

Свет на службе здоровья

ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
ПО ЛАЗЕРОТЕРАПИИ



ии

Камелия Блэк

18+

Камелия Блэк

**Свет на службе здоровья:
Практическое руководство
по лазеротерапии**

<https://litres.ru/74607984>

SelfPub; 2026

Аннотация

Лазеротерапия обещает многое. Но когда она действительно уместна, как выбрать режим и понять, принесла ли процедура пользу? Без ясной цели курс легко превращается в набор повторений.

Это руководство предлагает не универсальные рецепты, а систему решений: от понимания параметров излучения и фотобиомодуляции до проверки аппарата, защиты пациента и оценки рисков. Вы научитесь связывать клиническую оценку с измеримой целью, планировать протокол и курс, отслеживать результат и пересматривать тактику, если улучшения нет. В книге разобраны применение лазера при боли и заболеваниях опорно-двигательного аппарата, в нейрореабилитации, дерматологии, лечении ран и стоматологии, а также особые группы пациентов и сочетание методов. Механизм воздействия не подменяет доказательств, а безопасность требует постоянного контроля.

Для врачей, специалистов по реабилитации и физиотерапии,
студентов медицинских направлений.

Содержание

Лазеротерапия в медицине: возможности, границы и место среди методов лечения	6
Свет и лазерное излучение: основные физические понятия	18
Как свет воздействует на ткани: механизмы фотобиомодуляции	30
Лазерное оборудование: виды аппаратов, характеристики и контроль исправности	42
Конец ознакомительного фрагмента.	47

Камелия Блэк

Свет на службе здоровья:

Практическое руководство

по лазеротерапии

Свет на службе здоровья: Практическое руководство по лазеротерапии

Камелия Блэк

Лазеротерапия в медицине: возможности, границы и место среди методов лечения

— Назначьте мне лазер, — говорит Ирина, устраиваясь на краю стула. — Соседке помогло. Она теперь и колено лечит, и спину. Говорят, лазер вообще многое может.

В её голосе нет легковерия — скорее усталость от боли и надежда найти способ, который наконец сработает. Врач не улыбается снисходительно и не торопится соглашаться. Он спрашивает:

— Если представить, что лечение помогло, что именно изменится? Вы сможете дольше ходить? Боль станет слабее? Появится возможность отказаться от обезболивающего?

Ирина задумывается. Оказывается, ей важно не «пройти курс лазера», а без остановки дойти до магазина и гулять с внучкой. Это уже не разговор о модной процедуре, а разговор о цели лечения.

Так обычно и начинается разумное клиническое решение: не с выбора аппарата, а с вопроса, какую проблему мы решаем и по каким признакам поймём, что стало лучше.

Одно слово — разные технологии

В повседневной речи «лазером» могут назвать почти любое лечение светом. В медицине это создаёт путаницу.

Фотобиомодуляция — воздействие светом низкой или умеренной интенсивности, чаще красного или ближнего инфракрасного диапазона, при котором основная задумка — не разрезать и не прижечь ткань, а повлиять на биологические процессы. Для этого используют лазерные источники, а иногда светодиоды. Предполагается, что поглощение света определёнными молекулами запускает клеточные сигналы, способные влиять, например, на воспалительную реакцию или болевую чувствительность. Но правдоподобное объяснение механизма ещё не доказывает, что процедура надёжно помогает при конкретном заболевании.

Хирургический лазер — совсем другая история. Его применяют, чтобы разрезать, испарить или коагулировать ткань. Здесь эффект связан с нагреванием и разрушением ткани, а цель — выполнить конкретную процедуру. Лазеры используются в разных областях медицины, но сам факт, что операция сделана лазером, не означает, что она автоматически лучше любой альтернативы. Сравнивать нужно результаты, риски и показания именно для этой процедуры.

Есть и другие методы, которые пациенты могут принимать за лазеротерапию. Например, **интенсивный импульсный свет** не является лазером: он использует широкий диапазон световых волн. Ультрафиолетовая фототерапия также не равна лазерному воздействию. При **фотодинамической терапии** свет активирует специальное светочувствительное вещество; это не то же самое, что фотобиомодуляция. Раз-

личие важно, потому что у методов разные задачи, риски и доказательства.

Поэтому вопрос «Полезен ли лазер?» слишком общий. Точнее спросить: **какой именно свет, при каком диагнозе, с какой целью, по какому протоколу и в сравнении с чем?**

Почему обещание «помогает почти от всего» не выдерживает проверки

Свет воздействует на ткань не по принципу волшебной кнопки. Результат зависит от длины волны, мощности, времени и режима воздействия, размера обрабатываемой области, расстояния до кожи и свойств самой ткани. Важны также диагноз, стадия заболевания и другие виды лечения, которые получает человек.

Даже понятие «доза» здесь нельзя свести к одному числу на экране аппарата. Два устройства могут отличаться по характеристикам и выдавать разное воздействие, хотя на корпусе обоих написано «лазер». И наоборот: одинаковая модель аппарата не гарантирует одинаковый результат, если различаются настройки и техника применения.

Кроме того, биологический ответ не обязательно растёт вместе с дозой: «побольше света» не означает «побольше пользы». В исследованиях фотобиомодуляции встречается зависимость, при которой эффект меняется в зависимости от параметров воздействия. Это одна из причин, почему результаты разных исследований бывает трудно сопоставить,

а протокол, изученный для одной ситуации, нельзя без проверки переносить на другую.

Наконец, свет не «просвечивает» организм насквозь. То, насколько глубоко и в каком объёме он воздействует, зависит от его характеристик и от того, как ткань поглощает и рассеивает излучение. Обещание достать до любой глубоко расположенной структуры лишь потому, что аппарат назван лазерным, требует особенно внимательной проверки.

Разговор о цели, а не об аппарате

Вернёмся к Ирине. Сначала врачу нужно выяснить, что происходит с коленом: когда возникла боль, после чего она усиливается, есть ли отёк или скованность, как симптомы ограничивают повседневную жизнь. Иногда нужны осмотр и дополнительные исследования. Если есть признаки серьёзного повреждения или другой болезни, первоочередной задачей становится диагностика и соответствующее лечение, а не выбор световой процедуры.

Затем обсуждают ожидания. Если Ирина надеется, что один курс «восстановит сустав» и позволит отказаться от всех остальных мер, врач должен объяснить, насколько это ожидание реалистично. Если же её цель — попробовать уменьшить боль как часть плана, который уже включает подходящие упражнения и контроль нагрузки, вопрос можно рассматривать иначе.

Здесь полезно различать **облегчение симптома** и **лечение причины**. Уменьшение боли, если оно произошло, мо-

жет быть ценным, но само по себе не доказывает, что устранена причина заболевания или восстановлена повреждённая ткань. И наоборот, сохранение симптомов не всегда означает, что лечение было бесполезным: иногда важны функция, сон, переносимость нагрузки или снижение потребности в других средствах. Результат нужно оценивать по заранее согласованным признакам.

Как принимать решение: семь шагов

1. Сформулировать клиническую задачу. Не «нужен ли лазер вообще», а, например: «Можно ли в этой ситуации безопасно и обоснованно использовать фотобиомодуляцию, чтобы уменьшить такой-то симптом, и какую пользу мы от неё ожидаем?»

2. Уточнить диагноз и приоритеты. Метод не заменяет диагностику. При тревожных симптомах, быстро ухудшающемся состоянии или подозрении на заболевание, требующее срочного лечения, нельзя откладывать обследование ради курса процедур.

3. Найти доказательства именно для этой задачи. Имеет значение не только название метода, но и сходство исследования с ситуацией пациента: тот же диагноз, похожая стадия болезни, сопоставимые параметры воздействия и значимый для человека результат. Положительный результат небольшого исследования — основание для дальнейшего изучения, но не гарантия эффекта для каждого пациента. Важно также смотреть на качество обзоров и актуальные

клинические рекомендации.

4. Сравнить варианты. У лазерной процедуры есть альтернативы, и сравнивать их следует по цели, возможной пользе, рискам, доступности, затратам времени и денег. Иногда лучшая стратегия — сочетание методов. Иногда лазер не добавляет убедимой пользы к уже выбранному лечению.

5. Проверить безопасность. Неправильное применение мощного излучения способно повредить глаза или кожу, вызвать ожог. Защита глаз должна соответствовать используемому устройству и диапазону излучения; смотреть прямо в луч нельзя. Нужно учитывать состояние кожи, сопутствующие заболевания, принимаемые препараты и возможную повышенную чувствительность к свету. При онкологическом заболевании вопрос о воздействии в зоне опухоли следует обсуждать с профильным специалистом: его нельзя решать по универсальному правилу, вне контекста диагноза и протокола. В то же время некоторые виды фотобиомодуляции могут применяться в онкологии для определённых поддерживающих задач — например, в профилактике отдельных осложнений лечения, если это предусмотрено соответствующими рекомендациями и выполняется по подходящему протоколу. Это не означает, что метод лечит саму опухоль.

6. Заранее определить, что будет считаться успехом. Например: боль по шкале от 0 до 10, расстояние, которое человек проходит без остановки, возможность выполнять конкретное действие, частота приёма обезболивающе-

го. Лучше выбрать один-два понятных показателя и срок оценки.

7. Договориться, когда пересмотреть план. Если улучшения нет, нежелательные явления появились или стало ясно, что процедура мешает более полезному лечению, курс нужно пересмотреть. Продолжать его только потому, что «осталось ещё несколько сеансов», — плохая причина.

Возможная польза и честные границы

Клиническое применение лазеров не ограничивается физиотерапией. В хирургии и других специальностях лазер может быть инструментом для конкретных вмешательств — разрезания, удаления или обработки ткани. Там вопрос стоит не о «свете для здоровья вообще», а о соотношении пользы и рисков определённой процедуры по конкретному показанию.

Для фотобиомодуляции уровень уверенности зависит от заболевания и задачи. В некоторых узких клинических ситуациях, например при профилактике определённых осложнений онкологического лечения, существуют протоколы и рекомендации для применения метода. Но их нельзя автоматически распространять на любые боли, раны или воспалительные состояния.

При хронической боли в мышцах и суставах результаты исследований могут различаться. Это не позволяет обещать эффект каждому пациенту, а сила имеющихся данных зависит от диагноза, параметров воздействия и качества

исследований. Метод иногда рассматривают как возможное дополнение к комплексной помощи, но не как гарантированную замену диагностике, физической активности, реабилитации или другим обоснованным мерам. В отношении неспецифических обещаний вроде «укрепить иммунитет», «очистить организм» или вылечить сразу множество разных болезней доказательная опора особенно важна: одного рекламного описания процедуры недостаточно.

Вот как может выглядеть обсуждение на примере хронической боли в колене. Таблица не заменяет рекомендаций для конкретного диагноза; она показывает, какие вопросы стоит задать.

Цель лечения

Ожидаемый эффект

Уровень уверенности

Альтернативы и дополнения

Критерии пересмотра плана

Уменьшить боль в колене при хроническом заболевании сустава

Возможно, небольшое облегчение симптомов у части людей; восстановление сустава обещать нельзя

Зависит от диагноза и протокола; результаты исследований неоднородны, уверенность может быть ограниченной

Лечебные упражнения и управление нагрузкой, другие

меры реабилитации, лекарства по показаниям; при необходимости — оценка специалиста

Нет заметного изменения заранее выбранных показателей в согласованный срок; появляются побочные эффекты; откладываются более обоснованные меры

Предотвратить отдельное осложнение лечения при конкретном онкологическом протоколе

Снижение риска или выраженности осложнения в предусмотренной ситуации

Может быть выше, если применение поддержано актуальными рекомендациями и выполняется по изученному протоколу

Профилактика и поддерживающая помощь, принятые для данного лечения

Метод не соответствует плану профильной команды, не переносится или требует пересмотра на фоне изменения лечения

Выполнить вмешательство с помощью хирургического лазера

Решить конкретную процедурную задачу — например, удалить или обработать ткань

Определяется показанием и сравнением с другими доступными методами, а не словом «лазер»

Другой хирургический метод, медикаментозное или на-

блюдательное ведение — если они подходят

Неясно, почему выбран именно этот способ; ожидаемый результат не превосходит альтернативу или риски для пациента неприемлемы

«Оздоровить организм» или лечить много несвязанных жалоб одновременно

Заявленная универсальная польза не может считаться установленной без данных для каждой отдельной проблемы

Надёжных оснований для универсальных обещаний нет

Диагностика каждой жалобы и лечение по её причине

Процедуру предлагают без конкретного диагноза, измеримой цели или внятного объяснения доказательств

Уровень уверенности в таблице — не формальная оценка для конкретного пациента. Он показывает общий принцип: доказательства относятся к определённому показанию, а не к аппарату как таковому.

Что спросить у специалиста

Пациенту не нужно разбираться во всех характеристиках устройства, чтобы участвовать в решении. Достаточно задать несколько спокойных и точных вопросов:

- Как называется мой диагноз и какую задачу должна решить процедура?
- Какие доказательства есть именно для этой задачи?
- Какой результат можно считать реалистичным и когда

его оценивать?

- Какие есть альтернативы и чем они отличаются по ожидаемой пользе, риску и затратам?

- Какая часть плана будет изменена, если улучшения не будет?

Хороший специалист не обязан обещать эффект. Он должен уметь объяснить, почему предлагает метод именно в этой ситуации, чего от него ожидает и что будет делать, если ожидания не оправдаются. Настройки и безопасность процедуры тоже имеют значение; для самостоятельного применения мощного устройства советов «посветить подольше» недостаточно и небезопасно.

Небольшое упражнение перед консультацией

Запишите ответы на четыре вопроса.

1. Какую конкретную проблему я хочу решить?
2. Что я смогу делать, если лечение поможет?
3. Какой срок ожидания для меня приемлем?
4. Что я буду готов изменить в плане, если улучшения не будет?

Например: «Хочу дойти до магазина и обратно без остановки. Сейчас приходится отдыхать по дороге. Если через оговорённый с врачом срок функция не изменится, хочу обсудить другие варианты». Такая формулировка превращает неопределённое «помогите» в общую задачу, которую пациент и специалист могут проверять вместе.

Технология должна служить цели

Лазер может быть полезным инструментом. В одних областях он применяется для точных медицинских вмешательств; в других свет рассматривают как дополнение к помощи при конкретных симптомах или для отдельных поддерживающих задач. Но ни название аппарата, ни впечатляющий цвет луча не отвечают на главные вопросы: подходит ли метод этому человеку, есть ли данные для этой цели, чего именно ожидать и что делать при отсутствии эффекта.

Ирина не получила обещания, что лазер непременно вылечит её колено. Вместо этого врач вместе с ней уточнил диагноз, обсудил доступные подходы и выбрал измеримую цель — снова проходить привычный маршрут. Если фотобиомодуляция будет включена в план, она останется одним из возможных инструментов, а не заменой всей медицинской помощи.

Это и есть спокойная основа клинического решения: сначала человек и его задача, затем доказательства и альтернативы — и только потом выбор технологии. Чтобы понять, почему разные световые процедуры так отличаются друг от друга, дальше стоит разобраться в свойствах самого излучения.

Свет и лазерное излучение: основные физические понятия

На экране аппарата вспыхивают цифры: **808 нм, 500 мВт, 4 Дж/см², 20 Гц**. Специалист смотрит на них, как на табло незнакомого поезда: числа есть, направление движения неясно. Что здесь задаёт цвет света, что — его силу, а что вообще нельзя сравнивать друг с другом?

Представьте, что вы вошли в учебную лабораторию. На длинном столе стоят не загадочные приборы, а несколько наглядных моделей: линейка световых волн, кран с мерной чашей, лист миллиметровки, секундомер и фонарь с регулируемым пятном. Каждая модель поможет разобрать одну характеристику лазерного излучения. Аналогии здесь — подсказки, а не буквальное описание того, как свет ведёт себя в тканях.

Линейка волн: длина волны и частота

Начнём с линейки, на которой волна нарисована синусоидой. Расстояние от одного её гребня до следующего называется **длиной волны**. Её обычно обозначают λ и измеряют в нанометрах: **нм**, где один нанометр — одна миллиардная метра.

Длина волны связана с частотой: числом колебаний в секунду. Частоту обозначают ν или f , измеряют в герцах (**Гц**).

Чем короче волна, тем выше частота. В вакууме связь выражается формулой:

$$c = \lambda \times \nu,$$

где c — скорость света.

Для практического чтения параметров обычно достаточно запомнить главное: аппарат с маркировкой **660 нм** излучает на иной длине волны, чем аппарат на **808 нм**. Эта характеристика важна потому, что разные длины волн по-разному взаимодействуют с кожей и другими тканями. Но из одного числа нельзя заключить, насколько глубоко свет проникнет или каким будет лечебный результат: на это влияют и свойства ткани, и геометрия облучения, и другие параметры.

Лазер нередко называют монохроматическим — то есть излучающим свет в узком диапазоне длин волн. Это удобное приближение, а не обещание, что все фотоны имеют совершенно одинаковую длину волны. У лазера обычно узкий спектр, но его ширина зависит от источника и должна учитываться, если это важно для конкретной задачи.

У длины волны есть соседняя величина — **энергия одного фотона**. Чем выше частота, тем больше энергия отдельного фотона. Для оценки можно пользоваться приближением: энергия фотона в электронвольтах $\approx 1240 / \text{длина волны в нанометрах}$. Например, фотон с длиной волны 660 нм несёт около 1,88 эВ. Это энергия одной частицы света, а не энергия всей процедуры и не «доза» для ткани. Для последней нужны другие величины.

В тканях свет распространяется не так, как в пустом пространстве: он рассеивается, частично отражается и поглощается. При переходе из одной среды в другую меняется его скорость и длина волны, тогда как частота сохраняется. В маркировке аппарата обычно указывают номинальную длину волны самого источника, а не сложную картину распространения света внутри организма.

Лазер — особый способ получить свет, а не синоним любого светового прибора. Для лазерного излучения характерны направленность, относительно узкий спектр и упорядоченность световых колебаний — когерентность. Светодиоды обычно излучают в более широком диапазоне и расходятся шире. Однако слово «лазер» само по себе не доказывает ни большей эффективности, ни более глубокого воздействия. Это описание источника, а не гарантия клинического результата.

Кран и мерная чаша: мощность и энергия

На следующем столе — кран, наполняющий чашу. Кран показывает, как быстро поступает вода; чаша — сколько воды набралось. В этой аналогии **мощность** — скорость передачи энергии, а **энергия** — её общее количество за выбранное время.

Мощность излучения измеряется в ваттах (**Вт**). Один ватт равен одному джоулю в секунду: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$. Энергию измеряют в джоулях (**Дж**). Если источник непрерывно выдаёт 0,5 Вт в течение 10 секунд, он испустит 5 Дж энергии:

Энергия = мощность × время.

Именно здесь часто возникает путаница. Значение **500 мВт** говорит о мощности, а не о том, сколько энергии получит участок за всю процедуру. Значение **5 Дж** описывает суммарную энергию, но само по себе не говорит, за сколько времени она была передана и на какую площадь пришлась.

У импульсного режима появляется ещё одна тонкость. Важны как минимум **пиковая мощность, длительность импульса, частота повторения импульсов и средняя мощность**. Представим прямоугольные импульсы: пиковая мощность 10 Вт, длительность одного импульса 1 миллисекунда, повторение 10 раз в секунду. В сумме импульсы занимают одну сотую секунды за каждую секунду, то есть коэффициент заполнения равен 1%. Средняя мощность в таком упрощённом примере составит 0,1 Вт, а не 10 Вт.

У разных приборов обозначения могут отличаться. Поэтому, увидев на экране высокую мощность, стоит уточнить: это пиковая или средняя? Измеренная на выходе аппарата или на конце аппликатора? А если речь идёт об энергии импульса — какова длительность импульса и сколько их будет за время воздействия?

Непрерывный режим означает, что излучение подаётся без регулярных пауз во время работы. Импульсный — что оно включается отдельными порциями. Ни одно из этих названий не говорит автоматически, какой режим предпочтительнее: это зависит от задачи, характеристик устройства и

данных о методике. Не следует также считать, что импульсный режим обязательно «мягче» или что одинаковая суммарная энергия даст тот же эффект при любой мощности и длительности. Организм не всегда подчиняется простому правилу «одинаковая сумма — одинаковый результат».

Миллиметровка: площадь пятна и плотность мощности

Теперь представьте лист миллиметровой бумаги, на который падает пятно света. **Плотность мощности** показывает, какая мощность приходится на единицу площади. Её измеряют, например, в ваттах на квадратный сантиметр (**Вт/см²**).

Если мощность распределена равномерно по пятну, расчёт прост:

Плотность мощности = мощность / площадь.

Например, 0,4 Вт, распределённые по площади 1 см², дают в среднем 0,4 Вт/см². Если та же мощность распределена по 4 см², получится 0,1 Вт/см². В обоих случаях аппарат выдаёт 0,4 Вт, но на единицу площади приходится разное количество мощности.

В реальности пятно может быть неравномерным: в центре свет ярче, по краям слабее. Поэтому вычисление по общей площади даёт среднее значение, а не обязательно интенсивность в каждой точке. Кроме того, «размер пятна» нужно понимать буквально: как его измеряли, на каком расстоянии, в какой плоскости и по какому критерию определяли границу? У лазерного пучка край часто не выглядит как идеально

очерченный круг.

Если пятно круглое, площадь можно оценить по формуле $S = \pi r^2$, где r — радиус. Пятно диаметром 1 см имеет площадь около $0,79 \text{ см}^2$, а диаметром 2 см — около $3,14 \text{ см}^2$: площадь стала в четыре раза больше. Такие расчёты полезны, но только если известно, что именно производитель называет диаметром пятна.

Важно различать **площадь пятна** и **площадь обрабатываемой области**. При неподвижном аппликаторе это могут быть близкие величины. При сканировании, перемещении или нескольких проходах свет распределяется по более крупному участку, и расчёт становится сложнее. Угол падения, расстояние до кожи, форма поверхности и способ контакта меняют фактическую геометрию воздействия.

Секундомер и мерный лист: плотность энергии

Если плотность мощности умножить на время, получится **плотность энергии** — количество энергии, приходящееся на единицу площади. Её измеряют в джоулях на квадратный сантиметр ($\text{Дж}/\text{см}^2$). В англоязычной литературе часто используется термин *radiant exposure*; в русскоязычной практике можно встретить и выражение «энергетическая плотность».

При равномерном непрерывном излучении:

Плотность энергии = мощность × время / площадь.

Пусть источник непрерывно выдаёт 0,4 Вт в течение 30 секунд. Общая энергия — 12 Дж. Если она равномерно рас-

пределена по 1 см^2 , средняя плотность энергии составит 12 Дж/см^2 ; если по 4 см^2 — 3 Дж/см^2 . Это только арифметический пример, **не рекомендация по лечению**.

Формула наглядно показывает, почему одного числа с дисплея недостаточно. Одинаковая энергия в джоулях может быть передана за разное время и на разную площадь. А одинаковая плотность энергии может быть получена при разных сочетаниях мощности и времени. Нельзя автоматически заключать, что эти варианты одинаковы для организма: биологический ответ может зависеть от режима, скорости подачи энергии и особенностей ткани.

И даже правильно рассчитанная плотность энергии на поверхности не равна энергии, поглощённой нужной структурой внутри ткани. Часть света отражается, часть рассеивается, часть поглощается по пути. На распространение света влияют длина волны, пигментация, кровоснабжение, толщина и состояние тканей, а также угол и условия контакта. Показание аппарата описывает излучение в определённой точке системы, но не является прямым измерением того, сколько энергии достигло каждой клетки.

Один дисплей — не одно и то же воздействие

Вернёмся к экрану с цифрами. Почему два аппарата с одинаковым значением мощности могут создавать разные условия?

Во-первых, на дисплее может быть **заданная**, а не измеренная мощность. Выход зависит от конструкции, калибров-

ки, состояния прибора и потерь в оптической системе — например, в волокне или аппликаторе. Мощность на выходе корпуса и мощность непосредственно у рабочей поверхности могут различаться.

Во-вторых, имеет значение **режим**: непрерывное это излучение или импульсное, каковы пиковая и средняя мощность, длительность и частота импульсов. Одно число не заменяет всю картину.

В-третьих, важны **площадь и геометрия**: диаметр пятна, расстояние до кожи, угол падения, движение аппликатора, контакт и перекрытие обработанных участков. Одни и те же ватты, распределённые по разной площади, означают разную плотность мощности.

Наконец, сами ткани неодинаковы. Свет, падающий на поверхность, — это ещё не свет, поглощённый целевой областью. Поэтому физические параметры аппарата необходимо читать отдельно от клинической оценки процедуры. Характеристики излучения помогают понять, что делает устройство, но не устанавливают универсальную лечебную дозу и не заменяют обоснование метода.

Паспорт луча

Перед обсуждением процедуры заполните короткий «паспорт луча». Если важное поле остаётся пустым, не угадывайте — задайте вопрос.

> ****ПАСПОРТ ЛУЧА****

> ****Источник и модель аппарата:****

> ****Длина волны:**** _____ нм

> ****Режим:**** непрерывный / импульсный / другой:

> ****Мощность:**** _____ Вт или мВт

> **Уточнить:** средняя / пиковая / другая; где измерена: _____

> ****Параметры импульсов, если применимо:****

> длительность _____; частота _____ Гц;

энергия импульса _____

> ****Время воздействия:**** _____ с или мин

> ****Площадь пятна:**** _____ см²; как определена: _____

> ****Площадь обрабатываемой области:**** _____ см²

> ****Энергия за воздействие, если указана или рассчитана:**** _____ Дж

> ****Плотность мощности:**** _____ Вт/см²

> ****Плотность энергии:**** _____ Дж/см²

> ****Положение аппликатора и условия измерения:**** _____

Дата калибровки или проверки выхода:

Записывать единицы так же важно, как сами числа. «0,5» без уточнения может означать ватты, джоули, секунды или джоули на квадратный сантиметр — величины совершенно разного смысла. Не менее полезно выяснить, какие парамет-

ры аппарат измеряет, а какие только рассчитывает или предлагает установить.

Три короткие проверки

1. Аппарат работает непрерывно при мощности 0,2 Вт в течение 20 секунд. Какова испущенная энергия? **Ответ:** $0,2 \times 20 = 4$ Дж.

2. Те же 4 Дж равномерно распределены сначала по 1 см^2 , затем по 4 см^2 . Как изменится плотность энергии? **Ответ:** в первом случае это 4 Дж/см^2 , во втором — 1 Дж/см^2 . Энергия одна и та же, площадь разная. Это учебный расчёт, не подбор лечебного режима.

3. Пиковая мощность импульсного источника — 8 Вт, длительность импульса — 0,5 мс, частота — 20 Гц. Какова приблизительная средняя мощность для прямоугольных импульсов? **Ответ:** импульсы занимают $0,5 \text{ мс} \times 20 = 10 \text{ мс}$ за секунду, то есть 1% времени. Средняя мощность — примерно **0,08 Вт**. Если вместо пиковой мощности на экране уже указана средняя, повторно применять этот расчёт нельзя.

Ошибки, которых легко избежать

1. Путать мощность и энергию. Ватты показывают темп передачи энергии, джоули — её количество.

2. Считать джоули и Дж/см² взаимозаменяемыми. Первое — общая энергия, второе — энергия на единицу площади.

3. Принимать пиковую мощность за среднюю. Для импульсного режима разница может быть существенной.

4. Игнорировать площадь пятна. Одно значение мощности не сообщает, насколько она распределена.

5. Считать все цифры на дисплее измеренными. Часть из них может быть заданной или вычисленной.

6. Отождествлять падающую энергию с поглощённой в глубине ткани. Между поверхностью и целью свет взаимодействует с тканями, а эти взаимодействия зависят от множества условий.

7. Думать, что одинаковые Дж/см² гарантируют одинаковый эффект. Режим, время, геометрия и биологический контекст тоже имеют значение.

И ещё одно практическое правило: невидимое инфракрасное излучение не становится безопасным только потому, что его не видно. Не направляйте луч в глаза и соблюдайте требования защиты для конкретного прибора и его длины волны.

Когда перед вами появляется сложная панель, не пытайтесь прочесть её как единый загадочный код. Разложите характеристики на отдельные вопросы: **какой свет испускается, с какой мощностью, в каком режиме, сколько времени, по какой площади и где именно измерены параметры?** Уверенное чтение этих величин не назначает лечение — оно помогает понять устройство, заметить пробелы в информации и отличить физическое описание луча от клинического решения. А следующий вопрос уже не о том, сколько света вышло из прибора, а о том, что происходит с

ним после встречи с тканью.

Как свет воздействует на ткани: механизмы фотобиомодуляции

После процедуры пациент не сразу встаёт с кушетки. Он смотрит на небольшой аппарат, потом на участок кожи, который только что освещали, и спрашивает:

— А что там произошло? Свет ведь не чувствуется. Он просто попал на кожу — и всё?

Вопрос звучит просто, но за ним начинается настоящее расследование. Нужно выяснить, что стало с фотонами после встречи с тканью: сколько отразилось, сколько рассеялось, сколько поглотили молекулы и дошёл ли хоть какой-то свет до предполагаемой мишени. А затем — не менее трудный вопрос: если клетка на него отреагировала, означает ли это, что пациенту станет лучше?

Короткий ответ таков: свет действительно может запускать биологические процессы. Но между этим фактом и доказанной пользой при конкретной болезни лежит длинная цепочка, в которой каждое звено требует собственной проверки.

Первое место преступления: поверхность ткани

Фотон, покинувший прибор, не летит к больному месту по заранее проложенному коридору. Он встречает кожу — неоднородную, многослойную, населённую водой, белками,

клетками крови и пигментами. Часть света отражается от поверхности. Часть входит в ткань, но почти сразу меняет направление. Часть поглощается. И лишь часть продолжает путь глубже.

Это похоже на попытку пройти через густой лес в сумерках: какие-то лучи отбрасываются ветвями назад, какие-то теряются среди листвы, а некоторые проходят дальше. Только ткань не просто препятствие. Она ещё и избирательный фильтр.

На поведение света влияет его длина волны. Энергия отдельного фотона связана с длиной волны обратно пропорционально: чем короче волна, тем больше энергия фотона. Но из этого не следует, что коротковолновый свет «сильнее лечит». Важно не только сколько энергии несёт фотон, но и какие молекулы способны его поглотить и что произойдёт после поглощения.

Разные компоненты ткани по-разному взаимодействуют со светом. Меланин поглощает широкий диапазон видимого и ближнего инфракрасного излучения. Гемоглобин особенно заметно поглощает свет некоторых видимых диапазонов. Вода начинает играть более значительную роль при увеличении длины волны в инфракрасную область. Белки и другие молекулы тоже могут поглощать свет, хотя не всегда это становится биологически значимым событием.

Поэтому выражение «красный свет проникает глубоко» — полезное, но чрезмерно грубое сокращение. У красного

и ближнего инфракрасного света часто меньшее поглощение некоторыми поверхностными хромофорами, чем у ряда более коротких волн, однако глубина воздействия не задаётся одной цифрой на шкале спектра. На неё влияют свойства конкретной ткани, её кровоснабжение, пигментация кожи, толщина слоя, угол падения луча, площадь освещения и то, прижимают ли излучатель к коже. Даже один и тот же участок тела у разных людей может пропускать и рассеивать свет неодинаково.

Отсюда практическое правило: длина волны помогает понять, с чем может взаимодействовать свет, но сама по себе не сообщает, сколько энергии достигнет нужной структуры. Выходная мощность аппарата — ещё не доза в глубине ткани.

Фотон не обязан добраться до мишени

Чтобы воздействовать на клетку, свет должен до неё дойти и быть поглощён. Между источником и клеточной мишенью есть несколько возможных судеб.

Отражение. Некоторая доля света возвращается с поверхности. Она зависит, в частности, от угла падения и свойств границы между материалами. Поэтому реальный контакт излучателя с кожей может менять условия доставки света — но не превращает ткань в прозрачное стекло.

Рассеяние. Фотон меняет направление, сталкиваясь с клеточными структурами и другими неоднородностями. Рассеянный свет не обязательно исчезает: часть его продол-

жает движение, но уже не по прямой. Чем сильнее рассеяние, тем труднее представить луч как тонкую линию, которая без потерь направлена точно в болезненную точку.

Поглощение. Молекула принимает энергию фотона. Это наиболее важный шаг, если мы говорим о запуске реакции. Поглощённый фотон уже не продолжает прежний путь: его энергия передаётся молекуле и может изменить её состояние.

Передача дальше. Часть света проходит через участок ткани, не будучи поглощённой. Это не означает, что он обязательно достиг нужной клеточной мишени; он может выйти с другой стороны, рассеяться по пути или быть поглощён позже.

Для клиники важен итог: облучается не абстрактная «точка», а объём ткани, в котором фотоны распределяются неравномерно. И когда мы говорим, что обработали сухожилие, сустав или нерв, это ещё не доказывает, что конкретная доза света действительно дошла до этих структур. Иногда это физически правдоподобно; иногда оценить доставленную дозу трудно; иногда предполагаемая глубинная мишень находится за пределами надёжных возможностей выбранного способа воздействия.

Хромофоры: молекулы, способные принять свет

Молекулу, поглощающую свет и способную передать его энергию в биологическую реакцию, называют хромофором. В контексте фотобиомодуляции — применения света для

изменения клеточной активности без намеренного разрушения ткани нагреванием или испарением — часто обсуждают хромофоры митохондрий.

Один из наиболее известных кандидатов — цитохром-с-оксидаза, фермент дыхательной цепи митохондрий. Эта система участвует в клеточном использовании кислорода и образовании аденозинтрифосфата (АТФ) — молекулы, служащей одним из основных переносчиков энергии в клетке. Предполагается, что поглощение света определённых диапазонов может повлиять на работу фермента или на связанные с ним процессы.

Возможная часть этой истории — оксид азота. Он участвует в клеточной сигнализации и регуляции тонуса сосудов. В ряде моделей обсуждается, может ли свет менять взаимодействие оксида азота с компонентами дыхательной цепи, тем самым влияя на клеточное дыхание. Это интересная и активно исследуемая гипотеза, но её не следует превращать в универсальный сценарий: «луч освободил кислород — клетка ожила — ткань восстановилась». В живом организме молекулярные процессы зависят от множества условий, а роль конкретного хромофора может различаться.

Обсуждаются и другие возможные светочувствительные мишени: белки клеточных мембран, ионные каналы, опсины и другие молекулы, способные менять активность клетки. Для разных длин волн набор вероятных мишеней может быть неодинаковым. Исследования на клетках и животных

помогают находить возможные звенья механизма, но пока не дают основания считать, что один-единственный хромофор объясняет все эффекты фотобиомодуляции.

Важно и то, что механизм не обязательно сводится к «выработке больше АТФ». В одних экспериментальных условиях могут наблюдать изменения показателей клеточного обмена; в других — изменения окислительно-восстановительных сигналов, концентрации ионов кальция или активности генов. Наблюдаемый эффект зависит от типа клетки, её исходного состояния, спектра и режима воздействия. Клетка не батарейка, которую достаточно подзарядить светом.

От молекулы — к клеточному сообщению

Представим, что фотон поглощён и изменил активность молекулярной мишени. Это ещё не финал, а лишь начало следующей части расследования. Молекулярное событие может повлиять на клеточные сигнальные пути — цепочки взаимодействий, с помощью которых клетка «переводит» внутреннее изменение в ответ.

В таких процессах могут участвовать активные формы кислорода. Их название часто звучит тревожно, но в небольших количествах они работают не только как потенциально повреждающие вещества: они также служат сигналами, помогающими клетке менять свою активность. Существенны не просто наличие активных форм кислорода, а их количество, место образования и длительность воздействия. Длительный избыток может быть вреден; короткий и ограничен-

ный сигнал способен участвовать в регуляции.

Другим посредником может быть внутриклеточный кальций. Его концентрация меняется в ответ на сигналы и влияет на работу белков, экспрессию генов и другие процессы. Далее могут изменяться выработка некоторых сигнальных молекул и активность генов, связанных, например, с воспалительным ответом или клеточным метаболизмом.

Но здесь особенно легко перескочить через ступеньки. Если в лаборатории после воздействия света изменился маркер воспаления, это ещё не доказывает, что у человека уменьшится боль. Если в клеточной культуре обнаружены изменения метаболизма, это ещё не означает, что повреждённое сухожилие быстрее восстановит функцию. Между клеткой в чашке и пациентом, который хочет подняться по лестнице без боли, лежат ткани, нервная система, причина симптома, сопутствующие заболевания и множество других факторов.

Стоит отдельно отличать фотобиомодуляцию от процедур, где свет специально используют для нагревания, разрезания или разрушения ткани. Есть и фотодинамическая терапия: в ней свет взаимодействует с заранее введённым фотосенсибилизатором и кислородом, чтобы вызвать цитотоксическое воздействие. Это иной замысел и другой механизм. Одинаковое слово «лазер» не делает одинаковыми ни физику процедуры, ни её клиническую цель.

Карта доказательств: где мы уверены, а где только предполагаем

Полезно представить весь путь в виде схемы:

СВЕТ → ТКАНЬ → КЛЕТОЧНЫЙ ОТВЕТ → КЛИНИЧЕСКИЙ ИСХОД

Разберём её по звеньям.

Свет → ткань. Подтверждено законами физики.

Свет отражается, рассеивается, поглощается и проходит через ткани в зависимости от длины волны и оптических свойств среды. Это надёжная основа. Но точное распределение света в конкретном участке тела без соответствующих измерений или моделирования нельзя объявлять известным только потому, что на дисплее аппарата указана мощность.

Ткань → клеточный ответ. Подтверждается лабораторными исследованиями, но зависит от условий. В клеточных и экспериментальных моделях свет определённых параметров способен менять активность некоторых клеточных процессов. Предлагаемые хромофоры и сигнальные пути — предмет исследований; для отдельных звеньев данные убедительнее, для других остаются предварительными или спорными. Результат, полученный в лабораторной модели, нельзя автоматически переносить на любое заболевание у человека.

Клеточный ответ → клинический исход. Требуется проверки на пациентах. Даже если биологический механизм правдоподобен, эффективность при конкретной проблеме устанавливают клиническими исследованиями: сравнивают значимые для пациента результаты, оценивают риски

и по возможности отличают эффект процедуры от естественного течения болезни, ожиданий и других вмешательств.

Для пациента важны не только изменения клеточных маркеров. Важно, стало ли легче двигаться, уменьшилась ли боль, восстановилась ли функция, как долго сохраняется результат и какие нежелательные эффекты возникли. Ответы на эти вопросы должны давать исследования по конкретному состоянию и конкретному протоколу. Данные о том, что фотобиомодуляция в принципе способна влиять на клетки, не доказывают её пользу при каждом заболевании.

Именно поэтому механизм — не рекламное обещание и не замена клиническим доказательствам. Он помогает сформулировать правдоподобную гипотезу, понять, что следует измерять, и объяснить, почему метод может сработать. Но слово «может» здесь принципиально.

Почему больше света — не обязательно лучше

Если небольшой стимул способен запускать клеточный сигнал, кажется заманчивым увеличить воздействие: больше энергии — сильнее реакция. Биология часто отвечает иначе.

Фотобиомодуляция может демонстрировать нелинейный, иногда двухфазный ответ: при одних условиях эффект заметен, при других — слабее или отсутствует. Для некоторых систем избыточное воздействие может не усиливать желаемый ответ и даже менять его направление. Однако не стоит представлять это как универсальную аккуратную дугу с одной идеальной дозой: форма ответа зависит от ткани, исход-

ного состояния, параметров воздействия и того, какой результат измеряют.

Кроме того, разные параметры не всегда взаимозаменяемы. Одинаковая суммарная энергия, поданная с разной интенсивностью или за разное время, не обязательно создаёт одинаковый эффект. Имеют значение площадь, режим, геометрия воздействия, контакт, анатомическая глубина и воспроизводимость аппарата. Повышение мощности также может увеличить нежелательный нагрев. Термин «низкоинтенсивная» не гарантирует, что устройство при любых настройках остаётся нетепловым.

Практический вывод: не следует самостоятельно увеличивать время или интенсивность по принципу «хуже не будет». Если метод оказался неэффективен, ответом не всегда будет большая доза. Возможно, не подходит длина волны, мишень выбрана неверно, доставляемая энергия недостаточна или, наоборот, избыточна, а возможно, для этой проблемы у процедуры вообще нет убедительно показанной клинической пользы.

Небольшое упражнение: пройдите путь света сами

Возьмите описание любой процедуры фотобиомодуляции, которую вам предлагают, и задайте четыре вопроса.

1. Какой именно исход хотят изменить? Боль, отёк, подвижность, заживление раны — это разные цели, и их нельзя подменять словом «восстановление».

2. Какая ткань считается мишенью и насколько она

глубоко расположена? Есть ли основания считать, что используемый свет и способ его подачи достигают нужного участка?

3. Что известно о механизме, а что предполагается? Отделите установленное взаимодействие света с тканью от гипотез о клеточной реакции и от клинических выводов.

4. Какие данные есть именно для этого состояния? Ищите измеримые результаты для пациентов, а не только красивые схемы митохондрий или результаты на клетках.

Это упражнение не требует от читателя становиться физиком или врачом. Оно помогает заметить, где объяснение опирается на данные, а где незаметно превращается в обещание.

Возвращение к кушетке

Вернёмся к пациенту. На вопрос «что произошло в тканях?» честный ответ будет не таким эффектным, как «клетки зарядились». Он звучит осторожнее: часть света могла отразиться или рассеяться; часть могла быть поглощена молекулами ткани; поглощение при определённых условиях могло повлиять на клеточные сигналы. Но насколько выраженным был этот эффект, дошёл ли свет до нужной структуры и изменило ли это течение конкретной проблемы — отдельные вопросы, на которые нельзя ответить одним лишь рассказом о молекулярном механизме.

В этом и состоит полезный взгляд на фотобиомодуляцию: не отбрасывать биологическую правдоподобность, но и не

путать её с доказанной эффективностью. Свет способен взаимодействовать с тканями. Клетки способны отвечать на такое взаимодействие. А польза для пациента устанавливается только тогда, когда клинический результат действительно проверен.

Чтобы эта цепочка не осталась красивой теорией, нужно знать, каким прибором создаётся свет, насколько стабильно он работает и соответствуют ли реальные характеристики заявленным. Именно к этому мы перейдём дальше: от судьбы фотона — к устройствам, которые отправляют его в путь.

Лазерное оборудование: виды аппаратов, характеристики и контроль исправности

На дисплее всё выглядело привычно: 808 нм, 100 мВт, непрерывный режим. Специалист сверил настройки с назначением и уже собирался подключить аппликатор, когда заметил трещину на его кабеле — тонкую, почти незаметную под изгибом. На корпусе аппарата между тем горел зелёный индикатор готовности.

Пациент ждал. Кабинет был подготовлен. Но процедуру не начали.

При проверке документов выяснилось и второе: срок очередной технической проверки истёк. Это не доказывало, что аппарат неисправен. Но означало, что его исправность нельзя считать подтверждённой. Команда остановилась, вывела устройство из эксплуатации и сообщила ответственному за оборудование.

Так выглядит не паника, а профессионализм. Зелёная лампа показывает, что прибор прошёл предусмотренную им внутреннюю проверку или включён в режим готовности. Она не удостоверяет, что кабель цел, фактическая мощность соответствует показаниям, а срок обслуживания не истёк. Аппарат — не просто корпус с кнопкой. Это цепочка: источ-

ник излучения, блок питания и управления, система охлаждения, кабели или оптические волокна, аппликатор, программное обеспечение и защитные элементы. Слабое звено в этой цепочке способно изменить работу всей системы.

Сначала — понять, что именно стоит в кабинете

Слова «лазерный аппарат» охватывают оборудование с разными задачами и разными профилями риска. Их нельзя выбирать и использовать по принципу «этот мощнее — значит, лучше» или «этот применяют для лечения — значит, подойдёт для любого случая».

Аппараты для фотобиомодуляции предназначены для воздействия светом, которое обычно не ставит целью разрезание ткани или её намеренный нагрев. Для таких устройств особенно важны соответствие конкретному клиническому протоколу и проверка фактических параметров: название режима на экране само по себе не подтверждает, сколько энергии достигает зоны воздействия.

Высокоинтенсивные терапевтические системы могут создавать заметный тепловой эффект. Это меняет требования к подготовке специалиста, оценке пациента и контролю процедуры. Аппарат, который работает в более мощном диапазоне, не становится от этого автоматически более эффективным для любой задачи.

Хирургические и абляционные лазеры применяются для рассеечения, испарения или коагуляции тканей. Это отдельный класс задач со своими процедурами, оснащением,

подготовкой и мерами безопасности. Их нельзя приравнивать к аппаратам для фотобиомодуляции только потому, что все они используют лазерное излучение.

Есть и системы, где свет создают не лазерные диоды, а светодиоды. В бытовой речи их тоже могут называть «световыми» или даже «лазерными» приборами, однако технология, оптические свойства и доказательства для конкретных показаний могут различаться. Если клинический эффект изучался для определённого устройства или способа подачи света, это не означает автоматически, что любой прибор с похожим цветом или длиной волны даст тот же результат.

Различаются аппараты и способом доставки излучения: через контактный зонд, аппликатор на расстоянии, оптическое волокно, сканирующую головку или несколько излучателей одновременно. У одного аппарата может быть несколько насадок, но это не делает их взаимозаменяемыми. Они могут отличаться площадью выходного окна, геометрией пучка, допустимыми режимами и требованиями к очистке.

Важно также не путать **класс лазерной опасности** с классом медицинского изделия в регуляторной системе. Первый описывает потенциальную опасность оптического излучения; второй — регуляторные требования к изделию в конкретной юрисдикции. Ни один из этих классов сам по себе не отвечает на вопрос, подходит ли аппарат конкретному пациенту.

Паспорт аппарата: что нужно знать до включения

Хорошая привычка — познакомиться с прибором не в момент, когда пациент уже лежит на кушетке, а заранее. Руководство производителя для этого не формальность, а карта допустимых действий и ограничений.

В нём следует найти:

- назначение устройства и предусмотренные способы применения;
- совместимые аппликаторы, кабели и другие принадлежности;
- доступные длины волн, режимы, диапазоны мощности и единицы измерения;
- инструкции по установке, запуску и завершению работы;
- значение индикаторов, предупреждений и кодов ошибок;
- требования к очистке, хранению, техническому обслуживанию и проверкам;
- правила обращения с аппаратом при сбое;
- условия, при которых использовать устройство нельзя.

Точный перечень сведений зависит от модели и страны. Учреждению также нужны документы, позволяющие понять историю конкретного экземпляра: модель и серийный номер, дату ввода в эксплуатацию, проведённые проверки и ремонты, сроки следующего обслуживания, записи о неисправностях. Если в кабинете несколько похожих аппаратов, серийный номер — не бюрократическая мелочь: именно он связывает конкретное устройство с его историей.

В руководстве важно различать **заданное значение**

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «Литрес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на Литрес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.