

## ОБ ИМПЕДАНСОМЕТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КОЖНОГО ПОКРОВА ТРУПА В ПРЕСНОЙ ВОДЕ

Вавилов А.Ю.<sup>1</sup>, Рыкунов И.А.<sup>1</sup>, Решетов А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России, Ижевск, e-mail: izhsudmed@hotmail.com.

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Алтайский государственный медицинский университет» Минздрава России, Барнаул, e-mail: smeart@yandex.ru.

При экспертизе трупа, извлеченного из воды, одним из основных вопросов, решаемых судебно-медицинским экспертом, является достоверное определение длительности пребывания трупа в воде. В настоящее время при ответе на данный вопрос эксперты пользуются способами, не позволяющими исключить субъективное восприятие изменений, происходящих с трупом. На основании экспериментального исследования авторы статьи предлагают оригинальный способ фиксации электропроводности кожного покрова трупа, позволяющий цифровыми значениями зафиксировать изменения, происходящие в коже трупа, находящегося в воде. Способ заключается в импедансометрической регистрации электрического сопротивления кожного покрова на высоких и низких частотах с последующим расчетом коэффициента дисперсии электропроводности. В ходе научной работы статистическими методами доказано отсутствие влияния на фиксируемые изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова таких факторов, как пол, возраст, причина смерти человека, а также наличие либо отсутствие этанола в его крови. Выявлена зависимость исследуемых изменений от температуры воды, в которую погружен исследуемый объект. Разработано уравнение, которое математически описывает зависимость коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова трупа от длительности контакта с водой. Предварительно определены временные границы, в которых данный способ работоспособен. Авторы полагают, что предложенный способ может способствовать повышению объективности оценки изменений, происходящих в коже трупа, погруженного в воду определенной температуры, и в дальнейшем может стать основой для объективного определения длительности пребывания трупа в воде.

Ключевые слова: длительность пребывания трупа в воде, биофизические методы, импедансометрия, электропроводность кожного покрова, коэффициент дисперсии электропроводности.

## ABOUT IMPEDANSOMETRIC REGISTRATION OF CHANGE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF THE SKIN COVER OF A CORSE IN FRESH WATER

Vavilov A. Yu.<sup>1</sup>, Rykunov I. A.<sup>1</sup>, Reshetov A. V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Izhevsk State Medical Academy of the Russian Ministry of Health, Izhevsk, e-mail: izhsudmed@hotmail.com;

<sup>2</sup> Altai State Medical University of the Russian Ministry of Health, Barnaul, e-mail: smeart@yandex.ru.

When examining a corpse removed from the water, one of the main issues addressed by the forensic expert is a reliable determination of the duration of the corpse's stay in the water. Currently, when answering this question, experts use methods that do not allow to exclude the subjective perception of changes occurring with the corpse. On the basis of an experimental study, the authors of the article propose an original method for fixing the electrical conductivity of the skin of a corpse, which allows digital values to record changes occurring in the skin of a corpse in water. The method consists in impedance registration of the electrical resistance of the skin at high and low frequencies, followed by calculation of the dispersion coefficient of the electrical conductivity. In the course of scientific work, statistical methods have proved the absence of influence on the recorded changes in the dispersion coefficient of the electrical conductivity of the skin of such factors as gender, age, cause of death of a person, as well as the presence or absence of ethanol in his blood. The dependence of the studied changes on the temperature of the water in which the object under study is immersed is revealed. An equation has been developed that mathematically describes the dependence of the coefficient of dispersion of the electrical conductivity of the skin of a corpse on the duration of contact with water. The time limits within which this method is efficient are predetermined. The authors believe that the proposed method can help to increase the objectivity of assessing the changes occurring in the skin of a corpse immersed in water at a certain temperature, and in the future can become the basis for an objective determination of the duration of the corpse's stay in water.

Key words: the duration of the corpse's stay in water, biophysical methods, impedancemetry, electrical conductivity of the skin, coefficient of dispersion of electrical conductivity.

По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2021 году в Российской Федерации зарегистрировано 6253 случая гибели людей в воде – утоплений [1]. Однако обнаружение трупа в водоеме не обязательно подразумевает смерть от утопления [2], так как существует несколько основных причин, по которым труп может оказаться в воде: 1) утопление; 2) смерть в воде от заболевания; 3) смерть от повреждений; 4) выбрасывание трупа в воду с целью сокрытия преступления или симулирования несчастного случая. Следовательно, количество трупов, обнаруженных в воде, значительно больше приведенной Росстатом цифры. Поэтому судебно-медицинское исследование трупа, извлеченного из воды, проводится всегда. При этом, учитывая причины, по которым труп мог оказаться в воде, одним из основных вопросов является определение длительности пребывания трупа в воде.

За годы развития судебной медицины разработано большое количество способов определения срока пребывания трупа в воде [3]. Однако в основе практически всех этих способов лежит субъективная оценка того или иного признака – количества и размера водорослей, грибов, ракушек, насекомых (блох, вшей) и паразитов (аскарид) [4, 5, 6], сроки выпадения волос, выраженность гнилостных изменений и т.д. [3]. Наиболее распространенным в экспертной среде способом определения длительности пребывания трупа в воде является оценка степени выраженности мацерации его кожного покрова [7, 8], которая также зависит от субъективного восприятия врача – судебно-медицинского эксперта, на которое могут влиять многие факторы, начиная от качества освещения в момент осмотра трупа и заканчивая опытом эксперта.

В 1970-е годы на Каспийском море проводились исследования, основанные на диффузии морской воды различной температуры в волосе человека и изменении его веса, по результатам которых был запатентован способ определения давности пребывания трупа в воде [9]. Данный способ уникален, он позволяет объективно обосновать вывод эксперта, выразив его в цифровых значениях, что исключает субъективное восприятие изменений трупа, обусловленных его пребыванием в воде. Однако он применим исключительно к морской воде и не может в полной мере быть использован повсеместно, учитывая преобладание на территории нашей страны пресных водоемов.

Таким образом, в настоящее время отсутствует какой-либо способ определения длительности пребывания трупа в пресной воде, исключающий субъективное восприятие изменений трупа и позволяющий зафиксировать эти изменения цифровыми значениями.

В последние годы для объективизации исследуемых изменений в объекте и исключения их субъективного восприятия многие исследователи применяют биофизические методы. Они основаны на результатах инструментального измерения определенных параметров (таких как температура, оптическая плотность биологических тканей, их способность проводить

электрический ток и т.д.), изменяющихся в биологическом объекте под влиянием внешних или внутренних факторов [10], и уже используются в различных научных сферах, например в ботанике, медицине, метеорологии и т.д.

В области судебной медицины биофизические методы условно делят на категории в зависимости от анализируемого с их помощью параметра, в качестве которого могут выступать температура, оптическая плотность биологических тканей, их цветовые характеристики и т.д.

Одним из таких методов является импедансометрия, с помощью которой исследователь может количественно, а следовательно, объективно, фиксировать изменения токопроводящих свойств различных жидкостей, тканей и структур тела человека [11, 12, 13]. При этом постоянно увеличивающееся количество научных работ, описывающих закономерности этих изменений, указывают на высокую работоспособность данного биофизического метода [14, 15].

В процессе изучения импедансометрии нами была выдвинута гипотеза, что при нахождении трупа в воде в его кожном покрове будут изменяться соотношение между сухим веществом и жидкостью, а также электролитный состав, что неизбежно повлечет изменение токопроводящих свойств, которые можно зафиксировать.

Биологические ткани за счет наличия свободных ионов в клетках и тканях обладают электрической проводимостью, а структурные компоненты и явления поляризации определяют их диэлектрические свойства. Измерения токопроводящих свойств ткани на низких и высоких частотах позволяют оценивать соотношения жидкости и белковых фракций. Безразмерная величина, равная отношению низкочастотного полного сопротивления (импеданса) к высокочастотному, называется коэффициентом дисперсии электропроводности (КДЭ). Его изменения дают наиболее четкое представление об электропроводности объекта [14].

Вышеизложенное определило содержание представленной работы и позволило сформулировать следующую цель.

**Целью** нашего исследования явилась разработка способа объективной фиксации изменения электропроводности кожного покрова трупа, находящегося в пресной воде.

**Материалы и методы исследования.** Для достижения поставленной цели нами в условиях экспериментального исследования от трупов изымалось по пять кожных лоскутов из областей без повреждений (кровоподтеков, ссадин, ран и т.п.), которые помещались в емкости с водой определенной температуры. Вода для нашего исследования набиралась из естественного водоема – реки Эсс, протекающей по территории Советского района Ханты-Мансийского автономного округа.

Температура воды в емкостях контролировалась погружными термометрами и поддерживалась искусственно:

0–2°C – вода с большим количеством льда в условиях холодильной камеры с температурой окружающей среды около 4°C;

3–14°C – вода в холодильной камере с температурой окружающей среды 4–14°C;

15–24°C – вода в условиях помещения с температурой 18–23°C;

25–30°C и 30–40°C – вода с погружными водонагревателями, настроенными на поддержание необходимой температуры.

Исследование проведено на 68 трупах различного пола и возраста, смерть которых произошла в пределах одних суток до начала исследования. Помимо пола и возраста, нами фиксировались такие индивидуальные признаки, как причина смерти, наличие либо отсутствие этилового спирта в крови умершего.

Измерение электрического сопротивления кожного покрова осуществлялось на трех частотах – 100 Гц, 1 кГц и 10 кГц – измерителем параметров RLC АКПП-6109, оснащенный игольчатым погружным датчиком.

Замеры проводились каждые 6 часов пребывания объекта в воде в течение 5 суток. Указанный срок измерений был выбран на основании предположения, что за 5 суток пребывания трупа в воде разовьются значительные гнилостные изменения, которые могут исказить результаты измерений, дополнительно влияя на водно-электролитный состав кожного покрова. Первое измерение проводилось непосредственно перед погружением исследуемого объекта в воду определенной температуры.

Получаемые результаты заносились в разработанные нами таблицы в программу Microsoft Excel с дальнейшим проведением расчетов коэффициента дисперсии электропроводности, построением графиков и математической обработкой полученных экспериментальным путем данных.

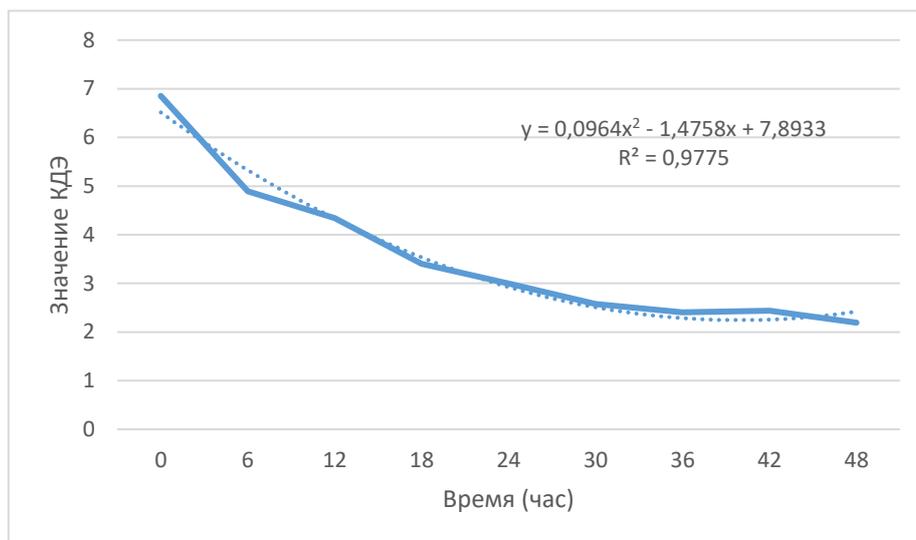
В процессе увеличения количества случаев мы обратили внимание, что к концу вторых суток значение коэффициента дисперсии электропроводности практически переставало изменяться, переходя в практически ровную горизонтальную линию с незначительными колебаниями по высоте. На основании этого срок измерений был сокращен до двух суток.

Статистический анализ влияния индивидуальных особенностей исследуемого объекта на динамику изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова трупа проводился с учетом типа распределения данных в выборках коэффициентов полиномиальных уравнений и с применением соответствующих параметрических (коэффициент корреляции Пирсона, модифицированный t-критерий Стьюдента с

применением поправки Бонферрони, критерий Ньюмена–Кейлса) и непараметрических (коэффициент ранговой корреляции Спирмена, Q-критерий Данна) методов.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для математического описания наблюдаемых изменений коэффициента дисперсии электропроводности было произведено построение графиков для каждого случая с добавлением трендов. Подбор вида регрессионной зависимости (линейная, экспоненциальная, логарифмическая и т.д.) осуществлялся итеративным путем по критерию наивысшей точности описания динамического процесса, что оценивалось нами по значению коэффициента достоверности аппроксимации ( $R^2$ ), который для медико-биологических исследований должен быть выше 95%. Одновременно с подбором тренда на графике отображалось уравнение регрессии, описывающее исследуемый процесс в динамике (рис. 1).

Из различных математических зависимостей (линейная, экспоненциальная, логарифмическая и т.д.) наиболее точно наблюдаемый процесс описывало уравнение полиномиальной регрессии второй степени, в связи с чем оно и было выбрано нами в качестве основы, примененной для формализации наблюдаемого процесса.



*Рис. 1. Математическое описание динамики изменения коэффициента дисперсии электропроводности (КДЭ)*

Таким путем установлено, что процесс изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова трупа, находящегося в воде, в общем виде может быть формализован и выражен математическим уравнением (1):

$$y = A \times x^2 + B \times x + C, \quad (1)$$

где  $y$  – значение параметра по оси  $y$  (значение КДЭ);

$x$  – значение параметра по оси  $x$  (время);

$A, B, C$  – коэффициенты полиномиального уравнения.

В итоге было получено 340 уравнений, описывающих динамику изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова. В каждом конкретном экспериментальном исследовании коэффициенты полиномиального уравнения (А, В, С) различались, на основании чего мы предположили, что индивидуальные особенности исследуемого объекта (пол и возраст умершего, причина его смерти, факт присутствия алкоголя в крови на момент смерти, вариант танатогенеза и температура воды) могут влиять на величину коэффициентов А, В, С.

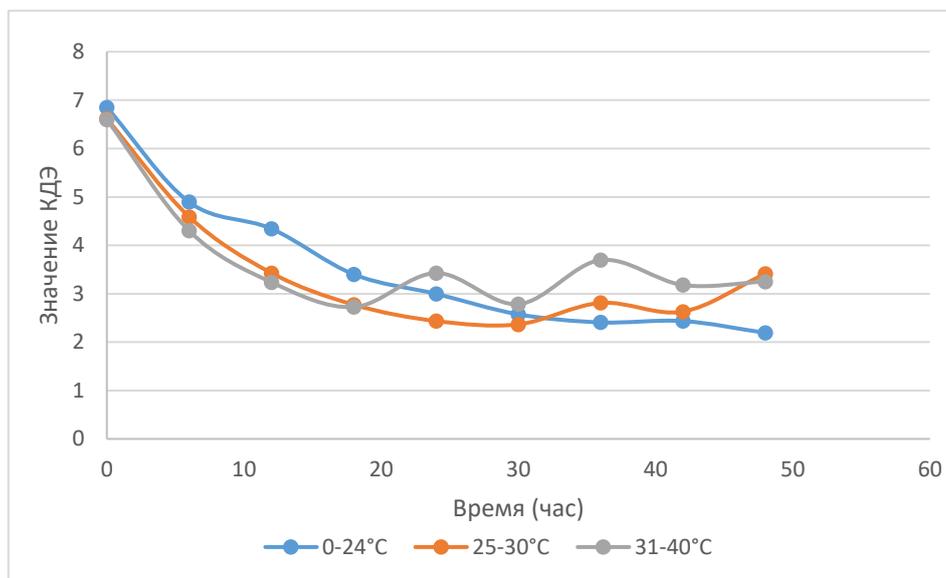
На следующем этапе нашей научно-исследовательской работы нами был проведен статистический анализ влияния указанных выше факторов на значения коэффициентов полиномиальных уравнений, описывающих каждое экспериментальное наблюдение.

Применением в случае нормального распределения коэффициента корреляции Пирсона, а в случае выявления выборки с распределением, отличающимся от нормального, – коэффициента ранговой корреляции Спирмена нами доказано отсутствие зависимости значения коэффициентов полиномиальных уравнений от возраста умерших.

Далее при проведении попарного и множественного сравнительного анализа, используя для части выборок с распределением, отличающимся от нормального, способ вычисления Q-критерия (Данна), а для выборок с нормальным типом распределения – модифицированный t-критерий Стьюдента с применением поправки Бонферрони (для уровня значимости 0,025), мы доказали отсутствие статистически значимой зависимости всех коэффициентов полиномиальных уравнений от половой принадлежности умерших, наличия/отсутствия в их организме этилового спирта и варианта танатогенеза.

Результаты, полученные применением методов множественного сравнительного анализа (критерия Ньюмена-Кейлса и Q-критерия Данна), указали на отсутствие статистически значимых различий коэффициентов в уравнениях при температурах воды 0–2°C, 3–14°C и 15–24°C. При этом они отличались от выборок температур 25–30°C и 31–40°C, которые между собой также статистически были различными.

С учетом полученных данных весь обрабатываемый материал был распределен на группы по условиям хранения образцов в различных температурных режимах. Для каждой группы с помощью табличного редактора Microsoft Excel построены графики, в динамике отражающие процесс изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожи (рис. 2).



*Рис. 2. Динамика изменения КДЭ кожи по группам*

На полученных графиках видно, что коэффициент дисперсии электропроводности кожного покрова, находящегося в воде температурой 0–24°C (синий график) на протяжении всех 48 часов, имеет относительно плавное снижение. При этом на графиках, отражающих динамику коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова, находящегося в воде температурой 24–30°C (оранжевый график) и 31–40°C (серый график), в определенный момент снижение значения коэффициента прерывается подъемом и переходит в волнообразное течение.

В воде температурой 25–30°C относительно плавное снижение коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова, без изменения направления графика и без волнообразных скачков наблюдается до 30 часов, а в воде температурой 31–40°C – до 18 часов. На наш взгляд, это обусловлено достижением определенного соотношения между сухим веществом и жидкостью, которое в дальнейшем значительно не меняется.

На основании изложенного мы считаем, что попытка построения математической модели, описывающей динамику изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова трупа, находящегося в воде, разрабатываемым импедансометрическим способом в более поздние периоды, чем указаны выше для каждой из температурных групп, нецелесообразна и может привести к искажению результатов.

**Заключение.** На основании предварительной обработки экспериментального материала нами получены следующие результаты:

- используя метод импедансометрии, можно фиксировать изменения электропроводности кожного покрова трупа, находящегося в пресной воде, получая количественный показатель, описывающий качественные электролитные изменения в коже;

– электропроводность кожного покрова трупа, находящегося в воде, изменяется с течением времени и может быть математически описана полиномиальным уравнением 2-й степени:

$$\text{КДЭ} = A \times \text{ДПТВ}^2 + B \times \text{ДПТВ} + C,$$

где КДЭ – коэффициент дисперсии электропроводности кожного покрова трупа;

ДПТВ – длительность пребывания трупа в воде (час);

A, B, C – коэффициенты полиномиального уравнения;

– динамика изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова трупа, находящегося в пресной воде любой температуры, не зависит от пола, возраста, наличия/отсутствия этанола в крови и причины смерти;

– динамика изменения коэффициента дисперсии электропроводности кожного покрова трупа, находящегося в пресной воде, зависит от длительности контакта с водой и ее температуры;

– электропроводность кожного покрова трупа, находящегося в воде, изменяется до момента достижения определенного соотношения между сухим веществом и жидкостью, которое в дальнейшем значительно не меняется: для воды температурой 0–24°C – 48 часов; для воды температурой 25–30°C – 30 часов; для воды температурой 31–40°C – 18 часов.

Таким образом, при продолжении данной научно-исследовательской работы имеется возможность разработать методику определения длительности пребывания трупа в пресной воде определенной температуры методом импедансометрии его кожного покрова.

### Список литературы

1. Число умерших по причинам смерти [Электронный ресурс]. [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/demo24-2\\_2021.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/demo24-2_2021.xlsx) (дата обращения: 16.02.2023).
2. Едомский Е.А. Медико-криминалистические аспекты осмотра и экспертизы трупа при подозрении на утопление // Актуальные проблемы правового регулирования, организации и тактики производства следственных действий. Сборник научных трудов / Под редакцией М.М. Горшкова, А.Б. Соколова, А.Р. Сысенко. Омск, 2022. С. 43-46.
3. Фирсов А.С., Калинина Е.Ю. Диагностика утопления: эволюция подходов и современные методы // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=19598> (дата обращения: 22.03.2023).
4. Dalal J., Sharma S., Bhardwaj T., Dhattarwal S.K., Verma K. Seasonal study of the decomposition pattern and insects on a submerged pig cadaver. J. Forensic Leg Med. 2020. V. 74. P. 102023. DOI: 10.1016/j.jflm.2020.102023.

5. Heaton V., Lagden A., Moffatt C., Simmons T. Predicting the postmortem submersion interval for human remains recovered from U.K. waterways. *J. Forensic Sci.* 2010. V. 55(2). P. 302-307. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2009.01291.
6. Magni P.A., Tingey E., Armstrong N.J., Verduin J. Evaluation of barnacle (Crustacea: Cirripedia) colonisation on different fabrics to support the estimation of the time spent in water by human remains. *Forensic Sci Int.* 2021. V. 318. P. 110526. DOI: 10.1016/j.forsciint.2020.110526.
7. Пиголкин Ю.И. Судебная медицина: национальное руководство. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 576 с.
8. Хвалёва Н.А., Добрынин А.С., Видревич С.Э., Шахов К.В. Утопление. Диагностика наступления смерти при утоплении // Конкурс лучших студенческих работ: сборник статей XI Международного научно-исследовательского конкурса. Пенза, 2021. С. 191-194.
9. Селимханов Ш.А., Юсуфов Р.М. Определение давности нахождения трупа в морской воде по диффузии воды в толщу волос // Судебно-медицинская экспертиза. 1974. № 3. С. 14-15.
10. Аминова Г.М., Халиков А.А., Вавилов А.Ю., Найденова Т.В. Дифференциальная диагностика трупного пятна и кровоподтека на гнилобно трансформированном трупе биофизическим методом // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 2. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26256> (дата обращения: 22.03.2023).
11. Золоторева В.С., Яшин С.С. Применение метода импедансометрии для определения жизнеспособности биологических тканей // Физика и медицина: создавая будущее. сборник материалов / Под редакцией Г.П. Котельникова, А.Н. Волобуева, Е.Л. Овчинникова, В.А. Калинина. 2018. С. 54-56.
12. Ковалева М.С. Определение давности образования кровоподтеков методом импедансометрии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2006. 24 с.
13. Витер В.И., Поздеев А.Р., Вавилов А.Ю., Костылев А.Л. Исследование электропроводности следов высохшей крови на месте их обнаружения в зависимости от давности происхождения // Здоровье, демография, экология финно-угорских народов. 2021. № 4. С. 29-34.
14. Поздеев А.Р., Костылев А.Л., Горбунова О.Л., Поздеева М.А. Способ определения давности образования следа крови // Труды Ижевской государственной медицинской академии: Сборник научных статей. Ижевск: ФГБОУ ВО «Ижевская государственная медицинская академия» Минздрава России, 2022. С. 177.

15. Сагидуллин Р.Х. Биофизическая объективизация выраженности мышечного (трупного) окоченения и его механического разрешения: автореф. дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2018. 24 с.