

ВОЗМОЖНОСТИ КАРБОКСИАНГИОГРАФИИ В ПРАКТИКЕ АНГИОЛОГА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

***В. В. Деркач** – [ORCID: 0000-0002-0367-3628]

зав. отд. РХМДиЛ¹

В. Н. Шиповский – [ORCID: 0000-0001-6353-0592]

д.м.н., профессор²

И. М. Калитко – [ORCID: 0000-0002-1698-2999]

зав. отд. ССХ³

¹ООО «Клиника инновационной хирургии»

отделение рентгенхирургических методов диагностики и лечения

141601 Российская Федерация, Московская область, г. Клин, ул. Спортивная, 9, корп. 4

²Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет им. Н.И. Пирогова
(РНИМУ им. Н.И.Пирогова)

кафедра хирургических болезней педиатрического факультета

105077 Российская Федерация, г. Москва, 11-я Парковая ул., 32

³ООО «Клиника инновационной хирургии»

отделение сосудистой хирургии

141601 Российская Федерация, Московская область, г. Клин, ул. Победы, влад. 2, корп. 3

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

- карбоксиангиография
- углекислый газ
- автоматический иньектор углекислого газа
- аллергия на йодсодержащие контрастные вещества
- контрастиндуцированная нефропатия

АННОТАЦИЯ:

Введение: сегодня карбоксиангиография не находит широкого применения по двум основным причинам: невозможность получить сопоставимое с йодсодержащими контрастными веществами (ЙКВ) качество ангиографического изображения без специального программного обеспечения ангиографического оборудования, а также трудоемкость, продолжительность и потенциальная опасность методики «ручного» введения углекислого газа (СО₂). Карбоксиангиография, проводимая с помощью автоматического иньектора СО₂, представляется принципиально новой методикой, лишенной описанных недостатков.

Цель: осветить возможность и безопасность выполнения карбоксиангиографии с использованием автоматического иньектора в различных сосудистых бассейнах.

Материалы и методы: в статье представлены данные о возможностях и безопасности выполнения карбоксиангиографии различных сосудистых бассейнов на основании анализа данных мировой литературы. Также приведены данные о показаниях и противопоказаниях, об особенностях выполнения данной методики. Представлены клинические примеры таких вмешательств, как реваскуляризации различных периферических бассейнов (почечные артерии, артерии нижних конечностей, вены верхних конечностей), первичные и вторичные вмешательства при аневризмах брюшного отдела аорты (EVAR, диагностика эндоликов), формирование соустьев и их разобщение (TIPS, коррекция фистул и АВМ), вмешательства при желудочно-кишечных кровотечениях, имплантация кава-фильтров, а также ряд диагностических процедур.

Выводы: карбоксиангиография с использованием автоматического иньектора может выполняться с диагностической целью и при проведении лечебных эндоваскулярных вмешательств, у пациентов группы высокого операционного риска с контрастиндуцированной нефропатии (КИН) и/или предполагаемой аллергией на ЙКВ. При использовании автоматического иньектора и специального программного обеспечения ангиографического оборудования качество изображения не уступает аналогичному, полученному с использованием ЙКВ.

Для цитирования. Деркач В.В., Шиповский В.Н., Калитко И.М.

«ВОЗМОЖНОСТИ КАРБОКСИАНГИОГРАФИИ В ПРАКТИКЕ АНГИОЛОГА» Ж. ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ И ИНТЕРВЕНЦИОННАЯ РАДИОЛОГИЯ, 2020; 14(4):39–53

CARBOXYANGIOGRAPHY POSSIBILITIES IN ANGIOLOGIST PRACTICE (LITERATURE REVIEW)

*Derkach V.V. – [ORCID: 0000-0002-0367-3628]
MD¹

Shipovsky V.N. – [ORCID: 0000-0001-6353-0592]
MD, PhD, professor²

Kalitko I.M. – [ORCID: 0000-0002-1698-2999]
MD³

¹L.DD «Innovation Surgery Clinic»
department of interventional cardiology and radiology
9 str 4, Sportivnaya str, Klin, Moscow region, Russian Federation, 141601

²N.I.Pirogov Russian National Research Medical University
chair of Surgical Diseases of Pediatric Faculty
32, 11th Parkovaya str., Moscow, Russian Federation, 105077

³L.DD «Innovation Surgery Clinic»
department of vascular surgery
2 str.3, Pobedy str, Klin, Moscow region, Russian Federation, 141601

KEY-WORDS:

- carboxyangiography
- carbon dioxide
- automatic carbon dioxide injector
- Iodinated Contrast Agents allergy
- contrast-induced nephropathy

ABSTRACT:

Introduction: carboxyangiography does not come into extensive use nowadays, due to two fundamental reasons: the impossibility of getting an equitable to Iodinated Contrast Agents (ICA) quality of angiographic image without special angiography system software. Besides, labour intensity, continuance, and potential risks of the methodology of «hand-operated» injection of carbon dioxide. Carboxyangiography made by automatic injector CO₂ appears a fundamentally new technique, free from pointed limitations.

Aim: was to inform possibilities and safety of carboxyangiography with automatic injector in different vascular basins.

Materials and methods: article presents data on possibilities and safety of performing carboxyangiography of various vascular basins, based on the analysis of world literature data. Data on indications and contraindications, on features of this technique are presented. Article also provides clinical examples of such interventions as: revascularization of various peripheral basins (renal arteries, arteries of lower limbs, veins of upper limbs), primary and secondary interventions for abdominal aortic aneurysms (EVAR, diagnostics of endoleaks), formation and disconnection of various fistulas and shunts (TIPS, correction of fistulas and AVMs), interventions for gastrointestinal bleedings, implantation of cava filters, as well as a number of diagnostic procedures.

Conclusions: carboxyangiography with the use of the automatic injector can be performed for diagnostic and treatment endovascular interventions, as well in high operation risk patients with contrast-induced nephropathy (CIN) or/and ICA allergy. In case of use of automatic injector and special angiographic software, image quality is highly competitive with ICA contrast-enhanced imaging.

Введение

Впервые использование углекислого газа (CO₂) в хирургической практике относится к 1921 г., когда Carelli H.H. выполнил работы по введению его в околопочечную клетчатку [1]. В 1928 г. Colle G. опубликовал первое введение двуокиси углерода в венозное русло [2]. Moor R.M. в 1940 г. доказал безопасность введения углекислого газа в левые отделы сердца [3].

Экспериментальное изучение ангиокардиографии углекислым газом было начато в Институте хирургии им. А.В. Вишневского АМН СССР в 1957 году. С 1962 года карбоксиангиографии было уделено особое внимание и перед исследователями были поставлены следующие задачи: уточнить безопасные и рациональные дозы углекислого газа для ангиокардиографии; освоить метод с учетом путей и скорости введения газа; изучить возможность повторных инъекций углекислоты и интервалов между ними; выявить особенности контрастирования углекислым газом правых и

левых отделов сердца; выявить осложнения при непосредственном введении диоксида углерода в коронарные и сонные артерии и др.

С целью изучения влияния углекислого газа на организм при введении его в кровеносное русло с 1962 по 1968 гг. было выполнено 424 инъекции газом 178 животным. Результаты этой работы подробно описаны Ходиевым Э.М. [4,5].

Первые публикации по изучению углекислоты у пациентов с пороками сердца выполнены Тихоновым К.Б. в 1958 г. [6] и Антоновым О.С. в 1964 г. [7].

Первые публикации об использовании углекислого газа в качестве контрастного вещества при портографии и аорто-артериографии нижних конечностей, стентировании почечных, подвздошных артерий и операции ТИПС в РФ опубликованы Шиповским В.Н. с соавт. 2010-2011 гг. [8,9]. При этом авторы использовали методику т.н. «ручного» введения газа в артериальное русло.

Первый опыт использования автоматического инжектора Angiodroid (Италия) в РФ при выполнении как диагностических, так и лечебных вмешательствах на артериях нижних конечностях описан Деркачем В.В. [10,11].

Несмотря на первые оптимистические результаты методика карбоксиангиографии пока не нашла широкого применения в клинической практике. Это связано, прежде всего, с двумя основными факторами. Во-первых, качество ангиографического изображения несколько ниже по сравнению с использованием современных йодсодержащих контрастных препаратов [12]. Однако, современное ангиографическое оборудование позволяет получить изображение высокого качества при использовании углекислоты в комбинации со специальным программным обеспечением.

Во-вторых, методика «ручного» введения газа, используемая большинством авторами до настоящего времени, достаточно трудоёмка и продолжительна. Тем не менее, сейчас на рынке медицинского оборудования появился автоматический шприц-инжектор Angiodroid для автоматического введения углекислого газа, принципиально изменивший трудоёмкую методику «ручного» введения.

Карбоксиангиография позволяет выявить мельчайшие детали строения сосудистого русла нижних конечностей [13]. Кроме клинических преимуществ имеются и экономические - углекислота значительно дешевле, чем обычные современные йодсодержащие контрастные препараты.

Физические свойства углекислого газа

При комнатной температуре углекислый газ является бесцветным, без запаха, негорючим и сжимаемым. Он растворяется в крови в 20 раз лучше, чем кислород, его вязкость в 400 раз меньше, чем йодсодержащих КВ, является конечным продуктом клеточного метаболизма [14].

В обычном состоянии взрослый человек выделяет около 250 мл диоксида углерода в минуту, увеличивая это количество примерно в 5 раз во время физических упражнений. В организме человека углекислый газ присутствует либо в растворенном виде, либо в виде ионов бикарбоната. Карбоангидраза катализирует реакцию образования угольной кислоты из двуокиси углерода и воды. Угольная кислота, в свою очередь, быстро диссоциирует на ионы водорода и бикарбонаты. Бикарбонаты перемещаются в плазму и быстро растворяются. Углекислый газ при высоком парциальном давлении в капиллярной части альвеол быстро утилизируется путем диффузии через их мембрану и удаляется при внешнем дыхании. Он не вызывает специфических аллергических реакций и не оказывает вредного влияния на функцию почек, даже у больных с почечной недостаточностью. Это неоднократно было доказано в исследованиях на собаках, когда не было выявлено никаких изменений в кровотоке, функции

или гистологии почечной ткани после выполнения карбоксиангиографии. Исследования на кроликах также показали безопасность применения и отсутствие гепатотоксичности углекислого газа. Однако, диоксид углерода следует с осторожностью использовать выше диафрагмы, чтобы избежать эмболии в артерии головного мозга. Также следует учитывать, что двуокись углерода повышает давление в легочной артерии, и ее следует использовать с осторожностью у пациентов с легочной гипертензией.

Методика введения углекислого газа

Главный недостаток газообразного контрастного агента заключается в том, что его плотность сравнима с плотностью мягких тканей и жира - это затрудняет визуализацию сосуда. Однако, данный недостаток легко нивелируется благодаря использованию современного программного обеспечения и режима цифровой субтракционной ангиографии (DSA). Во время выполнения карбоксиангиографии рекомендуют устанавливать частоту 3-6 кадров в секунду. Удовлетворительное качество визуализации можно получить и при двух кадрах в секунду без увеличения дозы облучения. Обычное йодсодержащее КВ является жидкостью и, смешиваясь с кровью, распространяется с током крови. Углекислый газ отличается чрезвычайной плавучестью и вытесняет кровь, а не смешивается с ней. Газ будет плавать в крови, если не полностью вытеснит ее из сегмента сосуда. Его вязкость в 400 раз меньше, чем вязкость йодсодержащих КВ. Когда углекислый газ попадает в сосуд, он, как правило, распадается на отдельные пузырьки, и для получения хорошего изображения важно правильно расположить исследуемую область. Кроме того, плавучесть газа заставляет его подниматься к вышележащей по отношению к земле стенке сосуда. Поэтому, при выполнении исследований крупных сосудов (аорты и подвздошных артерий) следует помнить, что недостаточный объем газа не сможет полностью вытеснить кровь из артерии, и изображение будет недостоверным. Нормальные сосуды могут выглядеть меньше, чем их истинный диаметр. Чтобы предотвратить это явление следует либо использовать большее количество газообразного агента, или, используя принцип плавучести, переместить область интереса в возвышенное положение. Также большое значение имеют диаметр катетера и расстояние от кончика катетера до исследуемой области. Необходимо использовать замкнутую систему доставки и обеспечить строгий контроль для предотвращения смешивания углекислого газа с атмосферным воздухом. Вводить газ можно вручную или автоматически. Распространенные методики мануальной инъекции могут вызывать осложнения, так как при подготовке углекислый газ может смешиваться с воздухом. Кроме того, из-за сложности выполнения и зависимости от оператора, изображения, полученные с помощью мануальной инъекции не всегда удовлетво-

рительного качества. При выполнении исследования «от руки» очень трудно контролировать давление газа в шприце и плавность введения во время инъекции, что может вызывать болевую реакцию и стать причиной повреждения сосудистой стенки. Напротив, автоматические инъекторы выдают точно установленные объемы чистого углекислого газа с равномерной скоростью потока. Рекомендуется промывать ангиографический катетер солевым 0,9% раствором NaCl перед инъекцией газом, чтобы обеспечить плавное и быстрое введение. Благодаря своим физическим свойствам, углекислый газ может считаться идеальным контрастным веществом во время проведения многих интервенционных процедур, в том числе баллонной ангиопластики и стентирования артерий нижних конечностей. Из-за быстрого растворения и выведения через легкие, его возможно использовать в максимальной дозе 100 мл каждые две минуты (средний объем одной инъекции при карбоксиангиографии нижних конечностей 20-25 мл). Это дает большое преимущество при сложных рентгенхирургических вмешательствах, когда диоксид углерода может использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с йодсодержащими контрастом, что минимизирует риск развития контраст-индуцированной нефропатии.

К возможным осложнениям внутриартериального введения газа можно отнести преходящую парестезию ног, боли в животе, тенезмы и тошноту. Среднее время выведения углекислого газа, введенного в артерию, через легкие колеблется от 12 секунд до 2 минут. Поэтому, рекомендуемый максимальный объем газа - 100 мл. в инъекции, интервал между инъекциями - 2 минуты. При возникновении любой блокировки газа, он может быть легко удален путем массажа исследуемой области и/или перемещения пациента или конечности. Областями высокого риска для карбоксиангиографии могут считаться легочная артерия, нижняя брыжеечная артерия и брюшная аорта у больных с аневризмой.

Чтобы избежать случайной инъекции газа в артериальное русло, газовый баллон в обязательном порядке должен иметь понижающий редуктор. До тех пор, пока не доказана безопасность карбоксиангиографии при рутинном применении, углекислый газ необходимо использовать с большой осторожностью. Однако можно с уверенностью заявлять, что он является безопасной и эффективной альтернативной йодсодержащим контрастным веществам у пациентов с аллергическими реакциями на йод и йодсодержащие КВ и хронической болезнью почек.

Преимущества углекислого газа

Углекислый газ не вызывает аллергических реакций, в 20 раз более растворим в крови, чем кислород, нетоксичен, рентгенонегативен, его вязкость в 400 раз меньше, чем у йодсодержащих контрастных препаратов. Существует возможно выполнять инъекции на низком

давлении при суперселективной катетеризации, достаточно быстро и без осложнений диффундирует из альвеол лёгких через функцию внешнего дыхания.

Побочные эффекты карбоксиангиографии

Нейротоксичность. Представляет собой наиболее серьезную проблему безопасности внутриартериального введения углекислого газа. Прямая инъекция газа в сонную артерию крыс приводила к разрушению гематоэнцефалического барьера и ишемическому повреждению головного мозга.

Ehrman K.O. [15] в своих исследованиях описал неврологические осложнения у трех пациентов (у двух наблюдались судороги, один потерял сознание), когда углекислый газ попал в позвоночные артерии. Это представляет собой наиболее важное ограничение на использование карбоксиангиографии в артериальной системе. По этой причине, при внутриартериальном введении углекислого газа, не следует использовать его над диафрагмой. Он абсолютно противопоказан для церебральной ангиографии и ангиографии верхних конечностей. Кроме того, внутривенное введение газа противопоказано при наличии кардиальных пороков со сбросом справа налево.

Дыхательная недостаточность. У пациентов с хронической гиперкапнической формой дыхательной недостаточности существует теоретический риск усугубления нарушения выведения углекислоты. Для этих пациентов карбоксиангиография по-прежнему безопасна в использовании, но необходимо уменьшение объема инъекции и увеличение интервала между инъекциями. Углекислый газ образуется в человеческом организме эндогенно примерно в объеме 250 мл/мин, поэтому введение 50 мл/мин CO₂ эквивалентно увеличению эндогенной секреции углекислого газа на 20%, и маловероятно, что такое увеличение может быть клинически значимыми.

Kessel D.O. [16] определяя конечные концентрации углекислого газа у пациентов, перенесших эндоваскулярные вмешательства, выявил незначительное превышение физиологических значений после его введения. Вполне возможно, что эти изменения могут быть просто результатом накопления газа в связи с периодом апноэ во время ангиографии.

Показания к карбоксиангиографии

Показания к карбоксиангиографии пока не сформулированы, а учитывая достаточную безопасность и снижение цен на современные йодсодержащие контрастные препараты, многие исследования в ангиографии целесообразнее выполнять по «классической» методике. Некоторые из современных контрастных агентов, как представляется, имеют менее выраженное нефротоксическое действие и могут быть достаточно безопасны у пациентов с нарушенной функцией почек. Существует несколько исследований, подтверждающих то, что неионный агент йодиксанол (Visipaque) снижает риск контраст-индуцированной нефропатии по сравне-

нию с йогексом. Большой группе больных «высокого риска» сейчас можно заменить инвазивную методику ангиографии на неинвазивную визуализацию.

Ультразвуковые исследования и магнитно-резонансная ангиография (МРА) по праву стали методами первого выбора для выявления множества сосудистых

поражений, но до сих пор они не позволяют выполнять эндоваскулярное вмешательство.

Современное ангиографическое оборудование позволяет получить изображение высокого разрешения, на многие ангиографические аппараты установлены программные пакеты, специально предназначенные для

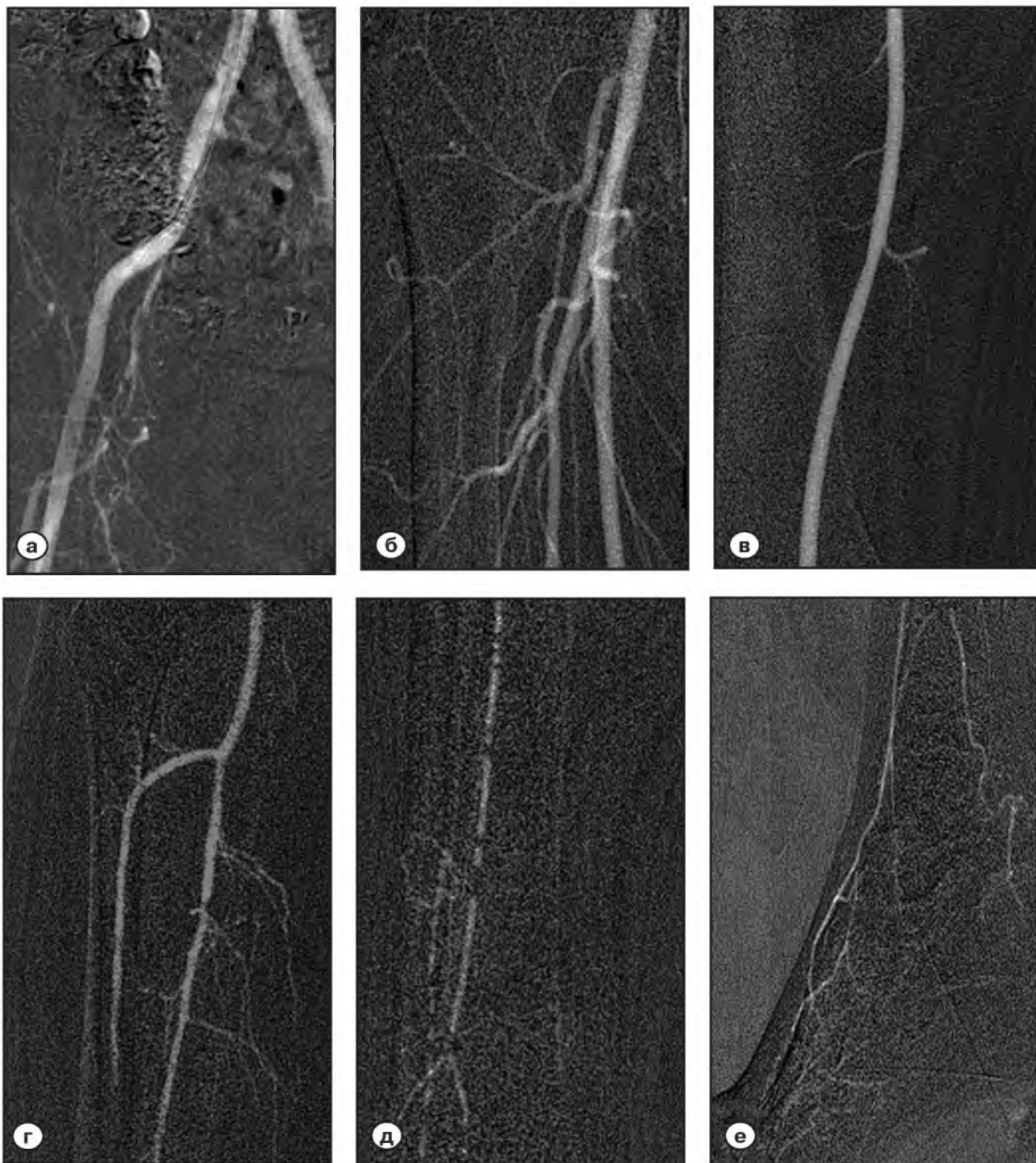


Рис. 1. Карбоксиангиография с «ручным» введением углекислого газа. Ангиографический комплекс с функцией DSA, но без специального программного обеспечения.

карбоксиангиографии. Это позволяет многократно увеличить количество выполняемых исследований. В настоящее время существует несколько новых приложений для диагностических и интервенционных сосудистых вмешательств, в которых углекислый газ имеет определенные преимущества по сравнению с «классическими» методами.

Ангиография с помощью углекислого газа также играет важную роль при обследовании и лечении больных, у которых имеются противопоказания к использованию йодсодержащих КВ и невозможно выполнения МРТ.

Углекислый газ можно использоваться в качестве контрастного вещества в любом сосуде или полостном анатомическом образовании (артерии ниже диафрагмы, вены, желчные протоки, мочевой тракт, полость абсцесса, фистулы).

Таким образом, к основным клиническим показаниям в настоящее время можно отнести следующее:

1. Риск контраст-индуцированной нефропатии у больных хронической почечной недостаточностью. Является ключевым показателем, т.к. углекислота не обладает нефротоксическим и гепатотоксическим действием.
2. Аллергические реакции на йодсодержащие контрастные препараты.
3. Трансъюгулярная портография во время выполнения операции ТИПС (трансъюгулярное порто-системное шунтирование). При введении углекислого газа в печёночную вену при положении катетера в позиции «заклинивания» происходит диффузия газа через клеточную мембрану в портальную систему и, таким образом, возникает шанс идентификации воротной вены. Это имеет важнейшее значение для навигации пункционной иглы во время проведения операции ТИПС.
4. Желудочно-кишечное кровотечение. Очень низкая вязкость углекислого газа помогает обнаружить артериальное кровотечение не обнаруживаемое при обычной селективной ангиографии. Особенно важно это при кишечном кровотечении ниже связки Трейца (нижнее желудочно-кишечное кровотечение).

Клинические показания могут потенцироваться в ряде случаев и показаниями экономическими. Связано это с тем, что в отличие от традиционных жидких контрастных препаратов карбоксиангиография многократно менее затратна экономически.

Обсуждение

Ангиографические исследования с углекислым газом

В качестве примеров можно привести ангиограммы пациентов, на которых визуализированы подвздошный, бедренно-подколенный и голеностопный сегмен-

ты. На обеих сериях (рис. 1а-е, 2а-е) тени сосудистого русла хорошо различимы и позволяют оценить диаметр артерии, уровень и протяженность поражения сосудистого русла. На обоих примерах визуализация сосудистого русла достаточна для установки точного диагноза и определения тактики ангиохирургической реконструкции.

Однако, когда ангиограммы выполнены с помощью автоматического инъектора углекислого газа и на ангиографическом комплексе установлен специальный пакет программного обеспечения, карбоксиангиография становится более безопасным, комфортным и простым в исполнении методом исследования, а изображения позволяют изучить мельчайшие детали сосудистого рисунка зоны интереса.

Трансъюгулярная портография

Исследование воротной системы с использованием трансъюгулярного доступа и заклинивания катетера в притоках печёночной вены позволяет безопасно получить точную информацию как о притоках воротной вены (селезёночная, брыжеечные вены), так и о её ветвях. Карбоксипортография может осуществляться как в виде солевой диагностической процедуры для оценки, прежде всего проходимости ствола воротной вены и её ветвей, так и при выполнении этапов эндоваскулярных операций на воротной вены (прежде всего ТИПС).

Примером карбоксипортографии, выполненной д.м.н., профессором Шиповским В.Н., Пациенту Н., 1985 г.р., с циррозом печени, ВГВ, асцитом и портальной гипертензией, может служить (рис. 3).

Диагностическая ангиография бедренной артерии выполнена лучевым доступом

Ангиография нижних конечностей может выполняться только под контролем углекислого газа (zero iodine), однако, пациенты считают ее менее комфортной, нежели исследование, выполненное с использованием обычных контрастных веществ. Это особенно актуально у больных с критической ишемией. Диагностическая точность в выявлении стенозов и окклюзий не уменьшается по сравнению с йодсодержащими КВ.

Качество изображения существенно улучшается при селективных инъекциях углекислого газа в каждую ногу. Рекомендуется придавать ногам возвышенное положение, и, в некоторых случаях, использовать нитроглицерин для более плотного заполнения газом артерий голени. Основные трудности получения качественного изображения обусловлены движением конечности из-за дискомфорта пациента и возможного болевого синдрома. Использование автоматического инъектора углекислого газа позволяет контролировать давление и плавность инъекции, что существенно снижает степень дискомфорта и уровень болевого синдрома. На рисунке 4 (а,б) представлены ангиограммы Пациента М., 1941 г.р., с ишемией, угрожающей конечности. В результате исследования, как с



Рис. 2. Карбоксиангиография с введением углекислого газа с использованием автоматического иньектора Angiodroid. Ангиографический комплекс с функцией DSA и оснащен программным пакетом CO₂ special.



Рис. 3. CO₂ введен через катетер установленный в печёночной вене, а идентифицируется воротная вена.

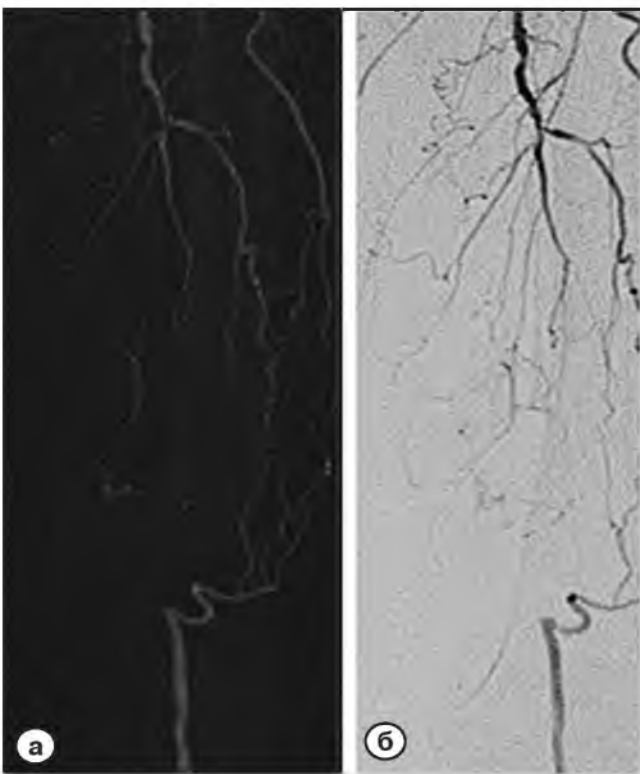


Рис. 4. а – Карбоксиартериограмма пациента с окклюзией поверхностной бедренной артерии и использованием автоматического инжектора для CO₂ Angiodroid (слева), диагностический катетер 125 см - 5F, объем 30 мл, P= 180 мм рт.ст), ангиокомплекс Philips Allura FD20, режим CO₂ special; б – артериограмма этого же пациента при введении контрастного препарата Омнипак-300, объем-10 мл, скорость 6 мл/сек, разведение 1:1.

использованием йодсодержащего контрастного вещества, так и с использованием автоматического инжектора углекислого газа, выявлена окклюзия поверхностной бедренной артерии, визуализированы коллатерали и четко контрастируется дистальное русло, пораженной конечности.

Эндоваскулярные операции под контролем углекислого газа

Рентгенхирургические вмешательства на периферических артериях

Использование диоксида углерода при периферических интервенциях является единственной альтернативой у пациентов с противопоказаниями к йодсодержащим КВ. Выполнение карбоксиангиографии у пациентов без тяжелой сопутствующей патологии позволяет минимизировать риск негативного влияния на почечную функцию, снижает затраты на процедуру ангиографии и не ухудшает диагностическую значимость исследования.

На **рисунке 5** можно видеть итоговую карбоксиангиограмму Пациента Г. 1956 г.р. после реканализации, баллонной ангиопластики и стентирования правой общей подвздошной артерии.



Рис. 5. Карбоксиангиография аорто-подвздошного сегмента после имплантации стента в правую подвздошную артерию. Выполнена с использованием автоматического инжектора для введения CO₂ Angiodroid (Италия). Гайд-интродьюсер 120 см- 6F, объем 50 мл, P=250 мм рт.ст), ангиокомплекс Philips Allura FD20, режим CO₂ special.

На ангиограмме четко видна структура стента, место его имплантации, можно оценить отсутствие экстравазации контрастного вещества, диссекции проксимальнее и дистальнее стента.

Баллонная ангиопластика артерий голени

На рисунке 6 (а-е) продемонстрированы этапы эндоваскулярной реконструкции – реканализации и баллонной ангиопластики – артерий левой голени у Пациентки

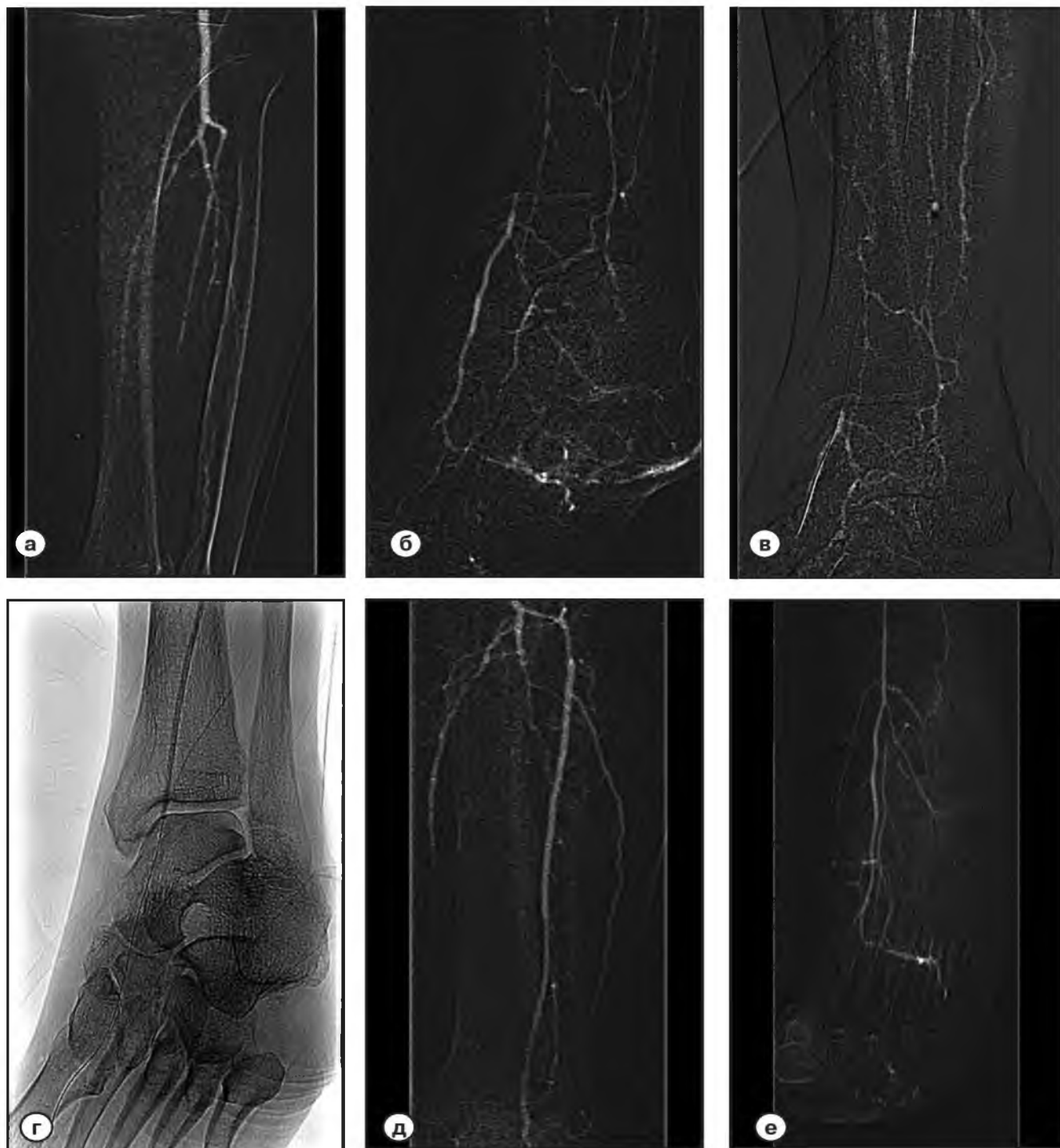


Рис. 6. а,б – селективная карбоксиангиография у пациентки с синдромом диабетической стопы и ХБП. Интродьюсер 6F-11sm.
в – реканализация ПББА;
г – баллонная ангиопластика ПББА;
д,е – итоговый результат реканализации и баллонной ангиопластики ПББА;
Операция выполнена с использованием автоматического инжектора CO₂; Angiodroid (интродьюсер 6F-11sm). Ангиокомплекс Philips Allura FD20, режим CO₂ special.

А., 1942 г.р., с синдромом диабетической стопы и ХБП, ишемией, угрожающей левой нижней конечности. На первых двух ангиограммах четко определяется зона поражения сосудистого русла, окклюзия ПББА, далее четко детализируется проводник, заведенный за зоны поражения в истинный просвет сосуда, дистальное поражение, этапы баллонной ангиопластики. На контрольных снимках – просвет ПББА восстановлен, диссекции, экстравазации контрастного вещества не визуализируются, детально контрастируется сосудистое русло стопы.

Эндоваскулярное лечение

пациентов с аневризмой брюшного отдела аорты

Пациенты с аневризмой брюшного отдела аорты обычно пожилого возраста и с нарушенной выделительной функцией почек. Для хорошего позиционирования стент-графта, его раскрытия и контроля имплантации необходимо выполнение серии ангиографий с высокими объемами контрастных препаратов. Это увеличивает риск развития контраст-индуцированной нефропатии и может увеличить сроки госпитализации пациента. Используя в качестве контрастного агента

углекислый газ, можно значительно уменьшить объем йод-содержащих КВ и снизить риск развития контраст-индуцированной нефропатии. Во время процедуры EVAR точность позиционирования и определение устья почечных артерий имеет принципиальное значение для того, чтобы расположить эндопротез в правильном положении. Следует учитывать, что почечные артерии, как правило, расположены кзади от аорты, их трудно визуализировать с помощью углекислого газа в положении пациента лежа на спине.

Таким образом, укладку пациента следует выполнять так, чтобы воспользоваться физическими свойствами и плавучестью газа, т.е. поворачивая пациента вправо и влево, так же рекомендуется оставлять пациента в положении Trendelenburg для того, чтобы предотвратить заброс газа выше диафрагмы [17]. Примеры имплантации стент-графта приведены на **рисунке 7 (а,б)**.

Для сравнения представлена карбоксиангиограмма пациента после EVAR, выполненная на базе Policlinico Sant'Orsola-Malpighi, Bologna, Italy. И наш первый опыт имплантации стент-гафта с использованием автомати-



Рис. 7. а – процедура EVAR у пациента с аневризмой брюшного отдела аорты и хронической почечной недостаточностью. Операция выполнена с использованием автоматического инжектора CO₂ Angiodroid (диагностический катетер 110 см- 5F); Хирург Pr. Mauro Gargiulo, Policlinico Sant'Orsola-Malpighi, Bologna, Italy.
б – процедура EVAR у пациента с аневризмой брюшного отдела аорты и хронической почечной недостаточностью. Операция выполнена с использованием автоматического инжектора CO₂ Angiodroid (диагностический катетер 125 см- 5F). Ангиокомплекс Philips Allura FD20, режим CO₂ special; Хирург Деркач В.В., ООО «КИХ», г. Клин.

ческого иньектора углекислого газа в клинике инновационной хирургии г. Клин, МО. Оба снимка абсолютно информативны, что говорит о воспроизводимости такого способа контроля, безопасности для пациента и комфорте для хирургической бригады.

Диагностика эндоликков после процедуры EVAR

Благодаря чрезвычайно низкой вязкости углекислого газа и способности выявлять мельчайшие повреждения сосудистой стенки, карбоксиангиография может успешно использоваться при диагностике эндоликков при выполнении EVAR. Тот факт, что углекислый газ вытесняет кровь, способствует обнаружению небольших эндоликков II типа, которые затруднительно определить другими способами.

Вмешательства на почечных артериях

Пациенты после трансплантации почек особенно уязвимы в плане контраст-индуцированной нефропатии в результате ранее перенесенных микрососудистых заболеваний, возможных эпизодов отторжения и гиперчувствительности к токсическому действию препаратов. Углекислый газ имеет несомненные преимущества перед йодсодержащими КВ, так как может быть использован в достаточно больших количествах и может быть введен непосредственно в почечную артерию, не опасаясь ухудшения функции почек. На **рисунке 8 (а-г)** представлены ангиограммы Пациента Г., 1959 г.р., со стенозом правой почечной артерии, иллюстрирующие этапы баллонной ангиопластики и стентирования почечной артерии с помощью карбоксиангиографии.

Операция ТИПС

Основные этапы выполнения операции трансъюгулярного порто-системного шунтирования (TIPS). Самый сложный этап процедуры TIPS - пункция портальной вены. Чреспеченочная карбоксипортография – метод контрастирования воротной системы печени путем введения углекислого газа в печеночную вену – играет ключевую роль в верификации анатомического расположения ветвей воротной вены. Из-за своей низкой вязкости, диоксид углерода легко проходит через печеночные структуры и, таким образом, является гораздо более эффективным контрастным агентом по сравнению с йодсодержащими КВ. Катетер в печеночной вене должен быть без боковых отверстий и находиться в положении заклинивания. Использование автоматических систем для карбоксиангиографии предотвращает введение чрезмерно больших доз газа и непреднамеренного введения атмосферного воздуха. Исследование проводится при задержке пациентом дыхания. Так же возможно использовать углекислый газ при выполнении прямой портографии до и после установки стента и на различных этапах дилатации тракта.

При выполнении TIPS углекислый газ незаменим у пациентов с риском контраст-индуцированной нефропатии и аллергией на йодсодержащие контрастные препараты. На **рисунке 9** представлены карбоксипорто-

граммы Пациента Н., 1985 г.р., иллюстрирующие этапы процедуры.

Другие области применения карбоксиангиографии

Диагностические и лечебные вмешательства на центральных венах верхних конечностей

Считается, что для выявления поражений центральных вен верхних конечностей флебография имеет преимущество перед КТ. Тот факт, что углекислый газ является менее вязким агентом по сравнению с йодсодержащими КВ, позволяет ему проникать во все коллатерали, полнее и быстрее заполнять исследуемый участок вены, тем самым значимо улучшая качество изображения и диагностическую ценность. Так как введение углекислого газа в вены тыла кисти болезненно, предпочтительнее использовать локтевую вену. Карбоксифлебографию можно успешно использовать как с диагностической целью, так и в процессе планирования и выполнения различных вмешательств, включая установку центрального венозного катетера, баллонной ангиопластики и стентирования центральных вен.

Артериовенозные фистулы

Благодаря своей низкой вязкости углекислый газ может использоваться в качестве контрастного вещества для фистулографии у гемодиализных больных. Чтобы качественно оценить работу фистулы для гемодиализа, необходимо расположить пациента в положении лежа на спине с приподнятой вверх рукой, ее можно расположить на подушке. Чтобы выполнить карбоксиангиографию венозной части анастомоза и центральных вен достаточно 40 мл углекислого газа. Скорость инъекции должна быть выбрана таким образом, чтобы предотвратить заброс газа в лучевую, плечевую и подключичную артерии, т.к. это может привести к ряду осложнений, например, парестезии кисти или неврологическим осложнениям.

Острое желудочно-кишечное кровотечение

При попадании углекислого газа в кишечник происходит его быстрое увеличение в объеме в форме пузыря. С помощью карбоксиангиографии возможно обнаружить как посттравматическое, так и геморрагическое кровотечение из желудочно-кишечного тракта.

Таким образом, на серии карбоксиангиограмм реально обнаружить источник кровотечения по этим характерным признакам. Учитывая тяжесть таких больных и нестабильную гемодинамику, время диагностики и сроки вмешательства имеют решающее значение. В большинстве случаев углекислый газ способен выявить кровотечение, которое не обнаруживается на обычной ангиографии. Из-за низкой вязкости газ легко проходит через спазмированные сосуды и мелкие коллатерали. При выполнении карбоксиангиографии пациенту с желудочно-кишечным кровотечением следует учитывать, что качество изображения сильно зависит от спокойного положения больного. У возбужденных, нестабильных больных не способных задержи-

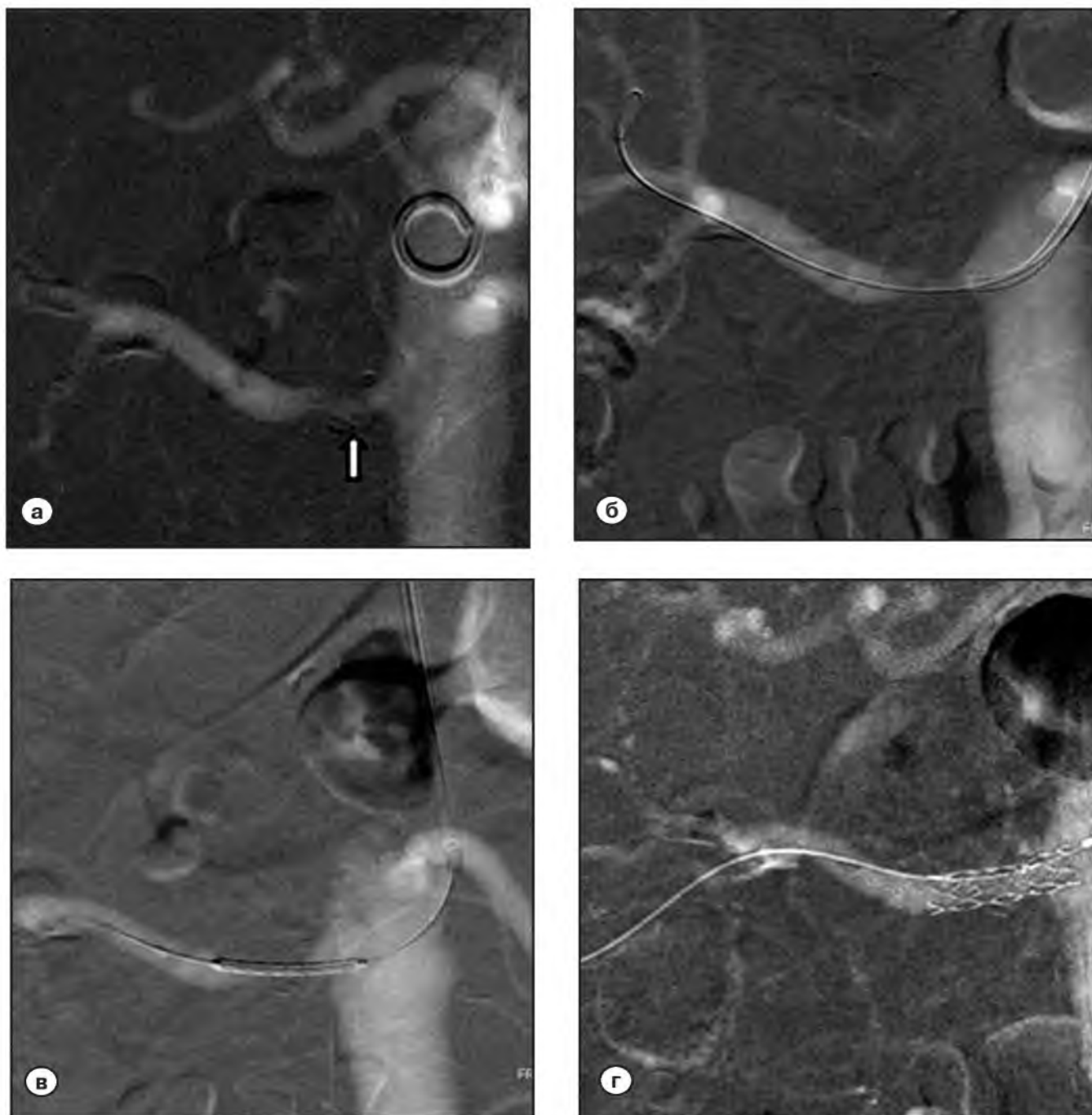


Рис. 8. а – карбоксиаортография. Верифицирован стеноз правой почечной артерии;
 б – карбоксиграмма. Этап катетеризации почечной артерии;
 в – карбоксиграмма. Позиционирование стента 5 мм x 16 мм;
 г – контрольная карбоксиграмма после имплантации стента.

вать дыхание и неподвижно переносить исследование, получить качественное изображение может быть затруднительно. В исследовании, включавшем 27 пациентов с подозрением на артериальное кровотечение из желудочно-кишечного тракта, выявить источник кровотечения удалось в 44% случаев, используя карбоксиангиографию, и только у 14% с помощью йодсодержащих КВ [18].

Артериовенозные мальформации

Рутинно углекислый газ для оценки и лечения сосудистых мальформаций не используется. Однако, предполагается, что из-за высокой плавучести и низкой вязкости диоксида углерода, он может обеспечить более подробную информацию об артериовенозных соединениях, чем йодсодержащие контрастные препараты. Так же благодаря карбоксиангиографии, можно обна-

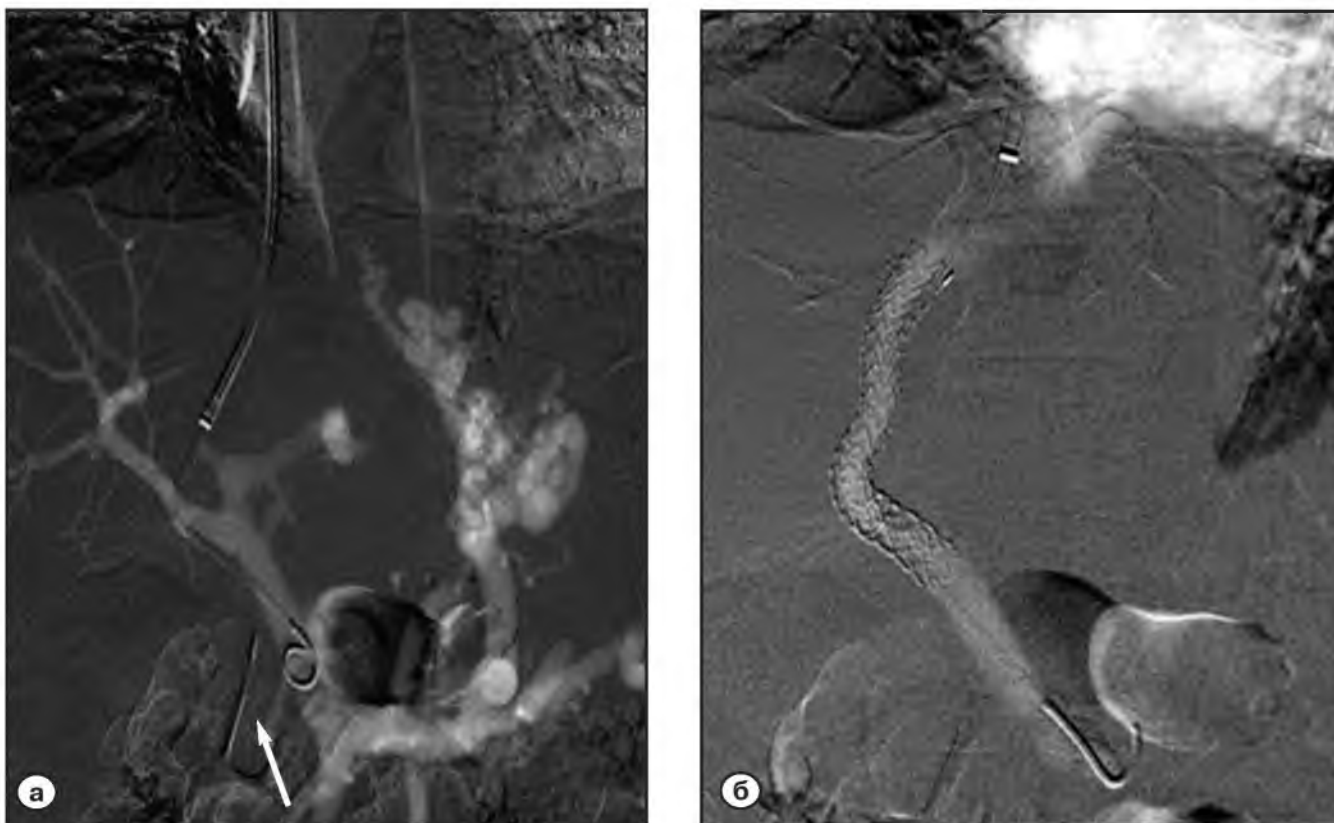


Рис. 9. *а* – трансюгулярная карбоксиоптограмма - этап операции ТИПС.
 1 – катетер в воротной вене (тонкая стрелка);
 2 – варикозно-расширенная левая желудочная вена (жирная стрелка);
б – контрольная карбоксиграмма после имплантации стента в печени между воротной и печёночной венами. Стент Viatorr.

ружить остаточные коллатерали после выполнения процедуры эмболизации, что недоступно йодсодержащим КВ.

Имплантация фильтров нижней полой вены

Углекислый газ можно эффективно использовать для имплантации фильтров в нижнюю полой вену.

Хирург должен знать об определенных различиях в технике выполнения карбоксиангиографии и интерпретации результатов. Во время исследования могут потребоваться дополнительные селективные инъекции для точного определения анатомии НПВ (особенно сложно выявить устье правой почечной вены, которая, как правило, располагается кзади и ее нелегко заполнить с помощью газа в положении пациента лежа на спине). Важно правильно воспользоваться физическими свойствами углекислого газа – его плавучестью – а также правильно выбрать положение пациента, чтобы получить качественное изображение и уменьшить количество артефактов. Тем не менее, нельзя полностью исключить возможные сложности в визуализации почечных вен и всей поверхности тромба нижней полой вены при выполнении только карбоксиангиографии.

Выводы

Использование автоматического иньектора для углекислого газа позволяет выполнять процедуру ангиографии и чрескожного вмешательства быстро, безопасно и комфортно для пациента, при этом, качество визуализации не уступает изображениям, полученным с использованием йодсодержащих контрастных веществ.

По качеству контрастирования углекислый газ не уступает йодсодержащим контрастным веществам, при этом не вызывает аллергических реакций, его применение безопасно у пациентов с почечной недостаточностью, хронической болезнью почек, повышенным уровнем креатинина, сахарным диабетом, нарушением функции щитовидной железы.

В настоящее время углекислый газ можно рассматривать как реальную альтернативу йодсодержащим контрастным веществам как при проведении диагностических исследований – аорто-артериографии ниже уровня диафрагмы, ретроградной портографии, фистулографии, диагностике кровотечений и эндоликов после эндопротезирования брюшного отдела аорты, так и при выполнении операций на подвздош-

ных артериях, артериях нижних конечностях, висцеральных, почечных артериях, имплантации стент-графта в брюшную аорту, операции трансъюгулярного портосистемного шунтирования и установки фильтра в нижнюю полую вену.

Рутинное использование углекислого газа существен-

но снижает общую стоимость расходов на контрастирование. Необходимо дальнейшее накопление исследований для получения более полного представления о клинической значимости и возможностях применения карбоксиангиографии в клинической практике. ■

Список литературы

- Carelli H.H., Sordelli E. A new procedure for examining the kidney. *Rev Asoc Med Argent.* 1921;34:18-24.
- Colle G. Sugli effetti della introduzione di gas in circolo. *Arch. Ital. di chir.* 1924;9:419-453.
- Moor R.M., Braselton Jr C.W. Injections of air and of carbon dioxide into a pulmonare vein. *Annals of Surgery.* 1940;112(2):212-218.
<https://doi.org/10.1097/00000658-194008000-00004>
- Ходиев Э.М. Контрастирование полостей сердца углекислым газом. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 1965;5:8-11.
- Ходиев Э.М., Мазаев В.П. Коронарография на фоне углекислого газа, введенного в полости сердца. *Экспериментальная хирургия и анестезиология.* 1967;2:22-25.
- Тихонов К.Б. Возможность и перспективы изучения сердечно-сосудистой системы с помощью газовой среды. *Вопросы рентгенологии и онкологии.* 1958;3:61-66.
- Антонов О.С., Мезенцев Г.Д., Блау Ю.И., Коновалов Е.Д. Ангиокардиография углекислым газом для диагностики врожденных и приобретенных пороков сердца. *Материалы первой областной конференции рентгенологов и радиологов.* 1964;5-8.
- Шиповский В.Н., Курбанов Р.В., Саакян А.М., Маров К.Б. Карбоксиангиография – новый вид контрастирования в ангиографической практике. Первый клинический опыт. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2010;16:73-82.
- Шиповский В.Н., Золкин В.Н., Курбанов Р.В. и др. Использование углекислого газа в качестве контрастного вещества при аортоартериографии. *Вестник РГМУ.* 2011;6:16–20.
- Деркач В.В. Использование автоматического иньектора CO₂ у пациентов с критической ишемией нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2018;24:133-135.
- Деркач В.В. Случай стентирования поверхностной бедренной артерии у пациента с критической ишемией левой нижней конечности и хронической болезнью почек под контролем карбоксиангиографии. *Ангиология и сосудистая хирургия.* 2018;24:133.
- Максимов А.В., Макаримов Э.Ш., Глинкин В.В. и др. Опыт применения двуокиси углерода в ангиографии. *Практическая медицина.* 2015;1(89):97-100.
- Затевахин И.И., Коков Л.С., Шиповский В.Н. и др. Диагностика и эндоваскулярное лечение артериальной недостаточности нижних конечностей. М.: РАН. 2019;244.
- Back M.R., Caridi J.G., Hawkins I.F. Jr, Seeger J.M. Angiography with carbon dioxide (CO₂). *Surgical Clinics of North America.* 1998;78(4):575-591.
[https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(05\)70335-2](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(05)70335-2)
- Ehrman K.O., Taber T.E., Gaylord G.M., Brown P.B. et al. Comparison of diagnostic accuracy with carbon dioxide versus iodinated contrast material in the imaging of hemodialysis access fistulas. *Journal of Vascular and Interventional Radiology.* 1994;5(5):771-775.
[https://doi.org/10.1016/S1051-0443\(94\)71599-2](https://doi.org/10.1016/S1051-0443(94)71599-2)
- Cronin P., Patel J.V., Kessel D.O., Robertson I., McPherson S.J. Carbon dioxide angiography: a simple and safe system of delivery. *Clinical Radiology.* 2005;60(1):123-125.
<https://doi.org/10.1016/j.crad.2004.05.005>
- Mascoli C., Faggioli G., Gallitto E. et al. Standardization of a Carbon Dioxide Automated System for Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *Annals of Vascular Surgery.* 2018;51:160-169.
- Caridi J.G., Cho K.J., Fauria C., Eghbalieh N. Carbon dioxide digital subtraction angiography (CO₂ DSA): a comprehensive user guide for all operators. *Vascular Disease Management.* 2014;11(10):221-256.

References

1. Carelli HH, Sordelli E. A new procedure for examining the kidney. *Rev Asoc Med Argent.* 1921;34:18-24.
2. Colle G. Sugli effetti della introduzione di gas in circolo. *Arch. Ital. di chir.* 1924;9:419-453.
3. Moor RM, Braselton Jr CW. Injections of air and of carbon dioxide into a pulmonare vein. *Annals of Surgery.* 1940;112(2):212-218.
<https://doi.org/10.1097/00000658-194008000-00004>
4. Hodiev JeM. Contrasting of heart cavities with carbon dioxide. *Vestnik rentgenologii i radiologii.* 1965;5:8-11 [In Russ].
5. Hodiev JeM, Mazaev VP. Coronary angiography with carbon dioxide injected into the heart cavity. *Jekspierimental'naja hirurgija i anesteziologija.* 1967;2:22-25 [In Russ].
6. Tihonov KB. Possibility and prospects of studying the cardiovascular system using a gas environment. *Voprosy rentgenologii i onkologii.* 1958;3:61-66 [In Russ].
7. Antonov OS, Mezencev GD, Blau Jul, Konovalov ED. Carbon dioxide angiocardiology for the diagnosis of congenital and acquired heart defects. *Materialy pervoj oblastnoj konferencii rentgenologov i radiologov.* 1964;5-8 [In Russ].
8. Shipovskij VN, Kurbanov RV, Saakjan AM, Marov KB. Carboxyangiography is a new type of contrast enhancement in angiographic practice. First clinical experience. *Angiologija i sosudistaja hirurgija.* 2010;16:73-82 [In Russ].
9. Shipovskij VN, Zolkin VN, Kurbanov RV et al. Using carbon dioxide as a contrast agent in aortoarteriography. *Vestnik RGMU.* 2011;6:16-20 [In Russ].
10. Derkach VV. Using of an automatic CO₂ injector in patients with critical lower limb ischemia. *Angiologija i sosudistaja hirurgija.* 2018;24:133-135 [In Russ].
11. Derkach VV. A case report of superficial femoral artery stenting in a patient with critical limb ischemia and chronic kidney disease under the control of carboxyangiography. *Angiologija i sosudistaja hirurgija.* 2018;24:133 [In Russ].
12. Maksimov AV, Makarimov JeSh, Glinkin VV et al. Experience in the use of carbon dioxide in angiography. *Prakticheskaja medicina.* 2015;1(89):97-100 [In Russ].
13. Zatevahin II, Kokov LS, Shipovskij VN et al. Diagnostics and endovascular treatment of arterial insufficiency of lower limbs. M.: RAN. 2019;244 [In Russ].
14. Back MR, Caridi JG, Hawkins IF Jr, Seeger JM. Angiography with carbon dioxide (CO₂). *Surgical Clinics of North America.* 1998;78(4):575-591.
[https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(05\)70335-2](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(05)70335-2)
15. Ehrman KO, Taber TE, Gaylord GM, Brown PB. et al. Comparison of diagnostic accuracy with carbon dioxide versus iodinated contrast material in the imaging of hemodialysis access fistulas. *Journal of Vascular and Interventional Radiology.* 1994;5(5):771-775.
[https://doi.org/10.1016/S1051-0443\(94\)71599-2](https://doi.org/10.1016/S1051-0443(94)71599-2)
16. Cronin P, Patel JV, Kessel DO, Robertson I, McPherson SJ. Carbon dioxide angiography: a simple and safe system of delivery. *Clinical Radiology.* 2005;60(1):123-125.
<https://doi.org/10.1016/j.crad.2004.05.005>
17. Mascoli C, Faggioli G, Gallitto E. et al. Standardization of a Carbon Dioxide Automated System for Endovascular Aortic Aneurysm Repair. *Annals of Vascular Surgery.* 2018;51:160-169.
18. Caridi JG, Cho KJ, Fauria C, Eghbalieh N. Carbon dioxide digital subtraction angiography (CO₂ DSA): a comprehensive user guide for all operators. *Vascular Disease Management.* 2014;11(10):221-256.