

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСУДОВ

Таджиева Фотима Нуъмонжонова.

Врач УЗД Самаркандского филиала РНЦЭМП

Сердечно-сосудистая система состоит из сердца и сосудов – артерий, артериол, капилляров, венул и вен, артерио-венозных анастомозов. Транспортная функция ее заключается в том, что сердце обеспечивает продвижение крови по замкнутой цепи сосудов – эластических трубок различного диаметра. Объем крови у мужчин составляет 77 мл/кг веса (5,4 л), у женщин – 65 мл/ кг веса (4,5 л). Распределение общего объема крови: 84% – в большом круге кровообращения, 9 % – в малом круге кровообращения, 7% — в сердце [1, 2, 5].

Выделяют артерии:

Эластического типа (аорта, легочная артерия).

Мышечно-эластического типа (сонные, подключичные, позвоночные).

Мышечного типа (артерии конечностей, туловища, внутренних органов). Вены:

Волокнистого типа (безмышечные): твердой и мягкой мозговых оболочек (не имеют клапанов); сетчатки глаза; костей, селезенки, плаценты.

Мышечного типа:

а) со слабым развитием мышечных элементов (верхняя полая вена и ее ветви, вены лица и шеи);

б) со средним развитием мышечных элементов (вены верхних конечностей);

в) с сильным развитием мышечных элементов (нижняя полая вена и ее ветви, вены нижних конечностей). Строение стенок сосудов, как артерий, так и вен, представлено следующими составляющими: интима – внутренняя оболочка, медиа

– средняя, адвентиция – наружная. Все кровеносные сосуды выстланы изнутри слоем эндотелия. Во всех сосудах, кроме истинных капилляров, имеются эластичные,

коллагеновые и гладкомышечные волокна. Их количество в разных сосудах различное.

В зависимости от выполняемой функции выделяют следующие группы сосудов:

Амортизирующие сосуды – аорта, легочная артерия. Высокое содержание эластических волокон в этих сосудах обуславливает амортизирующий эффект, заключающийся в сглаживании периодических систолических волн.

Резистивные сосуды – конце- вые артериолы (прекапилляры) и, в меньшей степени, капилляры и ве- нулы. Они имеют малый просвет и толстые стенки с развитой гладкой мускулатурой, оказывают наиболь- шее сопротивление кровотоку.

Сосуды-сфинктеры – терми- нальные отделы прекапиллярных ар- териол. От сужения или расширения сфинктеров зависит число функцио- нирующих капилляров, то есть пло- щадь обменной поверхности.

Обменные сосуды – капилля- ры. В них происходят процессы диф- фузии и фильтрации. Капилляры не способны к сокращениям, их диа- метр изменяется пассивно вслед за колебаниями давления в пре- и по- сткапиллярных резистивных сосудах и сосудах-сфинктерах.

Емкостные сосуды – это глав- ным образом вены. Благодаря вы- сокой растяжимости вены способны вмещать или выбрасывать большие объемы крови без существенных из- менений параметров кровотока, в связи с этим они играют роль депо крови.

Шунтирующие сосуды – арте- рио-венозные анастомозы. Когда эти сосуды открыты, кровоток через капилляры либо уменьшается, либо полностью прекращается [1, 2, 5].

Гемодинамические основы. Течение крови по сосудам Движущей силой кровотока яв-

ляется разница давления между различными отделами сосудистого русла. Кровь течет из области вы- сокого давления к области низкого давления, из артериального отдела с высоким давлением в венозный отдел с низким давлением. Этот градиент давления преодолевает гидродинамическое сопротивление, обусловленное внутренним трением между слоями жидкости и между жидкостью и стенками сосуда, ко- торое зависит от размеров сосуда и вязкости крови.

Течение крови через какой-либо участок сосудистой системы можно описать формулой объемной скоро- сти кровотока. Объемная скорость кровотока – это объем крови, проте- кающий через поперечное сечение сосуда в единицу времени (мл/с). Объемная скорость кровотока Q от- ражает кровоснабжение того или иного органа.

$Q = (P_2 - P_1) / R$, где Q – объемная скорость кровотока, $(P_2 - P_1)$ – раз- ность давлений на концах участка сосудистой системы, R – гидродина- мическое сопротивление.

Объемную скорость кровотока можно вычислить, исходя из линей- ной скорости кровотока через попе- речное сечение сосуда и площади этого сечения:

$$Q = V \cdot S,$$

где V – линейная скорость кровотока через поперечное сечение сосуда, S – площадь поперечного сечения сосуда.

В соответствии с законом непрерывности потока объемная скорость кровотока в системе трубок различного диаметра постоянна независимо от поперечного сечения трубки. Если через трубки протекает жидкость с постоянной объемной скоростью, то скорость движения жидкости в каждой трубке обратно пропорциональна площади ее поперечного сечения:

$$Q = V_1 \cdot S_1 = V_2 \cdot S_2.$$

Вязкость крови – это свойство жидкости, благодаря которому в ней возникают внутренние силы, влияющие на ее течение. Если текучая жидкость соприкасается с неподвижной поверхностью (например, при движении в трубке), то слои жидкости перемещаются с различными скоростями. В результате между этими слоями возникает напряжение сдвига: более быстрый слой стремится вытянуться в продольном направлении, а более медленный задерживает его. Вязкость крови определяется прежде всего форменными элементами и, в меньшей степени, белками плазмы. У человека вязкость крови равна 3–5 отн.ед., вязкость плазмы – 1,9–2,3 отн. ед. Для кровотока имеет большое значение тот факт, что вязкость крови в некоторых отделах сосудистой системы меняется. При низкой скорости кровотока вязкость увеличивается более чем до 1000 отн. ед.

В физиологических условиях почти во всех отделах кровеносной системы наблюдается ламинарное течение крови. Жидкость движется как бы цилиндрическими слоями, причем все частицы ее перемещаются только параллельно оси сосуда. Отдельные слои жидкости перемещаются относительно друг друга, причем слой, непосредственно прилегающий к стенке сосуда, остается неподвижным, по этому слою скользит второй слой, по нему – третий и так далее. В результате образуется параболический профиль распределения скоростей с максимумом в центре сосуда. Чем меньше диаметр сосуда, тем ближе центральные слои жидкости к его неподвижной стенке и тем больше они тормозятся в результате вязкостного взаимодействия с этой стенкой. Вследствие этого в мелких сосудах средняя скорость кровотока ниже. В крупных сосудах центральные слои расположены дальше от стенок, поэтому по мере приближения к продольной оси сосуда эти слои скользят относительно друг друга со все большей скоростью. В результате средняя скорость кровотока значительно возрастает [2].

При определенных условиях ламинарное течение превращается в турбулентное, для которого характерно наличие завихрений, в которых частички жидкости перемещаются не только параллельно оси сосуда, но и перпендикулярно ей. При турбулентном течении объемная скорость кровотока

пропорциональ- на не градиенту давления, а квадрат- ному корню из нее. Для увеличения объемной скорости вдвое необходи- мо повысить давление примерно в 4 раза. Поэтому при турбулентном кровотоке нагрузка на сердце значи- тельно увеличивается. Турбуленция потока может возникать вследствие физиологических причин (расши- рение, бифуркация, изгиб сосуда), но часто является и признаком па- тологических изменений, таких как стеноз, патологическая извитость и др. При возрастании скорости кро- вотока или снижении вязкости крови течение может стать турбулентным во всех крупных артериях. В области извитости профиль скорости деформируется за счет ускорения частиц, движущихся по наружному краю сосуда, минимальная скорость дви- жения отмечается в центре сосуда, профиль скорости имеет двояковы- пуклую форму. В зонах бифуркаций частицы крови отклоняются от пря- молинейной траектории, образуют завихрения, профиль скорости упло- щается.

Методы ультразвукового исследования сосудов

Ультразвуковая спектральная доплерография (УЗДГ) – оценка спектра скоростей кровотока.

Дуплексное сканирование – режим, при котором одновременно используются В-режим и УЗДГ.

Триплексное сканирование – одновременно применяются В-ре- жим, цветное доплеровское карти- рование (ЦДК) и УЗДГ.

Цветовое картирование осу- ществляется путем цветового ко- дирования различных физических характеристик движущихся частиц крови. В ангиологии используется термин ЦДК по скорости (ЦДКС). ЦДКС обеспечивает формирова- ние в реальном времени обычного двумерного изображения в серой шкале, на которое накладывается информация о доплеровском сдви- ге частот, представленная в цвете. Положительный сдвиг частот при- нято представлять красным цветом, отрицательный – синим. При ЦДКС

кодирование направления и скоро- сти потока тонами различного цвета облегчает поиск сосудов, позволяет быстро дифференцировать артерии и вены, проследить их ход и распо- ложение, судить о направлении кро- вотока [1, 2].

ЦДК по энергии дает информа- цию об интенсивности потока, а не о средней скорости элементов по- тока. Особенность энергетическо- го режима – возможность получать изображение мелких, разветвлен- ных сосудов, которые, как правило, не визуализируются при ЦДК.

Принципы ультразвукового исследования артерий в норме

В-режим: просветы сосудов име- ют эхонегативную структуру и ров- ный контур внутренней стенки.

В режиме ЦДК необходимо учитывать следующее: шкала скорости кровотока должна соответствовать диапазону скоростей, характерных для исследуемого сосуда; величина угла между анатомическим ходом сосуда и направлением ультразвукового луча датчика должна составлять 90 градусов и более, что обеспечивается изменением плоскости сканирования и общего угла наклона ультразвуковых лучей с помощью прибора.

В режиме ЦДК по энергии определяется равномерное однородное окрашивание потока в просвете артерии с четкой визуализацией внутреннего контура сосуда.

При анализе спектра доплеровского сдвига частот (СДСЧ) контрольный объем устанавливается в центр сосуда так, чтобы угол между ультразвуковым лучом и анатомическим ходом сосуда составлял менее 60 градусов.

При изучении изображения артерии в в-режиме оцениваются следующие показатели:

- проходимость сосуда (проходим, окклюзирован);
- геометрия сосуда (прямолинейность хода, наличие деформаций);
- величина пульсации сосудистой стенки (усиление, ослабление, отсутствие);
- диаметр сосуда;
- состояние сосудистой стенки (толщина, структура, однородность);
- состояние просвета сосуда (наличие атеросклеротических бляшек, тромбов, расслоения, артерио-венозных соустьев и др.);
- состояние периваскулярных тканей (наличие патологических образований, зон отека, костных компрессий). При изучении изображения артерии в режиме ЦДК оцениваются:
- проходимость сосуда;
- сосудистая геометрия;
- наличие дефектов заполнения на цветовой картограмме;
- наличие зон турбулентности;
- характер распределения цветового паттерна.



Рис. 1. Магистральный тип кровотока. Общая сонная артерия

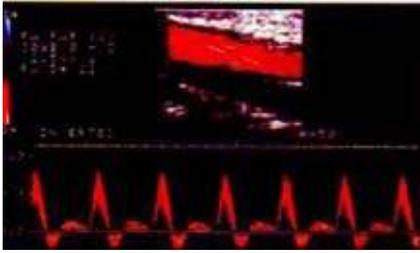


Рис. 2. Магистральный тип кровотока. Общая бедренная артерия

Рис. 3. Магистрально-измененный тип кровотока. Подколенная артерия

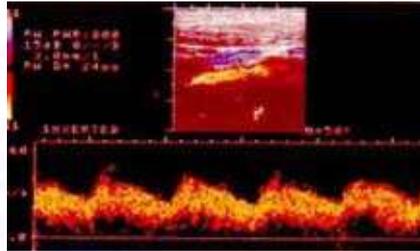


Рис. 4. Коллатеральный тип кровотока. Подколенная артерия при проведении УЗДг оцениваются качественные и количественные параметры.

Качественные параметры:
форма доплеровской кривой,
наличие спектрального окна.

Количественные параметры:

пиковая систолическая скорость кровотока (S);

конечная диастолическая скорость кровотока (D);

усредненная по времени максимальная скорость кровотока (TAMX);

усредненная по времени средняя скорость кровотока (Fmean, TAV);

индекс периферического сопротивления, или индекс резистивности, или индекс Pource-lot (RI). $RI = \frac{S - D}{S}$;

пульсационный индекс, или индекс пульсации, или индекс Gosling (PI). $PI = \frac{S - D}{Fmean}$;

индекс спектрального расширения (SBI). $SBI = \frac{S - Fmean}{S} \times 100\%$;

систола-диастолическое соотношение (SD).

Спектрограмму характеризует множество количественных показателей, однако большинство исследователей предпочитают анализ доплеровского спектра на основе не абсолютных, а относительных индексов [2].

Существуют артерии с низким и высоким периферическим сопротивлением. В артериях с низким периферическим сопротивлением (внутренние сонные, позвоночные, общие и наружные сонные артерии,

интракраниальные артерии) на доплерографической кривой положительное направление кровотока в норме сохраняется в течение всего сердечного цикла и диастолический зубец не достигает изолинии.

В артериях с высоким периферическим сопротивлением (плечевой ствол, подключичная артерия, артерии конечностей) в норме в фазу диастолического зубца кровотока меняет направление на противоположное.

Оценка формы доплерографической кривой

В артериях с низким периферическим сопротивлением на кривой пульсовой волны выделяются следующие пики:

– систолический пик (зубец): соответствует максимальному возрастанию скорости кровотока в период изгнания;

– катакратический зубец: соответствует началу периода расслабления;

– диастолический зубец: характеризует период закрытия аортального клапана;

– диастолическая фаза: соответствует фазе диастолы.

В артериях с высоким периферическим сопротивлением на кривой пульсовой волны выделяются:

– систолический зубец: максимальное возрастание скорости в период изгнания;

– ранний диастолический зубец: соответствует фазе ранней диастолы;

– волна конечно-диастолического возврата: характеризует фазу диастолы.

Комплекс интима-медиа (КИМ) имеет однородную эхоструктуру и эхогенность и состоит из двух четко дифференцируемых слоев: эхопозитивной интимы и эхонегативной меди. Поверхность его ровная. Толщина КИМ измеряется в общей сонной артерии на 1–1,5 см проксимальнее бифуркации задней (по отношению к датчику) стенке артерии; во внутренней сонной и наружной сонной артериях – на 1 см дистальнее области бифуркации. При диагностическом ультразвуковом исследовании оценивается толщина КИМ только в общей сонной артерии. Толщина КИМ во внутренней и наружной сонных артериях измеряется при динамическом наблюдении за течением заболевания или с целью оценки эффективности терапии.

Определение степени (процента) стеноза

По площади поперечного сечения (S_a) сосуда:

$$S_a = (A_1 - A_2) \cdot 100\% / A_1.$$

По диаметру сосуда (S_d): $S_d = (D_1 - D_2) \cdot 100\% / D_1,$

где A_1 – истинная площадь поперечного сечения сосуда, A_2 – проходимая площадь поперечного сечения сосуда,



Рис. 5. Исследование кровотока во внутренней яремной вене в спектральном доплеровском режиме

D1 – истинный диаметр сосуда, D2 – проходимый диаметр стенозированной сосуда.

Процент стеноза, определяемый по площади, более информативный, так как учитывает геометрию бляшки и превышает процент стеноза по диаметру на 10–20% [2, 7, 10].

Типы кровотока в артериях

Магистральный тип кровотока. Выявляется при отсутствии патологических изменений или при стенозе артерии менее 60% по диаметру, на кривой имеются все перечисленные пики.

При сужении просвета артерии менее 30% регистрируется нормальная форма доплеровской волны и показатели скорости кровотока.

При стенозе артерии от 30 до 60% фазный характер кривой сохраняется. Отмечается увеличение пиковой систолической скорости.

Значение показателя отношения систолической скорости кровотока на участке стеноза к систолической скорости кровотока в пре- и постстенозическом участке, равное 2–2,5, Рис. 6. Исследование кровотока в общей бедренной вене в спектральном доплеровском режиме

является критической точкой для разграничения стенозов до 49% и более (рис.1, 2).

Магистрально-измененный тип кровотока. Регистрируется при стенозе от 60 до 90% (гемодинамически значимом) дистальнее места стеноза. Характеризуется уменьшением площади спектрального

«окна»; притуплением или расщеплением систолического пика; уменьшением или отсутствием ретроградного кровотока в ранней диастоле; локальным увеличением скорости (в 2–12,5 раза) на участке стеноза и непосредственно за ним (рис. 3).

Коллатеральный тип кровотока. Определяется при стенозе более 90% (критическом) или окклюзии дистальнее места критического стеноза или окклюзии. Характеризуется практически полным отсутствием различий между систолической и диастолической фазами, малодифференцированной

формой волны; закруглением систолического пика; удлинением времени подъема и спада скорости кровото-

ка, низкими параметрами кровотока; исчезновением обратного кровотока в период ранней диастолы (рис. 4) [3—5].

Особенности гемодинамики в венах

Колебания скорости кровотока в магистральных венах связаны с дыханием и сокращениями сердца. Эти колебания усиливаются по мере приближения к правому предсердию. Колебания давления и объема в венах, расположенных около сердца (венный пульс), записываются неинвазивными методами (с помощью датчика давления) [6, 7].

Особенности исследования венозной системы

Исследование венозной системы проводят в В-режиме, цветовом и спектральном доплеровском режимах.

Исследование вен в В-режиме. При полной проходимости просвет вены выглядит однородно эхогенным. От окружающих тканей просвет отграничен эхопозитивной линейной структурой – сосудистой стенкой. В отличие от стенки артерий структура венозной стенки однородна и визуально не дифференцируется на слои. Сдавливание просвета вены датчиком приводит к полной компрессии просвета. В случае частичного или полного тромбоза просвет вены сдавливается датчиком не полностью или не сдавливается вовсе.

При проведении УЗДГ анализ осуществляется так же, как в артериальной системе. В повседневной клинической практике количественные параметры венозного кровотока почти не используются. Исключение составляет церебральная венозная гемодинамика. При отсутствии патологии линейные параметры венозной циркуляции относительно постоянны. Их повышение или снижение является маркером венозной недостаточности.

При исследовании венозной системы, в отличие от артериальной, по данным УЗДГ оценивается меньшее количество параметров:

форма доплеровской кривой (фазности пульсовой волны) и ее синхронизация с актом дыхания;

пиковая систолическая и усредненная по времени средняя скорость кровотока;

изменение характера кровотока (направления, скорости) при проведении функциональных нагрузочных проб.

В венах, расположенных вблизи сердца (верхняя и нижняя полые, яремные, подключичная), выделяют 5 основных пиков:

A-волна – положительная: связана с сокращением предсердий;

S-волна – положительная: соответствует выпячиванию атриовентрикулярного клапана в правое предсердие во время изоволюметрического сокращения желудочка;

X-волна – отрицательная: связана со смещением плоскости клапанов к верхушке во время периода изгнания;

волна – положительная: связана с расслаблением правого желудочка, атриовентрикулярные клапаны сначала закрыты, давление в венах быстро нарастает;

Y-волна – отрицательная: клапаны открываются, и кровь поступает в желудочки, давление падает (рис. 5). В венах верхних и нижних конечностей на доплеровской кривой выделяют два, иногда три основных пика, соответствующих фазе систо-

лы и фазе диастолы (рис. 6) [6–9].

В большинстве случаев венозный кровоток синхронизирован с дыханием, то есть при вдохе кровоток снижается, при выдохе — возрастает, однако отсутствие синхронизации с дыханием не является абсолютным признаком патологии.

При ультразвуковом исследовании вен применяется два вида функциональных проб;

Проба дистальной компрессии – оценка проходимости венозного сегмента дистальнее места расположения датчика. В доплеровском режиме в случае проходимости сосуда при сжатии мышечного массива дистальнее места

расположения датчика отмечается кратковременное увеличение линейной скорости кровотока, при прекращении сжатия скорость кровотока возвращается к исходному значению. При окклюзии просвета вены вызванный сигнал отсутствует.

Пробы для оценки состоятельности клапанного аппарата (с задержкой дыхания). При удовлетворительном функционировании клапанов в ответ на нагрузочный стимул отмечается прекращение кровотока дистальнее места расположения клапана. При клапанной недостаточности в момент пробы появляется ретроградный кровоток в сегменте вены дистальнее клапана. Величина ретроградного кровотока прямо пропорциональна степени клапанной недостаточности [8, 9].

Изменения параметров гемодинамики при поражениях сосудистой системы

Синдром при нарушении проходимости артерии различной степени: стенозы и окклюзии. По влиянию на гемодинамику деформации близки к стенозам. До зоны деформации может регистрироваться снижение линейной скорости кровотока, индексы периферического сопротивления могут быть повышены. В зоне деформации отмечается повышение скорости кровотока, чаще при изгибах, или разнонаправленный турбулентный поток — в случае петель. За зоной деформации скорость кровотока возрастает,

индексы периферического сопротивления могут снижаться. Так как деформации длительно формируются, развивается адекватная коллатеральная компенсация.

Синдром артериовенозного шунтирования. Возникает при наличии артерио-венозных фистул, мальформаций. Изменения кровотока отмечаются в артериальном и венозном русле. В артериях проксимальнее места шунтирования регистрируется повышение линейной скорости кровотока, как систолической, так и диастолической, индексы периферического сопротивления снижены. В месте шунтирования отмечается турбулентный поток, его величина зависит от размера шунта, диаметра приводящего и дренирующего сосудов. В дренирующей вене скорость кровотока повышена, часто отмечается «артериализация» венозного кровотока, проявляющаяся «пульсирующей» доплеровской кривой.

Синдром артериальной вазо

дилатации. Приводит к снижению индексов периферического сопротивления и возрастанию скорости кровотока в систолу и диастолу. Развивается при системной и локальной гипотензии, гиперперфузионном синдроме, «централизации» кровообращения (шоковые и терминальные состояния). В отличие от синдрома артериовенозного шун-

тирования, при синдроме артериальной вазодилатации не возникает характерных расстройств венозной гемодинамики [1, 2].

Таким образом, знание особенностей строения стенок сосудов, их функций, особенностей гемодинамики в артериях и венах, методов и принципов ультразвукового исследования сосудов в норме – необходимое условие для правильной интерпретации параметров гемодинамики при поражениях сосудистой системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лелюк С.Э., Лелюк В.Г. // Ультразвук. диагностика. — 1995. — №3. — С. 65—77.
2. Млюк В.Г., Млюк С.Э. Основные принципы гемодинамики и ультразвукового исследования сосудов: клинич. рук-во по ультразвуковой диагностике / под ред. Митькова В.В. — М.: Видар, 1997. — Т. 4. — С. 185—220.
3. Основы клинической интерпретации данных ультразвуковых ангиологических исследований: учеб.-метод. пособие / Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. — М., 2005. — 38 с.
4. Принципы ультразвуковой диагностики поражений сосудистой системы: учеб.-метод. пособие / Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. — М., 2002. — 43 с.
5. Ультразвуковая диагностика в абдоминальной и сосудистой хирургии / под ред. Г.И. Кунцевич. — Мн., 1999. — 256 с.
6. Ультразвуковая диагностика болезней вен / Д.А. Чуриков, А.И. Кириенко. — М., 2006. — 96 с.
7. Ультразвуковая ангиология / Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. — 2-е изд., доп. и перер. — М., 2003. — 336 с.
8. Ультразвуковая оценка периферической венозной системы в норме и при различных патологических процессах: учеб.-метод. пособие / Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. — М., 2004. — 40 с.
9. Харченко В.П., Зубарев А.Р., Котляров П.М. Ультразвуковая флебология. — М., 2005. — 176 с.
10. Bots M.L., Hofman A., GroDPe D.E. // Atheroscler. Thromb. — 1994. — Vol. 14, N 12. — P. 1885—1891.