

нейронавигации: высокую точность наведения на целевые точки, удобство предоперационного планирования и оптимальную логистику организации стереотаксической процедуры.

Список литературы:

1. *Shurkhai V.A. et al.* Navigation systems in neurosurgery // *Voprosy neirokhirurgii imeni N.N. Burdenko*. 2016. Vol. 80. № 6. PP. 98-104.
2. *Stieglitz L.H. et al.* The Silent Loss of Neuronavigation Accuracy: A Systematic Retrospective Analysis of Factors Influencing the Mismatch of Frameless Stereotactic Systems in Cranial Neurosurgery // *Neurosurgery*. 2013. Vol. 72. № 5. PP. 796-807.
3. *Холявин А.И., Аничков А.Д.* Методы наведения в современной стереотаксической нейрохирургии. – М.: Российская академия наук, 2017. С. 168.
4. *Abosch A. et al.* An International Survey of Deep Brain Stimulation Procedural Steps // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2013. Vol. 91. № 1. PP. 1-11.
5. *Bjartmarz H., Rehncrona S.* Comparison of Accuracy and Precision between Frame-Based and Frameless Stereotactic Navigation for Deep Brain Stimulation Electrode Implantation // *Stereotactic and Functional Neurosurgery*. 2007. Vol. 85. № 5. PP. 235-242.
6. *Холявин А.И., Низковолос В.Б., Аничков А.Д., Полонский Ю.З.* Способ маркировки головы пациента при работе с интраоперационной безрамной нейронавигацией / Патент RU2607404 C2. Опубликовано 10.01.2017. БИ № 1.
7. *Аничков А.Д., Полонский Ю.З., Низковолос В.Б.* Стереотаксические системы. – СПб.: Наука, 2006. С. 142.
8. *Холявин А.И., Низковолос В.Б.* Прецизионная стереотаксическая безрамная нейронавигация // *Медицинская техника*. 2016. № 4. С. 26-28.
9. *Hajnal J.V., Hawkes D.J., Hill D.L.G.* Medical image registration. – Boca Raton: CRC Press, 2001. P. 382.
10. *Fitzpatrick J.M.* Fiducial registration error and target registration error are uncorrelated / In: *SPIE 7261, medical imaging 2009: visualization, image-guided procedures, and modelling*. 726102. March 13, 2009.
11. *Fitzpatrick J.M.* The role of registration in accurate surgical guidance // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part H: Journal of Engineering in Medicine*. 2010. Vol. 224. № 5. PP. 607-622.

Виктор Александрович Песков,
аспирант,

Андрей Иванович Холявин,

д-р мед. наук, зав. лабораторией,

лаборатория стереотаксических методов,

Юрий Зусьевич Полонский,

д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник,

Институт мозга человека

им. Н.П. Бехтеревой РАН,

г. С.-Петербург,

e-mail: peskov.neuro@gmail.com

**С.В. Белов, Ю.К. Данилейко, А.Б. Егоров, Ж.А. Каграманова, А.Ю. Моисеев,
Э.Г. Османов, И.А. Подкурков, А.М. Шулуто**

Новые электрохирургические технологии при высоких ампутациях нижних конечностей

Аннотация

Приведены результаты использования высокотехнологичных биполярных инструментов с электрохирургическим аппаратом с системой нелинейной динамической обратной связи при иссечении крупных массивов тканей. Дана оценка эффективности использования биполярных ножниц с лезвиями из наноструктурированного диоксида циркония и термостабилизирующего биполярного пинцета на примере высоких ампутаций нижних конечностей. Достоверно показано, что применение инновационных электрохирургических технологий при трансфеморальной ампутации у пациентов с терминальной стадией заболеваний периферических артерий позволяет повысить характерные клинические показатели эффективности в среднем на 39 %. Результаты могут быть взяты за основу новой методики использования электрохирургической технологии при высоких ампутациях нижних конечностей.

Введение

Большинство оперативных вмешательств на сегодняшний день неосуществимы без применения «высоких» энергий, обеспечивающих надежный интраоперационный гемостаз. Несмотря на широкий спектр технических средств высокочастотной электрохирургии, представленных на современном рынке медицинского оборудования, почти все электрохирургические технологии имеют функциональные и эксплуатационные недостатки. К таковым относятся: образование стойкого нагара на рабочих поверхностях режущих инструментов, их интенсивная электрохимическая аррозия, отсутствие опережающего гемостаза в режущем инструменте, недостаточная скорость и глубина электродиссекции, а также широкая зона бокового термического некроза [1]-[3]. Последние два нюанса особенно нежелательны при выполнении целого ряда оперативных пособий, где немаловажное значение имеет бережное отношение к тканям, скомпрометированным длительной глубокой ише-

мией. К таковым относится высокая ампутация нижней конечности при заболеваниях периферических артерий (ЗПА) [4]-[6].

Наиболее востребованными электрохирургическими инструментами для выполнения подобных объемных хирургических вмешательств являются биполярные ножницы и, как вспомогательное инструментальное средство, биполярный пинцет. С точки зрения эффективности использования, биполярные ножницы в данном случае являются самым адекватным электрохирургическим инструментом. Преимущества биполярных ножниц заключаются в их многофункциональности. При помощи одних только ножниц могут выполняться такие манипуляции, как рассечение с одновременной коагуляцией, механический разрез, сепарация, локальная коагуляция, что позволяет заметно сократить время хирургического вмешательства. В случае тяжелых травматических операций, таких как трансфеморальная ампутация, дополнительное использование биполярного пинцета для коагуляции сосудов диаметром до 2,0...2,5 мм также способствует сокращению общего времени

операции. Следует заметить, что применение биполярного инструмента, безусловно, является наиболее щадящей и безопасной для пациента электрохирургической технологией, поскольку выделение высокочастотной энергии происходит непосредственно в зоне воздействия, что позволяет проводить манипуляции в непосредственной близости к таким деликатным структурам, как нервы, узлы кровеносной системы, полые органы и др.

Другим важным моментом в повышении эффективности электрохирургических технологий применительно к хирургическому лечению ЗПА является автоматическое согласование выходных характеристик электрохирургического аппарата при работе с биполярными ножницами и пинцетом. Автоматическое согласование нивелирует значительное колебание сопротивления нагрузки, обусловленное вариацией площади контакта биоткань – инструмент. Однако автоматическое согласование выходных характеристик электрохирургического аппарата для каждого типа используемого инструмента в бюджетных моделях отсутствует. Функция распознавания подключаемого инструмента и автоматическая установка оптимальных выходных параметров имеются лишь у аппаратов премиум-класса. К таким аппаратам относятся инновационные модели ведущих производителей: аппарат экспертного уровня ARC 400 («BOWA»), аппарат «AUTOCON II 400 SCB» («Karl Storz»), аппарат ESG-400 («OLYMPUS») и некоторые другие модели. Однако стоимость подобных аппаратов слишком высока для возможности их использования в большинстве медицинских учреждений. Учитывая отмеченные обстоятельства, актуально исследование эффективности инновационных инструментальных средств, таких как:

- биполярные ножницы с лезвиями из диоксида циркония со сверхострым режущим краем, обеспечивающие опережающую коагуляцию в процессе рассечения и атравматичный разрез тканей;
- биполярный пинцет со стабильной температурой рабочей части;
- электрохирургический аппарат с системой автоматического согласования параметров нагрузки с параметрами биполярного инструментария.

Цель исследования

Работа направлена на исследование эффективности новых электрохирургических технологий при высоких ампутациях нижних конечностей с целью последующей разработки и внедрения в хирургическую практику новой методики трансформальной ампутации.

Задачи исследования

Задачами исследования являются:

1. Оценка эффективности использования биполярных электрохирургических ножниц с лезвиями из наноструктурированного диоксида циркония со сверхострым режущим краем и функцией опережающей коагуляции и биполярного пинцета со стабильной температурой рабочей части.
2. Оценка адекватности работы электрохирургического аппарата с системой нелинейной динамической обратной связи по изменяющимся в процессе воздействия электрофизическим параметрам оперируемых тканей.
3. Проверка эффективности новых электрохирургических технологий на примере высоких ампутаций нижних конечностей у больных с прогрессирующей влажной гангрой стопы.

Материалы и методы исследования

В тактике хирургических вмешательств, связанных с иссечением значительных объемов мягких тканей, особое внимание уделяется минимально инвазивным технологиям. По этой причине в таких операциях целесообразно использовать электрохирургические биполярные ножницы с возможностью рассечения и одновременной коагуляции мягких тканей. В настоящее время биполярные ножницы выпускают ряд ведущих зарубежных производителей медицинской техники, таких как компания «Этикон» (США), «ERBE» (Германия), «BOWA»

(Германия) и др. В качестве конструкционных материалов режущей пары в этих ножницах обычно используются легированная сталь и керамика. Такое сочетание приводит к быстрой потере остроты режущих кромок и образованию на них нагара [1], [3]. К функциональным недостаткам, обусловленным конструкцией ножниц, следует отнести асимметричное распределение высокочастотного тока в ткани и отсутствие опережающей коагуляции при рассечении тканей.

В качестве электрохирургического инструмента в настоящем исследовании использовали биполярные ножницы с лезвиями из частично стабилизированного кристаллического наноструктурированного диоксида циркония «БиоТом-01» [3]. Новый конструкционный материал режущих лезвий на основе диоксида циркония позволяет значительно улучшить эксплуатационные характеристики и обеспечить функциональные преимущества ножниц. К числу таких характеристик относятся высокие прочностные и трибологические параметры, физико-химическая устойчивость, биологическая совместимость [1], [2]. Особенность конструкции биполярных электрохирургических ножниц состоит в том, что их рабочие части представляют собой композиционную структуру металл – кристаллический диоксид циркония. Металлические части композиционной структуры являются электродами, на которые подается высокочастотный ток от электрохирургического генератора (см. рис. 1). Электроды 1, выступающие над режущими кромками лезвий на высоту h , имеют две зоны соприкосновения с биотканью. Высокочастотный ток, поступающий на инструмент, протекает по кратчайшему пути между зонами соприкосновения с биотканью симметрично относительно плоскости реза Y .

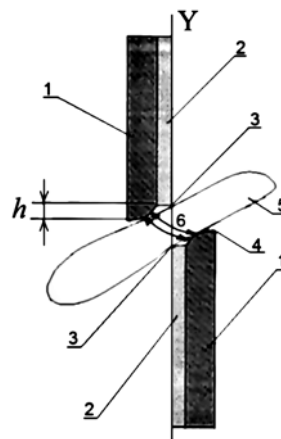


Рис. 1. Схема рассечения ткани: 1 – металлические электроды; 2 – лезвия из ЧСЦ; h – выступ металлического электрода; 3 – режущая кромка; 4 – зона контакта электрода с тканью; 5 – рассекаемая ткань; 6 – зона коагуляции

При смыкании браншей биологическая ткань 5 сдавливается дистальными концами браншей, подвергаясь коагуляции в зоне 6, и следом за коагуляцией рассекается сверхострыми режущими кромками 3 кристаллических лезвий 2, оставляя атравматический разрез. Наличие двух одинаковых кристаллических лезвий обеспечивает симметричную относительно плоскости разреза Y электрокоагуляцию биоткани в зоне 6. Уникальность конструкции ножниц, а именно симметричность относительно плоскости разреза, а также наличие выступающих над режущей кромкой электродов позволяет реализовать следующие важные функциональные преимущества:

- обеспечить опережающую коагуляцию, предшествующую разрезу в процессе рассечения ткани;
- выполнять последующий атравматичный разрез коагулированной ткани лезвиями со сверхострой режущей кромкой;
- создавать симметричное относительно плоскости рассечения распределение высокочастотного тока, что позволяет осуществлять прогнозируемое воздействие и существенно уменьшать вероятность ожогового травматизма прилегающих тканей.

В качестве вспомогательного инструмента для интраоперационного гемостаза использовали биполярный пинцет со стабильной температурой рабочей части – «БиоСтаб» [3]. Конструкционный материал браншей из сплава с высоким коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 200$ Вт/(м·К) значительно уменьшает нагрев рабочей части, что снижает вероятность налипания тканей. Данные конструктивные особенности в сочетании с адекватной подачей высокочастотной энергии дают возможность проводить коагуляцию кровеносных сосудов диаметром до 2,5 мм.

Важнейшим элементом любой электрохирургической технологии является электрохирургический аппарат, обеспечивающий адекватную работу инструмента. Эффективность электрохирургического воздействия в значительной степени зависит от возможностей управления подачей высокочастотной энергии на инструмент, которая реализована в самом аппарате. В простейшем случае эффективность воздействия определяется формой выходной нагрузочной характеристики для каждого режима работы. Однако результат воздействия зависит от типа инструмента, вида оперируемых тканей, состояния операционного поля и других факторов. Учет влияния этих факторов может осуществляться при помощи датчиков тока и напряжения в выходной цепи аппарата. При помощи сигналов датчиков микропроцессорная система может вести управление работой аппарата как в режиме линейного статического управления, так и в режиме нелинейного статического управления. В последнем случае управление осуществляется путем стабилизации мощности, диссипируемой в нагрузке. Если в режиме линейного статического управления работает большинство бюджетных моделей электрохирургических аппаратов, то в режиме автоматического управления работают лишь дорогостоящие аппараты премиум-класса. На рынке они позиционируются как аппараты с наличием возможности управления «эффектом» электрохирургического воздействия. С точки зрения теории автоматического регулирования, современные выпускаемые аппараты работают исключительно в статическом режиме управления. При этом нужно отметить, что режим динамического управления в электрохирургических аппаратах пока еще является абсолютно инновационным.

В данном исследовании нами использовался электрохирургический аппарат «Плазматик», имеющий термический, холодно-плазменный и смешанный режимы работы. Реализация рабочих режимов в аппарате осуществляется согласованием выходных параметров генератора с нагрузкой методом динамической цифровой обратной связи по электрофизическим параметрам ткани [7]. Формирование нагрузочных характеристик в аппарате осуществляется четырьмя регулируемыми параметрами: напряжением питания высокочастотного генератора, резонансной частотой и импедансом корректирующего выходного контура, а также уровнем стабилизации мощности, диссипируемой в нагрузке. Варьирование этих параметров позволяет получать различные формы нагрузочных характеристик. На рис. 2 схематично представлены нагрузочные характеристики с шестью уровнями стабилизации мощности.

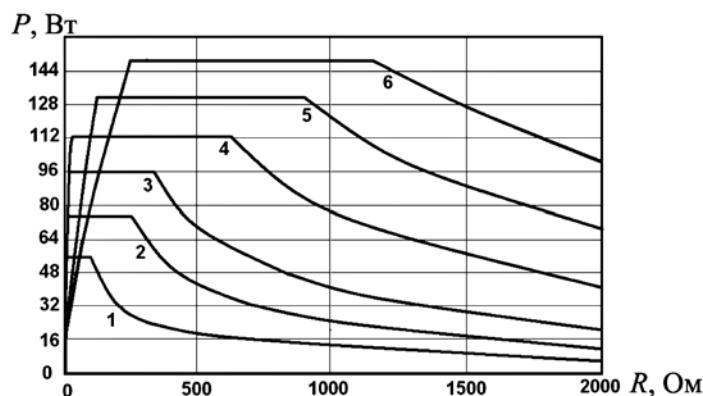


Рис. 2. Нагрузочные характеристики с шестью уровнями стабилизации

Подобные возможности аппарата чрезвычайно востребованы в таких специальностях клинической медицины, как общая хирургия и гинекология.

Экспериментальные исследования

Исследования были выполнены в Университетской клинической больнице № 4 Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова. За период с сентября 2019 г. по январь 2020 г. 27 пациентам с ЗПА была выполнена ампутация бедра. Возрастной диапазон в данной группе составил 53...78 лет (в среднем – 68,5 лет). Все пациенты (16 мужчин и 11 женщин) были госпитализированы с клинической картиной прогрессирующей влажной гангрены стопы. По данным триплексного ангиосканирования, причиной гангрены явилась атеросклеротическая окклюзия магистральных артерий берцово-стопного и (или) бедренно-подколенного сегментов. В 11 (35,4 %) случаях ЗПА сопутствовал сахарный диабет II типа с тяжелой диабетической макроангиопатией. Трансформальные ампутации выполнялись под спинномозговой анестезией одной и той же бригадой хирургов; техника вмешательства – классический двухлоскутный фасциомиопластический способ. После рассечения кожи стальным скальпелем на уровне средней трети бедра проводилась последующая диссекция всех мягких тканей до бедренной кости с помощью набора биполярных инструментов (см. рис. 3 и 4а).



Рис. 3. Диссекция собственной фасции бедра

В ходе операции использовались биполярные ножницы «БиоТом-01» с размерами 180 и 240 мм и размерами рабочей части 45 и 55 мм соответственно и биполярные пинцеты «БиоСтаб» длиной 210 мм и с размерами рабочей части 2,0 x 10 мм. Инструменты подключались к аппарату «Плазматик», имеющему рабочую частоту 440 кГц и выходную мощность до 300 Вт. Основные нервные стволы блокировали 1 % лидокаином, после чего отсекали на 4...5 см выше уровня пересечения кости при помощи электрохирургических ножниц (см. рис. 4б). После вскрытия гюнтерова канала бедренная артерия и вена раздельно перевязывались и пересекались. Попутно мы выделяли и высоко пересекали вышеуказанным методом n.saphenus. Культю бедра послойно ушивали с установкой активного сифонного дренажа.

Результаты и обсуждение

Наблюдения показали, что диссекция мышц, жировой клетчатки и фасциальных листков, проводимая биполярными ножницами «БиоТом-01» с электрохирургическим аппаратом «Плазматик», осуществлялась сравнительно быстро и практически без задымления. Хотелось бы отметить высокую точность линии и ровные края термической диссекции, минимальные повреждения структур в зоне рассечения тканей. При диатермокоагуляции сосудов диаметром до 1...2 мм, а также лимфатических коллекторов бедра успешно использовались как биполярные ножницы, так и пинцеты. Более крупные сосуды перевязывали лигатурой. Инцидентов раннего послеоперационного кровотечения в исследуемой группе не отмечено. Немаловажным считаем отсутствие эффекта «электрической дуги» в виде нагара и деградации мягких тканей на протяжении линии разреза. В результате отмечалось уменьшение зоны коагуляционного некроза по сравнению со стандартной электрокоагуляцией, что позволяло проводить более безопасное манипулирование в зоне важных анатомических структур, особенно рядом с крупными сосудисто-нервными пучками.

Для объективного анализа проведена сравнительная оценка клинических показателей, в ходе которой выявлены дополнительные преимущества аппарата «Плазматик» и биполярных ножниц «БиоТом-01». В качестве контрольной группы были взяты 42 пациента, ранее оперированные по традиционной методике (без средств электрохирургии). Пациенты обеих категорий сопоставимы по тяжести ЗПА и демографическим критериям (табл. 1).

При использовании новой электрохирургической технологии отмечено достоверное снижение объема интраоперационной кровопотери, а также раневого отделяемого по дренажу Редона ($p < 0,05$). Аналогичные тенденции касаются и сроков послеоперационной реабилитации. Частота местных осложнений в основной группе оказалась ниже (табл. 2).

Трансфеморальная ампутация считается тяжелой травматической операцией [8]-[13]. По данным многих авторов, у лиц с влажной гангреной стопы (голеней) мягкие ткани бедра на момент операции находятся в условиях глубокой хронической гипоксии, запредельных микроциркуляторных расстройств и нарушений лимфотоксического дренажа [8], [13]-[15]. Поэтому немаловажное значение приобретают соблюдение техники ампутации, деликатное обращение с мягкими тканями и особенно интраоперационный гемостаз. Достижение «идеально сухой» раневой поверхности на всех этапах диссекции мягких тканей бедра – задача трудноосуществимая посредством стандартной точечной электрокоагуляции и простой перевязки сосудов [8], [11]. Скопление жидкости (лимфы, крови) и раневого детрита в подкожном и межмышечном клетчаточных пространствах благоприятствуют развитию гнойной инфекции, для которой изначально уже созданы идеальные условия [12], [15], [16]. Таким образом, более качественный гемостаз всей зоны диссекции имеет решающее значение в деле снижения частоты нагноительных процессов.

Выводы

1. Использование электрохирургического оборудования нового поколения в ходе трансфеморальной ампутации у па-

Таблица 1

Основные клинические данные в группах

Параметры	Основная группа (n = 27)	Контрольная группа (n = 42)	«Р»
Объем интраоперационной кровопотери, мл*	110 ± 30	280 ± 50	< 0,05
Количество гемостатических лигатур, наложенных во время операции	4,7 ± 1,5	9,2 ± 2,1	< 0,01
Продолжительность трансфеморальной ампутации, мин	50,1 ± 2,0	65,5 ± 4,0	> 0,05
Суммарный объем раневого экссудата по дренажу на 1-е сутки, мл	40 ± 5	68,2 ± 3	< 0,05
Сроки стационарного лечения, сут.	14,5	18,3	< 0,05
* Объем интраоперационной кровопотери (мл) определяли прямым способом – по весу использованного перевязочного материала.			

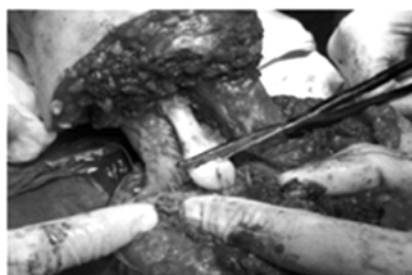
Таблица 2

Частота местных осложнений в клинических группах

Вид осложнения	Основная группа (n = 27)	Контрольная группа (n = 42)
Нагноение послеоперационной раны	2 (7,4 %)	5 (11,9 %)
Прогрессирование некроза тканей культи бедра	0	1 (2,4 %)
Гематома культи бедра	2 (7,4 %)	4 (9,5 %)
Раневая серома	1 (3,7 %)	4 (9,5 %)
Лимфоррея из раны культи бедра	1 (3,7 %)	2 (4,8 %)
Всего	6 (22,2 %)	16 (38,1 %)



а)



б)

Рис. 4. Диссекция мышц бедра (а) и седалищного нерва (б)

циентов с терминальной стадией ЗПА позволяет быстро и практически бескровно выполнять диссекцию большого объема мягких тканей, в конечном счете сократить количество послеоперационных раневых осложнений, сроки госпитализации лиц данной клинической категории, улучшить общий прогноз лечения. Характерные показатели эффективности использования инновационных биполярных инструментов и электрохирургического аппарата с системой нелинейной динамической обратной связи составили:

- уменьшение объема интраоперационной кровопотери – 60,5 %;
- сокращение количества накладываемых лигатур – 49,0 %;
- уменьшение объема раневого экссудата по дренажу на 1-е сутки – 41,0 %;
- уменьшение продолжительности трансфеморальной ампутации – 24 %;
- сокращение срока стационарного лечения – 21,3 %.

2. Техника выполнения трансфеморальной ампутации у пациентов контрольной группы при помощи инновационного электрохирургического оборудования может быть использована для разработки новой методики трансфеморальной ампутации нижних конечностей.

Работа выполнена в рамках соглашения о научном сотрудничестве между ФГБУ науки Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН и ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова МЗ РФ при частичной поддержке научно-исследовательского проекта «Физические методы в медицине и биологии» (№ 0024-2019-0003).

Список литературы:

1. Белов С.В., Борик М.А., Вишнякова М.А., Данилейко Ю.К. и др. Исследование структурных и физико-химических свойств наноструктурированных кристаллов диоксида циркония с целью создания инновационного электрохирургического инструмента // Доклады Академии наук. 2013. Т. 450. № 1. С. 32-35.
2. Belov S.V., Borik M.A., Danileiko J.K., Shulutko A.M., Lomonova E.E., Osiko V.V., Salyuk V.A. New Bipolar Electrosurgical Tools Based on Zirconia // Biomedical Engineering. 2013. Vol. 47. № 2. PP. 78-82.
3. Belov S.V., Danyleiko Yu.K., Shulutko A.M., Semikov V.I., Gryaznov S.E., Osmanov E.G., Gorbacheva A.V., Patalova A.R., Osiko V.V., Salyuk V.A. Use of High-Tech Electrosurgical Instruments to Increase the Efficacy and Safety of Operations on the Thyroid Gland // Biomedical Engineering. 2017. Vol. 51. № 1. PP. 11-15.
4. Абышов Н.С., Закирджиев Э.Д. Большие ампутации у больных с окклюзионными заболеваниями артерий нижних конечностей // Хирургия. 2005. № 12. С. 59-64.
5. Campbell W., Marriott S., Eve R. Amputation for acute ischemia is associated with increased co morbidity and higher amputation level // Cardiovasc Surg. 2003. Vol. 11. № 2. PP. 121-123.
6. Seker A., Kara A., Camur S., Malkoc M., Sonmez M., Mahirogullari M. Comparison of mortality rates and functional results after transtibial and transfemoral amputations due to diabetes in elderly patients-a retrospective study // Int. J. Surg. 2016. № 33. PP. 78-82.
7. Belov S.V., Danyleiko Yu.K., Egorov A.B., Osmanov E.G., Salyuk V.A. Plasma Glow Discharge as a Tool for the Dissection and Coagulation of Biological Tissues // Biomedical Engineering. 2019. Vol. 52. № 5. PP. 305-310.
8. Степанов Н.Г. Ампутации голени и бедра (клинический опыт). – Н. Новгород: Деком, 2003. С. 212.
9. Цветков В.О., Гасинов Г.Д. Объективизация выбора уровня ампутации конечности у пациентов с хронической критической ишемией / Мат-лы I Межд. конгресса «Раны и раневые инфекции». – М., 2012. С. 368-369.

10. Johannesson A. et al. Incidence of lower-limb amputation in the diabetic and nondiabetic general population // Diabetes Care. 2009. Vol. 32. № 2. PP. 275-280.
11. Шанавазов К.А. Аргонно-плазменная технология в хирургическом лечении облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей в стадии гнойно-некротических поражений / Автореферат дис. – М., 2014. С. 23.
12. Гостищев В.К., Липатов К.В., Асатрян А.Г. и др. Прогнозирование риска гнойно-некротических осложнений ампутационной культы бедра // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2013. № 11. С. 4-8.
13. Baumgartner R. Upper leg amputation. Transfemoralamputation // Oper. Orthop. Traumatol. 2011. Vol. 23. № 4. PP. 296-305.
14. Norvell D., Thompson M., Boyko E., Landry G., Littman A., Henderson W., Turner A., Maynard C., Moore K., Czerniecki J. Mortality prediction following non-traumatic amputation of the lower extremity // Br. J. Surg. 2019. Vol. 106. № 7. PP. 879-888.
15. Cardoso N., Cisneros L., Machado C., Procópio R., Navarro T. Risk factors for mortality among patients undergoing major amputations due to infected diabetic feet // J. Vasc. Bras. 2018. Vol. 17. № 4. PP. 296-302.
16. Orłowski M., Pluta P., Kowalczyk A., Kasprzak-Szczepańska K., Pajak M., Dziki A. Risk factors for impaired wound healing and prolonged hospitalization in patients after amputation of the lower limb above the knee joint // Pol. Przegl. Chir. 2019. Vol. 91. № 5. PP. 27-33.

Сергей Владимирович Белов,
д-р техн. наук, вед. научный сотрудник,
Юрий Константинович Данилейко,
д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторий,
Алексей Борисович Егоров,
научный сотрудник,
ФГБУН «Институт общей физики
им. А.М. Прохорова» РАН,
Жанна Арутюновна Каграманова,
д-р мед. наук, гл. специалист,
Андрей Юрьевич Моисеев,
канд. мед. наук, доцент,
Эльхан Гаджиханович Османов,
д-р мед. наук, профессор,
кафедра факультетской хирургии № 2,
ФГАОУ ВО «Первый МГМУ
им. И.М. Сеченова» Минздрава России
(Сеченовский университет),
г. Москва,
Иван Алексеевич Подкурков,
инженер-программист,
ООО НПФ «ЭлеПС»,
г. Казань,
Александр Михайлович Шулутко,
д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой,
кафедра факультетской хирургии № 2,
лечебный факультет,
ФГАОУ ВО «Первый МГМУ
им. И.М. Сеченова» Минздрава России
(Сеченовский университет),
г. Москва,
e-mail: ser79841825@yandex.ru