

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра внутренних болезней № 2 с курсом эндокринологии

Э. Н. ПЛАТОШКИН,
Н. В. ВАСИЛЕВИЧ

НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В КАРДИОЛОГИИ

Учебно-методическое пособие
для студентов 6 курса лечебного факультета
и факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран
медицинских вузов

Гомель
ГомГМУ
2015

УДК 616.12(072)

ББК 54.101я73

П 37

Рецензенты:

кандидат медицинских наук, доцент кафедры экологической
и молекулярной генетики Международного государственного
экологического университета им. академика А. Д. Сахарова

С. Э. Загорский;

кандидат медицинских наук, заведующий отделением для участников
ликвидации и потерпевших от аварии на ЧАЭС Республиканского научно-
практического центра радиационной медицины и экологии человека

А. В. Коротаев

Платошкин, Э. Н.

П 37 Неинвазивные методы визуализации в кардиологии: учеб.-метод.
пособие для студентов 6 курса лечебного факультета и факультета по
подготовке специалистов для зарубежных стран медицинских вузов /
Э. Н. Платошкин, Н. В. Василевич. — Гомель: ГомГМУ, 2015. — 28 с.
ISBN 978-985-506-763-5

Учебно-методическое пособие содержит теоретический материал, касающийся
применения в клинической кардиологической практике современных неинва-
зивных инструментальных диагностических методов исследования.

Предназначено для студентов 6 курса лечебного факультета и факультета по
подготовке специалистов для зарубежных стран медицинских вузов

Утверждено и рекомендовано к изданию научно-методическим советом уч-
реждения образования «Гомельский государственный медицинский университет»
24 июня 2015 г., протокол № 4.

УДК 616.12(072)

ББК 54.101я73

ISBN 978-985-506-763-5

© Учреждение образования
«Гомельский государственный
медицинский университет», 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
I. Применение ультразвуковых методов исследования	
в кардиологии	4
II. Рентгенография в клинической практике врача-кардиолога	14
III. Компьютерная томография в кардиологии	17
IV. Магнитно-резонансная томография и ее возможности	
в диагностике сердечной патологии.....	21
V. Радионуклидная диагностика в кардиологии.....	23

ВВЕДЕНИЕ

Среди множества современных инструментальных методов исследования, применяемых в кардиологии, все большую популярность приобретают высокотехнологические неинвазивные методы медицинской визуализации, обладающие большой информативностью, высоким уровнем доказательности и безопасности. Наиболее популярными и востребованными из них являются:

- эхокардиография;
- рентгенография;
- компьютерная томография;
- магнито-резонансная томография;
- ангиография;
- ядерная медицина.

I. ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ В КАРДИОЛОГИИ

Особой популярностью пользуется метод ультразвуковой диагностики заболеваний сердца, характеризующийся высокой информативностью, доступностью и безопасностью.

Ультразвуком (УЗ) называются высокочастотные звуковые волны с частотой свыше 20 000 Гц. Эти волны, не воспринимаемые человеческим ухом, «преобразуются» в лучи и используются для сканирования тканей тела. В медицине ультразвуковое исследование (УЗИ) применяется уже более 40 лет. В основе метода УЗИ лежит взаимодействие ультразвука с тканями человека, состоящее из двух компонентов:

- излучение ультразвуковых колебаний (волн);
- формирование изображения на основе отраженных тканями эхо-сигналов.

Метод позволяет увидеть реалистичную картину состояния внутренних органов человека в реальном режиме времени, а современные компьютерные технологии анализа отраженного ультразвукового сигнала позволяют воссоздавать на экране также трехмерное изображение органов. Фундаментальный принцип ультразвуковой визуализации — это отражение УЗ-луча от поверхностей тканей с различной плотностью.

- Эти отражения воспринимаются датчиком и формируют картинку на дисплее прибора.

- Области вещества со сходными акустическими характеристиками эхо-сигнала не формируют.

- Сильное отражение (высокая плотность ткани): гиперэхогенные структуры (белые) — кости, диафрагма, кальцинаты.

- Отражение слабее — эхогенные структуры (серые) — большинство плотных органов, мышцы.
- Слабое отражение — гипоэхогенные структуры (темные) — кровь, жидкость внутри мочевого и желчного пузырей.

Для проведения УЗ-исследования используется ультразвук с частотой от 2 до 10 МГц, который проходит через мягкие ткани тела человека и отражается от более плотных структур.

Генератор ультразвуковых волн — передатчик, который одновременно является и приемником отраженных эхосигналов. Ультразвуковой датчик, который непосредственно соприкасается с кожей (тканями), может быть механический (в настоящее время практически не используется) или электронный. В зависимости от формы площади соприкасаемой с кожей поверхности, датчики бывают: линейные, конвексные, секторные, а также специальные внутриволостные датчики: чрезпищеводный и др. (рисунок 1).

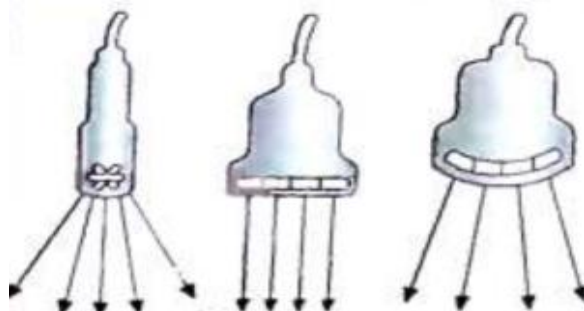


Рисунок 1 — Датчики для аппаратов УЗИ

Применяемые режимы УЗ-сканирования для исследования сердца (эхокардиографии — ЭхоКГ):

М-режим (рисунок 2). Дает информацию в виде одномерного изображения структур сердца. Буква М означает движение. М-режим используется для визуализации подвижных структур. Получаются строчки, яркость серого цвета которых колеблется. Акустическая ось остается постоянной, но при этом изменяется локализация подвижных структур.

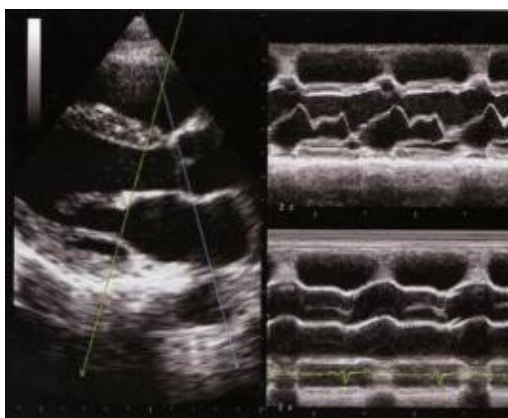


Рисунок 2 — Картинка УЗИ в М-режиме

В-режим (рисунок 3). Дает информацию в виде двухмерного изображения анатомических структур в масштабе реального времени, что позволяет оценивать их морфологическое состояние.

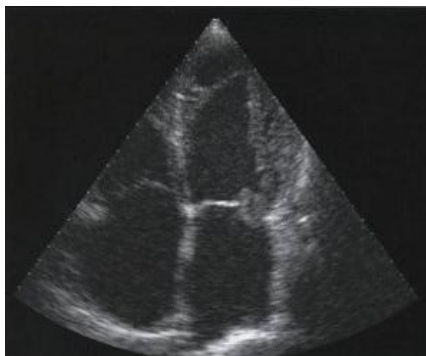


Рисунок 3 — Картинка УЗИ в В-режиме

Допплерография

Метод исследования, основанный на эффекте Допплера, позволяет определить скорость движения, границы раздела плотностей, а также разницу в плотностях, образующих границу. Согласно эффекту Допплера, УЗ-волны отражаются от движущихся объектов с измененной частотой. Этот сдвиг частоты пропорционален скорости движения лоцируемых структур — если движение направлено в сторону датчика, то частота увеличивается, если от датчика — уменьшается (рисунок 4).

Потоковая спектральная доплерография (ПСД)

Предназначена для оценки кровотока в крупных сосудах и камерах сердца.

Виды:

— непрерывная (постоянноволновая) ПСД основана на постоянном излучении и постоянном приеме отраженных эхо-сигналов;

— импульсная ПСД основана на периодическом излучении серии импульсов УЗ-волн и последующим их приемом. Метод позволяет оценить кровоток в любой заданной точке.

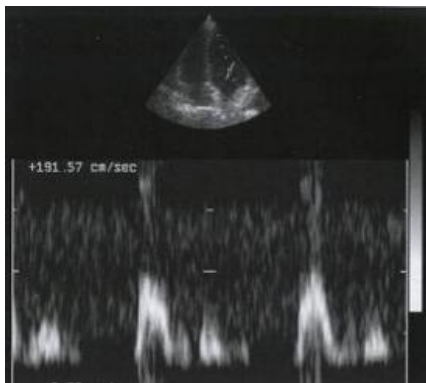


Рисунок 4 — Картинка УЗИ в доплеровском режиме

Цветное доплеровское картирование (ЦДК) основано на кодировании в цвете значения доплеровского сдвига излучаемой частоты, что позволяет проводить визуализацию потоков крови в сердце и сосудах: красный цвет соответствует потоку, идущему в сторону датчика, синий — от датчика (рисунок 5).

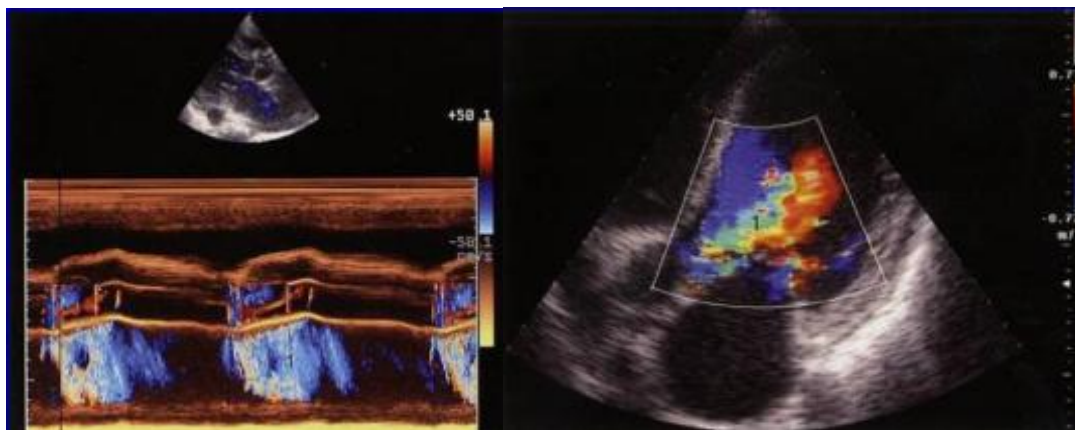


Рисунок 5 — Картинка УЗИ с ЦДК

Энергетическая доплерография (ЭД) основана на анализе всех эхосигналов доплеровского спектра, отражающих плотность эритроцитов в заданном объеме. Оттенки цвета (от оранжевого к желтому) свидетельствуют об интенсивности эхосигнала. Отображение получают все сосуды, находящиеся в данном участке органа. Позволяет оценить васкуляризацию органов и патологических участков (рисунок 6).

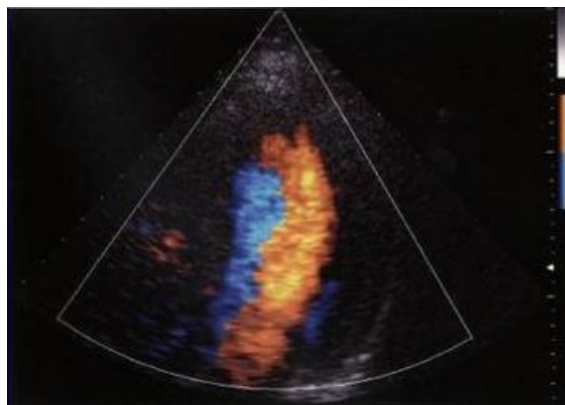


Рисунок 6 — Картинка УЗИ с ЭД

Комбинированные варианты: ЦДК + ЭД-конвергентная цветовая доплерография; В-режим УЗИ + ПСД (или ЭД) — дуплексное исследование.

Трехмерное доплеровское картирование и трехмерная ЭД — позволяют наблюдать объемную картину пространственного расположения кровеносных сосудов в режиме реального времени и в любом ракурсе.

Доступы (места постановки датчика), используемые при выполнении ЭхоКГ (рисунки 7, 8):

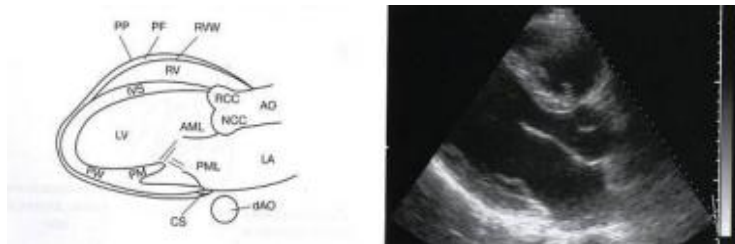


Рисунок 7 — Парастеральный доступ — длинная ось левого желудочка

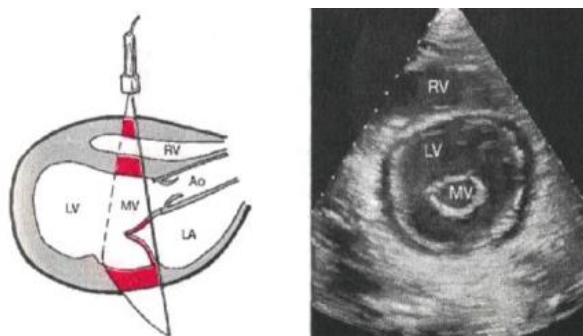


Рисунок 8 — Парастеральный доступ — короткая ось левого желудочка на уровне митрального клапана

1. Парастеральный доступ (основные визуализируемые позиции: длинная ось левого желудочка; короткая ось левого желудочка (на уровне аортального, митрального клапанов, папиллярных мышц)).
2. Апикальный (верхушечный) доступ (рисунки 9, 10, 11). Основные визуализируемые позиции: четырехкамерная позиция сердца, двухкамерная позиция сердца, пятикамерная позиция сердца).

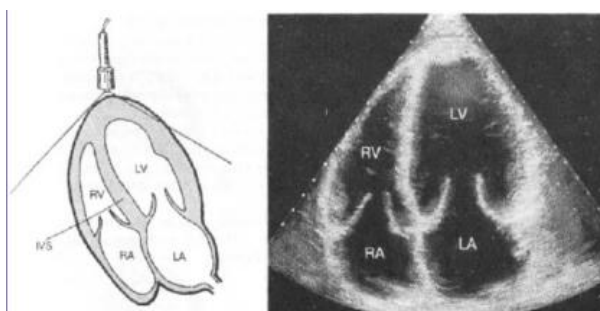


Рисунок 9 — Апикальный доступ — четырехкамерная позиция

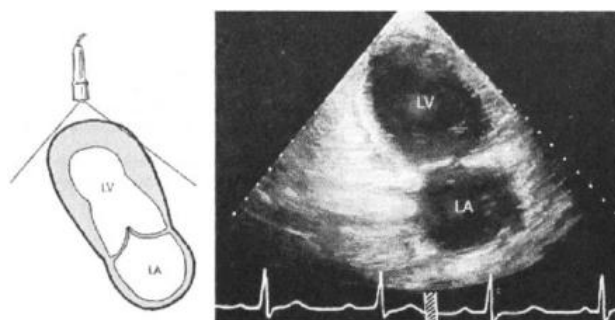


Рисунок 10 — Апикальный доступ — двухкамерная позиция



Рисунок 11 — Апокальный доступ — пятикамерная позиция

1. Субкостальный доступ (под мечевидным отростком). Основные визуализируемые позиции: длинная ось сердца (чаще всего используется для диагностики патологии межпредсердной перегородки).

2. Супрастернальный доступ (применяется для визуализации дуги аорты и ее ветвей), рисунок 12.

5. Трансэзофагеальный (чреспищеводный), рисунок 13.



Рисунок 12 — Супрастернальный доступ

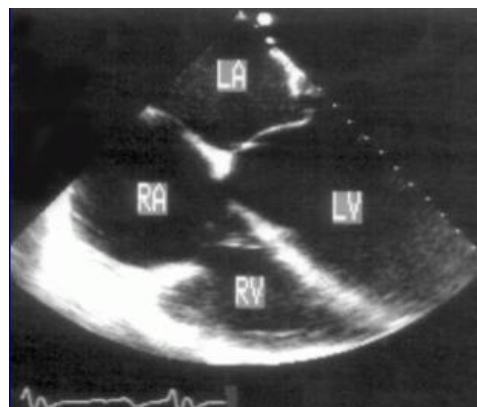


Рисунок 13 — Чреспищеводный доступ. ЭхоКГ-исследование в поперечной плоскости — четырехкамерная позиция сердца

При УЗ-диагностике заболеваний сердца используется:

— Стандартная ЭхоКГ с применением выше указанных трансторакальных доступов.

— Стандартная ЭхоКГ с применением доплерографического исследования.

— Чреспищеводная ЭхоКГ.

— Стресс-ЭхоКГ.

— ЭхоКГ с контрастированием.

Стандартна ЭхоКГ. Метод позволяет определить:

- размеры камер сердца (в систолу и диастолу);
- толщину миокарда желудочков и МЖП;
- размер восходящей аорты;

- состояние клапанного аппарата сердца;
- нарушение локальной сократимости миокарда.
- рассчитать ФВ и показатели центральной гемодинамики.

ЭхоКГ + доплерография. Метод позволяет:

- оценить состояние трансмитрального, транстрикуспидального, трансаортального, транспульмонального кровотоков;
- выявить и определить степень клапанной недостаточности и стеноза;
- определить наличие «сброса крови» через МПП и МЖП;
- диагностировать наличие и тип диастолической сердечной недостаточности.

Клинические возможности метода ЭхоКГ

Метод с высокой степенью достоверности позволяет диагностировать:

- Врожденные и приобретенные пороки клапанного аппарата сердца.
- Врожденные дефекты перегородок камер сердца (ДМПП, ДМЖП).
- Другие ВПС (тетрада Фалло, аномалия Эбштейна, ОАП и др.).
- Дисфункцию клапанных протезов.
- Экссудативные и констриктивные перикардиты.
- Сердечную недостаточность.
- Опухоли и тромбы в камерах сердца.
- Аневризмы стенок желудочков сердца.
- Расслоение аневризмы восходящей аорты.

Примеры визуализации различных врожденных пороков сердца (рисунки 14, 15).

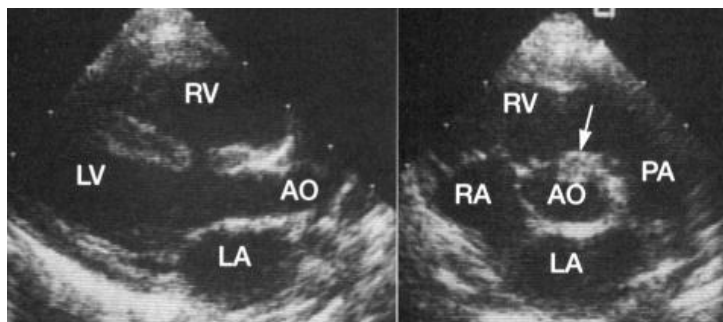


Рисунок 14 — Парастеральный доступ, длинная и короткая оси левого желудочка. Мышечный дефект в средней части межжелудочковой перегородки



Рисунок 15 — Супрастеральный доступ. Коарктация дуги аорты

Чреспищеводная эхокардиография (ЧПЭхоКГ)

В ряде случаев проведению трансторакальной ЭхоКГ мешают акустические препятствия на пути ультразвукового луча (ребра, легкие, мышцы, протезированные клапаны), что ограничивает разрешающую способность метода. Использование чреспищеводного доступа позволяет преодолеть все эти трудности: пищевод прилежит сзади к левому предсердию, а спереди — к нисходящей аорте. Поэтому чреспищеводная ЭхоКГ получает все большее клиническое применение для распознавания патологии протезированных клапанов, опухолей и тромбов в предсердиях, инфекционного эндокардита, болезней аорты, врожденных пороков сердца, а также для интраоперационного контроля за функцией левого желудочка. Необходимо помнить, что чреспищеводное исследование не так легко выполнимо технически, поэтому ему всегда должно предшествовать тщательное трансторакальное исследование. Современное оборудование дает возможность исследовать сердце в двумерном и во всех доплеровских режимах. Оборудование, необходимое для чреспищеводной ЭхоКГ, включает эхокардиограф (с программным обеспечением для чреспищеводного исследования) и датчик-эндоскоп (без световой оптики), генерирующий ультразвук с частотой 5,0–7,5 МГц.

Показания к чреспищеводной эхокардиографии:

— Исследование функциональной способности протезированных клапанов сердца. Чреспищеводное исследование позволяет видеть сердце со стороны левого предсердия и потому широко применяется для изучения протезированных клапанов, особенно в митральной позиции. Для выявления митральной регургитации, дифференциальной диагностики околоклапанной и клапанной регургитации, распознавания инфекционного эндокардита протезированных клапанов и его осложнений чувствительность чреспищеводной ЭхоКГ приближается к 100 %.

— Подозрение на тромбоз предсердий. Малое расстояние между датчиком и левым предсердием, позволяющее использовать датчик частотой 7,5 МГц, обеспечивает разрешающую способность, достаточную для распознавания тромбов любых размеров и любой локализации.

— Опухоли сердца. Трансторакальное исследование позволяет диагностировать гемодинамические изменения, вызванные опухолями сердца, но иногда оно недостаточно информативно для определения структуры опухоли и места ее прикрепления, что значительно легче визуализируется при ЧПЭхоКГ.

— Инфекционный эндокардит. Основная цель ЭхоКГ при подозрении на инфекционный эндокардит — обнаружить вегетации, а когда диагноз инфекционного эндокардита уже ясен — выявить внутрисердечные абсцессы, парапротезные фистулы, перфорации створок, определить риск эмболий и других осложнений. При трансторакальной ЭхоКГ почти невозможно увидеть вегетации размером менее 3–5 мм. В целом, трансторакаль-

ное исследование выявляет вегетации лишь в 50–70 % случаев обнаружения их на аутопсии или во время операции. Для чреспищеводной ЭхоКГ этот показатель превышает 90 %.

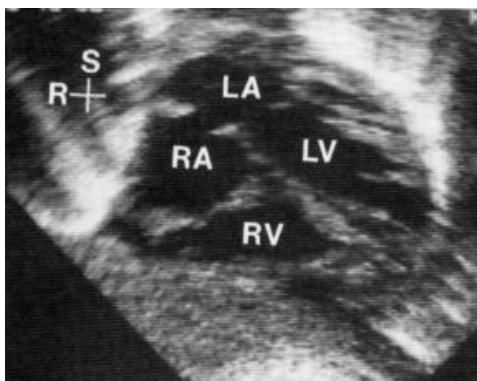
Митральная недостаточность. Интраоперационное определение эффективности хирургического лечения митральной недостаточности стало одной из главных областей применения чреспищеводной ЭхоКГ. По мнению многих авторов, каждая операция на клапанах сердца должна сопровождаться ЭхоКГ сразу после прекращения искусственного кровообращения.

Расслаивание аневризмы аорты

Метод чреспищеводной ЭхоКГ дает значительно большую информацию о локализации и степени расслоения, чем трансторакальное исследование.

Врожденные пороки сердца

Чреспищеводная ЭхоКГ стала важным дополнением к трансторакальному исследованию при врожденных пороках сердца. Она может проводиться не только у взрослых, но и у детей. Двумерное чреспищеводное исследование позволяет хорошо видеть дефекты межпредсердной и межжелудочковой перегородки, а контрастирование правых отделов сердца и цветное доплеровское исследование — определить гемодинамическую значимость внутрисердечного сброса крови (рисунок 16).



**Рисунок 16 — Чреспищеводная эхокардиография.
Дефект межжелудочковой перегородки**

Интраоперационная чреспищеводная эхокардиография широко применяется для исследования локальной сократимости левого желудочка и функции клапанного аппарата сердца во время кардиохирургических и внесердечных операций.

Противопоказания для ЧП ЭхоКГ:

- заболевания пищевода (опухоли, стриктуры, дивертикулы, эзофагиты, варикозное расширение вен пищевода и другие его заболевания);
- тяжелое состояние больных вследствие далеко зашедших болезней легких и сердечно-сосудистых заболеваний;

— неотложные состояния в результате обострения ИБС или других заболеваний;

— приступы бронхиальной астмы, выраженная клиническая картина обструктивного синдрома при хроническом бронхите.

Стресс-эхокардиография (стресс-ЭхоКГ) — это ультразвуковая методика регистрации нарушений локальной сократимости миокарда, провоцируемых физическими (ВЭМП, ТРЕДМИЛ-тест, ЧПЭКС), или фармакологическими (пробы с добутамином, дипиридамолом) стресс-агентами. Метод основан на регистрации серии двухмерных эхокардиографических изображений и получении информации в разных проекциях о возникающих в динамике изменениях локальной сократимости миокарда.

Показания к проведению стресс-эхокардиографии:

- Стресс-эхокардиографическая диагностика и дифференциальная диагностика ИБС, в том числе:

1. Диагностика «немой», или безболевой, ишемии миокарда.

2. Диагностика ишемии миокарда, не выявляемой электрокардиографическими стресс-тестами.

3. Диагностика ишемии миокарда на фоне значительно измененной ЭКГ (гипертрофии, блокады, феномены предвозбуждения желудочков, неспецифические изменения конечной части желудочкового комплекса, сомнительные результаты электрокардиографических стресс-тестов).

- Оценка:

1. Эффективности медикаментозного, реваскуляризирующего (шунтирование, ангиопластика, стентирование коронарных артерий) лечения ИБС.

2. Жизнеспособности «спящего» миокарда при хронических формах ИБС.

3. Жизнеспособности миокарда при синдроме оглушенного острой ишемией миокарда без развития некротических изменений.

4. Жизнеспособности миокарда после перенесенного инфаркта миокарда.

5. Жизнеспособности миокарда перед операциями реваскуляризации сердца.

6. Жизнеспособности миокарда при решении вопроса о необходимости и целесообразности трансплантации сердца.

7. Прогноза течения ИБС и риска развития ее осложнений.

- Проведение стресс-эхокардиографии для решения экспертных вопросов.

Противопоказания к проведению стресс-эхокардиографии:

- Тяжелая степень недостаточности кровообращения.

- Аневризма аорты и других сосудов.

- АД 220/120 мм рт. ст. и более.

- Выраженный аортальный стеноз.

- Выраженные нарушения ритма сердца.

- Острый тромбофлебит.

- ТЭЛА и тяжелая дыхательная недостаточность.

- Острые инфекционные заболевания.

- Заболевания различных органов и систем в стадии декомпенсации.

- Заболевания суставов ног с ограничением их функции (при использовании велоэргометра или беговой дорожки).

II. РЕНТГЕНОГРАФИЯ СЕРДЦА

Сердечно-сосудистую систему с помощью радиологической аппаратуры исследуют более 100 лет, со времен открытия Вильгельмом Конрадом Рентгеном X-лучей (впоследствии названных рентгеновскими). Рентгенологически изменения морфологии сердца и его крупных сосудов выявляют при нарушениях гемодинамики, заболеваниях миокарда, врожденных и приобретенных пороках.

Традиционная рентгенография (рентгеноскопия) грудной клетки являются доступными и информативными методами исследования формы и размеров сердца и его крупных сосудов. На рентгенограммах органы средостения образуют сливную срединную тень, конфигурация и интенсивность которой зависит от формы, размеров, а также кровенаполнения органов и сосудов, фазы дыхания, положения тела в пространстве, возраста и конституции пациента (рисунок 17).

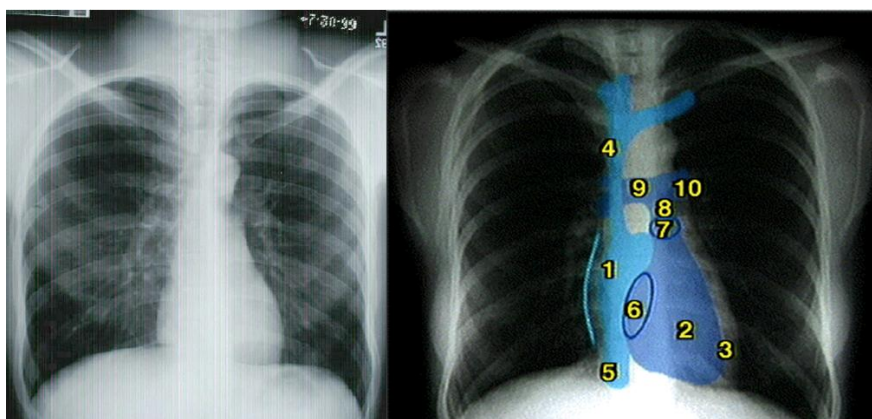


Рисунок 17 — Нормальная рентгеноанатомия сердца:

- 1 — правое предсердие; 2 — правый желудочек; 3 — верхушка левого желудочка;
4 — верхняя полая вена; 5 — нижняя полая вена; 6 — трикуспидальный клапан;
7 — клапан легочной артерии; 8 — легочный ствол; 9 — правая легочная артерия;
10 — левая легочная артерия

В прямой проекции тень средостения расположена асимметрично: около 2/3 сердечного силуэта находится слева, а 1/3 — справа от срединной линии. По форме она приближается к неправильной трапеции: нижняя половина формируется сердцем, верхняя — магистральными сосудами. Сердечно-сосудистая тень имеет волнистые контуры, плавно переходящие друг в друга. Эти выпуклости называются дугами. По левому контуру различают, как правило, четыре дуги. Сверху вниз их последовательно образуют: аорта, легочный ствол, ушко левого предсердия и левый желудочек. По правому контуру выделяют две дуги: верхнюю, образованную либо верхней полой веной (в детском и юношеском возрасте), либо восходящей аортой (у взрослых) и нижнюю, образованную правым предсердием (рисунок 18).

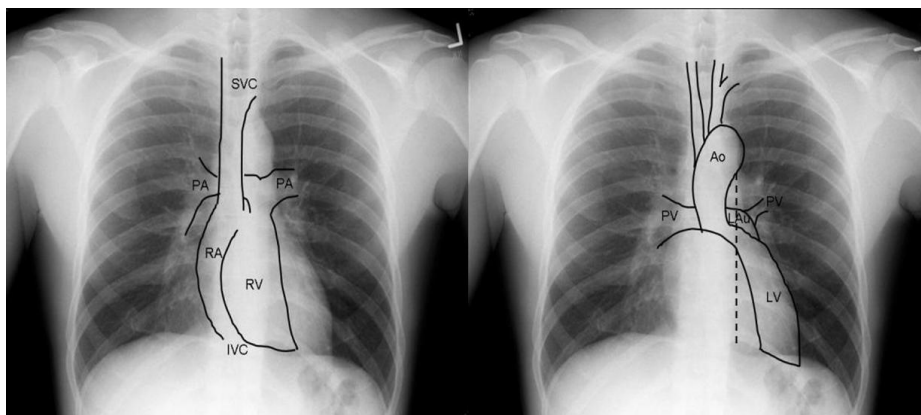


Рисунок 18 — Нормальная рентгеноанатомия правых и левых отделов сердца

Для объективной оценки размеров сердца и отклонений их от нормы используют «кардиоторакальный индекс» или «сердечно-легочный коэффициент» — соотношение поперечного размера сердца к поперечному размеру грудной клетки, измеряемым на уровне правого сердечно-диафрагмального угла. В норме этот показатель составляет 1:1,8–1:1,9 у подростков и 1:1,9–1:2,1 у взрослых.

Рентгенологическая семиотика болезней сердечно-сосудистой системы

Положение сердца в грудной клетке может быть врожденным, конституциональным, или обусловлено приобретенным заболеванием (рисунки 19–22).

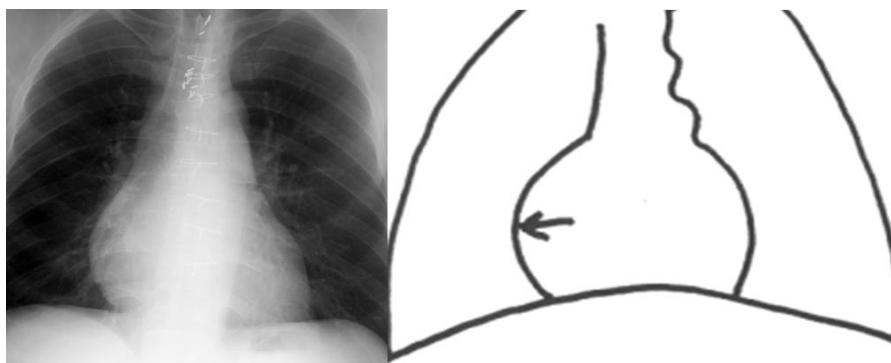


Рисунок 19 — Увеличение правого предсердия в прямой проекции

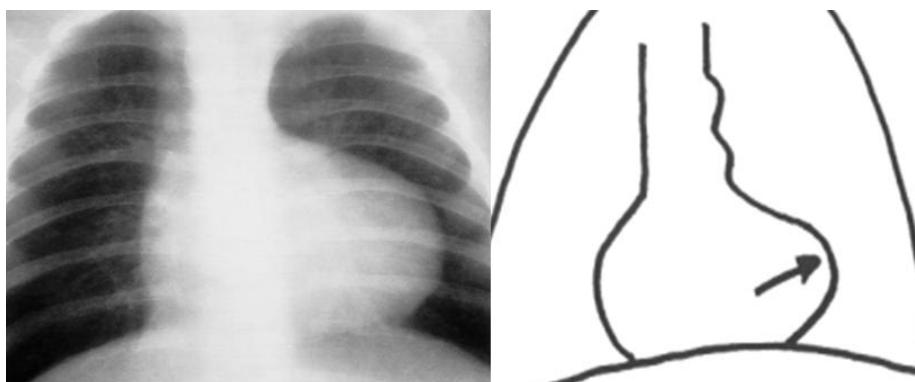


Рисунок 20 — Увеличение правого желудочка в прямой проекции



Рисунок 21 — Увеличение правого желудочка в боковой проекции



Рисунок 22 — Увеличение левого предсердия (А) и левого желудочка (В) в боковой проекции

Примеры рентгенограмм сердца при некоторых патологических состояниях (рисунки 23, 24).

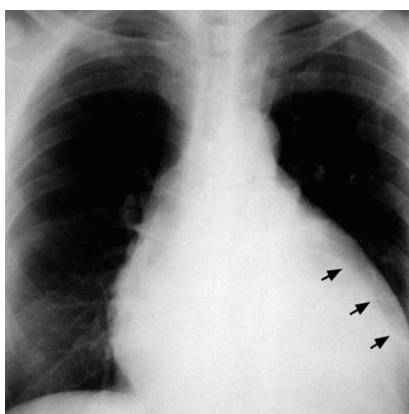


Рисунок 23 — Выпотной перикардит

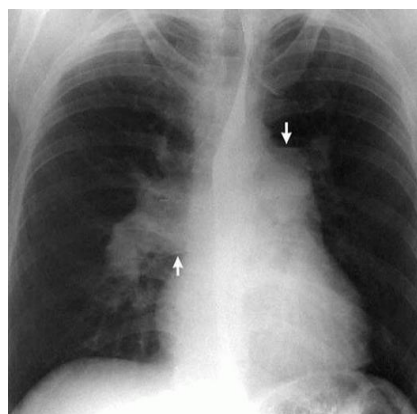


Рисунок 24 — Расширение легочного ствола

Врожденные пороки сердца (рисунки 25, 26):

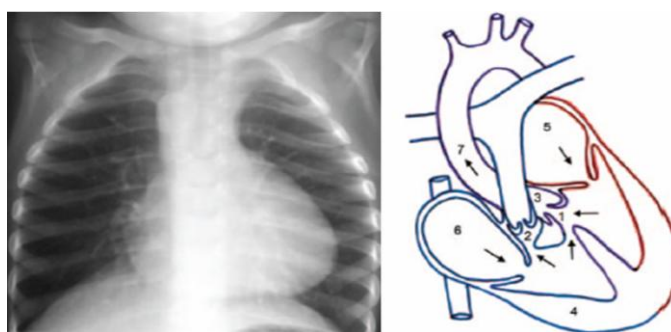


Рисунок 25 — Тетрада Фалло (рентгенограмма и схема)

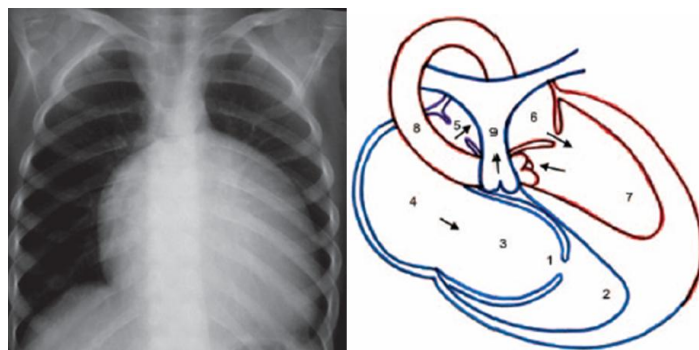


Рисунок 26 — Аномалия Эбштейна (рентгенограмма и схема)

Необходимо отметить, что с появлением современной ЭхоКГ, стандартная рентгенография сердца во многом утратила свои передовые позиции в диагностике кардиологических заболеваний.

III. КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В КАРДИОЛОГИИ

При КТ органов грудной полости многие патологические изменения могут обнаруживаться при стандартном спиральном сканировании, но запускаемый с ЭКГ и синхронизированный с ЭКГ сбор данных с многослойным сканированием позволяет получать изображение структур сердца и даже венечных сосудов, свободное от движения (рисунок 27).

Электронно-лучевая КТ (ЭЛКТ), которую называют также сверхбыстрой КТ, была создана специально для визуализации сердца в 1980-е гг. Однако она не получила широкого применения за исключением определения индекса коронарного кальция. Это метод, способный только «заморозить» движение сердца, для чего требуются дорогие и высокоспециализированные томографы. Многослойная КТ, несмотря на ее короткую историю, получила признание гораздо быстрее. Такие томографы имеют общее назначение и в том числе могут использоваться для исследования сердца, хотя в принципе и ЭЛКТ представляет собой хороший и перспективный метод изображения сердца, в который может быть интегрирована и многослойная технология.

Спиральная компьютерная томография

При этом исследовании одновременно выполняются два действия:

1. Непрерывное вращение трубки, генерирующей излучение.
2. Движение стола с пациентом.

Технология спирального сканирования позволила значительно сократить время, затрачиваемое на КТ-исследование и существенно уменьшить лучевую нагрузку на пациента.

Обычная спиральная КТ. В кардиологической практике чаще всего используется для определения индекса коронарного кальция, который указывает на наличие кальциноза коронарных артерий (рисунок 28).

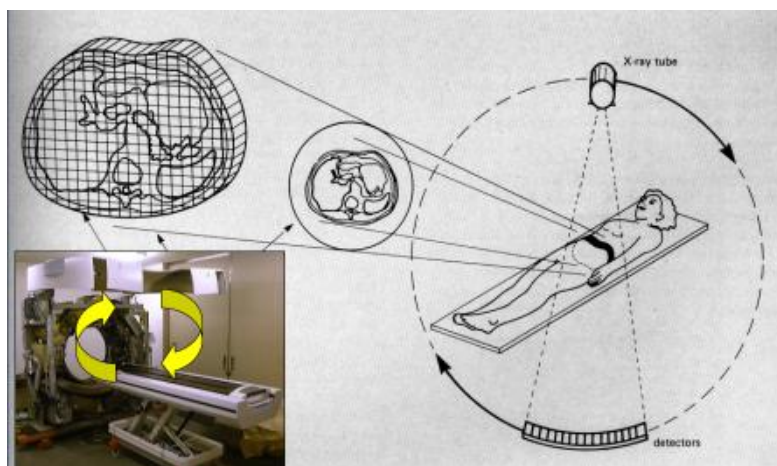


Рисунок 27 — Принцип работы компьютерного томографа

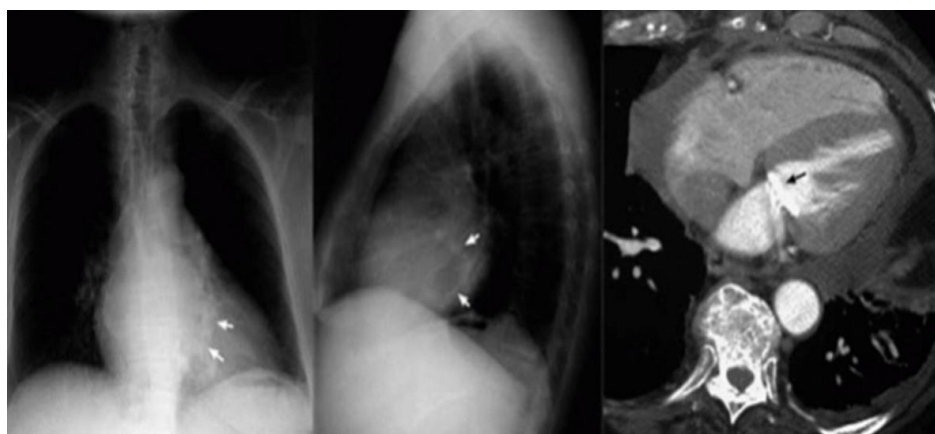


Рисунок 28 — Компьютерная томография: коронарный кальций

Мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ)

Принципиальное отличие МСКТ — по окружности гентри расположены не один, а два и более ряда детекторов. Форма пучка излучения не веерная, а объемная. Скорость исследования в десятки раз превышает скорость аппаратов 4-го поколения.

Преимущества МСКТ перед обычной спиральной КТ (рисунки 29, 30):

- улучшение временного разрешения;
- улучшение пространственного разрешения;
- увеличение скорости сканирования;
- улучшение контрастного разрешения;
- увеличение отношения сигнал/шум;
- эффективное использование рентгеновской трубки;
- большая зона анатомического покрытия;
- уменьшение лучевой нагрузки на пациента.

КТ-ангиография: метод достаточен для оценки состояния крупных сосудов и многих аномалий развития, однако не обеспечивает более детальный анализ камер сердца, коронарных сосудов. Последний требует синхро-

низации с ЭКГ, чтобы «заморозить» движения сердца. Синхронизация с ЭКГ может использоваться как при ЭЛКТ, так и при МСКТ, представляя собой оправданную с точки зрения лучевой нагрузки технологию, используемую для исследования камер сердца, коронарных артерий и, естественно, определения индекса коронарного кальция, позволяющего, хоть и косвенно, судить о степени распространения коронарного атеросклероза и риске развития коронарных осложнений.

КТ-коронарная ангиография:

минимально инвазивный метод прямой визуализации коронарных артерий с минимальными рисками осложнений.

Метод позволяет определить:

- состояние стенки коронарной артерии;
- структуру бляшки, вызывающей ее сужение;
- 64- или 256-срезовая КТ-коронарография — высокоточный метод выявления гемодинамически значимых стенозов коронарных артерий

Сердце постоянно находится в движении, поэтому для получения информативных изображений необходимо соотносить получаемые изображения с фазой сердечного цикла.

- Изображения получают в течение короткого интервала (100–300 мс) в конце диастолы, когда движения сердца минимальны.

- Для того чтобы избежать артефактов, обусловленных движением сердца при дыхании, необходимо получить изображение всего сердца в течение одной задержки дыхания.

- Для замедления сердечного ритма используются В-адреноблокаторы.

Показания к использованию КТ-коронарографии:

- Скрининговая диагностика: например, при распространенном атеросклерозе.

- Диагностика ИБС:

- при средней вероятности наличия ИБС;
- после неоднозначных данных стресс-тестов;
- при аномалиях строения коронарных артерий;
- после операций по поводу патологии клапанов сердца;
- при дифференциальной диагностике кардиомиопатии неишемического или ишемического генеза;

- при острых болях в грудной клетке (когда нельзя точно определить причину загрудинных болей и есть подозрение на другую патологию: расслоение аорты, ТЭЛА и т. д.);

- подтверждение состоятельности аортокоронарных шунтов и локализации возможных рестенозов шунтов;

- оценка рисков (при подтвержденной ИБС) после неоднозначных данных стресс-тестов.

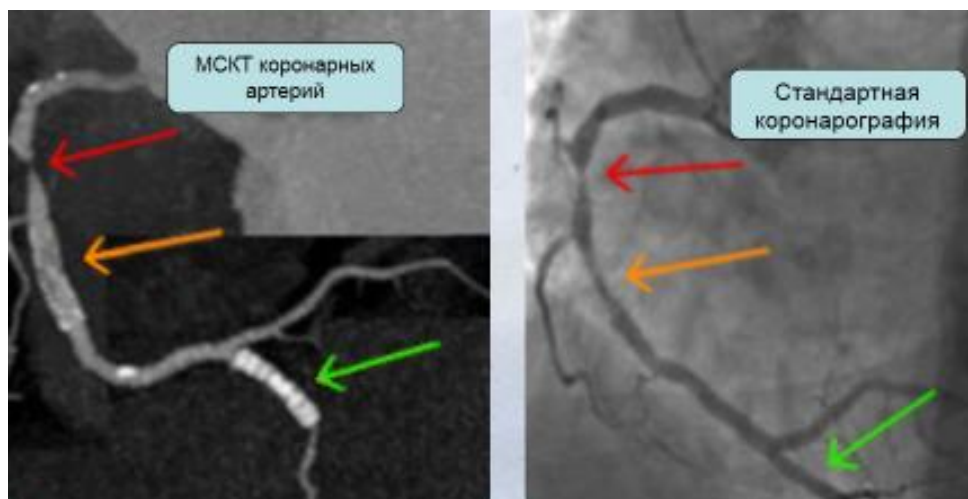


Рисунок 29 — Сравнение стандартной коронарографии и мультиспиральной компьютерной томографии коронарных артерий

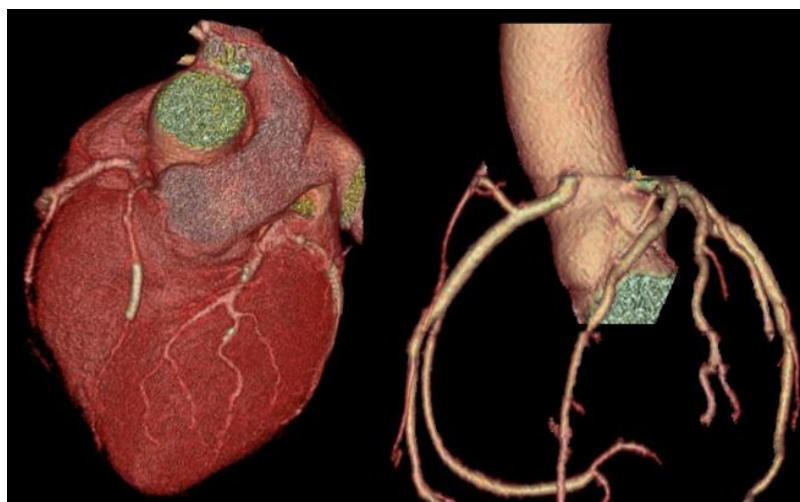


Рисунок 30 — Мультиспиральная компьютерная томография. 3D-реконструкция сердца, аорты и коронарных артерий

Противопоказания к использованию КТ-коронарографии:

Абсолютные:

- некоррегируемая лекарствами тахикардия, фибрилляции предсердий, частые пароксизмальные желудочковые экстрасистолы и другие аритмии;
- беременность.

Относительные:

- выраженный кальциноз;
- невозможность задержать дыхание более чем на 20 с;
- противопоказания к внутривенному введению контраста, В-блокаторов или нитропрепаратов;
- высокий индекс массы тела;
- молодой возраст пациентов, особенно женщин, из-за увеличения риска облучения.

IV. МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНАЯ ТОМОГРАФИЯ И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ В ДИАГНОСТИКЕ СЕРДЕЧНОЙ ПАТОЛОГИИ

Годом основания магнитно-резонансной томографии принято считать 1973 г., когда профессор химии Пол Лотербур опубликовал в журнале Nature статью «Создание изображения с помощью индуцированного локального взаимодействия; примеры на основе магнитного резонанса». Метод позволяет визуализировать с высоким качеством головной, спинной мозг и другие внутренние органы. Современные методики МРТ делают возможным не инвазивно исследовать функцию органов — измерять скорость кровотока, тока спинномозговой жидкости, определять уровень диффузии в тканях, видеть активацию коры головного мозга при функционировании органов, за которые отвечает данный участок коры (функциональная МРТ).

Принцип работы и устройство магнитно-резонансного томографа (ядерно-магнитного томографа) представлен на рисунке 31.

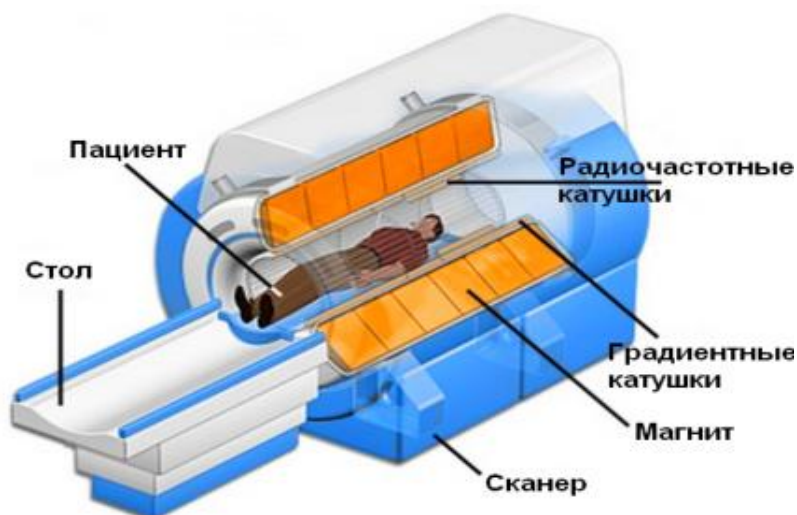


Рисунок 31 — Устройство ядерно-магнитного томографа

МРТ томограф состоит из следующих частей:

- основного магнита;
- магнитных градиентов;
- генератора (передатчика) радиоимпульсов;
- приемника радиоимпульсов;
- систем сбора и обработки данных;
- систем энергоснабжения и охлаждения.

Метод основан на магнитных свойствах атомов водорода, составляющих ткани организма. Под воздействием сильного магнитного поля ядра атомов водорода в теле человека выстраиваются параллельно направлению магнитного поля. В этот момент аппарат посылает электромагнитный сиг-

нал, перпендикулярный основному магнитному полю. Атомы водорода, имеющие такую же частоту, отвечают на это своим сигналом, который улавливается аппаратом. Разные виды тканей (кости, мышцы, сосуды и т. д.) имеют различное количество атомов водорода, и поэтому их сигналы имеют различные характеристики. Томограф распознает эти сигналы, расшифровывает и строит изображение.

Показания к проведению МРТ-исследования в кардиологической практике:

- Опухоли средостения при подозрении на прорастание в сосудистые структуры.
- Врожденные пороки сердца (неклапанные).
- Заболевания грудной аорты (аневризмы, сужение).
- Уточнение размеров и функции сердца при стенокардии, кардиомиопатиях и пороках (при неопределенных результатах эхокардиографии).
- Экссудативный перикардит (при неопределенных результатах эхокардиографии).

Противопоказания к проведению МРТ:

Абсолютные:

- установленный кардиостимулятор (изменения магнитного поля могут имитировать сердечный ритм);
- металлические, ферромагнитные или электронные имплантаты;

Относительные:

- инсулиновые насосы;
- нервные стимуляторы;
- неферромагнитные имплантаты внутреннего уха;
- протезы клапанов сердца (в высоких полях, при подозрении на дисфункцию);
- кровоостанавливающие клипсы (кроме сосудов мозга);
- декомпенсированная сердечная недостаточность;
- первый триместр беременности (на данный момент собрано недостаточное количество доказательств отсутствия тератогенного эффекта магнитного поля, однако метод предпочтительнее рентгенографии и компьютерной томографии);
- клаустрофобия (панические приступы во время нахождения в тоннеле аппарата могут не позволить провести исследование);
- необходимость в физиологическом мониторинге;
- неадекватность пациента
- тяжелое или крайне тяжелое состояние пациента по основному или сопутствующему заболеванию.

К основным достоинствам МРТ относятся:

- неинвазивность;
- безвредность (отсутствие лучевой нагрузки);

- трехмерный характер получения изображений;
- естественный контраст от движущейся крови;
- отсутствие артефактов от костных тканей;
- высокая дифференциация мягких тканей;
- возможность выполнения МР-спектроскопии для прижизненного изучения метаболизма тканей).

V. РАДИОНУКЛИДНАЯ ДИАГНОСТИКА В КАРДИОЛОГИИ

В последние годы высокими темпами стала развиваться клиническая диагностика заболеваний человека с использованием вводимых в его организм меченных радионуклидами веществ — радиофармпрепаратов (РФП). Эта область исследований получила название «ядерной медицины». Методы радионуклидной диагностики впервые были применены у кардиологических больных для регистрации центральной гемодинамики еще в середине 30-х гг. XX в. В кардиологической практике метод стал особенно востребован после синтеза целого ряда кардиотропных препаратов, особенно ^{201}Tl — хлорида таллия-201, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -пирофосфата и некоторых других, при помощи которых стало возможным оценивать состояние перфузии миокарда. Сегодня в практике ядерной медицины применяется более ста меченых препаратов и постоянно разрабатываются новые. В США, на сегодняшний день, ежегодно выполняется более 16 млн процедур ядерной медицины и более половины из них — перфузионная сцинтиграфия миокарда (ПСМ), при этом ПСМ используется уже на первых этапах диагностики и прогноза ИБС, наряду с ЭКГ и функциональными пробами. Популярность радионуклидных методов исследования в кардиологических службах США, Японии, европейских стран связана с их точностью и экономической эффективностью, несмотря на относительно высокую их стоимость.

Было замечено, что при проведении перед коронароангиографией стресс-эхо с добутамином — ложноотрицательные результаты наблюдались в 9 % случаев, при стресс-эхо с физической нагрузкой — в 18 %, тогда как предшествующая перфузионная сцинтиграфия приводила к снижению ошибок практически до 0 %.

Поэтому необходимо признать абсолютно обоснованной диагностическую стратегию при ИБС в виде последовательного выполнения электрокардиографии с нагрузкой, затем (при необходимости) стресс-ПСМ и, в зависимости от результатов, — коронарографии.

Среди кардиологических радиофармпрепаратов ^{201}Tl использовался чаще других, однако использование перфузионных агентов, меченных $^{99\text{m}}\text{Tc}$, становится все более популярным. С другой стороны, радиофармпрепараты, меченные ^{123}I — такие, как жирные кислоты (используются для визуализации коронарных артерий).

зации энергетического метаболизма в миокарде) и ^{123}I -метайодбензилгуанидин (^{123}I -MIBG — физиологический аналог норэпинефрина, используется для визуализации симпатических нервных окончаний). Жирные кислоты рутинно используют для диагностики ишемии миокарда, тогда как ^{123}I -MIBG чаще используют у больных с кардиомиопатиями.

Высокая специфичность радиофармпрепаратов к различным органам и заболеваниям в ближайшие годы может позволить визуализировать самые разнообразные патологические, метаболические, физиологические, патофизиологические и другие процессы в исследуемых органах и тканях организма. Важной отличительной особенностью ядерной медицины является определение функционально-морфологического состояния органов и систем организма в отличие от рентгеноконтрастных, ультразвуковых методов исследования, где оценивается преимущественно анатомическая структура органа и ткани. В результате непрерывного технического совершенствования регистрирующей аппаратуры и синтеза новых РФП формировались и новые, более совершенные методы исследования вплоть до позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ).

Основными, наиболее распространенными, показаниями к выполнению радионуклидных исследований при сердечно-сосудистых заболеваниях являются:

- 1) оценка систолической и диастолической функций сердца с помощью радионуклидной вентрикулографии;
- 2) оценка перфузии миокарда;
- 3) оценка жизнеспособности миокарда;
- 4) диагностика острого инфаркта с помощью радиоактивных нуклидов;
- 5) оценка регионарной перфузии легких путем их сканирования.
- 6) оценка метаболизма миокарда.

Основные методы радионуклидных исследований при сердечно-сосудистых заболеваниях:

• *Радионуклидная вентрикулография (РВГ)* основывается на применении введенного в периферическую вену радиоактивного индикатора с целью получения серии (30 и более) изображений камер сердца и крупных сосудов в течение сердечного цикла. Диагностическое исследование выполняется на гамма-камере в одной или двух проекциях с использованием короткоживущих нуклидов, обычно технеция ($^{99\text{Tc}}$), которым метят эритроциты. Полученные данные позволяют количественно рассчитать КДО, КСО, УОС, ФВ, скорость изгнания и наполнения обоих желудочков, а при наличии внутрисердечного шунта — его объем. Таким образом, диагностические возможности РВГ в целом не уступают рентгеноконтрастной вентрикулографии. Однако необходимо отметить, что в последнее время при исследовании внутрисердечной и центральной гемодинамики, определении систолической и диастолической функции сердца, предпочтение от-

дается ЭхоКГ, как наиболее безопасному и высоко информативному методу исследования.

• *Перфузионная сцинтиграфия миокарда.* Определение перфузии миокарда с помощью ^{201}Tl (хлорида таллия-201) основывается на способности кардиомиоцитов активно накапливать радионуклид. Количество накапливаемого изотопа напрямую зависит от регионарного кровотока. Сцинтиграфия миокарда с ^{201}Tl и $^{99\text{Tc}}$ дает возможность изучать микроциркуляцию (перфузию) миокарда. Оценка распределения перфузии по характеру распределения РФП может проводиться в покое, в сочетании с различными нагрузочными пробами, либо в покое и при нагрузке. Регистрация изображения может проводиться с применением плоскостной сцинтиграфии миокарда (СЦМ), однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОФЭКТ) или позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). ^{201}Tl быстро накапливается в миокарде и сцинтиграфическое исследование на гамма-камере выполняют уже через 5–10 мин после его внутривенного введения. В участках некроза, фиброза и ишемии поглощение ^{201}Tl уменьшается, и они имеют вид холодных очагов. Таким образом, сцинтиграфия миокарда с ^{201}Tl чаще всего используется для обнаружения ишемии миокарда, в том числе и при физической нагрузке, т. е., для подтверждения или исключения ИБС в случаях неинформативных изменений на ЭКГ при обычном нагрузочном тестировании. Индикатор вводят внутривенно на последней степени нагрузки, после чего через 5–10 мин производят исследование в 3 проекциях. В норме на сцинтиграмме определяется гомогенное распределение индикатора в миокарде левого желудочка. Правый желудочек, имеющий меньшую массу, виден только при выраженной гипертрофии и значительной физической нагрузке. При ишемии или инфаркте миокарда — остром либо «старом рубце» — виден один или несколько «холодных очагов», которые исчезают при ишемии миокарда вследствие перераспределения РФП при повторном исследовании спустя несколько часов, и сохраняются лишь в зонах некроза или склероза. Однако метод не позволяет в должной степени отличить острый инфаркт миокарда от рубцовых изменений.

Сцинтиграфия очага острого инфаркта миокарда с помощью $^{99\text{Tc}}$ -пирофосфата основывается на способности этого нуклида накапливаться в очаге некроза в результате связывания с Ca^{2+} и денатурированными органическими макромолекулами в кардиомиоцитах, находящихся в состоянии необратимого повреждения. При этом в зоне некроза повышается уровень радиоактивности, и он имеет вид «горячего очага». РФП (индикатор) вводят внутривенно. Сцинтиграфическое исследование на гамма-камере в трех проекциях проводят не ранее чем через 90 мин, когда кровь очищается от нуклида вследствие его поглощения в основном костной тканью. Очаг инфаркта определяется уже через 24 ч от начала заболевания и перестает визуализироваться в среднем через 8–10 сут. Сохранение индикатора

в более поздние сроки указывает на замедление репаративных процессов и возможное развитие аневризмы сердца. Метод может быть применен для верификации острого инфаркта миокарда при невозможности применения традиционных методов его диагностики или при их не информативности (поздние сроки с момента возникновения, когда уровень кардиоспецифических ферментов непоказателен, при наличии блокады левой ножки пучка Гиса или рубцовых изменений, вызывающих трудности в интерпретации ЭКГ). Сканирование легких, проведенное на гамма-камере после внутривенного введения альбумина, меченного $^{99,11}\text{Tc}$, позволяет оценить регионарную перфузию легких и помочь в диагностике тромбоэмболии мелких ветвей легочной артерии. Метод может быть востребован в кардиологической практике при определении причины острой или прогрессирующей правожелудочковой сердечной недостаточности.

• *Позитронно-эмиссионная томография.* ПЭТ является одним из самых информативных методов в ядерной медицине. В основе ПЭТ лежит явление регистрации двух противоположно направленных гамма-лучей одинаковых энергий, возникающих в результате аннигиляции. Процесс аннигиляции происходит в тех случаях, когда позитрон, излученный ядром радионуклида (радиоизотопа), встречается с электроном в тканях. РФП, используемые при проведении позитронно-эмиссионных исследований, представляют собой вещества, участвующие в различных метаболических процессах. Особенностью РФП, применяемых в позитронно-эмиссионной томографии, является то, что при их производстве используются короткоживущие радиоизотопы. Основная цель использования ПЭТ в кардиологической практике — получение информации о кровоснабжении миокарда на уровне микроциркуляции, а также скорости метаболических процессов в кардиомиоцитах, что не позволяют определять другие, в том числе и интервенционные, методы исследования. С этой целью используются различные меченные ультракороткоживущими изотопами РФП.

ПЭТ-трассеры для визуализации миокарда и кровотока в нем:

- Технеций-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi).
- Таллий-201 (^{201}Tl).
- Рубидий-82 (^{82}Rb).
- Азот-13 (^{13}N).
- Кислород-15 (^{15}O).
- Медь-62 (^{62}Cu).
- Калий-38 (^{38}K).
- Углерод-11 (^{11}C).

ПЭТ-трассеры для оценки метаболизма в миокарде, визуализации симпатических нервных окончаний.

Метаболизм:

- Жирные кислоты, меченные йодом-123 (^{123}I).
- Физиологический аналог глюкозы, меченный фтором (^{18}F -FDG).

Визуализация симпатических нервных окончаний:

- Физиологический аналог норэпинефрина, меченный йодом-123 (^{123}I -MIBG).

ПЭТ с применением выше указанных РФП позволяет получить полную информацию о состоянии миокарда, его миокардиальном регионарном кровотоке и метаболизме, рецепторике, локальной механической функции, наличии зон «гибернирующего» (спящего) миокарда (рисунок 32).

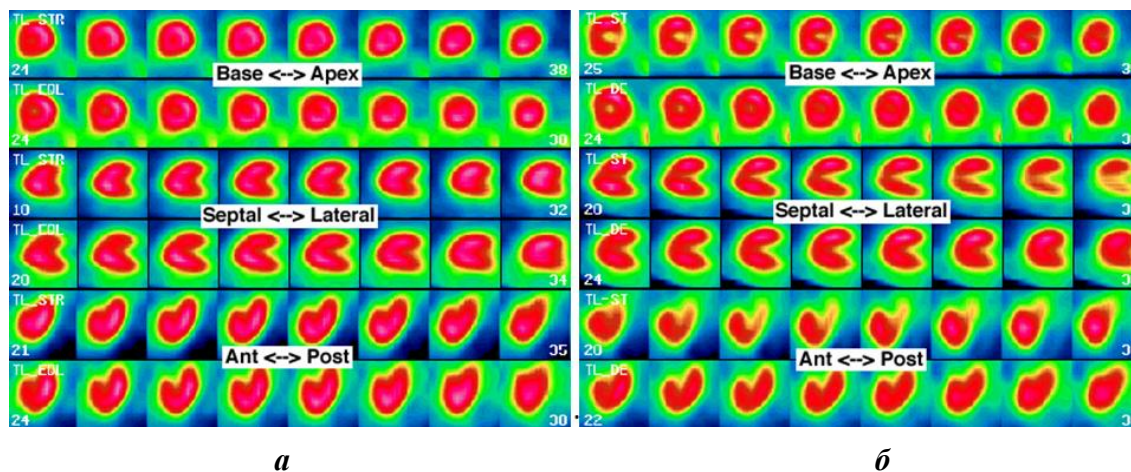


Рисунок 32 — Оценка перфузии, ишемии и метаболизма в миокарде:
а — нормальный ПЭТ-скан; б — ишемия боковой стенки ЛЖ на ПЭТ-сканах

Учебное издание

Платошкин Эрик Николаевич
Василевич Николай Владимирович

**НЕИНВАЗИВНЫЕ
МЕТОДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ
В КАРДИОЛОГИИ**

**Учебно-методическое пособие
для студентов 6 курса лечебного факультета
и факультета по подготовке специалистов для зарубежных стран
медицинских вузов**

Редактор ***Т. М. Кожмякина***
Компьютерная верстка ***А. М. Терехова***

Подписано в печать 07.10.2015.
Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная 80 г/м². Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,78. Тираж 135 экз. Заказ № 314.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/46 от 03.10.2013.
Ул. Ланге, 5, 246000, Гомель