

БИОУПРАВЛЯЕМАЯ ТЕРМОДОЗИМЕТРИЯ ЭЛЕКТРОСВЕТОЛАЗЕРНЫХ ПРОЦЕДУР

А.Ларюшин, д.т.н., НИИ «Полюс» им. М.Ф.Стельмаха, fgup_polus@mail.ru
М.Галкин, МГТУ им. Н.Э.Баумана, Р.Хизбуллин, КГЭУ

Практика использования терапевтических методов лечения показывает, что не всегда вмешательство в состояние гомеостатических систем больного организма безвредно. Появились свидетельства отрицательных реакций при лечении физиотерапевтическими методами. Врач должен руководствоваться принципом – «не навреди!». Созданный прибор биотермодозиметр позволяет корректировать терапевтические параметры и адаптировать их под конкретного пациента.

Проблема дозиметрии в медицине – построение функции «воздействие – ответная реакция» – особо актуальна. Определение набора параметров ответных реакций организма на внешнее воздействие – это основа решения задачи биодозиметрического контроля: построение функциональной зависимости между параметрами воздействия и параметрами ответной реакции; использование этой функциональной зависимости для управления самим воздействием. Проведение терапевтических процедур всегда тесно связано с понятием количества воздействия на биообъект и индивидуальным контролем достаточности воспринятого количества воздействия организмом. Например, при проведении процедуры электростимуляции предстательной железы можно использовать физическую величину температуры, по которой, регулируя параметры воздействия, можно добиться эффективности восприятия этого воздействия. При терапии воздействие направлено на конкретный орган-«мишень». Однако орган является частью общего организма человека и изменение его состояния отражается на состоянии всего организма.

Термометрический метод рассматривает температурную реакцию органов на электро-световое воздействие с двух

точек зрения. Во-первых, как вторичный эффект, позволяющий дозировать терапевтические параметры воздействия. Во-вторых, как первичный эффект, применяющий температуру в качестве биологического параметра обратной связи между воздействием и температурной реакцией на него органа-«мишени», оптимизирующий параметры процедур – частоту и силу тока, плотность мощности и время электро-светового облучения [3, 6]. Измерение температуры человека – важная медицинская задача. Измерение температуры можно проводить, например, с целью диагностики. Для этого существуют соответствующие приборы – термометры медицинские прецизионные цифровые типа ТМПЦ-1 производства НИИ «Полюс», Москва (рис.1) [1, 3, 5–11].

Однако только диагностикой температурные измерения в медицине не ограничиваются. Не менее важной является область терапии, где температура рассматривается как параметр, характеризующий интенсивность протекания физиологических процессов. Терапия часто нацелена на то, чтобы изменить скорость протекания тех или иных физиологических процессов. А так как температура связана с этим непосредственно, то ее вполне можно применять в качестве косвенного индикатора.

При проведении терапии энергетический поток от аппарата передается органу пациента, где частично поглощается. Это изменяет ход некоторых физиологических процессов, температура в определенных участках тела организма также изменяется.

МЕДИЦИНСКАЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ЗАДАЧИ

Каждый пациент индивидуален как по уровню поглощенной энергии организмом, так и по чувствительности к принятой энергии. Учесть данный эффект практически невозможно, можно выделить только сильно усредненные оценки. Но терапия не стоит на месте. В настоящее время основным требованием к терапевтическим процедурам является индивидуализация подхода к каждому конкретному пациенту. Достичь этого возможно только при использовании своеобразной биологической обратной связи, которая позволила бы адаптировать терапевтическую процедуру для каждого конкретного пациента. В качестве сигнала этой обратной связи можно использовать как прямые, так и косвенные физические параметры. Температура – широко используемый параметр, легко измеряемый термометром или термодозиметром. В настоящей статье внимание уделяется одному из таких приборов – термодозиметру [4, 5].

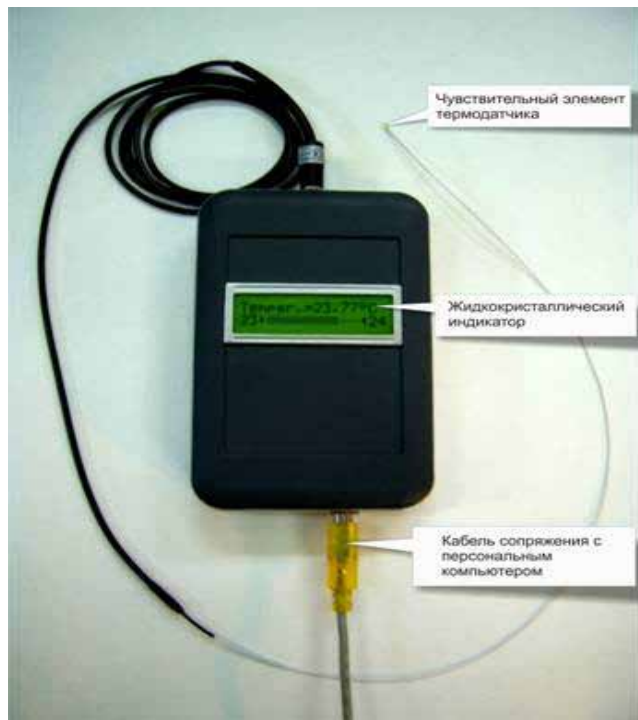


Рис.1. Термометр медицинский прецизионный цифровой (ТМЦ-1)

Термодозиметр – это прибор, который позволяет не просто измерять температуру в конкретной области организма пациента, но и вычислять интегральное значение температуры. Проиллюстрируем принцип работы прибора и его использование примером лазерной терапевтической процедуры в урологии, нацеленной на увеличение интенсивности кровотока. Врач имеет возможность измерять температуру органа-мишени, на который нацелена процедура. Измерение температуры проводится до процедуры, вычисляется ее тренд и среднее значение. Затем начи-

нтегральная температура сравнивается с установленной величиной, являющейся своего рода «энергетической емкостью» процедуры. Как только интегральная температура достигнет заданной величины, процедура прекращается. Таким образом, несмотря на различие чувствительности к внешнему энергетическому потоку организма каждого конкретного пациента, интегральная величина температуры является тем фактором, который позволяет проводить процедуру «одинаково» для каждого конкретного пациента. Это первый шаг к адаптации процедуры под каж-

дается терапевтическая процедура. Одновременно записывается временная метка, соответствующая началу процедуры. Значение температуры органа-мишени продолжает регистрироваться и записываться. Из каждого следующего значения температуры вычитается среднее значение, вычисленное до процедуры. Полученные разности интегрируются по времени. Вычисленная

лого пациента. Определяя время, в течение которого интегральная величина температуры достигла заданной величины, можно провести сравнительный эксперимент по влиянию параметров терапевтического воздействия на скорость изменения интегрального значения температуры. Если считать, что лазерное излучение стимулирует кровообращение облучаемой области, то увеличение температуры этой области говорит об увеличении интенсивности кровотока – цель терапевтической процедуры достигнута. Таким образом, чем быстрее увеличивается интегральная температура, тем более эффективным оказывается воздействие. Можно провести эксперименты, которые определили бы, какие параметры физического воздействия сильнее всего влияют на интегральную температуру. Затем при проведении терапевтической процедуры техническая система сможет автоматически изменять параметры воздействия для увеличения скорости роста интегральной температуры, т.е. увеличения эффективности приведенной в качестве примера процедуры. Это уже адаптация процедуры под каждого конкретного пациента. Опять же, время достижения интегральной температуры заданного значения может быть величиной, определяющей конкретное состояние пациента в данный момент, т.е. с течением проведения серии процедур возможно при прочих равных условиях изменение данного времени,



Рис.2. Структурная схема термодозиметра

что может свидетельствовать об улучшении состояния кровотока.

ПРИБОРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕРМОДОЗИМЕТРА

Термодозиметр – это медицинский прибор, предназначенный для косвенного измерения дозы воздействия какого-либо энергетического фактора на организм человека посредством измерения косвенного физического параметра – температуры. С точки зрения измерения, термодозиметр – это интегрирующий термометр. Прибор измеряет температуру в исследуемом участке организма человека, передает данную информацию на компьютер для обработки цифрового сигнала температуры и интегрирования его по времени. В результате вычисляется величина, косвенно определяющая дозу терапевтического воздействия на организм. Принципиальным отличием термодозиметра от термометра ТМПЦ-1 является замкнутость системы термодозиметр – терапевтический аппарат (рис.2).

Сигнал с датчика температуры поступает на термометрический блок, где обрабатывается, усиливается и оцифровывается. Затем оцифрованный сигнал температуры поступает в компьютер, в программный модуль обработки сигнала. Здесь выполняется цифровая фильтрация сигнала, нормализация его под антропометрические и физиологические параметры пациента, а также корректируется в соответствии с применяемой процедурой. После обработки сигнал поступает в модуль интегрирования, где происходит вычисление величины,

являющейся косвенным отображением дозы воздействия. Измеряемая интегральная величина непрерывно отображается в соответствующем модуле. Также в модуле отображения выводится информация о ходе процедуры. Врач в любой момент может через модуль управления прервать процедуру. После достижения интегральной величины заданной в соответствии с процедурой значения модуль управления автоматически отправляет управляющий сигнал отключения на модуль связи с внешним устройством, который управляет работой терапевтического аппарата. Работа аппарата прекращается, процедура считается удачно завершённой.

Внешний вид и схема включения термодозиметра показана на рис.3. Назовем его условно ТДМ-



Рис.3 Подключенный к компьютеру термодозиметр и комплектующие: 1 – термодозиметр; 2 – чувствительный элемент термодатчика; 3 – сетевой адаптер; 4 – ПК; 5 – USB-кабель сопряжения с ПК

ПЦ-1 – термодозиметр медицинский прецизионный цифровой, так как он конструктивно представляет собой ТМПЦ-1, доработанный до ТДМПЦ-1.

Технические характеристики

- Диапазон измеряемой температуры от 5 до 50°C.

- Относительная погрешность прибора при измерении температуры 0,1%.

- Разрешение при измерении температуры 0,01°C.

- Тип используемого температурного сенсора – термистор с отрицательным температурным коэффициентом – D-F1345 фирмы-производителя EXACON.

- Абсолютная погрешность измерения температуры некалиброванным термистором в диапазоне 25–50°C составляет ±0,1°C (возможна дополнительная калибровка).

- Темп измерения – 15 знач./с.

- Максимальное время интегрирования температуры – 7 суток.

ВОЗМОЖНОСТИ ТЕРМОДОЗИМЕТРА

Одно из возможных применений термодозиметра – это контроль и адаптация процедуры электролазерной терапии в урологии. Очень важно для каждого конкретного пациента корректировать величину воздействия. Например, в соответствии

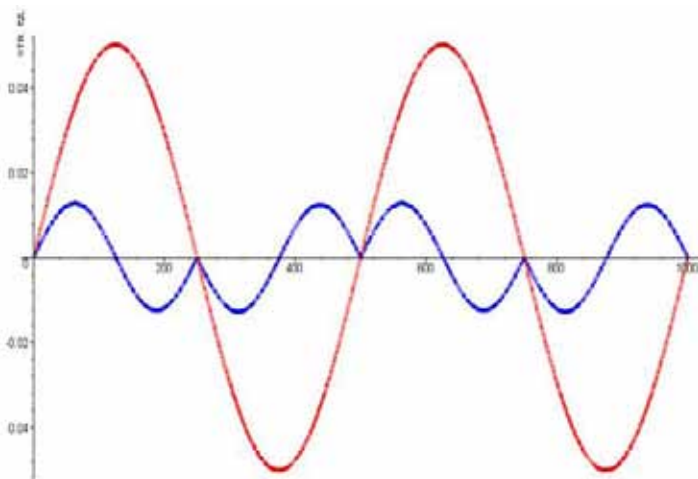


Рис.4. Сигналы измеряемой температуры: синий – измеряемое интегральное эффективное значение температуры, красный — измеряемая относительная температура

с антропометрическими показателями пациента вычисляется суммарная величина дозы. Далее до начала процедуры измеряется температура органа-мишени. Затем полученное значение сохраняется, а с началом процедуры из всех новых значений температуры вычитается сохраненная величина. Далее при проведении процедуры возможно изменение величины воздействия, поэтому при вычислении интегральной величины происходит умножение на соответствующий коэффициент эффективности воздействия в зависимости от величины воздействия. Так как график изменения величины воздействия в зависимости от времени априори известен (он задается типом процедуры), то известен и закон изменения множителя интегральной величины температуры. По достижении величины заданного значения процедура прекращается. Это одно из возможных применений термодозиметра. Программная реализация алгоритмов обработки и вычисления интегральной величины температуры позволяет настраиваться под различные методики, исследовать новые способы вычисления параметров, связанных с эффективностью воздействия. Например, возможно вычислять такой параметр, как интегральное эффективное значение температуры.

Суть параметра заключается в том, что при проведении тера-

певтической процедуры значение температуры изменяется. И критерием эффективности процедуры является скорость изменения температуры. Чем она выше, тем больше эффект, т. е. тем более эффективным оказывается полученное организмом интегральное значение. Например, если измеряемый сигнал относительной температуры – синусоида, то график эффективного интегрального значения будет подобен тому, который изображен на рис.4. По оси абсцисс отложены номера отсчетов температуры, по оси ординат – безразмерная величина, а данные относительной температуры умножены на коэффициент $1/20$ с целью одновременного отображения двух графиков в близких масштабах. Чем выше значение температуры относительно значения, измеренного до процедуры, тем выше эффективность процедуры.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Исследование термометрических методов контроля ответной реакции организма на физиотерапевтическое воздействие подтверждает, что контактный метод с использованием термисторов с отрицательным температурным коэффициентом обеспечивает необходимый для решения медицинских задач биотермодозиметрический контроль терапевтических параметров электросветолазерного облучения.

Доработанный ТМЦП-1 до уровня термодозиметра ТДМЦП-1 может использоваться как в исследовательских целях для выявления параметров воздействия, оказывающих наибольший эффект, так и в качестве корректора процедуры, позволяющего адаптировать терапию под различные аппараты, конкретного пациента и управлять терапевтическими параметрами с компьютера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкин М., Хизбуллин Р., Новиков В. и др. Температурный отклик электролазерного воздействия на организм. – Фотоника, 2009, №6.
2. Джексон Р. Новейшие датчики./Под ред. В. Лучинина. Мир электроники. – М.: Техносфера, 2007.
3. Кромвелл Л., Ардитти М., Вейбел Ф. и др. Медицинская электронная аппаратура для здравоохранения./Под ред. Р.И. Утямышева. – М.: Радио и связь, 1981.
4. Ларюшин А., Галкин М., Хизбуллин Р. и др. Измерение температурной реакции органов человека на электролазерное воздействие. – Стандарты и качество. Мир измерений, 2010, №3.
5. Ларюшин А., Галкин М., Мишанин Е. и др. Применение двухканального лазерного фотоплетизмографа в урологии.– Стандарты и качество. Мир измерений, 2010, №9.
6. Ремизов А. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1996.
7. Childs B. Practical Temperature Measurement. – Oxford, 2001. -ISBN 0-750-65080-X.
8. Nicholas J., White D. Traceable Temperatures. Chichester: John Wiley & Sons, 2001.
9. Zurbuchen J.M. Precision thermometry. – Measurement science conference tutorial «Thermometry – fundamental and practice», 2000.
10. ГОСТ Р 50267.0.3-99. Изделия медицинские электрические.
11. ГОСТ 15.013-94. Система разработки и постановки продукции на производство. Медицинские изделия.