



GUIDELINES AND STANDARDS

Guidelines for Performing Ultrasound-Guided Vascular Cannulation: Recommendations of the American Society of Echocardiography



Annette Vegas, MD, FRCPC, FASE, (Chair), Bryan Wells, MD, FASE, (Co-Chair),
Paul Braum, BS, RDCS, RCS, FASE, Andre Denault, MD, PhD, FASE,
Wanda C. Miller Hance, MD, FACC, FASE, Claire Kaufman, MD, Mitalee Bremner Patel, RDCS, FASE,
and Marcus Salvatori, MD, *Toronto, Ontario and Montreal, Quebec, Canada; Atlanta, Georgia; Houston, Texas;
and Portland, Oregon*

Рекомендации по выполнению сосудистой канюляции под ультразвуковым контролем: рекомендации американского общества эхокардиографии Перевод А.В. Ветровой



Рекомендации по выполнению сосудистой канюляции под ультразвуковым контролем: рекомендации американского общества эхокардиографии

Annette Vegas, MD, FRCPC, FASE, (Chair), Bryan Wells, MD, FASE, (Co-Chair),

Paul Braum, BS, RDCS, RCS, FASE, Andre Denault, MD, PhD, FASE,
Wanda C. Miller Hance, MD, FACC, FASE, Claire Kaufman, MD, Mitalee
Bremner Patel, RDCS, FASE,

and Marcus Salvatori, MD, *Toronto, Ontario and Montreal, Quebec, Canada;
Atlanta, Georgia; Houston, Texas; and Portland, Oregon*

Доступ к сосудам - это широко используемая процедура, облегчающая уход за пациентами. В этом документе содержится экспертное мнение различных специалистов о наилучших практиках и методах использования ультразвука (УЗИ) в процедурах доступа к сосудам. Это обновление заменяет рекомендации Американского общества эхокардиографии (ASE) 2011 года по канюляции сосудов под контролем УЗИ. В нем содержатся рекомендации по доступу к центральным и периферическим венам и артериям под контролем УЗИ у взрослых и детей, основанные на достоверных научных данных, представленных в литературе. Основные функции УЗИ во время доступа к сосуду включают (1) оценку состояния сосудов перед канюлированием, (2) динамическое руководство УЗИ во время канюлирования и (3) выявление местных осложнений. В этом документе рассматриваются общие аспекты анатомической визуализации сосудов и УЗИ-визуализации, методы канюлирования сосудов под контролем УЗИ и выявление местных осложнений при проведении канюлирования сосудов. Надлежащая подготовка должна способствовать приобретению когнитивных знаний и технических навыков, необходимых для выполнения УЗИ-канюлирования. Появляется все больше данных, свидетельствующих о том, что УЗИ-доступ к сосудам повышает вероятность успеха и уменьшает количество осложнений, хотя качество доказательств на сегодняшний день остается низким. Между существующими доказательствами и рекомендациями по использованию УЗИ в клинической практике сохраняется разрыв. Доступность американского оборудования и квалификация клиницистов, скорее всего, повлияют на роль сосудистого доступа под контролем США как стандарта медицинской помощи, чем на результаты будущих научных исследований. (J Am Soc Echocardiogr 2025; 38:57-91.)



1. ВВЕДЕНИЕ

Сосудистый доступ - это рутинная процедура, облегчающая уход за пациентом. Использование УЗИ рекомендуется в целях безопасности, чтобы повысить эффективность канюлирования сосудов и свести к минимуму осложнения при доступе к сосудам.¹ Этот документ обновляет и заменяет рекомендации ASE 2011 года по канюляции сосудов под контролем УЗИ, а также предоставляет экспертное мнение различных специалистов о наилучших практиках и методах включения УЗИ в процедуры сосудистого доступа.² В этом документе содержатся рекомендации по доступу к центральным и периферическим венам и артериям под руководством УЗИ у взрослых и детей, основанные на научных данных, представленных в литературе. В документе не рассматриваются особенности стерильной техники или ухода за линией после канюлирования

2. МЕТОДОЛОГИЯ И АНАЛИЗ ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Редакционный комитет провел всесторонний поиск медицинской и научной литературы на английском языке с использованием PubMed и MEDLINE. Комитет выявил и проанализировал оригинальные исследования, относящиеся к сосудистому доступу под контролем УЗИ, опубликованные в рецензируемых научных журналах с 1990 по 2023 год, в которых использовались термины «ультразвук», «катетеризация», «осложнения», «яремные вены», «подключичная вена», «бедренная вена», «артерия», «взрослые», «педиатрические», «рандомизированные контролируемые исследования» и «мета-анализ».

Комитет по подготовке доклада выбрал систему оценки рекомендаций (GRADE), чтобы оценить уровень доказательности и обосновать оценку рекомендаций.³ Система оценки классифицирует рекомендации как сильные (оценка 1) или слабые (оценка 2) на основе качества доказательств как высокого (оценка А), умеренного (оценка В) или низкого (оценка С), как описано в таблице 1. Система оценки рекомендаций при разработке и оценивании результатов несколько отличается от подхода Американской коллегии кардиологов и Американской ассоциации кардиологов, которые используют рекомендации 1-го класса (сильные), 2а класса (умеренные), 2b класса (слабые) и 3-го класса (без пользы) на основе качества проводимых исследований; уровень доказательной базы А (высокое качество), уровень В (среднее качество) и уровень С (ограниченные данные). Лица, назначенные ASE, ознакомились с документом и получили одобрение руководящего органа для публикации.



Таблица 1 Классификация системы разработки и оценивания рекомендаций (GRADE)

Степень рекомендации Ясность соотношения рисков и выгод	Качество подтверждающих доказательств	Последствия
1A Убедительная рекомендация Высококачественные фактические данные Преимущества явно перевешивают риск	<ul style="list-style-type: none">Убедительные данные качественных РКИ или другие неопровержимые доказательстваДальнейшие исследования вряд ли изменят оценки пользы и риска	<ul style="list-style-type: none">Применяется к большинству пациентов в большинстве случаев без каких-либо оговорокКлиницисты должны следовать этому правилу, если только нет убедительных оснований для альтернативного подхода
1B Убедительная рекомендация Доказательства умеренного качества Преимущества явно перевешивают риск	<ul style="list-style-type: none">Данные РКИ с ограничениями* или другие очень веские доказательстваДальнейшие исследования могут повлиять на оценку пользы и риска	<ul style="list-style-type: none">Применимо к большинству пациентовКлиницисты должны следовать этому правилу, если только нет убедительных оснований для альтернативного подхода
1C Убедительная рекомендация Доказательства низкого качества Преимущества, по-видимому, перевешивают риск	<ul style="list-style-type: none">Данные наблюдательных исследований, бессистемного клинического опыта или некорректных РКИЛюбая оценка эффекта является неопределенной	<ul style="list-style-type: none">Применимо к большинству пациентовНекоторые подтверждающие данные имеют низкое качество
2A Слабая рекомендация Высококачественные фактические данные Преимущества сбалансированы с рисками	<ul style="list-style-type: none">Убедительные данные качественных РКИ или другие неопровержимые доказательстваДальнейшие исследования вряд ли изменят оценки пользы и риска	<ul style="list-style-type: none">Наилучшие действия могут отличаться в зависимости от пациентов или обстоятельств
2B Слабая рекомендация Доказательства среднего качества Преимущества сбалансированы с рисками Некоторая неопределенность в оценках выгод и рисков	<ul style="list-style-type: none">Данные РКИ с ограничениями* или другие очень веские доказательстваДальнейшие исследования могут повлиять на оценку пользы и риска	<ul style="list-style-type: none">Альтернативные подходы, вероятно, будут лучше для некоторых пациентов при определенных обстоятельствах
2C Слабая рекомендация Доказательства низкого качества Преимущества сбалансированы с рисками Неопределенность в оценках выгод и рисков	<ul style="list-style-type: none">Данные наблюдательных исследований, бессистемного клинического опыта или некорректных РКИЛюбая оценка эффекта является неопределенной	<ul style="list-style-type: none">Очень слабая рекомендацияДругие альтернативы могут быть столь же разумными

**Ограничения исследования: противоречивые результаты, методологические изъяны, косвенные или неточные*



3. ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ

3.1. Техника катетеризации сосудов

Канюлирование вен и артерий является важным аспектом клинической помощи для внутривенного введения жидкостей и лекарств, наблюдения за пациентом, обеспечения возможности лечения и, во все большей степени, для облегчения чрескожных процедур. Частая потребность в сосудистых канюлях большого размера требует использования безопасной и безотказной техники канюлирования для достижения максимального успеха и сведения к минимуму осложнений. Существует сильная прямая корреляция между многократными попытками катетеризации сосудов и более высокой частотой осложнений, повышающими беспокойство и дискомфорт пациента, что может привести к задержке наблюдения и лечения.⁴ Это важные факторы, влияющие на качество медицинской помощи при выборе наилучшего метода доступа к сосуду.

Клиницисты могут практиковать метод ориентиров, определяя сосуды-мишени по анатомии поверхности и пальпации на основе предполагаемого расположения сосуда, анатомических ориентиров и введения иглы вслепую до появления крови. Подтверждение успешной канюляции предполагаемого сосуда обычно основывается на характере аспирируемой крови (например, «темный» цвет для вены или пульсирующий «ярко-красный» цвет для артерии), измерении давления с помощью столба жидкости или датчика давления, отображении формы волны внутрипросветного давления на мониторе или анализ газов крови.⁵ При использовании метода ориентиров оператор может изначально выбрать иглу меньшего калибра (искатель), чтобы определить местонахождение сосуда и свести к минимуму любое непреднамеренное повреждение окружающих структур. Сообщается, что в зависимости от места доступа и популяции пациентов современные методы сосудистой канюляции дают от 60% до 95% успеха.⁶

Использование УЗ-навигации до или во время катетеризации сосудов стало одним из способов значительно повысить вероятность успеха и уменьшить количество осложнений.⁷ Статическая УЗ-навигация позволяет определить место введения иглы в кожу над нижележащим сосудом и обеспечивает нестерильную визуализацию. В этом методе УЗИ действует как локатор сосудов, который улучшает внешние ориентиры. Управление УЗИ в режиме реального времени во время продвижения иглы для канюлирования сосудов - это динамичный подход, который более эффективен, но требует применения техники, включающей антисептику кожи и стерильность покрытия датчика и геля для УЗИ. Как статический, так и динамический УЗИ-подходы превосходят традиционную «слепую» методику и обеспечивают больший успех при канюляции сосудов.⁸

Практические рекомендации по использованию УЗИ для канюляции сосудов были предложены многими специалистами и правительственными



учреждениями, такими как отчет о фактических данных Агентства по исследованиям и качеству в области здравоохранения.^{1,9-13} Ультразвук выполняет множество функций во время канюляции сосудов, о чем говорится далее в этих рекомендациях (таблица 2).

Таблица 2 Роль ультразвука при сосудистом доступе

- Определите анатомию и размер сосуда, подходящего для канюлирования
- Определите проходимость сосуда
- УЗИ-контроль в режиме реального времени во время введения иглы и продвижения катетера
- Подтвердите положение проводника в сосуде
- Оцените наличие осложнений

Ключевые моменты: Методы катетеризации сосудов

- Во время катетеризации сосудов врачи могут использовать «слепой» метод или методику УЗ-контроля.
- Статическая УЗ-визуализация и УЗ-контроль в режиме реального времени - это два метода УЗ-визуализации до или во время катетеризации сосудов.
- Ультразвуковое исследование до или во время катетеризации сосудов значительно повышает вероятность успеха и уменьшает количество осложнений.

3.2. Ультразвуковое исследование сосудов

Достижения в области медицинских технологий сделали наши устройства доступными, портативными и способными получать изображения тканей и кровотока с высоким разрешением. Ультразвуковые датчики, используемые для доступа к сосудам, различаются по размеру, форме и частоте излучения (рис. 1А). Выбор датчика зависит от доступности, опыта оператора, качества изображения и характеристик пациента. Высокочастотные линейные датчики (8-12 МГц) могут обеспечить превосходное пространственное разрешение структур вблизи поверхности кожи. Низкочастотные датчики (<5 МГц) обеспечивают лучшее проникновение в ткани, но имеют более низкое пространственное разрешение и могут потребоваться для получения изображения более глубоких сосудистых структур. Датчики небольшого размера могут быть полезны педиатрическим пациентам или в областях, где окна УЗИ невелики, например, около ключицы.

Методы ультразвукового исследования, позволяющие получить изображение сосудов и окружающей анатомии, включают в себя двумерную (2D), цветовую доплерографию (CFD) и спектральную доплерографию. Чтобы интерпретировать 2D-изображения кровеносных сосудов и окружающих структур, оператор должен понимать ориентацию датчика, отображение изображения, физику УЗИ, механизмы генерации изображений и артефакты. Дополнительное использование доплеровских режимов для подтверждения наличия и направления кровотока требует понимания механизмов и



ограничений доплеровского анализа и отображения. Ультразвуковые аппараты могут иметь специальные настройки для визуализации сосудов на малых глубинах, с меньшим коэффициентом 2D-усиления, меньшим динамическим диапазоном и соответствующими шкалами CFD и импульсно-волновой доплеровской (PWD) визуализации. Оператор может дополнительно оптимизировать отображение изображения, регулируя глубину изображения и коэффициент усиления (рис. 1В, видео 1).

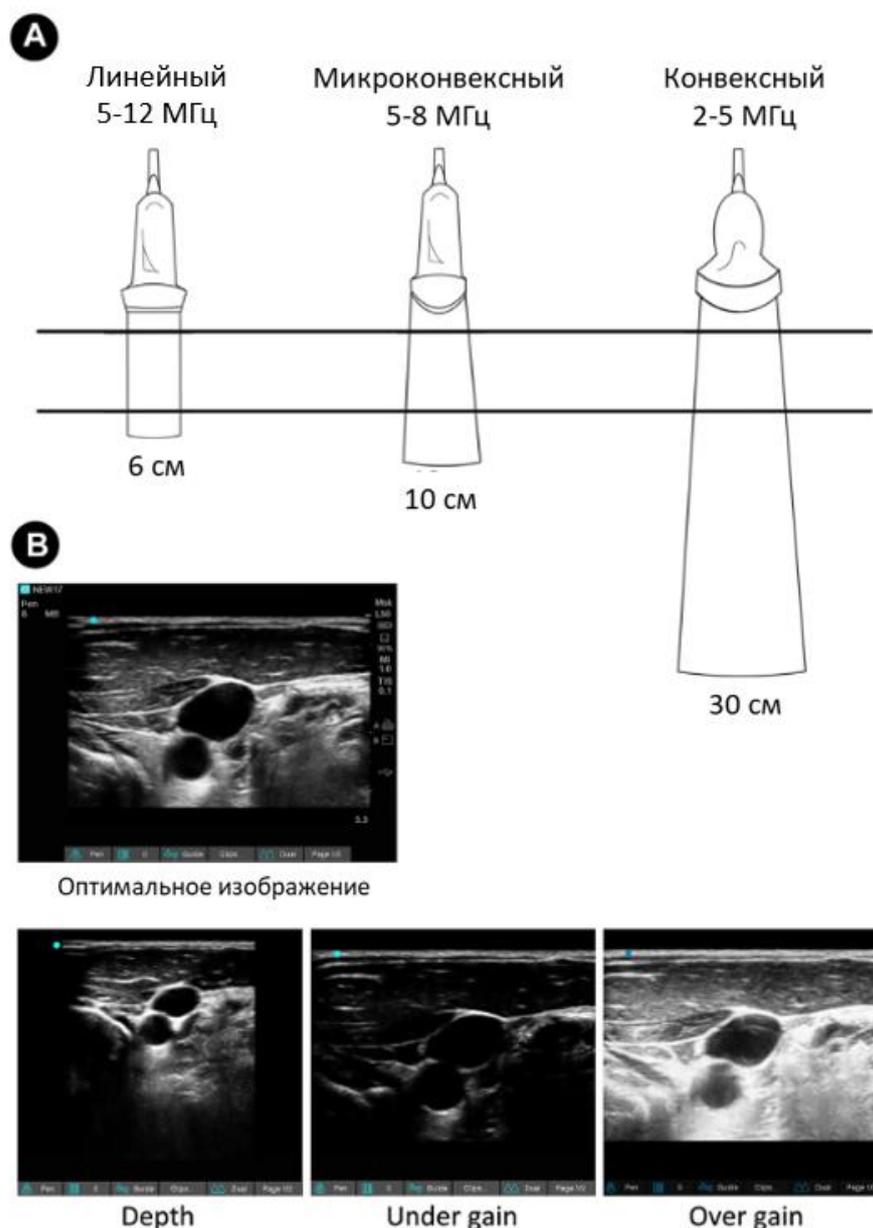


Рисунок 1. Ультразвуковые датчики и оптимизация изображений. (А) Набор ультразвуковых датчиков для использования во время сосудистого доступа включает линейные (5-12 МГц), микроконвексные (5-8 МГц) и конвексные (2-5 МГц) датчики, обеспечивающие достаточную глубину визуализации. (В) Предварительные настройки, установленные производителем на аппарате для УЗИ, определяют основные параметры для получения изображения сосуда. Дальнейшие настройки часто улучшают визуализацию целевого судна. Лучше всего поместить целевой сосуд в центр дисплея, уменьшить глубину изображения и установить фокусную зону на уровне сосуда. При корректировке усиления должен быть виден просвет анэхогенного сосуда с эхогенной стенкой сосуда и окружающими тканями. Наконец, необходимо обеспечить адекватное усиление, не слишком высокое и не слишком низкое, чтобы следить за продвижением кончика иглы к сосуду.



Сосуды могут быть расположены в поперечной, продольной или наклонной ориентации (рис. 2). Каждая ориентация имеет свои преимущества и недостатки, которые могут помочь оператору направить иглу для канюлирования под правильным углом и на нужную глубину. При установке датчика перпендикулярно курсу судна отображается изображение судна по короткой оси (SAX) и окружающих сооружений. При расположении датчика соосно с судном отображается изображение судна по длинной оси (LAX) с меньшей визуализацией окружающих сооружений. Вращение датчика между точками обзора SAX и LAX позволяет получить наклонный и удлинненный вид сосуда. Хотя в настоящее время не существует рекомендаций по использованию трехмерной (3D) визуализации сосудов, биплоскостная визуализация может обеспечить одновременное получение ортогональных изображений SAX и LAX в режиме реального времени без изменения положения датчика.¹⁴

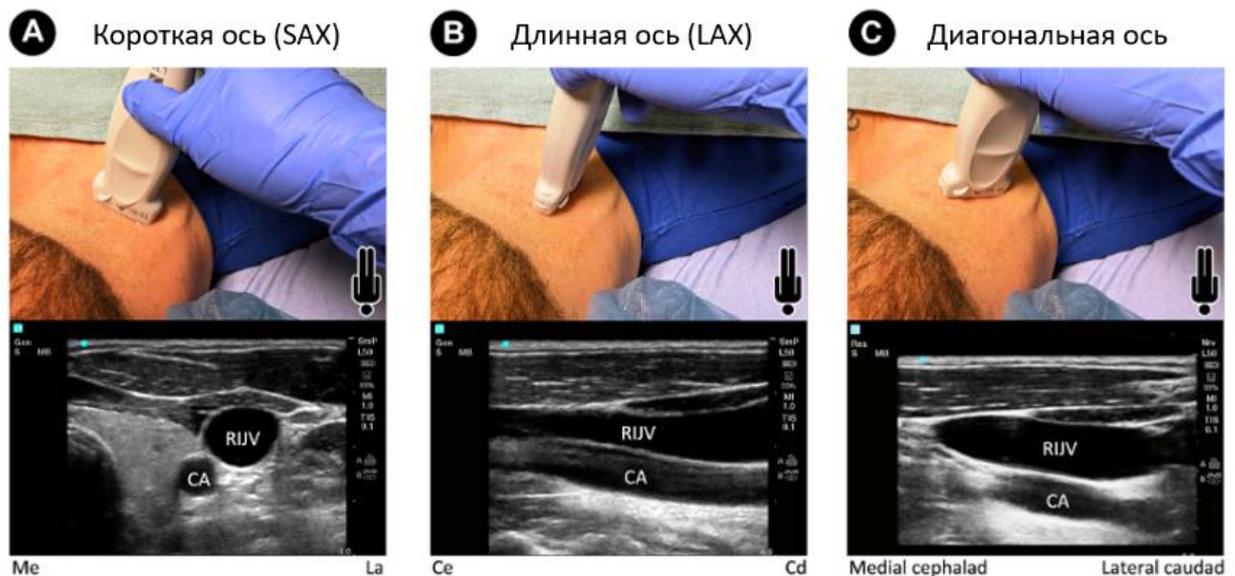


Рисунок 2. Ориентация сосудов. Ориентация датчика может быть (А) в поперечной плоскости, перпендикулярной сосудам (SAX), или (Б) в продольной плоскости, коаксиальной сосудам, (LAX) (С) При повороте датчика между точками обзора SAX и LAX формируется наклонный вид, показывающий удлинненный вид сосудов. На соответствующих ультразвуковых изображениях показаны правая ВЯВ и СА. СА - сонная артерия; Cd - каудально; Ce - головная; La - латеральная; LAX - длинная ось; Me - медиальная; RIJV - правая внутренняя яремная вена; SAX - короткая ось.

Оператору необходимо учитывать ориентацию маркера датчика относительно дисплея с изображением и пациента. Для визуализации сосудистого доступа используется общепринятый медицинский стандарт US screen, при котором индикатор датчика находится в левой части дисплея, о чем свидетельствует отметка на экране. Однако не существует общепринятого правила ориентации маркера датчика при размещении на теле пациента во время катетеризации сосудов, поэтому структуры могут отображаться справа или слева от изображения на дисплее (рис. 3). Важно знать, какая сторона датчика соответствует какой стороне дисплея. Перемещение датчика из стороны в сторону, просовывание пальца под боковую часть или небольшое



увеличение давления на одну из сторон датчика при наблюдении за нижележащими структурами могут помочь подтвердить ориентацию и отображение структур на экране.

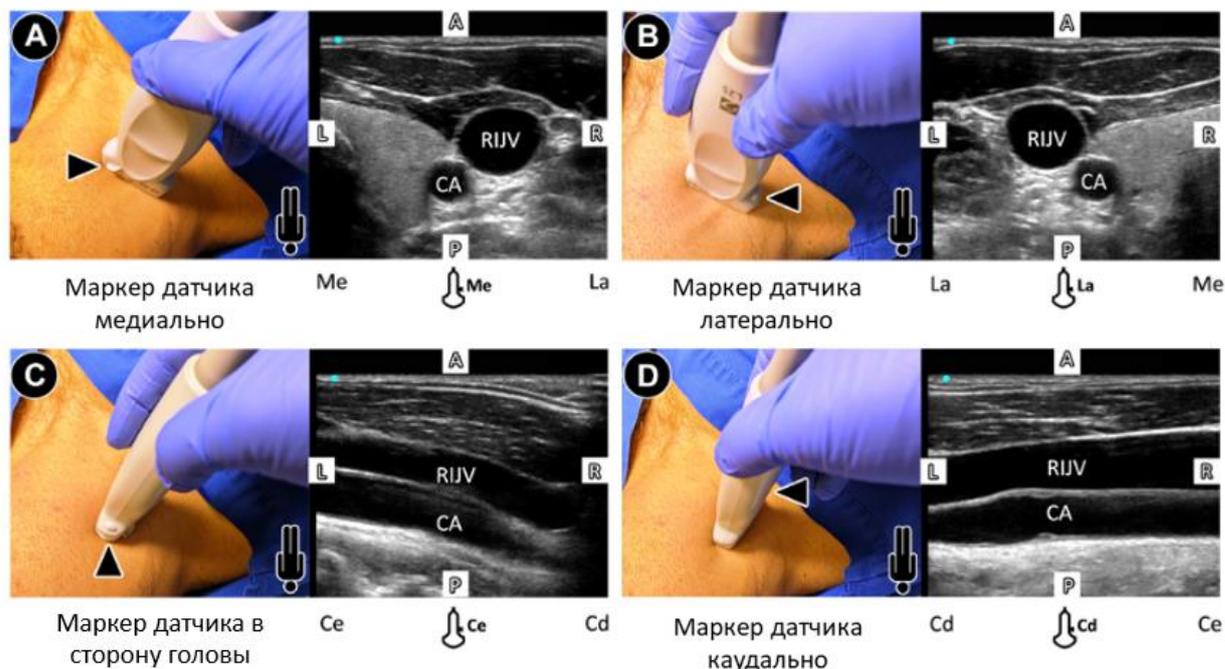


Рисунок 3. Отображение изображения. (А-Г) Каждый УЗ-датчик имеет маркер (черный треугольник), который отличает одну сторону датчика от другой. Не существует общепринятого соглашения о размещении маркера во время сосудистого доступа. В General medical US используется условное обозначение датчика, соответствующее левой части экрана (синяя точка). (А и В) В этом примере визуализации правой ВЯВ в SAX положение маркера датчика является (А) медиальным (Me) или (В) латеральным (La), при этом отображаются соответствующие изображения. (С и D) Поворот УЗ-датчика на 90 градусов позволяет получить изображение правой ВЯВ в LAX; положение маркера датчика может быть головным (Ce) или каудальным (Cd), как показано на соответствующих графических дисплеях. А - передний; СА - сонная артерия; Cd - каудальный; Ce - головной; Me - медиальный; Р - задний; R - правый; RIJV - правая внутренняя яремная вена; L - левый; La - латеральный; LAX - длинная ось; SAX - короткая ось.

Ключевые моменты: УЗ-визуализация сосудов

- Выбор УЗ-датчика зависит от доступности, опыта оператора, качества изображения и характеристик пациента.
- Методы УЗИ, такие как 2D, CFD и спектральная доплерография, могут помочь различить сосудистые структуры.
- Сосуды могут отображаться в поперечном, продольном или наклонном направлении.
- Оператору необходимо определить, какая сторона датчика соответствует какой стороне отображения изображения.

3.3. Идентификация сосудов с помощью ультразвука

Детальное знание анатомии сосудов в целевой области имеет решающее значение для достижения успеха и предотвращения катетеризации



неправильных сосудов. Как будет показано в следующих разделах, анатомия, описанная в учебнике, доступна не каждому пациенту. Общие морфологические и анатомические характеристики могут помочь отличить вену от артерии с помощью 2D-УЗИ (рис. 4, видео 2). Вены более крупные, тонкостенные, содержат клапаны, сжимаются при небольшом внешнем поверхностном давлении и могут изменять диаметр в зависимости от дыхания или положения пациента. Напротив, артерии меньше, округлые, с более толстыми стенками, не имеют клапанов, плохо поддаются сжатию внешним давлением и пульсируют при нормальном состоянии сердца. Систематическое УЗИ-сканирование позволяет определить размер, расположение, проходимость и аномалии сосудов, что позволяет избежать тщетных попыток у пациентов с отсутствующими или тромбированными сосудами.^{15,16}

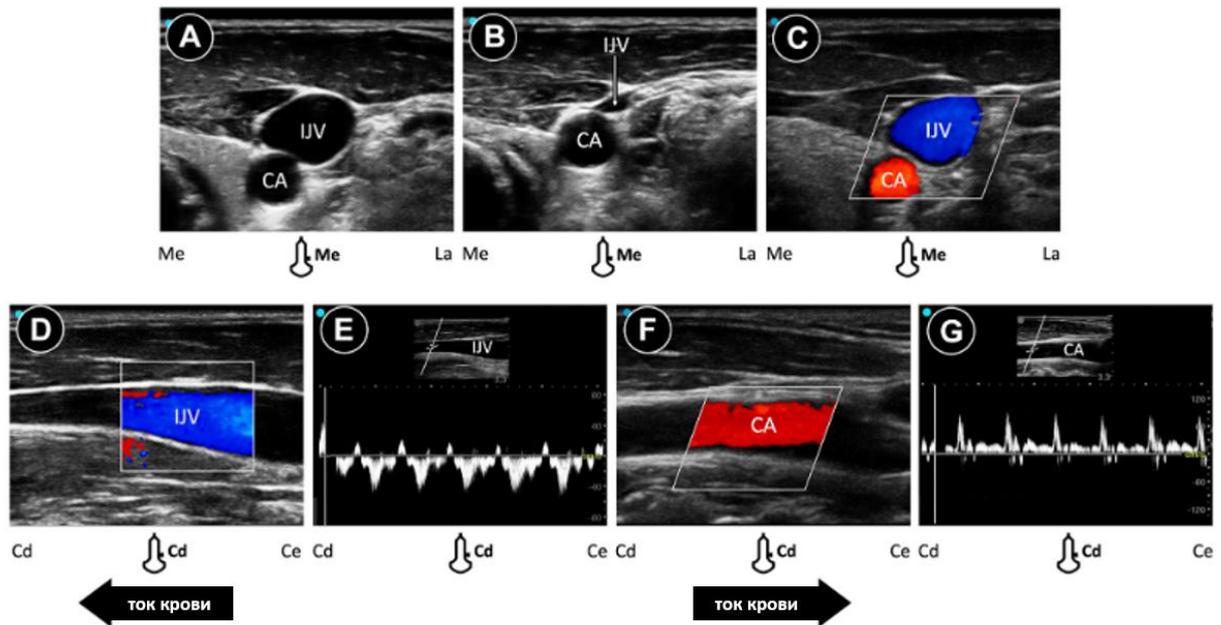


Рисунок 4. Особенности вен и артерий при нормальном кровообращении. (A) Вены и артерии имеют разные размеры, структуру стенок и внутрипросветное давление, что позволяет различать их с помощью 2D-изображений. Обычно вены имеют тонкую стенку и имеют больший размер по сравнению с меньшими артериями с более толстыми стенками. (B) Низкое внутрипросветное давление делает вены легко сжимаемыми внешним давлением. (C, D, F) Цветная доплерография кровотока в режимах SAX и LAX показывает (C) непрерывный низкоскоростной кровоток в венах и (F) пульсирующий прерывистый систолический кровоток в артериях. Обратите внимание, что красный и синий цвета в просвете сосудов указывают на отток (синий) и приближение (красный) к УЗ-датчику. (E) Исследование дистального отдела просвета правого предсердия с помощью PWD в LAX показывает многофазный след с систолическим и диастолическим потоком от датчика и небольшим ретроградным потоком от сокращения предсердий. (G) При измерении PWD проксимального отдела внутренней СА наблюдается пульсирующий приток крови к датчику с выраженным систолическим давлением. СА - сонная артерия; Cd - хвостатая; Ce - головная; IJV - внутренняя яремная вена; La - латеральный; LAX - длинная ось; Me - медиальный; PWD - импульсно-волновая доплерография; SAX - короткая ось. Смотрите Видео 2

Диаметр и форма вен варьируются в зависимости от положения и гидробаланса пациента. Если нет противопоказаний, помещение пациента в



позу Тренделенбурга или сдавливание печени может увеличить диаметр яремных вен и снизить риск воздушной эмболии во время канюлирования подключичной вены.¹⁷ Проба Вальсальвы способствует дальнейшему увеличению диаметра яремной вены и наиболее полезна у пациентов с гиповолемией.¹⁷ Обратная поза Тренделенбурга может увеличить размер бедренных вен и периферических вен нижних конечностей.

Добавление доплерографического исследования может дополнительно помочь отличить артерии от вен. Цветная доплерография потока при любой скорости показывает пульсирующий систолический кровоток в артерии в направлении SAX или LAX. Нормальный венозный кровоток имеет низкую скорость, поэтому для получения однородного цвета требуется более низкая шкала скоростей CFD, представляющая непрерывный ламинарный поток (рис. 4, видео 2). Небольшой объем пробы PWD, помещенной в просвет сосуда, показывает характерное преобладание систолического кровотока в артерии. Более низкий диапазон скоростей PWD показывает многофазный кровоток в вене на основе сердечного цикла.¹⁸

Отсутствие артериальной пульсации не позволяет идентифицировать артерию при определенных клинических состояниях, таких как искусственное кровообращение, отсутствие пульсации в желудочках сердца и остановка сердца. Кроме того, у пациентов со значительной трикуспидальной регургитацией и повышенным давлением в правых отделах сердца во время катетеризации в центральных венах может наблюдаться пульсирующий венозный поток.¹⁹ Важно отличать аномальный пульсирующий венозный кровоток и измененный кровоток от нормального изменения дыхания (респирофазного) или пульсации в соседних сосудах.

Ключевые моменты: идентификация сосуда с помощью УЗИ

- Детальное знание анатомии сосудов в целевой области имеет решающее значение для достижения успеха и предотвращения катетеризации неправильных сосудов.
- Вены - это более крупные тонкостенные структуры, которые могут сжиматься при небольшом внешнем поверхностном давлении и могут изменять диаметр в зависимости от дыхания или положения пациента.
- Артерии имеют меньший размер, округлую форму, более толстые стенки, не имеют клапанов, плохо поддаются сжатию внешним давлением и пульсируют при нормальном состоянии сердца.

3.4. Сосудистая канюляция под ультразвуковым контролем

Выбор места пункции сосуда основывается на клиническом сценарии, показаниях к доступу к сосуду, комфорте и состоянии пациента, опыте оператора, легкости доступа и характеристиках сосуда. Оператор может катетеризировать сосуды, используя методику Сельдингера или модифицированную методику Сельдингера, как показано на рисунке 5, с помощью предварительно собранных стерильных наборов, содержащих



скошенные иглы, или ангиокатетера, содержащего пластиковую канюлю поверх скошенной иглы.²⁰ Модифицированный метод Сельдингера с использованием ангиокатетера может быть полезен, если сосуд-мишень маленький и его размер меняется в зависимости от дыхания. При использовании этого метода канюля целиком располагается в сосуде, что облегчает прохождение проводника. В методе Сельдингера возможно, что часть скоса иглы находится в сосуде, что позволяет проводить аспирацию крови, но другая часть находится в стенке сосуда, препятствуя прохождению направляющего проводника. Наборы для микропунктуры для взрослых содержат небольшую иглу 21-го калибра, через которую по методу Сельдингера проходит тонкая проволока длиной 0,018 дюйма (прим. переводчика – примерно 0,046 см).

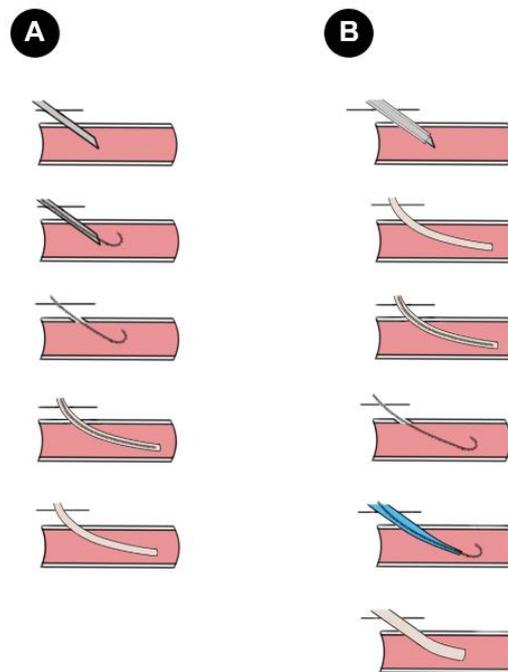


Рисунок 5. Методика Сельдингера. (А) При использовании методики Сельдингера оператор вводит иглу со скошенной поверхностью в целевой сосуд и, после аспирации крови, вводит проводник через иглу. После извлечения иглы в сосуд по проводнику вводится катетер с последующим удалением проводника. (Б) Модифицированная методика Сельдингера предусматривает введение катетера поверх иглы в целевой сосуд и вытягивание иглы, оставляя катетер в сосуде. В любом из методов расширитель (показан на 5-м изображении В) может проходить по проводнику, расширяя внесосудистую ткань и стенку сосуда для установки канюли большего размера.

Оператор, выполняющий УЗИ-канюляцию сосудов, держит УЗ-датчик в не доминирующей руке, в то время как доминирующая рука управляет иглой. Оператор должен сочетать ловкость рук при выполнении манипуляций с датчиком и иглой, что является трехмерной задачей, чтобы ввести катетер в целевой сосуд при интерпретации 2D-изображений УЗИ.

Оператор может использовать различные подходы во время катетеризации сосудов под контролем УЗИ. При использовании метода "внеплоскостного наблюдения", использующего поперечный обзор сосудов или обзор SAX, не обеспечивается непрерывное продвижение кончика иглы



по всему ее ходу. Чтобы преодолеть этот недостаток, в методике динамического позиционирования кончика иглы под УЗ-навигацией используются последовательные просмотры SAX (рис. 6, видео 3). Оператор определяет кончик иглы, затем перемещает датчик до тех пор, пока он не исчезнет, и продвигает иглу до тех пор, пока она снова не появится и, в конечном итоге, не проникнет в переднюю стенку сосуда. При плоскостном подходе (рис. 7, видео 4), при продольном или горизонтальном обзоре сосуда, происходит непрерывное отслеживание кончика иглы и стержня во время продвижения от проникновения в кожу до прокола сосуда. Из-за недостаточной ширины большинства УЗИ-датчиков, используемых для применения на сосудах, может быть сложно выровнять поверхность датчика по отношению к крупному сосуду и сохранить непрерывное изображение кончика иглы, хотя это редко является проблемой для небольших сосудов, наблюдаемых у педиатрических пациентов. При сравнении подходов SAX и LAX, подход SAX был быстрее, в то время как визуализация иглы была лучше при использовании подхода LAX.²¹ Наклонная ось - это еще один вариант, который может обеспечить лучшую визуализацию стержня и кончика иглы и обеспечивает безопасность визуализации окружающих структур в одном и том же ракурсе, используя, таким образом, преимущества как SAX, так и LAX подходов.²²

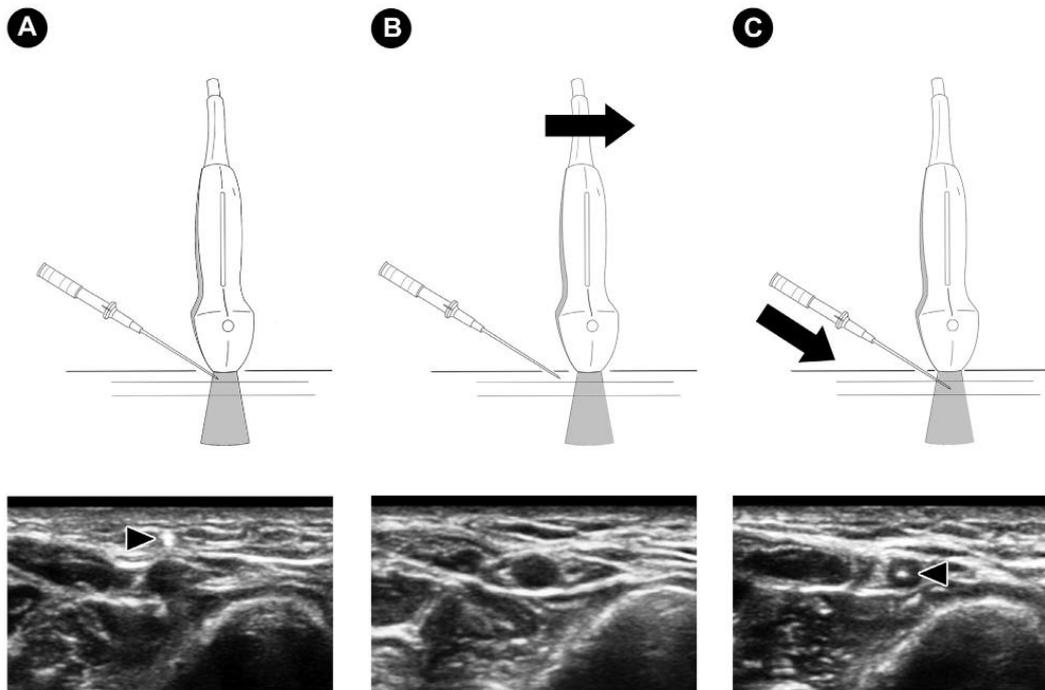


Рисунок 6. Внеплоскостная канюляция. Внеплоскостная канюляция сосудов с использованием обзора SAX не позволяет непрерывно визуализировать продвижение кончика иглы по всему ее ходу. В методике динамического позиционирования кончика иглы, применяемой при УЗИ, для лучевой артерии используется вид SAX, как показано здесь. Оператор определяет (А) кончик иглы как яркое эхогенное пятно (стрелка) в подкожной клетчатке и (Б) затем перемещает датчик, не перемещая иглу, пока оно не исчезнет. (В) Оператор продвигает иглу до тех пор, пока она снова не появится и не проникнет в переднюю стенку сосуда. Появление кончика иглы в центре сосуда называется ‘попаданием в яблочко’ (видео 3).

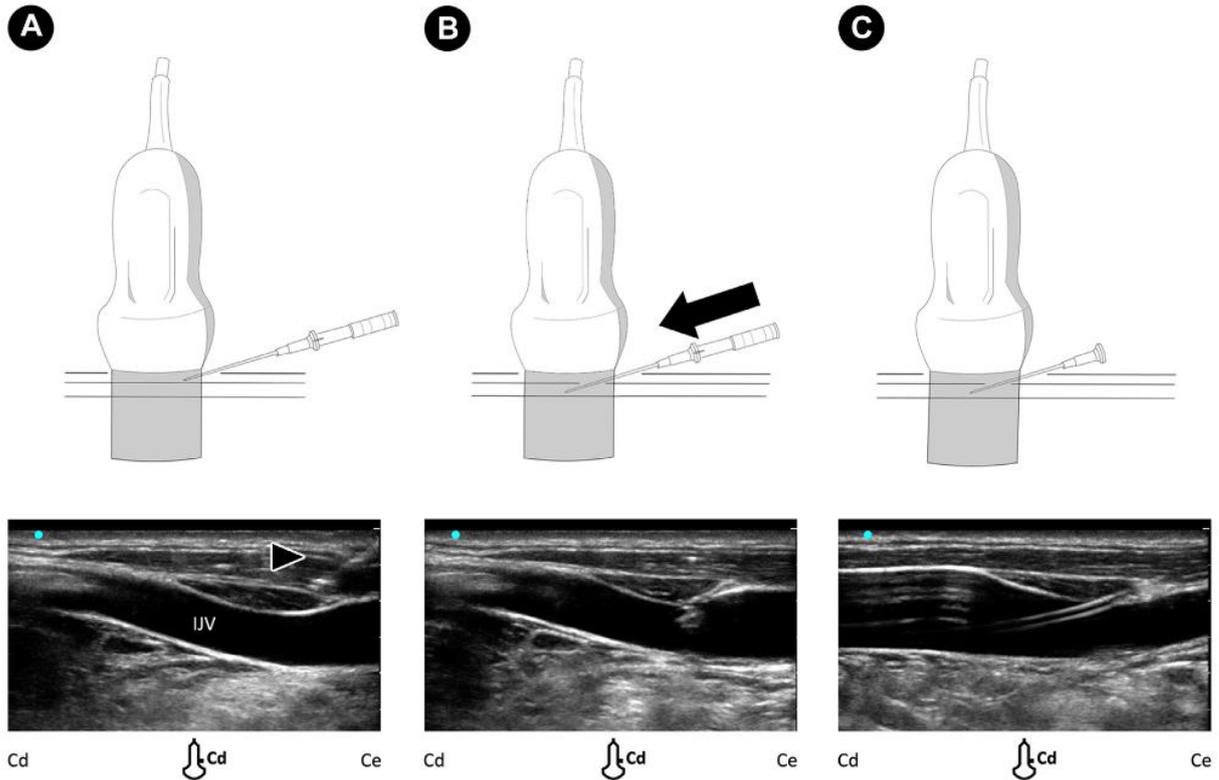


Рисунок 7. Метод канюлирования в одной плоскости. Метод канюлирования в одной плоскости показывает общий вид сосуда с прямой визуализацией продвигающегося стержня иглы и кончика без перемещения датчика. (А) Оператор вводит иглу в мягкую ткань (стрелка), (Б) прокалывает переднюю стенку, но не заднюю стенку, в данном примере - ВЯВ, и (В) вводит канюлю в сосуд. Cd, каудальный; Ce, головной; IJV, внутренняя яремная вена; LAX, длинная ось. Смотрите видео 4.

Безопасная и успешная сосудистая канюляция под контролем УЗИ требует визуализации кончика иглы с надлежащим углом наклона и контролем глубины (рис. 8).²³ Манипуляции с датчиком могут изменить визуализацию сосуда, создавая смещение иглы и сосуда, что может привести к неправильному направлению иглы во время продвижения, что приведет к неудачной венозной канюляции и непреднамеренной артериальной пункции.

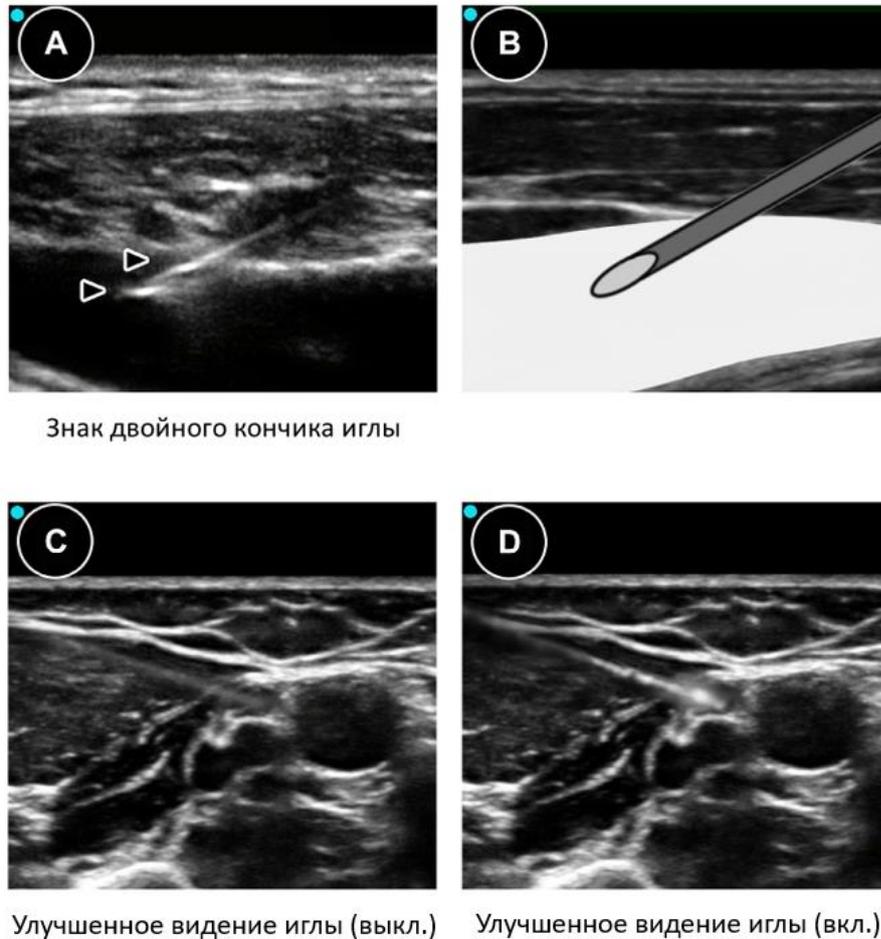


Рисунок 8. Визуализация кончика иглы. Важным компонентом любого подхода, основанного на УЗИ, является визуализация кончика иглы и стержня, что лучше всего достигается, когда луч УЗИ выравнивается под ортогональным углом. (А и В) Для этого лучше всего подходит LAX обзор иглы, поскольку кончик иглы выглядит как две эхогенные линии, так называемый знак «двойного кончика». (С и D) Программное обеспечение УЗ-аппарата может обеспечить улучшенную визуализацию иглы с помощью фирменного программного обеспечения, (С) без включения (выкл.) и (D) с включением (вкл.). При включенной функции УЗ-аппарата стержень иглы лучше виден вблизи стенки сосуда.

Непосредственная визуализация того, как кончик иглы входит в сосуд, и появление крови в игле, канюле ангиокатетера или в присоединенном шприце подтверждают канюлирование сосуда. Оператор откладывает датчик в сторону на стерильном поле, затем вводит катетер через иглу или проводник в сосуд. В качестве альтернативы оператор может постоянно использовать УЗ-навигацию для отслеживания продвижения иглы с канюлей по всему пути введения в сосуд, прежде чем наблюдать за введением проводника. Ультразвуковая визуализация проводника в сосуде дополнительно подтверждает успешность канюлирования сосуда и является важным этапом перед бужированием тканей, если требуется, и введением крупногабаритного катетера (рис. 9, видео 5).

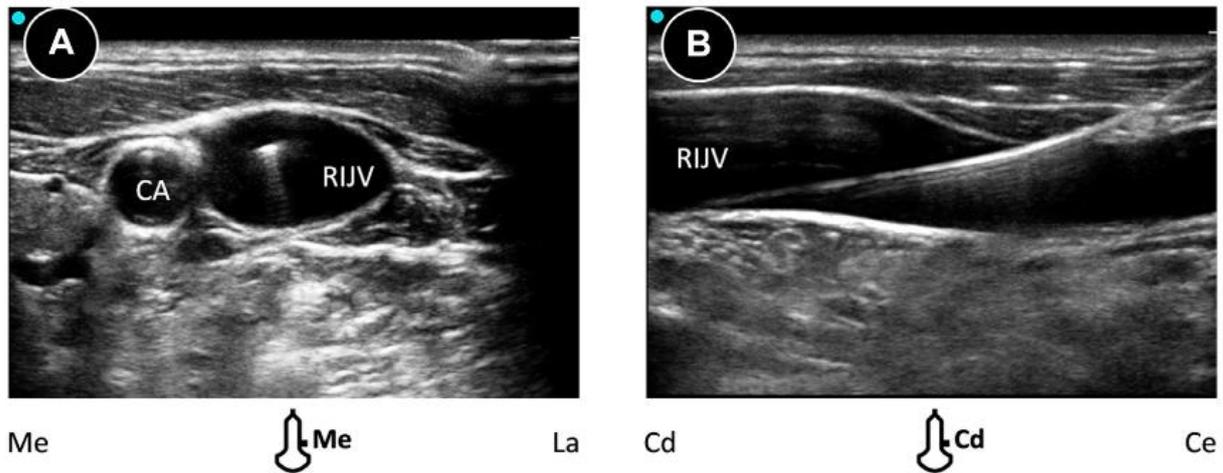


Рисунок 9. Идентификация проводника. После того, как игла войдет в сосуд, проводник проходит через просвет иглы, после чего иглу извлекают. Ультразвуковое исследование должно подтвердить правильное расположение проводника в просвете сосуда. (А) В обзоре SAX проводник выглядит как экзогенная точка, часто с артефактом реверберации. (Б) В обзоре LAX проводник входит в сосуд из подкожной клетчатки, проходя дистально в просвет сосуда. CA - сонная артерия; Cd - каудальный; Ce - головной; La - латеральный; LAX - длинная ось; Me - медиальный; RIJV - правая внутренняя яремная вена; SAX - короткая ось. Смотрите видео 5.

Наблюдательные исследования показывают, что УЗИ может подтвердить размещение центрального венозного проводника с помощью линейного датчика или с помощью трансторакальной или чреспищеводной эхокардиографии.²⁴ При сложной канюляции может помочь второй человек в стерильных перчатках и халате, который будет помогать основному оператору либо удерживая датчик, либо протягивая проводник.

Ключевые моменты: сосудистая канюляция под контролем УЗИ

- К наиболее распространенным методам канюлирования сосудов под контролем УЗИ относятся методика Сельдингера и модифицированные методики Сельдингера.
- Оператор может использовать различные подходы при проведении УЗ-канюлирования сосудов: подход "вне плоскости" в шести ракурсах или подход "в плоскости" в нескольких ракурсах.
- В методике динамического позиционирования кончика иглы под руководством УЗИ используются последовательные продвижения SAX для отслеживания движения кончика иглы от кожи к просвету сосуда.
- Визуализация проводника в сосуде с помощью УЗИ дополнительно подтверждает успешность канюлирования и является важным этапом перед дилатацией, если требуется.

4. ВЕНОЗНАЯ КАНЮЛЯЦИЯ

4.1. Общие сведения

Показаниями к венозному доступу и канюляции являются терапевтические, мониторинговые и диагностические причины в



стационарных и амбулаторных условиях. В местах доступа к венам может проводиться канюляция центральных или периферических вен. Центральные вены определяются как крупные вены, расположенные близко к сердцу, без клапанов, которые позволяют контролировать давление в правом предсердии. Таким образом, центральными венами являются полые вены (нижняя и верхняя), брахиоцефальные, подключичные и подвздошные (общая и наружная). Прямой доступ к центральным венам обычно невозможен из-за их анатомической недоступности. Однако для доступа к центральным венам часто используются несколько вен, расположенных на периферии: внутренние яремные, подмышечные и бедренные вены. Предпочтительным местом для центральной венозной канюлирования является верхняя часть тела, особенно у амбулаторных пациентов. Бедренные сосуды могут лучше приспособиться к большим канюлям, таким как те, которые используются для экстракорпоральной мембранной оксигенации

Как обсуждалось ранее в разделе 3.3, УЗИ может помочь отличить вены от артерий (рис. 4). При УЗИ вены в режиме SAX и LAX можно определить глубину, размер, проходимость и извитость сосуда. При ультразвуковом исследовании различие артерий и вен легко обнаружить, так как даже незначительное давление датчика может привести к сдавливанию поверхностных сосудов.

Инновационный метод основан на выявлении локальной анатомии целевых венозных структур. Во время центральной венозной катетеризации оператор расстилает стерильное поле, используя асептику кожи и стерильные салфетки, и при необходимости проводит местную анестезию. Оператор вводит иглу или ангиокатетер под углом 30-45° к сосуду, наблюдая за возвращением крови, используя методику Сельдингера или модифицированную методику Сельдингера (рис. 5).

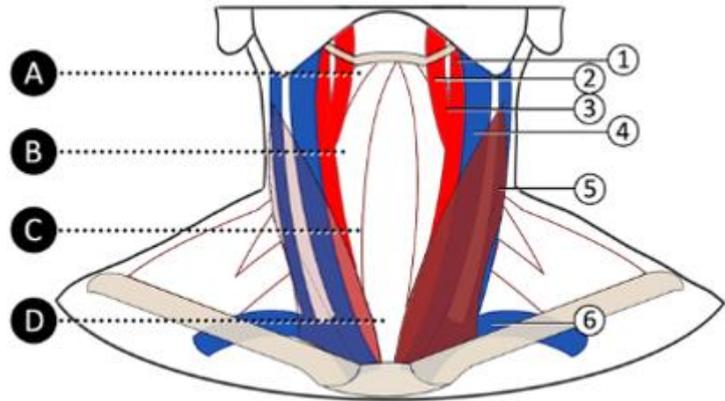
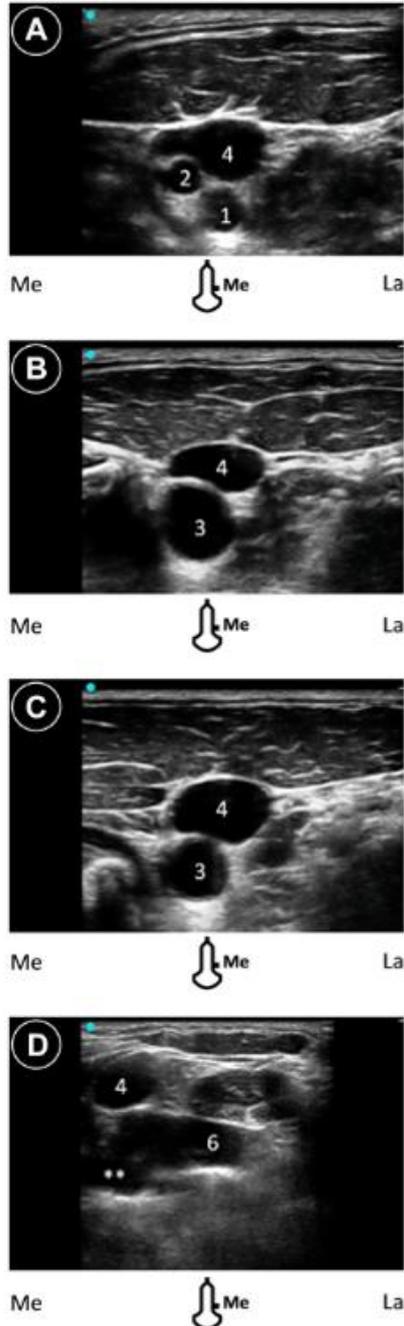
Ультразвуковое сопровождение во время венозной канюляции помогает исследовать вену и определить подходящее место для пункции, а также облегчает проведение канюлирования в SAX или LAX с использованием методики Сельдингера или модифицированной методики Сельдингера (рис. 5). Во время центральной венозной канюляции оператор создает стерильную зону, используя кожные антисептики, стерильный гель и стерильную поверхность для датчика. После первичной пункции сосуда УЗ-визуализация может помочь оператору подтвердить положение проводника в вене. Для создания подкожного туннеля, в который помещается большая канюля или оболочка, может потребоваться расширитель поверх направляющей проволоки.

4.2. Внутренняя яремная вена

Анатомические и ультразвуковые исследования. Внутренняя яремная вена (ВЯВ) выходит из наружного яремного отверстия у основания черепа казади от внутренней сонной артерии (ВСА) и направляется каудально в



переднебоковое положение относительно СА (рис. 10, видео 6). У 5,5% пациентов межпозвоночная грыжа по-разному соотносится с СА: переднебоковая (92%), латеральная >1 см (1%), медиальная (2%) и находится за пределами траектории, предсказанной по ориентирам. 25 Степень перекрытия сосудов между ВЯВ и СА увеличивает вероятность непреднамеренного прокола СА при сквозном проколе ВЯВ (рис. 11).²⁶



- | | |
|------------------------------|----------------------------|
| 1. Наружная сонная артерия | 4. Внутренняя яремная вена |
| 2. Внутренняя сонная артерия | 5. Наружная яремная вена |
| 3. Общая сонная артерия | 6. Подключичная вена |

Расположение сонной артерии и внутренней яремной вены

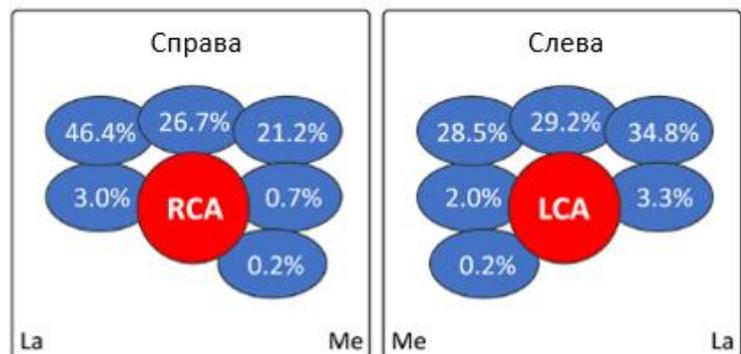


Рисунок 10. Внутренняя яремная вена. На схеме показана анатомия обеих внутренних яремных вен с УЗИ-изображениями (А-Д) правой вены в шести вариантах на разных уровнях. В надключичной области (D) правая ВЯВ соединяется с правой подключичной веной, образуя правую плечеголовную вену (**). Соотношение между СА и ВЯВ может варьироваться в зависимости от уровня визуализации. Обратите внимание, что маркер датчика расположен медиально на теле пациента. На рисунке показано положение (в процентах) ВЯВ по отношению к общей СА при нейтральном положении головы (адаптировано по Hind et al.,³³). СА, сонная артерия; La -



латеральный; LCA - левая сонная артерия; Me - медиальный; RCA - правая сонная артерия; RIJV - правая внутренняя яремная вена; SAX - короткая ось. Смотрите видео 6.

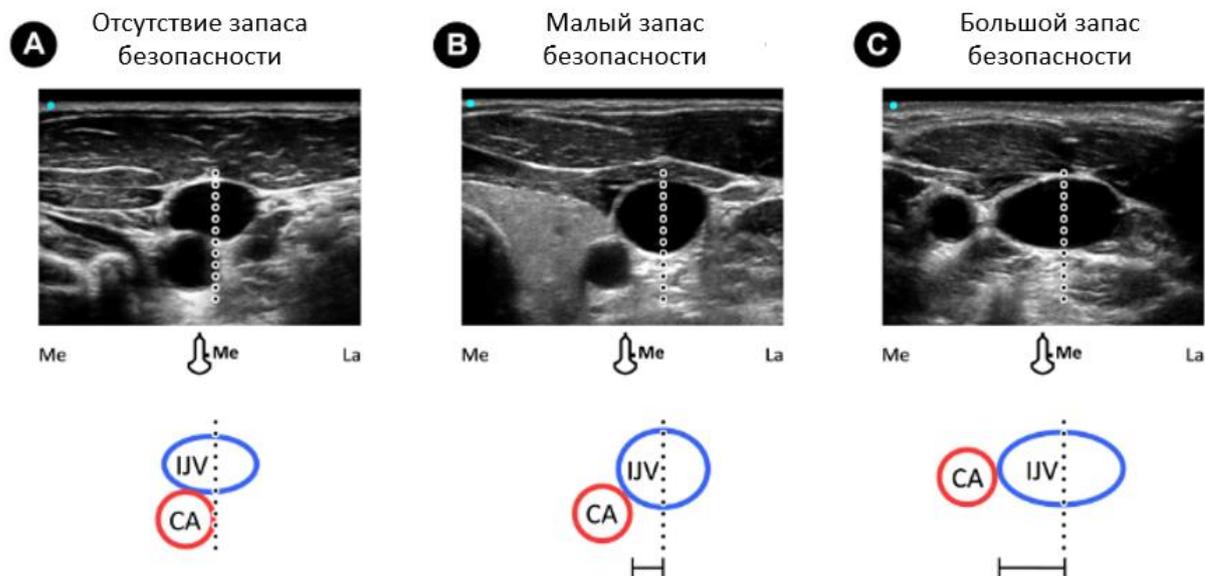


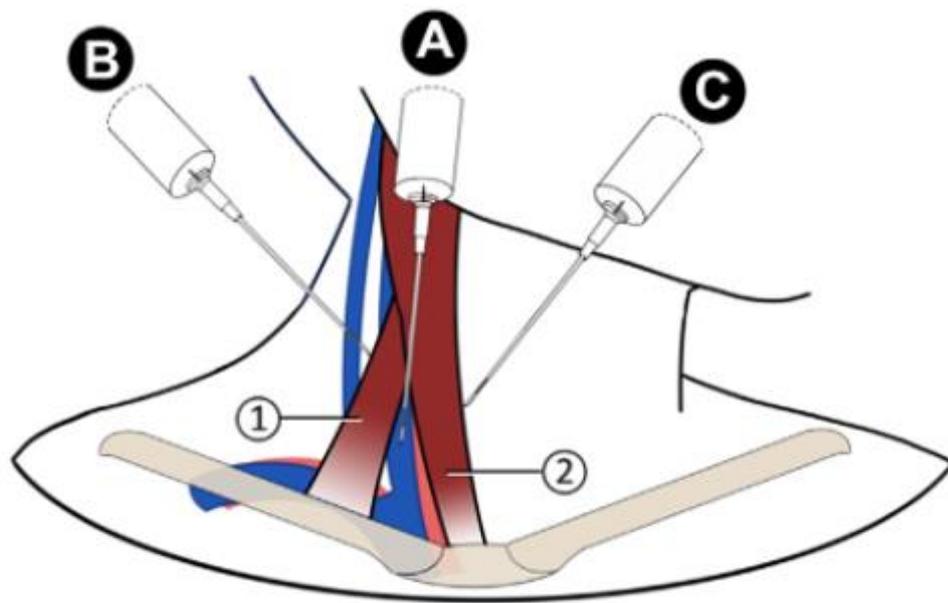
Рисунок 11. Запас безопасности. Запас безопасности - это расстояние между средней точкой ВЯВ и боковой границей СА, примеры которого показывают (А) отсутствие, (Б) малый и (В) большой запас безопасности. Во время катетеризации ВЯВ оператор выбирает траекторию движения иглы (пунктирная линия), чтобы свести к минимуму риск прокола СА. СА - сонная артерия; ВЖП - внутренняя яремная вена; La - латеральный; Me - медиальный.

Сосудистые аномалии и анатомические вариации ВЯВ и окружающих тканей встречаются у 36% пациентов.²⁷ ВЯВ может быть небольшой и фиксированной у 3%, тромбированной или отсутствовать у 3-18% пациентов.²⁸ Ультразвуковое исследование выявляет разницу в размерах между обычно большей правой и меньшей левой венами с диаметром вены <7 мм (площадь поперечного сечения [CSA] < 0,4 см²), что связано с более низкой успешностью канюлирования.²⁹

Техника канюлирования. Пациента следует уложить на спину с небольшим поворотом шеи в противоположную сторону (<30 градусов) для оптимизации размера сосуда. Чрезмерное контралатеральное вращение шеи может привести к увеличению перекрытия между нижнечелюстным каналом и СА, расположению нижнечелюстного канала кпереди от СА и увеличению вероятности непреднамеренного прокола СА.³⁰ Положение Тренделенбурга может незначительно увеличить CSA ВЯВ, но также может снизить CSA в конце выдоха у некоторых пациентов.³¹ В наблюдательном исследовании сообщается, что положение Тренделенбурга увеличивает диаметр правого предсердия у здоровых взрослых, но результаты неоднозначны у больных взрослых пациентов.³² Недостаточно литературы для оценки того, улучшает ли позиционирование по Тренделенбургу показатели успешности катетеризации или снижает риск механических осложнений.



Метод «слепой» канюляции ВЯВ позволяет определить ориентир в виде треугольника, образованного двумя головками грудино-ключично-сосцевидной мышцы и ключицей (рис. 12). В опытных руках это безопасный метод. Частота неудач от 7,0% до 19,4% частично объясняется неточной корреляцией между внешними ориентирами и сосудом.⁶ Более того, если первоначальные попытки с ориентиром не увенчались успехом, успешность канюлирования снижается до <25% при каждой последующей попытке.³¹ Статическая УЗИ-визуализация для маркировки кожи позволяет выявить отклонения в анатомии ВЯВ и выявить пациентов, у которых метод поиска ориентиров вряд ли будет успешным.



1. Грудино-ключично-сосцевидная мышца (ключичная головка)
2. Грудино-ключично-сосцевидная мышца (грудинная головка)

Рисунок 12. Методика определения местоположения внутренней яремной вены. Метод определения местоположения для доступа к внутренней яремной вене может использоваться передний, средний или задний доступы. (А) Наиболее распространенным является срединный доступ, при котором игла вводится на вершине треугольника, образованной головками ГКСМ и ключицей, направляя ее к ипсилатеральному соску под углом 30° к коже. (Б) При заднем доступе игла вводится по латеральной границе ГКСМ, где пересекается наружная яремная вена, направляя ее к яремной вырезке. (В) При переднем доступе, после пальпации пульса на сонной артерии и отведения артерии медиально, игла вводится по медиальному краю ГКСМ в направлении к ипсилатеральному соску. ГКСМ, грудино-ключично-сосцевидная мышца.

В соответствии с методикой, применяемой в США, оператор сканирует внутрисосудистый канал, чтобы определить место прокола, которое обеспечивает прямой доступ к просвету сосуда и сводит к минимуму перекрытие внутрисосудистого канала и риск прокола внутрисосудистого канала (рис. 11). Большинство операторов используют внеплоскостной подход



с точки зрения SАХ, как описано в разделе 3.4, во время внутривенной катетеризации (рис. 9, видео 5).

Доказательства. Несколько рандомизированных контролируемых исследований (РКИ) и метаанализов, в которых сравнивались методы внутривенного доступа, основанные на УЗИ, и традиционные методы доступа в различных клинических условиях, выявили более высокие показатели успеха с первой попытки, более высокие показатели общего успеха, сокращение времени доступа, более низкую частоту пункций артерий и меньшее количество попыток введения под руководством УЗИ.^{29,31,33-35} Метаанализ в 2013 году в 26 исследованиях (4185 пациентов) показал, что канюлирование ВЯВ под контролем УЗИ у взрослых привело к уменьшению числа неудач канюлирования и осложнений (пункция артерии, гематома и гемоторакс).³⁴ Проведенный в 2015 году Кокрейновский анализ 35 исследований, в которых приняли участие 5108 пациентов, показал, однако, что доказательства большинства исходов имеют низкое качество.³⁵

В ходе РКИ, в котором сравнивалось статическое УЗИ с традиционным методом обеспечения внутривенного доступа, сообщалось о более высоком показателе успеха первой попытки при использовании статического УЗИ, но были получены лишь сомнительные доказательства улучшения общего успеха или влияния на частоту пункций артерий.⁸

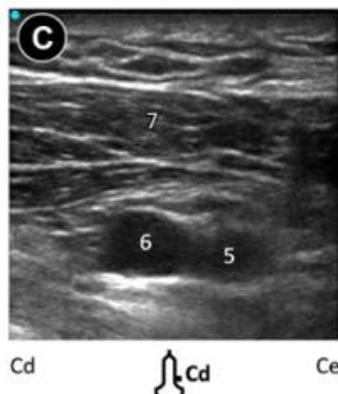
Рекомендации по канюляции ВЯВ. Основываясь на фактических данных и единодушном мнении экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1А), чтобы должным образом обученные врачи использовали УЗ-навигацию во время канюляции ВЯВ, когда это возможно, для повышения эффективности канюляции и снижения частоты осложнений, связанных с введением катетера. Авторская группа признает, что статическое УЗИ превосходит традиционные методы и полезно для определения проходимости сосудов и анатомии с помощью кожной маркировки оптимального места входа для сосудистого доступа.

4.3. Подключичная и подмышечная вены

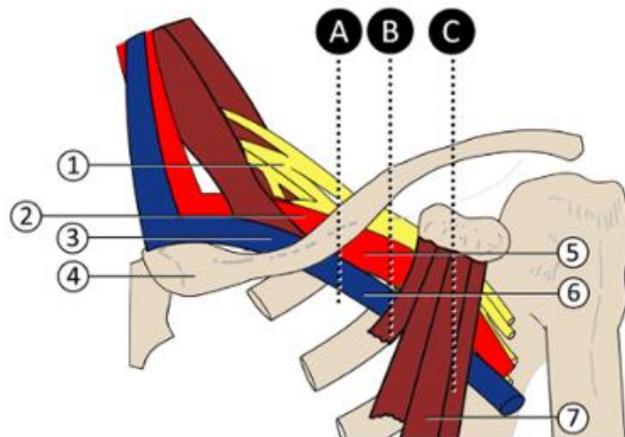
Анатомические особенности и особенности УЗИ. Подмышечная вена образуется на нижней границе подмышечной впадины в результате слияния плечевой и базилярной вен и, пройдя над первым ребром, под подключичной мышцей и ключицей, переходит в подключичную вену (рис. 13, видео 7). Важно отметить, что подмышечная вена находится вне грудной клетки и расположена медиальнее подмышечной артерии на 1-4 см ниже уровня кожи. Подключичная вена и подключичная артерия находятся на стыке внутригрудной полости и внегрудной зоны. Преимущества выбора подмышечной или подключичной вен для центрального венозного доступа включают соответствие анатомических ориентиров поверхности и расположения вен, комфорт пациента и возможность меньшего инфицирования по сравнению с другими участками центрального венозного



доступа. Проксимальная подмышечная вена крупнее, более поверхностна и расположена впереди подмышечной артерии около ключицы, хотя существует множество анатомических вариаций (рис. 13, видео 7).



Подключичные и подмышечные сосуды слева



- 1. Плечевое сплетение
- 2. Подключичная артерия
- 3. Подключичная вена
- 4. Ключица
- 5. Подмышечная артерия
- 6. Подмышечная вена
- 7. Грудная мышца

Положение подмышечной артерии и подмышечной вены

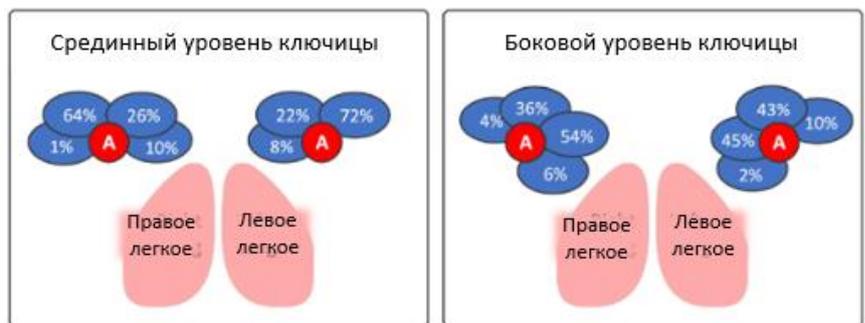


Рисунок 13. Подключичные и подмышечные вены. На схеме показана анатомия левых подключичных и подмышечных сосудов. (А-В) УЗ-изображения представляют сагиттальное расположение датчика, маркер датчика - каудально, (А) в середине, (Б) сбоку и (В) для боковых положений ключицы, показывая левые подмышечные сосуды и окружающие структуры при SAX. Подмышечная вена кажется меньше и расположена более медиально, немного латеральнее ключицы. На рисунке показано расположение (в процентах) подмышечной вены относительно подмышечной артерии на (В) среднем и (С) боковом ключичных уровнях (Источник: Lavallee et al.,³⁷). Звездочки (**) в (В) обозначают головную вену, впадающую в подмышечную вену. Стрелки в (А) и (В) обозначают плевральную линию. Cd - каудальный; Ce - головной; SAX - короткая ось. Смотрите видео 7.



Ультразвуковая визуализация подключичной вены является сложной задачей, так как тень от ключицы часто скрывает вену (рис. 14, видео 8). При перемещении датчика в боковом направлении лучше просматривается подмышечная вена во внегрудной области, что делает этот сосуд более удобным в качестве мишени для проведения катетеризации под контролем УЗ.³⁷ Исходная и постпроцедурная ультразвуковая визуализация плевральной полости и скольжения легкого может помочь исключить пневмоторакс после катетеризации сосудов.

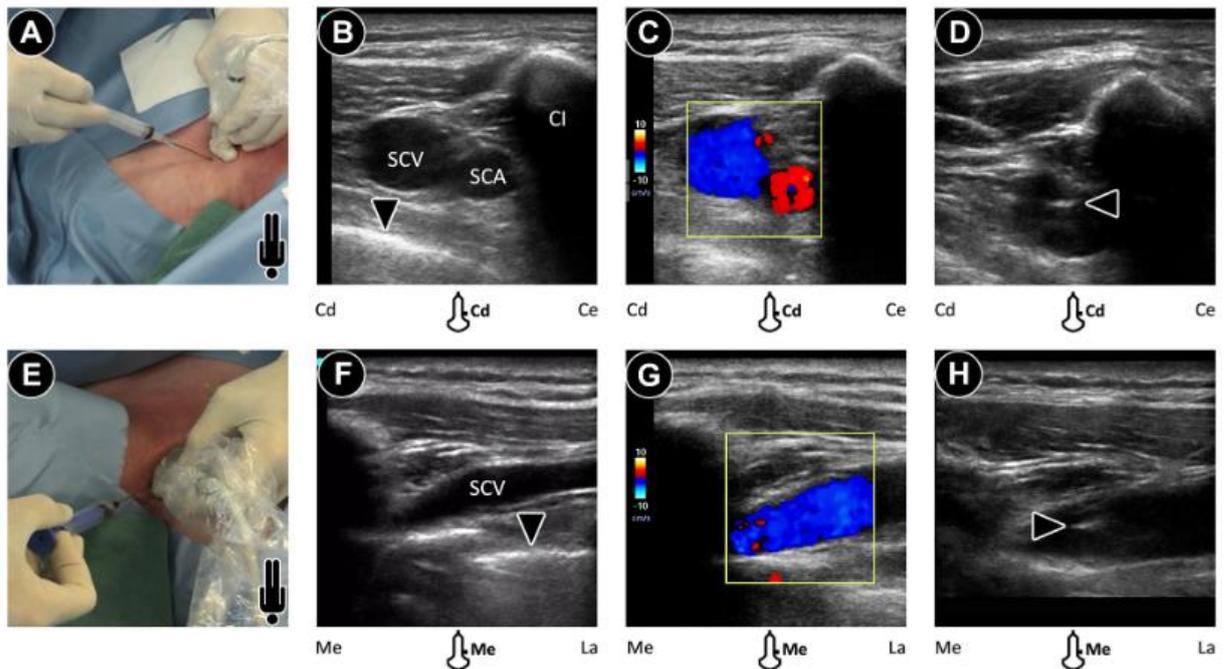


Рисунок 14. Катетеризация подключичной вены. Для доступа к подключичной вене в подключичной области оператор может использовать либо (A-D) обзор SAX, вне плоскости, либо (E-H) обзор LAX, в плоскости. Важно отличать вену от артерии, используя 2D-изображения (B) и (F) и цветную доплерографию (C) и (G). Стрелки в (B) и (F) обозначают плевральную линию. На снимке (F) в обзоре LAX показано сдавление вены. (C) и (G) Цветные доплеровские изображения потока показывают низкоскоростной непulsирующий поток в вене от латеральной к медиальной, удаленной от датчика (синий). На ультразвуковых изображениях (D) и (H) должен быть виден кончик иглы (стрелка) в просвете вены; на изображениях (D) в SAX и на (H) в LAX. Cd - каудальный; Ce - головной; Cl - ключица; La - латеральный; LAX - длинная ось; Me - медиальный; SAX - короткая ось; SCA - подключичная артерия; SCV - подключичная вена. Смотрите видео 8.

Техника выполнения канюлирования. Положение лежа на спине с нейтральным наклоном головы и небольшим отведением плеч наиболее эффективно выравнивает подключичную вену для использования техники, основанной на ориентирах, во время выполнения канюлирования.³⁸ Несмотря на то, что многие клиницисты размещают пациента в положении Тренделенбурга, подключичная вена растягивается меньше, чем ВЯВ, поскольку окружающие ткани фиксируют подключичную вену. Таким образом, основной причиной положения Тренделенбурга является повышение



венозного давления в подключичной вене, что снижает риск воздушной эмболии у пациентов со спонтанным дыханием.

Оператор может ввести катетер через надключичный или подключичный доступ. Подключичный доступ является наиболее распространенным и, следовательно, является предметом нашего обсуждения. Клиницисты в значительной степени отказались от «слепого» надключичного доступа (без УЗИ) из-за высокой частоты пневмоторакса.

Многие клиницисты считают «слепую» технику канюлирования подключичной вены самым простым методом доступа к этой вене. Обычно иглу вводят на 1 см ниже места соединения средней и медиальной трети ключицы в дельтовидно-грудной впадине (рис. 13). Анатомия пациента влияет на величину бокового смещения иглы. Увеличенный угол наклона иглы к коже или слишком переднее направление иглы увеличивает риск возникновения пневмоторакса. Каудальный поворот иглы после венеопункции помогает направить проводник в правое предсердие.

При ультразвуковом доступе к подключичной вене датчик устанавливается перпендикулярно середине ключицы около первого ребра для определения подключичной вены, подключичной артерии и плевры (рис. 14, видео 8). По сравнению с подключичной артерией, подключичная вена находится в медиальной части, поверхностно и поддается сжатию. Оператор может проколоть подключичную вену в вертикальном положении или повернуть датчик, чтобы получить свободный обзор.³⁸ При LAX датчик расположен параллельно сосуду и предпочтительно ориентирован таким образом, чтобы отслеживать направление кровотока к сердцу, поэтому прокол иглой следует направлению венозного кровотока.

Проксимальный и дистальный доступ - это два метода канюляции подмышечных вен, которые можно осуществить с помощью УЗИ.³⁹ При проксимальном доступе положение датчика находится вблизи средней трети ключицы и позволяет получить изображение дистальной подмышечной вены в проекции SAX или LAX, при этом игла вводится ближе к ключице. При дистальном доступе игла входит примерно на треть расстояния между ключицей и подмышечной впадиной. Ориентация датчика позволяет увидеть подмышечную вену в горизонтальном или вертикальном положении по центру экрана.^{39,40} Прокол кожи производится под углом 45° к датчику. При манипулировании ультразвуковым датчиком кончик иглы проходит от проникновения в кожу до стенки сосуда. Ультразвук может подтвердить правильное расположение проводника в подмышечной вене, направленной к сердцу, исключая неправильное расположение в ипсилатеральной внутренней и контралатеральной внутренней венах.

Доказательства. В нескольких РКИ и мета-анализах сравнивается сосудистый доступ к подключичной вене и подмышечной вене под контролем УЗИ с традиционными методиками.⁴¹⁻⁴⁴ Что касается подключичной вены, то в РКИ под руководством США сообщается о меньшем количестве попыток и



более высоких общих показателях успеха, но они неоднозначны в отношении пункции артерии и гематомы.^{43,44} В крупнейшем РКИ, в котором участвовал 401 пациент, сравнивались доступ под руководством УЗИ и «слепая» канюляция подключичной вены, и было показано, что опытные операторы, использующие проекцию LAX, улучшили показатели канюляции (100% против 87,5%) при меньшем количестве механических осложнений.⁴¹ Метаанализ 10 исследований (2168 пациентов), проведенный в 2015 году, показал, что канюлирование подключичной вены под контролем УЗИ снизило частоту нежелательных явлений по сравнению со «слепой» методикой.⁴³ Проведенный в 2015 году Кокрейновский анализ 35 исследований, в которых приняли участие 5108 человек, показал небольшое повышение безопасности и качества при незначительном снижении осложнений при использовании УЗ-навигации для доступа к подключичной вене.⁴⁴ Проведенный в 2023 году метаанализ, включавший шесть исследований (805 пациентов, 2017-2022 гг.), показал, что доступ к подключичной вене под контролем УЗИ является более безопасным и эффективным с увеличением общего числа попыток и показателей успеха с первой попытки, сокращением общего числа попыток, времени доступа и частоты осложнений.⁴⁵

Рандомизированные контролируемые исследования показали, что канюляция подкожных вен под контролем УЗИ является безопасной альтернативой внутривенному доступу с меньшим количеством осложнений.^{46,47} Мета-анализ пяти исследований (1852 пациента), проведенный в 2022 году, показал, что канюляция подкожных вен под контролем УЗИ уменьшает количество неудач при катетеризации и механических осложнений по сравнению с пункцией подкожных вен под контролем УЗИ.⁴⁸

Рекомендации по катетеризации подключичных и подкожных вен. Основываясь на единодушном мнении экспертов и несмотря на доказательства низкого качества, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1С), чтобы обученные клиницисты использовали УЗ-навигацию во время катетеризации подключичной вены. На основании нескольких исследований, содержащих высококачественные фактические данные и единодушное мнение экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1В), чтобы должным образом обученные клиницисты использовали УЗ-навигацию во время канюляции подкожных вен, когда это возможно, для повышения эффективности канюляции и снижения частоты осложнений.

4.4. Общая бедренная вена

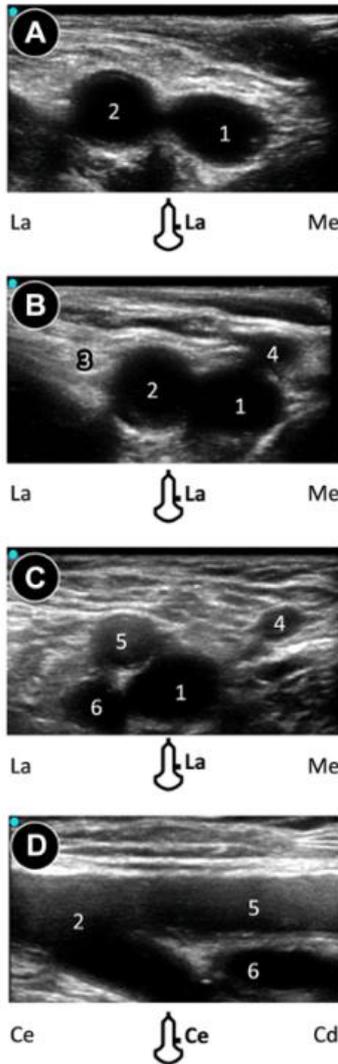
Анатомические особенности и особенности УЗИ. Общая бедренная вена (ОБВ) и общая бедренная артерия (ОБА) проходят параллельно в пределах бедренного треугольника в паховой области, ОБВ медиально от ОБА (рис. 15, видео 9). Пульс на бедренной артерии проходит в средней точке



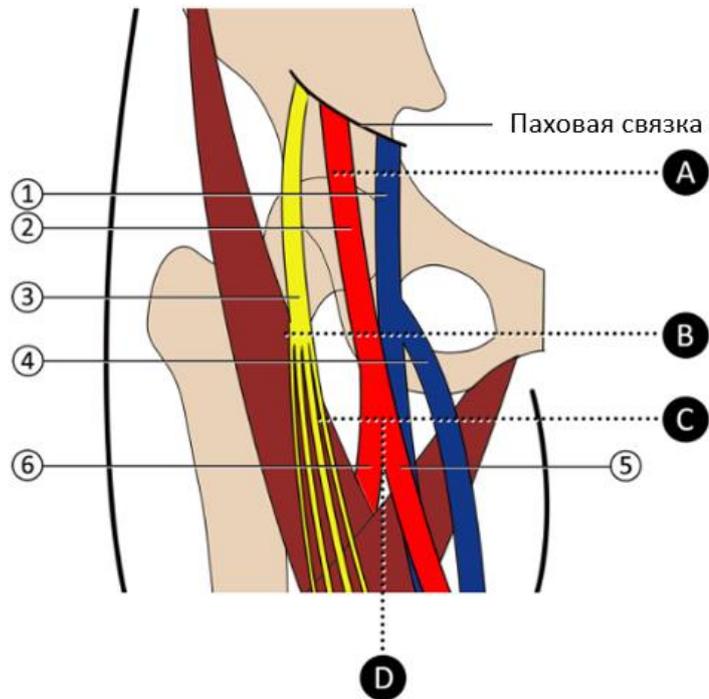
паховой связки, соединяющей переднюю верхнюю подвздошную ость с лобковым бугорком. Степень перекрытия ОБВ общей бедренной артерией увеличивается с 5% до 60% при перемещении дистальнее паховой связки.⁴⁹ Кроме того, изменчивое соотношение между паховой связкой и паховой складкой делает последнюю менее полезным ориентиром на поверхности.

Бедренный доступ имеет преимущества для планового и экстренного венозного и артериального доступа, поскольку это относительно безопасное и доступное место с предсказуемыми анатомическими ориентирами. Доступ к бедренным сосудам позволяет избежать риска развития гемоторакса и пневмоторакса, которые характерны для пациентов с тяжелой коагулопатией или дыхательной недостаточностью. Несмотря на то, что бедренная область позволяет проводить канюлирование без прерывания сердечно-легочной реанимации во время остановки сердца, последние усовершенствованные рекомендации по жизнеобеспечению сердца рекомендуют внутрикостный доступ поверх бедренного венозного доступа у пациентов, у которых отсутствует внутривенный доступ.⁵⁰ Внутрикостный доступ предполагает введение вручную или с помощью сверла специальной внутрикостной иглы с полым отверстием в проксимальный отдел большеберцовой кости через костную кору в костномозговой синус для введения жидкостей и лекарств.

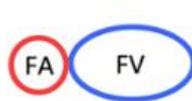
Ультразвуковое исследование паховой области начинается в средней точке, недалеко от паховой связки.¹⁶ Изображение SAX, направленное перпендикулярно сосудам, позволяет легко определить относительное положение и глубину расположения ОБВ и ОБА (рис. 15). При более каудальном расположении УЗИ-датчика видна большая подкожная вена, входящая в ОБВ, и бифуркация ОБА в поверхностную и глубокую бедренные артерии. У пациентов с повышенным центральным венозным давлением, дисфункцией правых отделов сердца и легочной гипертензией может наблюдаться пульсация в ОБВ.



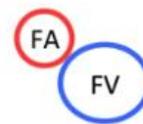
Анатомия бедренной области справа



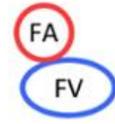
- 1.Общая бедренная вена
- 2.Общая бедренная артерия
- 3.Бедренный нерв
- 4.Большая подкожная вена
- 5.Поверхностная бедренная артерия
- 6.Глубокая бедренная вена



Нет перекрытия



<50% перекрытия



>50% перекрытия

Рисунок 15. Анатомия сосудов бедренной области и ультразвуковое исследование. На изображении показана анатомия правого бедренного треугольника. На УЗИ изображены сосуды правой бедренной области на разных уровнях, маркер датчика расположен сбоку. (A) В самом верхнем месте под паховой связкой в SAX видны общая бедренная вена и общая бедренная артерия, вена расположена медиальнее артерии. (B) Проведя датчиком каудально, можно увидеть большую подкожную вену, которая входит в ОБВ. (C), (D) Дальнейшее движение датчика в каудальном направлении показывает раздвоение на поверхностную бедренную артерию и глубокую бедренную артерию в (C) SAX и (D) LAX. На рисунке показана переменная степень перекрытия бедренных сосудов, причем чем больше перекрытие, тем больше расстояние от паховой связки. Cd - каудальный; Ce - головной; CFV - общая бедренная вена; FA - бедренная артерия; FV - бедренная вена; La - латеральный; LAX - длинная ось; Me - медиальный; SAX - короткая ось. Смотрите видео 9.

Техника катетеризации. Положение пациента на спине с отведением бедра в нейтральное положение или с небольшим отведением бедра и вращением кнаружи (положение «лягушачья лапка») позволяет получить доступ к бедренным сосудам (рис. 16). Положение «лягушачья лапка» улучшает доступ к ОБВ с 70% до 83% у взрослых и увеличивает диаметр сосуда у детей по сравнению с положением «прямая ножка».⁵¹ Положение



Тренделенбурга, обращенное вспять, увеличивает поперечное сечение ОБВ более чем на 50%.⁵²

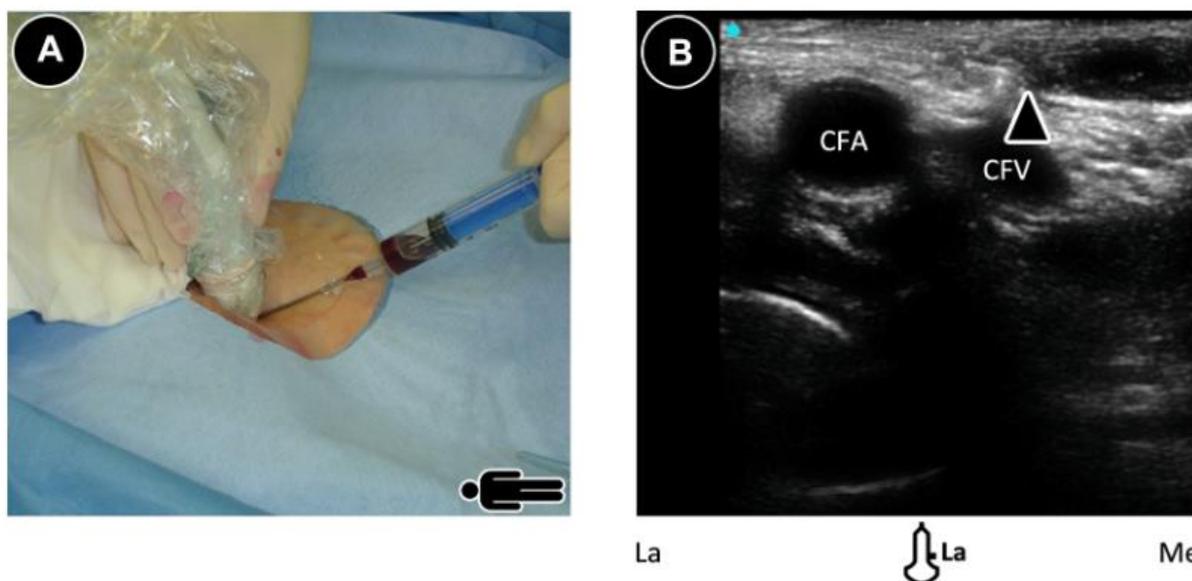


Рисунок 16. Доступ к бедренному сосуду. (А) Пациент лежит на спине, бедро находится в нейтральном положении, УЗ-датчик направлен поперек сосудов под паховой связкой. (Б) На УЗИ-снимке показаны значения ОБА и ОБВ в SAX. Положение целевого сосуда, в данном случае ОБВ, должно находиться в центре экрана. (А) Иглу вводят под углом 45° к коже, манипулируя датчиком (Б), чтобы проследить, как кончик иглы (черная стрелка) проникает в мягкие ткани, а затем входит в сосуд. CFA - общая бедренная артерия; CFV - общая бедренная вена; La - латеральный; Ме - медиальный; SAX – короткая ось.

В слепом методе оператор определяет местонахождение ОБА, пальпируя точку максимальной пульсации на 1-2 см ниже середины паховой связки. Для определения ОБВ необходимо ввести иглу под углом 45° к коже на 1 см медиальнее максимальной пульсации ОБА, продвигая иглу в головно-срединном направлении. У большинства взрослых ОБВ находится на глубине 2-4 см под кожей.

При УЗИ-методе оператор помещает УЗ-датчик в паховую область перпендикулярно направлению сосуда, таким образом, сосуды отображаются в виде SAX. Сканирование ОБВ позволяет оценить проходимость и калибр.¹⁶ Канюляция включает в себя размещение целевого сосуда в центре экрана и введение иглы под углом 45° к коже (рис. 16). Оператор манипулирует УЗ-датчиком, чтобы отслеживать приближение кончика иглы к сосуду. Слабый обзор может улучшить визуализацию траектории движения кончика иглы и входа в сосуд, но его трудно поддерживать в зависимости от глубины расположения сосуда.

Доказательства. Существуют РКИ, наблюдательные исследования и мета-анализы, в которых сравниваются рекомендации УЗИ с традиционными методами канюлирования CFV.^{8,53-56} В этих РКИ сообщается о меньшем количестве попыток введения с помощью УЗИ и более высоких общих



показателях успеха, и меньше осложнений.^{53,54} Мета-анализ семи исследований (830 катетеров), проведенный в 2011 году, показал, что канюлирование ОБВ с помощью УЗИ катетерами для гемодиализа снижает частоту нежелательных явлений по сравнению со «слепой» методикой.⁵⁵ Кокрановский мета-анализ 2015 года, включавший четыре исследования (311 пациентов), показал, что УЗ-канюлирование ОБВ катетерами для гемодиализа снижает частоту нежелательных явлений. Канюлирование ОБВ имело больший успех с первой попытки и небольшое увеличение общего успеха, но не привело к случайной пункции артерии или другим осложнениям.⁴⁴ Метаанализ 2020 года, в котором сравниваются УЗ-навигация со «слепой» методикой доступа к ОБВ для электрофизиологических процедур включали девять исследований (на 8232 пациентах) и показали, что использование УЗИ было связано с меньшим количеством серьезных сосудистых осложнений и случаев непреднамеренной пункции артерий, сокращением времени пункции и меньшей болезненностью процедуры.⁵⁶

Рекомендации по канюлированию ОБВ. Основываясь на данных РКИ, мета-анализов и единодушном мнении экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1В) регулярно использовать УЗ-навигацию во время канюлирования ОБВ, когда это возможно, для повышения эффективности канюлирования и сокращения времени канюлирования и осложнений.

4.5. Периферическая внутривенная центральная канюляция

Анатомические особенности и особенности УЗИ. Центральный катетер, установленный по периферии (PICC), может обеспечить доступ к центральной вене через пункцию периферической вены, что позволяет избежать рисков, связанных с центральной венозной канюляцией. Наличие многослойных катетеров делает этот доступ подходящим для длительных инфузий, введения склерозирующих препаратов и взятия венозной крови в амбулаторных условиях, стационаре и отделении интенсивной терапии.

У большинства пациентов венозная система плеча впадает в подключичную вену из трех основных вен: базальной, плечевой и головной, с некоторой анатомической вариабельностью (рис. 17). Единого мнения о том, какой сосуд лучше всего подходит для катетеризации, нет, хотя наиболее распространенным является медиальная подкожная вена на плече. Плечевая вена обычно выбирается в последнюю очередь, чтобы свести к минимуму риск пункции плечевой артерии. Использование портативного УЗИ-аппарата для канюляции периферических вен под контролем УЗИ позволяет проводить эту процедуру у постели больного квалифицированными врачами и медсестрами.⁵⁷ Оператор сканирует руку от локтевой ямки до подмышечной вены, чтобы убедиться в проходимости сосуда и облегчить выбор самой крупной вены. Оптимальное место прокола на руке - как можно выше.⁵⁸

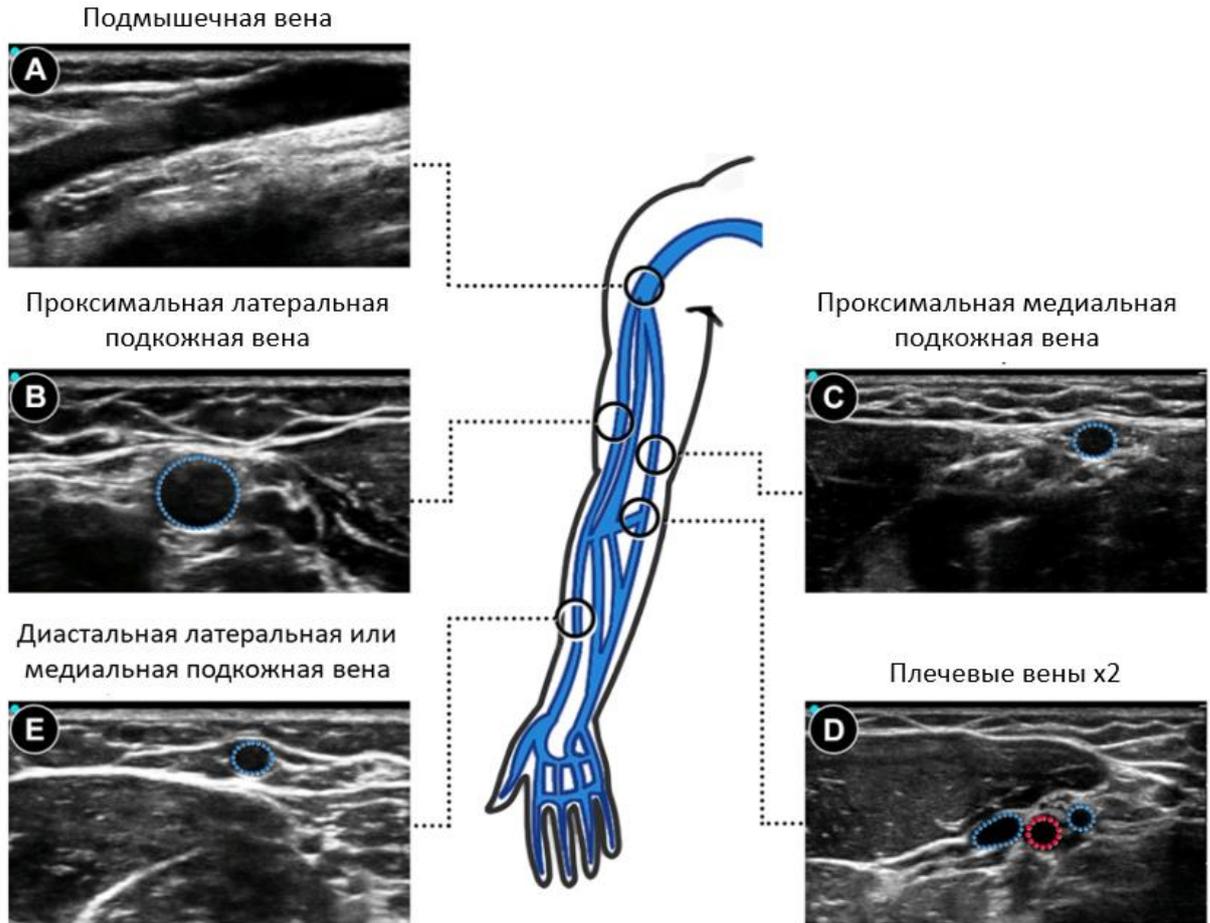


Рисунок 17. Доступ к периферическим венам. На схеме показана анатомия вен правой руки. Латеральная подкожная вена проходит по латеральной стороне руки, медиальная подкожная вена находится в медиальной части руки, а плечевая вена проходит по центру руки, хотя и со многими вариациями. УЗИ показывает, что вены легко поддаются сжатию и имеют непрерывный низкоскоростной кровоток. (А) Показаны УЗ-изображения подмышечной вены в проекциях LAX и SAX с синими пунктирными кружками, обозначающими (Б) проксимальную латеральную подкожную вену в латеральной части плеча, (В) проксимальную медиальную подкожную вену в медиальной части плеча и (Г) 2 плечевые вены в локтевой ямке. (Е) Поверхностные дистальные вены выступают над фасцией и имеют аналогичный внешний вид, как показано для дистальной латеральной подкожной вены. LAX - длинная ось; SAX - короткая ось.

Техника канюлирования. Пациент лежит на спине или голова его приподнята на 45 градусов для повышения комфорта пациента. Согнутая рука отведена на 75 градусов и опирается на твердую поверхность. Оператор может наложить жгут на руку и после проведения кожной антисептики накрыть место введения простыней на все тело, чтобы создать стерильную зону. При венозной пункции обычно используется внеплоскостной подход для визуализации сосуда в SAX по модифицированной методике Сельдингера (рис. 5). В настоящее время показатели успешности введения PICC-линии у постели больного с помощью УЗИ составляют более 90%.

Доказательства. Использование УЗ-навигации по установке PICC повышает эффективность обследования вен и канюляции при одновременном снижении осложнений.⁵⁹⁻⁶¹



Рекомендации по периферической внутривенной центральной канюляции. Основываясь на данных меньшего числа исследований и меняющихся стандартах оказания медицинской помощи, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1С) регулярно использовать УЗ-навигацию, чтобы помочь в обеспечении PICS пациентам.

4.6. Периферическая внутривенная канюляция

Анатомические особенности и УЗИ. Латеральная подкожная вена руки проходит рядом с лучевыми сосудами, а медиальная подкожная вена руки - рядом с локтевыми сосудами (рис. 17). Плечевая и медиальная подкожная вены переходят в подмышечную вену на нижней границе большой круглой мышцы. Латеральная подкожная вена проходит латерально вдоль предплечья и плеча, затем проходит между дельтовидной мышцей и большой грудной мышцей и присоединяется к подключичной вене.

Определение затрудненного периферического внутривенного доступа (PIV) заключается в отсутствии хорошо видимых или пальпируемых вен на обеих руках после наложения жгута.⁶² Ультразвуковое сканирование локтевой ямки, предплечья и нижних конечностей может помочь выявить вены. Важно помнить, что давление от датчика может сдавливать вены, затрудняя их визуализацию.

Техника катетеризации. Во время катетеризации периферических вен проводится асептика кожи в месте прокола, но в зависимости от методики УЗ-датчик и гель могут быть стерильными, а могут и не быть. Канюляция периферических вен под ультразвуковым контролем проводится по кончику иглы ангиокатетера, используя внеплоскостной доступ, что позволяет визуализировать сосуд в режиме SAX. Сосуды меньшего размера могут быть извилистыми, и их трудно рассмотреть в продольном направлении.

Доказательства. Метаанализ РКИ и проспективных обсервационных исследований показал, что PIV-канюляция под контролем УЗИ лучше, чем использование ориентиров, при затрудненном венозном доступе, и особенно полезна у детей.⁶³⁻⁶⁷ Метаанализ, проведенный в 2018 году с участием восьми исследований (1660 пациентов), в которых использовался PIV-доступ под контролем УЗИ, показал более высокие показатели успешности канюляции, с сокращенным количеством проколов и временем на катетеризацию.⁶⁵ Другой метаанализ, проведенный в 2023 году, включающий семь исследований (994 пациента) с участием детей и взрослых, которым канюляцию проводили с помощью УЗ-навигации в различных клинических условиях, показал более высокие показатели первой попытки и общего успеха.⁶⁶ Использование нашей методики для установки PIV может сократить время на получение венозного доступа, повысить удовлетворенность пациентов и уменьшить потребность во вмешательстве врача.⁶⁸

Рекомендации по канюляции периферических вен. Основываясь на ограниченных данных исследований и единодушном мнении экспертов, эта



группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1B) использовать УЗ-навигацию по канюляции PIV у взрослых и детей с венозным доступом от средней до сложной степени, как в экстренных, так и в плановых ситуациях.

Ключевые моменты: венозная канюляция

- Показания к проведению венозной канюляции включают терапевтические, мониторинговые и диагностические мероприятия в стационарных и амбулаторных условиях.
- Места доступа к венам могут включать канюлирование центральных или периферических вен.
- В соответствии с методикой УЗ-навигации, оператор исследует вену, чтобы определить место пункции, которое обеспечивает прямой доступ к просвету сосуда и сводит к минимуму риск прокола артерии.
- Данные, полученные в различных клинических условиях, свидетельствуют о более высоких показателях успешности первой попытки введения, более высоких общих показателях успеха, сокращении времени доступа, снижении частоты пункций артерий и меньшем количестве попыток введения при использовании ультразвукового контроля в различных сосудах.

5. АРТЕРИАЛЬНАЯ КАНЮЛЯЦИЯ

5.1. Общие сведения

Показания. Расширяются показания к артериальной канюляции для целей мониторинга, диагностики и лечения в неотложной помощи, операционной, интервенционной радиологии и в условиях катетеризации сердца (таблица 3). Для диагностических процедур, таких как ангиография сосудов и сердца, используется временный артериальный доступ. Для доступа к артериям требуются более крупные доступы, облегчающие доставку терапевтических устройств в аорту и сердце, а также для чрескожных терапевтических вмешательств, таких как поддержка сердца с помощью внутриаортального баллона или других форм механической поддержки кровообращения.

Таблица 3 Общие показания к артериальному доступу

- Постоянный инвазивный мониторинг артериального давления
- Забор артериальной крови
- Упрощение диагностических тестов, таких как ангиограммы сердца и сосудов
- Терапевтические чрескожные эндоваскулярные процедуры, такие как ангиопластика или эмболизация
- Поставка терапевтических устройств, таких как стенты и сердечные клапаны



- Обеспечьте доступ для механической поддержки сердца, внутриаортального баллонного насоса, поддержки желудочков, экстракорпоральной мембранной оксигенации
- Создание эндоваскулярной артериовенозной фистулы
- Процедуры тромболиза или тромбэктомии

Выбор места для катетеризации. К участкам для артериального канюлирования в верхней части тела относятся лучевая, локтевая, плечевая, подмышечная и сонная артерии, а в нижней части тела – общая бедренная артерия, задняя большеберцовая артерия (РТА) и тыльная артерия стопы (ДРА). Для мониторинга общие бедренные и плечевые артерии позволяют лучше оценить центральное артериальное давление по сравнению с периферическими артериями.

Предпочтительным местом для канюлирования периферических артерий является лучевая артерия, поскольку она поверхностна, легкодоступна и поддается сжатию при достаточном коллатеральном кровотоке, что сводит к минимуму осложнения.⁶⁹ Локтевая артерия является альтернативным местом для инвазивного мониторинга артериального давления. Локтевая артерия менее благоприятна по сравнению с лучевой артерией из-за более глубокого анатомического расположения, близости к крупному нерву и потенциальных трудностей в достижении гемостаза после процедуры. Канюлирование плечевой артерии как альтернатива доступу к лучевой или локтевой артерии теоретически может привести к ишемии дистальных отделов конечности, хотя клинический опыт, даже у новорожденных и грудных детей, этого не подтверждает.⁷⁰ Общая бедренная артерия часто используется для установки эндоваскулярных стентов и ретроградного доступа к сердцу при проведении структурных операций на сердце. Это также может быть предпочтительным местом для доступа к артериям во время катетеризации сердца у детей. Подмышечная артерия и сонная артерия являются альтернативными местами чрескожного доступа с большим отверстием у взрослых, когда бедренный доступ недоступен из-за малого размера сосуда, атеросклеротического заболевания или извитости. Канюляция подмышечной артерии может быть предпочтительнее, чем канюляция других артерий у новорожденных и грудничков, при определенных вмешательствах с использованием катетера (например, при стентировании артериального протока при врожденных пороках сердца).

Ультразвуковое исследование сосудов. Как обсуждалось ранее в разделе 3.3, УЗИ позволяет идентифицировать артерии, которые следует отличать от вен (рис. 4). При визуализации с помощью УЗИ легко перепутать артерии и вены, поскольку даже незначительное давление датчика может привести к сдавливанию поверхностных сосудов. При УЗИ целевой артерии в обзорах SAX и LAX следует оценить глубину, размер, проходимость, извитость и наличие какого-либо кальциноза.^{71,72}



«Слепая» техника доступа к артерии. Клиницисты используют аналогичный подход для обеспечения доступа к артерии в любой интересующей области. Оператор фиксирует область и пальпирует точку максимальной пульсации над артерией. После инфильтрации кожи местным анестетиком, если это необходимо, на кожу наносятся антисептические средства и стерильные салфетки, что создает стерильную зону. Оператор вводит иглу или ангиокатетер под углом 30-45° к сосуду, наблюдая за возвращением крови, используя методику Сельдингера или модифицированную методику Сельдингера (рис. 5). Для создания подкожного туннеля, в который помещается большая канюля или оболочка, может потребоваться расширитель поверх проводника. Рентгеноскопия, если таковая имеется, часто используется перед обеспечением доступа к общей бедренной артерии, чтобы подтвердить подходящее место пункции над головкой бедренной кости.

Доступ к артериям под контролем УЗИ. Ультразвуковое исследование наиболее полезно, когда артерию трудно прощупать, она мала в диаметре, расположена глубоко, кровоток в ней отсутствует, а также после предыдущей неудачной канюляции. Доступ к сильно кальцифицированным сосудам с помощью УЗИ может быть затруднен, поэтому рентгеноскопия, если таковая имеется, может стать заменой в этой ситуации.

В стерильных условиях визуализация сосуда выполняется в SAX с канюлированием по методу Сельдингера или модифицированной методике Сельдингера (рис. 5). После первичной пункции сосуда при SAX ультразвуковое исследование сосуда при LAX может помочь оператору провести проводник через просвет, минуя стеноз или бляшку, если таковые имеются.

5.2. Лучевая артерия и локтевая артерия

Анатомия и особенности доступа. Плечевая артерия разветвляется на локтевую и лучевую артерии дистальнее локтевой ямки (рис. 18). Лучевая артерия проходит латерально, а локтевая артерия медиально вниз по предплечью и заканчивается на запястье. К каждой артерии на запястье примыкают две вены: артерия посередине и вена с каждой стороны. Лучевая и локтевая артерии соединяются через поверхностную ладонную и глубокую ладонную дуги, обеспечивая двойное кровоснабжение кисти. У взрослых средний диаметр лучевой артерии составляет $2,2-2,36 \pm 0,4$ мм, а локтевой артерии - $2,3-2,56 \pm 0,5$ мм на запястье.⁷²

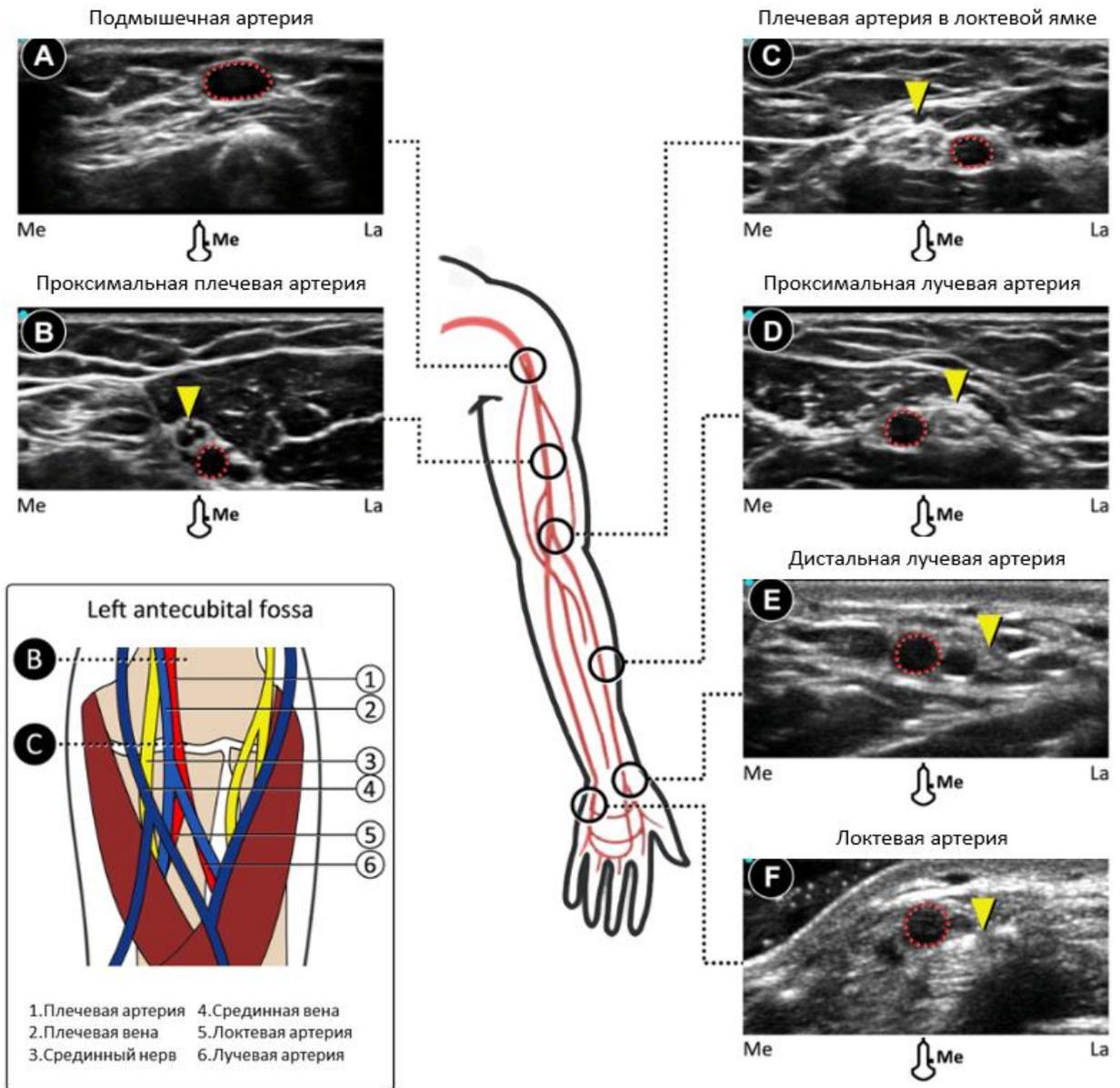


Рисунок 18. Доступ к артериям верхней конечности. На изображении анатомии артерий левой руки и локтевой ямки показано расположение плечевой, лучевой и локтевой артерий. Показаны УЗ-изображения левой руки в разрезе по короткой оси (SAX) с красными пунктирными кружками, обозначающими (A) подмышечную артерию, (B) проксимальную плечевую артерию в плече, (C) плечевую артерию в локтевой ямке, (D) проксимальную лучевую артерию в предплечье, (E) дистальную лучевую артерию и (F) локтевую артерию на запястье. Обратите внимание на 2 вены, которые сопровождают дистальные лучевые и локтевые артерии, по одной с каждой стороны от артерии. При катетеризации артерий важно избегать повреждения нервов (желтая стрелка), которые сопровождают артерию. La - латеральный; Me - медиальный.

Лучевая артерия является распространенным местом катетеризации для мониторинга и процедур, связанных с интервенционными специальностями, такими как кардиология, нейрорадиология и радиология, даже у пациентов с тромбоцитопенией или коагулопатией.⁷³ Преимущества лучевой канюляции по сравнению с бедренной включают меньший риск осложнений, связанных с кровотечением, более короткое время восстановления и возможность передвигаться сразу после процедуры.⁷⁴ Это выгодно для пациентов с



ожирением и обеспечивает высокую удовлетворенность пациентов.⁷⁵ Доступ к сердцу предпочтительнее осуществлять через правую лучевую артерию, чтобы избежать пересечения дуги аорты и сосудов головного мозга слева. Для периферических вмешательств лучше использовать левую лучевую артерию по той же причине, что она позволяет избежать пересечения всех сосудов головного мозга, кроме левой позвоночной артерии. Катетеризация дистальной лучевой артерии через анатомическую «табакерку» является еще одной безопасной альтернативой традиционному трансрадиальному доступу к лучевой артерии. Локтевая артерия является подходящей альтернативой для пациентов с противопоказаниями к доступу к лучевой артерии.

Перед пункцией лучевой или локтевой артерии УЗИ позволяет оценить размер сосуда. Модифицированные тесты Аллена и Барбо позволяют оценить адекватность коллатерального кровообращения в кисти при выборе доступа с большим отверстием.¹¹ В модифицированном тесте Аллена пациент поднимает и сжимает кисть в течение 30 секунд. Одновременная окклюзия локтевой и лучевой артерий на запястье приводит к побледнению кисти. После освобождения локтевой артерии цвет кисти должен восстановиться в течение 5-15 секунд, что свидетельствует о нормальном результате теста Аллена. Если цвет не возвращается, тест Аллена положительный, что указывает на недостаточный локтевой коллатеральный кровоток.

В тесте Барбо используется пульсоксиметр на большом пальце для наблюдения за формой сигнала при сдавливании лучевой артерии в течение 2 минут. Возможные изменения формы сигнала оксиметра включают (А) отсутствие затухания, (Б) затухание, (В) потерю, но восстановление в течение 120 секунд и (Г) потерю без восстановления в течение 120 секунд. Оценка по тесту Барбо, равная D, и небольшой размер лучевой артерии (<1,7 мм), который не может вместить сосудистую оболочку лучевой артерии диаметром 5 мм (1,65 мм), являются противопоказаниями к доступу к лучевой артерии для катетеризации сердца или периферических процедур.⁷⁶

У взрослых следует избегать катетеризации небольшой лучевой артерии (<1,8 мм) в целях мониторинга, поскольку это часто приводит к ложно низкому измерению артериального давления и увеличивает риск псевдорадиальной гипотензии во время кардиологических процедур.^{77,78}

Техника канюлирования. Оператор устанавливает высокочастотный линейный ультразвуковой датчик перпендикулярно лучевой или локтевой артерии, визуализируя сосуд в режиме SAX (рис. 19, видео 3). У бодрствующего взрослого пациента после кожной антисептики и введения лидокаина над просветом сосуда под контролем УЗИ непрерывно вводят иглу для доступа диаметром 21 или 22 мм или ангиокатетер диаметром 20 мм. Предпочтительнее использовать метод однократного прокола передней стенки. Если рентгеноскопия не проводится, оператор должен вращать датчик, чтобы получить изображение сосуда в свободном состоянии, и наблюдать за продвижением проводника во время доступа к игле или ангиокатетеру.

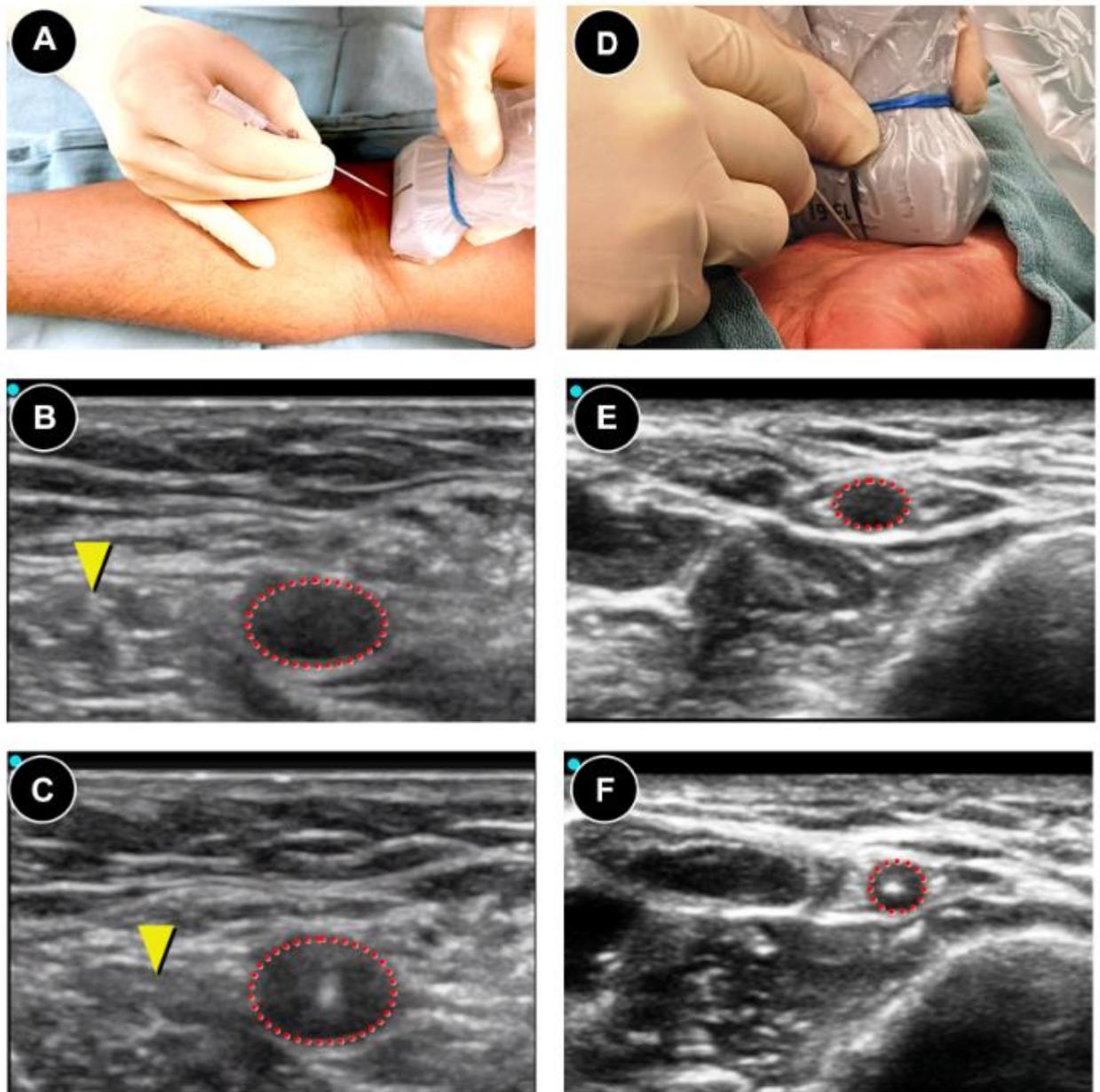


Рисунок 19. Катетеризация периферической артерии. (А) Отведенная рука располагается на твердой поверхности, а УЗИ-датчик расположен перпендикулярно левой плечевой артерии в локтевой ямке. (В) На УЗ-изображении показан вид плечевой артерии по короткой оси (SAX) в центре экрана. (С) Оператор вводит иглу в мягкие ткани в просвет сосуда, используя внеплоскостной доступ. (D) Для канюлирования дистальной лучевой артерии валик, подложенный под запястье, расширяет область. (E) На УЗ-изображении показана поверхностная лучевая артерия в SAX, и (F) используя технику "вне плоскости", оператор вводит лучевую артерию в канюлю. Желтые стрелки в (В) и (С) обозначают срединный нерв. SAX, короткая ось. Смотрите видео 10.

Доказательства. Проспективные РКИ пациентов, которым проводилась канюляция лучевой артерии для мониторинга или катетеризация сердца, в которых сравнивались УЗ-навигация с любыми другими методами, показали, что УЗИ увеличивало успех первой попытки и сокращало время до проведения канюляции.⁷⁹⁻⁸⁵



В нескольких мета-анализах сравнивались пальпация и канюляция лучевой артерии под контролем УЗИ.⁸⁶⁻⁸⁹ В одном из четырех РКИ, проведенных в 2011 году (311 пациентов, 159 пациентов под контролем УЗИ), было показано, что пальпация с помощью УЗИ привела к 71%-ному улучшению результатов канюляции с первой попытки.⁸⁶ Еще одно исследование, проведенное в 2016 году с участием 11 РКИ (пяти педиатрических и шести взрослых), продемонстрировало убедительные доказательства того, что использование УЗИ улучшило показатели успеха первой попытки у взрослых и педиатрических пациентов.⁸⁷ В 2018 году другое исследование включало 12 РКИ (2432 взрослых пациента) и показало, что контроль под УЗ-навигацией имел более высокий успех с первой попытки и более низкий процент неудач, без существенных различий в количестве гематом в месте доступа или времени до успешной попытки.⁸⁸ Мета-анализ, проведенный в 2021 году и включавший 19 исследований (3220 пациентов), показал, что с УЗ-навигацией успешность первой попытки выше, а количество попыток меньше, среднее время до достижения успеха меньше и частота гематом ниже.⁸⁹ Ультразвуковое исследование также может свести к минимуму образование гематомы и дискомфорт пациента во время катетеризации локтевой артерии.⁹⁰

Рекомендации по канюляции лучевой и локтевой артерий. На основании фактических данных и согласованного мнения экспертов авторская группа настоятельно рекомендует использовать рекомендации УЗ-навигацию во время рутинной канюляции лучевой артерии (степень 1В), а также пациентам со слабым пульсом и малой артерией или неудачной попыткой катетеризации (степень 1А). Более эффективное использование нашего метода сокращает осложнения, время на катетеризацию и количество попыток, а также повышает общий показатель успеха и вероятность успеха с первой попытки

5.3. Плечевая артерия

Анатомия и особенности доступа. Плечевая артерия является продолжением подмышечной артерии после нижней границы большой круглой мышцы и проходит медиально вниз по вентральной поверхности руки до локтевой ямки (рис. 18). Срединный нерв проходит вдоль плечевой артерии и может быть поврежден во время катетеризации сосуда. Средний диаметр плечевой артерии над локтевой ямкой у взрослых составляет $3,9 \pm 0,5$ мм.⁷²

Плечевая артерия - это вариант доступа, который позволяет использовать катетер больших размеров, используемый для таких вмешательств, как стентирование, сложное эндоваскулярное лечение аневризм и висцеральные вмешательства, когда есть противопоказания к доступу через общую бедренную артерию или требуется доступ к верхней конечности. Доступ к плечевой артерии может быть альтернативным местом для контроля давления у взрослых, новорожденных и детей.



Техника катетеризации. Пациент лежит на спине, согнутая рука вытянута в стороны и опирается на твердую поверхность. Плечевая артерия легко прощупывается медиальнее сухожилия двуглавой мышцы в локтевой ямке. Оператор устанавливает УЗИ-датчик таким образом, чтобы получить поперечный обзор артерии, который подтверждается отсутствием компрессии или CFD. Катетеризацию сосуда проводят с помощью микропунктурной иглы 21 G или тонкого ангиокатетера по УЗИ-методике (рис. 19, видео 10).

Доказательства. Нет ни одного исследования, в котором сравнивались бы подходы к канюляции плечевой артерии с помощью УЗИ. Ретроспективный обзор 265 попыток канюляции плечевой артерии с помощью УЗИ показал 98,9% успеха.⁹² В другом ретроспективном исследовании одного учреждения, посвященном канюляции плечевой артерии под контролем УЗИ при проведении интервенционных процедур, был продемонстрирован 100%-ный успех при 8%-ном уровне осложнений (5,3% незначительных и 2,7% серьезных).⁹³

Рекомендации по канюляции плечевой артерии. На основании ограниченных данных и убедительного консенсусного мнения экспертов авторская группа настоятельно рекомендует (класс 1С) использовать УЗ-навигацию во время канюляции плечевой артерии. Врач должен выбирать это место только в том случае, если доступ к лучевой, локтевой или бедренной артериям менее благоприятен.

5.4. Доступ к подмышечной артерии и сонной артерии

Анатомия и особенности доступа. Боковой край первого ребра и нижний край малой круглой мышцы определяют протяженность подмышечной артерии. Она примыкает к подключичной и плечевой артериям и имеет множество ответвлений, включая латеральную грудную артерию, переднюю огибающую плечевую артерию, заднюю огибающую плечевую артерию, грудоакромиальную артерию и подлопаточную артерию.⁹⁴

Хотя канюляция подмышечной артерии выполняется реже, она может быть полезна в определенных клинических ситуациях. Канюляция подмышечной артерии играет важную роль в мониторинге гемодинамики у пациентов в критическом состоянии в условиях отсутствия альтернативных вариантов. Дополнительным преимуществом мониторинга гемодинамики в подмышечных артериях является контроль центрального артериального давления по сравнению с периферическим, что может быть полезно для избранной группы пациентов, у которых доступ через бедро или аорту невозможен.⁹⁵ Кроме того, чрескожная канюляция подмышечной артерии является альтернативным доступом с большим отверстием, когда есть противопоказания к бедренному доступу для транскатетерных структурных вмешательств на сердце, эндоваскулярных процедур и чрескожных механических устройств, поддерживающих кровообращение.⁹⁶



Прямая канюляция сонной артерии (СА) с использованием разрезающего или чрескожного доступа может быть предпочтительнее у некоторых новорожденных, которым проводится катетеризация сердца, исходя из характера планируемого вмешательства. Это также вариант для пациентов с противопоказаниями к бедренному доступу или сложной анатомией дуги аорты для стентирования СА или внутричерепной тромбэктомии.

Техника катетеризации. Для катетеризации подмышечной артерии пациент лежит на спине, отведя руку под углом 90 градусов. Перед введением канюли оператору следует воспользоваться УЗИ, чтобы получить SAX обзор и определить плечевое сплетение, которое часто перекрывает подмышечную артерию. Предпочтительнее получить доступ к проксимальному участку, где артерия находится краниально по отношению к вене, с меньшим количеством прилегающих структур и большей сжимаемостью.⁹⁴ Оператор должен ввести канюлю в сосуд под непрерывным контролем УЗИ, используя методику Сельдингера с небольшим углом (<30°), чтобы обеспечить возможность введения канюли с большим отверстием.

При чрескожной канюляции СА используется ультразвуковое исследование у основания шеи чуть выше ключицы с помощью микропунктурной иглы и метода одностеночного прокола. После введения проводника в наружную область СА размер доступа увеличивается.⁹

Доказательства. Согласно имеющейся ограниченной литературе, канюляция подмышечных артерий под ультразвуковым контролем безопасна и эффективна. Ретроспективное исследование 159 канюлей с УЗ-контролем для мониторинга гемодинамики у 155 пациентов показало 97% успеха, 84% успеха с первой попытки и 20% осложнений.⁹⁵ Исследование устройств Impella (Abiomed), устанавливаемых через подмышечную артерию, показало аналогичный профиль безопасности при 10 случаях кровотечения или гематомы, одном инсульте и у трех пациентов с симптомами поражения плечевого сплетения из 102 пациенток.⁹⁸

Рекомендации по канюляции подмышечной артерии и СА. На основании ограниченных данных и убедительного консенсусного мнения экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1С) использовать УЗ-навигацию при проведении канюляции подмышечной артерии и СА.

5.5. Общая бедренная артерия

Анатомия и особенности доступа. Общая подвздошная артерия делится на внутреннюю подвздошную артерию и наружную подвздошную артерию, которая продолжается как ОБА примерно на 4 см, прежде чем раздвоиться на поверхностную бедренную артерию в медиальном направлении и глубокую бедренную артерию в латеральном направлении (рис. 20, видео 9).⁹⁹ Средний диаметр ОБА у взрослых составляет $6,6 \pm 1,2$ мм.⁷² Перекрытие между ОБВ и ОБА увеличивается более дистально к паховой связке.

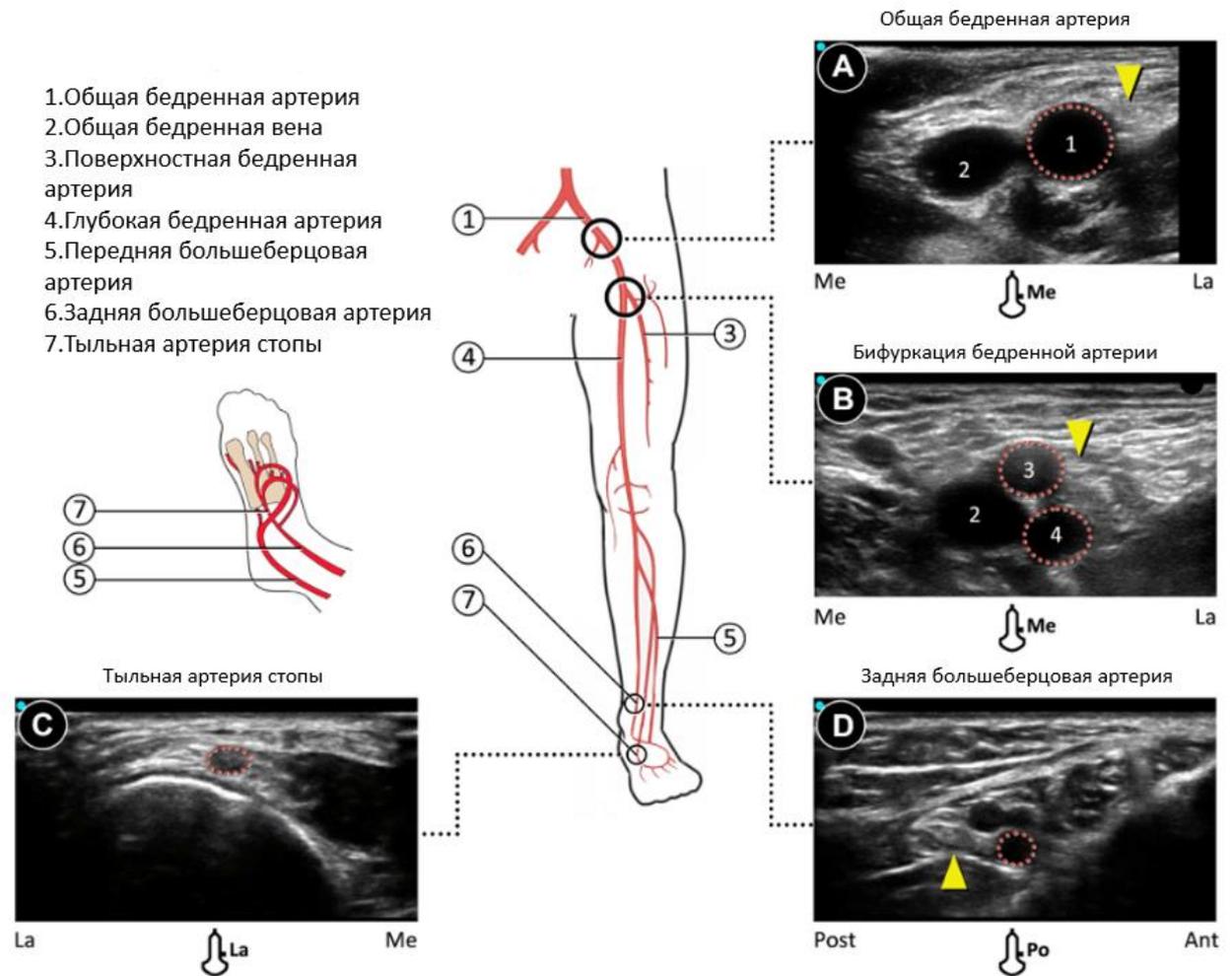


Рисунок 20. Доступ к артериям нижних конечностей. На изображении показана анатомия артерий левой ноги, включая расположение бедренной артерии, задней большеберцовой артерии и тыльной артерии стопы. Показаны УЗИ-снимки левой ноги, на которых красными пунктирными кружками обозначены (А) общая бедренная артерия, (Б) разветвление бедренной артерии на поверхностную бедренную артерию и глубокую бедренную артерию, (В) задняя артерия стопы и (Г) задняя большеберцовая артерия. Обратите внимание на вены и нервы (желтые треугольники), которые сопровождают артерии. Ant - передняя; La - латеральная; Me - медиальная; Post - задняя.; САКСОФОН, короткая ось; УЗИ, ультразвук

Сосудистый доступ к общей бедренной артерии является основой для многих эндоваскулярных процедур и терапевтических вмешательств, таких как висцеральная или периферическая ангиография с вмешательством или без него, введение внутриортогонального баллонного насоса-катетера и периферическая экстракорпоральная мембранная оксигенация. Это альтернативное место при наличии противопоказаний к лучевой катетеризации сердца у взрослых или при неудачной ее проведении. Это стандартный артериальный доступ для катетеризации сердца в педиатрии.

Техника катюлирования. Катюлирование ОБА под ультразвуковым контролем становится все более распространенной практикой, вытесняя традиционную технику. Оператор устанавливает УЗИ-датчик перпендикулярно сосуду, демонстрируя артерию в SAX положении.¹⁰⁰ При



перемещении датчика проксимально и дистально выявляются бифуркации, ответвления, которые могут пересекаться спереди от сосуда, такие как нижняя надчревная артерия, а также места, где сосуд погружается глубоко в забрюшинное пространство, переходя в наружную подвздошную артерию. Это помогает оператору определить безопасное место для прокола сосуда под паховой связкой. Чтобы снизить риск сосудистых осложнений, связанных с процедурой, рекомендуемым местом пункции является средний сегмент ОБА, расположенный над головкой бедренной кости (рис. 15). В стерильных условиях и под контролем УЗИ игла для доступа (18-21 G) или ангиокатетер вводятся в сосуд с помощью однократного прокола стенки. Кончик иглы всегда должен быть хорошо виден во время продвижения и находиться в центре просвета сосуда перед введением проводника.

Доказательства. В нескольких исследованиях проводилось сравнение канюлирования ОБА под контролем УЗИ с рентгеноскопическим контролем и пальпацией. Многоцентровое РКИ FAUST (Исследование доступа к бедренной артерии с помощью ультразвука) показало, что рутинное применение УЗИ улучшило канюлирование ОБА только у пациентов с высокими бифуркациями ОБА, но сократило количество попыток, время доступа, риск венопункций и сосудистых осложнений.¹⁰¹ Другие проспективные РКИ у пациентов, которым проводился доступ к ОБА для сосудистых вмешательств, а интервенционные процедуры показали значительно более высокий процент успеха с первой попытки и более быстрое время доступа с меньшим количеством осложнений при использовании УЗ-навигации.¹⁰²⁻¹⁰⁵

Исследование, проведенное среди 635 пациентов, которым проводилась канюляция ОБА для коронарной ангиографии или хирургического вмешательства, показало, что доступ под контролем УЗИ был более успешным с первой попытки при меньшем количестве попыток и уменьшении венопункции, но не уменьшал кровотечения или сосудистых осложнений.¹⁰⁴ Мета-анализ, проведенный в 2019 году и включавший пять РКИ (1553 пациента, 784 пациента под контролем УЗИ), показал, что доступ под контролем УЗИ уменьшил кровотечение событий, венопункции и многократных попыток пункции, хотя частота успешных канюляций ОБА была одинаковой в обеих группах.¹⁰⁶

Рекомендации по проведению канюляции ОБА. На основании растущего количества доказательств и убедительного консенсусного мнения экспертов, авторская группа настоятельно рекомендует всем пациентам (класс 1В) использовать УЗ-навигацию при проведении канюляции ОБА. Более эффективное использование нашего метода сокращает серьезные и незначительные осложнения, а также время на катетеризацию и повышает вероятность успеха в целом и с первой попытки.

5.6. Задняя большеберцовая (РТА) и тыльная артерии стопы (DPA)



Анатомия и особенности доступа. После выхода из приводящего канала поверхностная бедренная артерия становится подколенной артерией и делится на переднюю большеберцовую артерию и большеберцово-переднеберцовый ствол, который затем делится на заднюю большеберцовую артерию (РТА). В области лодыжки передняя большеберцовая артерия переходит в ДРА, которую сопровождает глубокий малоберцовый нерв.¹⁰⁰ У взрослых диаметр РТА составляет $3,1 \pm 0,4$ мм, а средний показатель ДРА составляет от 3,0 до $3,6 \pm 1,2$ мм.¹⁰⁷

Канюляция большеберцовой артерии все чаще используется для чрескожных вмешательств на нижних конечностях. Она эффективна для ретроградного доступа и преодоления хронических тотальных окклюзий. ДРА на тыльной поверхности стопы может обеспечить доступ для инвазивного контроля давления и вмешательств ниже колена.

Техника катетеризации. Чрескожную катетеризацию сосудов большеберцовой кости следует выполнять дистально, там, где сосуды расположены наиболее поверхностно. Компрессия и CFD могут помочь отличить артерию от соседних парных вен. Как правило, оператор вводит в сосуд 21-G иглу с последующим вводом направляющей проволоки. Различные производители предлагают специальные насадки для доступа ДРА (4 Fr), которые при необходимости можно использовать, хотя некоторые интервенционисты предпочитают набор для микропунктуры. Для канюлирования РТА стопа находится в тыльном сгибании с выворотом, в то время как для ДРА и передней большеберцовой артерии стопа находится в подошвенном сгибании.¹⁰⁸

Доказательства. Исследование, проведенное в 2023 году, в котором сравнивались результаты пальпации и канюляции РТА под контролем УЗИ у 76 взрослых, показало сокращение времени канюляции при сопоставимом показателе успешности первой попытки.¹⁰⁹ В исследовании, проведенном в 2021 году у 140 педиатрических пациентов, перенесших кардиохирургическую операцию, сравнивались результаты пальпации и канюляции РТА и ДРА под контролем УЗИ. Это исследование показало более высокий успех канюлирования с помощью УЗИ по сравнению с пальпацией при первой попытке (ДРА 85,7% против 25,7% и РТА 82,9% против 22,9%) и в целом (ДРА 91,4% против 54,3% и РТА 85,7% против 40%) при меньшем времени и количестве попыток.¹¹⁰ РКИ 2023 года с использованием УЗ-управляемой методики, при сравнении канюляции ДРА и РТА у 90 взрослых пациентов, показали схожие показатели успеха в обеих группах (73,3% ДРА, 80% РТА), хотя в группе ДРА канюляция и время процедуры были более длительными.¹¹¹ В 2015 году, ретроспективный обзор 75 пациентов, которым был проведен ДРА-доступ для лечения заболеваний периферических артерий, показал, что в 99% случаев канюлирование было успешным под руководством УЗИ.¹¹² РКИ, проведенное в 2019 году с участием 60 взрослых и сравнивавшее методы УЗИ и пальпации при канюляции ДРА, показало сходный показатель



успешности первой попытки, общее количество попыток канюлирования и общее время процедуры в обеих группах.¹¹³

Рекомендации по канюляции РТА и ДРА. Основываясь на фактических данных и единодушном мнении экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1С) использовать УЗ-навигацию во время канюляции РТА и слабо рекомендует (класс 2С) использовать УЗ-навигацию во время канюляции ДРА.

Ключевые моменты: артериальная канюляция

- Показания к артериальной канюляции расширяются, и растет потребность в больших катетерах для доставки терапевтических устройств.
- Предпочтительным местом для канюляции периферических артерий является лучевая артерия. Сосудистый доступ ОБА является основой для многих эндоваскулярных процедур с визуализацией и терапевтических вмешательств.
- Рекомендации УЗИ особенно ценны для пациентов со слабым пульсом и узкими артериями или после неудачной «слепой» попытки.

6. ОСЛОЖНЕНИЯ ПРИ КАТЕТЕРИЗАЦИИ СОСУДОВ

6.1. Общие сведения

Осложнения, связанные с катетеризацией сосудов, могут непосредственно затрагивать сосуды или окружающие их структуры или быть связаны с техникой (аритмии, неправильное расположение катетера, проводник).¹¹⁴ Распространенные осложнения канюлирования сосудов, связанные с пункцией сосуда, включают гематому, абсцесс, серому, лимфоцеле, тромбоз, стеноз, спазм сосудов и сильное кровотечение (рис. 21, видео 11). Дополнительные осложнения при проведении артериального канюлирования включают расслоение артерии, псевдоаневризму и артериовенозную фистулу. Осложнения также могут быть связаны с конкретным местом канюлирования и повреждением окружающих структур, таких как легкие (пневмоторакс), нервы или лимфатические сосуды (хилоторакс). Отчет о 12 667 установках центрального венозного катетера у 8 586 пациентов, из которых 93% были проведены под УЗИ, показал, что частота механических осложнений составила 7,7%.¹¹⁵

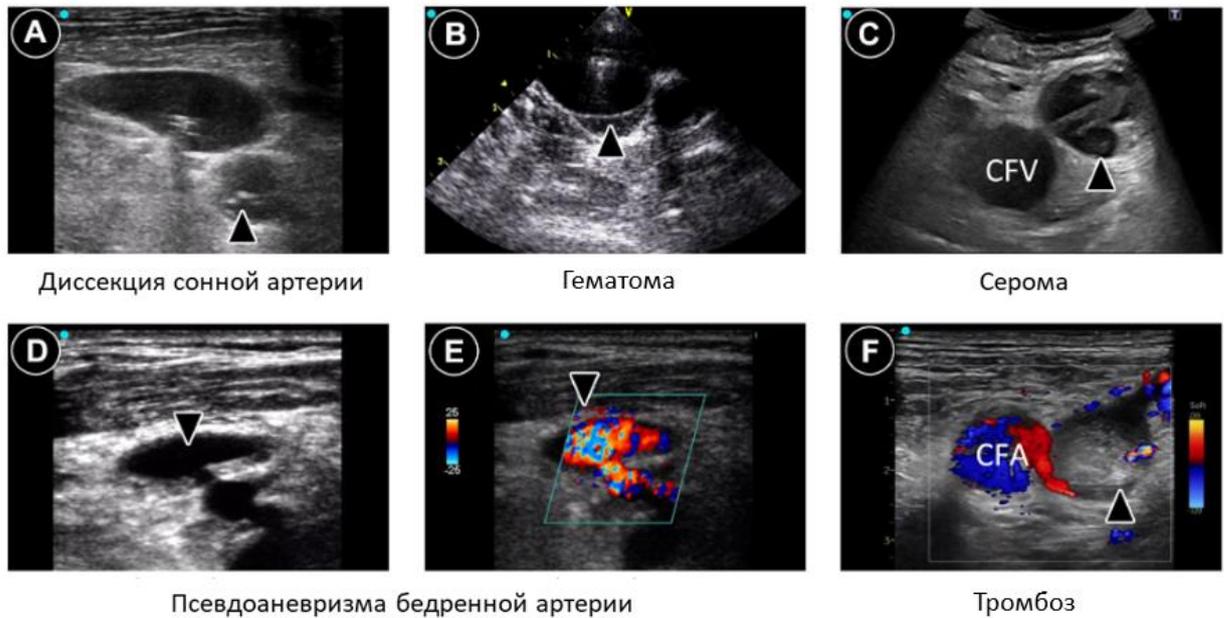


Рисунок 21. Осложнения при доступе к сосудам. На УЗ-изображениях видны признаки осложнений, связанных с доступом к сосудам. (А) Рассечение сонной артерии с помощью подвижного внутрипросветного лоскута и канюли в правой внутренней яремной вене. (В) Гематома, окружающая сосуд. (С) Сложное скопление, прилегающее к бедренным сосудам, представляет собой серому. (D) и (E) На снимках (D) без и (E) с цветовой доплерографией появляется псевдоаневризма бедренной артерии. (F) Внутрипросветной тромб общей бедренной вены представлен в виде образования в просвете. CFA - общая бедренная артерия; CFV - общая бедренная вена. Смотрите видео 11.

Факторами риска осложнений при канюляции центральных вен, независимо от рекомендаций использования УЗИ, являются неопытность оператора, количество проходов иглы, индекс массы тела > 30 или < 20 кг/м² и размер катетера.¹¹⁴ Факторами, влияющими на невозможность канюляции, являются неопытность, предыдущие канюлирования и предшествующая местная операция или лучевая терапия. Выявление факторов риска перед катетеризацией сосудов может снизить частоту осложнений, изменив подход к применению УЗ-навигации. Опытным врачам, а не новичкам, следует проводить канюлирование при наличии факторов риска или у пациентов с риском неудачной канюляции.

6.2. Распространенные сосудистые осложнения

Гематома, абсцесс, серома и лимфоцеле. Гематома, абсцесс, серома и лимфоцеле - это осложнения, связанные с сосудистым доступом, которые возникают за пределами артерии и вены. Эти осложнения могут иметь схожий сонографический вид, что затрудняет их дифференцировку. Структуры могут выглядеть как кистозные образования или гетерогенное и/или гипоэхогенное образование рядом с сосудом. Гематома может иметь смешанные эхо-сигналы по сравнению с более безэхогенной кистозной серомой. Абсцесс может иметь более сложный внешний вид, и при небольшом надавливании может наблюдаться движение внутри структуры.



Эти структуры бессосудисты и могут иметь акустическое усиление перед и с усилением эха вглубь структуры. Низкая шкала CFD позволяет оценить кровотоки в очаге поражения. В зависимости от того, к какому сосуду осуществляется доступ, например, в паховой области или малом тазу, может потребоваться использование конвексного датчика (<5 МГц) для обеспечения достаточного проникновения для визуализации этих аномалий.

Тромбоз и эмболизация. Тромбоз глубоких вен (ТГВ) может поражать ВЯВ, подключичную вену, подмышечную вену, плечевую вену и ОБВ, в то время как тромбоз поверхностных вен может поражать головные, подкожные и другие поверхностные вены. Сжатие вены имеет жизненно важное значение при оценке ТГВ. При наличии тромбоза вена не сжимается или сжимается только частично, особенно на ранних стадиях, когда образование тромба может быть незаметным на 2D-изображении. В зависимости от стадии тромбоза (острой или хронической) в просвете сосуда может наблюдаться отсутствие кровотока по данным CFD или отсутствие изменений в зависимости от дыхания по данным спектральной доплерографии, при этом на 2D-изображении в просвете вены видны смешанные эхо-сигналы.¹¹⁶ Тромб часто может прикрепляться к постоянному катетеру. Катетер выглядит как две эхогенные линии в сосуде; сосуд поддается сжатию, в то время как тромб поддается меньшему сжатию.

Эмболизация может произойти, когда подвижные частицы или тромб из вены или артерии отделяются от своего источника. На ультразвуковом изображении видна эхогенная подвижная структура, прикрепленная к стенке сосуда, а также наличие тромба (вены) или бляшки (артерии).

Стеноз. Стеноз в артериях изменяет кровоток в сегментах, расположенных проксимальнее, в точке и дистальнее сужения.¹⁸ При тяжелом артериальном стенозе (>75%) в суженном сегменте наблюдается турбулентный мозаичный кровоток при CFD, а спектральная доплерография показывает монофазную картину с увеличением максимальной систолической скорости. Наблюдается снижение кровотока дистальнее суженного сегмента. Это изменяет спектральную доплеровскую форму сигнала, показывая монофазный кровоток с замедленным и ослабленным толчком вверх, называемым *tardus parvus*, и низкой пиковой систолической скоростью.^{18,117}

Венозный стеноз проявляется сужением сегмента вены с турбулентным течением с помощью CFD и монофазной спектральной доплерографии без изменений дыхания.

Спазм сосудов. Спазм сосудов - это временное уменьшение просвета в ответ на присутствие иглы, катетера или проводника в сосуде, которое чаще всего поражает артерии. Это может вызвать трудности с продвижением иглы или проводника. Стенка сосуда может ослабнуть со временем и, возможно, после введения сосудорасширяющих средств, или может возникнуть необходимость в выборе альтернативного места доступа.



6.3. Специфические осложнения артериального доступа

Расслоение артерий. Расслоение происходит, когда проволока или катетер входят в субинтимальный слой и создают пространство между срединными слоями и интимой артерии, образуя ложный просвет.¹¹⁸ Лоскут интимы может иметь линейный эхогенный вид, видимый в просвете артерии (рис. 21А). Цветной доплер может показать два различных направления кровотока, одно из которых проходит через ложный просвет, а другое - через истинный просвет. Кровоток не всегда присутствует в ложном просвете. Поток крови через ложный просвет может привести к образованию аневризмы, тромба или разрыва в будущем.

Псевдоаневризма. Псевдоаневризма или ложная аневризма - это скопление крови, которое образуется между одним или двумя наружными слоями артерий. Оно может протекать бессимптомно или проявляться в виде болезненного пульсирующего образования. Сонографический вид представляет собой безэхогенную или гипэхогенную структуру (или мешочек), соединенную с основной артерией кровотоком (рис. 21D). Цветовая и спектральная доплерография показывает движение тромба «туда-сюда» в сосудистом мешке и из него, помогая отличить псевдоаневризму от простой гематомы (рис. 21E).¹¹⁹ В сосудистом мешке может присутствовать различное количество тромбов.

Артериовенозный свищ. Артериовенозный свищ может возникнуть, когда игла прокалывает артерию и вену, создавая соединение между ними.¹²⁰ В результате вена подвергается воздействию более высокого артериального давления. Со временем стенка вены утолщается, что затрудняет сдавливание просвета сосуда. На цветных доплеровских изображениях показан турбулентный кровоток между артерией и веной, который лучше всего виден в режиме SАХ. Спектральная доплеровская диаграмма показывает пульсирующий кровоток в обоих сосудах.

6.4. Осложнения, связанные с конкретным участком

Катетеризация ВЯВ. Осложнения при доступе ВЯВ возникают нечасто. Однако гематома, артериовенозная фистула, гемоторакс и пневмоторакс могут возникнуть, особенно если канюляцию выполняет неопытный оператор. Пункция сонной артерии может произойти даже при использовании УЗИ в позиции SАХ, если случайно будет проколота задняя стенка ВЯВ. Во время продвижения иглы из-за низкого ЦВД ВЯВ может сдавливаться, что приведет к проколу как передней, так и задней стенок. В этом случае кровь не будет забираться в шприц.¹²¹ Степень поворота головы пациента в противоположную сторону снижает уровень безопасности (рис. 11) и увеличивает перекрытие сосудов ВЯВ сонной артерией. Перекрытие сосудов составляет от 29% до 42-72% при повороте головы от 0 (нейтральный) до 45-90 градусов соответственно и наиболее заметно у пациентов с площадью поверхности тела > 1,87 м² и индексом массы тела > 25 кг/м².^{27, 122}



Повреждения подключичной артерии чаще встречаются справа, чем слева, так как подключично-яремное венозное соединение находится над подключичной артерией.

Пневмоторакс может возникнуть при недостаточном доступе к ВЯВ в области шеи. Повреждение плечевого сплетения верхней части туловища (С5-С6) может возникнуть в результате инъекции местного анестетика, введения иглы или катетера или образования гематомы, проявляющейся слабостью в плече и парестезией руки. В редких случаях может наблюдаться повреждение симпатического ствола, вызывающее синдром Горнера с частичным птозом, миозом и ангидрозом лица

Катетеризация подключичной вены и подмышечной вены. Механические осложнения, связанные с канюлированием подключичной вены, чаще возникают при использовании «слепого» метода и включают пункцию подключичной артерии и гематому (5,4%), гемоторакс (4,4%), пневмоторакс (4,9%), повреждение плечевого сплетения (2,9%), повреждение диафрагмального нерва (1,5%) и тампонаду сердца (0,5%).^{39,115,116} Подключичная вена переходит в плечеголовную вену под более острым углом справа, что делает катетеризацию справа более уязвимой для перфорации во время катетеризации.^{115,116}

Рентгенография грудной клетки или УЗИ легких обязательны для исключения пневмоторакса и подтверждения правильного расположения катетера.¹²³

Канюляция бедренного сосуда. Катетеризация бедренных сосудов сопряжена с осложнениями, включая повреждения сосудов, такие как псевдоаневризмы, артериовенозные свищи, местные кровотечения и забрюшинное кровотечение, а также повреждение нервов.¹²⁴ У 21,5% пациентов может образоваться тромб в бедренной вене или подвздошной вене из-за наличия катетера или при сдавливании сосуда после удаления.¹²⁰ Ультразвуковое исследование лучше отражает анатомию и, скорее всего, снижает частоту осложнений при катетеризации бедренного сосуда.¹²⁴ Метаанализ показал, что при УЗ-навигации во время установки катетера для гемодиализа уменьшилось количество проколов артерий, риск неудачного размещения и риск неудачной попытки доступа с первой попытки.⁵⁴

Повреждение бедренного нерва может вызвать невралгию бедра из-за прямого сдавления в результате сосудистых осложнений, таких как образование гематомы или аневризмы, или травматического повреждения во время катетеризации.

Канюляция РИСС. Наиболее распространенными осложнениями при установке РИСС являются тромбоз, кровотечение, неправильное положение, дискомфорт в руке и неисправность линии. Существует сопоставимая частота инфекций кровотока, связанных с центральной линией и линией РИСС (5,2%), и более высокая частота катетер-ассоциированного ТГВ в месте введения РИСС (13,9%).^{125,126} Эти осложнения возникают независимо от того, где



проводилась установка линии РИСС под контролем УЗИ. Следует внимательно относиться к количеству попыток, поскольку это напрямую связано с возникновением осложнений.¹²⁷

6.5. Другие осложнения

Аритмии. Аритмии могут возникать при пальпации сосуда, катетеризации или, что более часто, при введении проводника или катетера в сердце. Прекращение раздражающего воздействия должно привести к прекращению аритмии.

Неправильное расположение катетера. Рекомендации предполагают, что кончик катетера по центральной линии или РИСС, размещенный в верхней части тела, должен располагаться на стыке полой вены и правого предсердия над областью соединения висцерального и париетального слоя перикарда.¹²⁸ Кроме того, угол наклона кончика катетера к стенке сосуда должен составлять менее 40 градусов, чтобы снизить риск перфорации. При катетеризации подключичной вены кончик катетера может перемещаться к ипсилатеральной расположенной ВЯВ или контралатеральной подключичной вене, УЗИ поможет изучить эти места во время катетеризации, чтобы исключить неправильное положение.

Проблемы с проводником. Оператор может потерять контроль над проводником во время катетеризации, что может привести к эмболизации сосуда. Во избежание дальнейших осложнений необходимо извлечь проводник. Проводник может завязаться узлом или перегнуться во время введения, что затруднит извлечение. Перегиб проводника может привести к неправильному направлению движения расширителя или канюли, и они окажутся за пределами сосуда. Ультразвуковое исследование, при котором проводник проходит от кожи как можно дальше в просвет сосуда, может помочь убедиться в его безопасности.

Ключевые моменты: осложнения при канюляции сосудов

- Осложнения, связанные с катетеризацией сосудов, могут затрагивать сами артерии и вены или структуры, окружающие эти сосуды.
- Осложнения также могут быть связаны с конкретным местом катетеризации или техникой введения.
- Двухмерное и цветное доплеровское ультразвуковое исследование может выявить ранние и поздние осложнения.

7. СОСУДИСТЫЙ ДОСТУП У ДЕТЕЙ

7.1. Общие сведения

Доступ в педиатрической возрастной группе. Существует обширная литература, посвященная в основном венозному, а не артериальному доступу



к сосудам у детей.^{129,130} На сегодняшний день ни одна организация, представляющая специалистов, ухаживающих за младенцами, детьми и подростками, не представила научно обоснованных клинических рекомендаций или формализованных рекомендаций по артериальному доступу для этой категории пациентов. В этом разделе представлен обзор опубликованных данных о сосудистом доступе в педиатрии и роли УЗИ-навигации.

Показания. Показания к артериальной и венозной катетеризации у детей такие же, как и у взрослых. Порог для проведения инвазивного артериального мониторинга варьируется в зависимости от клинического состояния пациента. Выбор места доступа может зависеть от конкретных диагностических или интервенционных процедур с использованием катетера. Катетеризация сосудов в педиатрической возрастной группе является технически сложной задачей из-за малого калибра сосудов (таблица 4), потенциально изменчивой и аномальной анатомии (рис. 22), а также предшествующей катетеризации сосудов, которая часто приводит к многочисленным неудачным попыткам.¹³¹ Педиатрические пациенты могут отказываться от сотрудничества, что требует использования фиксаторов, обильной инфильтрации местными анестетиками и разумное применение седативных препаратов. У пациентов, проходящих общую анестезию, внутривенный доступ может быть получен после того, как пациент заснет после введения анестезии.

Таблица 4 Размер сосудов у детей в миллиметрах*

Возраст	ВЯВ	СА	ОБВ	ОБА	Подключичная вена	Подключичная артерия
0-1 мес	5,5 (0,8)	3,0 (0,5)	3,8 (0,6)	2,8 (0,3)	5,6 (0,9)	3,5 (0,3)
1 мес – 2 г	8,9 (1,6)	4,3 (0,5)	4,5 (0,9)	3,1 (0,5)	5,5 (0,9)	4,1 (0,7)
2 - 6 лет	10,5 (1,6)	5,3 (0,5)	7,3 (0,8)	5,0 (0,6)	6,9 (1,0)	4,4 (0,5)
6 - 12 лет	11,9 (1,8)	6,0 (0,6)	7,7 (1,3)	5,9 (0,8)	8,5 (1,4)	5,6 (1,2)
12 - 18 лет	11,3 (1,9)	6,9 (0,7)	8,9 (1,2)	7,4 (0,7)	11,0 (2,0)	6,6 (0,8)

Источник: Souza Neto et al.¹³¹

*Среднее значение внутренних диаметров центрального сосуда в поперечном сечении, выраженное в миллиметрах ((правая сторона + левая сторона)/2). Значения в круглых скобках представляют собой среднее абсолютное отклонение.

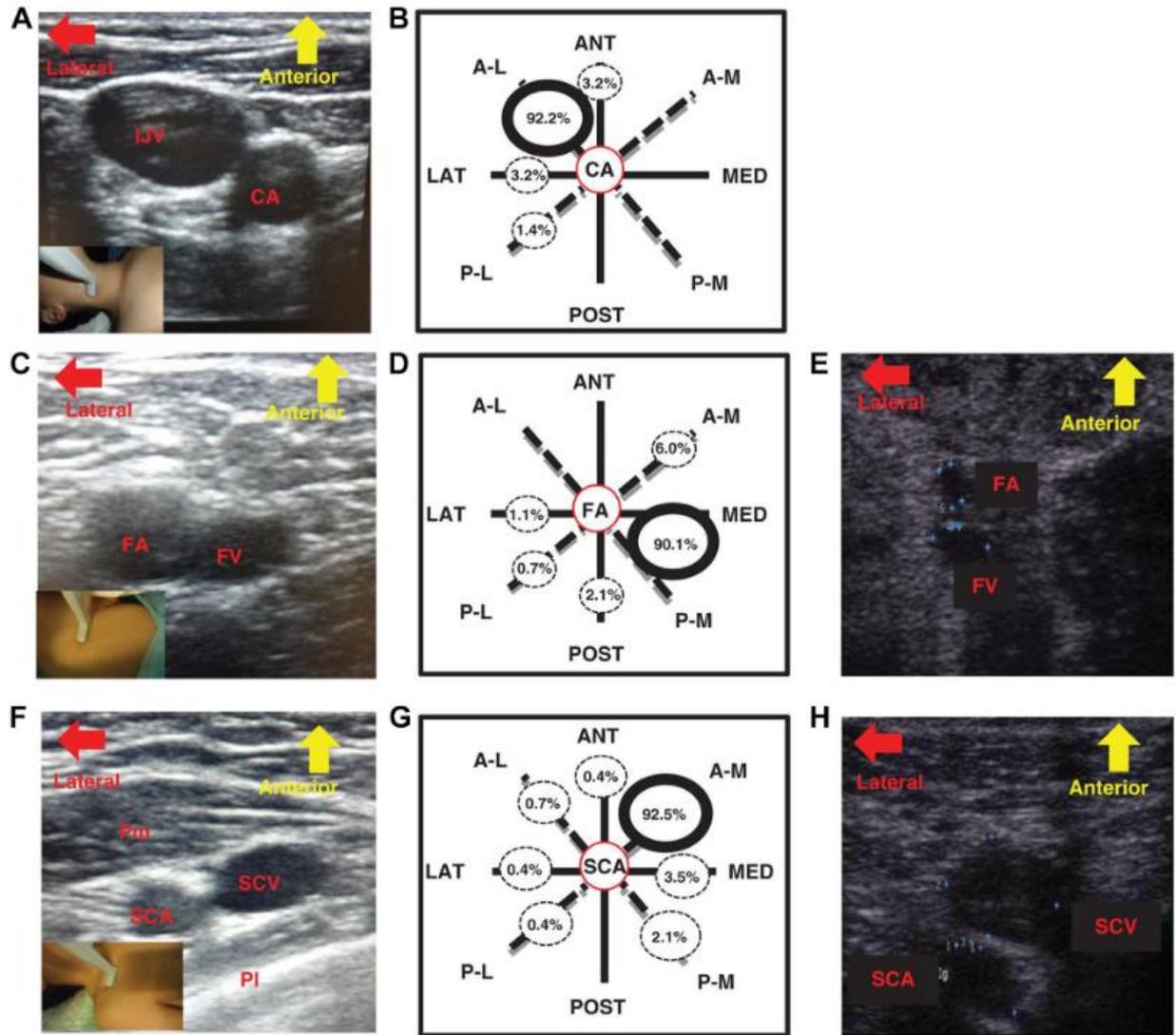


Рисунок 22. Вариабельность сосудов у детей. УЗИ внутренней яремной вены, сосудов бедра и подключичной артерии, показывающее анатомические различия в расположении сосудов. (А) Обзор SAX внутренней яремной вены на уровне перстневидного хряща. (В) На изображении показаны различия в расположении ВЯВ относительно СА. Типичное расположение ВЯВ - переднебоковое по отношению к СА. (С) Вид бедренных сосудов, расположенных чуть ниже паховой связки. (D) На изображении показаны различия в расположении бедренной вены относительно бедренной артерии. Типичное положение бедренной вены - заднемедиальное или медиальное по отношению к бедренной артерии. (Е) Пример вариации расположения бедренной вены кзади от бедренной артерии. (F) Изображение подключичных сосудов на надключичном уровне. (G) На изображении показаны различия в расположении подключичной вены относительно подключичной артерии. Типичным положением подключичной вены является переднемедиальное по отношению к подключичной артерии. (H) Пример изменения расположения подключичных сосудов при расположении подключичной вены спереди от подключичной артерии. A-L, переднебоковой; A-M, переднемедиальный; ANT, передний; CA, сонная артерия; FA, бедренная артерия; FV, бедренная вена; IJV, внутренняя яремная вена; LAT, латеральный; MED, медиальный; Pl, плевра; Pm, грудные мышцы; P-L, заднебоковой; P-M, заднемедиальный; POST, задний; SAX, короткая ось; SCA, подключичная артерия; SCV, подключичная вена. Рисунок воспроизведен с разрешения Соузы Нето¹³¹

7.2. Детская венозная канюляция



ВЯВ. Наиболее часто используемой центральной веной у детей с помощью УЗИ является правая внутренняя яремная вена. УЗ-сканирование позволяет легко визуализировать сосуд, демонстрируя его расположение, проходимость и наличие тромба. Это важно, поскольку существует высокая частота (28%) развития ТГВ у детей в результате кратковременной установки центрального венозного катетера, что может повлиять на выбор места для последующего центрального венозного доступа.¹³²

Техника канюлирования соответствует ранее описанной для взрослых в плане позиционирования пациента и проведения УЗИ. У педиатрических пациентов положение лежа на спине в положении Тренделенбурга, компрессия печени или имитация маневра Вальсальвы могут увеличить размер ВЯВ. Более короткие иглы и удобная точка входа могут снизить риск пункции плевры или крупных сосудов. Чтобы избежать сдавления мелких вен УЗ-датчиком, требуется опыт.

Метаанализ 23 исследований (3995 процедур) у педиатрических пациентов, которым проводилась канюляция ВЯВ и подключичной вены, показал, что УЗ-навигация значительно снижает риск неудачной канюляции и частоту проколов артерий.¹³³ По сравнению с традиционным подходом, исследования с применением УЗ-навигации показывают более короткое время до успешной первой попытки канюляции, и общее время до проведения канюлирования с меньшим количеством осложнений.¹³⁴⁻¹³⁶ Исследование, проведенное среди 60 новорожденных и младенцев весом менее 7,5 кг, в котором сравнивались применение УЗИ и методика анатомического ориентирования, показало сокращение времени канюлирования и меньшее количество проходов иглы, необходимых для правильного канюлирования ВЯВ.¹³⁷

Общая бедренная вена. В различных исследованиях изучалась анатомическая взаимосвязь между бедренным сосудом у детей с точки зрения расположения ноги и подходящего места для катетеризации ОБВ. У значительного числа детей наблюдается перекрытие бедренных сосудов, которое может варьироваться в зависимости от положения «прямой ноги» и «ноги-лягушки», а также расстояния от паховой связки.¹³⁸ Известно, что на степень этого перекрытия также влияет определенный угол отведения ноги при внешней ротации бедра.

Сообщается, что оптимальное место для катетеризации ОБВ у педиатрических пациентов находится на уровне паховой складки, при отведении ноги на 60 градусов и наружной ротации бедра.¹³⁹ Учитывая различные данные, клиническое применение положения ног во время катетеризации бедренной вены у детей остается неясным.

Несколько приемов могут улучшить визуализацию ОБВ у новорожденных, включая подкладывание валика под ягодицы ребенка, обратное положение Тренделенбурга и мягкое сдавливание брюшной полости. У детей вероятность того, что вена не будет обнаружена с помощью метода



ориентиров, составляет один к пяти.¹⁴⁰ Поскольку вена у детей поверхностная, важно направлять иглу под углом менее 30° к коже во время катетеризации сосуда.

Рандомизированные контрольные исследования у детей показали, что канюляция ОБВ под контролем УЗИ незначительно более эффективна, чем «слепой» и/или другие методы. РКИ с участием 48 педиатрических пациентов, которым проводилась канюляция ОБВ, при сравнении методов с помощью УЗИ и «слепых», показало более короткое время (155 против 370 секунд, $P = 0,02$), больший успех с первой попытки (75% против 25%, $P = 0,001$) и меньшее количество попыток (один против трех, $P = 0,001$) при канюлировании с помощью УЗИ.¹⁴¹ Общий показатель успеха был одинаковым в обеих группах (95,8%), а частота пункции бедренной артерии была сопоставимой.¹⁴¹ В целом, РКИ, проведенные в условиях катетеризации сердца у детей, не показали различий в общей частоте успешных катетеризаций сосудов и времени доступа при УЗ-навигации, но противоречивые результаты в отношении снижения числа осложнений. УЗ-навигация может быть наиболее полезной для маленьких пациентов (вес < 10 кг).¹⁴²

Периферические вены. Канюлирование периферических вен может быть сложной задачей у детей, особенно у маленьких младенцев или детей с плохо видимыми или пальпируемыми периферическими венами. РКИ, в котором сравнивались методы УЗИ и пальпации, показали более длительное время канюлирования с использованием УЗИ, но значительно более высокий процент успеха у пациентов с затрудненным доступом.¹⁴³ Систематический обзор и мета-анализ РКИ, посвященных сравнению применения УЗИ и традиционных методов введения PIV у педиатрических пациентов (всего 1312 пациентов в высококачественных клиниках) поддержали УЗ-навигацию, продемонстрировав более высокий процент успеха, сокращение времени процедуры и меньшее количество попыток канюлирования.¹⁴⁴

Рекомендации по проведению УЗ-контроля венозного доступа у детей. Основываясь на фактических данных и единодушном мнении экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует, чтобы обученные клиницисты использовали УЗ-навигацию во время канюлирования ВЯВ (класс IA) и подключичной вены (класс IC), когда это возможно, для повышения эффективности канюлирования, сокращения времени до успешного проведения канюлирования и снижения частоты осложнений, связанных с проведением установки катетеров относительно большого диаметра у педиатрических пациентов.

Из-за нехватки крупных, хорошо проведенных исследований, эта группа авторов слабо рекомендует (класс 2B) использовать УЗ-навигацию по канюляции PIV у педиатрических пациентов. Некоторые данные свидетельствуют о том, что опытный оператор, использующий наши рекомендации, повышает вероятность успеха сложной канюляции PIV у детей. По мере развития этой практики многие клиницисты, имеющие доступ к УЗ-



оборудованию, регулярно используют его для PIV-канюляции, независимо от того, является ли она потенциально простой или сложной.

7.3. Артериальная канюляция у детей

Места катетеризации. Доступ к артериям у младенцев и детей чаще всего включает катетеризацию лучевой и бедренной артерий, при этом альтернативные места для катетеризации аналогичны местам для взрослых.¹⁴⁵ Лучевая артерия является предпочтительным местом для детей. ОБА является предпочтительным сосудом у детей по сравнению с другими периферическими артериями, когда возникают сомнения в надежности мониторинга артериального давления в других местах или когда необходим мониторинг артериального давления как в нижней, так и в верхней частях тела. Бедренный доступ также является основным путем ретроградной артериальной катетеризации сердца в педиатрической возрастной группе.

Катетеризация пупочной артерии позволяет проводить надежный мониторинг гемодинамики и забор крови у новорожденных в первые несколько дней жизни. Не существует рекомендаций, стандартизирующих использование пупочных катетеров у новорожденных, которые могут варьироваться в зависимости от предпочтений учреждения или профессиональной организации. У больных новорожденных и недоношенных детей возможна чрескожная канюляция периферических артерий, при этом сообщается о меньшем количестве осложнений, чем при катетеризации артерии пуповины.^{146,147} Канюляция височной артерии, которая когда-то была возможной у новорожденных, в настоящее время применяется редко из-за возможных осложнений и серьезных неврологических заболеваний.¹⁴⁸

Методы канюлирования артерий. Методы артериального канюлирования под ультразвуковым контролем, используемые у детей, такие же, как и у взрослых, и включают методы, ранее описанные в разделе 3.4, а именно подходы SAX вне плоскости и LAX по плоскости, включающие динамическое позиционирование кончика иглы.¹⁴⁹

К факторам, которые значительно усложняют проведение канюляции лучевой артерии под контролем УЗИ у детей в возрасте до 2 лет, относятся поперечное сечение сосуда $<1 \text{ мм}^2$ и наличие аномальной ветви.¹⁵⁰ Глубина подкожного сосуда важна, поскольку под руководством УЗИ достигается наименьшее время введения и наиболее надежная канюляция, когда сосуд находится относительно неглубоко, на 2-4 мм ниже поверхности кожи.¹⁵¹ У детей с синдромом Дауна часто наблюдается аномальный сосудистый рисунок, и успешная канюляция сосудов сопряжена с определенными трудностями.¹⁵²

Доказательства. Ультразвуковое исследование, за редким исключением, в большинстве исследований повышает вероятность успеха артериальной канюляции по сравнению с традиционными анатомическими ориентирами или методами пальпации, снижает потребность в хирургических вмешательствах



для обеспечения доступа к артерии, сокращает время процедуры и снижает частоту осложнений.^{88,153-157}

РКИ, сравнивающее методы SAX и LAX у младенцев и детей, находящихся под наркозом, не выявило существенных различий в общем времени до успешной канюляции, но отметило значительно более длительное время визуализации при использовании метода LAX ($46,5 \pm 39,2$ против $16,0 \pm 17,6$ секунд), в то время как частота проколов сосудов задней стенки была значительно выше при использовании метода SAX (95,7% против 18,0%).¹⁵⁸ Проведенный в 2023 году мета-анализ шести исследований (725 пациентов), в которых сравнивалась канюляция лучевой артерии под контролем УЗИ с использованием SAX вне плоскости и LAX в плоскости у младенцев, показал сходные показатели успешности первой попытки и частоту гематом.¹⁵⁹

В ретроспективном обзоре пациентов, последовательно перенесших кардиохирургические вмешательства, показано, что доступ к артериям под контролем УЗИ значительно сократил потребность в хирургическом вмешательстве во всех возрастных группах детей.¹⁶⁰ При канюляции глубоких лучевых артерий (глубина около 4 мм по отношению к коже) применение УЗИ повышает вероятность успеха первой попытки и время выполнения канюляции.¹⁶¹ Модификация метода динамического позиционирования кончика иглы для канюлирования лучевой артерии у новорожденных улучшает показатели первой попытки и общего успеха, а также сокращает общее время процедуры и количество осложнений по сравнению с традиционным методом пальпации.¹⁶² В РКИ методика динамического позиционирования кончика иглы по сравнению с обычной пальпацией сократила количество попыток введения препарата для доступа к лучевой артерии, РТА или ДРА.¹⁶³

В проспективном РКИ добавление акустического затенения в качестве метода, позволяющего преодолеть ограничения 2D-визуализации, повысило вероятность успеха канюляции лучевой артерии под контролем УЗИ у маленьких детей.¹⁶⁴ Этот метод изменяет УЗ-изображение, помещая металлические нити, различимые на рентгеновских снимках, перпендикулярно поверхности датчика с помощью стерильной мембраны. При расположении так, чтобы лучевая артерия была видна с позиции SAX, нити создают две параллельные темные линии акустического затенения в мягких тканях. Оператор может расположить эти темные линии по обе стороны от лучевой артерии для облегчения канюлирования.

В проспективном РКИ у младенцев и детей, перенесших кардиохирургические операции, сообщалось, что канюляция бедренной артерии под контролем УЗИ, выполняемая стажерами, была эффективнее пальпации, при этом сокращалось время канюляции сосудов, достигался успех с первой попытки и количество попыток было меньше.¹⁶⁵ В 2023 году Кокрейновский систематический обзор артериальной канюляции под контролем УЗИ в педиатрической популяции включал девять РКИ (748



пациентов, 2006- 2021 гг.).¹⁶⁶ Целью исследования было оценить преимущества УЗ-диагностики по сравнению с традиционными методами, используемыми у детей, такими как пальпация и доплерография. Последний метод, также называемый звуковой доплерографией, обычно использует малокалиберный датчик с частотой 10 МГц, не имеющий изображения, для определения соответствующего пульсирующего артериального шума и низкого венозного гудения. В этом обзоре сделан вывод о том, что УЗ-навигация по сравнению с традиционными методами, вероятно, повышает вероятность успешного проведения канюлирования с первой попытки, в течение двух попыток и в целом. УЗ-навигация, вероятно, также снижает частоту возникновения гематом, количество попыток успешного проведения канюлирования и время на проведение канюлирования. Авторы предполагают, что необходимы дальнейшие исследования, чтобы определить, являются ли эти преимущества более значимыми в младших возрастных группах по сравнению со старшими.

7.4. Осложнения сосудистого доступа у детей

Осложнения артериального доступа у детей могут быть незначительными или серьезными; частота их возникновения зависит от места канюлирования. Они встречаются редко и включают кровотечение, гематому, артериовенозную фистулу, повреждение нерва, тромбоз, окклюзию, ишемию пальцев, укорочение конечности, воздушную эмболию и другие.¹⁶⁷ Временная сосудистая недостаточность, проявляющаяся снижением перфузии конечности после артериальной канюляции, чаще встречается у детей, чем у взрослых.¹⁶⁸ Хотя это не всегда является причиной для удаления катетера, это открытие требует постоянного тщательного наблюдения за перфузией дистального артериального русла. Большинство клинических проявлений сосудистых нарушений проходят с восстановлением нормального кровотока после удаления катетера.

Катетеризация сердца через бедренную артерию у детей может привести к резкой потере артериального пульса (частота составляет 6,8%), что требует лечения с использованием специальных протоколов, которые могут включать антикоагулянты.¹⁶⁹ Диаметр бедренной артерии <3 мм представляет собой независимый фактор риска для этого осложнения.¹⁶⁹ Проведенная нами оценка размера сосуда может помочь свести к минимуму артериальные осложнения у младенцев, проходящих эти процедуры.¹⁷⁰ У детей артериальные катетеры могут вызывать тромбоз и повреждение дистальных сосудов, что в целом составляет около 3% случаев, и более высокая частота - 11% - у детей, проходящих процедуры катетеризации сердца.¹⁷¹ Тромбоз чаще всего поражает бедренную артерию, факторами риска являются более молодой возраст, меньшая масса тела, низкий сердечный ритм и повышение гематокрита.



Рекомендации по проведению УЗ-контроля артериального доступа у детей. Основываясь на фактических данных и единодушном мнении экспертов, эта группа авторов настоятельно рекомендует (класс 1В) использовать УЗ-навигацию во время артериальной канюляции у большинства детей, особенно у детей младшего возраста, у которых, как известно, сложный доступ к сосудам и сосуды, на которых ранее применялись инструменты.

Ключевые моменты: сосудистый доступ в педиатрии

- Показания к сосудистому доступу у детей такие же, как и у взрослых.
- Сосудистый доступ в педиатрической возрастной группе технически сложен, что связано с малым размером сосуда, анатомическими различиями в его структуре и возможной предварительной канюляцией сосуда.
- В целом, методы катетеризации сосудов под контролем УЗИ, применяемые у детей, такие же, как и у взрослых.
- Ультразвуковое исследование дает значительные преимущества при доступе к артериям по сравнению с методами, основанными на ориентирах, пальпации и аудиодопплерографии. Это особенно полезно для новорожденных, грудничков и маленьких детей, поскольку позволяет повысить вероятность успеха первой попытки при одновременном снижении количества неудачных попыток и частоты осложнений.
- Транзиторная сосудистая недостаточность - распространенное явление, связанное с артериальной канюляцией у детей по сравнению со взрослыми.

8. ОБУЧЕНИЕ

По мере того как роль УЗИ в клинической практике расширяется, многие образовательные усилия направлены на решение проблемы адекватного обучения. Формальное обучение канюлированию с помощью УЗИ необходимо для достижения клинических результатов, подтверждаемых литературными данными, и, в конечном счете, для повышения безопасности пациента.¹⁷² Важно, чтобы оператор имел представление об анатомии, окружающей целевой сосуд при применении УЗИ, мог определить оптимальное место введения и угол наклона иглы, а также понимал ограничения о технике, применяемой под УЗ-навигацией. Клиницист должен понимать, что УЗ-навигация повышает безопасность процедуры по сравнению с методикой канюлирования по ориентирам.

Международная консенсусная группа, основанная на фактических данных, созданная Всемирным конгрессом по доступу к сосудам, представила рекомендации по обучению установке центральных венозных канюлей.¹⁷³ Эти эксперты предполагают, что обучение канюляции сосудов под контролем УЗИ включает в себя три компонента: (1) знания, полученные в результате изучения дидактических и веб-материалов, (2) имитационное обучение с использованием моделей и (3) практика под наблюдением клинических экспертов.¹⁷⁴ Надлежащее обучение должно прививать когнитивные знания и



технические навыки, необходимые для выполнения канюлирования под контролем УЗИ, как указано в таблице 5.

Таблица 5 Рекомендуемые тренировочные задачи по катетеризации сосудов под контролем УЗИ

Когнитивные навыки	Технические навыки
<ul style="list-style-type: none">• Знание физических принципов УЗИ• Знание работы УЗ-оборудования, включая элементы управления, влияющие на отображение изображений на дисплее• Знание стандартов инфекционного контроля при выполнении сосудистого доступа и стерильной подготовки УЗ-датчика для использования в режиме реального времени• Знание анатомии поверхности, характерной для места доступа, и анатомии УЗИ, позволяющей идентифицировать целевой сосуд и структуры, которых следует избегать• Умение распознавать местоположение и проходимость целевого сосуда• Умение распознавать нетипичное расположение сосуда и перенаправлять введение иглы для минимизации осложнений• Знание цветовой гаммы потока и спектральной доплерографии, которые определяют характеристики артериального и венозного кровотока• Знание возможных осложнений сосудистого доступа и их лечения	<ul style="list-style-type: none">• Умение работать с УЗ-оборудованием и элементами управления для получения качественной информации для идентификации целевого сосуда• Умение координировать направление иглы в нужном направлении и на нужной глубине на основе данных визуализации• Использовать направляющие для игл для согласования введения иглы с данными визуализации, когда оператору не хватает ловкости или когда клинические условия затрудняют координацию движений• Возможность ввести катетер в целевой сосуд, используя информацию, предоставленную УЗИ• Возможность подтверждения установки катетера в целевой сосуд и отсутствия катетера в непредусмотренных сосудах и конструкциях

Имитационная среда, позволяющая обучаемому развить ловкость, необходимую для одновременного манипулирования датчиком и введения иглы, может помочь в обучении.¹⁷⁵ Рекомендации Европейского общества анестезиологов по периоперационному использованию сосудистого доступа, разработанные в США в 2020 году, требуют успешного прохождения симуляционного обучения перед началом контролируемой клинической практики.¹¹ Обучение катетеризации сосудов на основе моделирования может повысить общий уровень успеха, но неясно, может ли оно уменьшить нежелательные явления, включая механические осложнения.¹⁷⁶

Обучение под руководством опытного инструктора ультразвуковому исследованию должно включать получение изображений, интерпретацию, пункцию сосудов и канюлирование, а также демонстрацию обучаемому того, как преобразовать 2D-изображение для выполнения 3D-задачи. Предпочтительно, чтобы обучение проводилось на одном сосудистом узле, чтобы усилить изучение методики, основанной на УЗИ. Однако, после овладения техникой, обучаемый может использовать принципы, изложенные в руководстве по УЗИ, для доступа к сосудам на других участках самостоятельно или под соответствующим наблюдением



Существуют ограниченные исследования относительно количества процедур, необходимых для установления компетентности в проведении сосудистой канюляции. Предыдущие рекомендации по УЗ-навигации рекомендовали выполнить минимум 10 процедур катетеризации сосудов под контролем УЗИ, чтобы продемонстрировать свою компетентность в самостоятельной практике.^{2,26} Другие эксперты предполагают, что для определения клинической компетентности следует использовать объективную глобальную шкалу оценок в ходе клинической практики, а не только по количеству выполненных процедур. В соответствии с рекомендациями Европейского общества анестезиологов по периоперационному использованию сосудистого доступа, разработанными в США, рекомендуется выполнить не менее 30 успешных процедур в течение 12 месяцев после завершения теоретико-практического курса и с низким уровнем осложнений для повышения квалификации.¹¹ Объем процедур является ключевым фактором в снижении осложнений, развитии и поддержании клинической компетентности.

Периферическая канюляция сосудистых структур у педиатрических пациентов является важным навыком для специалистов различных специальностей, включая неонатологов, педиатров, кардиологов, реаниматологов, хирургов, анестезиологов и радиологов, которые ухаживают за этими пациентами. Навыки и опыт оператора существенно влияют на успешное использование УЗИ для катетеризации сосудов в педиатрической возрастной группе. В последние годы усилия в области образования были сосредоточены на изучении и совершенствовании технических навыков с помощью имитационных учебных программ и реалистичных моделей, направленных на сокращение времени обучения.

Ключевые моменты: обучение

- Все более широкое использование УЗИ в клинической практике было связано с необходимостью активизации образовательных усилий.
- Обучение канюляции сосудов под контролем УЗИ включает в себя 3 компонента: (1) получение знаний, (2) имитационное обучение и (3) практика под наблюдением врача.
- Существует ограниченное количество исследований, касающихся количества процедур, необходимых для повышения квалификации в области сосудистой канюляции.
- Объем процедур является ключевым фактором в развитии и поддержании клинической компетентности и в снижении осложнений.

9. ПРОБЕЛЫ В ФАКТИЧЕСКИХ ДАННЫХ И БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Доступ к сосудам под ультразвуковым контролем получил широкое распространение в клинической практике, поскольку исследования



показывают более высокий процент успеха при меньшем количестве попыток и осложнений по сравнению с традиционными методами. Несмотря на то, что использование ультразвукового контроля принято в качестве стандарта для канюлирования ВЯВ, в других местах доступа к сосудам оно не является обычным. Это связано с тем, что качество фактических данных, на которых основаны рекомендации по сосудистому доступу под руководством УЗИ, остается от умеренного до слабого. Широкомасштабные исследования, в которых сравниваются методы УЗИ с известными методиками сосудистого доступа, могут стать непрактичными, поскольку все больше клиницистов научатся использовать УЗИ. В настоящее время во многих исследованиях сравниваются различные методы УЗИ, хотя, в конечном счете, для достижения наилучшего результата врач будет использовать ту методику, с которой он наиболее знаком.

Многие стажеры в настоящее время получают информацию об УЗ-доступе к сосудам на ранних этапах обучения и, таким образом, внедряют его в свою клиническую практику. Однако нет точных данных или РКИ о том, как наилучшим образом обучать стажеров, поэтому дальнейшие исследования могут лучше прояснить варианты обучения.

10. ВЫВОДЫ

Использование УЗИ в диагностических и процедурных целях становится стандартом в повседневной клинической практике. Основные функции УЗИ при доступе к сосуду могут включать: (1) оценку состояния сосудов перед канюлированием, (2) динамическое руководство УЗИ во время канюлирования и (3) выявление местных осложнений. В литературе появляется все больше данных о том, что УЗ-доступ к сосудам повышает вероятность успеха и уменьшает количество осложнений, но качество фактических данных, на которых основаны рекомендации, остается от умеренного до слабого (таблица 6). Известные преимущества сосудистого доступа под контролем УЗИ и заключения экспертов, основанные на клинической практике, нельзя игнорировать, несмотря на ограниченность имеющихся высококачественных данных. Представляется вероятным, что доступность американского оборудования и квалификация врачей окажут большее влияние на рутинное использование УЗИ для всех процедур сосудистого доступа, чем будущие научные исследования.

Таблица 6 Краткое изложение рекомендаций и преимуществ сосудистого доступа под контролем УЗИ у взрослых и педиатрических пациентов

Локализация	Уровень рекомендации	Повышение общего успеха	Повышение успеха с первой попытки	Сокращение времени канюляции	Снижение количества осложнений
Взрослые					
ВЯВ	1A	+	+	+	+



Подключичная вена	1C	+	+	+	+
Подмышечная вена	1B	+	-	-	+
Бедренная вена	1B	+	+	+	+
РІСС	1C	Ø	Ø	Ø	Ø
Периферическая вена	1B	+	+	+	+
Лучевая артерия	1B или 1A*	+	+	+	+
Плечевая артерия	1C	+	Ø	Ø	Ø
Подмышечная артерия	1C	+	+	Ø	Ø
Бедренная артерия	1B	+	+	+	+
РТА	1C	+	-	+	Ø
ДРА	2C	+	-	-	Ø
Дети[#]					
ВЯВ	1A	+	-	-	+
Бедренная вена	1C	+	-	Ø	Ø
Периферическая вена	2B	+	+	+	Ø
Лучевая артерия	1B	+	+	+	+
Бедренная артерия	1B	+	+	+	+

РІСС, периферическая внутривенная центральная канюляция.

+, Подтверждено рандомизированными контрольными испытаниями и исследованиями;

-, не подтверждено рандомизированными контрольными испытаниями и исследованиями;

Ø, нет доказательств в рандомизированных контрольных испытаниях и исследованиях.

**(уровень 1B) в рутинной практике или (уровень 1A) при слабом пульсе и малой артерии или при неудачной попытке обследования.*

Существует широкий спектр рекомендаций для педиатрической возрастной группы, так что одна рекомендация может быть более эффективной для новорожденных и маленьких детей и менее эффективной для детей старшего возраста.

УВЕДОМЛЕНИЕ И ОТКАЗ ОТ ОТВЕТСТВЕННОСТИ

ASE предоставляет своим членам доступ к этому отчету в качестве справочного материала. Он содержит только рекомендации и не должен использоваться в качестве единственного основания для принятия медицинских решений или принятия дисциплинарных мер в отношении любого сотрудника. Заявления и рекомендации, содержащиеся в настоящем отчете, основаны в первую очередь на мнениях экспертов, а не на научно подтвержденных данных. ASE не дает никаких явных или подразумеваемых гарантий относительно полноты или точности информации, содержащейся в настоящем отчете, включая гарантии товарной пригодности или пригодности для определенной цели. ASE ни при каких обстоятельствах не несет ответственности перед вами, вашими пациентами или любыми другими третьими лицами за любые решения или действия, принятые вами или такими другими лицами на основании этой информации. Использование вами этой информации также не является предложением медицинских консультаций со стороны ASE и не создает каких-либо отношений между врачом и пациентом между ASE и вашими пациентами или кем-либо еще.

ПОДТВЕРЖДЕНИЯ



Этот документ был рассмотрен членами Комитета ASE по руководящим принципам и стандартам на 2024-2025 годы, Совета директоров ASE и Исполнительного комитета ASE. Редакционный комитет хотел бы поблагодарить доктора Каталина-Джулиана Эфримеску (консультанта Университетской больницы Матер Мизерикордиа, Дублин, Ирландия) и Альберта Фунга (больница общего профиля Торонто, Торонто, Онтарио, Канада) за их вклад в подготовку графического материала для этого документа.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Дополнительные данные, относящиеся к этой статье, можно найти по адресу <https://doi.org/10.1016/j.echo.2024.12.004>.



ИСТОЧНИКИ

1. Rothschild JM. Ultrasound guidance of central vein catheterization. In: Making health care safer: a critical analysis of patient safety practices. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality publication; 2001. pp. 245-53.
2. Troianos CA, Hartman GS, Glas KE, et al. Guidelines for performing ultrasound guided vascular cannulation: recommendations of the American Society of Echocardiography and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists. *J Am Soc Echocardiogr* 2011;24:1291-318.
3. Guyatt G, Gutterman D, Baumann MH, et al. Grading strength of recommendations and quality of evidence in clinical guidelines: report from an American College of Chest Physicians task force. *Chest* 2006;129:174-81.
4. McGee DC, Gould MK. Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med* 2003;348:1123-33.
5. Ezarú CS, Mangione MP, Oravitz TM, et al. Eliminating arterial injury during central venous catheterization using manometry. *Anesth Analg* 2009;109:130-4.
6. Sznajder JI, Zveibil FR, Bitterman H, et al. Central vein catheterization. Failure and complication rates by three percutaneous approaches. *Arch Intern Med* 1986;146:259-61.
7. Milling TJ, Rose J, Briggs WM, et al. Randomized, controlled clinical trial of point-of-care limited ultrasonography assistance of central venous cannulation: the Third Sonography Outcomes Assessment Program (SOAP-3) Trial. *Crit Care Med* 2005;33:1764-9.
8. Airapetian N, Maizel J, Langelle F, et al. Ultrasound-guided central venous cannulation is superior to quick-look ultrasound and landmark methods among inexperienced operators: a prospective randomized study. *Intensive Care Med* 2013;39:1938-44.
9. Lamperti M, Bodenham AR, Pittiruti M, et al. International evidence-based recommendations on ultrasound-guided vascular access. *Intensive Care Med* 2012;38:1105-17.
10. Franco-Sadud R, Schnobrich D, Mathews BK, et al. Recommendations on the use of ultrasound guidance for central and peripheral vascular access in adults: a position statement of the Society of Hospital Medicine. *J Hosp Med* 2019;14:E1-22.
11. Lamperti M, Biasucci DG, Disma N, et al. European Society of Anaesthesiology guidelines on peri-operative use of ultrasound-guided for vascular access (PERSEUS vascular access). *Eur J Anaesthesiol* 2020;37:344-76.
12. Timsit JF, Baleine J, Bernard L, et al. Expert consensus-based clinical practice guidelines management of intravascular catheters in the intensive care unit. *Ann Intensive Care* 2020;10:118.
13. Practice guidelines for central venous access 2020: an updated report by the American Society of Anesthesiologists task force on central venous access. *Anesthesiology* 2020;132:8-43.
14. Dowling M, Jjala HA, Hardman JG, et al. Real-time three-dimensional ultrasound-guided central venous catheter placement. *Anesth Analg* 2011; 112:378-81.
15. Spencer TR, Pittiruti M. Rapid Central Vein Assessment (RaCeVA): a systematic, standardized approach for ultrasound assessment before central venous catheterization. *J Vasc Access* 2019;20:239-49.
16. Brescia F, Pittiruti M, Ostroff M, et al. Rapid Femoral Vein Assessment (RaFeVA): a systematic protocol for ultrasound evaluation of the veins of the lower limb, so to optimize the insertion of femorally inserted central catheters. *J Vasc Access* 2021;22:863-72.
17. Armstrong PJ, Sutherland R, Scott DH. The effect of position and different manoeuvres on internal jugular vein diameter size. *Acta Anaesthesiol Scand* 1994;38:229-31.
18. Kim ES, Sharma AM, Scissons R, et al. Interpretation of peripheral arterial and venous Doppler waveforms: a consensus statement from the Society for Vascular Medicine and Society for Vascular Ultrasound. *Vasc Med* 2020;25:484-506.
19. Taute BM, Schmidt H, Bach AG, et al. Spectral Doppler waveform analysis of common femoral veins for the detection of right ventricular dysfunction in acute pulmonary embolism. *J Cardiovas Dis Diagn* 2015;03.
20. Seldinger SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta radiol* 1953;39:368-76.
21. Stone MB, Moon C, Sutijono D, et al. Needle tip visualization during ultrasound-guided vascular access: short-axis vs long-axis approach. *Am J Emerg Med* 2010;28:343-7.
22. Phelan M, Hagerty D. The oblique view: an alternative approach for ultrasound-guided central line placement. *J Emerg Med* 2009;37:403-8.
23. Galvez JA, Lin EE, Schwartz AJ, et al. Ultrasound-guided vascular access: visualizing the tip of the needle. *Anesthesiology* 2016;125:396.
24. Gillman LM, Blaivas M, Lord J, et al. Ultrasound confirmation of guidewire position may eliminate accidental arterial dilatation during central venous cannulation. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med* 2010;18:39.
25. Denys BG, Uretsky BF. Anatomical variations of internal jugular vein location: impact on central venous access. *Crit Care Med* 1991;19:1516-9.
26. Troianos CA, Kuwik RJ, Pasqual JR, et al. Internal jugular vein and carotid artery anatomic relation as determined by ultrasonography. *Anesthesiology* 1996;85:43-8.
27. Maecken T, Marcon C, Bomas S, et al. Relationship of the internal jugular vein to the common carotid artery: implications for ultrasound-guided vascular access. *Eur J Anaesthesiol* 2011;28:351-5.
28. Lichtenstein D, Saifi R, Augarde R, et al. The internal jugular veins are asymmetric. Usefulness of ultrasound before catheterization. *Intensive Care Med* 2001;27:301-5.
29. Mey U, Glasmacher A, Hahn C, et al. Evaluation of an ultrasound-guided technique for central venous access via the internal jugular vein in 493 patients. *Support Care Cancer* 2003;11:148-55.
30. Suarez T, Baerwald JP, Kraus C. Central venous access: the effects of approach, position, and head rotation on internal jugular vein cross-sectional area. *Anesth Analg* 2002;95:1519-24.
31. Augoustides JG, Horak J, Ochroch AE, et al. A randomized controlled clinical trial of real-time needle-guided ultrasound for internal jugular venous cannulation in a large university anesthesia department. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2005;19:310-5.
32. Nassar B, Deol GRS, Ashby A, et al. Trendelenburg position does not increase cross-sectional area of the internal jugular vein predictably. *Chest* 2013;144:177-82.



33. Hind D, Calvert N, McWilliams R, et al. Ultrasonic locating devices for central venous cannulation: meta-analysis. *BMJ* 2003;327:361.
34. Wu SY, Ling Q, Cao LH, et al. Real-time two-dimensional ultrasound guidance for central venous cannulation: a meta-analysis. *Anesthesiology* 2013;118:361-75.
35. Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, et al. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for internal jugular vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;1:CD006962.
36. Goetz AM, Wagener MM, Miller JM, et al. Risk of infection due to central venous catheters: effect of site of placement and catheter type. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1998;19:842-5.
37. Lavallee C, Ayoub C, Mansour A, et al. Subclavian and axillary vessel anatomy: a prospective observational ultrasound study. *Can J Anaesth* 2018;65:350-9.
38. Saini V, Vamsidhar A, Samra T, et al. Comparative evaluation of ultrasound guided supraclavicular and infraclavicular subclavian venous catheterizations in adult patients. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol* 2022;38:411-6.
39. Su Y, Hou JY, Ma GG, et al. Comparison of the proximal and distal approaches for axillary vein catheterization under ultrasound guidance (PANDA) in cardiac surgery patients susceptible to bleeding: a randomized controlled trial. *Ann Intensive Care* 2020;10:90.
40. O'Leary R, Ahmed SM, McLure H, et al. Ultrasound-guided infraclavicular axillary vein cannulation: a useful alternative to the internal jugular vein. *Br J Anaesth* 2012;109:762-8.
41. Fragou M, Gravvanis A, Dimitriou V, et al. Real-time ultrasound-guided subclavian vein cannulation versus the landmark method in critical care patients: a prospective randomized study. *Crit Care Med* 2011;39:1607-12.
42. Oh AY, Jeon YT, Choi EJ, et al. The influence of the direction of J-tip on the placement of a subclavian catheter: real time ultrasound-guided cannulation versus landmark method, a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol* 2014;14:11.
43. Lalu MM, Fayad A, Ahmed O, et al. Ultrasound-guided subclavian vein catheterization: a systematic review and meta-analysis. *Crit Care Med* 2015;43:1498-507.
44. Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, et al. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for subclavian or femoral vein catheterization. *Cochrane Database Syst Rev* 2015;1:CD011447.
45. Zawadka M, La Via L, Wong A, et al. Real-time ultrasound guidance as compared with landmark technique for subclavian central venous cannulation: a systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis. *Crit Care Med* 2023;51:642-52.
46. Liccardo M, Nocerino P, Gaia S, et al. Efficacy of ultrasound-guided axillary/subclavian venous approaches for pacemaker and defibrillator lead implantation: a randomized study. *J Interv Card Electrophysiol* 2018;51:153-60.
47. Shinde PD, Jasapara A, Bansode K, et al. A comparative study of safety and efficacy of ultrasound-guided infraclavicular axillary vein cannulation versus ultrasound-guided internal jugular vein cannulation in adult cardiac surgical patients. *Ann Card Anaesth* 2019;22:177-86.
48. Zhou J, Wu L, Zhang C, et al. Ultrasound guided axillary vein catheterization versus subclavian vein cannulation with landmark technique: a PRISMA-compliant systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2022;101:e31509.
49. Hughes P, Scott C, Bodenham A. Ultrasonography of the femoral vessels in the groin: implications for vascular access. *Anaesthesia* 2000;55:1198-202.
50. Merchant RM, Topjian AA, Panchal AR, et al. Part 1: Executive summary: 2020 American Heart Association guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care. *Circulation* 2020;142:S337-57.
51. Werner SL, Jones RA, Emerman CL. Effect of hip abduction and external rotation on femoral vein exposure for possible cannulation. *J Emerg Med* 2008;35:73-5.
52. Stone MB, Price DD, Anderson BS. Ultrasonographic investigation of the effect of reverse Trendelenburg on the cross-sectional area of the femoral vein. *J Emerg Med* 2006;30:211-3.
53. Prabhu MV, Juneja D, Gopal PB, et al. Ultrasound-guided femoral dialysis access placement: a single-center randomized trial. *Clin J Am Soc Nephrol* 2010;5:235-9.
54. Powell JT, Mink JT, Nomura JT, et al. Ultrasound-guidance can reduce adverse events during femoral central venous cannulation. *J Emerg Med* 2014;46:519-24.
55. Rabindranath KS, Kumar E, Shail R, et al. Use of real-time ultrasound guidance for the placement of hemodialysis catheters: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Kidney Dis* 2011;58:964-70.
56. Kupo P, Pap R, Saghy L, et al. Ultrasound guidance for femoral venous access in electrophysiology procedures-systematic review and meta-analysis. *J Interv Card Electrophysiol* 2020;59:407-14.
57. Alexandrou E, Spencer TR, Frost SA, et al. Central venous catheter placement by advanced practice nurses demonstrates low procedural complication and infection rates—a report from 13 years of service. *Crit Care Med* 2014;42:536-43.
58. Dawson RB. PICC Zone Insertion Method™ (ZIM™): a systematic approach to determine the ideal insertion site for PICCs in the upper arm. *J Vasc Access* 2011;16:156-65.
59. Cardella JF, Cardella K, Bacci N, et al. Cumulative experience with 1,273 peripherally inserted central catheters at a single institution. *J Vasc Interv Radiol* 1996;7:5-13.
60. Stokowski G, Steele D, Wilson D. The use of ultrasound to improve practice and reduce complication rates in peripherally inserted central catheter insertions: final report of investigation. *J Infus Nurs* 2009;32:145-55.
61. Hughes ME. PICC-related thrombosis: pathophysiology, incidence, morbidity and the effect of ultrasound-guided placement technique on occurrence in cancer patients. *J Vasc Access* 2011;16:8-18.
62. Kerforme T, Petitpas F, Frasca D, et al. Ultrasound-guided peripheral venous access in severely ill patients with suspected difficult vascular puncture. *Chest* 2012;141:279-80.
63. Egan G, Healy D, O'Neill H, et al. Ultrasound guidance for difficult peripheral venous access: systematic review and meta-analysis. *Emerg Med J* 2013;30:521-6.
64. Stolz LA, Stolz U, Howe C, et al. Ultrasound-guided peripheral venous access: a meta-analysis and systematic review. *J Vasc Access* 2015;16:321-6.
65. van Loon FHJ, Buise MP, Claassen JJF, et al. Comparison of ultrasound guidance with palpation and



- direct visualisation for peripheral vein cannulation in adult patients: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth* 2018;121:358-66.
66. Poulsen E, Aagaard R, Bisgaard J, et al. The effects of ultrasound guidance on first-attempt success for difficult peripheral intravenous catheterization: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Emerg Med* 2023; 30:70-7.
 67. Mahler SA, Wang H, Lester C, et al. Ultrasound-guided peripheral intravenous access in the emergency department using a modified Seldinger technique. *J Emerg Med* 2010;39:325-9.
 68. Bauman M, Braude D, Crandall C. Ultrasound-guidance vs. standard technique in difficult vascular access patients by ED technicians. *Am J Emerg Med* 2009;27:135-40.
 69. Brzezinski M, Luisetti T, London MJ. Radial artery cannulation: a comprehensive review of recent anatomic and physiologic investigations. *Anesth Analg* 2009;109:1763-81.
 70. Handlogten KS, Wilson GA, Clifford L, et al. Brachial artery catheterization: an assessment of use patterns and associated complications. *Anesth Analg* 2014;118:288-95.
 71. Vallespin J, Meola M, Ibeas J. Upper limb anatomy and preoperative mapping. *J Vasc Access* 2021;22:9-17.
 72. Cho SA, Jang YE, Ji SH, et al. Ultrasound-guided arterial catheterization. *Anesth Pain Med (Seoul)* 2021;16:119-32.
 73. Posham R, Biederman DM, Patel RS, et al. Transradial approach for noncoronary interventions: a single-center review of safety and feasibility in the first 1,500 cases. *J Vasc Interv Radiol* 2016;27:159-66.
 74. Di Santo P, Simard T, Wells GA, et al. Transradial versus transfemoral access for percutaneous coronary intervention in ST-segment-elevation myocardial infarction: a systematic review and meta-analysis. *Circ Cardiovasc Interv* 2021;14:e009994.
 75. Mason PJ, Shah B, Tamis-Holland JE, et al. An update on radial artery access and best practices for transradial artery coronary angiography and intervention in acute coronary syndrome: a scientific statement from the American Heart Association. *Circ Cardiovasc Interv* 2018;11:e000035.
 76. Gayed A, Yamada R, Bhatia S, et al. Society of interventional radiology quality improvement standards on radial artery access. *J Vasc Interv Radiol* 2021;32:761.e1-21.
 77. Fuda G, Denault A, Deschamps A, et al. Risk factors involved in central-to-radial arterial pressure gradient during cardiac surgery. *Anesth Analg* 2016;122:624-32.
 78. Bouchard-Dechene V, Kontar L, Couture P, et al. Radial-to-femoral pressure gradient quantification in cardiac surgery. *JTCVS Open* 2021;8:446-60.
 79. Bobbia X, Grandpierre RG, Claret PG, et al. Ultrasound guidance for radial arterial puncture: a randomized controlled trial. *Am J Emerg Med* 2013;31:810-5.
 80. Hansen MA, Juhl-Olsen P, Thorn S, et al. Ultrasonography-guided radial artery catheterization is superior compared with the traditional palpation technique: a prospective, randomized, blinded, crossover study. *Acta Anaesthesiol Scand* 2014;58:446-52.
 81. Seto AH, Roberts JS, Abu-Fadel MS, et al. Real-time ultrasound guidance facilitates transradial access: RAUST (radial artery access with ultrasound trial). *JACC Cardiovasc Interv* 2015;8:283-91.
 82. Ueda K, Bayman EO, Johnson C, et al. A randomised controlled trial of radial artery cannulation guided by Doppler vs. palpation vs. ultrasound. *Anaesthesia* 2015;70:1039-44.
 83. Li X, Fang G, Yang D, et al. Ultrasonic technology improves radial artery puncture and cannulation in intensive care unit (ICU) shock patients. *Med Sci Monit* 2016;22:2409-16.
 84. Burad J, Date R, Kodange S, et al. Comparison of conventional and ultrasound guided techniques of radial artery cannulation in different haemodynamic subsets: a randomised controlled study. *Intensive Care Med* 2017;43:140-1.
 85. Tangwiwat S, Pankla W, Rushatamukayanunt P, et al. Comparing the success rate of radial artery cannulation under ultrasound guidance and palpation technique in adults. *J Med Assoc Thai* 2016;99:505-10.
 86. Shiloh AL, Savel RH, Paulin LM, et al. Ultrasound-guided catheterization of the radial artery: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Chest* 2011;139:524-9.
 87. White L, Halpin A, Turner M, et al. Ultrasound-guided radial artery cannulation in adult and paediatric populations: a systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth* 2016;116:610-7.
 88. Moussa Pacha H, Alahdab F, Al-Khadra Y, et al. Ultrasound-guided versus palpation-guided radial artery catheterization in adult population: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Am Heart J* 2018;204:1-8.
 89. Zhao W, Peng H, Li H, et al. Effects of ultrasound-guided techniques for radial arterial catheterization: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Emerg Med* 2021;46:1-9.
 90. Bi X, Wang Q, Liu D, et al. Is the complication rate of ulnar and radial approaches for coronary artery intervention the same? *Angiology* 2017;68:919-25.
 91. Watkinson AF, Hartnell GG. Complications of direct brachial artery puncture for arteriography: a comparison of techniques. *Clin Radiol* 1991;44:189-91.
 92. Franz RW, Tanga CF, Herrmann JW. Treatment of peripheral arterial disease via percutaneous brachial artery access. *J Vasc Surg* 2017;66:461-5.
 93. Appelt K, Takes M, Zech CJ, et al. Complication rates of percutaneous brachial artery puncture: effect of live ultrasound guidance. *CVIR Endovasc* 2021;4:74.
 94. Dawson K, Jones TL, Kearney KE, et al. Emerging role of large-bore percutaneous axillary vascular access: a step-by-step guide. *Interv Cardiol* 2020;15:e07.
 95. Htet N, Vaughn J, Adigopula S, et al. Needle-guided ultrasound technique for axillary artery catheter placement in critically ill patients: a case series and technique description. *J Crit Care* 2017;41:194-7.
 96. Dahle TG, Kaneko T, McCabe JM. Outcomes following subclavian and axillary artery access for transcatheter aortic valve replacement: Society of the Thoracic Surgeons/American College of Cardiology TVT Registry report. *JACC Cardiovasc Interv* 2019;12:662-9.
 97. Bergeron P. Direct percutaneous carotid access for carotid angioplasty and stenting. *J Endovasc Ther* 2015;22:135-8.
 98. McCabe JM, Kaki AA, Pinto DS, et al. Percutaneous axillary access for placement of microaxial ventricular support devices: the axillary access registry to monitor safety (ARMS). *Circ Cardiovasc Interv* 2021; 14:e009657.



99. Seto AH, Tyler J, Suh WM, et al. Defining the common femoral artery: Insights from the femoral arterial access with ultrasound trial. *Catheter Cardiovasc Interv* 2017;89:1185-92.
100. Hwang JY. Doppler ultrasonography of the lower extremity arteries: anatomy and scanning guidelines. *Ultrasonography* 2017;36:111-9.
101. Seto AH, Abu-Fadel MS, Sparling JM, et al. Real-time ultrasound guidance facilitates femoral arterial access and reduces vascular complications: FAUST (Femoral Arterial Access with Ultrasound Trial). *JACC Cardiovasc Interv* 2010;3:751-8
102. Tuna Katircibas, M, Gêunes, H, C, agri Aykan A, et al. Comparison of ultrasound guidance and conventional method for common femoral artery cannulation: a prospective study of 939 patients. *Acta Cardiol Sin* 2018;34:394-8.
103. Marquis-Gravel G, Tremblay-Gravel M, Levesque J, et al. Ultrasound guidance versus anatomical landmark approach for femoral artery access in coronary angiography: a randomized controlled trial and a meta-analysis. *J Interv Cardiol* 2018;31:496-503.
104. Stone P, Campbell J, Thompson S, et al. A prospective, randomized study comparing ultrasound versus fluoroscopic guided femoral arterial access in noncardiac vascular patients. *J Vasc Surg* 2020;72:259-67.
105. Jolly SS, AlRashidi S, d'Entremont MA, et al. Routine ultrasonography guidance for femoral vascular access for cardiac procedures: the UNIVERSAL randomized clinical trial. *JAMA Cardiol* 2022;7:1110-8.
106. Rashid MK, Sahami N, Singh K, et al. Ultrasound guidance in femoral artery catheterization: a systematic review and a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Invasive Cardiol* 2019;31:E192-8.
107. Khan Z, Khan M, Mohammednouraltaf F, et al. Diameter of the dorsalis pedis artery and its clinical relevance. *J Med Dent Sci* 2016;15:129-33.
108. El-Sayed HF. Retrograde pedal/tibial artery access for treatment of infragenicular arterial occlusive disease. *Methodist Debakey Cardiovasc J* 2013;9:73-8.
109. Sharma A, Goyal S, Kumari K, et al. A randomized controlled trial comparing ultrasound-guided versus traditional palpatory methods of posterior tibial artery cannulation in adult patients. *J Vasc Access* 2023;25:1140-5.
110. Takeshita J, Tachibana K, Nakayama Y, et al. Ultrasound-guided dynamic needle tip positioning versus conventional palpation approach for catheterisation of posterior tibial or dorsalis pedis artery in infants and small children. *Br J Anaesth* 2021;126:e140-2.
111. Kaushal A, Ramakumar N, Talawar P, et al. A randomized trial to compare ultrasound-guided dorsalis pedis versus posterior tibial artery cannulation in neurosurgical patients. *Cureus* 2023;15:e33514.
112. Kwan TW, Shah S, Amoroso N, et al. Feasibility and safety of routine transpedal arterial access for treatment of peripheral artery disease. *J Invasive Cardiol* 2015;27:327-30.
113. Anand RK, Maitra S, Ray BR, et al. Comparison of ultrasound-guided versus conventional palpatory method of dorsalis pedis artery cannulation: a randomized controlled trial. *Saudi J Anaesth* 2019;13:295-8.
114. Kusminsky RE. Complications of central venous catheterization. *J Am Coll Surg* 2007;204:681-96.
115. Adrian M, Borgquist O, Kroger T, et al. Mechanical complications after central venous catheterisation in the ultrasound-guided era: a prospective multicentre cohort study. *Br J Anaesth* 2022;129:843-50.
116. Karande GY, Hedgire SS, Sanchez Y, et al. Advanced imaging in acute and chronic deep vein thrombosis. *Cardiovasc Diagn Ther* 2016;6:493-507.
117. Roter E, Denault AY. Radial artery reliability using arterial Doppler assessment prior to arterial cannulation. *Can J Anaesth* 2019;66:1272-3.
118. Costa F, van Leeuwen MA, Daemen J, et al. The Rotterdam radial access research: ultrasound-based radial artery evaluation for diagnostic and therapeutic coronary procedures. *Circ Cardiovasc Interv* 2016;9:1110-8.
119. Mahmoud MZ, Al-Saadi M, Abuderman A, et al. "To-and-fro" waveform in the diagnosis of arterial pseudoaneurysms. *World J Radiol* 2015;7:89-99.
120. Altin RS, Flicker S, Naidech HJ. Pseudoaneurysm and arteriovenous fistula after femoral artery catheterization: association with low femoral punctures. *Am J Roentgenol* 1989;152:629-31.
121. Blaivas M, Adhikari S. An unseen danger: frequency of posterior vessel wall penetration by needles during attempts to place internal jugular vein central catheters using ultrasound guidance. *Crit Care Med* 2009;37:2345-9.
122. Wang R, Snoey ER, Clements RC, et al. Effect of head rotation on vascular anatomy of the neck: an ultrasound study. *J Emerg Med* 2006;31:283-6.
123. Weekes AJ, Keller SM, Efuno B, et al. Prospective comparison of ultrasound and CXR for confirmation of central vascular catheter placement. *Emerg Med J* 2016;33:176-80.
124. Kolluri R, Fowler B, Nandish S. Vascular access complications: diagnosis and management. *Curr Treat Options Cardiovasc Med* 2013;15:173-87.
125. Mermel LA, Allon M, Bouza E, et al. Clinical practice guidelines for the diagnosis and management of intravascular catheter-related infection: 2009 update by the infectious diseases Society of America. *Clin Infect Dis* 2009;49:1-45.
126. Chopra V, Anand S, Hickner A, et al. Risk of venous thromboembolism associated with peripherally inserted central catheters: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 2013;382:311-25.
127. O'Brien J, Paquet F, Lindsay R, et al. Insertion of PICCs with minimum number of lumens reduces complications and costs. *J Am Coll Radiol* 2013;10:864-8.
128. Fletcher SJ, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth* 2000;85:188-91.
129. Heinrichs J, Fritze Z, Klassen T, et al. A systematic review and meta-analysis of new interventions for peripheral intravenous cannulation of children. *Pediatr Emerg Care* 2013;29:858-66.
130. AIUM practice parameter for the use of ultrasound to guide vascular access procedures. *J Ultrasound Med* 2019;38:E4-18.
131. Souza Neto E, Grousson S, Duflo F, et al. Ultrasonographic anatomic variations of the major veins in paediatric patients. *Br J Anaesth* 2014;112:879-84.
132. Hanslik A, Thom K, Haumer M, et al. Incidence and diagnosis of thrombosis in children with short-term central venous lines of the upper venous system. *Pediatrics* 2008;122:1284-91.
133. de Souza TH, Brandao MB, Nadal JAH, et al. Ultrasound guidance for pediatric central venous



- catheterization: a meta-analysis. *Pediatrics* 2018;142:e20181719.
134. Froehlich CD, Rigby MR, Rosenberg ES, et al. Ultrasound-guided central venous catheter placement decreases complications and decreases placement attempts compared with the landmark technique in patients in a pediatric intensive care unit. *Crit Care Med* 2009;37:1090-6.
 135. Bruzoni M, Slater BJ, Wall J, et al. A prospective randomized trial of ultrasound- vs landmark-guided central venous access in the pediatric population. *J Am Coll Surg* 2013;216:939-43.
 136. Oulego-Erroz I, Gonzalez-Cortes R, Garcia-Soler P, et al. Ultrasound-guided or landmark techniques for central venous catheter placement in critically ill children. *Intensive Care Med* 2018;44:61-72.
 137. Hosokawa K, Shime N, Kato Y, et al. A randomized trial of ultrasound image-based skin surface marking versus real-time ultrasound-guided internal jugular vein catheterization in infants. *Anesthesiology* 2007;107:720-4.
 138. Hopkins JW, Warkentine F, Gracely E, et al. The anatomic relationship between the common femoral artery and common femoral vein in frog leg position versus straight leg position in pediatric patients. *Acad Emerg Med* 2009;16:579-84.
 139. Suk EH, Lee KY, Kweon TD, et al. Ultrasonographic evaluation of the femoral vein in anaesthetised infants and young children. *Anaesthesia* 2010;65:895-8.
 140. Bhatia N, Sivaprakasam J, Allford M, et al. The relative position of femoral artery and vein in children under general anesthesia—an ultrasound-guided observational study. *Paediatr Anaesth* 2014;24:1164-8.
 141. Aouad MT, Kanazi GE, Abdallah FW, et al. Femoral vein cannulation performed by residents: a comparison between ultrasound-guided and landmark technique in infants and children undergoing cardiac surgery. *Anesth Analg* 2010;111:724-8.
 142. Law MA, Borasino S, McMahon WS, et al. Ultrasound-versus landmark- guided femoral catheterization in the pediatric catheterization laboratory: a randomized-controlled trial. *Pediatr Cardiol* 2014;35:1246-52.
 143. Oakley E, Wong AM. Ultrasound-assisted peripheral vascular access in a paediatric ED. *Emerg Med Australas* 2010;22:166-70.
 144. Ye X, Li M. Comparison of ultrasound guided and conventional techniques for peripheral venous catheter insertion in pediatric patients: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Pediatr* 2021;9:797705.
 145. Schindler E, Kowald B, Suess H, et al. Catheterization of the radial or brachial artery in neonates and infants. *Paediatr Anaesth* 2005;15:677-82.
 146. Spahr RC, MacDonald HM, Holzman IR. Catheterization of the posterior tibial artery in the neonate. *Am J Dis Child* 1979;133:945-6.
 147. Sellden H, Nilsson K, Larsson LE, et al. Radial arterial catheters in children and neonates: a prospective study. *Crit Care Med* 1987;15:1106-9.
 148. Bull MJ, Schreiner RL, Garg BP, et al. Neurologic complications following temporal artery catheterization. *J Pediatr* 1980;96:1071-3.
 149. Nakayama Y, Takeshita J, Nakajima Y, et al. Ultrasound-guided peripheral vascular catheterization in pediatric patients: a narrative review. *Crit Care* 2020;24:592.
 150. Jung OE, Jin MJ, Su KC, et al. Evaluation of the factors related to difficult ultrasound-guided radial artery catheterization in small children: a prospective observational study. *Acta Anaesthesiol Scand* 2021;65:203-12.
 151. Nakayama Y, Nakajima Y, Sessler DI, et al. A novel method for ultrasound-guided radial arterial catheterization in pediatric patients. *Anesth Analg* 2014;118:1019-26.
 152. Sulemanji DS, Donmez A, Akpek EA, et al. Vascular catheterization is difficult in infants with Down syndrome. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009;53:98-100.
 153. Gu WJ, Tie HT, Liu JC, et al. Efficacy of ultrasound-guided radial artery catheterization: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care* 2014;18:R93.
 154. Aouad-Maroun M, Raphael CK, Sayyid SK, et al. Ultrasound-guided arterial cannulation for paediatrics. *Cochrane Database Syst Rev* 2016;9:CD011364.
 155. Zhang W, Li K, Xu H, et al. Efficacy of ultrasound-guided technique for radial artery catheterization in pediatric populations: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care* 2020;24:197.
 156. Ganesh A, Kaye R, Cahill AM, et al. Evaluation of ultrasound-guided radial artery cannulation in children. *Pediatr Crit Care Med* 2009;10:45-8.
 157. Tan TY, Petersen JAK, Zhao X, et al. Randomized controlled trial of ultrasound versus palpation method for arterial cannulation in infants less than 24 months of age. *SOJ Anesthesiol Pain Manag* 2015;2:1-3.
 158. Song IK, Choi JY, Lee JH, et al. Short-axis/out-of-plane or long-axis/inplane ultrasound-guided arterial cannulation in children: a randomized controlled trial. *Eur J Anaesthesiol* 2016;33:522-7.
 159. Wang Z, Guo H, Shi S, et al. Long-axis in-plane combined with short-axis out-of-plane technique in ultrasound-guided arterial catheterization in infants: a randomized controlled trial. *J Clin Anesth* 2023;85:111038.
 160. Staudt GE, Eagle SS, Hughes AK, et al. Evaluation of dynamic ultrasound for arterial access in children undergoing cardiac surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2019;33:1926-9.
 161. Takeshita J, Yoshida T, Nakajima Y, et al. Dynamic needle tip positioning for ultrasound-guided arterial catheterization in infants and small children with deep arteries: a randomized controlled trial. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2019;33:1919-25.
 162. Liu L, Tan Y, Li S, et al. "Modified dynamic needle tip positioning" short-axis, out-of-plane, ultrasound-guided radial artery cannulation in neonates: a randomized controlled trial. *Anesth Analg* 2019;129:178-83.
 163. Takeshita J, Nakayama Y, Tachibana K, et al. Ultrasound-guided short-axis out-of-plane approach with or without dynamic needle tip positioning for arterial line insertion in children: a systematic review with network meta-analysis. *Anaesth Crit Care Pain Med* 2023;42:101206.
 164. Quan Z, Zhang L, Zhou C, et al. Acoustic shadowing facilitates ultrasound-guided radial artery cannulation in young children. *Anesthesiology* 2019;131:1018-24.
 165. Siddik-Sayyid SM, Aouad MT, Ibrahim MH, et al. Femoral arterial cannulation performed by residents: a comparison between ultrasound-guided and palpation technique in infants and children undergoing cardiac surgery. *Paediatr Anaesth* 2016;26:823-30.
 166. Raphael CK, El Hage Chehade NA, Khabba J, et al. Ultrasound-guided arterial cannulation in the paediatric



- population. *Cochrane Database Syst Rev* 2023;3:CD011364.
167. Schults JA, Long D, Pearson K, et al. Insertion, management, and complications associated with arterial catheters in paediatric intensive care: a clinical audit. *Aust Crit Care* 2020;33:326-32.
 168. Graves PW, Davis AL, Maggi JC, et al. Femoral artery cannulation for monitoring in critically ill children: prospective study. *Crit Care Med* 1990;18:1363-6.
 169. Alexander J, Yohannan T, Abutineh I, et al. Ultrasound-guided femoral arterial access in pediatric cardiac catheterizations: a prospective evaluation of the prevalence, risk factors, and mechanism for acute loss of arterial pulse. *Catheter Cardiovasc Interv* 2016;88:1098-107.
 170. Tadphale S, Yohannan T, Kauffmann T, et al. Accessing femoral arteries less than 3 mm in diameter is associated with increased incidence of loss of pulse following cardiac catheterization in infants. *Pediatr Cardiol* 2020;41:1058-66.
 171. Brotschi B, Hug MI, Kretschmar O, et al. Incidence and predictors of cardiac catheterisation-related arterial thrombosis in children. *Heart* 2015;101:948-53.
 172. Loon FHV, Scholten HJ, Erp IV, et al. Establishing the required components for training in ultrasound-guided peripheral intravenous cannulation: a systematic review of available evidence. *Med Ultrason* 2019;21:464-73.
 173. Moureau N, Lamperti M, Kelly LJ, et al. Evidence-based consensus on the insertion of central venous access devices: definition of minimal requirements for training. *Br J Anaesth* 2013;110:347-56.
 174. Chenkin J, Lee S, Huynh T, et al. Procedures can be learned on the Web: a randomized study of ultrasound-guided vascular access training. *Acad Emerg Med* 2008;15:949-54.
 175. Ballard HA, Tsao M, Robles A, et al. Use of a simulation-based mastery learning curriculum to improve ultrasound-guided vascular access skills of pediatric anesthesiologists. *Paediatr Anaesth* 2020;30:1204-10.
 176. Okano H, Mayumi T, Kataoka Y, et al. Outcomes of simulation-based education for vascular access: a systematic review and meta-analysis. *Cureus* 2021;13:e17188