

Обзорная статья / Review article

Венозная помпа стопы: литературный обзор и комментарии

В.Ю. Богачев^{1,2}, К.В. Комов^{1✉}, komov@me.com, Н.О. Сомов¹, Г.А. Варич^{1,3}, В.А. Мирзонов³, П.Ю. Голосницкий^{1,4}, А.А. Слесарева¹, М.А. Базанович⁵

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1

² Первый флебологический центр; 117447, Россия, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 31

³ Химкинская клиническая больница; 141407, Россия, Московская обл., Химки, Куркинское шоссе, д. 11

⁴ Центральная клиническая больница Святителя Алексия Митрополита Московского Московской Патриархии Русской Православной Церкви; 119071, Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 27

⁵ Городская поликлиника №107; 127273, Россия, Москва, ул. Декабристов, д. 24

Резюме

Большой интерес к хроническим заболеваниям вен нижних конечностей обусловлен их крайне широким распространением в современном обществе и высокой социальной значимостью. За последние три четверти века было представлено значительное число исследований физиологии венозного возврата в системе нижней полой вены. Однако при анализе сведений по данной теме отмечается разрозненность представлений об анатомии и физиологии венозного насоса нижних конечностей. Его составные элементы в основном рассматриваются по отдельности, что приводит к выделению и преувеличению важности роли одних структур: например, мышечно-венозной помпы голени, клапанного аппарата вен, и недооценке других частей системы, таких как венозная помпа стопы или фасции. Также не уделено должного внимания взаимосвязи компонентов системы венозного возврата между собой и интеграции венозного возврата в структуру шагового цикла. Кроме того, механизм венозного возврата рассматривается исключительно в двух ипостасях: в вертикальном положении при ходьбе и лежа, но в самых распространенных в нынешнем индустриальном обществе положениях тела, таких как сидеть и стоять, слабо изучен. Цель обзора – на основании данных отечественных и зарубежных источников продемонстрировать развитие представлений об анатомии и физиологии венозной помпы стопы, обобщить имеющиеся данные, показать важность функции венозной помпы стопы в системе венозного возврата, указать на связь функции венозного возврата и шагового цикла. Полученные данные обращают внимание на глубочайшую интеграцию функции опорно-двигательного аппарата и системы венозного возврата в норме и патологии, подчеркивают важность пересмотра и дополнения общепринятых взглядов на механизм венозного возврата в системе нижней полой вены.

Ключевые слова: хроническая венозная недостаточность, венозный мышечный насос, анатомия венозной системы, венозная помпа стопы, варикозная болезнь

Для цитирования: Богачев ВЮ, Комов КВ, Сомов НО, Варич ГА, Мирзонов ВА, Голосницкий ПЮ, Слесарева АА, Базанович МА. Венозная помпа стопы: литературный обзор и комментарии. *Амбулаторная хирургия*. 2025;22(1):70–82. <https://doi.org/10.21518/akh2025-019>.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Venous foot pump: A literature review and commentaries

Vadim Yu. Bogachev^{1,2}, Konstantin V. Komov^{1✉}, komov@me.com, Nikita O. Somov¹, George A. Varich^{1,3}, Vladislav A. Mirzonov³, Pavel Yu. Golosnitskiy^{1,4}, Anna A. Slesareva¹, Maria A. Bazanovich⁵

¹ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia

² First Phlebological Center; 31, Dmitry Ulyanov St., Moscow, 117447, Russia

³ Khimki Clinical Hospital; 11, Kurkinskoe Shosse, Khimki, Moscow Region, 141407, Russia

⁴ Central Clinical Hospital of St Alexis Metropolitan of Moscow of the Moscow Patriarchy of the Russian Orthodox Church; 27, Leninsky Ave., Moscow, 119071, Russia

⁵ City Clinic No. 107; 24, Dekabristov St., Moscow, 127273, Russia

Abstract

The growing interest in chronic venous diseases of the extremities reflects their increasing prevalence in modern society, particularly among lower socioeconomic groups. Over the past 75 years, significant research has expanded our understanding of venous return physiology within the inferior vena cava system. However, when examining this topic, the understanding of the anatomy and physiology of the venous pump in the lower extremities appears fragmented. Key components are often considered in isolation, leading to an overemphasis on certain structures, such as the musculovenous pump of the calf and the venous valve system, while other essential elements like

the venous pump of the foot and the role of fascia are underestimated or overlooked. Moreover, insufficient attention has been given to the interplay between the components of the venous return system and how they integrate into the mechanics of the step cycle. The venous return mechanism is predominantly examined in two scenarios – upright walking and lying down – while the more common body positions in modern industrial society, such as sitting and standing, remain inadequately studied. The purpose of this literature review is to synthesize data from domestic and international sources to trace the evolution of concepts surrounding the anatomy and physiology of the foot's venous pump. It aims to consolidate available information, highlight the significance of the foot venous pump in the overall venous return system, and underscore the connection between venous return function and the mechanics of the step cycle.

Keywords: chronic venous insufficiency, venous muscular pump anatomy of the venous system, venous pump of the foot, varicose veins

For citation: Bogachev VYu, Komov KV, Somov NO, Varich GA, Mirzonov VA, Golosnitskiy PYu, Slesareva AA, Bazanovich MA. Venous foot pump: A literature review and commentaries. *Ambulatornaya Khirurgiya*. 2025;22(1):70–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/akh2025-019>.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Термин «венозный мышечный насос» был введен американцами A. Pollack, E. Wood. В 1949 г. они обнаружили, что под влиянием только одного шага давление в тыльных венах стопы и большой подкожной вены уменьшается вдвое, относительно первоначального, равного в среднем 90 мм рт.ст., а под влиянием повторяющихся движений до 30–40 мм рт.ст. [1].

Около 60 лет назад J. Ludbrook в ряде исследований продемонстрировал, что сокращение икроножной мышцы опорожняет внутримышечные венозные сосуды. Он стал основоположником гипотезы мышечного насоса голени, которая благодаря многочисленным исследованиям переросла в концепцию мышечно-венозной помпы. В основе хорошо знакомой нам теории заложено представление о том, что усилие, необходимое для преодоления столба крови в системе вен нижних конечностей, в основном генерируется в икроножных мышцах голени при их сокращении в процессе ходьбы [2–6].

Венозной помпе стопы тогда было уделено совсем небольшое внимание, вероятно, по той причине, что ее роль была расценена как незначительная.

Однако «мышечный насос» стопы был описан более 130 лет назад. Это сделал французский анатом F. Lejars в своем изыскании «Les veines de la plante du pied», представленном в «Archives de physiologie» в 1890 г., где он также опирался на исследования J.P. Sucquet «Учение об артерио-венозных анастомозах стопы и кисти», опубликованное в 1862 г. [7, 8], и P. Bourceret «Circulation locale. Procédé d'injection des veines» от 1885 г. [9].

По представлению F. Lejars венозная кровь проталкивалась от периферии к центру за счет сдавливания подошвенной венозной дуги и эффекта «мышечного насоса». Венозная подошвенная сеть (по Lejars) формировалась из венозных «озер» подошвы стопы. Они выстраивались в подошвенную дугу, которая соединялась посредством бесклапанных вен – перфорантов

с тыльной дугой, последняя же являлась началом возвратного кровотока по глубоким и поверхностным венам. При ходьбе подошвенная венозная дуга сжималась и кровь проталкивалась к началу двух систем венозного возврата.

Сокращение объема ходьбы, нарушение ее характера в результате изменения способа постановки стопы, длительное пребывание в положении стоя неизбежно приводили к прекращению кровотока как в подошвенной, так и в тыльной дуге.

Во второй половине прошлого столетия исключительная роль мышечно-венозной помпы голени была поставлена под сомнение в связи с выявленным несоответствием таких физических факторов, как давление, которое требовалось для осуществления венозного возврата, и давлением, которое производилось в икроножных мышцах, особенно при их изометрическом сокращении, которое возникает в вертикальном положении при отсутствии полноценного шагового цикла. Это потребовало искать альтернативные механизмы, формирующие движущую силу венозного оттока.

Поначалу споры о подробной физиологии венозной помпы стопы в основном были сосредоточены на роли собственных мышц стопы.

В 1964 г. R. Mann, V.T. Inman, используя электромиографию, изучили мышечную активность 12 пациентов во время ходьбы. Исследование показало, что собственные мышцы стопы: *abductor digiti quinti*, *abductor hallucis*, *extensor digitorum brevis*, *flexor hallucis brevis*, *flexor hallucis brevis* были не активны в начале опорной фазы шагового цикла и сокращались во второй половине этой фазы.

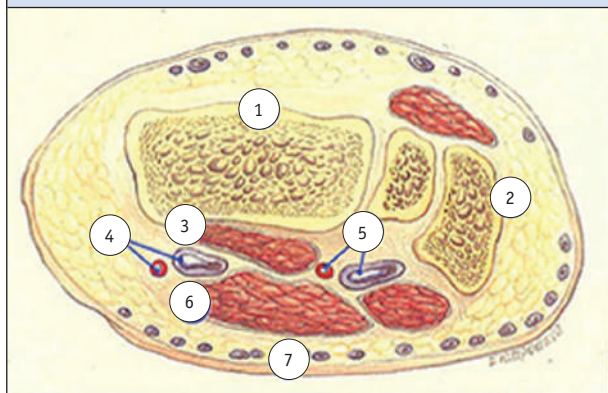
Таким образом, были выделены два возможных механизма изгнания крови из стопы, которые активировались в разные моменты опорной фазы шагового цикла: компрессия весом тела плантарных вен и сокращение мышц вокруг этих вен [10].

В 1983 г. А.М.Н. Gardner, R.H. Fox методом видеофлебографии и флебосцинтиграфии исследовали поток контрастного вещества из точки его введения в вену тыла стопы до, в течение и после перехода пациента из горизонтального положения в вертикальное. При этом было отмечено, что наличие поперечного коврика-супинатора под сводом стопы опорожняло глубокие вены на заданном участке стопы, а нагрузка весом на пятку и головки плюсневых костей опустошала всю венозную систему стопы. Результатом исследования стало утверждение, что венозный поток от стопы возникает в основном в результате сдавливания глубоких подошвенных вен при расширении продольного и поперечного сводов [11, 12] (рис. 1).

Благодаря этим исследованиям, был открыт новый виток в изучении роли венозной системы стопы в венозном возврате из нижних конечностей.

В 1988 г. М. Binns, R.W.H. Pho, проведя анатомическое исследование 14 трупов, подробно описали глубокие плантарные вены: их длину, ход и взаимосвязи. Было выявлено, что латеральная плантарная вена достигала 17 см в длину и всегда имела 2 ствола. Она начиналась крупным перфорантом между основанием первой и второй метатарзальных костей (перфорант I метатарзального промежутка), далее на всем протяжении располагалась межмышечно, в начальном отделе проходя между косой и поперечной головками *musculus abductor hallucis*, а затем вдоль латерального края стопы между *musculus quadratus plantae* и *musculus flexor digitorum brevis* к медиальной лодыжке. Впоследствии эти исследования были подтверждены С. Engelke, R.A. Morgan и L.L. Tretbar [12–17] (рис. 2, 3, 4).

Рисунок 1. Расположение мышц и вен стопы [12]
Figure 1. Muscle compartments of the foot and their veins [12]



Примечание. 1 – пяточная кость. 2 – ладьевидная кость. 3 – квадратная мышца подошвы. 4 – латеральный подошвенный сосудисто-нервный пучок. 5 – медиальная подошвенная артериовенозная ножка. 6 – мышца, приводящая большой палец. 7 – поверхностное венозное сплетение.

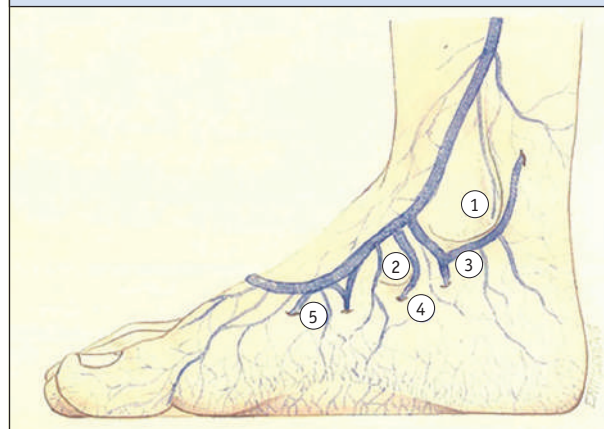
Медиальная плантарная вена также начиналась из перфоранта I метатарзального промежутка, на всем протяжении находилась межмышечно, но была значительно меньше, чем латеральная плантарная вена: длиной около 12 см и располагалась между *musculus abductor hallucis* и *musculus flexor hallucis brevis*, была одиночна на всем своем протяжении и не имела очевидной связи с глубокой плантарной дугой.

В конечном итоге медиальная и латеральная плантарные вены соединялись в области медиальной лодыжки, формируя задние большеберцовые вены.

По мнению ученых, именно латеральная плантарная вена представляла собой венозную помпу стопы.

Рисунок 2. Перфорантные вены медиальной поверхности стопы [12]

Figure 2. Perforating veins of the medial surface of the foot [12]



Примечание. 1 – медиальная лодыжка. 2 – ладьевидная кость. 3 – задняя группа. 4 – медиальная группа. 5 – передняя группа.

Рисунок 3. Флебограмма латеральных подошвенных вен [18, 19]

Figure 3. Phlebogram of the lateral plantar veins [18, 19]



Рисунок 4. Появление подошвенного венозного сплетения после введения контрастного вещества в поверхностные вены дистальных отделов вен [20]

Figure 4. Appearance of plantar venous plexus after injection of contrast medium into a distal superficial vein [20]



Кроме того, исследователи предположили, что данные о венозном потоке, возникающем при расширении поперечного и продольного сводов стопы под воздействием веса тела, полученные ранее А.М. Gardner, R.H. Fox [12], были не репрезентативными для физиологии нормальной ходьбы, а опорожнение вен при нагрузке происходило, более вероятно, из-за сокращения собственных мышц стопы, как это предполагали R. Mann, V.T. Inman [10].

В доказательство М. Binns, R.W.H. Pho провели исследование с использованием УЗИ доплерографии и установили, что миоэлектростимуляция подошвенной поверхности стопы и заднего большеберцового нерва (стимуляция собственных мышц стопы) приводила к увеличению потока в задних большеберцовых венах [13].

Уместно отметить связь костно-суставных деформаций с нарушением венозного оттока от стопы [16]. Так, у пациентов с плоскостопием часто наблюдается расхождение головок I и II плюсневых костей и формирование *Halux valgus*, уплощение стопы наступает за счет атрофии мышц (в том числе *musculus abductor hallucis*), это по результатам большого числа наблюдений коррелирует с явлениями венозной гипертензии в системе большой подкожной вены [17]. Возможно, это обусловлено тем,

что мышечная дисфункция сопровождается деградацией собственной фасции, расширением фасциального окна и перфоранта I метатарзального промежутка с формированием анатомической предпосылки для патологически избыточного венозного потока в медиальную маргинальную и большую подкожную вену.

В 1993 и 2001 гг. А.М. Gardner, R.H. Fox опубликовали результаты дальнейшего исследования, в котором уделили внимание ассоциации шагового цикла, анатомии стопы и физиологии венозной помпы [18, 19]. На рис. 3 отображена флебограмма латеральных подошвенных вен с расширенной средней частью, действующей в качестве резервуара, которые впадают в задние большеберцовые вены в пяточной области.

Основным постулатом исследования стало мнение, что в процессе ходьбы мышечно-венозная помпа стопы синхронизируется с помпой голени и бедра для формирования четкого изгоняющего градиента.

В целом процесс венозного возврата описывался приблизительно так: при тыльном сгибании стопы перед нагрузкой и сокращении передней группы мышц голени опорожняется их венозный коллектор, следом сама нагрузка весом опорожняет помпу стопы, а затем окончательное подошвенное сгибание, связанное со значительным натяжением и сокращением мышц задней поверхности голени, опорожняет дистальную помпу голени в подколенную вену и выше. С этого момента мобилизованный объем крови приобретает достаточную энергию для достижения сердца.

В 1996 г. John V. White et al. подробно исследовали венозное сплетение стопы путем анализа флебограмм. У большинства наблюдаемых отмечалось прямое поступление контрастного вещества из вен сплетений в заднюю большеберцовую вену, однако, у нескольких пациентов была отмечена связь плантарного сплетения с малоберцовыми венами [20].

При этом у всех пациентов было выявлено наличие венозного сплетения стопы, которое было представлено 1–4 длинными венами, которые располагались латерально в переднем отделе стопы и направлялись диагонально к медиальной лодыжке.

Соотношение длины крупных плантарных вен и продольного свода стопы составляло 0,75 (3 : 4).

Плантарное сплетение не визуализировалось в области пяточной кости и I плюсне – фалангового сочленения. Клапаны в плантарных венах были выявлены почти у 50% пациентов. Проксимально венозное сплетение стопы впадало в задние большеберцовые вены. Небольшие добавочные вены в переднем отделе стопы впадали в поверхностную плантарную дугу, откуда направлялись в задние большеберцовые

или малоберцовые вены. Механическое сдавление плантарного венозного сплетения создавало основную пиковую скорость 123 ± 71 см/с в задних большеберцовых венах, 29 ± 26 см/с в малоберцовых венах и 24 ± 14 см/с в передних большеберцовых венах.

Столь значимое различие в скоростях кровотока связали с разницей диаметров задних большеберцовых вен и сосудов плантарного сплетения, соотношение которых составило приблизительно 1 : 2. Кроме того, результаты исследования отразили силу и значимость механического воздействия на плантарное венозное сплетение в процессе ходьбы, которое способствовало перемещению относительно большого объема крови в вены голени [20–22].

В 2010 г. на основании исследования John V. White et al. [20], Gavin J. Corley et al. было проведено более детальное изучение анатомии венозной системы стопы и сформировано понятие о плантарном сплетении, которое до сих пор рассматривалось лишь в общем контексте венозного возврата из нижних конечностей. Хотя описание венозной системы стопы в данном исследовании напоминало предыдущие, были и значимые новые наблюдения [23].

В своем исследовании авторы, в отличие от M. Binns и R.W.H. Pho [13], все же выделили глубокую подошвенную венозную дугу, которая, по их мнению, в основном служит для дренирования плюсневых вен. Последующее присоединение латеральной подошвенной вены, по мнению авторов, указывает на то, что кровь из плюсневых вен оттекает в основном через латеральные плантарные вены. Выявленное в значимом количестве наблюдений наличие соединений подошвенных вен с поверхностной тыльной венозной сетью повышало возможности дренажа плюсневых вен и указывало на участие глубокой венозной дуги в формировании кровотока в большой подкожной вене (рис. 5).

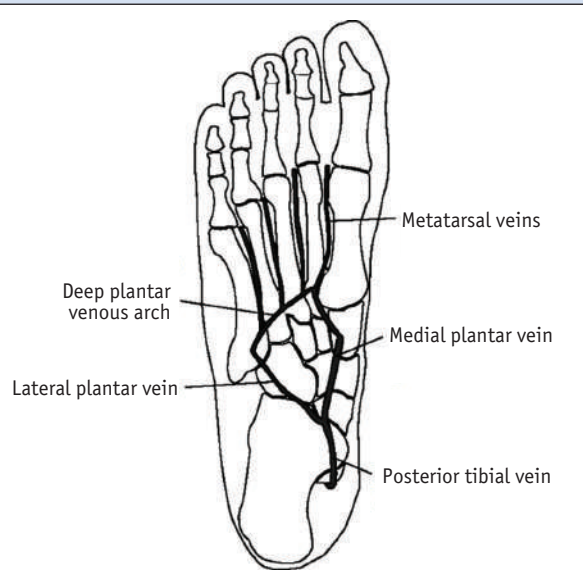
Также авторами было описано систематическое удвоение, а иногда наличие нескольких стволов подошвенных вен. В дополнение к удвоенной латеральной подошвенной вене во всех исследованиях было выявлено удвоение медиальной подошвенной вены, а в 80% случаев удвоение глубокой подошвенной арки.

Это удвоение, по мнению авторов, имело более глубокое физиологическое значение в механизме венозного возврата, чем рассмотренные ранее. Удвоенные венозные сосуды также присутствовали по обе стороны от артерий, и большинство из них составляло часть пучка, окруженного соединительной тканью, в которой артерия была тесно окружена венами.

Интересным открытием стало постоянное присутствие средней (третьей) венозной арки глубоко в *musculus quadratus plantae*.

Рисунок 5. Принципиальная схема вен стопы с указанием латеральных и медиальных подошвенных вен, плюсневых вен, глубокой подошвенной венозной дуги и задних большеберцовых вен [23, 24]

Figure 5. Schematic diagram of the foot showing the lateral plantar vein, the medial plantar vein, the metatarsal veins, the deep plantar venous arch, and the posterior tibial vein [23, 24]



Авторам было трудно оценить точное функциональное значение этих анатомических образований, однако, по их мнению, большинство вен этой сети могли обеспечивать дополнительный резервуар крови, и несмотря на то, что не располагались в непосредственной близости к мышцам, все же представляли потенциальный узел сжатия, способствующий работе венозной помпы. Изменчивость этого венозного резервуара могла объяснить индивидуальные различия в венозном оттоке от стопы во время мышечного сокращения глубоких подошвенных мышц.

Это анатомическое исследование обеспечило более детальное понимание физиологии венозной помпы стопы и ее потенциальной роли в кровообращении нижних конечностей: исследователями был обнаружен диссонанс между механическим воздействием веса и сокращением мышц стопы на формирование венозного потока. Исходя из этого, авторы предположили, что исключительно анатомического изучения стопы недостаточно для формирования представления о физиологии ее венозной помпы [23, 24].

На основании предыдущего исследования все те же B.J. Broderick, G. Corley, исследовали физиологию венозного оттока от стопы с целью изучения роли воздействия веса и работы мышц стопы на функцию венозной помпы [24].

Для этого было проведено исследование 10 человек по следующей схеме – в положении лежа и стоя проводились различные манипуляции: быстро создавалась кратковременная максимально возможная нагрузка на одну из конечностей; производилось резкое максимальное сгибание пальцев стопы; подвергались электростимуляции мышцы стопы; производилась переменная пневмокомпрессия стопы.

При этом изменение потока венозной крови фиксировалось с помощью доплерографии в задних большеберцовых, малоберцовых и подколенной вене, а работа икроножных мышц была максимально ограничена.

На основании полученных результатов исследования были сделаны 5 основных выводов:

- 1) воздействие весом и сгибание пальцев изгоняли значительно больший объем крови из стопы, чем пневмокомпрессия и миостимуляция;
- 2) не было существенных различий в изменении кровотока при воздействии весом и сгибании пальцев;
- 3) при воздействии весом и сгибании пальцев из положения лежа объем венозного выброса в вены голени существенно не изменялся, отмечалось значимое увеличение кровотока в подколенной вене;
- 4) выбрасываемый венозный объем в подколенной вене всегда был значительно больше, чем в задних большеберцовых и малоберцовых венах;
- 5) изменение положения тела от горизонтального к вертикальному оказывало существенное влияние на венозный выброс.

В горизонтальном положении нет существенного наполнения венозного резервуара стопы, основной выброс из депо голени, что было в дальнейшем подтверждено С. Reczek [25].

В результате В.В. Broderick, G.J. Corley сделали вывод о том, что оба механизма, воздействие веса на вены стопы и мышечное сокращение вокруг этих вен, активны в различных фазах цикла ходьбы, однако, играют одинаково важную роль в формировании венозного потока из нижних конечностей [24].

В том же 2010 г. известные французские анатомы J.-F. Uhl, C. Gillot опубликовали наиболее масштабную работу по изучению анатомии и физиологии мышечно-венозной помпы стопы. Исследователями были препарированы двести стоп (в последующем были исследованы еще более двухсот препаратов), что позволило несколько иначе взглянуть на казалось бы уже изученную анатомию венозной системы стопы и сформировать гипотезу ее функционирования [25].

По данным французских ученых, поверхностная венозная сеть стопы представлена множественными бесклапанными поверхностными венами подошвы стопы,

которые формируют хорошо развитую сеть, стекающую в маргинальные (краевые) вены через небольшие клапаносодержащие поверхностные плантарные вены.

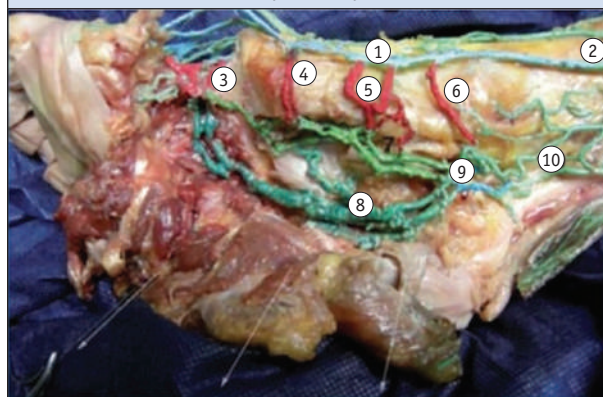
В случае полного или частичного отсутствия клапанов в этих поверхностных венах наблюдается умеренное расширение поверхностной подошвенной сети Bourceret (Бурцертова стопа), в случае аномального рефлюкса в глубокой или подкожной системе основная дилатация этой венозной сети возникает по принципу венозной стопы Lejar (стопа Лежара) и приводит к тяжелому венозному застою (рис. 6).

Медиальная маргинальная вена берет начало из перфоранта первого метатарзального промежутка¹ и продолжается проксимальнее, являясь первой из трех ветвей, формирующих ствол большой подкожной вены (иные ветви – тыльный медиальный перфорант и лодыжечный (малеолярный, таранный) перфорант). Медиальная маргинальная вена формирует функциональную единицу с медиальными плантарными венами.

Латеральная маргинальная вена также возникает из перфоранта первого метатарзального промежутка и заканчивается, соответственно, формированием малой подкожной вены.

¹ Это также место формирования латеральной и медиальной плантарных вен, которое условно можно считать начальной точкой венозного кровотока от нижней конечности.

Рисунок 6. Две венозные системы стопы (первая плюсневая кость частично резецирована) [26]
Figure 6. The two venous systems of the foot (the first metatarsal is partially resected) [26]



Примечание. 1 – медиальная маргинальная (краевая) вена, 2 – большая подкожная вена, 3 – перфорант 1-го метатарзального (плюсневое) промежутка, 4 – кубовидный перфорант, 5 – ладьевидный перфорант, 6 – лодыжечный (малеолярный, таранный) перфорант, 7 – медиальные плантарные (подошвенные) вены (светло-зеленые) имеют низкую пропускную способность и сообщаются через медиальные перфоранты, 8 – латеральные плантарные (подошвенные) вены (темно-зеленые), большого диаметра и длины образуют крупный венозный резервуар крови подошвенной венозной помпы, 9 – пяточное сплетение вен, 10 – задние большеберцовые вены.

Здесь не идет речь о функциональном единстве латеральной плантарной вены и латеральной маргинальной вены, поскольку в теории в них разнится направление кровотока: в глубокой системе центробежно – в сторону перфоранта I метатарзального промежутка, а по маргинальной вене центростремительно – от него, в сторону малой подкожной вены.

Венозная дуга тыла стопы принимает тыльные межпальцевые вены.

Глубокая венозная сеть стопы состоит из 2 слоев: *глубокие костные вены*, локализованные в контакте с плюсневыми костями в углублении костной арки и дренирующее губчатое вещество кости.

Сеть длинных (коллекторных) собирающих вен включает в себя медиальные и латеральные плантарные стволы, которые соединяются вместе в проксимальном отделе и формируют пяточное слияние плантарных вен.

Медиальный плантарный ствол короткий: около 5 см длиной и относительно прямой, он занимает только заднюю часть подошвы и включает в себя две вены, а в некоторых случаях формирует сплетение. Он распространяется на протяжении медиального края стопы и сообщается перфорантами с медиальной маргинальной веной², латеральнее он получает кровь из соседних мышц: *musculus abductor hallucis*, *musculus flexor digitorum brevis*, *musculus plantar quadratus muscle*.

Латеральный плантарный ствол длиннее, около 12 см, более изогнут, его просвет существенно больше, расположен между двумя пластинами мышц подошвы стопы и сдавливается ими в процессе сокращения. Он также возникает из перфоранта первого метатарзального промежутка, затем выпрямляется и вместе с медиальными плантарными венами формирует пяточное венозное слияние, которое, в свою очередь, образует задние большеберцовые вены. Латеральный плантарный ствол чаще всего сформирован двумя венами, которые идут параллельно артерии, и соединены между собой на протяжении не менее 3 раз. По ходу латеральных плантарных вен часто отмечаются веретенообразные расширения, сравнимые с синусами икроножной мышцы. Этот факт J.-F. Uhl и C. Gillot был рассмотрен как аналог синусов икроножных мышц и доказательство в поддержку венозной помпы [27, 28]. Латеральный плантарный ствол объединен перфорантами с латеральной маргинальной веной, венами подкожной жировой клетчатки подошвы, межплюсневными венами, в частности первого и четвертого метатарзальных промежутков, а также принимает кровь от пяточных вен и вен крупных мышц стопы.

Пяточное слияние плантарных вен лежит в пяточной борозде, сформировано из медиальной и латеральной

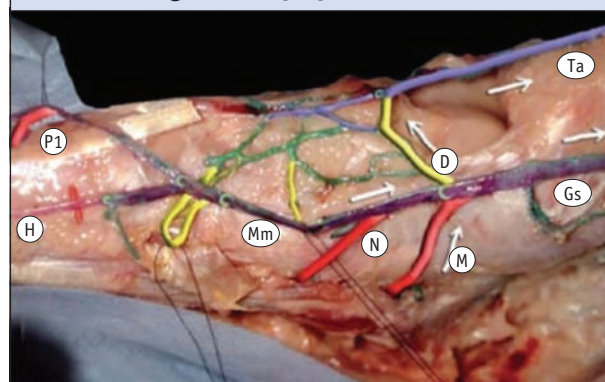
плантарных вен и представляет собой крупное венозное сплетение, которое формирует задние большеберцовые вены. Плантарное сплетение в 2 раза больше по объему, чем задние большеберцовые вены – J.V. White et al. [20].

Пяточное слияние плантарных вен полупереплетенное (*semi-plexiforme*) и многоклапанное. Оно поставляет кровь в задние большеберцовые вены и в большую подкожную вену через большеберцово-лодыжечный и ладьевидный перфоранты. Соответственно, в указанных перфорантах нет клапанов и по этому принципу можно рассматривать организацию кровотока в метатарзальных и прочих перфорантах стопы (*рис. 7*).

Обращают на себя внимание три истока большой подкожной вены (она возникает в области слияния медиальной маргинальной вены (Mm), тыльного перфоранта (D), который впадает в передние большеберцовые вены (Ta), и лодыжечного (малеолярного, таранного) перфоранта (M), впадающего в пяточное сплетение подошвенных вен) и большой диаметр перфоранта 1-го метатарзального (плюсневого) промежутка (P1), а также резкое изменение в диаметре медиальной маргинальной вены (Mm) после соустья с тыльным перфорантом (D), который в свою очередь сообщается с передней большеберцовой веной (Ta) и малеолярным перфорантом (M) (*рис. 7*).

Терминальные клапаны медиальных и латеральных плантарных вен в норме состоятельны и ориентированы проксимально. Именно терминальные клапаны плантарных вен ориентируют кровоток центростремительно, дистальнее этого клапана кровоток в латеральной

Рисунок 7. Соединение медиальных перфорантов с маргинальной веной [26]
Figure 7. Connection of the medial perforators with the marginal vein [26]



Примечания. Mm – медиальная маргинальная (краевая) вена. Gs – большая подкожная вена. Н – тыльная вена большого пальца. Та – передняя большеберцовая вена. Тыльные (дорсальные) перфоранты выделены желтым цветом: D – (dorsal) тыльный перфорант. Плантарные (подошвенные) перфоранты выделены красным цветом: P1 – перфорант 1-ого плюсневоего промежутка, N – (navicular) ладьевидный, M – (malleolar or the talus) лодыжечный.

плантарной вене с учетом процесса супинации стопы можно рассматривать как центробежный, или ориентированный медиально через плантарную дугу.

Перфорантные вены: перфорант I метатарзального промежутка большого диаметра и является начальной точкой всех венозных сетей стопы: поверхностных и глубоких. Передние большеберцовые вены, латеральный плантарный ствол, медиальный плантарный ствол, латеральная и медиальная маргинальные вены происходят из него. Именно он дает начало поверхностным и глубоким венам стопы и является бесклапанным [27].

Медиальные маргинальные перфорантные вены открываются из медиального плантарного ствола в медиальную маргинальную вену и представляют третью ветвь в формировании большой подкожной вены. Они дифференцируются на подошвенные и тыльные. Подошвенные перфоранты – лодыжечный (таранный) расположен близко к медиальной лодыжке и происходит из слияния плантарных вен. Ладьевидный перфорант расположен рядом с бугорком ладьевидной кости. Клиновидный пересекает первую клиновидную кость.

Тыльные медиальные перфорантные вены формируются в области слияния лодыжечного (таранного) перфоранта и медиальной маргинальной вены и впадают в передние большеберцовые вены кпереди от медиальной лодыжки.

Латеральные маргинальные перфорантные вены представляют третью ветвь формирования малой подкожной вены, их две: пяточная (межсухожильная) направляется из латеральной плантарной вены непосредственно через вену ахилла [26] в малую подкожную вену, кубовидная соединяется с латеральной маргинальной веной. Эти сосуды располагаются в области сухожилия длинной малоберцовой мышцы (*musculus peroneus longus*) и часто формируют единый ствол, впадающий в малую подкожную вену. Второй ветвью формирования малой подкожной вены является венозное сплетение в области латеральной лодыжки, которое подключено к подлодыжечному (*submalleolar*) и впередилодыжечному (*premalleolar*) перфорантам (рис. 8).

Таким образом, как было ранее сказано, исследователи пересмотрели устоявшееся представление об организации венозной сети стопы.

По их мнению, анатомически существуют 2 группы вен стопы, которые могут быть дифференцированы в 2 функциональных комплекта: **медиальную сеть**, которая включает медиальную маргинальную вену и медиальную плантарную вену, объединенные 3 или 4 хорошо развитыми перфорантными венами, и **латеральную сеть**, состоящую чаще из одного длинного латерального ствола, большого диаметра,

Рисунок 8. Латеральные перфорантные вены стопы. Происхождение основной порции малой подкожной вены – short saphenous vein (Ss) [27]
Figure 8. The lateral perforator veins of the foot. Origin of the main portion of the short saphenous vein (Ss) [27]



Примечания. LM – латеральная маргинальная (краевая) вена, присутствует непостоянно, однако, зачастую бывает большого диаметра. MP – латеральное лодыжечное (малеолярное) сплетение, наоборот, присутствует постоянно. Оно дает P – (premalleolar) впередилодыжечный и S – (submalleolar) подлодыжечный перфоранты. Общий сосуд латеральных перфораторов стопы (C) является третьей ветвью формирования малой подкожной вены; он формируется из слияния (I) пяточного (межсухожильного, *intertendinous*) перфоранта и (Cu) кубовидного перфоранта.

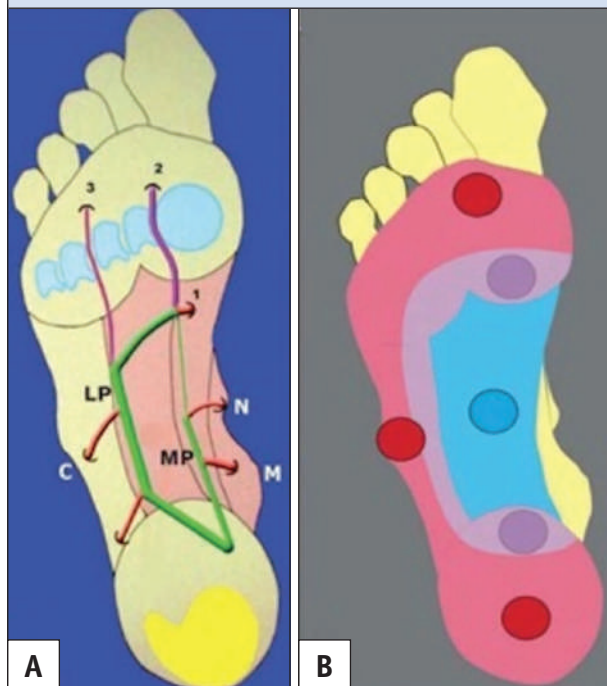
который в норме не имеет гемодинамически значимой связи с поверхностной венозной системой, несмотря на наличие нескольких перфорантов, соединяющих его с латеральной маргинальной и малой подкожной венами (рис. 9).

Следуя изложенному, венозная помпа является в основном глубокой и межмышечной и ограничивается латеральными плантарными венами, которые поставляют кровь в задние большеберцовые вены.

Единственное, что соединяет латеральное и медиальное венозное пространство – перфорант первого метатарзального промежутка (рис. 10).

Однако, опираясь на вышеизложенное, достаточно трудно согласиться с данным утверждением. На наш взгляд, в теории получается, что сеть метатарзальных перфорантов, глубокая венозная арка по M. Binns, R.W.H. Pho [13], средняя (третья) метатарзальная арка

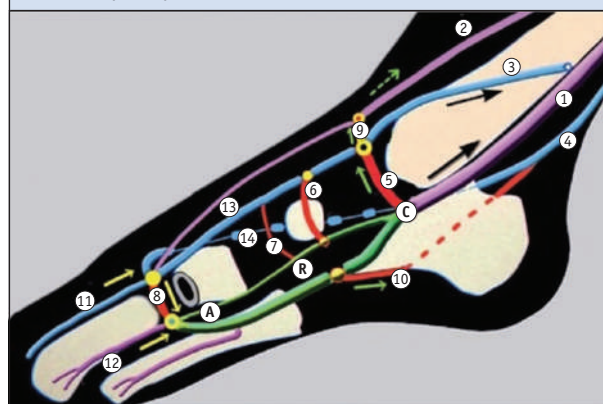
Рисунок 9. Проекция подошвенных венозных осей [27]
Figure 9. Projection of the plantar venous axes [27]



Примечание. А. Основные перфоранты: С – (cuboidal) кубовидный, N – (navicular) ладьевидный, М – (malleolar) лодыжечный; 1 – перфорант 1-го плюсневого (метатарзального) промежутка, 2 – перфорант 1-го межпальцевого промежутка, 3 – перфорант 3-го межпальцевого промежутка. В. Распределение веса по площади опоры стопы. Красный – распределение вес / площадь опоры на грунт; синий – ручного обжатия площади подошвенных вен.

по Barry J. Broderick и Gavin J. Corley [23] и венозная дуга тыла стопы формируют систему перетока из латеральной в медиальную плантарную вену для дальнейшего изгнания в задние большеберцовые вены, а также в систему подкожных вен в процессе «распластывания» метатарзальной арки и пронации стопы. Это четко соотносится с биомеханикой стопы, и нарушение этого процесса (например, гиперпронация или дисфункция метатарзальной арки и, как следствие, диастаз первого метатарзального промежутка и *hallux valgus*, ранняя и избыточная деформация медиального и поперечного сводов) будет приводить к нарушению перераспределения кровотока в пользу перфоранта I метатарзального промежутка, тыльной венозной дуги и медиальной маргинальной вены, соответственно, перегрузке давлением и объемом системы большой подкожной вены. И наоборот, гиперсупинация, например, варусная установка стоп, полая стопа, при которой отмечается недостаточная трансформация метатарзальной арки, будет приводить к патологическому уменьшению сброса в систему медиальной плантарной вены и перераспределению кровотока из латеральной плантарной

Рисунок 10. Модель работы венозной помпы стопы
Figure 10. Hypotheses on functioning of the venous pump in the foot



Примечание. 1 – задние большеберцовые вены. 2 – передние большеберцовые вены. 3 – большая подкожная вена. 4 – малая подкожная вена. 5 – лодыжечный перфорант. 6 – ладьевидный перфорант. 7 – клиновидный перфорант. 8 – перфорант 1-го метатарзального промежутка. 9 – дорсальный перфорант. 10 – пяточный перфорант. 11 – тыльная вена большого пальца. 12 – межплюсневый перфорант. 13 – медиальная краевая вена. 14 – латеральная краевая вена. А – полюс поступления крови. R – резервуар. С – полюс опорожнения.

вены через III метатарзальный, кубовидный и пяточный перфоранты в систему латеральной маргинальной вены, соответственно, перегрузке давлением и объемом системы малой подкожной вены.

В целом, венозная помпа стопы, состоящая из подошвенных вен, имеет 3 части (перечислены спереди назад): полюс поступления крови (А), резервуар (R) в подошвенных венах и полюс (С) опорожнения. Во время систолы венозного насоса стопы кровь выбрасывается непосредственно в задние большеберцовые вены и большую и малую подкожные вены через перфорантные вены стопы.

В конечном итоге, авторами была сформирована гипотеза функционирования мышечно-венозной помпы стопы, заключающаяся в следующем: в горизонтальном положении тела венозная помпа не активна, а система самодостаточна, чтобы обеспечить венозный возврат за счет иных механизмов.

Когда человек переходит в вертикальное положение, то под влиянием гравитации вес столба крови оказывает давление в среднем 80 мм рт.ст. (1088 мм вод.ст.). После определенного количества шагов (на расстояние около 10–25 метров) давление в венозной системе голени (измерения проводились в подкожной системе) падает в 2,5–3 раза почти до 30 мм рт.ст. (408 мм вод.ст.). Падение давления связано с мобилизацией объема крови из-за активации различных венозных помп нижних конечностей в процессе ходьбы.

Венозная помпа стопы напрямую подключена к задним большеберцовым венам, которые являются ее продолжением. Подкожная венозная система также по сути является прямым продолжением венозной помпы стопы.

Венозный выброс из стопы в процессе ходьбы осуществляется пассивным образом в опорную фазу шагового цикла за счет изменения конфигурации (распластывания) стопы под давлением массы тела (собственной массы гидростатического столба и даже более) и активно в момент подошвенного сгибания в последнюю (пропульсивную) фазу опорной части шагового цикла при сдавлении плантарных вен мышцами стопы и предельно натянутым подошвенным апоневрозом.

Объем крови, выбрасываемый плантарной помпой, составляет от 20 до 30 мл [27, 28].

Глубокие вены стопы в норме не опорожняются в поверхностные вены при нагрузке весом в опорный период шагового цикла, поскольку натяжение подошвенного апоневроза закрывает проходящие через него перфорантные вены. Соответственно, дисфункция мышечно-фасциальных структур нарушает порядок вено-венозного потока. Зато эти же перфоранты обеспечивают быстрое наполнение глубокого венозного резервуара и его опорожнение через альтернативные пути, позволяя в определенных условиях выбрасывать из стопы значительно больший объем крови, нежели возможный к оттоку через задние большеберцовые вены при нормально функционирующей системе [28].

Определенные клинические аспекты венозной патологии также указывают на большую значимость функционального состояния мышечно-венозной помпы стопы.

Так, расширение внутрикожной венозной сети в области медиальной лодыжки Corona Phlebectatica признано как ранний признак венозной гипертензии, связанный с нарушением функции мышечно-венозной помпы стопы. Трофические изменения кожи и подкожной клетчатки медиальной поверхности голени объясняются не только относительной «гемодинамической слабостью» надлодыжечной зоны (Cockett), содержащей перфоранты, которые действуют как точки для поверхностного рефлюкса, но и нарушением функции насосного механизма, осуществляющего венозный возврат из стопы и дистальных отделов голени (рис. 11).

Варикозное расширение вен стопы часто возникает в результате действия подошвенного насоса против системы: мощная плантарная помпа в этом случае будет опорожнять глубокие вены стопы в незащищенные мышцей и фасцией и, соответственно, более доступные по градиенту давления поверхностные вены [29].

По нашему мнению, можно думать о формировании порочного круга: плантарные вены – медиальная

Рисунок 11. Флебэктатическая корона¹
Figure 11. Corona Phlebectatica



маргинальная вена – большая подкожная вена – «дежурный перфорант» в зоне Коккета – задние большеберцовые вены. Это также справедливо для системы: плантарные вены – латеральная маргинальная вена – малая подкожная вена – «дежурный суральный перфорант» – задние большеберцовые или малоберцовые вены. Также следует отметить, что оперативное вмешательство на перфорантных венах производится относительно редко, за исключением ретролодыжечных перфорантных вен (Коккет I) и в целом в литературе данной проблеме посвящены единичные публикации [30–32].

Учитывая вышеизложенное, можно полагать, что мышечно-венозная помпа стопы является намного более важным, чем представлялось ранее, механизмом формирования венозного потока из нижних конечностей, началом которого служит не сокращение икроножных мышц, а момент контакта стопы с поверхностью при ходьбе.

Последние данные об анатомии и физиологии мышечно-венозной помпы стопы также свидетельствуют о глубокой интеграции процессов венозного возврата и ходьбы, позволяя сделать следующие выводы:

1. В процессе шагового цикла именно стопа за счет нормального изменения своей конфигурации при воздействии массы тела, а также путем сокращения собственных мышц обеспечивает мощный начальный венозный выброс и формирует венозный поток как в глубоких магистральных венах голени, так и в системе большой и малой подкожных вен, передавая эстафету икроножным мышцам.

2. Венозный возврат в системе нижней полой вены интегрирован в систему шагового цикла и его нельзя рассматривать безотносительно механизма шагового цикла.

¹ Definition & occurrence of spider veins. Available at: <https://www.healthy-veins.com/spider-veins-varicose-veins/spider-veins/definition-occurrence-spider-veins/>.

3. Качество венозного оттока из нижних конечностей напрямую зависит от структурной и функциональной полноценности всех компонентов опорно-двигательного аппарата, обеспечивающих правильный алгоритм, объем и темп ходьбы. Изменение алгоритма работы мышечно-венозной помпы, обусловленное дисфункцией опорно-двигательного аппарата, ведет к формированию условий для развития венозной гипертензии [33].

4. С учетом того что нарушение биомеханики стопы разной этиологии является наиболее частой патологией опорно-двигательного аппарата, охватывающей приблизительно 40% детского населения, а в возрастной группе 50–60 лет достигающей 70–80% [34], то ее можно считать основной причиной нарушения биомеханики шагового цикла в целом, а соответственно, ведущей причиной неправильного распределения потоков крови и формирования «динамической» (при ходьбе) гипертензии в системе подкожных вен.

❖ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что дальнейшее комплексное исследование венозной системы и биомеханики нижних конечностей в целом, а именно сопоставление алгоритмов шагового цикла и венозного возврата, даст возможность еще больше убедиться в их исключительной взаимосвязи и позволит сформировать полноценную теорию работы периферического сердца, а также выделить ее основные показатели.

Это, в свою очередь, повлияет на понимание соотношения процессов формирования венозной гипертензии в статике и динамике, механизма формирования патологических венозных сбросов, определит подход к коррекции хронической венозной недостаточности, позволив дополнить существующие диагностические протоколы и схемы лечения, а также хирургическую стратегию.

Поступила / Received 20.09.2024

Поступила после рецензирования / Revised 10.12.2024

Принята в печать / Accepted 01.02.2025

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Pollack A, Wood EH. Venous pressure in the saphenous vein at the ankle in man during exercise and changes in posture. *J Appl Physiol.* 1949;(9):649–662. <https://doi.org/10.1152/jappl.1949.1.9.649>.
- Шевченко ЮЛ, Стойко ЮМ. Клиническая флебология. М.: Пресс; 2016. 256 с. Режим доступа: <https://www.pirogov-center.ru/etc/shevchenko-stoyko-2017.pdf>.
- Санников АБ, Емельяненко ВМ, Рачков МА, Дроздова ИВ. Анатомическое строение венозного коллектора икроножной мышцы по данным мультиспиральной компьютерной томографии-флебографии. *Оперативная хирургия и клиническая анатомия.* 2019;14(1):19–26. <https://doi.org/10.17116/operhirurg2019301119>.
Sannikov AB, Emelyanenko VM, Rachkov MA, Drozdova IV. The anatomical structure of the venous collector of the gastrocnemius muscle according to multispiral computed tomography-phlebography. *Russian Journal of Operative Surgery and Clinical Anatomy.* 2019;14(1):19–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/operhirurg2019301119>.
- Тимашов ЕА, Сотников АА. Взаимосвязь анатомо-морфологических структур венозной системы и нервов нижних конечностей. *Хирургическая практика.* 2019;(2):15–20. <https://doi.org/10.17238/issn2223-2427.2019.2.15-20>.
Timashov EA, Sotnikov AA. The relationship of anatomical and morphological structures of the venous system and nerves of the lower limb. *Hirurgicheskaya Praktika.* 2019;(2):15–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2223-2427.2019.2.15-20>.
- Малкаров ХС, Сергеев НА, Пичугова АН, Минакова ЮЕ. Анатомо-функциональные особенности варикозного расширения вен. *Тверской медицинский журнал.* 2022;(1):54–63. Режим доступа: <http://tvermedjournal.tvergma.ru/989/1/06.pdf>.
Malkarov HS, Sergeev NA, Pichugova AN, Minakova YuE. Anatomic-functional features of varicosis diseases. *Tverskoy Meditsinskiy Zhurnal.* 2022;(1):54–63. (In Russ.) Available at: <http://tvermedjournal.tvergma.ru/989/1/06.pdf>.
- Li W. Biomechanical property and modelling of venous wall. *Prog Biophys Mol Biol.* 2018;133:56–75. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2017.11.004>.
- Lears F. *Les veines de la plante du pied.* Archives de physiologie. 5 série, Paris: Masson; 1890, pp. 100–102. Available at: <https://www.phlebologia.com/fr/les-veines-du-pied/semelle-veineuse-plantaire/>.
- Sucquet JP. *D'une circulation dérivative dans les membres et dans la tête chez l'homme.* Londres: Hippolyte Baillière; 1862, pp. 5–55.
- Bourceret P. *Circulations locales.* Paris: Doin; 1885. Available at: https://books.google.ru/books?id=ZS6bxWPN0wC&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Mann R, Inman VT. Phasic activity of intrinsic muscles of the foot. *J Bone Joint Surg Am.* 1964;46:469–481. <https://doi.org/10.2106/00004623-196446030-00001>.
- Gardner AM, Fox RH. The venous pump of the human foot – preliminary report. *Bristol Med Chir J.* 1983;98(367):109–112. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6616290/>.
- Blanchemaison P, Camponovo J, Grenay P. *Атлас анатомии поверхностных вен нижних конечностей.* М.: Митра-Пресс, 2002. 47 с. Режим доступа: <https://natmedlib.uz/fm/#s/9rxMO-UQ&view=Атлас%20анатомии%20вен%20нижних%20конечностей%20Blanchemaison%20P.%20%20Camponovo%20J.%20%20Grenay%20P..pdf>.
- Binns M, Pho RWH. Anatomy of the venous foot pump. *Injury.* 1990;19(6):443–445. [https://doi.org/10.1016/0020-1383\(88\)90144-1](https://doi.org/10.1016/0020-1383(88)90144-1).
- Engelke C, Morgan RA, Quarmby JW, Taylor RS, Belli AM. Distal venous arterialization for lower limb salvage: angiographic appearances and interventional procedures. *Radiographics.* 2001;21(5):1239–1248. <https://doi.org/10.1148/radiographics.21.5.g01se281239>.
- Tretbar LL. Deep veins. *Dermatol Surg.* 1995;21(1):47–51. <https://doi.org/10.1111/j.1524-4725.1995.tb00110.x>.
- Сизоненко ЯВ, Каторкин СЕ, Лосев ИИ. Дисфункция мышц венозной помпы у пациентов с сочетанным поражением опорно-двигательной и венозной систем нижних конечностей. *Новости хирургии.* 2016;24(1):55–61. Режим доступа: <http://elib.vsmu.by/handle/123/5022>.
Cizonenko YaV, Katorkin SE, Losev II. Dysfunction of venous pump muscles in patients with combined lesion of musculoskeletal and venous systems of the lower limb. *Novosti Khirurgii.* 2016;24(1):55–61. (In Russ.) Available at: <http://elib.vsmu.by/handle/123/5022>.

17. Srinivasan, Kumar P, Velladuraichi, Kumar I, Sritharan. Is flat foot a preventable factor in chronic venous insufficiency. *Int J Advan Res.* 2021;9:1000–1003. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/12542>.
18. Gardner AMN, Fox RH. *The return of blood to the heart.* 2nd ed, London: John Libbey; 1993, 256 p. Available at: https://openlibrary.org/books/OL21188879M/The_return_of_blood_to_the_heart.
19. Gardner AMN, Fox RH. *The venous system in health and disease.* 3rd ed, The Netherlands: IOS Press, 2001. 250 p. Available at: [https://openlibrary.org/books/OL12807392M/The_Venous_System_in_Health_and_Disease_\(Biomedical_and_Health_Research\)](https://openlibrary.org/books/OL12807392M/The_Venous_System_in_Health_and_Disease_(Biomedical_and_Health_Research)).
20. White JV, Katz ML, Cisek P, Kreithen J. Venous outflow of the leg: Anatomy and physiologic mechanism of the plantar venous plexus. *J Vasc Surg.* 1996;24(5):819–824. [https://doi.org/10.1016/s0741-5214\(96\)70018-6](https://doi.org/10.1016/s0741-5214(96)70018-6).
21. Lundeen S, Lundquist K, Cornwall MW, McPoil TG. Plantar pressures during level walking compared to other ambulatory activities. *Foot Ankle Int.* 1994;15(6):324–328. <https://doi.org/10.1177/107110079401500607>.
22. Sarnow MR, Veves A, Giurini JM, Rosenblum BI, Chrzan JS, Habersaw GM. In-shoe foot pressure measurements in diabetic patients with at-risk feet and in healthy subjects. *Diabetes Care.* 1994;17(9):1002–1006. <https://doi.org/10.2337/diacare.17.9.1002>.
23. Corley GJ, Broderick BJ, Nestor SM, Breen PP, Grace PA, Quondamatteo F, O'laighin G. The Anatomy and Physiology of the Venous Foot Pump. *Anat Rec.* 2010;293(3):370–378. <https://doi.org/10.1002/ar.21085>.
24. Broderick BJ, Corley GJ, Quondamatteo F, Breen PP, Serrador J, O'laighin G. Venous emptying from the foot: influences of weight bearing, toe curls, electrical stimulation, passive compression, and posture. *J Appl Physiol.* 2010;109(4):1045–1052. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00231.2010>.
25. Uhl J-F, Bertier C, PrevotEAU C, Gillot C. The plantar venous pump: Anatomy and physiological hypotheses. *Phlebology.* 2010;17(3):151–158. Available at: https://www.researchgate.net/publication/286558517_The_plantar_venous_pump_Anatomy_and_physiological_hypotheses.
26. Uhl J-F, Lo Vuolo M, Gillot C. Anatomy of foot and ankle perforator veins. *Phlebology.* 2017;24(2):105–112. Available at: <https://www.phlebology.org/wp-content/uploads/2017/09/Phlebology92.pdf>.
27. Uhl J-F, Gillot C. Anatomy and embryology of the small saphenous vein: nerve relationships and implications for treatment. *Phlebology.* 2013;28(1):4–15. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012J08>.
28. Uhl J-F, Gillot C. Anatomy of the foot venous pump: physiology and influence on chronic venous disease. *Phlebology.* 2012;27(5):219–230. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012b01>.
29. Ricci S, Moro L, Incalzi AR. The foot venous system: anatomy, physiology and relevance to clinical practice. *Dermatol Surg.* 2014;40(3):225–233. <https://doi.org/10.1111/dsu.12381>.
30. Калинин РЕ, Пшенников АС, Сучков ИА, Деев РВ, Мжаванадзе НД. *Основы ангиологии.* М.: ГЭОТАР-Медиа; 2018. 105 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009415424>.
31. Маркелов ДВ, Пикиреня ИИ, Германович ВИ, Щерба АЕ. Лечение варикозной болезни нижних конечностей с учетом состояния перфорантных вен. *Хирургия. Восточная Европа.* 2020;9(4):308–317. <https://doi.org/10.34883/PI.2020.9.4.012>.
32. Markelov DV, Pikirenya II, Germanovich VI, Shcherba AE. Treatment of varicose veins of the lower limb in connection with perforating veins. *Surgery Eastern Europe.* 2020;9(4):308–317. <https://doi.org/10.34883/PI.2020.9.4.012>.
33. Калинин РЕ, Сучков ИА, Шанаев ИН. Анатомия перфорантных вен стопы в хирургии варикозной болезни. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова.* 2021;(1):69–76. <https://doi.org/10.17116/hirurgia202101169>.
34. Kalinin RE, Suchkov IA, Shanaev IN. Anatomy of foot perforator veins in surgery of varicose veins. *Pirogov Russian Journal of Surgery.* 2021;(1):69–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/hirurgia202101169>.
35. Ricci S. The venous system of the foot: anatomy, physiology, and clinical aspects. *Phlebology.* 2015;22(2):64–75. Available at: <https://www.phlebology.org/the-venous-system-of-the-foot-anatomy-physiology-and-clinical-aspects/>.
36. Свириденко АИ, Крунич Б, Лашковский ВВ, Северин А, Игнатовский МИ, Паук И и др. Результаты выполнения в рамках европейской программы «Добрососедство Польша – Беларусь – Украина» польско-белорусского проекта по биомеханическому исследованию и коррекции дисфункции детских стоп. *Биомеханика стопы человека: материалы Международной научно-практической конференции. Гродно; 18–19 июня 2008 г.* Гродно: ГрГУ; 2008. С. 12.

Вклад авторов:

Концепция статьи – В.Ю. Богачев, К.В. Комов

Написание текста – К.В. Комов, М.А. Базанович

Сбор и обработка материала – К.В. Комов, М.А. Базанович

Анализ материала – В.Ю. Богачев, К.В. Комов, Н.О. Сомов, Г.А. Варич, П.Ю. Голосницкий, А.А. Слесарева, В.А. Мирзонов

Редактирование – В.Ю. Богачев, К.В. Комов, Н.О. Сомов, Г.А. Варич, П.Ю. Голосницкий, А.А. Слесарева, В.А. Мирзонов

Утверждение окончательного варианта статьи – В.Ю. Богачев

Contribution of authors:

Concept of the article – Vadim Yu. Bogachev, Konstantin V. Komov

Text development – Konstantin V. Komov, Maria A. Bazanovich

Collection and processing of material – Konstantin V. Komov, Maria A. Bazanovich

Material analysis – Vadim Yu. Bogachev, Konstantin V. Komov, Nikita O. Somov, George A. Varich, Pavel Yu. Golosnitskiy,

Anna A. Slesareva, Vladislav A. Mirzonov

Editing – Vadim Yu. Bogachev, Konstantin V. Komov, Nikita O. Somov, George A. Varich, Pavel Yu. Golosnitskiy, Anna A. Slesareva, Vladislav A. Mirzonov

Approval of the final version of the article – Vadim Yu. Bogachev

Информация об авторах:

Богачев Вадим Юрьевич, д.м.н., профессор, профессор кафедры факультетской хирургии № 2, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва, ул. Островитянова, д. 1; хирург-флеболог, Первый флебологический центр; 117447, Россия, Москва, ул. Дмитрия Ульянова, д. 31; <https://orcid.org/0000-0002-3940-0787>; vadim.bogachev63@gmail.com

Комов Константин Витальевич, к.м.н., доцент кафедры факультетской хирургии № 2, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва. ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0009-0005-1238-2645>
Сомов Никита Олегович, к.м.н., ассистент кафедры факультетской хирургии № 2, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва. ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0009-0000-1995-5438>; ikitasomer@gmail.com

Варич Георгий Александрович, к.м.н., доцент, кафедра факультетской хирургии № 2, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва. ул. Островитянова, д. 1; хирург, заместитель главного врача по хирургии, Химкинская клиническая больница; 141407, Россия, Московская обл., Химки, Куркинское шоссе, д. 11; <https://orcid.org/0000-0002-3574-6190>; geravarich@mail.ru

Мирзонов Владислав Александрович, д.м.н., главный врач, Химкинская клиническая больница; 141407, Россия, Московская обл., Химки, Куркинское шоссе, д. 11; <https://orcid.org/0000-0003-0323-0218>

Голосницкий Павел Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры факультетской хирургии №2, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва. ул. Островитянова, д. 1; руководитель Центра сосудистой хирургии, хирург-флеболог, Центральная клиническая больница Святителя Алексия Митрополита Московского Московской Патриархии Русской Православной Церкви; 119071, Россия, Москва, Ленинский проспект, д. 27; <https://orcid.org/0000-0002-6976-7678>; hirurg1978@mail.ru

Слесарева Анна Андреевна, ассистент кафедры факультетской хирургии №2, Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова; 117997, Россия, Москва. ул. Островитянова, д. 1; <https://orcid.org/0009-0003-8165-7230>; byann_lin@mail.ru

Базанович Мария Александровна, врач участковый терапевт, Городская поликлиника №107; 127273, Россия, Москва, ул. Декабристов, д. 24; <https://orcid.org/0009-0007-6889-8979>; meri14082000@mail.ru

Information about the authors:

Vadim Yu. Bogachev, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Faculty Surgery No. 2, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; Surgeon-Phlebologist, First Phlebological Center, Limited Liability Company; 31, Dmitry Ulyanov St., Moscow, 117447, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3940-0787>; vadim.bogachev63@gmail.com

Konstantin V. Komov, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Faculty Surgery No. 2, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0009-0005-1238-2645>; komov@me.com

Nikita O. Somov, Cand. Sci. (Med.), Teaching Assistant, Department of Faculty Surgery No. 2, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0009-0000-1995-5438>; nikitasomer@gmail.com

George A. Varich, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Faculty Surgery No. 2, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; Surgeon, Deputy Chief Physician for Surgery, Khimki Clinical Hospital; 11, Kurkinskoe Shosse, Khimki, Moscow Region, 141407, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-3574-6190>; geravarich@mail.ru

Vladislav A. Mirzonov, Dr. Sci. (Med.), Chief Physician, Khimki Clinical Hospital; 11, Kurkinskoe Shosse, Khimki, Moscow Region, 141407, Russia; <https://orcid.org/0000-0003-0323-0218>

Pavel Yu. Golosnitskiy, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of the Department of Faculty Surgery No. 2, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; Head of the Center for Vascular Surgery, Surgeon-Phlebologist, Central Clinical Hospital of St Alexis Metropolitan of Moscow of the Moscow Patriarchy of the Russian Orthodox Church; 27, Leninsky Ave., Moscow, 119071, Russia; <https://orcid.org/0000-0002-6976-7678>; hirurg1978@mail.ru

Anna A. Slesareva, Assistant of the Department of Faculty Surgery №2, Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostrovityanov St., Moscow, 117997, Russia; <https://orcid.org/0009-0003-8165-7230>; byann_lin@mail.ru

Maria A. Bazanovich, Local Physician, City Clinic No. 107; 24, Dekabristov St., Moscow, 127273, Russia; <https://orcid.org/0009-0007-6889-8979>; meri14082000@mail.ru