

СТАНДАРТЫ ОКАЗАНИЯ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

УДК 616.127-005.4-073.916

ПЕРФУЗИОННАЯ ОЭКТ МИОКАРДА С КТ-КОРРЕКЦИЕЙ ПОГЛОЩЕНИЯ: ПРИНЦИПЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ (МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ)

А. А. Аншелес, С. П. Миронов, Д. Н. Шульгин, В. Б. Сергиенко

Российский кардиологический научно-производственный комплекс, НИИ клинической кардиологии им. А. Л. Мясникова, отдел радионуклидной диагностики, Москва, Россия

MYOCARDIAL PERFUSION SPECT WITH CT-BASED ATTENUATION CORRECTION: DATA ACQUISITION AND INTERPRETATION (GUIDELINES)

A. A. Ansheles, S. P. Mironov, D. N. Shul'gin, V. B. Sergienko

Russian Cardiology Research-and-Production Complex, Ministry of Health of the RF, Nuclear Medicine Department, Moscow, Russia

© Коллектив авторов, 2016 г.

Методические рекомендации по выполнению и интерпретации данных перфузионной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОЭКТ) миокарда с КТ-коррекцией поглощения излучения составлены на основании многолетнего (с 1978 г.) опыта авторского коллектива по исследованию перфузии миокарда при различных заболеваниях сердечно-сосудистой системы и приведены в соответствие с текущими рекомендациями EANM.

Ключевые слова: однофотонная эмиссионная компьютерная томография, КТ-коррекция поглощения излучения, перфузия миокарда.

Guidelines for the implementation and interpretation of myocardial perfusion single-photon emission computed tomography (SPECT) with CT-based attenuation correction (AC) are compiled on the basis of long-term (since 1978) experience of the group of authors regarding the research of myocardial perfusion in various cardiovascular diseases, and aligned with the current EANM guidelines.

Key words: single-photon emission computed tomography, CT-based attenuation correction, myocardial perfusion.

Введение. В последнее время технологии радионуклидной диагностики развиваются ускоренными темпами, благодаря совершенствованию аппаратной части гамма-томографов и появлению новых радиофармацевтических препаратов (РФП). При создании данных рекомендаций авторы ставили перед собой цель продемонстрировать современные достижения радионуклидной диагностики в кардиологии, объединив собственный многолетний опыт и материал зарубежных рекомендаций.

Описание метода перфузионной сцинтиграфии и ОЭКТ миокарда. Метод перфузионной сцинтиграфии и однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОЭКТ) миокарда на сегодняшний день является наиболее востребованным в ядерной кардиологии [1]. Метод предполагает внутривенное введение радиофармпрепарата и основан на оценке

его включения и распределения в миокарде, которое происходит пропорционально коронарному кровотоку. Таким образом, выявляются области относительного или абсолютного снижения кровотока вследствие ишемии различного генеза, очагово-рубцового, воспалительного или дегенеративного повреждения левого желудочка (ЛЖ). Оценка перфузии может проводиться в покое, однако наибольшая информативность метода достигается при сопоставлении исследований в покое и после нагрузочных проб (физических или фармакологических). Выполнение исследования с ЭКГ-синхронизацией (С-ОЭКТ) дает возможность получать информацию о сократимости миокарда, выявлять зоны гипокинезии, акинезии или дискинезии ЛЖ, получать количественные параметры систолической и диастолической функции [2–5].

Показания к исследованию. Диагностические возможности перфузионной сцинтиграфии миокарда включают:

- выявление и дифференциальную диагностику стабильной и преходящей ишемии миокарда, с точностью, превышающей возможности стресс-ЭКГ;
- локализацию, оценку распространенности и глубины рубцовых и фиброзных повреждений миокарда;
- оценку жизнеспособности миокарда (например, при гибернации);
- оценку сократительной функции миокарда (при ЭКГ-синхронизации).

Основные показания и клинические ситуации, требующие проведения перфузионной сцинтиграфии миокарда:

- ишемическая болезнь сердца;
- подозреваемая, у пациентов низкого риска: выявление стабильных или преходящих дефектов перфузии миокарда при подозрении на наличие значимых стенозов коронарных артерий, отбор пациентов на коронарографию;
- диагностированная, у пациентов высокого риска: оценка влияния выявленного атеросклеротического поражения и стенозов коронарных артерий на перфузию миокарда, оценка целесообразности и объема планируемого чрескожного коронарного вмешательства, определение симптом-связанной коронарной артерии;
- динамическое наблюдение и оценка эффекта медикаментозной терапии и вмешательств;
- прогноз и стратификация риска при хронической ИБС;
- при подозрении на перенесенный инфаркт миокарда: оценка реперфузии, прогноз перед дальнейшими вмешательствами у больных высокого риска [6].

Другие клинические ситуации:

- оценка состоятельности функции сердца перед сложными операциями (в том числе онкологическими);
- дифференциальная диагностика между ишемической и идиопатической кардиомиопатией;
- проведение дифференциальной диагностики между коронарной и некоронарной этиологией острого болевого синдрома в грудной клетке у больных в отделении неотложной терапии и реанимации (при невозможности выполнения компьютерной томографии);
- оценка состояния перфузии и сократительной функции миокарда при сердечной недостаточности;
- оценка сократимости ЛЖ при сомнительных результатах эхокардиографии [7, 8].

Подготовка пациента к исследованию. Перфузионная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда — трудоемкое исследование, требующее согласованной работы нескольких медицинских специалистов (радиологов, кардиологов, специалистов по функ-

циональной диагностике), среднего медицинского персонала, радиохимиков и инженеров. Поэтому назначение этого исследования должно быть обосновано, а само исследование должно выполняться по предварительной записи. Пациент должен быть информирован о дате и времени планируемого исследования, а также, в определенных случаях, о необходимости подготовки к исследованию. Необходимо заранее разъяснить пациенту процедуру исследования, чтобы на этом этапе выявить его целесообразность, оценить вероятность получения недостаточно информативных результатов и удостовериться в отсутствии противопоказаний, в том числе к выполнению нагрузочной пробы. Необходимо предоставить пациенту информацию о вводимом РФП: о его безопасности, низкой лучевой нагрузке, отсутствии возможных аллергических реакций и быстром выведении из организма. В случае отказа пациента от исследования он должен сообщить об этом не позже, чем за день до назначенной даты.

К моменту выполнения исследования радиолог должен получить от пациента или его лечащего врача следующую информацию:

- показания к исследованию (в виде концепции или направления);
- подтверждение об отсутствии противопоказаний к радионуклидному исследованию и нагрузочным пробам;
- оформление информированного согласия на этапы исследования осуществляется в соответствии с действующим законодательством;
- рекомендуется запросить у пациента имеющуюся у него медицинскую документацию: анамнез, выписки предыдущих госпитализаций, заключения выполненных ранее диагностических исследований (электрокардиографии, эхокардиографии, компьютерной и магнитно-резонансной томографии) и вмешательств (ангиопластика, аортокоронарное шунтирование) по поводу заболевания, указанного в направлении. В случае выполнения повторного радионуклидного исследования следует предоставить результаты предыдущего исследования. Это необходимо для выбора оптимального протокола сцинтиграфии и нагрузочной пробы.

В день исследования пациенту рекомендуется избегать плотного завтрака, а после внутривенного введения РФП принять пищу. В случае проведения нагрузочной пробы необходимо заранее отменить прием кофеин-содержащих продуктов и некоторых препаратов.

Радиофармпрепараты. В настоящее время перфузионную сцинтиграфию и ОЭКТ миокарда выполняют с тремя РФП: ^{201}Tl -хлоридом, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -метокси-изобутил-изонитрилом (Сестаамиби, МИБИ, в РФ выпускается под торговым названием Технетрил) и $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -тетрофосмином (Миовью). Выбор РФП для исследования определяет врач-радиолог, исходя из возможностей конкретной лабо-

ратории радионуклидной диагностики и целесообразности их использования у данного пациента.

Хлорид таллия-201. Таллий (Tl) — моновалентный катион, металл, по биохимическим свойствам близок калию. Таллий-201 получают на циклотроне путем облучения протонами свинцовых мишеней, после чего он распадается путем захвата электронов до ртути-201.

При внутривенном введении ^{201}Tl -хлорида 88% препарата выводится из кровотока после первого прохождения, 4% аккумулируется в миокарде. ^{201}Tl проникает через клеточную мембрану кардиомиоцитов (60% — активным транспортом с помощью Na^+/K^+ -АТФ-азы, 40% — пассивно по градиенту электрического потенциала), и таким образом является маркером ее целостности и работоспособности электрохимических цепей клетки. Уровень захвата ^{201}Tl не изменяется при ацидозе и гипоксии, он уменьшается лишь при наличии необратимого повреждения кардиомиоцитов. Захват ^{201}Tl происходит пропорционально регионарной дистальной гиперемии до 200–250% от исходного кровотока, после чего достигается максимум уровня захвата, и его дальнейшего увеличения не происходит. После аккумуляции ^{201}Tl -хлорид не задерживается в кардиомиоцитах, в течение нескольких часов после введения происходит его обмен и перераспределение в миокарде. Вымывание РФП из миокарда происходит в две фазы. Первая, быстрая фаза происходит в пределах 30 минут после введения, вторая, медленная — в течение нескольких часов-суток. Перераспределение РФП уже не зависит от регионарной перфузии, а его вымывание из поврежденных кардиомиоцитов происходит медленнее, чем из интактных, что и позволяет дифференцировать участки живого, жизнеспособного (ишемизированного, гибернированно-

в оценке перфузии миокарда, он клинически верифицирован и используется в клинике более 30 лет. Его основные достоинства по сравнению с препаратами технеция-99:

- физиологичный механизм включения таллия в кардиомиоциты, аналогичный накоплению ионов калия;

- меньше фоновая активность от печени, желудка и кишечника при записи изображений;

- благодаря процессам перераспределения, диагностическую информацию в покое и после нагрузки можно получить при однократном введении;

- несколько бо́льшая диагностическая ценность в оценке жизнеспособности миокарда;

- меньше лучевая нагрузка для персонала.

Однако он также имеет ряд важных недостатков:

- дорогостоящая циклотронная наработка ^{201}Tl ;

- длительные периоды полураспада и полувыведения ^{201}Tl приводят к относительно высокой лучевой нагрузке на пациента. Эффективная доза при введенной активности 80 МБк составит около 18 мЗв, что сопоставимо с лучевой нагрузкой от инвазивной коронароангиографии;

- из-за высокой лучевой нагрузки используются низкие вводимые активности, что в совокупности с низким захватом ^{201}Tl в миокарде приводит к низкой статистике счета;

- низкая энергия излучения ^{201}Tl приводит к высокому поглощению излучения тканями пациента.

Недостатки ^{201}Tl -хлорида привели к тому, что в последнее время основными РФП для перфузионной сцинтиграфии миокарда стали РФП на основе технеция-99m.

РФП с технецием-99m. Технеций-99m получают в генераторе, он является промежуточным эта-

Таблица 1

Дозиметрические характеристики ^{201}Tl

Характеристика	Показатель
Излучение (энергия)	88% — рентгеновское (67–82 кэВ) 12% — гамма-излучение (2% — 135, 10% — 167 кэВ)
Период полураспада	72,9 ч
Биологический период полувыведения	13 сут
Критические органы (поглощенная доза на вводимую активность, мГр/МБк)	Яичники (0,73), почки (0,48), яички (0,45), кости (0,34), кишечник (0,23), сердце (0,2)
Эффективная доза, мЗв/МБк	0,22

го) и нежизнеспособного миокарда. Основной протокол исследования с ^{201}Tl -хлоридом включает нагрузочную пробу с введением РФП, и последующую двукратную запись сцинтиграфических изображений: через 5 мин — для оценки перфузии и через 3–4 ч — для оценки перераспределения. В некоторых случаях для уточнения характера дефекта перфузии выполняют повторную инъекцию (реинъекцию) ^{201}Tl -хлорида. ^{201}Tl -хлорид считается «золотым стандартом»

пом распада молибдена-99 до относительно стабильного технеция-99. По сравнению с ^{201}Tl , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ обладает оптимальными дозиметрическими характеристиками, что позволяет вводить бо́льшие активности при меньшей лучевой нагрузке. При этом достигается высокая статистика счета, позволяющая получать более высокое качество изображения при перфузионной сцинтиграфии и достаточная для выполнения быстрых исследований по первому про-

Дозиметрические характеристики ^{99m}Tc

Характеристика	Показатель
Излучение	88% — гамма-излучение (140,5 кэВ)
Период полураспада	6 ч
Биологический период полувыведения	13 ч
Критический орган (поглощенная доза на вводимую активность, мГр/МБк)	Желчный пузырь (0,03)
Эффективная доза, мЗв/МБк	0,0085

хождению (first-pass), а также исследований, синхронизированных с ЭКГ (gated).

^{99m}Tc -МИБИ и ^{99m}Tc -тетрофосмин — катионные липофильные комплексы, проникающие пассивным транспортом (по электрохимическому градиенту) через клеточную мембрану, а затем через мембрану митохондрий, являясь, таким образом, маркером энергетической состоятельности кардиомиоцита. В миокарде накапливается 1–2% от введенной активности. В отличие от ^{201}Tl -хлорида, перераспределение ^{99m}Tc -МИБИ в миокарде незначительно (у ^{99m}Tc -тетрофосмина — практически отсутствует). По этой причине основной протокол исследования с этими РФП включает два этапа — в покое и после нагрузочной пробы, с двумя введениями препарата: либо в два разных дня (двухдневный протокол), либо в один день (однодневный протокол).

Нагрузочные пробы. Нагрузочные пробы в кардиологии применяются для выявления стресс-индуцированной преходящей ишемии миокарда. Основные виды нагрузочных проб для последующего выполнения нагрузочной сцинтиграфии включают физическую нагрузку, фармакологические тесты и (реже) чреспищеводную электрическую стимуляцию. Проведение нагрузочных проб сопряжено с определенным риском, поэтому это исследование требует информированного согласия пациента и должно выполняться квалифицированным врачом функциональной диагностики. Важным условием безопасности процедуры является доступность бригады неотложной кардиологии и контроль со стороны лечащего врача-кардиолога. В данном разделе будут приведены лишь базовые рекомендации по проведению функциональных проб, более подробная информация изложена в соответствующих клинико-диагностических рекомендациях.

Проба с физической нагрузкой. Физическая нагрузка является предпочтительной для всех больных, способных ее выполнить на достаточном уровне и не имеющих противопоказаний к ней. Наиболее физиологичным методом нагрузки является тредмил-тест, однако также возможно использование велоэргометрии. Относительными противопоказаниями к выполнению теста на велоэргометре считаются детренированность пациента и менструальные дни у женщин, в этих случаях желателно проводить тредмил-тест.

Противопоказания к проведению пробы с физической нагрузкой:

- нестабильная стенокардия с недавним приступом (менее 48 ч);
- застойная сердечная недостаточность;
- острый инфаркт миокарда (до 4 дней);
- неконтролируемая артериальная или легочная гипертензия;
- угрожающие жизни нарушения сердечного ритма;
- атриовентрикулярная блокада высокой степени;
- острые воспалительные заболевания, в том числе миокарда;
- тяжелый тромбофлебит;
- тяжелые клапанные стенозы;
- обструктивная кардиомиопатия;
- дефекты скелетно-мышечной системы;
- низкая мотивация пациента к выполнению пробы.

В случае наличия этих противопоказаний необходимо рассмотреть варианты фармакологических проб [9].

Подготовка пациента. Пациенты, направленные на стресс-тест с физической нагрузкой с целью выявления преходящей ишемии, по решению лечащего врача должны отменить прием препаратов, которые могут повлиять на изменение частоты сердечных сокращений (ЧСС) и артериального давления (АД) в ответ на нагрузку: β -блокаторы отменяют за 48–72 ч, пролонгированные нитраты и антагонисты кальция — за 24 ч до исследования. Если же стресс-тест проводится с целью оценки эффективности лечения указанными препаратами — их прием не отменяют. У пациентов с сахарным диабетом необходимо скорректировать дозу инсулина и контролировать уровень глюкозы перед нагрузочной пробой, чтобы не допустить гипогликемии.

Протоколы физической нагрузки. Для введения РФП во время нагрузки должен быть обеспечен надежный внутривенный доступ, в некоторых случаях желательна предварительная установка катетера. Во время нагрузочной пробы проводится мониторинг ЭКГ и АД. Прекращение нагрузочной пробы производится при достижении как минимум субмаксимальной (85%) возрастной ЧСС ($220 - \text{возраст}$, уд/мин) или определенных критериев положительной пробы, включающих известные ЭКГ-признаки ишемии,

появление приступа стенокардии, желудочковой тахикардии, выраженного подъема или снижения артериального давления и др. Важно достичь достоверных критериев остановки теста, так как сомнительные результаты нагрузочных проб, невозможность доведения до диагностических ишемических критериев (из-за усталости, повышения давления, аритмий) могут привести к недооценке тяжести преходящей ишемии по данным сцинтиграфии, снижая чувствительность метода. При достижении критериев прекращения нагрузочной пробы внутривенно вводят РФП, после чего больной продолжает выполнять нагрузку еще в течение 1–2 мин для достижения ишемического равновесного состояния.

Фармакологические пробы. В качестве фармакологических проб применяют вазодилататоры, вызывающие коронарную гиперемию (дипиридамол,

Добутамин, особенно в сочетании с атропином, почти не влияет на гемодинамику и имеет наилучшую субъективную переносимость. Он показан для выявления скрытой ишемии, однако может вызывать преходящие нарушения ритма и иногда требует введения антагониста (например, эсмолола). Добутамин противопоказан при остром инфаркте миокарда, нестабильной стенокардии, окклюзии ствола левой коронарной артерии, сердечной недостаточности, тахикардии, клапанных стенозах, гипертрофической кардиомиопатии и воспалительных заболеваниях миокарда.

Протоколы введения РФП и сроков исследования.

Введение РФП. Растворы РФП для инъекций готовят в соответствии с санитарными нормами и инструкциями к препаратам. Протоколы инъекций приведены в табл. 3.

Таблица 3

Протоколы инъекций и сроков исследования

РФП	²⁰¹ Tl-хлорид	^{99m} Tc-МИБИ	^{99m} Tc-Тетрофосфин
Форма выпуска	Стерильные герметичные флаконы с бесцветным раствором РФП	Стерильные герметичные флаконы с составным нерадиоактивным лиофилизатом (комплексообразователь и вспомогательные химические вещества) Элюат из генератора ^{99m} Tc	
Приготовление	Готов к применению	Элюат ^{99m} Tc смешивается с лиофилизатом и готовится на водяной бане непосредственно перед исследованием, согласно инструкции производителя	
Способ введения	Внутривенно болюсом с промывкой изотоническим раствором натрия хлорида. Рекомендуется предварительная установка катетера		
Вводимая активность	Нагрузка — перераспределение: 74 МБк Реинъекция: 37 МБк	Однодневный протокол: покой: 185–370 МБк, нагрузка: 555–740 МБк Двухдневный протокол: Покой: 370 МБк, нагрузка: 370 МБк	
Время между введением РФП и визуализацией	Нагрузка и реинъекция: 5–10 мин (завершить исследование до 30 мин). Перераспределение: 3–4 ч. Отсроченные: 24 ч	Покой: 60–90 мин, нагрузка: 45–60 мин	15–30 мин

аденозин), или адренергические препараты (добутамин, арбутамин). Выбор агента должен быть обоснован особенностями течения ИБС у конкретного больного, поскольку у каждого препарата имеется обширный набор своих показаний, побочных эффектов.

Так, дипиридамол наиболее эффективен у больных с артериальной гипертензией и наличием нескольких значимых стенозов, поскольку провоцирует синдром обкрадывания. По этой же причине он плохо пригоден для выявления начальной и скрытой ишемии. Кроме того, дипиридамол имеет множество побочных эффектов, часто требует применения антидота (эфиллин+нитроглицерин), который необходимо вводить после введения РФП.

Аденозин выгодно отличается кратковременным эффектом действия, однако его нельзя использовать при хронической обструктивной болезни легких, выраженной артериальной гипертензии, гипотензии, сердечной недостаточности III–IV функционального класса, а также при атриовентрикулярной блокаде.

Протоколы сроков исследования с ²⁰¹Tl-хлоридом. Основной протокол исследования с ²⁰¹Tl-хлоридом включает нагрузочную пробу с введением РФП, и последующую двукратную запись сцинтиграфических изображений: через 5 мин (нагрузочные изображения) и через 3–4 ч (визуализация перераспределения). В случае выявления крупных дефектов перфузии на сцинтиграммах после нагрузки и перераспределения, а также при других состояниях, сопровождающихся замедленным перераспределением, рекомендуется выполнить повторную инъекцию ²⁰¹Tl-хлорида (реинъекцию) через 60 мин после второй записи сцинтиграмм и снова выполнить запись сцинтиграмм. С целью дифференциации ишемии, рубцового повреждения и гибернированного миокарда регистрируют также отсроченные сцинтиграммы (через 24 ч).

Таким образом, в зависимости от клинических задач возможно выполнение различных протоколов сцинтиграфии миокарда с ²⁰¹Tl:

- 1) покой и 4-часовое перераспределение;
- 2) нагрузка и 4-часовое перераспределение;
- 3) нагрузка и позднее (8- или 24-часовое) перераспределение;
- 4) нагрузка, 4-часовое перераспределение и повторная инъекция ^{201}Tl ;
- 5) нагрузка, реинъекция ^{201}Tl , 4- или 24-часовое перераспределение.

Наиболее информативными и чаще всего используемыми из них являются второй и четвертый варианты.

Протоколы сроков исследования с РФП на основе $^{99\text{mTc}}$. Основной протокол исследования с $^{99\text{mTc}}$ -МИБИ и $^{99\text{mTc}}$ -тетрафосмином проводится в два этапа — в покое и после нагрузочной пробы. Эти этапы предпочтительней выполнять в разные дни (двухдневный протокол). Выполнение двух инъекций в один день возможно, но несколько нежелательно, поскольку в этом случае, во избежание суммации изображений, вторая инъекция должна полностью перекрывать первую. Это требует некоторого снижения активности первой инъекции и 2–3-кратного увеличения активности второй инъекции, что приводит к увеличению лучевой нагрузки. Так, при введении 370 МБк на первом этапе и 740 МБк на втором, эффективная доза составит 9,2 мЗв.

Последовательность и сроки этапов исследования могут варьировать. Так, у пациентов с низким риском заболеваний сердца рекомендуется сначала выполнять визуализацию после нагрузочной пробы, поскольку при ее нормальных результатах исследование в покое можно не проводить. С другой стороны, у пациентов без сопутствующей документации, а также у пациентов с отягощенным сердечно-сосудистым анамнезом, следует начинать с исследования в покое, и по его результатам принимать решение о целесообразности второго этапа.

Важно соблюдать рекомендуемые сроки исследования после введения (см. табл. 3). Визуализация с МИБИ в покое раньше 40 мин после инъекции может привести к экранированию нижней стенки ЛЖ печенью. В то же время при задержке исследования может визуализироваться повышенная активность под диафрагмой, что в сочетании с уменьшением статистики счета от самого миокарда также ухудшает качество скинтиграмм. По этой причине особенно нежелательна задержка нагрузочного исследования ввиду временного ускорения метаболизма у пациента, выполнившего нагрузочную пробу. В некоторых случаях после введения препарата целесообразно попросить пациента принять воду и/или жирную пищу, что способствует вымыванию РФП из печени и опорожнению желчного пузыря, а также опусканию диафрагмы.

Протоколы сбора данных. Оборудование для проведения перфузионной скинтиграфии и ОЭКТ миокарда должно отвечать требованиям безопасности и проходить плановые калибровки и сервисное

обслуживание в соответствии с инструкциями изготовителя. При укладке пациента необходимо убрать с проекции грудной клетки экранирующие предметы, особенно металлические, а также попросить его обеспечить себе удобное положение в связи с необходимостью оставаться неподвижным в течение всего времени исследования.

Планарный режим. Плоскостная скинтиграфия миокарда в настоящее время практически вытеснена томографическими исследованиями. Тем не менее, планарный режим до сих пор целесообразен при исследовании с ^{201}Tl -хлоридом в силу его низкой статистики счета, затрудняющей получение качественных результатов при ОЭКТ.

Плоскостную скинтиграфию миокарда проводят с учетом формы и анатомического положения сердца в грудной клетке в трех стандартных проекциях: передней, левой передней косой (для лучшей визуализации перегородки, обычно 45°) и левой боковой 90° , регистрируя в каждой из них не менее 500 тыс. импульсов.

Томографический режим. В томографическом режиме (ОЭКТ) детекторы эмиссионного томографа вращаются вокруг пациента согласно предварительно заданным параметрам. Эти параметры должны быть сохранены в стандартном протоколе исследования, однако они могут в известных пределах варьировать у разных пациентов, в зависимости от задач исследования, введенной активности, типа оборудования и многих других факторов. Выбор этих параметров является решением врача-радиолога, непосредственно проводящего исследование. В таблице приведены основные методики настройки гамма-томографа для перфузионной ОЭКТ миокарда, с указанием, какая из методик является стандартной, минимальной (возможной, но нежелательной), дополнительной (необязательной) и предпочтительной (необязательной, но желательной).

Реконструкция и обработка изображений.

Контроль качества изображений. Результатом перфузионной ОЭКТ миокарда с ЭКГ-синхронизацией, выполненной в покое и после нагрузочной пробы, является 4 набора данных, каждый из которых представляет собой последовательность (серию) проекций — суммационных изображений области грудной клетки. Эти изображения могут быть представлены в виде кино-петли, и их необходимо просмотреть незамедлительно после окончания исследования, обращая внимание на выполнение следующих условий:

- полнота данных (отсутствие пустых, неполных, нечитаемых проекций);
- визуализация всего миокарда ЛЖ во всех проекциях (отсутствие «обрезки»);
- достаточная статистика счета в каждой проекции;
- отсутствие артефактов, вызванных техническими причинами;

Таблица 4

Основные параметры томографа для проведения перфузионной ОЭКТ миокарда

Параметр	²⁰¹ Tl	^{99m} Tc	Методика
Кристалл	NaI (йодид натрия), CZT (теллурид цинка-кадмия)		Стандартная
Коллиматоры	LEGP	LEHR	Стандартная
Кол-во детекторов	1		Минимальная
	2		Стандартная
	3		Дополнительная
Угол вращения	180°, от 45° ППК до 45° ЛЗК (для 1- и 2-детекторных томографов)		Стандартная
	360° (для 3-детекторных камер)		Дополнительная
Тип вращения	Пошаговый		Стандартная
	Непрерывный		Дополнительная
Положение пациента	На спине, руки за головой (обе при обороте 360°, обе или левая при 180°)		Стандартная
	На животе, вертикальное, наклонное		Дополнительная
Орбита	Круговая		Минимальная
	Эллипсоидная		Стандартная
	С автоматическим оконтуриванием		Предпочтительная
Энергетический пик	72 кэВ и 167 кэВ	140 кэВ	Стандартная
Окно дискриминатора	20%	15–20%	Стандартная
Общее число проекций	32–64		Стандартная
Время записи 1 проекции	30 с		Стандартная
Статистика счета 1 проекции	>20 тыс.		Стандартная
	>70 тыс.		Стандартная
Матрица	64×64 пикс.		Стандартная
	128×128 пикс.		Дополнительная
Синхронизация с ЭКГ, окно вариабельности сердечного ритма	Нет		Стандартная
	Нет		Минимальная
Число кадров (при синхронизации)	Да		Предпочтительная
	8		Стандартная
Время записи 1 проекции	16		Дополнительная
	30 интервалов R-R (одновременно с записью перфузионных проекций)		Стандартная
КТ-коррекция поглощения	Нет		Стандартная
	Да		Предпочтительная
Параметры КТ для коррекции поглощения	Плоскопанельная или мульспиральная в низкодозовом режиме (5 мА, 120 кВ)		Стандартная
	Мультиспиральная		Дополнительная

— плавная анимация кино-петли по горизонтали (контроль соблюдения углов поворота детекторов) и по вертикали (отсутствие признаков движения пациента);

— отсутствие иных участков интенсивного накопления РФП в непосредственной близости от миокарда ЛЖ;

— в итоге, при реконструкции аксиальных срезов из исходных проекций, должен визуализироваться миокард ЛЖ, четко дифференцированный от своей полости и окружающих органов;

— для синхронизированных изображений: корректная кино-петля сократимости миокарда.

В случае обнаружения дефектов серии проекций, не связанных с техническими сбоями оборудования, возможно повторное выполнение исследования

после устранения причин этих дефектов. Так, при интенсивной визуализации печени и/или желудка, экранирующей нижнюю стенку ЛЖ, пациенту рекомендуется принять жирную пищу и 250–500 мл жидкости. При низкой статистике счета необходимо увеличить время записи одной проекции, при этом возможна фиксация пациента специальными ремнями во избежание его движения. При невозможности получения качественных изображений исследование необходимо перенести на другой день.

В случае записи КТ-данных для коррекции поглощения излучения следует убедиться также и в приемлемом качестве этих изображений.

Реконструкция изображений. Реконструкция томосцинтиграфических изображений миокарда — важный этап исследования, в полной мере влияющий

на их диагностическое качество, и особенно — на получаемые количественные параметры перфузии. Это связано с тем, что любой конечный набор исходных проекций является неполным для получения точных аксиальных срезов, а при ОЭКТ миокарда число этих проекций невелико (32–64, редко 128). По этой причине, а также вследствие низкого разрешения проекций (64×64) и их высокого уровня шума, при реконструкции применяются сложные, ресурсоемкие алгоритмы фильтрации и сглаживания, имеющие множество настроек. К основным алгоритмам реконструкции относятся метод обратных проекций с фильтрацией (FBP) и итеративные методы.

FBP — универсальный и быстрый алгоритм, используемый по умолчанию для реконструкций диагностических изображений (например, в КТ и МРТ), однако он не учитывает многих специфических свойств ОЭКТ-изображений. В большинстве случаев, при достаточно высокой статистике счета, он позволяет получить приемлемое качество реконструкций, однако оно в целом намного ниже, чем при использовании итеративных фильтров. При низкой статистике счета не удается избежать артефактов в виде полос.

Итеративные фильтры MLEM и OSEM обрабатывают изображения в несколько проходов, с каждым разом подчеркивая «истинное» накопление препарата и убирая фоновое накопление. При большом числе проходов изображение становится более четким, однако повышается риск появления шума и артефактов. В целом, визуальное качество таких реконструкций заметно лучше, чем при использовании FBP. Кроме того, итеративные алгоритмы позволяют внедрить математические модели для расчета компенсации поглощения, рассеяния излучения, распада изотопа и движения пациента. Таким образом, итеративные фильтры реконструкции являются предпочтительными. Особенно это касается новых, улучшенных итеративных алгоритмов, например, Astonish от Philips.

Для улучшения качества реконструкций используются низкочастотные фильтры (Hanning, Butterworth и др.), позволяющие уменьшить шум и сгладить изображение.

Не существует единых стандартов настроек алгоритмов реконструкции и фильтров, однако рекомендуется учитывать следующие общие тезисы:

— заводские настройки по умолчанию в большинстве случаев обеспечивают оптимальное качество изображения. Изменение этих настроек могут выполнять только лица с достаточными знаниями алгоритмов обработки изображений. Неправильные настройки могут привести как к ложноположительным, так и к ложноотрицательным результатам;

— подбор параметров обработки осуществляется эмпирически, однако он должен основываться на клинической верификации. В процессе поиска оптимальных настроек полезна обработка нескольких десятков пациентов разными способами, с последующим сравнением результатов;

— достигнув оптимальных настроек обработки, используйте их для всех последующих исследований. Одинаковая обработка множества исследований позволит снизить вариабельность получаемых количественных параметров при последующей статистической верификации метода.

Совмещение данных КТ и ОЭКТ. В случае записи КТ-данных после реконструкции серий проекций выполняется проверка правильного совмещения анатомических (КТ) и перфузионных (ОЭКТ) изображений миокарда. Если по каким-то причинам это совмещение не произошло автоматически, необходимо сопоставить эти наборы вручную. Неправильное совмещение данных с большой вероятностью приведет к неправильной корректировке поглощения излучения и появлению на томосцинтиграммах ложноположительных дефектов перфузии.

Реориентация изображений. Реориентация томограмм с генерацией срезов, ортогональных длинным (горизонтальной и вертикальной) и короткой осям ЛЖ (так называемых косых срезов), может происходить в автоматическом режиме. Если результат автоматической реориентации вызывает сомнения, необходимо установить оси вручную, таким образом, чтобы они проходили через центр проекции митрального клапана и верхушку ЛЖ, разделяя миокард ЛЖ на две равные части. При реориентации двух наборов изображений — в покое и после нагрузочной пробы, важно одинаково установить оси у обоих наборов.

Анализ данных. Процесс интерпретации результатов томосцинтиграфии, по большому счету, начинается уже на этапе реконструкции серий проекций. Визуальный анализ качества реконструированных изображений и процесс реориентации подготавливают врача-радиолога к основной части диагностического процесса — анализу полученных косых срезов.

Все современные пакеты для обработки томосцинтиграмм миокарда предлагают следующую последовательность работы с набором косых срезов:

- 1) выбор базы нормы для выбранного пола пациента, типа исследования (покой или нагрузка), и используемых алгоритмов реконструкции;
- 2) автоматическое обведение контуров ЛЖ, отдельно для каждого набора данных;
- 3) просмотр результатов в режиме серий срезов и полярных карт;
- 4) визуальное и количественное сопоставление перфузионных исследований в покое и после нагрузочной пробы, с коррекцией поглощения излучения (на основании данных КТ) и без нее;
- 5) анализ синхронизированных изображений;
- 6) сопоставление перфузионных и синхронизированных изображений;
- 7) сопоставление результатов скintiграфии с результатами нагрузочной пробы и клиническими данными.

Обведение контуров ЛЖ. Необходимо удостовериться в правильном автоматическом обведении

контуров ЛЖ на всех наборах косых срезов в покое и после нагрузки — перфузионных без коррекции поглощения, с коррекцией поглощения и синхронизированных. Как правило, ошибочное обведение контуров происходит в следующих случаях:

- низкое качество скинтиграмм (низкая статистика счета и соотношение сигнал-шум), и, как следствие, нечеткая граница между миокардом, полостью и внесердечным пространством;
- прилегание к миокарду других органов с высоким накоплением РФП (чаще печени и желудка);
- наличие грубых дефектов перфузии;
- нестандартная конфигурация миокарда: при очень малых или очень больших размерах ЛЖ, при гипертрофии ПЖ (например, вследствие легочной гипертензии).

При обнаружении указанных случаев необходимо обвести ЛЖ в ручном режиме, соблюдая следующие принципы:

- границы обведения должны точно соответствовать ЛЖ. Не допускается попадание в эти границы печени, желудка, а также выход за границы базальных отделов миокарда (обведение фиброзного кольца выходного тракта ЛЖ). В случае выполнения гибридного ОЭКТ/КТ-исследования, КТ-данные рекомендуются использовать для определения истинных границ ЛЖ;
- границы обведения должны быть как можно более одинаковыми для наборов данных в покое и после нагрузочной пробы;
- если установить правильные границы ЛЖ не представляется возможным, то режим полярных карт, а также количественная оценка перфузии и сократимости могут быть недостоверными. В этом случае диагностическими можно считать лишь изображения в режиме срезов. Если информации этих изображений недостаточно, необходимо перезаписать исследование, устранив причины плохого качества изображений;
- в случае невозможности обведения ЛЖ из-за экранирования нижней стенки прилежащими поддиафрагмальными органами, возможным, но не рекомендуемым решением может быть переобработка серий проекций с более тщательным отсечением изображения со стороны нижней стенки.

Анализ перфузионных изображений. Оценка перфузии по данным томосцинтиграфии является полуколичественной. Она основана на поиске пиксела с максимальной интенсивностью сигнала, которая принимается за 100%, после чего рассчитывается интенсивность остальных зон миокарда в % от этого максимума, а изображения картируются с помощью оттенков серого или различных градуированных цветовых шкал. Врач-радиолог должен иметь возможность просмотра изображений в привычной для себя цветовой шкале, исходя из своего опыта и предпочтений. В программах обработки томосцинтиграммы обычно представлены в виде томографических срезов и полярных карт.

В режиме томографических срезов данные отображаются в трех сечениях: по вертикальной длинной оси (Vertical Long Axis, VLA), по горизонтальной длинной оси (Horizontal Long Axis, HLA) и по короткой оси (Short Axis, SAX). При обзоре в этом режиме визуально отмечают следующее:

- наличие дилатации ЛЖ, постоянной или возникающей (или усугубляющейся) после нагрузочной пробы (транзиторная ишемическая дилатация);
- визуализация ПЖ, что свидетельствует о его гипертрофии или, реже, глобальном снижении накопления РФП в ЛЖ;
- наличие стабильных и/или переходящих дефектов перфузии;
- визуальные различия между скорректированными и нескорректированными наборами изображений.

В режиме полярных карт оценивается равномерность распределения РФП в миокарде ЛЖ. В этом режиме лучше видны мелкие дефекты перфузии, и более точно указывается их локализация с помощью 17- или 20-сегментной шкалы (рис. 1).

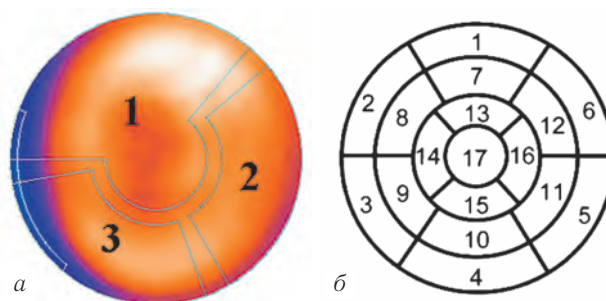


Рис. 1. Сегментация миокарда ЛЖ в режиме полярной карты: *а* — стандартная 17-сегментная схема. Обозначение сегментов: 1–6 — базальные сегменты, 7–12 — средние сегменты (1 и 7 — передние, 2 и 8 — передне-перегородочные, 3 и 9 — ниже-перегородочные, 4 и 10 — нижние, 5 и 11 — ниже-боковые, 6 и 12 — передне-боковые), 13–17 — верхушечные сегменты (13 — передне-верхушечный, 14 — верхушечно-перегородочный, 15 — ниже-верхушечный, 16 — верхушечно-боковой, 17 — верхушечный); *б* — наиболее распространенный вариант бассейнов коронарных артерий. 1 и 2 — левая коронарная артерия (ЛКА), в том числе: 1 — передне-нисходящая артерия (ПНА), 2 — огибающая артерия (ОА), 3 — правая коронарная артерия (ПКА).

Классическая интерпретация дефектов перфузии производится в рамках каждого сегмента по 5-балльной шкале:

- 0 баллов: норма (перфузия в сегменте $\geq 70\%$ от максимума);
- 1 балл: начальное нарушение перфузии (50–69%);
- 2 балла: умеренное нарушение перфузии (30–49%);
- 3 балла: выраженное нарушение перфузии (10–29%);
- 4 балла: отсутствие перфузии ($< 10\%$).

Более точная оценка нарушений перфузии основана на сравнении карты перфузии пациента с одной из набора баз норм, соответствующей полу пациента

и типу исследования. Набор баз норм предоставляется производителем программ обработки. В рамках этого сравнения баллы дефектов могут выставляться несколько по иным принципам, чем указано выше. Так, для каждого сегмента может вычисляться коэффициент глубины повреждения (Severity), который представляет собой значение стандартного отклонения (sd) относительной перфузии сегмента по сравнению с нормальным значением, согласно выбранной базе нормы. Затем диапазоны глубины дефекта соотносятся с определенными баллами. Сумма таких уточненных баллов во всех сегментах перфузионной карты при исследовании в покое получила название SRS (Summed Rest Score), а после нагрузки — SSS (Summed Stress Score). Кроме того, во всех современных программах на полярной карте можно отобразить участки достоверного дефекта кровоснабжения, в которых глубина нарушений перфузии превышает пороговое значение для данной базы норм. Площадь таких участков определяется как распространенность дефекта (Extent), вычисленная в процентах от площади ЛЖ.

Вычисление и визуализация разности между относительными значениями перфузии после нагрузочной пробы и в покое является основой диагностики переходящей ишемии миокарда. Таким образом, в режиме полярных карт особое внимание должно уделяться анализу разностной карты обратимых изменений перфузии. При визуализации в процентном режиме, в каждом сегменте разностной карты отображается разность относительной перфузии, в режиме Extent — участки достоверного ухудшения перфузии в ответ на нагрузочную пробу (зоны переходящей ишемии миокарда). Площадь этих обратимых изменений (Reversibility Extent, RE) измеряется в процентах от площади ЛЖ, а их тяжесть — в разностных коэффициентах глубины (Reversibility Severity), которые также градуируются баллами. Сумма этих баллов стресс-индуцированной переходящей ишемии получила название SDS (Summed Difference Score). Параметр SDS не всегда равен разности SSS и SRS, поскольку он учитывает зоны улучшения перфузии после нагрузки.

Все эти количественные параметры доказали свою диагностическую важность в оценке прогноза коронарных событий. В частности, показано, что SSS может быть прогностическим фактором риска коронарных событий (SSS от 0 до 3 — норма, 4–8 — низкий риск, 8–13 — умеренный риск, >13 — высокий риск). Кроме того, значение severity стабильного дефекта перфузии (измеряемое в стандартных отклонениях от нормы, sd) может помочь в приблизительной оценке глубины очагово-рубцового повреждения миокарда. Для этого можно ориентироваться на следующую градацию (однако с большими оговорками и сопоставляя с клиническими данными):

- $sd < 2$ — норма;
- 2–2,5 — серая зона, возможно наличие фиброзных изменений или субэндокардиального инфаркта;

- 2,5–5 — мелкоочаговый, интрамуральный инфаркт;
- 5–8 — крупноочаговый инфаркт;
- >8 — трансмуральный инфаркт.

Однако учитывая многообразие возможных клинических ситуаций, при интерпретации сцинтиграмм рекомендуется полагаться в первую очередь на визуальный анализ, оставив количественные параметры в качестве вспомогательного инструмента диагностики и способа унификации перфузионных данных при статистической обработке. Более того, в случае ошибочного назначения балла программой обработки, расходящегося с визуальной оценкой врача-радиолога, в программах обработки имеется возможность установки балла вручную. Такой подход помогает избежать ложноположительных результатов.

Некоторые варианты результатов ОЭКТ миокарда по протоколу покой-нагрузка приведены на рис. 2 и 3.

В случае выполнения совмещенного исследования ОЭКТ/КТ необходимо анализировать оба набора дан-

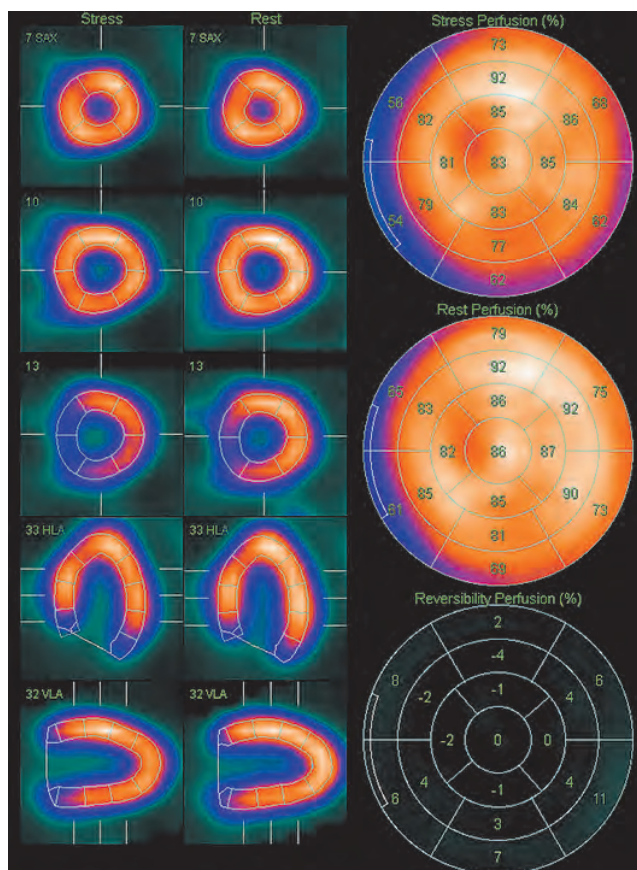


Рис. 2. Представление результатов перфузионной ОЭКТ миокарда на примере пациента без нарушений перфузии миокарда (норма). Левый столбец — исследование после нагрузочной пробы (stress), режим срезов, сверху вниз: короткая ось (SAX, верхушечные сегменты, средние сегменты, базальные сегменты), горизонтальная (HLA) и вертикальная (VLA) длинные оси. Средний столбец — т. ж. при исследовании в покое (rest). Правый столбец — полярные карты в процентном режиме (сверху вниз — нагрузочная, в покое, разностная). Количественные параметры: SRS=0, SSS=0, SDS=0, Rest Extent=0%, Stress Extent=0%, Reversibility Extent=0%. Заключение: признаков очагово-рубцового повреждения и переходящей ишемии миокарда не выявлено.

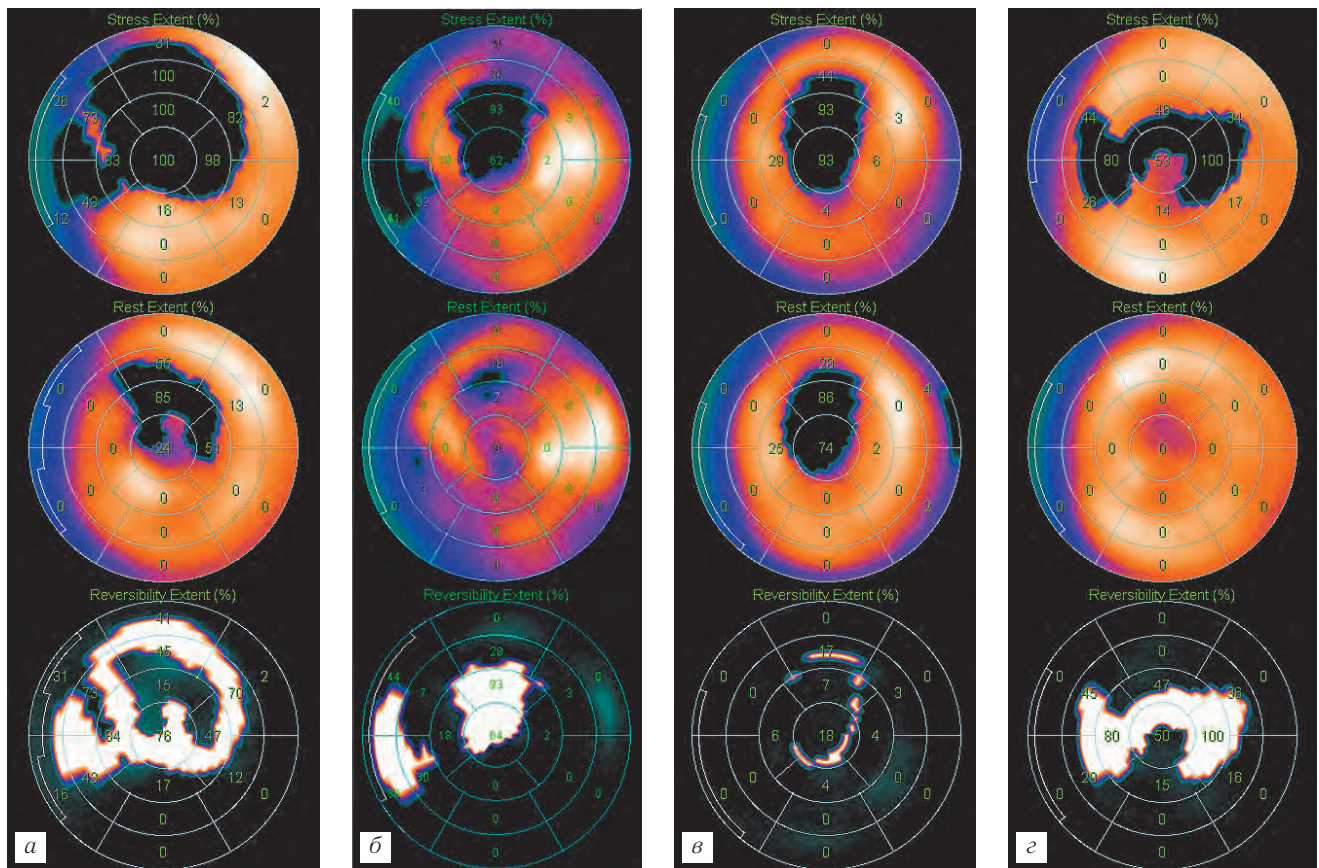


Рис. 3. Некоторые распространенные результаты перфузионной ОЭКТ миокарда в кардиологической практике. *а* — визуализируется стабильный дефект перфузии передне-верхушечной локализации. SRS=6, SSS=10, SDS=4, Rest Extent=16%, Stress Extent=20%, Reversibility Extent=4%. Максимальное sd очага в покое — 8, после нагрузки — 9. Заключение: трансмуральное очагово-рубцовое повреждение миокарда передне-верхушечной локализации. Признаки дальнейшей переходящей ишемии миокарда в зоне очага (углубление стабильного дефекта после нагрузочной пробы); *б* — при исследовании в покое достоверных дефектов перфузии не отмечается, после нагрузки — появление переходящего дефекта перфузии. SRS=0, SSS=14, SDS=14, Rest Extent=0%, Stress Extent=22%, Reversibility Extent=26%. Заключение: признаков очагово-рубцового повреждения миокарда ЛЖ не выявлено. Распространенная переходящая ишемия миокарда верхушечно-перегородочной и верхушечно-перегородочной локализации (вероятно, бассейн ПНА); *в* — при исследовании в покое — достоверный дефект перфузии, после нагрузки — его углубление и расширение. SRS=8, SSS=26, SDS=14, Rest Extent=14%, Stress Extent=43%, Reversibility Extent=34%. Максимальное sd очага в покое — 3,7. Заключение: интрамуральное очагово-рубцовое повреждение миокарда ЛЖ передне-верхушечной локализации. Распространенная перифокальная переходящая ишемия миокарда ЛЖ (вероятно, бассейн ПНА); *г* — неравномерная перфузия миокарда в покое у пациента с длительным анамнезом ИБС, после нагрузочной пробы — появление достоверных зон переходящей ишемии верхушечной и перегородочной локализации. Интенсивное относительное включение РФП в боковую стенку (косвенный признак гипертрофии левого желудочка). SRS=1, SSS=12, SDS=11, Rest Extent=1%, Stress Extent=19%, Reversibility Extent=19%. Максимальное sd очага в покое — 2,4. Заключение: признаки мелкоочагового фиброза миокарда. Переходящая ишемия миокарда, возможно двухсосудистое поражение коронарных артерий (ПНА и ПКА).

ных — с коррекцией поглощения (attenuation correction, AC) и без нее (пAC), поскольку эти изображения, как правило, имеют существенные визуальные отличия [10]. Наиболее распространенные из них:

1. Визуально нормальная перфузия нижней стенки на AC-изображениях при наличии визуального дефекта перфузии в этой зоне на пAC-изображениях (рис. 4, *а*). Появление такого дефекта связано с поглощением излучения тканями пациента, которое возрастает для более глубоких органов. Если рассматривать анатомическое расположение ЛЖ в грудной клетке, то наиболее глубоко, как правило, располагаются его нижне-задние сегменты. При коррекции поглощения происходит восстановление интенсивности исходного сигнала, причем коэффи-

циент усиления также возрастает для глубоких структур.

2. Наличие дефекта перфузии верхушечных сегментов на AC-изображениях при отсутствии такового на пAC-изображениях (рис. 4, *б*). Этот феномен имеет несколько объяснений, одно из них — прилегание костных структур (ребер) к верхушке ЛЖ, и, как следствие, занижение коэффициента усиления при коррекции поглощения от этих зон.

Общая рекомендация при сопоставлении обоих наборов данных: следует считать достоверными только те дефекты, которые в той или иной мере присутствуют на обоих наборах. В то же время, если дефект достоверно визуализируется лишь на одном из двух наборов — перфузию в этом участке следует

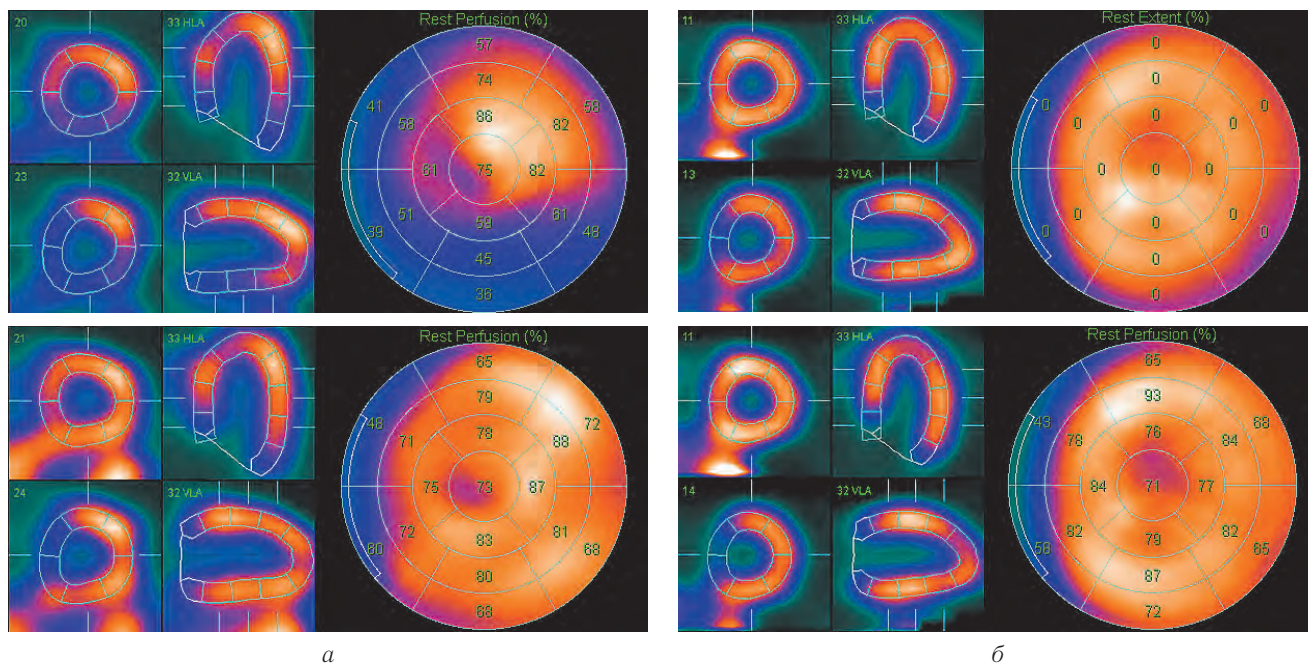


Рис. 4. Основные варианты ложноположительных дефектов перфузии при сопоставлении изображений с коррекцией поглощения (АС, нижний ряд) и без нее (пАС, верхний ряд).

считать нормальной. Экспертная интерпретация перфузионной ОЭКТ миокарда далеко выходит за рамки этой рекомендации, однако ее все же можно считать верной для ложноположительных дефектов по нижней стенке на нескорректированных изображениях и по верхушечным сегментам на скорректированных изображениях. Кроме того, важно понимать, что для расчета количественных параметров скорректированных и нескорректированных изображений используются различные базы нормы, поэтому эти количественные параметры, как правило, у этих двух наборов несопоставимы.

Анализ синхронизированных изображений. ОЭКТ миокарда с ЭКГ-синхронизацией проводится для:

- оценки глобальной и локальной сократимости ЛЖ;
- количественного анализа систолической и диастолической функции ЛЖ;
- повышения диагностической точности перфузионного исследования.

Основные параметры глобальной сократимости ЛЖ, такие как конечно-диастолический объем (КДО), конечно-систолический объем (КСО) и фракция выброса (ФВ), являются наиболее клинически значимыми, поэтому их необходимо указывать в описании результатов. В силу особенностей алгоритмов расчета этих величин при ОЭКТ, они несколько отличаются от получаемых при эхокардиографии. Так, нормальные значения ФВ при ОЭКТ — $\geq 45\%$ у мужчин и $\geq 50\%$ у женщин (при Эхо-КГ — $\geq 60\%$), КДО 50–100 мл, при этом при ОЭКТ часто можно получить заниженные значения КДО (< 45 мл) и завышенные значения ФВ ($> 75\%$), которые, тем не менее, также должны трактоваться как норма. При

синхронизированной ОЭКТ получают дополнительную информацию, которая может быть полезной при сопоставлении перфузии и сократимости ЛЖ, особенно у пациентов с ИБС, кардиомиопатиями и воспалительными заболеваниями миокарда. Амплитуда движения эндокарда и систолическое утолщение ЛЖ в систолу (в мм) может быть представлена в виде полярных карт. С помощью карты амплитуды для каждого сегмента сократимость определяют как нормальную (нормокинез), сниженную (гипокинез), практически отсутствующую (гипоаккинез), отсутствующую (акинез) и парадоксальную (дискинез).

В последнем случае сегмент миокарда в систолу движется не в сторону полости ЛЖ, а в противоположную сторону. Это может происходить при аневризме ЛЖ, при нарушениях проведения или гипертрофии ПЖ. Недостаточное систолическое утолщение является неблагоприятным признаком при дилатации ЛЖ, а его усиление может быть косвенным признаком гипертрофии ЛЖ. Важно определение наличия транзиторной ишемической дилатации (увеличение полости ЛЖ после нагрузочной пробы по сравнению с исследованием в покое). Существенную информацию несут графики объемов и скоростей наполнения и изгнания крови из ЛЖ, а также параметры диастолической функции ЛЖ — время наполнения ЛЖ в диастолу, время достижения максимальной скорости наполнения (параметр, характеризующий эластичность миокарда).

Сопоставление данных перфузии и сократимости позволяет существенно увеличить диагностическую ценность ОЭКТ миокарда. Так, нормальная сократимость тех участков миокарда, где визуализируются дефекты перфузии, позволяет в некоторых случаях трактовать эти дефекты как ложноположительные

(связанные, например, с поглощением излучения тканями пациента). В то же время нормальная сократимость может сохраняться и в участках фиброза или небольшого инфаркта миокарда. С другой стороны, сочетание нормальной перфузии и сниженной сократимости может быть признаком гибернации или оглушения миокарда.

При сопоставлении сократительной функции ЛЖ в покое и после нагрузочной пробы нужно помнить следующее. В силу отсутствия перераспределения ^{99m}Tc -МИБИ, визуализируемое состояние перфузии миокарда фактически зафиксировались в момент введения РФП на пике нагрузки, тогда как оценка сократительной функции происходит непосредственно во время записи томосцинтиграмм. Поскольку запись исследования происходит через 30–60 мин после окончания нагрузки, сократительная функция ЛЖ на этом этапе фактически повторяет исследование в покое. Однако в некоторых ситуациях можно наблюдать изменение ФВ и объемов полости даже через час после нагрузочной пробы. Снижение ФВ и увеличение КДО (как признак транзиторной ишемической дилатации) у пациента с ИБС после нагрузочной пробы, по сравнению с исследованием в покое, является неблагоприятным признаком, свидетельствующим о неспособности миокарда адекватно восстанавливаться после нагрузки.

Составление заключения. Типовое заключение по перфузионной ОЭКТ миокарда содержит следующие разделы:

Заголовок: название лечебного учреждения, лаборатория/отдел радионуклидной диагностики.

Данные пациента: ФИО, возраст, пол, дата обследования.

Название метода исследования: перфузионная ОЭКТ миокарда, в покое и/или с нагрузочной пробой (физической, фармакологической), синхронизированная с ЭКГ, с коррекцией поглощения.

Радиофармпрепарат, введенная активность (в МБк) в покое и после нагрузочной пробы. Эффективная доза облучения пациента (в мЗв). Дата (даты) исследования.

Описательная часть должна быть представлена в следующем виде:

«На томосцинтиграммах в покое и после нагрузочной пробы визуализируется миокард левого (и правого) желудочка сердца. Визуально полость левого желудочка не увеличена (умеренно, резко увеличена). На серии томографических срезов в покое распределение РФП равномерное (неравномерное, несколько неравномерное, без грубых дефектов аккумуляции). Визуализируется (выраженное, умеренное) снижение включения РФП (указывается локализация дефектов с использованием номенклатуры, указанной на рис. 1, а).

(Примечание: по данным одного только исследования в покое некорректно говорить о наличии оча-

гово-рубцового повреждения миокарда даже при наличии достоверного дефекта перфузии.)

При сопоставлении данных в покое и после нагрузочной пробы регистрируются (не регистрируются) признаки очагово-рубцового повреждения миокарда (указывается локализация дефектов и их тяжесть, площадь повреждения в %). При данном уровне выполненной нагрузки и достигнутой при этом ЧСС (перечисляются параметры пробы: положительная/отрицательная/сомнительная/не доведенная до диагностических критериев. Это необходимо, поскольку при сомнительной или недиагностической пробе тяжесть преходящей ишемии, скорее всего, будет недооцененной, что обязательно нужно подчеркнуть в заключении) отмечается улучшение перфузии (указывается локализация), ухудшение перфузии (указывается локализация), последнее является признаком преходящей ишемии миокарда (начального нарушения кровоснабжения, не достигающего количественных критериев достоверной преходящей ишемии миокарда) указанной локализации. В случае, если участок преходящей ишемии по локализации точно соответствует бассейну какой-либо коронарной артерии (см. рис. 1, б), можно высказать предположение о поражении данной артерии. При наличии изменения (ухудшения, а особенно улучшения) перфузии в зоне уже имеющегося повреждения, можно предположить наличие жизнеспособного миокарда в этой зоне.

По данным синхронизированной ОЭКТ миокарда ФВ ЛЖ в покое составляет % ($N > 50\%$), КДО — мл, КСО — мл, УО — мл. Нарушений глобальной/локальной сократимости не отмечается (визуализируется гипокинез, акинез, дискинез, указывается локализация). При исследовании после нагрузочной пробы динамики сократительной функции не наблюдается (отмечается улучшение, ухудшение сократительной функции, указывается ФВ, КДО, КСО, УО). Указываются несоответствия между перфузией и сократимостью (признаки гибернации, оглушения миокарда или же признаки сохранной сократимости на фоне фиброзно-рубцового повреждения).

В заключение выносятся главный результат исследования: наличие/отсутствие очагово-рубцовых повреждений, преходящей ишемии, нарушений сократимости, признаков жизнеспособности миокарда ЛЖ».

После текстовой части заключения располагают изображением с сопутствующими количественными параметрами:

— Перфузионные изображения в покое, после нагрузочной пробы, и разностные карты. В случае выполнения коррекции поглощения, как правило, в заключение выносятся либо АС-, либо пАС-изображения, наиболее наглядно отражающие текст заключения. Из вариантов представления полярных карт (процентные карты, карты глубины и распространенности) также выбирают наиболее наглядные. Обязательно представляются полярные карты

и несколько томографических срезов (например, как представлено на рис. 2). Полная карта срезов — по необходимости.

— Карты сократимости ЛЖ. Если динамики сократимости при двух исследованиях не было — в заключение выносят карты сократимости после

нагрузочной пробы. Если динамика была, публикуют оба набора.

При печати заключения на бумагу для изображений необходимо выбирать цветовую шкалу, позволяющую кардиологу или другому врачу-радиологу интерпретировать распечатанные изображения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сергиенко В. Б., Аншелес А. А. Томографические методы в оценке перфузии миокарда // Вестник рентгенологии и радиологии. — 2010. — Т. 3. — С. 10–14.
2. Verberne H. J., Acampa W., Anagnostopoulos C. et al. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. — 2015. — Vol. 42 (12). — P. 1929–1940.
3. Hesse B., Tagil K., Cuocolo A. et al. EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear cardiology // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. — 2005. — Vol. 32 (7). — P. 855–897.
4. Berman D. S., Hachamovitch R., Shaw L. J. et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease // J. Nucl. Med. — 2006. — Vol. 47 (1). — P. 74–82.
5. Flotats A., Knuuti J., Gutberlet M. et al. Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT. A joint position statement by the European Association of Nuclear Medicine (EANM), the European Society of Cardiac Radiology (ESCR) and the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC) // Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging. — 2011. — Vol. 38 (1). — P. 201–212.
6. Аншелес А. А., Сергиенко В. Б. Томографические методы диагностики при оценке перфузии миокарда у больных с ишемической болезнью сердца // Медицинская радиология и радиационная безопасность. — 2011. — Т. 3. — С. 74–79.
7. Windecker S., Kolh P., Alfonso F. et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI) // Eur. Heart J. — 2014. — Vol. 35 (37). — P. 2541–2619.
8. Montalescot G., Sechtem U., Achenbach S. et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology // Eur. Heart J. — 2013. — Vol. 34 (38). — P. 2949–3003.
9. Аншелес А. А., Шульгин Д. Н., Соломяный В. В. и др. Сопоставление результатов нагрузочных проб, данных однофотонной эмиссионной компьютерной томографии миокарда и коронарографии у больных ишемической болезнью сердца // Кардиологический вестник. — 2012. — Т. 2. — С. 10–17.
10. Аншелес А. А. Особенности интерпретации перфузионной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии миокарда с компьютерно-томографической коррекцией поглощения // Вестник рентгенологии и радиологии. — 2014. — Т. 2. — С. 5–20.

REFERENCES

1. Sergienko V. B., Ansheles A. A. Tomograficheskie metody v ocenke perfuzii miokarda, *Vestnik rentgenologii i radiologii*, 2010, vol. 3, pp. 10–14.
2. Verberne H. J., Acampa W., Anagnostopoulos C. et al. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision, *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2015, vol. 42 (12), pp. 1929–1940.
3. Hesse B., Tagil K., Cuocolo A. et al. EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion imaging in nuclear cardiology, *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2005, vol. 32 (7), pp. 855–897.
4. Berman D. S., Hachamovitch R., Shaw L. J. et al. Roles of nuclear cardiology, cardiac computed tomography, and cardiac magnetic resonance: assessment of patients with suspected coronary artery disease, *J. Nucl. Med.*, 2006, vol. 47 (1), pp. 74–82.
5. Flotats A., Knuuti J., Gutberlet M. et al. Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT. A joint position statement by the European Association of Nuclear Medicine (EANM), the European Society of Cardiac Radiology (ESCR) and the European Council of Nuclear Cardiology (ECNC), *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, 2011, vol. 38 (1), pp. 201–212.
6. Ansheles A. A., Sergienko V. B. Tomograficheskie metody diagnostiki pri ocenke perfuzii miokarda u bolnyx s ishemicheskoy boleznju serdca, *Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost*, 2011, vol. 3, pp. 74–79.
7. Windecker S., Kolh P., Alfonso F. et al. 2014 ESC/EACTS Guidelines on myocardial revascularization: The Task Force on Myocardial Revascularization of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) Developed with the special contribution of the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI), *Eur. Heart J.*, 2014, vol. 35 (37), pp. 2541–2619.
8. Montalescot G., Sechtem U., Achenbach S. et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology, *Eur. Heart J.*, 2013, vol. 34 (38), pp. 2949–3003.
9. Ansheles A. A., Shulgin D. N., Solomyanyj V. V. i dr. Sopotavlenie rezultatov nagruzochnyx prob, dannyx odnofotonnoj emissionnoj kompyuternoj tomografii miokarda i koronarografii u bolnyx ishemicheskoy boleznju serdca, *Kardiologicheskij vestnik*, 2012, vol. 2, pp. 10–17.

10. Ansheles A. A. Osobennosti interpretacii perfuzionnoj odnofotonnoj emissionnoj kompyuternoj tomografii miokarda s kompyuterno-

tomograficheskoy korekciej pogloshheniya, *Vestnik rentgenologii i radiologii*, 2014, vol. 2, pp. 5–20.

Поступила в редакцию: 28.03.2016 г.

Контакт: *Аншелес Алексей Аркадьевич, a.ansheles@gmail.com*

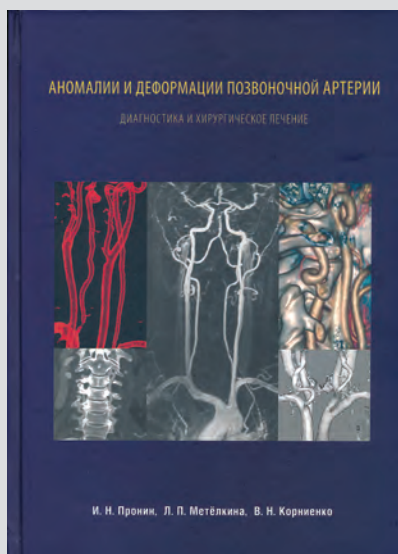
Сведения об авторах:

Аншелес Алексей Аркадьевич — кандидат медицинских наук, с. н. с. отдела радионуклидной диагностики ИКК им. А. Л. Мясникова ФГБУ «РКНПК» МЗ РФ, 121552, Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а; тел.: +7 495 414-63-11, a.ansheles@gmail.com;

Мионов Сергей Петрович — доктор медицинских наук, профессор, врач-радиолог отдела радионуклидной диагностики ИКК им. А. Л. Мясникова ФГБУ «РКНПК» МЗ РФ, 121552, Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а; тел.: +7 495 414-63-11, msp1942@yandex.ru;

Шульгин Денис Николаевич — кандидат медицинских наук, зав. отделением, отдел радионуклидной диагностики ИКК им. А. Л. Мясникова ФГБУ «РКНПК» МЗ РФ, 121552, Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а; тел.: +7 495 414-63-11, shulgin.denis@gmail.com;

Сергиенко Владимир Борисович — доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела радионуклидной диагностики ИКК им. А. Л. Мясникова ФГБУ «РКНПК» МЗ РФ, 121552, Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а; тел.: +7 495 414-63-11, vbsergienko@yandex.ru.



Уважаемые коллеги!

В 2016 г. вышла монография «Аномалии и деформации позвоночной артерии (диагностика и хирургическое лечение)» под редакцией И. Н. Прониной, Л. П. Метёлкиной, В. Н. Корниенко.

Монография является итогом многолетнего плодотворного сотрудничества отделения нейрорентгенологии НИИ нейрохирургии им. акад. Н. Н. Бурденко и отделения нейрохирургии Научного центра неврологии.

Книга посвящена диагностике и хирургическому лечению относительно редких форм сосудистой патологии головного мозга — аномалий и деформаций позвоночной артерии.

В первой главе подробно рассмотрена история хирургии позвоночной артерии, представлены основные этапы в развитии хирургических подходов и решений с целью купирования клинических проявлений вертебрально-базилярной недостаточности.

Вторая глава представляет нормальную анатомию позвоночной артерии, варианты ее развития и терминологию. Логическим продолжением становится третья глава, где авторы подробно рассматривают основные вопросы патогенеза и клинические проявления вертебрально-базилярной недостаточности.

В четвертой главе суммирован опыт авторов в области использования в современной клинике малоинвазивных КТ и МРТ-технологий. Проанализированы возможности и информативность ангиографических технологий (прямой ангиографии, КТ- и МР-ангиографии, дуплексного сканирования) в изучении различных поражений позвоночной артерии. На примерах отдельных, наиболее часто встречаемых патологических изменений в пробеге позвоночных артерий (аномалии, деформации и др.) подробно продемонстрированы возможности современных диагностических методов, проанализированы их чувствительность и специфичность. Предложена классификация поражений пробеге позвоночной артерии, которые могут являться причинами клинических проявлений вертебрально-базилярной недостаточности. В пятой главе авторы делятся своим опытом в проведении хирургических вмешательств на позвоночной артерии, разбираются отдельные этапы оперативных доступов, анализируются результаты лечения.

В монографии представлено большое количество иллюстраций комплексной диагностики клинических наблюдений, как общих, часто встречающихся, так и редких и в некотором роде уникальных.

Книга предназначена для нейрорадиологов, нейрохирургов, неврологов, вертебрологов, рентгенологов общего профиля, ординаторов, студентов медицинских вузов и специалистов, интересующихся данной проблемой.