DOI: 10.18411/vntr2024-174-4

УДК 621.036:681.20

РЕАКЦИИ ЧЕЛОВЕКА НА ТЕПЛОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ В РАЗНЫХ ЧАСТЯХ ТЕЛА

© Александр Анатольевич Шульженко, Михаил Борисович Модестов
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А.Благонравова Российской академии наук, Москва, Россия
aa_shulzhenko.01@mail.ru

Аннотация. *В настоящей работе проведены лабораторные натурные эксперименты по изучению возможности измерения реакции человека на тепловое воздействие, отслеживаемой путем измерения температуры на поверхности тканого электронагревателя, расположенного на поверхности тела, что является новизной. Измерения проводились в разных областях тела человека, при близком по уровню тепловом воздействии и использовании одних и тех же методов и средств измерения температуры, термопар. Измерения показали, что реакция на тепловое воздействие в виде реакции периферического сосудистого русла в различных областях тела человека имеет различный характер. Работа представляет интерес для разработчиков одежды с обогревом, нагревателей, физиологов, различных специалистов в области медицины.*
Ключевые слова: *тканые электронагреватели, контактный обогрев, периферическая микроциркуляция, коэффициент теплоотдачи.*

HUMAN REACTIONS TO THERMAL EXPOSURE IN DIFFERENT PARTS OF THE BODY

© Alexander Anatolyevich Shulzhenko, Mikhail Borisovich Modestov
Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
aa_shulzhenko.01@mail.ru

Abstract. *In this work, laboratory natural experiments were conducted to study the possibility of measuring the human reaction to thermal exposure, monitored by measuring the temperature on the surface of a woven electric heater located on the body surface, which is new. Measurements were carried out in different areas of the human body, with a similar level of thermal exposure and using the same methods and means for measuring temperature, thermocouples. The measurements showed that the reaction to thermal exposure in the form of a reaction of the peripheral vascular bed in different areas of the human body has a different character. The work is of interest to developers of heated clothing, heaters, physiologists, and various specialists in the field of medicine.*
Keywords: *woven electric heaters, contact heating, peripheral microcirculation, heat transfer coefficient.*

Использование тканых электронагревателей в медицине широко известно. В основном оно связано с термокомпенсацией тепловых потерь у пациента, например, у ожоговых больных [1], или с нагревом объекта до определенной температуры, например, при размораживании плазмы крови [2]. В последнее время была выявлена возможность при контактном нагреве человека ткаными электронагревателями и измерении температуры на их поверхности получения информации об изменении температуры на его поверхности, за счет изменений, происходящих в периферической микроциркуляции крови [3].

В результате проведенных натурных экспериментов были получены результаты, показывающие характер изменений температуры во времени при одинаковом тепловом воздействии на человека, но в разных частях тела.

Схема измерения тепловых параметров показана на рис. 1.

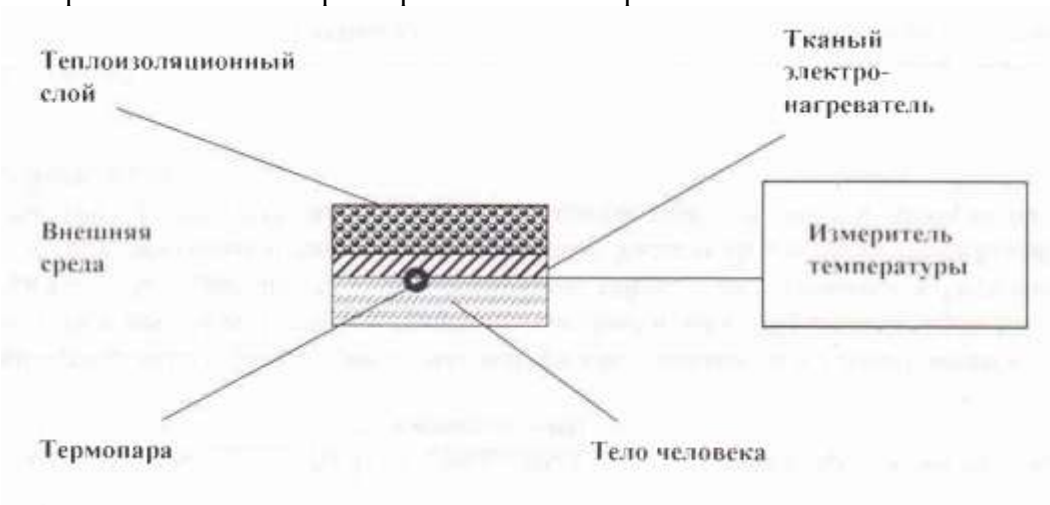


Рис. 1. Схема измерения тепловых параметров.

Измерение температуры производилось цифровым термометром с выносной термопарой фирмы Huger Electronics GmbH, модель SA880SSX с диапазоном измерения температур от -50ºС до 260ºС. Погрешность измерения в диапазоне температур от -49ºС до 105ºС составляла – 0,1ºС.

Были проведены эксперименты в двух местах на поверхности тела человека.

В первом случае, место расположения нагревателя и термопары находилось на поверхности тела человека в области почки (рис. 2).

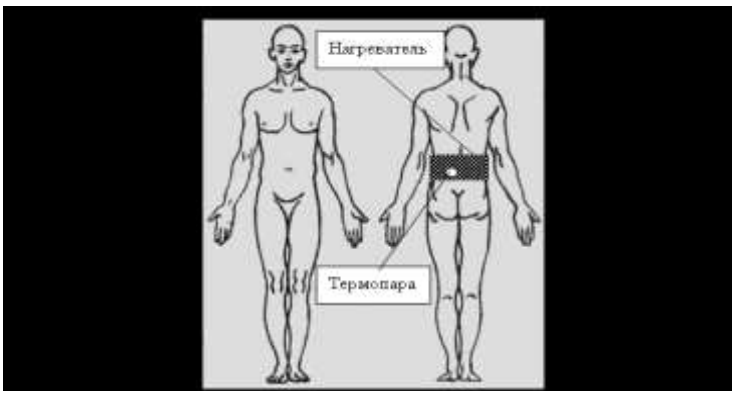


Рис. 2. Место расположения в первом случае тканого электронагревателя и термопары на поверхности тела человека.

В качестве нагревателя использовался тканый электронагреватель мощностью - 3,6 Вт, а в качестве тепловыделяющих элементов - углеродные нити.
В течение 10 минут надетый на тело человека нагреватель был отключен. Затем, фиксировалась температура на поверхности нагревателя. После фиксации температуры, на 11 минуте, производилось включение нагревателя. Измерения температуры проводились непрерывно через каждые 2 мин. до температуры 42,5ºС.
Результат измерения температуры во времени показан на рис. 3-1

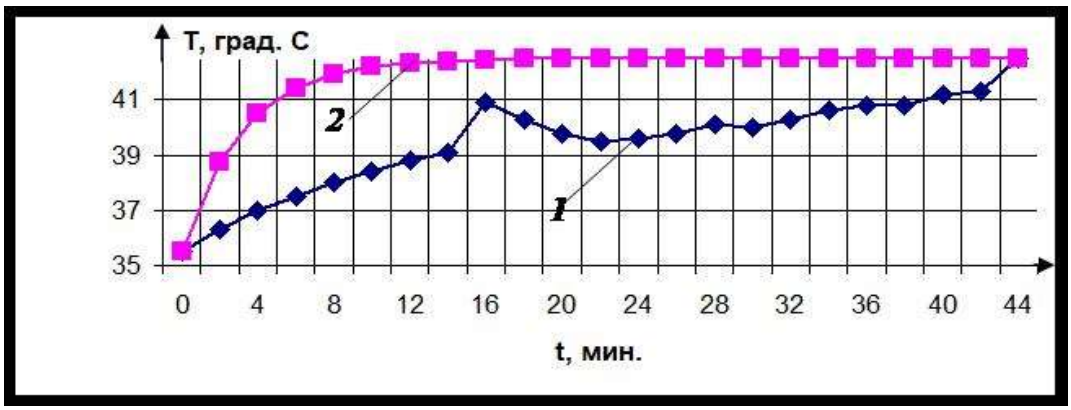


Рис. 3. Изменение температуры на поверхности тканого электронагревателя, расположенного на теле человека в области почки, полученное: 1) при проведении эксперимента (при переменном коэффициенте теплоотдачи); 2) при постоянном коэффициенте теплоотдачи.

Тепловое воздействие на тело человека вызывает изменение коэффициента теплоотдачи тела человека за счет изменений кровотока в периферическом сосудистом русле [3].
Используя полученные данные T(t) (3-1), можно отметить, что не все реакции, происходящие в периферическом сосудистом русле, за исключением аксонных явлений, наглядно проявляются при измерении температуры на поверхности тканого электронагревателя.
Воспользуемся методологией, изложенной в [4], и, исходя из полученных экспериментальных данных, рассчитаем изменение температуры во времени на поверхности тела человека при постоянном коэффициенте теплоотдачи.
Для этого будем полагать, что коэффициент теплоотдачи равен коэффициенту теплоотдачи в момент включения нагревателя. В этот момент изменения кровотока при тепловом воздействии минимальные [5].
Исходя из экспериментальных данных и сделанных допущений, построим кривую изменения температуры на поверхности тканого электронагревателя при постоянном коэффициенте теплоотдачи $T_{const}(t)$ (рис. 3-2).
Для получения представления об изменениях температуры на поверхности тканого электронагревателя за счет изменения кровотока, то есть при переменном коэффициенте теплоотдачи, вычтем из T(t) значения $T_{const}(t)$. В результате получаем

$$\Delta T(t) = T(t) - T_{const}(t) \qquad (1)$$

График изменения разностной температуры ΔT(t), полученной по формуле (1) показан на рис. 4.

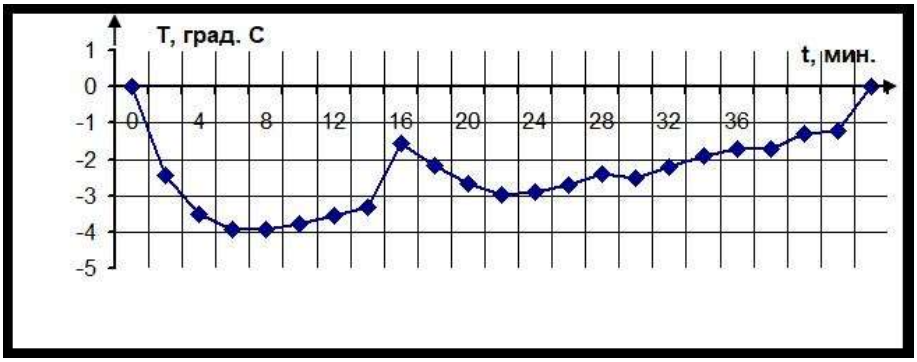


Рис. 4. Изменения во времени разностной температуры на поверхности тканого электронагревателя, $\Delta T(t)$.

На рис. 4 видно, что сначала измерений происходит рост кровотока во времени, который существенно превышает рост температуры нагревателя, что приводит к снижению разностной температуры. Затем рост кровотока становиться соизмеримым с ростом температуры (на 6 минуте). На 16 минуте наблюдается аксонное изменение температуры, судя по всему за счет сужения висцеральных сосудов [5]. Далее идет повышение разностной температуры, так как дальнейший рост кровотока замедляется, и он не компенсирует рост температуры нагревателя. На уровне 42ºС происходит полное расширение сосудистого русла, прекращение роста кровотока [5], а рост температуры нагревателя продолжается, поэтому виден более резкий подъем разностной температуры.

Таким образом, при тепловом воздействии на человека изменения разностной температуры, $\Delta T(t)$ (рис. 4), дают лучшее представление об изменениях периферической микроциркуляции во времени, чем изменения температуры на фоне нагрева, T(t) (рис. 3-1).

Следует отметить, что максимальное значение разности температур достигает 4ºС, что на фоне изменения температуры тканого электронагревателя, ~6ºС, составляет 67%, и обеспечивает устойчивое измерение температурных изменений во всем диапазоне.

Во втором случае, нагреватель и термопара располагались в области плеча (рис. 5). Схема и технология измерения тепловых параметров на поверхности тела человека при тепловом воздействии нагревателя в области плеча такая же, как и в случае нахождения нагревателя и термопары в области почки (рис. 1). Отличие заключалось в месте расположения нагревателя и термопары на поверхности тела человека. Мощность нагревателя варьировалась от 3,6 Вт до 7,2 Вт.

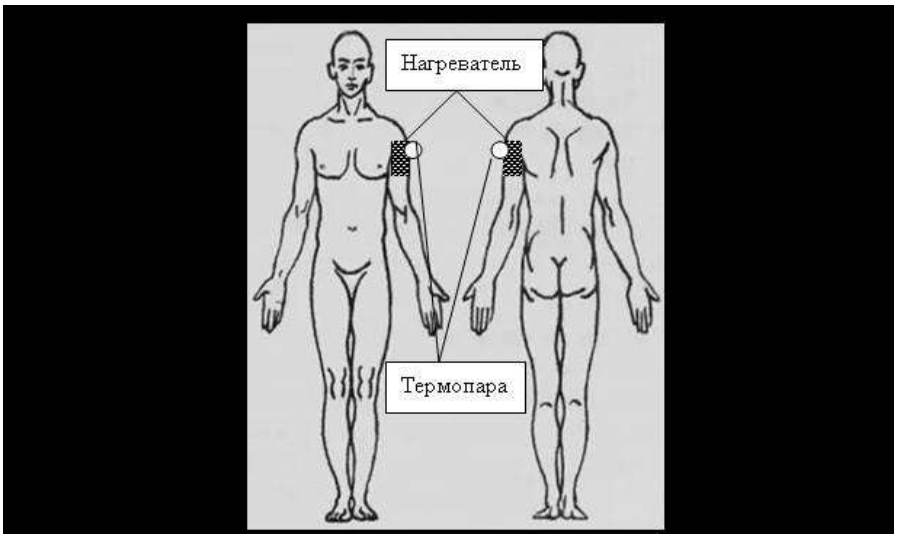


Рис. 5. Место расположения во втором случае тканого электронагревателя и термопары на поверхности тела человека.

Результат измерения температуры во времени показан на рис. 6-1.
Изменения температуры при постоянном коэффициенте теплоотдачи $T_{const}(t)$ показаны на рис. 6-2.

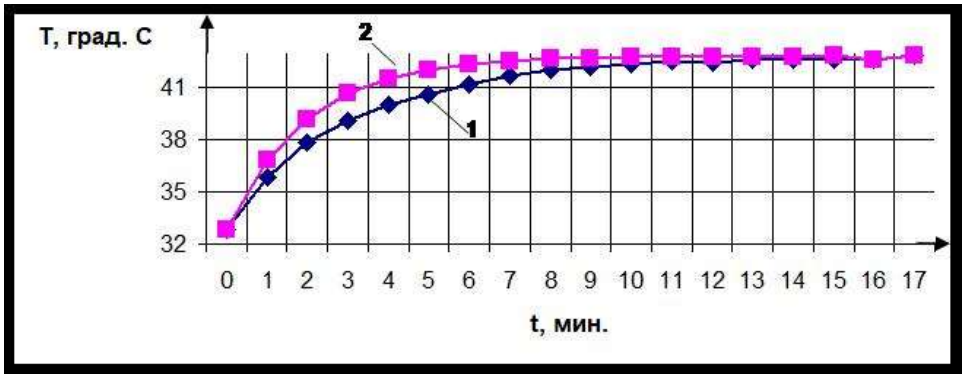


Рис. 6. Изменение температуры на поверхности тканого электронагревателя, расположенного на теле человека в области плеча, полученное: 1) при проведении эксперимента (при переменном коэффициенте теплоотдачи); 2) при постоянном коэффициенте теплоотдачи.

Изменение разностной температуры показано на рис. 7.

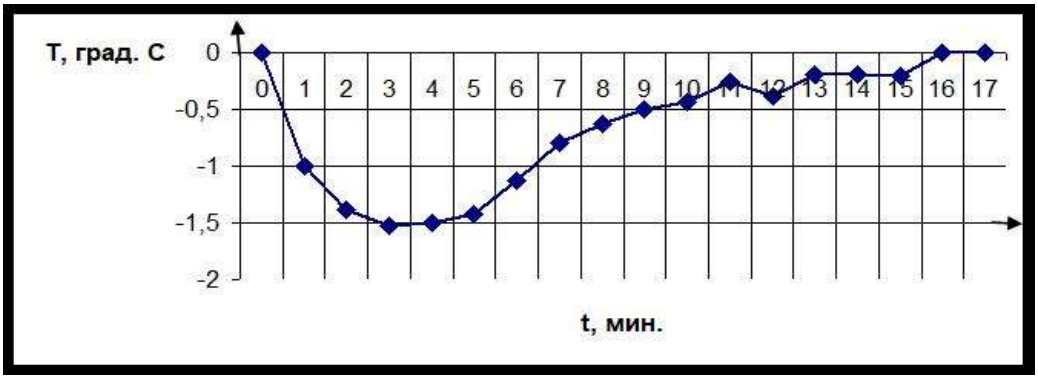


Рис. 7. Изменения во времени разностной температуры на поверхности тканого электронагревателя при его расположении в области почки, $\Delta T(t)$.

При нагреве тканными электронагревателями различной мощности в области плеча резких аксонных изменений разностной температуры не наблюдается. Как уже отмечалось, если не использовать разностной температуры, полученной путем вычитания из результатов эксперимента при переменном коэффициенте теплоотдачи расчетных значений при постоянном коэффициенте теплоотдачи, а пользоваться только экспериментально полученными данными, соответствующими рис. 6-1, то изменения температуры, вызванные изменением коэффициента теплоотдачи, будут незаметны. На рис. 7 показан результат измерений разностной температуры при мощности нагревателя 7,2 Вт. Небольшое отличие в характере изменений температуры в области почки имеется и в конце эксперимента. Разность изменения температур равняется нулю, так как в области 15 и 17 минут прекратился рост температуры нагревателя и в это же самое время при уровне воздействующих температур ~ 42ºС, когда происходит прекращение изменения кровотока в сосудистом русле [5].

В данном случае, максимальное значение разности температур достигает 1,5ºС, что на фоне максимального изменения температуры тканого электронагревателя, ~9ºС, составляет 17%, и также обеспечивает устойчивое измерение температурных изменений во всем диапазоне.
В целом, характер изменения температуры, за исключением аксонных явлений, соответствует характеру изменения температуры при нахождении тканого электронагревателя и термопары в области почки.

Выводы. Результаты лабораторных экспериментов показывают, что на поверхности тканого электронагревателя формируется температура, учитывающая не только воздействие тканого электронагревателя на тело человека, но и обратную реакцию тела человека на это воздействие за счет изменений коэффициента теплоотдачи, происходящих под влиянием изменений кровотока.
Наиболее удобно производить рассмотрение динамических температурных изменений в виде разности температур, получаемой вычитанием из экспериментально зафиксированных температур при переменном коэффициенте теплоотдачи расчетных температур при постоянном коэффициенте теплоотдачи.
В результате экспериментов были получены отличающиеся результаты при нахождении тканого электронагревателя на поверхности тела человека в поясничной области, над почкой, и в области плеча. Это отличие показывает разную реакцию в этих областях тела системы периферического сосудистого русла, различную его перестройку при тепловом воздействии, то есть имеется некоторое отличие в системе терморегулирования. В случае проведения измерений в области почки даже при меньшей мощности тканого электронагревателя происходят более значительные снижения температур, чем при большей мощности тканого электронагревателя в области плеча.
Возможность измерения температур на поверхности тканых электронагревателей позволяет получить данные об изменениях в сосудистом русле, которые можно использовать, и как самостоятельно, и в сочетании с данными, полученными другими методами.

Список литературы

1. Алексеев А.А., Виноградов В.Л., Модестов М.Б., Модестова О.Б., Чуйко Т.В., Шульженко А.А. Способ компенсирования теплопотерь у ожоговых больных // Патент № 2701170, М., 2019, Бюллетень № 27.
2. Шульженко А.А., Мнев Б.А., Модестов М.Б., Модестов Б.М. Способ размораживания жидких медицинских и пищевых продуктов и устройство его реализации // Патент РФ № 2552822, М., 2015, Бюллетень № 16.
3. Шульженко А.А., Модестов М.Б. Моделирование тепловых процессов при переменных краевых условиях в многослойной тонкой стенке: человек – тканый электронагреватель – внешняя среда // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2022. - № 5. - С. 75-83.
4. Жуковский В.С. Основы теории теплопередачи. - Л.: Энергия, 1989 - 224 с.
5. Vissler E.H. Human. Temperature. Control. B. – Springer, 2018. – 425 p.

Дата поступления: 27 сентября 2024 г.