

СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСМЕРТНОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Берая Р.Ф.¹, Лаврукова О.С.²

¹ГБУЗ Республики Карелия «Бюро судебно-медицинской экспертизы», Петрозаводск, bsme@zdrav10.ru;

²ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, rektorat@petrsu.ru

Целью работы являлось выделение значимых для судебно-медицинской экспертизы последствий посмертного биологического воздействия. Исследования проводились в Северо-Западном регионе России, где в качестве объектов изучения использовались трупы людей, свиней, кур, мышей и других млекопитающих на различных стадиях разложения. Применяли традиционные микробиологические методы и ПЦР-анализ для идентификации микроорганизмов, а также энтомологические методы для изучения разложения трупов насекомыми. Установлено, что механизм посмертного повреждающего действия внешнего биологического фактора принципиально отличается от механизма прижизненного воздействия этого фактора. Источниками посмертного биологического воздействия являются микрофлора, насекомые и позвоночные-падальщики. Основной механизм посмертного биологического воздействия микроорганизмов и насекомых – ферментативное разрушение (деструкция, разложение) мягких биологических тканей с их последующей утилизацией. На динамику жизнедеятельности микробов и насекомых по деструкции и утилизации биологических тканей заметное влияние оказывают видовые свойства некробиоты и условия окружающей среды. Помимо определения давности наступления смерти, последствия постмортального действия микроорганизмов и насекомых позволяют осуществлять судебно-медицинскую реконструкцию условий постмортального периода, включая место наступления смерти, факт перемещения трупа в окружающей среде и др. Ввиду своеобразия источников биологического воздействия и методики их экспертного исследования целесообразно внедрение в практику данного вида экспертиз, что требует предварительной подготовки судебно-медицинских экспертов по соответствующей тематике на цикле послевузовской специализации.

Ключевые слова: судебная медицина, посмертное биологическое воздействие, микроорганизмы, насекомые, позвоночные-падальщики, давность наступления смерти.

FORENSIC ASPECTS OF POST-MORTEM BIOLOGICAL EXPOSURE

Beraya R.F.¹, Lavrukova O.S.²

¹Forensic Medical Expertise Bureau of the Republic of Karelia, Petrozavodsk, bsme@zdrav10.ru;

²Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, rektorat@petrsu.ru

The aim of the work was to identify the consequences of postmortem biological effects that are significant for forensic medical examination. The studies were conducted in the North-West region of Russia, where the objects of study were the corpses of people, pigs, chickens, mice and other mammals at various stages of decomposition. Traditional microbiological methods and PCR analysis were used to identify microorganisms, as well as entomological methods to study the decomposition of corpses by insects. It was found that the mechanism of the postmortem damaging effect of an external biological factor differs fundamentally from the mechanism of the intravital effect of this factor. The sources of postmortem biological effects are microflora, insects and vertebrate scavengers. The main mechanism of the postmortem biological effects of microorganisms and insects is enzymatic destruction (destruction, decomposition) of soft biological tissues with their subsequent utilization. The dynamics of the vital activity of microbes and insects in the destruction and utilization of biological tissues is noticeably affected by the species properties of necrobiota and environmental conditions. In addition to determining the time of death, the effects of postmortem action of microorganisms and insects allow for forensic medical reconstruction of the conditions of the postmortem period, including the place of death, the fact of movement of the corpse in the environment, etc. Due to the uniqueness of the sources of biological impact and the methods of their expert examination, it is advisable to introduce this type of examination into practice, which requires preliminary training of forensic medical experts on the relevant topic in the cycle of postgraduate specialization.

Keywords: forensic medicine, post-mortem biological impact, microorganisms, insects, carrion vertebrates, age of death.

Введение. В специальной судебной-медицинской литературе имеется большое количество публикаций, посвященных характеристике повреждений, причиняемых животными. Однако не следует отождествлять биологическую травму и повреждения животными, так как в подавляющем числе эти публикации описывают именно механические повреждения, причиняемые животными [1-3]. Речь же идет о специальном биологическом воздействии, представляющем собой особый (специфический) вид, присущий представителям живой природы, способный причинить прижизненное или посмертное повреждение. Вариантами травмирующего биологического воздействия могут быть биоорганическое (деструкция, утилизация), биоэлектрическое, биотоксическое (токсичное), токсико-аллергическое, антигенное, инфицирование открытых повреждений (локальное, регионально распространенное, генерализованное) [4-6].

В данном сообщении речь пойдет о судебно-медицинских аспектах посмертного биологического воздействия на труп человека. Проведены исследования по изучению разложения трупа с участием микроорганизмов, насекомых и позвоночных-падальщиков. Данные живые организмы являются некрофагами, деструкторами мертвого тела, для которых ткани трупа являются питательным субстратом, средой их жизнедеятельности и обитания. Важно подчеркнуть, что этот процесс происходит закономерно, подчиняясь точным биологическим часам. Если знать биологические закономерности, регулирующие некрофильную деятельность, можно решить обратную задачу – определить продолжительность постмортального периода, т.е. давность наступления смерти (ДНС) [7].

Цель работы – выделение значимых для судебно-медицинской экспертизы последствий посмертного биологического воздействия.

Материал и методы исследования. Исследования проводились в Северо-Западном регионе России, где в качестве объектов изучения использовались трупы людей (в рамках экспертных исследований, проводимых в отделе судебно-медицинской экспертизы трупов «Бюро судебно-медицинской экспертизы», всего 50 трупов массой 50-75 кг), а также модельные биообъекты (свиней, кур, мышей и других представителей класса Млекопитающие на различных стадиях разложения, 75 трупов массой 100 г – 100 кг). Осуществление научных исследований с использованием модельных объектов необходимо, в том числе и в тех случаях, когда проведение соответствующих исследований на человеке невозможно по техническим или этическим причинам. Для судебной медицины, и судебно-медицинской экспертизы в том числе, серьезной доказательной базой могут являться результаты изучения посмертных процессов таких организмов. В мировой практике давно и эффективно в качестве модели используются трупы животных.

Всего выделено и проанализировано более 1000 изолятов микроорганизмов, свыше 32 тысяч особей насекомых, а также более 100 повреждений, причиненных позвоночными животными.

Для изучения микрофлоры трупов и их окружения была выбрана группа бактерий-гетеротрофов. Признаки фенотипического характера доминирующих таксонов были проанализированы с использованием традиционных микробиологических методов, в то время как генотипические характеристики исследовались с помощью ПЦР-анализа, основанного на секвенировании ДНК по методу Сэнгера [8]. Такой комплексный подход позволил более точно идентифицировать как трудные для определения виды, так и некультивируемые формы.

Специфика разложения трупов насекомыми изучалась с применением энтомологических методов. В рамках этого исследования осуществлялся сбор насекомых, их видовая диагностика, а также определялись морфометрические и эколого-биологические параметры [9]. Для анализа повреждений, причиненных позвоночными животными, применялись стандартные методы.

Также были проведены натурные эксперименты с использованием трупных приманок, размещенных в различных экосистемах. В ходе этих экспериментов была апробирована серия методов для сбора и обработки данных о видах, численности и других характеристиках микроорганизмов.

Результаты исследования и их обсуждение. Деструкция тканей трупа представляет собой комплексный процесс. Он включает в себя как микробиологическую, так и зоологическую компоненты. Зоологическая компонента подразделяется на следующие составляющие: воздействие некрофильных насекомых и утилизация мягких тканей, осуществляемая различными позвоночными животными.

В ходе анализа микробиологической компоненты пудрификации выявлено следующее: как интенсивность, так и скорость разложения определяются биоразнообразием некробиома. В ходе пудрификации некробиом претерпевает определенные изменения: так, установлено, что имеет место последовательная сукцессия эколого-физиологических групп микроорганизмов и отличие в их ферментативной активности.

В составе некробиома трупа насчитывается до 24 родов фирмикутов и 14 родов грациликутов. Конкретный состав посмертного микробиома (биоразнообразие видов) определяется следующими исходными параметрами: биотопом расположения трупа, характеристиками трупа, интенсивности разложения.

В процессе исследования акцент был сделан на изучение бактерий-протеолитиков. Это обусловлено высокой степенью их значимости в пудрификационных процессах. Доминантными представителями среди них являлись *Bacillus mycooides*, *Bac. subtilis*, *Clostridium sporogenes*, *Cl. putrificum* и *Pseudomonas sp.* Их протеолитическая активность исследована на предмет

установления качественных и количественных характеристик в процессе гидролиза казеина [9].

Использование современных молекулярно-генетических методов для идентификации микроорганизмов дало возможность не только объективно оценить биоразнообразие протеолитических бактерий в некробиоме, но и проанализировать временные изменения в структуре гнилостной микрофлоры на различных этапах разложения трупа. Это также позволило выявить виды, которые трудно идентифицировать, а также некультивируемые формы.

Ключевым в смене микробных сообществ трупа следует признать эколого-физиологический фактор. По данному критерию выделено семь последовательно сменяющих друг друга групп микробов (прототрофы, протеолитики, целлюлозолитики, азотфиксаторы и сульфатредукторы). Каждая эколого-физиологическая группа представлена микроорганизмами с набором ферментов, активирующихся на каком-либо этапе разложения тканей трупа. Тщательное исследование ферментативной активности выделенных групп микроорганизмов показывает, что именно этот параметр является наиболее чувствительным критерием для разработки альтернативных методов объективной оценки времени, прошедшего с момента смерти.

Энтомологический аспект разложения определяется присутствием насекомых, таких как мухи, жуки, муравьи и тараканы, которые активно участвуют в процессе разрушения трупа. Наибольшее значение среди них имеют личинки двукрылых, которые питаются трупными тканями в ходе своего развития [10]. Они имеют внекишечный способ пищеварения, выделяя гидролитические ферменты непосредственно на пищевой субстрат, разжижая, а затем коллективно поглощая его.

В ходе исследования были даны характеристики энтомологическому комплексу некробионтов трупов человека и крупных животных, имеющих место в естественном биоценозе [9]. На различных сроках разложения было определено наличие основных представителей насекомых-некрофилов. Так, двукрылых насекомых-некрофилов с человеческих трупов выделено и установлено 9 видов, принадлежащих к четырем семействам. Наибольшее судебно-медицинское значение из них имеют *Calliphora vicina*, *Lucilia caesar* и *Protophormia terraenovae* [9]. Направления изменений в комплексе мух-некрофилов, заселяющих трупы, характеризуются следующими компонентами: условиями, в которых находится труп, стадией его разложения, сезонной спецификой заселения трупа и общей структурой доминирования, которые определены как наиболее значимые в ходе статистического анализа полученных в результате экспериментов данных.

Во время разложения на трупе происходит сукцессия видов насекомых: некрофагов последовательно сменяют зоофаги, затем паразитоиды, сапро- и кератофаги, то есть происходит последовательная смена различных по типу питания некробионтов [9]. Первыми труп

обнаруживают и колонизируют мясные мухи (*Calliphoridae*). Двукрылые намного более активны в поисках субстрата, чтобы быстрее отложить яйца. В период, когда труп подвергается выраженным гнилостным изменениям, на нем активно обитают мухи из семейств *Sarcophagidae* и *Fanniidae*, которые являются некроэнтомофагами. На этой стадии разложения также появляются хищные жуки, которые активно нападают на личинок мух, уничтожая их в значительных количествах. В процессе гнилостного расплавления тканей, сопровождающегося частичной мумификацией, на трупе можно обнаружить множество личинок двукрылых *Megaselia sp.*, которые за счет небольших крючков закрепляются непосредственно на волосах, и таким образом могут длительно существовать на тканях [11]. Трупы на всех стадиях разложения посещают и представители перепончатокрылых – муравьи.

Очень сложная и напряженная конкуренция между микробами, насекомыми и другими организмами требует от первых колонизаторов большой скорости развития, что облегчается разогревом субстрата до +40 °С, что подтверждено проведенными экспериментальными исследованиями [12]. Данный факт позволяет утверждать, что науке еще далеко не все известно о термодинамике трупа; он ведет себя не только как физическая субстанция (как принято считать), но и как биологическая.

Ярко выраженную специфику имеет морфологическая картина повреждений мягких тканей и костей, причиняемых позвоночными животными, что, однако, не является напрямую специальным биологическим воздействием, а принято относить к механическому. Однако животные, причиняя посмертные механические повреждения, участвуют не только в деструкции тканей, но их и утилизируют (объедают). То есть в таком воздействии присутствуют и признаки биологического. К сожалению, дифференциальная диагностика и разделение в данных повреждениях последствий биологического и механического характера невозможна ввиду их «наслоения» друг на друга. И нельзя, ввиду отсутствия способов объективной регистрации данной составляющей деструкции и утилизации тканей трупа, разработать на основе полученных сведений альтернативные подходы к объективной оценке срока ДНС.

Таким образом, на основании полученных данных можно утверждать, что, помимо традиционных методов судебно-медицинской экспертизы, в комплекс действий по экспертной реконструкции условий посмертного периода следует включить совокупную оценку только энтомологической и микробиологической компонент разложения, при возможности учитывая специфику повреждений трупа, вызванных действиями позвоночных животных. Это даст возможность более точно установить дату наступления смерти.

Полученные данные свидетельствуют, что и микроорганизмы, и некрофильные насекомые утилизируют ткани трупа, используя единый механизм: ферментативную деструкцию мертвого органического вещества. Различием является тот факт, что ферментные системы

микроорганизмов являются индуцибельными, то есть скорость синтеза их зависит от условий существования организма, а регуляция происходит на генетическом уровне под действием индукторов, в роли которых выступают соответствующие субстраты и метаболиты [13]. Один и тот же микроорганизм может, в зависимости от изменяющихся условий, синтезировать разные ферменты, и делать акцент на изучении конкретных видов микробов в трупном материале на разных сроках его разложения не целесообразно, так как виды могут быть одни и те же, но выполнять они будут разную функцию.

Считаем, что одним из наиболее прогностически значимых параметров установления ДНС является ферментативная активность именно эколого-физиологических групп микробов. Через реакцию субстрата и фермента выявляются ферменты. Условиями протекания означенной реакции являются специфические факторы роста культуры. В процессе же реакции образуются продукты, влияющие на изменение цвета индикатора. К ферментам начальных стадий путрификации относятся: протеазы, фосфатазы, гликолитические ферменты. К ферментам поздних стадий путрификации относятся: декарбоксилаза, нитрогеназа, сульфатредуктаза, нитратредуктаза.

Ферменты личинок некрофильных насекомых не являются индуцибельными, и здесь возможно использование определения именно конкретных видов мух и/или жуков с целью анализа сукцессии (последовательной колонизации трупа насекомыми) и, таким образом, уточнения продолжительности посмертного периода. В условиях, когда труп находится в воде, наблюдается три «волны» заселения в течение месяца после смерти. На открытом воздухе этот процесс может включать до восьми «волн» за период до трех лет. Каждая «волна» состоит из определенных видов или групп некробионтов, что позволяет экспертам связывать их с конкретными сроками разложения.

Энтомологические данные позволяют использовать ретроспективный метод для определения времени наступления смерти, основываясь на дате заселения трупа некробионтами. Кроме того, можно определить продолжительность посмертного периода, анализируя возраст наиболее зрелых личинок насекомых-некрофилов, находящихся на трупе [9].

Кроме установления ДНС, насекомые позволяют уточнять сезон года, когда в данное конкретное место попал труп, тип первичной среды обитания трупа, факт перемещения трупа в окружающей среде, видовую специфичность уничтоженных биологических объектов (человека, животных), условия пребывания трупа (открытая местность, ограниченное пространство, водная среда). При общих закономерностях колонизации трупа некрофильными насекомыми чрезвычайно важна региональная структура их разновидностей.

Выводы

1. Механизм посмертного повреждающего действия внешнего биологического фактора принципиально отличается от механизма прижизненного воздействия этого фактора.

2. Источниками посмертного биологического воздействия являются микрофлора, насекомые и позвоночные-падальщики.

3. Основным механизмом посмертного биологического воздействия микроорганизмов и насекомых – ферментативное разрушение (деструкция, разложение) мягких биологических тканей с их последующей утилизацией.

4. На динамику жизнедеятельности микробов и насекомых по деструкции и утилизации биологических тканей заметное влияние оказывают видовые свойства некробиоты и условия окружающей среды.

5. Помимо определения ДНС последствия постмортального действия микроорганизмов и насекомых позволяют осуществлять судебно-медицинскую реконструкцию условий постмортального периода, включая место наступления смерти, факт перемещения трупа в окружающей среде и др.

6. Ввиду своеобразия источников биологического воздействия и методики их экспертного исследования целесообразно внедрение в практику данного вида экспертиз, что требует предварительной подготовки судебно-медицинских экспертов по соответствующей тематике на цикле послевузовской специализации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Животова Е.Ю., Власюк И.В., Потеряйкин Е.С., Дианов Ф.А. Возможности сравнительной анатомии при установлении видовой принадлежности костных останков // Вестник судебной медицины. 2017. Т. 6. № 4. С. 52-55. EDN ZXJAQB.

2. Баранова А.В., Власюк И.В. Некоторые характеристики повреждений кожного покрова, образующиеся при агрессии хищного животного // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы : Сборник статей / Под редакцией А.И. Авдеева, И.В. Власюка. Выпуск 21. Хабаровск: Дальневосточный государственный медицинский университет, 2022. С. 16-20. EDN IZYRTF.

3. Власюк И.В. Судебно-медицинская оценка повреждений, причиняемых человеку некоторыми животными: дис. ... докт. мед. наук. Москва, 2015. 344 с. EDN HPJMLM.

4. Попов В.Л. Повреждения от биологического воздействия // Судебно-медицинская экспертиза. 2023. Т. 66. № 2. С. 15-19. DOI: 10.17116/sudmed20236602115.

5. Wang Z., Zhang F., Wang L., Yuan H., Guan D., Zhao R. Advances in artificial intelligence-

based microbiome for PMI estimation // *Frontiers in Microbiology*. 2022. № 13. P. 1034051. DOI: 10.3389/fmicb.2022.1034051.

6. Zou Y., Zhuang C., Fang Q., Li F. Big data and artificial intelligence : new insight into the estimation of postmortem interval // *Fa Yi Xue Za Zhi*. 2020. Vol. 36. № 1. P. 86-90. DOI: 10.12116/j.issn.1004-5619.2020.01.017.

7. Кильдюшов Е.М., Ермакова Ю.В., Туманов Э.В., Кузнецова Г.С. Диагностика давности наступления смерти в позднем посмертном периоде в судебно-медицинской практике (обзор литературы) // *Судебная медицина*. 2018. Т. 4. № 1. С. 34-38. DOI: 10.19048/2411-8729-2018-4-1-34-38.

8. Попов В.Л., Лаврукова О.С., Казакова Е.Л. К обоснованию выбора модельного объекта для изучения динамики постмортальных изменений // *Вестник судебной медицины*. 2022. Т. 11. № 2. С. 17-22. EDN DHPMMS.

9. Лаврукова О.С. Комплексная микробно-зоологическая характеристика постмортального периода при производстве судебно-медицинской экспертизы: дис. ... докт. мед. наук. Санкт-Петербург, 2020. 373 с. EDN FRCMTK.

10. Приходько А.Н. Судебно-медицинская энтомологическая оценка при установлении давности наступления смерти в позднем постмортальном периоде: дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2021. 145 с. EDN YICKVE.

11. Приходько А.Н., Лябзина С.Н., Лаврукова О.С., Попов В.Л., Берая Р.Ф., Поляков А.Ю., Кобзев А.М., Лысенко С.В., Шевченко Н.А., Неверов А.А. Состав некрофильных двукрылых южной Карелии, отмеченных на трупах людей, и их значение в судебно-медицинской практике // *Вестник судебной медицины*. 2017. Т. 6. № 2. С. 12-16. EDN ZAOYFB.

12. Лаврукова О.С., Попов В.Л., Лябзина С.Н., Сидорова Н.А., Приходько А.Н. Изменение температуры трупа в процессе его разложения (экспериментальное исследование) // *Судебно-медицинская экспертиза*. 2017. Т. 60. № 3. С. 19-22. DOI: 10.17116/sudmed201760319-22.

13. Курсов С.В., Никонов В.В. Циклооксигеназа: физиологические эффекты, действие ингибиторов и перспективы дальнейшего использования парацетамола (аналитический обзор) // *Медицина неотложных состояний*. 2016. Т. 76. № 5. С. 27-35. DOI: 10.22141/2224-0586.5.76.2016.76430.