



Обзорная статья  
УДК 616.718.7/9-007.248:616.71-089.844  
<https://doi.org/10.17816/2311-2905-8001>

## Замещение костных дефектов при диабетической нейроостеоартропатии (стопе Шарко): обзор литературы

П.С. Бардюгов<sup>1</sup>, М.В. Паршиков<sup>2</sup>, Н.В. Ярыгин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр эндокринологии» Минздрава России, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова» Минздрава России, г. Москва, Россия

### Реферат

**Актуальность.** Во всем мире растет количество больных сахарным диабетом, в том числе с его тяжелыми осложнениями, такими как диабетическая нейроостеоартропатия. Восстановление опороспособности, создание условий для заживления язв являются сложной задачей для травматологов-ортопедов, особенно в связи с необходимостью компенсировать дефект костной ткани.

**Цель обзора** — сравнить современные методики замещения объемных дефектов костной ткани дистального сегмента нижней конечности у пациентов с диабетической нейроостеоартропатией.

**Материал и методы.** Поиск статей проводился в базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar, Scopus, eLIBRARY, CyberLeninka. Поиск осуществлен по следующим ключевым словам и словосочетаниям: стопа Шарко, диабетическая остеоартропатия и костная пластика; Charcot foot, diabetic arthropathy and bone grafting. Отбирались полнотекстовые статьи на русском и английском языках. Поиск проводился без хронологических ограничений в связи с малым количеством опубликованных работ и узкой тематикой.

**Результаты.** Возможности замещения костных дефектов при стопе Шарко в мировой литературе описаны довольно скудно. Узкая специфика и относительная редкость патологии является вероятной причиной малого количества публикаций, отсутствия исследований с высоким уровнем доказательности.

**Заключение.** Костная аутопластика при поражении медиальной или латеральной колонны среднего отдела стопы и удлинение голени по Илизарову для компенсации укорочения конечности после реконструктивных операций на уровне заднего отдела стопы и голеностопного сустава являются наиболее часто применяемыми методами замещения костных дефектов у пациентов со стопой Шарко. Свободная пластика аутокостью (возможно с ДКМ) является методом выбора при дефектах небольшого объема латеральной или медиальной колонны среднего отдела стопы.

**Ключевые слова:** стопа Шарко, диабетическая артропатия, костная пластика, костный трансплантат.

 **Для цитирования:** Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В. Замещение костных дефектов при диабетической нейроостеоартропатии (стопе Шарко): обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(3): 149-156. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8001>.

 Бардюгов Петр Сергеевич; e-mail: [petrbardiugov@gmail.com](mailto:petrbardiugov@gmail.com)

Рукопись получена: 29.03.2023. Рукопись одобрена: 11.07.2023. Статья опубликована онлайн: 24.08.2023.

© Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Ярыгин Н.В., 2023



## Bone Defect Replacement in Diabetic Neuropathic Osteoarthropathy (Charcot Foot): Review

Petr S. Bardyugov<sup>1</sup>, Mikhail V. Parshikov<sup>2</sup>, Nikolay V. Yarygin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Endocrinology Research Centre, Moscow, Russia

<sup>2</sup> A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

### Abstract

**Background.** The number of patients with diabetes mellitus, including those with its severe complications such as Charcot neuropathic osteoarthropathy, is increasing worldwide. Restoration of weight bearing ability and creation of conditions for ulcer healing is challenging for trauma and orthopedic surgeons, especially because of the need to restore bone tissue defects.

**Aim of the review** – to compare modern methods of replacement of large bone tissue defects of the distal segment of the lower limb in patients with Charcot neuropathic osteoarthropathy.

**Methods.** The articles were searched in PubMed/MEDLINE, Google Scholar, Scopus, eLIBRARY, CyberLeninka databases. The search was performed using the following keywords and word combinations: Charcot foot, diabetic neuropathic osteoarthropathy and bone grafting. Full-text articles in Russian and English were selected. The search was carried out without chronological limitations due to the small number of published studies and specific subject of research.

**Results.** The possibilities of bone defect replacement in Charcot foot are poorly described in the world literature. The narrow specificity and relative infrequency of this pathology is the probable reason for the small number of publications and the lack of studies with a high level of evidence.

**Conclusion.** Bone autografting for lesions of the medial or lateral midfoot column and Ilizarov tibial lengthening to compensate for limb shortening after reconstructive surgeries at the level of the hindfoot and ankle joint are the most commonly used methods of bone defect replacement in patients with Charcot foot. Free bone autografting (possibly with demineralized bone matrix) is the method of choice for small defects of the lateral or medial column of the midfoot.

**Keywords:** Charcot foot, diabetic neuropathic osteoarthropathy, bone grafting.

---

**Cite as:** Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Yarygin N.V. Bone Defect Replacement in Diabetic Neuropathic Osteoarthropathy (Charcot Foot): Review. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2023;29(3):149-156. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-8001>.

✉ Petr S. Bardyugov; e-mail: petrbaridiugov@gmail.com

Submitted: 29.03.2023. Accepted: 11.07.2023. Published online: 24.08.2023.

© Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Yarygin N.V., 2023

## ВВЕДЕНИЕ

Диабетическая нейроостеоартропатия (ДНОАП), или стопа Шарко — это деструкция костей и суставов дистального сегмента нижней конечности неинфекционного характера, вызванная диабетической нейропатией [1, 2]. Данное определение точно характеризует патогенез заболевания. Деструкция костной ткани обязательно сопровождается образованием дефекта кости/костей дистального сегмента нижней конечности, который в ряде случаев приводит к возникновению патологической подвижности, формированию грубых деформаций, способствующих образованию нейропатических язв в зонах повышенного механического воздействия на их «высоте» и нарушению опороспособности. При этом качество жизни пациента сопоставимо с таковым после перенесенной высокой ампутации нижней конечности [3, 4, 5, 6].

Тяжелые проявления ДНОАП (наличие обширного дефекта костной ткани) не поддаются терапии только консервативными методами и являются показанием для хирургического лечения [7, 8, 9], при осуществлении которого для достижения цели хирург нередко встречается с значительными трудностями и техническими сложностями. Цель лечения — восстановление опороспособности конечности с созданием условий для заживления ран. Общемировая практика показала, что достигнуть этого возможно выполнением артродезирующих операций с резекцией нежизнеспособной костной массы (инфицированной или нет) и применением внутренней или внешней фиксации [10, 11, 12, 13]. В литературе отсутствует единое мнение по поводу оптимального метода остеосинтеза в комплексе реконструктивной хирургии ДНОАП. У того и другого метода есть свои объективные преимущества и недостатки, кроме того, выбор метода фиксации зачастую продиктован навыками и субъективными предпочтениями хирурга, при этом ряд публикаций посвящен одновременному сочетанию обоих видов [14, 15, 16, 17].

Сложным вопросом представляется компенсация потери объема костной ткани, сопровождающей реконструктивную операцию. И если для формирования функционального анкилоза на уровне среднего отдела стопы Шарко укорочение стопы на 1–4 см влияет на биомеханику и походку не критично, то укорочение нижней конечности (при поражении заднего отдела стопы и голеностопного сустава) на 3–6 см является проблемой, ведущей к выраженному нарушению функции конечности. Это требует компенсации индивидуально изготовленной ортопедической обувью со специальной стелькой или/и применения хирургических костнопластических техник [18, 19, 20, 21].

*Цель обзора* — сравнить современные методики замещения объемных дефектов костной ткани дистального сегмента нижней конечности у пациентов с диабетической нейроостеоартропатией.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Поиск литературы проводился в базах данных PubMed/MEDLINE, Google Scholar, Scopus, CyberLeninka, eLIBRARY без ограничения по времени публикации, учитывая малое количество опубликованных работ и узкую тематику. Критерии включения: полнотекстовые статьи, монографии и клинические рекомендации на русском и английском языках. Поиск осуществлен по следующим ключевым словам: стопа Шарко, диабетическая остеоартропатия, костная пластика; Charcot foot, diabetic arthropathy, bone grafting.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Можно выделить следующие основные методы замещения костных дефектов при ДНОАП: свободная аутопластика, аллопластика или остеозамещающие имплантаты, удлинение кости по Илизарову. Публикаций, посвященных несвободной костной пластике, найдено не было. По всей видимости, это связано с большим риском осложнений, наличием ангиопатии у пациентов с синдромом диабетической стопы (СДС) разной степени выраженности.

В публикациях, посвященных замещению костных дефектов при ДНОАП, идет речь о реконструкции среднего (типы II и III по классификации L. Sanders и R. Frykberg) или заднего отдела стопы и голеностопного сустава (тип IV и V по классификации L. Sanders и R. Frykberg) [22, 23]. Некоторые работы посвящены одной локализации, другие — обеим.

Обзор структурирован по двум критериям:

- методу замещения дефекта костной ткани (отражено в подзаголовках);
- локализации деструктивного процесса (выделено курсивом в тексте).

### Свободная аутопластика

Наиболее распространенным методом аутопластики является применение костной ткани, изъятая из гребня подвздошной кости. Данная методика успешно применялась некоторыми авторами (описания клинических случаев) при артродезировании *заднего отдела стопы* [24, 25]. Преимущество данного способа: наибольший доступный объем аутокости хорошего качества. Недостатки: травматичность доступа при заборе кости, риск повреждения брюшины, вероятность образования обширной гематомы, значительное увеличение продолжительности операции, косметический дефект и т.д. [26, 27].

Альтернативным источником забора собственной костной ткани может быть проксимальный отдел большеберцовой кости при реконструктивных операциях на *среднем отделе стопы* [28, 29]. Этот метод забора аутокости потенциально менее травматичен, но по доступному объему кости значительно меньше по сравнению с гребнем подвздошной кости.

Преимущества использования фрагментов малоберцовой кости в качестве аутотрансплантата при *артродезе голеностопного сустава или пяточно-большеберцового артродеза* заключаются в отсутствии необходимости выполнения дополнительного хирургического доступа: могут использоваться утильная кость, фрагменты наружной лодыжки. Но доступный объем костной ткани также не велик [30, 31, 32].

### Аллопластика и остеозамещающие имплантаты

Использование специальным образом подготовленного аллотрансплантата в реконструктивной хирургии стопы Шарко имеет свои преимущества: сокращение продолжительности операции, меньшая травматизация, отсутствие осложнений, связанных с забором аутокости, потенциально неограниченный объем аллотрансплантата. Однако существуют и недостатки: низкие остеоиндуктивные и остеокондуктивные характеристики по сравнению с аутокостью, дороговизна, риск иммунного ответа и отторжения [33].

Керамический имплантат (сульфат кальция в комбинации с гидроксиапатитом) устраняет возможность иммунного ответа. При этом исключена его перестройка в «материнскую» костную ткань, т.е. остеоиндуктивные и остеокондуктивные свойства самые низкие [34].

В поиске оптимального метода свободной пластики ряд специалистов успешно применяли комбинации аутологичной костной ткани или иных клеток пациента и аллотрансплантатов: это металлический имплантат с трабекулярной текстурой максимальной высотой 3 см в сочетании с аутокостью, изъятый из канала диафизарной части бедренной кости при артродезе *подтаранного и голеностопного суставов* [35], сочетание аллотрансплантата с аутотрансплантатом из проксимального отдела большеберцовой кости при реконструктивных операциях на *среднем отделе стопы* при меньшем объеме костного дефекта (1–3 см<sup>3</sup>) [36]. В обеих публикациях описан успешный результат через год после костной пластики у минимального количества пациентов: два — в первой публикации и три — во второй работе. Вызывает вопрос обоснованность (учитывая минимальную выборку) отдаленных результатов и возможность осложнений

при применении массивных металлоконструкций и аллотрансплантатов у пациентов с СДС, а в случае реконструкции *среднего отдела стопы* и аллопластики малого объема вообще необходимость ее применения, тем более в сочетании с аутопластикой (наверное, можно было обойтись только одним методом).

В последние годы популярным материалом для аллопластики стал деминерализированный костный матрикс (ДКМ). В реконструктивной хирургии при СДС его иногда сочетают с аутокостью [37]. Недостатком ДКМ можно считать аморфную структуру, отсутствие «опорности».

Метод замещения дефектов с применением ДКМ и аутокости наглядно представили С.А. Оснач с соавторами с описанием ряда клинических случаев поражения как *среднего, так и заднего отделов стопы Шарко* [38]. В данной работе применена методика этапной костной пластики Masquelet в сочетании с локальной антибиотикотерапией. Очевидным преимуществом является относительно малая травматичность способа забора аутокости (из костномозгового канала бедренной кости с помощью системы риммер-ирригатор-аспиратор) по сравнению, например, с забором из гребня подвздошной кости. Однако сложно сформировать объективную картину результатов ввиду отсутствия в исследовании объективных критериев для сравнения с контрольной группой: длина сегмента конечности в сантиметрах, срок и характер консолидации, функциональные характеристики, продолжительность фиксации и т.д. Тем не менее описанный хирургический опыт расширяет горизонт возможностей лечения описываемой патологии.

Не менее успешное применение методики Masquelet описали М.Ф. Мак с соавторами при этапном лечении инфицированного дефекта костной ткани в *среднем отделе стопы* при ДНОАП, за исключением того, что ими на втором этапе применялась пластика дефекта из гребня подвздошной кости [32].

Таким образом, техника Masquelet практически незаменима при этапном лечении на фоне острого инфекционного воспаления.

Пожалуй, самым современным является метод пластики с использованием ДКМ в комбинации с мезенхимальными стволовыми клетками (МСК). В работе S.M. Hollawell описан результат лечения 20 пациентов со стопой Шарко, которым проводился артродез суставов стопы или голеностопного сустава. В этих наблюдениях не осуществлялось замещения крупного дефекта костной ткани, а только добавляли малый объем препарата в зону артродеза. Обращают на себя внимание относительно короткие сроки формирования костного анкилоза (в среднем 6 мес.). Неоднократное

упоминание коммерческого названия препарата, несмотря на обозначенное отсутствие финансирования, усиливает скептическое отношение к этой работе [39].

D.K. Lee и G.D. Mulder также заявляют о более раннем появлении рентгенологических признаков сращения при применении МСК в реконструктивной хирургии стопы Шарко *обеих локализаций*: 6,4 против 9,2 нед. ( $p < 0,024$ ) у пациентов без применения МСК. Но отмечают при этом сходное или большее количество осложнений или неудовлетворительных результатов [40].

### Костная пластика по Илизарову

Данный способ замещения объемного дефекта костной ткани является наиболее проверенным временем, в том числе и при лечении ДНОАП. В некоторых работах зарубежных авторов описан опыт выполнения *артродеза заднего отдела стопы и пяточно-большеберцового артророза* с удлинением большеберцовой кости за счет дистракционного остеогенеза [41, 42, 43, 44]. Таким образом происходит компенсация произошедшего укорочения конечности. Авторами работ описано успешное применение аппарата внешней фиксации (АВФ) Илизарова как изолированно, так и в комбинации с остеосинтезом: демонтаж АВФ после окончания этапа дистракции с последующим остеосинтезом при помощи интрамедуллярного блокируемого штифта. Преимуществами данного метода костной пластики являются абсолютная биосовместимость и «физиологичность» регенерата, широкие возможности (в том числе в комбинации с другими видами костной пластики и локальной антибиотикотерапией) восполнения утраченного объема кости и коррекции деформации, а также низкая себестоимость.

Для компенсации укорочения голени при *пяточно-большеберцовом артророзе* за счет формирования дистракционного регенерата используется остеотомия не только в проксимальной части большеберцовой кости, но и в дистальной, в том числе с интрамедуллярным ретроградным остеосинтезом по завершении этапа дистракции в АВФ [44]. Авторы считают преимуществом этой методики стимуляцию кровообращения на уровне дистального сегмента нижней конечности (в зоне пяточно-большеберцового артророза) за счет остеотомии дистальной зоны большеберцовой кости, а также меньшую продолжительность такого обременительного для пациента метода фиксации, как АВФ. Однако, по нашему мнению, применение погружного металлоостеосинтеза у пациентов с СДС является недостатком методики. Кроме того, авторы статьи указывают на более длительный срок формирования регенерата в нижней трети голени по

сравнению с остеотомией в проксимальной метафизарной зоне: приблизительно 10 и 8 мес. соответственно.

Сроки ношения АВФ и формирования костного анкилоза при сочетании костной пластики ДКМ с аутокостью для компенсации укорочения голени при пяточно-большеберцовом артророзе [38], использовании металлического имплантата с трабекулярной текстурой в сочетании с аутокостью [35], удлинении голени по Илизарову за счет формирования дистракционного регенерата в проксимальном метафизе [43] сопоставимы. Однако использование свободной костной пластики дороже и технически сложнее. Наличие погружных фиксаторов и любого вида костных трансплантатов для пациентов с СДС потенциально более рискованно.

Каждая из описанных методик представляет научный и практический интерес. Однако непонятно, когда и при каких обстоятельствах следует отдавать предпочтение той или иной технике. Во всех сообщениях описан положительный опыт костной пластики при ДНОАП. Однако среди изученных публикаций нет ни одного исследования с высоким уровнем доказательности, т.е. рандомизированных контролируемых клинических исследований. В тех публикациях, где фигурировала контрольная группа, ее подбор был не совсем корректным, критерии сравнения не выделены, объективные показатели скудны. В большинстве случаев авторы ограничивались словесным описанием положительной динамики и результатов лечения.

Для реконструктивной хирургии среднего отдела стопы Шарко более актуальна свободная пластика, но публикаций о формировании дистракционного регенерата в данной области мы не встретили. Во всех работах, посвященных данной тематике, упоминается, что аутопластика по-прежнему является золотым стандартом замещения костных дефектов небольшого объема.

Очевидно, что у каждого способа костной пластики есть свои преимущества и недостатки. Все они ещё нуждаются в продолжении исследований, анализе и изучении практической эффективности. Нам представляется, что замещение костного дефекта при помощи формирования внеочагового дистракционного регенерата является менее рискованным и более физиологичным, простым, дешевым и надежным методом по сравнению со свободной костной пластикой компрометированной зоны опорно-двигательного аппарата при ДНОАП. В большей степени это касается удлинения голени при поражении заднего отдела стопы и голеностопного сустава.

Укорочение на 1–3 см за счет резекционного артророза среднего отдела при поражении кос-

тей по всей ширине, на наш взгляд, имеет ограниченное показание для выполнения свободной костной пластики, т.к. функция стопы, биомеханика, опороспособность конечности в таком случае не сопровождаются грубыми нарушениями. Применение же трансплантата большого объема при свободной костной пластике этой зоны увеличивает срок лечения, риск осложнений и снижает прогноз успешного результата операции.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

### Заявленный вклад авторов

*Бардюгов П.С.* — дизайн обзора, информационный поиск и анализ публикаций, написание и редактирование текста статьи.

*Паршиков М.В.* — информационный поиск, написание и редактирование текста статьи.

*Ярыгин Н.В.* — информационный поиск, написание и редактирование текста статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

**Возможный конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Этическая экспертиза.** Не применима.

**Информированное согласие на публикацию.** Не требуется.

## ЛИТЕРАТУРА [REFERENCES]

1. Wukich D.K., Schaper N.C., Gooday C., Bal A., Bem R., Chhabra A. et al. Guidelines on the diagnosis and treatment of active Charcot neuro-osteoarthropathy in persons with diabetes mellitus (IWGDF 2023). *Diabetes Metab Res Rev.* 2023:e3646. doi: 10.1002/dmrr.3646.
2. Lowery N.J., Woods J.B., Armstrong D.G., Wukich D.K. Surgical management of Charcot neuroarthropathy of the foot and ankle: a systematic review. *Foot Ankle Int.* 2012;33(2):113-121. doi: 10.3113/FAI.2012.0113.
3. Botek G., Figas S., Narra S. Charcot Neuroarthropathy Advances: Understanding Pathogenesis and Medical and Surgical Management. *Clin Podiatr Med Surg.* 2019;36(4):663-684. doi: 10.1016/j.cpm.2019.07.002.
4. Ajit Kumar Varma. Charcot Neuroarthropathy of the Foot and Ankle: A Review. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52(6):740-749. doi: 10.1053/j.jfas.2013.07.001.
5. Spiess K.E., McLemore A., Zinyemba P., Ortiz N., Meyr A.J. Application of the five stages of grief to diabetic limb loss and amputation. *J Foot Ankle Surg.* 2014;53(6):735-539. doi: 10.1053/j.jfas.2014.06.016.
6. Wukich D.K., Raspovic K.M., Suder N.C. Patients With Diabetic Foot Disease Fear Major Lower-Extremity Amputation More Than Death. *Foot Ankle Spec.* 2018;11(1):17-21. doi: 10.1177/1938640017694722.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Костная аутопластика при поражении медиальной или латеральной колонны среднего отдела стопы и удлинение голени по Илизарову для компенсации укорочения конечности после реконструктивных операций на уровне заднего отдела стопы и голеностопного сустава являются наиболее часто применяемыми методами замещения костных дефектов у пациентов со стопой Шарко.

## DISCLAIMERS

### Author contribution

*Bardyugov P.S.* — study concept and design, literature search and analysis, writing and drafting the article.

*Parshikov M.V.* — literature search and analysis, writing and drafting the article.

*Yarygin N.V.* — literature search and analysis, writing and drafting the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

**Disclosure competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Ethics approval.** Not applicable.

**Consent for publication.** Not required.

7. Rogers L.C., Frykberg R.G., Armstrong D.G., Boulton A.J., Edmonds M., Van G.H. et al. The Charcot foot in diabetes. *Diabetes Care.* 2011;34(9):2123-2129. doi: 10.2337/dc11-0844.
8. Ha J., Hester T., Foley R., Reichert I.L.H., Vas P.R.J., Ahluwalia R. et al. Charcot foot reconstruction outcomes: A systematic review. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(3):357-368. doi: 10.1016/j.jcot.2020.03.025.
9. Kwaadu K.Y. Charcot Reconstruction: Understanding and Treating the Deformed Charcot Neuropathic Arthropathic Foot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2020;37(2):247-261. doi: 10.1016/j.cpm.2019.12.002.
10. Cianni L., Bocchi M.B., Vitiello R., Greco T., De Marco D., Masci G. et al. Arthrodesis in the Charcot foot: a systematic review. *Orthop Rev (Pavia).* 2020;12(Suppl 1):8670. doi: 10.4081/or.2020.8670.
11. Hartig N., Krenn S., Trnka H.J. Surgical treatment of the Charcot foot: long-term results and systematic review. *Orthopade.* 2015;44(1):14-24. (In German). doi: 10.1007/s00132-014-3058-8.
12. Wukich D.K., Belczyk R.J., Burns P.R., Frykberg R.G. Complications encountered with circular ring fixation in persons with diabetes mellitus. *Foot Ankle Int.* 2008;29(10):994-1000. doi: 10.3113/FAI.2008.0994.

13. Belczyk R.J., Rogers L.C., Andros G., Wukich D.K., Burns P.R. External fixation techniques for plastic and reconstructive surgery of the diabetic foot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2011;28(4):649-660. doi: 10.1016/j.cpm.2011.07.001.
14. Wiewiorski M., Yasui T., Miska M., Frigg A., Valderrabano V. Solid bolt fixation of the medial column in Charcot midfoot arthropathy. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52(1):88-94. doi: 10.1053/j.jfas.2012.05.017.
15. Stapleton J.J., Zgonis T. Surgical reconstruction of the diabetic Charcot foot: internal, external or combined fixation? *Clin Podiatr Med Surg.* 2012;29(3):425-433. doi: 10.1016/j.cpm.2012.04.003.
16. Franceschi F., Franceschetti E., Torre G., Papalia R., Samuelsson K., Karlsson J. et al. Tibiotalocalcaneal arthrodesis using an intramedullary nail: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(4):1316-1325. doi: 10.1007/s00167-015-3548-1.
17. Dalla Paola L., Brocco E., Ceccacci T., Ninkovic S., Sorgentone S., Marinescu M.G. et al. Limb salvage in Charcot foot and ankle osteomyelitis: combined use single stage/double stage of arthrodesis and external fixation. *Foot Ankle Int.* 2009;30(11):1065-1070. doi: 10.3113/FAI.2009.1065.
18. Ramanujam C.L., Zgonis T. An Overview of Internal and External Fixation Methods for the Diabetic Charcot Foot and Ankle. *Clin Podiatr Med Surg.* 2017;34(1):25-31. doi: 10.1016/j.cpm.2016.07.004.
19. Бардюгов П.С., Паршиков М.В., Галстян Г.Р., Ярыгин Н.В. Показания к различным вариантам ортопедической коррекции деформаций стопы при диабетической нейроостеоартропатии. *Сахарный диабет.* 2020;23(4):374-385. doi: 10.14341/DM12271.
20. Bardyugov P.S., Parshikov M.V., Galstyan G.R., Yarygin N.V. Indications for various options of foot deformities orthopedic correction in diabetic neuroosteoarthropathy. *Diabetes Mellitus.* 2020; 23(4):374-385. (In Russian). doi: 10.14341/DM12271.
21. Ramanujam C.L., Stapleton J.J., Zgonis T. Diabetic charcot neuroarthropathy of the foot and ankle with osteomyelitis. *Clin Podiatr Med Surg.* 2014;31(4):487-492. doi: 10.1016/j.cpm.2013.12.001.
22. Ramanujam C.L., Facaros Z., Zgonis T. An overview of bone grafting techniques for the diabetic Charcot foot and ankle. *Clin Podiatr Med Surg.* 2012;29(4):589-595. doi: 10.1016/j.cpm.2012.07.005.
23. Sanders L.J. The Charcot foot: historical perspective 1827-2003. *Diabetes Metab Res Rev.* 2004;20 Suppl 1: S4-8. doi: 10.1002/dmrr.451.
24. Sanders L.J., Frykberg R.G. Diabetic neuropathic osteoarthropathy: the Charcot foot. In: Frykberg R.G. (ed.) *The high risk foot in diabetes mellitus.* New York: Churchill Livingstone; 1991. p. 297-338.
25. El-Gafary K.A., Mostafa K.M., Al-Adly W.Y. The management of Charcot joint disease affecting the ankle and foot by arthrodesis controlled by an Ilizarov frame: early results. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(10):1322-1325. doi: 10.1302/0301-620X.91B10.22431.
26. Shah N.S., De S.D. Comparative analysis of uniplanar external fixator and retrograde intramedullary nailing for ankle arthrodesis in diabetic Charcot's neuroarthropathy. *Indian J Orthop.* 2011;45(4):359-364. doi: 10.4103/0019-5413.82343.
27. Fitzgibbons T.C., Hawks M.A., McMullen S.T., Inda D.J. Bone grafting in surgery about the foot and ankle: indications and techniques. *J Am Acad Orthop Surg.* 2011;19(2):112-120. doi: 10.5435/00124635-201102000-00006.
28. Sheyn D., Pelled G., Zilberman Y., Talasazan F., Frank J.M., Gazit D. et al. Nonvirally engineered porcine adipose tissue-derived stem cells: use in posterior spinal fusion. *Stem Cells.* 2008;26(4):1056-1064. doi: 10.1634/stemcells.2007-0858.
29. Deresh G.M., Cohen M. Reconstruction of the diabetic Charcot foot incorporating bone grafts. *J Foot Ankle Surg.* 1996;35(5):474-488. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80069-x.
30. Simon S.R., Tejwani S.G., Wilson D.L., Santner T.J., Denniston N.L. Arthrodesis as an early alternative to nonoperative management of Charcot arthropathy of the diabetic foot. *J Bone Joint Surg Am.* 2000;82-A(7):939-950. doi: 10.2106/00004623-200007000-00005.
31. Jeong S.T., Park H.B., Hwang S.C., Kim D.H., Nam D.C. Use of intramedullary nonvascularized fibular graft with external fixation for revisional Charcot ankle fusion: a case report. *J Foot Ankle Surg.* 2012;51(2):249-253. doi: 10.1053/j.jfas.2011.10.026.
32. Bishop A.T., Wood M.B., Sheetz K.K. Arthrodesis of the ankle with a free vascularized autogenous bone graft. Reconstruction of segmental loss of bone secondary to osteomyelitis, tumor, or trauma. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(12):1867-1875. doi: 10.2106/00004623-199512000-00011.
33. Mak M.F., Stern R., Assal M. Masquelet Technique for Midfoot Reconstruction Following Osteomyelitis in Charcot Diabetic Neuropathy: A Case Report. *JBJS Case Connect.* 2015;5(2):e28. doi: 10.2106/JBJS.CC.N.00112.
34. Neufeld S.K., Uribe J., Myerson M.S. Use of structural allograft to compensate for bone loss in arthrodesis of the foot and ankle. *Foot Ankle Clin.* 2002;7(1):1-17. doi: 10.1016/s1083-7515(01)00002-x.
35. Karr J.C. Management in the wound-care center outpatient setting of a diabetic patient with forefoot osteomyelitis using Cerament Bone Void Filler impregnated with vancomycin: off-label use. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2011;101(3):259-264. doi: 10.7547/1010259.
36. Kreulen C., Lian E., Giza E. Technique for Use of Trabecular Metal Spacers in Tibiotalocalcaneal Arthrodesis With Large Bony Defects. *Foot Ankle Int.* 2017;38(1):96-106. doi: 10.1177/1071100716681743.
37. Deresh G.M., Cohen M. Reconstruction of the diabetic Charcot foot incorporating bone grafts. *J Foot Ankle Surg.* 1996;35(5):474-488. doi: 10.1016/s1067-2516(96)80069-x.
38. Pacaccio D.J., Stern S.F. Demineralized bone matrix: basic science and clinical applications. *Clin Podiatr Med Surg.* 2005;22(4):599-606. doi: 10.1016/j.cpm.2005.07.001.
39. Оснач С.А., Оболенский В.Н., Процко В.Г., Борзунов Д.Ю., Загородный Н.В., Тамоев С.К. Метод двухэтапного лечения пациентов с тотальными и субтотальными дефектами стопы при нейроостеоартропатии Шарко. *Гений ортопедии.* 2022;28(4):523-531. doi: 1028-4427-2022-28-4-523-531.
40. Osnach S.A., Obolensky V.N., Protsko V.G., Borzunov D.Yu., Zagorodny N.V., Tamoev S.K. Method of two-stage treatment of total and subtotal defects of the foot in Charcot neuroosteoarthropathy. *Genius Orthopaedic.* 2022;28(4):523-531. (In Russian). doi: 1028-4427-2022-28-4-523-531.
41. Hollawell S.M. Allograft Cellular Bone Matrix as an Alternative to Autograft in Hindfoot and Ankle Fusion Procedures. *J Foot Ankle Surg.* 2012;51(2):222-225. doi: 10.1053/j.jfas.2011.10.001.
42. Lee D.K., Mulder G.D. Stem cell applications in diabetic Charcot foot and ankle reconstructive surgery. *Wounds.* 2010;22(9):226-9.

41. Siddiqui N.A., Millonig K.J., Mayer B.E., Fink J.N., McClure P.K., Bibbo C. Increased Arthrodesis Rates in Charcot Neuroarthropathy Utilizing Distal Tibial Distraction Osteogenesis Principles. *Foot Ankle Spec.* 2022;15(4):394-408. doi: 10.1177/19386400221087822.
42. Tellisi N., Fragomen A.T., Ilizarov S., Rozbruch S.R. Limb salvage reconstruction of the ankle with fusion and simultaneous tibial lengthening using the Ilizarov/Taylor spatial frame. *HSS J.* 2008;4(1):32-42. doi: 10.1007/s11420-007-9073-0.
43. Sakurakichi K., Tsuchiya H., Uehara K., Kabata T., Yamashiro T., Tomita K. Ankle arthrodesis combined with tibial lengthening using the Ilizarov apparatus. *J Orthop Sci.* 2003;8(1):20-25. doi: 10.1007/s007760300003.
44. Millonig K.J., Siddiqui N.A. Tibial Lengthening and Intramedullary Nail Fixation for Hindfoot Charcot Neuroarthropathy. *Clin Podiatr Med Surg.* 2022;39(4): 659-673. doi: 10.1016/j.cpm.2022.05.011.

---

#### Сведения об авторах

✉ Бардюгов Петр Сергеевич

Адрес: Россия, 117036, г. Москва, ул. Дм. Ульянова, д. 11.  
<https://orcid.org/0000-0002-5771-0973>  
 e-mail: petrbardiugov@gmail.com

Паршиков Михаил Викторович — д-р мед. наук, профессор  
<http://orcid.org/0000-0003-4201-4577>  
 e-mail: parshikovmikhail@gmail.com

Ярыгин Николай Владимирович — д-р мед. наук,  
 профессор, член-корр. РАН  
<http://orcid.org/0000-0003-4322-6985>  
 e-mail: dom1971@yandex.ru

---

#### Authors' information

✉ Petr S. Bardyugov

Address: 11, Dm. Ulyanova st., 117036, Moscow, Russia  
<https://orcid.org/0000-0002-5771-0973>  
 e-mail: petrbardiugov@gmail.com

Mikhail V. Parshikov — Dr. Sci. (Med.), Professor  
<http://orcid.org/0000-0003-4201-4577>  
 e-mail: parshikovmikhail@gmail.com

Nikolay V. Yarygin — Dr. Sci. (Med.), Professor  
<http://orcid.org/0000-0003-4322-6985>  
 e-mail: dom1971@yandex.ru