

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОРОГА БОЛЕВОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ АКУПУНКТУРНЫХ ТОЧЕК К ТЕРМОРАЗДРАЖИТЕЛЮ

О.Г. Бугаев, С.Т. Державин

*Предприятие «ДИНАС», Россия, г.Чебоксары, 428009, а/я 28, тел.(8352) 41–40–90,
<http://www.ryodoraku.ru>, <http://www.dinas.ryodoraku.ru>, E-mail:dinas@ryodoraku.ru*

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

Классификация способов измерения порога болевой чувствительности точек акупунктуры (ТА) к термораздражителю. Научное обоснование методов управления нагревателем, использующим в качестве активного элемента инфракрасный светодиод (ИК–диод).

ВВЕДЕНИЕ

Специалистам, работающим с диагностическими термотестами, частным случаем которого является тест Акабана, необходимы простые в пользовании диагностические приборы, с помощью которых можно получать достоверные данные. На данный момент, наиболее перспективны две группы приборов: отдельные – портативные, с использованием современной микропроцессорной техники, – и приборы в составе компьютерных программно–аппаратных комплексов. В качестве активных элементов в приборах, реализующих тест Акабана, чаще всего применяют ИК–диоды.

Тест Акабана основан на измерении чувствительности к термораздражению ТА входа-выхода классических меридианов. Считается, что у практически здорового человека, чувствительность симметричных точек к термораздражению примерно одинакова. По крайней мере, различия в чувствительности между симметричными точками правой и левой стороны должны быть минимальны.

Автор теста К. Акабана использовал "жертвенную (курительную) палочку", с помощью которой проводил исследования некоего «параметра чувствительности» выбранной ТА к внешнему термораздражителю. Перед процедурой исследования поджигался рабочий конец "жертвенной палочки" – вставленной в специальную ручку, – тление которой обеспечивало равномерную отдачу тепла. Методика исследования была проста: над дистальными (концевыми) точками классических меридианов рук и ног равномерно "клевали" (движениями вверх и вниз) зажженным концом (для того, чтобы у пациента не возникало привыкания к воздействующей температуре).

Через определенное время, пациент чувствовал постепенное нарастание тепла, которое внезапно переходило в чувство сильного жжения. Момент перехода от тепла к болевому ощущению был очень неожиданным и легко фиксировался самим пациентом.

В таблицу автор заносил количество движений, выполненных до появления у пациента болевых ощущений. Этот способ требовал хорошей подготовки врача и не обеспечивал получение объективных данных.

С момента разработки теста Акабана было создано большое количество специальных приборов, некоторые из которых позволяли получать только цифровые данные чувствительности симметричных ТА к термораздражению, а другие – дополнительно обрабатывали результаты исследований с помощью специальных программ.

В большинстве приборов, для определения порога болевой чувствительности ТА, в качестве нагревателя применяют арсенидогаллиевые меза-эпитаксиальные излучающие диоды (например: АЛ 107б и АЛ 115а). Так как только от 1 до 5 % электроэнергии, подводимой к ИК-диоду, преобразуется в излучение – а все остальное идет на его нагревание, – можно говорить, что ИК-диод, в этом случае, используется в качестве электронагревателя.

ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ИК-ДИОДОВ

Некоторые конструктивные и технологические характеристики ИК-диодов, используемых в термотестах в качестве нагревателя, можно отнести к преимуществам, другие – к недостаткам.

| Достоинства | Недостатки |
|--|--|
| 1. точность измерения температуры (благодаря линейной зависимости падения напряжения на р-п переходе от температуры) | 1. заметная инерционность (отношение теплоемкости к рабочей поверхности) |
| 2. надежность (большое количество циклов «включение-выключение») и стойкость к токовым перегрузкам | 2. малое падение напряжения, из-за чего для получения заданной мощности приходится пропускать через ИК-диод достаточно большой ток |
| 3. малая теплоемкость | 3. хрупкость |
| 4. хорошая теплопроводность | |
| 5. малые масса (не более 0,17 г) и размеры (площадь активной поверхности около 3 мм ²) | |
| 6. низкая цена | |

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАННЫХ (тест Акабане)

Современные приборы, для определения порога болевой чувствительности ТА к термораздражителю, можно разделить на три группы:

- 1) Без контроля параметров ИК–диода (наиболее простые);
- 2) С контролем температуры ИК–диода;
- 3) Учитывающие количество теплоты, переданной ИК–диодом пациенту.

1-я группа (без контроля параметров ИК–диода)

Главным достоинством, и одновременно преимуществом, приборов 1-й группы, является их невысокая себестоимость. К недостаткам, изначально присущим данной категории приборов, относятся:

а). Отсутствие температурной обратной связи, из-за чего управление процессом нагревания может осуществляться только током через ИК-диод. Обычно задаются два параметра: частота и мощность. Последний параметр чаще всего задается изменением скважности импульсов.

б). Отсутствие данных о температуре ИК–диода (в промежутках между включениями ИК–диод остывает).

в). Отсутствие данных о соотношениях (квотах) расходуемой энергии и невозможности определения количества энергии, ушедшей на нагревание тестируемой ТА пациента. Часть энергии, подведенной к ИК–диоду, передается пациенту через кожные покровы, а другая – расходуется на нагревание самого ИК–диода и соприкасающихся с ним поверхностей корпуса датчика и внешней среды.

г). Зависимость температуры ИК–диода (и соприкасающихся с ним частей корпуса датчика) в начале измерения от:

– его температуры в конце предыдущего съема (для первого измерения это обычно комнатная температура);

– промежутка времени между измерениями;

– теплоемкости ИК–диода и корпуса датчика.

Как результат, первое измерение бывает неправильным из-за того, что начальная температура кристалла ИК–диода равна комнатной температуре и на его нагревание требуется много энергии. Последующие измерения должны проводиться с равными паузами между ними для обеспечения одинаковой начальной температуры ИК-диода.

д). Измеряемый параметр всего один – время (в секундах) до появления неприятных (болевых) ощущений у пациента.

Данные, полученные с помощью приборов первой группы, не отличаются точностью и объективностью. Например, если два разных врача – на одном и том же приборе первой группы, – проведут два исследования одной ТА у одного пациента, то полученные данные могут иметь значительный разброс.

2-я группа (с контролем температуры ИК-диода)

Введение обратной связи по температуре позволяет контролировать температуру ИК-диода. Появляется возможность задания графика изменения температуры по времени. Измерение всегда начинается при одинаковой температуре кристалла ИК-диода. Далее температура начинает расти по заданному закону. Обычно также вводится небольшая модуляция (колебания температуры), которая препятствует аккомодации (привыканию) пациента к термовоздействию. Исследуемый (значимый) параметр – время или температура появления болевых (неприятных) ощущений у пациента.

Этот способ значительно лучше предыдущего. Разные врачи, пользуясь таким прибором, могут получать одинаковые данные у одного пациента (при одинаковых настройках прибора и одинаковой силе прижатия датчика к измеряемой ТА). Таким образом, данные, полученные с помощью такого метода, можно считать объективными.

Но здесь возникает вопрос: какие же данные можно получить рассматриваемым способом?

Проведем такой эксперимент: проложим тонкий лист бумаги между рабочей поверхностью ИК-диода и тестируемой ТА. Бумага увеличит тепловое сопротивление (от ИК-диода к тепловым рецепторам кожи). Из-за этого, фиксация пациентом таких же ощущений (как без листа бумаги), потребует значительно большего времени и/или температуры ИК-диода. Кожа – так же как и бумага, – является хорошим теплоизолятором. Например, толстый кожный покров присущ мозолям, из-за чего бывает затруднено тестирование точки «Чжи-инь» (расположена латерально на мизинце ноги). Следовательно, данные, полученные с помощью приборов второй группы, зависят от состояния кожных покровов пациента. Соответственно, нельзя дифференцировать термочувствительность и толщину кожи пациента в исследуемых ТА.

3-я группа (учитывает количество теплоты, переданной ИК–диодом пациенту)

Так же, как и в предыдущей группе, задается график изменения температуры ИК–диода по времени, но в качестве диагностического критерия берется количество тепла, переданного от ИК–диода пациенту, до появления у последнего предусмотренных ощущений. Сохранив объективность измерений, приборы данного типа приобретают возможность компенсации разной толщины кожи пациента.

Что будет, если провести измерение в одной и той же ТА непосредственно и проложив тонкий лист бумаги между точкой и контактной поверхностью ИК–диода (как в предыдущем случае)?

Теперь время исследования, конечно же, увеличится, а скорость передачи тепла от ИК–диода пациенту уменьшится. Таким образом, результаты исследования, как с бумагой, так и без нее, будут практически одинаковыми. В этом случае, компенсируется разная сила прижатия рабочей поверхности ИК–диода к измеряемой ТА. Кроме того, становится возможным сравнение данных, полученных при различных графиках изменения температуры по времени.

Уменьшение скорости нарастания температуры приводит к уменьшению скорости теплопередачи при одновременном увеличении времени съема данных; то есть, как и в предыдущем случае, результаты исследований не будут отличаться. Соответственно, можно говорить о том, что параметры, измеряемые приборами с применением данного метода, более объективны, чем простое измерение времени возникновения болевых ощущений у пациента.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ НАГРЕВАТЕЛЕМ (ИК-диодом)

С контролем температуры термодатчика (ИК–диода) все, примерно, понятно: заданная температура сравнивается с фактической, и автоматический регулятор принимает решение о включении нагрева ИК–диода. Но и здесь есть некоторые, не всеми учитываемые, нюансы. Вспомним теорию автоматического управления [1], согласно которой разность между заданной и фактической температурой называется ошибкой. Ошибка подается на вход регулятора, который и управляет нагревателем. Регуляторы бывают различных видов.

Пропорциональные – усиливают ошибку и этим сигналом управляют нагревателем. Их преимущество – устойчивость; недостаток – не нулевая статическая ошибка. Если заданная и фактическая температуры равны, то ошибка равна нулю и, как ее не усиливай, все равно получится ноль. Соответственно, чтобы нагреватель включился, ошибка не должна быть равна нулю.

Пропорционально-интегральные – кроме ошибки, учитывают также ее интеграл. Преимущество этого вида регуляторов – нулевая статическая ошибка; недостаток – проблемы с устойчивостью (не правильно рассчитанный и настроенный регулятор может привести к возникновению автоколебаний).

При равных заданной и фактической температурах, ошибка равна нулю, а ее интеграл не меняется. В этом случае, именно интегральная составляющая и задает мощность нагревателя.

Пропорционально-интегрально-дифференциальные – учитывают дополнительно производную ошибки по времени. При тех же свойствах, что и у пропорционально-интегральных регуляторов, наличие дифференциальной составляющей позволяет улучшить поведение системы в переходных процессах и ее устойчивость. Особенно это актуально для дискретной (цифровой) системы, где имеется склонность к возникновению небольших автоколебаний (устойчивость в большом и не устойчивость в малом).

Если в приборе программным способом реализован пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор, это обеспечит нулевую статическую ошибку и минимальные автоколебания температуры. Кроме того, обеспечивается возможность измерения энергии, затраченной на нагревание ИК-диода.

ПРОЦЕСС ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ТЕПЛОТЫ, ПЕРЕДАННОЙ ОТ ИК-ДИОДА ПАЦИЕНТУ

Предположим, что имеются два совершенно одинаковых прибора.

Что будет, если – задав им одинаковый график изменения температуры по времени, – рабочей поверхностью ИК-диода первого прибора коснуться какого-либо предмета (например, измеряемой ТА пациента), а датчиком второго прибора не касаться никаких поверхностей?

Конечно, энергия, затрачиваемая на нагревание ИК–диода первого прибора, будет больше, чем у второго. Если из энергии, затраченной первым прибором (на нагревание ИК–диода и предмета, которого он касается), вычесть энергию, затраченную вторым прибором (только на нагревание ИК–диода), то можно вычислить энергию, переданную от первого прибора к нагреваемому предмету (исследуемой ТА). Так как связь между энергией и теплотой очень проста: 4,2 Дж равны 1 Кал – легко рассчитать количество тепла, переданного ИК-диодом предмету. На самом деле, конечно, необязательно иметь второй прибор – достаточно построить его математическую модель.

Математическая модель, соответствующая дифференциальному уравнению третьей степени, обеспечивает достаточную для практики точность. Для перехода от безразмерной величины, рассчитываемой по этому уравнению, к реальным значениям, нужно знать коэффициент теплоотдачи ИК–диода. Расчет этого коэффициента должен определяться специальным режимом настройки, который может обеспечить получение необходимых данных о взаимодействии измерительной системы с окружающей средой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные приборы, реализующие тест Акабана (и портативные, и компьютерные), могут использовать любой из рассмотренных способов измерения данных, что определяется их ценовой категорией и технологическими возможностями разработчиков и изготовителей. Проблема выбора метода измерений зачастую определена задачами, которые стоят перед исследователями и пониманием технических и теоретических аспектов рассмотренных методов получения объективных данных с исследуемых ТА.

Для получения более достоверных данных, необходимо применение в измерителях порога болевой чувствительности пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов и специальных математических моделей, учитывающих внешние параметры процесса измерений.

Рассмотренные способы измерения данных в тесте Акабана, конечно, не исчерпывают все методы фиксирования событий, но определяют направления подхода к более объективному и целостному пониманию проблем, возникающих в процессе самого важного звена диагностических процедур – процесса измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский В.А., Попов Е.П. «Теория систем автоматического управления», Изд-во «Профессия», 2004 г.-752с.