

01

Использование метода импедансометрии для уточнения срока давности наступления смерти

© О.С. Лаврукова, Е.Л. Казакова, И.В. Данилова

Петрозаводский государственный университет,
185910 Петрозаводск, Россия
e-mail: ekazakova@petrsu.ru

Поступило в Редакцию 27 февраля 2024 г.

В окончательной редакции 26 июня 2024 г.

Принято к публикации 26 июня 2024 г.

Проведены измерения импеданса биотканей модельных объектов — трупов свиней — в различные сроки постмортального периода в условиях естественного биоценоза и стандартизированных условиях. Представлены результаты исследования динамики импеданса и его дисперсии. Установлено наличие взаимосвязи между показателями импеданса и интервалами посмертного периода. Обсуждена возможность использования импедансометрических данных для установления давности наступления смерти в рамках реконструкции стадий и условий постмортального периода. Проведен анализ процессов, протекающих в мертвом теле.

Ключевые слова: давность наступления смерти, биологические ткани, посмертные изменения, импеданс, дисперсия импеданса.

DOI: 10.61011/JTF.2024.09.58664.54-24

Введение

Одной из актуальных и не до конца решенных проблем судебно-медицинской экспертизы остается установление давности наступления смерти (ДНС), особенно в позднем посмертном периоде (ППП). Подробное изучение процессов, протекающих в мертвом теле, реконструкция условий постмортального периода и стадирование процесса разложения являются неотъемлемыми шагами в решении этой проблемы.

Современный подход к рассмотрению посмертных изменений свидетельствует о том, что установление соответствия патоморфологии разложения тканей трупа и лежащих в ее основе абиотических и биотических факторов может являться обоснованием реально существующих его стадий. Однако характеристики деструкции мертвых тел зависят от ряда факторов, совместно действующих на труп и, зачастую, каталитически или ингибирующе действующих друг на друга. Все эти изменения, при возможности их всестороннего анализа, играют важнейшую роль в установлении ДНС. Вероятность ошибок, возникающих при установлении ДНС только по качественной оценке трупных явлений, можно сократить с помощью дополнительных объективных методов, основанных на регистрации численных параметров. В этом плане биофизические методы, в том числе метод импедансометрии, являются достаточно перспективными для решения задач судебной медицины.

Измерение импеданса тканей мертвого тела в разные сроки посмертного периода дает возможность анализа его изменения в зависимости от процессов, происходящих в тканях на органном и клеточном уровнях.

В прикладном судебно-медицинском аспекте это может являться основой эффективной экспертной диагностики ДНС, сочетающей анализ традиционных методов ее определения и метода импедансометрии, обеспечивая более точное определение продолжительности постмортального периода, в том числе и в поздние его сроки [1,2].

Метод импедансометрии нашел широкое применение в биологии и медицине. Для интерпретации результатов измерения импеданса живых тканей используется представление об электрических свойствах биологических объектов. Наличие свободных ионов в клетках и межклеточном пространстве обуславливает их электропроводность. Диэлектрические свойства биологических объектов определяются наличием мембран, структурных компонентов и явлениями поляризации. Дисперсия импеданса — изменение импеданса в зависимости от частоты тока исследования — для живых тканей подчиняется определенным известным закономерностям [3–6].

Импеданс тканей на сравнительно низких частотах тока исследования определяется особенностями их структуры, уровнем кровоснабжения и содержанием проводящей жидкости в межклеточных пространствах, „плотностью упаковки“ структурных элементов в единице объема. На высоких частотах (10 kHz–1 MHz) — поляризацией фосфолипидов мембран клеток и дипольной поляризацией структурных образований в цитоплазме [5]. Дисперсию импеданса принято характеризовать коэффициентом дисперсии k_d , который определяется отношением импеданса биоткани на низкой частоте (100 Hz) к импедансу на высокой частоте (1 MHz). Жизнеспособная ткань имеет значение k_d больше единицы, причем k_d

тем выше, чем выше уровень обмена веществ [3]. По мере снижения активности обменных процессов и развития процессов деструкции коэффициент дисперсии уменьшается и для мертвой ткани стремится к единице. Импеданс биологических тканей может существенно изменяться под влиянием физиологических и патофизиологических факторов. Это позволяет использовать биоимпедансометрию для количественной оценки состояния органов и систем организма при различных заболеваниях, а также для выявления изменений в тканях [7,8].

Использование показателей электрического сопротивления тканей мертвого организма для определения ДНС наиболее полно изучено в раннем посмертном периоде (до 72 h с момента наступления смерти) [9,10]. Установлено, что клетки последовательно проходят этапы от функциональной активности через стабилизацию к дистрофии и разрушению, что позволяет в раннем посмертном периоде регистрировать остаточную активность переживающих клеток и тканей на трупе. Авторами обосновано измерение сопротивления трупа при нахождении электродов на трех частотах (R_1 (1 kHz), R_2 (10 kHz) и R_3 (200 kHz)) и предложено оценивать динамику относительных коэффициентов: R_1/R_3 , $(R_1 - R_2)/R_3$ и $(R_1 - R_2)/(R_2 - R_3)$. Разница $(R_1 - R_2)$ соответствует сопротивлению некробиотически измененных клеток, $(R_2 - R_3)$ — сопротивлению клеток с неизменной мембраной, R_2 характеризует сопротивление всех клеточных форм и волокнистых структур, R_3 характеризует преимущественно состояние межтканевой жидкости. Отмечается, что аутолиз носит волнообразный характер, когда периоды стабильности сменяются выраженными некробиотическими процессами [9]. Комплексная оценка морфологических и биофизических изменений тканей и органов подтверждает представление о том, что разрушение сложных биологических систем протекает как многоэтапный поликаузальный процесс, сопровождающийся нарастанием уровня энтропии объекта, которое происходит с разной скоростью на разных этапах постмортального периода.

Исследования по использованию метода импедансометрии для определения ДНС в ППП носят прикладной характер и направлены на установление количественной взаимосвязи показателя импеданса и срока ДНС [11–14]. Следует отметить, что все эти исследования проведены на фрагментах тканей трупов при определенных условиях их хранения. В работах [11,12] представлены результаты исследования на фрагментах ахиллова сухожилия длиной 3 см и почки (1/4 часть), проведенные в срок до 56 суток ДНС. Фрагменты хранились в кожаных „конвертах“ во избежание подсыхания. Импеданс измерялся на пяти частотах тока в интервале от 10 Hz до 100 kHz. Установлено волнообразное изменение импеданса ахиллова сухожилия для всех частот тока. Выработаны рекомендации, согласно которым измеренные величины импеданса необходимо сопоставить с диагностическими значениями величин

импеданса таблицы диагностики ДНС для почек и ахилловых сухожилий.

По результатам исследования на фрагментах (длиной 1.5 cm) срединного и седалищного нервов конечностей трупов людей на протяжении 8 недель установлены отдельные интервалы в сроках ДНС, которые могут быть определены по абсолютным значениям импеданса, измеренного на частотах 100 Hz, 1, 10 и 100 kHz, путем сравнения с диагностическими показателями импеданса [13].

При исследовании стекловидного тела глазного яблока [14] образец получали путем аспирации 0.3 ml стекловидного тела. Измерения импеданса произведены на частотах 100 Hz (Z_{LF}) и 100 kHz (Z_{HF}). Для коэффициента дисперсии $k_d = Z_{LF}/Z_{HF}$ получены аналитические зависимости от срока ДНС (полиномы третьей степени с соответствующими коэффициентами) для двух температурных интервалов нахождения мертвого тела. Определяемый срок ДНС подбирается итеративным путем до совпадения значения k_d , полученного при измерении, с величиной, полученной по аналитической зависимости. Авторами [11–14] отмечается влияние температурного режима на динамику импеданса.

Таким образом, установлено существование определенной временной динамики импеданса и коэффициента дисперсии для тканей мертвого тела, что позволяет говорить о перспективности использования импедансометрических данных для определения ДНС. Такой подход будет более эффективным при проведении анализа фундаментальных процессов, которые протекают в разлагающихся биологических тканях. Комбинация биохимических процессов, протекающих в мертвом теле и не наблюдаемых в живом организме (например, аутолиз), биотических факторов (воздействие микроорганизмов, насекомых и позвоночных животных) и абиотических факторов определяют скорость и интенсивность деградации и разложения тканей мертвого тела. В настоящее время практически отсутствуют литературные данные, описывающие эти процессы на клеточном уровне в посмертном периоде, что усложняет трактовку импедансометрических данных. В свою очередь, исследование динамики импеданса в постмортальном периоде открывает возможности для анализа посмертных процессов в биологических тканях.

Отметим достоинства метода импедансометрии для целей судебно-медицинской экспертизы: возможность прямой регистрации объективных биофизических показателей тканей организма, простота методики, высокая чувствительность, доступность исследования и мобильность (возможность использования портативного оборудования).

Целью исследования является изучение возможности использования импедансометрического метода в судебно-медицинской экспертизе для установления стадийности постмортального периода и уточнения срока ДНС в ППП.

1. Материалы и методика исследования

1.1. Объект исследования

Объектом исследования являлись модельные биообъекты — целостные трупы свиней. Считаем, что целесообразнее фиксировать изменения импеданса различных тканей непосредственно целостного трупа на протяжении длительного срока с момента наступления смерти, так как продолжительность, сущность процесса разложения целостного мертвого тела или изъятых фрагментов тканей существенно различаются. Для измерений были выбраны три диагностические зоны: кожно-мышечный лоскут плеча, хрящевая часть третьего ребра и ахиллово сухожилие. Выбор кожно-мышечного лоскута обусловлен доступностью зоны и максимальной простотой снятия показателей, хряща и сухожилия — их низкой метаболической активностью и незначительным влиянием индивидуальных особенностей биообъекта на данные ткани.

1.2. Предмет исследования

Предметом исследования являлись показатели импеданса (модуль импеданса $|Z|$ (далее Z) и относительные коэффициенты, выраженные через абсолютные значения Z на различных частотах тока исследования) и их временная зависимость (зависимость от срока ДНС). Проводили измерения Z для каждого срока ДНС для каждой диагностической зоны биообъекта на пяти частотах тока исследования. Импеданс измеряли прибором Keysight U1733C с двумя игольчатыми электродами из нержавеющей стали диаметром 0.5 mm с длиной погружной части 5 mm и закрепленными на расстоянии 5 cm. Выбор данного прибора обусловлен его портативностью и простотой в использовании. Заданный прибором набор частот тока исследования (100, 120 Hz, 1, 10 и 100 kHz) позволяет отслеживать дисперсию импеданса.

Для анализа временной зависимости показателей импеданса использовали как абсолютные значения импеданса Z , так и относительные коэффициенты, выраженные через абсолютные значения Z на различных частотах тока исследования. Вычисляли следующие коэффициенты:

$$k_d = Z_{0.1 \text{ kHz}}/Z_{100 \text{ kHz}}, \quad (1)$$

$$k_1 = (Z_{1 \text{ kHz}} - Z_{10 \text{ kHz}})/(Z_{10 \text{ kHz}} - Z_{100 \text{ kHz}}), \quad (2)$$

$$k_2 = (Z_{10 \text{ kHz}} - Z_{100 \text{ kHz}})/Z_{100 \text{ kHz}}. \quad (3)$$

Исследование зависимости импеданса и коэффициентов от срока ДНС позволяет проследить изменение характера дисперсии импеданса, что, в свою очередь, позволит судить о динамике постмортальных процессов [9].

Предварительно предполагалось создать базу данных показателей импеданса для различных сроков постмортального периода, что позволило бы выработать рекомендации по определению срока ДНС. На начальном этапе исследования возник ряд трудностей:

1) возможность измерения импеданса тканей только невооруженных трупов людей при нахождении их в отделе судебно-медицинской экспертизы до момента захоронения (что обычно составляет 2–3 недели);

2) экспериментальную работу возможно было осуществлять только при однотипных условиях холодильной камеры;

3) оказалось затруднительно стандартизировать проводимые исследования по их условиям (дате смерти объекта, его возрасту, толщине подкожной жировой клетчатки и некоторым другим параметрам, периодичности снятия показаний).

Сложности проведения измерений на трупах людей привели к необходимости выбора модельного объекта. Использование модельного объекта для изучения процесса разложения трупа широко используется в судебно-медицинской экспертизе [15–17]. Такой подход позволяет унифицировать измерения по дате смерти и по условиям проведения эксперимента, значительно сократив переменные, влияющие на исследуемый процесс. Авторами статьи [18] предложено обоснование выбора модельного биообъекта — трупа свиньи. Для исследований использовали трупы кабанчиков в возрасте одного-двух месяцев весом до 10 kg.

В стандартизированных условиях (температура воздуха $+4^\circ\text{C}$, влажность 45%) измерения Z проведены в двух сериях с промежутком в 2 года (по 4 модельных объекта в каждой серии). Измерения были проведены в сроки от 0 до 31 суток ДНС для всех диагностических зон, и от 61 до 80 суток ДНС только для кожно-мышечного лоскута, так как хрящ и сухожилие оказались непригодными для снятия показаний в этот период. Периодичность снятия показаний составляла 1–3 дня.

В условиях естественного биоценоза (северо-запад России, берег Онежского озера, летний период) измерения проведены также в двух сериях (1 и 2) с перерывом в 20 дней (по 4 биообъекта в каждой серии) в сроки 0–28 суток для ДНС для кожно-мышечного лоскута, 0–17 суток ДНС для хряща и сухожилия. Показания снимались раз в сутки. В табл. 1 приведены показатели состояния внешней среды при проведении измерений.

Данные для двух серий измерений Z , полученные при соответствующих условиях, хорошо согласуются между собой, поэтому для анализа данных при конкретных условиях использовали выборку из 8 объектов. Числовыми характеристиками выборки из 8 биообъектов являются медианные значения величины импеданса Z и соответствующих коэффициентов, значения нижнего и верхнего квартилей. Различия между количественными параметрами, соответствующими разным срокам ДНС, оценивали с помощью непараметрического критерия

Таблица 1. Показатели температуры и влажности среды при проведении биологических наблюдений и измерении импеданса в условиях естественного биоценоза

№ серии исследования	Среднесуточная температура ($t, ^\circ\text{C}$)		Влажность воздуха ($\varphi, \%$)	
	t_{\min}	t_{\max}	φ_{\min}	φ_{\max}
1	13.7	22.6	61.6	86.1
2	12.6	25.1	51.6	84.2

Вилкоксона для зависимых выборок [19]. Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью программы Statistica 8.0.

2. Результаты и их обсуждение

Обсуждение полученных результатов проводилось по двум направлениям: использование показателей импеданса, во-первых, для уточнения интервала в сроках ДНС и, во-вторых, для анализа процессов, протекающих в тканях мертвого тела.

Для всех частот тока исследования наблюдается идентичная зависимость Z от времени (срока ДНС), характерная для конкретной диагностической зоны и заданных условий проведения измерений.

2.1. Стандартизированные условия

Для всех диагностических зон проведена оценка характера динамики импеданса и относительных коэффициентов. Установлено:

а) в сроки ДНС от 0 до 31 суток для всех диагностических зон на всех частотах тока изменение величины Z с течением времени при общей тенденции уменьшения носит волнообразный характер, наиболее ярко выраженный для хрящевой ткани (рис. 1, линия 1). В период от 61 до 80 суток для кожно-мышечного лоскута значение Z практически не менялось, а его значение по сравнению с начальным периодом было меньшим в среднем в 4 раза;

б) для всех диагностических зон зависимости величины коэффициента k_1 от времени идентичны. На рис. 2 линия 1 соответствует зависимости k_1 от срока ДНС для кожно-мышечного лоскута;

в) для всех диагностических зон зависимости величины коэффициента k_2 от времени идентичны (рис. 2, линия 2 — для кожно-мышечного лоскута);

г) по анализу временных зависимостей Z , k_1 и k_2 условно выделены интервалы в сроках ДНС: интервал I — от 0 до 9 суток; интервал II — от 10 до 21 суток; интервал III — от 22 до 31 суток; интервал IV — от 61 до 80 суток (только для кожно-мышечного лоскута). При волнообразном изменении Z для разных сроков ДНС, которые относятся к интервалам I и III, величина Z имеет близкие (статистически неразличимые)

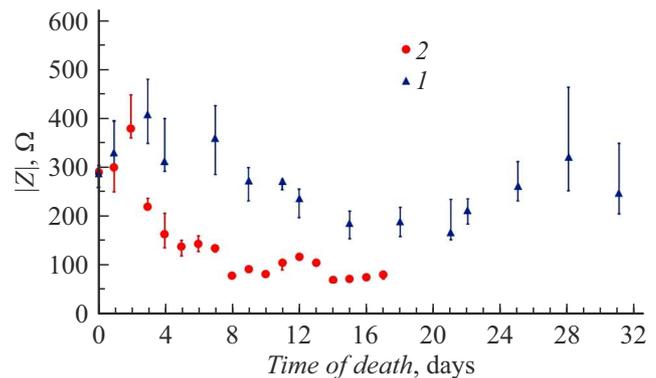


Рис. 1. Зависимость модуля импеданса $|Z|$ хрящевой ткани от времени (срока ДНС) на частоте 1 kHz в стандартизированных условиях (1) и условиях естественного биоценоза (2). Точки на графиках являются медианными значениями Z . Крайя вертикальных отрезков — границы нижнего и верхнего квантилей.

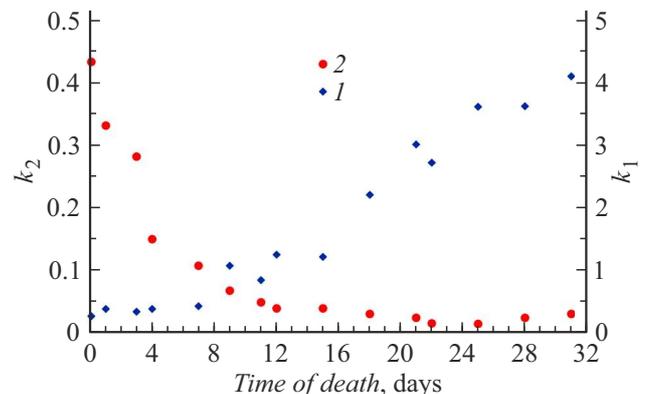


Рис. 2. Зависимость коэффициентов k_1 (1) и k_2 (2) от времени (срока ДНС) для кожно-мышечного лоскута в стандартизированных условиях.

значения. При этом коэффициент k_1 в интервалах I и III имеет значительно отличающиеся значения (табл. 2). Следует подчеркнуть, что медианные значения k_1 в интервале I меньше единицы, а в интервале III превышают это значение, что свидетельствует об изменении характера дисперсии Z ;

д) коэффициент дисперсии k_d для всех диагностических зон на протяжении срока исследования оставался

Таблица 2. Значения коэффициента k_1 в сроки ДНС, соответствующие временным промежуткам от 0 до 9 суток (интервал I) и от 22 до 31 суток (интервал III) для исследуемых диагностических зон

Интервал ДНС	Медиана k_1 [нижний квартиль; верхний квартиль]		
	Хрящ	Кожно-мышечный лоскут	Сухожилие
I	0.69 [0.58; 0.80]	0.58 [0.37; 0.78]	0.95 [0.82; 1.15]
III	3.71 [3.25; 4.76]	3.71 [2.11; 4.23]	3.44 [1.67; 4.78]

большим единицы ($k_d \approx 1.5$). А для кожно-мышечного лоскута в период от 75 до 80 суток установлен рост k_d до значения 2.5.

Таким образом, в стандартизированных условиях для исследуемых биообъектов комплексная количественная оценка Z , k_1 и k_2 позволяет различать в сроках ДНС временные интервалы I и III.

Возможна ли интерпретация полученных результатов с точки зрения описания процессов, протекающих в тканях с установлением их стадийности? Наличие дисперсии Z на всех исследуемых сроках ДНС может свидетельствовать о протекании определенных процессов в мертвом теле. Прекращение функционирования мембран при отсутствии других процессов должно привести к полному исчезновению дисперсии Z [3,5]. Экспериментально установленное наличие дисперсии Z и изменение ее характера в зависимости от срока ДНС в ППП в стандартизированных условиях может быть вызвано, наряду с прекращением функционирования мембран, нарушением самой структуры мембран. Это происходит в результате аутолиза под воздействием собственных ферментов и развивающегося процесса гниения (нарастания массы микроорганизмов, вырабатывающих активизирующиеся на разных стадиях путрификации наборы энзимов). Процессы аутолиза и гниения могут иметь разную скорость и интенсивность в разные сроки ДНС, что определяется в том числе объемом биомассы микроорганизмов, вырабатывающих ферменты, что, в свою очередь, зависит от температуры окружающей среды. Наиболее комфортной для развития гнилостной микрофлоры является температура от +25 до +35°C, а при температуре ниже +6°C этот процесс затормаживается [20]. Наблюдаемая нами волнообразная динамика импеданса в стандартизированных условиях, по-видимому, связана с периодами некоторой активации и затухания процессов аутолиза и гниения.

Согласно [5], дисперсия Z живых тканей в интервале частот от 10 kHz до 1 MHz должна определяться поляризацией фосфолипидов мембран клеток и дипольной поляризацией структурных образований в цитоплазме. Так, при вычислении коэффициентов k_1 и k_2 (формулы (2) и (3)) используется разница значений Z для частот 10 и 100 kHz. Практически неизменные значения k_1 и k_2 в интервале III (рис. 2) могут свидетельствовать об отсутствии процессов поляризации ввиду прекращения

функционирования мембран клеток и органоидов наряду с протеканием других процессов, так как наблюдается изменение Z . Изменение же величины k_1 в интервале II и k_2 в интервале I (рис. 2), возможно, связано с изменением соотношения клеток с поврежденной (их нарастания) и сохранной (их уменьшения) мембранами.

Таким образом, наличие временной динамики для Z , k_d , k_1 и k_2 в стандартизированных условиях свидетельствует о существовании определенной стадийности протекания деструкции клеток и тканей мертвого тела, характеризуемой периодами активизации и затухания процессов их аутолиза и гниения. Дополнительные исследования и их анализ (а именно определение соотношения активной и емкостной составляющих импеданса, установление частотной зависимости фазового сдвига) позволит провести более детальную интерпретацию результатов.

2.2. Условия естественного биоценоза

Были проведены наблюдения биологических изменений тканей трупов модельных биообъектов и измерения импеданса Z диагностических зон.

В биофизических исследованиях установлено:

а) зависимость Z от срока ДНС идентична для всех частот тока исследования всех диагностических зон модельных биообъектов: можно выделить начальный интервал 0–4 суток, где Z дает „всплеск“ с дальнейшим неравномерным его уменьшением (рис. 1, линия 2) [21];

б) характер изменения коэффициентов k_1 , k_2 и k_d качественно аналогичен их изменению в стандартизированных условиях, но временные интервалы сокращены. Так, для k_1 начальный интервал, когда его значение меньше (или порядка) единицы, сократился до 4 суток по сравнению с интервалом I (от 0 до 9 суток) в стандартизированных условиях;

в) для хряща и кожно-мышечной ткани на фоне уменьшения k_2 на 11-е сутки ДНС наблюдается скачок его величины (рис. 3). Установлены статистически значимые различия величин k_2 на 10 и 11 сутки ДНС и на 11 и 12 сутки. Данные результаты получены в обеих сериях измерений (табл. 1);

г) коэффициент дисперсии k_d на протяжении всего периода исследования имел значение больше единицы (порядка 1.5). Для кожно-мышечного лоскута (рис. 4)

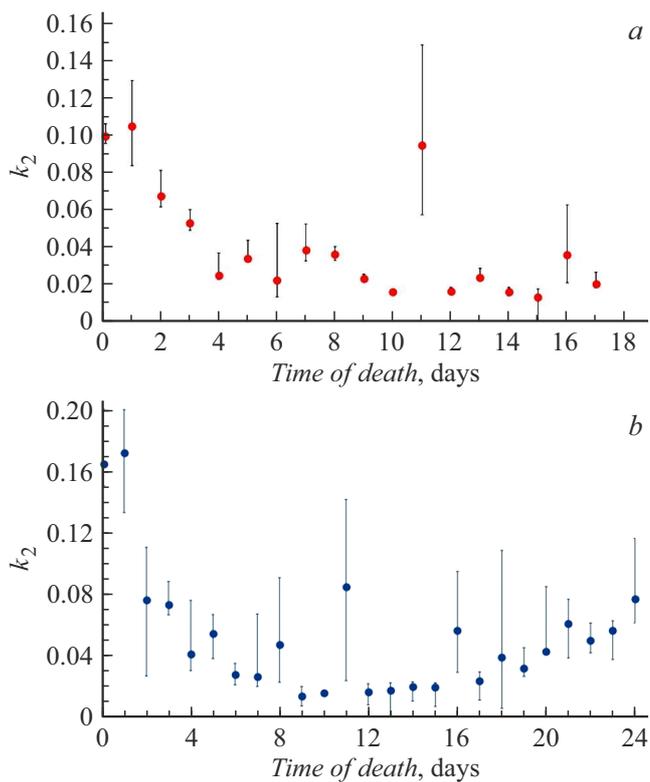


Рис. 3. Зависимость коэффициента k_2 от времени (срока ДНС) для хрящевой ткани (а) и кожно-мышечного лоскута (б) в условиях естественного биоценоза.

наблюдается рост значение k_d , как и в стандартизованных условиях, только в более ранний срок — с 17 суток ДНС.

Биологические наблюдения позволили установить, что временная последовательность биологических изменений для серий исследований 1 и 2 совпадает по срокам ДНС, несмотря на некоторые отличия показателей основных абиотических факторов среды на момент наблюдения (табл. 1). Прослежены две стадии разложения мягких тканей трупов модельных биообъектов, которые условно можно обозначить как „преимущественно микробиологическая“, а затем „микробно-зоологическая“ утилизация. Согласно [22] и проведенным наблюдениям, интервалу 0–4 суток соответствует преимущественно микробная деструкция. С появлением некрофильных насекомых начинается вторая стадия [23]. В наших наблюдениях эта стадия начинается с 4–5 суток срока ДНС. Следует заметить, что начальный интервал изменения Z („всплеск“) в условиях естественного биоценоза по срокам ДНС четко соответствует первой стадии биологического разложения (микробная деструкция) модельного биообъекта.

Сравнительный анализ динамики однотипных показателей импеданса в различных условиях позволяет высказать предположение о протекании или отсутствии каких-

либо процессов. В обсуждаемых исследованиях учет микробиологической и энтомологической составляющих деструкции необходим в условиях естественного биоценоза, тогда как в стандартизованных условиях можно учитывать только микробиологическую составляющую. Рост коэффициента дисперсии k_d (рис. 4), наблюдаемый как в стандартизованных, так и естественных условиях, но происходящий в разные сроки, возможно, связан с различной скоростью и интенсивностью именно микробиологических процессов и аутолиза.

Резкое изменение коэффициента k_2 на 11-е сутки ДНС и увеличение разброса его значений (рис. 3) по сравнению с практическим отсутствием разброса значений k_2 в соседние сроки позволяет рассматривать данный скачок как повод для обсуждения. По биологическим наблюдениям именно в этот срок произошло массовое перемещение личинок некрофильных мух непосредственно с трупа в почву для дальнейшего окукливания, что привело к изменению биомассы некробионтов и процесса разложения мертвого органического вещества. Это может свидетельствовать о стихании и завершении энтомологических процессов деструкции и в дальнейшем — о преобладании микробиологических процессов. Таким образом, возможно использование изменения показателей импеданса в условиях естественного биоценоза для регистрации и исследования энтомологических процессов в посмертном периоде.

В прикладном плане установление связи между импедансометрическими данными (Z , коэффициенты) и сроком ДНС подразумевает формулирование четких рекомендаций и/или таблиц, графиков, уравнений и т. п., которыми сможет воспользоваться судебно-медицинский эксперт для определения ДНС. Объективно необходим комплексный подход к установлению ДНС. Ввиду многочисленности факторов, которые следует учитывать при этом, провести такую процедуру „вручную“ весьма затруднительно. На современном этапе развития ИТ-технологий создание программного модуля для опре-

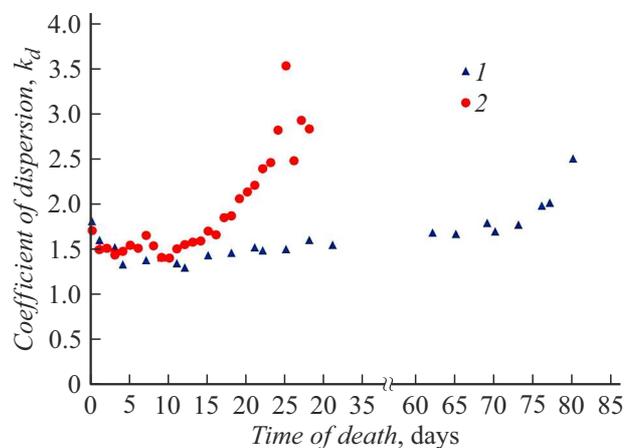


Рис. 4. Зависимость коэффициента дисперсии k_d от срока ДНС для кожно-мышечной ткани в стандартизованных условиях (1) и условиях естественного биоценоза (2).

деления ДНС авторами рассматривается как наиболее перспективный вариант. Дальнейшее исследование направлено как на расширение базы данных показателей импеданса (по количеству исследуемых биообъектов и по срокам ДНС), что позволит повысить точность получаемых оценок, так и на поиск и разработку подходов к созданию программного модуля для определения ДНС.

Заключение

Наличие дисперсии импеданса для всех наблюдаемых сроков ДНС отражает протекание деструктивных процессов в мертвом теле. Изменение характера дисперсии импеданса на различных интервалах ДНС может быть вызвано как сменой стадий в процессе разложения, так и изменением скорости и интенсивности их прохождения. Изменение условий нахождения мертвого тела отражается на импедансометрических показателях.

Понимание причин и сущности процессов, протекающих в теле посмертно, позволяет оценить и обосновать характер изменения каких-либо характеристик тканей, измеряемых количественно, в том числе и показателей импеданса, а также прогнозировать перспективность их использования в конкретных практических целях, а именно для диагностики давности наступления смерти. Немаловажным является поиск удобной и рациональной формы представления рекомендаций по использованию показателей импеданса для определения срока ДНС.

Импедансометрический подход к определению продолжительности постмортального интервала должен использоваться в комплексе с традиционными методами судебно-медицинской экспертизы и базироваться на анализе фундаментальных процессов, протекающих в мертвых биологических тканях и определяющих биохимическим состоянием объекта (аутолиз), с учетом микробиологической и энтомологической составляющих деструкции и абиотических факторов.

Соблюдение этических стандартов

Все эксперименты проводили с соблюдением соответствующих этических норм и правовых документов (заключение Комитета по медицинской этике при Министерстве здравоохранения и социального развития Республики Карелия и Петрозаводском государственном университете № 43 от 21 мая 2019 года).

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Список литературы

- [1] Г.А. Пашинян, Г.Н. Назаров. *Биофизические методы исследования в судебной медицине* (Экспертиза, Ижевск, 1999)
- [2] E.S. Hansen, Ch. Baigent, S.I. Reck, M. Connor. *J. Forensic Sci.*, **63** (4), 1186 (2018). DOI: 10.1111/1556-4029.13695
- [3] В.О. Самойлов. *Медицинская биофизика* (Спец. Лит, СПб., 2004)
- [4] Г.К. Ильич, В.Г. Лещенко. *Электрические и магнитные свойства биологических тканей* (БГМУ, Минск, 2007)
- [5] Ю.В. Торнуев, Д.Л. Непомнящих, Д.Б. Никитюк, Г.А. Лапий, О.П. Молодых, Р.Д. Непомнящих, Е.В. Колдышева, Ю.М. Криницына, С.М. Балахнин, Р.А. Манвеладзе, Д.Е. Семенов, Б.В. Чурин. *Фундаментальные исследования*, **10** (4), 782 (2014). URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35623> (дата обращения: 19.02.2024)
- [6] И.В. Кривцун, И.В. Пентегов, В.Н. Сидорец, С.В. Рымар. *Электротехника и электромеханика*, **5**, 27 (2017). DOI: 10.20998/2074-272X.2017.5.04
- [7] Л.И. Калакутский, С.А. Акулов, А.А. Федотов. *Основы импульсной импедансометрии биологических тканей* [Электронный ресурс] (Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королева (Нац. исслед. ун-т), Самара, 2011)
- [8] T.V. Pryimak, I.M. Gasyuk, A.V. Grubyak, D.M. Chervinko. *Mater. Today: Proceedings*, **62** (9), 5796 (2022). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.654>
- [9] Ю.И. Пиголкин, А.А. Коровин. *Судебно-медицинская экспертиза*, **6** (41), 8 (1998).
- [10] А.А. Коровин. Автореф. докт. дисс. (Рос. Центр судебно-медицинской экспертизы Мин. здравоохранения России, М., 2000)
- [11] Я.А. Никифоров. *Проблемы экспертизы в медицине*, **3** (3), 44 (2003).
- [12] Я.А. Никифоров, В.Л. Прошутин. *Проблемы экспертизы в медицине*, **4** (3), 45 (2003).
- [13] А.С. Емельянов, В.Л. Прошутин. *Вятский медицинский вестник*, **66** (2), 38 (2020). DOI: 10.24411/2220-7880-2020-10079
- [14] А.М. Онянов. Автореф. канд. дисс. (Ижевская государственная медицинская академия, Ижевск, 2008)
- [15] E.R. Hyde, D.P. Naarmann, A.M. Lynne, S.R. Bucheli, J.F. Petrosino. *Plos One*, **8** (10), (2013). DOI: 10.1371/journal.pone.0077733
- [16] J.R. Melvin, L.S. Cronholm, L.R. Simson, A.M. Isaacs. *J. Forensic Sci.*, **29**, 412 (1984).
- [17] D.O. Carter, D. Yellowlees, M. Tibbett. *Science Nature*, **94** (1), 12 (2007). DOI: 10.1007/s00114-006-0159-1
- [18] В.Л. Попов, Е.Л. Казакова, О.С. Лаврукова. *Судебно-медицинская экспертиза*, **64** (5), 36 (2021). DOI: 10.17116/sudmed20216405136
- [19] С. Гланц. *Медико-биологическая статистика* (Практика, М., 1999) [Пер. с англ. S.A. Glantz. *Primer of Biostatistics*. (McGraw Hill, NY., 1992)]
- [20] H. Li, S. Yang, M.V. Semenov, F. Yao, J. Ye, R. Bu, R. Ma, J. Lin, I. Kurganova, X. Wang, Y. Deng, I. Kravchenko, Y. Jiang, Y. Kuzyakov. *Global Change Biology*, **27**, 2763 (2021). DOI: 10.1111/gcb.15593

- [21] О.С. Лаврукова, Е.Л. Казакова, А.Ю. Поляков. Кубанский научный медицинский вестник, **30** (5), 77 (2023). DOI: 10.25207/1608-6228-2023-30-5-77-86
- [22] G.T. Javan, S.J. Finley, I. Can, J.E. Wilkinson, J.D. Hanson, A.M. Tarone. Sci. Rep., **6**, 29598 (2016). DOI: 10.1038/srep29598
- [23] S. Matuszewski, K. Frątczak, S. Konwerski, D. Bajerlein, K. Szpila, M. Jarmusz, M. Szafałowicz, A. Grzywacz, A. Mądra. Int. J. Legal Med., **130** (1), 221 (2016). DOI: 10.1007/s00414-015-1145-y