

Особенности венозного кровообращения и функции клапанов в венах нижних конечностей по данным дуплексного сканирования и материалам морфофункциональных исследований

Игорь Михайлович Игнатъев^{1,2}, Валерия Валентиновна Евсева^{1,2*},
Светлана Юрьевна Ахунова¹, Евгений Григорьевич Градусов³

¹Межрегиональный клинико-диагностический центр, г. Казань, Россия;

²Казанский государственный медицинский университет, г. Казань, Россия;

³Российская медицинская академия непрерывного профессионального
образования, г. Москва, Россия

Реферат

Цель. Изучение механизмов венозного возврата и особенностей функционирования клапанов в венах нижних конечностей в горизонтальном и вертикальном положениях.

Методы. В исследование, проводимое с апреля 2019 г. по декабрь 2020 г., были включены 100 человек. Участники исследования были разделены на две группы. Первая группа была представлена 44 пациентами (88 конечностей) с варикозной болезнью, исследование венозной системы у которых проводили методом ультразвукового дуплексного сканирования в стационарных условиях. Вторую (контрольную) группу составили 56 здоровых человек (92 конечности) без видимых признаков венозной патологии, которым проводили амбулаторное исследование венозной системы. Средний возраст пациентов в двух группах составил соответственно $49,2 \pm 2,4$ и $51,1 \pm 1$ года; в обеих группах преобладали женщины. В ходе исследования изучали качественные и количественные параметры венозного кровотока. Клапанную недостаточность вен оценивали по продолжительности рефлюкса и на основании расчёта рефлюкс-индекса Псатакиса. Морфометрическое исследование было проведено на 140 конечностях 48 трупов людей, у которых производили забор фрагментов вен для проведения биомеханических исследований клапанов. Клиническая характеристика больных представлена методами описательной статистики, количественные параметры — в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD). Достоверность различий определяли с помощью доверительного коэффициента Стьюдента (t).

Результаты. В ходе исследования авторами было введено понятие клапанный индекс, представляющее собой отношение диаметра большой оси к диаметру малой оси эллипса, форму которого имеет венозный клапан в поперечном сечении. Ультразвуковое дуплексное сканирование, а также морфофункциональное исследование клапанов, позволили установить, что клапанный индекс значительно выше при наличии признаков варикозной болезни, что свидетельствует о дилатации и начинающейся варикозной трансформации, которая приводит к развитию клапанной недостаточности. Показатели индекса эластичности, установленного авторами как степень изменения просвета вены, измеряемая отношением её диаметров, также достоверно ($p=0,034$) отличались в исследуемых группах: индекс эластичности в группе здоровых людей составил $1,37 \pm 0,11$, в группе пациентов с варикозной болезнью — $1,56 \pm 0,17$. Изученные факторы позволили авторам разработать тест, имеющий важное прогностическое значение для ранней диагностики варикозной болезни и проведения превентивных лечебно-профилактических мероприятий.

Вывод. Изученные в ходе исследования особенности венозного кровообращения и функции клапанов не только имеют прогностическое значение для ранней диагностики варикозной болезни, но и представляют практический интерес с точки зрения разработки методов хирургической коррекции венозной клапанной недостаточности.

Ключевые слова: дуплексное сканирование, механизмы венозного возврата, функция венозных клапанов.

Для цитирования: Игнатъев И.М., Евсеева В.В., Ахунова С.Ю., Градусов Е.Г. Особенности венозного кровообращения и функции клапанов в венах нижних конечностей по данным дуплексного сканирования и материалам морфофункциональных исследований. *Казанский мед. ж.* 2021; 102 (5): 597–605. DOI: 10.17816/KMJ2021-597.

Features of blood flow and valve function in the veins of the lower extremities according to duplex scanning data and morphofunctional studies

I.M. Ignatyev^{1,2}, V.V. Evseeva^{1,2}, S.Yu. Ahunova¹, E.G. Gradusov³

¹Interregional Clinical and Diagnostic Center, Kazan, Russia;

²Kazan State Medical University, Kazan, Russia;

³Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Abstract

Aim. To study the mechanisms of venous return and the functioning features of lower extremity venous valves in horizontal and vertical positions.

Methods. The study, conducted from April 2019 to December 2020, included 100 people. The study participants were divided into 2 groups. The first group was represented by 44 patients (88 limbs) with varicose veins, whose venous system was examined by duplex ultrasound scanning during inpatient rehabilitation. The second (control) group consisted of 56 healthy individuals (92 limbs) without visible signs of venous pathology who underwent an outpatient examination of the venous system. The average age of the patients in the two groups was 49.2±2.4 and 51.1±1 years, respectively; women predominated in both groups. The qualitative and quantitative parameters of venous blood flow were studied in the study. Venous valvular insufficiency was assessed by using reflux duration and the Psatakis index. A morphometric study was conducted on 140 limbs of 48 human corpses, from which venous fragments were taken for biomechanical studies of the valves. The clinical characteristics of patients are presented by descriptive statistics, quantitative parameters are reported as the mean value (M) and standard deviation (SD). The differences were tested for significance by using the Student's t-test.

Results. In the study, we introduced the concept of the valve index, the aspect ratio of the ellipse, the shape of which has a venous valve in cross-section. Duplex ultrasound scanning, as well as a morphofunctional examination of the valves, made it possible to establish that the valve index is significantly higher in the presence of signs of varicose veins, which indicates dilation and incipient varicose vein, which leads to valvular insufficiency. The elasticity index defined by us, as the indicator of change in the venous lumen size, measured by the ratio of its diameters, also significantly ($p=0.034$) differed in the studied groups: the elasticity index in the group of healthy people was 1.37±0.11, in the group of patients with varicose veins — 1.56±0.17. The studied factors allowed us to develop a test that has an important prognostic value for the early diagnosis of varicose veins as well as the implementation of preventive health measures.

Conclusion. The features of venous blood circulation and valve function studied in the study not only have prognostic value for the early diagnosis of varicose veins but are also of practical interest for developing methods of surgical correction of venous valvular insufficiency.

Keywords: duplex scanning, mechanisms of venous return, function of venous valves.

For citation: Ignatyev I.M., Evseeva V.V., Ahunova S.Yu., Gradusov E.G. Features of blood flow and valve function in the veins of the lower extremities according to duplex scanning data and morphofunctional studies. *Kazan Medical Journal.* 2021; 102 (5): 597–605. DOI: 10.17816/KMJ2021-597.

Актуальность. Одна из актуальных проблем флебологии — изучение физиологии венозного кровообращения в нижних конечностях. В ряде фундаментальных работ отечественных и зарубежных исследователей приведены сведения о механизмах венозного возврата и функции клапанов в нижних конечностях [1–3]. На сегодняшний день накоплен большой объём информации, характеризующей состояние венозной гемодинамики как в нормальных, так и в патологических условиях, который получен с помощью различных инвазивных методик (таких, как флёманометрия, рентге-

ноконтрастная и радионуклидная флебография, плетизмография и др.) [4–7]. Появление современных ультразвуковых технологий (триплексного сканирования) значительно расширило возможности исследования венозной системы.

Однако до настоящего времени в исследовании регионарной венозной гемодинамики в нижних конечностях остаётся множество спорных и нерешённых вопросов. Если в отношении флебогемодинамики в клиностазе многие вопросы решены, то венозный возврат в ортостазе изучен недостаточно. Нет окончательного понимания тонких механизмов функ-

ционирования венозных клапанов, их поведения в различных физиологических ситуациях [8, 9].

Одна из важных проблем — оценка тонико-эластических свойств венозной стенки. Это вызвано тем, что повреждение венозной стенки лежит в основе формирования клапанной недостаточности, венозного рефлюкса и варикозной трансформации вен. Поскольку варикозная болезнь (ВБ) — самая распространённая сосудистая патология, прогнозирование и выявление её в начальных стадиях представляют собой весьма актуальную задачу [10].

Цель настоящего исследования — изучение особенностей венозного кровообращения и функции клапанов в нижних конечностях в горизонтальном и вертикальном положениях с помощью дуплексного сканирования и морфофизиологических исследований.

Материал и методы исследования. Всего в ретроспективное аналитическое исследование типа «случай-контроль» были включены 44 пациента (88 конечностей) с ВБ и 56 здоровых человек (92 конечности) без видимых признаков венозной патологии. Данные группы пациентов были сопоставимы по полу и возрасту (средний возраст пациентов в двух группах составил соответственно $51,1 \pm 1,7$ и $49,2 \pm 2,4$ года; $p=0,08$). В обеих группах преобладали женщины ($n_1=28$, $n_2=35$). Исследование венозной системы нижних конечностей осуществляли методом ультразвукового дуплексного сканирования с цветовым доплеровским картированием кровотока. Ультразвуковое ангиосканирование выполняли на аппарате HDI 5000 (ATL, США).

Исследовали обе нижние конечности в горизонтальном и вертикальном положениях в покое и с использованием стандартизированной пробы Вальсальвы и стандартных компрессионных тестов. Кроме качественной оценки, исследовали и количественные параметры венозного кровотока — среднюю линейную (см/с) и объёмную (мл/мин) скорости кровотока. Оценку функции клапанов вен проводили, позиционируя датчик под контролем ультразвукового изображения несколько дистальнее участков их обычного расположения. Оценивали клапанную несостоятельность бедренной вены по продолжительности рефлюкса (в секундах) и его средней линейной скорости во время проведения манёвра Вальсальвы. Для оценки несостоятельности клапанов подколенной вены рассчитывали рефлюкс-индекс Псатакиса [11] при компрессии подкожных вен мягким жгутом дистальнее датчика.

Для детальной морфологической оценки клапанов вен использовали сканирование в по-

перечной плоскости, позиционируя ультразвуковой датчик максимально близко к области комиссур, измеряли размеры клапана в положении пациента лёжа, стоя и при проведении динамических проб.

Все количественные показатели оценивали, как среднюю величину из трёх измерений.

Морфометрические исследования выполнены на 140 конечностях (84 верхних и 56 нижних) 48 трупов людей, не имевших видимых признаков венозной патологии. Определяли частоту притоков, впадающих в синусы клапанов глубоких магистральных вен на разных уровнях конечности. Производили забор фрагментов вен, содержащих полноценные клапаны, которые фиксировали и сохраняли в 0,4% растворе глутарового альдегида для проведения биомеханических исследований. Эти исследования проводили на оригинальной установке, позволяющей создавать давление до 6 атм. Фиксировали геометрические параметры венозных клапанов при физиологическом ламинарном антеградном потоке и ретроградном потоке при различных величинах подаваемого давления.

Статистическая обработка данных выполнена с помощью пакета программы Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США). Клиническая характеристика больных представлена методами описательной статистики, количественные параметры — в виде среднего значения (M) и стандартного отклонения (SD). Достоверность различий определяли с помощью доверительного коэффициента Стьюдента (t). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Локальный этический совет Межрегионального клинко-диагностического центра (Казань, Россия) одобрил исследование (протокол №26 от 17.08.2018).

Результаты и обсуждение. В норме вены при ультразвуковом исследовании в В-режиме имеют тонкие стенки, гипоэхогенный просвет, характерный для интактных сосудов, при компрессии датчиком полностью сжимаются. При обследовании в горизонтальном положении поперечное сечение вены имеет овальную форму, при переходе пациента в вертикальное положение диаметр сосуда увеличивается (в среднем на 38%), его просвет в поперечном сечении становится округлым.

При исследовании в цветовом доплеровском режиме просвет вены полностью прокрашивается. В положении лёжа выявляется ламинарный антеградный поток. В доплеровском импульсно-волновом режиме также регистрируется антеградный поток с фазами,

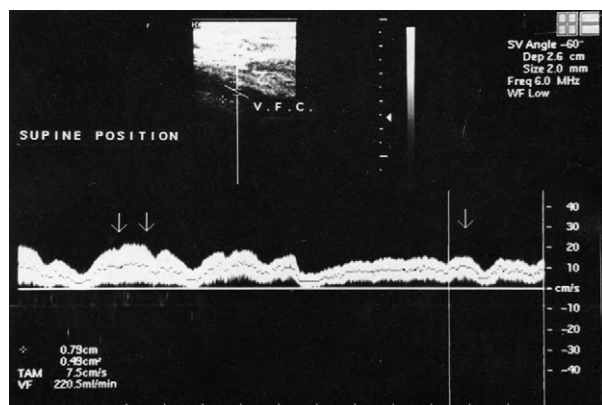


Рис. 1. Кровоток в бедренной вене в спектральном доплеровском режиме в положении лёжа

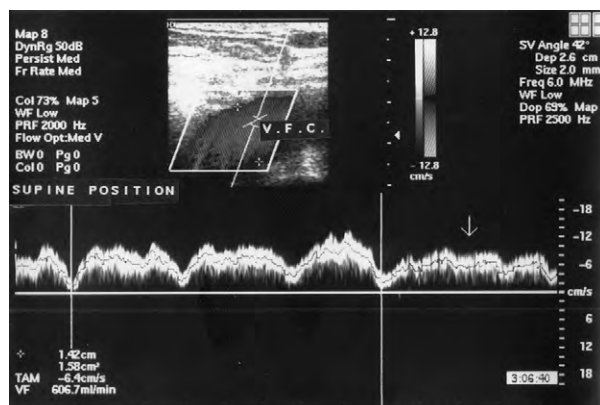


Рис. 2. Кровоток в бедренной вене в спектральном доплеровском режиме при задержке дыхания на выдохе (стрелка)

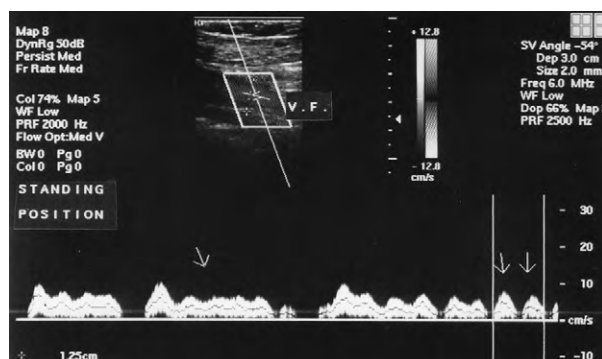


Рис. 3. Кровоток в бедренной вене в спектральном доплеровском режиме в положении стоя (двумя стрелками указаны волны при задержке дыхания)

совпадающими с дыханием (снижается на вдохе и увеличивается на выдохе). Это отражает феномен «vis a fronte» (совокупность факторов, влияющих на «присасывание» венозной крови в положении лёжа). Волна доплеровского венозного спектра состоит из более коротких волн, синхронизированных с частотой сердечных сокращений, что отражает один из элементов венозного возврата — присасывающее действие сердца (рис. 1).

Доказательством того, что данные волны отражают именно присасывающую функцию правого предсердия, а не передаточную пульсацию расположенной рядом артерии, служит тот факт, что этот феномен регистрируется также и у пациентов с окклюзией расположенной рядом артерии.

При проведении пробы с задержкой дыхания на выдохе доплеровский спектр венозного кровотока становится менее амплитудным, без чётко выраженных волн, с колебаниями, связанными с частотой сердечных сокращений. Это отражает ещё один компонент венозного возврата — фактор «vis a tergo» (остаточная сила сердечного выброса) (рис. 2).

Оба перечисленных фактора совместно обеспечивают венозный возврат: «проталкивающий» эффект обусловлен фактором «vis a tergo», в то время как «присасывающий» эффект — фактором «vis a fronte». Конечно, для полноценной работы этих факторов важен достаточный тонус окружающих вену тканей [1, 12].

Скорость венозного кровотока увеличивается от периферических вен к центральным. При переходе в вертикальное положение она уменьшается (в среднем на 75%), дыхательные волны при этом становятся более выраженными. При глубоком вдохе и задержке дыхания на вдохе скорость венозного кровотока уменьшается. По этой причине для корректной оценки венозного возврата пациента просят задержать дыхание на выдохе. При этом доплеровский спектр венозного кровотока становится низкоамплитудным непрерывноволновым с небольшими волнами, соответствующими частоте ритма сердца (рис. 3).

Такой характер кровотока свидетельствует о том, что в вертикальном положении влияние фактора «vis a tergo» на венозный возврат снижается, и основным становится фактор «vis a fronte».

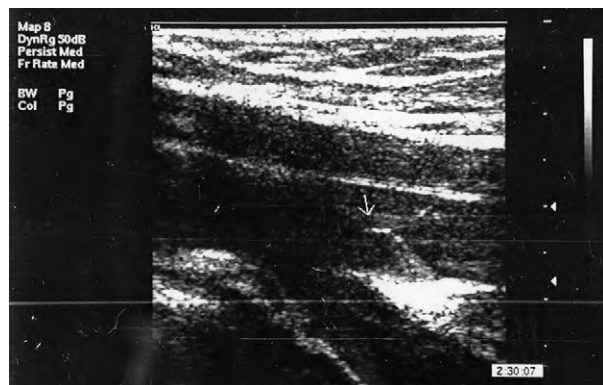
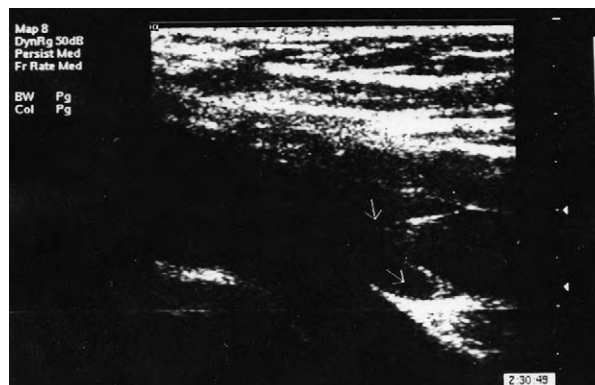
Результаты измерений антеградного венозного кровотока пациентов в положении лёжа и стоя представлены в табл. 1. Важно уточнить, что скоростные параметры в ортоположении на уровне подколенно-берцового сегмента низкие, и часто их не удаётся зарегистрировать, поэтому для сравнения венозного кровотока мы использовали показатели, полученные в общей бедренной вене.

Створки венозных клапанов при дуплексном сканировании выявляются в просвете вены на разных уровнях конечности как тонкие изохогенные линейные структуры, которые соверша-

Таблица 1. Показатели антеградного кровотока в магистральных венах нижних конечностей у здоровых людей (n=92)

Показатели	В положении лёжа			В положении стоя
	ОБВ	БПВ	ПКВ	ОБВ
V_{mean} , см/с	10,9±1,8	5,0±1,5	6,7±1,7	2,7±0,5
V_{vol} , мл/мин	371,4±71,7	69,0±29,4	146,0±37,9	211,3±39,7

Примечание: V_{mean} — средняя линейная скорость кровотока; V_{vol} — объёмная скорость кровотока; ОБВ — общая бедренная вена; БПВ — большая подкожная вена; ПКВ — подколенная вена.

**Рис. 4.** Состоятельный клапан бедренной вены при пробе Вальсальвы (В-режим, продольная проекция)**Рис. 5.** Эхограмма (В-режим, продольная проекция) клапана бедренной вены в состоянии стоя (стрелка внизу указывает на более высокую эхогенность крови в «нише» клапанного синуса)

ют колебательные движения при дыхании: при вдохе они смыкаются, при выдохе расходятся и прилегают к стенкам вены. Это помогает оттоку крови из клапанных синусов. При выполнении функциональных проб (проксимальной мышечной компрессии, пробы Вальсальвы) створки клапана захлопываются, что при ультразвуковом исследовании можно видеть, как непосредственно, так и за счёт большей эхогенности крови над клапанами из-за её временного стаза (рис. 4).

В области синуса клапанов диаметр вены расширяется. Скорость венозного кровотока, регистрируемая в режиме спектральной доплерографии, увеличивается на выдохе или при прекращении мышечной компрессии. В норме при проведении указанных динамических проб может регистрироваться гемодинамически незначимый короткий рефлюксный поток, который обусловлен небольшой задержкой времени закрытия клапана [13]. Время и линейная скорость рефлюксного потока составили в среднем $0,34 \pm 0,11$ с (не более 0,5 с) и $1,22 \pm 0,3$ см/с (не более 1,5 см/с), соответственно. Рефлюкс-индекс в норме не превышал 0,4.

При исследовании в вертикальном положении и при спокойном дыхании клапаны магистральных вен приоткрыты, створки находятся под углом $30-40^\circ$ по отношению к стенке вены. Клапанные створки совершают колебательные

движения в просвете вены с амплитудой около $5-15^\circ$. В «нишах» клапанных синусов кровь выглядит более эхогенной, что обусловлено, по нашему мнению, её уплотнением и образованием «монетных столбиков» эритроцитов, а также турбулентным кровотоком в этих областях (рис. 5).

Такой же феномен можно видеть и в синусах утолщённых и патологически изменённых клапанов не только в вертикальном, но и в горизонтальном положении, что свидетельствует о большей тромбогенности именно зоны клапанных синусов.

Закрытие венозных клапанов в положении стоя происходит только при глубоком дыхании или физической нагрузке, связанной с напряжением мышц брюшного пресса. При напряжении мышц голени и бедра, имитирующем ходьбу, створки клапанов постоянно открыты, при этом линейная и объёмная скорости венозного кровотока достоверно увеличиваются.

В результате проведённых морфологических исследований установлено, что в область клапанных синусов часто дренируются мелкие притоки в количестве от одного до трёх. В клапанах плечевых вен притоки были выявлены в 78,2% наблюдений. Чаще встречался одиночный бесклапанный приток диаметром 2–3 мм, впадающий в проекции клапанного синуса на разных уровнях. В области постоянного

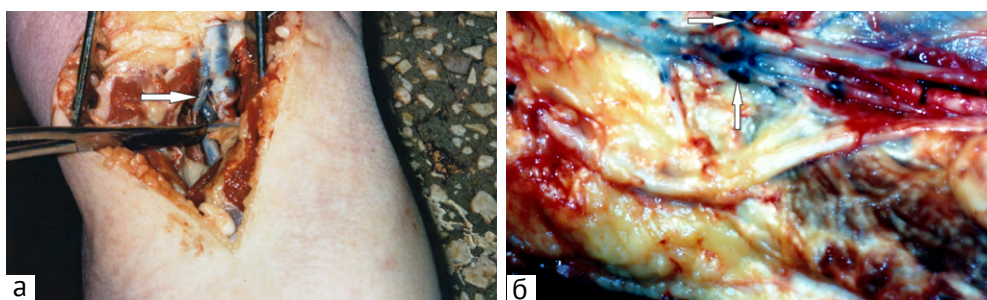


Рис. 6. Синусные притоки (указаны стрелками) клапанов подколенной вены: а — одиночный приток; б — два притока, расположенных в синусах клапана

клапана бедренной вены, который расположен под устьем глубокой вены бедра, один или два подобных притока обнаружены в 28,3% конечностей. Высокая частота синусных притоков отмечена в клапанах подколенной вены, причём два притока (устья которых расположены в обоих синусах) — в 56,4% случаев, одиночный приток — в 47,8%, три притока — в 1,8%. Их отличительная особенность — наличие моностворчатых приустьевых клапанов (рис. 6).

Физиологическую целесообразность оснащённости венозных клапанов притоками мы объясняем, исходя из следующих соображений. Проведённые исследования убедительно показали, что область клапанных синусов бывает наиболее тромбогенной. Поступление же крови из притоков в синусы клапана наряду с ретроградным кровотоком, вызывающим смыкание клапанных створок, препятствует процессам тромбообразования за счёт вымывания из синусов форменных элементов крови. Расположение устьев притоков в проекции клапанного синуса и направленность струи поступающей крови (особенно если приток мышечный) способны изменить положение створок клапана, что рационально для их смыкания. Аналогичные данные о функциональной значимости притоков клапанных синусов приводят и ведущие флебологи [5, 14, 15]. Мы не исключаем и возможной роли бесклапанных притоков в демпфировании надклапанной гипертензии при воздействии ретроградного кровотока.

Перечисленные механизмы, на наш взгляд, в определённой степени способствуют нормальному функционированию венозного клапана. Постоянство расположения притоков в клапанах подколенной вены, несущих высокую гемодинамическую нагрузку, также свидетельствует об их функциональной значимости. Полученная информация послужила идеей для разработки нового способа восстановления клапанной функции глубоких вен путём свободной пересадки венозного клапана с формированием

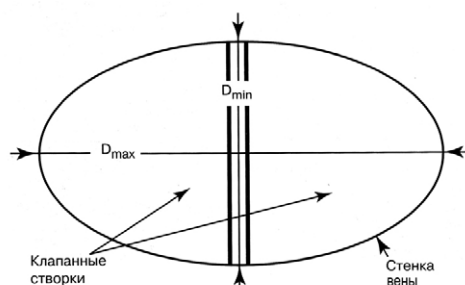


Рис. 7. Схема поперечного сечения вены в области клапана

микроанастомоза его синусного притока с комитантной веной реципиентной области [16].

При определении геометрических параметров клапана установлено, что в поперечном сечении он имеет эллипсоидную форму как в горизонтальном, так и в вертикальном положении. Диаметры эллипса, соответствующие её большой и малой осям, определены нами как D_{\max} и D_{\min} (рис. 7). Отношение D_{\max}/D_{\min} мы назвали клапанным индексом.

При физиологическом антеградном и ретроградном кровотоке при величинах давлений от 0 до 40 мм рт.ст. поперечник двустворчатого клапана имеет эллипсоидную форму, которую характеризует клапанный индекс. Он является константой для всех состоятельных клапанов и составляет $1,21 \pm 0,12$. При увеличении подаваемого ретроградного давления растяжения клапана по D_{\min} практически не происходит, а увеличивается его диаметр по длинной оси D_{\max} , что может привести к расхождению комиссур и развитию клапанной недостаточности. Данный факт свидетельствует о значении амортизирующей функции венозной стенки в области клапанных синусов как одного из механизмов, нивелирующих интенсивность ретроградного потока и тем самым предохраняющих повреждение створок клапана.

Растяжимость стенок венозных клапанов лежит в пределах 0–120 мм рт.ст., то есть в пределах возможных физиологических давлений.

При подаче больших давлений клапаны практически нерастяжимы.

При исследовании состоятельных клапанов, забранных интраоперационно у пациентов с ВБ, установлено, что клапанный индекс у них значительно выше, что свидетельствует о дилатации и начинающейся варикозной трансформации, которая приводит к развитию клапанной недостаточности. При развитии несостоятельности исследуемых клапанов мы проводили их экстравазальную коррекцию каркасными спиралями А.Н. Веденского и спиралевидными конусовидными корректорами «Гран» фирмы МИТ (Россия), а также моделировали коррекцию клапанов по большой и малой осям. Сужение клапана по D_{\min} приводило к усугублению клапанной недостаточности, коррекция же по D_{\max} устраняла её.

Учитывая результаты, полученные при морфофункциональных исследованиях клапанов, мы провели изучение формы клапанных синусов с помощью дуплексного сканирования. При поперечном сканировании в положении ортостаза клапаны магистральных вен имеют эллипсоидную форму. Клапанный индекс состоятельных клапанов варьировал в пределах 1,11–1,14. При проведении пробы Вальсальвы увеличивается преимущественно большой диаметр эллипса с возрастанием клапанного индекса до 1,19–1,23. Полученные данные свидетельствуют о прогностической значимости этого индекса для диагностики развития венозной клапанной недостаточности.

Определённое значение данная информация имеет при разработке экстравазального корректора для устранения несостоятельности венозного клапана. По нашему мнению, он должен иметь эллипсоидное сечение с соотношением большой и малой осей в пределах 1,2. Этим требованиям в определённой степени соответствуют конусовидные корректоры «Гран» (фирма МИТ, Москва)

Общезвестна роль венозного тонуса в осуществлении венозного возврата и предотвращении постуральных реакций при переходе в состояние ортостаза [1, 4]. В рамках общепринятой теории ВБ одним из основных триггерных факторов развития несостоятельности клапанов и формирования венозного рефлюкса становится снижение эластичности венозной стенки. По этой причине важность оценки состояния венозного тонуса, имеющего определённое прогностическое значение в отношении риска развития ВБ, не вызывает сомнений.

Для оценки тонико-эластических свойств глубоких вен нижних конечностей нами раз-

Таблица 2. Показатели индекса эластичности у здоровых людей и пациентов с варикозной болезнью

Группы обследованных	Индекс эластичности	p
1. Здоровые люди (n=36)	1,37±0,11	—
2. Пациенты с варикозной болезнью с состоятельными клапанами глубоких вен (n=42)	1,56±0,17	$p_{2-1}=0,034$
3. Пациенты с варикозной болезнью с несостоятельностью клапанов бедренной вены (n=32)	1,74±0,15	$p_{3-1}=0,027$ $p_{3-2}=0,150$

работан тест, основанный на идее оценки тонуса общей бедренной вены, снижение которого становится «пусковым» фактором в развитии нисходящей формы ВБ [17–19]. Для этого определяли диаметр общей бедренной вены под паховой складкой в положении обследуемого лёжа и в состоянии свободного ортостаза. Изменение диаметра вены при смене этих двух позиций более плотно отражает состояние венозной стенки, нежели изменение диаметров при пробе Вальсальвы. Во-первых, это относительно стандартизированное исследование, не зависящее от пациента; во-вторых, при переходе в вертикальное положение под влиянием гидростатического давления и раздражения барорецепторов в большей мере, чем при выполнении манёвра Вальсальвы, включается симпатическое нервное сплетение стенки вены, которое отвечает за регуляцию венозного тонуса, то есть эта проба более корректна для оценки истинного состояния венозного тонуса, чем проба Вальсальвы.

Степень изменения просвета вены, измеряемая отношением её диаметров в перечисленных позициях, определена нами как индекс эластичности. Его показатели у здоровых людей и пациентов с ВБ представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что индекс эластичности у пациентов с ВБ достоверно ($p=0,034$) отличается от аналогичного показателя у здоровых людей. Его величина возрастает у больных с эктазией и несостоятельностью клапанов бедренной вены. У 3 (12,5%) человек в группе контроля и 4 (9%) пациентов с ВБ при исследовании контралатеральных конечностей без видимых проявлений варикозного расширения поверхностных вен выявлено значительное увеличение индекса эластичности (до 1,8–2), что расценено нами как прогностически неблагоприятный признак в отношении развития и прогрессирования ВБ.

Предложенный тест прост в техническом исполнении, стандартизован и может быть рекомендован для ранней диагностики и прогнозирования ВБ. Его можно рекомендовать для проведения скринингового обследования в популяции (особенно в группах риска), что имеет определённое значение для проведения лечебно-профилактических мероприятий (назначение венотоников, профилактического медицинского трикотажа).

Таким образом, полученная в результате проведённых исследований информация об особенностях венозного кровообращения и функции клапанов имеет определённое познавательное значение, а также представляет практический интерес с точки зрения расширения возможностей диагностики патологии венозной системы и разработки методов хирургической коррекции венозной клапанной недостаточности. Так, авторами работы впервые определены факторы венозного возврата, а также процессы функционирования клапанов в положении ортостаза с помощью неинвазивных технологий — ультразвукового дуплексного сканирования.

Изученные факторы позволили авторам разработать тест, имеющий важное прогностическое значение для ранней диагностики ВБ и проведения превентивных лечебно-профилактических мероприятий. Практическое применение полученных данных заключается в возможности спроектировать математическую модель клапана, которая позволит разработать оптимальные корректоры венозных клапанов, что можно использовать для устранения их несостоятельности.

ВЫВОД

Изученные в ходе исследования особенности венозного кровообращения и функции клапанов не только имеют прогностическое значение для ранней диагностики варикозной болезни, но и представляют практический интерес с точки зрения разработки методов хирургической коррекции венозной клапанной недостаточности.

Участие авторов. И.М.И. — руководитель работы, сбор материала, анализ данных; В.В.Е. и С.Ю.А. — сбор материала, проведение исследования; Е.Г.Г. — сбор и анализ результатов.

Источник финансирования. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по представленной статье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Швальб П.Г., Ухов Ю.И. *Патология венозного возврата из нижних конечностей*. Рязань: Тигель. 2009; 152 с. [Shval'b P.G., Ukhov Yu.I. *Patologiya vnoz-nogo vozvrata iz nizhnikh konechnostey*. (Pathology of venous return from the lower extremities.) Ryazan': Tigel'. 2009; 152 p. (In Russ.)]
2. Каро К., Педли Т., Шротер Р., Сид У. *Механика кровообращения*. Пер. с англ. М.: Медицина. 1981; 621 с. [Karo K., Pedli T., Shroter R., Sid U. *Mekhanika krovo-obrashcheniya*. (Mechanics of blood circulation.) М.: Meditsina. 1981; 621 p. (In Russ.)]
3. Фолков Б., Нил Э. *Кровообращение*. Пер. с англ. М.: Медицина. 1976; 676 с. [Folkov B., Nil E. *Krovo-obrashchenie*. (Blood circulation.) М.: Meditsina. 1976; 676 p. (In Russ.)]
4. Burns P.N. The physical principles of Doppler and spectral analysis. *J. Clin. Ultrasound*. 1987; 15: 567–590. DOI: 10.1002/jcu.1870150903.
5. Artul S., Nseir W., Armaly Z., Soudack M. Superb microvascular imaging: added value and novel applications. *J. Clin. Imaging Sci*. 2017; 7: 45. DOI: 10.4103/jcis.JCIS_79_17.
6. Rosales A. Valve reconstructions. *Phlebology*. 2015; 30 (Suppl. 1): 50–58. DOI: 10.1177/0268355515569435.
7. Mosti G., Mattaliano V., Partsch H. Inelastic compression increases venous ejection fraction more than elastic bandages in patients with superficial venous reflux. *Phlebology*. 2008; 23 (6): 287–294. DOI: 10.1258/phleb.2008.008009.
8. Padberg F. The physiology and hemodynamics of the normal venous circulation. In: Gloviczki P., ed. *Handbook of venous and lymphatic disorders*. Fourth edition. London: Hodder Arnold. 2017; 27–38.
9. Веденский А.Н. Особенности кровотока и функции венозных клапанов в нижних конечностях. *Вестн. хир. им. И.И. Грекова*. 1989; (6): 140–143. [Vedenskiy A.N. Features of blood flow and function of venous valves in the lower extremities. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova*. 1989; (6): 140–143. (In Russ.)]
10. Веденский А.Н. *Варикозная болезнь*. Л.: Медицина. 1983; 207 с. [Vedenskiy A.N. *Varikoznaya bolezni*. (Varicose veins.) Л.: Meditsina. 1983; 207 p. (In Russ.)]
11. Psathakis N.D., Psathakis D.N. Direct popliteal valve substitution by technique II and its efficacy in deep venous insufficiency of the lower limb. *J. Cardiovasc. Surg*. 1987; 28 (6): 678–687.
12. Fegan G. *Varicose veins. Compression sclerotherapy*. Hereford, UK: Bemngton Press. 1967; 114 с.
13. Лелюк В.Г., Лелюк С.Э. *Ультразвуковая ангиология*. М.: Реал Тайм. 2007; 416 с. [Lelyuk V.G., Lelyuk S.E. *Ul'trazvukovaya angiologiya*. (Ultrasound angiology.) М.: Real Taym. 2007; 416 p. (In Russ.)]
14. Boisseua M.R. Valvules veineuses des membres inferieurs: problemes hemodynamiques, biologiques et relations physiopathologiques. *J. Mal. Vasc*. 1997; 22 (2): 122–127.
15. Van Cleef J.F. Classification VCT (Valve, Cusp, Tributary) et endoscopie veineneuse. *J. Mal. Vasc*. 1997; 22 (2): 101–104. PMID: 9480327.
16. Игнат'ев И.М. Хирургическое лечение венозной клапанной недостаточности. *Флеболомфология*. 1999; (10): 22–24. [Ignat'ev I.M. Surgical treatment of venous valvular insufficiency. *Phlebolympfologia*. 1999; (10): 22–24. (In Russ.)]
17. Цуканов Ю.Т. Расширение вен бедра у больных с вертикальным рефлюксом крови при варикозной

болезни. *Вестн. хир. им. И.И. Грекова*. 1983; (1): 62–65. [Tsukanov Yu.T. Dilation of the femoral veins in patients with vertical blood reflux in varicose veins. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova*. 1983; (1): 62–65. (In Russ.)]

18. Рамеле А.-А., Керн Ф., Перрин М. *Варикозные вены и телеангиэктазии*. Пер. с франц. М.: МЕДпресс-информ. 2008; 288 с. [Ramelet A.-A., Kern P., Perrin M., eds. *Varikoznye veny i teleangiectazii*. (Varicose veins and telangiectasias.) М.: MEDpress-inform. 2008; 288 p. (In Russ.)]

19. Игнатьев И.М., Бредихин Р.А., Ахунова С.Ю. Значение венозного тонуса в диагностике варикозной болезни. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2002; (4): 76–81. [Ignat'ev I.M., Bredikhin R.A., Akhunova S.Yu. The importance of venous tone in the diagnosis of varicose veins. *Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika*. 2002; (4): 76–81. (In Russ.)]