

АДАПТИВНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ

Д.А. БОРОЗЕНЕЦ

Аннотация. Описан метод и прибор, способный повысить качество проводимых лазеротерапевтических процедур, на примере восстановления организма после стресса. Разработана методика расчёта оптимальной программы лечения. Эксперимент проведен на 13 здоровых добровольцах возрастом 20–55 лет. Оценены содержание кислорода в крови, динамика клеточного иммунитета и переход геля в золь во время неблагоприятных для организма изменений в окружающей среде. Тесты проведены в различных режимах от непрерывной подачи излучения до импульсного с различной частотой, в итоге результат совпал с прогнозируемым. Для лиц среднего возраста, над которыми проведены эксперименты, наблюдалась положительная динамика восстановления клеточного иммунитета, давления и содержания кислорода в крови при регулярном проведении процедур, хотя последний имел временный эффект. Изложены возможности системы и предложены методики усовершенствования метода и прибора.

Ключевые слова: пульсовая волна, адаптивная лазерная терапия, освечивание крови.

ВВЕДЕНИЕ

Лазерная терапия имеет огромный потенциал в излечении и предупреждении воспалительных процессов и снижении уровня стресса, а также стимулирует иммунитет, активизирует эндокринные органы, способствует регенеративным процессам в организме. При этом лазерная терапия является простой и доступной процедурой из-за низкой стоимости аппаратов и их обслуживания.

Она способна не только снизить, но и в ряде случаев заменить медикаментозную терапию. В будущем возможен симбиоз лазерной терапии с другими методиками, такими как радиология, за счет схожести принципов воздействия [1].

Как и при медикаментозной терапии, устранение симптомов с помощью лазерной терапии не гарантирует того, что лечение будет иметь системный характер и нормализует работу целевого органа.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Довольно распространённым методом лазерной терапии является внутривенное лазерное освечивание крови (ВЛОК), заявленный рядом авторов в качестве универсального и эффективного. Помимо «классического» варианта ВЛОК с использованием красного лазера (630 нм), всё более широко применяется методика лазерного ультрафиолетового освечивания крови (ЛУФОК) — длина волны 365–400 нм, и ВЛОК-525 в зелёной области спек-

тра — длина волны 525 нм [2]. Однако параметры лазерной терапии могут оказывать различный эффект, вплоть до его полного отсутствия для различных групп пациентов. И даже для одного и того же пациента процедура проявляет разную степень эффективности в разное время суток и времени года. При использовании постоянных частот лазерного спектра случается, что излучение не способно воздействовать на целевой орган в полной мере из-за периодических процессов в организме, таких как пульс, дыхание, тремор [3].

Врачи не имеют четкой информации о том, какая именно часть лазерной энергии достигает целевой области, как она воздействует на соседние ткани, теряются ли свойства лучей, такие как монохроматичность, поляризация и когерентность [4, 5], а также нет четкого представления о механизме лечения каждого конкретного заболевания, необходимом спектре излучения, невозможности оценивать терапевтический эффект в режиме реального времени [6]. В итоге это делает невозможным подбор индивидуальной программы для каждого отдельного пациента, что существенно снижает эффективность лечения. Таким образом, проблема дозиметрии и выбора оптимальных параметров лазеротерапии является очень важной при проведении процедур лазерной терапии. Это обуславливает необходимость ввода биологической обратной связи [7, 8], которая позволит учесть изменения в организме во время проведения процедур.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработать систему, которая позволит осуществлять автоматическую синхронизацию лазерной установки с ритмами пациента при изменении кровоснабжения тканей в режиме реального времени. Сконструировать прибор, способный реагировать на изменения показателей крови и на их основе динамически изменять программу лечения и оценивать ее эффективность. Сформировать базу оптимальных параметров для проведения процедур лазерной терапии на основе полученных результатов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для изучения этой проблемы был разработан прибор, условно состоящий из трех частей:

- 1) модуля автоматического измерения и регистрации пульсовой волны (рис. 1);
- 2) модуля обработки полученного сигнала и составления программы лечения на основе разбиения сигнала R-R на интервалы с их последующим анализом;
- 3) модуля управления статическими параметрами.

Для регистрации пульсовой волны использовался отражательный датчик HLC1395-002, неинвертирующий усилитель, собран на LM358, модулятор сигнала на основе транзистора 74НСТ14D, управляемого мультивибратором на триггере Шмидта для связи с персональным компьютером.

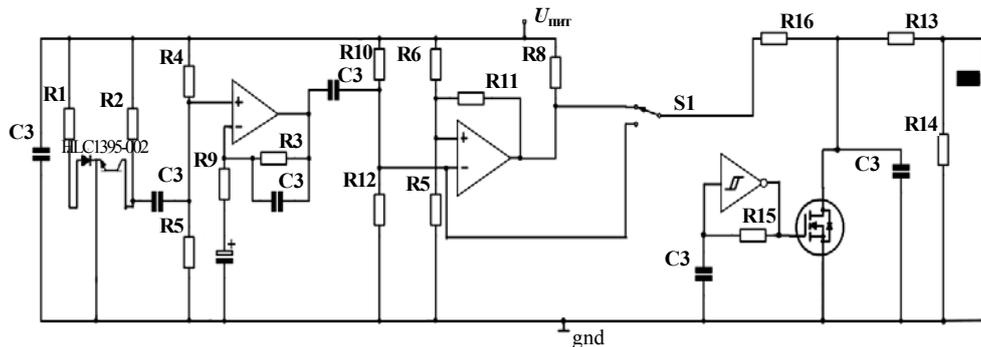


Рис. 1. Схема регистратора пульсовой волны

Полосовой фильтр обеспечивает пропускание от низких ($\sim 0,2$ Гц) до высоких (~ 26 Гц) частот.

Для реализации модуля управления и модуля генерации программы лечения был выбран микроконтроллер Atmega328 на базе Arduino, который может подключаться к компьютеру с помощью порта USB или аудиовхода микрофона.

Регистрация проводилась методом инфракрасной плетизмографии на отражение и просвет в конечностях.

Анализ результатов и их классификация проводились с помощью алгоритмов динамического программирования (DTW) и непрерывного вейвлет-преобразования (CWT) на трех основных паттернах (рис. 2):

- 1) пульсовая волна в норме;
- 2) высокого периферического сопротивления;
- 3) низкого периферического сопротивления.

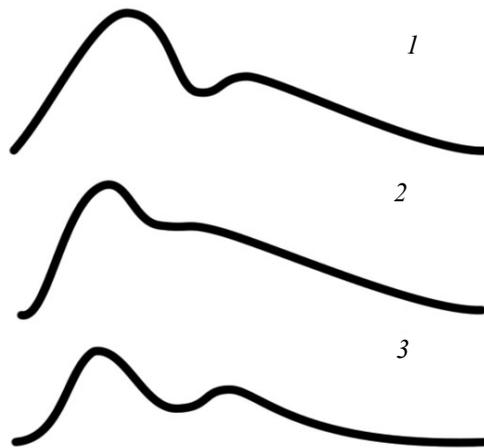


Рис. 2. Типы паттернов: 1 — пульсовая волна в норме; 2 — высокое периферическое сопротивление; 3 — низкое периферическое сопротивление

Исследования проводили на 13 здоровых добровольцах (6 женщин и 7 мужчин в возрасте от 20 до 55 лет) в течение одного месяца. Для выявления недельных различий результатов проводились еженедельные процедуры сеансами по 20 мин и соответствующими максимумами мощностей $0,5 \text{ мВт/см}^2$, 1 мВт/см^2 , 5 мВт/см^2 [9] с учетом количества крови в участке в определенный момент времени и использованием двух основных методик

лазерной терапии и двух таких же с добавлением обратной связи по пульсовой волне.

На протяжении эксперимента оценивались: содержание кислорода в крови при помощи инфракрасного и ультрафиолетового датчика на отражение; реакция иммунитета оценивалась с помощью дифференциальной термометрии при отсутствии каких-либо симптомов болезни, переход геля в золь методом скоростной киносъемки на лазерном проекционном микроскопе. Помимо этого, раз в неделю проводился общий анализ крови. Параллельно регистрировались источники неблагоприятных эффектов, таких как резкая смена погодных условий, эмоциональный стресс и пр. Отмечалось наличие или отсутствие корреляции с последующими сеансами лазерной терапии на протяжении трех дней с оценкой эффекта.

Разработанный метод позволяет минимизировать рассеивание лазерной энергии на соседние ткани путем синхронизации интенсивности лазерного излучения с количеством крови в целевом участке и позволяет внедрить собственную логику в процесс лечения, что повышает качество исследований влияния конкретно сконфигурированных лазерных установок на различные ткани человеческого организма. К сожалению, процесс таких исследований занимает длительное время, так как нет лазеров с управляемой спектральной характеристикой. Отсутствие лазерных установок с настраиваемыми спектральными характеристиками восполняется использованием нескольких установок.

Зарегистрированный сигнал и его характеристики совпадают с сигналом, полученным при кардиографическом исследовании, за исключением случаев, когда пациентом были произведены механические движения, наблюдается некоторое смещение во времени Δt , которое объясняется временем прохождения пульсовой волны до целевой точки (рис. 3).



Рис. 3. Зарегистрированный сигнал пульсовой волны длительностью 25 с

Модуль обработки сигнала распознает корректный тип пульсовой волны в 89% случаев без ошибок 2-го рода (когда сигнал, не принадлежащий к определенному классу, классифицируется как принадлежащий). Это является отличным результатом для систем, в которых пульсовая волна несет корректировочную функцию. В будущем возможно улучшение данного модуля в аппаратной части путем увеличения количества различных датчиков и замены микроконтроллера на более продуктивный. В программном обеспечении можно расширять базы паттернов и добавлять новые методы классификации и фильтрации.

Минимальная частота допустимых импульсов — 10 кГц, поскольку более низкая частота способна совпадать с ритмами внутриклеточных процессов и метаболизма, вызывая нарушение временного согласования [10]. Оптимальная частота импульсов составила 23 кГц; она не воспринимается клетками как дискретные и соответствует максимуму образования синглетного кислорода. Снижение концентрации кальция в цитоплазме при этом составляет менее 1 мкМ и усиливает энергетический обмен в клетке.

При проведении сеансов лазерной терапии с использованием инфракрасной лазерной установки с биосинхронизацией непосредственно после существенных изменений эмоционального состояния человека наблюдаются положительные изменения в организме, нормализуются давление, содержание кислорода в крови и клеточный иммунитет. Данный метод имеет преимущество перед классическими методами. Особенно это заметно для пожилых пациентов, в то время как эффект менее значителен для молодых во всех случаях, описанных в табл. 1.

Таблица 1. Время нормализации параметров

Параметр	Время, за которое показатели приобретают норму, ч		
	Без лазерной терапии	Классический подход	С использованием биосинхронизации
Давление	90	78	65
Содержание кислорода	30	9	7
Клеточный иммунитет	112	90	75

Следует отметить, что нормализация кислорода имеет кратковременный характер, и уже на следующий день отмечалось снижение сатурации на 1–1,5%, зарегистрированное до стресса. Замечена положительная динамика улучшения клеточного иммунитета при систематическом проведении лазеротерапевтических процедур у лиц, у которых наблюдалось его снижение. Отмечены незначительные колебания во время восстановительного процесса, характер которых установить не удалось.

Таким образом, разработаны параметры лазерной терапии для профилактики стрессов на основе следующих критериев.

1. Максимальная степень разжижения цитоплазмы в компартментах клетки, оценивая по увеличению амплитуды агрегации-деагрегации внутриклеточных микроструктур.
2. Увеличение и восстановление спектра ритмов микроциркуляции.
3. Повышение клеточного иммунитета по показателям дифференциальной термометрии между зонами подключичной впадины и проекцией тимуса.
4. Нормализация активности супероксиддисмутазы (СОД) эритроцитов крови.
5. Улучшение вегетативного статуса нормализации отношения частоты пульса к частоте дыхания.

Терапия проходила в четырех основных режимах: статическом непрерывном, статическом импульсном, динамическом непрерывном, динамическом импульсном (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение эффектов лазерного облучения разными методиками

Критерии оптимальности	Статистически непрерывный	Статистически импульсный	Динамически непрерывный	Динамически импульсный
	Эффект лазерной терапии			
Переход части геля в золь	–	+	+	++
Активность СОД	+	+	+	+
Уровень микроциркуляции	–	++	++	++
Продукция Т-лимфоцитов	–	+	++	++
Нормализация частоты пульса	+	++	++	++
Нормализация ритмов фрактальной размерности частоты пульса	++	+	–	+

Результат обусловлен тем, что в классическом подходе не учтены соотношение поглощения отражение и рассеивания лазерной энергии, индивидуальная дозировка, мощность и спектр излучения; не контролируется его состояние и ответная реакция организма.

ВЫВОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Разработан аппарат адаптивной лазерной терапии, который синхронизируется пульсовой волной, считываемой в режиме реального времени. Это открывает возможности дальнейших исследований в этой области. Предложены альтернативные методики проведения терапевтических сеансов, которые имеют преимущество перед классическим. В дальнейшем возможны усовершенствование аппарата и применение его в других отраслях медицины.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвин С.В. Основы лазерной терапии / С.В. Москвин. — Серия «Эффективная лазерная терапия». — Т. 1. — Тверь: Изд-во «Триада», 2015. — 600 с.
2. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии / С.В. Москвин. — Серия «Эффективная лазерная терапия». — Т. 2. — Тверь: Изд-во «Триада», 2014. — 896 с.

3. Загускин С.Л. Биоритмологическое биоуправление / С.Л. Загускин // В кн.: Хронобиология и хрономедицина / Под ред. Ф.И. Комарова и С.И. Рапопорта. — М.: Триада-Х, 2012. — С. 317–328.
4. Загускин С.Л. Критерии оптимальности параметров лазерной терапии / С.Л. Загускин, С.С. Загускина // Материалы Междунар. конф. «Лазерные и информационные технологии в медицине XXI века», II часть. — СПб.: МГУ им. И.П.Павлова. — 2014. — С. 349–350.
5. Шалобаев Е.В. Проблемы создания биологических обратных связей и их применение в сканирующих лазерных медицинских установках / Е.В. Шалобаев, Г.Н. Юркова, Ю.С. Монахов и др. // Известия ОрелГТУ. Серия. Машиностроение. Приборостроение. — 2011. — № 4. — С. 94–97.
6. Загускин С. Ритмы клетки и здоровье человека / С. Загускин. — Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2010.
7. Загускин С.Л. Лазерная и биоуправляемая квантовая терапия / С.Л. Загускин, С.С. Загускина. — М.: Квантовая медицина, 2005. — 220 с.
8. Шалобаев Е.В. Проблемы лазерной терапии / Е.В. Шалобаев, А.В. Дунаев, О.Д. Козырева // Сб. тр. II Всерос. конгресса молодых ученых. — СПб.: НИУ ИТМО. — 2013. — С. 66–67.
9. Дунаев А.В. Хронодиагностика с целью индивидуального дозирования лазерной терапии / А.В. Дунаев, С.Л. Загускин // Современные информационные технологии в диагностических исследованиях: Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 15 марта 2002 г.). — Днепропетровск: ПОРОГИ, 2010. — С. 113–116.
10. Шалобаев Е.В. Применение биологических обратных связей и средств томографии в лазерных сканирующих физиотерапевтических установках / Е.В. Шалобаев, Н.В. Леонтьева, Ю.С. Монахов и др. // Технологии живых систем. — 2010. — № 4. — С. 66–72.

Поступила 19.07.2018