

## ОБЪЕКТИВИЗАЦИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ УСТАНОВЛЕНИЯ ДАВНОСТИ СМЕРТИ ЧЕЛОВЕКА ПО ДИНАМИКЕ ТИМПАНИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

Кузовков А.В.<sup>1</sup>, Вавилов А.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>БУЗ УР «Бюро судебно-медицинской экспертизы Минздрава УР», Ижевск, e-mail: akuzvkv@rambler.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия Минздрава России», Ижевск, e-mail: izhsudmed@hotmail.com

---

При производстве судебно-медицинской экспертизы эксперт, проводящий расчет давности наступления смерти человека по температуре его трупа, не имеет сведений о величине температуры тела на момент наступления смерти. Между тем, существование индивидуальных ее различий, а также существование некоторых колебаний, обусловленных, в том числе, и патологическими процессами, приводит к формированию погрешности определения давности смерти. Для традиционно используемых диагностических зон (прямая кишка, печень, головной мозг) разработан ряд рекомендаций, устраняющих указанную проблему. Однако для тимпанической термометрии, являющейся вариантом выбора в случаях, когда травмирование диагностической зоны недопустимо, подобные наработки отсутствуют. На основании оригинальных исследований авторами определены значения термических констант, характеризующих особенности температурного тренда тимпанической термометрии, и определена температура, соответствующая условной прижизненной норме для указанной диагностической зоны. На основе использования методов искусственного интеллекта разработано математическое выражение и определена его эффективность при расчете давности наступления смерти по тимпанической термометрии.

---

Ключевые слова: тимпаническая (внутриушная) температура, термометрия, давность смерти, математический расчет, прижизненная температура, оптимизация.

## OBJECTIFICATION DIAGNOSTIC ALGORITHMS TO ESTABLISH A PERSON'S TIME OF DEATH BY THE DYNAMICS OF THE TYMPANIC TEMPERATURE

Kuzovkov A.V.<sup>1</sup>, Vavilov A.Yu.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The forensic medical examination Bureau, Izhevsk, e-mail: akuzvkv@rambler.ru;

<sup>2</sup>The Izhevsk state medical academy of Ministry of Health of Russia, Izhevsk, e-mail: izhsudmed@hotmail.com

---

In the production of forensics expert, conducting settlement-old man's death at the onset temperature of its corpse, is not aware of the magnitude of body temperature at the time of death. Meanwhile, the existence of its individual differences, and that there are some fluctuations caused, including pathological processes and leads to errors in determining the formation of limitation death. For the commonly used diagnostic areas (rectum, liver, brain) has developed a number of recommendations that eliminate this problem. However, for tympanic thermometry is an option in cases where the injury diagnostic areas is unacceptable, no such developments. Based on original research by the authors, the values of thermal constants characterizing features of the temperature trend tympanic thermometry, and determined the temperature corresponding to the conditional normal lifetime for a given diagnostic zone. On the basis of the use of artificial intelligence techniques developed mathematical expression and determine its effectiveness in the calculation of the time of death for tympanic thermometry.

---

Keywords: tympanic (ITE), the temperature, the thermometer, the time of death, a mathematical calculation, lifetime temperature optimization.

Одной из проблем, существенно ограничивающей применимость термометрического (теплового) метода диагностики давности наступления смерти человека (ДНС), является то, что эксперт, проводящий исследование мертвого тела на месте его первоначального обнаружения, вынужден действовать в условиях полной неопределенности [1]. Причина смерти человека, труп которого изучается, наличие этанола в его крови, другие особенности способны обусловить существование индивидуальности температурного тренда трупа,

детерминировав более быстрое или, напротив, замедленное его охлаждение [9]. Кроме того, сложность определения ДНС по тепловому методу во многом обусловлена и неопределенностью начальной температуры трупа, или, иначе, прижизненной температуры тела человека. Именно со значений прижизненной температуры, различной для конкретной диагностической зоны, в которой производится посмертная термометрия, начинается процесс постмортального охлаждения, и именно к данным значениям производится обратная аппроксимация температурного тренда, производимая исследователями при математическом расчете ДНС [11].

Постоянство температуры тела человека относительно, и даже у абсолютно здорового мужчины или женщины она несколько варьирует в течение суток, что обусловлено влиянием физиологических циклов, физической активности и прочими факторами [11]. В том, что касается болезненных расстройств здоровья, изменения температуры еще более существенны, являясь важным диагностическим признаком патологического состояния. Таким образом, смерть человека может произойти, как при температуре тела, соответствующей прижизненной норме – «нормотермический» вариант танатогенеза, так и при значениях температуры, отличающейся от этих значений – повышение температуры при «гипертермическом, либо понижение при «гипотермическом» вариантах танатогенеза [9].

Учет «срывов» температурного гомеостаза представляет собой достаточно сложный вопрос, решаемый в каждом конкретном случае исходя из особенностей трупа, находящегося на исследовании. Наиболее часто применяемым, надежным способом установления индивидуальных значений температуры человека на момент его смерти ( $T_0$ ) является применение оптимизационного алгоритма [8], выполняемого в совокупности с математическим моделированием температурного тренда, и с соотнесением полученных результатов с диагностической выборкой процесса, представляющей ряд последовательных термоизмерений, осуществленных непосредственно на месте обнаружения мертвого тела.

Рекомендации, существующие в настоящее время, регламентируют проведение термоизмерений в трех диагностических областях трупа – в прямой кишке, в печени, в глубоких отделах головного мозга [3]. Однако ряд исследователей, изучающих посмертную термодинамику, справедливо критикуют существующие методы термометрии, указывая, что введение игольчатого датчика термоизмерителя в ткань печени или в головной мозг является инвазией, нарушающей нормальное строение указанных органов. Их травматизация иглой термоизмерителя в последующем может привести к сложностям при диагностике причины смерти, прижизненных повреждений, и других вопросов, разрешаемых в ходе аутопсии.

Возможным выходом из данной ситуации является применение неинвазивных методов термоизмерений, в частности, тимпанической термометрии – измерения температуры трупа в глубине его наружных слуховых проходов [2]. Первые полученные результаты авторских исследований свидетельствуют о перспективности данного метода, однако некоторые вопросы еще ждут своего решения. Так, в частности, пока еще не определено, какие значения тимпанической температуры следует принять за условную прижизненную норму при расчете ДНС, и насколько существенным окажется влияние оптимизационных алгоритмов [8] на точность определения ДНС по результатам тимпанической термометрии.

### **Цель исследования**

Установление оптимального значения тимпанической температуры, соответствующей «условной прижизненной норме», при математическом моделировании теплового состояния новой рекомендуемой диагностической зоны (глубокие отделы наружных слуховых проходов трупа), для повышения точности расчета ДНС по результатам тимпанической термометрии.

### **Материал и методы исследования**

Изучены температурные особенности динамики охлаждения 116 трупов лиц обоего пола в возрасте 18–60 лет с различными причинами смерти. Во всех случаях в распоряжении экспертов имелись точные указания на время смерти человека, подтверждаемые свидетельскими показаниями, медицинскими документами и другими материалами следственных органов. Кроме того, сведения о давности смерти подтверждались и в ходе судебно-медицинских исследований.

Регистрация температуры трупа осуществлялась в обоих слуховых проходах трупа с помощью игольчатых электронных термоизмерителей (свидетельство об утверждении средств измерений RU.C.39.001.A № 52334 от 24.09.2013 г.) (Рис. 1). Термоизмерения проводились строго на этапе регулярного охлаждения тела, многократно с равными интервалами времени между замерах (0,5 часа).

Во всех случаях обязательно фиксировалось значение температуры окружающего воздуха с последующим вычислением безразмерной температуры трупа, определяемой как разница абсолютных температур тела и среды.



Рис. 1. Внешний вид игольчатого электронного термоизмерителя

Моделирование посмертной температуры производилось по математической модели В.А. Куликова [7], представляющей собой вариант выражения С. Hennsge [9]. Для установления значения термических постоянных ( $\tau$  и  $K$ ), характеризующих наклон температурного тренда и продолжительность «первоначального температурного плато», использована наша модификация алгоритма А.Ю. Вавилова и А.В. Малкова, представленного в литературе [4].

В целом использованный алгоритм можно представить следующим образом:

1. Термометрия трупа на месте его первоначального обнаружения. Формирование диагностической выборки процесса в виде 4-х последовательных термоизмерений температуры трупа и окружающей среды, полученных через равные интервалы времени (30 минут).
2. Вычисление термической постоянной  $T_{\alpha\gamma}$  по выражению, рекомендованному В.А. Куликовым [7].
3. Итеративный поиск величины коэффициента  $K$  по алгоритму А.Ю. Вавилова и А.В. Малкова [4].
4. Значение коэффициента  $K$ , установленное на предыдущем шаге, считают оптимальным и используют для расчета времени, прошедшего с момента смерти человека.

5. Путем последовательных итераций подбираем значение  $T_0$ , достигая совпадения расчетного значения ДНС с истинным его значением, установленным на основании свидетельских показаний, медицинских документов или иных данных следствия.
6. Значение  $T_0$ , полученное на предыдущем шаге алгоритма, считаем оптимальным для математического моделирования и используем в конечном расчете ДНС.
7. Определение погрешности метода производим на основании рекомендаций, имеющихся в современной судебно-медицинской литературе [6].

Все расчеты выполнялись в программе Microsoft Excel.

### Результаты и их обсуждение

В ходе исследований было установлено, что тимпаническая температура трупа в раннем постмортальном периоде демонстрирует ее снижение до температуры окружающего воздуха по зависимости, с высокой степенью точности выражаемой экспоненциальным уравнением. Получены значения термических постоянных ( $\tau$  и  $K$ ), характеризующих температурные тренды тимпанической термометрии, и значение  $T_0$ , являющееся наиболее оптимальным для расчета ДНС по математическому выражению В.А. Куликова [7] (Рис. 2).

Для разработки математического выражения, которое могло бы быть использовано для расчета ДНС, нами использованы методы интеллектуального анализа данных, с применением программы PolyAnalyst, основанной на алгоритмах искусственного интеллекта, строящей «дерево решений» и предлагающей выражение, наиболее точно описывающее зависимости, обнаруженные программой.

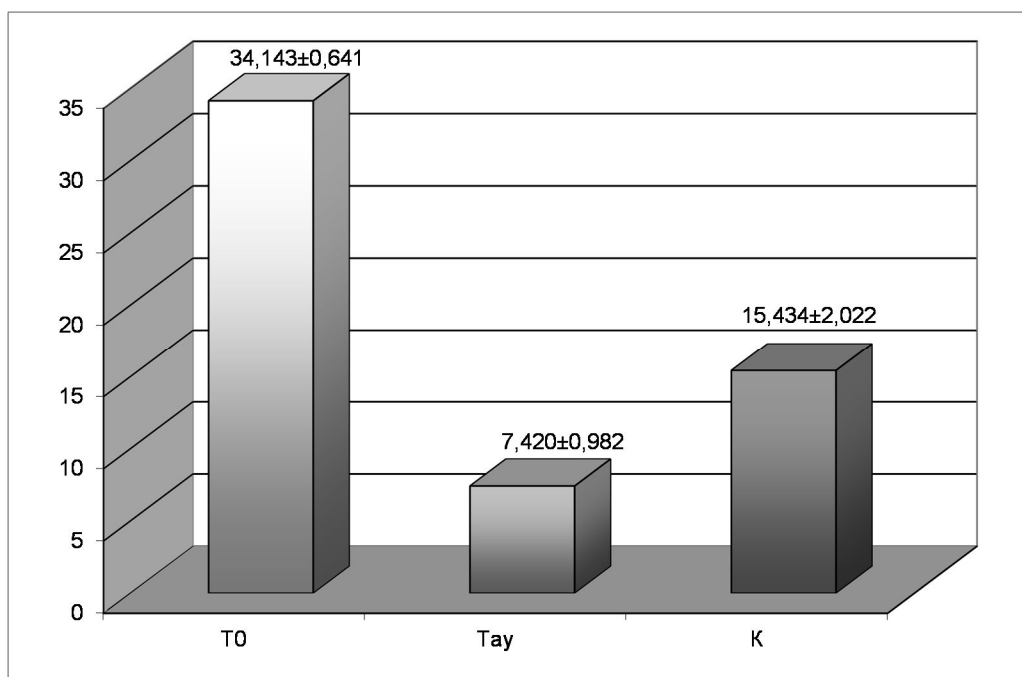


Рис. 2. Значения термических постоянных и  $T_0$  тимпанической термометрии

Получен следующий Лист расчета (Рис. 3):

The 'Linear Regression' exploration is finished for target: DNS

|                     |          |
|---------------------|----------|
| standard error      | 0.671978 |
| standard deviation  | 1.80948  |
| points processed    | 417      |
| significance index  | 127.382  |
| free term           | -8.32824 |
| free term std. dev. | 1.47966  |
| free term F-Ratio   | 31.6799  |

Prediction rule found:

$$DNS = -8.32824 - 0.69814 * T_1 + 0.431749 * T_0 + 1.11178 * \Delta\tau - 0.209302 * K$$

Рис. 3. Лист расчета программы PolyAnalyst

Таким образом, для тимпанической термометрии математическое выражение, используемое для расчета ДНС, должно иметь следующий вид:

$$DNS = 0,432 \times T_0 + 1,112 \times \frac{\Delta\tau}{\ln\left(\frac{T_1 - T_{cp}}{T_2 - T_{cp}}\right)} - 0,209 \times K - 0,698 \times (T_1 - T_{cp}) - 8,328 \quad (1)$$

где  $DNS_a$  – расчетное значение давности смерти, час;

$T_0$  – прижизненная температура в наружных слуховых проходах, °С;

$T_1$  – температура в наружных слуховых проходах трупа на момент ее первого измерения, °С;

$T_2$  – температура в наружных слуховых проходах трупа на момент ее второго измерения, °С;

$T_{cp}$  – температура окружающей среды, °С;

$\Delta\tau$  – интервал времени между замерами температуры, час.

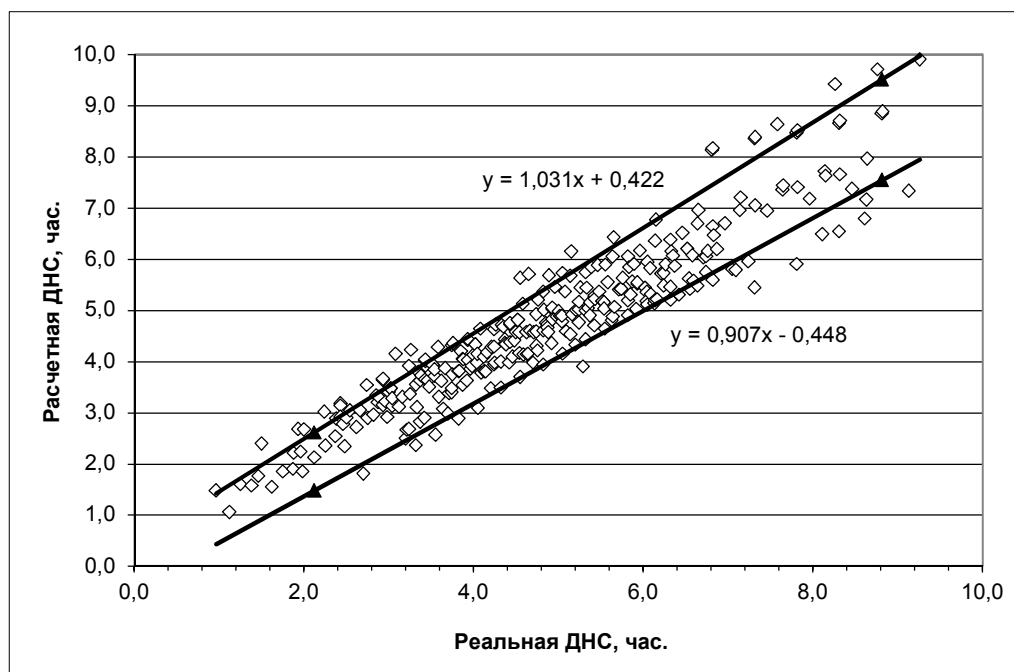


Рис. 4. Погрешность расчета ДНС по выражению (1)

Использование определенных ранее термических постоянных и  $T_0$ , применение выражения (1) для расчета ДНС по тимпанической температуре и соотнесение вычисленных значений с их реальной величиной, установленной следственным путем, позволило определить погрешность метода (Рис. 4).

Соответственно, расчет границ, в которых находится истинное значение ДНС, можно произвести по формуле:

$$0,907 \times ДНС_a - 0,448 \leq ДНС \leq 1,031 \times ДНС_a + 0,422 \quad (2)$$

где  $ДНС$  – истинное значение давности смерти, час;

$ДНС_a$  – расчетное значение давности смерти, час.

Научная новизна и практическая значимость разработанного метода подтверждены выдачей Федеральным институтом промышленной собственности авторам данной статьи патента на изобретение Российской Федерации [5].

Продемонстрируем способ на примере практической судебно-медицинской экспертизы.

### **Пример:**

Судебно-медицинское исследование трупа гр. А.

При измерении температуры трупа в его наружных слуховых проходах получены значения  $T_1=23,36^\circ\text{C}$  и  $T_2=22,98^\circ\text{C}$  при постоянной температуре среды  $T_{cp}=18,30^\circ\text{C}$ . Интервал между замерах температуры составлял 30 минут (0,5 часа).

Произведен расчет давности смерти с использованием выражения (1). Получено значение  $ДНС_a=5,50$  час.

Произведен расчет границ, в которых находится истинное значение давности смерти человека ( $ДНС$ ):

$$\begin{aligned} 0,907 \times ДНС_a - 0,448 &\leq ДНС \leq 1,031 \times ДНС_a + 0,422 = \\ &= 4,54 \leq ДНС \leq 6,10 \end{aligned}$$

Таким образом, истинная давность смерти человека не менее 4,54 часов и не более 6,10 часов до момента первого измерения температуры его трупа.

Указанный вывод подтвержден результатами следственных данных.

### **Выводы**

Определены значения термических постоянных ( $\tau$  и  $K$ ), характеризующих температурные тренды тимпанической термометрии, и значение условной прижизненной температуры, принимаемой в качестве  $T_0$  ( $34,143^\circ\text{C}$ ) при расчете ДНС по тепловому методу.

Математический расчет ДНС рекомендуется производить на основе выражения (1), границы погрешности которого могут быть установлены неравенством (2).

Применение оптимизационного подхода, описанного в статье, имеет ряд преимуществ перед традиционными методиками определения ДНС, выражающихся в высокой

объективизации получаемого результата и отсутствии травматизации диагностической зоны при ее термометрии.

### Список литературы

1. Вавилов А.Ю. Судебно-медицинская диагностика давности смерти тепловыми методами: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Москва, 2009. – 40 с.
2. Вавилов А.Ю., Кузовков А.В. Новый подход к определению давности наступления смерти человека неинвазивным термометрическим способом // Актуальные вопросы суд.-мед. науки и практики. Мат. межрегиональной науч-практ. конф. – Киров, 2015. – С.53-58.
3. Вавилов А.Ю., Кузовков А.В. Практическая реализация термометрической диагностики давности смерти в рамках действующей медицинской технологии // Актуальные проблемы судебной медицины и медицинского права. Материалы межрегиональной научно-практической конференции с международным участием 23-24 апреля 2014 г., Суздаль. – М.: НП ИЦ «ЮрИнфоЗдрав, 2014. – С. 79-83.
4. Вавилов А.Ю., Малков А.В. Учет «температурного плато» как условие повышения точности диагностики давности смерти человека // Медицинская экспертиза и право. – М., 2012. – № 1. – С. 14-16.
5. Вавилов А.Ю.; Кузовков А.В., Лесников В.В., Коротун В.Н. Способ неинвазивного определения давности смерти человека // Патент на изобретение № 2554221. Приоритет от 15.05.2014. Зарегистрирован 15.05.2014. Опубликовано 27.06.2015. Бюллетень № 18.
6. Куликов А.В., Коновалов Е.А., Вавилов А.Ю. Оценка погрешности измерения давности наступления смерти микропроцессорным прибором с терморезистивным датчиком // Проблемы экспертизы в медицине. – 2006. – № 1. – С. 7-9.
7. Куликов В.А. Практическая методика измерения ДНС по методу регулярного теплового режима // Современные вопросы судебной медицины и экспертной практики. – Ижевск, 1998. – Вып. X. – С. 115–120.
8. Куликов В.А., Коновалов Е.А., Вавилов А.Ю. Оптимизационный подход уточнения давности наступления смерти в судебно-медицинской практике // Проблемы экспертизы в медицине. – 2009. – № 1. – С. 8-10.
9. Моделирование процессов в судебно-медицинской диагностике давности наступления смерти / П.И. Новиков, Е.Ф. Швед, Е.О. Нацентов, Н.В. Коршунов, А.Ю. Вавилов. – Челябинск; Ижевск, 2008. – 312 с.



10. Толстолуцкий В.Ю. Математическое моделирование динамики температуры в постмортальном периоде для определения давности наступления смерти: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1995. – 38 с.
11. Швед Е.Ф. Моделирование посмертной термодинамики при установлении давности смерти в условиях меняющейся температуры окружающей среды: дис. ... канд. мед. наук. – М., 2006. – 144 с.