

Современные возможности радионуклидной диагностики при артериальной гипертензии

А.А.Аншелес[✉], В.Б.Сергиенко

Институт клинической кардиологии им. А.Л.Мясникова ФГБУ Российский кардиологический научно-производственный комплекс Минздрава России. 121552, Россия, Москва, ул. 3-я Черепковская, д. 15а

В обзорной статье представлены современные возможности методов радионуклидной диагностики для оценки функционального состояния разных органов и биологических процессов при артериальной гипертензии.

Ключевые слова: радионуклидная диагностика, артериальная гипертензия.

[✉]a.ansheles@gmail.com

Для цитирования: Аншелес А.А., Сергиенко В.Б. Современные возможности радионуклидной диагностики при артериальной гипертензии. Системные гипертензии. 2016; 13 (1): 22–28.

Current possibilities of nuclear imaging in arterial hypertension

A.A.Ansheles[✉], V.B.Sergienko

A.L.Myasnikov Institute of Clinical Cardiology, Russian Cardiological Scientific-Industrial Complex of the Ministry of Health of the Russian Federation. 121552, Russian Federation, Moscow, ul. 3-ia Cherepkovskaia, d. 15a

The review represents current possibilities of nuclear imaging methods in assessment of the functional status of various organs and biological processes in arterial hypertension.

Key words: nuclear imaging, arterial hypertension.

[✉]a.ansheles@gmail.com

For citation: Ansheles A.A., Sergienko V.B. Current possibilities of nuclear imaging in arterial hypertension. Systemic Hypertension. 2016; 13 (1): 22–28.

Артериальная гипертензия (АГ) остается одной из наиболее значимых медико-социальных проблем в Российской Федерации. Это обусловлено широкой распространенностью АГ в сочетании с недостаточным ответственным отношением населения к данной проблеме [1]. Учитывая тот факт, что АГ является важнейшим фактором риска ишемической болезни сердца (ИБС), инфаркта миокарда (ИМ), мозгового инсульта, т.е. заболеваний, которые имеют основной вклад в структуру смертности в нашей стране, своевременная диагностика АГ и ее последствий является крайне важной клинической задачей [2].

Методы радионуклидной диагностики – однофотонной эмиссионной компьютерной томографии (ОЭКТ) и позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ) – давно зарекомендовали себя в качестве надежного неинвазивного способа визуализации многих биологических процессов *in vivo*, по-прежнему недоступных для других видов лучевой диагностики, в том числе томографических [3]. Такая функциональная визуализация достигается использованием аналогов соединений, участвующих в биохимических процессах человека, меченных короткоживущим радионуклидом, с последующей визуализацией их распределения и динамики в организме человека. Высокая чувствительность разных радиофармпрепаратов (РФП) к специфичным патологическим процессам позволяет визуализировать перфузию, метаболизм, рецепторную функцию, воспалительные процессы, тромбозы и т.д. При АГ радионуклидные методы позволяют решить сразу несколько важных задач, основными из которых становятся выявление и оценка степени поражения органов-мишеней АГ (сердца, головного мозга – ГМ, почек, периферических сосудов), стратификация риска, дифференциальная диагностика АГ, оценка эффективности лечения.

Радионуклидная визуализация органов-мишеней при АГ

Одним из важных повреждающих механизмов АГ становится гемодинамический стресс, проявляющийся травмирующим действием потока крови под большим давлением на стенки артерий. Возникающие при этом нарушения регуляции и дисфункция артериального эндотелия приводят к нарушению перфузии и как следствие – функ-

ции органов, кровоснабжаемых данными артериями. Основные органы-мишени при АГ, механизмы их повреждения и исходы приведены в табл. 1.

Исследования миокарда при АГ

Радионуклидные исследования сердца у пациентов с АГ предполагают оценку клеточной перфузии, резерва коронарного и миокардиального кровотока, жизнеспособности миокарда, сократительной функции (с целью выявления диастолической и систолической дисфункции), симпатической иннервации миокарда (табл. 2).

Необходимость выполнения радионуклидных исследований сердца при АГ определяется многими клиническими факторами.

Во-первых, АГ способна спровоцировать коронарную недостаточность при ангиографически неизмененных коронарных артериях – КА (гипертрофированное «гипертоническое сердце»), что обусловлено снижением коронарного резерва в зоне гипертрофии миокарда. В этих условиях радионуклидную визуализацию следует проводить с целью оценки систолической и диастолической функции сердца, а также для оценки резерва миокардиального кровотока.

Кроме того, АГ способствует развитию и усугубляет тяжесть течения коронарного атеросклероза и ИБС. Увеличение постнагрузки на левый желудочек (ЛЖ) и повышение давления в камерах сердца в сочетании с поражением микрососудистого русла вызывают появление в миокарде очагов фиброза. В этих условиях ОЭКТ миокарда является важнейшим методом диагностики ИБС у больных АГ, включая выявление стабильных и преходящих дефектов перфузии, оценку прогноза и эффективности терапии [4].

Наконец, отражением гемодинамических нарушений у пациентов с АГ на определенном этапе становится нарушение сократительной функции ЛЖ. В итоге АГ, особенно в сочетании с сахарным диабетом, дислипидемией, курением, ожирением, приводит к гибернации, гибели кардиомиоцитов, ремоделированию сердца и развитию хронической сердечной недостаточности (ХСН). В этих условиях радионуклидные методы следует использовать для определения объема жизнеспособного миокарда, оценки сократительной функции, а также оценки прогноза и контроля эффективности терапии [5].

Таблица. 1. Органы-мишени при АГ

	Механизмы гипертонического повреждения	Исход
Сердце	Увеличение постнагрузки на ЛЖ → гипертрофия ЛЖ → нарушение диастолической, затем систолической функции	Гипертоническое сердце → ремоделирование ЛЖ → ХСН
	Травма эндотелия КА → атеросклероз	ИБС, ИМ
Головной мозг	Срыв ауторегуляции → гипоперфузия → отек	Гипертензивная энцефалопатия
	Повреждение сосудов мозга	Инсульты
Почки	Повреждение капилляров клубочков → некроз клубочков	Нефроангиосклероз, ХПН
Аорта	Гемодинамический стресс	Аневризма, расслоение
Периферические сосуды	Травма → дисфункция эндотелия	Облитерирующий атеросклероз → нарушения трофики конечностей
Сетчатка глаза	Травма сосудов → ангиоретинопатия → дегенерация сетчатки	Снижение зрения

Таблица. 2. Диагностические возможности радионуклидных исследований миокарда

	ЭКГ-синхронизированная перфузионная ОЭКТ	Перфузионная ПЭТ	Радионуклидная вентрикулография	Нейтропная скintiграфия и ПЭТ
Перфузия	+++	+++	-	-
Резерв кровотока	+ (косвенно)	+++ (количественно)	-	-
Жизнеспособность миокарда	++ (по сопоставлению перфузии и сократимости)	+++ (сочетание ПЭТ с перфузионным РФП и ФДГ)	-	-
Систолическая и диастолическая функция	++	++ (при ЭКГ-синхронизации)	+++	-
Симпатическая иннервация	-	-	-	+++

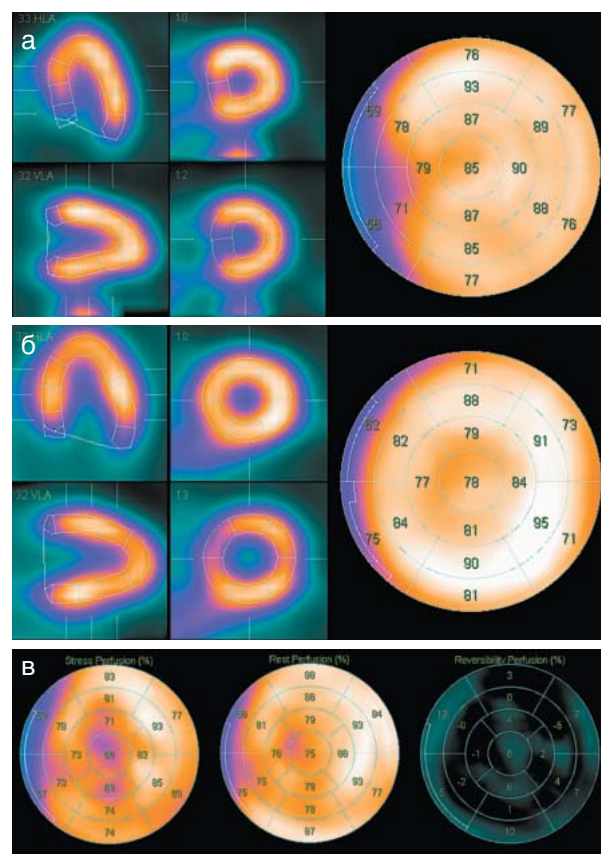
Таким образом, радионуклидные исследования сердца в алгоритме обследования при АГ играют важную роль уже на этапе ранних функциональных нарушений, которые могут возникать значительно раньше манифестации клинических проявлений, а также на более поздних сроках заболевания в целях оценки тяжести функционального состояния миокарда, прогноза и эффекта терапии.

Перфузионная ОЭКТ миокарда

Оценка клеточной перфузии миокарда при ОЭКТ и ПЭТ возможна благодаря использованию РФП, тропных к неповрежденным кардиомиоцитам [6]. Сцинтиграфическая картина по данным перфузионной ОЭКТ с ^{99m}Tc -МИБИ у больных АГ разнообразна. На начальных этапах заболевания распределение РФП в ЛЖ может быть нормальным (рис. 1, а). Косвенным сцинтиграфическим признаком гипертрофии ЛЖ является визуальное усиление включения РФП в миокард ЛЖ при исследовании в покое, причем это усиление может быть равномерным (рис. 1, б), но чаще отмечается в боковой стенке ЛЖ (рис. 1, в).

Увеличение кровотока в участках гипертрофии миокарда ЛЖ в покое приводит к тому, что резерв кровотока при нагрузочной пробе в этих зонах снижается. Одновременно происходит «обкрадывание» остальных участков миокарда ЛЖ. Такое перераспределение кровотока может происходить даже при неизменных КА. Кроме того, вследствие утолщения кардиомиоцитов происходят сдавление мелких коронарных сосудов, уменьшение их плотности и просвета. В результате при проведении ОЭКТ миокарда с ^{99m}Tc -МИБИ по протоколу «покой + нагрузка» у больных АГ в покое могут визуализироваться диффузные мелкоочаговые дефекты перфузии, которые могут как соответствовать мелким участкам фиброза, так и являться результатом указанных особенностей перераспределения кровотока. При сопоставлении исследований в покое и после нагрузочной пробы часто визуализируются зоны преходящей ишемии миокарда ЛЖ, которые также чаще всего имеют мелкоочаговый, диффузный характер, без четкого соответствия бассейнам КА (см. рис. 1, в).

Рис. 1. Варианты распределения ^{99m}Tc -МИБИ в миокарде у пациентов с АГ: а – нормальное; б – с равномерным усилением включения РФП в стенки ЛЖ; в – с усилением включения РФП в боковую стенку ЛЖ в покое (среднее изображение), диффузным ухудшением перфузии при нагрузочной пробе (левое изображение), мелкоочаговой преходящей ишемией миокарда ЛЖ (правое изображение).



При этом на фоне адекватной медикаментозной терапии АГ может происходить улучшение перфузии миокарда, которое также фиксируется с помощью перфузионной ОЭКТ миокарда.

Таким образом, у больных АГ отмечаются признаки носительной коронарной недостаточности миокарда, которые выявляются приблизительно у 33% больных с умеренной и 65% пациентов с выраженной гипертрофией ЛЖ. По мере нарастания степени гипертрофии увеличиваются распространенность и тяжесть стойких и преходящих нарушений перфузии. При присоединении ишемических явлений, вызванных коронарным атеросклерозом, преходящие дефекты перфузии у пациентов с АГ увеличиваются по площади и начинают приобретать вид, характерный для ИБС, с локализацией, соответствующей бассейнам стенозированных КА [7].

Радионуклидная вентрикулография

В связи с увеличением числа пациентов с расстройством систолической и, особенно, диастолической функции сердца при АГ не менее важной является оценка параметров сократительной функции сердца. Выполнение методики перфузионной ОЭКТ с ^{99m}Tc -МИБИ с ЭКГ-синхронизацией (ЭКГ – электрокардиография) позволяет достоверно и с высокой степенью воспроизводимости оценить региональное движение стенок, систолическое утолщение, фракцию выброса, конечно-систолический и конечно-диастолический объемы ЛЖ. Нарушения диастолической функции миокарда при синхронизированной ОЭКТ оцениваются с помощью таких количественных параметров, как объемная пиковая скорость наполнения желудочков (PFR, КДО/с), средняя скорость наполнения желудочка в первую треть диастолы (MFR/3, КДО/с), максимальная скорость наполнения во время второго пика (PFR2, при его наличии), а также время максимального наполнения желудочков от момента начала диастолы (TTPF, мс). Поскольку в норме визуализация правого желудочка (ПЖ) при перфузионной ОЭКТ затруднена, оценка функции ПЖ данным методом не проводится. Однако важным преимуществом ЭКГ-синхронизированной ОЭКТ миокарда является одновременная оценка перфузии и функции ЛЖ, поскольку сопоставление этих данных лежит в основе диагностики жизнеспособного, в том числе гибернированного, миокарда ЛЖ, что крайне важно у пациентов на более поздних сроках заболевания, в том числе при ХСН.

Однако наиболее точным и стабильно воспроизводимым методом оценки сократительной активности миокарда является радионуклидная вентрикулография, которая позволяет оценивать указанные параметры как для ЛЖ, так и ПЖ [8]. В отличие от перфузионных методов при вентрикулографии выполняется радионуклидная метка пула эритроцитов с помощью последовательного введения ^{99m}Tc -ДТПА и ^{99m}Tc -пертехнетата. Полученные изображения желудочков сердца обрабатываются с получением фазовых полярных карт и гистограмм, на которых отражается последовательность сокращения сегментов желудочков (рис. 2).

Это позволяет визуализировать участки асинхронии разных отделов желудочков и межжелудочковой перегородки, отмечая таким образом наиболее тонкие процессы нарушения функции миокарда, которые имеют место у пациентов с АГ на разных стадиях заболевания.

Нейротропная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда

Немаловажную роль при АГ играет симпатическая нервная регуляция, при этом значительные нарушения адренергической иннервации определяются на миокардиальном уровне. Нарушения симпатической активности миокарда при АГ в основном связаны с повышенным высвобождением норадреналина из симпатических нервных окончаний. Длительно существующее повышение влияния симпатической нервной системы может приво-

дить к развитию гипертрофии миокарда, ишемии, фиброза, аритмий, а также индуцировать апоптоз, повышать риск внезапной смерти [9].

Оценку общей и региональной симпатической активности миокарда проводят с помощью сцинтиграфии и ОЭКТ миокарда с меченым мета-йод-бензил-гуанидином, который является структурным аналогом норадреналина, но не имеет его фармакологических эффектов [10]. У большинства больных АГ при исследовании с ^{123}I -МИБГ выявляются неспецифические региональные нарушения нейрональной функции миокарда ЛЖ, которые проявляются в снижении захвата РФП и ускорении его клиренса, по-видимому, отражающие степень гипертрофии миокарда независимо от причины ее развития (рис. 3).

При этом существует корреляция между распространенностью и выраженностью региональных нарушений симпатической активности миокарда, скоростью вымывания и фракцией выброса ЛЖ сердца.

Успешная антигипертензивная терапия, способствующая реверсии гипертрофии ЛЖ, может улучшать миокардиальную симпатическую активность и прогноз у этой категории пациентов. В этом плане сцинтиграфия с ^{123}I -МИБГ может быть полезной в оценке как нейронального повреждения миокарда, так и эффективности антигипертензивной терапии у больных АГ. В частности, полагают, что захват ^{123}I -МИБГ миокардом является достоверным предсказующим фактором в отношении эффективности β -адреноблокаторов.

Исследования головного мозга при АГ

Наиболее распространенными осложнениями АГ со стороны головного мозга (ГМ) являются гипертоническая энцефалопатия и цереброваскулярная болезнь с основными ее проявлениями – транзиторной ишемической атакой и инсультом. Для исследования перфузии ГМ методом ОЭКТ применяются *d,i*-изомеры гекса-метилпропилен-амин-оксима, меченные ^{99m}Tc (^{99m}Tc -ГМПАО). Этот РФП легко проникает через гематоэнцефалический барьер и захватывается мозговой тканью пропорционально региональному мозговому кровотоку, не подвергаясь дальнейшему перераспределению или выведению в течение 2 ч, что позволяет проводить исследование с функциональными пробами для определения резерва перфузии. Спектр его применения включает в себя любые ситуации, связанные с дисбалансом обмена веществ и кровотока, а также с заболеваниями, которые сопровождаются феноменом избыточного кровотока. ^{99m}Tc -ГМПАО рекомендуется использовать для оценки состояния перфузии ГМ при инсульте, транзиторной ишемии ГМ, эпилепсии, мигрени, травмах, деменции, болезни Альцгеймера, шизофрении, депрессивных состояниях, опухолях ГМ. Также возможны визуализации очагов воспаления различного происхождения и их локализация методом введения меченных *in vitro* лейкоцитов и гранулоцитов. Некоторым недостатком ГМПАО является быстрое превращение *in vitro* во вторичные соединения, не проникающие через гематоэнцефалический барьер, что требует оперативного приготовления препарата. Этого свойства лишен более новый препарат ^{99m}Tc -этилен-цистеин-димер (^{99m}Tc -ЭЦД). ^{99m}Tc -ЭЦД быстрее выводится из организма, а также имеет особенности метаболизма в ГМ, позволяющие с его помощью более корректно оценивать не только состояние микроциркуляции, но и метаболизм ткани ГМ. Оба ^{99m}Tc -соединения позволяют использовать математические модели количественного расчета параметров региональной церебральной перфузии (мл/мин/100 см³ для каждого полушария).

Одним из осложнений АГ является острое нарушение мозгового кровообращения (инсульт). В острой фазе заболевания при ОЭКТ выявляются области нарушенного кровоснабжения ГМ (дефекты перфузии), при этом они выявляются раньше, чем при КТ. В подострой фазе может наблюдаться восстановление кровоснабжения, именно в

этой фазе заболевания по данным ОЭКТ выявляется феномен избыточного кровотока и возможно прогнозирование исхода заболевания.

Хроническая цереброваскулярная болезнь характеризуется снижением перфузии в бассейне измененной артерии. При гипертонической энцефалопатии снижение перфузии определяется в разных отделах ГМ, но преимущественно в лобно-височно-теменных (рис. 4).

У больных с сочетанием АГ и сахарного диабета обнаруживаются наиболее выраженные нарушения ауторегуляции сосудов ГМ, о чем свидетельствовали результаты ОЭКТ, выполненной с функциональными тестами (ацетазоламид или гипервентиляция). Ацетазоламид обеспечивает вазодилатацию как крупных, так и мелких сосудов ГМ, не изменяя при этом скорости поглощения кислорода и глюкозы. Перфузионный резерв определяется при этом как способность сосудистого русла к увеличению кровотока через реакцию вазодилатации в соответствии с изменяющейся метаболической потребностью. На фоне лечения антигипертензивными препаратами отмечается повышение уровня перфузии ГМ в участках с исходно сниженным кровоснабжением [11].

Исследования почек при АГ

При АГ в патологический процесс зачастую вовлекаются почки, играющие здесь две роли: во-первых, как один из важных патогенетических звеньев в развитии АГ, во-вторых, как орган-мишень. АГ является одной из самых частых причин развития терминальной стадии почечной недостаточности (до 30% случаев). Динамическая сцинтиграфия позволяет обнаруживать нарушения секреторно-экскреторной и фильтрационной функции почек на ранних стадиях заболевания. Поражение почек при АГ может развиваться по типу гипертонической нефропатии с фокальным гломерулосклерозом, гипертоническим нефроангиосклерозом, приводящим к атрофии канальцев с исходом в хроническую почечную недостаточность (ХПН). На сегодняшний день функцию почек неинвазивным способом можно оценить только с помощью радионуклидных методов. Ранее для этого использовался метод ренографии без возможности визуализации, и о функции почек можно было судить только по получаемым кривым (ренограммам). В настоящее время основным методом исследования почек является динамическая нефросцинтиграфия, при которой ренограммы дополняются качественной визуализацией прохождения РФП через аорту и почечные артерии (сосудистая фаза), почки (секреторная фаза) и мочевыводящие пути (экскреторная фаза). Основными задачами динамической сцинтиграфии почек являются:

- Определение скорости клубочковой фильтрации (СКФ) и эффективного почечного плазматочка (ЭПП).
- Оценка параметров секреторно-экскреторной способности почек, определение начальных проявлений почечной недостаточности.
- Оценка нарушений уродинамики, в том числе пассивных пузырно-мочеточниковых рефлюксов.
- Оценка функции почек перед инвазивными исследованиями и операциями с рентгеноконтрастной нагрузкой на почки, перед хирургическим вмешательством.

Для сцинтиграфии почек применяют следующие РФП (табл. 3):

- с канальцевым механизмом элиминации и возможностью определения ЭПП: ^{131}I -, ^{123}I -гиппуран, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -бензоил меркаптоацетил триглицерин ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -МАГЗ), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -этилендицистеин ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ЕС);
- клубочковые РФП с возможностью определения СКФ: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -диэтилентриаминопентаоцетат ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ДТПА), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -фосфаты (пирофосфат, метилendifосфонат);
- РФП для статической сцинтиграфии и ОЭКТ, длительное время накапливающиеся в корковом слое почек: $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -димеркаптоянтарная кислота ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ДМСА), $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -глюкогептонат.

Перед исследованием рекомендуется провести гидратацию пациента (прием не менее 250 мл воды за 30 мин до исследования). Относительным противопоказанием к исследованию с ДТПА является выраженные нарушения выделительной функции почек (креатинин плазмы более 200 мкмоль/л), поскольку в этом случае РФП задерживается в кровеносной системе, увеличивая лучевую нагрузку на все тело. Учитывая влияние некоторых антигипертензивных препаратов на функцию почек, исследование желательно проводить до их назначения.

Проведение динамической нефросцинтиграфии является обязательным этапом обследования больных с повышенным артериальным давлением. При этом нормальный результат исключает необходимость последующих исследований, направленных на поиск реноваскулярных расстройств.

При эссенциальной гипертонии сцинтиграммы почек, как правило, имеют нормальную форму и количественные параметры. Корковый кровоток через нефроны симметрично снижается лишь на поздних стадиях и улучшается при назначении ингибиторов ангиотензинпревращающего фермента (ИАПФ).

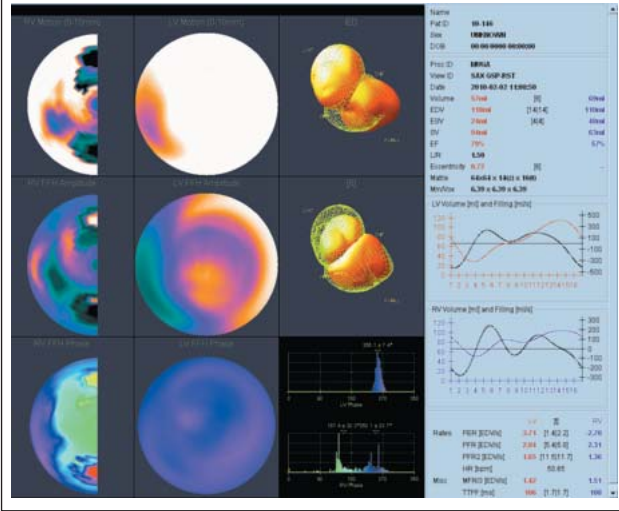
В то же время АГ является основным проявлением целого ряда заболеваний. Реноваскулярная гипертония обнаруживается в 1–2% всех случаев АГ и до 10% случаев резистентной АГ. В 75–90% случаев ее причиной является атеросклероз почечных артерий, в остальных случаях – фибромышечная дисплазия. Среди других причин необходимо отметить аневризму почечной артерии, системные васкулиты (артериит Такаясу и др.), артериовенозные фистулы, подкапсульную гематому почки, экстравазальную компрессию, стенозы после трансплантаций и др.

В настоящее время существует множество разных методик, позволяющих выявлять реноваскулярную гипертонию. До настоящего времени «золотым стандартом» в установлении анатомических причин является рентгеноконтрастная ангиография, хотя в последние годы повышается роль магнитно-резонансно-томографической (МРТ) и КТ-ангиографии. Однако только радионуклидное исследование почек в сочетании с ИАПФ каптоприлом позволяет оценить функциональную значимость стеноза почечной артерии.

За 3 дня до проведения каптоприловой пробы пациенту отменяют диуретические препараты, за 2 дня – каптоприл, за неделю – пролонгированные ИАПФ. Исследования проводят дважды – до приема каптоприла и через час после приема. ИАПФ участвуют в патофизиологических механизмах, влияющих на почечную гемодинамику при стенозе почечной артерии. Известно, что при гемодинамически значимом стенозе почечной артерии падают клубочковое фильтрационное давление и давление в афферентных артериолах клубочков пораженной почки. Это приводит к активации юкстагломерулярного аппарата, выбросу ренина и образованию ангиотензина II – мощного прессорного фактора, поддерживающего фильтрационное давление, в том числе с помощью избирательного воздействия на эфферентные артериолы ишемизированной почки. Введение каптоприла вызывает резкое падение концентрации ангиотензина II, что ведет к снижению тонуса выносящих артериол, уменьшению давления внутри клубочков и падению СКФ на стороне стеноза. В результате на ренограмме пораженной почки отмечается ухудшение временных показателей (независимо от того, были они изначально нормальными или патологическими) с задержкой поступления РФП и снижением его захвата в отличие от другой почки, где кривая не изменяется (рис. 5).

Следует отметить, что положительная проба с каптоприлом не является прямым указанием на наличие стеноза, а отражает активацию почечной ренин-ангиотензиновой системы. Эта проба может быть положительной при отсутствии значимого стеноза – у больных с гиповолемией, при резком падении артериального давления в ответ на введе-

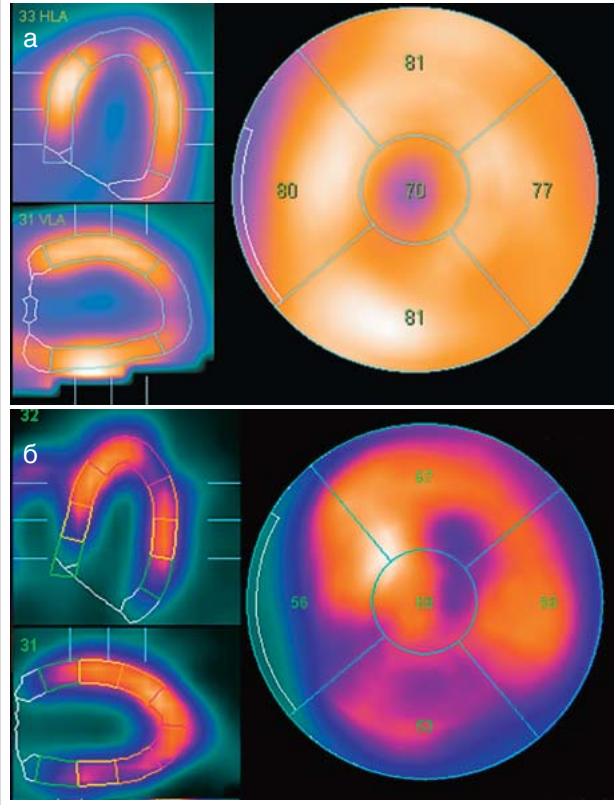
Рис. 2. Данные, получаемые при 4D-томовентрикулографии: слева направо – амплитуда сокращения ПЖ и ЛЖ, объемные изображения желудочков, фазовые изображения, параметры объемов, кривые объема и наполнения, параметры систолической и диастолической функции.



ние каптоприла, а также в случаях, когда пациенту не были отменены диуретические препараты. Асимметричные гистограммы могут также отмечаться при отсутствии стеноза почечной артерии, если больной уже принимает ИАПФ. В этом случае необходимо повторить исследование функции почек через неделю после отмены препарата. При наличии двустороннего стеноза почечных артерий и стеноза артерии единственной почки пробу с каптоприлом применять нецелесообразно, поскольку патогенетические механизмы развития АГ в этих ситуациях несколько иные. Для проведения каптоприловой пробы оптимальным является ^{99m}Tc -ДТПА; ^{99m}Tc -МАГЗ рекомендуется использовать у пациентов с выраженными нарушениями функции почек, в том числе при сморщенной почке.

Хронические заболевания почечной паренхимы являются наиболее частой причиной симптоматической АГ. Она развивается у больных с острым и хроническим гломерулонефритом, хроническим интерстициальным нефритом, хроническим пиелонефритом, диабетической и подагрической нефропатиями, системной красной волчанкой, амилоидозом, при опухолях и поликистозе почек, а также почечной недостаточности любой этиологии. В этих ситуациях статическая скintiграфия почек с ^{99m}Tc -ДМСА полезна для выявления ишемии почечных сегментов, которая проявляется локальными дефектами перфузии. Нарушение функции таких зон подтверждается при динамической нефросцинтиграфии. Сцинтиграфия почек позволяет визуализировать кисты и рубцы паренхимы почек, проводить дифференциальную диагностику воспалительных и рубцовых изменений. Так, для инфекционных процессов характерно уменьшение дефектов аккумуляции РФП в результате эффективного

Рис. 3. Распределение ^{123}I -МИБГ в миокарде ЛЖ: а – в норме; б – при АГ.



лечения в отличие от рубцовых изменений. Воспалительные изменения почек хорошо видны при исследовании с ^{99m}Tc -пирофосфатом. Как уже упоминалось, для дифференциальной диагностики истинного очагового включения РФП в паренхиму почки от аналогичного включения при уростазе применяют пробу с фуросемидом. В первом случае интенсивность накопления РФП не изменяется, во втором – снижается.

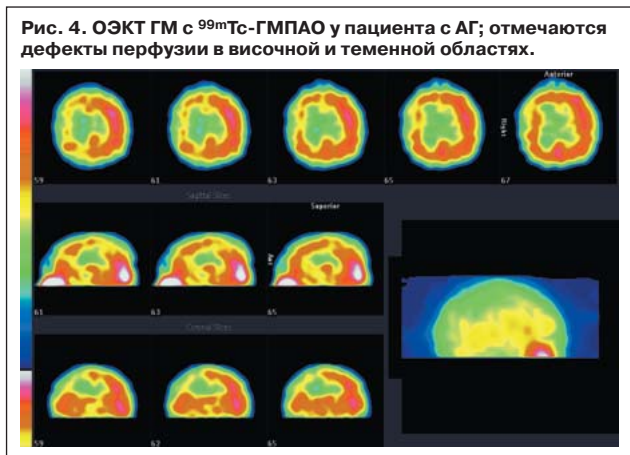
Радионуклидная визуализация при феохромоцитоме

Феохромоцитома – редкая опухоль диффузной нейроэндокринной системы (APUD). Она является причиной АГ менее чем в 1% случаев, однако характеризуется тяжелым течением АГ: с гипертоническими кризами, головной болью, потливостью, обильным потоотделением и сердцебиением. Все эти симптомы обусловлены повышенным содержанием в крови катехоламинов, производимых опухолью. Феохромоцитома – одна из немногих причин АГ, поддающихся хирургической или лучевой терапии. Первичная диагностика феохромоцитомы включает измерение катехоламинов и метанефринов в моче в течение 24 ч, в некоторых случаях требуется тест угнетения

Табл. 3. Сравнительные характеристики нефрологических диагностических РФП

РФП	Точка приложения	Метод	Нормальные значения			
			T_{\max} , мин	$T_{1/2}$, мин	СКФ, мл/мин	ЭПП, мл/мин
^{131}I -, ^{123}I -гиппуран	80% – каналцы	Определение клиренса РФП, динамическая скintiграфия, ангиография	4,5	8	–	–
^{99m}Tc -МАГЗ	100% – каналцы		4	10	–	310–350
^{99m}Tc -ДТПА	100% – клубочки		6	12	110–130	–
^{99m}Tc -ДМСА, ^{99m}Tc -глюкогептонат	Корковый слой, проксимальные каналцы	Статическая скintiграфия (тубулярная функция, оценка структурных поражений, жизнеспособности)	–	–	–	–

Примечание. T_{\max} – время наступления максимальной концентрации; $T_{1/2}$ – период полувыведения.



клонидином. При достаточном клиническом и биохимическом основании выполняют визуализацию образования с помощью МРТ или КТ, ультразвукового исследования. Несмотря на бесспорную анатомическую ценность, ни один из этих методов не способен определить степень активности найденного образования. В ряде случаев феохромоцитомы локализуется вне надпочечников (параганглиомы), что крайне затрудняет ее топическую диагностику. Именно поэтому радиоизотопное исследование с ^{123}I -МИБГ является ключевым в этой ситуации, поскольку позволяет получать функциональные изображения всего тела (рис. 6).

^{123}I -МИБГ накапливается в адренергических тканях по всему телу, в том числе в метастазах. Стандартный протокол исследования включает сканирование всего тела через 4 ч после введения РФП и получение прицельных планарных сцинтиграмм через 24, 48 ч и при необходимости – через 72 ч (рис. 7).

В отдельных случаях в дополнение к сцинтиграфии через 48 ч целесообразно выполнение ОЭКТ/КТ целевой зоны для уточнения анатомического расположения почек и надпочечников. Ввиду сложности выполнения сцинтиграфии с ^{123}I -МИБГ необходимо четко определить показания к этому исследованию. Как правило, оно выполняется в качестве последнего, заключительного метода, после тщательного клинического, лабораторного и диагностического обследования. Можно выделить три группы пациентов, которым показано проведение сцинтиграфии с ^{123}I -МИБГ:

- Сочетание тяжелой АГ кризового течения, наличия новообразования в надпочечниках или вне их типичной локализации по данным КТ или МРТ, повышения уровня фракционированных метанефринов.
- То же, но без АГ.
- То же при наследственных нейроэндокринных синдромах.

Поглощение МИБГ первичной, функционирующей опухолью наблюдается более чем в 90% случаев и является патогномоничным процессом. Общая чувствительность сцинтиграфии с ^{123}I -МИБГ в обнаружении феохромоцитомы достигает 80–90%, при ОЭКТ – приближается к 100%. У пациентов с вненадпочечниковой локализацией образований, а также в детском возрасте имеется высокая вероятность злокачественного течения. Вследствие этого у них обязательна в дальнейшем оценка уровня катехоламинов, которая при повышении или сомнительных результатах должна быть дополнена сцинтиграфией с ^{123}I -МИБГ. Специфичность сцинтиграфии с ^{123}I -МИБГ составляет 95–100%, но чувствительность ниже, чем у КТ и МРТ – 80–100%, что в основном зависит от размера опухоли. Сцинтиграфия с ^{123}I -МИБГ обеспечивает дополнительный способ локализации параганглиом, эффективный даже при искажении анатомии из-за роста опухоли или предыдущих операций. МИБГ играет важную роль не только в диагностике, но и лучевой терапии: если опухоль

Рис. 5. Динамическая сцинтиграфия почек, положительная проба с каптоприлом (признаки стеноза правой почечной артерии): а – до введения каптоприла; б – после введения каптоприла.

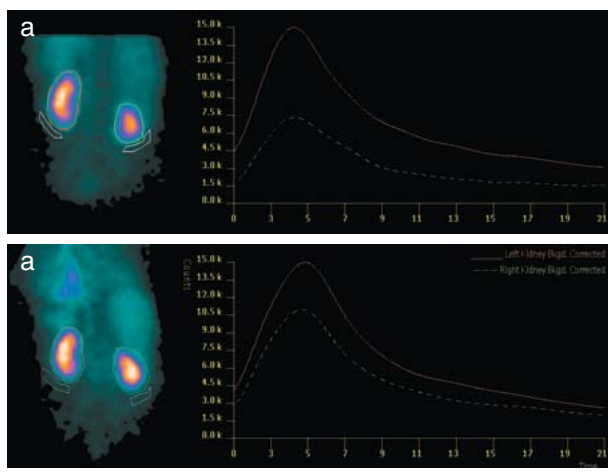


Рис. 6. Выявление параганглиомы при нейротропной ОЭКТ в сочетании с КТ. Слева направо – сцинтиграфия в режиме «все тело», ОЭКТ/КТ в объемных и мультипланарных режимах [12].

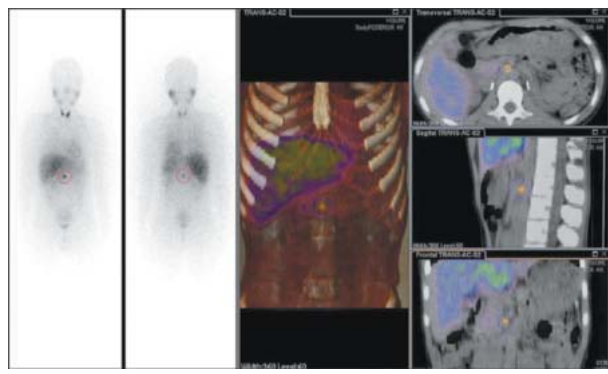
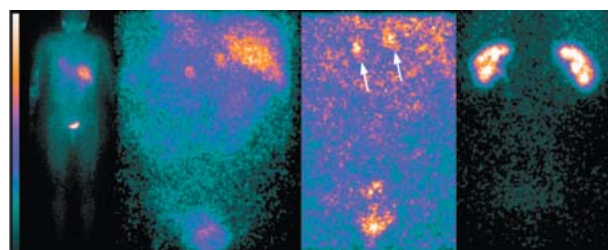


Рис. 7. Протокол исследования с ^{123}I -МИБГ для выявления феохромоцитомы включает сканирование всего тела через 4 ч после введения РФП, прицельную сцинтиграфию через 24 и 48 ч, контроль положения почек после завершения последнего исследования с помощью минимальной активности РФП ^{99m}Tc -ДТПА или ^{99m}Tc -МАГЗ. У данного пациента выявлено двустороннее образование надпочечников, продуцирующее катехоламины (стрелки).



накапливает МИБГ, то она поддается терапии эффективными дозами ^{131}I -МИБГ с обнадеживающими результатами, при этом накопление МИБГ при последующей повторной сцинтиграфии снижается.

Аналогичные возможности в визуализации феохромоцитомы имеет сцинтиграфия с ^{111}In -пентетреотидом, которая также имеет чувствительность 80–90% в диагностике феохромоцитомы и должна применяться при отсутствии МИБГ, или если его результаты отрицательные при наличии серьезных клинических подозрений.

Сцинтиграфия с ^{123}I -МИБГ является высокоинформативным методом для выявления феохромоцитомы и параганглиомы, однако в последнее время возрастает роль

ПЭТ, и особенно ПЭТ/КТ. ПЭТ с 18F-ФДГ (18 F-фтордезоксиглюкоза) представляет собой важный метод визуализации многих злокачественных образований, но он все еще не рекомендован в качестве методов первой значимости для локализации феохромоцитомы, хотя его чувствительность и специфичность приближается к 100%. Некоторые МИБГ-отрицательные феохромоцитомы накапливают ФДГ, показано преимущество ФДГ в оценке эффекта лучевой терапии с ^{131}I -МИБГ. Таким образом, если у пациента имеются серьезные подозрения на феохромоцитому, но КТ, МРТ или МИБГ не позволяют определить источник, следует выполнить ПЭТ с ФДГ. При ПЭТ большинство феохромоцитом также накапливают ^{11}C -гидроксиэфед-

рин (^{11}C -HED). Кроме того, нейроэндокринные опухоли, как правило, способны декарбоксилировать аминокислоты и их биогенные амины, что позволяет использование ПЭТ с 18F-диоксифенилаланином (18F-ДОФА) или 18F-фтордофамином (18F-ДОПА).

Таким образом, суммируя сказанное, необходимо подчеркнуть высокую клиническую ценность радионуклидной диагностики у больных АГ разной этиологии. Радионуклидная диагностика располагает целым спектром различных методов, предоставляющих ценную диагностическую и прогностическую информацию касательно органов-мишеней АГ, отражающую их перфузию, функцию и другие патологические процессы на клеточном и молекулярном уровне.

Литература/References

1. Шальнова С.А., Кукушкин С.К., Манюшкина Е.М. и др. Артериальная гипертензия и приверженность терапии. *Врач.* 2009; 12: 39–42. / Sha'l'nova S.A., Kukushkin S.K., Manoshkina E.M. i dr. Arterial'nai'a gipertenziia i priverzhennost' terapii. *Vrach.* 2009; 12: 39–42. [in Russian]
2. Чазова И.Е., Ратова Л.Г., Бойцов С.А. и др. Диагностика и лечение артериальной гипертонии (Рекомендации Российского медицинского общества по артериальной гипертонии и Всероссийского научного общества кардиологов). Системные гипертонии. 2010. 7 (3): 5–26. / Chazova I.E., Ratova L.G., Boitsov S.A., Nebieridze D.V. Recommendations for the management of arterial hypertension Russian Medical Society of Arterial Hypertension and Society of Cardiology of the Russian Federation. *Systemic Hypertension.* 2010; 7 (3): 5–26. [in Russian]
3. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А. Томографические методы в оценке перфузии миокарда. *Вестн. рентгенологии и радиологии.* 2010; 3: 10–4. / Sergienko V.B., Ansheles A.A. Tomograficheskie metody v otsenke perfuzii miokarda. *Vestn. rentgenologii i radiologii.* 2010; 3: 10–4. [in Russian]
4. Аншелес А.А., Сергиенко В.Б. Томографические методы диагностики при оценке перфузии миокарда у больных с ишемической болезнью сердца. *Мед. радиология и радиационная безопасность.* 2011; 3: 74–9. / Ansheles A.A., Sergienko V.B. Tomograficheskie metody diagnostiki pri otsenke perfuzii miokarda u bol'nykh s ishemicheskoi bolezni'u serdtsa. *Med. radiologiya i radiatsionnaia bezopasnost'.* 2011; 3: 74–9. [in Russian]
5. Сатлыкова Д.Ф., Шашкова Н.В., Герасимова В.В. и др. Сравнительная оценка показателей ремоделирования, объемных скоростей гемодинамики систолы и диастолы левого желудочка у пациентов с сохраненной и сниженной его фракцией выброса по данным 4D-томографики. *Сердечная недостаточность.* 2013; 4: 171–80. / Satlykova D.F., Shashkova N.V., Gerasimova V.V. i dr. Sravnitel'nai'a otsenka pokazatelei remodelirovaniia, ob'emnykh skorostei gemodinamiki sistoly i diastoly levogo zheludochka u patsientov s sokhranenoii i snizhennoi ego fraktsiei vybrosa po dannym 4D-tomografii. *Serdchnaia nedostatochnost'.* 2013; 4: 171–80. [in Russian]
6. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А., Шульгин Д.Н. и др. Методические рекомендации: перфузионная сцинтиграфия и ОЭКТ миокарда. *Кардиол. вестн.* 2015; 2: 6–21. / Sergienko V.B., Ansheles A.A., Shul'gin D.N. i dr. Metodicheskie rekomendatsii: perfuzionnaia stsintigrafia i OEKT miokarda. *Kardiolog. vestn.* 2015; 2: 6–21. [in Russian]
7. Аншелес А.А. Особенности интерпретации перфузионной однофотонной эмиссионной компьютерной томографии миокарда с компьютерно-томографической коррекцией поглощения. *Вестн. рентгенологии и радиологии.* 2014; 2: 5–20. / Ansheles A.A. Osobennosti interpretatsii perfuzionnoi odnofotonnoi emissioinnoi komp'yuternoi tomografii miokarda s komp'yuterno-tomograficheskoi korrreksiei pogloshcheniia. *Vestn. rentgenologii i radiologii.* 2014; 2: 5–20. [in Russian]
8. Сергиенко В.Б., Бугрий М.Е. Роль радионуклидной 4D-томографии в диагностике нарушений насосной функции сердца. *Радиология-практика.* 2009; 4: 18–33. / Sergienko V.B., Bugrii M.E. Rol' radionuklidnoi 4D-tomografii v diagnostike narushenii nasosnoi funktsii serdtsa. *Radiologiya-praktika.* 2009; 4: 18–33. [in Russian]
9. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А. Радионуклидная диагностика с нейротропными радиофармпрепаратами. М.: ИНФРА-М, 2014. / Sergienko V.B., Ansheles A.A. Radionuklidnaia diagnostika s neirotropnymi radiofarmpreparatami. М.: INFRA-M, 2014. [in Russian]
10. Сергиенко В.Б., Аншелес А.А., Шульгин Д.Н. Применение радиофармпрепарата ^{123}I -МИБГ для радионуклидной диагностики поражений сердца и гормонально активных опухолей (методические рекомендации). *Радиационная онкология и ядерная медицина.* 2012; 2: 46–62. / Sergienko V.B., Ansheles A.A., Shul'gin D.N. Primenenie radiofarmpreparata ^{123}I -MIBG dlia radionuklidnoi diagnostiki porazhenii serdtsa i gormonal'no aktivnykh opukholei (metodicheskie rekomendatsii). *Radiatsionnaia onkologiya i iadernaia meditsina.* 2012; 2: 46–62. [in Russian]
11. Сергиенко В.Б., Горностаев В.В., Бугрий М.Е. и др. Состояние перфузии головного мозга и миокарда у пациентов с артериальной гипертензией и метаболическим синдромом при лечении комбинированным препаратом нолипрел. *Кардиология.* 2006; 6: 28–36. / Sergienko V.B., Gornostaev V.V., Bugrii M.E. i dr. Sostoianie perfuzii golovnogo mozga i miokarda u patsientov s arterial'noi gipertoniei i metabolicheskim sindromom pri lechenii kombinirovannym preparatom noliprel. *Kardiologiya.* 2006; 6: 28–36. [in Russian]
12. Una-Gorospe JA, Munoz-Iglesias J, De Sequera-Rahola M et al. Usefulness of single photon emission computed tomography (SPECT)/computed tomography and radioguided surgery in a patient with recurrent pheochromocytoma. *Indian J Nucl Med* 2013; 28(1): 59–60. PMID: 3764702.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Аншелес Алексей Аркадьевич – канд. мед. наук, ст. науч. сотр. отд. радионуклидной диагностики и ПЭТ ИКК им. А.Л.Мясникова ФГБУ РКНПК. E-mail: a.ansheles@gmail.com
Сергиенко Владимир Борисович – д-р мед. наук, проф., рук. отд. радионуклидной диагностики и ПЭТ ИКК им. А.Л.Мясникова ФГБУ РКНПК. E-mail: vsergienko@yandex.ru