

Содержание

Глава 1

Функция артериальной системы.

Интерпретация сложных гемодинамических процессов.	9
1.1. Основы центральной гемодинамики.	10
1.2. Патофизиологические основы нарушений в системе микроциркуляции.	12
1.3. Функция артериальной системы.	
Механизмы регуляции гемодинамических (физиологических) процессов.	14
Механизмы регуляции движения крови по артериям.	18
Отраженные волны давления и их влияние на кровоток.	23
1.4. Фазовая структура кровотока. Гемодинамические механизмы регуляции, связь с функцией и диагностическое значение.	28
Фазовая структура коронарного кровотока.	29
Фазовая структура кровотока в периферических артериях.	36
Фазовая структура кровотока в почечных артериях.	40

Глава 2

Характеристика доплеровской кривой.

2.1. Качественная характеристика доплеровской кривой.	
Типы кровотока.	50
2.2. Количественная характеристика доплеровской кривой.	59
2.3. Профили скорости кровотока.	64
Ламинарный тип кровотока в крупных магистральных артериях.	64
Ламинарный тип кровотока в мелких магистральных артериях.	65
Турбулентный (неламинарный) тип кровотока.	67
Критерии, характеризующие турбулентный поток.	67
Наличие или отсутствие спектрального окна.	68

Глава 3

Интерпретация спектра артериального кровотока.

3.1. Физиологические механизмы регуляции периферического кровообращения.	69
Фазовая структура артериального кровотока при вазоконстрикции в сосудах с низким сопротивлением.	72
Фазовая структура артериального кровотока при вазодилатации в сосудах с низким сопротивлением.	74
Фазовая структура артериального кровотока при вазодилатации в сосудах с высоким сопротивлением.	76

<i>Фазовая структура артериального кровотока при нарушениях венозного оттока</i>	77
3.2. Влияние отраженной волны артериального давления на контур кривой объемного кровотока.	82
<i>Гармоника «давление — кровоток» как критерий нарушения периферического кровообращения</i>	85
3.3. Влияние работы сердца на форму доплеровской кривой.	89
3.4. Анализ доплеровской кривой артериального кровотока.	91
<i>Ранняя систола</i>	92
<i>Вершина, или пик кровотока</i>	95
<i>Поздняя систола. Нисходящий сегмент кровотока</i>	97
<i>Дикротическая инцизура</i>	99
<i>Диастолический кровоток в сосудах с низким сопротивлением</i>	103
3.5. Типы доплеровской кривой артериального кровотока в сосудах с низким периферическим сопротивлением.	109
3.6. Мозаичная картина кровотоков в различных сегментах почки.	119
<i>Локальные нарушения кровотока в почках</i>	120
3.7. Базальный кровоток и сосудистый тонус.	121
3.8. Реакция сосудистой системы паренхиматозных органов на повышение венозного давления и нарушение венозного оттока.	122
3.9. Индекс резистентности. Факторы, влияющие на величину индекса резистентности. Реверсивный диастолический кровоток.	123
<i>Интерстициальное давление и индекс сопротивления</i>	126
<i>Реверсивный диастолический кровоток</i>	131
<i>Стил-синдром, или сброс крови в почке по укороченному пути</i>	135

Глава 4

Основные гемодинамические принципы в диагностике сосудистых поражений. Формы спектров артериального кровотока	140
4.1. Турбулентный (неламинарный) тип кровотока.	140
4.2. Локальный стеноз.	142
<i>Объемный кровоток и скорость кровотока в месте стеноза</i>	143
<i>Доплеровский спектр артериального кровотока до и после стеноза</i>	144
<i>Доплеровский спектр артериального кровотока в зависимости от степени стеноза</i>	149
<i>Гемодинамические факторы в механизме развития стеноза и эмболии в системе внутренней сонной артерии</i>	151

<i>Спектр кровотока при стенозе почечной артерии.</i>	<i>152</i>
<i>Количественная оценка степени стенозов.</i>	<i>156</i>
4.3. Турбулентный тип кровотока вследствие извитости артерии.	158
<i>Извитость внутренней сонной артерии.</i>	<i>158</i>
<i>Извитость артерии трансплантированной почки.</i>	<i>159</i>
4.4. Артериовенозные фистулы.	160
4.5. Артериальные аневризмы.	161
4.6. Феномен обкрадывания.	162
 <i>Приложение</i>	
Основы доплерографии.	164
<i>Эффект Допплера, основные режимы излучения.</i>	<i>166</i>
<i>Доплеровские режимы исследования кровотока.</i>	<i>168</i>
<i>Доплеровский угол.</i>	<i>174</i>
<i>Оптимизация изображения в доплеровских режимах.</i>	<i>174</i>
<i>Артефакты при выполнении доплерографии.</i>	<i>181</i>
<i>Основные расчеты в доплерографии.</i>	<i>183</i>
<i>Основные положения доплерографии в вопросах и ответах.</i>	<i>185</i>
 Рекомендуемая литература.	 190

Глава 2

Характеристика доплеровской кривой

Дуплексный ультразвук достаточно хорошо разработан в современной практике ультразвуковых исследований. В последние годы границы применения доплеровского картирования намного расширились. Доплеровские методики используются не только для изучения внутрисердечной гемодинамики и периферической сосудистой системы, но и для исследования сосудов органов брюшной полости, скелетно-мышечной системы, а также в гинекологической, акушерской, педиатрической практике.

Требования. *Диагностическая ультразвуковая аппаратура должна обладать высокими пространственными и временными разрешающими способностями для получения качественных серошкальных, цветных и спектральных доплеровских изображений. Без сочетания серошкального изображения с доплеровскими исследованиями невозможно достоверно и своевременно проводить дифференциальную диагностику и оценивать результаты динамического контроля консервативной терапии и хирургического вмешательства.*

Рекомендация. *Ультразвуковое исследование необходимо начинать с выбора датчика — широкополосного конвексного с частотой 3,5–6,0 МГц или высокочастотного линейного с частотой от 7,5 до 10 МГц. Выбор датчика определяется глубиной залегания сосуда.*

Необходимо помнить, что чем выше частота датчика, тем меньше глубина проникновения ультразвуковой волны и тем ближе к поверхности должен находиться предполагаемый исследуемый сосуд.

Практические рекомендации. *Исследование кровотоков в паренхиматозных органах необходимо начинать с магистральных сосудов и только после этого переходить к регистрации кровотоков в сосудах мелкого диаметра. Последовательный, согласно рекомендации, мониторинг кровотоков в паренхиматозных органах — залог правильной диагностики.*

Для лучшей визуализации мелких сосудов рекомендуем сделать следующее:

- порог усиления цветного доплеровского изображения установить чуть ниже того уровня, при котором появляются артефакты изображения;
- зону интереса исследовать в режиме локального увеличения (для этого используются режимы RES или ZOOM);
- доплеровский угол корректировать после фиксации на мониторе оптимальных циклов доплерограмм.

Вначале необходимо зарегистрировать кривую кровотока и только после этого выставлять корректный угол (при этом автоматически калибруется шкала доплеровского спектра), а не в процессе исследования, как это очень часто делают на практике. Этот прием существенно сокращает время исследования и делает количественные измерения более объективными.

В клинической практике режимы доплеровского ультразвукового картирования (цветовой, энергетический и спектральный) необходимо использовать во всех случаях исследования сосудистой системы. Для оценки магистрального и регионального кровотока каждый из них несет полезную информацию, а необходимость и последовательность их применения определяется решением поставленных задач.

Режим цветового доплеровского картирования позволяет оценить:

- проходимость сосуда;
- сосудистую геометрию;
- наличие дефектов заполнения на цветовой картограмме;

- наличие зон турбулентности;
- характер распределения цветового паттерна.

Режим энергетического доплера дает представление о том, движется ли отраженный объект, без учета направления движения. При этом происходит усиление эффекта Допплера, но утрачивается возможность оценки направления потока и его количественных характеристик.

Данный режим позволяет:

- определить наличие движения потока крови независимо от доплеровского угла (при этом невозможно определить направления потока);
- качественно оценить поток крови по его интенсивности.

На практике режим энергетического доплера наиболее часто используют, чтобы определить наличие или отсутствие кровотока на участках с низкими скоростями или чтобы выявить ложный (не-кровяной) поток, такой как амниотическая или асцитическая жидкость и выбросы мочи из мочеточников в мочевого пузырь.

Необходимо помнить: цветовое и энергетическое доплеровское картирование дает только качественную оценку потока жидкости или крови. Эти режимы достаточно подробно рассматриваются в различных руководствах и монографиях, в то время как режиму спектральной доплерографии очень часто не уделяют должного внимания. В данном руководстве акцент поставлен на анализ доплеровских спектров артериального кровотока.

Исследование доплеровской кривой скорости кровотока предполагает распознавание образов всех форм кривой: от нормальных до тех форм, которые не соответствуют норме, даже если до конца не выяснено, почему те или иные физиологические или патологические реакции вызвали конкретное изменение кривой кровотока. Допплеровский спектр кровотока в магистральной артерии в норме, конечно же, изменяется в зависимости от функции органа, и не все характеристики имеют значение в каждом конкретном случае. Более того, признак, рассматривающийся как патологический в одном сосудистом регионе, может соответствовать норме в другом. Таким образом, характеристики доплеровских кривых кровотоков в артериях необходимо исследовать и анализировать в деталях и в конкретных клинических ситуациях.

Интерпретация полученных результатов опытным специалистом, безусловно, очень важна. Однако для большей объективности необходимо иметь определенный набор количественных показателей для осуществления обмена информацией между специалистами различных центров. Эти критерии должны быть основаны не только на экспертной оценке, которая зависит от умения оператора, но и на верифицированных количественных показателях, способных демонстрировать неуловимые (более тонкие) различия в формах кривых скорости кровотока.

2.1. Качественная характеристика доплеровской кривой. Типы кровотока

Режим спектральной доплерографии позволяет качественно и количественно оценить кровоток в магистральных и внутриорганных сосудах паренхиматозных органов. В клинической практике принято выделять сосуды с низким и высоким периферическим сопротивлением.

Качественная оценка доплеровской кривой вне зависимости от типов кровотока включает: форму кривой, спектральное окаймление, расположение монофазной кривой по отношению к базовой линии, спектральное расширение и спектральное окно (рис. 30).

Типичным примером сосудов с высоким сопротивлением являются сосуды верхних и нижних конечностей (рис. 31).

Некоторые сосуды артериального русла обладают способностью значительно изменять сопротивление, следовательно, они являются сосудами с переменным сопротивлением. К данной категории относятся сосуды брыжейки, сопротивление в которых увеличивается, если человек находится в состоянии голода, и, наоборот, значительно снижается после приема пищи. Эти артериолы расширяются для того, чтобы через них протекал больший объем крови в терминальные сосуды.

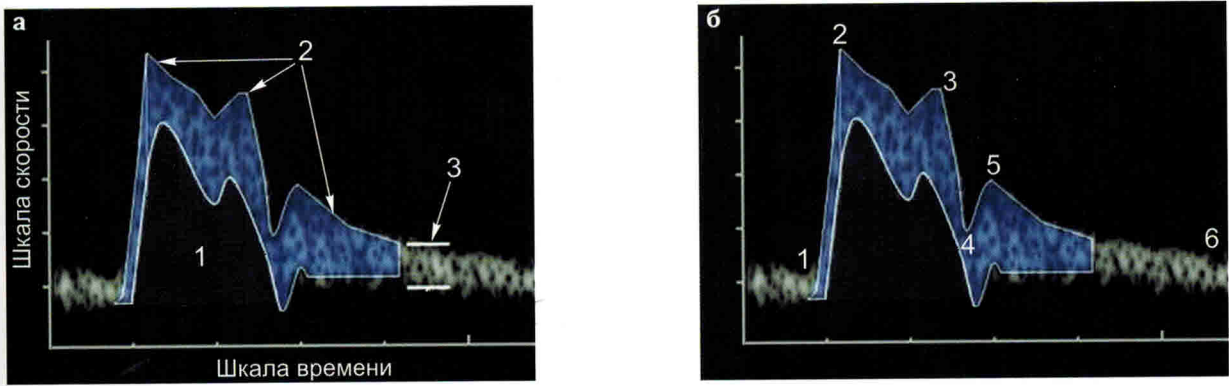


Рис. 30. Характеристики доплеровской кривой кровотока в артериях с низким периферическим сопротивлением [7]: а — характеристики спектра: 1 — спектральное окно; 2 — доплеровская кривая — огибающая спектра; 3 — спектральное расширение;

б — стандартно выделяемые точки при анализе доплеровской кривой (как и на кривой артериального давления): 1 — начало систолического выброса; 2 — максимальная, или пиковая, систолическая скорость; 3 — искажение нисходящего сегмента кровотока в позднюю систолу (эффект отраженной волны давления); 4 — дикротический зубец; 5 — дикротическая волна; 6 — конечная диастолическая скорость.

Комментарий к рисунку. Кровоток в артериях с низким периферическим сопротивлением — монофазный, пульсирующий, идентичный кривой артериального давления и располагается над базовой линией.

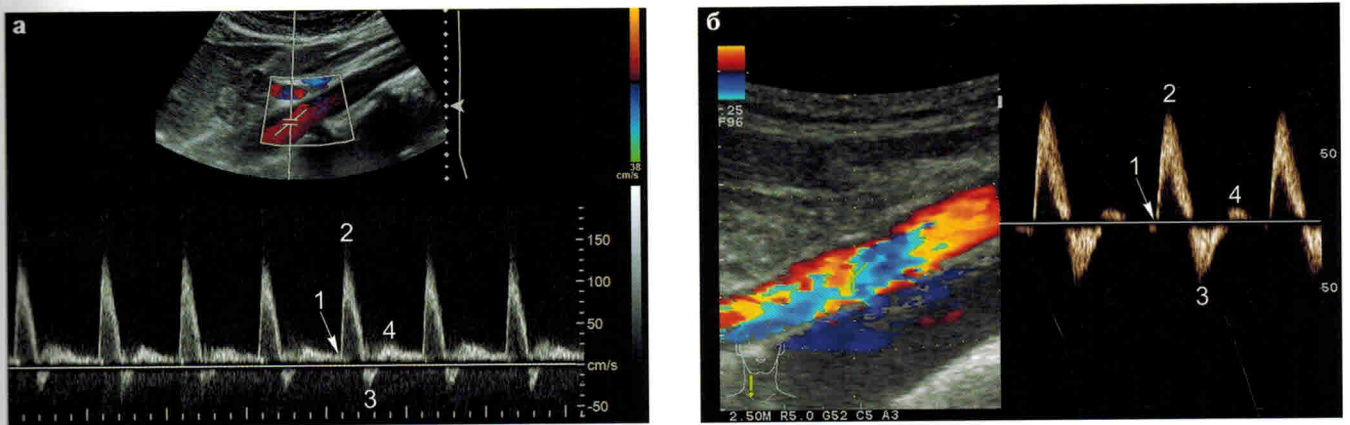


Рис. 31. Характеристики доплеровской кривой кровотока в артериях с высоким периферическим сопротивлением: а — спектр кровотока в брюшной аорте; б — спектр кровотока в общей бедренной артерии.

Обозначения: 1 — начало систолического выброса; 2 — максимальная систолическая скорость; 3 — ретроградная скорость; 4 — положительная диастолическая волна.

Комментарий к рисунку. Кровоток в артериях с высоким периферическим сопротивлением — разнонаправленный или трехфазный и характеризуется наличием: антеградного — положительного пика (2), ретроградного — отрицательного пика (3) и положительной диастолической волны (4).

Периферическое сопротивление играет важную роль в жизнедеятельности организма. Если бы не было сопротивления кровотоку, не было бы пульсирующего кровотока, не было бы ритмичного сокращения сердца и не было бы регуляции и перераспределения крови в организме человека в зависимости от физиологических потребностей. Сопротивление в артериях напрямую влияет на форму доплеровского спектра. Следовательно, форма спектра, соответствующая высокому сопротивлению, будет возникать при регистрации кровотока в сосудах с высоким сопротивлением, а формы, соответствующие низкому сопротивлению, возникнут в сосудах с низким периферическим сопротивлением. В артериях, которые захватывают большую зону кровоснабжения и являются началом для сосудов как с высоким, так и с низким сопротивлением, спектр может представлять собой последовательное наложение двух соответствующих спектров (рис. 32).

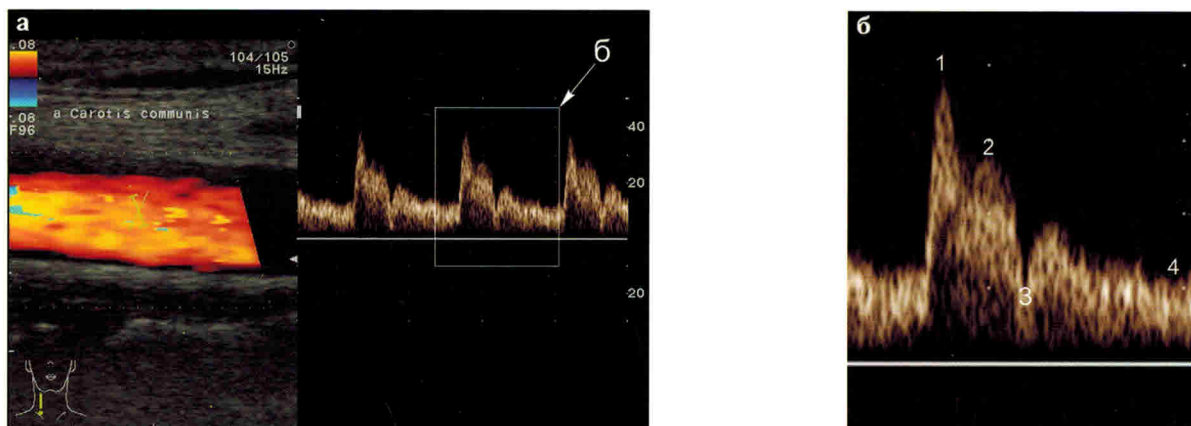


Рис. 32. Характеристики доплеровской кривой кровотока в артериях со смешанным периферическим сопротивлением (общая сонная артерия):

а — спектральная доплерография общей сонной артерии;

б — выделенный фрагмент рисунка (а) с увеличением: **1** — пиковая систолическая скорость кровотока (V_{ps}); **2** — искажения контура огибающей спектра; **3** — инцизура; **4** — конечная диастолическая скорость кровотока (V_{ed}).

Комментарий к рисунку. Доплеровский спектр в сосудах со смешанным сопротивлением характеризуется тем, что нижнее окаймление спектров кровотока приближается к базовой линии. Спектральное расширение имеет широкий разброс доплеровских частот, что указывает на присутствие бассейнов с низким и высоким периферическим сопротивлением.

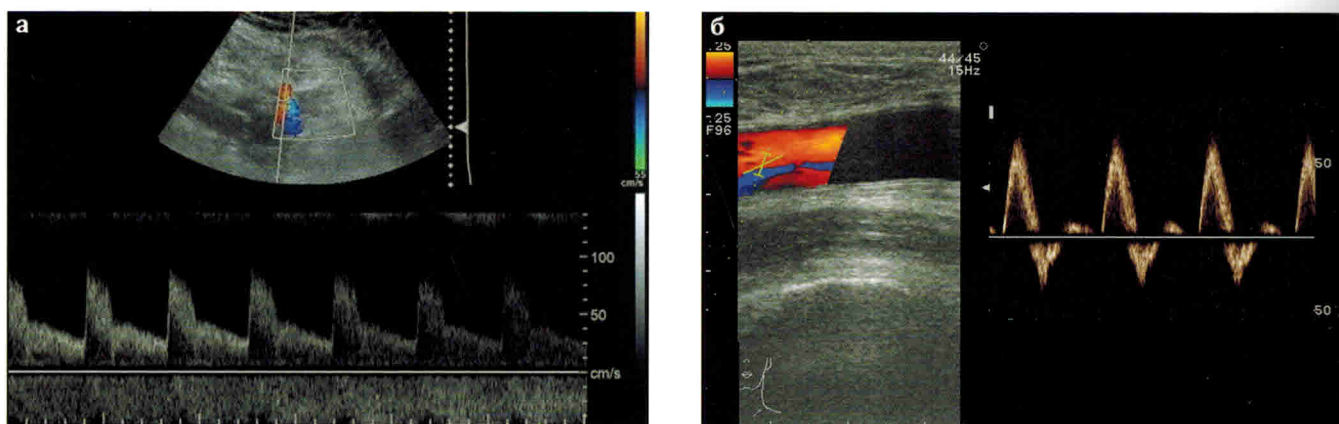


Рис. 33. Варианты доплеровских спектров кровотока в сосудах с различным сосудистым сопротивлением:

а — спектр кровотока в сосуде с низким периферическим сопротивлением (в почечной артерии);

б — спектр кровотока в сосуде с высоким периферическим сопротивлением (в общей бедренной артерии).

Хорошим примером для такого типа кровотока является общая сонная артерия, которая делится на внутреннюю сонную артерию — бассейн с низким сосудистым сопротивлением и наружную сонную артерию — бассейн с высоким сосудистым сопротивлением. Сосудистое сопротивление может изменяться в ответ на большое число различных физиологических и патологических состояний. В одних случаях включаются физиологические механизмы регуляции, которые способствуют вазодилатации. В других — низкое сосудистое сопротивление обусловлено наличием патологических сосудов с отсутствием мышечного слоя (нарушение неоангиогенеза) и выраженной гиперваскуляризацией.

Приступая к исследованию кровотоков в магистральных или внутриорганных сосудах, необходимо четко представлять, к какому типу кровотоков относится данный сосуд: к кровотокам с высоким или низким периферическим сопротивлением (рис. 33).

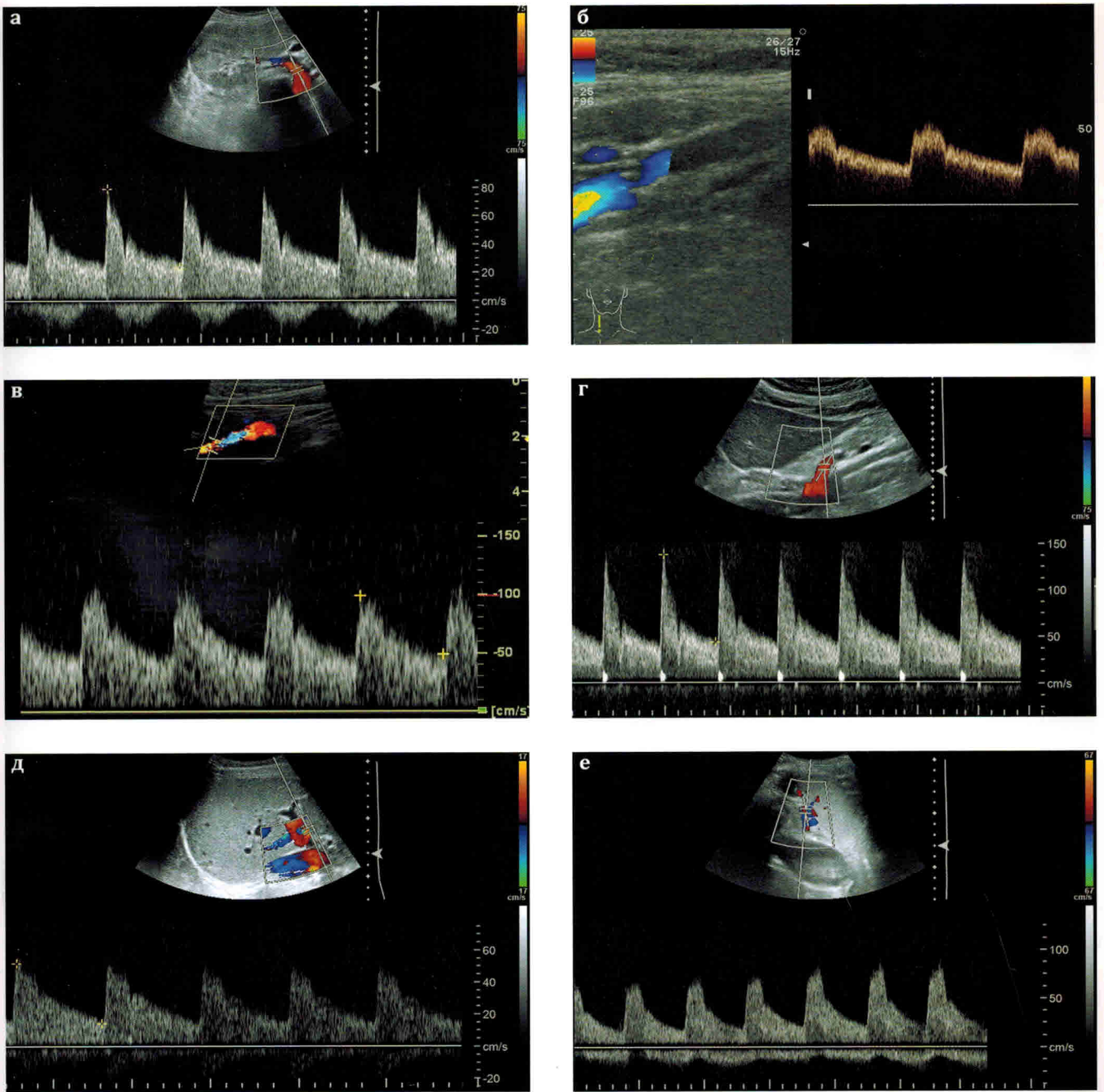


Рис. 34. Допплеровские спектры артериального кровотока в магистральных артериях с низким сопротивлением в различных анатомических регионах в норме:

а — в почечной артерии; **б** — во внутренней сонной артерии; **в** — в позвоночной артерии; **г** — в чревном стволе; **д** — в общей печеночной артерии; **е** — в селезеночной артерии.

В организме человека имеются магистральные сосуды, снабжающие кровью бассейны с ярко выраженным низким или с ярко выраженным высоким сосудистым сопротивлением, а также сосуды со смешанным и переменным сопротивлением.

Сосуды с низким сопротивлением располагаются в органах, для которых необходимо сохранение постоянного кровотока за весь период сердечного цикла, таких как головной мозг, почки, печень и т. д. К сосудам с низким сопротивлением относятся: почечные, внутренние сонные, позвоночные артерии, чревный ствол, общая печеночная, селезеночная артерия и их ветви (рис. 34).

Глава 4

Основные гемодинамические принципы в диагностике сосудистых поражений. Формы спектров артериального кровотока

4.1. Турбулентный (неламинарный) тип кровотока

Турбулентный поток может сформироваться за счет уменьшения диаметра сосудов (стеноз), за счет увеличения скоростей кровотока (извитость артерии, артериовенозный шунт) или за счет уменьшения вязкости крови.

Уменьшение диаметра сосуда может быть концентрическим — на всем протяжении сосуда или эксцентрическим — локальным.

Концентрическое поражение сосудов в основном наблюдается при сахарном диабете, характерной особенностью которого является обызвествление средней оболочки магистральных артерий крупного и среднего калибра, сопровождающееся выраженным снижением эластичности сосудистой стенки, так называемый склероз Менкеберга. Подобное морфологическое изменение сосудистой стенки делает ее менее податливой (сжимаемой). Данное обстоятельство необходимо учитывать при измерении артериального давления в сосудах голени. По этой причине давление в артерии может быть завышено. И в таких ситуациях к величине брахио-лодыжечного индекса необходимо относиться критически.

Другой особенностью является диабетическая микроангиопатия — генерализованное дегенеративное поражение дистального сосудистого русла и сосудов, ответственных за микроциркуляцию (артериол, капилляров, венул), а органами-мишенями служат сосуды сетчатки глаза, почек и нижних конечностей.

Прогрессивные морфологические изменения вязкоэластических свойств артериальной стенки с перераспределением соотношения «коллаген — эластин» приводят к уменьшению диаметра по протяжении артериального сосуда, снижению ее податливости и увеличению периферического сосудистого сопротивления. Скорость движения стенок и диаметр просвета сосуда уменьшаются. Буферная артериальная емкость снижается, что находит свое отображение на доплерограммах.

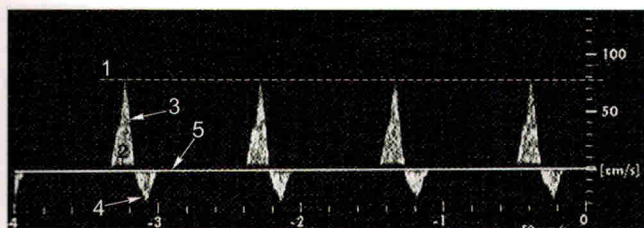


Рис. 116. Спектр артериального кровотока в задней большеберцовой артерии у пациента с диабетической ангиопатией: антеградный кровоток снижен (1), спектральное окно закрыто (2), нисходящая часть кривой спускается вертикально (3), время систолического выброса уменьшается, небольшой ретроградный пик (4), отсутствие диастолического компонента кровотока (5).

При исследовании кровотоков большеберцовых артерий голени пристальное внимание необходимо уделять изменениям на кривых спектра кровотока, особенно на начальных стадиях заболевания, еще до его клинического проявления. При сахарном диабете для сосудов с высоким периферическим сопротивлением начальными и характерными признаками являются изменения спектра кровотока в нисходящей части кривой, в ретроградном компоненте и антеградном диастолическом кровотоке (рис. 116).

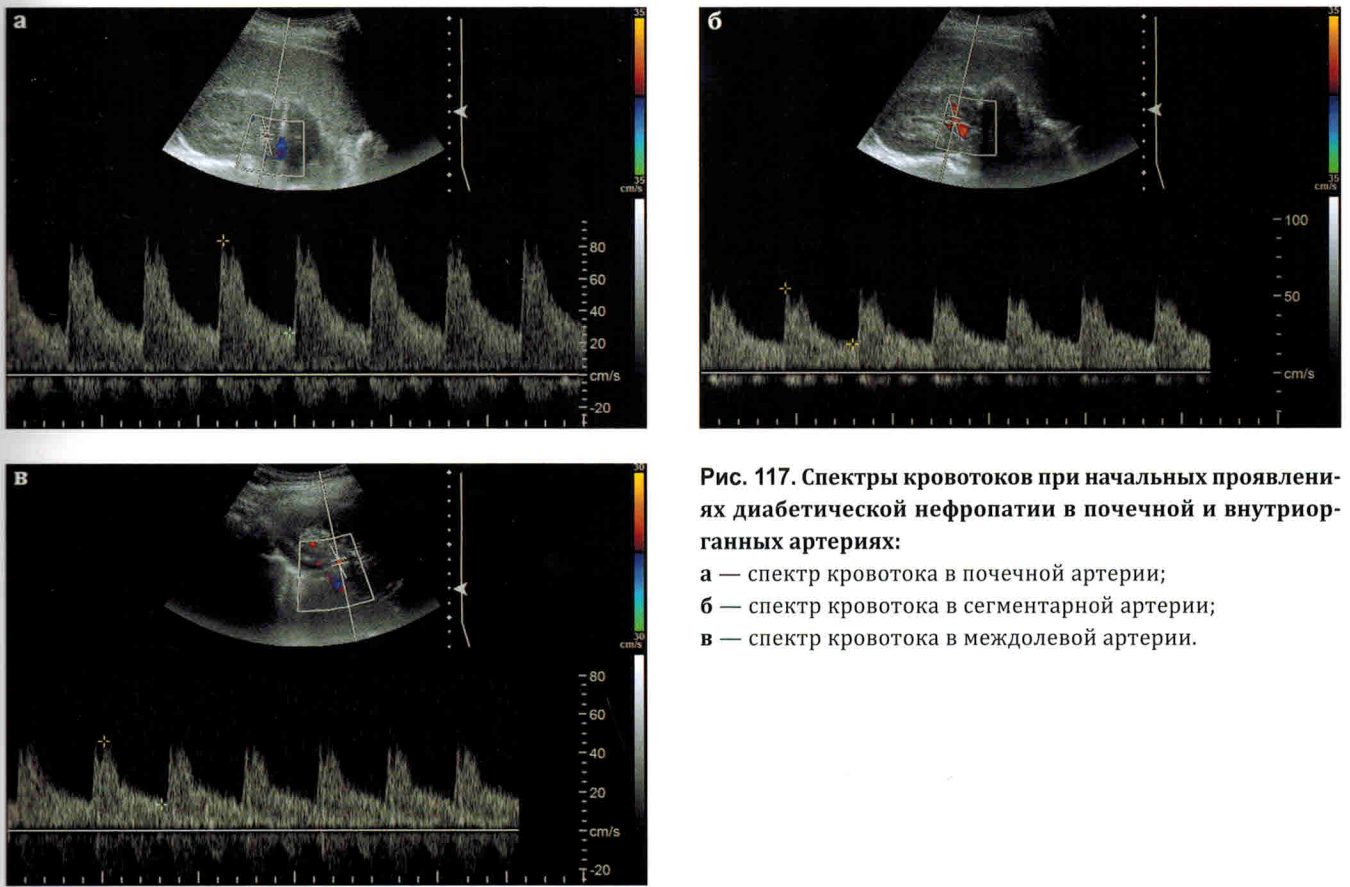


Рис. 117. Спектры кровотоков при начальных проявлениях диабетической нефропатии в почечной и внутривисерных артериях:

- а** — спектр кровотока в почечной артерии;
б — спектр кровотока в сегментарной артерии;
в — спектр кровотока в междольковой артерии.

При исследовании кровотоков в магистральных артериях нижних конечностей, особенно в большеберцовых артериях, необходимо обращать внимание на форму кривой кровотока. При сахарном диабете ранние и характерные признаки кровотока в сосудах с высоким периферическим сопротивлением проявляются на нисходящей части кривой кровотока:

- нисходящая часть кривой спускается вертикально (в норме кривая имеет вид равнобедренного треугольника),
- ретроградный пик уменьшается или полностью отсутствует,
- диастолический компонент кровотока исчезает,
- спектральное окно закрыто.

Эти изменения наблюдаются еще до клинического проявления основного заболевания.

Динамика изменений спектра кровотока в сосудах почек при сахарном диабете от начальных проявлений заболевания до терминальной стадии хронической почечной недостаточности показана на рисунках 117 и 118.

При сахарном диабете грозным осложнением основного заболевания является микроангиопатия, а излюбленными органами-мишенями — сосуды сетчатки глаза и почки.

Для диабетической микроангиопатии характерно концентрическое утолщение стенок не только мелких, но и более крупных сосудов, что приводит к ухудшению гемодинамики только в том бассейне, где возникают эти структурные морфологические изменения. На ранних стадиях развития патологических изменений в процесс вовлекается не вся сосудистая система паренхимы почки равномерно и одновременно. Поэтому диабетической микроангиопатии, особенно на ранних, доклинических стадиях заболевания, свойственны локальные нарушения кровотока в почках. В различных сегментах почки могут регистрироваться различные кривые кровотоков: от типичных нормальных спектров в неповрежденных сосудах до высокоскоростных кровотоков на участке их сужения. В постстенотическом сегменте артерии регистрируются типичные низкоскоростные и низкорезистентные спектры.

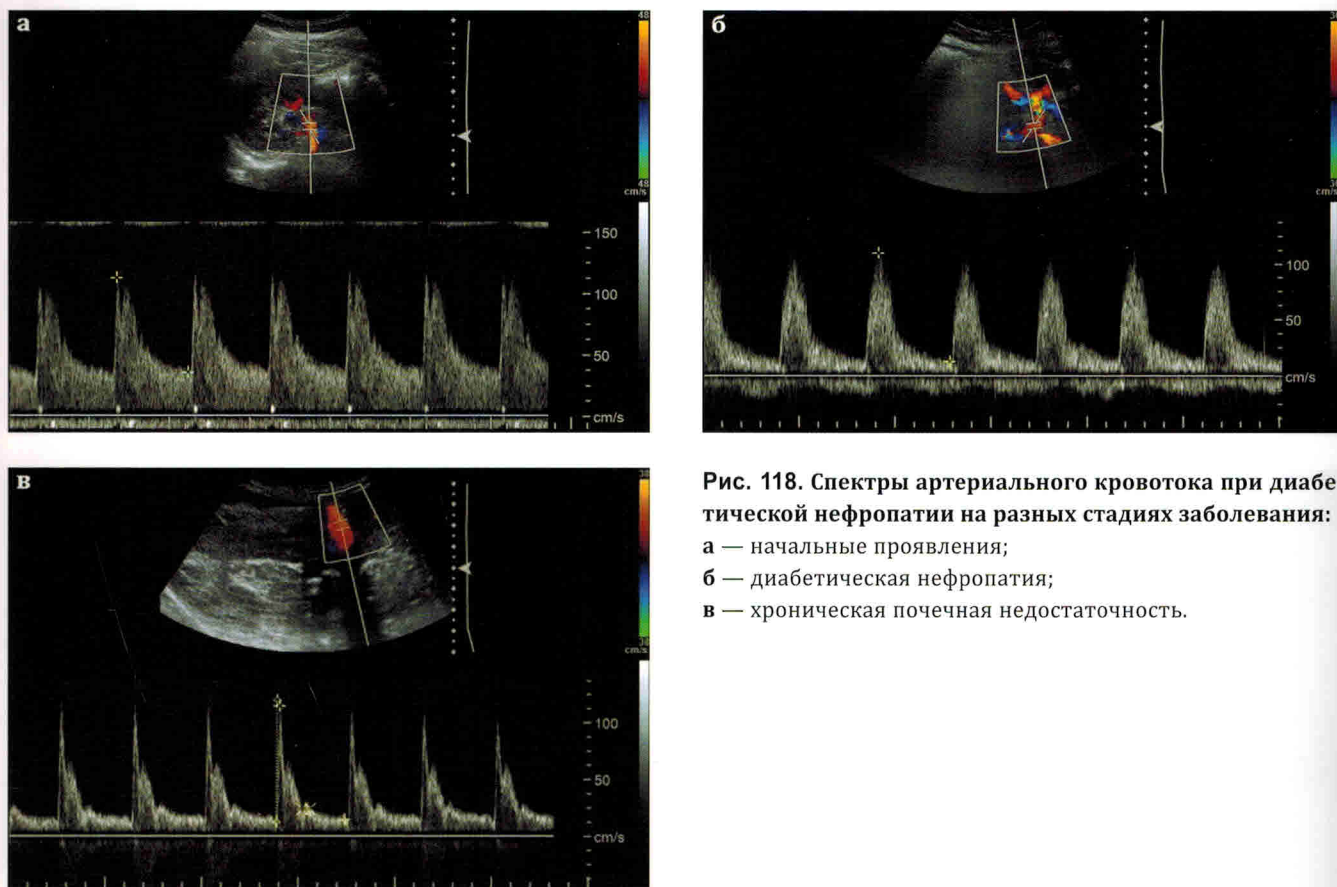


Рис. 118. Спектры артериального кровотока при диабетической нефропатии на разных стадиях заболевания:
 а — начальные проявления;
 б — диабетическая нефропатия;
 в — хроническая почечная недостаточность.

Локальным нарушениям и мозаичности внутриорганного почечного кровотока необходимо уделять пристальное внимание, так как нередко они — единственные доклинические проявления у пациентов с сахарным диабетом.

Заключительной стадией диабетической нефропатии является хроническая почечная недостаточность (вторично сморщенная почка), при которой наблюдаются выраженные изменения спектра кровотока на всех уровнях: от сегментарных до дуговых артерий. Изменения указывают на высокое периферическое сопротивление.

4.2. Локальный стеноз

Стенозы артерий могут возникать вследствие широкого спектра патологий. Наиболее распространенная причина стенозов — атеросклероз. Однако и наследственная предрасположенность, дисплазия артерий, артериит, извитость, тромбы, эмболы, сдавление окружающими тканями могут привести к образованию стеноза или полной окклюзии сосуда.

Центральные и местные гемодинамические факторы оказывают существенное влияние на периферическое кровообращение при окклюзирующих заболеваниях артериальных сосудов.

Хорошо известно, что местные гемодинамические расстройства определяются степенью сужения внутреннего просвета артерий, его протяженностью, неровностью внутренней поверхности атеросклеротической бляшки, симметричностью и соотношением площади поперечного сечения в месте стеноза к площади сечения неизмененного сосуда. Все эти факторы влияют на изменение скорости кровотока в месте стеноза, проксимальнее и дистальнее его, и, что более всего важно, при резко выраженных стенозах снижают объемный кровоток в зоне поражения сосуда.

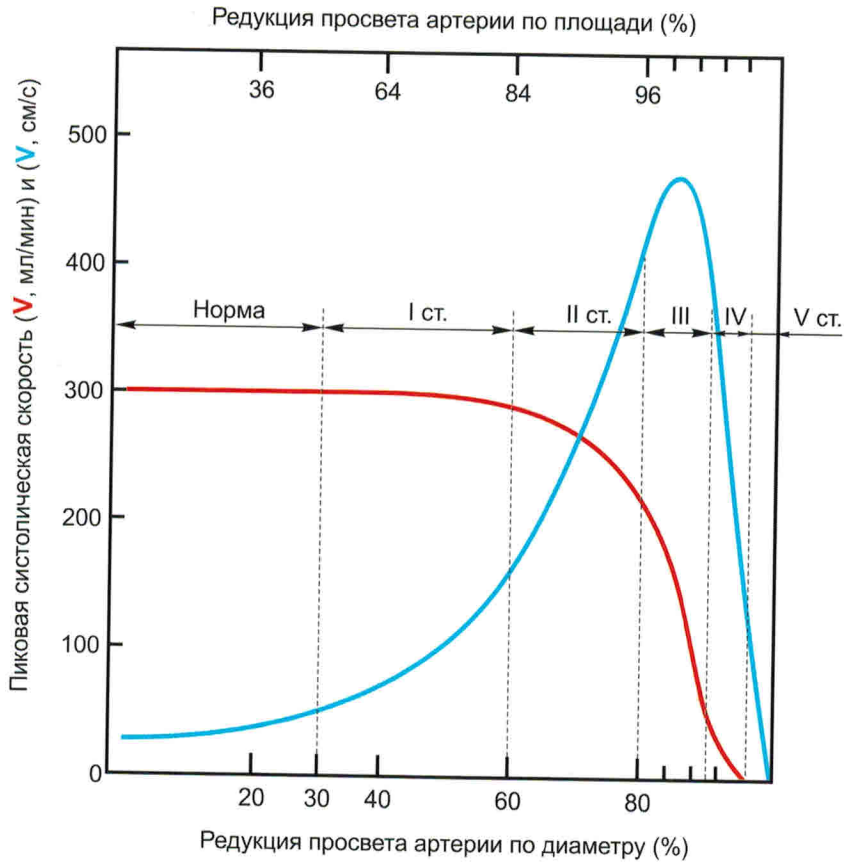


Рис. 119. Зависимость объемного кровотока (красная кривая) и линейной скорости кровотока (голубая кривая) от степени сужения просвета артерии относительно ее диаметра (схема Спенсера).

Объемный кровоток и скорость кровотока в месте стеноза

Поскольку объемный кровоток в исследуемой артерии остается постоянным, легко понять, почему скорость потока увеличивается в суженном сегменте (четырекратное увеличение скорости кровотока при 50%-ном стенозе).

Закон Хагена — Пуазейля:

$$Q = \frac{\Delta P \times \pi \times r^4}{8 \times L \times \eta},$$

где Q — объемная скорость кровотока; $\Delta P = P_1 - P_2$ — падение давления, то есть разность давлений на входе сосуда (P_1) и выходе (P_2), на расстоянии L ; r — радиус сосуда; η — вязкость крови.

Из закона следует, что падение давления крови в сосудах зависит от объемной скорости кровотока и в большей степени — от радиуса сосуда. Так, уменьшение радиуса на 20% приводит к падению давления более чем в 2 раза. Для того чтобы этот объем крови прошел через суженный участок за сердечный цикл, необходимо увеличение скорости потока. Становится очевидным, что чем меньше диаметр сосуда, тем больше скорость кровотока в зоне стеноза. Увеличение скорости в свою очередь приводит к падению давления в области сужения, которая нормализуется в постстенотической зоне, т. е. ниже стеноза.

Поэтому объемный кровоток за один сердечный цикл косвенно можно оценить по площади под огибающей кривой спектра. Этот простой прием оказывается достаточным для понимания изменения формы кривой сигнала кровотока (огибающей кривой спектра). На рисунке 119 представлено влияние стенозов различной степени на объемный кровоток и скорость потока через суженный просвет артерии (схема Спенсера).

При увеличении степени сужения просвета сосуда скорость кровотока в артериях начинает возрастать, но объемный кровоток практически не изменяется до тех пор, пока диаметр сосуда не умень-

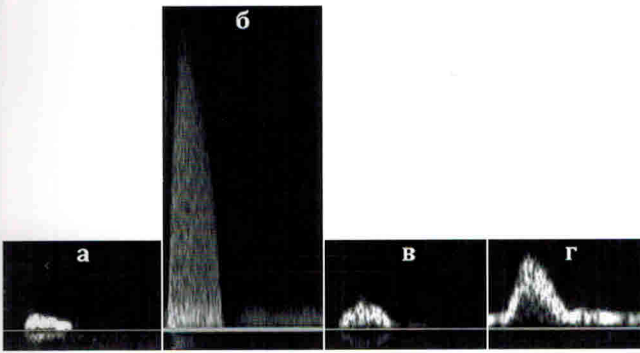


Рис. 120. Спектр кровотока в зависимости от локализации зоны исследования при стенозе сосудов с высоким периферическим сопротивлением: а — престеноотический; б — зона стеноза; в — постстеноотический; г — дистальнее стеноза (низкорезистивный).

как «струи крови», или «капающие потоки». Классификация стенозов по степени уменьшения диаметра обычно основана на измерении линейной скорости кровотока. Следовательно, учитывая вышеописанные обстоятельства, критерии, основанные на измерении линейной скорости кровотока, нельзя применять для оценки степени резко выраженных и критических стенозов. В этом случае диагноз ставится на основании исследования в режиме цветового и энергетического доплеровского картирования.

Допплеровский спектр артериального кровотока до и после стеноза

Критические стенозы и окклюзии изменяют пульсирующие колебания давления и кровотока, блокируя сигналы высоких частот и притупляя амплитуду.

На рисунке 120 показаны спектры кровотоков, которые были получены перед стенозированным участком (рис. 120а), в зоне стеноза (рис. 120б), непосредственно за стенозом (рис. 120в) и в некотором удалении от места сужения просвета (рис. 120г) в сосудах с высоким периферическим сопротивлением. На рисунке 121 представлены спектры в аналогичных зонах, полученные при исследовании сосудов с низким периферическим сопротивлением

Как правило, критические стенозы, или так называемые гемодинамически значимые стенозы, но чаще всего окклюзии, приводят к резкому снижению и демпфированию доплеровского сигнала непосредственно перед участком поражения. Это связано с тем, что вся кинетическая энергия потока крови реализуется в высокое давление, а линейная скорость кровотока существенно снижается. У места препятствия возникает зона высокого артериального давления и низкого кровотока.

И наоборот, в зоне стеноза давление существенно ниже, чем в престеноотической зоне. Поэтому за счет выраженного градиента давления между этими участками в зоне стеноза формируется поток с высокой систолической скоростью и образуется дезорганизованный и турбулентный поток.

В постстеноотической зоне непосредственно за стенозом турбулентный поток приводит к резкому снижению амплитуды доплеровского сигнала и его демпфированию. Пиковая систолическая скорость резко снижается, вершина огибающей кровотока становится плоской, сглаженной и теряет остроконечную вершину. Время раннего систолического ускорения и индекс ускорения увеличиваются.

Таким образом, в непосредственной постстеноотической области высота спектра доплеровского сигнала уменьшается, но спектральное расширение увеличивается с нечетким внешним окаймлением спектра, спектральная мощность снижается в сторону низких и отрицательных частот, относящихся к обратному потоку и преобладающих в систолу. Формируются остроконечные систолические пики («спайки»), пересекающие базовую линию, так называемый реверсивный компонент кровотока.

шится до степени, соответствующей «гемодинамически значимому стенозу». Во многих сосудах такой критической величиной является сужение просвета сосуда более чем на 50% от его диаметра, при которой, несмотря на увеличение линейной скорости кровотока, происходит постепенное снижение объемного кровотока. При стенозах более 75% наблюдается резкое и значительное снижение объемного кровотока, несмотря на высокую линейную скорость. Максимум скорости достигается при стенозах 85%. Однако скорость кровотока не может возрастать бесконечно. Дальнейшее сужение просвета сосуда приводит к быстрому снижению скорости. Когда стеноз критически увеличивается (более 85%), потеря кинетической энергии на этом участке за счет высокого сопротивления сокращает поток крови с сопутствующим падением скорости. Такие низкоскоростные потоки иногда обозначают

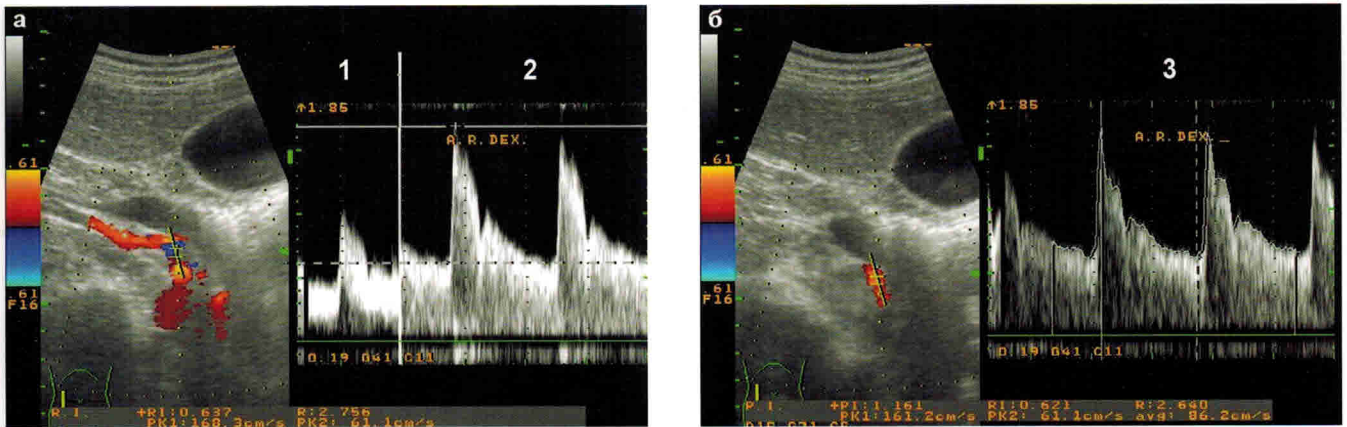


Рис. 121. Спектр кровотока в зависимости от локализации зоны исследования при стенозе сосудов с низким периферическим сопротивлением: **а**, зона 1 — престенотическая зона: $V_{ps} = 0,82$ м/с, $RI = 0,57$; **а**, зона 2 — зона стеноза: $V_{ps} = 1,9$ м/с, $RI = 0,77$; **б**, зона 3 — постстенотическая зона: $V_{ps} = 0,78$ м/с, $RI = 0,56$.

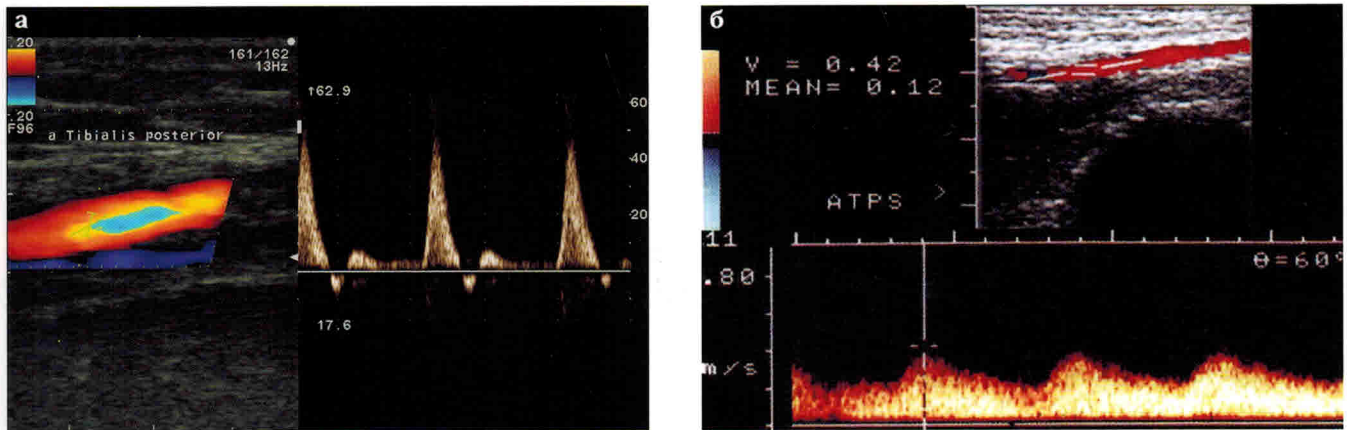


Рис. 122. Особенности изменений в спектрах артериального кровотока дистальнее выраженного стеноза в бассейнах с высоким периферическим сопротивлением: **а** — спектр кровотока в бедренной артерии в норме; **б** — спектр кровотока в бедренной артерии дистальнее выраженного стеноза: изменения очевидны, повторяемы и воспроизводимы.

На достаточном удалении от места стеноза профиль кровотока обычно восстанавливается и приобретает организованное и ламинарное течение.

Спектры артериального кровотока в сосудах с высоким и низким периферическим сопротивлением на достаточном удалении от места стеноза имеют свои особенности.

Особенности изменений в спектрах артериального кровотока в бассейнах с высоким и низким сопротивлением дистальнее выраженного стеноза

При регистрации кровотоков дистальнее выраженного стеноза или окклюзии в сосудах с высоким и низким периферическим сопротивлением изменения в спектрах артериального кровотока имеют свои особенности. Изменения затрагивают как систолический, так и диастолический компонент кровотока. Поэтому в сосудах с высоким периферическим сопротивлением, например в сосудах нижних конечностей, изменения по сравнению с нормальным кровотоком более очевидны, повторяемы, воспроизводимы и постоянны. Эти изменения выражаются в увеличении ширины систолического пика, отсутствии ретроградного пика и наличии положительного кровотока на протяжении всей диастолы. Регистрируется так называемый коллатеральный кровоток. Наблюдаются четкие различия между нормальным трехфазным и монофазным коллатеральным кровотоками (рис. 122).