

*Сачкова Н.Д.,
студентка*

*2 курс, факультет «Информационно-измерительных
и биотехнических систем»*

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

«ЛЭТИ» им. Ульянова (Ленина)

Россия, г. Санкт-Петербург

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ СОСУДОВ

***Аннотация:** Статья посвящена анализу большинства известных методов диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Эта тема представляет особый интерес потому, что по данным ВОЗ сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смертей во всём мире, именно поэтому в современной медицине так актуален вопрос своевременной диагностики заболеваний сердца и сосудов с максимально достоверной постановкой диагноза в результате обследования.*

***Ключевые слова:** эффект Допплера, МРТ, КТ, ультразвуковая доплерография, ангиография.*

***Annotation:** The article discusses most known diagnostic aids of cardiovascular diseases. This topic is of special interest because cardiovascular diseases are the main cause of death all over the world (according to WHO), that's why it is so important to detect different problems correctly.*

***Key words:** Doppler effect, MRI, CT, Doppler ultrasound, angiography.*

1. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА

1.1 Ультразвуковая доплерография (УЗДГ)

УЗДГ – исследование сосудов шеи, головы, мозга или других органов, которое выполняет только одну функцию: определение проходимости сосуда. Это делается на основании графика, получаемого при изучении сосудов (нет прямой визуализации). Кроме того, датчик при данном виде диагностики ставится «вслепую», в ориентировочные точки их проекции. В основе данной диагностической методики лежит эффект Доплера, суть которого заключается в изменении частоты излучения в результате изменения скорости источника или приёмника. Метод позволяет оценить скорость и направление движения эритроцитов, а также особенности работы кровеносных сосудов с выявлением рисков их разрыва или формирования тромбов.

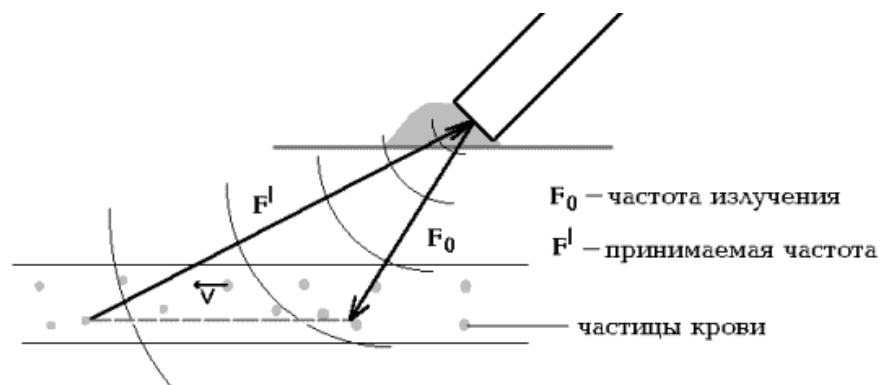


Рис.1. Схема эффекта Доплера

Принцип Доплера описывает компонент вектора скорости вдоль линии наблюдения. Этот компонент скорости (или наблюдаемая скорость) равна:

$$V_0 = V \cos \alpha$$

где V - абсолютная скорость кровотока,

α - угол между вектором скорости кровотока и направлением ультразвукового пучка.

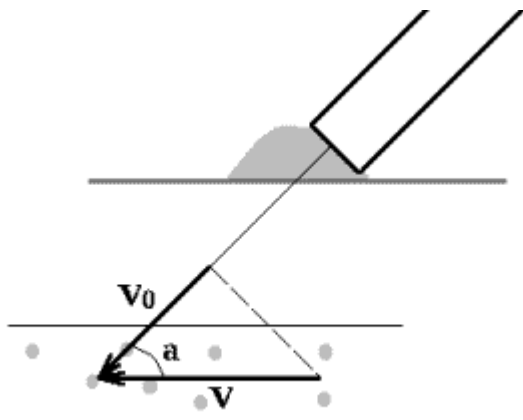


Рис.2. Влияние угла α на значение доплеровской скорости.

В общем виде эффект Доплера описывается формулой:

$$F_d = 2F_0 \frac{V_0}{c}$$

где F_d - доплеровская частота,

F_0 - посылаемая частота,

c - скорость распространения ультразвуковых волн в крови.

С учетом зависимости наблюдаемой скорости от угла между датчиком и направлением движения крови, формула для определения наблюдаемой скорости приобретает окончательный вид:

$$F_d = 2F_0 \frac{V \cos \alpha}{c}$$

В последующие несколько лет ультразвуковые доплеровские приборы были значительно усовершенствованы. Применение детектора направления кровотока значительно расширило возможности диагностики. В 70-х годах был предложен метод "спектрального анализа" доплеровского сигнала, позволивший количественно оценить степень стеноза сонных артерий (Стеноз – патологическое состояние, приводящее к сужению сосудов или полному их закрытию). В эти же годы параллельно с развитием постоянно волновых доплеровских систем внедряются системы с импульсным излучением. Сочетание последних со спектральным анализом и эхоскопией (Эхоскопия –

метод лучевой диагностики на основе способности ультразвука распространяться в жидкости) привело к созданию дуплексных систем.

1.2 Цветное доплеровское картирование

Цветное Доплеровское Картирование (ЦДК) - это ультразвуковая технология визуализации кровотока, основанная на регистрации скоростей движения крови, кодировании этих скоростей разными цветами и наложении полученной картины на двухмерное черно-белое изображение исследуемого объекта.

Зона, в которой производится ЦДК (область интереса), выделяется рамкой и разбивается на множество (250-500) контрольных объемов, которые становятся точками изображения кровотока. В каждом контрольном объеме производится доплерографическое измерение кровотока. В зависимости от направления и средней скорости кровотока сканер кодирует соответствующую точку изображения определенным цветом.

Таким образом, направление и средняя скорость кровотока в каждом контрольном объеме области интереса имеет цветовое представление на экране, а их совокупность даёт цветное доплеровское изображение. Движение крови по направлению к датчику кодируется красным цветом; от датчика - синим. Цвета становятся более светлыми при увеличении скорости, например, в месте стеноза. Низкие скорости кодируются темными тонами красного и синего.

Цветное доплеровское картирование обладает серьёзным недостатком: разрешение ограничено по времени. Этот эффект возникает из-за малой скорости смены изображений, т.е. низкой частоты кадров в режиме ЦДК. На анализ каждого контрольного объема тратится примерно в 8 раз больше времени, чем на анализ участка двухмерного изображения того же объема. Кроме того, при формировании единого двухмерного черно-белого и цветного изображения эхографическая система теряет много ультразвуковых импульсов, что ограничивает число продуцируемых изображений (кадров) в секунду.

1.3 Дуплексное исследование

Доплер в режиме дуплексного сканирования дает следующую информацию:

- характеристики эластичности стенок сосудов головы и шеи,
- состояние внутренней оболочки сосудов,
- нарушение целостности стенки сосудов,
- наличие образований внутри просвета артерии или вены головы и шеи
- анатомия сосудов: аномальная извитость, отхождение более мелкого сосуда в аномальном месте, изменение хода артерии или вены, послеоперационные стыки сосудов,
- скорость и направление кровотока.

Данный метод позволяет с высокой точностью диагностировать атеросклероз (атеросклероз – хроническое заболевание артерий, сопровождающееся отложением холестерина в просвете сосудов. Последующее разрастание в них соединительной ткани (склероз) приводит к деформации и сужению просвета вплоть до обтурации (закупорки сосуда)). В ходе дуплексного исследования на мониторе видно сосуд, вокруг него – изображение тканей, как при обычном УЗИ. Получается, что этот метод, в отличие от УЗДГ, помогает в диагностике причины плохой проходимости сосуда. Он помогает визуализировать бляшки, тромбы, извитость сосудов, утолщение их стенок.

1.4 Триплексное сканирование

В этом случае на мониторе также видно сосуд на фоне изображения тканей, в толще которых он проходит. Только сам сосуд окрашивается в разные цвета в зависимости от скорости кровотока в нем. Это то же дуплексное сканирование, дополненное цветным доплеровским картированием, и расширившее его возможности за счет кодирования информации с помощью цвета. То есть триплексное исследование выполняет одновременно три функции:

- исследует анатомию сосудов,

- оценивает кровоток,
- оценивает проходимость сосудов в цветовом режиме.

В результате чего врач получает наиболее точные сведения о состоянии сосудов, кровотока, риске развития тех или иных заболеваний, может выбрать наиболее эффективный способ лечения и прогнозировать его результат. Чаще всего триплексное исследование назначается для исследования артерий конечностей, головы, шеи, органов брюшной полости. Кроме того, этот метод диагностики позволяет исследовать кровоток печени и селезенки, сосудов почек, эта технология информативна при циррозах и заболеваниях крови.

2. РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Некоторые нарушения сердечно-сосудистой системы можно выявить при помощи специальных лучевых диагностических методов: ангиографии и ангиокардиографии.

2.1. Ангиография

Ангиография изучает функциональное состояние сосудов, окольного кровотока и протяженность патологического процесса. С помощью ангиографии изучают состояние артерий (артериография), вен (венография, флебография), капилляров (капиллярография) и лимфатических сосудов (лимфография). В ходе проведения процедуры пациент укладывается на ангиографический стол, фиксируется и подключается к кардиомонитору, в сосуд устанавливается катетер для инъекций. Перед исследованием через катетер проводится премедикация (введение антигистаминных препаратов (профилактика аллергических реакций), транквилизаторов, анальгетиков). Исследование проводится путём пункции (прокола) сосуда с последующей катетеризацией (введением в сосуд специального катетера, через который затем будет вводиться контрастное вещество (препарат йода)). Чаще всего проводят катетеризацию бедренной артерии. Все действия внутри сосуда осуществляются под контролем рентгенотелевидения. После того, как рентгенконтрастное вещество попало в сосуды, оно распространяется с током крови: из крупной артерии в мелкие артериолы, потом в капилляры. Далее в мелкие вены и в крупные вены. За этот

промежуток времени делают серию рентгеновских снимков. По ним можно судить о просвете сосудов. То, насколько быстро распространяется вещество по кровяному руслу, свидетельствует о скорости кровотока. Рентгеновскую съемку проводят максимально быстро, чтобы уменьшить дозу облучения. По окончании исследования на область пункции на сутки накладывают давящую повязку. После проведения ангиографии необходимо пить большое количество жидкости, чтобы ускорить выведение йода и медикаментов из организма.

Данные ангиографии записываются на цифровой носитель. В дальнейшем пациент имеет возможность предоставлять результаты ангиографии для изучения другим специалистам.

Области применения ангиографии:

- Онкология – выявляет опухоли и их метастазы, которые имеют разветвленную капиллярную сеть.
- Флебология – определяет места сужения и закупорки вен, их врожденные патологии, тромбы, атеросклеротические поражения.
- Сосудистая хирургия – применяется во время подготовки к операциям на сосудах для уточнения их расположения и строения.
- Неврология – ангиография головного мозга позволяет выявить аневризмы, гематомы, опухоли головного мозга, а также места кровотечения при геморрагическом инсульте.
- Пульмонология – выявляет пороки развития легких и источник кровотечения.

В зависимости от целей исследования ангиография может быть:

- общей – исследуются все сосуды;
- избирательной – контрастируются отдельные сосуды.

Также в кардиологии и кардиохирургии применяется внутрисосудистое ультразвуковое исследование, позволяющее получить более точную, чем при ангиографии, информацию о структурных изменениях коронарных сосудов, и при этом имеет меньше противопоказаний. В процессе проведения диагностической процедуры в просвет артерии вводится катетер, на конце

которого закреплен УЗ-датчик. По мере его продвижения по сосуду на экране появляется изображение.

Показания к ВСУЗИ:

- количественная и качественная оценка стенозов (сужений) коронарных артерий
- оценка результатов хирургического вмешательства
- ранняя диагностика атеросклероза (отложение холестерина на внутренних стенках артерий) после трансплантации сердца
- оценка функциональной способности шунтов после операции коронарного шунтирования (операция по восстановлению кровотока в артериях сердца путём обхода места сужения коронарного сосуда с помощью сосудистого протеза (шунта))

Противопоказания для ВСУЗИ:

- отказ больного
- критически осложнённые стенозы или окклюзии (нарушение проходимости) коронарных артерий, малый диаметр сосуда, извилистые сосуды
- неконтролируемый спазм коронарных артерий

2.2. Ангиокардиография

Метод рентгенологического исследования сердечных камер и грудных вен и артерий, позволяющий получать теневое изображение полостей сердца и магистральных сосудов (Магистральные кровеносные сосуды сердца – это главные кровеносные сосуды, доставляющие кровь к сердцу и отводящие кровь от сердца) путем введения в них контрастного вещества. Ангиокардиография является дополнением к обычному рентгенологическому исследованию и применяется главным образом для уточнения характера врожденных пороков сердца. Чтобы избежать разрежения, рентгеноконтрастный материал обычно вводится с помощью катетера, этот процесс называется селективной ангиокардиографией. Ход процедуры аналогичен ангиографии: катетер вводится в лучевую или бедренную артерию, после чего направляется в камеру сердца путем его перемещения через артерии. Затем вводят примерно 100 мл

рентгеноконтрастного вещества, исследуют с помощью рентгеновских лучей и делают серию изображений с частотой примерно 64 кадра в секунду. В качестве контрастного вещества при ангиокардиографии в российских клиниках применяют советский препарат кардиотраст, представляющий собой органическое соединение йода. 70% водный раствор кардиотраста вводят из расчета 1 мл раствора на 1 кг веса тела исследуемого. Этот процесс так же, как и ангиография требует диеты перед обследованием с использованием седативных и антигистаминных препаратов, которые принимают перед тестом.

Наибольшее распространение получила внутривенная ангиокардиография, при которой контрастное вещество вводится в кровяное русло через периферическую вену, что позволяет проследить весь путь кровотока от последней до аорты. В целях получения достаточно интенсивного изображения сердца и крупных сосудов контрастное вещество вводят как можно быстрее — за 1—2 сек. При врожденных пороках наблюдаются те или иные отклонения в последовательности заполнения контрастным раствором отдельных полостей сердца или крупных сосудов. Ангиокардиография, особенно при непосредственном введении раствора контрастного вещества в аорту (аортография), позволяет не только установить сужение аорты, но и определить его степень, локализацию и протяженность.

3. МРТ И КТ

3.1. Магнитно-резонансная томография

МРТ — способ получения томографических (томография – рентгеновский метод исследования органов человека с получением на рентгенограмме послойного изображения этих органов) медицинских изображений для исследования внутренних органов и тканей с использованием явления ядерного магнитного резонанса: ядро водорода состоит из одного протона, который имеет магнитный момент и меняет свою пространственную ориентацию в мощном магнитном поле, если поместить протон во внешнее магнитное поле, то его магнитный момент будет либо сонаправлен, либо противоположно направлен магнитному полю, причём во втором случае его энергия будет выше. При

воздействии на исследуемую область электромагнитным излучением определённой частоты часть протонов меняет свой магнитный момент на противоположный, затем возвращается в исходное положение. При этом системой сбора данных томографа регистрируется выделение энергии во время релаксации предварительно возбужденных протонов. Способность подобного смещения зависит от гидрофильности тканей (Гидрофильность — способность хорошо впитывать воду, а также высокая смачиваемость поверхностей водой), их химического состава и структуры. Она практически отсутствует в костной ткани и наибольшая в жидкостных структурах.

Современные технологии и внедрение компьютерной техники обусловили возникновение такого метода, как виртуальная эндоскопия, который позволяет выполнить трёхмерное моделирование структур, визуализированных посредством КТ или МРТ. Данный метод является информативным при невозможности провести эндоскопическое исследование, например, при тяжёлой патологии сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Результаты исследования сохраняются в лечебном учреждении в формате DICOM и могут быть переданы пациенту или использованы для исследования динамики лечения. Также в диагностике сосудистых заболеваний используется магнитно-резонансная ангиография (метод получения изображения кровеносных сосудов при помощи магнитно-резонансного томографа). Исследование проводится на томографах с напряжённостью магнитного поля не менее 0.3 Тл. Метод позволяет оценить как анатомические, так и функциональные особенности кровотока. Под воздействием сильного магнитного поля спины протонов ядер водорода изменяют своё положение и располагаются вдоль оси магнитного поля. Метод магнитно-резонансной ангиографии позволяет получить изображения сосудов без использования каких-либо рентгеноконтрастных средств, хотя для получения еще более четкого изображения применяются особые контрастные вещества на основе гадолиния (МРТ-ангиография с контрастированием).

3.2. Компьютерная томография

КТ — метод неразрушающего послойного исследования внутреннего строения предмета, основанный на измерении и сложной компьютерной обработке разности ослабления рентгеновского излучения различными по плотности тканями. В настоящее время рентгеновская компьютерная томография является основным томографическим методом исследования внутренних органов человека с использованием рентгеновского излучения. При обычном рентгене лучи проходят сквозь тело и фокусируются на пленке или пластине, давая двухмерное изображение, при выполнении КТ изображение получается объемным из-за устройства компьютерного томографа: источником рентгеновских лучей служит кольцеобразный контур с детекторами, внутри которого расположена специальная кушетка для пациента. Таким образом выполняется целая серия рентгеновских снимков органов, полученных с разных точек и под разным углом. С помощью компьютера все изображения обрабатываются, и в итоге моделируется трехмерное изображение органа. Важно, что врач имеет возможность посмотреть «срезы» органа: в зависимости от настроек аппарата, толщина среза может составлять до 1 мм. Это увеличивает точность диагностики.

Основное отличие КТ от ангиографии заключается в том, что результатом КТ является снимок, в то время как во время ангиографии мы можем наблюдать за распространением рентгеноконтрастного вещества в режиме реального времени. В диагностических целях используется и КТ-ангиография, которая позволяет получить послойную серию изображений кровеносных сосудов; на основе полученных данных посредством компьютерной постобработки с 3D-реконструкцией строится трёхмерная модель кровеносной системы.

Также в целях исследования сосудов используется спиральная компьютерная томография. По сравнению с обычной компьютерной томографией этот метод отличается большей информативностью. Его применение сделало доступными для сканирования участки тела, которые невозможно увидеть при традиционной КТ, в частности, коронарные сосуды.

Специфика метода заключается в постоянном вращении рентгеновской трубки и стола, на котором располагается пациент. Благодаря этому увеличивается зона сканирования и сокращается время исследования. Для получения максимально точного трехмерного изображения в просвет сосуда вводится контрастное вещество. В отличие от обычной ангиографии, эта процедура проходит быстро и просто (без применения катетера). При этом по точности спиральная КТ превосходит традиционные методы. Однако компьютерная томография также обладает некоторыми недостатками: любые движения во время сканирования области исследования искажают полученные изображения, снижая их информативность для врача. Если в серии полученных изображений даже всего 1-2 скана будут искажены из-за движений, то последующие 3D-реконструкции будут получены уже с дефектами, и их информативность для врача также будет снижена. Во-вторых, металл под действием рентгеновских лучей оставляет тень на снимке. Однако если металл находится в любом другом месте, кроме зоны, которая исследуется, – он никак не сможет повлиять на качество сканов, в отличие от реакции МРТ на любой металл в теле человека.

Противопоказания к КТ и МРТ.

КТ (10-15 минут):

- беременность (для кормящих матерей: 24-часовой перерыв между процедурой и кормлением)
- детский возраст (дети обследуются компьютерной томографией только в случае, если другие методы диагностики не выявили патологию)
- почечная недостаточность (после КТ с контрастированием на почки ложится нагрузка по выведению остатков йода из организма)
- миеломная болезнь
- сахарный диабет
- заболевания щитовидной железы (КТ с контрастирующим веществом на основе йода)
- масса тела более 200 кг (ограничения прочности кушетки)

- возбуждённое состояние, невозможность себя контролировать (возможно проведение КТ с седацией (любая неточность на 1-2 снимках искажает конечную 3D-модель, лишая врача возможности получения достоверного результата))

МРТ (30-40 минут):

- наличие в организме металлических конструкций:
 1. зубные протезы на металлических штифтах
 2. имплантаты, содержащие металлы
 3. зажимы сосудов
 4. краска для татуировок с содержанием металла
- наличие в организме различных приборов (МРТ выводит их из строя):
 5. кардиостимуляторы
 6. имплантаты среднего и внутреннего уха
 7. инсулиновые помпы
- масса тела больше 200 кг (ограничение прочности кушетки)
- первый триместр беременности (нежелательно)
- неврологические заболевания (возможно проведение МРТ с седацией)

МРТ является более безопасным методом диагностики. В ходе данного вида томографии необходимо находиться в неподвижном состоянии 30-40 минут, что бывает сложно для детей или взрослых, страдающих клаустрофобией (аппарат напоминает капсулу, внутри которой помещён пациент), но в таких случаях проводят МРТ с седацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа, проведенного в данной статье, можно сделать следующие выводы:

- МР-ангиография – самое распространенное исследование в ангиологии, потому что оно технически просто, в большинстве случаев безопасно и высоко информативно при многих болезнях сосудов шеи и головного мозга. Данный метод исследования позволяет визуализировать изменения в просвете сосуда, в атеросклеротической бляшке и в стенке артерии, и способное выявлять сопутствующую патологию окружающих тканей за одно исследование. Оно не имеет противопоказаний и назначается даже детям и беременным женщинам ввиду того, что не требует от пациента специальной подготовки и, в отличие от КТ, не оказывает лучевой нагрузки на организм.

- Ультразвуковая доплерография сосудов — неинвазивный метод исследования (на кожу не оказывается никакого воздействия иглами или любыми другими хирургическими инструментами). Процедура, как правило, почти не вызывает у пациента дискомфорта и не требует специальной подготовки. УЗДГ практически не имеет противопоказаний, однако она выполняет только одну функцию: определение проходимости сосуда. К тому же, выводы делаются на основании графика, получаемого при изучении сосудов, без возможности прямой визуализации.

- Ангиография (наравне с ангиокардиографией) является самым наглядным инструментальным исследованием: с ее помощью можно оценить скорость кровотока, обнаружить участки сужения сосудов, тромбы, атеросклеротические бляшки, аномалии развития, аневризмы. Но в то же время ангиография – это довольно травматичный метод исследования, который выполняется в условиях стационара под местной анестезией, перед процедурой пациенту назначают противоаллергические препараты и транквилизаторы. К ангиографии имеется достаточное количество противопоказаний. Это воспалительные заболевания сосудов, тромбофлебит, расстройства функции

щитовидной железы, аллергия на йод, нарушения свертываемости крови, почечная, печеночная и сердечная недостаточность, тяжелое общее состояние.

- Более точной информации чем при ангиографии позволяет добиться внутрисосудистое ультразвуковое исследование, в ходе которого в просвет артерии вводится катетер, на конце которого закреплён ультразвуковой датчик. По мере его продвижения по сосуду на экране появляется изображение. Проведение УЗ-датчика всегда проводят под рентгеновским контролем. ВСУЗИ позволяет провести количественную и качественную оценку стенозов коронарных артерий, оценить результаты хирургических операций на кровеносных сосудах, диагностировать на ранних стадиях атеросклероз у больных после трансплантации сердца, оценить функциональную способность шунтов после операции коронарного шунтирования. Прямых противопоказаний к ВСУЗИ нет, кроме отказа самого пациента. Однако не рекомендуется проводить данный вид исследования при критически осложнённых стенозах (сужении просвета), окклюзиях (нарушениях проходимости) коронарных артерий, малом диаметре сосуда, извилистых сосудах, неконтролируемом спазме коронарных артерий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Медицинские компьютерные системы. // Физический принцип и методика проведения ультразвуковой доплерографии. URL: <https://mks.ru/library/books/dpl/kniga01/gl4-1.html> (дата обращения: 29.11.2017).

2. Лаборатория ультразвуковой диагностики // Дуплексное сканирование сосудов головы и шеи как способ выявить патологию. URL: <http://uzilab.ru/golovnoy-i-sheyenyiy-otdel/dupleksnoe-skanirovanie-sosudov-golovy-i-shei.html> (дата обращения: 29.11.2017).

3. АГМУ, Кафедра патофизиологии и функциональной диагностики //Цветное доплеровское картирование. URL: <http://www.ctmed.ru/medicine/asmu/patophis/cdi/cdi4.html> (дата обращения: 29.11.2017).

4. Медицинская энциклопедия // Ангиокардиография. URL: <http://www.medical-enc.ru/m/1/angiokardiografiya.shtml> (дата обращения: 30.11.2017).

5. Википедия – свободная энциклопедия // Ангиография. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ангиография> (дата обращения: 01.12.2017).

6. Википедия – свободная энциклопедия // Ангиокардиография. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Ангиокардиография> (дата обращения: 01.12.2017).

7. Здоровьесберегающий сайт // Ангиография. Что такое ангиография, показания, какие болезни выявляет. Ангиография головного мозга, сосудов нижних конечностей, коронарных сосудов. URL: <https://www.polismed.com/articles-angiografija-chto-takoe-angiografija-pokazaniya.html> (дата обращения: 01.12.2017).

8. Википедия – свободная энциклопедия // МР-ангиография. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/МР-ангиография> (дата обращения: 01.12.2017).

9. Википедия – свободная энциклопедия // Магнитно-резонансная томография. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитно-резонансная_томография (дата обращения: 01.12.2017).

10. Википедия – свободная энциклопедия // Компьютерная томография. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Компьютерная_томография (дата обращения: 01.12.2017).

11. Многопрофильный Медицинский Лечебно-Диагностический Центр //10 часто задаваемых вопросов по СКТ. URL: <http://acmd-clinic.com/bezhalata/10-chasto-zadavaemyh-voprosov-po-skt.html> (дата обращения: 08.12.2017).

12. Википедия – свободная энциклопедия // КТ-ангиография. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/КТ-ангиография> (дата обращения: 08.12.2017).

13. Магнитно-резонансная томография | МРТ Центр Симед // МРТ сосудов — МР-ангиография. URL: <http://siemed.org/mrt-sosudov/> (дата обращения: 08.12.2017).

14. Кафедра медицинской физики // Достоинства и недостатки МРТ. URL: <http://siemed.org/mrt-sosudov/> (дата обращения: 08.12.2017).

15. Медицинский блог врача скорой помощи //МРТ и компьютерная томография: плюсы и минусы. URL: <http://www.happydoctor.ru/obzor-pressy/tomography> (дата обращения: 08.12.2017).

16. Компьютерная томография: показания к проведению, подготовка и заключение //Отличие КТ от МРТ: достоинства и недостатки методов. URL: http://kt-diagnostika.ru/chem-otlichaetsya-kt-ot-mrt.html#h2_4 (дата обращения: 08.12.2017).

17. Кардио-фактор|Ваше здоровое Сердце //Методы исследования болезней сердца и сосудов. URL: <http://cardio-factor.ru/metody-issledovaniya-serdca-i-sosudov/> (дата обращения: 08.12.2017).