

## Симпатэктомия и нейромодуляция в лечении критической ишемии нижних конечностей

А.В. Яриков<sup>1,2</sup>, В.А. Леонов<sup>2</sup>, М.В. Шпагин<sup>2</sup> ✉, О.А. Перльмуттер<sup>2</sup>, А.П. Фраерман<sup>2</sup>, А.С. Мухин<sup>3</sup>, А.Э. Клецкин<sup>3</sup>, В.Г. Лютиков<sup>3</sup>, Д.Г. Кузьминых<sup>4</sup>

Нижегородский межобластной нейрохирургический центр им. проф. А.П. Фраермана

<sup>1</sup> ФБУЗ «Приволжский окружной медицинский центр» ФМБА России

Российская Федерация, 603001, Нижний Новгород, Нижневолжская наб., д. 2

<sup>2</sup> ГБУЗ НО «Городская клиническая больница № 39»

Российская Федерация, 603028, Нижний Новгород, Московское шоссе, д. 144

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» МЗ РФ

Российская Федерация, 603005, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, д. 10/1

<sup>4</sup> ООО «Первый клинический медицинский центр»

Российская Федерация, 601900, Владимирская область, Ковров, ул. Ватутина, д. 90

✉ Контактная информация: Шпагин Максим Владимирович, кандидат медицинских наук, нейрохирург ГБУЗ НО ГКБ № 39».

Email: shpagin-maksim@rambler.ru

### ВВЕДЕНИЕ

Критическая ишемия нижних конечностей (КИНК) — широко распространенное заболевание, возникающее из-за атеросклеротического поражения артерий с прогрессирующим сужением их просвета. Клинически критическая ишемия проявляется болевым синдромом в покое, некупируемым наркотическими анальгетиками, и/или язвенно-некротическим процессом на ногах. При отсутствии лечения больным производят ампутацию нижней конечности. Через 10 лет после ампутации нижней конечности на уровне бедра умирают практически все пациенты. В настоящее время выделяют следующие методы лечения критической ишемии: консервативная терапия, прямая реваскуляризация, поясничная симпатэктомия и нейростимуляция.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Представить данные современной научной литературы о применении поясничной симпатэктомии и эпидуральной стимуляции спинного мозга в лечении КИНК.

### МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В данном обзоре представлены последние данные, полученные в результате изучения отечественной и зарубежной литературы по вопросу лечения КИНК поясничной симпатэктомией и эпидуральной стимуляцией спинного мозга. В настоящее время поясничная симпатэктомия выполняется хирургическим (открытым, мини-доступом и эндоскопическим) и перкутантным (химическим или радиочастотным) способами. Широкое распространение приобретает перкутанный доступ, что связано с его малоинвазивностью, максимальной доступностью, простотой исполнения и невысокой стоимостью. Эпидуральная стимуляция спинного мозга применяется при некупируемом болевом синдроме. Механизм действия спинальной стимуляции заключается в блокировании передачи нервных импульсов на уровне желатинозной субстанции задних рогов спинного мозга при стимуляции афферентных волокон большего диаметра (волокон типа А-альфа и А-бета).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Спинальная нейростимуляция и поясничная симпатэктомия являются перспективными методами лечения при КИНК в случае невозможности прямой реваскуляризации. Поясничная симпатэктомия позволяет снизить интенсивность болевого синдрома и улучшить качество жизни пациентов. Согласно ряду проведенных исследований, эпидуральная стимуляция спинного мозга достоверно снижает вероятность ампутации нижней конечности, а также уменьшает интенсивность болевого синдрома у пациентов, рефрактерных к консервативной терапии, а также у тех, кому не показана прямая реваскуляризация артерий нижних конечностей. Необходимо проведение более широкомасштабных исследований для определения показаний к вышеперечисленным методам.

### Ключевые слова:

поясничная симпатэктомия, критическая ишемия нижних конечностей, спинальная нейростимуляция, сохранность конечностей, хронический болевой синдром, симпатический узел

### Ссылка для цитирования

Яриков А.В., Леонов В.А., Шпагин М.В., Перльмуттер О.А., Фраерман А.П., Мухин А.С. и др. Симпатэктомия и нейромодуляция в лечении критической ишемии нижних конечностей. *Журнал им. Н.В. Склифосовского неотложная медицинская помощь*. 2022;11(1):158–167. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-1-158-167>

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

### Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

БС — болевой синдром  
 ВАШ — визуально-аналоговая шкала  
 КЖ — качество жизни  
 КИНК — критическая ишемия нижних конечностей  
 НК — нижние конечности  
 ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения

ПСЭ — поясничная симпатэктомия  
 ТЭЛА — тромбоэмболия легочной артерии  
 ХОЗАНК — хроническое облитерирующее заболевание артерий нижних конечностей  
 SCS — *Spinal cord stimulation*

## ВВЕДЕНИЕ

Критическая ишемия нижних конечностей (КИНК) — это заболевание, характеризующееся декомпенсацией хронической артериальной недостаточности нижних конечностей (НК) [1, 2]. Ведущими клиническими признаками КИНК представляются болевой синдром (БС) в покое, некупируемый опиоидными анальгетиками, и/или язвенно-некротический процесс НК, продолжающийся более 2 недель [3]. Распространенность КИНК в США и странах Западной Европы набирает 50–100 случаев заболевания на 100 000 человек в год [1]. В США ежегодно госпитализируется более 400 000 больных с хроническими облитерирующими заболеваниями артерий НК (ХОЗАНК). При этом производится 50 000 ангиопластик, 110 000 шунтирующих операций и 69 000 ампутаций стоп и НК в год [4]. После верификации КИНК уровень смертности составляет 8–33%; а 16–34% пациентов переносят ампутацию НК в течение 1 года наблюдения [1, 5]. У больных, которым была выполнена ампутация НК, риск смерти в течение 2 лет после верификации КИНК в 1,8 раза больше, чем у тех, которым удалось ее сохранить. Грозные осложнения (острое нарушение мозгового кровообращения — ОНМК, инфаркт миокарда, инфекция, пневмония, тромбоэмболия легочных артерий — ТЭЛА) возникают после этой операции у 20–37% пациентов, а летальность после ампутации набирает 8,5% [1].

К концу 2-го года после ампутации умирает 34–50% пациентов, через 1 год после ампутации НК на уровне бедра выживают 76% больных, через 3 года — 51–56%, через 5 лет 34–36%, к 10-му году умирают практически все [4]. Ухудшение качества жизни (КЖ) пациентов происходит из-за БС, язв и ограничения подвижности. При КИНК в мягких тканях и мышцах накапливаются недоокисленные продукты обмена и развивается метаболический ацидоз, который вызывает отек НК и раздражение нервных окончаний [6, 7]. Клинически это проявляется БС при КИНК, формируется порочный круг: БС снижает двигательную активность пациента, что ведет к ухудшению венозного оттока и редукции кровоснабжения тканей НК [8, 9]. При лечении КИНК основными звеньями являются: устранение или уменьшение БС, заживление язвенно-некротических процессов, увеличение двигательной активности, сохранение НК и улучшение КЖ [1, 10]. Для достижения этих целей используются следующие главные подходы — консервативный, реконструкция артерий НК, деструктивные операции (симпатэктомия) и нейростимуляция.

Консервативное лечение КИНК включает в себя [11–13]:

1. Спазмолитики (дротаверин, но-шпа, бенциклан, фумарат, буфломедил, платифиллин, ницерголин, никошпан, папаверина гидрохлорид).
2. Метаболиты (солкосерил, актовегин).
3. Гиполипидемические препараты (статины, эзетимиб, фибраты).
4. Ангиопротекторы (пентоксифиллин, гинкго билоба, ксантинол никотинат, нафтидрофурил, ницерголин, троксерутин).

5. Дезагреганты (ацетилсалициловая кислота, тиклопидин, сулодексид, дипиридамол, клопидогрел, цилостазол, тикагрелор, прасугрел, селексипаг).

6. Реологические препараты (дексран, пентоксифиллин, *L*-аргинин).

7. Антиоксиданты (токоферола ацетат, аскорбиновая кислота, этилметилгидроксипиридина сукцинат, таурин, метилэтилпиридинола гидрохлорид, препараты альфа-липоевой и тиоктовой кислоты).

8. Иммуностимуляторы (иммунофан, азоксимебротомид, *T*-активин).

9. Антикоагулянты (надпропарин кальция, эноксапарин натрия, варфарин, далтепарин натрия, дабигатран этексила, ривароксабан, аписабан, бемипарин натрия, фениндион, парнапарин натрия, аценокумарол, сулодексид, фондапаринукс натрия).

10. Венотоники (диосмин, троксерутин, гесперидин+диосмин)

11. Простагландины (алпростадил, илопрост)

Также необходимо применять лечебную физкультуру — тренировочная дозированная ходьба (45–60 минут в сутки). Она направлена на развитие коллатеральных сосудов, улучшение микроциркуляции и венозного оттока, способствуя улучшению кровоснабжения в ишемизированных тканях НК [14]. Гипербарическая оксигенация оказывает положительное влияние на состояние свертывающей системы крови и микроциркуляцию.

Продуктивность медикаментозного лечения КИНК за последние годы увеличилась за счет разработки новых препаратов и схем лечения. Несмотря на успехи фармакологии, КИНК прогрессирует и прогноз касательно сохранности НК остается неблагоприятным (в течение 1-го года 20–30% лиц лишается одной НК, а в следующих 2–3 года — двух НК) [1]. В связи с этим пациентам по возможности выполняется прямая реваскуляризация. Для этого применяются открытые (шунтирование, протезирование, эндартерэктомия, артериализация венозного русла) и эндоваскулярные (ангиопластика, стентирование) вмешательства на артериях НК [1, 15].

Наиболее часто применяются шунтирование и эндартерэктомия. Артериализация венозного русла возможна только при поражении дистальных отделов НК и ведет к достаточно большому числу осложнений [8]. Нужно помнить, что в 40% случаев реконструктивные операции у лиц с КИНК невозможны из-за распространенности атеросклеротического процесса, ангиоархитектоники НК, риска осложнений, связанных с сопутствующей патологией, возраста и поражения нескольких артериальных бассейнов [6].

**Поясничная симпатэктомия (ПСЭ)** представляет наиболее распространенным паллиативным методом хирургического лечения КИНК [16–18]. Впервые ПСЭ была выполнена в 1924 году аргентинским хирургом *J. Diez* [19–21]. В настоящее время ПСЭ выполняется несколькими методами: хирургическим (открытым, мини-доступом и эндоскопическим), перкутаным

(химическим или радиочастотным) [22–24]. ПСЭ представляется наиболее широко распространенным способом стимуляции коллатерального кровотока, развития вазодилатации с целью снижения БС при отсутствии эффекта от консервативной терапии и невозможности проведения прямой реваскуляризации [25–27]. При ПСЭ производится удаление или разрушение 2-го, 3-го и 4-го поясничных симпатических ганглиев (рис. 1) [28–30].

Поясничные симпатические ганглии локализуются на вентральной поверхности тел поясничных позвонков [31]. К преимуществам ПСЭ следует отнести малоинвазивность, максимальную доступность, простоту исполнения и невысокую стоимость [32–34]. Улучшение субъективного самочувствия после ПСЭ зафиксировано более чем у 60% пациентов, что дает возможность рекомендовать ее в качестве облегчения симптомов КИНК [35].

Открытая техника ПСЭ вызывает слабость мышц передней брюшной стенки на стороне доступа и увеличение сроков госпитализации, что тормозит большую часть хирургов перед ее выполнением [36–38]. С развитием современных технологий в последнее время разработана ПСЭ с применением транскутанных технологий и методов нейровизуализации (рентген или компьютерный томографический (КТ) контроль). Под контролем рентгена (переднезадняя, косая с углом 15–25°, боковая проекция) и под местной анестезией (лидокаин, ропивакаин, маркаин или др.) по 2–5 мл раствора на каждый уровень сбоку от позвоночника латеральнее от средней линии проводится стилет до вентрально-боковой поверхности тел позвонков L2, L3, L4 в соответствии со стороной КИНК (рис. 2) [9, 39].

Далее вводится 0,5 мл контрастного вещества (йопамискан, омнипак, йодискан, йогексол, ультравист или др.) для исключения интрадурального, внутриорганного или интравазального расположения электрода (рис. 3).

Распространение контрастного препарата вдоль тел поясничных позвонков подтверждает правильное положение конца иглы (рис. 4).

Далее, мандрен заменяется на радиочастотный термопарный электрод и выполняется радиочастотная абляция. При химической ПСЭ после предварительного введения местного анестетика вводится 2–3 мл 95% этилового спирта [20].

Результаты исследования продемонстрировали, что ПСЭ не увеличивает мышечный кровоток, а вызывает развитие артериовенозного шунтирования [40]. Раскрытие артериовенозных шунтов приводит к сбросу крови из тех зон мягких тканей и кожи, которые нуждаются в этом больше всего, что также описано в исследованиях, где продуктивность ПСЭ расценивалась сцинтиграфией, — Е.П. Кохан и О.В. Пинчук (1997 г.). По результатам исследования кровотока в НК динамической сцинтиграфией ( $T_{max}/T_{1/2}$ ) продемонстрировали, что ее показатели при терминальной стадии КИНК изменялись с  $17,37 \pm 2,03$  и  $207,47 \pm 62,48$  до  $10,0 \pm 0,9$  и  $178,3 \pm 31,6$  ( $0,2 < p < 0,4$  и  $0,2 < p < 0,4$ ) [41]. Напротив, W.S. Moore, A.D. Hall (1973 г.) установили, что ПСЭ увеличивает капиллярный кожный кровоток, что показано увеличением клиренса ксенона в НК на стороне ПСЭ, кроме того, повышение тока крови в коже соразмерялось с клиническим улучшением [42].

В работе Ю.М. Полоуса и Р.Я. Кушнира (1991 г.), где из 63 пациентов со 2 ст. после ПСЭ у 11 пациентов с



Рис. 1. Схема проведения поясничной симпатэктомии  
Fig. 1. Scheme of lumbar sympathectomy

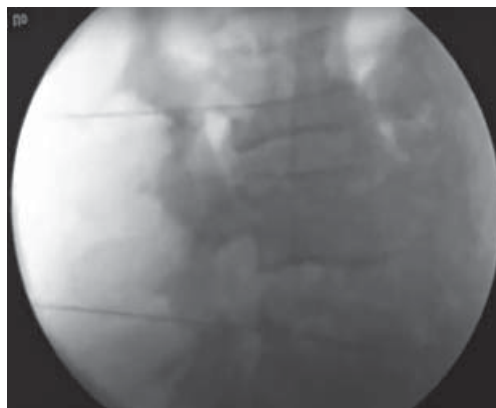


Рис. 2. Рентген-контроль (боковая проекция) установки иглы для проведения химической поясничной симпатэктомии  
Fig. 2. X-ray guided (lateral projection) needle placement for chemical lumbar sympathectomy

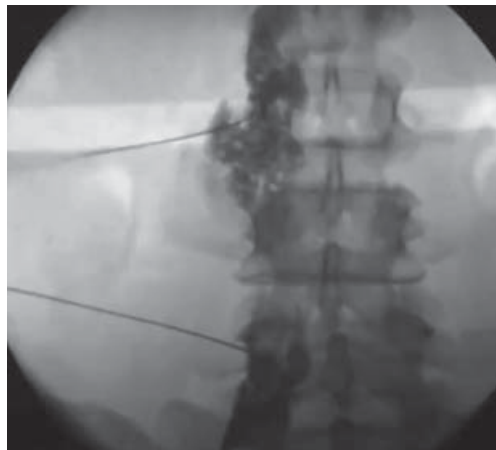


Рис. 3. Введение рентгенконтрастного препарата для исключения интрадурального и интравазального распространения  
Fig. 3. Introduction of a radiopaque agent to exclude intradural and intravasal position

ХОЗАНК и облитерирующим эндартериитом развился БС покоя, а в дальнейшем и трофические изменения [43]. Они продемонстрировали наличие феномена «обкрадывания» после ПСЭ и анонсировали возможность прогнозирования ПСЭ с помощью лекарственной ганглиэктомии с изучением уровня  $pO_2$  мышц

(парциальное давление кислорода в газовой фазе) и подкожной основы НК.

Исследованием *W.C. Johnson et al.* (1998 г.) продуктивность ПСЭ была расценена чрескожным напряжением кислорода, где был показан рост этого показателя после ПСЭ у 50% лиц [44]. Продолжительность восстановления вазомоторной реакции после ПСЭ составляет от 2 недель до 6 месяцев. Однако опыт применения ПСЭ В.П. Коханом доказал возможность удерживающегося эффекта после ПСЭ в течение нескольких лет (иногда >10 лет).

Е.П. Кохан и О.В. Пинчук (1997 г.) отмечают, что лучший эффект фиксируется у лиц с гипергидрозом и ХОЗАНК, чем при болезни Бюргера [41].

*F.W. Cross, L.T. Cotton* (1995 г.) анонсировали результаты проспективного рандомизированного контролируемого 2-го слепого исследования химической ПСЭ в сравнении с плацебо (бупивакаина). БС покоя редуцировался у 83,5% лиц (в плацебо — у 23,5%,  $p < 0,002$ ), у 66% пациентов не были отмечены БС покоя в течение 6 месяцев, а гемодинамические изменения после ПСЭ не были зафиксированы [45].

Выводы анкетирования специалистов по ангиохирургии и ассоциированных специальностей Великобритании и Ирландии по применению химической ПСЭ в лечении пациентов с КИНК при невозможности реваскуляризации, опубликованного в *International Journal of Surgery* в 2009 г. (242 полученных ответа из 490 запросов) следующие: 183 врачей (75%) применяют ПСЭ при КИНК [46].

В обзоре литературы, проведенном *M. Pekař et al.* (2016 г.), продемонстрирована значительная эффективность ПСЭ (на основании 3 исследований), которая достигла 63,6–93,4% у пациентов с КИНК [47].

Результаты применения ПСЭ при различных заболеваниях представлены в табл. 1.

И.Н. Староверова и О.М. Лончаковой (2014 г.) сравнили результаты открытой ( $n=38$ ) и химической ( $n=26$ ) ПСЭ. Непосредственные результаты показали сопоставимость полученных данных (хорошие исходы —  $\chi^2=0,04$ ,  $p=0,8$ ; удовлетворительные и неудовлетворительные исходы —  $\chi^2=0,01$ ,  $p=0,9$ ). В послеоперационном периоде наблюдали у 32% пациентов (12/38) со стороны ПСЭ слабость передней брюшной стенки, а осложнений при перкутанной ПСЭ не было [36].

По А.В. Покровскому ПСЭ приносит временный незначительный эффект не дольше 3–4 лет у паци-



Рис. 4. Рентгенконтрастный препарат распространяется вдоль поясничных позвонков, что свидетельствует о корректной установке игл

Fig. 4. X-ray contrast agent spreads along the lumbar vertebrae, which indicates the correct placement of the needles

ентов со 2-й ст. ХОЗАНК, а у лиц с 3–4-й ст. неэффективна почти всегда [11]. При сравнительном анализе прямых, сочетанных и редуцированных реваскуляризаций наилучшие результаты получены при сочетании прямых реваскуляризаций с ПСЭ [12, 48].

**Нейростимуляция.** Стойкий БС при КИНК приводит к выраженному ограничению подвижности и резкому снижению КЖ [2]. Анальгетический эффект *Spinal Cord Stimulation (SCS)* помогает улучшить КЖ пациентов за счет снижения БС и увеличения двигательной активности [9]. Механизмы редукции БС при SCS также разнообразны и включают в себя влияние как на периферическом, так и центральном уровнях с вовлечением нейромедиаторных систем [49–51]. Импульсы БС могут быть заблокированы на уровне желатинозной субстанции задних рогов спинного мозга при стимуляции афферентных волокон большего диаметра (типа А-альфа и А-бета) [52]. SCS вызывает функциональную ПСЭ и вазодилатацию, что оказывает положительный трофический и антиноцицептивный эффект [53].

У кандидатов для SCS обязан быть БС, связанный с КИНК, нечувствительный к медикаментозной терапии, отсутствие возможности прямой реваскуляризации и предполагаемая большая длительность жизни. При тестовой SCS должна быть получена парестезия в зонах БС и существенное его снижение. При наличии язв на НК их диаметр должен быть меньше 2 см, а сами они не заглублены в дерму; гангрена не должна быть сухой и иметь параметры, не превышающие указанные для

Таблица 1

**Результаты использования поясничной симпатэктомии**

Table 1

**Results of lumbar sympathectomy**

Список литературы	Best	Acceptable	Contraindications
W.S. Moore Vascular and Endovascular Surgery a comprehensive Review. 8 ed. Philadelphia: Elsevier Saunders. 2013; 1087. [34]	Гипергидроз; каузалгия; отморожение; болезнь Бюргера; атероэмболия	Невозможность реваскуляризации при болезни Бюргера или ХОЗАНК с минимальной потерей тканей; БС покоя у недиабетиков с поражением артерий мелкого калибра при наличии или без синдрома Рейно	Переменяющаяся хромота; сахарный диабет с полинейропатией
R.B. Rutherford Vascular surgery. 6th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders. 2005; 1; 1825–1846. [35]	Каузалгия; гипергидроз; вазоспастические заболевания, осложненные язвами на пальцах	Good to fair	Poor
Haimovici's Vascular Surgery, 6th Edition. Edited by Enrico Ascher. 2012; 1342. [36]		Невозможность реваскуляризации при ХОЗАНК с наличием БС покоя или ограниченным некрозом; болезнь Бюргера	Переменяющаяся хромота; диабетическая полинейропатия

Примечания: БС – болевой синдром; ХОЗАНК – хроническое облитерирующее заболевание артерий нижних конечностей

Notes: БС – pain syndrome; ХОЗАНК – peripheral occlusive arterial disease of the lower extremities

язв. Основными признаками ответа для тестовой SCS является редукция БС по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) и увеличение дистанции ходьбы.

В исследовании *SCS-EPOS W. Amann et al.* (2003 г.) подбирали больных в зависимости от данных микроциркуляции. В группу эксперимента вошли пациенты с умеренно сниженной локальной оксигенацией (в пределах 10–30 мм рт.ст.) и очень низкой оксигенацией (<10 мм рт.ст.), у которых при тестовой SCS увеличение составило не менее 20 мм рт.ст. В группе SCS при невозможности реваскуляризации показаны самые максимальные результаты сохранности НК в сравнении с консервативным лечением [54].

У *Tshomba et al.* (2014 г.), проанализировав отдаленные результаты SCS у 274 лиц, доказали, что основным предиктором успеха (способность пройти не менее 30 метров без появления БС) представляется раннее начало SCS — 2–5 месяцев после появления язв на НК, а при начале SCS через 12–15 месяцев после формирования язв эффекта не было [55].

В исследовании *J.T. Liu et al.* (2018 г.) были включены 78 пациентов с КИНК. До SCS дистанция ходьбы 64,86±40,80 м, время ходьбы — 2,65±1,64 мин и качество сна 1,70±0,78. Спустя 12 месяцев после SCS дистанция ходьбы 1595,00±483,60 м, время ходьбы 48,92±14,10 мин и качество сна 4,65±0,92. БС по шкале ВАШ через неделю — 8,63±0,54 и через 1 год — 2,35±0,62 [56].

В работу А.А. Ашуркова и соавт. (2019 г.) включены 38 пациентов с КИНК (10 женщин, 28 мужчин, 39–83 года), оперированных в 2012–2016 гг. КЖ пациентов оценивалось с помощью опросника SF-36 до и после 30–60 месяцев SCS. Кроме этого, анализировалась динамика смертности пациентов, количество и уровень ампутаций [8]. До SCS средние показатели трех из четырех шкал физического благополучия в группе пациентов были значительно снижены по сравнению с нормами популяции ( $p < 0,001$ ).

Показатели шкал психологического благополучия были ближе к среднему уровню. Суммарный показатель физического благополучия был ниже границ нормы (37,9±9,2 балла), показатель психологического благополучия имел средние значения (48,1±8,3 балла). При мониторинге в течение 30–60 месяцев после SCS не удалось связаться с 5 больными, установлена смерть 12 пациентов, 3 лицам выполнена ампутация на уровне голени; опорная функция НК сохранена у

16 пациентов, у 2 из них состоялась ампутация пальца. В 3 случаях произошел отказ системы. Опросник SF-36 через 30–60 месяцев после SCS заполнялся пациентами с сохраненной опорной функцией НК. Отмечено увеличение всех параметров КЖ, средний суммарный показатель физического благополучия приблизился к норме популяции (46,3±10,6 балла,  $p = 0,050$  при сравнении с дооперационным значением), а суммарный показатель психологического благополучия стал выше среднепопуляционного уровня (57,9±3,8 балла,  $p = 0,041$ ). SCS не уменьшает уровень смертности у больных КИНК по сравнению с данными о смертности при консервативном лечении, однако снижает процент ампутаций НК у выживших пациентов.

*Neuromodulation Appropriateness Consensus Committee (NACC)* пришел к выводу, что SCS может редуцировать риск ампутации НК и интенсивность БС у лиц с КИНК при невозможности прямой реваскуляризации и рефрактерности к консервативному лечению (уровень доказательности B) [1, 8, 57].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У лиц с выраженным болевым синдромом целесообразно на первом этапе применять для купирования критической ишемии нижних конечностей поясничную симпатэктомию. Перкутанная (химическая или радиочастотная) поясничная симпатэктомию является операцией выбора, которая отвечает критерию соотношения понятий «цена-риск-польза».

SCS является относительно новым методом лечения критической ишемии нижних конечностей. Необходимо проведение широкомасштабных исследований для определения точных показаний SCS при критической ишемии нижних конечностей, учитывающих: степень хронической ишемии нижних конечностей, возраст, данные микроциркуляции (транскутанное напряжение кислорода, линейная скорость кровотока, лодыжечно-плечевой индекс и др.) и ангиографии артерий нижних конечностей, сопутствующую патологию, распространенность атеросклероза, уровень болевого синдрома и его локализация, наличие язвенно-некротических процессов на нижних конечностях и дистанцию безболевого ходьбы. Необходимо более широкое внедрение методов SCS и поясничной симпатэктомии в лечении критической ишемии нижних конечностей.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Ашурков А.В., Левин Е.А., Муртазин В.И., Киселев Р.С., Орлов К.Ю., Кривошапкин А.Л., и др. Использование спинальной нейростимуляции в лечении пациентов с критической ишемией нижних конечностей. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2017;21(2):29–42. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2017-2-29-42>
- Клинкова А.С., Ашурков А.В., Каменская О.В., Карпенко А.А., Ломиворотов В.В., Муртазин В.И., и др. Спинальная нейростимуляция и периферическая перфузия у пациентов с критической ишемией нижних конечностей. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2018;17(3):107–114. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2018-17-3-107-114>
- Коротких А.В., Андреев Н.И., Пчелина И.В. Заболевания артерий нижних конечностей у жителей Хабаровского края по данным рентгеноконтрастной ангиографии. *Дальневосточный медицинский журнал*. 2017;(2):36–39.
- Белов Ю.В., Комаров В.В., Виноградов О.А., Салех А.З., Дзюндзя А.Н., Ульянов Н.Д., и др. Двусторонняя видеоэндоскопическая поясничная симпатэктомию при хронической ишемии нижних конечностей. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2015;(8):70–73. <https://doi.org/10.17116/hirurgia2015870-73>
- Волошин В.Н., Клецкин А.Э., Корзина Л.Н. Возможности радиотермометрии при выборе уровня ампутации нижней конечности и способа ее выполнения у больных с облитерирующими сосудистыми заболеваниями. *Амурский медицинский журнал*. 2018;3(23):86–87. <https://doi.org/10.22448/AMJ.2018.3.86-87>
- Клинкова А.С., Каменская О.В., Ашурков А.В., Муртазин В.И., Ломиворотов В.В., Караськов А.М. Факторы неблагоприятного прогноза применения спинальной нейростимуляции при хроническом болевом синдроме на фоне критической ишемии нижних конечностей. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019;119(9):23–30. <https://doi.org/10.17116/jnevro201911909123>
- Древаль О.Н., Рябыкин М.Г. Хронические болевые синдромы при поражениях периферической нервной системы. *Нейрохирургия*. 2002;(4):4–8.
- Ашурков А.В., Левин Е.А., Муртазин В.И., Киселев Р.С., Кильчуков М.Г., Клинкова А.С., и др. Качество жизни пациентов с критической ишемией нижних конечностей в отдаленном периоде после имплантации системы спинальной нейростимуляции. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2019;23(1):42–53. <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-42-53>
- Силаев М.А., Лифенцов И.Г., Привалов С.А. Физические принципы радиочастотной терапии боли. *Вестник Челябинской областной клинической больницы*. 2019;1(43):10–16.
- Муртазин В.И., Ашурков А.В., Киселев Р.С., Орлов К.Ю., Шабалов В.А., Кривошапкин А.Л. Сибирский опыт применения нейростимуляции в лечении хронического болевого синдрома ише-

- мического и нейропатического генеза. *Российский журнал боли*. 2017;1(52):101–102.
11. Кательницкий И.И., Ливадная Е.С. Методы лечения больных облитерирующим атеросклерозом артерий нижних конечностей при критической ишемии. *Современные проблемы науки и образования*. 2014;(3):463. URL:<https://science-education.ru/ru/article/view?id=13206> [Дата обращения: 10 января 2022]
  12. Янушко В.А., Турлюк Д.В., Ладьгин П.А., Исачкин Д.В. Современные подходы диагностики и лечения многоуровневых поражений артерий нижних конечностей ниже паховой складки в стадии критической ишемии. *Новости хирургии*. 2011;19(6):115–128.
  13. Соколов А.Г., Чоуду Ш.В. Лечение больных с хронической ишемией нижних конечностей в условиях общехирургического стационара. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007;54(56):165–166.
  14. Карпин В.А., Зуевская Т.В., Ушаков В.Ф. Современные принципы лечения хронических обструктивных заболеваний артерий нижних конечностей. *Медицинская наука и образование Урала*. 2017;18(1(89)):156–159.
  15. Чететка Д.Ю., Норкин К.Г., Ди А.Ю. Комплексное обследование и лечение больных мультифокальным атеросклерозом с преимущественным поражением артерий нижних конечностей в стадии критической ишемии. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007;1(53):203–204.
  16. Кривошапкин А.Л., Дуйшобаев А.Р., Мелиди Е.Г., Сафонов В.А., Анищенко В.В., Худашов В.Г., и др. Малоинвазивная хирургия симпатического ствола в лечении хронических облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина*. 2009;7(1):98–102.
  17. Гуца А.О., Шевелев И.Н., Арестов С.О. Опыт эндоскопических вмешательств при патологии позвоночника. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2007;(2):26–32.
  18. Пятко В.Э., Сапега В.Н. Химическая поясничная симпатэктомиа как метод профилактики постампутационного фантомного болевого синдрома. *Здравоохранение Дальнего Востока*. 2008;4(36):115–116.
  19. Лемнев В.Л., Аслаяна Л.С., Ахметов В.В., Шамшилин А.А. Шейная симпатэктомиа в лечении больных с ишемией головного мозга. *Нейрохирургия*. 2011;(1):66–70.
  20. Пчелина И.В., Коротких А.В., Глянцев С.П. Учение о «спонтанной» гангрене. Эволюция взглядов на проблему этиопатогенеза и разработка методов лечения облитерирующего тромбангиита. *Дальневосточный медицинский журнал*. 2018;(3):61–71.
  21. Дониоров Б.А., Гыльков Л.Э., Дамдинов Б.Ч., Очиров С.Н., Батчулуун П. Возможности и перспективы лечения облитерирующих заболеваний периферических артерий с использованием видеоэндоскопической техники. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2005;(3):44–45.
  22. Зюзько А.С., Новолодский Е.Г., Сахарюк А.П., Шимко В.В. Миниинвазивные хирургические технологии в лечении хронической ишемии нижних конечностей. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2012;54(86):50–51.
  23. Пятко В.Э., Сухотин С.К., Бондарь В.Ю., Бондарь Ю.С. Поясничный симпатолитизис в комплексной терапии боли у больных с хронической ишемией нижней конечностей. *Дальневосточный медицинский журнал*. 2000;(52):35–37.
  24. Субботин С.И., Хасаншин Э.М., Коляда А.И., Скрипки С.В., Ибрагимов А.С., Жембровская И.Б., и др. Торакоскопическая симпатэктомиа в нейрохирургии. *Дальневосточный медицинский журнал*. 1999;(4):96.
  25. Пятко В.Э., Сухотин С.К. Химическая поясничная десимпатизация у больных с хронической ишемией нижних конечностей. *Анестезиология и реаниматология*. 2004;(4):31–35.
  26. Бальжиров Б.Г., Кожевников В.В., Лудупова Е.Ю., Дугарова Р.В., Борисов Э.Б. История развития и становления нейрохирургической службы в республике Бурятия. К 50-летию нейрохирургического отделения республиканской клинической больницы им. Н.А. Семашко. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2011;(1–2):11–14.
  27. Щедренко В.В., Рутенбург Г.М., Стрижелецкий В.В., Иваненко А.В. Эндовидеохирургическая внебрюшинная поясничная симпатэктомиа (техника операции). *Нейрохирургия*. 2001;(2):68–72.
  28. Кривошапкин А.Л., Дуйшобаев А.Р., Мелиди Е.Г., Худашов В.Г., Ненарочнов С.В. Радиочастотная термодеструкция симпатического ствола в лечении хронических облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей. *Бюллетень сибирской медицины*. 2008;7(5–1):200–203.
  29. Пчелина И.В. Профессор М.А. Хелимский: от военно-полевой хирургии к хирургии заболеваний сердца и сосудов (к 120-летию со дня рождения). *Дальневосточный медицинский журнал*. 2018;(4):58–65.
  30. Щедренко В.В. Итоги изучения проблемы функциональной нейрохирургии болевых синдромов. В кн.: *Страницы истории нейрохирургии России и Российского нейрохирургического института им. проф. А. Л. Поленова: (к 70-летию со дня основания)*. Санкт-Петербург;1996. с.193–206.
  31. Грачёв В.И., Маринкин И.О., Матвиенко В.В., Челищева М.Ю. Основные инвазивные методы диагностики и лечения боли. *Journal of science. Lyon*. 2020;(10–1):30–41.
  32. Цыдыпов Ю.А., Борисов Э.Б. История развития и состояние нейрохирургической службы в республике Бурятия. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2009;(3(67)):395–396.
  33. Гуца А.О., Шевелев И.Н., Арестов С.О. Торакоскопические операции при патологии позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2007;(1):29–34. <https://doi.org/10.14531/ss2007.1.29-34>
  34. Рязанов А.Н., Магамедов И.Д., Сорока В.В., Нохрин С.П., Михельсон Е.П., Курилов А.Б. Клинический случай успешного применения поясничной симпатэктомии в лечении комплексного регионарного болевого синдрома. *Журнал им. Н.В. Склифосовского. Неотложная медицинская помощь*. 2020;9(1):136–139. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-1-136-1>
  35. Sanni A., Hamid A., Dunning J. Is sympathectomy of benefit in critical leg ischaemia not amenable to revascularisation? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2005;4(5):478–483. PMID: 17670461 <https://doi.org/10.1510/icvts.2005.115410>
  36. Староверов И.Н., Лончакова О.М. Сравнительная характеристика открытой и химической десимпатизации поясничных ганглиев при возвратной ишемии после реконструктивных операций на артериях нижних конечностей. *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2014;22(4):112–119.
  37. Зюзько А.С., Роговченко А.В., Иштугин С.В., Бойко Е.А. Миниинвазивные методы хирургического лечения хронической ишемии нижних конечностей. В кн.: *Сборник научных тезисов и статей «Здоровье и образование в XXI веке»*. 2008;10(3):419–420.
  38. Щедренко В.В., Рутенбург Г.М., Стрижелецкий В.В., Халафян И.А., Иваненко А.В. Неотложная эндовидеохирургическая внебрюшинная поясничная симпатэктомиа в лечении больных с трофическими расстройствами нижних конечностей. *Дальневосточный медицинский журнал*. 1999;(4):95–96.
  39. Абрамян А., Чумбуридзе И., Штильман М., Андреев Е. Возможности лечения хронической ишемии нижних конечностей в дневном стационаре. *Врач*. 2018;29(1):71–72. <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-01-22>
  40. Калмыков Е.Л., Сучков И.А., Неъматзода О.Н. К вопросу о поясничной симпатэктомии. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 2017;23(4):181–185.
  41. Кохан Е.П., Пинчук О.В. Поясничная симпатэктомиа в комплексном лечении облитерирующих заболеваний нижних конечностей. *Ангиология и сосудистая хирургия*. 1997;(1):128–134.
  42. Moore WS, Hall AD. Effects of Lumbar Sympathectomy on Skin Capillary Blood Flow in Arterial Occlusive Disease. *J Surg Res*. 1973;14(2):151–157. PMID: 4693919 [https://doi.org/10.1016/0022-4804\(73\)90024-3](https://doi.org/10.1016/0022-4804(73)90024-3)
  43. Полоус Ю.М., Кушнир Р.Я. Особенности распределения крови в тканях нижних конечностей после поясничной симпатэктомии. *Клиническая хирургия (Киев)*. 1991;(7):50–52.
  44. Johnson WC, Watkins MT, Baldwin D, Hamilton J. Foot TcPO2 Response to Lumbar Sympathectomy in Patients with Focal Ischemic Necrosis. *Ann Vasc Surg*. 1998;12(1):70–74. PMID: 9452000 <https://doi.org/10.1007/s100169900118>
  45. Cross FW, Cotton LT. Chemical Lumbar Sympathectomy for Ischemic Rest Pain. A Randomized, Prospective Controlled Clinical Trial. *Am J Surg*. 1995;150(3):341–345. PMID: 3898891 [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(85\)90075-3](https://doi.org/10.1016/0002-9610(85)90075-3)
  46. Nesargikar PN, Ajit MK, Evers PS, Nichols BJ, Chester JF. Lumbar chemical sympathectomy in peripheral vascular disease: Does it still have a role? *Int J Surg*. 2009;7(2):145–149. PMID: 19237331 <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2009.01.004>
  47. Pečarič M, Mazur M, Pečaričová A, Kozák J, Foltys A. Lumbar sympathectomy literature review over the past 15 years. *Rozhl Chir*. 2016;95(3):101–106. PMID: 27091617
  48. Червяков Ю.В., Староверов И.Н., Борисов А.В., Нерсисян Е.Г., Влащенко О.Н., Лавлинский С.Н. Отдалённые результаты до 3 лет использования непрямых способов реваскуляризации у больных с хронической ишемией нижних конечностей. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2015;174(2):84–88.
  49. Суфианов А.А., Чуркин С.В., Шапкин А.Г., Суфианова Г.З. Стимуляция спинного мозга при рефрактерной стенокардии. *Медицинская наука и образование Урала*. 2014;15(1(77)):97–100.
  50. Исагулян Э.Д., Шабалов В.А. Методы нейростимуляции в лечении боли. *Manage Pain*. 2014;(3):48–54.
  51. Михайлов Е.Н., Лебедев Д.С., Вандер М.А., Федотов П.А., Пальцев А.В., Черемилло В.Ю., и др. Электрическая стимуляция спинного мозга при хронической сердечной недостаточности. *Трансляционная медицина*. 2015;(5):104–112. <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2015-0-5-104-112>

52. Дунц П.В., Пак О.И., Елицкий А.С., Горбаренко Р.С. Опыт применения хронической эпидуральной стимуляции спинного мозга. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2012;3(49):88–91.
53. Муртазин В.И., Кривошапкин А.Л., Орлов К.Ю., Ашурков А.В., Чернявский А.М., Шабалов В.А. Применение спинальной нейростимуляции в терапии хронической ишемии миокарда, рефрактерной к медикаментозной терапии. *Сибирский научный медицинский журнал*. 2017;37(1):68–73.
54. Amann W, Berg P, Gersbach P, Gamain J, Raphael JH, Ubbink DT. Spinal cord stimulation in the treatment of non-reconstructable stable critical leg ischaemia: results of the European Peripheral Vascular Disease Outcome Study (SCS-EPOS). *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2003;26(3):280–286. PMID: 14509891 <https://doi.org/10.1053/ejvs.2002.1876>
55. Tshomba Y, Psacharopulo D, Frezza S, Marone EM, Astore D, Chiesa R. Predictors of improved quality of life and claudication in patients undergoing spinal cord stimulation for critical lower limb ischemia. *Ann Vasc Surg*. 2014;28(5):628–32. PMID: 24542447 <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2013.06.020>
56. Liu JT, Su CH, Chen SY, Liew SJ, Chang CS. Spinal Cord Stimulation Improves the Microvascular Perfusion Insufficiency Caused by Critical Limb Ischemia. *Neuromodulation*. 2018;21(5):489–494. PMID: 29377343 <https://doi.org/10.1111/ner.12753>
57. Исагулян Э.Л., Славин К.В., Томский А.А., Асриянц С.В., Макашова Е.С., Дорохов Е.В., и др. Хроническая электростимуляция спинного мозга у пациентов с хронической болью. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2020;120(8):160–166. <https://doi.org/10.17116/jnevro2020120081160>
1. Ashurkov AV, Levin EA, Murtazin VI, Kiselev RS, Orlov KYu, Krivoshapkin AL, et al. Spinal cord stimulation in treatment of patients with critical lower limb ischemia. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2017;21(2):29–42. (in Russ.). <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2017-2-29-42>
2. Klinkova AS, Ashurkov AV, Kamenskaya OV, Karpenko AA, Lomivorotov VV, Murtazin VI, et al. Spinal cord stimulation and peripheral perfusion in patients with critical lower limb ischemia. *Regional Blood Circulation and Microcirculation*. 2018;17(3):107–114. (in Russ.) <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2018-17-3-107-114>
3. Korotkikh AV, Andreev NI, Pchelina IV. Lower Limb Arterial Diseases Among Residents of Khabarovsk Region According to Angiography Behind. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 2017;2(2):36–39. (in Russ.)
4. Belov IuV, Komarov VV, Vinogradov OA, Salekh AZ, Dziundzia AN, Ul'ianov ND, et al. Bilateral endoscopic lumbar sympathectomy for chronic limb ischemia. *Pirogov Russian Journal of Surgery*. 2015;8(7):70–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.17116/hirurgia2015870-75>
5. Voloshin V.N.1, Kletskin A.E.1, Korzina L.N. The Opportunities of Radiothermometry at the Selection of the Level of Amputation of the Lower Limb and the Method of Its Performing in Patients with Obliterating Vascular Diseases. *Amur Medical Journal*. 2018;3(23):86–87. (in Russ.) <https://doi.org/10.22448/AMJ.2018.3.86-87>
6. Klinkova AS, Kamenskaia OV, Ashurkov AV, Murtazin VI, Lomivorotov VV, Karas'kov AM. Factors of adverse prediction of application of spinal cord stimulation with chronic pain syndrome in patients with critical lower limb ischemia. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2019;119(9):23–30. (in Russ.). <https://doi.org/10.17116/jnevro201911909123>
7. Dreval ON, Ryabykin MG. Chronic Pain Syndromes at Damages to the Peripheral Nervous System. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2002;4(4):4–8. (in Russ.)
8. Ashurkov AV, Levin EA, Murtazin VI, Kiselev RS, Kilychukov MG, Klinkova AS, et al. Quality of life of patients with critical lower limb ischemia after prolonged spinal cord stimulation. *Circulation Pathology and Cardiac Surgery*. 2019;23(1):42–53. (In Russ.). <https://doi.org/10.21688/1681-3472-2019-1-42-53>
9. Silaev MA, Livantsov GI, Privalov SA. Physical Principles of Radiofrequency Pain Therapy. *Vestnik Chelyabinskoy oblasti klinicheskoy bol'nitsy*. 2019;1(43):10–16. (in Russ.)
10. Murtazin VI, Ashurkov AV, Kiselev RS, Orlov KYu, Shabalov VA, Krivoshapkin AL. Sibirskiy opyt primeneniya neyrostimulyatsii v lechenii khronicheskogo bolevoogo sindroma ishemicheskogo i neyropaticheskogo geneza. *Russian Journal of Pain*. 2017;1(52):101–102.
11. Katelnitskiy Iv1, Livadnyaya ES. Methods of Treatment of Patients with Obliterate Atherosclerosis at a Critical Ischemia of Lower Limb. *Modern Problems of Science and Education*. 2014;3(3):463. (in Russ.). Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13206> (Accessed at Jan 10, 2022)
12. Yanushko VA, Turlyuk DV, Ladygin PA, Isachkin DV. Sovremennye podkhody diagnostiki i lecheniya mnogourovnevnykh porazheniy arteriy nizhnikh konechnostey nizhe pakhovoy skladki v stadii kriticheskoy ishemii. *Novosti khirurgii*. 2011;19(6):115–128. (in Russ.)
13. Sokolovich AG, Choodu ShV. Lechenie bol'nykh s khronicheskoy ishemiei nizhnikh konechnostey v usloviyakh obshchekhirurgicheskogo stacionara. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2007;4(56):165–166. (in Russ.)
14. Karpin VA, Zuevskaya TV, Ushakov VF. Modern Principles of Treatment of Chronic Obstructive Diseases of Lower Limb Arteries (Literature Review). *Medical Science and Education of Ural*. 2017;18(1(89)):156–159. (in Russ.)
15. Chechetka DYu, Norkin KG, Di AYu. Kompleksnoe obsledovanie i lechenie bol'nykh mul'tifokal'nym aterosklerozom s preimushchestvennym porazheniem arteriy nizhnikh konechnostey v stadii kriticheskoy ishemii. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2007;1(53):203–204. (in Russ.)
16. Krivoshapkin AL, Duyshobaev AR, Melidi EG, Safonov VA, Anishchenko VV, Khudashov VG, et al. Maloinvazivnaya khirurgiya simpaticeskogo stvola v lechenii khronicheskikh obliteriruyushchikh zabolevaniy arteriy nizhnikh konechnostey. *Vestnik NSU. Series: Biology, Clinical Medicine*. 2009;7(1):98–102. (in Russ.)
17. Gushcha AO, Shevelev IN, Arestov SO. Experience with Endoscopic Interventions in Diseases of the Vertebral Column. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2007;2(2):26–32. (in Russ.)
18. Pyatko VE, Sapega VN. Khimicheskaya poynasnichnaya simpatektomiya kak metod profilaktiki postamputatsionnogo fantomnogo bolevoogo sindroma. *Zdravookhranenie Dal'nego Vostoka*. 2008;4(36):115–116. (in Russ.)
19. Lemenev VL, Aslanyan LS, Akhmetov VV, Shamshilin AA. Cervical Sympathectomy in Treatment of Patients with Cerebral Ischemia. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2011;1(1):66–70. (in Russ.)
20. Pchelina IV, Korotkikh AV, Glyantsev SP. The Exercise of "Spontaneous" Hangrene. Evolution of the Views on the Problem of Etiopathogenesis and Development of Methods of Treatment of Thromboangiitis Obliterans. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 2018;3(3):61–71. (in Russ.)
21. Donirov BA, Glylykov LE, Damdinov BCh, Ochirov SN, Batchuluun P. Vozmozhnosti i perspektivy lecheniya obliteriruyushchikh zabolevaniy perifericheskikh arteriy s ispol'zovaniem videoendoskopicheskoy tekhniki. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2005;3(3):44–45. (in Russ.)
22. Zyuz'ko AS, Novolodskiy EG, Sakharyuk AP, Shimko VV. Miniinvazivnye khirurgicheskie tekhnologii v lechenii khronicheskoy ishemii nizhnikh konechnostey. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2012;4(86):50–51. (in Russ.)
23. Pjatko VE, Sukhotin SK, Bondar VYu, Bondar YuS. Lumbal Chemical Sympathectomy in Complex Therapy of Pain Syndrome in Patients with Chronic Ischemia of Lower Limbs. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 2000;3(2):35–37. (in Russ.)
24. Subbotin SI, Khasanshin EM, Kolyada AII, Skripkii SV, Ibragimov AS, Zhembrovskaya IB, et al. Torakoskopicheskaya simpatektomiya v neyrokhirurgii. *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 1999;4(4):96. (in Russ.)
25. Pyatko V.E., Sukhotin S.K. Chemical Lumbar Sympathectomy in Patients with Chronic Ischemia of the Lower Extremities. *Russian Journal of Anaesthesiology and Reanimatology*. 2004;4(4):31–33. (in Russ.)
26. Bal'zhirov BG, Kozhevnikov VV, Ludupova EYu, Dugarova RV, Borisov EB. Istoriya razvitiya i stanovleniya neyrokhirurgicheskoy sluzhby v respublike Buryatiya. K 50-letiyu neyrokhirurgicheskogo otdeleniya respublikanskoy klinicheskoy bol'nitsy im. N.A. Semashko. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2011;1(2):11–14. (in Russ.)
27. Schedrenok VV, Rutenburg GM, Strizheletsky VV, Ivanenko AV. Endovideosurgical Extraperitoneal Lumbar Sympathectomy (Operative Technique). *Russian Journal of Neurosurgery*. 2001;2(2):68–72. (in Russ.)
28. Krivoshapkin AL, Duyshobaev AR, Melidi EG, Khudashov VG, Nenarochnov SV. Radiochastotnaya termodestruktsiya simpaticeskogo stvola v lechenii khronicheskikh obliteriruyushchikh zabolevaniy arteriy nizhnikh konechnostey. *Bulletin of Siberian Medicine*. 2008;7(5–1):200–203. (in Russ.)
29. Pchelina IV. Professor M.A. Khelymsky: From Military-Field Surgery to Surgery of the Heart and Vascular Diseases (to the 120th Anniversary of the Birth). *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 2018;4(4):58–65. (in Russ.)
30. Shchedrenok VV. Itogi izucheniya problemy funktsional'noy neyrokhirurgii bolevoiykh sindromov. In: *Stranitsy istorii neyrokhirurgii Rossii i Rossiyskogo neyrokhirurgicheskogo instituta im. prof. A.L. Polenova: (k 70-letiyu so dnya osnovaniya)*. Saint Petersburg; 1996: 193–206. (in Russ.)
31. Grachev V, Marinkin I., Matvienko V., Chelishcheva M. Basic Invasive Methods for Diagnostic and Treatment of Pain. *Journal of science. Lyon*. 2020;10(1):30–41. (in Russ.)

32. Tsydyypov YuA, Borisov EB. Istoriya razvitiya i sostoyaniya neyrokhirurgicheskoy sluzhby v respublike Buryatiya. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2009;(3(67)):395–396. (in Russ.)
33. Gushcha AO, Shevelyov IN, Arestov SO. Thoracoscopic Surgery for Spine Pathology. *Hirurgiia pozvonochnika (Spine Surgery)*. 2007;(1):029–034. (in Russ.) <https://doi.org/10.14531/ss2007.1.29-34>.
34. Ryazanov AN, Magamedov ID, Soroka VV, Nokhrin SP, Mikhelson EP, Kurilov AB. Clinical Case of Successful Lumbar Sympathectomy in the Treatment of Complex Regional Pain Syndrome. *Russian Sklifosovsky Journal Emergency Medical Care*. 2020;9(1):136–139. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2020-9-1-136-139>
35. Sanni A., Hamid A., Dunning J. Is sympathectomy of benefit in critical leg ischaemia not amenable to revascularisation? *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2005;4(5):478–483. PMID: 17670461 <https://doi.org/10.1510/icvts.2005.115410>
36. Staroverov IN, Lonchakova OM. The comparative characteristic of open and chemical desympathization lumbar ganglia when recurrent ischemia after reconstructive operations on the arteries of the lower extremities. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2014;22(4):112–119. (in Russ.) <https://doi.org/10.17816/PAVLOVJ20144112-119>
37. Zyuz'ko AS, Rogovchenko AV, Ishutin SV, Boyko EA. Miniinvasivnye metody khirurgicheskogo lecheniya khronicheskoy ishemii nizhnikh konechnostey. In: *Sbornik nauchnykh tezisev i statey "Zdorov'e i obrazovanie v XXI veke"*. 2008;10(3):419–420. (in Russ.)
38. Schedrenok VV, Rutenburg GM, Strizheletsky VV, Ivanenko AV. Endovideosurgical Extraperitoneal Lumbar Sympathectomy (Operative Technique). *Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal*. 1999;(4):95–96. (in Russ.)
39. Abramyan A, Chumburidze I, Shtilman M, Andreev E. The Possibility of Treating Chronic Lower Limb Ischemia in a Day Hospital. *Vrach (The Doctor)*. 2018;29(1):71–72. (in Russ.) <https://doi.org/10.29296/25877305-2018-01-22>
40. Kalmykov EL, Suchkov IA, Niematzoda ON. On the Problem of Lumbar Sympathectomy. *Angiology and Vascular Surgery*. 2017;23(4):181–185. (in Russ.)
41. Kokhan YeP, Pinchuk OV. Lumbar Sympathectomy in Multimodality Treatment of Obliterating Diseases of the Lower Extremities. *Angiology and Vascular Surgery*. 1997;(1):128–134. (in Russ.)
42. Moore WS, Hall AD. Effects of Lumbar Sympathectomy on Skin Capillary Blood Flow in Arterial Occlusive Disease. *J Surg Res*. 1973;14(2):151–157. PMID: 4693919 [https://doi.org/10.1016/0022-4804\(73\)90024-3](https://doi.org/10.1016/0022-4804(73)90024-3)
43. Polous Yu.M., Kushnir R.Ya. Osobennosti raspredeleniya krovi v tkanyakh nizhnikh konechnostey posle poyasnichnoy simpatektomii. *Klinicheskaya khirurgiya*. 1991;(7):50–52. (in Russ.)
44. Johnson WC, Watkins MT, Baldwin D, Hamilton J. Foot TcPO<sub>2</sub> Response to Lumbar Sympathectomy in Patients with Focal Ischemic Necrosis. *Ann Vasc Surg*. 1998;12(1):70–74. PMID: 9452000 <https://doi.org/10.1007/s100169900118>
45. Cross FW, Cotton LT. Chemical Lumbar Sympathectomy for Ischemic Rest Pain. A Randomized, Prospective Controlled Clinical Trial. *Am J Surg*. 1995;150(3):341–345. PMID: 3898891 [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(85\)90075-3](https://doi.org/10.1016/0002-9610(85)90075-3)
46. Nesargikar PN, Ajit MK, Evers PS, Nichols BJ, Chester JF. Lumbar chemical sympathectomy in peripheral vascular disease: Does it still have a role? *Int J Surg*. 2009;7(2):145–149. PMID: 19237331 <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2009.01.004>
47. Pekař M, Mazur M, Pekařová A, Kozák J, Foltys A. Lumbar sympathectomy literature review over the past 15 years. *Rozhl Chir*. 2016;95(3):101–106. PMID: 27091617
48. Chervyakov YuV, Staroverov IN, Borisov AV, Nersesyan EG, Vlasenko ON, Lavlinskiy SN. Remote 3-Year Results of Application of «Indirect» Ways of Revascularization in Patients with Chronic Ischemia of Lower Extremities. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2015;174(2):84–88. (in Russ.) <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2015-174-2-84-88>
49. Sufianov AA, Churkin SV, Shapkin AG, Sufianova GZ. Spinal Cord Stimulation at Chronic Refractory Angina. *Medical Science and Education of the Ural*. 2014;15(1(77)):97–100. (in Russ.)
50. Isagulyan ED, Shabalov VA. Metody neyrostimulyatsii v lechenii boli. *Manage Pain*. 2014;(3):48–54. (in Russ.)
51. Mikhaylov EN, Lebedev DS, Vander MA, Fedotov PA, Paltsev AV, Cherebillo VYu, et al. Spinal Cord Electrical Stimulation for Heart Failure. *Translational Medicine*. 2015;(5):104–112. (in Russ.) <https://doi.org/10.18705/2311-4495-2015-0-5-104-112>
52. Dountz PV, Pak OI, Elitskiy AS, Gorbarenko RS. Applying chronic epidural stimulation of spinal cord. *Pacific Medical Journal*. 2012;(3):88–91. (in Russ.)
53. Murtazin VI, Krivoshepkin AL, Orlov KYu, Ashurkov AV, Chernyavskiy AM, Shabalov VA. Application of spinal cord stimulation for chronic myocardial ischemia refractory to pharmacological treatment. *The Siberian Scientific Medical Journal*. 2017;37(1):68–73. (in Russ.)
54. Amann W, Berg P, Gersbach P, Gamain J, Raphael JH, Ubbink DT. Spinal cord stimulation in the treatment of non-reconstructable stable critical leg ischaemia: results of the European Peripheral Vascular Disease Outcome Study (SCS-EPOS). *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2003;26(3):280–286. PMID: 14509891 <https://doi.org/10.1053/ejvs.2002.1876>
55. Tshomba Y, Psacharopulo D, Frezza S, Marone EM, Astore D, Chiesa R. Predictors of improved quality of life and claudication in patients undergoing spinal cord stimulation for critical lower limb ischemia. *Ann Vasc Surg*. 2014;28(3):628–632. PMID: 24342447 <https://doi.org/10.1016/j.avsg.2013.06.020>
56. Liu JT, Su CH, Chen SY, Liew SJ, Chang CS. Spinal Cord Stimulation Improves the Microvascular Perfusion Insufficiency Caused by Critical Limb Ischemia. *Neuromodulation*. 2018;21(5):489–494. PMID: 29377343 <https://doi.org/10.1111/ner.12753>
57. Isagulyan ED, Slavin KV, Tomsky AA, Asriyants SV, Makashova ES, Dorokhov EV, et al. Spinal cord stimulation in the treatment of chronic pain. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2020;120(8):160–166. (in Russ.) <https://doi.org/10.17116/jnevro2020120081160>

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- Яриков Антон Викторович** кандидат медицинских наук, нейрохирург/травматолог-ортопед ФБУЗ ПОМЦ ФМБА России и ГБУЗ НО ГКБ №39;  
<https://orcid.org/0000-0002-4437-4480>, [yarikov@mail.ru](mailto:yarikov@mail.ru);  
25%: анализ и интерпретация данных, составление черновика рукописи
- Леонов Василий Александрович** нейрохирург ГБУЗ НО ГКБ №39;  
<https://orcid.org/0000-0002-7968-7620>, [valleomed@yandex.ru](mailto:valleomed@yandex.ru);  
18%: анализ и интерпретация данных, составление черновика рукописи
- Шагин Максим Владимирович** кандидат медицинских наук, нейрохирург ГБУЗ НО ГКБ №39;  
<https://orcid.org/0000-0001-9847-3807>, [shpagin-maksim@rambler.ru](mailto:shpagin-maksim@rambler.ru);  
15%: составление черновика рукописи, окончательное утверждение рукописи
- Перлмуттер Ольга Александровна** доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач РФ, нейрохирург ГБУЗ НО ГКБ №39;  
<https://orcid.org/0000-0002-7934-1437>;  
12%: проверка принципиально важного интеллектуального содержания
- Фраерман Александр Петрович** доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, нейрохирург ГБУЗ НО ГКБ №39;  
<https://orcid.org/0000-0003-3486-6124>;  
10%: окончательное утверждение рукописи



- Мухин Алексей Станиславович** доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой госпитальной хирургии им. Б.А. Королева ФГБОУ ВО ПИМУ МЗ РФ; <https://orcid.org/0000-0003-2336-8900>, [prof.mukhin@mail.ru](mailto:prof.mukhin@mail.ru); 8%: окончательное утверждение рукописи
- Клецкин Александр Эдуардович** доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии им. Б.А. Королева ФГБОУ ВО ПИМУ МЗ РФ; <https://orcid.org/0000-0001-8053-2653>, [kletskinalexander@yandex.ru](mailto:kletskinalexander@yandex.ru); 5%: проверка принципиально важного интеллектуального содержания
- Лютиков Владимир Геннадьевич** доктор медицинских наук, профессор кафедры госпитальной хирургии им. Б.А. Королева ФГБОУ ВО ПИМУ МЗ РФ; <https://orcid.org/0000-0003-0436-7240>, [operacii13@mail.ru](mailto:operacii13@mail.ru); 5%: проверка принципиально важного интеллектуального содержания
- Кузьминых Дмитрий Геннадьевич** сердечно-сосудистый хирург, ООО «Первый КМЦ»; <https://orcid.org/0000-0002-8258-0816>, [kuzminih-dmitrii@mail.ru](mailto:kuzminih-dmitrii@mail.ru); 2%: анализ и интерпретация данных

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

## Sympathectomy and Neuromodulation in the Treatment of Critical Lower Limb Ischemia

A.V. Yarikov<sup>1,2</sup>, V.A. Leonov<sup>2</sup>, M.V. Shpagin<sup>2</sup> ✉, O.A. Perlmutter<sup>2</sup>, A.P. Fraerman<sup>2</sup>, A.S. Mukhin<sup>3</sup>, A.E. Kletskin<sup>3</sup>, V.G. Lyutikov<sup>3</sup>, D.G. Kuzminykh<sup>4</sup>

Nizny Novgorod Interregional Neurosurgical Centre n.a. prof. A.P. Fraerman

<sup>1</sup> Privolzhsky District Medical Center

<sup>2</sup> Nizhnevolzhskaya Emb., Nizhny Novgorod, 603001, Russian Federation

<sup>3</sup> City Clinical Hospital No. 39

144 Moskovskoye Hwy, Nizhny Novgorod, 603028, Russian Federation

<sup>4</sup> Privolzhsky Research Medical University

10/1 Minin and Pozharsky Sq., Nizhny Novgorod, 603005, Russian Federation

<sup>5</sup> First Clinical Medical Center

90 Vatutina St., Vladimir Region, Kovrov, 601900, Russian Federation

✉ **Contacts:** Maksim V. Shpagin, Candidate of Medical Sciences, Neurosurgeon, City Clinical Hospital No. 39. Email: [shpagin-maksim@rambler.ru](mailto:shpagin-maksim@rambler.ru)

**INTRODUCTION** Critical lower limb ischemia is a widespread disease that occurs due to atherosclerotic lesions of the arteries with progressive narrowing of their lumen. Clinically critical ischemia is manifested by pain at rest, resistant to narcotic analgesics, and/or ulcerative necrotic process on the legs. In the absence of treatment, patients undergo amputation of the lower limb. Almost all patients die 10 years after amputation of the lower limb at the level of the thigh. Currently, there are following methods of treatment of critical ischemia: conservative therapy, direct revascularization, lumbar sympathectomy and neurostimulation.

**AIM OF STUDY** To present the data of modern scientific literature on the use of lumbar sympathectomy and epidural spinal cord stimulation in the treatment of critical lower limb ischemia.

**MATERIAL AND METHODS** This review presents the latest data obtained as a result of studying domestic and foreign literature on the treatment of critical lower limb ischemia with lumbar sympathectomy and epidural spinal cord stimulation. Currently, lumbar sympathectomy is performed by surgical (open, mini-access and endoscopic) and percutaneous (chemical or radiofrequency) methods. Percutaneous access is becoming widespread due to its minimally invasiveness, maximum accessibility, ease of performance and low cost. Epidural spinal cord stimulation is performed for resistant pain syndrome. The mechanism of action of spinal stimulation is to block the transmission of nerve impulses at the level of the gelatinous substance of the posterior horns of the spinal cord during stimulation of afferent fibers of a larger diameter (type A-alpha and A-beta fibers).

**CONCLUSION** Spinal neurostimulation and lumbar sympathectomy are promising methods of treatment for critical lower limb ischemia in case of impossibility of direct revascularization. Lumbar sympathectomy can reduce the intensity of pain and improve the quality of life of patients. According to a number of studies, epidural spinal cord stimulation significantly reduces the likelihood of amputation of the lower limb, and also reduces the intensity of pain in patients refractory to conservative therapy, as well as in those who are not indicated for direct revascularization of the arteries of the lower extremities. More large-scale studies are needed to determine the indications for the above methods.

**Keywords:** lumbar sympathectomy, critical lower limb ischemia, spinal neurostimulation, limb preservation, chronic pain syndrome, sympathetic ganglion

**For citation** Yarikov AV, Leonov VA, Shpagin MV, Perlmutter OA, Fraerman AP, Mukhin AS, et al. Sympathectomy and Neuromodulation in the Treatment of Critical Lower Limb Ischemia. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2022;11(1):158–167. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-1-158-167> (in Russ.)

**Conflict of interest** Authors declare lack of the conflicts of interests

**Acknowledgments, sponsorship** The study had no sponsorship

**Affiliations**

- Anton V. Yarikov Candidate of Medical Sciences, Neurosurgeon/Traumatologist-orthopedist, Privolzhsky District Medical Center and City Clinical Hospital No. 39; <https://orcid.org/0000-0002-4437-4480>, [yarikov@mail.ru](mailto:yarikov@mail.ru); 25%, author's contribution: data analysis and interpretation, draft of the manuscript
- Vasily A. Leonov Neurosurgeon, City Clinical Hospital No. 39; <https://orcid.org/0000-0002-7968-7620>, [valleomed@yandex.ru](mailto:valleomed@yandex.ru); 18%, author's contribution: data analysis and interpretation, draft of the manuscript

Maksim V. Shpagin	Candidate of Medical Sciences, Neurosurgeon, City Clinical Hospital No. 39; <a href="https://orcid.org/0000-0001-9847-3807">https://orcid.org/0000-0001-9847-3807</a> , shpagin-maksim@rambler.ru; 15%, author's contribution: draft of the manuscript, final approval of the manuscript
Olga A. Perlmutter	Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored Doctor of the Russian Federation, Neurosurgeon, City Clinical Hospital No. 39; <a href="https://orcid.org/0000-0002-7934-1437">https://orcid.org/0000-0002-7934-1437</a> ; 12%, author's contribution: verification of critical intellectual content
Aleksandr P. Fraerman	Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Neurosurgeon, City Clinical Hospital No. 39; <a href="https://orcid.org/0000-0003-3486-6124">https://orcid.org/0000-0003-3486-6124</a> ; 10%, author's contribution; final approval of the manuscript
Aleksey S. Mukhin	Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the B.A. Korolyov Department of Hospital Surgery of Privolzhsky Research Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0003-2336-8900">https://orcid.org/0000-0003-2336-8900</a> , prof.mukhin@mail.ru; 8%, author's contribution: final approval of the manuscript
Aleksandr E. Kletskin	Doctor of Medical Sciences, Professor of the B.A. Korolyov Department of Hospital Surgery of Privolzhsky Research Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0001-8053-2653">https://orcid.org/0000-0001-8053-2653</a> , kletskinalexander@yandex.ru; 5%, author's contribution: verification of critical intellectual content
Vladimir G. Lyutikov	Doctor of Medical Sciences, Professor of the B.A. Korolyov Department of Hospital Surgery of Privolzhsky Research Medical University; <a href="https://orcid.org/0000-0003-0436-7240">https://orcid.org/0000-0003-0436-7240</a> , operacii13@mail.ru; 5%, author's contribution: verification of critical intellectual content
Dmitry G. Kuzminykh	Cardiovascular surgeon, First Clinical Medical Center; <a href="https://orcid.org/0000-0002-8258-0816">https://orcid.org/0000-0002-8258-0816</a> , kuzminih-dmitrii@mail.ru; 2%, author's contribution: data analysis and interpretation

Received on 08.04.2021

Review completed on 08.11.2021

Accepted on 27.12.2021

Поступила в редакцию 08.04.2021

Рецензирование завершено 08.11.2021

Принята к печати 27.12.2021