УДК 616.311.2-002+616.314.18-002.4/-08.615.831

Ключевые слова: *светодиоды, импульсное низкоинтесивное световое излучение, заболевания тканей пародонта*

МЕХАНИЗМ ДЕЙСТВИЯ И ТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ МОДУЛИРОВАННОГО СВЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

© 2009 П. А. Лукьянович, А. А. Кунин, Б. А. Зон, С. Н. Панкова, В. Н. Гребенников, Н. В. Колбасова, В. И. Наскидашвили, Г. В. Пахомов, Т. А. Попова, О. А. Кумирова

Воронежская государственная медицинская академия им. Н. Н. Бурденко, Воронежский государственный университет, «Роспроминформ», Санкт-Петербург «Центр информационных технологий», Воронеж

Представлены результаты испытаний 15 экспериментальных приборов, в качестве основы для которых были использованы физиотерапевтические приборы «Светозар». Проведено клиническое обследование и лечение 39 больных с заболеванием тканей пародонта с использованием указанных приборов. Полученные авторами данные позволяют сделать вывод о наиболее эффективном использовании для лечения заболеваний пародонта аппаратов на основе импульсного низкоинтенсивного светового воздействия.

Несмотря на широкое распространение в практической медицине методов световой, в частности, лазерной терапии [7, 10], механизмы ее терапевтического воздействия остаются недостаточно выясненными. Нередко для объяснения успешности терапевтического применения лазеров отмечают важность когерентности и почти полной поляризации лазерного излучения. Такие утверждения нельзя считать обоснованными, поскольку всякое рассеянное в неоднородной аморфной среде электромагнитное излучение уже не обладает ни когерентностью, ни поляризацией, а видимое или инфракрасное излучение с длиной волны до 2000 нм полностью рассеивается в поверхностных тканях (за исключением глаз) на глубинах от долей до единиц миллиметра. Понимание этого обстоятельства в свое время стимулировало часть авторов настоящей работы на создание простого и эффективного прибора для световой терапии «Улокс» с использованием не лазера, а светодиодов с относительно узким спектром излучения [8, 12]. Позже на основе указанного прибора было создано устройство локального облучения красным светом «Светозар» [13], нашедшее широкое применение в терапевтической практике.

В физиотерапии обычно применяется низкоинтенсивное световое (НИС) воздействие, не приводящее к нагреву тканей организма более чем на 1° С. Как правило, мощность НИС не превышает 100 мВт/см^2. Многочисленными исследованиями [10] установлено, что эффекты терапевтического светового воздействия проявляются уже при мощностях излучения ~ 0.1 мВт/см^2. Такие интенсивности, помимо отсутствия значимого влияния локального нагрева, недостаточны для стимулирования прямых химических изменений в тканях, связанных с поглощением фотонов. Эти изменения становятся заметны, когда количество поглощаемых тканью фотонов сопоставимо с количеством молекул. Для красного НИС интенсивностью 100 мВт/см^2, основная часть которого поглощается на глубине до 1 см, отношение количества фотонов, поглощенных в течение характерного времени (< 10 мкс) фото- и биохимических реакций, к количеству молекул составляет не более 10^{-7}. Это позволяет уверенно утверждать, что механизмы воздействия НИС связаны не с непосредственным его влиянием на ткани, а с раскрытием запасенной в тканях организма энергии [1].

Действие НИС начинается с поглощения фотонов на хромофорах и стимулирования последующих первичных фотохимических реакций. В терапии чаще всего используется НИС красного и ближнего инфракрасного спектра. Из

тканей наиболее поглощающим фотоны компонентом является кровь. Количество поглощенных кровью фотонов в несколько раз превышает эту величину для других тканей [4].

Важный фактор терапевтического воздействия НИС — периодическая модуляция интенсивности излучения. Известно, что терапевтическое воздействие модулированного с определенной частотой НИС гораздо эффективнее воздействия НИС постоянной интенсивности с аналогичными другими характеристиками и равной усредненной по времени мощностью [11].

Как правило, применяемое для терапии импульсное НИС имеет частоту модуляции 50—100 Гц [2]. В одной из работ [3], при изучении механизмов очищения поверхности клеточных мембран от токсичных веществ, было обнаружено, что вызванная лазерным облучением крови деполяризация активности мембран, сопровождающаяся их «промывкой», происходит при частоте импульсов НИС ниже 100 Гц.

Указанный диапазон частот модуляции, с одной стороны, намного выше частот, характерных не только для биоритмов организма, но даже для дыхания (< 1 Гц) и частоты сердечных сокращений (~1—2 Гц).

Один из авторов настоящей работы обратил внимание на совпадение типичного периода модуляции терапевтического НИС в 10—20 мс, соответствующего 50—100 Гц, и характерного времени перезарядки клеточной мембраны, связанной с ее деполяризацией и последующей реполяризацией при электрическом пробое.

Электрическая перезарядка мембран наилучшим образом изучена для нейронов, поскольку на этом механизме основано распространение нервного импульса — потенциала действия (ПД). Электрическое поле ПД может распространяться на дистанции 1—2 мм, сравнимые с расстоянием между перехватами Ранвье, располагающимися на миелинизированных аксонах нейронов. Несмотря на это потенциал внеклеточного электрического поля, создаваемого одним ПД, недостаточен для прямой передачи ПД между соседними нейронами без участия синапсов. Однако если ПД синхронно возбуждать не на одном, а на нескольких аксонах нервного волокна, потенциалы электрического поля, вызываемые ПД, суммируются. С увеличением количества одновременно возбуждаемых нейронов с некоторого момента ситуация качественно меняется — ПД могут передаваться соседним нейронам уже без участия синапсов [15].

Сопоставление изложенных факторов позволяет предположить, что во время воздействия на биологические ткани НИС некоторой достаточной интенсивности возникает кумулятивный эффект нарастания количества клеток, мембраны которых испытывают электрический пробой за счет влияния электрических полей из-за одновременной перезарядки мембран соседних клеток. Электрическая перезарядка мембран сопровождается открытием ионных каналов, что приводит к резкому возрастанию проницаемости мембран [15].

Эффект воздействия модулированным по мощности НИС должен быть максимально выражен, если пробой клеточных мембран на облучаемом участке ткани произойдет одновременно, что можно вызвать короткими по сравнению со временем деполяризации интенсивными световыми вспышками, а время чередования вспышек сделать близким к рефрактерному периоду.

Само по себе вынужденное увеличение проницаемости клеточных мембран за счет интенсификации их периодического пробоя приводит к нарушению гомеостаза клетки и вряд ли способно благотворно повлиять и на сами клетки, и на образуемые ими ткани. Скорее всего, терапевтический эффект возникает благодаря компенсаторному действию всего организма в ответ на «травмирующее» влияние НИС. В этом случае становятся важными максимальная локализация зоны облучения НИС, а также подбор времени и периодичности проведения процедур. Иначе, если компенсаторные возможности организма будут исчерпаны, эффект терапевтического воздействия НИС может стать отрицательным. Однако сегодня уже накоплен большой опыт проведения процедур с использованием НИС и существует множество методик лечения различных стоматологических заболеваний [6, 9, 14].

Для проверки сделанных предположений на кафедре терапевтической стоматологии Воронежской государственной медицинской академии в течение 2008 г. были проведены испытания 15 экспериментальных приборов (табл. 1), в

Таблица 1

Характеристики приборов для воздействия НИС, использованных при клинических испытаниях

№ прибора	Средняя плотность излучения (мВт/см^2)	Максимум спектра излучения (нм)	Частота модуляции (Гц)	Скважность импульсов
1	8	660	100	4
2	17	640	100	4
3	5	640	125	4
4	5	640	100	«полуволна»
5	5	640	100	2
6	5	640	125	4
7	5	640	100	4
8	5	640	83	2.9
9	14	720	100	4
10	6	640	0	1
11	6	640	100	4.3
12	6	640	99	3.3
13	6	640	89	3.7
14	6	640	83	4
15	6	640	66	3.7

качестве основы для которых были использованы физиотерапевтические приборы «Светозар» [13]. 12 приборов (№№ 3—8, 10—15) имели одинаковый спектр излучения красного света (максимум длины волны — 640 нм, дисперсия — 20 нм) и приблизительно одинаковую усредненную по времени плотность мощности излучения (5—6 мВт/см^2). Три прибора (№№ 1, 2, 9) обладали более высокой мощностью излучения, у двух из них (№№ 1, 2) при похожем спектре излучения красного цвета плотность излучения составляла 8 мВт/см^2 (№ 1) и 17 мВт/см^2 (№ 2), у одного прибора (№ 9) практически все излучение было локализовано в ближней инфракрасной области (максимум — 720 нм, дисперсия — 30 нм), а плотность мощности излучения составляла 14 мВт/см^2. Коротковолновый хвост излучения прибора № 9 незначительно проникал в область красного видимого света, что позволяло визуально контролировать положение и размер светового пятна на облучаемой поверхности. Основное отличие приборов друг от друга состояло в вариации режимов модуляции мощности излучения, как по частоте следования импульсов, так и по их скважности.

Объектом терапевтического воздействия были выбраны больные с заболеваниями тканей пародонта, а именно: с хроническим генерализованным катаральным гингивитом и хроническим генерализованным парадонтитом. Как было показано в работах [5, 8], терапевтическое воздействие НИС на воспаленную слизистую полости рта практически всегда дает положительный клинический эффект. Кроме того, при проведении терапии заболеваний тканей пародонта приборами с разными режимами модуляции появляется возможность корректного их сравнения при практически одновременном терапевтическом воздействии в рамках одного организма.

Испытания проводились в два этапа. Задача первого этапа состояла в отработке унифицированной методики терапевтического воздействия и поиске способа объективизации получаемых

Таблица 2

Результаты первого этапа испытаний

№ прибора	Начало эффекта (день)	Излечение (день)
3	2—3	5
4	2	4
5	3	6.5
6	3	4.5
7	1—2	3
8	1—2	4

данных клинических картин для их последующей статистической обработки и сравнения

На первом этапе терапевтическому лечению подвергались 12 пациентов с хроническим генерализованным катаральным гингивитом и 8 — с хроническим генерализованным парадонтитом средней степени.

Клинические исследования включали: опрос, визуальный осмотр, методику определения глубины десневой борозды и пародонтальных карманов, кровоточивость десен, макрогистохимические исследования, определение гигиены полости рта (ИГ), индекс гингивита (PMA), пародонтальный индекс (ПИ). Оценка состояния костной ткани осуществлялась с помощью рентгенологического исследования. Попытка объективизации данных путем статистической обработки результатов на основе анализа двух показаний «день улучшения — день излечения» (отражены в табл. 2) оказалась неудачной в связи с большим разбросом времени клинической динамики, сопоставимым с периодом лечения.

В результате была разработана методика бинарных сравнений, основанная на достаточной статистике использования врачом, как минимум, двух приборов, позволяющая ему сделать вывод о том, можно ли предпочесть один прибор другому, и оценить степень этого предпочтения.

На втором этапе было проведено клиническое обследование и лечение 8-и больных с хроническим генерализованным катаральным гингивитом и 6-и больных с хроническим генерализованным парадонтитом средней степени. Одновременно на втором этапе были проведены клиническое обследования и лечение 5-и больных с хроническим катаральным гингивитом с применением более мощных приборов (№№ 1, 2, 9).

Результаты обоих этапов испытаний на основе обработки статистических данных отражены в табл. 3.

На основании полученных данных были сделаны следующие выводы:

Подтверждено, что импульсное НИС дает более выраженный терапевтический эффект по сравнению с непрерывным НИС той же усредненной по времени мощности.

Оптимальная частота модуляции терапевтического НИС, вероятно, находится в интервале 80—90 Гц.

Наблюдается более выраженный терапевтический эффект для НИС с большей скважностью импульсов по сравнению с НИС с меньшей скважностью импульсов. Это косвенно подтверждает предположение об изложенном выше механизме влияния модуляции НИС.

Эффект увеличения мощности НИС сопоставим с эффектом использования импульсного НИС более высокой скважности при оптимальной частоте модуляции, что так же косвенно подтверждает изложенные выше предположения.

Воздействие НИС ближнего инфракрасного диапазона (максимум — 720 нм) дало меньший терапевтический эффект по сравнению с НИС видимого света (максимум — 640 нм) даже при большей мощности излучения.

Предложенные аппараты со светодиодными излучателями удобны, компактны и просты в работе в стоматологическом кабинете. Полученные клинические результаты дают возможность использовать их в лечении стоматологических заболеваний. Перспективным следует считать их дальнейшее совершенствование для поиска эффективного спектра НИС для создания оптимального терапевтического эффекта.

Таблица 3

Группы приборов, сформированные по предпочтениям на основе бинарных оценок

Группа	«Хуже всех»	«Нормально»	«Хорошо»	«Очень хорошо»	«Лучше всех»
Номера приборов	10	3—6, 9, 12, 15	1,7,8,11	13,14	2

Список литературы

1. *Волькенштейн М. В.* Биофизика / М. И. Волькенштейн. — М. : Наука, 1981.

2. *Дурнов Л. А.* Экспериментальные и клинические исследования эффективности низкоинтенсивного лазерного излучения в онкологии / Л. А. Дурнов, Л. И. Гусев, С. А. Балакирев // Материалы VIII Международ. науч.-практ. конф. по квантовой медицине. — М., 2002. — С. 220—222.

3. *Земцев И. З.* Механизмы очищения поверхности биомембран от токсических веществ при лазерном облучении крови и других биотканей / И. З. Земцев, В. П. Лапшин // Новые направления лазерной медицины : материалы международ. конф. — М., 1996. — С. 323—325.

4. *Клебанов Г. И.* Мембранные механизмы фотобиологического действия низкоинтенсивного лазерного излучения / Г. И. Клебанов. — М. : ВИНИТИ, 2000. — Т. 6. — С. 26—44.

5. *Кудрявцев О. А.* Отверждение композиционных материалов диодным светом : автореф. дис. … канд. мед. наук / О. А. Кудрявцев. — Воронеж, 2000. — 26 с.

6. Лазеротерапия стоматологических заболеваний : учеб. пособие / А. А. Кунин [и др.]. — Воронеж, 2008. — 129 с.

7. Лазеры в клинической медицине / под. ред. С. Д. Плетнева. — М. : Медицина, 1996.

8. *Макахлен А. М.* Диагностика и лечение катарального гингивита с применением лазерной терапии : дис. … канд. мед. наук / А. М. Макахлен. — Воронеж, 1998. — 134 с.

9. *Панкова С. Н.* Лечение хронического катарального гингивита с применением диодного света / С. Н. Панкова, С. В. Ерина, Л. И. Лепехина // Современные технологии в терапевтической стоматологии : материалы науч. симпозиума, Воронеж, 12—13 февр. 2002 г. — Воронеж, 2002. — С. 64—69.

10. Применение низкоинтенсивных лазеров в клинической практике / под. ред. О. К. Скобелкина. — М., 1997.

11. *Рогаткин Д. А.* Низкоинтенсивная лазерная терапия. Взгляд физика на механизмы действия и опыт применения [Электронный ресурс] / Д. А. Рогаткин, В. В. Черный В. В. — (http://bsfp.media-security.ru/bsff2/bb05bn5.htm).

12. Устройство для облучения биообъектов : пат. № 95112031 / Б. А. Зон [и др.] ; опубл. 12.01.1996.

13. Устройство локального облучения красным светом «Светозар» : регистрац. удостоверение Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития РФ № ФС 02012006/5294-06.

14. Эффективность различных видов лазерного излучения в комплексном лечении заболеваний пародонта / А. А. Кунин [и др.] // Актуальные проблемы лазерной медицины : материалы Респ. науч.-практ. конф., Воронеж, 29—30 окт. 1998 г. — Воронеж, 1998. — С. 59.

15. From neuron to brain / J. G. Nicholls [et al.]. — Sinauer Accociates Inc., 2001. (рус. пер. От нейрона к мозгу / под. ред. П. М. Балабана, Р. А. Гиниатуллина. — М. : УРСС, 2003).

Action mechanism and therapuetic effects of modulated light radiation

P. A. Lukyanovich, A. A. Kunin, B. A. Zon, S. N. Pankova, V. N. Grebennikov, N. V. Kolbasova, V. N. Naskidashvily, G. V. Pakhomov, T. A. Popova, O. A. Kumirova

Voronezh N. N. Burdenko State Medical Academy, Voronezh State University, "Rosprominform", St. Petersburg, "Information Technology Center", Voronezh

Keywords: *light-emitting diode, impulse low intensity light radiation, parodentium tissue diseases*

Test results of 15 experimental devices have been presented, they being based on the use of physiotherapeutic devices "Svetozar". Clinical examination and treatment of 39 patients with parodentium tissue diseases has been carried out with the use of the devices mentioned. The data obtained makes it possible to consider impulse low intensity light radiation apparatuses to be the most effective in treatment of parodentium diseases.