

Термометрический контроль процесса фототерапевтического воздействия

Аннотация

Проведены медико-биологические исследования с целью выявления соотносимых параметров отклика биообъекта на фототерапевтическое воздействие. Исследования проводились в ходе фототерапевтического лечения больных с постмастэктомическим синдромом, перенесших операцию удаления пораженной злокачественной опухолью молочной железы. Использовались матричные светодиодные облучатели с длинами волн от 660 до 860 нм. Для определения соотносимых параметров отклика использовались двухканальный цифровой термометр и двухканальный фотоплетизмограф. Показано, что как амплитуда пульсовой кривой, так и температура поверхностных тканей могут служить соотносимыми параметрами отклика, на основе контроля которых могут быть созданы системы с обратной связью, позволяющие устанавливать в индивидуальном порядке дозу оптического воздействия как для отдельного сеанса фототерапии, так и для всего курса.

Введение

Современную медицину уже невозможно представить без широкого применения лазерного излучения либо в качестве хирургического инструмента, с помощью которого осуществляют оперативное вмешательство, либо как средства эффективного терапевтического воздействия на организм больного [1]–[4].

Внедрение лазерной техники в лечебный процесс началось с 1960 года, спустя несколько месяцев после создания Т.Г. Мейманом рубинового лазера. К настоящему времени лазерное излучение успешно применяется для лечения больных практически во всех сферах клинической медицины. Однако многие аспекты взаимодействия лазерного излучения с организмом больного остаются малоизученными и трудно предсказуемыми.

С системной точки зрения все многообразие эффектов локального воздействия лазерного или монохроматического некогерентного излучения на живую биологическую ткань можно, до известной степени условно, разделить на три группы: нейтральные, деструктивные и биокорректирующие. Нейтральные реакции тканей в ответ на локальное лазерное действие, очевидно, обусловлены отнюдь не отсутствием реакций, а их слабой выраженностью и неспецифичностью происходящих изменений. Это, по-видимому, и не позволяет надежно зафиксировать их современными методами регистрации.

Деструкция тканей обусловлена выраженной реакцией термических повреждений фрагмента живой биологической ткани, подвергнутого локальному воздействию высокоинтенсивного лазерного излучения.

Корректирующий эффект, вызванный взаимодействием биологической ткани с низкоинтенсивным электромагнитным излучением оптического диапазона, представляет собой совокупность множества разнообразных реакций, возникающих и развивающихся не только в структурах того фрагмента ткани, на поверхность которого действует излучение, но и в тканях, органах и системах всего организма в целом. При этом направленность эффекта может быть диаметрально противоположной – от биостимулирующей до полного угнетения функции. Очевидно, что характер реактивных изменений обусловлен особенностями воздействующего на ткань электромагнитного излучения.

При планировании и осуществлении фототерапии определение понятия дозы как обобщенной количественной меры фактора, воздействующего на биообъект и вызывающего в нем регистрируемые морфофизиологические изменения, предполагает прежде всего определение минимальной поглощенной энергии электромагнитного излучения оптического диапазона, взаимодействие которого с тканью способно вызвать в ней какие-либо объективно регистрируемые изменения. Однако до настоящего времени количественное определение этого фактора остается практически неустановленным.

Между тем продолжающееся насыщение медицинских учреждений современной лазерной техникой и прогрессивное развитие и внедрение в практику медико-технических технологий делают крайне необходимой количественную оценку

дозы электромагнитного излучения оптического диапазона и влияния этой характеристики на терапевтический эффект.

Применительно к оценке эффективности лазерной терапии дозу низкоинтенсивного излучения, необходимую для достижения терапевтического эффекта, принято учитывать либо как суммарную энергию излучения, падающего на единицу площади поверхности облучаемого фрагмента ткани (поверхностная доза), либо как энергию, накопленную в единице объема этого фрагмента биообъекта (объемная доза) [5], [6]. При этом предполагается, что в клинической практике величина поверхностной и объемной доз определяется весьма приблизительно и, в связи с отсутствием учета реакции биообъекта, не имеет принципиального значения. Практикующим врачом она используется в лучшем случае как достаточно условный критерий.

По нашему мнению, достоверно судить о достаточности используемого электромагнитного излучения оптического диапазона в процессе осуществления фототерапии можно и нужно путем динамической регистрации и критической оценки одного или нескольких частных откликов организма, формирующихся в процессе его взаимодействия с низкоинтенсивным излучением. Главными критериями выбора того или иного отклика должны быть обязательность его возникновения и техническая возможность регистрации. Избранный отклик, безусловно, должен свидетельствовать об изменениях состояния организма пациента в результате воздействия на него низкоинтенсивного оптического излучения. При этом динамика количественных показателей отклика должна объективно отражать изменения, происходящие в конкретных структурах организма больного.

Рассматривая пациента в процессе фототерапии как обобщенный биообъект или как «черный ящик», на который осуществляется внешнее воздействие, необходимо выделить его отклик на это воздействие. Отсутствие возможности отследить и количественно охарактеризовать отклик делает нереальным планирование результатов лечения и их коррекции путем измерения параметров воздействующего излучения. В свете изложенного, с учетом сложности объекта и системного характера его взаимодействия с низкоинтенсивным излучением, понятие отклика требует специального определения.

Под этим термином будем понимать совокупность параметров больного, свидетельствующих об изменениях гомеостаза его организма в процессе низкоинтенсивного фотовоздействия. Количественной мерой отклика является совокупность соотносимых физических параметров [5], допускающих измерение доступными средствами. Измеряя эти соотносимые параметры, можно планировать и предсказывать терапевтический эффект.

Таким образом, построение функциональной зависимости между совокупностью параметров фотовоздействия и соотносимыми параметрами отклика и использование этой функциональной зависимости для управления самим воздействием можно считать основной задачей дозиметрии.

В литературе эта зависимость, как правило, именуется «доза-эффект» [5], [6]. Однако если рассматривать ее в упрощенной трактовке, не учитывающей полноту набора парамет-

ров – как воздействия, так и отклика, то абсурдные выводы будут неизбежны.

В ходе проведенных медико-биологических исследований, результаты которых представлены в предлагаемой статье, подтверждается возможность выявления соотносимых параметров отклика биообъекта на заданное воздействие, измеряемых с помощью биофотометрических и термометрических приборов [7]–[9]. Это означает, что на основе измерения соотносимых параметров отклика можно выработать сигнал обратной связи, обеспечивающий процессу терапевтического воздействия дозиметрический контроль и адаптивность, что, в свою очередь, обеспечит существенное продвижение по пути решения основной задачи дозиметрии применительно к фототерапии.

Оборудование и применяемые методики

Для терапии больных постмастэктомическим синдромом мы применяли матричные диодные излучатели двух типов, созданные совместно сотрудниками ЦКБ им. Н.А. Семашко и МГТУ им. Н.Э. Баумана и ИРЭ «Полус»: с длиной волны 664 и 860 нм, а также лазерный терапевтический аппарат «АЗОР-2К-02» с матричным излучателем МН (CL 2) (660 нм). При проведении терапевтических процедур отечную конечность помещали в матричный излучатель на 20...30 мин, а матрицу аппарата «АЗОР 2К 02» устанавливали на кожу шеи и надплечья одноименной стороны, осуществляя терапевтическое воздействие непосредственно на мягкие ткани пораженной конечности, а также на структуры шейно-плечевого сосудисто-нервного пучка.

В качестве соотносимых параметров отклика организма на терапевтическое воздействие были выбраны показатели температуры кожи внутренней поверхности нижней трети предплечья здоровой и пораженной отеком конечностей. Характеристики пульсовой волны снимали с артерий ногтевой фаланги первого пальца каждой из конечностей. Для регистрации этих величин использовали плетизмограф ФИПК-2К [7] и двухканальный цифровой термометр [9]. На основе разработанного нами программного обеспечения проводилось сопоставление амплитуд плетизмограмм и показателей температуры, зафиксированных на обеих руках, в течение первого сеанса лечения, а затем – средних значений этих параметров в течение всех последующих десяти сеансов курса терапии.

Результаты и их обсуждение

Медико-биологические измерения были проведены в процессе фототерапевтического лечения 16 пациенток с постмастэктомическим синдромом, характеризующимся отеком мягких тканей конечности, нарушением иннервации, крово- и лимфообращения и другими прогрессивно нарастающими расстройствами. Полученные пульсовые и температурные кривые обрабатывались при помощи системы компьютерной алгебры Mathcad.

Снижение разности показателей амплитуды пульсовых кривых и разности показателей температуры в поврежденной и здоровой конечностях позволяет утверждать, что крово- и лимфообращение, а, следовательно, тепловой и жидкостный обмен в

тканях поврежденной отеком конечности нормализуются. Наблюдаемое восстановление тактильной и болевой чувствительности кожи, усиление тонуса мышц и увеличение объема движений в суставах по мере проведения сеансов фототерапии соответствовали регистрируемым изменениям параметров субъективной (по ощущениям пациенток) и объективной (по показаниям вышеуказанных приборов) оценки терапевтического эффекта.

На рис. 1 видна тенденция к уменьшению разности величин амплитуд плетизмограмм больной и здоровой рук в ходе курса облучения. Это свидетельствует о статистически достоверном улучшении кровообращения как в облучаемой, так и в противоположной конечностях, что, в свою очередь, указывает на системный характер изменений в организме пациентки, обусловленных локальным действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения.

Стоит отметить, что полученные результаты были индивидуальны, что обусловлено специфическими особенностями организма каждой из 16 пациенток, присущими им сопутствующими заболеваниями, а также длительностью и агрессивностью протекания постмастэктомического синдрома. Средние значения показателей амплитуды пульсовых кривых по мере проведения сеансов фототерапии не только приближаются друг к другу, но и в целом становятся стабильными.

На рис. 2 представлена временная зависимость разности величин амплитуды плетизмограмм, полученных на облучаемой и необлучаемой конечностях в течение одного сеанса. Видно, что скорость изменения амплитуды плетизмограмм облучаемой конечности превышает таковую противоположной конечности, хотя среднее значение этих показателей имеет выраженную релаксационную тенденцию.

Анализ изменений показателей температуры кожи верхних конечностей в процессе осуществления курса фототерапии показал разнообразие реакций организма пациенток на фотовоздействие. Отмечая, что ни одна из испытуемых не принимала после операции лекарств и не посещала терапевтических процедур до проведения фототерапии, можно проследить определенную зависимость выраженности температурного отклика от длительности периода времени, прошедшего от окончания радикального лечения, проведенного по поводу рака молочной железы, до начала курса фототерапии. Спустя шесть и более месяцев после проведения радикального лечения у больных наблюдается снижение температуры кожи обеих конечностей на 1...2 °С (рис. 3).

Полученные результаты позволяют утверждать, что изменения показателей температуры кожи и плетизмограмм, получаемых с обеих верхних конечностей у больных постмастэктомическим синдромом в процессе проведения восстановительной фототерапии, могут быть выбраны в качестве соотносимых параметров отклика организма на фотовоздействие. Индивидуальные особенности флуктуаций результатов измерений и процесса выздоровления подтверждают, что данное терапевтическое воздействие требует биодозиметрического контроля. Задавая энергетические параметры применяемых

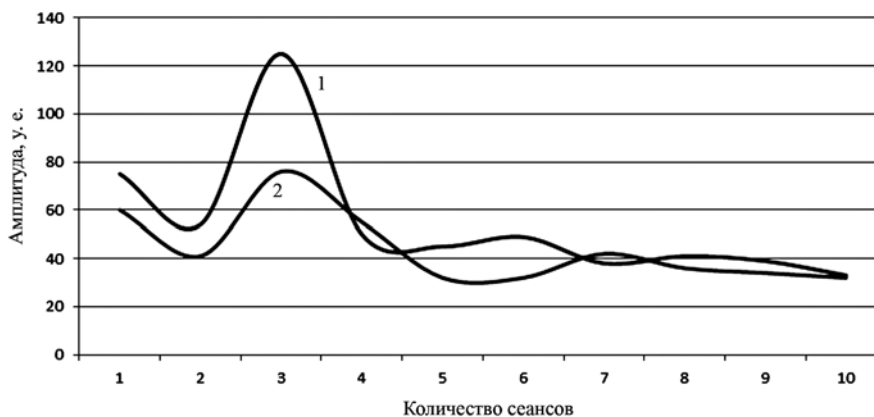


Рис. 1. Зависимость среднего значения амплитуд пульсовых кривых для облучаемой и необлучаемой конечностей от количества сеансов фототерапии: 1 – облучаемая рука; 2 – необлучаемая рука

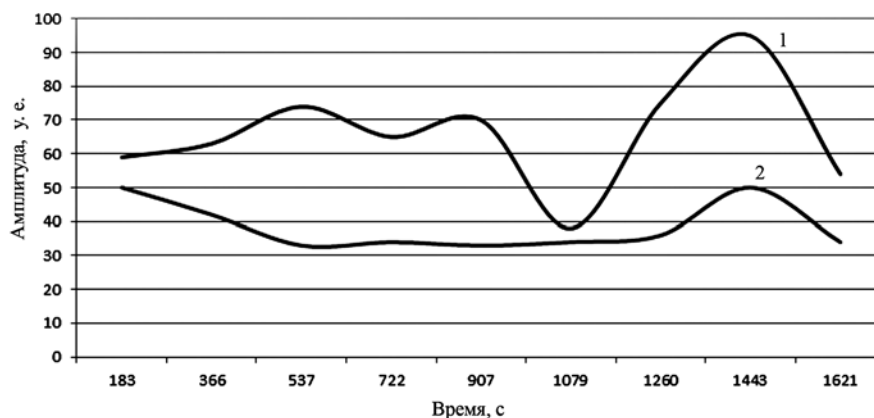


Рис. 2. Временная зависимость среднего значения амплитуд для облучаемой и необлучаемой конечностей в течение одного сеанса облучения: 1 – облучаемая рука; 2 – необлучаемая рука

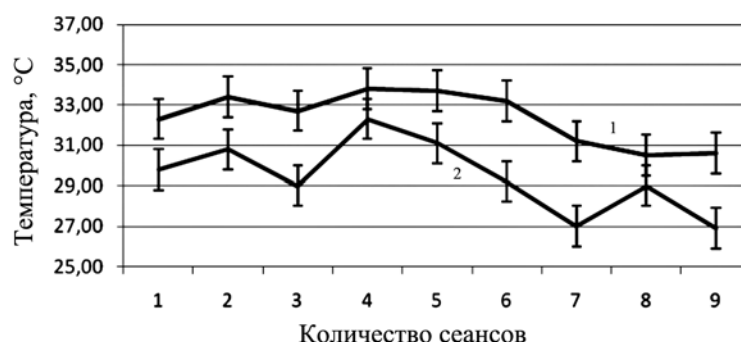


Рис. 3. Изменение температуры поверхности кожи в зависимости от номера сеанса для пациентки, перенесшей операцию за полгода до курса фототерапии: 1 – облучаемая рука; 2 – необлучаемая рука

излучателей и взяв за основу выбранные параметры отклика организма, можно создать системы с обратной связью, позволяющие проводить курсы терапевтического воздействия одновременно с мониторингом процесса выздоровления.

Заключение

Агрессивность методов, традиционно используемых для радикального лечения больных раком молочной железы, неизбежно приводит к развитию патологического комплекса, объединяемого понятием «постмастэктомический синдром». Его прогрессивное развитие неизбежно приводит к стойкой инвалидизации больных, обуславливая не только соматическое, но и психоэмоциональное страдание. Успешность коррекции этих нарушений во многом зависит от адекватности проведения фототерапии, позволяющей возобновить утраченную организмом способность к саморегуляции и самоорганизации функциональной способности тканей, органов и систем. Эффективность фототерапии в первую очередь зависит от адекватности выбора дозы низкоинтенсивного электромагнитного излучения оптического диапазона.

Всю совокупность фотобиологических эффектов, возникающих при взаимодействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения оптического диапазона с организмом больного, можно представить как комплекс фотохимических реакций, представляющих собой ответную реакцию организма, являющуюся, по сути, интегральной системной реакцией, контроль течения которой в процессе фототерапии можно осуществлять с помощью термометрии и плетизмографии. Анализ получаемых при этом данных также позволяет оптимизировать дозу излучения, необходимую для получения терапевтического эффекта.

Список литературы:

1. Илларионов В.Е. Основы лазерной терапии. – М.: Респект, 1992. 122 с.
2. Ларюшин А.И., Илларионов В.Е. Низкоинтенсивные лазеры в медико-биологической практике. – Казань: Абак, 1997. 276 с.

3. Москвин С.В., Буйлин В.А. Низкоинтенсивная лазерная терапия. – М.: ТОО «Фирма «Техника»», 2000. 724 с.
4. Буйлин В.А., Ларюшин А.И., Никитина М.В. Свето-лазерная терапия. Руководство для врачей. – Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2004. 256 с.
5. Dorshel K., Muller G. How to define dosimetry for laser treatment // SPIE Institute Series. 1989. Issue 5. P. 10.
6. Muller G., Sliney D.H. Dosimetry of laser radiation in medicine and biology // SPIE Institute Series. 1989. Issue 5. P. 38.
7. Змиевской Г.Н., Галкин М.А., Ларюшин А.И., Новиков В.А. Кардиодиагностика на основе анализа фотоплетизмограмм с помощью двухканального плетизмографа // Фотоника. 2008. № 3. С. 30.
8. Змиевской Г.Н., Костюков Д.В. Измерение параметров периферического кровотока // Мир измерений. 2008. № 7. С. 13.
9. Змиевской Г.Н., Галкин М.А., Ларюшин А.И., Хизбуллин Р.Н. Локальный разогрев облучаемой области как дозозависимый соотносимый параметр отклика организма на фототерапевтическое воздействие / Инженерно-физические проблемы новой техники. Сб. материалов 9-го Всероссийского совещания семинара. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. С. 66.

Михаил Леонидович Стаханов,
зав. отделением лазерной хирургии,
ЦКБ № 2 РЖД им. Н.А.Семашко,
д-р мед. наук, профессор,
Григорий Николаевич Змиевской,
канд. физ.-мат. наук, доцент,
Иван Павлович Семчук,
студент 3-го курса,
Вадим Викторович Филатов,
студент 6-го курса,
МГТУ им. Н.Э. Баумана,
г. Москва,
e-mail: lasersemashko@mail.ru