

БИОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В СУДЕБНО-МЕДИЦИНСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

¹Губайдуллина Э.Н., ¹Мустафина Г.Р., ¹Халиков А.А.

¹ Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, e-mail: gabitova.elza2015@yandex.ru

Целью настоящего исследования является обзор современных биофизических методов исследования в судебно-медицинской экспертизе, позволяющих получить объективные и точные результаты экспертизы, что имеет решающее значение для расследования судебных дел. Материалами и методами исследования являлась доступная судебно-медицинская отечественная и зарубежная литература в поисковых базах, таких как Science Direct, PubMed, Scopus. В статье рассматриваются различные биофизические методы, такие как спектроскопия, микроскопия, метод электронного парамагнитного резонанса, метод ядерно-магнитного резонанса, рамановская спектроскопия, а также хемилюминесценция. Отмечено, что спектроскопия позволяет детектировать химические соединения в образцах тканей и биологических жидкостей, в то время как метод электронного парамагнитного резонанса предоставляет возможность изучать свободные радикалы в повреждении клеток. Подчеркивается важность применения ядерно-магнитного резонанса (позволяющего исследовать структурные изменения в тканях), компьютерной томографии, а также хемилюминесценции, демонстрирующей высокую чувствительность и специфичность. В результате исследования подчеркивается важность интеграции современных биофизических методов в практику судебно-медицинской экспертизы с целью повышения эффективности и точности проведения исследований в сфере правосудия и обеспечения надежности полученных результатов. Применение биофизических методов исследования в судебной медицине в контексте современных технологий позволяет улучшить точность и объективность проведения экспертизы.

Ключевые слова: биофизические методы, судебная медицина, экспертиза, электронный парамагнитный резонанс, ядерно-магнитная резонанс-спектроскопия, хемилюминесценция, атомно-силовая микроскопия.

BIOPHYSICAL METHODS IN FORENSIC MEDICAL EXAMINATION

¹Gubaidullina E.N., ¹Mustafina G.R., ¹Khalikov A.A.

¹Bashkir State Medical University, Ufa, e-mail: gabitova.elza2015@yandex.ru

The purpose of this study is to review modern biophysical research methods in forensic medical examination, allowing to obtain objective and accurate examination results, which is crucial for the investigation of court cases. The materials and methods of the study were available forensic medical domestic and foreign literature in search databases such as Science Direct, PubMed, Scopus. The article discusses various biophysical methods such as spectroscopy, microscopy, electron paramagnetic resonance method, nuclear magnetic resonance method, Raman spectroscopy, as well as chemiluminescence. It is noted that spectroscopy makes it possible to detect chemical compounds in tissue samples and biological fluids, while the electron paramagnetic resonance method provides an opportunity to study free radicals in cell damage. The importance of the use of nuclear magnetic resonance, which makes it possible to study structural changes in tissues, computed tomography, as well as chemiluminescence, demonstrating high sensitivity and specificity, is emphasized. As a result of the study, the importance of integrating modern biophysical methods into the practice of forensic medical examination is emphasized in order to increase the efficiency and accuracy of research in the field of justice and ensure the reliability of the results obtained. The use of biophysical research methods in forensic medicine in the context of modern technologies makes it possible to improve the accuracy and objectivity of the examination.

Keywords: biophysical methods, forensic medicine, expertise, electron paramagnetic resonance, nuclear magnetic resonance spectroscopy, chemiluminescence, atomic force microscopy.

Введение

Судебная медицина – это научная медицинская специальность, главным образом, предназначенная для оказания помощи полиции и судебным органам путем предоставления экспертных оценок в процессе установления фактов и вынесения судебных решений [1].

Следственные и оценочные действия, присущие судебной медицине, выходят за рамки целей уголовного преследования и, таким образом, вносят большой вклад в обеспечение правовой определенности и верховенства закона.

Задачи судебной медицины включают в себя широкий спектр видов деятельности. Судебная медицина традиционно занимается расследованием случаев внезапной смерти, в данном случае основное внимание уделяется определению причины смерти на основе установленной причины. В этом контексте, помимо очевидных на первый взгляд неестественных смертей, необходимо учитывать внезапные естественные смерти, а также большую группу необъяснимых смертей.

Судебная медицина также занимается расследованием в отношении пострадавших от травм и предполагаемых жертв травм, на которое оказала влияние третья сторона. В эту группу входят жертвы различных форм физических травм, включая сексуальные преступления, жестокое обращение с детьми и дорожно-транспортные происшествия, а также особые группы пострадавших от травм, такие как жертвы домашнего насилия, насилия в отношении пожилых людей и насилия в отношении лиц, содержащихся под стражей в официальных учреждениях (дома, в школах, тюрьмах и т.д.) [1, 2].

Судебно-медицинская экспертиза, являясь практическим применением судебной медицины, представляет собой медицинское обследование, направленное на сбор доказательств по факту нападения, основными целями которого являются оценка потребностей жертвы в лечении любых травм при консолидации и судебном преследовании, а также сбор ресурсов для возможного судебного разбирательства [2].

В судебно-медицинской экспертизе, как и в других медицинских специальностях, существует ряд нерешенных проблем, требующих апробирования и внедрения современных лабораторных методов анализа. К таким проблемам можно отнести определение прижизненности, давность причинения механической травмы, а также установление давности наступления смерти. Актуальность применения современных методов анализа объясняется недостатком применяемых в настоящее время методов, являющихся ограниченно информативными и невозможно применимыми в отдаленные сроки, прошедшие после наступления смерти. В связи с этим большой интерес представляют методы исследования, которые позволяют определять функциональное состояние органов и тканей трупа/пострадавшего при разных воздействиях на молекулярном и субмолекулярном уровне [1, 3].

Для решения задач различного уровня судебно-медицинской экспертизы наиболее перспективными представляются биофизические методы исследования. Биофизические методы – это методы, которые основаны на результатах инструментального измерения

параметров, отражаемых численно, они являются наиболее объективными способами обнаружения изменений, произошедших в биологическом объекте под влиянием факторов внешней среды, что отражает их высокую информативность. Биофизические методы исследования позволяют изучать структуру, свойства, динамику, а также функции биомолекул на атомном или молекулярном уровне. Они охватывают целый ряд методов, включая хемилюминесценцию, спектроскопию, микроскопию, определение коэффициентов поляризации, скорости распространения теплового импульса, молекулярное моделирование и др.

Стоит отметить две наиболее актуальные проблемы современной экспертной оценки, по которым проводятся научные исследования с применением биофизических методов в судебно-медицинской экспертизе:

- 1) определение давности смерти и прижизненности;
- 2) определение давности причинения телесных повреждений.

Основные категории биофизических методов в зависимости от анализируемого с их помощью параметра, применяемых в судебно-медицинской экспертизе, представлены на рисунке 1.

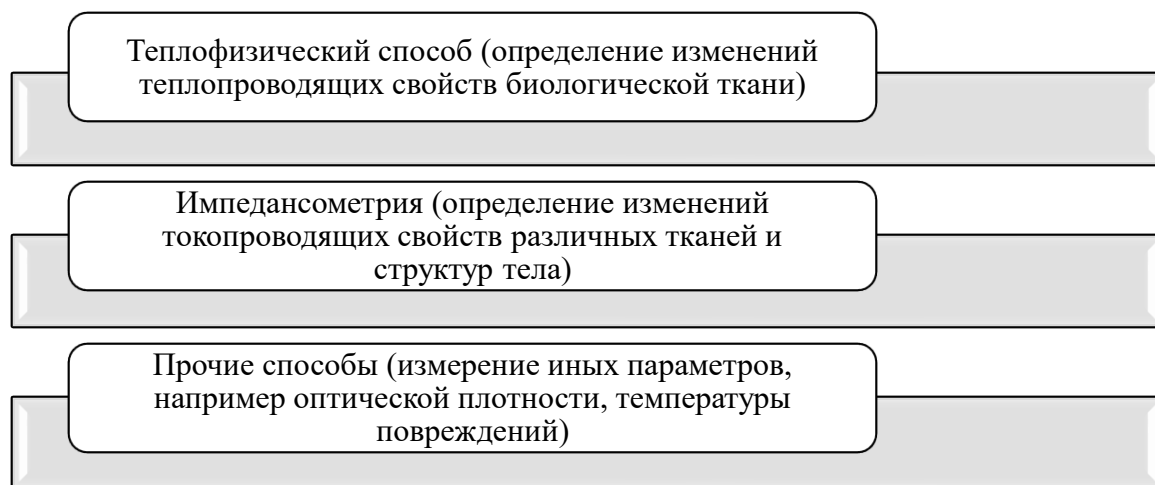


Рис. 1. Основные категории биофизических методов в зависимости от анализируемого с их помощью параметра [4]

Цель исследования: проанализировать современные биофизические методы, применяемые в судебно-медицинской экспертизе, позволяющие получить объективные и точные результаты экспертизы.

Материалы и методы исследования

Проведен анализ доступной судебно-медицинской отечественной и зарубежной литературы в поисковых базах Science Direct, PubMed, Scopus, «КиберЛенинка».

Поисковый запрос включал следующие словосочетания на русском языке: «биофизические методы И (судебная медицина ИЛИ криминалистика ИЛИ экспертиза)», и

аналогичный на английском языке: biophysical methods AND (forensic medicine OR forensics OR expertise).

Отбор статей проводили независимо два автора работы по следующим критериям.

1. Актуальность. Предпочтение отдавалась работам, опубликованным в период с 2018 по 2024 гг., что позволяло включить наиболее развивающиеся и изучаемые методы на текущий момент.

2. Достоверность результатов метода. Немаловажным преимуществом той или иной методики является высокий уровень специфичности и чувствительности. Это позволяет избегать ошибки первого и второго рода и получать точные результаты, что в криминалистике и расследовании судебных дел является решающим фактором в вынесении приговора.

3. Наличие ≥ 10 публикаций от разных коллективов авторов по одному методу, что подтверждает разрабатываемость данной методики.

4. Изучение биофизических методов. Несмотря на быстрое развитие и других лабораторных исследований (например, молекулярно-генетических исследований), авторы решили осветить именно тему биофизических методов. Эта тема является довольно актуальной в связи с малой изученностью в России: на сегодняшний день в отечественной литературе отсутствует полноценный обзор, посвященный применению биофизических методов в криминалистике. Последний обзор на эту тему опубликован в 2005 г., в то время как за 20 лет появилось множество новых методик.

5. Доступность. Изложение статьи на доступном для авторов языке: русском, английском.

В результате было отобрано несколько биофизических методов: атомно-силовая микроскопия, электронно-парамагнитный резонанс, ядерно-магнитно-резонансная спектроскопия, хемилюминесценция, сканирующая электронная микроскопия, магниторезонансная томография, компьютерная томография. Они были описаны в 250 работах, однако для наглядности в данном исследовании приведены данные по 25 исследованиям.

Результаты исследования и их обсуждение

Обзор биофизических методов, применяемых в судебной экспертизе, следует начать с наиболее широко применяемого метода биофизики – метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Метод ЭПР основан на возможности регистрации парамагнитных центров (места в молекулах и атомах, имеющие свободные неспаренные электроны) в атомных, кристаллических ионных и молекулярных структурах, в соединениях переходных металлов, при разрыве ковалентных химических связей [4].

Согласно данным литературы, можно выделить три основных типа исследования при применении метода ЭПР:

- исследование свободных радикалов, в норме присутствующих в живом организме;
- анализ металлопротеидов (белков, содержащих ионы железа, меди или марганца);
- исследования парамагнитных клеток, искусственно вводимых в изучаемый объект с целью установления механизма реакции или места связывания определенного соединения.

Так, в судебном расследовании часто важно оценить время, прошедшее с момента начала кровотечения, или определить продолжительность посмертного периода. В одной работе авторами изучена эффективность метода электронного парамагнитного резонанса для оценки возраста пятен крови человека [5]. Этот метод основан на измерении денатурации гемопротеинов и идеально подходит для определения возраста засохшей крови человека. Было отмечено, что при 77К пятна крови человека дают четыре ярких сигнала ЭПР, а также построение двойных логарифмов отношения интенсивности ЭПР H/g^4 в зависимости от дней прошедшего кровотечения дает линейную корреляцию с точностью до 432 дней с погрешностью в пределах 25% от фактического.

Еще одним незаменимым инструментом в судебно-медицинской экспертизе является микроскопия, позволяющая анализировать детально биологические образцы и собирать важную информацию для раскрытия преступлений. Микроскопия часто используется в сочетании с подходящими аналитическими методами.

Так, в большинстве случаев при расследовании преступлений отпечатки пальцев являются распространенным типом улик. Авторами показано применение атомно-силовой микроскопии (АСМ) для изучения характеристик нанесения и эффективности обнаружения деталей отпечатков пальцев (рис. 2) [6, 7].

Наряду с АСМ метод электронной микроскопии также получил значительное развитие, что обеспечивает высокую разрешающую способность в экспериментальной судебной экспертизе. Сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) позволяет получить трехмерные изображения поверхностей. В основе данного метода лежит электронный луч, испускаемый нагретой нитью накала, который ускоряется высоким напряжением и на который воздействует система электромагнитных линз [6]. Увеличение современного метода СЭМ составляет от 20 до 160000 раз, он предоставляет топографическую информацию с большей глубиной фокусировки, большим увеличением и более высоким разрешением, чем оптическая микроскопия.

В работе Santos и соавт. представили всесторонний обзор применения еще одного биофизического метода в судебно-медицинской экспертизе – ядерно-магнитного резонанса (ЯМР). ЯМР-спектроскопия связана с определенными атомными ядрами и их поведением в

присутствии магнитного поля [8]. Отмечено, что в целом ЯМР-спектроскопия применяется в экспертизе для определения идентичности химических соединений, имеющих отношение к случаям отравления, посмертным явлениям, мошенничествам, подделкам, и в основном – для характеристики синтетических и растительных препаратов [9, 10].

Так, в исследовании Mehr и соавт. представлен быстрый, чувствительный метод определения чистоты эталонных лекарственных препаратов и анализа запрещенных наркотиков и примесей с использованием протонной ЯМР-спектроскопии [9]. В представленном исследовании линейность ЯМР-анализа была определена с использованием метамфетамина HCl, растворенного в оксиде дейтерия (D_2O), с малеиновой кислотой в качестве внутреннего стандарта (5 мг) для диапазона концентраций от 0,033 до 69,18 мг/мл с результирующим коэффициентом корреляции $>0,9999$ для всех 6 групп метамфетаминных пиков, а также представлены спектры сложных образцов запрещенных героина, метамфетамина, МДМА и кокаина. Это абсолютно доказывает применимость данного метода в судебно-медицинской экспертизе.

Предварительные тесты для обнаружения пятен на местах преступлений направлены на то, чтобы сосредоточить работу полиции на более эффективном противодействии преступности. В связи с этим люминольная хемилюминесцентная реакция (метод хемилюминесценции) для обнаружения пятен крови находит широкое применение. Эта реакция основана на излучении света в результате химической реакции люминола с перекисью водорода и гидроксидом в присутствии каталитической молекулы (железа гемоглобина) [11].

Авторами было отмечено, что люминол можно использовать для обнаружения незначительных, незамеченных или скрытых пятен крови, разбавленных до уровня $1:10^6$ (1 мкл крови в 1 л раствора) [11, 12]. Он может выявить распределение пятен, что позволяет оценить характер пятен крови и иногда реконструировать некоторые события преступления, визуализируя эти пятна.

Судебно-медицинская экспертиза – одна из областей, которая значительно выиграла от применения рамановской спектроскопии. Рамановская спектроскопия – это комбинационное рассеяние света, используемое для определения колебательных мод молекул и вибрационных мод в твердых телах. Согласно данным литературы, проведены многочисленные исследования, подтверждающие применение вибрационной спектроскопии в криминалистических целях. Нельзя не упомянуть преимущества рамановской спектроскопии: неразрушающий характер, высокая специфичность и минимальное количество образца, который может находиться в твердой, жидкой или газовой фазе. Это подтверждает тот факт, что данный биофизический метод подходит для анализа многих видов вещественных доказательств, особенно тех, которые обнаруживаются в следовых количествах [13].

При помощи рамановской спектроскопии показана возможность идентифицировать следы жидкостей организма на местах преступлений. Спектры комбинационного рассеяния были взяты из 75 образцов жидкостей организма, включая периферическую кровь, слюну, пот и вагинальную жидкость. Было выявлено, что модель данного метода точно предсказала идентичность 99,9% спектров из калибровочного набора данных после перекрестной проверки. Что еще более важно, она правильно предсказала идентичность 100% спектров во внешнем валидационном наборе данных. Все пять жидкостей организма были успешно идентифицированы с помощью комбинационной спектроскопии и хеометрии. Метод рамановской спектроскопии является надежным и неразрушающим, предлагая существенные преимущества по сравнению с современными методами, используемыми для идентификации жидкостей организма [13, 14].

Современные судебные расследования основаны на показаниях жертвы и свидетелей-очевидцев. Пятна биологических жидкостей – это биологические доказательства, которые очень ценятся судебными экспертами. Во многих уголовных делах успех расследования зависит от правильной идентификации и классификации этих пятен. Так, метод инфракрасной спектроскопии с полным ослаблением отражения и преобразованием Фурье (ATR-FTIR) представляется как современный и универсальный биофизический метод, способный распознавать отпечатки пальцев анализируемого вещества с использованием минимального количества исследуемого образца [14, 15].

В работе авторами представлены возможности применения рамановской спектроскопии и хеометрики для анализа возраста пятен крови [16, 17]. Кроме того, показана возможность применения данного метода для дифференциальной диагностики между каплями периферической и менструальной крови [18, 19].

Компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) также являются важными инструментами в клинической и судебно-медицинской практике [20, 21]. Так, недавнее исследование показало возможность мультиспиральной КТ и МРТ для проведения минимально инвазивного или виртуального вскрытия, называемого виртопсией [22, 23].

В исследовании представлены МРТ-фиксированные образцы кожи, которые позволили получить полное трехмерное представление о поврежденных тканях в месте поражения электрическим током, а также в соседних тканях, что соответствует гистологическим результатам [24]. Интенсивность изображения дермального слоя на МРТ-изображениях была снижена в центральной зоне из-за обугливания или коагуляционного некроза и повышена в промежуточной зоне из-за отека дермы. Отмечено, что подлежащий кровеносный сосуд с

внутрисосудистой окклюзией подтверждает гипотезу о том, что ток проходил через сосудистую систему, прежде чем попасть на землю.

В статье проводится сравнение различных физических методов исследования, применяемых в судебной медицине, с точки зрения их эффективности, удобства использования, скорости получения результатов и временных затрат на анализ.

Авторами было выделено несколько биофизических методов: электронно-парамагнитный резонанс, ядерно-магнитно-резонансная спектроскопия, хемилюминесценция, сканирующая электронная микроскопия, магниторезонансная томография, компьютерная томография, которые широко применяются в судебной медицине благодаря своей универсальности, простоте и скорости получения результатов. Эти методы позволяют провести анализ в сжатые сроки и выдать экспертное заключение с высокой достоверностью результатов.

Судебная медицина находится в тесной взаимосвязи с такими науками, как физика, биофизика и медицинская электроника, что имеет ключевое значение для разработки новых и оптимизации существующих методов исследования.

Для успешного применения физических методов в судебной медицине необходимо глубокое понимание основ физики, а также процессов, происходящих в биологических тканях и жидкостях при взаимодействии с волнами и химическими реагентами.

Применение биофизических методов позволяет определить время смерти, идентифицировать личности даже при высокой степени разложения или наличия части тела, восстановить события преступления и определить время нанесения раны по следам крови или повреждений на теле человека.

К перспективам исследования биофизических методов в криминалистике можно отнести: открытие новых биофизических методов, указание методик взятия материала; проведение оригинальных исследований для оценки степени чувствительности и специфичности, так как не для всех методов эти данные получены; внедрение ИИ для анализа результатов биофизических методов [25].

Заключение

Таким образом, биофизические методы играют важную роль в судебно-медицинской экспертизе, позволяя проводить более точные и надежные исследования. Они помогают определить возраст, пол, состояние здоровья и другие важные характеристики тела, что, в свою очередь, помогает установить идентичность и причину смерти. Благодаря применению биофизических методов судебно-медицинская экспертиза становится более эффективной и точной, что важно для правосудия и обеспечения справедливости.

Список литературы

1. Zhu B.L., Cao Z.P. Application of Postmortem Biochemistry Analysis in Forensic Medicine // *Fa Yi Xue Za Zhi*. 2021. Vol.37. Is. 6. P. 859-866.
DOI:10.12116/j.issn.1004-5619.2020.401205.
2. Tagliaro F., De Leo D. The Italian 'holistic' vision of forensic medicine and science // *Med Sci Law*. 2021. Vol. 61. Is. 1_suppl. P. 3-4. DOI:10.1177/0025802420967543.
3. Салагай О.О., Летникова Л.И., Некрасов М.С., Макаров И.Ю., Минаева П.В. Повышение качества и доступности всех видов судебно-медицинских экспертиз как результат реализации «Современной модели организации и производства судебно-медицинских экспертиз в Российской Федерации» // *Судебно-медицинская экспертиза*. 2021. № 64. С. 4-7.
4. Ларионова Е.Ю., Медведева С.А. Нанотехнологии в судебно-экспертной деятельности. Перспективы развития // *Вестник Восточно-Сибирского института МВД России*. 2018. № 4 (87). С. 207-213.
5. Hassan N.F.N., Sandran D.D., Mohamad M., Zakaria Y., Muslim N.Z.M. Estimation of the age of bloodstains on soil matrices by ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics // *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng*. 2019. Vol.9. P. 4750–4755. DOI: 10.35940/ijitee.A4454.119119.
6. Megha T., Aparna N.S., Maria Jose, Ajil Dev, Arjun Rao Isukapatla. A comprehensive review on application of atomic force microscopy in Forensic science // *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2024. Vol. 105. P. 1-19. DOI:10.1016/j.jflm.2024.102717.
7. Yadavalli V.K., Ehrhardt C.J. Atomic force microscopy as a biophysical tool for nanoscale forensic investigations // *Sci Justice*. 2021. Vol.61. Is. 1. P. 1-12. DOI:10.1016/j.scijus.2020.10.004.
8. Santos A.D.C., Dutra L.M., Menezes L.R.A., Santos M.F.C., Barison A. Forensic NMR spectroscopy: Just a beginning of a promising partnership // *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2018. Vol. 107. P. 31-42. DOI: 10.1016/j.trac.2018.07.015.
9. Mehr S.H.M., Tang A.W., Laing R.R. Automated qualitative and quantitative analysis of complex forensic drug samples using H NMR // *Magn. Reson. Chem*. 2023. Vol. 61. Is.2. P. 95-105. DOI:10.1002/mrc.5265.
10. Locci E., Bazzano G., Chighine A., Locco F., Ferraro E., Demontis R., d'Aloja E. Forensic NMR metabolomics: one more arrow in the quiver // *Metabolomics*. 2020. Vol. 16. Is. 11. P.118. DOI:10.1007/s11306-020-01743-6.
11. Ermida C., Rosa J., Cunha E., Ferreira M.T. Postmortem interval estimation of human skeletonized remains through luminol chemiluminescence // *Int. J. Legal. Med*. 2024. DOI:10.1007/s00414-024-03343-8.

12. Franzin M., Ruoso R., Concato M., Radaelli D., D'Errico S., Addobbati R. Applicability of a Chemiluminescence Immunoassay to Screen Postmortem Bile Specimens and Its Agreement with Confirmation Analysis // *Int. J. Mol. Sci.* 2024. Vol.25. Is. 7. P.3825. DOI:10.3390/ijms25073825.
13. Swati G., Mishra S. Luminescent nanomaterials for developing high-contrast latent fingerprints // *Nanotechnology.* 2024. Vol. 36. Is. 3. P.10.1088/1361-6528/ad84fc. DOI:10.1088/1361-6528/ad84fc.
14. Лаврукова О.С., Поляков А.Ю., Берая Р.Ф., Попов В.Л. О возможности использования раствора люминола для обнаружения следов крови при осмотре места происшествия // *Судебно-медицинская экспертиза.* 2021. №64. С. 53-56.
15. Kranenburg R.F., Verduin J., de Ridder R., Weesepeel Y., Alewijn M., Heerschop M., Keizers P.H.J., van Esch A., van Asten A.C. Performance evaluation of handheld Raman spectroscopy for cocaine detection in forensic case samples // *Drug. Test. Anal.* 2021. Vol. 13. Is. 5. P.1054-1067. DOI:10.1002/dta.2993.
16. Wei C., Wang J. A rapid and nondestructive approach for forensic identification of car bumper splinters using attenuated total reflectance Fourier transform infrared spectroscopy and chemometrics // *Journal of forensic sciences.* 2021. Vol. 66. Is. 2. P. 583-593. DOI: 10.1111/1556-4029.14606.
17. Zhang R, Wang P, Chen J, Tian Y, Gao J. Age estimation of bloodstains based on Raman spectroscopy and chemometrics // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* 2023. Vol. 290. P.122284. DOI:10.1016/j.saa.2022.122284.
18. Weber A., Wójtowicz A., Wietecha-Posłuszny R., Lednev I.K. Raman Spectroscopy for the Time since Deposition Estimation of a Menstrual Bloodstain // *Sensors (Basel).* 2024. Vol. 24. Is. 11. P.3262. DOI:10.3390/s24113262.
19. Alkhuder K. Attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectroscopy: A universal analytical technique with promising applications in forensic analyses // *International Journal of Legal Medicine.* 2022. Vol. 136. Is. 6. P. 1717-1736. DOI:10.1007/s00414-022-02882-2.
20. Deininger-Czermak E., Heimer J., Tappero C., Thali M.J., Gascho D. Postmortem Magnetic Resonance Imaging and Postmortem Computed Tomography in Ligature and Manual Strangulation // *Am J. Forensic. Med. Pathol.* 2020. Vol.41. Is. 2. P.97-103. DOI:10.1097/PAF.0000000000000542.
21. De Tobel J., Bauwens J., Parmentier G.I.L., Franco A, Pauwels N.S., Verstraete K.L., Thevissen P.W. Magnetic resonance imaging for forensic age estimation in living children and young adults: a systematic review // *Pediatr. Radiol.* 2020. Vol.50. Is. 12. P.1691-1708. DOI:10.1007/s00247-020-04709-x.
22. Клевно В. А., Чумакова Ю.В. Виртопсия - новый метод исследования в практике отечественной судебной медицины // *Судебная медицина.* 2019. №2. С. 27-31.

23. Deininger-Czermak E., Heimer J., Tappero C., Thali M.J., Gascho D. Postmortem Magnetic Resonance Imaging and Postmortem Computed Tomography in Ligature and Manual Strangulation // Am J. Forensic. Med. Pathol. 2020. Vol. 41. Is. 2. P. 97-103. DOI:10.1097/PAF.0000000000000542.
24. Петрова Г.А., Петрова К.С., Немирова С.В., Карпенко А.А. 3D-оптическая когерентная томография — новый этап в неинвазивном исследовании морфологии кожи // Клиническая дерматология и венерология. 2019. №18. С. 366-375.
25. Galante N., Cotroneo R., Furci D., Lodetti G., Casali M.B. Applications of artificial intelligence in forensic sciences: Current potential benefits, limitations and perspectives // Int. J. Legal. Med. 2023. Vol. 137. Is. 2. P.445-458. DOI:10.1007/s00414-022-02928-5.