

Обзорная статья / Review article

# Хронический компартмент-синдром нижних конечностей: современные стратегии диагностики и лечения

С.Е. Каторкин<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-7473-6692>, [katorkinse@mail.ru](mailto:katorkinse@mail.ru)М.Ю. Кушнарчук, <https://orcid.org/0000-0001-8764-2054>, [m.kushnarchuk@outlook.com](mailto:m.kushnarchuk@outlook.com)

Самарский государственный медицинский университет; 443089, Россия, Самара, ул. Чапаевская, д. 89

## Резюме

Представлен обзор литературы, включающий данные о заболеваемости, патофизиологии, клинической картине пациентов с хроническим компартмент-синдромом (CCS) нижних конечностей. Хронический компартмент-синдром физического напряжения (CECS) характеризуется болью при повторяющейся физической нагрузке и повышенным внутрикомпаратментным давлением, поражающим нижние конечности у физически активных пациентов. При выраженной хронической венозной недостаточности нижних конечностей развивается хронический венозный компартмент-синдром (CVCS), принципиально отличающийся от ранее известных клинических картин. Прогрессирующий дерматолипофасциосклероз и рубцовая деструкция фасции голени у пациентов C4b-C6 клинических классов по CEAP оказывают влияние на давление в мышечно-фасциальных компартментах при каждом шаге. В тяжелых случаях это приводит к значительным изменениям в мышцах, сопровождающимся хронической ишемией, связанной с некрозом и дефицитом гликогена. Проведен анализ различных методов диагностики, консервативного лечения и способов выполнения хирургической декомпрессии CCS. Отсутствие четкой патофизиологии CECS и CVCS усложняет диагностику и лечение этого состояния. Диагноз CCS голени по-прежнему основывается на тестировании давления в мышечно-фасциальных компартментах голени с использованием критериев Pedowitz, однако стандартные процедуры для этого, включая положение пациента, статические или динамические движения, тестируемые мышцы и оборудование, не согласованы. У пациентов с CCS при неэффективности консервативного лечения методом выбора является фасциотомия пораженных отделов голени. Различные методы фасциотомии голени включают традиционную открытую фасциотомию, полузакрытую технику с одним или несколькими разрезами, минимально инвазивную технику с использованием эндоскопического высвобождения компартмента и использование УЗ-контроля. Фасциэктомия голени с целью коррекции CVCS выполняется преимущественно при рецидивах трофических язв после *shave therapy*, выраженной кальцификации тканей голени и для лечения глубокого трансфасциального некроза. Для дальнейшего расширения знаний о диагностике и лечении CCS необходимы рандомизированные, слепые, контролируемые исследования.

**Ключевые слова:** хронические заболевания вен, хроническая венозная недостаточность, субфасциальное давление, венозные трофические язвы, хирургия вен, *shave therapy*, эндоскопическая диссекция перфорантных вен, фасциэктомия, фасциотомия

**Благодарности.** Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований Самарского государственного медицинского университета.

**Для цитирования:** Каторкин С.Е., Кушнарчук М.Ю. Хронический компартмент-синдром нижних конечностей: современные стратегии диагностики и лечения. *Амбулаторная хирургия*. 2023;20(1):69–80. <https://doi.org/10.21518/akh2023-009>.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Chronic compartment-syndrome of the lower limb: modern strategies for diagnosis and treatment

Sergey E. Katorkin<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-7473-6692>, [katorkinse@mail.ru](mailto:katorkinse@mail.ru)Mikhail Y. Kushnarchuk, <https://orcid.org/0000-0001-8764-2054>, [m.kushnarchuk@outlook.com](mailto:m.kushnarchuk@outlook.com)

Samara State Medical University; 89, Chapayevskaya St, Samara, 443089, Russia

## Abstract

A review of the literature is presented, including data on the incidence, pathophysiology, and clinical picture of patients with chronic compartment syndrome (CCS) of the lower extremities. Chronic exercise compartment syndrome (CECS) is characterized by pain with repetitive exertion and increased intracompartmental pressure affecting the lower extremities in physically active patients. In severe chronic venous insufficiency of the lower extremities, chronic venous compartment syndrome (CVCS) develops, which is fundamentally different from previously known clinical pictures. Progressive dermatolipofasciosclerosis and cicatricial destruction of the fascia of the leg in patients with C4b-C6 clinical classes according to CEAP affect the pressure in the muscle-fascial compartments at each step. In severe cases, this leads to significant changes in the muscles, accompanied by chronic ischemia associated with necrosis and glycogen deficiency. The analysis of various diagnostic methods, conservative treatment and methods for performing surgical decompression of the

CCS was carried out. The lack of a clear pathophysiology for CECS and CVCS complicates the diagnosis and treatment of this condition. Diagnosis of calf CCS is still based on pressure testing in the musculofascial compartments of the calf using the Pedowitz criteria, however standard procedures for this, including patient position, static or dynamic movements, muscles and equipment tested, are not agreed upon. In patients with CCS, if conservative treatment is ineffective, fasciotomy of the affected parts of the lower leg is the method of choice. Various techniques for fasciotomy of the lower leg include the traditional open fasciotomy, the semi-closed technique with one or more incisions, the minimally invasive technique using endoscopic compartment release, and the use of ultrasound guidance. Fasciotomy of the lower leg to correct CVCS is performed mainly for recurrence of trophic ulcers after shave therapy, severe calcification of the lower leg tissues and for the treatment of deep transfascial necrosis. Randomized, blinded, controlled trials are needed to further expand our knowledge of the diagnosis and treatment of CCS.

**Keywords:** chronic venous diseases, chronic venous insufficiency, subfascial pressure, venous trophic ulcers, vein surgery, shave therapy, endoscopic dissection of perforating veins, fasciectomy, fasciotomy

**Acknowledgment.** The work was carried out in accordance with the research plan of the Samara State Medical University.

**For citation:** Katorkin S.E., Kushnarchuk M.Y. Chronic compartment-syndrome of the lower limb: modern strategies for diagnosis and treatment. *Ambulatornaya Khirurgiya*. 2023;20(1):69–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/akh2023-009>.

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

## ВВЕДЕНИЕ

При наиболее тяжелых формах хронической венозной недостаточности (CVI) прогрессирующий дерматолипосклероз поражает кожу, а также подкожные и субфасциальные структуры. Это приводит, особенно при его циркулярном развитии, к повышению внутрикомпарментного (ICP) и подкожно-тканевого давления с нарушением перфузии кожи и образованию резистентных к лечению и рецидивирующих венозных трофических язв (VLU) нижних конечностей и их последствиям [1, 2]. Венозная язва является серьезной клинической проблемой, поражающей примерно 1% населения и 3% людей старше 80 лет в западных странах. Прогнозируется резкий рост глобальной распространенности в связи с увеличением продолжительности жизни и множественными сопутствующими заболеваниями [3, 4]. Неблагоприятные личные, социальные, финансовые и психологические факторы у пациентов С4b-С6 клинических классов (по CEAP) с хроническими заболеваниями вен (CVD) обусловлены стоимостью диагностики и лечения, его длительностью, продолжительной потерей трудоспособности, возможной инвалидизацией и часто приводят к серьезным психологическим изменениям, значительным ограничениям качества жизни и социальной маргинализации [3, 4]. Лечение пациентов С4b-С6 клинических классов остается серьезной проблемой для врачей разных специальностей. Необходимы экономически эффективные дополнительные стратегии и стандартизированные методы, которые обеспечивают основанное на фактических данных лечение пациента [5].

Медицинская реабилитация пациентов с CVI должна включать комбинацию консервативного и оперативного лечения [6, 7]. Компрессионная и системная

фармакологическая терапии являются базовыми компонентами успешного комплексного лечения пациентов с CVI [8, 9]. При местном лечении VLU вариант дебридмента и повязок зависит от индивидуальных особенностей раневого процесса и состояния окружающих тканей. Внедрение системного подхода известного как концепция «TIME» (ткань, инфекция / воспаление, баланс влаги и край раны) в лечении VLU привело к улучшению диагностических процедур и клинических результатов [10].

Методы хирургической коррекции CVI, включающие оперативное вмешательство в поверхностную, перфоративную и, реже, глубокую венозную системы нижних конечностей, достаточно широко описаны в медицинской литературе и используются во всем мире [11, 12]. Несмотря на достигнутые успехи, процент неудовлетворительных результатов хирургического лечения пациентов С4b-С6 клинических классов и рецидивов VLU достаточно значителен [13]. Исследование ESCHAR (n = 500) показало, что хирургическая коррекция поверхностного венозного рефлюкса снижает частоту рецидивов VLU в течение 12 мес., но не ускоряет ее эпителизацию по сравнению с компрессионной терапией [14]. По данным систематического обзора и метаанализа, проведенного S.A.S. Namann et al. в 2017 г., сравнивающего долгосрочную (5 лет) эффективность различных методов лечения, были сделаны следующие выводы: эндовенозная термоабляция и кроссэктомия со стриппингом демонстрируют более высокую эффективность после обработки *v.shafena magna*, чем пенная склеротерапия под ультразвуковым контролем. Частота повторного рефлюкса в сафенофemorальном соустье была значительно ниже при кроссэктомии со стриппингом,

чем при эндовенозной термоабляции и пенной склеротерапии, а показатели опросника VCSS были одинаковыми для эндовенозной термоабляции и кроссэктомии со стриппингом [15]. Различные методы чрескожной обработки перфорантных вен у пациентов клинических классов C4b-C6 чреваты развитием раневых осложнений. Поэтому хорошие непосредственные и отдаленные результаты в ликвидации патологических венозных рефлюксов у пациентов C4-C6 клинических классов зафиксированы при обработке подкожных вен в сочетании с субфасциальной эндоскопической диссекцией перфорантных вен (SEPS) [16–18]. В проспективном рандомизированном исследовании, проведенном в 12 центрах Нидерландов (200 ТЯ; n = 170), было отмечено значительное увеличение безрецидивного периода после SEPS в сочетании с лигированием поверхностных вен у пациентов с медиально расположенной и/или рецидивирующей венозной VLU [19].

В настоящее время выделяется 4 основные причины рефрактерных персистирующих VLU голени: недостаточность мышечно-венозной помпы, хронический венозный компартмент-синдром (CVCS), нереканализированный тромбоз глубоких вен и липодерматосклероз как симптом тяжелой CVI [20]. В 1958 г. M. Vigoni предложил (метод Vigoni), а в 1970 г. опубликовал отдаленные результаты хирургического лечения липодерматосклероза голени с иссечением VLU [21, 22]. Пациентам с рефрактерными персистирующими VLU необходима кожная пластика. Исторически применялось большое количество различных методов вторичной (после образования грануляций) свободной кожной пластики, которые выполнялись в том числе и при лечении VLU: методы J.L. Reverdin 1869 г., С.М. Янович-Чаинского 1870 г., L.L.X.E. Ollier 1872 г., K. Thiersch 1874 г. Однако эти методы часто оказываются недостаточно эффективными: только 50% VLU эпителизируются в течение 4 мес., 20% остаются открытыми на протяжении 2 лет, а 38% не заживают при 5-летнем наблюдении [23]. В настоящее время они применяются при VLU небольшой площади, у пожилых и мультиморбидных пациентов, а также в поликлинических условиях.

В последнее десятилетие прошлого века метод закрытия VLU после ее иссечения (*shave therapy*) пересаженным расщепленным кожным трансплантатом возродился и теперь известен также как метод W. Schmeller (Vigoni-Schmeller) [24]. *Shave therapy* включает тангенциальную, эпифасциальную резекцию фиброзно-некротической и склеротической ткани послойно с одновременным закрытием дефекта кожными расщепленными перфорированными трансплантатами [25]. Это наиболее предпочтительный метод местной

хирургической коррекции рефрактерных персистирующих VLU у пациентов с выраженным липодерматосклерозом. По данным W. Schmeller и Y. Gaber (2000) это улучшит прогноз в отношении долгосрочного заживления (88%) и частоты рецидивов VLU [24]. По мнению большинства флебологов, *shave therapy* с одномоментной аутодерматопластикой в настоящее время является методом выбора при дерматолипофасциосклерозе голени [26–28]. При ее применении фиксируются хорошие долгосрочные результаты с уровнем излечения, достигающим 70–80%.

Необходимо отметить, что применяемые в настоящее время традиционные методы диагностики не исследуют, а способы консервативного и хирургического лечения существенно не влияют на функциональную недостаточность мышечно-венозной помпы и CVCS, развивающиеся у пациентов C4b-C6 клинических классов.

## ● ЭТИОЛОГИЯ И ПАТОГЕНЕЗ ХРОНИЧЕСКОГО КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМА

По мнению W. Nach, необходимо выделять различные формы хронического компартмент-синдрома (CCS) нижних конечностей [29]. Хронический компартмент-синдром физического напряжения / нагрузки (CECS), при котором в основном поражаются передний компартмент и группа малоберцовых мышц и лишь изредка латеральный, является достаточно распространенной, но часто не диагностируемой причиной болей в ногах. CECS, впервые описанный в литературе G.E. Mavor в 1956 г. и известный в травматологии, ортопедии, спортивной и военной медицине, является инвалидизирующей травмой вследствие чрезмерной нагрузки, которая может возникать в миофасциальных отделах нижних конечностей [30]. CECS проявляется при выполнении повторяющихся движений и обычно описывается как связанная с физической нагрузкой мышечная боль, вызывающая ощущение давления или стеснения, которое уменьшается после прекращения провокационных действий [31]. Этиология CECS широко обсуждается в литературе, но патологическое повышение ICP в фасциально-мышечных компартментах считается ключевым событием патогенеза. Во время интенсивных упражнений объем мышц может увеличиться до 20% от их размера в состоянии покоя, что, в свою очередь, вызывает повышение ICP в каждом мышечно-фасциальном отделе [32]. Концепция CECS основана на исследованиях ICP, патоморфологических изменений фасции и мышц голени. Повышенное давление в ICP вызывает компрессию сосудисто-нервных пучков. В результате возникающая ишемия чаще

всего проявляется в виде боли. При этом повышенная дезоксигенация мышечной ткани не сопровождается ее некрозом. CECS возникает на фоне повторяющихся обратимых эпизодов ишемии после прекращения активности, что приводит к предсказуемому снижению ICP. Считается, что эти симптомы являются результатом обратимого повышения ICP, вторичного по отношению к несоответствию между расширением мышечной ткани в относительно неподатливой фасции. Однако появляется все больше доказательств того, что CECS является многофакторной проблемой и представляет собой нечто большее, чем просто временное повышение ICP. По данным E.L. Papalambros et al., до 21% случаев острой ишемии может осложняться компартмент-синдромом [33]. В 2022 г. J.C. McGinley et al. исследовали теорию о том, что CECS возникает в результате обструкции венозного оттока из-за функциональной мышечной компрессии [34]. Надежные данные о заболеваемости или распространенности CECS отсутствуют. В ретроспективном исследовании 1411 пациентов, направленных для оценки болей в ногах, вызванных физической нагрузкой, с использованием динамического измерения ICP 49% соответствовали критериям CECS [35].

Несмотря на доброкачественный характер, рефрактерно протекающий CECS часто приводит к тому, что значительная часть пациентов решается на хирургическое лечение с фасциотомией пораженных отделов, которое успешно позволяет 84% из них вернуться к полноценному уровню активности [36].

Вторичный по отношению к венозной гипертензии из-за выраженной CVI нижних конечностей CVCS существенно отличается от CECS и является недостаточно описываемым в специализированной литературе состоянием. Развивающийся у пациентов с CVD C4b-C6 клинических классов CVCS имеет принципиально иной механизм и принципиально отличается от ранее известных клинических картин [37]. Под CVCS постулируется корреляция между повышенным ICP в голени и сохранением VLU. В 1990 г. J.J. Pflug et al. описали группу пациентов с CVD, у которых варикозное расширение вен и посттромботический синдром сочетались с повышенным ICP покоя лодыжечной области пораженной конечности [38]. Венозная гипертензия вызывает богатый белком отек, который приводит к воспалению и, таким образом, к фиброзу и склерозу кожи, подкожной клетчатки и подлежащей фасции, что часто наблюдается у пациентов с обширными рецидивирующими или персистирующими VLU [39]. CVCS локализуется преимущественно в дорзальных отделах. Рубцовая деформация и деструкция фасции голени оказывает влияние на ICP

при ходьбе пациента. Каждый шаг вызывает повышение ICP и повреждение микроструктуры. В тяжелых случаях это приводит к нарушению решетчатого расположения коллагеновых волокон, значительным изменениям в мышцах с потерей гибкости во время сокращения и сопровождается хронической ишемией, связанной с некрозом и дефицитом гликогена [29]. В своих последующих работах W. Nash обосновывает необходимость дальнейших исследований CVCS путем измерения ICP голени в динамических и стандартизированных условиях, и дифференцированное различие между CECS и CVCS, преобладающим симптомом которого является циркулярный липодермофасциосклероз с рефрактерной персистирующей VLU голени [40]. Повышенное венозное давление, поражение кожных капилляров и хронический воспалительный процесс приводят к склерозу кожи и подкожной клетчатки, который у пациентов с клиническими классами C4b-C6 CVD переходит на фасции с развитием CVCS, что приводит к необходимости его коррекции путем снижения повышенного ICP (фасциотомия или даже фасциэктомия) [41].

В настоящее время существует несколько теорий о процессах, происходящих при повышении ICP. Теория критического давления рассматривает только ICP, однако не учитывает влияния изменений системной гемодинамики на перфузию тканей. При 20 мм рт. ст. наблюдалось сдавление венул эпинеурия, что показывает различную чувствительность тканей к давлению [42]. В теории динамического давления, помимо определения ICP, оцениваются среднее артериальное давление и диастолическое артериальное давление. Резкое повышение количества обнаруженных некрозов происходит при разнице менее 10 мм рт. ст. [43]. По данным A.R. Hargens et al., значительный некроз мышц, связанный с надвигающимся синдромом компартмента, возникает при пороговом ICP в 30 мм рт. ст. через 8 часов [44]. Серьезные нарушения венозного оттока так же ведут к повышению ICP. Результаты, полученные P. Qvarfordt, B. Eklöf и P. Ohlin в 1983 г., свидетельствуют, что ICP статистически значимо выше в тромбированной ноге, чем в контралатеральной конечности [45]. Подвздошно-бедренный тромбоз вызывал значительно ( $p \leq 0,001$ ) более высокое ICP (17–28 мм рт. ст.), чем тромбоз голени (16–23 мм рт. ст.). Было обнаружено, что компартмент-синдром является частью формы *phlegmasia cerulea dolens* (ICP в покое 47–56 мм рт. ст.).

Сочетание и взаимное отягощение CVI и заболеваний опорно-двигательной системы являются причиной функциональной недостаточности нижних конечностей.

Нарушения рессорной, балансирующей и толчковой функций стопы, функциональная и органическая контрактура голеностопного сустава у пациентов С4b-С6 клинических классов ведут к развитию артрогенного конгестивного синдрома и усилению CVCS [46].

В настоящее время концепция CVCS нуждается в дальнейших исследованиях. Причинами этого являются отсутствие международных стандартизированных исследований и публикаций. Существует большая потребность в сравнении исследований при одинаковых условиях (этиология, выраженность липодерматофасциосклероза, размер VLU, функциональные нарушения в нижних конечностях, отдаленные результаты, качество жизни). В доказательной медицине хирургическое лечение CVCS также представлено недостаточно и с низким уровнем рекомендаций.

### ДИАГНОСТИКА ХРОНИЧЕСКОГО КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМА

В настоящее время диагностика и лечение пациентов с CECS и CVCS происходит в отсутствие общепринятых руководств и стандартизированных протоколов. По данным исследования международной экспертной группы с использованием метода Delphi, служащего первой попыткой инициировать простые рекомендации для клинической практики, тщательно собранный анамнез и физикальный осмотр имеют решающее значение для постановки точного диагноза [31]. CCS считается вероятным, если: пациент сообщает о боли и стеснении во время физической нагрузки; преждевременно прекращает или избегает определенных действий и может вызывать эти симптомы, выполняя провокационные действия во время медицинского осмотра [31].

Классическими клиническими симптомами являются:

- сильная боль в пораженной конечности, непропорциональная физической нагрузке, не соответствующая размеру повреждения (трофических нарушений) и состоянию конечности, усиливающаяся при пассивном растяжении мышц в пораженном фасциальном футляре;
- скованность;
- отек;
- нарушение мышечной функции;
- ограничение локомоций в голеностопном суставе и иногда отвисание стопы;
- судороги;
- нарушения чувствительности или парестезия кожи в зонах иннервации нервов, проходящих в этом фасциальном футляре;
- пойкилотермия (изменение температуры);

- уплотнение или/и развитие воспаления в пораженном фасциальном футляре;
- ослабление (исчезновение) дистальной пульсации артерий [31, 47].

Эти симптомы постепенно ухудшаются в зависимости от интенсивности и продолжительности физической нагрузки и обычно длятся в течение 15 мин. после прекращения активности, но могут пройти через несколько часов, в зависимости от тяжести симптомов.

За исключением измерения ICP, наиболее чувствительным диагностическим индикатором CCS является боль при пассивном мышечном растяжении в данном мышечно-фасциальном компартменте. Как правило, пациенты жалуются на боль в определенном отделе ноги в одно и то же время или на определенном расстоянии от определенного триггерного упражнения. Эта повторяющаяся с постоянной продолжительностью или интенсивностью боль будет сохраняться до прекращения напряженной деятельности. Она может стать инвалидизирующей в связи с усилением после прохождения определенного расстояния, которое постепенно сокращается. В настоящее время отсутствуют адекватные системы, используемые для оценки (визуальная аналоговая шкала и числовая шкала оценки) симптомов во время медицинского осмотра или провокации симптомов [31].

Для подтверждения (дифференциальной диагностики) CECS и CVCS используются различные инвазивные и неинвазивные методы диагностики. В настоящее время динамическое измерение ICP продолжает оставаться золотым стандартом диагностики CCS, т. к. представленные в последние годы в качестве возможной замены различные неинвазивные альтернативные методы диагностики CVCS не имеют убедительной доказательной базы и поэтому не получили широкого внедрения в клиническую практику. Измерение исходного и послетренировочного ICP подтверждает диагноз и помогает в планировании лечения. Метод следует использовать в дополнение к клиническим признакам и симптомам из-за существующих различий в протоколах измерения и пороговых значениях для дифференциации между патологической этиологией, ответственной за боль в ногах, связанную с физической нагрузкой, или для установления показаний к хирургическому лечению [31, 48]. В клинической практике могут использоваться инвазивная игольчатая или катетерная манометрия динамического измерения ICP с получением значения абсолютного давления в 4 компартментах голени до, во время и/или через 1 мин после физической нагрузки [31, 49]. Показатели ICP могут быть получены с помощью специальных приборов для

измерения давления (Stryker Corp., Digital Quickset, Ace Medical, монитор давления). Помимо них можно использовать простую систему, состоящую из манометра от тонометра, 3-ходового крана, шприца 20 мл, иглы 18G и удлинительной инфузионной линии. Учитывая инвазивный характер метода, выполняемого под местной анестезией и сопряженного с риском неправильного размещения иглы, образования гематомы и повреждения нерва, его рекомендуется выполнять под ультразвуковым контролем [50]. И хотя в литературе продолжают споры о точных диагностических критериях ICP, наиболее широко принята система, предложенная в 1990 г. R.A. Pedowitz et al. [51]. При наличии соответствующих клинических данных считается, что один или несколько из следующих критериев ICP являются диагностическими для CCS нижних конечностей: давление до физической нагрузки выше или равно 15 мм рт. ст.; через 1 мин. после – выше или равно 30 мм рт. ст.; через 5 мин. после – выше или равно 20 мм рт. ст. Для установления диагноза CVCS рекомендуется определить ICP на обеих ногах и соотнести симптомы и признаки с измеренным ICP [52]. Однако консенсус относительно этих пороговых значений и стандартизированного протокола измерений ICP при CECS и CVCS в настоящее время отсутствует. По данным W. Nach et al., у пациентов с неизменными венами нижних конечностей среднее ICP в глубоком компартменте составило 13,6 мм рт. ст. в горизонтальном положении и 29,9 мм рт. ст. в вертикальном. У пациентов с CVCS среднее ICP было выше и составляло 21,1 мм рт. ст. и 62,5 мм рт. ст. соответственно. Авторы рекомендуют при CVCS считать патологическим ICP выше 18 мм рт. ст. в горизонтальном и 35 мм рт. ст. в вертикальном положении пациента [29].

Первое предложение по альтернативному диагностическому тестированию CCS помимо ICP было предложено в 1982 г., поскольку считалось, что изменения в тонах Н.С. Короткова отражают повышенное ICP [53]. В 1988 г. J. Styf предложил сочетать определение ICP с измерением скорости нервной проводимости с помощью ЭМГ [54]. В последующие десятилетия альтернативные стратегии были сосредоточены на МРТ, диффузионно-тензорной томографии, однофотонной эмиссионной КТ, спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона, функциональной ЭМГ, мионометрии, некоторых способах ультразвукового исследования и создании прогностических клинических моделей [55].

Помимо измерений ICP, международная экспертная группа (Delphi) сочла «провокацию симптомов с помощью теста на беговой дорожке и повторного медицинского осмотра» условным тестом для постановки

диагноза CCS [31]. Многообещающими в качестве эффективного неинвазивного альтернативного диагностического метода, показали себя протоколы физических упражнений и МРТ до и после физической нагрузки [56]. Этот способ продемонстрировал надежность и воспроизводимость в качестве неинвазивного скринингового теста при CECS [57]. Исследования по применению МРТ при CVCS отсутствуют.

Проведение КТ у пациентов С4b-С6 клинических классов с оценкой качественных и количественных характеристик состояния тканей и костей, объемов компартментов голени, особенно показателей плотности мышц, позволяет с высокой достоверностью выявлять наличие и степень выраженности CVCS [58]. По данным КТ, в нижней трети голени образуется «турникет», состоящий из фиброзной подкожной клетчатки, оссифицированной на больших участках фасции, капсулы голеностопного сустава и прилегающих сухожилий [58, 59].

Ультразвуковое исследование, рентгенографию и МРТ проводят для выявления других причин болевого синдрома в голени и исключения альтернативных диагнозов (стрессового перелома, растяжения мышц, невротий, заболеваний сосудов и позвоночника), вызванной физической нагрузкой [31, 60].

Необходимо отметить, что представленные в последние годы в качестве возможной замены ICP неинвазивные альтернативные методы диагностики CCS не имеют убедительной доказательной базы и поэтому не получили широкого внедрения в клиническую практику. Это подтвердил аналитический обзор текущего состояния доказательств и возможностей в отношении неинвазивных методов диагностики CCS (25 исследований;  $n = 1257$  пациентов), проведенный A.M. van der Kraats et al. в 2023 г. с использованием рекомендаций PRISMA и показавший отсутствие достоверности всех обсуждаемых неинвазивных диагностических инструментов в качестве его замены [61]. При анализе литературных данных (28 исследований) по альтернативным диагностическим методам для CCS, проведенном E.D. Ritchie et al. в 2023 г. по критериям PRISMA, обнадеживающие результаты были получены для МРТ, ближней инфракрасной спектроскопии и однофотонной эмиссионной КТ. Но диагностические инструменты и протоколы в этих исследованиях не были стандартизированы, присутствовала клиническая и методологическая неоднородность, а высококачественные валидационные научно-клинические работы с однозначными конечными точками для определения превосходства среди альтернативных диагностических тестов для CCS отсутствовали [62].

Применение в обследовании у пациентов С4b-С6 клинических классов методов клинической биомеханики позволяет диагностировать прогрессирующий дефицит мышечной функции, выявить наличие хромоты и патологическую ходьбу, функциональную недостаточность нижних конечностей и статодинамические нарушения [63].

Для улучшения диагностики CVCS актуальным является создание с помощью специального программного обеспечения для объемного рендеринга реалистичных и интерактивных 3D-моделей венозной системы с реалистичной трехмерной моделью нижних конечностей. Использование методов виртуальной реальности позволяет провести полное анатомическое исследование как глубоких, так и поверхностных вен, включая виртуальное рассечение конечностей [64, 65].

### ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА

Симптомы CVCS и CECS совпадают с другими заболеваниями голени и поясничного отдела позвоночника, которые следует учитывать: медиальный стресс-синдром большеберцовой кости, стрессовые переломы, растяжения мышц, тромбоз глубоких вен, синдром ущемления подколенной артерии, перемежающаяся хромота при заболеваниях периферических артерий, поясничная радикулопатия, тендинит / миозит, онкологическая патология и фибромиалгия [31, 35, 46, 47]. Для их исключения важен тщательный физикальный осмотр [35]. Появление боли при пальпации заднего медиального края большеберцовой кости на площади 5 см свидетельствует о медиальном стресс-синдроме большеберцовой кости, который может возникать одновременно с CCS. Для оценки стрессовых переломов, поясничной радикулопатии, а также других аномалий нижней кинетической цепи используют МРТ. Ультразвуковое исследование позволяет исключить тромбоз глубоких вен [9, 60]. Проверка чувствительности и пальпация пульса на голени помогают дифференцировать неврологическую и артериальную патологию. Лодыжечно-плечевой индекс является объективным инструментом, используемым в дифференциальной диагностике сосудистых нарушений [47].

### ЛЕЧЕНИЕ ХРОНИЧЕСКОГО КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМА

В консервативном лечении CCS применяются:

- модификация активности и ее ограничение до уровня, вызывающего минимальные симптомы;
- компрессионная терапия;
- переобучение походки;
- дозированная ходьба, чередования стояния и ходьбы с лежанием;

- реабилитационные тренажеры;
- физиотерапия для растяжения и укрепления задействованных мышц;
- миофасциальное расслабление;
- массаж с высвобождением мягких тканей;
- ЛФК;
- различные виды стимуляции мышечно-венозной помпы;
- ортопедические супинаторы;
- нестероидные противовоспалительные средства [7, 31, 32, 46].

Необходимая стимуляция мышечно-венозной помпы достигается за счет использования как аппаратных (интермиттирующая пневмокомпрессия, биомеханическая и электромиостимуляция), так и функциональных (статическая физкультура, ЛФК) методов воздействия [63, 66]. Неинвазивные методы лечения CCS могут обеспечить только временное облегчение симптомов, и большинству пациентов обычно требуется хирургическое вмешательство, чтобы вернуться к безболезненному уровню оптимальной физической активности [67].

У пациентов с CVI независимо от состояния VLU, выраженности липодерматосклероза и CVCS всегда необходимо устранять патологический венозный рефлюкс. При выраженных трофических нарушениях, препятствующих прямому доступу к несостоятельным перфорантным венам, устранение которых играет важную роль в гемодинамической концепции лечения VLU и CVCS, в 1985 г. G. Haueг внедрил метод SEPS [68]. В настоящее время метод SEPS, учитывая трудности сравнительных исследований, продолжает оставаться предметом научных дискуссий и нуждается в дальнейшей оценке [69].

К основным хирургическим операциям, позволяющим корректировать проявления CECS и CVCS, относятся фасциотомия и фасциэктомия. Открывая подфасциальное пространство и снижая тем самым ICP, операции на фасции голени представляют собой причинно-следственный лечебный подход в концепции CCS [70]. Показания к выполнению декомпрессионной фасциотомии до сих пор являются предметом дискуссии. Фасциотомия рекомендуется, когда ICP превышает 30 мм рт. ст. у пациента с нормальным артериальным давлением [29, 52]. Разработаны разнообразные способы выполнения фасциотомии, которые условно можно разделить на открытые, полужакрытые и эндоскопические операции [71].

Открытая фасциотомия позволяет провести декомпрессию всех 4 фасциальных футляров голени при адекватном визуальном контроле [72]. Существенным недостатком метода является раневая дефект значительной площади.

К преимуществам полужакрытых фасциотомических методик относят несложную хирургическую технику метода, возможность выполнения под местной анестезией, закрытие кожных разрезов первичным натяжением, а к недостаткам – отсутствие интраоперационного визуального контроля и декомпрессии заднего глубокого фасциального футляра.

При анализе 24 первичных исследований (n = 1596) применения фасциотомии при CECS успешные функциональные результаты были получены у 2/3 пациентов, а 84% были удовлетворены результатами операции при краткосрочном и среднесрочном наблюдении [73]. Систематический обзор, представленный A. Ding et al. в 2020 г., показал, что фасциотомия является безопасным подходом с показателями удовлетворенности от 48 до 94%. Связанные с ней осложнения включали гематомы (2,7–22,5%), повреждения нервов (2,0–18,6%), тромбоз глубоких вен (2,7%), рецидив симптомов (0,65–8,4%), ревизионную фасциотомию (10,4%) [74].

Методам хирургического лечения при VLU и CVCS положил начало J. Noman в 1916 г., первым резецировав единым блоком VLU и фасцию на нижней конечности [75]. Вариант паратибиальной фасциотомии для декомпрессии субфасциальных компартментов во флебологической практике при CVCS описал W. Nach [70]. Рассечение фасции и открытие субфасциального пространства приводили к снижению ICP, купированию CVCS и более быстрому заживлению VLU. В 1980 г. W. Nach et al. после выполнения паратибиальной фасциотомии в сочетании с SEPS было отмечено, что только фасциотомия даже без SEPS способствует ускорению эпителизации VLU. Они пришли к заключению, что развитие распространенного циркулярного дерматолипофасциосклероза с уменьшением субфасциального пространства голени является одним из наиболее значимых процессов в патофизиологии CVCS и VLU, а вмешательства на фасции голени должны стать обязательной частью патогенетического лечения [29, 76].

По данным J.T. Christenson, C. Prins, G. Gemayel, ликвидация всех поверхностных рефлюксов снижает подкожное тканевое давление, в то время как дополнительная паратибиальная фасциотомия снижает ICP и подкожное тканевое давление, увеличивая чрескожное напряжение кислорода, что, по-видимому, способствует эпителизации VLU [77].

В настоящее время все больше предпочтение при коррекции CVCS и CECS отдается минимально инвазивной эндоскопически-ассистированной фасциотомии, которая позволяет увеличить площадь поперечного сечения заинтересованных компартментов голени

на 12–15% [73, 78]. Это способствует улучшению регионарной гемодинамики, купированию проявлений CVCS, артрогенного конгестивного синдрома, снижению функциональной недостаточности нижних конечностей и заживлению VLU. Основными преимуществами являются не только небольшие разрезы с минимальной травмой мягких тканей, незначительный косметический дефект и снижение проблемы с заживлением ран. При этом методе значительно уменьшается ятрогенный риск повреждений, сохраняется большеберцовое прикрепление камбаловидной мышцы. Клинический исход улучшается за счет надежной декомпрессии компартментов, выявления фасциальных дефектов, декомпрессии нервных ветвей в фасциальном отверстии и раннего возвращения к привычному образу жизни [78]. В последние годы представлен новый метод выполнения фасциотомии с использованием ультразвукового контроля [79, 80].

Спектр показаний к фасциэтомии значительно сузился из-за эффективности применения *shave therapy*. Решающими являются циркулярные VLU с дерматолипофасциосклерозом и CVCS; трансфасциальные некрозы с обнаженными участками сухожилий; выраженное метапластическое окостенение в периульцерозных тканях голени, которое может ограничить технические возможности применения дерматомов при *shave therapy*; истончение фасции голени из-за риска повреждения субфасциальных структур при *shave therapy*; отсутствие интраоперационного капиллярного кровотечения после *shave therapy*; рецидивы VLU после многократного применения *shave therapy*, когда фасциальные структуры уже разрушены и необходимо полное иссечение некротизированных тканей [76, 81]. Фасциэтомия и удаление эпифасциальной ткани в качестве средства обеспечения «плодородной основы» для дерматоластики дает положительный эффект. Даже при пересадке на липодистрофические мышцы перфорированные аутодермотрансплантаты приживаются за счет достаточной микроциркуляции. Для дистально и латерально расположенных язв W. Nach в 2006 г. разработал модифицированный алгоритм техники фасциэтомии по J. Noman, включающий мобилизацию, транспозицию и наложение швов на окружающие мышцы для укрытия малоберцовой кости и создания васкуляризованного ложа раны [75, 76]. При проведении операции проводят резекцию не только собственно фасции, а всех некротических и склеротических тканей голени, включая некротизированные сухожилия.

Хирургическая техника выполнения латеральной фасциэтомии с сохранением *n. fibularis superficialis* и одновременной свободной аутодермопластикой

расщепленным перфорированным трансплантатом была разработана А. Obermayer et al. в 2006 г. [81]. В период с 2006 по 2013 г. было выполнено 44 латеральные фасциэктомии. Через 3 месяца эффект полного заживления VLU достигнут у 98% пациентов. При наблюдении до 8,7 лет местные рецидивы отсутствовали [81]. Декомпрессионные фасциотомия и фасциэктомия являются важнейшими методами хирургического лечения CCS. Пациенты, перенесшие эти операции, имели более высокий уровень удовлетворенности результатами лечения, чем лечившиеся только консервативными методами [67].

### ● ПОСЛЕОПЕРАЦИОННЫЙ УХОД

Для достижения хороших и продолжительных результатов хирургической коррекции CCS необходима стандартизированная система медицинской реабилитации [46]. Протокол послеоперационной реабилитации и лечение рецидивирующего (или резидуального) заболевания требует дальнейших исследований [31]. Медицинскую реабилитацию пациентов с CVCS необходимо начинать непосредственно в послеоперационном периоде и обязательно продолжать амбулаторно. Физические и физиотерапевтические методы улучшения локомоторной функции голеностопных суставов при артрогенном конгестивном синдроме, инструментальная стимуляция мышечно-венозной помпы, повседневная комплексная противоотечная и компрессионная терапия, статическая гимнастика и ЛФК (активная и аппаратная), индивидуальное изготовление подошвенных ортезов и подиатрический уход являются основными элементами долгосрочного успеха [2, 66]. Выраженные деформации стоп требуют адекватной коррекции

с применением комбинированных малотравматичных реконструктивных способов с коррекцией всех элементов деформации [46, 63]. Поэтому в современных условиях к лечению пациентов с CVD клинических классов С4b-С6 необходим мультидисциплинарный подход, проводимый совместно сосудистыми хирургами, ортопедами, дерматологами и физиотерапевтами.

### ● ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимо отметить оправданность продолжения исследования CVCS и CECS, поскольку в настоящее время присутствует клиническая и методологическая неоднородность представленных в научной литературе результатов. Нужна дальнейшая оптимизация конкретных ключевых критериев CCS, что потенциально может сделать измерение ICP излишним. Будущие исследования должны быть сосредоточены на неинвазивных диагностических вариантах и миниинвазивных методах лечения, наиболее подходящих для каждого отдельного пациента. Положительный эффект после выполнения фасциотомии голени объясняется купированием CCS. При хирургической коррекции CVCS и CECS необходимо отдавать предпочтение эндоскопически-ассистированной фасциотомии. Фасциэктомия как наиболее инвазивный метод следует рекомендовать только при глубоких ТЯ и/или некротических изменениях фасции и сухожилий. Медицинская реабилитация данной группы пациентов должна строиться на мультидисциплинарном подходе.

Поступила / Received 13.03.2023

Поступила после рецензирования / Revised 28.03.2023

Принята в печать / Accepted 29.03.2023

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. O'Donnell T.F. Jr, Passman M.A., Marston W.A., Ennis W.J., Dalsing M., Kistner R.L. et al. Management of venous leg ulcers: clinical practice guidelines of the Society for Vascular Surgery® and the American Venous Forum. *J Vasc Surg.* 2014;60(2 Suppl.):3S–59S. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2014.04.049>.
2. Hermanns H.J. Chirurgie des Ulcus cruris – Eine aktuelle Übersicht. *Vasomed.* 2016;28(04):158–165. Available at: [https://www.derniedergelassene-arzt.de/fileadmin/user\\_upload/zeitschriften/vasomed/Artikel\\_PDF/2016/04-2016/04-16\\_Uebersicht\\_Hermanns\\_m\\_Literatur.pdf](https://www.derniedergelassene-arzt.de/fileadmin/user_upload/zeitschriften/vasomed/Artikel_PDF/2016/04-2016/04-16_Uebersicht_Hermanns_m_Literatur.pdf).
3. Franks P.J., Barker J., Collier M., Gethin G., Haesler E., Jawien A. et al. Management of Patients With Venous Leg Ulcers: Challenges and Current Best Practice. *J Wound Care.* 2016;25(6 Suppl.):S1–S67. <https://doi.org/10.12968/jowc.2016.25>.
4. Salim S., Machin M., Patterson B.O., Onida S., Davies A.H. Global Epidemiology of Chronic Venous Disease: A Systematic Review With Pooled Prevalence Analysis. *Ann Surg.* 2021;274(6):971–976. <https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000004631>.
5. Shaydakov M.E., Ting W., Sadek M., Aziz F., Diaz J.A., Raffetto J.D. et al. Review of the current evidence for topical treatment for venous leg ulcers. *J Vasc Surg Venous Lymphat Disord.* 2022;10(1):241–247.e15. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2021.06.010>.
6. Каторкин С.Е., Жуков А.А., Кушнарчук М.Ю. Комбинированное лечение вазотрофических язв при хронической венозной недостаточности нижних конечностей. *Новости хирургии.* 2014;22(6):701–709. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2014.6.701>. Katorkin S.E., Zhukov A.A., Kushnarchuk M.J. Combined treatment of vasotrophic ulcers in lower limbs chronic venous insufficiency. *Novosti Khirurgii.* 2014;22(6):701–709. (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2014.6.701>.
7. De Maeseneer M.G., Kakkos S.K., Aherne T., Baekgaard N., Black S., Blomgren L. et al. Editor's Choice – European Society for Vascular Surgery (ESVS) 2022 Clinical Practice Guidelines on the Management of Chronic Venous Disease of the Lower Limbs. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2022;63(2):184–267. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2021.12.024>.

8. Камаев А.А., Булатов В.Л., Вахратян П.Е., Волков А.М., Волков А.С., Гаврилов Е.К. и др. Варикозное расширение вен. *Флебология*. 2022;16(1):41–108. <https://doi.org/10.17116/flebo20221601141>.
9. Камаев А.А., Bulatov V.L., Vakhratyan P.E., Volkov A.M., Volkov A.S., Gavrilov E.K. et al. Varicose Veins. *Flebologiya*. 2022;16(1):41–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/flebo20221601141>.
10. Бицадзе В.О., Бредихин Р.А., Булатов В.Л., Головина В.И., Дженина О.В., Золотухин И.А. и др. Флебит и тромбофлебит поверхностных сосудов. *Флебология*. 2021;15(3):211–244. <https://doi.org/10.17116/flebo202115031211>.
11. Bitsadze V.O., Bredikhin R.A., Bulatov V.L., Golovina V.I., Dzenina O.V., Zolotukhin I.A. et al. Superficial phlebitis and thrombophlebitis. *Flebologiya*. 2021;15(3):211–244. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/flebo202115031211>.
12. Leaper D.J., Schultz G., Carville K., Fletcher J., Swanson T., Drake R. Extending the TIME concept: what have we learned in the past 10 years? *Int Wound J*. 2012;9(2 Suppl.):1–19. <https://doi.org/10.1111/j.1742-481X.2012.01097.x>.
13. Evidence-based (S3) guidelines for diagnostics and treatment of venous leg ulcers. *J Eur Acad Dermatol Venereol*. 2016;30(11):1843–1875. <https://doi.org/10.1111/jdv.13848>.
14. Каторкин С.Е., Сушков С.А., Кушнарчук М.Ю. Современные стандарты хирургического лечения венозных трофических язв нижних конечностей. *Новости хирургии*. 2021;29(1):75–89. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2021.1.75>.
15. Katorkin S.E., Sushkou S.A., Kushnarchuk M.Y. Current Standards of Surgical Treatment for Venous Trophic Ulcers of the Lower Extremities. *Novosti Khirurgii*. 2021;29(1):75–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2021.1.75>.
16. Hermanns H.J. Standards in the surgical treatment of leg ulcers. *Phlebologie*. 2019;48(03):161–169. <https://doi.org/10.1055/a-0887-4656>.
17. Wright D.D. The ESCHAR trial: should it change practice? *Perspect Vasc Surg Endovasc Ther*. 2009;21(2):69–72. <https://doi.org/10.1177/1531003509337156>.
18. Hamann S.A.S., Giang J., De Maeseneer M.G.R., Nijsten T.E.C., van den Bos R.R. Editor's Choice – Five Year Results of Great Saphenous Vein Treatment: A Meta-analysis. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2017;54(6):760–770. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2017.08.034>.
19. Nelzén O. Prospective study of safety, patient satisfaction and leg ulcer healing following saphenous and subfascial endoscopic perforator surgery. *Br J Surg*. 2000;87(1):86–91. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.2000.01305.x>.
20. Sybrandy J.E., van Gent W.B., Pierik E.G., Wittens C.H. Endoscopic versus open subfascial division of incompetent perforating veins in the treatment of venous leg ulceration: long-term follow-up. *J Vasc Surg*. 2001;33(5):1028–1032. <https://doi.org/10.1067/mva.2001.114812>.
21. Baron H.C., Saber A.A., Wayne M. Endoscopic subfascial surgery for incompetent perforator veins in patients with active venous ulceration. *Surg Endosc*. 2001;15(1):38–40. <https://doi.org/10.1007/s004640000299>.
22. Van Gent W.B., Hop W.C., van Praag M.C., Mackaay A.J., de Boer E.M., Wittens C.H. Conservative versus surgical treatment of venous leg ulcers: a prospective, randomized, multicenter trial. *J Vasc Surg*. 2006;44(3):563–571. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2006.04.053>.
23. Reeder S.W.I., Maessen-Visch M.B., Langendoen S.I., de Roos K-P., Neumann H.A.M. The recalcitrant venous leg ulcer – a never ending story? *Phlebologie*. 2013;42(06):332–339. <https://doi.org/10.12687/phleb2145-6-2013>.
24. Vigoni M. Treatment of sclerous hypodermatitis of the leg. *Acta Chir Belg*. 1958;57(3):232–239. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13582486/>.
25. Vigoni M. Long-term results in the surgical treatment of dermohypodermal sclerosis of legs. *Phlebologie*. 1970;23(3):203–210. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5475582/>.
26. Gallenkemper G. Diagnostik und Therapie des Ulcus cruris venosum. *Aktuelle Dermatologie*. 2009;35(06):221–224. <https://doi.org/10.1055/s-0028-1119687>.
27. Schmeller W., Gaber Y. Surgical removal of ulcer and lipodermatosclerosis followed by split-skin grafting (shave therapy) yields good long-term results in “non-healing” venous leg ulcers. *Acta Derm Venereol*. 2000;80(4):267–271. <https://doi.org/10.1080/000155500750012144>.
28. Каторкин С.Е., Мельников М.А., Кравцов П.Ф., Жуков А.А., Кушнарчук М.Ю. Эффективность применения послышной дерматолипэктомии (shave therapy) в комплексном лечении пациентов с венозными трофическими язвами нижних конечностей. *Новости хирургии*. 2016;24(3):255–264. <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2016.3.255>.
29. Katorkin S.E., Melnikov M.A., Kravtsov P.F., Zhukov A.A., Kushnarchuk M.J., Repin A.A. Efficiency of Layer Dermatology (Shave Therapy) in Complex Treatment of Patients with Lower Limbs Venous Trophic Ulcers. *Novosti Khirurgii*. 2016;24(3):255–264. (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2016.3.255>.
30. Stoffels I., Alt C., Beekeschus S., Klode J. Modern ulcer surgery: Invasive treatment options using the example of therapy-resistant venous leg ulcers. *Hautarzt*. 2020;71(11):843–849. <https://doi.org/10.1007/s00105-020-04691-3>.
31. Kleinhans M., Stoffels I., Dissemond J. Long-term healing of a therapy-refractory venous leg ulcer after crural fasciectomy and split skin graft transplantation. *Hautarzt*. 2021;72(2):157–162. <https://doi.org/10.1007/s00105-020-04659-3>.
32. Малинин А.А., Прыдко С.И., Пескова А.С., Чомаева А.А. Тактика лечения трофических венозных язв с хирургическим дебридментом и одномоментной аутодерматопластикой. *Флебология*. 2022;16(2):130–138. <https://doi.org/10.17116/flebo202216021130>.
33. Malinin A.A., Pryadko S.I., Peskova A.S., Chomaeva A.A. Surgical Debridement and Simultaneous Autologous Skin Grafting for Venous Ulcers. *Flebologiya*. 2022;16(2):130–138. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/flebo202216021130>.
34. Hach W., Präve F., Hach-Wunderle V., Sterk J., Martin A., Willy C., Gerngross H. The chronic venous compartment syndrome. *Vasa*. 2000;29(2):127–132. <https://doi.org/10.1024/0301-1526.29.2.127>.
35. Mavor G.E. The anterior tibial syndrome. *J Bone Joint Surg Br*. 1956;38-B(2):513–517. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.38B2.513>.
36. Vogels S., Ritchie E.D., van der Burg B.L.S.B., Scheltinga M.R.M., Zimmermann W.O., Hoencamp R. Clinical Consensus on Diagnosis and Treatment of Patients with Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Leg: A Delphi Analysis. *Sports Med*. 2022;52(12):3055–3064. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01729-5>.
37. Williams S., Chen S., Todd N.W. Compartment Syndrome in the Foot and Leg. *Clin Podiatr Med Surg*. 2023;40(1):1–21. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2022.07.002>.
38. Papalambros E.L., Panayiotoopoulos Y.P., Bastounis E., Zavos G., Balas P. Prophylactic fasciotomy of the legs following acute arterial occlusion procedures. *Int Angiol*. 1989;8(3):120–124. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2592793/>.
39. McGinley J.C., Thompson T.A., Ficken S., White J. Chronic Exertional Compartment Syndrome Caused by Functional Venous Outflow Obstruction. *Clin J Sport Med*. 2022;32(4):355–360. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000929>.
40. de Bruijn J.A., van Zantvoort A.P.M., van Klaveren D., Winkes M.B., van der Crujisen-Raaijmakers M., Hoogveen A.R. et al. Factors Predicting Lower Leg Chronic Exertional Compartment Syndrome in a Large Population. *Int J Sports Med*. 2018;39(1):58–66. <https://doi.org/10.1055/s-0043-119225>.
41. Salzler M., Maguire K., Heyworth B.E., Nasreddine A.Y., Micheli L.J., Kocher M.S. Outcomes of Surgically Treated Chronic Exertional Compartment Syndrome in Runners. *Sports Health*. 2020;12(3):304–309. <https://doi.org/10.1177/1941738120907897>.
42. Hach W., Gerngross H., Präve F., Sterk J., Willy Ch., Hach-Wunderle V. Kompartmentsyndrome in der Phlebologie. *Phlebologie*. 2000;29(01):1–11. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1617337>.

38. Pflug J.J., Zubac D.P., Kersten D.R., Alexander N.D. The resting interstitial tissue pressure in primary varicose veins. *J Vasc Surg*. 1990;11(3):411–417. <https://doi.org/10.1067/mva.1990.17245>.
39. Grattenthaler C., Thoms K.M., Kretschmer L. Paratibial fasciotomy for postthrombotic leg ulcer using Vollmars fasciotome. *J Dtsch Dermatol Ges*. 2007;5(12):1144–1145. <https://doi.org/10.1111/j.1610-0387.2007.06599.x>.
40. Hach W. Chronic venous compartment syndrome. *Zentralbl Chir*. 2001;126(6):472–475. <https://doi.org/10.1055/s-2001-14770>.
41. Schmeller W., Roszinski S. Shave therapy for surgical treatment of persistent venous ulcer with large superficial dermatoliposclerosis. *Hautarzt*. 1996;47(9):676–681. <https://doi.org/10.1007/s001050050488>.
42. Rydevik B., Lundborg G., Bagge U. Effects of graded compression on intraneural blood flow. An in vivo study on rabbit tibial nerve. *J Hand Surg Am*. 1981;6(1):3–12. [https://doi.org/10.1016/s0363-5023\(81\)80003-2](https://doi.org/10.1016/s0363-5023(81)80003-2).
43. Heppenstall R.B., Sapega A.A., Scott R., Shenton D., Park Y.S., Maris J., Chance B. The compartment syndrome. An experimental and clinical study of muscular energy metabolism using phosphorus nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;(226):138–155. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3275510/>.
44. Hargens A.R., Schmidt D.A., Evans K.L., Gonsalves M.R., Cologne J.B., Garfin S.R. et al. Quantitation of skeletal-muscle necrosis in a model compartment syndrome. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63(4):631–636. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7217130/>.
45. Qvarfordt P., Eklöf B., Ohlin P. Intramuscular pressure in the lower leg in deep vein thrombosis and phlegmasia cerulea dolens. *Ann Surg*. 1983;197(4):450–453. <https://doi.org/10.1097/00000658-198304000-00013>.
46. Котельников Г.П., Каторкин С.Е., Кормасов Е.А. Клинико-патогенетическая концепция диагностики и комплексного лечения пациентов с сочетанной патологией венозной и опорно-двигательной систем нижних конечностей. *Новости хирургии*. 2018;26(6):677–688. <https://dx.doi.org/10.18484/2305-0047.2021.1.75>.  
Kotelnikov G.P., Katorkin S.E., Kormasov E.A. Clinical and Pathogenetic Concept of Diagnostics and Complex Treatment of Patients with Combined Pathology of Venous and Musculoskeletal Systems of the Lower Extremities. *Novosti Khirurgii*. 2018;26(6):677–688. (In Russ.) <https://dx.doi.org/10.18484/2305-0047.2021.1.75>.
47. Velasco T.O., Leggit J.C. Chronic Exertional Compartment Syndrome: A Clinical Update. *Curr Sports Med Rep*. 2020;19(9):347–352. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000747>.
48. Fouasson-Chailloux A., Menu P., Alloquent J., Dauty M. Determination of the predictive clinical parameters to diagnose chronic exertional compartment syndrome. *Eur J Sport Sci*. 2018;18(2):279–285. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1405078>.
49. Lindorsson S., Zhang Q., Brisby H., Rennerfelt K. Significantly lower intramuscular pressure in the posterior and lateral compartments compared with the anterior compartment suggests alterations of the diagnostic criteria for chronic exertional compartment syndrome in the lower leg. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(4):1332–1339. <https://doi.org/10.1007/s00167-020-06143-w>.
50. Peck E., Finnoff J.T., Smith J., Curtiss H., Muir J., Hollman J.H. Accuracy of palpation-guided and ultrasound-guided needle tip placement into the deep and superficial posterior leg compartments. *Am J Sports Med*. 2011;39(9):1968–1974. <https://doi.org/10.1177/0363546511406235>.
51. Pedowitz R.A., Hargens A.R., Mubarak S.J., Gershuni D.H. Modified criteria for the objective diagnosis of chronic compartment syndrome of the leg. *Am J Sports Med*. 1990;18(1):35–40. <https://doi.org/10.1177/036354659001800106>.
52. Reeder S.W., Wolff O., Partsch H., Nicolaidis A.N., Mosti G., Cornu-Thenard A. et al. Expert consensus document on direct ambulatory venous pressure measurement. *Int Angiol*. 2013;32(5):453–458. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23903302/>.
53. Willey R.F., Corall R.J., French E.B. Non-invasive method for the measurement of anterior tibial compartment pressure. *Lancet*. 1982;1(8272):595–596. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(82\)91752-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(82)91752-4).
54. Styf J. Diagnosis of exercise-induced pain in the anterior aspect of the lower leg. *Am J Sports Med*. 1988;16(2):165–169. <https://doi.org/10.1177/036354658801600214>.
55. Rajasekaran S., Beavis C., Aly A.R., Leswick D. The utility of ultrasound in detecting anterior compartment thickness changes in chronic exertional compartment syndrome: a pilot study. *Clin J Sport Med*. 2013;23(4):305–311. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3182856046>.
56. Ringler M.D., Litwiller D.V., Felmlee J.P., Shahid K.R., Finnoff J.T., Carter R.E., Amrami K.K. MRI accurately detects chronic exertional compartment syndrome: a validation study. *Skeletal Radiol*. 2013;42(3):385–392. <https://doi.org/10.1007/s00256-012-1487-1>.
57. Tominaga A., Shimada K., Temporin K., Noguchi R. Post-Exertional MRI Is Useful as a Tool for Diagnosis and Treatment Evaluation for Chronic Exertional Compartment Syndrome of Forearms. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2019;24(3):311–316. <https://doi.org/10.1142/S2424835519500395>.
58. Каторкин С.Е., Осадчий А.С., Жуков А.А., Исаева Е.С. Значение компьютерной томографии в диагностике хронического компартмент синдрома у пациентов с трофическими язвами нижних конечностей венозной этиологии. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2012;5(2):330–334. Режим доступа: <https://vestnik-surgery.com/index.php/journal/article/view/140/108>.  
Katorkin S.E., Osadchy A.S., Zhukov A.A., Isaeva E.S. The value of computed tomography in the diagnosis of chronic compartment syndrome in patients with trophic ulcers of the lower extremity venous etiology. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2012;5(2):330–334. (In Russ.) Available at: <https://vestnik-surgery.com/index.php/journal/article/view/140/108>.
59. Wang S.M., Kim M. Compartment Syndrome After Varicose Vein Surgery Evidenced by CT Images. *Int J Low Extrem Wounds*. 2016;15(1):71–73. <https://doi.org/10.1177/1534734614555003>.
60. Лишов Д.Е., Бойко Л.В., Золотухин И.А., Илюхин Е.А., Каторкин С.Е., Березко М.П. и др. Ультразвуковое исследование вен нижних конечностей. Рекомендации экспертов Ассоциации флебологов России. *Флебология*. 2021;15(4):318–340. <https://doi.org/10.17116/flebo202115041318>.  
Lishov D.E., Boyko L.V., Zolotukhin I.A., Ilyukhin E.A., Katorkin S.E., Berezko M.P. et al. Duplex Ultrasound of Lower Limbs Venous System. Russian Phlebology Association Expert Panel Report. Russian phlebology association expert panel report. *Flebologiya*. 2021;15(4):318–340. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/flebo202115041318>.
61. Van der Kraats A.M., Winkes M., Janzing H.M.J., Eijkelenboom R.P.R., de Koning M.T.G. Review of Reliable and Valid Noninvasive Tools for the Diagnosis of Chronic Exertional Compartment Syndrome. *Orthop J Sports Med*. 2023;11(1):23259671221145151. <https://doi.org/10.1177/23259671221145151>.
62. Ritchie E.D., Vogels S., van Dongen T.T.C.F., van der Burg B.L.S.B., Scheltinga M.R.M., Zimmermann W.O., Hoencamp R. Systematic Review of Innovative Diagnostic Tests for Chronic Exertional Compartment Syndrome. *Int J Sports Med*. 2023;44(1):20–28. <https://doi.org/10.1055/a-1866-5957>.
63. Котельников Г.П., Лосев И.И., Сизоненко Я.В., Каторкин С.Е. Особенности диагностики и тактики лечения пациентов с сочетанным поражением опорно-двигательной и венозной систем нижних конечностей. *Новости хирургии*. 2013;21(3):42–53. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-diagnostiki-i-taktiki-lecheniya-patsientov-s-sochetannym-porazheniem-oporno-dvigatelnoy-i-venoznoy-sistem-nizhnih>.  
Kotelnikov G.P., Losev I.I., Sizonenko Y.V., Katorkin S.E. Peculiarities of diagnostics and treatment tactics of patients with combined lesion of the musculoskeletal and venous systems of the lower limbs. *Novosti Khirurgii*. 2013;21(3):42–53. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-diagnostiki-i-taktiki-lecheniya-patsientov-s-sochetannym-porazheniem-oporno-dvigatelnoy-i-venoznoy-sistem-nizhnih>.

64. Uhl J.F. Three-dimensional modelling of the venous system by direct multislice helical computed tomography venography: technique, indications and results. *Phlebology*. 2012;27(6):270–288. <https://doi.org/10.1258/phleb.2012.012J07>.
65. Niccolini G., Manuella A., Capone A., Marongiu G., Dell’Osa A.H., Fois A. et al. Possible Assessment of Calf Venous Pump Efficiency by Computational Fluid Dynamics Approach. *Front Physiol*. 2020;11:1003. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01003>.
66. Bogachev V.Y., Lobanov V.N., Golovanova O.V., Kuznetsov A.N., Yershov P.V. Electrical muscle stimulation with Veinoplus® device in the treatment of venous ulcers. *Int Angiol*. 2015;34(3):257–262. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25719401/>.
67. de Bruijn J.A., van Zantvoort A.P.M., Hundscheid H.P.H., Hoogeveen A.R., Teijink J.A.W., Scheltinga M.R. Superficial Peroneal Nerve Injury Risk During a Semiblind Fasciotomy for Anterior Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Leg: An Anatomical and Clinical Study. *Foot Ankle Int*. 2019;40(3):343–351. <https://doi.org/10.1177/1071100718811632>.
68. Hauer G. Endoscopic subfascial discussion of perforating veins—preliminary report. *Vasa*. 1985;14(1):59–61. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3976278/>.
69. Lin Z.C., Loveland P.M., Johnston R.V., Bruce M., Weller C.D. Subfascial endoscopic perforator surgery (SEPS) for treating venous leg ulcers. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;3(3):CD012164. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012164.pub2>.
70. Hach W., Hach-Wunderle V. Neue Aspekte zum chronisch venösen Kompartmentsyndrom. *Gefäss Chirurgie*. 2001;6:164–169. <https://doi.org/10.1007/s007720100147>.
71. Vogels S., Van Ark W., Janssen L., Scheltinga M.R.M. Fasciotomy for Recurrent Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Anterior Leg. *Med Sci Sports Exerc*. 2021;53(8):1549–1554. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002631>.
72. Mangan J.J., Rogero R.G., Fuchs D.J., Raikin S.M. Surgical Management of Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Lower Extremity: Outcome Analysis and Return to Sport. *Clin J Sport Med*. 2022;32(3):272–277. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000865>.
73. Campano D., Robaina J.A., Kusnezov N., Dunn J.C., Waterman B.R. Surgical Management for Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Leg: A Systematic Review of the Literature. *Arthroscopy*. 2016;32(7):1478–1486. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2016.01.069>.
74. Ding A., Machin M., Onida S., Davies A.H. A systematic review of fasciotomy in chronic exertional compartment syndrome. *J Vasc Surg*. 2020;72(5):1802–1812. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2020.05.030>.
75. Homans J. The operative treatment of varicose veins and ulcers, based upon a classification of these lesions. *Surg Gynecol Obstet*. 1916;22(2):143–158. Available at: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJM192905092001902>.
76. Hach W., Mumme A., Hach-Wunderle V. *Venen Chirurgie: Operative, interventionelle und konservative Aspekte*. Auflage. Stuttgart: Schattauer; 2012. 464 p. Available at: [https://books.google.cg/books?id=vftNDwAAQBAJ&hl=fr&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.cg/books?id=vftNDwAAQBAJ&hl=fr&source=gbs_navlinks_s).
77. Christenson J.T., Prins C., Gemayel G. Subcutaneous fasciotomy and eradication of superficial venous reflux for chronic and recurrent venous ulcers: mid-term results. *Phlebology*. 2011;26(5):197–202. <https://doi.org/10.1258/phleb.2010.010026>.
78. Lui T.H. Endoscopic Fasciotomy of the Superficial and Deep Posterior Compartments of the Leg. *Arthrosc Tech*. 2017;6(3):e711–e715. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2017.01.019>.
79. Balias R., Bong D.A., Ardèvol J., Pedret C., Codina D., Dalmau A. Ultrasound-Guided Fasciotomy for Anterior Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Leg. *J Ultrasound Med*. 2016;35(4):823–829. <https://doi.org/10.7863/ultra.15.04058>.
80. Reisner J.H., Noble-Taylor K.E., Cummings N.M., Lachman N., Finnoff J.T. Ultrasound-Guided Fasciotomies of the Deep and Superficial Posterior Leg Compartments for Chronic Exertional Compartment Syndrome: A Cadaveric Investigation. *PM R*. 2021;13(8):862–869. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12477>.
81. Obermayer A., Maier A., Zacherl J., Hitzl W., Steinbacher F. Lateral fasciotomy sparing the superficial peroneal nerve with simultaneous graft in non-healing lateral ulcers of diverse vascular origins: surgical technique, short- and long-term results from 44 legs. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2016;52(2):225–232. <https://doi.org/10.1016/j.ejvs.2016.02.023>.

**Вклад авторов:**

Концепция статьи – **Каторкин С.Е.**  
 Написание текста – **Каторкин С.Е., Кушнарчук М.Ю.**  
 Обзор литературы – **Каторкин С.Е., Кушнарчук М.Ю.**  
 Перевод на английский язык – **Кушнарчук М.Ю.**  
 Редактирование – **Кушнарчук М.Ю.**  
 Утверждение окончательного варианта статьи – **Каторкин С.Е.**

**Contribution of authors:**

Concept of the article – **Sergey E. Katorkin**  
 Text development – **Sergey E. Katorkin, Mikhail Y. Kushnarchuk**  
 Literature review – **Sergey E. Katorkin, Mikhail Y. Kushnarchuk**  
 Translation into English – **Mikhail Y. Kushnarchuk**  
 Editing – **Mikhail Y. Kushnarchuk**  
 Approval of the final version of the article – **Sergey E. Katorkin**

**Информация об авторах:**

**Каторкин Сергей Евгеньевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой и клиникой госпитальной хирургии, Самарский государственный медицинский университет; 443089, Россия, Самара, ул. Чапаевская, д. 89; [katorkinse@mail.ru](mailto:katorkinse@mail.ru)  
**Кушнарчук Михаил Юрьевич**, врач сердечно-сосудистый хирург отделения сосудистой хирургии клиники госпитальной хирургии, ассистент кафедры госпитальной хирургии, Самарский государственный медицинский университет; 443089, Россия, Самара, ул. Чапаевская, д. 89; [m.kushnarchuk@outlook.com](mailto:m.kushnarchuk@outlook.com)

**Information about the authors:**

**Sergey E. Katorkin**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department and Clinic of Hospital Surgery, Samara State Medical University; 89, Chapaevskaya St., Samara, 443089, Russia; [katorkinse@mail.ru](mailto:katorkinse@mail.ru)  
**Mikhail Y. Kushnarchuk**, Cardiovascular Surgeon, Department of Vascular Surgery Hospital Surgery Clinic, Assistant of the Department of Hospital surgery, Samara State Medical University; 89, Chapaevskaya St., Samara, 443089, Russia; [m.kushnarchuk@outlook.com](mailto:m.kushnarchuk@outlook.com)