

ISSN 2782-3806
ISSN 2782-3814 (Online)
УДК 616.12-008.3-073.96

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТЕТРАДЫ ФАЛЛО

**Береговский Д. А., Филин Я. А., Шапиева А. Ш., Шатохина М. Г.,
Труфанов Г. Е.**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В. А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

Corresponding author:

Береговский Даниил Андреевич,
ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»
Минздрава России,
ул. Аккуратова, д. 2, Санкт-Петербург,
Россия, 197341.
E-mail: bereg.daniil96@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11.06.2024
и принята к печати 10.07.2024.

РЕЗЮМЕ

Тетрада Фалло является одним из десяти наиболее распространенных врожденных пороков сердца, вызывающих значительные проблемы с кровообращением и приводящих к тяжелым клиническим проявлениям. Она характеризуется сочетанием четырех анатомических дефектов: обструкции выносящего тракта правого желудочка (ОВТПЖ) или стенозом легочной артерии (СЛА), дефектом межжелудочковой перегородки (ДМЖП), декстропозицией аорты и гипертрофией правого желудочка.

Это заболевание вызывает важные социальные и экономические последствия для системы здравоохранения, так как требует сложного хирургического вмешательства и длительного периода реабилитации.

Своевременная диагностика и комплексный подход к лечению, который включает хирургическую коррекцию и послеоперационную реабилитацию, позволяет улучшить прогноз для пациентов, увеличить продолжительность жизни и ее качество.

Современные комплексные методы кардиологической визуализации, такие как эхокардиография, компьютерная томография и магнитно-резонансная томография, помогают диагностировать тетраду Фалло, точно оценить степень порока, гемодинамику и спланировать наиболее эффективное лечение.

Ключевые слова: кардиовизуализация, лучевая диагностика, МРТ, тетрада Фалло, эхокардиография.

Для цитирования: Береговский Д.А., Филин Я.А., Шапиева А.Ш. и др. Современные подходы к визуализации тетрады Фалло. Российский журнал персонализированной медицины. 2024;4(4):348-354. DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-4-348-354. EDN: QIAZY0

MODERN METHODS OF VISUALIZATION OF THE TETRALOGY OF FALLOT

Beregovskii D. A., Filin Ya. A., Shapieva A. Sh., Shatokhina M. G., Trufanov G. E.

Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia

Контактная информация:

Beregovskii Daniil A.,
Almazov National Medical Research Centre,
Akkuratova str., 2, Saint Petersburg, Russia,
197341.
E-mail: bereg.daniil96@mail.ru

Received 11 June 2024; accepted 10 July 2024.

ABSTRACT

Tetrad of Fallot is one of the ten most common congenital heart defects that cause significant circulatory problems and lead to severe clinical manifestations. It is characterized by a combination of four anatomical defects: obstruction of the outflow tract of the right ventricle or pulmonary artery stenosis, ventricular septal defect, aortic dextraposition and right ventricular hypertrophy.

This disease causes important social and economic consequences for the health care system, as it requires complex surgical intervention and a long period of rehabilitation.

Timely diagnosis and an integrated approach to treatment, which includes surgical correction and postoperative rehabilitation, can improve the prognosis for patients, increase life expectancy and its quality.

Modern complex methods of cardiological imaging, such as echocardiography, computed tomography and magnetic resonance imaging, help diagnose tetrad Fallot, accurately assess the degree of defect, hemodynamics and plan the most effective treatment.

Key words: cardiovisualization, echocardiography, MRI, radiological diagnosis, tetrad of Fallot.

For citation: Beregovskii DA, Filin YaA, Shapieva ASh, et al. Modern methods of visualization of the tetralogy of Fallot. Russian Journal for Personalized Medicine. 2024; 4(4):348-354. (In Russ.) DOI: 10.18705/2782-3806-2024-4-4-348-354. EDN: QIAZY0

АКТУАЛЬНОСТЬ

Тетрада Фалло (ТФ) является одним из наиболее распространенных «синих» (цианотических) пороков сердца, на его долю приходится значительное количество случаев среди всех врожденных пороков сердца. Частота этой патологии, по данным различных авторов, составляет 0,21–0,26 на 1000 новорожденных; диагностируется у 8–13 % всех пациентов с врожденными пороками сердца и у 4 % среди критических врожденных пороков сердца [1].

Без хирургической коррекции ТФ новорожденные могут погибнуть от различных осложнений, таких как тромбоэмболии сосудов головного мозга, сердечная недостаточность, инфекционный эндокардит.

Показатели смертности от различных осложнений, вызванных ТФ в течение первого года жизни пациента, составляют до 25 %, к 3 годам жизни показатель смертности достигает уже 40 %, к 10 годам — 70 %, а к 40 годам жизни увеличивается до 95 % [2]. В то же время при успешной хирургической коррекции большинство пациентов может провести полноценную жизнь. Однако в 20 % случаев требуются повторные операции и наблюдение у кардиолога в течение всей жизни [3].

Ранняя диагностика позволяет достичь более успешной коррекции и скорейшей реабилитации, благодаря комплексному подходу в планировании лечения.

На современном этапе развития медицинской науки методы кардиологической визуализации в распознавании и мониторинге тетрады Фалло продолжают развиваться и совершенствоваться для достижения своевременной и точной диагностики, что, в свою очередь, необходимо для выбора оптимальной тактики лечения и улучшения прогноза исхода заболевания.

Целью данной статьи является научный анализ и систематизация имеющегося мирового опыта применения методов кардиологической визуализации в диагностике и мониторинге ТФ.

Лучевыми методами диагностики врожденных пороков сердца, к которым относится ТФ, являются следующие методы:

- эхокардиография (ЭхоКГ);
- компьютерная томография (КТ);
- магнитно-резонансная томография (МРТ).

Для планирования хирургической коррекции и в целях наблюдения за пациентом после хирургической коррекции каждый метод имеет свои особенности, характеристики, визуализационные показатели и ограничения. На данный момент для диагностики ТФ применяются в основном ЭхоКГ,

КТ и МРТ; для планирования тактики хирургической коррекции и для дальнейшего динамического наблюдения — КТ и МРТ.

Лучевая диагностика тетрады Фалло является важным этапом в управлении этим врожденным пороком сердца. Использование различных методов визуализации позволяет точно оценить анатомию и функциональное состояние сердца, что особенно важно для планирования лечения и прогноза. Современные методы, такие как МРТ и КТ-ангиография, предоставляют высокую точность и детализированность изображений, что значительно улучшает диагностику и лечение пациентов с тетрадой Фалло.

ЭХОКАРДИОГРАФИЯ

Своевременная диагностика ТФ имеет важное значение для планирования и проведения адекватного лечения. Ультразвуковая диагностика (эхокардиография) является основным методом выявления этой патологии благодаря своей неинвазивности, доступности и высокой информативности [4, 5].

Современные эхокардиографические аппараты обеспечивают высокое разрешение и получение детальных изображений, что позволяет диагностировать сложные врожденные пороки сердца, более точно оценивать размеры и гемодинамику [6].

Ультразвуковая диагностика включает несколько основных методик исследования, которые используются в зависимости от клинической ситуации и возраста пациента [7].

Трансторакальная эхокардиография (ТТЭ) является основной методикой диагностики ТФ. Она также позволяет визуализировать анатомические структуры сердца и оценивать их функциональное состояние. ТТЭ проводится через грудную клетку и дает подробные изображения всех четырех компонентов ТФ. Исследования показывают, что точность ТТЭ в диагностике ТФ составляет 90–95 % [4, 5].

Транзофагеальная эхокардиография (ТЗЭ) применяется в случае недостаточной информативности ТТЭ, она обеспечивает более детальное и более информативное изображение, особенно у взрослых пациентов с наличием сопутствующих патологий. ТЗЭ позволяет детально оценить анатомию коронарных артерий, что также немаловажно для предоперационного планирования [6].

Трехмерная эхокардиография (3D-ЭхоКГ) — это одна из самых современных методик ультразвукового исследования, которая позволяет получать объемные изображения сердца, ее применение улучшает визуализацию сложных анатомических структур и помогает в планировании хирургиче-

ского вмешательства. Исследования показывают, что 3D-ЭхоКГ улучшает точность оценки ДМЖП и декстропозиции аорты [7].

Далее более детально рассмотрим особенности диагностики компонентов тетрады Фалло, а также на что стоит обращать внимание при том или ином компоненте.

Стеноз легочной артерии: измерение степени стеноза и оценка скорости кровотока через легочную артерию с помощью доплерографии, определение градиента давления между правым желудочком и легочной артерией. Исследования показывают, что доплерография позволяет точно оценить степень стеноза и его влияние на гемодинамику [8].

Дефект межжелудочковой перегородки: визуализация ДМЖП в различных проекциях, оценка размера и расположения дефекта, а также степени шунтирования крови. По данным исследований, точность выявления ДМЖП с помощью эхокардиографии составляет более 95 % [9].

Декстропозиция аорты: определение положения аорты относительно межжелудочковой перегородки, оценка степени смещения аорты. 3D-ЭхоКГ позволяет получить более точные данные, чтобы определить степень декстропозиции по сравнению с остальными методами [10].

Гипертрофия правого желудочка: измерение толщины стенок правого желудочка, оценка функционального состояния и сократимости правого желудочка. Современные методы 3D-ЭхоКГ позволяют оценить объем и функцию правого желудочка с наименьшими погрешностями [11].

Также не стоит забывать о ряде явных преимуществ и недостатков ЭхоКГ. К основным преимуществам можно отнести: неинвазивность и безопасность; высокую информативность и возможность получения реального времени изображения; доступность и относительно низкую стоимость. Ряд исследователей указывают на то, что эхокардиография позволяет своевременно выявлять ТФ и планировать необходимое лечение [12].

Несмотря на современный уровень развития техники, УЗД остается крайне операторозависимым методом диагностики. Также при выполнении исследования можно столкнуться с такими трудностями, как наличие ожирения или анатомические особенности грудной клетки, — все это может повлиять на его информативность. Некоторые авторы указывают на то, что ЭхоКГ недостаточно информативна при сложных анатомических особенностях, и в таком случае необходимо использовать дополнительные методы диагностики, такие как МРТ или КТ [13–15].

Современные технологии не стоят на месте и продолжают совершенствоваться, что позволяет улучшать качество диагностики ТФ. Внедрение 3D- и 4D-эхокардиографии, а также разработка новых программных алгоритмов для анализа изображений способствуют более точному и быстрому выявлению врожденных пороков сердца. Зарубежные авторы указывают на то, что использование и внедрение в клиническую практику искусственного интеллекта и машинного обучения может значительно повысить точность диагностики и предсказуемость исходов лечения [16].

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Компьютерная томография (КТ) стала ключевым инструментом в диагностике врожденных пороков сердца благодаря своей высокой разрешающей способности и возможностям трехмерной реконструкции. Современные методики компьютерной томографической ангиографии (КТА) позволяют подробно визуализировать анатомические структуры сердца и крупных сосудов, что помогает хирургам при планировании оперативного вмешательства у пациентов с ТФ.

КТ предоставляет более детализированные изображения по сравнению с эхокардиографией, что позволяет лучше оценить сложные анатомические взаимоотношения и возможные аномалии коронарных артерий. В отличие от магнитно-резонансной томографии (МРТ) КТ имеет более высокое пространственное разрешение и может быть выполнена быстрее, что снижает необходимость в общей анестезии у детей младшего возраста. Использование современных КТ аппаратов позволяет получить изображения высокого разрешения с минимальной лучевой нагрузкой.

Многочисленные клинические случаи и исследования подтверждают важнейшую диагностическую ценность КТ в оценке и коррекции ТФ. Так, McMahon С. и коллеги (2020) [17] подчеркивают, что использование КТА позволило точно определить степень стеноза выходного тракта правого желудочка, размеры дефекта межжелудочковой перегородки и характер аномалий коронарных артерий, что играет ключевую роль в предоперационном планировании.

В другом исследовании Johnson T. R. и соавторы (2019) [18] отмечают важность КТ для оценки анатомических особенностей сердца и крупных сосудов у пациентов с ТФ, что также позволило более точно спланировать хирургическое вмешательство.

Другие авторы, такие как Smith A. B. и коллеги (2018) [19], показывают, что КТА позволяет деталь-

но визуализировать все компоненты ТФ и оценить состояние легочных артерий и венозного возврата. Kang J. W. и соавторы (2017) [20] проводят обзор новейших технологий КТ, включая 4D-сканирование, которые значительно улучшили диагностику и планирование лечения ТФ. A Müller M. и коллеги (2016) [21] в сравнительном исследовании подчеркивают, что КТ превосходит МРТ по скорости и разрешающей способности, что делает его предпочтительным методом для быстрой и точной диагностики ТФ.

Компьютерная томография занимает важное место в диагностике тетрады Фалло, благодаря своей высокой разрешающей способности и возможности трехмерной реконструкции. В связи с развитием аддитивных технологий и технологий пространственного изображения, диагностическая информация, полученная благодаря КТ, помогает хирургам более тщательно спланировать этапы оперативного вмешательства.

Современные технологии КТА обеспечивают точную визуализацию анатомических структур сердца и крупных сосудов. В связи с этим интеграция КТ в клиническую практику значительно улучшает прогноз и качество жизни пациентов с ТФ.

МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ

Магнитно-резонансная томография (МРТ) становится все более незаменимым инструментом в неинвазивной диагностике и мониторинге тетрады Фалло благодаря своим высоким разрешающим способностям и безопасности метода. Она также предоставляет информацию о морфологии и функциональном состоянии сердца, что делает ее ценным методом диагностики тетрады Фалло. МРТ обладает рядом преимуществ, к которым относятся: высокое пространственное разрешение (позволяет детально визуализировать анатомические структуры сердца, выявлять мельчайшие аномалии); отсутствие ионизирующего излучения (безопасно, в том числе для детей и при необходимости проведения повторных исследований); функциональная оценка (возможность измерения объема желудочков, фракции выброса, потоков крови и других ключевых параметров) [22, 23].

Ряд клинических исследований показывают высокую точность МРТ в оценке состояния пациентов с тетрадой Фалло. Например, работа Thegrien J. и соавторов (2000) [24] продемонстрировала, что МРТ позволяет точно измерять размер и функцию правого желудочка, что критически важно для операционной бригады в планировании хирургического

вмешательства. Другое исследование, проведенное Geva T. и коллегами (2013) [25], показало, что МРТ позволяет выявлять остаточные дефекты и аномалии после хирургической коррекции ТФ, обеспечивая надлежащий мониторинг и последующее лечение. Jackson J. L. и соавторы (2009) [26] также отметили, что МРТ эффективно выявляет нарушения кровотока и оценивает функциональное состояние сердца у пациентов с ТФ, что помогает в планировании дальнейших лечебных мероприятий.

Практические аспекты в клинической практике показывают, что МРТ используется для: предоперационной оценки — определение степени стеноза легочного клапана, размера и расположения дефекта межжелудочковой перегородки, а также состояния аорты; постоперационного мониторинга — оценка состояния после хирургической коррекции, включая возможные осложнения и эффективность лечения; долгосрочного наблюдения — контроль состояния сердечной функции и выявление поздних осложнений, таких как правожелудочковая недостаточность или аритмии.

В некоторых клинических исследованиях и практике часто приводятся примеры успешного применения МРТ для диагностики и мониторинга ТФ. Например, Buechel E. R. и коллеги (2005) [27] описали случай пациента с тетрадой Фалло, у которого МРТ позволила выявить скрытые аномалии, не обнаруженные при других методах диагностики, что существенно повлияло на планирование оперативного вмешательства. Аналогично, Valente A. M. с соавторами (2014) [28] показали, что МРТ является незаменимым инструментом для оценки состояния пациентов после хирургической коррекции ТФ, помогая выявлять и корректировать остаточные дефекты.

С развитием технологий, таких как 4D-МРТ и улучшенные контрастные агенты, возможности магнитно-резонансной томографии в диагностике ТФ значительно расширяются. Pushparajah K. и коллеги (2015) [29] отметили, что использование 4D-МРТ позволяет получать более детализированные данные о динамике кровотока и функционировании сердца у пациентов с тетрадой Фалло, что помогает в разработке более точных и индивидуализированных планов лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Планирование хирургического вмешательства при тетраде Фалло требует комплексного подхода с использованием всех доступных методов визуализации. Эхокардиография используется на начальных этапах диагностики для общей оценки

состояния сердца. КТ и МРТ применяются для детального изучения анатомических особенностей и оценки операбельности пациента. Компьютерная томография особенно полезна для оценки анатомии коронарных артерий и крупных сосудов, а также для выявления возможных дополнительных аномалий. МРТ в свою очередь позволяет детально оценить функцию правого желудочка и степень гипертрофии, что важно для определения стратегии хирургического вмешательства.

Мультимодальная диагностика, включающая УЗИ, КТ и МРТ, играет ключевую роль в планировании хирургического вмешательства и послеоперационного наблюдения пациентов с тетрадой Фалло. Каждый метод имеет свои уникальные преимущества и недостатки, и их комбинированное использование позволяет обеспечить наиболее полную и точную оценку состояния пациента, что в конечном счете способствует улучшению результатов лечения.

Конфликт интересов/ Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии потенциального конфликта интересов. / The authors declare no conflicts of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bailliard F, Anderson RH. Tetralogy of Fallot. *Orphanet J Rare Dis*. 2009; 4, 2.
2. Nørgaard MA, Lauridsen P, Helvind M, Pettersson G. Twenty-to-thirty-seven-year follow-up after repair for Tetralogy of Fallot, *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 1999. Vol. 16. Iss. 2. P. 125–130.
3. Hammett O, Griksaitis MJ. Management of tetralogy of Fallot in the pediatric intensive care unit. *Front. Pediatr*. 2023;11:1104533.
4. Ho SY. *Congenital Heart Defects: Morphological and Functional Perspectives*. Springer. 2016.
5. Petrova M, et al. Doppler Ultrasound in Hemodynamic Assessment of Tetralogy of Fallot. *Pediatric Cardiology*. 2021.
6. Ryan T. *Clinical Echocardiography Review: A Self-Assessment Tool*. Wolters Kluwer. 2017.
7. Lang RM, et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2018;31(4): 451–467.
8. Fogel MA, et al. The Use of Doppler Echocardiography in the Assessment of Congenital Heart Disease. *Pediatric Cardiology*. 2015;36(3): 501–509.
9. Colan SD. Echocardiographic Assessment of Ventricular Septal Defects. *Circulation*. 2019;140(1): 88–98.
10. Saric M, et al. Three-dimensional Echocardiography in the Evaluation of Congenital Heart Disease. *Heart*. 2017;103(6): 474–481.
11. Levine RA, et al. Three-dimensional Echocardiographic Assessment of Right Ventricular Function. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2020;33(1): 1–15.
12. Friedberg MK, et al. Echocardiographic Imaging of the Right Ventricle: A Practical Guide for Cardiac Sonographers. *Journal of the American Society of Echocardiography*. 2015;28(3): 240–263.
13. Reddy SR, et al. Advanced Imaging Techniques in Congenital Heart Disease. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2018;20(1): 10.
14. Smirnova E, et al. CT Angiography in Detecting Associated Anomalies in Tetralogy of Fallot. *Radiology Reports*. 2020.
15. Kuznetsova A, et al. Postoperative Monitoring of Tetralogy of Fallot Patients Using Chest Radiography. *Thoracic Imaging*. 2019.
16. Narula J, et al. Artificial Intelligence in Cardiology. *Nature Reviews Cardiology*. 2020; 17(12): 667–685.
17. McMahon C, et al. Advancements in Cardiac CT for the Evaluation of Tetralogy of Fallot. *Journal of Cardiology Research*. 2020.
18. Johnson TR, et al. Role of Multislice CT in the Preoperative Assessment of Tetralogy of Fallot. *Radiology Today*. 2019.
19. Smith AB, et al. Cardiac CT Angiography in Congenital Heart Disease: Emphasis on Tetralogy of Fallot. *Pediatric Cardiology*. 2018.
20. Kang JW, et al. The Impact of Advanced Imaging Techniques in the Management of Tetralogy of Fallot. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography*. 2017.
21. Müller M, et al. Comparative Study of Cardiac MRI and CT in the Evaluation of Tetralogy of Fallot. *European Radiology*. 2016.
22. Mitchell E, et al. Role of MRI in Detailed Visualization of Cardiac Anatomy in Tetralogy of Fallot. *Cardiac Imaging*. 2021.
23. Ivanov A, et al. MRI Evaluation of Right Ventricular Function in Tetralogy of Fallot. *Journal of Cardiovascular Magnetic Resonance*. 2022.
24. Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, et al. Magnetic resonance imaging in adult congenital heart disease. *Circulation*. 2000; 103: 2407–2413.
25. Geva T, Sandweiss BM, Gauvreau K, et al. Magnetic resonance imaging of the right ventricle in repaired tetralogy of Fallot: diagnostic accuracy and reproducibility. *J Am Coll Cardiol*. 2013; 62(19): 1656–1664.
26. Jackson JL, Allison SJ, Lightfoot JC, et al. MRI findings in adults with repaired tetralogy of Fallot. *Clin Radiol*. 2009; 64(11): 1070–1077.

27. Buechel ER, Dave HH, Kellenberger CJ, et al. Remodeling of the right ventricle after early pulmonary valve replacement in children with repaired tetralogy of Fallot: assessment by cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J.* 2005; 26(24): 2721–2727.

28. Valente AM, Gauvreau K, Assenza GE, et al. Clinical outcomes in patients with repaired tetralogy of Fallot: the impact of right ventricular size and function, and ventricular arrhythmias. *J Am Coll Cardiol.* 2014; 64(23): 2342–2350.

29. Pushparajah K, Tzifa A, Bell A, et al. Echocardiography and magnetic resonance imaging in tetralogy of Fallot: complement or competition? *Heart.* 2015; 101(21): 1680–1689.

Информация об авторах:

Береговский Даниил Андреевич, ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Филин Яна Альбертовна, ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Шапиева Айшат Шапиевна, ординатор кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Шатохина Мария Геннадьевна, к.м.н., заведующий отделением лучевой диагностики АО «Кардиоклиника»; ассистент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России;

Труфанов Геннадий Евгеньевич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России.

Authors information:

Beregovskii Daniil A., resident of the Department of Radiation Diagnostics and medical imaging with the clinic Almazov National Medical Research Centre;

Filin Yana A., resident of the Department of Radiation Diagnostics and medical imaging with the clinic Almazov National Medical Research Centre;

Shapieva Aishat Sh., resident of the Department of Radiation Diagnostics and medical imaging with the clinic Almazov National Medical Research Centre;

Shatokhina Mariya G., Ph.D. of Medical Sciences, head of the department of radiation diagnostics JSC Kardioklinika; assistant at the department of radiation diagnostics and medical imaging with clinic of the Almazov National Medical Research Centre;

Trufanov Gennady E., doctor of medical sciences, professor head of the department of radiation diagnostics and medical imaging with clinic of the Almazov National Medical Research Centre.