

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПОСМЕРТНОЙ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Аветисян Г.А.¹, Варданян Г.Д.¹, Джаноян Г.Дж.¹, Поркшеян К.А.¹, Эдилян А.Р.¹, Минасян И.С.¹, Хузатян А.А.², Аветисян С.К.¹

¹ ЕГМУ, кафедра лучевой диагностики

² ЗАО «Поликлиника им. К. Есяяна»

Получена: 03.07.2024, рецензирована: 26.08.2024, принята: 31.10.2024

Ключевые слова: посмертная визуализация, компьютерная томография трупа, магнитно-резонансная томография трупа, аутопсия, виртопсия.

Компьютерная томография (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) давно стали неотъемлемой и важной частью современной лучевой диагностики. Ортопеды-травматологи, нейрохирурги, кардиологи, онкологи, челюстно-лицевые хирурги и врачи других специальностей ежедневно используют данные КТ и МРТ для диагностики, выбора метода лечения и контроля его результатов. В судебно-медицинской экспертизе (СМЭ) живых лиц помощью КТ и МРТ также пользуются достаточно часто. Судебно-медицинские эксперты делают выводы и отвечают на вопросы следствия, опираясь в том числе на заключения рентгенологов и данные других методов лучевой диагностики [4, 8, 17, 24, 28, 70].

Однако в СМЭ трупов и патологической анатомии современные лучевые методы диагностики в достаточной степени не интегрированы, несмотря на то, что в некоторых случаях в выполнении посмертных КТ и МРТ заинтересованы родственники умерших, представители религиозных конфессий, а также правоохранительных органов [34, 36, 37, 44].

Официальное отношение к посмертной визуализации в значительной степени отличается не только в разных странах, но и в регионах внутри одной страны. Так, например, в Австралии посмертная визуализация разрешена и активно проводится только в одном штате из семи – Виктории [41]. Похожая ситуация и в США, некоторых западно-европейских странах, Японии, Бразилии, Южной Кореи [23, 35]. Насколько судебно-медицинские эксперты, патологоанатомы, лучевые

диагносты и организаторы здравоохранения готовы к внедрению посмертной визуализации зависит не только от материально-технических и финансовых возможностей, но и от степени заинтересованности всех участников процесса. Необходим пассионарный подъем, подобный тому, который произошел в Швейцарии в конце 1990-х годов, когда несколько энтузиастов этого метода доказали полезность и востребованность посмертной визуализации [61]. Чуть позже, на рубеже веков, в результате сотрудничества швейцарских судебно-медицинских экспертов с Институтом диагностической радиологии и нейрорадиологии Бернского университета был запущен амбициозный проект под названием «Виртопсия» (Virtopsy) [60, 61]. В целях дальнейшего распространения знаний и опыта основатели проекта «Virtopsy» выпустили монографии, руководства и атласы, которые, без преувеличения, можно назвать «произведениями искусства» в судебной медицине. Чрезвычайно успешная модель межведомственного и междисциплинарного сотрудничества была внедрена в судебно-медицинскую экспертизу ряда стран (Германия, Франция, Великобритания, США, Израиль, Австралия), где виртопсия в настоящее время уже рутинно используется для проведения скринингового исследования практически всех трупов для решения вопроса о необходимости дальнейшего секционного исследования [3].

Посмертная визуализация является самой молодой областью лучевой диагностики. Однако она имеет глубокие исторические корни. Рентгенография трупов и органов стала выполняться уже через несколько месяцев после открытия В. К. Рентгеном X-лучей в 1895 году. Первое КТ-исследование трупа при проникающем огнестрельном ранении в голову было проведено R. Wüllenweber и соавт. в 1977 году [67]. Интересы в профессиональном сообществе оно не вызвало из-за низкого качества изображений.

Судебно-медицинских экспертов и представителей закона интересовало, прежде всего, сравнение

* АДРЕС ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ

Г.Д. Варданян

ЕГМУ, кафедра лучевой диагностики

Адрес: РА, Ереван, 0025, ул. Корюна, 2

Эл. почта: g.vardanyan11@mail.ru

Тел.: (+374) 91 53 05 01

диагностических возможностей посмертной КТ с «золотым стандартом» патологической анатомии и судебной медицины – традиционным вскрытием трупа. Первое подобное исследование трупов военнослужащих, погибших в результате механической травмы, проведено в Израиле в 1994 году [21]. К сожалению, это небольшое, но крайне интересное сравнительное исследование не вызвало широкого резонанса в среде судебно-медицинских экспертов и рентгенологов.

Началом реального, научно обоснованного внедрения лучевых методов диагностики в практику СМЭ считают начало XXI века, когда в Швейцарии в Институте судебной медицины Бернского университета начали активно проводить сравнительные исследования посмертных КТ и МРТ с традиционной аутопсией [60, 68]. По мере накопления фактического материала и добавления новых методик, таких как посмертная КТ-ангиография (КТА) и биопсия под КТ-наведением, первоначальная настороженность к посмертной визуализации постепенно пошла на убыль. С 2006 года «Виртопсия» была официально интегрирована в правоохранительную систему Швейцарии, тогда же началось активное преподавание нового предмета – судебно-медицинской радиологии. В целях дальнейшего распространения знаний и опыта основатели проекта «Виртопсия» – профессора Richard Dirnhofer, Michael Thali и Peter Vock – выпустили монографии, руководства и атласы по судебно-медицинской радиологии [15, 59].

Традиционная или инвазивная аутопсия во всех странах мира до настоящего времени остается единственным способом научного контроля за правильностью постановки диагноза и установления причины смерти и является «золотым стандартом» посмертной диагностики [14]. Секционная техника оттачивалась в течение многих веков, и любой новый метод посмертного исследования, претендующий стать альтернативой традиционной аутопсии, должен быть подвергнут тщательным сравнительным исследованиям с ней. При интерпретации сравнительных исследований виртуальной аутопсии с традиционной не следует забывать о том, что традиционная аутопсия также является классическим операторзависимым методом исследования, и ее результаты во многом зависят от знаний и навыков конкретного врача, в то время как КТ и МРТ относятся к аппаратно-зависимым методам, диагностический результат которых больше связан с оборудованием, программным обеспечением, физико-техническими факторами получения изображения и протоколами

исследований. У адептов идеи виртуальной аутопсии есть один веский аргумент в ее пользу – при посмертной визуализации труп не разрушается. Поэтому если у органов дознания или судебно-медицинских экспертов появляются дополнительные вопросы, то к «первичным данным» всегда можно вернуться, так как весь их массив (объемная копия) доступен в системе хранения и передачи информации PACS (Picture Archiving and Communication System): он может копироваться и передаваться в неограниченное количество мест для консультаций. PACS обеспечивает быстрый дистанционный доступ к результатам исследований (как текущим, так и архивным), что дает возможность оценить их в разных учреждениях с привлечением рентгенологов и врачей-специалистов [25, 26, 66].

На заре становления метода посмертной мультиспиральной компьютерной томографии (МСКТ) в первом десятилетии XXI века специалисты по посмертной визуализации (в прошлом – клинические рентгенологи) не были готовы к правильной интерпретации многих «нормальных» находок, таких как оседание эритроцитов и образование свертков крови в полостях сердца и крупных сосудах, процессов образования гнилостного газа в полостях и тканях трупа, а также других изменений. При обработке большого количества данных посмертная МСКТ исследователям стало очевидно, что неспецифические артефакты, к которым относятся трупные гипостазы во внутренних органах, уплотнение стенок аорты, пузырьки гнилостных газов и др., а также специфические артефакты, такие как потеря дифференцировки между серым и белым веществом головного мозга, симптом «псевдосубарахноидального кровоизлияния» и др., нуждаются в правильной интерпретации и создают проблемы, с которыми не сталкиваются в своей практической деятельности клинические радиологи [37].

Необходимо понимать, что лучевое исследование живого пациента в значительной степени отличается от исследования трупа, что определяется некоторыми важными особенностями посмертной лучевой диагностики:

1. При посмертной КТ отсутствует проблема лучевой нагрузки на пациента. Этот факт «развязывает руки» рентгенологам, которые могут выбирать любые параметры протоколов сканирования и дозовые нагрузки, а также кратность исследований;
2. Труп неподвижен, у него отсутствуют пульсация сердца и сосудов, дыхание и другие движения. Это большой плюс для посмертной КТ и МРТ, поскольку

полностью устраняется проблема артефактов от движения;

3. Отсутствие кровообращения у трупа делает невозможным внутривенное контрастное усиление сосудов по обычной методике. Это проблема для посмертной КТ, которую лишь частично компенсирует технически сложная и дорогостоящая посмертная КТА, выполняемая с помощью специального оборудования. Разумеется, выполнение широко применяющейся в клинической МРТ бесконтрастной методики МР-ангиографии у трупов, также невозможно;
4. Воздушность легких трупа часто снижена, что затрудняет КТ-диагностику заболеваний легких. Для полноценной посмертной визуализации легкие в ряде случаев необходимо дозированно раздуть под КТ-контролем с помощью специального оборудования (для этих целей чаще используют портативные аппараты искусственной вентиляции легких);
5. Отсутствие перистальтики желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) крайне затрудняет пероральное и ректальное контрастное усиление. Также у трупа невозможны исследования, связанные с контрастированием мочевыделительной системы;
6. В трупе могут быть различные инородные тела, в том числе ферромагнитные. Они не могут привести к разрушению трупа из-за их смещения, но могут вызывать артефакты (как и у живых пациентов);
7. После наступления биологической смерти труп подвергается физико-химическим изменениям – охлаждению, высыханию, мышечному окоченению, которые могут ухудшить качество МР-визуализации органов и тканей и изменить сигнал от них;
8. Посмертные изменения, связанные с гравитационными процессами: перемещением крови под действием силы тяжести в сосуды нижележащих (с учетом положения и позы трупа) участков тела, оседанием клеток крови в сыворотке с образованием уровней, а также с наличием в полостях сердца и сосудах посмертных свертков крови, аутолитическими и гнилостными процессами в тканях значительно меняют КТ- и МР-семиотику патологических процессов;
9. В отличие от патологической анатомии, на судебно-медицинское исследование доставляются гнилостно измененные, мумифицированные, сапонифицированные (в состоянии жировоска), а также

замерзшие трупы, что ограничивает диагностические возможности КТ и МРТ.

В качестве метода первичной визуализации в СМЭ используется нативная КТ всего тела – от верхнего свода черепа до пальцев стоп. Затем при наличии показаний, технических возможностей и опыта радиолога может выполняться КТА сосудов трупа [48, 54]. Хочется подчеркнуть, что КТА трупа является сложной процедурой, требующей применения дорогостоящего оборудования и специальной подготовки рентгенологов. Кроме того, даже при соблюдении всех требований далеко не всегда удается получить хорошее заполнение контрастным средством сосудистой системы и визуализировать патологию сосудов головного мозга, коронарных артерий сердца и сосудов внутренних органов [40]. Вторым этапом посмертной визуализации в СМЭ трупа может быть МРТ, которую проводят после нативной КТ и обычно до КТА. Основные показания для МРТ в СМЭ трупов взрослых: повреждения и заболевания мягких тканей, центральной нервной системы (ЦНС), органов средостения, паренхиматозных органов брюшной полости, костно-суставной системы [53].

В качестве метода посмертной визуализации в судебной медицине КТ используется значительно чаще МРТ (42% и 12% соответственно) [52]. В контексте задач СМЭ КТ имеет ряд преимуществ [5, 31, 66]:

- ◆ высокая точность КТ-диагностики костной травматической патологии с возможностью построения многоплоскостных реконструкций (МПР) и 3D-моделированием;
- ◆ высокая точность визуализации острых кровоизлияний и наличия жидкости в полостях тела с определением ее объема и характера по КТ-денситометрии (гной, кровь, трансудат и т.д.);
- ◆ высокая чувствительность и специфичность КТ при черепно-мозговой травме и травме лицевого скелета [12, 56];
- ◆ имеется преимущество КТ не только перед МРТ, но и перед стандартной аутопсией в диагностике скопления газа в тканях и органах при газовой эмболии, эмфиземе мягких тканей, пневмотораксе, пневмоцефалии;
- ◆ у КТ значительно большая, чем у МРТ, скорость сканирования, позволяющая проводить исследования в случаях массового поступления трупов (транспортные и промышленные катастрофы, террористические акты и т. д.);
- ◆ у КТ меньше чувствительность к изменениям физико-химических характеристик трупа, связанных с

охлаждением, высыханием, гниением;

- ◆ у КТ большие диагностические возможности при огнестрельной и взрывной травме, есть возможность визуализации раневых каналов с построением МПР и объемным представлением, совместимость с ферромагнитными инородными телами, меньшее количество артефактов от металла (по сравнению с МРТ), возможно выявлять мелкие металлические осколки любой локализации;
- ◆ у КТ сопоставимая с МРТ точность диагностики при повреждениях органов шеи, грудной и брюшной полости, малого таза.

На сегодняшний день собрана доказательная база, позволяющая сделать выводы о том, что посмертная КТ не уступает, а иногда превосходит традиционную аутопсию в следующих случаях механических повреждений [11, 25, 33, 43, 55, 69]:

- ◆ поиск и локализация инородных тел, особенно рентгеноконтрастных, возможность оценки раневых каналов на всем протяжении с определением их протяженности, направления и других характеристик;
- ◆ обнаружение газа в сердечно-сосудистой системе (ССС), полостях тела, мягких тканях и внутренних органах;
- ◆ визуализация повреждений костных структур в сложных для традиционной аутопсии областях – основание черепа, лицевой скелет, позвоночник, таз, дистальные отделы конечностей.

Что касается других повреждений, встречающихся в практике судебно-медицинской травматологии, КТ обладает в ряде случаев достаточно высокой чувствительностью и специфичностью, а в ряде случаев – низкой. Недостаток клинической КТ – плохая контрастность мягких тканей, в еще большей степени касается и посмертной КТ в связи с отсутствием возможности внутривенного контрастного усиления [11, 43, 58, 66].

Посмертная КТ малоинформативна в диагностике повреждений спинного мозга. В 2014 году опубликована работа японских авторов [38], проводивших нативную КТ с последующей традиционной аутопсией 30 трупам с травмой шейного отдела позвоночника. Авторы отметили низкую чувствительность КТ (менее 20%) при травматических повреждениях спинного мозга и выразили надежду, что дополнительное использование МРТ повысит точность диагностики.

В 2016 году опубликована работа E. Turillazzi и соавт. [65], в которой отмечается, что КТА имеет большой потенциал в установлении причин внезап-

ной смерти. Однако ее роль в качестве стандартного дополнения к рутинной КТ трупа вызывает сомнения, поскольку протоколы КТА до настоящего времени не стандартизированы. Авторы пришли к этому выводу на основании серии из 10 наблюдений посмертной КТА. За 2012–2013 годы в их учреждении КТ проведена 68 трупам в случаях внезапной смерти. В 10 случаях нативная КТ была дополнена ангиографией, и традиционная аутопсия подтвердила ее высокую диагностическую чувствительность.

Посмертная КТ имеет некоторые дополнительные преимущества в сравнении с МРТ при СМЭ в случаях утопления, поскольку хорошо выявляет признаки смерти от утопления: жидкость и инородные тела в пазухах черепа, верхних дыхательных путях и верхних отделах ЖКТ, эмфизему и отек легких, гидремию (по снижению КТ-плотности крови), увеличение размеров правых отделов сердца и полых вен. Возможности КТ в идентификационных экспертизах многократно превосходят возможности обычной рентгенографии [20, 32].

В настоящее время с учетом возможностей КТ, к которым относятся высокая скорость проведения исследования, возможность постобработки данных, хранение и передача большого массива информации, метод крайне полезен в случаях массовой гибели людей: транспортных, техногенных и природных катастрофах, террористических актах и боевых действиях [39, 42].

При посмертной МСКТ трупов неизвестных лиц, гнилобно-измененных и обгоревших трупов, кроме основных целей исследования, чаще всего ставится задача идентификации личности [46]. Помощь лучевого диагноста в идентификации личности включает ответы на вопросы, касающиеся: пола, возраста, особых примет (индивидуальные особенности челюстно-лицевой области и других анатомических структур, наличие имплантатов, протезов, искусственных клапанов и т. д.), а также в сравнении посмертных и прижизненных патологических изменений, которые могут быть зарегистрированы в медицинских документах [51]. В связи с высокой пропускной способностью современных КТ-сканеров, посмертная МСКТ применяется для идентификации жертв террористических актов, различных техногенных и природных катастроф [16]. Особую ценность для решения задач СМЭ трупа, в том числе идентификационных экспертиз, представляют технические возможности современных сканеров с возможностью построения проекций максимальной интенсивности, использованием специальных программ по выявлению металлических инородных тел, а также построением

трехмерных реконструкций [16, 47].

В настоящее время одним из основных поводов для использования рентгенологических методов в судебной медицине являются обнаружение, локализация и идентификация инородных тел. Поиск инородного тела при КТ занимает мало времени, при этом в отличие от стандартной рентгенографии даются точная локализация инородного тела и его истинные размеры. Оперативно полученную информацию о деталях инородного тела (например, диаметр пули) высоко ценят следователи и криминалисты [52, 55]. Другое преимущество КТ по сравнению со стандартной рентгенографией заключается в возможности денситометрической оценки объекта интереса, так как при КТ можно измерить рентгеновскую плотность инородного тела в единицах Хаунсфилда (HU) или КТ-единицах. Поскольку различные материалы обладают разной КТ-плотностью, в ряде случаев можно определить тип инородного тела – сталь, латунь, медь, свинец, строительные материалы (известняк, мрамор, асфальт), стекло (автомобильное, бутылочное) и т. д. Указанные возможности КТ представляют ценность в случаях взрывной травмы. Используя КТ, можно быстро просмотреть большое количество трупов (частей трупов) и с помощью КТ-денситометрии идентифицировать фрагменты взрывного устройства. Возможность использования КТ в качестве предварительного (вспомогательного или досекционного) метода исследования может дать очень много полезной информации судебно-медицинским экспертам, в том числе в случаях гнилостных изменений трупа [64].

К безусловным преимуществам КТ относится возможность выявлять инфекционную патологию, опасную для персонала моргов, в частности туберкулез [27].

Интересными являются последние научные исследования, проведенные в США, которые посвящены коронавирусу 2019 (COVID-19). Как мы знаем, коронавирусная инфекция стала глобальной пандемией. По состоянию на 5 июля 2021 года во всем мире заболели более 184 миллионов человек (4 млн смертей). По состоянию на 4 июля 2021 года от COVID-19 в Лос-Анджелесе умерло более 600 000 человек. Учитывая большой объем случаев и риск проведения плановых вскрытий на пациентах с COVID-19, необходим был альтернативный подход для сбора информации о причинах смерти. Было предложено использовать посмертную КТ (ПКТ) для скрининга (сортировки перед вскрытием) и выявления COVID-19 в

судебно-медицинских учреждениях. По данным литературы из 42 умерших с инфекцией SARS-CoV-2, у которых был положительный посмертный результат исследования носоглотки, у 14% заражение, вероятно, было случайным. Результаты ПКТ предположили, что они умерли в результате другой патологии [63].

Посмертная МРТ является мощным диагностическим инструментом и за последние 25 лет многократно пробовалась на роль как вспомогательного предсекционного метода диагностики, так и альтернативы традиционной аутопсии в патологической анатомии и судебной медицине. Разумеется, как и в случае ПКТ, о реальной замене традиционной аутопсии на посмертную МРТ речь в настоящее время идти не может, поскольку доказательная база метода еще очень слаба [25, 26, 45, 53]. Основными достоинствами посмертной МРТ являются: высокое контрастное разрешение, трехмерный характер получения изображений, отсутствие артефактов от костей, высокая дифференциация мягких тканей. К сожалению, механический перенос данных по визуализирующим способностям МРТ из клинической медицины в судебную некорректен – нужны доказательства эффективности посмертной МРТ [11, 49, 53].

Для большинства задач СМЭ трупа КТ подходит в большей степени, чем МРТ. Даже если оставить за скобками финансовые и организационные аспекты (МРТ дороже КТ при покупке и обслуживании, а его пропускная способность ниже), на качество визуализации при посмертной МРТ влияет большее количество факторов, чем при КТ. Многие трупные изменения, как ранние, так и поздние могут сделать посмертную МРТ трудной и даже невозможной [11, 53].

МРТ предоставляет отличную анатомическую детализацию и особенно эффективна для визуализации патологии головного и спинного мозга, мягких тканей и органов брюшной полости.

Посмертная МРТ используется при скелетной травме для визуализации повреждений мягких тканей, в том числе периартикулярных, а также ушибов кости. Большую пользу МР-визуализация приносит в случаях скоропостижной смерти взрослых. Возможности посмертной МРТ в визуализации ССС значительно превосходят КТ. Это связано прежде всего с тем, что только посмертная МРТ способна обнаружить ишемические повреждения миокарда на ранних стадиях развития [5, 18, 49]. Первое и самое важное различие между клинической и посмертной МРТ – отсутствие артефактов движения. В результате посмертные МР-изображения

обеспечивают существенно лучшую анатомическую детализацию [18, 53]. Однако есть один очень важный нюанс – получить посмертное МР-изображение такого качества можно лишь до тех пор, пока температура трупа не опустилась ниже определенных значений. Дело в том, что в основе МР-изображений, в отличие от КТ, находится не рентгеновская плотность тканей, а сложные физико-химические характеристики объекта, которые сильно зависят от состояния трупа, в том числе от его температуры, степени высыхания, наличия газа в тканях и органах [13].

На судебно-медицинское исследование могут доставлять трупы с самыми разнообразными металлическими предметами, находящимися как снаружи, так и внутри трупа, которые создают проблему артефактов от металла. Наличие ферромагнитных инородных тел может затруднить проведение МРТ, а в ряде случаев сделать ее невозможной [22, 49, 53]. Судебно-медицинским экспертам следует помнить, что любой ферромагнитный объект, находящийся в трупе или доставленный с трупом, представляет потенциальную опасность для персонала и оборудования. Ферромагнитные инородные тела могут быть частями транспортных средств, пулями, осколками снарядов, протезами суставов и т. д. В связи с этим специалисты по посмертной визуализации для поиска металлических инородных тел рекомендуют выполнять КТ перед МРТ, поскольку портативные металлоискатели могут не реагировать на небольшие металлические объекты внутри трупа [22].

Невысокая чувствительность посмертной МРТ при повреждениях органов брюшной полости и низкие диагностические возможности при повреждениях легких не позволяют рассматривать МРТ как альтернативу традиционной аутопсии в случаях смерти от поврежденной механического характера [4].

Безусловный плюс посмертной МРТ – прекрасная визуализация ЦНС. Исследование J. Айон и соавт. [10] показало высокую чувствительность и специфичность МРТ в диагностике внутричерепных кровоизлияний, в том числе субарахноидальных.

Посмертная МРТ позволяет с достаточной степенью точности выявлять такую часто встречающуюся в практике судебно-медицинских экспертов патологию, как инфаркт миокарда (ИМ). В этом случае посмертная МРТ конкурирует даже не с КТ, а с традиционной аутопсией. По сводным литературным данным, макроскопические изменения при ИМ обнаруживают не ранее, чем через 4–12 часа от начала заболевания. Если па-

циент умер через 2–3 часа после начала ИМ, то можно определить область некроза только используя гистохимическое окрашивание [25, 26]. Группа исследователей под руководством С. Jackowski в 2011–2013 годах [29, 30] опубликовала результаты ряда сравнительных исследований посмертных МРТ с традиционной аутопсией с последующим гистологическим контролем (в том числе иммуногистохимическим) при ИМ в разных периодах его развития. Авторы пришли к выводу: МРТ обладает преимуществом перед стандартной аутопсией, поскольку МР-визуализация в режиме Т2-ВИ диагностирует ишемическое повреждение миокарда от десятков минут до нескольких часов от начала заболевания.

МРТ использовалась и для посмертной диагностики тупой травмы груди. В целом была показана достаточно большая чувствительность и специфичность МРТ в диагностике повреждений органов грудной полости, что авторы связывают в том числе с хорошей подготовкой судебно-медицинских радиологов за последние годы [9, 49]. Посмертная МРТ достаточно успешно использовалась в случаях механической асфиксии. Однако авторы, занимавшиеся проблемой, отмечают, что при странгуляционной асфиксии лучше использовать МРТ и КТ, поскольку методы дополняют друг друга: КТ лучше визуализирует повреждения подъязычной кости, МРТ – хрящи гортани и кровоизлияния в мягкие ткани [19].

Из анализа доступной на сегодняшний день литературы можно сделать некоторые заключения и выводы, основанные на реальных возможностях посмертной лучевой диагностики в СМЭ трупов взрослых лиц, которые могут быть использованы судебно-медицинскими экспертами в их практической деятельности [1, 2, 7, 25, 26, 57, 62]:

1. Методы посмертной визуализации в судебной медицине находятся на стадии активного исследования с формированием доказательной базы. «Золотым стандартом» посмертной диагностики была и остается традиционная аутопсия;
2. Для целей СМЭ трупов взрослых в большей степени подходит посмертная КТ;
3. Для максимально полного исследования трупов взрослых лиц в СМЭ следует комбинировать лучевые методы диагностики – КТ, КТА, МРТ с гистологическим исследованием тканей и другими лабораторными методами;
4. Посмертная лучевая диагностика может оказать большую помощь в визуализации всех видов меха-

- нических повреждений;
- Посмертная визуализация не может помочь в диагностике отравлений;
 - Посмертная визуализация может помочь в исключении механических повреждений и установлении некоторых причин при исследовании скоропостижной смерти;

- Посмертная визуализация может быть полезна при исследовании трупов, причиной смерти которых стали механическая асфиксия, утопление, а также при исследовании гнилостно измененных, неопознанных, расчлененных и эксгумированных трупов.

ЛИТЕРАТУРА

- Дуброва С.Э., Филимонов Б.А. Что должен знать клинический рентгенолог об особенностях компьютерной томографии трупа? *Consilium Medicum*, 2016; 18:38–47
- Кильдюшов Е.М., Егорова Е.В., Буренчев Д.В. Современные возможности лучевой диагностики в судебной медицине. *Судебная медицина*, 2019;5(4):4-8. <http://dx.doi.org/10.19048/2411-8729-2019-5-4-4-8>.
- Клевно В.А., Чумакова Ю.В. Виртопсия – новый метод исследования в практике отечественной судебной медицины. *Судебная медицина*, 2019;5(2):27-31. <http://dx.doi.org/10.19048/2411-8729-2019-5-2-27-31>.
- Ковалев А.В., Кинле А.Ф., Коков Л.С. и др. Реальные возможности посмертной лучевой диагностики в практике судебно-медицинского эксперта. *Consilium Medicum*, 2016; 18 (13): 9–25
- Коков Л.С., Кинле А.Ф., Синицын В.Е., Филимонов Б.А. Возможности посмертной визуализации в судебно-медицинской экспертизе трупа: критический анализ и обзор литературы. *Consilium Medicum*, 2015; Прил.: 4–26
- Кумар В., Аббас А.К., Фаусто Н., Астер Дж.К. Основы патологии заболеваний по Роббинсу и Котрану. т. 2, М.: Логосфера, 2016; с. 625–9
- Стрелков А.А. Способ исследования тела в целях установления причины смерти и/или идентификации личности методом рентгеновской компьютерной томографии. *Судебная медицина*, 2018; т. 4 (2) с. 15-18. DOI: [10.19048/2411-8729-2018-4-2-15-18](http://dx.doi.org/10.19048/2411-8729-2018-4-2-15-18).
- Туманова У.Н., Щеголев А.И., Ковалев А.В. Организация проведения посмертных лучевых исследований в структуре патологоанатомических отделений и бюро судебно-медицинской экспертизы. *Судебно-медицинская экспертиза*, 2021;64(1):57-63 <https://doi.org/10.17116/sudmed20216401157>.
- Aghayev E., Jackowski C., Thali M.J. et al. Heart luxation and myocardium rupture in postmortem multi-slice computed tomography and magnetic resonance imaging. *Am J Forensic Med Pathol* 2008; 29: 86–8. DOI: 10.1097/PAF.0b013e318165c0d8.
- Añon J., Remonda L., Spreng A. et al. Traumatic extra-axial hemorrhage: correlation of postmortem MSCT, MRI, and forensic-pathological findings. *J Magn Reson Imaging* 2008; 28 (4): 823–36. doi: 10.1002/jmri.21495.
- Baglivo M., Winkhofer S., Hatch G.M. et al. The rise of forensic and post-mortem radiology – Analysis of the literature between the year 2000 and 2011. *J. Forensic Radiol. Imaging*, 2013; 1: 3–9. DOI:10.1016/j.jofri.2012.10.003.
- Berger N., Ampanozi G., Schweitzer W. et al. Racking the brain: Detection of cerebral edema on postmortem computed tomography compared with forensic autopsy. *Eur. J. Radiol.*, 2015; 84: 643–51. doi: 10.1016/j.ejrad.2014.12.014.
- Bolliger M.J., Buck U., Thali M.J., Bolliger S.A. Reconstruction and 3D visualization based on objective real 3D based documentation. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2012; 8: 208–17. DOI: 10.1007/s12024-011-9288-8.
- Bolliger S.A., Thali M.J. Imaging and virtual autopsy: looking back and forward. *Phil Trans R Soc*, 2015; B 370: 20140253. doi: 10.1098/rstb.2014.0253.
- Brogdon B.G., Thali M.J., Viner M. (eds). *Brogdon's forensic radiology*, 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC, 2010. doi.org/10.4324/9780367805708.
- Brough A.L., Rutty G.N., Black S., Morgan B. Post-mortem computed tomography and 3D imaging: anthropological applications for juvenile remains // *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2012, v. 8, pp. 270–279. doi:10.1007/s12024-012-9344-z.
- Cafarelli F.P., Grilli G., Zizzo G., Bertozzi G., Giuliani N., Mahakkanukrauh P., Pinto A., Guglielmi G. Postmortem Imaging: An Update. *Semin Ultrasound CT MR*. 2019 Feb;40(1):86-93. doi: 10.1053/j.sult.2018.10.012. Epub 2018 Oct 28. PMID: 30686372.
- Cha J.G., Kim D.H., Kim D.H. et al. Utility of postmortem autopsy via whole-body imaging: initial observations comparing MSCT and 3.0T MRI findings with autopsy findings. *Korean J. Radiol.*, 2010; 11: 395–406. DOI: 10.3348/kjr.2010.11.4.395.
- Christe A., Oesterhelweg L., Ross S. et al. Can MRI of the neck compete with clinical findings in assessing danger to life for survivors of manual strangulation? A statistical analysis. *Leg. Med.*, (Tokyo), 2010; 12, 228–32. DOI: 10.1016/j.legalmed.2010.05.004.
- Dedouit F., Savall F., Mokrane F.Z. et al. Virtual anthropology and forensic identification using multidetector CT. *Br. J. Radio.*, 2014; 87: 20130468. DOI: 10.1259/bjr.20130468.
- Donchin Y., Rivkind A.I., Bar-Ziv J., Hiss J., Almog J., Drescher M. Utility of post-mortem computed tomography in trauma victims // *J. Trauma*, 1994, v. 37 (4), pp. 552–555. doi: 10.1097/00005373-199410000-00006.
- Expert Panel on MR Safety, Kanal E., Barkovich A.J., Bell C. et al. ACR guidance document on MR safe practices: 2013, *J. Magn. Reson. Imaging*, 2013; 37: 501–30. DOI: 10.1002/jmri.24011.
- Fernandes C.M.S., Marques J.A.M., Serra M. da Costa. Forensic imaging and radiology in Brazil. A historical event and a new era. *J. Forensic Radiol. Imaging*, 2013; 1 (4): 220–4. DOI:10.1016/j.jofri.2013.08.003.
- Filigrana L., Pugliese L., Muto M. et al. Practical Guide to Virtual Autopsy: Why, When and How. *Semin Ultrasound CT MR*. 2019 Feb;40(1):56-66. doi: 10.1053/j.sult.2018.10.011. Epub 2018 Oct 27. PMID: 30686369.
- Flach P.M., Gascho D., Schweitzer W., Ruder Th.D., Berger N., Ross S.G., Thali M.J., Ampanozi G. Imaging in forensic radiology: an illustrated guide for post-mortem computed tomography technique and protocols. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, March 2014. DOI 10.1007/s12024-014-9555-6.
- Flach P.M., Thali M.J., Germerott T. Times Have Changed! *Forensic Radiology – A New Challenge for Radiology and Forensic Pathology*. *AJR*: 202, April 2014; W325–334. doi: 10.2214/AJR.12.10283.
- Fryer E.P., Traill Z.C., Benamore R.E., Roberts I.S. High risk medicolegal autopsies: is a full postmortem examination necessary? *J. Clin. Pathol.*, 2013; 66: 1–7. doi: 10.1136/jclinpath-2012-201137.
- Fukuda H., Kubo R., Shiraishi M. et al. Visualization of left common carotid artery injury by glass using postmortem virtual angiography. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2024 Aug 20. doi: 10.1007/s12024-024-00883-8. Epub ahead of print. PMID: 39162948.
- Jackowski C., Hofmann K., Schwendener N. et al. Coronary thrombus and peracute myocardial infarction visualized by unenhanced postmortem MRI prior to autopsy. *Forensic Sci. Int.*, 2012; 214: e16–9. DOI: 10.1016/j.forsci-int.2011.07.010.
- Jackowski C., Schwendener N., Grabherr S., Persson A. Postmortem cardiac 3T magnetic resonance imaging: visualizing the sudden cardiac death? *J. Am. Coll. Cardiol.*, 2013; 62: 617–29.
- Jeffery A.J. The role of computed tomography in adult post-mortem examinations: an overview. *Diagnostic Histopathology*, 2010; 16 (12): 546–51. doi: [10.1016/j.mpdhp.2010.08.017](http://dx.doi.org/10.1016/j.mpdhp.2010.08.017).
- Kim D.I., Lee U.Y., Park S.O. et al. Identification using frontal sinus by three dimensional reconstruction from computed tomography. *J. Forensic Sci.*, 2013; 58: 5–12. DOI: 10.1111/j.1556-4029.2012.02185.x.
- Le Blanc-Louvy I., Thureau S., Duval C. et al. Post-mortem computed tomography compared to forensic autopsy findings: a French experience. *Eur. Radiol.*, 2013; 23: 1829–35. DOI: 10.1007/s00330-013-2779-0.

34. Leth P.M. Computerized tomography used as a routine procedure at postmortem investigations. *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, 2009 Sep;30(3):219-22. doi: 10.1097/PAF.0b013e318187e0af. PMID: 19696574.
35. Leth P.M., Thomsen J. Experience with post-mortem computed tomography in Southern Denmark 2006–11. *J. Forensic Radiol. Imaging*, 2013; 1 (4): 161–6. doi.org/10.1016/j.jofri.2013.07.006
36. Levy A.D., Harcke T.H. *Essentials of forensic imaging: a text-atlas*. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010.
37. Levy A.D., Harcke H.T., Mallak C.T. Postmortem imaging: MDCT features of postmortem change and decomposition // *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, 2010, v. 31(1), pp. 12–17. doi: 10.1097/PAF.0b013e3181c65e1a.
38. Makino Y., Yokota H., Hayakawa M. et al. Spinal cord injuries with normal post-mortem CT findings: a pitfall of virtual autopsy for detecting traumatic death. *AJR, Am. J. Roentgenol.*, 2014; 203 (2): 240–4. DOI: 10.2214/AJR.13.11775.
39. O'Donnell C., Iino M., Mansharan K. et al. Contribution of postmortem multidetector CT scanning to identification of the deceased in a mass disaster: Experience gained from the 2009 Victorian bushfires. *Forensic Sci. Int.*, 2010 Aug 4. doi: 10.1016/j.forsciint.2010.05.026.
40. O'Donnell C., Ranson D. *Post Mortem CT Interpretation Short Course*, 2015. Victorian Institute of Forensic Medicine, Department of Forensic Medicine, Monash University.
41. O'Donnell C., Rotman A., Collett S., Woodford N. Current status of routine postmortem CT in Melbourne, Australia. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2007; 3: 226–32. doi: 10.1007/s12024-007-9006-8.
42. Oliva A., Grassi S., Grassi V.M. et al. Postmortem CT and autopsy findings in nine victims of terrorist attack. *Int. J. Legal Med.*, 2021 Mar; 135(2):605-618. doi: 10.1007/s00414-020-02492-w.
43. Panda A., Kumar A., Gamanagatti S., Mishra B. *Virtopsy Computed Tomography in Trauma: Normal Postmortem Changes and Pathologic Spectrum of Findings*. *Curr. Probl. Diagn. Radiol.*, 2015; 44 (5): 391–406. doi: 10.1067/j.cpradiol.2015.03.005.
44. Persson A., Lindblom M., Jackowski C. A state-of the-art pipeline for post-mortem CT and MRI visualization: from data acquisition to interactive image interpretation at autopsy. *Acta Radiol.*, 2011; 52: 522–36. doi: 10.1258/ar.2011.100460.
45. Pollanen M.S., Woodford N. Virtual autopsy: time for a clinical trial. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2013; 9: 427–8. doi: 10.1007/s12024-013-9408-8.
46. Riepert T., Ulmcke D., Jendrysiak U., Rittner C. Computer-assisted simulation of conventional roentgenograms from three-dimensional computed tomography (CT) data – an aid in the identification of unknown corpses (FoXSIS) // *Forensic Sci. Int.*, 1995, v. 71, pp. 199–204. doi: 10.1016/0379-0738(94)01666-6.
47. Robinson C., Eisma R., Morgan B., Jeffery A., Graham E.A., Black S. et al. Anthropological measurement of lower limb and foot bones using multi-detector computed tomography // *J. Forensic Sci.*, 2008, v. 53, pp. 1289–1295. doi:10.1111/j.1556-4029.2008.00875.x
48. Ross S.G., Bolliger S.A., Ampanozi G. et al. Postmortem CT Angiography: Capabilities and Limitations in Traumatic and Natural Causes of Death. *Radio Graphics*, 2014; 34: 830–46. doi: 10.1148/rq.343115169.
49. Ross S., Ebner L., Flach P. et al. Postmortem whole-body MRI in traumatic causes of death. *AJR, Am. J. Roentgenol.*, 2012; 199: 1186–92. DOI: 10.2214/AJR.12.8767.
50. Ruder T.D. What are the key objectives of the ISFRI? – evaluation of the ISFRI member survey. *J. Forensic Radiol. Imaging*, 2013; 3: 142–5
51. Ruder T.D., Kraehenbuehl M., Gotsmy W.F., Mathier S., Ebert L.C., Thali M.J. et al. Radiologic identification of disaster victims: a simple and reliable method using CT of the paranasal sinuses // *Eur. J. Radiol.*, 2012, v. 81, pp. e132–38. doi:10.1016/j.ejrad.2011.01.060.
52. Ruder T.D., Thali Y., Bolliger S.A. et al. Material differentiation in forensic radiology with single-source dual-energy computed tomography. *Forensic Sci. Med. Pathol.*, 2013; 9: 163–9. DOI: 10.1007/s12024-012-9398-y.
53. Ruder T.D., Thali M.J., Hatch G.M. Essentials of forensic post-mortem MR imaging in adults. *Br. J. Radiol.*, 2014; 87 (1036): 20130567. doi: 10.1259/bjr.20130567.
54. Saunders S.L., Morgan B., Raj V., Ruty G.N. Post-mortem computed tomography angiography: past, present and future. *Forensic Science. Med. Pathol.*, 2011; 7: 271–7. doi: 10.1007/s12024-010-9208-3.
55. Schweitzer W., Thali M.J. Computed tomography of scalp embedded gravel: Differentiation between falling and kicking. *J. Forensic Radiol. Imaging*, 2015; 3: 200–9
56. Schweitzer W., Rudera Th., Thali M.J., Ringl H. Skull fractures in post-mortem CT: VRT, flat and skin surface projections in comparison. *J. Forensic Radiol. Imaging*, 2015; 3: 214–20. DOI:10.1016/j.jofri.2015.10.006.
57. Sifaouia I., Nedelcu C., Beltran G., Dupont V., Lebigot J., Gaudin A., Ridereau Zins C., Rouge Maillard C., Aubé C. Evaluation of unenhanced post-mortem computed tomography to detect chest injuries in violent death. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 2017;98(5):393- 400. https://doi.org/10.1016/j.diii.2016.08.019.
58. Takahashi N., Higuchi T., Shiotani M. et al. The effectiveness of postmortem multidetector computed tomography in the detection of fatal findings related to cause of non-traumatic death in the emergency department. *Eur. Radiol.*, 2012; 22: 152–60. doi: 10.1007/s00330-011-2248-6.
59. Thali M., Dirnhofer R., Vock P. (eds). *The Virtopsy approach: 3D optical and radiological scanning and reconstruction in forensic medicine*. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis, 2010. DOI:10.17116/sudmed201659358-62.
60. Thali M.J., Jackowski C., Oesterhelweg L. et al. *Virtopsy – the Swiss virtual autopsy approach*. *Leg. Med.*, (Tokyo), 2007; 9: 100–4. doi: 10.1016/j.legalmed.2006.11.011.
61. Thali M.J., Schweitzer W., Yen K. et al. New horizons in forensic radiology: the 60-second digital autopsy – full-body examination of a gunshot victim by multislice computed tomography. *Am. J. Forensic Med. Pathol.*, 2003; 24: 22–7. DOI: 10.1097/01.PAF.0000050694.17624.B1.
62. Thali M.J., Yen K., Schweitzer W. et al. *Virtopsy, a new imaging horizon in forensic pathology: virtual autopsy by postmortem multislice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) – a feasibility study*. *J. Forensic Sci.*, 2003; 48: 386–403
63. Thomas M., Abtin F., Roth A., Yim C., Pahwa A., Paige J., Ukpo O. Postmortem CT in decedents with SARS-CoV-2 infection. A single institution experience. *Forensic Sci. Res.*, 2022 Jan 24;7(2):255-260. doi: 10.1080/20961790.2021.1977479. PMID: 35784405; PMCID: PMC9245975.
64. Tschui J., Jackowski C., Schwendener N. et al. Post-mortem CT and MR brain imaging of putrefied corpses. *Int. J. Legal Med.*, 2016 May 25. doi: 10.1007/s00414-016-1385-5.
65. Turillazzi E., Frati P., Pascale N. et al. Multi-phase post-mortem CT-angiography: a pathologic correlation study on cardiovascular sudden death. *J. Geriatr. Cardiol.*, 2016; 13 (10): 855–65. DOI: 10.11909/j.issn.1671-5411.2016.10.003
66. Westphal S.E., Aplitzsch J., Penzkofer T. et al. Virtual CT autopsy in clinical pathology: feasibility in clinical autopsies. *Virchows Arch.*, 2012; 461: 211–9. doi: 10.1007/s00428-012-1257-4.
67. Wüllenweber R., Schneider V., Grumme T. A computer-tomographical examination of cranial bullet wounds. *Z. Rechtsmed* 1977; 80: 227–46. DOI: 10.1007/BF02114619.
68. Yen K., Vock P., Tiefenthaler B., Ranner G. *Virtopsy: forensic traumatology of the subcutaneous fatty tissue; multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) as diagnostic tools*. 2004 Jul;49(4):799-806. PMID: 15317198.
69. Zech W.D., Jackowski C., Buetikofer Y., Kara L. Characterization and differentiation of body fluids, putrefaction fluid, and blood using Hounsfield unit in post-mortem CT. *Int. J. Legal Med.*, 2014; 128: 795–802. DOI: 10.1007/s00414-014-1030-0.
70. Zirn A., Scheurer E., Lenz C. Automated detection of fatal cerebral hemorrhage in postmortem CT data. *Int. J. Legal Med.*, 2024 Jul;138(4):1391-1399. doi: 10.1007/s00414-024-03183-6. Epub 2024 Feb 8. PMID: 38329584; PMCID: PMC11164783.

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

ՀԵՏԱՎՅՈՒ ԵՎ ԱՎՏՈՂՈՒԹՅԱՆ ԱՆՏՈՐՈՇՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿԱԿԻՑ ՀՆԱՐԱՎՈՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԱՌԱՋՆԱԳԱՏՎՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ (ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՏՈՒԹՅՈՒՆ)

Ավետիսյան Գ.Ա.¹, Վարդանյան Գ.Զ.¹, Ջանոյան Գ.Զ.¹, Պորկշեյան Ք.Ա.¹, Էդիլյան Հ.Ռ.¹, Մինասյան Ի.Ս.¹, Խուզատյան Ա.Ա.², Ավետիսյան Ս.Կ.¹

¹ Երևանի Մ. Յերացու անվ. պետական բժշկական համալսարան

² «Կ.Եսայանի անվ. պոլիկլինիկա» ՓԲԸ

Բանալի բառեր՝ *հետմահու պատկերավորում, դիակի համակարգչային շերտագրում, դիակի մագնիսառեզոնանսային շերտագրում, դիախերմում, վիրտուոպսիա:*

Սույն հոդվածում ներկայացված է մեծահասակների դատաբժշկական փորձաքննության (ԴՔՓ) համակարգչային շերտագրման (ՀՇ) և մագնիսառեզոնանսային շերտագրման (ՄՌՇ) օգտագործման վերաբերյալ հետազոտության արդյունքների վերլուծության ակնարկը: Այս տեսության նպատակն է դատաբժշկական փորձագետներին և ռադիոլոգներին ծանոթացնել հետմահու պատկերավորման ամենատարածված իրավիճակներին, ինչպես նաև դրա ուժեղ և թույլ կողմերին: Դատաբժշկական փորձաքննության ժամանակ հետմահու պատկերավորման մեթոդները ակտիվ ուսումնասիրության և ապացույցների բազայի ձևավորման փուլում են: Ավանդական դիախերմումը մնում է հետմահու

ախտորոշման «ոսկե ստանդարտը»: Սակայն դատաբժշկական պրակտիկայում հետազոտությունները շարունակվում են տոմոգրաֆիկ հետազոտության մեթոդների դերի վերաբերյալ: Գործնական նպատակներով ավելի հարմար է մեծահասակների դիակների ՀՇ հետազոտությունը: Որոշ դեպքերում այն պետք է զուգակցվի դիախերմման և ՄՌՇ-ի հետ: Հետմահու ճառագայթային ախտորոշումը կարող է մեծ օգնություն ցուցաբերել մեխանիկական վնասվածքների պատկերավորման, հանկարծակի մահվան մի շարք դեպքերում, ինչպես նաև դատաբժշկական փորձաքննության պրակտիկայում տարածված որոշ այլ՝ մեխանիկական ասֆիքսիայի, ջրահեղման, բարձր և ցածր ջերմաստիճանների ազդեցության, նեխածության, անհայտ դիակների հետազոտության, օտար մարմինների հայտնաբերման իրավիճակներում:

SUMMARY

MODERN POSSIBILITIES AND FEATURES OF POST-MORTEM RADIATION DIAGNOSTICS (LITERATURE REVIEW)

Avetisyan G.A.¹, Vardanyan G.Z.¹, Janoyan G.Z.¹, Porksheyanyan K.A.¹, Edilyan H.R.¹, Minasyan I.S.¹, Khuzatyan A.A.², Avetisyan S.K.¹

¹ YSMU, Department of Radiology

² CJSC Polyclinic named after K. Esayan

Keywords: *postmortem imaging, postmortem CT, postmortem MRI, autopsy, virtopsy.*

This article provides a literature review of research results on the use of computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) in forensic medical examination (FME) of adults. The purpose of this review is to familiarize forensic pathologists and radiologists with the most common situations in postmortem imaging, as well as its strengths and weaknesses. Methods of post-mortem imaging in FME are at the stage of active study and formation of the evidence base. The traditional autopsy remains the gold standard for post-mortem diagnosis. But re-

search continues on the role of tomographic research methods in forensic practice. For practical purposes, CT examination of adult corpses is more suitable. In some cases it should be combined with autopsy and MRI. Post-mortem radiation diagnostics can be of great help in visualizing mechanical damage, as well as in establishing the cause in a number of cases of sudden death, as well as in some other situations common in emergency medicine practice: mechanical asphyxia, drowning, action of high and low temperature, examination of putrefactive changes and unidentified corpses, detection of foreign bodies.