

УДК 340.67:616.153:262-074  
DOI: 10.35693/2500-1388-2019-4-4-58-62

## Математико-статистическая диагностика посмертных артефактов определения концентрации этанола

Г.В. Недугов<sup>1</sup>, А.П. Ардашкин<sup>1</sup>, В.Г. Недугов<sup>2</sup>

### Аннотация

**Цель** – математико-статистическая оценка физиологических пределов взаимного количественного распределения этанола в трупной крови и пузырной моче и разработка автоматизированного способа диагностики посмертных артефактов судебно-медицинской экспертизы острой алкогольной интоксикации на трупе.

**Материал и методы.** Проведен ретроспективный математико-статистический анализ результатов химико-токсикологического определения концентрации этанола в крови и в моче в 2376 случаях смерти в состоянии алкогольного опьянения.

**Результаты.** Разработаны регрессионные уравнения, позволяющие определять физиологические пределы взаимного количественного содержания этанола в крови и моче с любой достоверной вероятностью для любой степени алкогольного опьянения и фазы острой алкогольной интоксикации. Совокупность вычислительных процедур реализована в формате программы для ЭВМ «Алкогольный калькулятор Z 3.0».

**Выводы.** При концентрациях этанола в крови или в моче, выходящих за свои физиологические пределы, результаты химико-токсикологического анализа следует считать посмертным артефактом.

**Ключевые слова:** концентрация этанола, кровь, пузырная моча, максимальный предел, посмертный артефакт.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

### Для цитирования:

Недугов Г.В., Ардашкин А.П., Недугов В.Г. Математико-статистическая диагностика посмертных артефактов определения концентрации этанола. *Наука и инновации в медицине*. 2019;4(4):58-62.  
doi: 10.35693/2500-1388-2019-4-4-58-62

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет» Минздрава России (Самара, Россия)

<sup>2</sup>МБОУ «Самарский международный аэрокосмический лицей»

### Сведения об авторах

**Недугов Г.В.** – к.м.н., ассистент кафедры судебной медицины. ORCID: 0000-0002-7380-3766

**Ардашкин А.П.** – д.м.н., доцент, заведующий кафедрой судебной медицины.

**Недугов В.Г.** – программист-фрилансер, учащийся.

### Автор для переписки

**Недугов Герман Владимирович**

Адрес: Самарский государственный медицинский университет, ул. Чапаевская, 89, г. Самара, Россия, 443099.

E-mail: nedugovh@mail.ru

Тел.: +7 (929) 701 94 93.

ОАИ – острая алкогольная интоксикация;  
ХТА – химико-токсикологический анализ.

**Рукопись получена:** 01.11.2019

**Рецензия получена:** 23.11.2019

**Решение о публикации принято:** 24.11.2019

## Statistical diagnostics of postmortem artifacts for determination of ethanol concentration

German V. Nedugov<sup>1</sup>, Anatoliy P. Ardashkin<sup>1</sup>, Vladimir G. Nedugov<sup>2</sup>

### Abstract

**Objectives** – statistical estimation of the physiological limits of the quantitative distribution of ethanol in cadaveric blood and bladder urine and development of an automated method for diagnosing postmortem artifacts of forensic medical examination of acute alcohol intoxication on the corpse.

**Material and methods.** We performed a retrospective statistical analysis of the results of toxicological determination of ethanol concentration in a blood and in the urine in 2376 deaths from acute alcohol intoxication.

**Results.** Regression equations have been developed that allow us to determine the physiological limits of the quantitative distribution of ethanol in blood and urine with any confidence probability for any degree of alcohol intoxication and phase of acute alcohol intoxication. The set of computational procedures is implemented in the format of the computer program "Alcohol calculator Z 3.0".

**Conclusion.** If the concentrations of ethanol in the blood or in the urine are beyond their physiological limits, the results of toxicological analysis should be considered as a postmortem artifact.

**Keywords:** ethanol concentration, blood, urine from the bladder, physiological limit, postmortem artifact.

**Conflict of interest:** nothing to disclose.

### Citation

Nedugov GV, Ardashkin AP, Nedugov VG. Statistical diagnostics of postmortem artifacts for determination of ethanol concentration. *Science & Innovations in Medicine*. 2019;4(4):58-62.  
doi: 10.35693/2500-1388-2019-4-4-58-62

<sup>1</sup>Samara State Medical University (Samara, Russia)

<sup>2</sup>Samara International Aerospace Lyceum (Samara, Russia)

### Information about authors

**German V. Nedugov** – PhD, assistant of the Department of forensic medicine. ORCID: 0000-0002-7380-3766

**Anatoliy P. Ardashkin** – PhD, Associate Professor, the Head of the Department of forensic medicine.

**Vladimir G. Nedugov** – programmer-freelancer, student.

### Corresponding Author

**German V. Nedugov**

Address: Samara State Medical University, 89 Chapaevskaya st., Samara, Russia, 443099.

E-mail: nedugovh@mail.ru

Phone: +7 (929) 701 94 93.

**Received:** 01.11.2019

**Revision Received:** 23.11.2019

**Accepted:** 24.11.2019

## ■ ВВЕДЕНИЕ

Объективное и достоверное установление или исключение факта прижизненного употребления алкоголя и его количества является одной из задач судебно-медицинской экспертизы трупа, от решения которой зависит социально-правовая оценка случая смерти. На результаты химико-токсикологического анализа (ХТА) могут оказывать влияние как экзогенные загрязнения биологических объектов, подлежащих исследованию, так и другие факторы. Основными из них являются: посмертная диффузия этанола, процессы посмертного новообразования и распада этанола, как в самом трупе, так и в изъятых от него пробах, технические погрешности ХТА, забора и хранения проб [1–4]. Поэтому одной из актуальных научных проблем в судебной медицине является разработка способов диагностики посмертных артефактов определения концентрации этанола в трупной крови или моче [5–7].

Наиболее простым и доступным способом выявления посмертных искажений прижизненных уровней содержания этанола по-прежнему остается метод математико-статистического оценивания количественного распределения этанола в различных средах трупа [6, 7]. Данный метод заключается в определении физиологически возможных пределов концентрации этанола в крови и моче, превышение которых должно интерпретироваться как артефакт. Однако существующие реализации данного подхода в основном предусматривают лишь обнаружение эпизодов искусственного превышения абсолютных физиологических пределов концентраций этанола в крови или моче без учета их соотношения [6]. Ранее нами была показана принципиальная возможность определения физиологических пределов уровней этанола с учетом взаимного его количественного распределения в крови и моче [7]. Но и эта методика предназначена для анализа только токсических уровней этанолемии и сопряженных с ними концентраций этанола в моче, что существенно ограничивает ее прикладное значение. Особенности взаимного количественного распределения этанола в крови и моче при любых физиологических уровнях его содержания до сих пор не изучены и, соответственно, не используются для обнаружения посмертных артефактов при судебно-медицинских экспертизах трупов в случаях острых алкогольных интоксикаций (ОАИ).

## ■ ЦЕЛЬ

Провести математико-статистическую оценку физиологических пределов взаимного количественного распределения этанола в трупной крови и пузырной моче и разработать на этой основе автоматизированный способ диагностики посмертных артефактов судебно-медицинской экспертизы ОАИ на трупе.

## ■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологический дизайн исследования представляет собой ретроспективный анализ случаев смерти в состоянии алкогольного опьянения в период с 2004 г. по 2018 г., исследованных в отделе судебно-медицинской экспертизы трупов ГБУЗ «Самарское областное бюро судебно-медицинской экспертизы».

Объектами исследования явились 2376 наблюдений смерти в состоянии алкогольного опьянения лиц обоего пола в возрасте 14–84 лет. Базу данных формировали путем включения в нее всех наблюдений, соответствующих следующим критериям: 1) обязательный ХТА двух биологических сред трупа: венозной крови и мочи из мочевого пузыря; 2) отсутствие гнилостных изменений или оледенения трупа; 3) отсутствие у трупа каких-либо прижизненных или посмертных повреждений органов грудной и брюшной полостей; 4) отсутствие прижизненного или посмертного попадания желудочного содержимого в дыхательные пути; 5) наступление смерти в условиях отсутствия оказания погибшему какой-либо медицинской помощи; 6) давность смерти не более 3 суток.

Ретроспективно оценивали концентрации этанола в крови и пузырной моче и фазу ОАИ, в течение которой наступила смерть. Фазу резорбции ОАИ диагностировали при превышении концентрации этанола в крови над его концентрацией в моче; в остальных случаях констатировали фазу элиминации ОАИ.

Во всех наблюдениях период времени с момента забора крови и мочи до проведения ХТА не превышал 2 часа. Концентрацию этанола во всех случаях определяли алкилнитритным методом с последующим разделением и количественным определением полученных алкилнитритов методом газовой хроматографии. Для хроматографического разделения применяли хроматограф МХК, газовый портативный хроматограф «Кристалл 5000» и портативный газовый хроматограф «Газохром». Концентрацию этанола в 1/3 наблюдений рассчитывали вручную, а в остальных — с использованием программ «Хроматек Аналитик» версий 2.5 и 2.6. Максимальная относительная погрешность ХТА составила 20%. Концентрацию этанола измеряли в так называемых массо-объемных промилле ( $\% \text{ BAC by volume}$ ), эквивалентом которых являются единицы измерения, выраженные в граммах этанола на литр цельной крови ( $\text{г/дм}^3$ ).

Совокупность данных, включенных в исследование, была разделена на 2 отдельные выборки, состоявшие из пар значений количественного содержания этанола в крови и моче, зарегистрированных при наступлении смерти в фазы резорбции ( $n = 917$ ) и элиминации ( $n = 1459$ ) этанола. Полученные выборки подвергали регрессионному анализу, используя в качестве предикторной переменной каждый из обоих количественных показателей. В целях построения регрессионных моделей, наиболее адекватно отражающих искомые зависимости, предпринимали поиск различных аппроксимаций для неизвестной истинной функции регрессии. Построение регрессионных моделей осуществляли с помощью метода наименьших квадратов. Качество подгонки выборочных данных определяли на основе проверки статистической значимости регрессионных коэффициентов и регрессионного уравнения в целом, сравнения величин коэффициентов парной корреляции и детерминации, остаточных стандартных отклонений.

Статистическую обработку данных производили с использованием приложений Microsoft Excel пакета Office 2007 и Statistica (StatSoft) версии 7.0. При

использовании статистических тестов полученные оценки считали значимыми при  $\alpha < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом фазы ОАИ концентрации этанола в крови и моче характеризовались наличием выраженных положительных корреляционных взаимосвязей. Указанные взаимосвязи являлись статистически значимыми как для фазы резорбции ( $r = 0,663$ ;  $t = 26,814$ ;  $p = 2,439 \cdot 10^{-117}$ ), так и для фазы элиминации ( $r = 0,814$ ;  $t = 53,450$ ;  $p = 0$ ). Это позволяло создать набор регрессионных уравнений, обеспечивающих определение физиологических пределов для любых уровней взаимного содержания этанола в крови и моче.

Регрессионный анализ показал, что наиболее адекватным решением названной задачи является набор квадратных и кубических полиномов. При этом для выявления посмертных артефактов определения концентрации этанола в образцах трупной крови или мочи необходимо и достаточно вычисления двух оценок физиологических пределов количественного содержания этанола для каждой фазы ОАИ. В частности, для фазы резорбции необходимо вычисление верхнего физиологического предела уровня этанолемии и нижнего предела концентрации этанола в моче. Для фазы элиминации ОАИ необходимыми являются обратные оценки: нижний предел этанолемии и верхний предел концентрации этанола в моче.

Оценками указанных пределов являются выражения:

$$k_U = 2,994 + 0,891m - 0,166m^2 + 0,020m^3 + 0,833t_{\alpha;913} \sqrt{1 + M_0 M_1 M_0^T}, \quad (1)$$

$$m_D = 1,430k - 0,064k^2 - 1,218 - 0,753t_{\alpha;914} \sqrt{1 + K_0 K K_0^T}, \quad (2)$$

$$k_D = 2,106m - 0,189m^2 + 0,008m^3 - 2,400 - 0,635t_{\alpha;1455} \sqrt{1 + M_0 M_2 M_0^T}, \quad (3)$$

$$m_U = 1,117 + 1,161k - 0,064k^2 + 0,005k^3 + 0,757t_{\alpha;1455} \sqrt{1 + C_0 C C_0^T}, \quad (4)$$

где  $k$  – концентрация этанола в крови, ‰;  $m$  – концентрация этанола в пузырной моче, ‰;  $k_U$  и  $k_D$  – соответственно верхний и нижний физиологический предел этанолемии, ‰;  $m_U$  и  $m_D$  – соответственно верхний и нижний физиологический предел содержания этанола в моче, ‰;  $t$  – значение двустороннего  $t$ -критерия при требуемом уровне значимости  $\alpha$  и указанном количестве степеней свободы;  $M_0$ ,  $K_0$ ,  $C_0$  – вектор-строка исходных условий вида

$$M_0 = (1 \quad m \quad m^2 \quad m^3),$$

$$K_0 = (1 \quad k \quad k^2),$$

$$C_0 = (1 \quad k \quad k^2 \quad k^3),$$

$M_0^T$ ,  $K_0^T$ ,  $C_0^T$  – транспонированный вектор  $M_0$ ,  $K_0$ ,  $C_0$  соответственно;  $M_1$ ,  $K$ ,  $M_2$ ,  $C$  – квадратные матрицы

$$M_1 = \begin{pmatrix} 0,518242 & -0,337335 & 0,069503 & -0,004560 \\ -0,337335 & 0,236083 & -0,051384 & 0,003522 \\ 0,069503 & -0,051384 & 0,011660 & -0,000827 \\ -0,004560 & 0,003522 & -0,000827 & 6,029 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix},$$

$$K = \begin{pmatrix} 0,184399 & -0,055118 & 0,003895 \\ -0,055118 & 0,017104 & -0,001260 \\ 0,003895 & -0,001260 & 9,750 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix},$$

$$M_2 = \begin{pmatrix} 0,278617 & -0,121197 & 0,016361 & -0,000676 \\ -0,121197 & 0,055198 & -0,007754 & 0,000332 \\ 0,016361 & -0,007754 & 0,001130 & -5,005 \cdot 10^{-5} \\ -0,000676 & 0,000332 & -5,005 \cdot 10^{-5} & 2,305 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix},$$

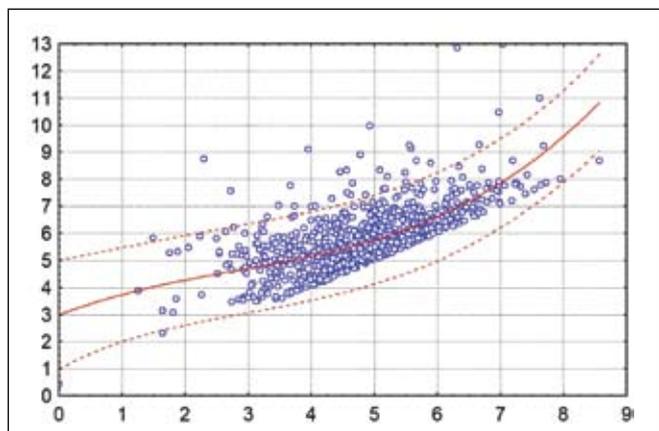
$$C = \begin{pmatrix} 0,158365 & -0,086403 & 0,014548 & -0,000746 \\ -0,086403 & 0,050845 & -0,009081 & 0,000489 \\ 0,014548 & -0,009081 & 0,001171 & -9,568 \cdot 10^{-5} \\ -0,000746 & 0,000489 & -9,568 \cdot 10^{-5} & 5,630 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}.$$

Геометрическая интерпретация установленных стохастических зависимостей с показателем концентрации этанола в моче в качестве предиктора для обеих фаз ОАИ приведена на **рисунках 1 и 2**.

Уравнения (1) и (2) делают возможным выявление значимых несоответствий между уровнями этанола в крови и моче в фазу резорбции, а уравнения (3) и (4) – в фазу элиминации ОАИ. Несоответствие диагностируется в случае выхода зарегистрированных в ходе исследования трупа концентраций этанола за вычисленные физиологические пределы. Превышение последних

возможно как за счет процессов артификального повышения концентрации этанола в крови или моче, так и за счет ее артификального снижения.

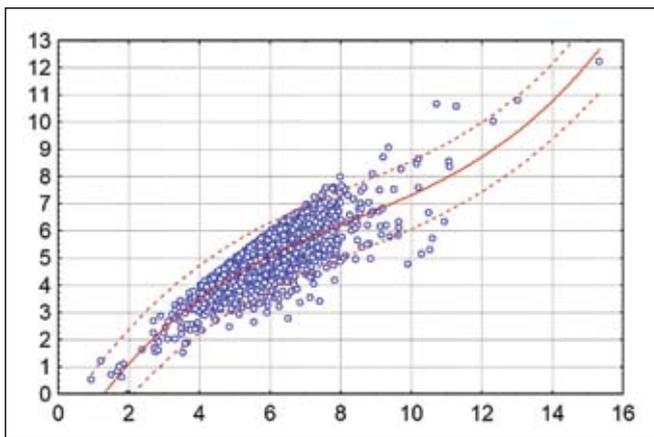
Процедуру реализации разработанного способа демонстрирует следующий пример из судебно-медицинской экспертной практики.



Примечание: Здесь и на рисунке 2 по оси абсцисс – концентрация этанола в моче, ‰; по оси ординат – этанолемия, ‰. Знаком  $\circ$  маркированы выборочные данные; сплошной линией – кривая регрессии, пунктирными линиями – физиологические пределы этанолемии для 95% доверительной вероятности.

**Рисунок 1.** Статистическая зависимость уровня этанолемии от концентрации этанола в моче в фазу резорбции ОАИ.

**Figure 1.** Statistical correlation of the level of etholemia and the concentration of ethanol in the urine during the acute alcohol intoxication resorption phase.



Примечание: Обозначения те же, что и на рисунке 1.

**Рисунок 2.** Статистическая зависимость уровня этанолемии от концентрации этанола в моче в фазу элиминации ОАИ.

**Figure 2.** Statistical correlation of the level of etholemia and the concentration of ethanol in the urine during the acute alcohol intoxication elimination phase.

**Пример.** При ХТА крови этанол не обнаружен, в моче установлено наличие этанола в концентрации 2,4‰. Требуется проверить, является ли физиологически возможным данное сочетание концентраций этанола при уровне  $\alpha = 0,05$ .

Поскольку в данном случае имеет место фаза элиминации ОАИ, то решением задачи будет результат сравнения указанных концентраций этанола с соответствующими пределами, оцененными по формулам (3) и (4).

Значение двустороннего  $t$ -критерия при  $\alpha = 0,05$  и 1455 степенях свободы равно 1,962. Отсюда согласно выражением (3) и (4) искомые пределы равны

$$k_D = 2,106 \cdot 2,4 - 0,189 \cdot 2,4^2 + 0,008 \cdot 2,4^3 - 2,400 - 0,635 \cdot 1,962 \times$$

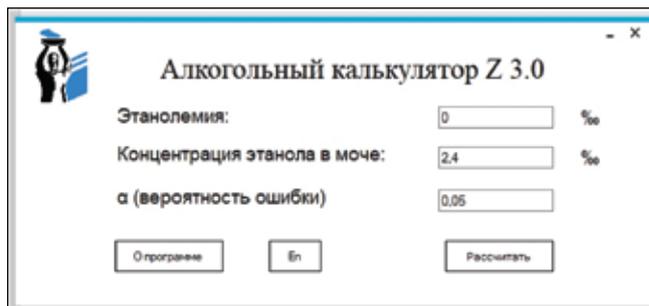
$$\times \sqrt{1 + \begin{pmatrix} 1 & 2,4 & 2,4^2 & 2,4^3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,278617 & -0,121197 & 0,016361 & -0,000676 \\ -0,121197 & 0,055198 & -0,007754 & 0,000332 \\ 0,016361 & -0,007754 & 0,001130 & -5,005 \cdot 10^{-5} \\ -0,000676 & 0,000332 & -5,005 \cdot 10^{-5} & 2,305 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2,4 \\ 2,4^2 \\ 2,4^3 \end{pmatrix} = 0,41\%,}$$

$$m_U = 1,117 + 1,161 \cdot 0 - 0,064 \cdot 0 + 0,005 \cdot 0 + 0,757 \cdot 1,962 \times$$

$$\times \sqrt{1 + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0,158365 & -0,086403 & 0,014548 & -0,000746 \\ -0,086403 & 0,050845 & -0,009081 & 0,000489 \\ 0,014548 & -0,009081 & 0,001171 & -9,568 \cdot 10^{-5} \\ -0,000746 & 0,000489 & -9,568 \cdot 10^{-5} & 5,630 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 2,71\%.$$

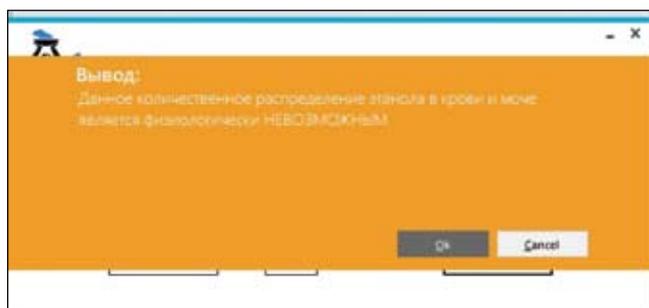
Поскольку установленный уровень этанолемии меньше вычисленного нижнего предела ( $0 < 0,41$ ), а обнаруженная концентрация этанола в моче больше вычисленного верхнего предела ( $2,71 > 2,4$ ), то с 95% доверительной вероятностью указанное количественное распределение этанола в крови и моче является физиологически невозможным.

Следует отметить, что данный способ выявляет смертные артефакты, выражающиеся не только искажениями прижизненного уровня этанола в одной из двух биологических сред либо его разнонаправленными искажениями в обеих средах, но и характеризующиеся однонаправленными искажениями в обеих средах. Дальнейшее повышение чувствительности предложенного



**Рисунок 3.** Окно ввода исходных данных электронной программы «Алкогольный калькулятор Z 3.0».

**Figure 3.** Window for entering the source data of the electronic program "Alcohol calculator Z 3.0".



**Рисунок 4.** Один из возможных результатов программы «Алкогольный калькулятор Z 3.0», демонстрирующий вывод о физиологическом несоответствии заданного количественного распределения этанола в крови и моче.

**Figure 4.** One of the possible results of the program "Alcohol calculator Z 3.0", showing a conclusion about the physiological discrepancy of the specified quantitative distribution of ethanol in the blood and urine.

подхода к обнаружению однонаправленных посмертных искажений прижизненных концентраций этанола одновременно и в крови, и в моче возможно путем увеличения количества биологических сред, подвергаемых ХТА. В частности, помимо венозной крови и пузырной мочи целесообразно также направлять на ХТА ликвор, синовиальную жидкость и т.д.

Для удобного применения установленных закономерностей на практике без осуществления трудоемких матричных операций и иных вычислительных процедур авторами на языке программирования С# была также разработана программа «Алкогольный калькулятор Z 3.0» объемом 1,3 Мб, реализующая комплекс полученных выражений (1–4) в операционной среде Windows (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020611447).

Для работы с программой необходимо указать массовую концентрацию этанола в крови из синусов твердой мозговой оболочки или бедренной вены и моче из мочевого пузыря, а также допустимую вероятность ошибки  $\alpha$ . Последняя может принимать любое значение на числовом интервале от 0 до 0,5. По умолчанию  $\alpha$  принимается за 0,05. Окна программы для ввода данных и итогового результата из разобранный выше примера приведены на **рисунках 3 и 4**.

## ■ ВЫВОДЫ

1. Формулы (1–4) позволяют определять физиологические пределы количественного содержания этанола в крови и моче с любой доверительной вероятностью для любой степени алкогольного опьянения и фазы ОАИ.

2. При концентрациях этанола в крови или в моче, выходящих за свои физиологические пределы, результаты ХТА следует считать артефактом ввиду экзогенного загрязнения указанных биосред этанолом либо посмертных процессов новообразования или распада

этанола, либо наличия технических или инструментальных погрешностей ХТА.

3. Предложенный способ, в том числе в формате программы «Алкогольный калькулятор Z 3.0», рекомендуется для использования при судебно-медицинской экспертизе ОАИ на трупе. ■

**Конфликт интересов:** все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Winek CL Jr, Winek CL, Wahba WW. The role of trauma in postmortem blood alcohol determination. *Forensic Sci Int.* 1995;71(1):1–8. PMID: 7875613
2. Iwasaki Y, Yashiki M, Namera A, et al. On the influence of postmortem alcohol diffusion from the stomach contents to the heart blood. *Forensic Sci Int.* 1998;94(1–2):111–118. PMID: 9670489
3. Cullen SA, Mayes RW. Alcohol discovered in the urine after death: ante-mortem ingestion or post-mortem artefact? *Med Sci Law.* 2005;45(3):196–200. PMID: 16117278
4. Maeda H, Zhu BL, Ishikawa T, Oritani S, et al. Evaluation of post-mortem ethanol concentrations in pericardial fluid and bone marrow aspirate. *Forensic Sci Int.* 2006;161(2–3):141–143. PMID: 16842951
5. Kugelberg FC, Jones AW. Interpreting results of ethanol analysis in postmortem specimens: a review of the literature. *Forensic Sci Int.* 2007;165(1):10–29. PMID: 16782292
6. Fartushnyi AF, Gerasimenko AI, Shevchenko VV, Fartushnaia EA. Forensic evaluation of the results of chemical and toxicological analysis of blood alcohol level. *Sud Med Ekspert.* 2002;45(6):35–38. (In Russ.). [Фартушный А.Ф., Герасименко А.И., Шевченко В.В., Фартушная Е.А. К судебно-медицинской оценке результатов химико-токсикологического исследования крови на алкоголь. *Суд.-мед. Эксперт.* 2002;45(6):35–38]. PMID: 12516306
7. Nedugov GV, Sharafullin IT. Estimation of the maximum available concentration of ethanol in the mixed cardiac blood and urine in the aspect of detection of exogenous application of ethanol. *Bulletin of forensic medicine.* 2018;7(3):39–43. (In Russ.). [Недугов Г.В., Шарафуллин И.Т. Оценка максимально возможной концентрации этанола в смешанной сердечной крови и моче в аспекте выявления экзогенного внесения этанола. *Вестник судебной медицины.* 2018;7(3):39–43].