

Интерпретация доплеровских кривых периферических артерий и вен: консенсусное заявление Общества сосудистой медицины и Общества ультразвуковой диагностики сосудов.

Эстер С.Х. Ким^{1*}, Адитья М Шарма^{2**}, Роберт Ссиссонс^{3**}, Дэвид Доусон^{4**}, Роберт Т. Эберхардт^{5*}, Мари Герхард-Херман^{6*}, Джозеф П. Хьюз^{7**}, Стив Найт^{8**}, Энн Мари Купински^{9,10**}, Гийом Маз^{11*}, Марша Ноймер^{12**}, Патрисия По^{13**}, Рита Шугарт^{14*}, Пол Венберг^{15*}, Дэвид М Уильямс^{16**} и Р. Юджин Цирлер^{17*}

Этот документ одобрен Обществом сосудистой медицины и Обществом ультразвуковой диагностики сосудов и опубликован в *Журнале Сосудистая Медицина и УЗИ сосудов*. Вклады идентичны, за исключением незначительных различий в соответствии со стилем каждого журнала.

Абстрактный

Это консенсусное заключение экспертов по интерпретации спектральных доплеровских волн периферических артерий и вен было подготовлено по совместному заказу Общества сосудистой медицины (SVM) и Общества ультразвуковой диагностики сосудов (SVU). В заявлении о консенсусе предлагается стандартизированная номенклатура для артериальных и венозных спектральных доплеровских волн с использованием структуры ключевых основных дескрипторов и дополнительных терминов-модификаторов. Эти ключевые основные дескрипторы и дополнительные термины-модификаторы представлены вместе с репрезентативными доплеровскими кривыми, а номенклатурные таблицы обеспечивают контекст, перечисляя предыдущие альтернативные термины, которые должны быть заменены новыми основными дескрипторами и модификаторами. Наконец, в документе рассматриваются изменения формы доплеровского сигнала с физиологическими изменениями и болезненными состояниями, приводятся методы оптимизации для получения и отображения формы сигнала.

Ключевые слова

диагностическая визуализация, доплеровская кривая, дуплекс, спектральный анализ, терминология, ультрасонография

Введение

Неинвазивная спектральная доплеровская оценка является основным диагностическим инструментом, используемым при диагностике заболеваний артерий и вен. 200 миллионов человек во всем мире страдают от заболеваний периферических артерий и больше 600 000 госпитализаций ежегодно по поводу венозной тромбоземболии в США, установление и принятие номенклатуры для спектральной доплеровской характеристики формы волны имеет важное значение для сообщения о наличии и тяжести заболевания. Перекрывающиеся и противоречащие друг другу термины доплеровских сигналов имеют большое значение. И информация об этой проблеме была впервые опубликована более десяти лет назад. Признавая необходимость стандартизации, Общество сосудистой медицины (SVM) и Общество ультразвуковой диагностики сосудов (SVU) поручили письменному комитету разработать консенсусный экспертный документ по номенклатуре спектральных доплеровских сигналов. Цель этого экспертного консенсусного документа состоит в том, чтобы предложить общую номенклатуру для описания артериальных и венозных доплеровских кривых, чтобы облегчить коммуникацию между всеми практикующими врачами, которые лечат сосудистых пациентов. Объем документа указан ниже, а краткое изложение основных точек консенсуса приведено в таблице 1. В состав письменного комитета вошли специалисты по УЗИ и врачи из SVM и SVU, основываясь на их обширном опыте в выполнении, интерпретации, исследованиях, и/или преподавательский вклад в область ультразвука сосудов.

Трехфазная Форма волны распознавалась на слух и отображалась как три отдельных компонента сердечного цикла: (1) систола; (2) ранний диастолический реверс потока; и (3) небольшая отражающая волна прямого потока в конце диастолы (рис. 1А). Поздний диастолический компонент отсутствовал. *Двухфазная* кривая, оставляет только систолический подъем и ранний диастолический реверс потока в качестве слышимых и отображаемых сердечных компонентов (рис. 1В). Оригинальное описание а. *монофазная* форма волны включала наблюдение, что форма волны не пересекала базовую линию нулевого потока и была названа «однонаправленной». Следуя технологическим достижениям доплеровского метода, термин «монофазный» использовался для описания форм волны, которые не сохраняли реверсию потока в начале диастолы или не имели отражающей волны в поздней диастоле. В ранних публикациях монофазные кривые демонстрировали только один слышимый или отображаемый компонент, который, вероятно, был вызван артериальной обструкцией (рис. 1С).

Внедрение дуплексного ультразвука в конце 1970-х годов стало серьезным отходом от непрямого физиологического тестирования и первым значительным изменением в доплеровском анализе формы волны. Дуплексная технология позволила отображать полный спектр частот в пределах доплеровского объема выборки. На заре анализа формы дуплексного сигнала спектральное уширение приписывалось характеристикам формы спектрального сигнала, наблюдаемым в областях возмущенного или турбулентного потока. Эти характеристики привели к добавлению дескрипторов формы сигнала, таких как «ламинарный», «измененный» или «турбулентный» (рис. 2).

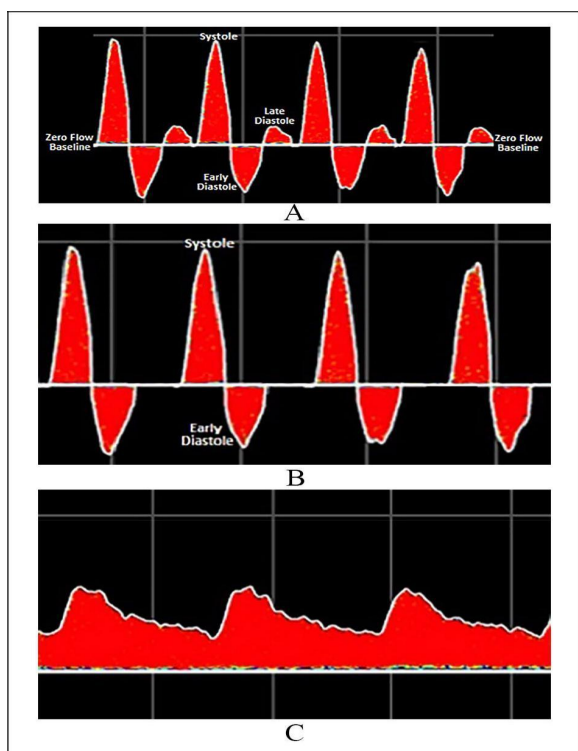
Сфера действия консенсусного документа

Цель настоящего согласованного заявления состоит в том, чтобы:

- Уточнить и стандартизировать ключевые определения и дескрипторы, присущие анализу артериальных и венозных доплеровских кривых.
- Просмотреть изменения доплеровской волны с физиологическими изменениями и болезненными состояниями.
- Предоставить методы оптимизации доплеровского датчика для повышения качества и представления формы доплеровского спектрального сигнала и данных цветового доплера.
- Предоставить рекомендации по применению дескрипторов и модификаторов волновых форм – отчет сонографа и окончательная интерпретация врачом.

История

Первоначальные описания доплеровских волн периферических артерий основывались на: (1) слышимом присутствии или отсутствии систолического и диастолического компонентов сердечного цикла; и (2) отображение этих компонентов потока, относящихся к базовой линии нулевого потока, на записанном дисплее ленточной диаграммы. Эти характеристики были источником дескрипторов формы доплеровского сигнала, *трехфазный*, *двухфазный*, а также *монофазный*. И историческая основа для классификации кровотока в периферических артериях.



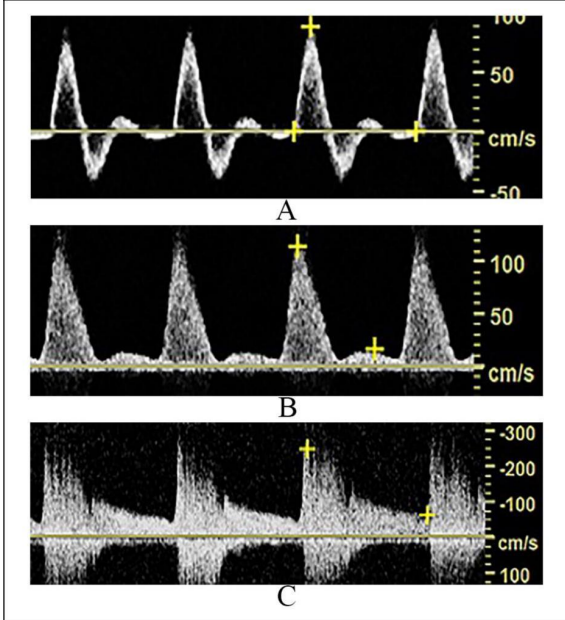
Фигура 1.Трехфазные (А), двухфазные (В) и монофазные(С) доплеровские волны

Характер и последствия проблемы

Дескрипторы сигналов *трехфазный*, *двухфазный*, а также *монофазный* используются уже более 50 лет, однако стандартизированное применение этих терминов не широко распространено в литературе (рис. 3). Термин *трехфазный*, изображающий три фазы, включая реверсию диастолического потока, является наиболее последовательной и часто используемым дескриптором. Однако *трехфазный* также использовался для описания высоко резистивных сигналов с двумя фазами. И волны с низким сопротивлением с непрерывным прямым потоком в течение всей диастолы. Эти формы волны также были описаны как *многофазный*. *Двухфазный* используется для характеристики как нормальных и аномальных моделей артериального кровотока. Подобно своему *трехфазному* аналогу, *двухфазная* кривая была изображена как высоко резистивная с реверсированием диастолического потока, и низко резистивное с непрерывным прямым потоком в течение всей диастолы. *Монофазный* чаще всего используется для описания аномальных кривых с одной фазой, обнаруживаемой дистальнее гемодинамически значимой артериальной обструкции. Но также используется для характеристики аномального кровотока проксимальнее значительной обструкции и от нормальных конечностей после физической нагрузки и воздействия гиперемических состояний или лекарств. (Рисунок 4).

Следует подчеркнуть, что трехфазный, двухфазный, монофазный и многофазный являются чисто дескрипторными терминами и зависят от того, как определяются различные термины. Наоборот, *обычный* а также *аномальный* являются интерпретативными терминами и зависят от конкретного сосуда, сосудистого русла, патологии и других факторов. Каждая из вышеупомянутых форм волны дескрипторы могут быть нормальными или аномальными, в зависимости от клинических условий (например, монофазная кривая является нормальной для почечной артерии и ненормальной для плечевой артерии).

Дополнительная путаница, связанная с доплеровскими волнами, включает термин *фазность* и использование базовой линии нулевого потока. *Фазность* формы волны описывается как изменение направления и/или скорости. В то время как контрольная точка нулевого потока имеет решающее значение для описания реверсирования диастолического потока, во многих публикациях описываются формы артериальных кривых без четко очерченной контрольной точки нулевого потока.



Фигура 2. Спектральные доплеровские волны демонстрируют ламинарный (А), нарушенный (В) и турбулентный (С) режимы течения.

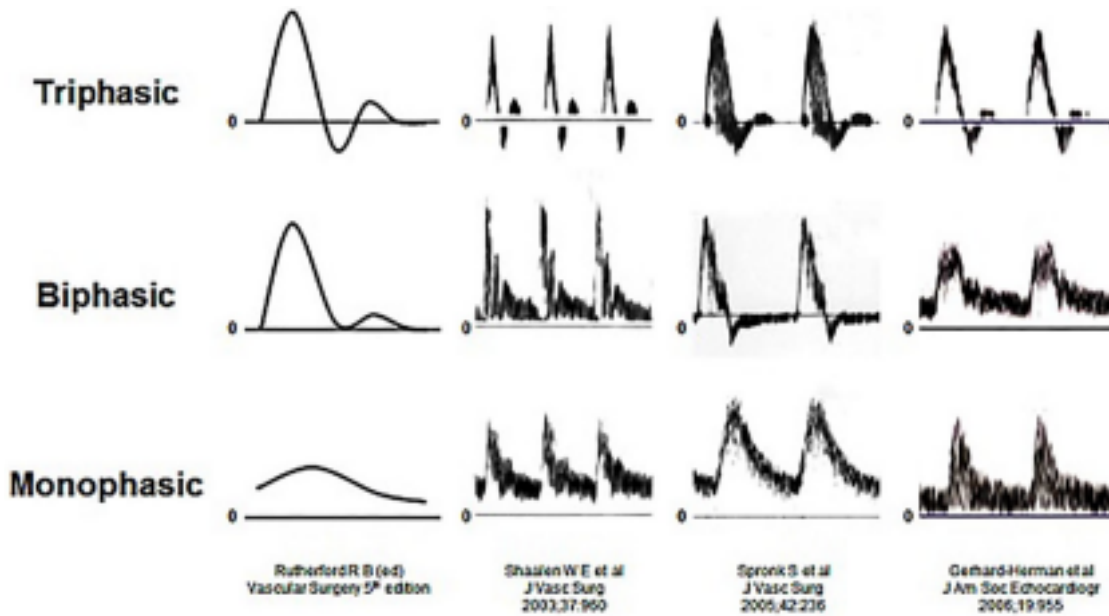


Рисунок 3. Иллюстрации сигналов из авторитетных публикаций, демонстрирующие непоследовательность в характеристиках трехфазных, двухфазных и монофазных дескрипторов сигналов.

Изменено с разрешения *Исследование сосудистых заболеваний*, Николаидес А.Н., Яо ДжСТ (ред.), стр.543. © Эльзевир, 1981.

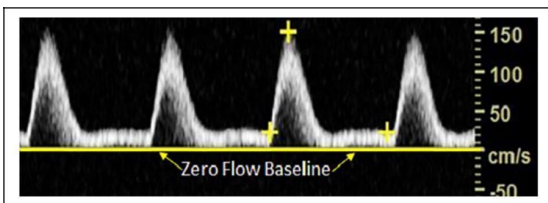


Рисунок 4. Спектральный доплер иллюстрирует монофазные волны.

Клиническое влияние не стандартизированной номенклатуры формы волны было изучено в ходе опроса почти 2000 специалистов по УЗИ. Пятая часть респондентов сообщила об одном или нескольких повторных доплеровских исследованиях артерий из-за непонимания терминологии, используемой для описания доплеровских волн. Стандартизация номенклатуры доплеровских волн жизненно важна для точной и последовательной передачи результатов сосудистых диагностических тестов и предотвращения не соответствующих тестов.

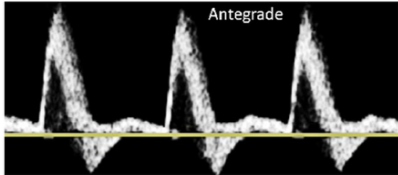
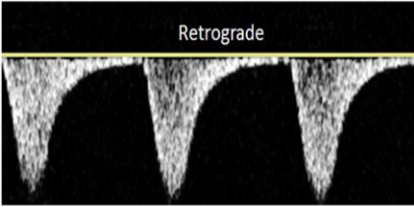
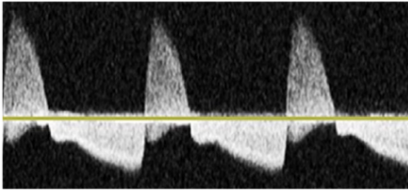
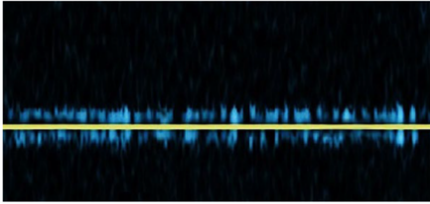
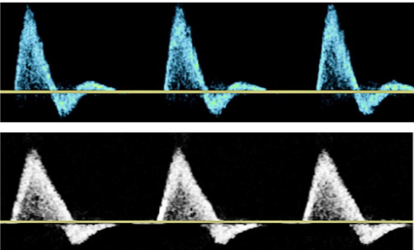
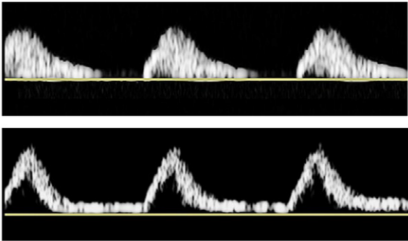
Часть 1: Номенклатура

Цель: Уточнить и стандартизировать ключевые определения и дескрипторы, присущие анализу артериальных и венозных доплеровских кривых.

Артериальная номенклатура

Основные дескрипторы, термины-модификаторы и их описания перечислены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 Основные дескрипторы номенклатуры формы волны артерий.

Основной дескриптор	Основные термины и определения дескрипторов	Фигура сигнала
НАПРАВЛЕНИЕ ПОТОКА	<p>Антеградный <i>Предыдущий альтернативный термин: прямой поток</i> Кровь течет в нормальном направлении для оцениваемой артерии.</p>	
	<p>Ретроградный <i>Предыдущий альтернативный термин: обратный поток</i> Кровь течет в направлении, противоположном нормальному направлению оцениваемой артерии.</p>	
	<p>Двунаправленный <i>Предыдущий альтернативный термин: туда-сюда</i> Кровоток входит и выходит из ограниченного пространства через одно и то же отверстие.</p>	
	<p>Отсутствует Кровоток не определяется при отсутствии спектрального доплеровского сигнала.</p>	
ФАЗНОСТЬ	<p>Многофазный <i>Предыдущие альтернативные термины: трехфазный; двухфазный</i> сигнал пересекает базовую линию нулевого потока и содержит как прямые, так и обратные компоненты скорости.</p>	
	<p>Монофазная кривая не пересекает базовую линию нулевого потока на протяжении любой части сердечного цикла; кровь течет в одном направлении. <i>Примечание:</i> если кривая не пересекает базовую линию нулевого потока, она считается монофазной.</p>	

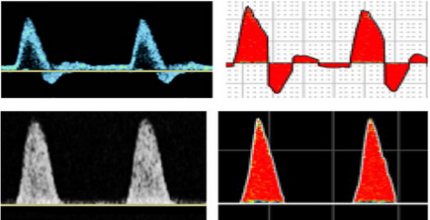
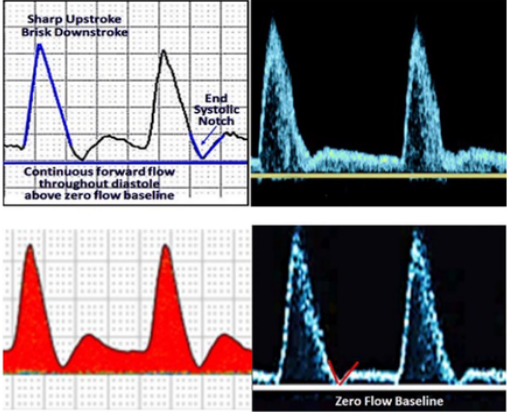
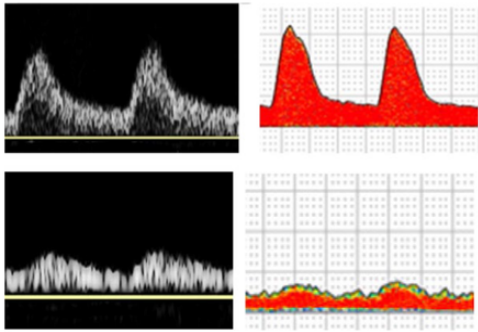
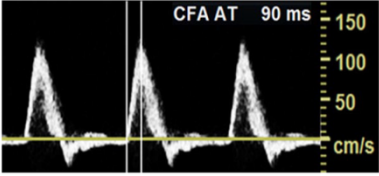
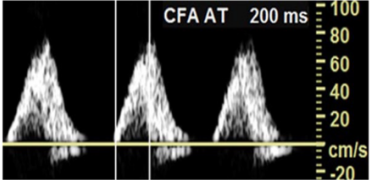
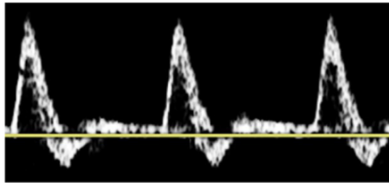
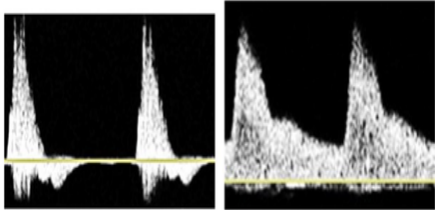
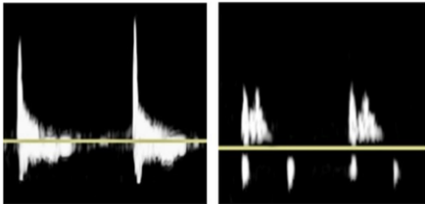
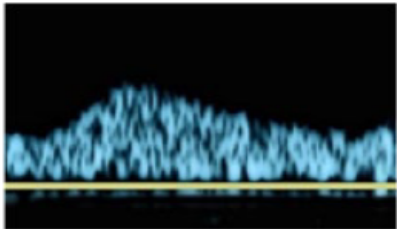
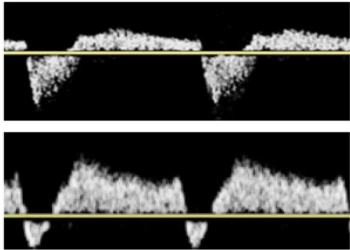
СОПРОТИВЛЕНИЕ	<p>Высокое сопротивление (высокорезистивный)</p> <p><i>Основные характеристики:</i> резкий подъем вверх и быстрый ход вниз, с реверсированием диастолического потока или без него.</p>	
СОПРОТИВЛЕНИЕ	<p>Промежуточный резистивный</p> <p><i>ключевой признак:</i> резкое движение вверх, быстрое движение вниз, видимое наличие конечной-систолической выемки и непрерывный прямой поток в течение всей диастолы, превышающий базовую линию нулевого потока. В отличие от низкого сопротивления, кривая промежуточного сопротивления содержит быстрое замедление в конце систолы, за которым следует диастолическое ускорение с непрерывным прямым потоком. Волновая форма указывает на вазодилатацию и может быть результатом физической нагрузки (упражнения), повышения температуры, приема сосудорасширяющих препаратов или тяжелой артериальной обструкции дистальнее точки доплеровской инсонации.</p>	
СОПРОТИВЛЕНИЕ	<p>Низкое сопротивление (низкорезистивный)</p> <p><i>Основные признаки:</i> продолжительный нисходящий поток в конце систолы и непрерывный прямой поток в течение всей диастолы.</p> <p><i>Примечание:</i> ключевой признак: длительный диастолический спад с наличием пандиастолического потока. В отличие от промежуточного сопротивления кривая с низким сопротивлением содержит непрерывный и продолжительный диастолический прямой поток без наличия конечно-систолической зазубрины.</p>	

Таблица 3 . Термины модификатора формы артериальной волны.

Характеристики и определения сигналов	Фигура сигнала
<p>Быстрый подъем</p> <p>Почти вертикальный наклон или крутой подъем к пику систолы. AT < 140 мс используется для CFA (измеряется от начала систолы до середины систолы).</p>	
<p>Длительный ход вверх</p> <p><i>Предыдущие альтернативные термины:</i> tardus; с задержкой; демпфированный</p> <p>Аномально постепенный наклон к пику систолы. AT > 140 мс используется для CFA нижних конечностей.</p>	

<p>Острый пик Острый, одиночный и четко определенный пик, часто с максимальной скоростью, в пределах досягаемости исследуемой артерии.</p>	
<p>Спектральное расширение <i>Предыдущие альтернативные термины: неламинарный; бурный; беспорядочный; хаотическое</i> расширение полосы скоростей в спектральной форме сигнала; «заполнение» ясного «окна» под систолическим пиком. <i>Примечание:</i> спектральное расширение обычно наблюдается при турбулентном потоке, но также может наблюдаться при отсутствии турбулентности.</p>	
<p>Стаккато Паттерн с очень высоким сопротивлением с коротким «всплеском» ускорения и замедления скорости, за которым следует короткий диастолический сигнал с низкой амплитудой, отражающий низкий антеградный кровоток.</p>	

АТ, время разгона; CFA, общая бедренная артерия.

Характеристики и определения сигналов	Фигура сигнала
<p>Демпфированный (затухающий) <i>Предыдущие альтернативные термины: parvus et tardus; ослабленный; тупой</i> Сочетание аномального подъема (задержанного) и пика (широкого), часто с уменьшенной скоростью.</p>	
<p>Обращение потока <i>Предыдущие альтернативные термины: пре-стил; конкурентный поток; осциллирующий поток, который меняет направление, а не является частью нормального реверсирования диастолического потока, который может быть преходящим (позиционным) или соответствовать каждому сердечному циклу (систола/диастола).</i></p>	

ТОЧКА СОГЛАСЕНИЯ: Эталонная базовая линия для спектральных доплеровских сигналов будет относиться к базовому уровню нулевого потока.

ТОЧКА СОГЛАСЕНИЯ: Артериальные спектральные доплеровские и аналоговые доплеровские кривые должны сообщаться с использованием ключевых основных дескрипторов: направление потока, фазность и сопротивление. Термины-модификаторы могут быть включены для предоставления дополнительной информации о внешнем виде сигнала.

Авторский комитет рекомендует описывать фазность терминами «многофазный» и «монофазный». Многофазные сигналы пересекают базовую линию нулевого потока и содержат как прямые, так и обратные компоненты скорости. Монофазные кривые не пересекают базовую линию нулевого потока и отражают кровь, которая течет в одном направлении в течение всего сердечного цикла.

Авторский комитет рекомендует, чтобы артериальные спектральные доплеровские кривые описывались как демонстрирующие высокое, промежуточное или низкое сопротивление. Волны с высоким сопротивлением имеют резкий ход вверх и быстрый ход вниз и могут быть либо многофазными, либо монофазными. Кривые с низким сопротивлением содержат продолжительный нисходящий импульс в поздней систоле с непрерывным прямым током в течение всей диастолы без конечно-систолической зазубрины. Сигналы с низким сопротивлением являются монофазными.

Существует гибридная форма волны, которая является монофазной, но имеет характеристики как высокого, так и низкого удельного сопротивления, поскольку она содержит как быстрый ход вниз, так и непрерывный прямой поток в течение диастолы. Этот сигнал был по-разному обозначен как «двухфазный» в нескольких предыдущих публикациях и был источником большой путаницы.

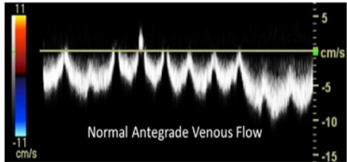
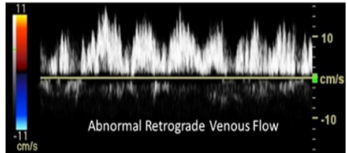
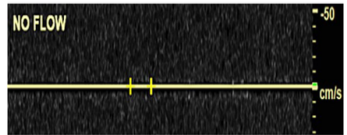
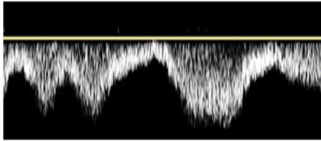
Таким образом, все согласны с тем, что волны с резким движением вверх, быстрым движением вниз и непрерывным прямым потоком во время диастолы выше базовой линии нулевого потока (монофазные), но с наличием конечно-систолической «зазубрины» (представляющей быстрое замедление во время конечной систолы с последующим диастолическое ускорение) теперь будет называться промежуточной резистивной волной.

В качестве примера, [рисунки 1A](#) и [1B](#) будут описаны как многофазные, с высоким сопротивлением, а рисунок 1C будут описаны как монофазные, с низким сопротивлением. [Рисунок 2B](#) можно описать как монофазный, со средним сопротивлением. [Рисунок 2C](#) можно охарактеризовать как монофазный, с низким сопротивлением и спектральным уширением. Как отмечалось ранее, термины «нормальный» и «ненормальный» не используются в этих дескрипторах, поскольку «нормальный» и «ненормальный» являются интерпретирующими терминами, которые помещают форму волны в текст местоположения и физиологических условий: многофазная форма волны с высоким сопротивлением может быть нормальной в покоящейся артерии нижних конечностей, но ненормальной во внутренней сонной артерии. Представленная здесь номенклатура служит только в качестве дескрипторов кривых, что позволяет выполнять интерпретацию волновых форм в соответствующем клиническом контексте.

Венозная номенклатура

Основные дескрипторы, термины-модификаторы и их описания перечислены в [таблицах 4](#) и [5](#).

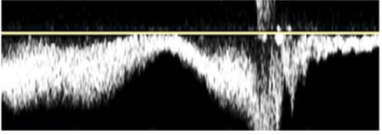
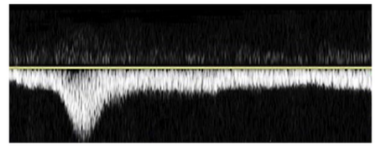
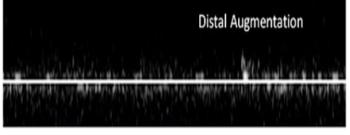
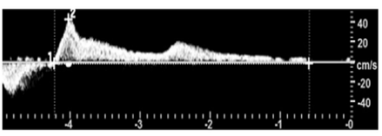
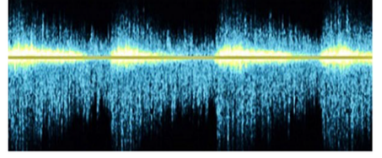
Таблица 4. Основные дескрипторы номенклатуры венозных волн.

Основной дескриптор	Основные термины и определения дескрипторов	Фигура сигнала
НАПРАВЛЕНИЕ ПОТОКА	<p>Антеградный</p> <p><i>Предыдущие альтернативные термины: центральный или передний.</i></p> <p>Кровоток в нормальном направлении для оцениваемой вены.</p>	
	<p>Ретроградный</p> <p><i>Предыдущие альтернативные термины: периферический или обратный.</i></p> <p>Кровоток, противоположный нормальному направлению оцениваемой вены.</p>	
	<p>Отсутствует</p> <p>Кровоток не определяется при отсутствии спектрального доплеровского сигнала.</p>	
СХЕМА ПОТОКА	<p>Респирофазный</p> <p><i>Предыдущий альтернативный термин: фаза дыхания</i></p> <p>Циклическое увеличение и уменьшение скорости потока, которое коррелирует с фазами дыхания.</p>	

	<p>Уменьшенный <i>Предыдущие альтернативные термины: демпфированный; притупленный</i></p> <p>Респирофазный поток снижен, если он демонстрирует меньшую вариацию в зависимости от дыхательного цикла, чем обычно для сегмента, или по сравнению с контралатеральным сегментом.</p>	
СХЕМА ПОТОКА	<p>Пульсирующий <i>Предыдущий альтернативный термин: кардиофазный</i></p> <p>Циклическое увеличение и уменьшение, обратно пропорциональное сердечному циклу.</p>	
	<p>Непрерывный</p> <p>Характеризуется отсутствием влияния дыхания или сердца на изменение скорости потока, что приводит к устойчивому и последовательному доплеровскому сигналу с минимальными изменениями потока или их отсутствием.</p>	
	<p>Регургитация</p> <p>Подобно пульсирующему потоку, существует циклическое увеличение и уменьшение потока, которое меняется в зависимости от сердечного цикла; однако поток имеет одинаковую амплитуду в прямом и обратном направлениях, что обычно наблюдается при тяжелой трикуспидальной регургитации.</p>	
СПОНТАННОСТЬ	<p>Спонтанный</p> <p>Кровоток является спонтанным, когда наблюдается его активное движение в вене без каких-либо внешних маневров, таких как проба Вальсальвы, мышечное сокращение или компрессия дистальнее оцениваемой вены.</p>	
	<p>Не Спонтанный - кровоток в вене активно не наблюдается и отмечается только при таких проба Вальсальвы, или компрессионные пробы.</p>	

Таблица 5 . Термины модификатора венозной волны.

Характеристики и определения сигналов	Фигура сигнала
<p>Аугментация</p> <p>Изменения скорости венозного кровотока в ответ на физические маневры: повышенное проксимальное давление снижает или останавливает кровоток с увеличением скорости при высвобождении (вверху); сжатие дистальной мышцы увеличивает поток со скоростью, низкой или отсутствующей при расслаблении (внизу).</p>	

<p>Нормальный аугментированный Дискретное мгновенное увеличение скорости венозного антеградного кровотока в ответ на сокращение дистальной мышцы или компрессионный маневр.</p>	
<p>Сокращенный аугментированный <i>Предыдущие альтернативные термины: уменьшено; притупленный; демпфированная</i> Потеря увеличенной скорости венозного кровотока (демпфированная аугментация) в ответ на адекватное сокращение дистальной мышцы или компрессионный маневр по сравнению с контралатеральной конечностью.</p>	
<p>Отсутствует усиление Нет увеличения венозного оттока/возврата в ответ на сокращение дистальной мышцы или компрессионный маневр.</p>	
<p>Рефлюкс Стойкий ретроградный поток за пределами нормального времени закрытия венозного клапана, обычно отмечаемый после снятия дистальной компрессии. Также отмечается в ответ на пробу Вальсальвы.</p>	
<p>Поток свища <i>Предыдущие альтернативные термины: артериализованный; свищевой</i> Венозный кровоток при артериовенозной фистуле становится пульсирующим за счет прямого сообщения с артерией; острые пики часто выглядят пульсирующими со спектральным уширением.</p>	

ТОЧКА СОГЛАСЕНИЯ : Кривые венозного спектрального доплера должны сообщаться с использованием ключевых дескрипторов: направление потока, характер потока и спонтанность потока. Другие термины-модификаторы могут использоваться для предоставления дополнительной информации о внешнем виде сигнала.

Часть 2: Изменения формы доплеровского сигнала с физиологическими изменениями и болезненными состояниями

Цель: Обзор изменений доплеровской волны с физиологическими изменениями и болезненными состояниями.

Периферическое артериальное кровообращение

Обзор

Множественные физиологические факторы проксимально, дистально и в исследуемом участке вносят свой вклад в морфологию доплеровской волны. Метаболические потребности тканевого ложа, изменения давления, изменения сопротивления, распространение и отражение волн — все это влияет на характер формы волны.

Нормальные кривые периферических артерий

Периферический артериальный кровоток кровоснабжает мышечные ткани верхних и нижних конечностей. Артериальные доплеровские кривые могут отображать как антеградные, так и ретроградные волны и подвержены эффектам затухания и усиления вдоль сосудистого дерева.

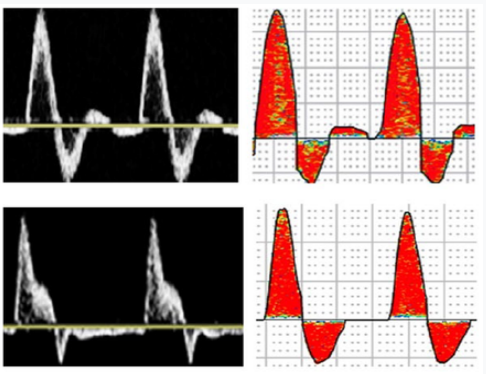
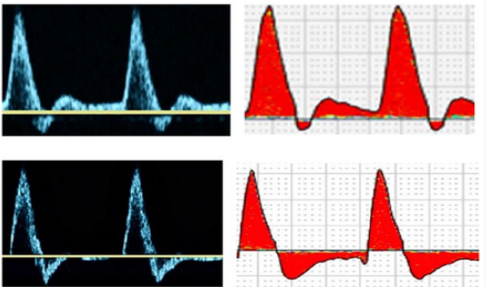
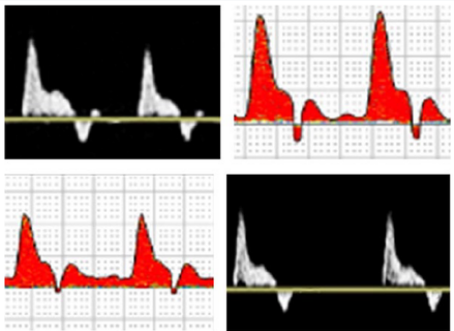
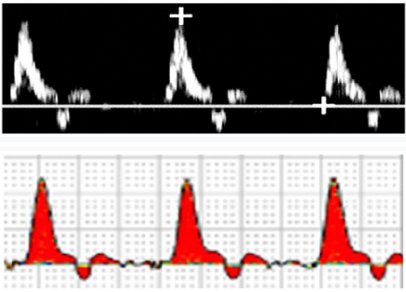
Отражение пульсовой волны также может происходить в нескольких местах, включая бифуркацию аорты и ее ветви. Систолический компонент артериальной волны создается сокращением левого желудочка, посылающим болюс крови из восходящей аорты, что приводит к быстрому увеличению объема и скорости.

Спектральный дисплей изображает резкое движение вверх или ускорение в скоростном профиле артериальной кривой от нормального сосуда. При отсутствии заболевания диастолический компонент артериальной волны отражает вазоконстрикцию, присутствующую в покоящихся мышечных слоях. Нормальные кривые в высокоомном ложе будут отображать ретроградную (отраженную) волну в начале диастолы. Небольшой

антеградный компонент может присутствовать в период от середины до поздней диастолы в результате антеградной волны, генерируемой проксимальными податливыми крупными и средними артериями ([Таблица 6](#)).

Таблица 6 . Физиологическое состояние нормальных волн периферических артерий.

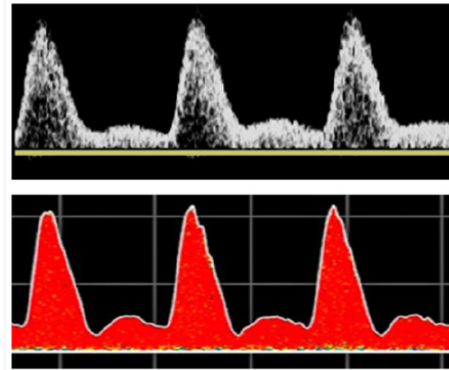
В состоянии покоя нормальная форма волны всех периферических артерий является многофазной с быстрым систолическим ускорением, острым систолическим пиком, обратным диастолическим потоком и низким или отсутствующим конечно-диастолическим прямым потоком.

Физиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Нормальные приносящие артерии в состоянии покоя <i>Нижняя: общая, наружная и внутренняя подвздошная артерии</i> <i>Верхняя: безымянная и подключичная артерии</i> . Спектральная полоса пропускания PW-доплера узкая на протяжении всего сердечного цикла, что соответствует ламинарному потоку. Минимально увеличенное спектральное уширение может быть отмечено во внутренней подвздошной артерии из-за размера объема доплеровского образца и меньшего диаметра сосуда по сравнению с общей и наружной подвздошными артериями. Термины «спектральная ширина» и «спектральное расширение» неприменимы к аналоговым доплеровским формам непрерывных волн.</p>	
<p>Нормальные артерии оттока покоя <i>Нижняя: общая бедренная, глубокая бедренная (глубокая бедренная), поверхностная бедренная и подколенная артерия</i> <i>Верхняя: подмышечная и плечевая артерии</i> В нормальных бедренных артериях может наблюдаться небольшое снижение PSV по сравнению с PSV в нормальных приносящих артериях.</p>	
<p>Нормальные отводящие артерии в состоянии покоя <i>Нижняя: передняя большеберцовая, задняя большеберцовая, малоберцовая артерия</i> <i>Верхняя: лучевая, локтевая артерия</i> Спектральная полоса доплеровского волнового доплера остается соответствующей ламинарному потоку, хотя может быть отмечено небольшое увеличение спектрального расширения, вторичное по отношению к размеру доплеровского изображения объем образца и малый диаметр сосуда. Существенной разницы в PSV среди трех артерий голени или двух артерий предплечья не отмечено.</p>	
<p>Нормальные подошвенные, ладонные и пальцевые артерии в покое. Паттерн кровотока остается ламинарным, хотя можно отметить небольшое увеличение спектральной полосы PW, вторичное по отношению к размеру объема доплеровского образца и небольшому диаметру подошвенных и пальцевых артерий.</p>	

Изменения сосудистого сопротивления, связанные с физической нагрузкой и повышением температуры тела

Фигура сигнала

Нормальная кривая периферических артерий после физической нагрузки или в результате повышения температуры тела
 Увеличение потребности в кровотоке и снижение сосудистого сопротивления, связанные с тренировкой мышц, повышением температуры тела или очаговым воспалением, приводят к постоянному прямому кровотоку.
 PSV может значительно увеличиться (например, наружная подвздошная артерия) в результате физической нагрузки, даже если артерия в норме.



CW, непрерывная волна; PSV, пиковая систолическая скорость; PW, импульсно-волновой.

Условия, вызывающие повышенный кровоток в мышцах конечностей, такие как физическая нагрузка, повышенная температура конечностей и/или артериовенозная фистула, отчасти вызывают это за счет расширения артериол в мышечном ложе, что обеспечивает прямой кровоток в течение диастолы. Хотя доплеровский сигнал обычно демонстрирует узкую спектральную полосу пропускания, можно отметить некоторое небольшое увеличение спектрального расширения в зависимости от диаметра артериального сегмента и размера объема доплеровского образца ([таблица 6](#)).

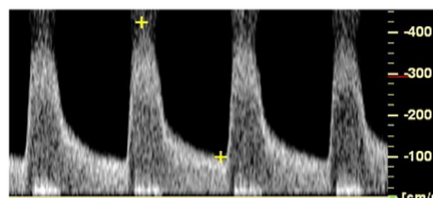
Аномальные кривые периферических артерий

Тяжесть уменьшения диаметра просвета отражается континуумом изменений в морфологии формы волны ([Таблица 7](#)). Минимальное уменьшение диаметра приводит к небольшому нарушению ламинарного потока без значительного увеличения пиковой систолической скорости (ПСС). В частности, сохраняется ранний диастолический обратный поток. Потеря реверсивного компонента потока и переход от многофазного к монофазному характеру потока очевидны, когда степень сужения достаточна для возникновения градиента давления-потока в месте стеноза. Тяжесть артериальной недостаточности отражается в постоянном увеличении пиковой систолической и конечно-диастолической скорости до критического значения, соответствующего преокклюзионному поражению.

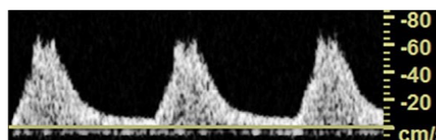
Таблица 7 . Патофизиологическое состояние аномальных волн периферических артерий.

Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Периферическая артерия: стеноз менее 50% диаметра PSV слегка увеличивается, но менее чем в два раза по сравнению с нормальным соседним проксимальным сегментом (отношение скоростей <2). Как правило, имеется многофазная волна с быстрым подъемом и отсутствием заметного увеличения диастолической скорости. Спектральное уширение пансистолическое.</p>	
<p>Периферическая артерия: стеноз 50–74% диаметра Когда просвет артерии значительно сужен, в стенозированной области присутствует градиент давление-поток. PSV увеличивается более чем на 100% (отношение скоростей > 2) по сравнению с нормальным соседним проксимальным сегментом. Раннедиастолический компонент реверсивного кровотока обычно теряется (может быть остаточным в высокоскоростном состоянии с выраженной коллатерализацией) с непрерывным пандиастолическим реверсивным кровотоком в ответ на снижение сосудистого сопротивления в дистальных тканях. Спектральное уширение присутствует.</p>	

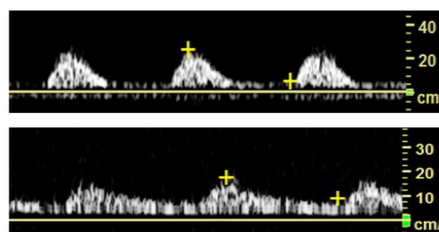
Периферическая артерия: стеноз > 75% диаметра
Тяжелое сужение артерии приводит как минимум к четырехкратному увеличению PSV (коэффициент скорости > 4) по сравнению с нормальным проксимальным соседним сегментом. Форма волны монофазная, диастолическая скорость может быть увеличена, а спектральный шум обычно отмечается рядом с базовой линией нулевого потока.



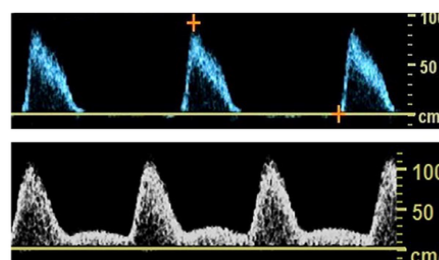
Периферическая артерия – дистальное стеноза, уменьшающего поток.
Форма волны монофазная с длительным восходящим ходом и сниженным PSV. Спектральное уширение присутствует.



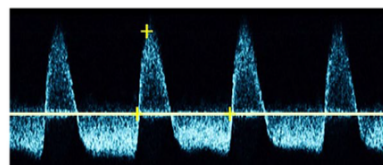
Периферическая артерия – дистальное окклюзии
Кривая затухающая и монофазная.



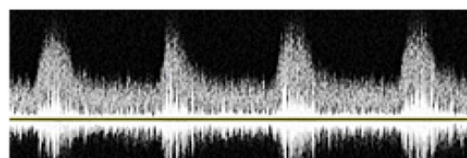
Периферическая артерия – проксимальное окклюзии
При отсутствии стеноза, ограничивающего поток, проксимальное места доплеровского исследования форма волны характеризуется быстрым восходящим ходом и может иметь высокое сопротивление или среднее сопротивление.



Псевдоаневризма
Поток двунаправленный (вперед) через шейку или тракт артериальной псевдоаневризмы. Форма волны имеет быстрый систолический подъем с преувеличенным замедлением и удлинненным и заметным компонентом обратного потока.



Артериовенозная фистула
Поток крови из артерии высокого давления в вену низкого давления приводит к расширению спектра и увеличению систолической и диастолической скорости. Непрерывный прямой поток отмечается на протяжении всего сердечного цикла.



PSV, пиковая систолическая скорость.

Форма волны также указывает на место закупорки артерий. Отсроченный систолический подъем указывает на заболевание, ограничивающее поток, проксимальное места регистрации. Дистальное стеноза ишемия тканевого ложа приводит к вазодилатации и снижению резистентности. Кроме того, наблюдается снижение дистального давления из-за перепада давления в месте стеноза. Это падение давления, наряду с более низким сопротивлением, приводит к увеличению диастолического потока на протяжении всего сердечного цикла дистальнее стеноза. Проксимальное окклюзии или стеноза высокой степени сопротивление увеличивается. Отраженная волна или любой антеградный диастолический поток, если он присутствует в норме, может быть уменьшен или отсутствовать, а последовательные поражения, ограничивающие поток, и емкость коллатеральных сосудов могут влиять на морфологию формы волны в данном месте взятия доплеровского сигнала.

Периферическое венозное кровообращение

Обзор

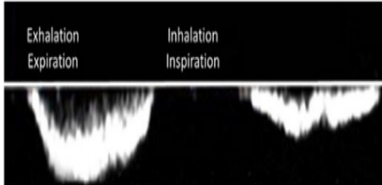
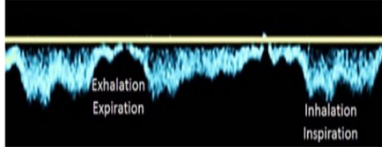
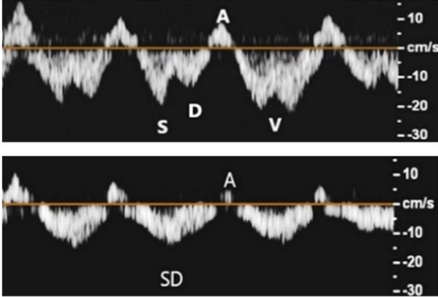
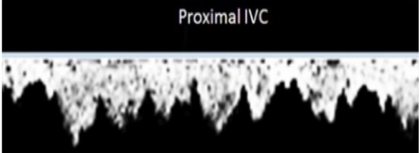
На движение венозной крови влияют многочисленные внутренние и внешние факторы. Внутренние факторы включают дыхательный цикл, изменения центральных и сегментарных венозных градиентов давления, растяжимость сосудов и функцию клапанов. Внешние факторы включают

силу тяжести, мышечные насосы, атмосферное давление и внешнее сдавление вен, например, из-за вышележащей опухоли, артерии, образования или скопления жидкости.

Нормальные кривые периферических вен

Нормальный венозный кровоток в более крупных периферических и более центральных венах, исследованных в дуплексных протоколах, является спонтанным с низкоскоростными доплеровскими кривыми, которые отражают изменения градиента давления, вызванные дыхательной и сердечной функцией. Скорость кровотока в мелких венах дистальнее конечностей очень низкая, и в состоянии покоя они могут не давать различимых доплеровских сигналов. По всей периферии скорость потока зависит от дыхания из-за изменений внутригрудного и внутрибрюшного давления и называется респирофазной. Эти паттерны дыхательных вариаций скорости потока могут стать приостановленными, сильно ослабленными или отсутствовать при поверхностном дыхании или задержке дыхания. Периферические вены, наиболее удаленные от сердца, такие как вены голени или предплечья, демонстрируют меньшую спонтанность и респирофазность по сравнению с венами, расположенными ближе к сердцу. Наполнение и сокращение сердца также втягивают и толкают венозный поток, причем это влияние обычно сильнее в венах, расположенных ближе всего к сердцу, что называется пульсирующим потоком. ([Таблица 8](#)).

Таблица 8 . Физиологическое состояние нормальных волн периферических вен.

Физиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Периферические вены (подвздошные вены голени и плечевые вены предплечья)</p> <p>Нижняя конечность – нормальный респирофазный антеградный поток уменьшается на вдохе из-за более высокого внутрибрюшного давления и увеличивается на выдохе из-за снижения внутрибрюшного давления.</p>	
<p>Верхняя конечность – нормальный респирофазный антеградный поток увеличивается на вдохе из-за отрицательного внутригрудного давления и уменьшается на выдохе из-за повышенного внутригрудного давления.</p>	
<p>Центральные вены (внутренняя яремная, подключичная, подмышечная, НПВ)</p> <p>Нормальная пульсирующая кривая подключичной вены демонстрирует пульсацию из-за близости к сердцу и передачи давления в правом предсердии. Пульсирующий венозный кровоток, демонстрирующий антеградный кровоток с зубцами S и A во время ранней систолы и диастолы, V-образной насечкой во время поздней систолы и зубцом A во время сокращения правого предсердия. Пульсирующий венозный кровоток, демонстрирующий антеградный кровоток с так называемым комплексом SD в систолу и раннюю диастолу и возможный ретроградный кровоток с зубцом A во время сокращения правого предсердия.</p>	
<p>Проксимальная часть НПВ – нормальная пульсирующая пульсация НПВ из-за влияния давления и функции правого предсердия из-за близости к сердцу.</p>	

НПВ, нижняя полая вена.

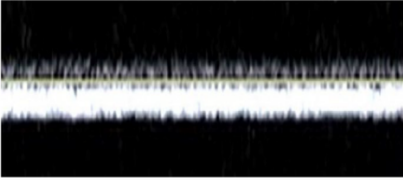
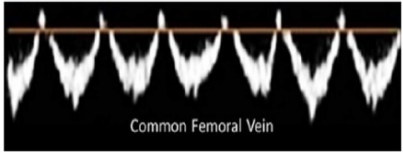
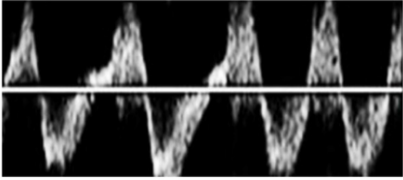
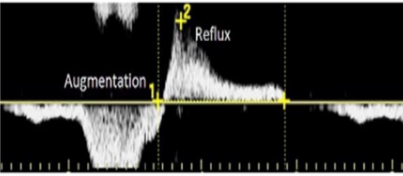
Аномальные кривые периферических вен

Оценка аномальных изменений морфологии волны включает оценку направления потока, реакции на дыхание и сердечную функцию, а также реакцию на физиологические маневры. Изменения, которые являются результатом центральных, системных условий, будут наблюдаться на двусторонней основе. Симметрия между левосторонними и правосторонними сигналами является важным аспектом дуплексных исследований, требующих сравнения спонтанных сигналов и реакции на физические маневры.

Нормальное антеградное направление кровотока в венозной системе может стать ретроградным при недостаточности клапана или окклюзии в более центральном венозном сегменте. Непрерывный спонтанный венозный кровоток также указывает на более центральную обструкцию ([Таблица 9](#)). Хотя использование аугментационных маневров остается спорным, сторонники утверждают, что они могут быть полезны при диагностике более центральной обструктивной патологии и более подробно обсуждаются в разделе номенклатуры. Хотя они могут наблюдаться при некоторых патологиях ([Таблица 9](#)), пульсирующие волны обычно не наблюдаются в периферических венах нижних конечностей из-за их удаленности от сердца. Однако потеря этой пульсации является ненормальной в центральных венах верхних конечностей и брюшных венах.

Интерпретация морфологии венозной волны чаще всего выполняется без сообщения данных о скорости с поправкой на угол, хотя измерение скорости необходимо при оценке фистулы или венозного стеноза.

Таблица 9. Патофизиологическое состояние аномальных волн периферических вен.

Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Непрерывный</p> <p>Устойчивая и непоколебимая кривая идентифицирует более центральную обструкцию (проксимальнее места инсонации), внутреннюю венозную (полностью или частично закупоривающую тромб или стеноз) или вызванную внешней компрессией. Повышенное венозное давление на уровне доплеровской пробы устраняет влияние респираторных и сердечных факторов на форму волны.</p>	
<p>Пульсирующая</p> <p>аномалия в венах нижних конечностей, проявляющаяся повышенным центральным венозным давлением из-за сердечной недостаточности, регургитации трикуспидального клапана, легочной гипертензии и повышенного давления в правых отделах сердца или дисфункции.</p>	
<p>Регургитация.</p> <p>Повышенное давление в правом предсердии, создающее форму кровотока, аналогичную антеградному и ретроградному компонентам. В отличие от пульсирующего потока, когда интенсивность ретроградного компонента намного меньше, чем антеградного.</p>	
<p>Рефлюкс</p> <p>Ретроградный поток из-за аномальных створок клапана и/или набухания вен, что приводит к неполной коаптации клапана. Определение рефлюкса зависит от местоположения, но может быть хронометрировано на спектральном дисплее как поток в направлении, противоположном базовой линии нулевого потока по сравнению с нормальным антеградным потоком.</p>	

Цереброваскулярное кровообращение

Обзор

К двусторонним экстракраниальным сосудам головного мозга относятся общая сонная, наружная сонная, внутренняя сонная и позвоночная артерии. Приток к этим сосудам зависит от аортального клапана, дуги аорты, брахиоцефальной и подключичной артерий. Отток из этих сосудов определяется состоянием базальных мозговых артерий (виллизиева круга) и остального внутричерепного мозгового кровообращения. При нормальном притоке особенности кривой обычно отражают сопротивление дистального сосудистого русла. Проксимальные окклюзионные поражения, фокальные поражения в определенных сегментах артерий и изменения сопротивления дистального сосудистого русла вносят свой вклад в изменения, наблюдаемые в кривых цереброваскулярного кровотока.

Нормальные формы цереброваскулярных волн

Нормальные кривые кровотока в церебральных артериях показывают быстрый систолический подъем, отражающий нормальные проксимальные сосуды и сердечную функцию, но характеристики диастолической части волны определяются сопротивлением дистального сосудистого русла. Поскольку мозговая ткань в норме имеет низкое сосудистое сопротивление, нормальная кривая внутренней сонной артерии показывает картину низкого сопротивления с относительно высокими диастолическими скоростями и прямым потоком на протяжении всего сердечного цикла. Напротив, нормальная наружная сонная артерия кровоснабжает сосудистое русло с высоким сопротивлением (кожа, мышцы, кости), аналогичное периферическим артериям, и демонстрирует типичный многофазный паттерн артериального кровотока. Общая сонная артерия кровоснабжает внутреннюю и наружную сонные артерии, поэтому нормальная кривая общей сонной артерии содержит признаки обеих ветвей сосудов. Однако, поскольку внутренняя сонная артерия имеет гораздо более высокую скорость кровотока, чем наружная сонная артерия, картина кровотока в общей сонной артерии имеет тенденцию напоминать внутреннюю сонную артерию, хотя, как правило, с меньшим диастолическим потоком. Нормальная кривая кровотока в позвоночной артерии имеет вид с низким сопротивлением, как и во внутренней сонной артерии. Что касается артериальных волн в целом, отсутствие спектрального уширения в формах цереброваскулярных волн указывает на ламинарный поток. [Таблица 10](#) иллюстрирует нормальные характеристики кривых потока в экстракраниальных церебральных артериях.

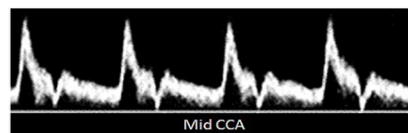
Таблица 10 . Нормальные формы цереброваскулярных волн.

Физиологическое состояние и объяснение

Фигура сигнала

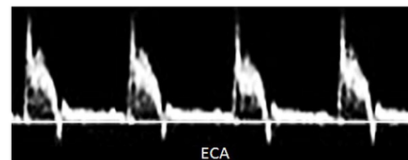
Нормальная ОСА

Минимальный или отсутствующий обратный поток и относительно высокий диастолический поток из-за более выраженного эффекта внутренней сонной артерии с низким сопротивлением (по сравнению с наружной сонной артерией с высоким сопротивлением).



Нормальная НСА

Наличие фазы обратного кровотока в поздней систоле или ранней диастоле и многофазный характер кровотока являются характеристиками артерии, питающей сосудистое русло с высоким сопротивлением.



Нормальная проксимальная часть ВСА

С разделением потока вдоль наружной стенки

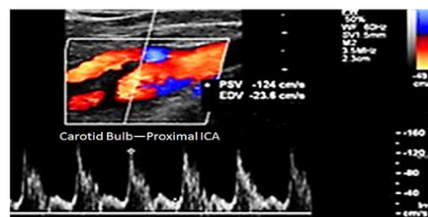
Луковица сонной артерии имеет расходящуюся-конвергентную геометрию, что приводит к спиралевидному или осциллирующему паттерну потока вдоль наружной стенки, который отделен от более быстрого прямого потока вдоль внутренней стенки или делителя потока – область, указанная как «отрыв потока» или «отрыв пограничного слоя». В примере объем пробы расположен вдоль внешней стенки колбы, а низкоскоростное чередующееся прямое и обратное течение характерно для зоны отрыва потока.



Нормальная проксимальная часть ВСА

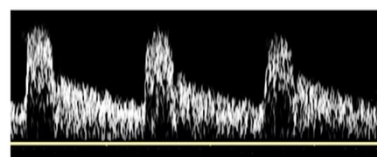
С прямым потоком вдоль делителя потока.

В этом примере объем доплеровского образца помещается вдоль делителя потока в луковице сонной артерии, и картина потока показывает в основном прямой поток на протяжении всего сердечного цикла, что характерно для ВСА. В некоторых сердечных циклах наблюдается минимальный обратный поток, что, скорее всего, является следствием соседней области разделения потока в луковице (см. пример с *внешней стенкой выше*).



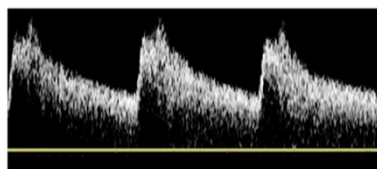
Нормальная середина ВСА

Прямой кровоток на протяжении всего сердечного цикла и относительно высокие диастолические скорости кровотока характерны для артерии, перфузирующей сосудистое русло с низким сопротивлением.



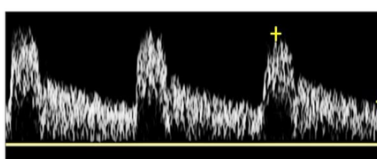
Нормальный дистальный отдел ВСА

Отмечается прямой поток на протяжении всего сердечного цикла и относительно высокие скорости диастолического потока. Может быть увеличение PSV относительно проксимального и среднего сегментов ВСА, связанное с сужением сосуда.



Нормальная позвоночная артерия

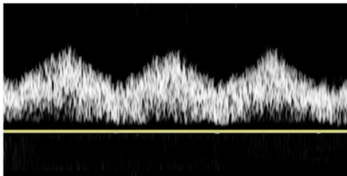
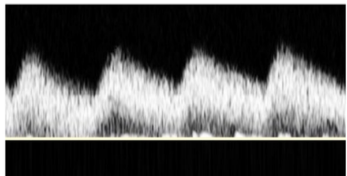
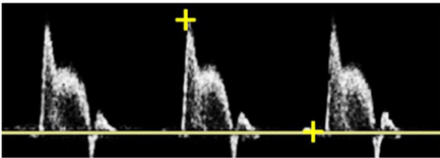
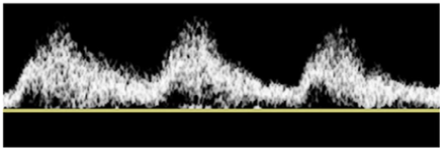
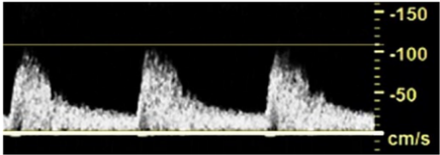
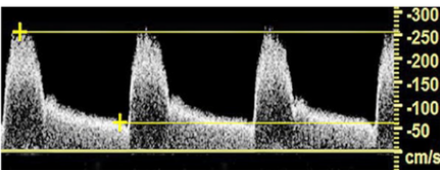
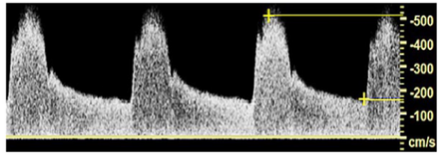
Отмечается прямой кровоток на протяжении всего сердечного цикла и относительно высокие диастолические скорости кровотока. Схема течения аналогично ВСА.

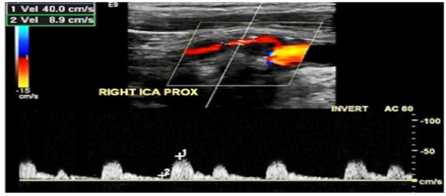
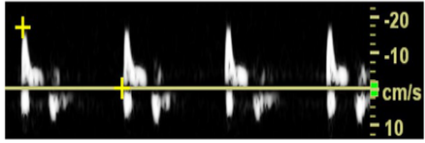
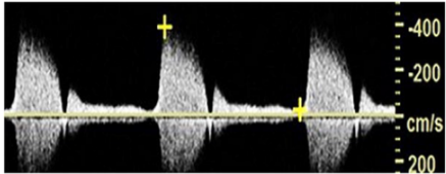
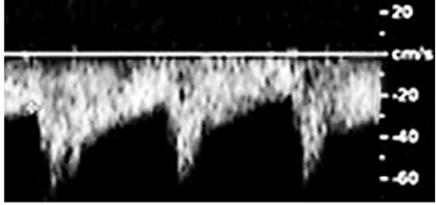
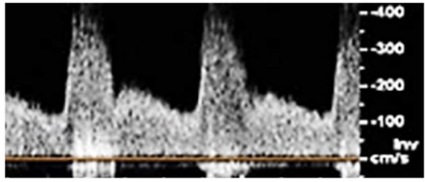


ОСА общая сонная артерия; НСА наружная сонная артерия; ВСА внутренняя сонная артерия; PSV пиковая систолическая скорость.

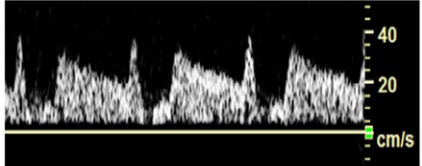
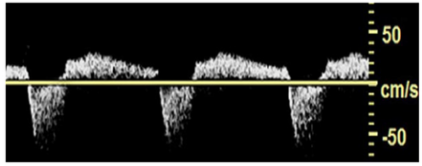
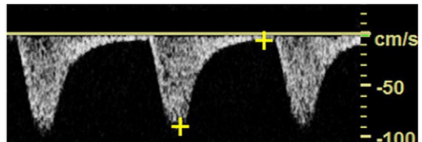
Как и в других сегментах артериальной системы, значительные обструктивные поражения, связанные с притоком к экстракраниальным церебральным артериям, приводят к форме волны с отсроченным систолическим подъемом, округленным систолическим пиком и сниженной пиковой скоростью. Фокальные стенозы производят локальные высокоскоростные струи и постстенозную турбулентность. Дистальные обструктивные поражения вызывают повышенное сосудистое сопротивление, которое проявляется на кривой в виде снижения диастолического потока или реверсивного потока, особенности, которые особенно заметны в сосудах, которые обычно имеют низкоомное течение, таких как внутренние сонные и позвоночные артерии. [Таблица 11](#) иллюстрирует особенности аномальных кривых кровотока в экстракраниальных церебральных артериях.

Таблица 11 . Аномальные формы цереброваскулярных волн.

Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>OCA: стеноз дистальной и безымянной артерий (правая сторона). Длительный подъем вверх, снижение пиковой систолической скорости и затухающий пик — все это типичные признаки проксимального обструктивного поражения. На протяжении всего сердечного цикла имеется прямоток. Присутствует некоторое спектральное уширение, но относительно четкое (черное) «окно» под систолической частью кривой указывает на минимальную турбулентность, что согласуется с относительно большим расстоянием между стенозом безымянной артерии и средней частью OCA.</p>	
<p>OCA: дистальный к проксимальному стенозу OCA Кривая OCA демонстрирует удлиненный подъем вверх, снижение PSV и затухающий пик. На протяжении всего сердечного цикла имеется прямоток, а спектральное уширение указывает на турбулентность из более проксимального поражения OCA.</p>	
<p>OCA, общая сонная артерия; PSV, пиковая систолическая скорость.</p>	
Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>OCA: с ипсилатеральной окклюзией ВСА Кривая OCA демонстрирует атипичный высокоомный паттерн с небольшой фазой обратного потока в поздней систоле и отсутствием диастолического потока. В условиях ипсилатеральной окклюзии ВСА форма волны OCA напоминает волну НСА. Быстрое движение вверх указывает на нормальный приток.</p>	
<p>ВСА: дистальное стеноза OCA Кривая ВСА показывает продолжительный подъем вверх и спектральное уширение. Существует прямоток на протяжении всего сердечного цикла и относительно высокий диастолический кровоток, характерный для артерии, перфузирующей сосудистое русло с низким сопротивлением.</p>	
<p>ВСА: стеноз < 50 % Пиковые скорости в этом проксимальном отделе ВСА ниже обычно используемого порога 125 см/с для стеноза ≥ 50 % ВСА. Спектральное уширение на протяжении всего сердечного цикла представляет собой турбулентный поток, вызванный стенозирующим поражением.</p>	
<p>ВСА: стеноз 50–69% Пиковые скорости в этой ВСА составляют от 125 до 230 см/сек, а КДО < 100 см/сек. Эти скорости согласуются со стенозом ВСА 50–69%. Отсутствие спектрального уширения, скорее всего, связано с расположением объема доплеровской пробы внутри или чуть дистальнее высокоскоростной струи, вызванной стенозом.</p>	
<p>ВСА: > 70% стеноз. Эта фокальная высокоскоростная струя возникает из-за сильного стеноза в проксимальном отделе ВСА и имеет PSV ~ 500 см/сек и КДО почти 200 см/сек. Это признаки стеноза > 70%. Также присутствует обширное спектральное уширение.</p>	

<p>BCA вблизи окклюзии («симптом струны») На кривой показана необычная картина кровотока, которая возникает при стенозе BCA со скомпromетированным просветом, который часто распространяется внутрочерепно. В этом случае фокальная высокоскоростная струя может отсутствовать, а форма волны часто демонстрирует снижение скорости.</p>	
<p>BCA: при дистальном стенозе BCA. Быстрое систолическое ускорение или подъем вверх указывает на нормальный приток, но быстрое замедление с низкой скоростью или отсутствием кровотока в течение диастолы указывает на аномально повышенное дистальное сосудистое сопротивление.</p>	
<p>Стеноз HCA Повышение пиковой скорости и обширное спектральное расширение указывают на стеноз в проксимальном отделе HCA. Другие особенности, такие как реверсивная фаза кровотока в поздней систоле и многофазный характер кровотока, характерны для HCA.</p>	
<p>ECA: с обратным потоком из-за окклюзии ОСА Замедленное систолическое ускорение указывает на аномальный приток через коллатеральное ложе. Ретроградное направление потока присутствует на протяжении всего сердечного цикла. Относительно высокий диастолический кровоток характерен для кровотока в сосудистом русле с низким сопротивлением. Этот паттерн можно охарактеризовать как «внутренний», потому что форма волны напоминает типичную ICA.</p>	
<p>Стеноз позвоночной артерии Очаговая высокоскоростная струя образуется при выраженном стенозе проксимального отдела позвоночной артерии. Наблюдается заметное увеличение как пиковых скоростей, так и КДО с обширным спектральным уширением.</p>	

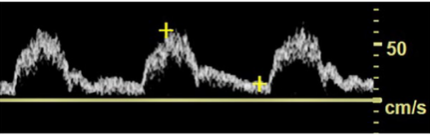
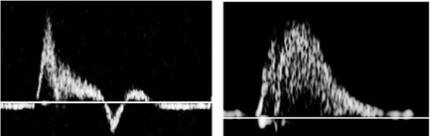
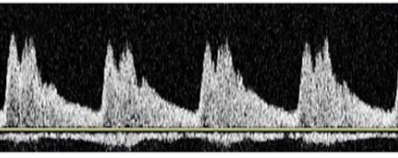
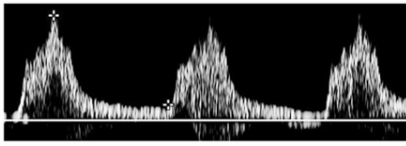
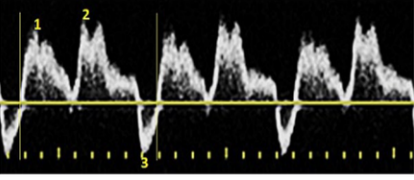
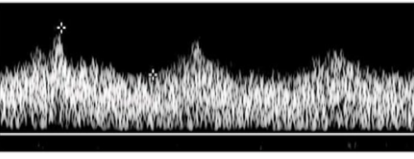
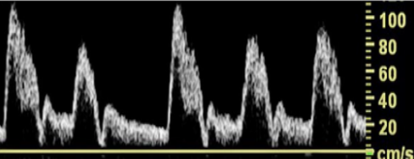
ОСА, общая сонная артерия; HCA, наружная сонная артерия; КДО, конечно-диастолическая скорость; BCA, внутренняя сонная артерия; PSV, пиковая систолическая скорость.

Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Предобкрадывание позвоночной артерии В начале развития подключичного обкрадывания на кривой позвоночной артерии отмечается замедление средней систолической скорости. Эта особенность становится более заметной по мере прогрессирования стеноза подключичной артерии и в конечном итоге приводит к периоду обратного кровотока (см. <i>частичный обкрадывание</i> ниже).</p>	
<p>Обкрадывание позвоночной артерии (частично) Во время каждого сердечного цикла отмечают чередование прямого и обратного направления кровотока, что указывает на частичный или «неполный» обкрадывание. Степень обкрадывания (частичного или полного) зависит в первую очередь от градиентов давления, вызванных поражением безымянной или подключичной артерии.</p>	
<p>Обкрадывание позвоночной артерии (полное) На этой кривой позвоночной артерии показано полное обкрадывание с обратным направлением потока на протяжении всего сердечного цикла.</p>	

Аномальные формы каротидной доплеровской волны, связанные с сердечным заболеванием

Существует несколько сердечных аномалий, которые изменяют ожидаемые формы волны, наблюдаемые в артериях. Многие из изменений формы волны обычно обнаруживаются в сонных артериях, в то время как некоторые из них можно оценить даже дистальнее бедренных артерий. Наблюдаемые изменения формы волны могут варьироваться в зависимости от тяжести сердечного заболевания. В таблице 12 приведены некоторые из наиболее часто встречающихся волновых форм, связанных с различными сердечными заболеваниями.

Таблица 12. Аномальные волны сонных артерий, связанные с сердечными заболеваниями.

Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Стеноз аортального клапана Изменения формы волны наиболее очевидны в ОСА и ВСА. В результате получается затухающая волна.</p>	
<p>Недостаточность аортального клапана Изменения формы волны наиболее очевидны в ОСА и ВСА. В результате снижается или возникает ретроградный диастолический поток.</p>	
<p>Недостаточность аортального клапана Недостаточность аортального клапана может привести к двойному пульсу с двумя пиками, очевидными в систоле. Два пика разделены среднесистолической ретракцией. Второй пик обычно такой же или больше, чем первый пик. Также может присутствовать обратный диастолический поток.</p>	
<p>Стеноз и недостаточность аортального клапана Изменения формы волны наиболее очевидны в ОСА и ВСА. Результатом является длительный подъем с затухающим пиком и уменьшенным или ретроградным диастолическим потоком.</p>	
<p>Кривые ОСА с внутриаортальным баллонным насосом демонстрируют два систолических пика: первый связан с сокращением собственного желудочка пациента (1), а второй — с надуванием баллона устройства (2). Сдувание баллона вызывает кратковременное реверсирование потока в диастолу (3).</p>	
<p>Вспомогательное устройство для левого желудочка Эти кривые ВСА показывают более низкий PSV и повышенный EDV. В зависимости от настроек устройства может наблюдаться большее снижение пульсации.</p>	
<p>Аритмия Эта кривая ОСА отображает неравномерно расположенные циклы кривых с различным PSV. Наблюдаемые закономерности будут различаться в зависимости от типа аритмии.</p>	

ОСА, общая сонная артерия; КДО, конечно-диастолическая скорость; ВСА, внутренняя сонная артерия; PSV, пиковая систолическая скорость.

Мезентериальное и почечное артериальное кровообращение

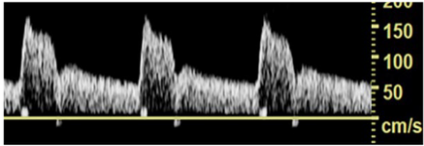
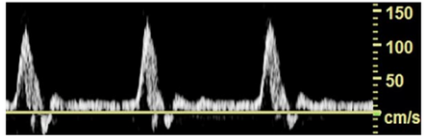
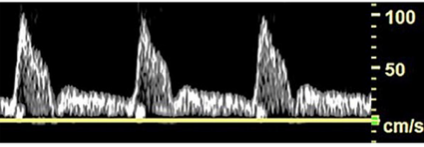
Обзор

Множественные физиологические факторы определяют форму почечных и брыжеечных доплеровских волн, включая метаболические потребности конечного органа и то, были ли изображения получены натощак или после приема пищи.

Нормальные кривые мезентериальных артерий

Чревная артерия имеет основные ветви (печеночную, селезеночную и левую желудочную), которые снабжают кровью печень, селезенку, поджелудочную железу, желудок и верхнюю часть тонкой кишки. Из-за высокой потребности в кислороде органов, снабжаемых чревной артерией и ее ветвями, пищеварение не влияет на кровоток, а пиковые систолическая и конечная диастолическая скорости существенно не изменяются после приема пищи. Напротив, верхняя брыжеечная (ВМА) и нижняя брыжеечная (НМА) артерии имеют несколько ветвей, несущих кровоток к головке поджелудочной железы и мышечным тканям тонкой и толстой кишки. Изменения морфологии доплеровских волн в этих сосудах натощак и в постпрандиальном состоянии показаны в [таблице 13](#).

Таблица 13. Нормальные кривые брыжеечной артерии.

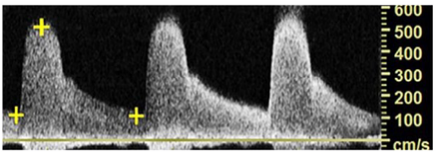
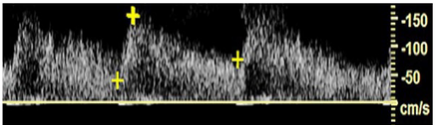
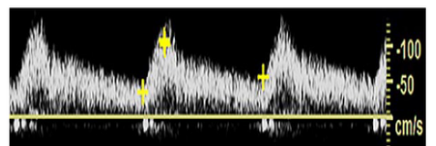
Физиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Нормальная глютенная болезнь (натощак или после приема пищи) Печень и селезенка имеют высокие метаболические потребности, которые удовлетворяются за счет постоянного прямого потока во время систолы и диастолы. Нормальная доплеровская кривая чревной артерии является антеградной, низкорезистивной и монофазной</p>	
<p>Нормальная SMA (натощак) Форма волны антеградная, с высоким сопротивлением и многофазная, с часто видимым ранним диастолическим реверсированием потока.</p>	
<p>Нормальная SMA (постпрандиальная) Скорость увеличивается как в систолу, так и в диастолу. Направление потока остается антеградным, но форма волны становится низкорезистивной и монофазной.</p>	

SMA, верхняя брыжеечная артерия.

Аномальные кривые мезентериальных артерий

Значительный стеноз в мезентериальных сосудах сопровождается изменениями доплеровской волны, наблюдаемыми в других сосудистых руслах: повышенные пиковые систолическая и диастолическая скорости, спектральное уширение и, в тяжелых случаях, может присутствовать длительный восходящий импульс ([таблица 14](#)). Окклюзию брыжеечной артерии следует подозревать, когда поток не может быть обнаружен в изображенной артерии после того, как средства управления ультразвуковой системой для спектральной и/или цветовой доплерографии были оптимизированы для медленного потока.

Таблица 14. Аномальные кривые брыжеечной артерии.

Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Чревный стеноз > 70 % Ограничивающий кровоток (диаметр > 70 %) чревный стеноз характеризуется PSV, превышающим 200 см/сек, и EDV, превышающим 55 см/сек. Доплеровская волна остается антеградной, низкорезистивной и монофазной.</p>	
<p>Целиакия сразу дистальнее стеноза ПСВ ухудшается, спектральное уширение присутствует, но направление и картина потока остаются антеградными, низкорезистивными и монофазными.</p>	
<p>Целиакия ниже по течению от стеноза, уменьшающего поток. В дистальном отделе скорость ухудшается еще больше, но картина потока становится более ламинарной. Доплеровская волна остается антеградной, низкорезистивной и монофазной.</p>	

<p>Окклюзия чревного ствола При окклюзии чревного ствола кровотоки в печень и селезенку поддерживаются через гастродуоденальную и общую печеночную артерии. Поток в этих коллатералях ретроградный, низкоскоростной и монофазный.</p>	
<p>Стеноз ВБА > 70% PSV > 275/сек и EDV > 45 см/сек. Форма волны остается антеградной, низкорезистивной и монофазной.</p>	

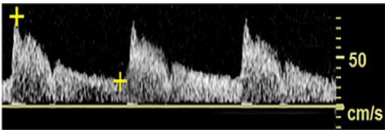
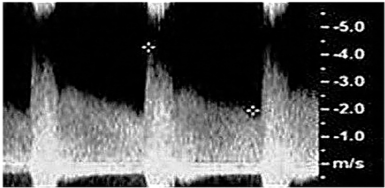
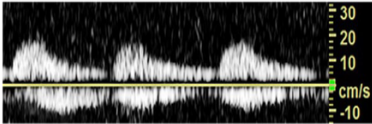
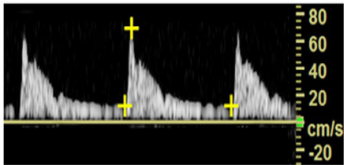
КДО, конечно-диастолическая скорость; PSV, пиковая систолическая скорость; SMA, верхняя брыжеечная артерия.

Существует несколько хорошо проверенных диагностических критериев для нижней брыжеечной артерии; [34](#), [35](#) однако доплеровская кривая будет имитировать кривую натошак, постпрандиальную и стенозированную верхнюю брыжеечную артерию с, чаще всего, более низкими пиковыми систолическими скоростями натошак и после приема пищи.

Нормальные кривые почечной артерии

Почки являются конечными органами с высокой потребностью в кровотоке, которые получают кровь из одной или нескольких почечных артерий. Допплеровская кривая будет демонстрировать быстрое движение вверх, острый пик и монофазную кривую с низким сопротивлением, соответствующую непрерывному диастолическому прямому потоку ([Таблица 15](#)).

Таблица 15 . Нормальные и аномальные формы волны почечной артерии.

<p>Физиологическое состояние и объяснение</p>	<p>Фигура сигнала</p>
<p>Нормальная почечная артерия Поток в нормальной основной и/или добавочной почечной артерии антеградный, низкорезистивный и монофазный.</p>	
<p>Патофизиологическое состояние и объяснение</p> <p>> 60% Стеноз почки Форма волны остается антеградной, низкорезистивной и монофазной при отсутствии стеноза дистального отдела почечной артерии или внутреннего паренхиматозного заболевания почки. Показанная здесь скорость составляет > 180 см/сек, что является широко используемым критерием стеноза почечной артерии.</p>	<p>Фигура сигнала</p> 
<p>Почечный ниже по течению от редуционного стеноза Антеградный, продолжительный восходящий, низкорезистивный и монофазный с низким PSV.</p>	
<p>Внутренняя паренхиматозная дисфункция почек (<i>медикаментозное заболевание почек</i>) Снижение диастолического потока, антеградное, высокое резистивное состояние, монофазное или многофазное.</p>	

PSV, пиковая систолическая скорость.

Аномальные кривые почечных артерий

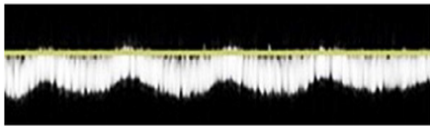
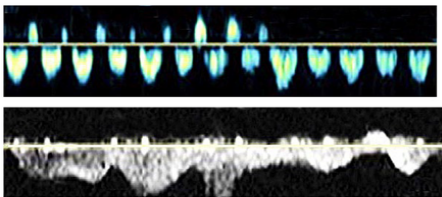
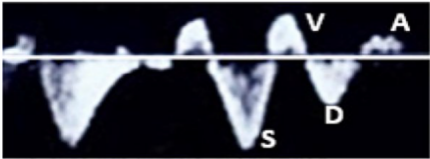
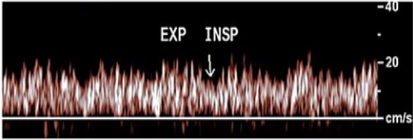
Кровоток через надпочечниковые или капсульные коллатерали можно обнаружить в прикорневых и паренхиматозных артериях у пациентов с окклюзией почечной артерии. Паттерн волны в этих сосудах будет антеградным, низкоомным, затухающим и монофазным ([Таблица 15](#)).

Сопротивление артериальному притоку к почечной паренхиме может быть результатом различных патологических процессов, включая, помимо прочего, накопление интерстициальной жидкости, гидронефроз, объемные поражения, острый тубулярный некроз и гломерулонефрит.

Брыжеечная, почечная, печеночная и портальная венозная циркуляция

Эти вены часто имеют уникальные схемы течения, которые подробно описаны в [Таблице 16](#)

Таблица 16 . **Нормальные кривые мезентериальной, почечной, печеночной и воротной вен.**

Физиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
<p>Брыжеечные вены: респирофазные Из-за удаленности от сердца респирофазный кровоток обычно наблюдается в брыжеечных венах.</p>	
<p>Почечная вена <i>Проксимальная часть вены</i> : из-за ее непосредственной близости к сердцу обычно наблюдается пульсирующий поток. <i>Дистальный отдел вены</i> : часто наблюдается респирофазный волнообразный паттерн без пульсации.</p>	
<p>Печеночная вена: пульсирующий поток Это демонстрирует две антеградные (т. е. S и D) волны и две ретроградные (т. е. V и A) волны. Зубец S отражает быстрое наполнение ПП в начале и середине систолы. Зубец D отражает быстрое заполнение ПП в раннюю диастолу. Зубец V отражает переполнение ПП в конце систолы желудочков. Зубец A отражает кратковременный реверс кровотока при сокращении правого предсердия.</p>	
<p>Воротная вена: гепатопетальный кровоток Антеградный кровоток по направлению к печени характеризуется низкоскоростным мягким дыханием и умеренными пульсирующими вариациями. Это происходит из-за того, что печеночный венозный поток передается обратно в воротную вену через печеночные синусоиды.</p>	

РА, правое предсердие.

Аномальные печеночные и портальные вены

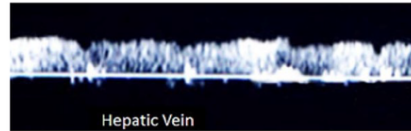
Аномалии сердца и печени, в том числе трансъюгулярные внутripеченочные портосистемные шунты, приводят к изменениям паттернов формы волны печени и воротной вены, как указано в [таблице 17](#) .

Таблица 17 . **Аномальные кривые брыжейки, почки, печени и воротной вены.**

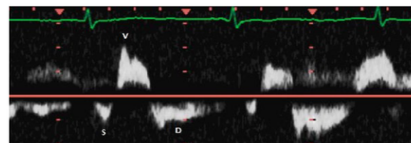
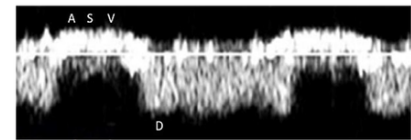
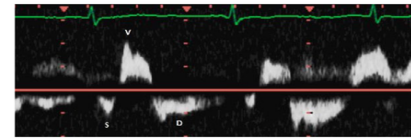
Патофизиологическое состояние и объяснение	Фигура сигнала
--	----------------

Патология печеночной вены

Изменение кровотока в печеночной вене и его характерных кривых может наблюдаться при различных сердечных, печеночных и сосудистых заболеваниях. Уменьшенная или отсутствующая фазность с обратным потоком (гепатопетальная) наблюдается при более центральной обструкции или компрессии (А). Выраженный зубец V и уменьшенный зубец S можно увидеть при TR и RVD (В). Зубец D часто больше, чем зубец S. Потеря антеградной S-волны с формированием комплекса ASV-волны при тяжелой ТР может привести к осциллирующему пульсирующему типу кровотока (С). Выраженный зубец А и уменьшенный зубец D могут наблюдаться при трикуспидальном стенозе и ограниченном наполнении предсердий (D). Уменьшенный или отсутствующий зубец А может наблюдаться при мерцательной аритмии и заболеваниях паренхимы печени.

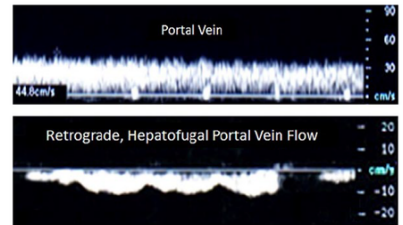


А. Б. В. Д.



Патология воротной вены

Портальная гипертензия вызывает притупление variability дыхания с последующим развитием двунаправленного кровотока, а затем явного ретроградного кровотока, направленного в сторону от печени и называемого гепатофугальным. Отмечается RVD и/или TR-видный пульсирующий поток. TIPS приводит к изменению направления потока с ретроградным потоком в правой и левой воротной вене и антеградным потоком в основной воротной вене.



РВД, дисфункция правого желудочка; TR, трикуспидальная регургитация; TIPS, трансъюгулярный внутрипеченочный портосистемный шунт.

Часть 3. Оптимизация сигнала

Цель: Предоставление методов оптимизации доплеровского датчика для улучшения качества и представления доплеровского спектрального сигнала и данных цветowego доплера.

ТОЧКА СОГЛАШЕНИЯ : Для получения качественных доплеровских волн для точной интерпретации следует использовать методы оптимизации.

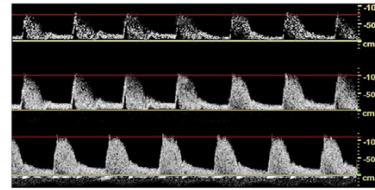
Оптимизация формы волны является неотъемлемой частью ультразвуковой доплерографии и играет жизненно важную роль в правильном создании и интерпретации спектральных форм волны и цветowych данных. Основные элементы для оптимизации изображения и потенциальные артефакты, которые могут возникнуть при выполнении ультразвуковой доплерографии, а также решения для улучшения качества изображения представлены в [Таблице 18](#).

Таблица 18 . Оптимизация формы доплеровского сигнала.

Доплеровские параметры и артефакты	Фигура сигнала
<p>PRF или шкала</p> <p>Waveform должны охватывать от половины до трех четвертей высоты доступного пространства для сообщения о скорости. Сигналы меньшего размера могут скрывать нюансы морфологии сигналов. Настройка шкалы с высокой скоростью может отображать только скорость с большой амплитудой, а скорость с низкой амплитудой может быть распознана как шум.</p>	
<p>Настенный фильтр</p> <p>Высокочастотные полосовые фильтры отфильтровывают низкочастотные доплеровские сдвиги, вызванные движением стенки сосуда и окружающих тканей (<i>артефакт движения, шум или скопление</i>). Высокие настройки могут исключать важную информацию о кривых (например, низкочастотные сдвиги, потерю реверсирования диастолического потока или появление плавающей кривой над базовой линией). Понижение настройки фильтра устранил эти проблемы.</p>	

Усиление

Правильная настройка усиления улучшает спектральную доплеровскую огибающую и окно. Настройки низкого усиления могут исключить ценные характеристики сигнала. Настройки с высоким коэффициентом усиления могут привести к артефактному расширению спектра, что может привести к переоценке PSV и EDV.



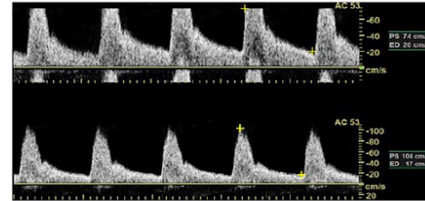
КДО, конечно-диастолическая скорость; PRF, частота повторения импульсов; PSV, пиковая систолическая скорость.

Доплеровские параметры и артефакты

Фигура сигнала

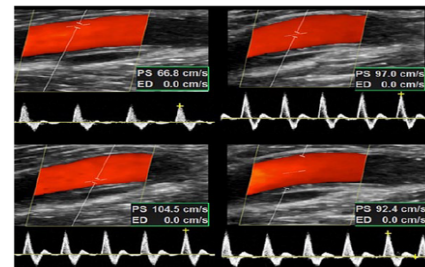
Артефакт

алиасинга Спектральный алиасинг возникает, когда скорость выборки превышает шкалу скорости. Если доплеровская шкала (PRF) слишком низкая, спектральный дисплей «зацикливается», создавая видимость обратного направления потока. Это можно исправить, увеличив шкалу скоростей (PRF), снизив базовую линию спектра или используя ультразвуковой преобразователь с более низкой частотой.



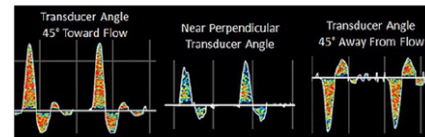
Размер и расположение доплеровских ворот (объем пробы)

Большая ширина доплеровских ворот (> 3,5 мм) или эксцентричное расположение ворот (прилегающих к стене) приводит к ложному спектральному уширению. Это можно исправить, установив спектральный строб в центр шириной ≤ 2 мм.



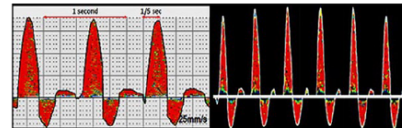
Угол наклона датчика непрерывного доплера

Оптимальный угол инсонирования между датчиком непрерывного доплера и сосудом обычно составляет около 45°. Внеосевые или перпендикулярные углы значительно ослабят кривую, допустят венозный артефакт из соседней вены или неточно отобразят кривую как обратный поток.



Скорость регистратора непрерывной доплеровской диаграммы

Время ускорения нормальной систолической кривой периферической артерии составляет примерно 0,20 с. Изменение скорости самописца ниже 25 см/с может изменить внешний вид сигнала.



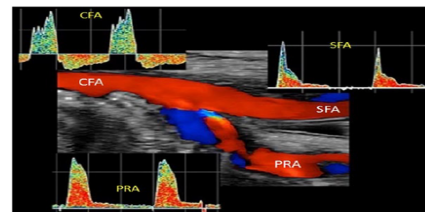
Поддержка датчика CW Doppler

Без поддержки карандашный датчик CW становится менее стабильным, его трудно поворачивать и он подвержен артефактам движения, особенно при использовании для оценки задней большеберцовой и тыльной артерий стопы. Контур формы волны может быть изменен, если датчик не закреплен должным образом и особое внимание уделяется положению датчика, чтобы предотвратить внеосевые или перпендикулярные углы озвучивания между датчиком и сосудом.



CW ошибочная идентификация CFA

Изменения в анатомии могут привести к неправильной идентификации SFA или PRA как CFA. Чтобы избежать этой ошибки, сдвиньте датчик медиально и латерально; если встречается второй артериальный сигнал, то доплеровский датчик находится ниже CFA и в пределах слияния SFA и PRA. Доплеровский датчик следует расположить проксимальнее, чтобы получить правильное местоположение образца CFA.



ОСА, общая сонная артерия; CFA, общая бедренная артерия; CW, непрерывная волна; PRA, глубокая артерия; PRF, частота повторения импульсов.

Часть 4: Интерпретация и отчетность

Цель: предоставить примеры интерпретации и отчетности для облегчения использования рекомендаций, изложенных в этом консенсусном документе.

ТОЧКА СОГЛАШЕНИЯ: Дескрипторы и модификаторы формы сигнала, измерения скорости и дескрипторы изображения являются результатами испытаний, а не интерпретациями. Чтобы быть клинически полезными для врача, назначающего исследование, интерпретирующий врач должен использовать данные испытаний, в том числе результаты формы волны, вместе с утвержденными диагностическими критериями для конкретного исследования, чтобы определить окончательную интерпретацию или заключение исследования сосудов.

1. Врач-сонограф завершит письменное описание ультразвукового исследования, включая показания к исследованию, соответствующий анамнез и соответствующие изображения, а также измерения скорости и описания формы волны. Стандартизированное описание кривых позволяет воссоздать кривую на словах, предоставляя полезную информацию, относящуюся к клиническим показаниям для исследования.

2. Заключение/интерпретация наиболее полезны для направляющего врача, если они включают не только диагностические данные, но также клинические показания и предшествующие соответствующие обследования.

Иллюстративные примеры приведены в дополнительных материалах, которые доступны онлайн вместе со статьей.

Резюме

Спектральная доплеровская оценка была основным диагностическим инструментом для неинвазивной диагностики заболеваний периферических артерий и вен с 1980-х годов. Отсутствие общепринятых, стандартизированных дескрипторов для артериальных и венозных доплеровских кривых было давним предметом споров и основной стимул для разработки этого согласованного заявления, которое является важным шагом на пути к прояснению и стандартизации ключевых определений и дескрипторов, присущих анализу артериальных и венозных доплеровских волн. Все врачи-интерпретаторы и специалисты по УЗИ должны уметь описывать доплеровские кривые, уметь идентифицировать изменения, происходящие с физиологическими и болезненными состояниями, и эффективно сообщать эти характеристики кривых врачам-интерпретаторам, чтобы направляющим врачам предоставлялась непротиворечивая информация. Это согласованное заявление описывает простую номенклатуру для описания артериальных и венозных доплеровских волн ([Таблица 1](#)), которая, как мы надеемся, устранил путаницу в отношении интерпретации доплеровских волн, которая преследовала эту область на протяжении десятилетий.

Заявление о конфликте интересов

Авторы заявили о следующих потенциальных конфликтах интересов в отношении исследования, авторства и/или публикации этой статьи: Патрисия По — консультант компании Philips Ultrasound. Никакие другие авторы не имеют каких-либо потенциальных конфликтов интересов, чтобы объявить.

Финансирование

Авторы не получали никакой финансовой поддержки для исследования, авторства и/или публикации этой статьи.