

Обзорная статья

УДК 616.091.5:616-079]340.6:615.1(043.2)
doi:10.18499/2225-7357-2023-12-2-79-89
3.3.2 – патологическая анатомия



Неинвазивные методы аутопсии в практике патологоанатома и судебно-медицинского эксперта: от появления до современности

М. В. Мнихович¹✉, М. В. Лозина², И. А. Ширипенко^{1, 2}, О. А. Сидорова²,
Т. В. Безуглова¹, А. В. Романов¹✉

¹Научно-исследовательский институт морфологии человека им. акад. А.П. Авцына
Российского научного центра хирургии им. акад. Б.В. Петровского, Москва, Россия

²Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова,
Москва, Россия

Аннотация. В настоящей работе представлен обзор литературы, оценивающий возможности виртопсии, ее развитие с течением времени и область применения в текущих условиях. Для подготовки обзора проведен анализ литературы за период с 2006 по 2022 годы по ключевому слову “virtopsy” в базах данных Scopus, Web of Science, Medline, PubMed и РИНЦ, включающий 199 источников. Для обзора отобрано 73 публикации, включающие оригинальные и обзорные исследования. Известно, что верификация диагноза и коррекция терапии во многом возможны только благодаря работе патологоанатома. Совпадение посмертного диагноза с прижизненным открывает возможность оптимизации курса терапии в аналогичных случаях. Проведенный анализ литературы позволяет сделать вывод, что уровень точности визуализации и частота успешных интерпретаций посмертных лучевых исследований значительно повысились, что связано как с улучшением качества рентгенооптического и сканирующего оборудования, так и с формированием относительно обширной базы данных, содержащей ранее полученные результаты. Таким образом, виртопсия является мощным вспомогательным инструментом, применяемым при посмертной диагностике. Использование классического вскрытия и виртопсии в комбинации может увеличить точность постановки диагноза, что, в сочетании с инструментами обработки и хранения цифровых данных, позволит вывести работу специалистов на новый уровень междисциплинарного взаимодействия.

Ключевые слова: неинвазивные методы диагностики; классическая аутопсия; виртопсия; патологическая анатомия; судебная медицина; лучевая диагностика

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мнихович М.В., Лозина М.В., Ширипенко И.А., Сидорова О.А., Безуглова Т.В., Романов А.В. Неинвазивные методы аутопсии в практике патологоанатома и судебно-медицинского эксперта: от появления до современности // Журнал анатомии и гистопатологии. 2023. Т. 12, №2. С. 79–89. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2023-12-2-79-89>

REVIEW ARTICLES

Review article

Non-Invasive Methods in Autopsy in Practice of Pathologists and Forensic Experts: from the Appearance to the Present Day

М. В. Мнихович¹✉, М. В. Лозина², И. А. Ширипенко^{1, 2}, О. А. Сидорова²,
Т. В. Безуглова¹, А. В. Романов¹

¹A.P. Avtsyyn Research Institute of Human Morphology of B.V. Petrovsky National Research Center
of Surgery, Moscow, Russia

²N.I. Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Abstract. This paper presents a literature review evaluating virtopsy options, its development over time and the scope of application nowadays. To analyze the literature sources, we searched for the keyword “virtopsy” in Scopus, Web of Science, Medline, PubMed, and RSCI databases for the period 2006–2022, the results included 199 sources. Of these, 73 publications including original and review papers were selected for review. It is known that diagnosis verification and therapy correction are largely possible only thanks to the work of pathologists. The coincidence of the post-mortem diagnosis with the lifetime diagnosis opens up the possibility to optimize the course of therapy in similar cases.

The literature analysis allows us to conclude that the level of imaging accuracy and frequency of successful interpretations of post-mortem radiological examinations have increased significantly, the fact being associated both with an improved quality of X-ray optical and scanning equipment, and formation of a relatively

extensive database containing previously obtained findings. Thus, virtopsy is currently a powerful auxiliary tool applicable in post-mortem diagnosis. The combined use of classical autopsy and virtopsy can increase the accuracy of diagnosis, which, together with digital data processing and storage tools, will bring the work of specialists to a new level of interdisciplinary interaction.

Keywords: non-invasive diagnostic methods; classical autopsy; virtopsy; pathological anatomy; forensic medicine; radiology

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interests.

For citation: Mnikhovich M.V., Lozina M.V., Shiripenko I.A., Sidorova O.A., Bezuglova T.V., Romanov A.V. Non-invasive methods in autopsy in practice of pathologists and forensic experts: from the appearance to the present day. *Journal of Anatomy and Histopathology. 2023. V. 12, №2. P. 79–89. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2023-12-2-79-89>*

Введение

Посмертное вскрытие – система методик, направленных на выявление анатомических, гистологических и культуральных особенностей поверхностных ран, травм, патологических изменений органов и тканей умершего и их оценку в связи с анамнестическими и клиническими данными.

Несмотря на значительно более раннее возникновение, методика классической аутопсии начала распространяться и апробироваться анатомами с XVIII века [35]. Посмертное исследование имеет неоспоримое преимущество перед косвенными методами благодаря непосредственной визуализации, однако ввиду цифровизации и внедрения новейших подходов в диагностике и терапии путем использования современной техники, возникают принципиально новые ответы на классические деонтологические проблемы. Современная медицина располагает методиками мало- и неинвазивной аутопсии. К числу последних относится виртопсия [69], терминологически восходящая к таким понятиям как «виртуальная» и «аутопсия».

Несмотря на методологическое противоречие таких, казалось бы, противоположных подходов, как макроскопическое препарирование и неинвазивная лучевая диагностика, их объединение позволяет выйти на качественно новый уровень визуализации. Виртопсия использует основные методики, которыми располагает современная лучевая диагностика в области патологической анатомии и судебной медицины. Перспективность развития виртопсии и дальнейшего внедрения в практику обусловлено не только удобством метода, но и тем мультидисциплинарным подходом, которого требует современная медицина. Рентгенологический подход к диагностике, модифицированный данными биофизики, биомеханики, возможностями графической визуализации, показал свою эффективность в области патологической анатомии и судебно-медицинской экспертизы.

История аутопсии и виртопсии

Классическое анатомическое вскрытие трупа человека имеет длинную историю и, по всей видимости, берет свое начало от древнегреческого анатома Герофила из Александрии.

Современной исторической наукой Герофил признается в качестве первого человека, проводившего систематические вскрытия человеческих трупов, причем осуществившего это еще до Андреаса Везалия. Период его деятельности приходился на благодатное время расцвета науки и философии, когда традиционное отношение ко вскрытию человеческих тел было временно вытеснено потребностью в изучении анатомии. Однако этот период длился не более 30–40 лет, после чего вскрытия были запрещены вплоть до середины XVI века [13]. Джованни Баттиста Морганьи (1682–1771) – великий итальянский анатом, ставший отцом патологической анатомии, впервые связал анатомические находки с этиологией заболевания, что доказал в своем magnum opus: *De Sedibus* (1761) [35]. В нем ученый на примере 700 вскрытий показал связь между патологоанатомическими находками и клиническими симптомами заболевания. Метод аутопсии, внедренный им в медицинскую практику, на протяжении веков оставался основным способом посмертной диагностики и продолжает быть актуальным по сей день. Однако этот метод развился в специальную дисциплину только спустя век благодаря трудам Карла фон Рокитанского (1804–1878), работавшего в Институте патологической анатомии в Вене [51]. Переворот в методах диагностики совершили фундаментальные исследования немецкого физика Вильгельма Конрада Рентгена, открывшего X-лучи в 1895 г. Впервые радиологические методы при посмертном исследовании применили Мартин и Арройо в 1896 г. Исследовав черепные синусы, они проложили дорогу для развития новой методики посмертной диагностики – виртопсии [66]. Первое использование КТ для диагностики характера травмы относится к 1977 г. [71].

Институты судебной медицины и диагностической радиологии Бернского университета начали свое исследование в конце 1990-х годов. Ими был создан проект “Virtopsy®”, который начали с документирования при помощи трехмерного оптического сканирования поверхности тела на основе фотограмметрии, компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии [16]. Полноценная виртопсия, целью которой было исследование всего тела умершего, и данные которой

совпали с результатом классической аутопсии, была описана в 2003 г. [25]. В 2006 г. были основаны курсы, обучающие виртопсии, и выпущен первый учебник, упоминающий эту методику [16].

На современном этапе виртопсия развивается не только в области разработки новых методик визуализации и внедрения современного технического оснащения, но и в области цифровых способов хранения, обработки и передачи информации, полученной при посмертных исследованиях.

Сущность виртопсии

Сочетание методов современной сканирующей и рентгенографической диагностики с наглядными графическими изображениями в высоком разрешении во многом позволяет достичь уровня наглядности, сопоставимого с классической аутопсией. Например, находки в мягких тканях и органах отмечали совокупную чувствительности для посмертной компьютерной томографии (ПКТ) 0,91. Сочетание посмертной магнитно-резонансной томографии (ПМРТ) и ПКТ в совокупной чувствительности 0,97 было эффективно при диагностике костной патологии. Высокую совокупную чувствительность получили при обнаружении кровоизлияний, используя ПМРТ и ПКТ, она составила 0,88 с доказательством гетерогенности [3]. Виртопсия, с одной стороны, позволяет избежать непосредственного вскрытия трупа, то есть, нарушения топографо-анатомических соотношений органов в теле, а с другой – использовать преимущества аппарат-зависимых методик над оператор-зависимыми.

Инструментарий виртопсийного исследования располагает различными методами, среди них можно выделить:

- 1) посмертную мультиспиральную компьютерную томографию;
- 2) посмертную магнитно-резонансную томографию;
- 3) посмертную 3D-фотограмметрию с использованием 3D-оптического сканирования. Суть 3D-фотограмметрии заключается в фотографическом запечатлении объекта с разных ракурсов с последующим цифровым воссозданием физического объекта с целью изготовления точной 3D-модели;
- 4) посмертную КТ-ангиографию (ПКТА) и посмертную МР-ангиографию [56], как нативную, так и с применением контрастных веществ [53].
- 5) магнитно-резонансную спектроскопию (МР-спектроскопию), обеспечивающую визуализацию биохимических показателей умершего, метаболитов, возникших в результате посмертных изменений. Например, МР-спектроскопия головного мозга способна точно оценить время наступления смерти [24];

6) посмертную рентгенографию, которую, на современном этапе используют редко.

Сочетание методов ПКТ и ПМРТ позволяет дифференцировать и уточнять различные состояния в твердых и мягких тканях, более точно дифференцировать соседние структуры. В случае необходимости особенно точной визуализации и диагностирования минимальных изменений возможны модификации вышеперечисленных методов, например, использование микро-КТ с разрешающей способностью 10–100 мкм и МР-микроскопии [44].

Возможности применения виртопсии в практике патологоанатома

Универсальность, функциональность и практичность методов лучевой диагностики позволяет применять их при разнообразных патологиях, встречающихся как в практике врача-патологоанатома, так и в сфере деятельности судебно-медицинского эксперта. С точки зрения патологоанатомической практики, виртопсия перспективна при широком спектре заболеваний.

Наиболее часто применяется, и поэтому сравнительно хорошо изучена, ПКТ. Так, например, известна высокая эффективность КТ в отношении оценки жидкостных изменений и кальцификатов, которая позволяет ПКТ быть полезной при визуализации тампонады сердца, разрыва задней стенки левого желудочка и диффузной кальцификации аорты и коронарных артерий, перикардиальных сгустков и аневризм различных сосудов с применением бесконтрастной и усиленной контрастом ПКТ [70]. ПКТ выявляет кальцификацию и лоскуты интимы, а также специфическую седиментацию, которую можно считать диагностическим критерием расслоения аорты [9]. Обнаружение *ligamentum arteriosum* – кальцифицированного *ductus arteriosus* – возможно облегчить с применением ПКТ, особенно в случае его аномального расположения [11].

Также показано, что ПКТ имеет высокую специфичность и точность при дифференциации разрыва расслоения аорты и разрыва стенки миокарда [10], учитывая также оценку объема крови, излившейся в перикард [30]. Виртопсия, при учете погрешности, позволяет определить объем крови в брюшной полости [7]. Установление непосредственной причины смерти с помощью ПКТ показало точность около 70%, причем в качестве непосредственной причины смерти дыхательная недостаточность определялась точнее всего [38]. В области определения инородных тел в дыхательных путях ПКТ и ПМРТ демонстрируют высокую эффективность, что позволяет уточнить обстоятельства танатогенеза [47]. В некоторых случаях виртопсия позволяет виртуально оценить не только те характеристики, что традиционно входят в область

непосредственной визуальной оценки (например, ПМРТ демонстрирует инфаркт миокарда и позволяет оценить его давность [42]), но и те состояния ткани, которые недоступны органолептически, хотя могут быть полезны для диагностики. Например, ПМРТ способна выявлять химические изменения, косвенно отличающие значительный стеноз от незначительного или от его отсутствия, что важно при диагностике ишемической болезни сердца [58]. Некоторые изменения в принципе проще выявлять при помощи неинвазивных методик. Например, пневмоторакс легче обнаружить непосредственно с помощью ПКТ, чем при классической аутопсии [38]. Посмертная ангиография способна выявить варикоз вен нижних конечности и язвенное поражение, ассоциированное с ним [5].

Применение виртопсии может быть сопряжено с использованием малоинвазивных методов взятия гистологического или жидкостного материала. ПКТА в сочетании со взятием материала под КТ-контролем для последующей гистологической оценки полезна при выяснении причин внезапной смерти и их дифференцирования [55]. Например, для верификации такой причины внезапной смерти как разрыв аневризмы восходящей аорты [32]. Посмертная визуализация доказывает корреляцию между гистологическим диагнозом легочной жировой эмболии и ее макроскопическими признаками на ПКТ [20, 34]. Несмотря на имеющийся опыт применения ПКТ при оценке тромбоза легочной артерии [2, 4], постановка этого диагноза при помощи виртопсии значительно затруднена ввиду сложности установления различий между прижизненными и посмертными тромбами [72, 52, 73].

В то же время ПКТ потенциально может применяться в сложных случаях, когда требуется максимально комплексная оценка патологической ситуации. Например, отек, изменение обонятельного тракта и обонятельной луковицы, геморрагии и синдром задней обратимой энцефалопатии (PRES), ассоциированные с COVID-19, поддаются полноценной визуализации [23]. ПКТ также способна оказать помощь в диагностике новой коронавирусной инфекции [26, 31].

ПКТ, проведенная перед аутопсией, может выявить неожиданные находки в виде абсцесса [21]. Сочетание ПКТ и ПМРТ дает полноценную визуализацию патоморфологических изменений при инфекционных процессах [41]. Таким образом, своевременное применение методов лучевой диагностики может предупредить случаи неожиданного столкновения с инфекционным агентом, что в определенной степени предохраняет врача-патологоанатома или судмедэксперта.

Микро-КТ и МР-микроскопия имеют техническое и методологическое преимущество по сравнению с классической аутопсией

при исследовании плодного материала, в том числе ввиду сложностей, связанных с классическим вскрытием эмбрионов и плодов [64]. В то же время ПМРТ помогает дифференцировать мертворождение и смерть новорожденного [67]. Посмертная КТ-ангиография обладает высокой визуализацией для выявления пороков развития сердечно-сосудистой системы у новорожденных [68]. Также возможно применение виртопсии в области антропо- и морфометрических исследований, например, для определения кардиоторакального соотношения [8, 19]. Несмотря на то, что данные морфометрии сердца, основанные на аутопсии, могут значительно отличаться от оценки в рамках виртопсии, применение неинвазивных методов может быть дополнено разработкой современных протоколов оценивания изображения и внедрением подходящих морфометрических расчетов. Перспективность такого взгляда может быть подкреплена дальнейшими морфометрическими исследованиями. Так, например, достоверно известно, что различия в морфометрической оценке клапанов аорты и легочного ствола с использованием виртопсии и без нее незначительны [6]. Внедрение современных методов лучевой диагностики и работы с цифровыми данными потенциально может внести вклад в развитие морфологии и морфометрии и вывести некоторые их аспекты на качественно новый уровень.

Виртопсия в судебно-медицинской практике

В судебно-медицинской экспертизе первостепенной задачей является оценка локализации и степени повреждения мягких тканей, костей и внутренних органов для анализа механизма повреждения и выяснения причины смерти.

Исходя из этого, виртопсия в судебно-медицинской практике применяется для определения пола и возраста на костных фрагментах, в том числе и у детей, по степени окостенения черепных швов; для определения жидкости в носовых ходах и пазухах при утоплении с дальнейшей оценкой ее характера; оценки траектории пули при наличии огнестрельных ранений; для идентификации личности, с использованием 3D-реконструкции, и уточнении сроков смерти; в случае смерти от повешения или удушья; для исследования полностью обгоревшего тела и в результате ДТП [12, 37, 61]. Так, например, ПКТ способна выявить не только наличие воздуха в полости сердца, что свидетельствует о газовой эмболии, но и его количество и распределение [16]. Виртопсия способна визуализировать механизм и характер черепно-мозговой травмы [46], характеристики перелома [59] или резанной раны [62]. При отравлении веществом, вызывающим химические ожоги, ПКТ и

ПМРТ могут использоваться в качестве инструмента оценки [15]. Токсикологические показатели, необходимые для установки причины смерти в результате отравления, может выявить МР-спектроскопия [24]. Использование инструментов виртопсии позволяет оценить труднодоступные участки тела и обнаружить находки, часто упускаемые при классическом вскрытии (например, ретробульбарное кровоизлияние) [33].

Преимущества виртопсии и ее недостатки

Обоснование применения виртопсии видно из ее преимуществ перед инвазивным вскрытием. Помимо простоты применения неинвазивных методов как таковых, виртопсия позволяет использовать 3D-реконструкцию исследованного объекта, что упрощает визуализацию объектов, так как данная функция дает возможности манипулировать ими во всех плоскостях и рассматривать модель послойно. Сохранение моделей на цифровом носителе позволяет создавать банк данных с огромным объемом ПКТ-исследований и хранить его неограниченное количество времени, а также иметь доступ к отдельным исследованиям по требованию. Создание цифровых банков позволяет проводить повторную экспертизу спустя годы после захоронения трупа, освобождая специалиста от необходимости эксгумации тела. Также наличие записанного посмертного лучевого исследования без повреждения анатомии и нарушения топографии структур тела, позволяет возвращаться к началу диагностического поиска. Использование виртуальных технологий вместе с тем облегчает обмен научными данными с коллегами из других лечебных учреждений и позволяет проводить многоцентровые исследования. Также отсутствие нарушений целостности тела умершего минимизирует распространение инфекций внутри морга и больницы, что снижает риск инфицирования персонала.

Важной характеристикой виртопсии является бережное отношение к телу, сохраняющее внешний вид поверхностных тканей умершего, что может стать причиной выбора родственниками такого посмертного исследования перед классической аутопсией. Таким образом, вопрос о повсеместном внедрении виртопсии стоит особенно остро в странах, где сохраняется традиционно негативное отношение к нарушению целостности тела умершего человека согласно этническим, конфессиональным и социальным особенностям. Также, согласно деонтологическим нормам нашего времени, следует учитывать личные психологические качества и взгляды родственников умершего, напрямую не зависящие от культурного контекста.

К недостаткам виртопсии следует отнести отсутствие непосредственного визуального и тактильного контакта врача-патологоанатома с трупом, что исключает получение эмпирических данных, на которые патологоанатомы традиционно опирались при постановке посмертного диагноза. Также при проведении посмертного лучевого исследования стоит учитывать погрешность рентгеновской и сканирующей аппаратуры, зависящей как от возможных недочетов при настройке, неопытности врача-рентгенолога, так и по причине неизбежных технических ограничений метода из-за биохимических и органических изменений тела после смерти, что представляет трудности при попытке оценить некоторые патологические состояния. Об этом свидетельствует то, что один из пяти результатов виртопсийного исследования не совпадает с результатом аутопсии [44]. Осложняет работу с инструментарием виртопсии и то, что она все еще не имеет достаточной базы данных, общепринятых протоколов исследования и доступных учебных пособий, что может привести к затруднениям при диагностике отдельных состояний: например, дифференцирование гнилостных газов, локализованных в мягких тканях, и подкожной эмфиземы может быть достаточно сложной задачей для как для рентгенолога, ранее не работавшего с виртопсией, так и для патологоанатома, привыкшего к непосредственному контакту с трупом.

Особенные трудности могут возникнуть с теми патологическими состояниями, при которых, как считается, виртопсия малоинформативна. Например, при определении почечной, гепаторенальной или полиорганной недостаточности точность виртопсии может быть недостаточной, однако она повышается в сочетании с верной интерпретацией имеющихся лабораторных данных [38].

Сосудистые патологии имеют свои особенности, осложняющие верификацию патологии посредством одной лишь визуализации, а также ограничены применением контрастирования: ангиография затруднена ввиду быстрого осаждения и возможной утечки контрастного вещества [56], хотя модификация методов искусственного кровообращения позволяет уменьшить вклад седиментационных артефактов [36]. Из-за потери контраста, разграничение крови от других абдоминальных тканей может быть затруднено [7]. Также при использовании ПМКТ возможны артефакты, например, в виде геморрагического перикардального выпота в венозную фазу ПКТ-ангиографии [14]. Ангиография хоть и убедительна в выявлении окклюзий сосудов, но, в отличие от аутопсии с последующей гистологической верификацией, не выявляет причину окклюзии [17]. Также необходимо учитывать степень остывания тела, так как

контрастность различных сред (жир/вода, жир/мышцы, мышцы/вода) имеет зависимость от температуры [57]. В то же время, даже без учета технических ограничений, применение виртопсии может быть затруднено достаточно дорогостоящим стартовым вложением на приобретение необходимого оборудования, обучение технического персонала, способного обслуживать и настраивать это оборудование, и врачей-специалистов, ранее не имевших опыта работы с виртопсией.

Некоторые патологии статистически хуже поддаются визуализации лучевыми методами, что отдает преимущество классическому вскрытию. Однако не существует консенсуса по поводу патологий, наименее поддающихся виртопсийному исследованию. D. Wichmann с соавт. считают, что наиболее частые неточности в посмертной диагностике допускаются в процессе интерпретации инфаркта миокарда, тромбоэмболии легочных артерий, онкологических заболеваний и тромбоза глубоких вен [72]. Другие авторы в качестве наиболее распространенных ошибок при визуализации предлагают пневмонию, интраабдоминальные патологии, тромбоэмболию легочной артерии, ишемическую болезнь сердца [52]. В целом замечено снижение точности оценки повреждения органов верхнего отдела брюшной полости: печени (80%); селезенки (50%); поджелудочной железы (60%); почек (66%) [54].

Опыт коллег

В 2006 г. в Швейцарии во время предварительного исследования 44 трупов были предприняты попытки описать с помощью ПКТ и ПМРТ проявления ранних посмертных изменений крови, таких как оседание крови, появление посмертных сгустков во внутренних органах, подкожные и внутренние кровотечения после прекращения кровообращения. Например, по данным ПМРТ, посмертные сгустки были выявлены всего в 14 случаях (31,8%), что показывает довольно низкие результаты [43].

В 2009 г. коллеги из Японии, изучая эффективность виртопсии при повреждении шейного отдела позвоночника, пришли к выводу, что ПМКТ не может установить, получен ли перелом до наступления смерти или после нее, так как она не способна четко установить наличие кровотечения вокруг перелома, неполный перелом и разрыв межпозвоночного диска. Наряду с этим, в случае травмы шейного отдела позвоночника, повреждение на ПКТ иногда имеет вид, похожий на субарахноидальное кровоизлияние из-за разрыва мозговой артерии, что позволяет ошибочно диагностировать данную патологию. Ввиду этого, японские судебно-медицинские эксперты рекомендуют аутопсию, если из анамнеза пациента не исключена возможность травмы шеи

[40]. Однако уже в 2011 году группа авторов показала возможность точного дифференцирования пред- и посмертного переломов при помощи ПМРТ [59].

В 2010 г. патологоанатомами из Кореи было проведено исследование на 5 трупах: сравнение результатов аутопсии и виртопсии, по результатам которого было установлено, что в 4 из 5 случаев результаты ПМРТ совпадали с результатами аутопсии [18].

В 2010 г. в Бернском институте (Швейцария) при исследовании 20 тел с неуточненным анамнезом при помощи посмертной КТ, КТ-ангиографии в сравнении с биопсией, были получены результаты, согласно которым, в 18 из 20 случаев причина смерти при малоинвазивных исследованиях была идентична таковой, установленной по результатам аутопсии. На основании результатов проведенного исследования, коллеги пришли к выводу, что в отдельных случаях, при сочетании малоинвазивных методик, таких как биопсия, посмертная КТ и КТ-ангиография вполне способны заменить аутопсию с достоверными результатами [17].

В 2013 г. в Японии аутопсию уже проводили достаточно редко, в связи с чем виртопсия получила широкое распространение в стране. Так 36% стационаров и 89% больниц неотложной помощи использовали виртопсию в качестве рутинной практики как альтернативу вскрытиям [48].

Также, в 2013 г. двумя независимыми рентгенологами из Франции на примере 236 трупов было установлено, что степень визуализации сходства между ПКТ и аутопсией при выявлении переломов основания черепа, лицевой части черепа, подъязычной кости, позвоночника и таза была «практически идеальной». Также виртопсия была эффективна при выявлении свободного газа в различных полостях и определении причины смерти от огнестрельного ранения. Однако в обнаружении повреждений сосудов и внутренних органов виртопсия уступала аутопсии.

На основании этих данных был сделан вывод, что виртопсия столь же эффективна как и аутопсия в выявлении причины смерти в результате травматического повреждения [45].

Оценка диагностической точности посмертной КТ-ангиографии проводилась в 2017 г. на базе Лестерской королевской больницы в Великобритании. Было отобрано 210 случаев и проведены КТ-ангиография и аутопсия. Значительных расхождений по полученным результатам не наблюдалось ($p=0,65$ для серьезных расхождений и $p=0,21$ для незначительных расхождений). КТ-ангиография лучше выявляла травму и кровотечение ($p=0,008$), тогда как аутопсия лучше выявляла легочную тромбоэмболию ($p=0,004$) [60].

В 2017 г. в Китае был представлен клинический случай с 52-летним мужчиной,

который скончался в результате ДТП, при виртопсии было обнаружено кровоизлияние под наметом мозжечка, однако при аутопсии была диагностирована менигиома, что доказывает еще не сформированную базу данных для проведения виртопсии в рутинной практике [50].

В Италии в 2018 г. при проведении 25 предварительных ПКТ-исследований перед аутопсией было установлено, что в 15 из 23 случаев причина смерти при виртопсии была установлена верно, что было верифицировано классическим вскрытием, а в 9 из 23 случаев виртопсия не только помогла установить причину смерти, но и способ убийства. Также в двух случаях сочетание ПКТ с аутопсией не позволило установить причину смерти, что следует учитывать при оценке их относительной эффективности [22]. Авторами статьи было предложено использовать виртопсию в качестве скринингового метода перед аутопсией в судебно-медицинской практике.

В 2018 г. в Нидерландах на 86 трупах (в ходе отбора – на 78) исследователи пришли к выводу, что виртопсия пока неспособна в полной мере заменить аутопсию, однако она помогает в тех случаях, когда проведение аутопсии невозможно, и лучше демонстрирует причину смерти по сравнению с клинической диагностикой. После проведения ПКТ в качестве скринингового метода общая чувствительность по установке причины смерти увеличилась на 12%. Самой частой причиной смерти была пневмония и ее чувствительность составляла 11 (73%) из 15 случаев, помимо этого, при виртопсии в 2 случаях была установлена аритмия, в 1 – сердечная недостаточность, в 1 – заворот кишечника, а также в 1 случае – панкреатит, которые пропустили клиницисты. После ПКТ в 7 (44%) из 16 случаев был верно диагностирован инфаркт миокарда. Причины смерти, связанные с геморрагией, были верно истолкованы в 11 (85%) из 13 случаев, а также был выявлен один из пропущенных клиницистами случаев расслоения аорты [63].

В 2020 г. японские патологоанатомы также провели сравнение эффективности между виртопсией и клинической диагностикой, используя в качестве эталонного стандарта аутопсию, на 22 трупах умерших детей в возрасте до 3 от различных патологий внутренних органов. При поражении органов дыхания чувствительность ПКТ была выше, чем у клинической диагностики (90% у – ПМКТ, 20% – у клинической оценки), а при заболеваниях сердечно-сосудистой системы наоборот, клиническая диагностика показала 100% результат, против 0% чувствительности ПКТ [39]. В 2020 г. коллеги из Малайзии в ходе исследования также подтвердили, что виртопсия полезна при судебно-медицинской диагностике травматических повреждений и идентификации трупа. Несмотря на это дальней-

шая стандартизация техники, используемой для визуализации и создание единого шаблона для формирования отчета необходимы для лучшего использования виртопсии в рутинной медицинской практике [65].

Заключение

Виртопсия, обладая некоторыми ограничениями, тем не менее, имеет огромный потенциал. Целенаправленное развитие такого междисциплинарного подхода позволит минимизировать вероятность неточности при интерпретации исследования и обеспечит более высокое качество диагностики. Современные исследования в основном доказывают, что значительная часть недостатков виртопсии может быть устранена со временем.

Так, улучшение методов визуализации данных виртопсии позволит патологоанатому более точно оценивать состояние тела умершего, что в будущем должно максимально нивелировать отсутствие эмпирических данных, присущих классической аутопсии [27]. Потенциально сложности использования контраста могут быть устранены верным подбором контрастирующего вещества или разработкой нового [49].

Несмотря на первоначальные затраты на закупку необходимого сканирующего оборудования и переквалифичирование персонала, дальнейшее внедрение виртопсии на этапе использования ПКТ или хотя бы частичная замена классического вскрытия может позволить снизить стоимость одной аутопсии приблизительно на 33% [1].

Применение новейших компьютерных технологий при использовании искусственного интеллекта позволит, например, автоматизировать процесс оценивания распределения газов в грудной и брюшной полостях при ПКТ [28], что уже создает возможность для сочетания методов посмертной визуализации с машинным обучением, как в случае с автоматическим выявлением гемоперикарда [29]. Программная переоценка морфометрических данных, основанная на таком сочетании, потенциально способна нивелировать их отличие от морфометрических данных при вскрытии [6].

Проведенный анализ литературы, опубликованной с 2006 по 2022 годы и отобранный по ключевому слову “virtopsy”, позволяет сделать вывод, что уровень точности визуализации и частота успешных интерпретаций посмертных лучевых исследований значительно повысились, что связано как с повышением качества рентгенооптического и сканирующего оборудования, так и с формированием относительно обширной базы данных, содержащей ранее полученные результаты.

Таким образом, виртопсия уже является мощным вспомогательным инструментом, применимым при посмертной диагностике.

Использование классического вскрытия и виртопсии в комбинации может увеличить точность постановки диагноза, что, в сочетании с инструментами обработки и хранения цифровых данных, позволит вывести работу специалистов на новый уровень междисциплинарного взаимодействия. Внедрение технологий глубокого обучения и искусственного интеллекта в будущем повысит потенциал применения виртопсии, расширив возможности использования протоколов лучевой диагностики в рамках неинвазивной аутопсии.

Список литературы / References

- Ahmad MU, Sharif KA, Qayyum H, Ehsanullah B, Balyasnikova S, Wale A, et al. Assessing the use of magnetic resonance imaging virtopsy as an alternative to autopsy: a systematic review and meta-analysis. *Postgraduate Medical Journal*. 2017 Jul 6;93(1105):671–8. doi: 10.1136/postgradmedj-2017-134945. Epub 2017 Jul 6. PMID: 28684530.
- Alves M, Bigé N, Maury E, Arrivé L. Pulmonary Embolism Diagnosed by Contrast-enhanced Virtopsy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2014 Feb;189(3):358–9. doi: 10.1164/rccm.201310-1814LE. PMID: 24484332.
- Ampanozi G, Halbheer D, Ebert LC, Thali MJ, Held U. Postmortem imaging findings and cause of death determination compared with autopsy: a systematic review of diagnostic test accuracy and meta-analysis. *International Journal of Legal Medicine*. 2019 Aug 27;134(1):321–37. doi: 10.1007/s00414-019-02140-y. Epub 2019 Aug 27. PMID: 31455980.
- Ampanozi G, Held U, Ruder TD, Ross SG, Schweitzer W, Fornaro J, et al. Pulmonary thromboembolism on unenhanced postmortem computed tomography: Feasibility and findings. *Legal Medicine*. 2016 May;20:68–74. doi: 10.1016/j.legalmed.2016.04.005. Epub 2016 Apr 19. PMID: 27161927.
- Ampanozi G, Preiss U, Hatch GM, Zech WD, Ketterer T, Bolliger S, et al. Fatal lower extremity varicose vein rupture. *Legal Medicine*. 2011 Mar;13(2):87–90. doi: 10.1016/j.legalmed.2010.11.002. Epub 2010 Dec 8. PMID: 21144790.
- Ampanozi G, Hatch GM, Flach PM, Thali MJ, Ruder TD. Postmortem magnetic resonance imaging: Reproducing typical autopsy heart measurements. *Legal Medicine*. 2015 Nov;17(6):493–8. doi: 10.1016/j.legalmed.2015.10.008. Epub 2015 Oct 23. PMID: 26593996.
- Ampanozi G, Hatch GM, Ruder TD, Flach PM, Germerott T, Thali MJ, et al. Post-mortem virtual estimation of free abdominal blood volume. *European Journal of Radiology*. 2012 Sep;81(9):2133–6. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.09.014. Epub 2011 Oct 11. PMID: 21993180.
- Ampanozi G, Krinke E, Laberke P, Schweitzer W, Thali MJ, Ebert LC. Comparing fist size to heart size is not a viable technique to assess cardiomegaly. *Cardiovascular Pathology*. 2018 Sep 1;36:1–5. doi: 10.1016/j.carpath.2018.04.009. Epub 2018 May 7. PMID: 29859507.
- Ampanozi G, Flach PM, Fornaro J, Ross SG, Schweitzer W, Thali MJ, et al. Systematic analysis of the radiologic findings of aortic dissections on unenhanced postmortem computed tomography. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2015 Feb 28;11(2):162–7. doi: 10.1007/s12024-015-9654-z. Epub 2015 Feb 28. PMID: 25724838.
- Garyfalia Ampanozi, Flach PM, Ruder TD, Filograna L, Schweitzer W, Thali MJ, et al. Differentiation of hemopericardium due to ruptured myocardial infarction or aortic dissection on unenhanced postmortem computed tomography. *Forensic science, medicine, and pathology*. 2017 Mar 28;13(2):170–6. doi: 10.1007/s12024-017-9854-9. Epub 2017 Mar 28. PMID: 28352988.
- Ampanozi G, Ruder TD, Hatch GM, Bolliger S, Thali MJ. Incidental findings in post-mortem CT: Calcified ligamentum arteriosum. *Legal Medicine*. 2010 Nov;12(6):313–5. doi: 10.1016/j.legalmed.2010.07.003. Epub 2010 Sep 6. PMID: 20822945.
- Badam RK, Sownetha T, Babu DBG, Waghay S, Reddy L, Garlapati K, et al. Virtopsy: Touch-free autopsy. *Journal of Forensic Dental Sciences*. 2017;9(1):42. doi: 10.4103/jfo.jfds_7_16. PMID: 28584475; PMCID: PMC5450483.
- Bay NSY, Bay BH. Greek anatomist herophilus: the father of anatomy. *Anatomy & Cell Biology*. 2010;43(4):280–3. doi: 10.5115/acb.2010.43.4.280. Epub 2010 Dec 31. PMID: 21267401; PMCID: PMC3026179.
- Berger N, Martinez R, Winklhofer S, Flach PM, Ross S, Ampanozi G, et al. Pitfalls in post-mortem CT-angiography – intravascular contrast induces post-mortem pericardial effusion. *Legal Medicine*. 2013 Nov;15(6):315–7. doi: 10.1016/j.legalmed.2013.07.001. Epub 2013 Aug 3. PMID: 23916606.
- Berger F, Steuer AE, Rentsch K, Gascho D, Stamou S, Schärli S, et al. Postmortem computed tomography and magnetic resonance imaging facilitates forensic autopsy in a fatal case of poisoning with formic acid, diphenhydramine, and ethanol. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2016 Jul 18;12(3):304–11. doi: 10.1007/s12024-016-9797-6. Epub 2016 Jul 18. PMID: 27427196.
- Bolliger SA, Thali MJ. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* [Internet]. 2015 Aug 5;370(1674):20140253. doi: 10.1098/rstb.2014.0253. PMID: 26101279; PMCID: PMC4580998.
- Bolliger SA, Filograna L, Spendlove D, Thali MJ, Dirnhofer S, Ross S. Postmortem Imaging-Guided Biopsy as an Adjuvant to Minimally Invasive Autopsy With CT and Postmortem Angiography: A Feasibility Study. *American Journal of Roentgenology*. 2010 Nov;195(5):1051–6. doi: 10.2214/AJR.10.4600. PMID: 20966306.
- Cha JG, Kim DH, Kim DH, Paik SH, Park JS, Park SJ, et al. Utility of Postmortem Autopsy via Whole-Body Imaging: Initial Observations Comparing MDCT and 3.0T MRI Findings with Autopsy Findings. *Korean Journal of Radiology*. 2010;11(4):395–406.

- doi: 10.3348/kjr.2010.11.4.395. Epub 2010 Jun 21. PMID: 20592923; PMCID: PMC2893310.
19. Chatzaraki V, Ebert LC, Thali MJ, Anna-Bettina Haidich, Garyfalia Ampanozi. Evaluation of the mediastinal-thoracic volume ratio on postmortem computed tomography. *International journal of legal medicine*. 2021 Apr 28;135(5):1903–12. doi: 10.1007/s00414-021-02593-0. Epub 2021 Apr 28. PMID: 33909145; PMCID: PMC8354949.
 20. Chatzaraki V, Heimer J, Thali MJ, Ampanozi G, Schweitzer W. Approaching pulmonary fat embolism on postmortem computed tomography. *International Journal of Legal Medicine*. 2019 Apr 10;133(6):1879–87. doi: 10.1007/s00414-019-02055-8. Epub 2019 Apr 10. PMID: 30972495.
 21. Chatzaraki V, Bolliger SA, Thali MJ, Eggert S, Ruder TD. Unexpected brain finding in pre-autopsy postmortem CT. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2017 Jun 7;13(3):367–71. doi: 10.1007/s12024-017-9880-7. Epub 2017 Jun 7. PMID: 28589523.
 22. Cirielli V, Cima L, Bortolotti F, Narayanasamy M, Scarpelli M, Danzi O, et al. Virtual autopsy as a screening test before traditional autopsy: The verona experience on 25 Cases. *Journal of Pathology Informatics*. 2018;9(1):28. doi: 10.4103/jpi.jpi_23_18. PMID: 30167343; PMCID: PMC6106125.
 23. Coolen T, Lolli V, Sadeghi N, Rovai A, Trotta N, Taccone FS, et al. Early postmortem brain MRI findings in COVID-19 non-survivors. *Neurology*. 2020 Oct 6;95(14):e2016–27. doi: 10.1212/WNL.0000000000010116. Epub 2020 Jun 16. PMID: 32546654.
 24. De-Giorgio F, Martello S, Chiarotti M, Vetrugno G. Is “Toxopsy” the next step after virtopsy?. *Legal Medicine*. 2010 Mar;12(2):112. doi: 10.1016/j.legalmed.2009.12.001. Epub 2010 Jan 29. PMID: 20116323.
 25. Dirnhofer R, Jackowski C, Vock P, Potter K, Thali MJ. VIRTOPSY: Minimally Invasive, Imaging-guided Virtual Autopsy. *RadioGraphics*. 2006 Sep;26(5):1305–33. doi: 10.1148/rg.265065001. PMID: 16973767.
 26. Ducloyer M, Gaborit B, Toquet C, Castain L, Bal A, Arrigoni PP, et al. Complete post-mortem data in a fatal case of COVID-19: clinical, radiological and pathological correlations. *International Journal of Legal Medicine*. 2020 Aug 6;134(6):2209–14. doi: 10.1007/s00414-020-02390-1. Epub 2020 Aug 6. PMID: 32767018; PMCID: PMC7410356.
 27. Ebert LC, Franckenberg S, Sieberth T, Schweitzer W, Thali M, Ford J, et al. A review of visualization techniques of post-mortem computed tomography data for forensic death investigations. *International Journal of Legal Medicine*. 2021 Apr 30;135(5):1855–67. doi: 10.1007/s00414-021-02581-4. Epub 2021 Apr 30. PMID: 33931808; PMCID: PMC8354982.
 28. Ebert LC, Seckiner D, Sieberth T, Thali MJ, Franckenberg S. An algorithm for automatically generating gas, bone and foreign body visualizations from postmortem computed tomography data. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2021 Apr 27;17(2):254–61. doi: 10.1007/s12024-021-00363-3. Epub 2021 Apr 27. PMID: 33905073; PMCID: PMC8119247.
 29. Ebert LC, Heimer J, Schweitzer W, Sieberth T, Leipner A, Thali M, et al. Automatic detection of hemorrhagic pericardial effusion on PMCT using deep learning - a feasibility study. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2017 Aug 18;13(4):426–31. doi: 10.1007/s12024-017-9906-1. Epub 2017 Aug 18. PMID: 28819715.
 30. Ebert LC, Ampanozi G, Ruder TD, Hatch G, Thali MJ, Germerott T. CT based volume measurement and estimation in cases of pericardial effusion. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2012 Apr;19(3):126–31. doi: 10.1016/j.jflm.2011.12.007. Epub 2012 Jan 15. PMID: 22390997.
 31. Filograna L, Grassi S, Guglielmo Manenti, Carlo Di Donna, Tatulli D, Nardoni F, et al. Postmortem CT pulmonary findings in SARS-CoV-2-positive cases: correlation with lung histopathological findings and autopsy results. *International journal of legal medicine*. 2022 Feb 14;136(5):1407–15. doi: 10.1007/s00414-022-02793-2. Epub ahead of print. PMID: 35157128; PMCID: PMC8853405.
 32. Filograna L, Hatch G, Ruder T, Ross SG, Bolliger SA, Thali MJ. The role of post-mortem imaging in a case of sudden death due to ascending aorta aneurysm rupture. *Forensic Science International*. 2013 May;228(1-3):e76–80. doi: 10.1016/j.forsciint.2013.01.039. Epub 2013 Feb 26. PMID: 23485035.
 33. Flach PM, Egli TC, Bolliger SA, Berger N, Ampanozi G, Thali MJ, et al. “Blind spots” in forensic autopsy: Improved detection of retrobulbar hemorrhage and orbital lesions by postmortem computed tomography (PMCT). *Legal Medicine*. 2014 Sep;16(5):274–82. doi: 10.1016/j.legalmed.2014.06.003. Epub 2014 Jun 26. PMID: 25017308.
 34. Flach PM, Ross SG, Bolliger SA, Ampanozi G, Hatch GM, Schön C, et al. Massive Systemic Fat Embolism Detected by Postmortem Imaging and Biopsy. *Journal of Forensic Sciences*. 2012 Apr 26;57(5):1376–80. Epub 2012 Apr 26. PMID: 22537470.
 35. Ghosh SK. Giovanni Battista Morgagni (1682–1771): father of pathologic anatomy and pioneer of modern medicine. *Anatomical science international*. 2017;92(3):305–12. doi: 10.1007/s12565-016-0373-7. Epub 2016 Sep 14. PMID: 27629485.
 36. Grabherr S, Gygax E, Sollberger B, Ross S, Oesterhelweg L, Bolliger SA, et al. Two-Step Postmortem Angiography with a Modified Heart–Lung Machine: Preliminary Results. *AJR American journal of roentgenology*. 2008 Feb 1;190(2):345–51. doi: 10.2214/AJR.07.2261. PMID: 18212219.
 37. Harth S, Obert M, Ramsthaler F, Reuß C, Traupe H, Verhoff MA. Estimating age by assessing the ossification degree of cranial sutures with the aid of Flat-Panel-CT. *Legal Medicine*. 2009 Apr;11:S186–9. doi: 10.1016/j.legalmed.2009.01.091. Epub 2009 Mar 3. PMID: 19261532.
 38. Inai K, Noriki S, Kinoshita K, Sakai T, Kimura H, Nishijima A, et al. Postmortem CT is more accurate than clinical diagnosis for identifying the immediate cause of death in hospitalized patients: a prospective autopsy-based study. *Virchows Archiv: An International Journal of Pathology*. 2016 Jul 1 469(1):101–9. doi: 10.1007/s00428-016-1937-6. Epub 2016 Apr 16. PMID: 27085336; PMCID: PMC4923108.
 39. Ishida M, Gonoï W, Shirota G, Abe H, Shintani-Domoto Y, Ikemura M, et al. Utility of unenhanced postmortem computed tomography for investigation of in-hospital nontraumatic death in

- children up to 3 years of age at a single Japanese tertiary care hospital. *Medicine*. 2020 May;99(19):e20130. doi: 10.1097/MD.00000000000020130. PMID: 32384493; PMCID: PMC7220630.
40. Iwase H, Yamamoto S, Yajima D, Hayakawa M, Kobayashi K, Otsuka K, et al. Can cervical spine injury be correctly diagnosed by postmortem computed tomography? *Leg Med (Tokyo)*. 2009 Jul 1;11(4):168–74. doi: 10.1016/j.legalmed.2009.02.032. Epub 2009 Apr 11. PMID: 19362872.
 41. Jackowski C, Dirnhofner S, Thali M, Aghayev E, Dirnhofner R, Sonnenschein M. Postmortem diagnostics using MSCT and MRI of a lethal streptococcus group A infection at infancy: A case report. *Forensic Science International*. 2005 Jul;151(2-3):157–63. doi: 10.1016/j.forsciint.2005.01.015. Epub 2005 Mar 20. PMID: 15939147.
 42. Jackowski C, Christe A, Sonnenschein M, Aghayev E, Thali MJ. Postmortem unenhanced magnetic resonance imaging of myocardial infarction in correlation to histological infarction age characterization. *European Heart Journal*. 2006 Oct 1;27(20):2459–67. doi: 10.1093/eurheartj/ehl255. Epub 2006 Sep 14. PMID: 16973689.
 43. Jackowski C, Thali M, Aghayev E, Yen K, Sonnenschein M, Zwygart K, et al. Postmortem imaging of blood and its characteristics using MSCT and MRI. *International Journal of Legal Medicine*. 2005 Nov 19;120(4):233–40. doi: 10.1007/s00414-005-0023-4. Epub 2005 Nov 19. PMID: 16328426.
 44. Joseph TI, Girish KL, Sathyan P, Kiran MS, Vidya S. Virtopsy: An integration of forensic science and imageology. *Journal of Forensic Dental Sciences*. 2017;9(3):111–4. doi: 10.4103/jfo.jfds_52_16. PMID: 29657485; PMCID: PMC5887631.
 45. Le Blanc-Louvry I, Thureau S, Duval C, Papin-Lefebvre F, Thiebot J, Dacher JN, et al. Post-mortem computed tomography compared to forensic autopsy findings: a French experience. *European Radiology*. 2013 Mar 12;23(7):1829–35. doi: 10.1007/s00330-013-2779-0. Epub 2013 Mar 12. PMID: 23479220.
 46. Li Z, Zou D, Zhang J, Shao Y, Huang P, Chen Y. Use of 3D reconstruction of emergency and postoperative craniocerebral CT images to explore craniocerebral trauma mechanism. *Forensic Sci Int*. 2015 Oct 1;255:106–11:106–11. doi: 10.1016/j.forsciint.2015.07.012. Epub 2015 Jul 17. PMID: 26232886.
 47. Oesterhelweg L, Bolliger SA, Thali MJ, Ross S. Virtopsy: Postmortem Imaging of Laryngeal Foreign Bodies. *Archives of Pathology & Laboratory Medicine*. 2009 May 1;133(5):806–10. doi: 10.5858/133.5.806. PMID: 19415958.
 48. Okuda T, Shiotani S, Sakamoto N, Kobayashi T. Background and current status of postmortem imaging in Japan: Short history of “Autopsy imaging (Ai).” *Forensic Science International*. 2013 Feb;225(1-3):3–8. doi: 10.1016/j.forsciint.2012.03.010. Epub 2012 Apr 4. PMID: 22480884.
 49. Péporté ARJ, Gascho D, Stamou S, Bensler S, Thali MJ, Leschka S, et al. Evaluation of an acetated Ringer-based contrast material mixture for postmortem computed tomography angiography. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2020 Jul;101(7-8):489–97. doi: 10.1016/j.diii.2020.01.009. Epub 2020 Jan 29. PMID: 32007470.
 50. Qian H, Shao Y, Li Z, Zou D, Zhang J, Wang Maowen, et al. Subtentorial Meningioma Misdiagnosed as Cerebral Hemorrhage in Postmortem Computed Tomography Imaging. *Am J Forensic Med Pathol*. 2017 Jun 1;38(2):103–6. doi: 10.1097/PAF.000000000000307. PMID: 28272090.
 51. Ramos SG, Ottaviani G, Peres LC, Rattis BAC, Leão PS, Akel TN, et al. Why Should Clinical Autopsies Continue to Exist? *Diagnostics (Basel)*. 2021 Aug 16;11(8):1482. doi: 10.3390/diagnostics11081482. PMID: 34441416; PMCID: PMC8392208.
 52. Roberts IS, Benamore RE, Benbow EW, Lee SH, Harris JN, Jackson A, et al. Post-mortem imaging as an alternative to autopsy in the diagnosis of adult deaths: a validation study. *The Lancet*. 2012 Jan;379(9811):136–42. doi: 10.1016/S0140-6736(11)61483-9. Epub 2011 Nov 21. PMID: 22112684; PMCID: PMC3262166.
 53. Ross S, Spendlove D, Bolliger S, Christe A, Oesterhelweg L, Grabherr S, et al. Postmortem Whole-Body CT Angiography: Evaluation of Two Contrast Media Solutions. *American Journal of Roentgenology*. 2008 May;190(5):1380–9. doi: 10.2214/AJR.07.3082. PMID: 18430859.
 54. Ross S, Ebner L, Flach P, Brodhage R, Bolliger SA, Christe A, et al. Postmortem Whole-Body MRI in Traumatic Causes of Death. *American Journal of Roentgenology*. 2012 Dec;199(6):1186–92. doi: 10.2214/AJR.12.8767. PMID: 23169707.
 55. Ross SG, Thali MJ, Bolliger S, Germerott T, Ruder TD, Flach PM. Sudden Death after Chest Pain: Feasibility of Virtual Autopsy with Postmortem CT Angiography and Biopsy. *Radiology*. 2012 Jul;264(1):250–9. doi: 10.1148/radiol.12092415. Epub 2012 May 8. PMID: 22570504.
 56. Ruder TD, Hatch GM, Ebert LC, Flach PM, Ross S, Ampanozi G, et al. Whole Body Postmortem Magnetic Resonance Angiography. *Journal of Forensic Sciences*. 2011 Dec 28;57(3):778–82. doi: 10.1111/j.1556-4029.2011.02037.x. Epub 2011 Dec 28. PMID: 22211886.
 57. Ruder TD, Hatch GM, Siegenthaler L, Ampanozi G, Mathier S, Thali MJ, et al. The influence of body temperature on image contrast in post mortem MRI. *European Journal of Radiology*. 2012 Jun;81(6):1366–70. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.02.062. Epub 2011 Mar 31. PMID: 21458188.
 58. Ruder TD, Regula Bauer-Kreutz, Garyfalia Ampanozi, Roskopf AB, Pilgrim T, Weber OM, et al. Assessment of coronary artery disease by post-mortem cardiac MR. *Eur J Radiol*. 2012 Sep 1;81(9):2208–14. doi: 10.1016/j.ejrad.2011.06.042. Epub 2011 Jul 2. PMID: 21724352.
 59. Ruder TD, Germerott T, Thali MJ, Hatch GM. Differentiation of ante-mortem and post-mortem fractures with MRI: a case report. *The British Journal of Radiology*. 2011 Apr;84(1000):e75–8. doi: 10.1259/bjr/10214495. PMID: 21415297; PMCID: PMC3473468.
 60. Ruttly GN, Morgan B, Robinson C, Raj V, Pakkal M, Amoroso J, et al. Diagnostic accuracy of post-mortem CT with targeted coronary angiography versus autopsy for coroner-requested post-mortem investigations: a prospective, masked,

- comparison study. *The Lancet*. 2017 Jul;390(10090):145–54. doi: 10.1016/S0140-6736(17)30333-1. Epub 2017 May 24. PMID: 28551075; PMCID: PMC5506259.
61. Sakuma A, Ishii M, Yamamoto S, Shimofusa R, Kobayashi K, Motani H, et al. Application of Postmortem 3D-CT Facial Reconstruction for Personal Identification*. *Journal of Forensic Sciences*. 2010 Aug 12;55(6):1624–9. doi: 10.1111/j.1556-4029.2010.01526.x. Epub 2010 Aug 12. PMID: 20707833.
 62. Schnider J, Thali MJ, Ross S, Oesterhelweg L, Spendlove D, Bolliger SA. Injuries due to sharp trauma detected by post-mortem multislice computed tomography (MSCT): A feasibility study. *Legal Medicine*. 2009 Jan;11(1):4–9. doi: 10.1016/j.legalmed.2008.07.001. Epub 2008 Aug 23. PMID: 18723382.
 63. Sonnemans LJP, Kubat B, Prokop M, Klein WM. Can virtual autopsy with postmortem CT improve clinical diagnosis of cause of death? A retrospective observational cohort study in a Dutch tertiary referral centre. *BMJ Open*. 2018 Mar;8(3):e018834. doi: 10.1136/bmjopen-2017-018834. PMID: 29549202; PMCID: PMC5857682.
 64. Staicu A, Albu C, Popa-Stanila R, Chiriac L, Boitor-Borza D, Bondor C, et al. Potential clinical benefits and limitations of fetal vortopsy using high-field MRI at 7 Tesla versus stereomicroscopic autopsy to assess first trimester fetuses. *Prenatal Diagnosis*. 2019 May 15;39(7):505–18. doi: 10.1002/pd.5457. Epub 2019 May 15. PMID: 30980413.
 65. Tawfiq Zyoud TY, Abdul Rashid SN, Suppiah S, Abdul Rahim E, Mahmud R. Decoding death by unknown causes using post mortem image-guided vortopsy: A review of recent literature and the Malaysian experience. *Med J Malaysia*. 2020 Jul;75(4):4116–8. PMID: 32724006.
 66. Tejaswi KB, Hari Periya EA. Vortopsy (virtual autopsy): A new phase in forensic investigation. *Journal of Forensic Dental Sciences*. 2013;5(2):146–8. PMID: 24255565; PMCID: PMC3826044.
 67. Tumanova UN, Lyapin VM, V.G. Bychenko, Ai S, Sukhikh GT. Potentialities of Postmortem Magnetic Resonance Imaging for Identification of Live Birth and Stillbirth. 2019 Oct 1;167(6):823–6. doi: 10.1007/s10517-019-04631-9. Epub 2019 Oct 26. PMID: 31656007.
 68. Tumanova UN, Lyapin VM, V.G. Bychenko, Ai S, Sukhikh GT. Postmortem Computed Tomography Angiography of Newborns. 2020 Dec 3;170(2):268–74. doi: 10.1007/s10517-020-05049-4. Epub 2020 Dec 3. PMID: 33270157.
 69. Thali MJ, Jackowski C, Oesterhelweg L, Ross SG, Dirnhofer R. VIRTOPSY – The Swiss virtual autopsy approach. *Legal Medicine*. 2007 Mar;9(2):100–4. doi: 10.1016/j.legalmed.2006.11.011. Epub 2007 Feb 1. PMID: 17275386.
 70. Emanuela Turillazzi, Frati P, Pascale N, Cristoforo Pomara, Grilli G, Rocco Valerio Viola, et al. Multi-phase post-mortem CT-angiography: a pathologic correlation study on cardiovascular sudden death. 2016 Oct 1;13(10):855–65. doi: 10.11909/j.issn.1671-5411.2016.10.003. PMID: 27928228; PMCID: PMC5131201.
 71. van Kan RAT, Haest IJH, Lobbes MBI, Kroll J, Ernst SR, Kubat B, et al. Post-mortem computed tomography in forensic investigations of lethal gunshot incidents: is there an added value? *International Journal of Legal Medicine*. 2019 Jul 1;133(6):1889–94. doi: 10.1007/s00414-019-02108-y. Epub 2019 Jul 1. PMID: 31263946.
 72. Wichmann D, Obbelode F, Vogel H, Hoepker WW, Nierhaus A, Braune S, et al. Virtual Autopsy as an Alternative to Traditional Medical Autopsy in the Intensive Care Unit. *Annals of Internal Medicine*. 2012 Jan 17;156(2):123. doi: 10.7326/0003-4819-156-2-201201170-00008. PMID: 22250143.
 73. Westphal SE, Apitzsch J, Penzkofer T, Mahnken AH, Knüchel R. Virtual CT autopsy in clinical pathology: feasibility in clinical autopsies. *Virchows Archiv*. 2012 Jun 23;461(2):211–9. Epub 2012 Jun 23. PMID: 22729140

Информация об авторах

✉ Мнихович Максим Валерьевич – канд. мед. наук, доцент, ведущий научн. сотр. Центральной патологоанатомической лаборатории НИИ морфологии человека; ул. Цюрупы, 3, Москва, 117418, Россия; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0001-7147-7912>
 Лозина Милена Владиславовна – студент Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-1102-1133>
 Ширипенко Иван Александрович – студент Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5947-1523>
 Сидорова Ольга Александровна – студент Российского национального исследовательского медицинского университета им. Н.И. Пирогова; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-4024-2747>
 Безуглова Татьяна Васильевна – канд. биол. наук, зам. директора по научной работе НИИ морфологии человека; morfolhum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7792-1594>
 Романов Александр Вячеславович – младший научн. сотр. НИИ морфологии человека; morfolhum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7001-0023>

Information about the authors

✉ Maksim V. Mnichovich – Cand. Sci. (Med.), leading researcher of Central pathoanatomical laboratory of Research Institute of Human Morphology; ul. Tsyurupy, 3, Moscow, 117418, Russia; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0009-0001-7147-7912>
 Milena V. Lozina – student of N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0003-1102-1133>
 Ivan A. Shiripenko – student of N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-5947-1523>
 Olga A. Sidorova – student of N.I. Pirogov Russian National Research Medical University; mnichmaxim@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-4024-2747>
 Tat'yana V. Bezuglova – Cand. Sci. (Biol.), deputy scientific director of Research Institute of Human Morphology; morfolhum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7792-1594>
 Aleksandr V. Romanov – junior researcher of Research Institute of Human Morphology; morfolhum@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7001-0023>

Статья поступила в редакцию 6.10.2022; одобрена после рецензирования 24.04.2023; принята к публикации 26.06.2023.
 Submitted 6.10.2022; Revised 24.04.2023; Accepted 26.06.2023.