



**МЕДИЦИНСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

**А.В. Холин, Е.В. Бондарева**

**УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
КРОВОТОКА В АРТЕРИЯХ НИЖНИХ  
КОНЕЧНОСТЕЙ**

**Санкт-Петербург  
2012**

---

**МЕДИЦИНСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

---

**А.В. Холин, Е.В. Бондарева**

**УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРОВОТОКА  
В АРТЕРИЯХ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

**Учебное пособие**

**Санкт-Петербург  
Издательство СЗГМУ им. И.И.Мечникова  
2012**

УДК 616.137-073

ББК 54.11:53.4

X71

**Холин Е.В. Бондарева А.В. Ультразвуковое исследование кровотока в артериях нижних конечностей: Учебное пособие.** — СПб.: ГБОУ ВПО СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2012. — 24 с.

В учебном пособии рассматриваются методические аспекты дуплексного сканирования артерий нижних конечностей. Обсуждаются современные подходы к выявлению стенозов и окклюзий.

Учебное пособие предназначено для врачей ультразвуковой диагностики, функциональной диагностики и сосудистых хирургов.

Утверждено в качестве учебного пособия  
Методическим советом  
ГОУ ДПО СПбМАПО Росздрава.  
Протокол № 3 от 2 марта 2012 г.

© Холин А.В., Бондарева Е.В., 2012  
© Издательство СЗГМУ им. И.И. Мечникова, 2012

Атеросклеротическое поражение нижних конечностей является распространенной патологией в пожилом возрасте. Частота в популяции у лиц старше 50 лет составляет около 1%. Атеросклероз поражает преимущественно бедренную и подколенную артерии. Атеросклеротическая окклюзия чаще всего наступает в области гунтерова канала. Просвет артерии может быть сужен ограниченной атероматозной бляшкой, либо полностью закупорен с образованием восходящего тромба.

Гораздо реже окклюзия связана с облитерирующим эндартериитом, тромбангиитом (болезнь Бюргера) или неспецифическим аортоартериитом. В процесс чаще вовлечены артерии голени. Облитерирующим эндартериитом болеют почти исключительно молодые мужчины от 20 до 40 лет.

Клинические проявления при окклюзии артерий нижних конечностей сводятся к перемежающейся хромоте разной степени выраженности, парестезиям, судорогам, похолоданию стоп.

Клиническое обследование, включающее в себя функциональные тесты, очень важно, так как дает представление о тяжести и компенсации процесса. Дальнейшее лучевое исследование необходимо для уточнения локализации, протяженности и степени окклюзии, а также развития коллатералей.

Дуплексное сканирование является первым инструментальным методом подтверждающим окклюзию и выявляющим ее степень. Метод достаточно точен и особенно привлекает своей доступностью. Следующим этапом, при необходимости, может быть ангиографическое исследование.

### **Артериальный кровоток в нижних конечностях**

Бедренная артерия условно подразделяется на два сегмента: общая бедренная артерия — до места отхождения глубокой бедренной артерии, и поверхностная бедренная артерия — дисталь-

нее отхождения глубокой бедренной артерии. Глубокая артерия бедра представляет собой крупный сосуд, ветви которой кровоснабжают мышцы бедра и бедренную кость. Поверхностная бедренная артерия дает лишь ряд мелких ветвей, в том числе нисходящую артерию колена, участвующую в образовании сосудистой артериальной сети колена. В нижней трети поверхностная бедренная артерия отклоняется кзади, входя в бедренно-подколенный канал, образованный мышцами и связками приводящих мышц бедра. После выхода из канала бедренная артерия непосредственно продолжается в подколенную артерию. Диаметр бедренной артерии составляет 8–9 мм. Подколенная артерия находится в подколенной ямке, с помощью анастомозирующих между собой мелких ветвей, образует артериальную сеть колена. Она заканчивается в области отхождения передней большеберцовой артерии и непосредственно продолжается в заднюю большеберцовую артерию. Диаметр подколенной артерии 6–8 мм. От задней большеберцовой артерии отходит малоберцовая артерия. Передняя большеберцовая артерия в нижней трети голени выходит на переднюю поверхность, непосредственно продолжаясь в тыльную артерию стопы. Диаметр большеберцовых артерий варьирует от 1 до 4 мм.

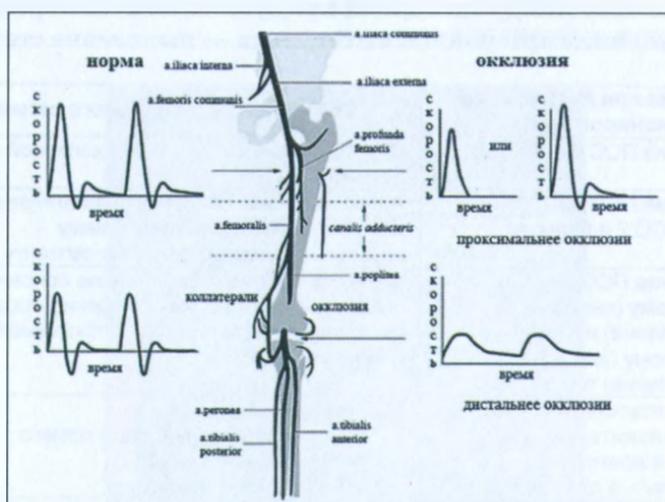
Кровоток в нижних конечностях типично трехфазный (табл. 1, рис. 1). В систолическую фазу происходит характерное быстрое ускорение кровотока. В раннюю диастолическую фазу происходит смена направления кровотока. В период диастолы наблюдается антеградный кровоток низкой амплитуды. В позднюю диастолическую фазу кровоток может снижаться за счет сокращения сосудов в ответ на холод или, наоборот, возрастать за счет расширения сосудов в ответ на физическую нагрузку. Пиковая систолическая скорость кровотока (ПСС) уменьшается со 120 см/с (но не больше 150 см/с), в среднем, в подвздошной и общей бедренной артерии, до 70 см/с, в среднем, в на уровне подколенной артерии. Спектральная кайма в норме четкая, без спектрального расширения и локального ускорения кровотока. При лоцировании парных сосудов не должно наблюдаться существенной асимметрии ПСС.

На рис. 1 показаны основные артерии нижней конечности. Допплеровская кривая в норме изображена слева. Справа изображены кривые типичные для окклюзии подколенной артерии.

Таблица 1

### Типы артериального кровотока и их корреляции с патологическими изменениями в артериальном сегменте

Тип кровотока	Состояние артериального сегмента
Трёхфазный сигнал	Нормальный сигнал в покое с ранним обратным систолическим потоком, указывающим на податливость дистального артериального русла и достаточный отток
Двухфазный сигнал с отсутствием диастолического потока	Спазм артерии дистальнее места измерения; острая артериальная обструкция дистальнее места измерения
Монофазный поток с отсутствием систолического обратного потока, но наличием антеградного систолического и диастолического потока («медленно-мало»)	Расширение сосуда дистальнее окклюзии
Монофазный поток («стакато»)	Окклюзия артерии дистальнее места измерения, скорее острая или быстро нарастающая окклюзия
Монофазный протяженный поток	Наблюдается в артерио-венозных фистулах
Поток вперед в систолу и назад в диастолу («туда и обратно»)	Обратный поток в шейке псевдоаневризмы в связи с ее податливостью



**Рис. 1.** Сосуды нижней конечности в норме. Нормальная доплеровская кривая показана слева. Справа показана доплеровская кривая, типичная для окклюзии подколенной артерии.

В норме в В-режиме диаметр парных сосудов должен быть одинаковый или с незначительной асимметрией и без выбуханий стенок. Стенка сосуда визуализируется однородной равномерной и непрерывной на всем протяжении сосуда.

### Окклюзия и стеноз

Отсутствие цветowych сигналов кровотока и пульсовых доплеровских сигналов подтверждает окклюзию в артериальном сегменте (табл. 2, 3; рис. 2–4). Сужение диаметра на 50% и больше рассматривается как гемодинамически значимый стеноз (рис. 5–7). При стенозе меньше 50% может наблюдаться некоторое расширение спектра доплеровской кривой. При стенозе больше 50% увеличивается пиковая систолическая скорость кровотока, что хорошо видно при ЦДК в точке наибольшего сужения. Дистальнее участка стеноза при ЦДК отчетливо видна струя на протяжении 2–4 см. В зоне 50% стеноза скорость кровотока возрастает на 100% по сравнению с нормальным участком, в зоне 75% стеноза — на 370%.

Таблица 2

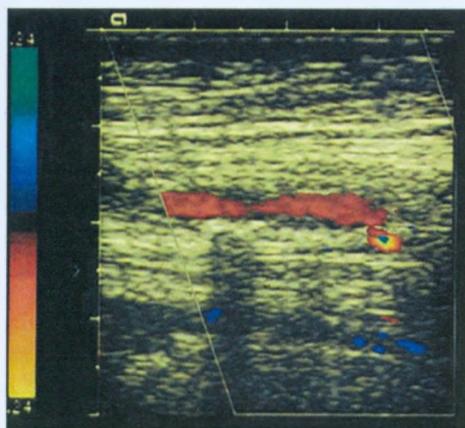
**Корреляции между находками при дуплексном сканировании и состоянием артериального сегмента — выявление стеноза**

Находки при дуплексном сканировании	Состояние артериального сегмента
Увеличение ПСС свыше 200 см/с	Стеноз свыше 50% (для подколенной артерии ближе к 75%)
Увеличение ПСС на 100% (индекс ПСС 2 и больше)	Автоматическая калибровка диаметра артерии для нормализации к ближайшему нормальному артериальному сегменту
Уменьшение ПСС по двухфазному (высокое сопротивление) или монофазному (высокое сопротивление) типу	Стеноз расположен дистальнее основной коллатеральной ветви, измерение проводится дистальнее коллатерали, но проксимальнее или на уровне стеноза
Сигналы отсутствия потока (ложно-положительные для окклюзии и ложно-отрицательные для стеноза)	1. Кальцификация. 2. Низкая чувствительность в связи с неправильной настройкой. 3. Субтотальная окклюзия.
Увеличенные сигналы потока (ложно-положительные для стеноза)	1. Для подколенной артерии могут быть связаны с внешней компрессией. 2. Петли.

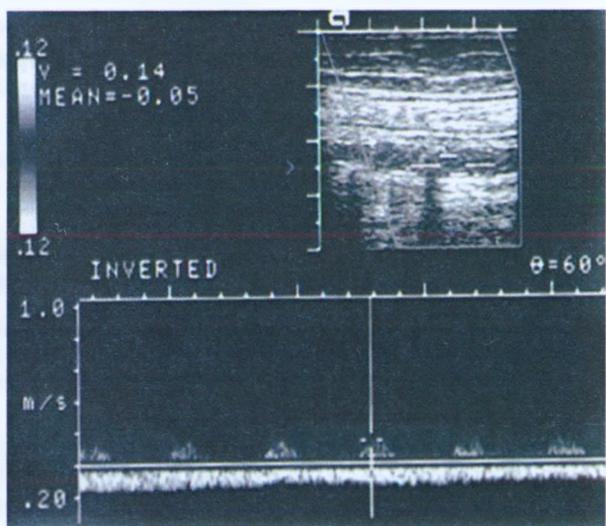
Таблица 3

**Корреляции между находками при дуплексном сканировании и состоянием артериального сегмента — выявление окклюзии**

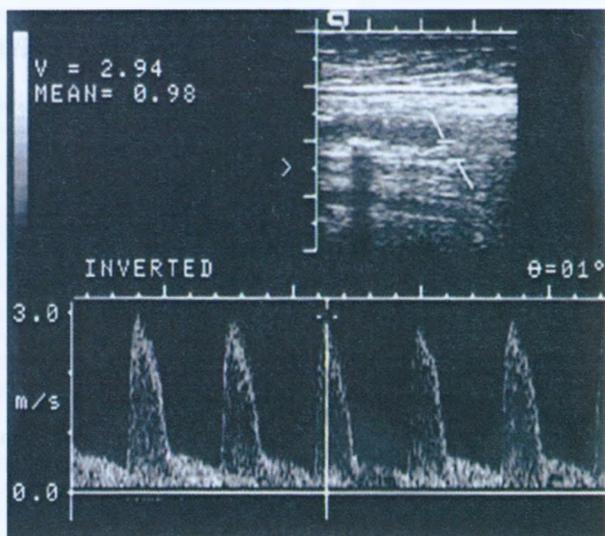
Находки при дуплексном сканировании	Состояние артериального сегмента
Цветовой кровоток и доплеровский пульсовый сигнал отсутствуют	Кровотока нет
Эхогенный сигнал в артерии	Тромбоз в связи с окклюзией, обычно, протяженностью между двумя большими коллатеральями
Большая коллатеральная ветвь видна при ЦДК	Высокая вероятность дистальной окклюзии
Низкоамплитудный и постоянный антеградный поток в систолу и диастолу	Окклюзия, вероятно, проксимально месту измерения
Низкоамплитудный систолический сигнал в окклюзированном сегменте (ложно-отрицательный)	Сигнал связан с движением тромба в окклюзированном сегменте
Сигналы кровотока на уровне окклюзии (ложно-отрицательные)	В область измерения попала коллатераль
Не удается получить сигналы из открытого артериального сегмента (ложно-положительный результат)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Низкая чувствительность в связи с неправильной настройкой.</li> <li>2. Кальцификация.</li> <li>3. Субтотальная окклюзия с перенаправлением потока от стеноза по коллатеральям.</li> </ol>



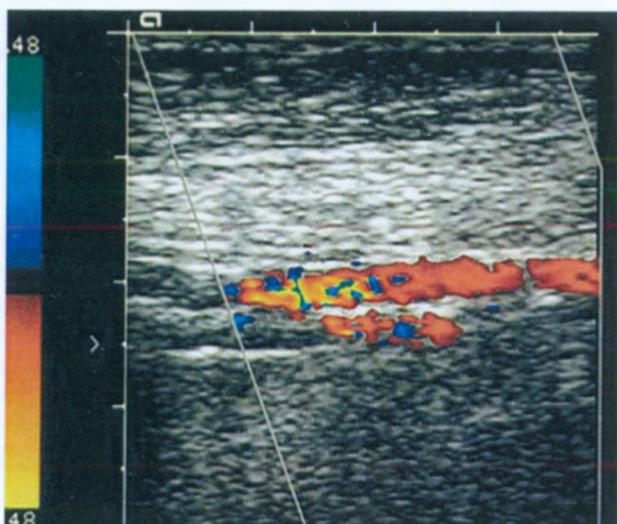
**Рис. 2.** Изображение средней поверхностной бедренной артерии при продольном сканировании в ЦДК. Справа отсутствует кровоток — окклюзия. Сразу ниже участка окклюзии синим отображается коллатераль.



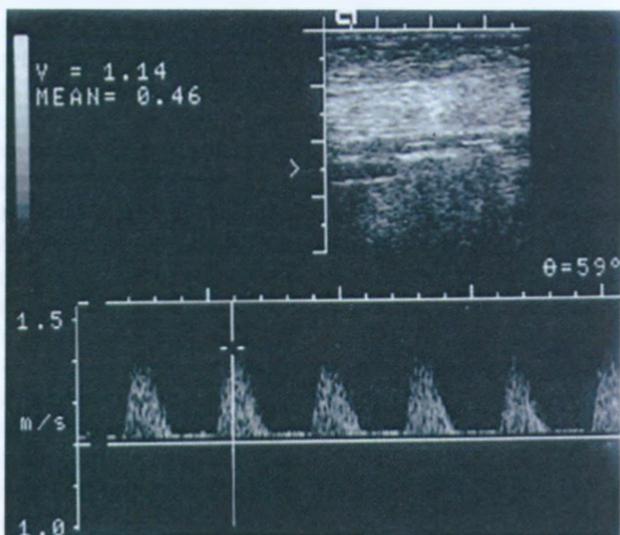
**Рис. 3.** Бедренная артерия проксимальнее участка отсутствия сигнала (см. рис. 2). Типичная пульсовая доплеровская кривая с низкой амплитудой и высоким сопротивлением.



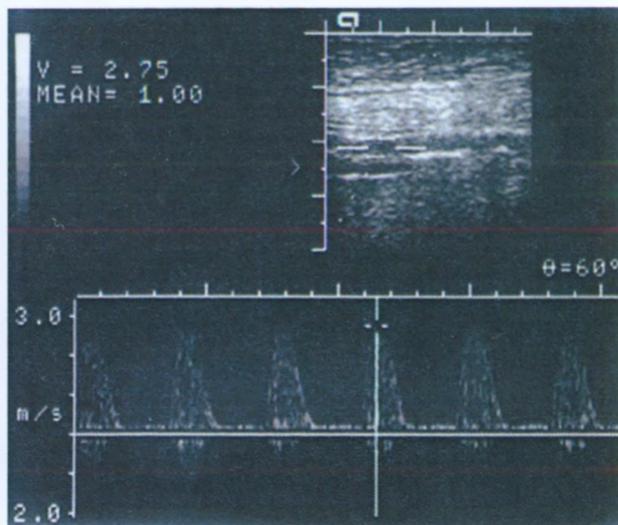
**Рис. 4.** Кровоток в коллатерали (см. рис. 2). Типичная пульсовая доплеровская кривая с низким сопротивлением и высокой скоростью.



**Рис. 5.** Изображение средней поверхностной бедренной артерии при продольном сканировании в ЦДК. Увеличенный кровоток в участке стеноза.



**Рис. 6.** Кровоток проксимальнее участка стеноза (см. рис. 5). Базовая ПСС немного увеличена до 114 см/с.



**Рис. 7.** Кровоток в участке стеноза (см. рис. 5). ПСС увеличена до 275 см/с. Коэффициент скорости кровотока определяется как отношение ПСС в участке стеноза к базовой ПСС (275 к 114 в данном примере), что дает степень стеноза между 50 и 75%.

### Заболевания периферических артерий

Доплерография с ЦДК является методом выбора для выявления участков стенозов и определения тактики лечения. Точки отсечения и соотношения могут быть использованы для оценки степени стеноза и определения коррелятивных связей (см. табл. 3). Для бедренных артерий точка отсечения обычно выбирается 200 см/с, при этом пиковая систолическая скорость кровотока в этом сегменте в норме составляет 110 см/с. Для подколенной артерии точка отсечения выбирается 150 см/с, так как скорость кровотока в ней в норме около 70 см/с. Коэффициент пиковых систолических скоростей более вариабелен, так как зависит от компенсации кровотока ниже сужения и сердечного выброса. Измерение систолической скорости кровотока в зоне предполагаемого сужения обычно делается с помощью ЦДК. Затем эта скорость сравнивается с участком на 4 см ниже стеноза и вычисляется коэффициент. Удвоение ПСС отражает 50% степень стеноза. При большой степени стеноза ПСС ниже его уровня умень-

шается и время достижения ПСС замедляется. При очень больших степенях стеноза, таких как окклюзия, нормальная трехфазная доплеровская кривая меняется на монофазную, а также увеличивается диастолическая скорость кровотока.

При окклюдующих поражениях бедренной артерии основным анастомозом в области бедра служит глубокая артерия бедра.

Чувствительность и специфичность дуплексного сканирования в диагностике окклюзии и стеноза свыше 50% составляет 80–90%. Полная окклюзия при ЦДК выявляется с чувствительностью больше 90%. По сравнению с ДСА дуплексное сканирование имеет тенденцию к преувеличению степени стеноза. Достаточно высокая точность дуплексного сканирования позволяет сократить количество ангиографических исследований при решении вопроса о необходимости ангиопластики.

### **Окклюзия обходных сосудов**

Дуплексное сканирование служит главным методом послеоперационной оценки состояния обходных сосудов.

Искусственные обходные сосуды легко визуализируются при УЗ-исследовании (рис. 8). Нередко в стенке искусственного сосуда виден газ, что облегчает распознавание просвета сосуда в раннем послеоперационном периоде. При УЗ-исследовании также хорошо видны гематомы и псевдоаневризмы, прилегающие к сосуду. Стенозы при обходных сосудах чаще возникают в зоне анастомоза (рис. 9, 10), вероятно, в связи с фиброзной гиперплазией интимы. Они появляются примерно через 2 года после операции.

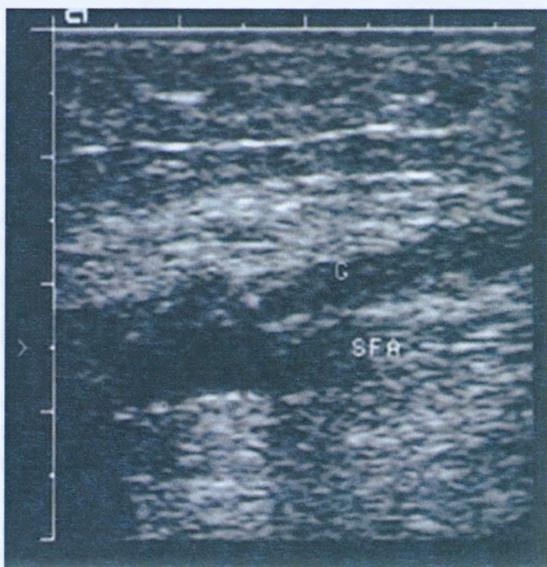
Если обходной сосуд формируется из аутологичной вены (рис. 11), то ее диаметр в области проксимального и дистального анастомоза может отличаться. Скорости кровотока в обходном сосуде должны быть такими же, как и в нормальной артерии. Однако диастолический обратный кровоток может быть коротким и невыраженным.

Нарушение проходимости обходного сосуда в первый месяц после операции связано с проблемами, возникшими непосредственно в ее ходе, такими как повреждение зажимом, плохими анастомозами. Другой причиной может быть открытие артерио-венозных фистул сразу после операции. По прошествию крити-

ческого месяца стеноз связывают с фиброзной гиперплазией интимы. В начальной степени стеноза скорость кровотока увеличивается. Уменьшение пиковой скорости кровотока до 45 см/с в обходном сосуде обычного (около 3 см) диаметра говорит о выраженном затруднении кровотока (рис. 12). На последней стадии наблюдается тромбоз и полное отсутствие кровотока в обходном сосуде (см. рис. 9).

Сужение диаметра обходного сосуда на 70% и больше в раннем послеоперационном периоде практически всегда приводит к полной окклюзии через 3–6 месяцев и требует безотлагательной повторной операции. Стенозы 50–70% приводят к последующей полной окклюзии только у 30% пациентов и, поэтому, требуют дальнейшего наблюдения.

Дуплексное сканирование может служить для отбора пациентов для чрезкожной ангиопластики и атерэктомия, контроля за выполнением интервенционной процедуры и последующего мониторингирования результатов.



**Рис. 8.** Место отхождения искусственного сосуда (G) от поверхностной бедренной артерии (SFA). Сканирование в В-режиме. Типичных для тромбов экзогенных сигналов не визуализируется.

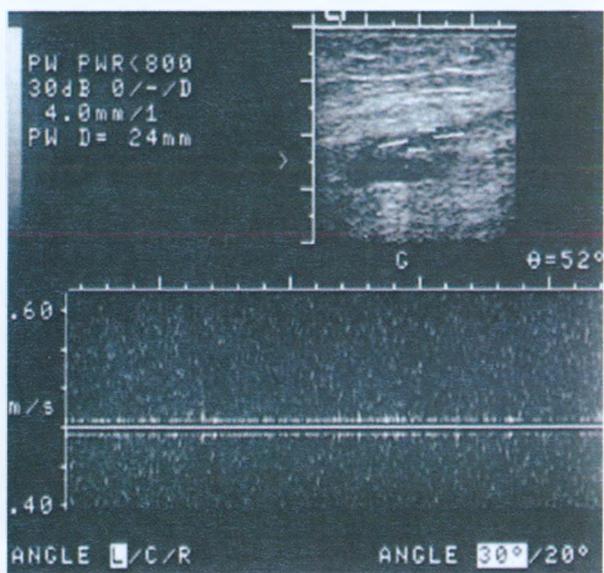


Рис. 9. Обходной сосуд. Полная окклюзия. Допплеревская кривая показывает отсутствие кровотока.

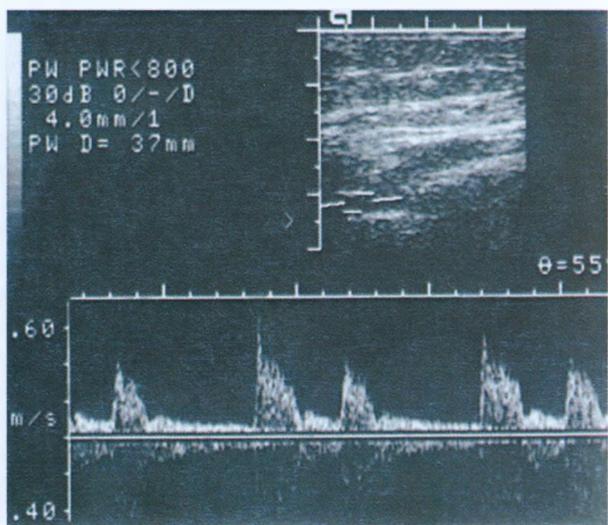
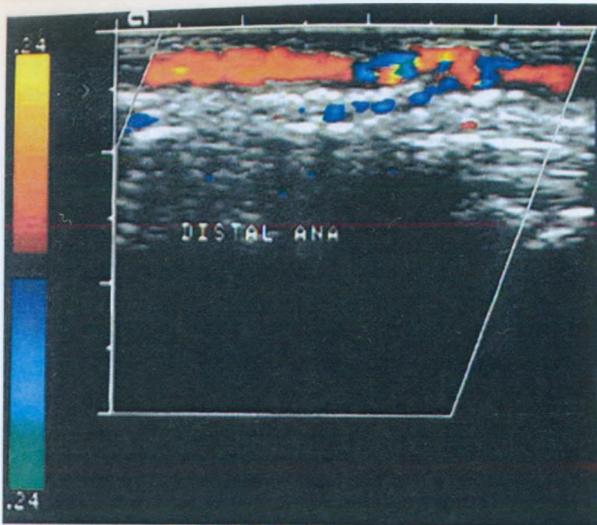
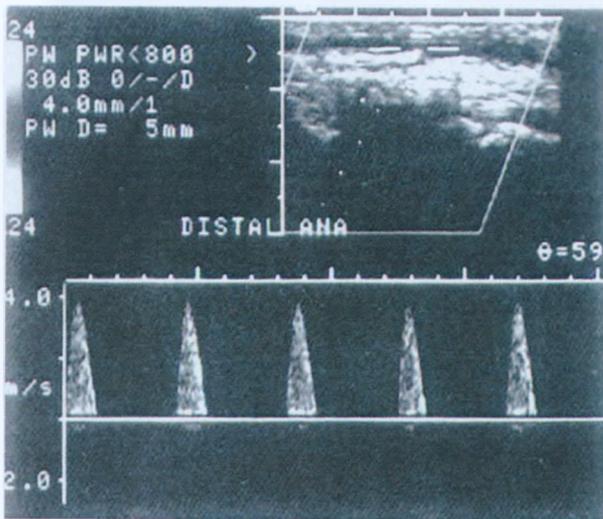


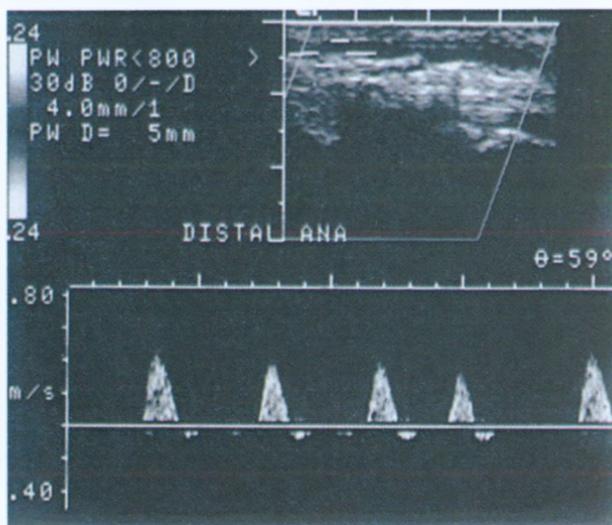
Рис. 10. Артерия, проксимальнее отхождения искусственного сосуда. Кровоток сохранен.



**Рис. 11.** Дистальный анастомоз передней и задней берцовой артерии, обходной сосуд выполнен аутологичной веной. Кровоток ускорен, что видно синим в режиме ЦДК.



**Рис. 12.** Выраженный стеноз (см. рис. 11) подтверждается монофазной доплеровской кривой с высоким сопротивлением.



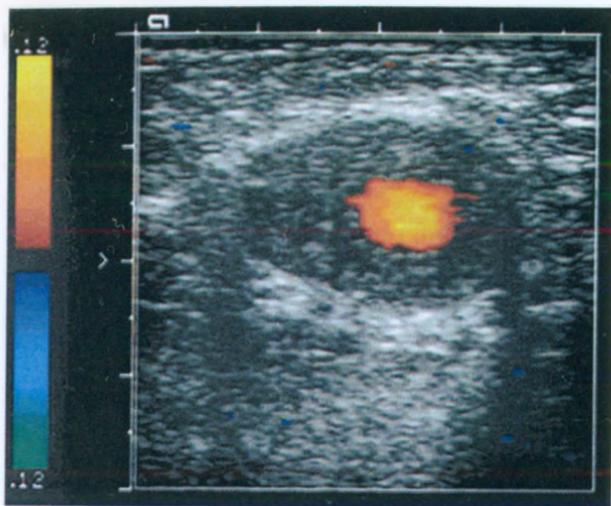
**Рис. 13.** Допплеровская кривая, полученная проксимальнее участка стеноза (см. рис. 11) показывает увеличение скорости кровотока в 8 раз по сравнению с искусственным сосудом, что подтверждает выраженный стеноз.

### Аневризмы и артериовенозные фистулы

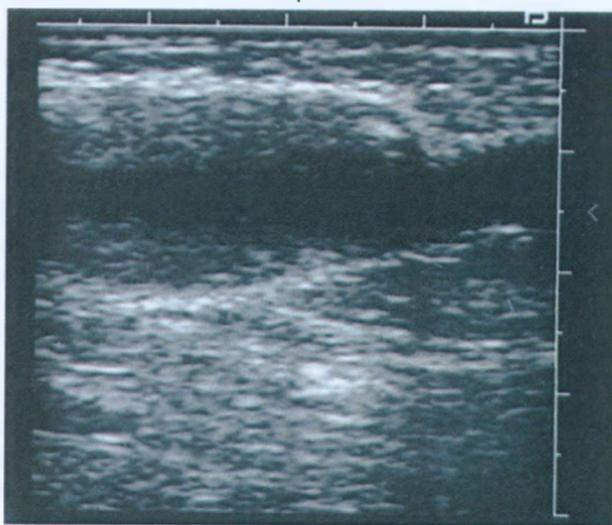
УЗ-исследование в серой шкале остается стандартом выявления периферических аневризм (рис. 14, 15). Для аневризм характерен турбулентный поток в режиме ЦДК и короткий двунаправленный систолический сигнал на кривой доплеровского спектра сдвига частот.

Артериовенозные фистулы вызывают зону повышенной скорости кровотока между артерией и соседней веной (рис. 16, 17) и, соответственно, снижение индекса сопротивления. Дистальнее артериовенозной фистулы ПСС имеет нормальные или сниженные значения. Может наблюдаться расширение приводящего артериального ствола и диаметра отводящей вены проксимальнее фистулы.

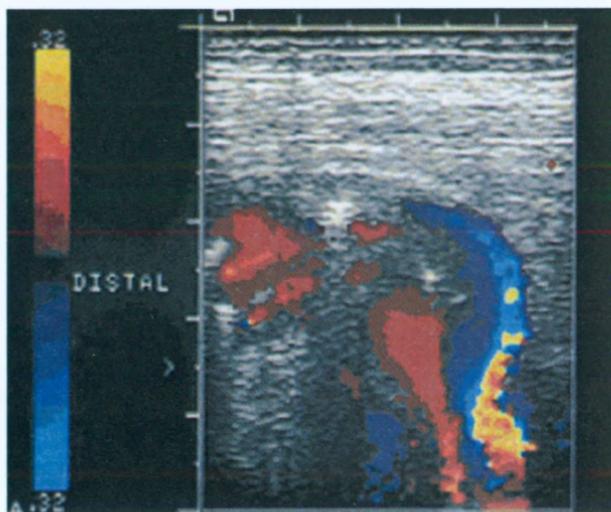
Нередкой находкой являются псевдоаневризмы (рис. 18) в области хирургического анастомоза или входа катетера. Псевдоаневризмы могут спонтанно тромбироваться.



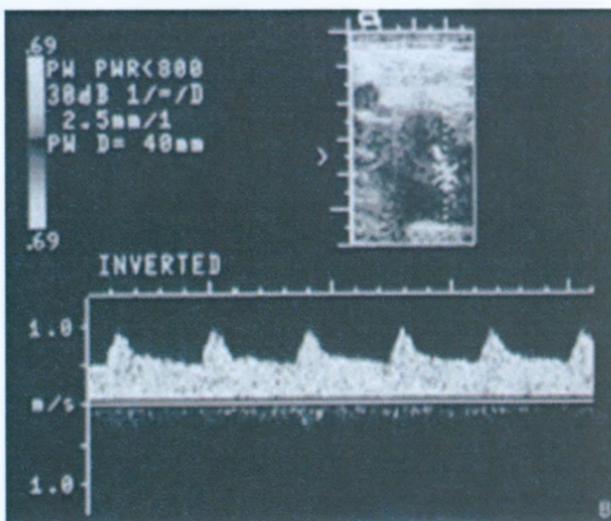
**Рис. 14.** Аневризма бедренной артерии. Сканирование в поперечной плоскости в ЦДК. Слабоэхогенная зона, окружающая аневризму отражает формирование тромба.



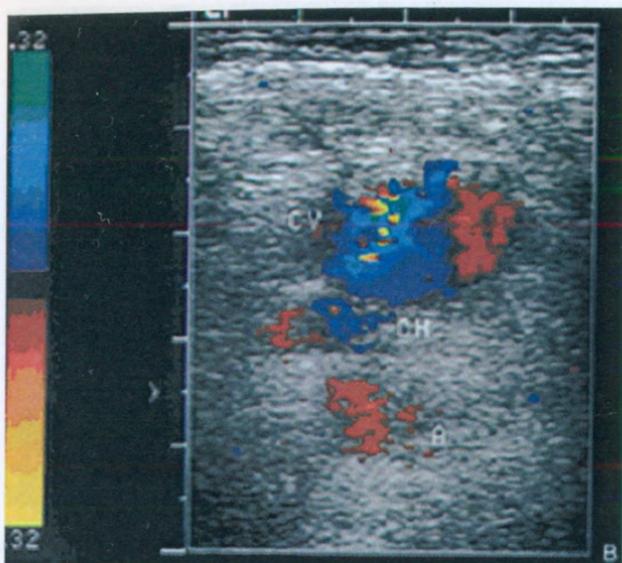
**Рис. 15.** Частично тромбированная аневризма (см. рис. 14). Продольное сканирование в В-режиме. Стенка сосуда по внешним границам расширена почти до 2 см (норма около 7 мм), просвет сосуда остается 5–7 мм в связи с тромбированием.



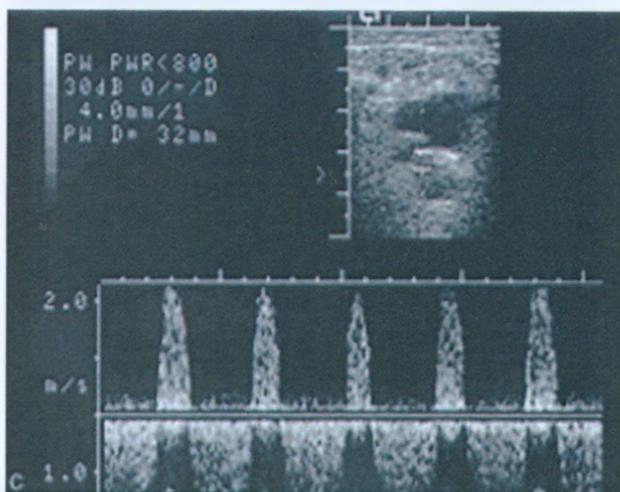
**Рис. 16.** Артериовенозная фистула. Сканирование в ЦДК показывает прерывистый кровоток между артерией (поверхностно) и веней (глубоко).



**Рис. 17.** Артериовенозная фистула (см. рис. 16). Допплеровская кривая, полученная от соединяющих каналов, подтверждает артериальный кровоток с низким сопротивлением.



**Рис. 18.** Псевдоаневризма. Поперечное сканирование в ЦДК показывает цветные сигналы.



**Рис. 19.** Псевдоаневризма (см. рис. 18). Кровоток типа «туда и обратно» отражает наполнение в систолу и опорожнение в диастолу.

## Рекомендуемая литература

*Холин А.В.* Принципы современных методов лучевой диагностики: Пособие для врачей.— СПб.: СПбМАПО, 2009.— 18 с.

*Заболевания периферических артерий* / Под ред. Э.Р. Молера III, М.Р. Джаффа / Пер. с англ. под ред. М.В. Писарева.— М.: ГЭОТАР-Медиа, 2010.— 224 с.

## Тесты для самоконтроля

**1. Какие заболевания вызывают окклюзию артерий нижних конечностей?**

- а) бактериальная инфекция;
- б) атеросклероз;
- в) дефекты клапанов сердца.

**2. Какой тип кровотока наблюдается в нижних конечностях в норме?**

- а) трехфазный;
- б) двухфазный;
- в) монофазный.

**3. Какая средняя пиковая систолическая скорость кровотока (ПСС) в бедренной артерии в норме?**

- а) 120 см/с;
- б) 160 см/с;
- в) 70 см/с.

**4. Какая средняя пиковая систолическая скорость кровотока (ПСС) в подколенном сегменте в норме?**

- а) 120 см/с;
- б) 50 см/с;
- в) 70 см/с.

**5. О чем свидетельствует полное отсутствие цветовых сигналов кровотока и пульсовых доплеровских сигналов в артериальном сегменте?**

- а) о полной окклюзии;
- б) о неправильной калибровке аппарата;
- в) о наличии коллатералей при субокклюзии.

**6. Какой стеноз рассматривается как гемодинамически значимый?**

- а) 30% и больше;
- б) 50% и больше;
- в) 70% и больше.

**7. О чем говорит удвоение ПСС в зоне стеноза?**

- а) 50% степень стеноза;
- б) наличие коллатералей при субокклюзии;
- в) 30% степень стеноза.

**8. Как изменяется кровоток при больших степенях стеноза ниже его уровня?**

- а) уменьшается и время достижения ПСС замедляется;
- б) увеличивается и время достижения ПСС ускоряется;
- в) не меняется.

**9. С какой точностью выявляется полная окклюзия при дуплексном сканировании?**

- а) 50%;
- б) 70%;
- в) 90%.

**10. Какая скорость кровотока должна быть в обходном сосуде?**

- а) меньше, чем в основном;
- б) как и в нормальной артерии;
- в) больше, чем в основном.

**11. Где обычно возникают стенозы в обходных сосудах?**

- а) в зоне анастомоза;
- б) по всей протяженности сосуда;
- в) в средней части.

**12. Какая причина возникновения стенозов обходных сосудов в отдаленные сроки?**

- а) атеросклероз;
- б) фиброзная гиперплазия интимы;
- в) тромбангиит.

**13. Какой тип кровотока типичный для артериовенозных фистул?**

- а) монофазный протяженный поток;
- б) трехфазный;
- в) отсутствие потока.

**14. Какой тип кровотока типичный для псевдоаневризм?**

- а) трехфазный;
- б) монофазный;
- в) вперед в систолу и назад в диастолу («туда и обратно»).

**15. О чем свидетельствует значительное уменьшение пиковой систолической скорости кровотока в обходном сосуде?**

- а) о выраженном затруднении кровотока;
- б) о развитии псевдоаневризмы;
- в) о развитии коллатералей.

#### **Ответы**

- 1 — б
- 2 — а
- 3 — а
- 4 — в
- 5 — а
- 6 — б
- 7 — а
- 8 — а
- 9 — в
- 10 — б
- 11 — а
- 12 — б
- 13 — а
- 14 — в
- 15 — а

## Содержание

Артериальный кровоток в нижних конечностях .....	3
Окклюзия и стеноз .....	6
Заболевания периферических артерий .....	10
Окклюзия обходных сосудов .....	11
Аневризмы и артериовенозные фистулы .....	15
Рекомендуемая литература .....	19
Тесты для самоконтроля .....	20
Ответы .....	22