульсы высокой пиковой мощности еще более усиливают проникновение в ткани, так как проникающая способность прямо пропорциональна мощности и, следовательно, интенсивности ( $Вт/см^2$ ). Помимо специфической длины волны и высокой пиковой мощности импульса, другой важной составляющей, необходимой для высокой проникающей способности излучения, является диаметр луча. Приборы для Hilterapia®, в частности Higo 3.0, снабжены насадками, специально разработанными для уменьшения потери интенсивности падающего излучения, вызываемого явлениями отражения и рассеивания, что обеспечивает высокую способность проникновения излучения в ткани.

#### B - БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ

В течение длительного времени проводилось изучение эффектов Hilterapia® для исследования свойств импульсного лазера Nd:YAG. Данный метод позволяет получать, даже в глубоких тканях, специфические биологические эффекты, обеспечивающие достижение важных терапевтических целей.

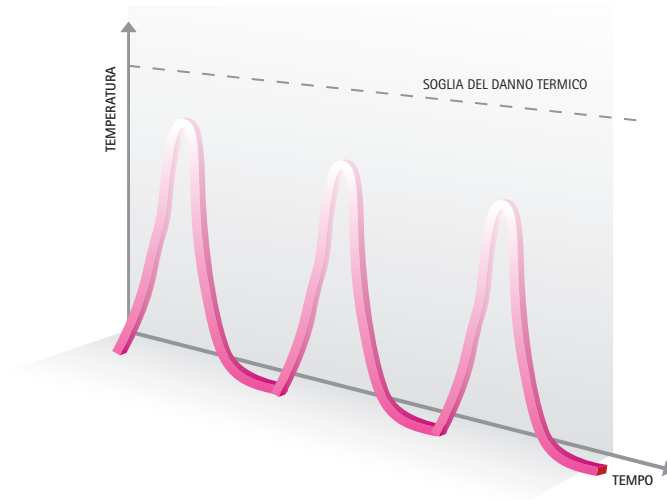
Как указывалось ранее, специфические характеристики лазера Nd:YAG исключительно важны с точки зрения фототермических и фотомеханических процессов. Считается, что эти процессы лежат в основе воздействия на синтез молекул внеклеточного матрикса, созревание клеток соединительной ткани, организацию эндотелия и т.п.

### С - БЕЗОПАСНОСТЬ

Hilterapia® безопасный и легко контролируемый метод. Фактически, специфические характеристики сигнала, в частности импульсная эмиссия излучения, позволяет ткани рассеивать тепло между импульсами (рисунок 4). Следовательно, Hilterapia® позволяет передавать энергию в достаточно глубокие слои, где возникают определенные специфические биологические и терапевтические эффекты без риска избыточного нагревания поверхностных тканей.

**Рисунок 4:**

При проведении Hilterapia® температура тканей всегда ниже порога, при котором происходит тепловое повреждение ткани.



Hilterapia® вызывает важные терапевтические эффекты поскольку, в отличие от других методов лазерного лечения, она эффективно и безопасно воздействует на глубокие ткани.

Терапевтические эффекты в целом перечислены далее:

- Противовоспалительный и противоотечный. Лазерное излучение может вызывать активную гиперемию, увеличивая диаметр и изменяя проницаемость лимфатических сосудов и капилляров за счет эффекта «вымывания» провоспалительных молекул (гистамина, брадикинина, цитокинов и лимфокинов). Этот эффект расширения

# 3.2

## ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ



сосудов увеличивается при более активном поступлении кислорода и питательных веществ к поврежденным тканям, что способствует ускорению процессов заживления.

- Обезболивающий и миорелаксанта́ный. Имеющийся клинический опыт показывает, что Hilterapia® оказывает быстрый обезболивающий эффект и предполагает непосредственное воздействие на окончания болевых рецепторов. Кроме того, данный метод лечения ускоряет дренаж веществ, вызывающих боль, благодаря активной гиперемии, индуцированной тепловым воздействием, что устраняет первичную причину боли. Более того, на основании теории «Контроля ворот» можно предполагать, что оказывается воздействие на процесс изменения интенсивности боли и увеличивается выработка веществ, подобных морфину (эндорфинов и энкефалинов), обладающих обезболивающей активностью. Кроме того, Hilterapia® вызывает расслабление и улучшает эластичность мышц, суставов и соединительной ткани, благодаря умеренному и контролируемому повышению температуры, а также влияет на образование внеклеточного матрикса, и, косвенным образом, на уменьшение восприятия боли.
- Биостимулирующие и циторегенеративные. Это эффекты, индуцируемые импульсным лазером с высокой пиковой мощностью и коротким периодом действия импульсов, как в случае импульсов, генерируемых при Hilterapia®. Такие импульсы вызывают механический стресс в тканях, что оказывает стимулирующий эффект, благодаря чему происходит стимуляция процессов заживления и регенерации поврежденных тканей, как, например, при повреждении суставного хряща.

В настоящее время для Hilterapia® используются приборы SH1 и Hiro 3.0, обладающие пиковой мощностью примерно 1 кВт и 3 кВт, соответственно (рисунок 5).

SH1 показан для лечения боли при острых, подострых и хронических скелетно-мышечных патологиях. Hiro 3.0 рекомендуется не только для лечения боли, но также для ускорения процесса регенерации тканей. Излучение лазера обеспечивается применением 2 насадок: стандартной насадки, снабженной прокладкой-спейсером, и одной насадкой для регенерации, называемой DJD (от английского «degenerative joint disorder» - «дегенеративное заболевание суставов»). Последняя насадка,

# 3.3

## ПРИБОРЫ ДЛЯ Hilterapia®

благодаря дизайну, может оптимизировать передачу энергии в ткани, за счет захвата большей части энергии, рассеиваемой при отражении. Диаметр облучаемой поверхности (пятна) составляет примерно 0,5 см.

**Рисунок 5:**  
Прибор NiGo для Hilterapia®  
со стандартной насадкой и  
насадкой DJD  
(для лечения дегенеративного  
заболевания суставов)



# 3.4

## ПОКАЗАНИЯ И ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ ДЛЯ Hilterapia®

Hilterapia® показана при многих заболеваниях, поражающих скелетно-мышечный аппарат. Накопленный нашими специалистами опыт и данные научной литературы показывают, что Hilterapia® может уменьшать проявление клинических симптомов после первого сеанса.

Основные показания:

- **Острые заболевания**
  - Заболевания сухожилий
  - Повреждения мышц
  - Растяжения и вывихи
  - Переломы
  - Посттравматические отеки
  - Синовит и бурсит
  - Повреждения костно-хрящевой ткани

- **Хронические патологии**
  - Остеоартроз
  - Дегенеративные хондропатии
  - Синдром фибромиалгии
- **Hilterapia® имеет противопоказания, как и другие виды лазерного лечения:**
  - Глаз и периокулярная область
  - Глаз и область вокруг ушной раковины
  - Новообразования
  - Матка во время беременности
  - Инфекции кожи и/или дерматологические заболевания
  - Область сердца
  - Пациенты с ритмоводителями сердца (только при воздействиях на область сердца)

Относительные противопоказания существуют для пациентов с диабетом и для пациентов с высоким фототипом кожи и поверхностными сосудами/нервами, так как в этом случае требуется особая осторожность, возможно, потребуется отказаться от применения фиксированной насадки.

### **Плотность импульсной энергии**

Плотность энергии, измеряемая в мДж/см<sup>2</sup>, – это важный параметр Hilterapia®, соответствующий энергии, которая воздействует на единицу поверхности. Плотность энергии меняется в зависимости от двух факторов: глубины ткани, где локализована патология, а также клинической фазы заболевания как таковой.

Интенсивность излучения лазера уменьшается экспоненциально по мере проникновения в более глубокие слои, за исключением поверхностного слоя, где плотность энергии может достигать гораздо более высоких значений, чем плотность падающего излучения, по причине более высокого рассеивания излучения тканями кожи. Следовательно, если нужно достигнуть структуры, расположенной в более глубоких слоях, необходимо использовать более высокую плотность энергии. Низкие уровни плотности энергии (360 ÷ 710 мДж/см<sup>2</sup>) используются для получения противовоспалительного, обезболивающего эффекта

# 3.5

**ПАРАМЕТРЫ  
И ВАРИАНТЫ  
ЛЕЧЕНИЯ**

и для восстановления контрактур при патологиях, локализованных на поверхности (например, в таких структурах как кожа, сухожилия, мышцы и поверхностные фасции).

Более высокие уровни плотности энергии ( $810 \div 1780$  мДж/см<sup>2</sup>) предлагается использовать, напротив, для лечения более глубоких тканей, например, суставов, для того, чтобы стимулировать процессы питания в ткани.

В острой фазе воспаления хорошей практикой является использование плотности энергии со значениями, более низкими, чем те, что вычислены в соответствии с глубиной, так как способность пациента переносить термическое воздействие более ограничена. Плотность энергии нужно постепенно увеличивать по мере уменьшения воспаления, как, например, в подострой и хронической фазах.

### **Частота**

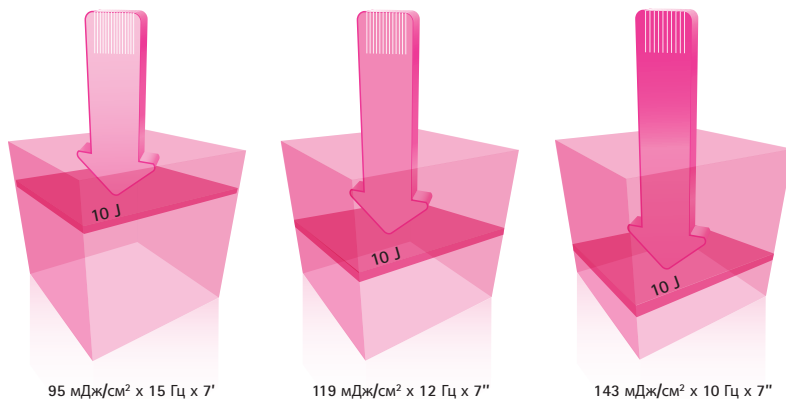
Частота повторения импульсов может быть от 10 до 30 Гц для Hipo 3.0, и от 10 до 40 Гц для SH1, У этих двух приборов частота зависит от уровня, причем зависимость является прямопропорциональной (Таблица IV).

Частоту необходимо подбирать по двум причинам: либо для изменения количества энергии, поступающего в ткани в соответствии с плотностью энергии, либо по клиническим причинам. Использование частоты для изменения энергии: если цель состоит в том, чтобы обеспечить поступление такого же количества энергии к структуре с различными уровнями глубины, можно применять более высокую плотность энергии с постепенно уменьшающейся частотой. Эта процедура подразумевает разделение лечения на «стадии», где увеличение плотности энергии сопровождается уменьшением частоты (рисунок 6).

Таблица соответствия уровня/частоты (SH1 и HIRO 3.0)	
Частота (Гц) SH1	Частота (Гц) HIRO 3.0
40	30
35	25
30	20
25	19
20	18
19	17
18	16
17	15
16	14
15	12
10	10

**Таблица IV:**  
Соответствие уровня/частоты  
для  
SH1 и HIRO 3.0

Частоту необходимо подбирать по двум причинам: либо для изменения количества энергии, поступающего в ткани в соответствии с плотностью энергии, либо по клиническим причинам. Использование частоты для изменения энергии: если цель состоит в том, чтобы обеспечить поступление такого же количества энергии к структуре с различными уровнями глубины, можно применять более высокую плотность энергии с постепенно уменьшающейся частотой. Эта процедура подразумевает разделение лечения на «стадии», где увеличение плотности энергии сопровождается уменьшением частоты (рисунок 6).



**Рисунок 6:**  
Пример лечения при  
увеличении плотности  
энергии и постепенном  
уменьшении частоты

Другой аспект, оказывающий влияние на выбор частоты, исключительно клинический: в острых состояниях, при травмах или воспалениях, либо при низком болевом пороге, всегда рекомендуется начинать лечение с использования самой низкой частоты. Фактически, если импульсы передаются медленно, остается больше времени для распределения тепла в тканях.

### **Общая энергия**

Общая энергия – это произведение мощности (Вт) на время эмиссии (сек), при этом плотность энергии, или плотность потока (F), также включает распределение на единицу площади:  $F = \text{Дж/см}^2$ . При Hilterapia® вычисляется общая испускаемая энергия, которая выражается в джоулях. Для получения надежных клинических результатов важно вычислить оптимальное количество энергии для лечения.

Для практического применения предлагается направлять энергию в зависимости от размера сустава или той области, на которую предполагается оказывать лечебное воздействие:

- Крупные суставы: 2500-3000 Дж (плечо, бедро, колено)
- Средние суставы: 1500-2000 Дж (локоть, запястье, лодыжка)
- Небольшие суставы: 1000-1500 Дж (IF, MF, TM)
- Большие области лечения: до 4000 Дж (позвоночник)
- Небольшие области лечения: 1000-1500 Дж

### **Способы доставки энергии**

При Hilterapia® существует два основных способа доставки энергии: пятна или ручное сканирование.

Насадка излучает свет, который передается по оптоволоконным каналам, на пятно ограниченного размера, обычно 0,5 см в диаметре.

Существует два различных типа насадок: одна с коллимированным лучом, которая действует на определенном расстоянии и регулируется специальным разделителем-спейсером (стандартная насадка), и другая насадка, работающая при контакте с кожей, снабженная оптической системой захвата отраженного света (контактная насадка) (рисунок 5). Лечение триггерных и болезненных точек производится, преимущественно, с использованием статической насадки, то есть, при локализации насадки со спейсером на области, подлежащей лечению.

Для лечения глубоких тканей, например, суставов, используется техника линейного ручного сканирования, при этом манипуляции выполняются наиболее подходящим способом, обеспечивающим лучший доступ к пораженной области и с применением контактной насадки. При некоторых заболеваниях требуется комбинированное применение двух методик, использование статической насадки для последовательной обработки

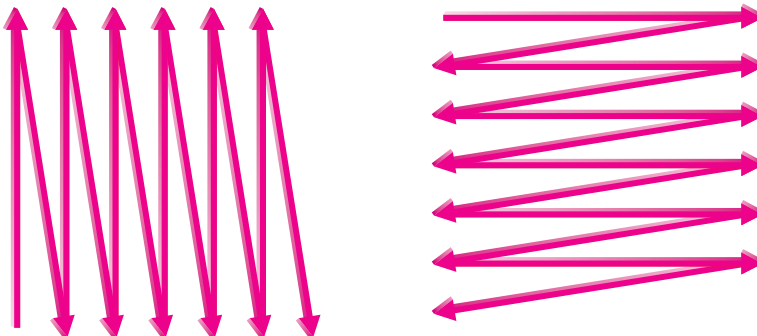
необходимой области и насадки для ручного сканирования.

Для получения максимального эффекта Hilterapia®, рекомендуется применять общий подход к лечению суставов (Таблица V) и, следовательно, лечить не только ткани пораженной области, но также мышечные группы, вовлеченные, прямо или косвенно, в патологический процесс. Учитывая данный аспект, каждый сеанс следует начинать с лечения находящихся в состоянии контрактуры групп мышц вокруг сустава или тех мест, где в большей степени выражен болевой синдром, для получения миорелаксантажного эффекта и расслабления спазмированных мышц. Только на более поздних сеансах производится лечение структур, непосредственно связанных с развитием патологии. Например, при заболевании сухожилий колена, следует начать лечение с четырехглавой мышцы бедра (с 4 составляющими этой мышцы), и только позднее рекомендуется перейти к лечению сухожилий. Кроме того, следует воздействовать на области иррадиации боли, если таковые имеются.

Последовательность лечения	
1	Группы мышц вокруг сустава
2	Область, пораженная заболеванием
3	Области с повышенной болезненностью

**Таблица V:**  
Последовательность  
лечения при Hilterapia®.

Сканирование может производиться в продольном или поперечном направлении (каждое направление может использоваться отдельно, или в сочетании, что предпочтительно) для обработки анатомической структуры, подлежащей лечению, в идеале, по прямым линиям (Рисунок 7). Очень важно правильно расположить пациента при проведении лечения, чтобы использовать самый оптимальный оптический способ воздействия. Обычно рекомендуется плановое проведение 10-15 сеансов Hilterapia® ежедневно или через день. Каждый сеанс длится от 10 до 20 минут, при этом общая энергия составляет от 1000 до 5000 Дж.



**Рисунок 7:**  
Продольное  
и поперечное  
сканирование.

### **Скорость сканирования**

Скорость сканирования влияет на высвобождение энергии, а также ее воздействие на специфические ткани. При равной плотности энергии, быстрое сканирование (примерно 10 см каждые 1,5 секунды) позволяет получить меньшую плотность энергии при каждом пассаже и, следовательно, вызывает меньшее нагревание (так называемое «холодное» лечение).

Быстрое сканирование обычно проводится на начальном этапе лечения (исходная фаза), при этом следует избегать избыточной гиперемии. Как указывалось ранее, гемоглобин обладает умеренной способностью к поглощению при 1064 нм, однако значительная гиперемия может влиять на передачу излучения в ткани. Следовательно, может быть получен обезболивающий эффект без сопутствующего нагревания ткани.

Медленное сканирование выполняется со скоростью обработки примерно 10 см каждые 3 секунды. При равной плотности энергии, медленное сканирование позволяет получить более высокую плотность энергии при каждом пассаже и, следовательно, больший эффект нагревания. Скорость ручного сканирования может меняться даже в зависимости от терапевтических задач. При заболеваниях, при которых происходит увеличение количества тепла (артрит, свежие гематомы...) скорость может быть увеличена до 10 см в секунду.

### **Общая схема лечения**

Лечение можно разделить на три стадии (таблицы VI и VII):

- Исходная стадия, с ручным сканированием при высокой скорости, подразделяется на три этапа, которые характеризуются увеличением плотности энергии и постепенным уменьшением частоты, что необходимо для обеспечения равномерного распределения энергии на различной глубине.
- Средняя стадия, при которой насадка располагается непосредственно на больной области, в течение максимального времени 7 секунд. Эта фаза включает последовательные этапы увеличения плотности энергии и применения фиксированного значения частоты, до того момента, пока в каждой области не удастся достигнуть уменьшения боли примерно на 80%. Фактически, исходя из нашего опыта, уменьшение или полное исчезновение симптомов означает начало новой воспалительной фазы. Средняя стадия, в течение которой применяется фиксированная насадка, всегда полезна, при этом не рекомендуется ограничиваться только непосредственным воздействием на крупные нервы и



- поверхностные сосуды, следует также избегать лечения в случае очень острых состояний.
- Завершающая стадия, аналогичная исходной стадии по применяемым параметрам и способам лечения, отличается тем, что ручное сканирование выполняется медленно.

ИСХОДНАЯ СТАДИЯ	СРЕДНЯЯ СТАДИЯ	ЗАВЕРШАЮЩАЯ СТАДИЯ
БЫСТРОЕ СКАНИРОВАНИЕ	ФИКСИРОВАННАЯ НАСАДКА	МЕДЛЕННОЕ СКАНИРОВАНИЕ

**Таблица VI:**  
Общая схема лечения.

ПАРАМЕТРЫ ЛЕЧЕНИЯ			
Стадия	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	pppppp (pp)	Скорость сканирования
ИСХОДНАЯ	360-1780	10-30	Высокая
СРЕДНЯЯ	360-810	10-25	Фиксированная насадка
ЗАВЕРШАЮЩАЯ	360-1780	10-30	Низкая

**Таблица VII:**  
Параметры лечения в зависимости от стадии.

### Практические рекомендации по лечению

- Рекомендуется провести эпиляцию и очищение области, подлежащей лечению.
- Никогда не используйте дермографическую ручку для обозначения области, подлежащей обработке, в противном случае на коже могут возникнуть ожоги.
- Следует оценить термическую чувствительность области, подлежащей обработке. При лечении пациентов с высоким фототипом и темной кожей необходимо уменьшить частоту и возможно даже плотность энергии.
- Когда используется плотность энергии выше 1430 мДж/см<sup>2</sup>, рекомендуется наносить на кожу охлаждающий гель, прозрачный при длине волны 1064 нм.
- Не используйте плотность энергии более 1070 мДж/см<sup>2</sup> для фиксированных областей.



ГЛАВА 4

## ПРОТОКОЛЫ ЛЕЧЕНИЯ



# 4.1

## ВЕРХНИЕ КОНЕЧНОСТИ

### ПЛЕЧО

Плечо обеспечивает проксимальное вращение верхней конечности, являясь наиболее подвижным суставным комплексом тела. Оно имеет три степени свободы, обладая способностью к следующим движениям:

- сгибание-разгибание в сагиттальной плоскости
- отведение-приведение во фронтальной плоскости
- вращение внутрь-наружу в горизонтальной плоскости

Функциональные способности плеча обусловлены работой трех суставов (лопаточно-плечевого, грудинно-ключичного и акромион-ключичного) и двух структур, подобных суставам (субакромион-дельтовидного и лопаточно-грудного сочленения), а также некоторыми мышцами и связками. Это обеспечивает движение верхней конечности по всех плоскостях и центральное положение головки плечевой кости в лопаточно-гленоидальной полости. Фактически, стабильность сустава обеспечена физиологически статическими и динамическими стабилизаторами. Статическими стабилизаторами являются:

- Капсула сустава
- Гленоидальная губа
- Связки (плечевая верхняя, средняя, нижняя и клювовидно-плечевая)

Динамические стабилизаторы, обеспечивающие центральное положение плечевой кости в гленоидальной полости в процессе движения, – это мышцы лопаточно-плечевого пояса. Джоб (Jobe '92) следующим образом классифицировал мышцы, участвующие в работе лопаточно-плечевого пояса:

- Протекторы плеча: подлопаточная мышца, большая круглая мышца, подостная мышца, малая круглая мышца, надостная мышца
- Вращающая манжета: трапецевидная мышца, поднимающая мышца лопатки, ромбовидная мышца, малая грудная мышца, передняя зубчатая мышца
- Обеспечение положения плеча: дельтовидная мышца, большая грудная мышца, широчайшая мышца спины.

Кроме того, двуглавая мышца плеча с длинной головкой служит дополнительным стабилизатором головки плечевой кости.

Движение плеча является результатом синхронных и скоординированных движений всего суставного комплекса. Это явление представляет собой так называемый лопаточно-плечевой ритм.

Мышцы лопаточно-плечевого пояса взаимодействуют, генерируя специфические пары сил. Эти пары сил поддерживают в стабильном и фиксированном состоянии мгновенно возникающий в момент движения

центр вращения между головкой плечевой кости и гленоидальной полостью, как во фронтальной, так и в поперечной плоскости.

Основные пары сил – это дельтовидная мышца-надостная мышца, подлопаточная мышца -подостная мышца, а также верхняя трапецевидная мышца и передняя зубчатая.

Патологические процессы, поражающие структуры, входящие в состав суставного комплекса плеча, могут вызывать боль и являться причиной функциональных ограничений. Следовательно, важно точно определить сайт и тип заболевания, чтобы можно было провести правильное лечение больного плеча без ущерба для здоровья из-за развития нежелательных реакций.

### **Основные заболевания**

В суставном комплексе плеча могут возникать различные заболевания. Далее будут описаны только основные патологии. Эти заболевания могут представлять собой травмы/микротравмы или иметь дегенеративную природу. Часто эти патологии сопровождаются болевым синдромом, который проявляется, преимущественно, в ночные часы, вызывают сокращение мышц и функциональное ограничение дневной активности, невозможность полноценно работать и заниматься спортом. Часто эти заболевания поражают спортсменов, которые занимаются видами спорта, связанными с нагрузками на верхние конечности (волейбол, плавание, баскетбол, бейсбол):

- Заболевания сухожилий вращающей манжеты:
  - Тенденит в сайте прикрепления мышцы
  - Кальцифицирующий тенденит
  - Тендиноз
  - Частичные или полные разрывы
- Конфликтный синдром или удар
  - Первичный (анатомические аномалии, воспалительное или дегенеративное утолщение мягкой ткани, плохо заживающие переломы)
  - Вторичный (нестабильность плечевого и/или лопаточно-грудного суставов)
- Нестабильность плеча
- Заболевания акромион-ключичного сустава
- Теносиновит длинной двуглавой мышцы плеча
- Неврологические заболевания (цервикальная радикулопатия C5-C6, или плечевого сплетения, подмышечного нерва, или надлопаточного нерва), которые могут вызывать боль в плече
- Миофасциальный болевой синдром с триггерными точками.

### Лечение

При заболеваниях плеча часто наблюдается контрактура мышц лопаточно-плечевого пояса и триггерных точек. Рекомендуется лечение в соответствии с общей схемой, включающей 3 стадии (Таблица VIII). Сначала производится обработка прибором участка мышцы, находящейся в состоянии контрактуры, при нахождении пациента в положении сидя. На спине необходимо воздействовать лазером на поднимающую мышцу ключицы, верхнюю и среднюю трапецевидную мышцу, ромбовидные мышцы, надостную мышцу и подостную мышцу. Спереди обрабатывают малую грудную мышцу и двуглавую мышцу плеча.

Впоследствии необходимо провести лечение области локализации патологии, при этом нужно обратить особое внимание на использование правильных физиологических окон. В случае заболевания вращающей манжеты руку нужно держать вытянутой и повернутой внутрь, для того, чтобы можно было воздействовать на манжету под сводом акромиона. При заболевании акромион-ключичного сустава конечность должна располагаться вдоль тела, при этом локоть должен быть согнут. При плечевом артрозе предпочтительно, чтобы воздействие оказывалось сзади, верхняя конечность должна располагаться вдоль корпуса, быть повернута внутрь, кисть руки необходимо поместить на противоположное плечо. При заболевании длинной двуглавой мышцы рука должна быть вытянута, расположена вдоль тела, предплечье повернуто наружу, а тыльная сторона кисти руки должна располагаться на колене с той же стороны тела, что и больная рука. Кроме того, если имеются области иррадиации боли, их также следует подвергнуть лечению.

**Таблица VIII:**  
Параметры лечения при  
заболеваниях плеча.

Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
Патология сухожилий вращающей	810-1070	25-12	2500-3000	Вытяжение и внутреннее вращение руки
Плечевой артроз	1170-1430	30-20	2500-3000	Рука приближена к корпусу и развернута внутрь, при этом кисть руки располагается на противоположном плече
А-С артроз сустава	710-1070	30-20	1000-1500	Рука расположена вдоль тела, локоть согнут
Теносиновит длинной двуглавой мышцы плеча	510-810	20-10	1000-1500	Рука согнута и приближена к корпусу, при этом предплечье развернуто наружу

## ЛОКОТЬ

Локоть представляет собой средний центр вращения верхней конечности. Он сформирован тремя суставами: суставом, соединяющим плечевую и локтевую кости, суставом, соединяющим плечевую и лучевую кости, а также проксимальным суставом, соединяющим лучевую и локтевую кости. Существует две степени свободы, позволяющих совершать движения следующего характера:

- Сгибание-разгибание (плече-локтевой и плече-лучевой суставы)
- Пронация-супинация (проксимальный лучелоктевой сустав)

В функциональном отношении, вместе с плечом, локоть обеспечивает ориентацию кисти руки в различных плоскостях. Стабильность сустава обеспечивается мощной капсулой, усиленной сбоку коллатеральными связками, а фронтально – передней и косой связками. Стабилизация в динамической фазе поддерживается мышцами сгибателями и разгибателями. Из них, наиболее важными являются двуглавая мышца плеча, передняя плечевая, длинный супинатор (сгибатель) трехглавая мышца плеча и локтевая мышца (разгибатели). Мышцы супинаторы – это короткий супинатор и двуглавая мышца плеча; пронаторы – это квадратный пронатор и круглый пронатор. Кроме того, имеются мышцы, расположенные проксимально в боковом надмыщелке (разгибатель запястья и пальцев) и в медиальном надмыщелке (сгибатель запястья и пальцев).

### Основные заболевания

Из-за анатомического положения (связанного с риском для непосредственного травмирования, из-за использования в целях защиты), а также вследствие функциональных потребностей, локоть часто является местом возникновения острых травматических и микротравматических заболеваний. Заболевания локтя часто возникают у лиц, занимающихся контактными видами спорта (американский футбол, регби, хоккей..), а также видами спорта, связанными, в основном, с нагрузками на верхние конечности (теннис, гольф, волейбол, бокс, метание копья). Однако многие заболевания также характерны для определенных видов ручного труда (домохозяйка, плотник, машинистка, маляр, часовщик...):

- Острые заболевания
  - перелом (плечевой кости, локтевого отростка, головки лучевой кости)
  - смещение
  - перелом со смещением
  - повреждения капсулы-связки
  - повреждения сухожилий
  
- Микротравматические и дегенеративные заболевания
  - Артроз
  - эпикондилит и медиальный эпикондилит
  - бурсит локтевого отростка
  - ушиб локтевого отростка
  - синдром защемления нерва (локтевой, срединный)

### Лечение

В случае боли в локте часто возникает контрактура при сгибании, это во многих случаях сопровождается укорочением околосуставной мышцы и наличием многочисленных триггерных точек. В переднемедиальной области, мышцами, представляющими особый интерес, являются двуглавая мышца плеча, длинный супинатор, сгибатели запястья и пальцев, а также, в заднелатеральной области, – трехглавая мышца плеча и разгибатели запястья и пальцев. Рекомендуется лечение в соответствии с общей схемой, включающей 3 стадии (Таблица IX). Во-первых, необходимо выполнить сканирование по поверхности мышцы, находящейся в состоянии контрактуры, при этом пациент должен находиться в положении сидя, локоть согнут на 70°, предплечье лежит на кушетке, переднемедиальные мышцы развернуты вверх, и заднелатеральные мышцы – к телу. Затем можно перейти к лечению сайта локализации заболевания. При лечении эпикондилита предплечье должно быть развернуто к телу, тогда как при медиальном эпикондилите или при компрессии локтевого и срединного нерва, предплечье должно быть развернуто от корпуса. Для лечения сухожилия трехглавой мышцы, ретробурсита локтевого отростка или ушиба локтевого отростка, предпочтительно проводить обработку сзади, при этом верхняя конечность располагается вдоль тела, повернута внутрь, кисть руки помещается на противоположном плече. Для облучения головки плечевой кости можно проводить обработку в заднелатеральной и заднемедиальной плоскостях, сохраняя безопасное расстояние от локтевого нерва.



Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
Эпикондилит	510-970	25-15	1000-1500	Локоть согнут на 70°, предплечье повернуто к телу
Ушиб локтевого отростка	710-1070	30-20	1000-1500	Рука расположена вдоль тела и повернута внутрь, кисть руки помещается на противоположном плече
Бурсит локтевого отростка Тенденит трехглавой мышцы	510-970	25-15	1000-1500	Рука расположена вдоль тела и повернута внутрь, кисть руки помещается на противоположном плече
Медиальный эпикондилит	510-970	25-15	1000-1500	Локоть согнут на 70°, предплечье развернуто от корпуса

**Таблица IX:**  
Параметры лечения при заболеваниях локтя.

### Запястье и кисть руки

Запястье – это наиболее отдаленный сустав верхней конечности, он обеспечивает, вместе с плечом и локтем, изменение положения кисти руки в любых плоскостях. Запястье включает три сустава: дистальный лучелоктевой, лучезапястный и среднезапястный. Запястье имеет 2 степени свободы с широкими двигательными возможностями, такими как:

- Сгибание-разгибание
- Приведение-отведение (локтевой и лучевой наклон)
- Круговое движение (сочетание двух вышеуказанных видов)
- 

Капсула сустава свободная, в дорсальной плоскости тонкая и усиленная многочисленными связками: капсульной, внекапсульной и внутрисуставной. Между лучелоктевым суставом и проксимальным рядом костей запястья расположен треугольный соединительно-тканый хрящ, выполняющий важную поддерживающую функцию. В запястье располагаются несколько мышц, при этом многие из них также воздействуют на локоть и пальцы. Среди таких мышц необходимо отметить сгибатели и разгибатели запястья и пальцев. Кисть руки является завершающим элементом верхней конечности. Это структура, по сравнению с любой другой, наиболее полно отражает сложность и степень совершенства нашего тела. Фактически, кисть руки выполняет не только принципиально важную функцию захвата, но также обладает тактильными свойствами, не говоря уже о важности кистей рук для взаимоотношений между людьми.

Кисть руки включает следующие суставы: запястно-пястный, пястно-пальцевый, межпальцевые. Анатомически различают суставы, важные для работы 1 пальца (большого пальца руки) и для работы 2-3-4-5 пальцев (длинных пальцев). В обеспечении подвижности кисти руки участвуют многие мышцы. Можно выделить внутренние мышцы (возвышение большого пальца, тенар; возвышение мизинца, гипотенар; межкостная, червеобразная) и внешние (сгибатели и разгибатели длинных пальцев, длинный сгибатель большого пальца, короткий разгибатель большого пальца, длинная отводящая мышца большого пальца).

В целом, можно считать, что кисть руки имеет 3 степени свободы, и способна совершать следующие движения:

- Сгибание-разгибание
- Приведение-отведение
- Круговое движение
- Оппозиция большого пальца

### Основные заболевания

Запястье и кисть руки часто страдают от следующих типов заболеваний: острая травма (которая получена во время занятия спортом или работы), микротравма, воспалительное (ревматическое) и дегенеративное заболевание (первичный и вторичный артроз). Можно классифицировать все заболевания следующим образом:

- Заболевания сухожилий сгибателя-разгибателя (с “щелканием пальцев” или без)
- Синдром Де Квервена
- Дегенеративные артропатии (ризартроз, лучезапястный артроз...)
- Растяжения, переломы (запястье и пальцы)
- Туннельный синдром запястья
- Посттравматические отеки и лимфатические отеки
- Воспалительные артропатии в фазе ремиссии

### Лечение

При наличии боли в области запястья и кисти руки, рекомендуется лечение в соответствии с общей схемой, включающей 3 стадии (Таблица X). Сначала следует провести сканирование по мышце, находящейся в состоянии контрактуры, при этом пациент должен располагаться в положении сидя на кушетке, локоть должен быть согнут на 30°, предплечье повернуто к корпусу или развернуто от корпуса. При заболеваниях сгибателей пальцев и запястья и при туннельном синдроме запястья, предплечье должно быть развернуто от корпуса, а при заболеваниях разгибателя – к корпусу. При теноосиновите Де Квервена предплечье должно находиться в нейтральном положении.

После этого можно переходить к лечению сайта заболевания. В случае

заболевания сухожилий необходимо проводить поперечное и продольное сканирование по всей длине сухожилия. При заболевании лучезапястного сустава следует преимущественно применять поперечное сканирование, с дорсальной стороны, при этом запястье должно быть несколько согнуто, затем со стороны ладони (запястье слегка разогнуто).

Даже при заболевании трапециопястного сустава (ризартроз), сначала следует начинать воздействие в дорсальной плоскости, и затем – в ладонной, перемещая насадку круговыми движениями. При туннельном синдроме запястья сканирование должно производиться в поперечном и продольном направлении сначала на внешней, а затем - на ладонной стороне запястья, а также в проксимальных и дистальных областях распространения субъективных болевых ощущений.

Следует избегать воздействия на фиксированные пятна прямо на медианном нерве. При заболеваниях мелких суставов можно менять оптические окна в зависимости от специфики конкретного случая, для получения наилучшего доступа.

При лечении заболеваний, сопровождающихся иррадиацией боли, воздействие на указанные области всегда полезно. Средняя стадия с применением фиксированной насадки оказывает полезный эффект.

Параметры лечения в зависимости от заболевания (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая Энергия (Джоуль)	Положение пациента
<b>Заболевания сухожилий</b>	510-970	25-15	1000-1500	Локоть согнут на 30°, предплечье развернуто от корпуса / к корпусу
<b>Лучезапястный артроз</b>	510-1070	30-20	1000-1500	Локоть согнут на 30°, предплечье развернуто к корпусу, запястье согнуто; затем предплечье должно быть развернуто от корпуса, а запястье - вытянуто
<b>Синдром Де Квервена</b>	360-610	17-10	1000	Локоть согнут на 30°, предплечье в нейтральном положении
<b>Ризартроз</b>	510-1070	30-20	1000	Локоть согнут на 30°, предплечье развернуто к корпусу, запястье согнуто; затем предплечье должно быть развернуто от корпуса, а запястье - вытянуто
<b>Туннельный синдром запястья</b>	510-710	25-19	1000	Локоть согнут на 30°, предплечье развернуто от корпуса

Таблица X:  
Параметры лечения при заболеваниях запястья и кисти.

# 4.2

## ПОЗВОНОЧНИК И ТАЗОВЫЙ ПОЯС

### ПОЗВОНОЧНИК

Позвоночник или позвоночный столб – это сложная структура, образованная системой шейных (7), дорсальных (12), поясничных (5), крестцовых (5) и копчиковых (3-5) позвонков. Позвонки имеют черты как сходства, так и различия, в зависимости от зоны позвоночного столба.

Общее строение характерно для:

- Передней части тела позвонка.
- Задней дуги тела позвонка.
- Отверстия между телом и дугой позвонка.
- 

Сочленение позвонков между собой обеспечивается суставами, расположенными между телами позвонков (в передней части), апофизарными суставами (в задней части), связками (продольными, околопозвоночными, желтыми, межпоперечными, межкостистыми, надостными, затылочными). Между телами позвонков находятся межпозвоночные диски. Они имеют двояковыпуклую форму и состоят из периферического фиброзного кольца и расположенного в центре пульпозного ядра. Функция дисков заключается в обеспечении амортизации и скольжения.

В проксимальной части позвоночник сочленяется с шейным отделом посредством атлано-окципитального сустава, а дистально он соединен с тазом посредством крестцово-подвздошных суставов. На дорсальном уровне расположена грудная клетка, которая соединяется с позвоночником реберно-позвоночным и реберно-поперечным суставами. С точки зрения физиологии, позвоночник обладает прямой фронтальной структурой, тогда как на сагиттальном уровне присутствует шейный и поясничный лордоз, а также дорсальный и крестцово-копчиковый кифоз. В целом, учитывая имеющиеся 3 степени свободы, позвоночник напоминает по функционированию сустав:

- Сгибание-разгибание в сагиттальной плоскости
- Боковой наклон во фронтальной плоскости
- Вращение в поперечной плоскости

Позвоночник поддерживается большим количеством мышц, схематично его можно разделить на внутреннюю и внешнюю области. Функции позвоночника следующие:

- Защита спинного мозга
- Поддержка головы, грудной клетки и верхних конечностей
- Амортизация внешних и внутренних воздействий

### Основные заболевания

По своей природе позвоночник легко подвергается перегрузкам, как следствие, он часто становится областью развития артроза. Кроме того, ему могут угрожать острые заболевания, такие как смещение дисков или растяжения (травмы спины, шеи, позвоночника от внезапного резкого движения), которые могут быть очень болезненными. Все заболевания в целом можно разделить на следующие категории:

- Дегенеративная спондилодиния (спондилоартроз)
- Постуральная и перегрузочная спондилодиния
- Спондилодиния, связанная со смещением диска
- Спондилодиния с иррадиацией в конечности (цервикалгия-брахикалгия и люмбалгия-ишиалгия)
- Миофасциальный болевой синдром
- Ушибы и переломы позвоночника
- Травмы, связанные с ушибом и растяжением позвоночника

### Лечение

При спондилодинии, с распространением боли в конечности или без, всегда присутствует контрактура одной или более окологривной мышцы с триггерными точками. Первый этап лечения должен быть сосредоточен на удалении мышечных контрактур, для этого необходимо с двух сторон позвоночного столба выполнять поперечное и продольное сканирование (Таблица XI). Следует обрабатывать большую область, включая расположенные проксимально или дистально зоны вблизи зоны, пораженной заболеванием. Например, при лечении боли в нижней части спины, сканирование нужно выполнять также в дорсальной плоскости. Впоследствии, воздействие следует ограничить сайтом локализации заболевания и возможными зонами иррадиации. Не следует пренебрегать средней стадией лечения, учитывая частое наличие триггерных точек. Принимая во внимание близость к поверхности и возможность развития вегетативной реакции, непосредственное воздействие на шейные позвонки нежелательно. На этом уровне допустимо только воздействие на мышцы и области иррадиации боли, при этом рекомендуется, чтобы пациент находился в положении сидя, голова должна быть слегка наклонена вперед. При лечении на дорсально-поясничном уровне подобных ограничений нет. В этом случае пациента нужно уложить на кушетку, подложив под живот подушку, чтобы ограничить поясничный лордоз. Для лечения задних поверхностей суставов, нужно разместить пациента в соответствующее положение, пригодное для выполнения манипуляций (лежа на боку, с согнутыми бедрами и коленями на опорной стороне, задняя часть стопы должны быть размещена на подколенном канале с опорной стороны).

Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
Цервикалгия	360-510	25-15	1500	Пациент находится в положении сидя, шея слегка наклонена вперед
Дорсалгия	510-1070	30-15	1500-2000	Пациент находится в положении лежа, подушка подложена под живот
Боль в нижней части спины (люмбаго)	710-1070	30-15	2000	Пациент находится в положении лежа, подушка подложена под живот, затем необходимо перевести его в положение, подходящее для дальнейших манипуляций
Ишиалгия	710-1070	30-15	2500-3000	Пациент находится в положении лежа, подушка подложена под живот, затем необходимо перевести его в положение, подходящее для дальнейших манипуляций

Таблица XI:  
Параметры лечения  
при заболеваниях  
позвоночника.

## ТАЗОВЫЙ ПОЯС

Тазовый пояс или таз расположен в основании туловища и представляет собой своего рода «распределительный узел», передающий нагрузки вверх по позвоночнику и вниз к нижним конечностям. Таз образован двумя подвздошными костями, которые сочленены в задней части с крестцовыми костями посредством крестцово-подвздошных суставов, а в передней части – друг с другом при помощи лобкового симфиза. Крестцово-подвздошные суставы и лобковый симфиз выполняют важную роль, обеспечивая амортизацию и устойчивость к эластичным растяжениям при ходьбе и беге, а также при родах. В области таза расположено большое количество важных связок и сухожилий, которые идут от груди или спины по направлению к бедрам и ногам. Движения таза очень ограничены и происходят, почти исключительно, на крестцово-подвздошном уровне, с вращением в крестце на подвздошной кости. Такие движения называются антеверсия (смещение вперед) или ретроверсия (смещение назад), в зависимости от движения основания крестца вперед и вниз или назад и вверх.

### Основные заболевания

Заболевания тазового пояса часто возникают вследствие физической активности. Они могут относиться к острому травматическому или же микротравматическому и дегенеративному типу.

Заболевания можно подразделить на следующие группы:

- Острые заболевания
  - Перелом таза
  - Апофизарные разъединения (в процессе роста)
  - Ушибы и растяжения (в крестцово-подвздошной области)
  - Повреждения капсул-связок
  - Острые заболевания сухожилий
  - Сакроилеит
- Микротравматические и дегенеративные заболевания
  - Артроз
  - Синдром хронической паховой боли (пубалгия)
  - Синдром ишиофemorальных мышц
  - Пириформный синдром

### Лечение

Аналогично лечению других заболеваний, при патологиях тазового пояса рекомендуется использовать протокол, включающий 3 стадии терапии, с обычной последовательностью лечения (Таблица XII). Пациент может находиться в положении лежа (сакроилеит, синдром ишиофemorальных мышц...), лежа на боку (пириформный синдром) или, чаще, на спине (пубалгия, лечение подвздошных областей...). При пубалгии пациент находится в положении лежа на спине с присогнутыми и отведенными в стороны ногами и согнутыми коленями.

Лечение следует начинать с пораженной мышцы (аддукторов и прямой мышцы живота), затем перемещать воздействие на место прикрепления мышц на уровне таза, и завершать на лобковом симфизе (следует соблюдать осторожность и не подвергать воздействию яички у мужчин).

При лечении пириформного синдрома пациент должен находиться в положении на боку, бедро и колено опорной ноги согнуты. Даже в этом случае лечение должно начинаться на внешней вращающей мышце и ягодичной мышце, и затем продолжаться в области вертлужного соединения и в областях иррадиации боли.

При ишиофemorальном мышечном синдроме пациента необходимо поместить в положение лежа на животе, подложив под живот подушку, при этом последовательность лечения сохраняется. При сакроилеите лечению подлежит выступающий слой сустава и, возможно, мышечные и суставные триггерные точки.

Таблица XII:  
Параметры лечения  
при заболеваниях  
тазового пояса

Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
Артроз крестцово-подвздошного сустава	510-1170	30-20	1000-1500	Пациент находится в положении лежа на животе, под живот подложена подушка
Пубалгия	710-1070	30-15	2000	Пациент находится в положении лежа на спине, бедра согнуты и развернуты наружу, колени согнуты
Пириформный синдром	510-970	25-15	1000-1500	Пациент находится в положении лежа на животе, под живот подложена подушка, затем - в положении, соответствующем манипуляциям
Отделение апофиза подвздошной кости	510-710	25-15	1000-1500	Пациент находится в положении лежа на спине, бедра слегка согнуты, колени выпрямлены

# 4.3

## НИЖНИЕ КОНЕЧНОСТИ

### БЕДРО

Тазобедренный сустав - проксимальный сустав нижней конечности, обеспечивающий вращение во всех плоскостях. Бедро образовано проксимальным вертлужным компонентом, который дистально соединяется с головкой бедра. Ореховидный сустав имеет 3 степени свободы, он обладает большей прочностью, но меньшим запасом движения, чем плечевой сустав (вес тела). Возможные движения:

- сгибание и разгибание в сагиттальной плоскости
- отведение-приведение во фронтальной плоскости
- вращение вокруг оси

Капсула сустава имеет форму цилиндра, образованного из продольных, косых, дугообразных и поперечных волокон. В тазу капсула соединяется с вертлужной губой, тогда со стороны бедра местом соединения является средняя часть межвертельной линии и межвертельного гребня. Основными связками являются подвздошно-бедренная связка, ограничивающая



разгибание и приведение, лонно-бедренная связка, ограничивающая внешнее вращение и отведение, а также, со стороны спины, седалищно-бедренная связка, ограничивающая внутреннее вращение.

Кроме того, имеется круглая связка, которая не выполняет существенных механических функций, но обеспечивает поступление крови к головке бедра (артерия круглой связки) наряду с капсульными артериями. Мышцы бедра включают переднюю группу мышц (подвздошно-поясничная, портняжная, прямая мышца бедра и гребешковая мышца бедра), медиальную группу (приводящие мышцы и тонкая мышца), а также задние мышцы (ишиофemorальная, ягодичная и внешние вращающие мышцы).

### **Основные заболевания**

Бедро часто страдает от острых и дегенеративных заболеваний. Основными симптомами являются боль, сопровождаемая нарастающим ограничением подвижности и нарушением функций приведения, сгибания и внешнего вращения.

- Острые заболевания
  - Коксит
  - Смещение
  - Перелом со смещением
  - Остеонекроз головки бедра
- Микротравматические и дегенеративные заболевания
  - Коксартроз
  - Вертлужная энтезопатия с бурситом или без

### **Лечение**

Бедренный сустав - самое труднодоступное место. Единственный вариант - получение доступа спереди, при этом следует соблюдать осторожность, чтобы не затронуть сосудисто-нервный узел, который нельзя обрабатывать статической насадкой. В случае артроза бедра или другого заболевания сустава рекомендуется поместить пациента в положение лежа на спине, бедра должны быть несколько согнуты и развернуты наружу (Таблица XIII). Сначала лечение должно включать поперечное и продольное сканирование мышцы, находящейся в состоянии контрактуры, в частности, приводящей, ягодичной и прямой бедренной мышцы. Затем проводится обработка непосредственно сустава, при этом сканирование выполняется по косой, параллельно и ниже паховой складки. Также полезно воздействовать на области распространения боли и области развития сопутствующих заболеваний, таких как вертлужная энтезопатия с бурситом или без. В последнем

случае полезно поместить пациента в положение лежа на боку с согнутым бедром и коленом опорной стороны тела.

Лечение должно начинаться на внешней вращающей мышце и ягодичной мышце, затем продолжаться в области вертлужного сустава и в областях иррадиации боли. При воспалительных заболеваниях (коксит), необходим доступ спереди, однако при этом следует использовать низкую плотность энергии и частоту для получения «холодного» варианта лечения.

**Таблица XIII:**  
Параметры терапии  
при патологиях бедра

Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
Коксартроз	970-1780	30-20	2500-3000	Пациент находится в положении лежа на спине, бедра слегка согнуты и повернуты наружу
Вертлужная энтезопатия	710-1070	30-12	1000-1500	Пациент находится в положении лежа на боку, бедро и колено согнуты
Коксит	360-510	30-12	1000	Пациент находится в положении лежа на спине, бедра слегка согнуты и повернуты наружу

## КОЛЕНО

Колено – это средний центр вращения нижней конечности, сустав, выполняющий функции блока, который состоит из трех компонентов:

- Медиальный бедренно-большеберцовый
- Боковой бедренно-большеберцовый
- Надколенно-бедренный

Медиальный и боковой мениски, имеющие форму С и О, соответственно, расположены между поверхностями бедра и большеберцовой кости. Они состоят из соединительно-тканного хряща, и на срезе могут иметь треугольную форму. Мениски выполняют, в основном, функцию амортизации при нагрузке и механически стабилизируют сустав. Статическая и динамическая стабильность обеспечивается мощным комплексом «капсула-связка» и «мышца-сухожилие». Основными связками являются:

- Коллатеральные (медиальная и боковая), обеспечивающие варгусно-вальгусную стабилизацию
- Крестообразные (передняя и задняя), обеспечивающие

стабильность при движении вперед-назад

Колено имеет две степени свободы, создавая возможность для выполнения следующих движений:

- Сгибание-разгибание в сагиттальной плоскости
- Внутреннее и внешнее вращение в горизонтальной плоскости (ограниченные движения, возможные только с согнутым коленом)

Главные двигательные мышцы – четырехглавые мышцы бедра и напрягатель широкой фасции бедра, работающие как разгибатели; ишиофemorальная (двуглавая мышца бедра, полуперепончатая мышца и полусухожильная мышца, работающие как сгибатели; тонкая мышца, портняжная мышца и подколенная мышца, работающие как внутренние вращатели; двуглавая мышца бедра и напрягатель широкой фасции бедра – как внешние вращатели.

### Основные заболевания

Наиболее важные заболевания: среди острых травматических заболеваний – это растяжения капсулы-связок, и среди хронических дегенеративных заболеваний – это гонартроз. Перегрузки и микротравмы часто связаны с развитием тендинитов в месте прикрепления мышцы.

- Острые заболевания
  - Перелом (коленной чашечки, бедра, большеберцовой кости, малоберцовой кости)
  - Рассекающий остеохондрит
  - Повреждение капсулы-связки
  - Повреждения мениска
  - Бурсит
  - Острое заболевания сухожилий
- Микротравматические и дегенеративные заболевания
  - Гонартроз
  - Хронические заболевания сухожилий (коленной чашечки, бурсит «гусиной лапки», синдром подвздошно-большеберцовой связки)
  - Надколенно-бедренный синдром

### Лечение

Заболевания колена лечат при помощи Hilterapia® в соответствии со стандартным протоколом, включающим 3 стадии (Таблица XIV). Сначала рекомендуется выполнение сканирования на мышцах, находящихся в состоянии контрактуры, в частности, сгибателях-разгибателях, напрягателе широкой фасции бедра и приводящих мышцах. При заболевании сухожилий, в зависимости от сухожилия, пациента помещают в положении лежа на спине, при этом колено должно

быть согнуто на 30°, или пациент должен находиться в положении на животе, при этом колено согнуто на 20-30°. В этом случае после обработки мышцы поперечное и продольное сканирование выполняют прямо по сухожилию. В случае заболеваний менисков сканирование производится в области, где есть разрыв, сначала спереди, при этом колено согнуто на 90°, затем сзади, при этом колено выпрямлено. При надколенно-бедренном синдроме пациент находится в положении лежа на спине, колено выпрямлено, и оператор попеременно обрабатывает коленную чашечку в медиальной зоне, чтобы воздействовать на боковую поверхность коленной чашечки, и сбоку – для воздействия на медиальную поверхность коленной чашечки. При дегенеративных хондропатиях и гонартрозе применяется протокол, специально разработанный для этих патологий (см. раздел 4.4).

Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
<b>Заболевания сухожилий</b>	510-1070	30-15	1000-1500	Пациент находится в положении лежа на спине или на животе, при этом колено согнуто на 20-30°
<b>Заболевания менисков</b>	1170-1430	30-20	2000-3000	Пациент находится в положении лежа на спине, при этом колено согнуто на 90°. Затем - в положении лежа на животе с выпрямленным коленом
<b>Надколенно-бедренный синдром</b>	810-1170	30-20	2000	Пациент находится в положении лежа на спине, колено выпрямлено, на коленной чашечке производятся маятниковые движения
<b>Артроз и хондропатии</b>	1430-1780	30-25	3000	Пациент находится в положении лежа на спине, при этом колено согнуто на 90°. Затем - в положении лежа на животе, колено выпрямлено. В итоге пациент находится в положении лежа на спине, колено выпрямлено, на коленной чашечке производятся маятниковые движения

**Таблица XIV:**  
Параметры лечения  
при заболеваниях  
колена.

## ЛОДЫЖКА И СТОПА

Лодыжка – дистальный центр вращения нижней конечности, который обеспечивает связь между ногой и стопой. Лодыжка образована тибіотразальным суставом (тибиофибулярная связка- таранная кость). Устойчивость лодыжки определяется костными элементами (мышцелки, передняя широкая часть таранной кости), элементами капсулы-связки (внешняя коллатеральная связка, связка дельтовидной мышцы, тибіофибулярный синдесмоз, таранно-пяточная связка) и мышечными элементами (малоберцовая мышца, сгибатели-разгибатели пальцев, большеберцовая мышца, трехглавая мышца голени). Лодыжка имеет только 1 степень свободы, обладая способностью выполнять сгибательно-разгибательное движение в сагиттальной плоскости. Стопа является завершением нижней конечности, которая передает и распределяет вес тела в положении стоя и при передвижении. Стопа состоит из 26 костей и может быть разделена на три отдела: задняя часть стопы с таранной и пяточной костями; средняя часть стопы с ладьевидной, кубовидной, 3 клиновидными костями и плюсной; передняя часть стопы включая фаланги первого и длинных пальцев. Всего выделяют 6 основных суставов:

- Подтаранный (или таранно-пяточный)
- Медио-тарзальное сочленение (сустав Шопаров (Chopart), включающий таранно-ладьевидный и пяточно-кубовидный сустав)
- Предплюсно-плюсневой (или Линфранка (Linfranc))
- Межплюсневой
- Плюснефаланговый
- Межфаланговый

Лодыжку и стопу следует рассматривать как единую функциональную единицу, так как при движении многие суставы выполняют работу согласованно и синхронно. В целом, стопа может осуществлять следующие движения:

- Поворот (сгибание, супинация и приведение)
- Выворот (разгибание, пронация и отведение)
- Сгибание и разгибание пальцев

Мышцы стопы можно подразделить на внутренние (дорсальные и подошвенные) и внешние (передние, боковые и задние). Подошвенные мышцы покрыты подошвенным апоневрозом, который часто является сайтом воспаления (подошвенный фасцит).

### Основные заболевания

Растяжения капсулы и связок – наиболее распространенные травматические заболевания, тогда как артроз – самое частое дегенеративное заболевание. Перегрузки и микротравмы часто вызывают патологии в месте прикрепления мышцы, например, подошвенный фасцит.

- Острые заболевания
  - Переломы (большеберцовой, малоберцовой, пяточной, ладьевидной кости, плюсны, фаланги)
  - Повреждения капсулы и связок (внешней коллатеральной связки, дельтовидной связки)
  - Повреждения мышц сухожилий (разрыв Ахиллесова сухожилия..)
  - Бурсит (задний пяточный бурсит..)
  - Острые заболевания сухожилий (фибулярный теносиновит..)
  
- Микротравматические и дегенеративные заболевания
  - Артроз
  - Стрессовые переломы
  - Подошвенный фасцит со остеофитом или без
  - Мортоновская метатарзальная невралгия
  - Вальгусная жесткая деформация первого пальца

### Лечение

Заболевания лодыжки и стопы следует лечить в соответствии со стандартным протоколом, включающим три стадии (Таблица XV), начиная с мышц, и в частности малоберцовой, большеберцовой мышцы, разгибателей и сгибателей пальцев и трехглавой мышцы голени. При артрозе первого пальца нужно использовать два оптических окна: дорсальное и подошвенное. В первом случае пациент находится в положении лежа на спине с согнутым коленом, при этом оператор удерживает первый палец и производит сканирование по суставной щели. В случае подошвенного окна пациент должен находиться в положении лежа, первый палец слегка вытянут. При растяжении лодыжки следует различать острую и подострую фазу. В острой фазе (2-3 дня после травмы) рекомендуется использовать режим медленного ручного сканирования с высокой энергией в области отека, а также на уровне венозно-лимфатической системы (в центростремительном направлении), для облегчения выведения жидкости из области отека. В подострой фазе сначала обрабатывают мышцу, находящуюся в состоянии контрактуры, и триггерные точки (в частности, фибулярные),

после чего производится сканирование в области лодыжки в пораженной зоне. Также полезно сканирование в переднелатеральном и заднелатеральном оптических окнах.

В случае лечения тендинита Ахиллесова сухожилия пациент должен находиться в положении лежа, стопа должна располагаться вне кушетки. Лечение начинают с трехглавой мышцы голени, затем переходят непосредственно на сухожилие, производя поперечное и продольное сканирование (над сухожилием и на боковой части сухожилия). При лечении подошвенного фасцита пациент должен находиться в положении лежа, при этом колено согнуто на 20°-30°, лодыжка располагается в нейтральном положении. Сканирование должно включать всю фасцию, включая проксимальный и дистальный участки прикрепления мышц. В средней стадии следует выбирать более болезненные пятна, в частности проксимальное место прикрепления фасции на уровне медиальной стороны стопы.

<b>Параметры лечения в соответствии с патологией (исходная и завершающая стадия)</b>				
<b>Заболевание</b>	<b>Плотность энергии (мДж/см<sup>2</sup>)</b>	<b>Частота (Гц)</b>	<b>Общая энергия (Джоуль)</b>	<b>Положение пациента</b>
<b>Растяжение вследствие травмы ТТ (тibiотарзального сустава)</b>	610-970	30-15	1500-2000	Пациент находится в положении лежа на спине, стопа слегка повернута внутрь или наружу
<b>Артроз сустава первого пальца стопы</b>	810-1170	30-20	1000	Пациент находится в положении лежа на спине, колено согнуто дорсально, а также в положении лежа на животе, колено выпрямлено со стороны подошвы
<b>Тендинит Ахиллесова сухожилия</b>	510-970	30-15	1000	Пациент находится в положении лежа, ТТ в нейтральном положении
<b>Подошвенный фасцит</b>	970-1170	30-10	1000-1500	Пациент находится в положении лежа с согнутым коленом, ТТ в нейтральном положении

**Таблица XV:**  
Параметры лечения при заболеваниях лодыжки и стопы

# 4.4

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ЛЕЧЕНИЯ

### ГОНАРТРОЗ

Далее приводится специальный протокол для лечения дегенеративных хондропатий и гонартроза (Таблица XVI), который отличается как по способу, так и по частоте сеансов. В частности, протокол включает два цикла по 15 ежедневных сеансов, при этом между циклами должен быть перерыв 3 месяца, в течение этого времени пациенту рекомендуется принимать добавки с гиалуроновой кислотой (перорально или методом инфильтрации). В течение каждого сеанса используют максимально возможную плотность энергии и частоту в сочетании с медленным сканированием в соответствии с 6 оптическими окнами:

- Переднемедиальное и латеральное окно, при этом пациент находится в положении лежа на спине, колено согнуто на 90°
- Заднемедиальное и латеральное, при этом пациент находится в положении лежа, колено выпрямлено
- Медиальное пателлярное и латеральное (колено выпрямлено, производятся маятниковые движения в области коленной чашечки)

В соответствии с протоколом лечения гонартроза обеспечивается поступление 500 джоулей на каждое оптическое окно, в целом 3000 джоулей на каждый сеанс.

**Таблица XVI:**  
Протокол лечения гонартроза.

Протокол лечения гонартроза				
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Положение пациента
Гонартроз	1430-1780	30-25	3000	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Положение лежа на спине, при этом колено согнуто на 90°.- Prono ginocchio esteso.</li> <li>– Положение лежа на животе с прямым коленом.</li> <li>– Положение лежа на спине с прямым коленом, в области коленной чашечки совершаются маятниковые движения.</li> </ul>

### ОТЕК

Отеки и посттравматические выпоты можно лечить при помощи сдавливающего бинтования и криотерапии в течение минимум 48-72 часов. Проведение ХИЛТерапии® рекомендуется со второго дня (индуцированное в течение первых 24 часов расширение сосудов может обострить образование выпота) с помощью специального протокола



(Таблица XVII). Для терапии необходимо применение медленного ручного сканирования и высокой энергии в области образования отеков, затем нужно проводить сканирование в центростремительном направлении на уровне венозной лимфатической системы для улучшения дренажа (для нижней конечности, это, например, малая подкожная вена ноги и большая подкожная вена ноги).

Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)	Способ
Отек и выпот	970-1170	30-25	3000	МЕДЛЕННОЕ СКАНИРОВАНИЕ

**Таблица XVII:**  
Протокол при  
лечении отеков..

### Заболевания мышц

Заболевания мышц очень часто возникают при занятиях спортом. Они составляют от 10 до 30% спортивных травм. Основными заболеваниями являются:

- Ушиб
- Контрактура
- Повреждение мышц

Ушиб с повреждением или без повреждения мышцы вызывается непосредственной травмой. Повреждения мышц связаны, преимущественно, с прямыми травмами, и их можно подразделить на 3 степени, в зависимости от количества поврежденных мышц. Эти состояния всегда сопровождаются отеком и кровоизлиянием, иногда явно видны гематомы.

Контрактура – это функциональное изменение мышцы, проявление накопления токсических продуктов распада после физической активности. Контрактуры характеризуются гипертонусом мышцы или группы мышц. Ушибы и повреждения мышц следует лечить, используя различные параметры, в зависимости от клинической фазы. В течение острой фазы (которая длится 3-7 дней) рекомендуется использовать среднюю или низкую плотность энергии и частоту, поскольку, как было показано при повреждениях мышц, ранее образовавшееся тепло может вызывать серьезные осложнения, такие как кальцификация. В подострой фазе и фазе выздоровления используются средняя или высокая плотность энергии и частота для стимуляции регенеративных процессов в тканях. Контрактуры мышц хорошо реагируют на воздействие тепла, и, следовательно, вылечиваются на ранних этапах при использовании сравнительно высоких энергий.

Таблица XVIII:  
Протокол лечения при  
заболеваниях мышц.

Заболевания мышц			
Заболевание	Плотность энергии (мДж/см <sup>2</sup> )	Частота (Гц)	Общая энергия (Джоуль)
<b>Ушиб Повреждение мышц</b>	Острая фаза: 360-610 Подострая фаза: 810-1070	Острая фаза: 18-10 Подострая фаза: 30-20	Острая фаза: 900-1200 Подострая фаза: 1500
<b>Контрактура</b>	710-970	30-20	1000-1500

# 4.5

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Castellacci E., Ciuti F., Di Domenica F., Conforti M.: Il Nd:YAG e la terapia laser ad alta energia. Collana Medicina Funzionale. Clinica, Biomeccanica, Rieducazione e Sport, 2003.
- Fortuna D. et Al: Pilot study of the Nd:YAG laser in experimental induced chronic degenerative osteoarthritis in animal model. Atti della fondazione Giorgio Ronchi, 2002.
- Fortuna D., Masotti L.: Il laser e le interazioni luce-tessuti biologici. Considerazioni teoriche ed evidenze sperimentali. 1° Convegno nazionale sulla Hilterapia. Firenze, 2006.
- Tunèr J., Höde L.: Laser Therapy. Clinical practice and scientific background. Ed Prima books, 2002. - Valent A.: Trattamento delle distorsioni capsulo-legamentose di caviglia con HILT Therapy". Seminario "Lesioni Capsulo-Legamentose della caviglia", Villasanta (Mi), 2006.
- Valent A.: Spalla dolorosa: protocollo di trattamento con HILT therapy e rieducazione funzionale. 1° Convegno nazionale sulla Hilterapia. Firenze, 2006.
- Valent A.: Risultati clinici nel trattamento della gonartrosi con HILT therapy. Energy for Health, vol.1, n°1, 36-38. 2007
- Valent A.: Trattamento delle patologie reumatologiche di polso e mano con Hilterapia". 2° Master Universitario di Riabilitazione della Mano. Casa di Cura "La Residenza". Rodello (CN), 2008.
- Zati A., Fortuna D., Valent A., Pulvirenti F., Bilotta T.W.: "Trattamento della lombalgia causata da ernia del disco: confronto tra laser ad alta potenza, TENS e FANS". Med. Sport, 57, 77-82, 2004
- Zati A., Buda R., Grigolo B., De Franceschi L., Valent A., Benedetti E., Fortuna D. and Bilotta T.W.: Azione del laser Nd:YAG sulle lesioni cartilaginee: studio sperimentale sull'animale e studio clinico sull'uomo. Atti 33. Congresso SIMFER, Catania, 8-12 nov. 2005.
- Zati A., Valent A.: Terapia Fisica. Nuove tecnologie in Medicina Riabilitativa. Ed Minerva Medica



Скачайте каталог Бека РУС на сайте [www.beka.ru](http://www.beka.ru)  
или воспользуйтесь QR-кодом ниже:



**бека** <sup>р</sup><sub>у</sub><sup>с</sup>

будущее реабилитации  
в Ваших руках!

Москва, Зеленоград, Сосновая Аллея, д. 6а, строение 1  
[www.beka.ru](http://www.beka.ru) • [info@beka.ru](mailto:info@beka.ru) • +7 (495) 742-4430

**ASL**

A S A L A S E R

Research and Therapeutic Solutions

[www.asalaser.com](http://www.asalaser.com)