

Шулутко А.М., Османов Э.Г., Семиков В.И., Мачарадзе А.Д.

ПЛАЗМЕННАЯ ХИРУРГИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ – ОТ ИСТОКОВ ДО НАШИХ ДНЕЙ

ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)»
Минздрава России, кафедра факультетской хирургии № 2 лечебного факультета, 119991, г. Москва

♦ Среди различных методов диссекции и коагуляции биологических тканей особое место занимает плазменная хирургическая технология. В статье подробно изложены исторические аспекты становления и развития плазменной технологии в России и в Западных странах. Описаны типы плазменных хирургических установок отечественного производства и история их создания. Отдельно представлена воздушно-плазменная технология, получившая в последние годы широкое распространение в общей и военно-полевой хирургии. Данная технология успешно апробирована в абдоминальной и торакальной хирургии, оперативной гинекологии, стоматологии и онкологии. Однако, как показало время, наиболее востребована она при лечении различного рода гнойно-воспалительных заболеваний. На основании литературных данных изложены сферы практического применения методики, особенности плазменно-физического воздействия в различных режимах, возможности её комбинированного использования вместе с другими физико-химическими методами. При написании статьи авторы использовали зарубежные базы данных Web of Science, MedLine, а также отечественный ресурс РИНЦ.

Ключевые слова: обзор; плазменная технология; плазменные потоки; NO-терапия.

Для цитирования: Шулутко А.М., Османов Э.Г., Семиков В.И., Мачарадзе А.Д. Плазменная хирургическая технология – от истоков до наших дней. Российский медицинский журнал. 2018; 24(4): 199-205.
DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-4-199-205>

Для корреспонденции: Османов Эльхан Гаджиханович, д-р мед. наук, доцент ВАК по специальности «хирургия», проф. кафедры факультетской хирургии № 2 ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)» Минздрава России, 119991, г. Москва, E-mail: mmas-os@yandex.ru

Shulutko A.M., Osmanov E.G., Semikov V.I., Macharadze A.D.

PLASMA FLOW SURGICAL TECHNOLOGY: FROM THE SOURCES – TO OUR DAY

«The I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)», 119991, Moscow, Russian Federation

♦ Among various methods of thermal energy them a special place is occupied by plasma surgical technology. The article details the historical aspects of the formation and development of plasma technology – in Russia and in Western countries. Types of plasma surgical installations of domestic production, the history of their creation are described. Separately presented air-plasma technology, received in recent years, widespread in general and military surgery. It should be noted that this technology has been successfully tested in abdominal and thoracic surgery, operative gynecology, dentistry and oncology. However, as time has shown, it is most in demand in the treatment of various kinds of purulent-inflammatory diseases. Based on the literature data, the areas of practical application of the technique, the features of the plasma-physical effect in various regimes, the possibility of its combined use together with other physico-chemical methods are described. The authors used foreign databases Web of Science, MedLine, as well as the Russian resource of RINTS.

Key words: review; plasma surgical technology; plasma flows; NO-therapy.

For citation: Shulutko A.M., Osmanov E.G., Semikov V.I., Macharadze A.D. Plasma flow surgical technology: from the sources – to our day. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal (Medical Journal of the Russian Federation, Russian journal)*. 2018; 24(4): 199-205. (In Russ.) DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-4-199-205>

For correspondence: Elkhan G. Osmanov, doctor of medical sciences, associate professor of the higher attestation commission for the specialty “surgery”, professor of department of faculty surgery No. 2 “The First Moscow State Medical University (Sechenov University)”, 119991, Moscow, Russia Federation, E-mail: mmas-os@yandex.ru

Information about author:

Shulutko A.M. <https://orcid.org/0000-0002-8001-1601>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received 11.04.18
Accepted 26.06.18

Понятие физической плазмы и принцип работы плазмотрона

В 1929 г. американские учёные Ирвинг Ленгмюр (1881–1957) и Леви Тонкс (1897–1971) впервые назвали плазмой ионизированный газ в газоразрядной трубке. Под плазмой в физике понимают газ, состоящий из ионов и нейтральных частиц, в котором суммарный электрический заряд равен нулю, то есть выполнено условие квазинейтральности [1, 2]. Следует отметить, что физическая плазма – это наиболее распространённое состояние вещества в природе, на её долю приходится около 99% массы Вселенной. Солнце, большинство звёзд и туманности, полярные сияния, молнии, в том числе ша-

ровые, – всё это различные виды плазмы, наблюдать которые можно в естественных условиях на Земле. Внешняя часть земной атмосферы (ионосфера) тоже является физической плазмой.

Наиболее широко физическая плазма применяется в светотехнике – в газоразрядных установках и лампах дневного света. Она задействована в самых разных приборах: выпрямителях электрического тока, стабилизаторах напряжения, генераторах сверхвысоких частот, счётчиках космических частиц. С созданием плазмотрона в конце 80-х годов прошлого столетия возникла новая область науки – плазменная химия: многие химические реакции ускоряются или идут только в плазменной струе.



Рис. 1. Профессор Виктор Сергеевич Савельев (1928–2013).



Рис. 2. Профессор Генрих Ильич Лукомский (1923–2000).

Плазменные потоки, применяемые в клинической практике, образуются при прохождении инертного газа (аргона, гелия) или струи атмосферного воздуха через дуговой разряд между двумя электродами генератора [3, 4]. За счёт мощнейшей электромагнитной «бомбардировки» происходит ионизация молекул рабочего газа. В конечном итоге на выходе из плазмотрона получается исходный (нейтральный) газ за пределами высокой температуры и скорости истечения, а также мощное рекомбинационное излучение преимущественно в ультрафиолетовой области спектра. Температура раскалённой струи варьирует в пределах 3500–15 000°C. Длина светящейся части факела составляет 10–15 мм, а её диаметр зависит от конструкции рабочего органа установки (плазмотрона) и не превышает 1–2 мм. Концентрация огромных эквивалентов ТЭН в небольшом пространстве позволяет плазменному потоку (ПП) при отсутствии механического контакта раны с рабочей частью установки легко и быстро рассекают биологические ткани путём мгновенного испарения, то есть vaporизации [4, 5]. Одновременно происходит коагуляция мелких кровеносных и лимфатических сосудов, а также стерилизация зоны вмешательства [6].

Начало применения плазменных потоков в хирургии

Первые научные исследования по применению плазменной технологии в медицине начались в 70-х годах прошлого столетия в США [7, 8]. Обоснованием для этого стала появившаяся техническая возможность подводить плазменную струю к биологическим структурам. Созданные тогда плазмтроны были предназначены только для диссекции мягких тканей и получили название «Plasma Scalpel» (плазменный скальпель), «Thermal Knife» (термический нож). Они генерировали ионизированную струю небольшой мощности (до 70 Вт) с температурой на выходе до 2700°C. Из-за недостаточной мощности потока исследователям приходилось длительное

время воздействовать на ткани, что вызывало значительный перегрев и повреждение клеточно-тканевых структур вне зоны обработки. Кроме того, по обрывочным сведениям, имела место гибель подопытных животных в экспериментах в результате воздушно-газовой эмболии, обусловленной технологическими недочётами в системе охлаждения первых установок [9]. Дальнейшие научно-практические изыскания в данной области по несовсем понятным причинам в Западных странах были приостановлены на многие годы.

Первые зарубежные двухэлектродные плазмтроны не позволяли достичь оптимальных параметров ПП. Позднее были предложены модификации в виде трёхэлектродных устройств, в которые затем добавили межэлектродные вставки для увеличения коэффициента полезного действия. Благодаря этому с середины 90-х гг. прошлого столетия началась новая эра в развитии плазменной технологии на Западе. На зарубежном рынке медицинской техники вновь появились хирургические установки, использующие в качестве рабочего газа аргон: вначале это был «PLASMSURG 101» (Швеция) и «CoagSafe™» (США), а затем «PlasmaJet™» (Великобритания) [10]. Примечательно, что разработчиком всех вышеперечисленных моделей является бывший наш соотечественник, инженер-конструктор Н.И. Суслов.

Развитие отечественной плазменной хирургии

В нашей стране становление плазменной хирургии связано с именами профессоров В.С. Савельева, Г.И. Лукомского и О.К. Скобелкина, которые ещё в 80-х годах прошлого столетия доказали эффективность этой технологии при выполнении хирургических вмешательств на паренхиматозных органах и мягких тканях (рис. 1–3). В ходе комплексных исследований ими установлено, что изменения, происходящие в тканях печени, селезёнки и лёгких под действием ПП, идентичны по характеру заживления. В целой серии диссертационных работ приводились данные об успешном применении плазменной



Рис. 3. Профессор Олег Ксенофонович Скобелкин (1923–1998).

энергии при выполнении различного рода оперативных вмешательств. Анализ литературы показал, что в отечественной хирургии, по сути, сформировались целые школы – лидеры по разработке и внедрению новой технологии, в числе которых кафедра общей хирургии Смоленской медицинской академии (Плешков В.Г., Забросаев В.С. и др.), клиника госпитальной хирургии Ставропольского медицинского университета (Вафин А.З., Айдемиров А.Н.), научная группа под руководством академика В.С. Савельева на кафедре факультетской хирургии Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова (Ступин И.В., Волкостов В.С., Береснев А.С. и др.), клиника хирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (Нечай Л.И., Трофимов В.М., Брюсов П.Г.), кафедра хирургии Центральной государственной медицинской академии Управления делами президента РФ (Скобелкин О.К., Брехов Е.И. и Пекшев А.В.), кафедра факультетской хирургии № 2 Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М. Сеченова (Шулутко А.М.). Положительные результаты исследований, выполненных за последние 30 лет, способствовали применению ПП:

- ♦ при холецистэктомии (как традиционной, так и видеолапароскопической) – на этапе обработки ложа жёлчного пузыря; время операции сокращается, если отсечение жёлчного пузыря производить плазменным скальпелем; в послеоперационном периоде ни в одном наблюдении не отмечено кровяных или жёлчных выделений по дренажам [3];
- ♦ в ходе проведения резекции печени и желудка, органосохраняющих вмешательств на селезёнке, а также обработке остаточной полости у пациентов с эхинококкозом различной локализации [6, 11];
- ♦ в оперативной гинекологии – при органосохраняющих операциях на яичниках и матке через классический и лапароскопический доступы [4, 12–14];

- ♦ во время вмешательств по поводу злокачественных новообразований различной локализации – высокотемпературная плазменная струя в момент удаления очага патологического роста вызывает некроз клеток в пограничной с разрезом области, а стимулирующее воздействие «высокой» энергией улучшает результаты реконструктивно-пластических пособий у данной категории больных [15];
- ♦ в торакальной хирургии; наиболее востребовано применение ПП при коагуляции поверхности лёгкого по линии резекции, стерилизации и герметизации деплеврезированной поверхности лёгкого; при деструкции патологических тканей (шварты, фибриновые наложения) у больных с эмпиемой плевры [16–19]. Плазменная энергия при этом обеспечивает надёжный гемоаэрозтаз на обширных раневых поверхностях лёгкого, не приводит к деформации лёгкого и не препятствует его быстрому и полному расправлению;
- ♦ при вмешательствах на лор-органах и в хирургической стоматологии, в том числе при лечении пациентов с флегмонами челюстно-лицевой области и заглоточного пространства [20, 21];
- ♦ в комбустиологии, военно-полевой и гнойной хирургии [3, 22–24]. Плазменная обработка в различных режимах широко применяется без малого 30 лет в ходе хирургической обработки и дальнейшего этапного лечения термических, огнестрельных и минно-взрывных поражений, различных гнойно-некротических ран, пролежней и трофических язв;
- ♦ в травматологии и ортопедии плазменно-физическая коагуляция раневой зоны рекомендуется для гемостаза и профилактики инфекции в ходе остеосинтеза, удаления костно-хрящевых опухолей, эндопротезирования суставов [25].

Основные типы плазменных установок

За весь период становления плазменной хирургии в нашей стране создано четыре типа высокоэнергетических установок, работающих на инертном газе.

Первый тип плазменных установок разработан ещё в 1978 г. на Смоленском авиационном заводе на базе установки СУПР-1, ранее предназначенной для резки металлов. Создателем смоленского плазменного скальпеля является ведущий инженер завода А.С. Береснев (рис. 4). В качестве рабочего тела он использовал инертные газы (гелий и аргон). В 1979–1980 гг. сотрудниками Смоленского медицинского института в условиях областной клинической больницы проводились масштабные экспериментальные исследования по отработке режимов воздействия установки на биологические ткани. В 1981–1984 гг. в Клинике факультетской хирургии Второго МОЛГМИ им. Н.И. Пирогова были завершены все необходимые медико-технические испытания, после чего установку запустили в серийное производство. В 1984 г. создана установка СУПР-М, а в 1986 г. – СУПР-2М (рис. 5 на стр. обложки). Они отмечены медалями ВДНХ СССР в 1985 и 1987 гг. Приоритет изобретений защищён 5 авторскими свидетельствами и патентом США.

Установки СУПР серийно выпускались на Смоленском авиационном заводе в 1987–1992 гг. Произведено более 400 единиц, которые поставлялись в различные лечебные учреждения СССР. Именно данные установки при всём технологическом несовершенстве стали осно-



Рис. 4. Инженер-конструктор Алексей Сергеевич Береснев (1930–2014).

вой для формирования плазменной хирургической технологии как таковой. В наши дни, спустя более 30 лет, несколько десятков установок модельного ряда СУПР продолжают успешно эксплуатироваться в России и в странах СНГ.

В 2001 г. на Всемирной технологической выставке в г. Эссен (Германия) было представлено следующее поколение плазменных установок первого типа – скальпель плазменный СП-ЦПТ, разработчик – ЗАО «Центр плазменных технологий», г. Смоленск (рис. 6 на 3-й стр. обложки). Принципиальным отличием данной модели был программируемый режим работы, а также более современная эргономика, наличие в штатной комплектации лапароскопических и физиотерапевтических плазматронов. На базе того же авиационного завода в 2003–2009 гг. выпущено более 50 экземпляров. И наконец, в 2014 г. в рамках программы венчурного финансирования в технопарке «Саров» впервые представлено новейшее поколение плазменно-дугового оборудования, получившее название «Плазморан» (рис. 7 на 3-й стр. обложки). Установка имеет полностью цифровую интеллектуальную систему управления, но предназначена исключительно для лечения гнойных ран, трофических язв и пролежней. В настоящее время она прошла клинические испытания, отработку технологического регламента и зарегистрирована в реестре медико-технических изделий РФ.

Второй тип плазменных установок, использующих для работы инертные газы, разработан в 1992–1994 гг. при сотрудничестве МГТУ им. Н.Э. Баумана и Учебно-научного центра факультета информатики и системы управления этого же университета – Факел-3, Факел-7, Факел-9 (рис. 8 на 3-й стр. обложки). Принципиальное конструктивное новшество – генератор плазмы с межэлектродной вставкой (трёхэлектродная и более схема) – позволило существенно улучшить энергетические характеристики устройства. Благодаря увеличению длины электрической дуги (с 7 до 35 мм) удалось получить ста-

бильно мощные ПП любых инертных газов при объёмном расходе до 4 л/мин. Усилиями инженеров испарение материала электродов было сведено к минимуму, так как мощность разряда обеспечивалась увеличением напряжения, а не силы тока.

В последующие годы установка модернизировалась и в кооперации МВТУ им. Н.Э. Баумана – институт им. Патона (Украина, Киев) и КБ «Южное» (Украина, г. Днепропетровск) выпускалась в двух модификациях: Факел-01 и последняя – ПХК Плазмамед собственной разработки КБ «Южное». К сожалению, все вышеперечисленные модели так и не запущены в серийное производство по ряду объективных в тот исторический период причин.

Третий тип плазменных установок был создан на базе ВСВУ-160 (выпрямитель сварочный высокочастотный универсальный, г. Омск) со следующими параметрами: рабочие газы – аргон, гелий, температура струи плазмы 3500–8000°C, мощность струи от 350 Вт до 1,5 кВт, длина плазменного факела 0,2–2 мм, расход газа 1–10 л/мин. Плазматрон комплектовался специальными сменными соплами. Установка выпускалась мелкими партиями в течение 2 лет (1994–1996 гг.), не получив широкого применения в клинической практике (фотографии и чертежи, к сожалению, не сохранились).

Четвёртый тип плазменных установок – УМПР-20 (Прометей), созданный сотрудниками Ленинградского политехнического института им. М.И. Калинина (кафедра сварки) совместно с ВМА им. С.М. Кирова (кафедра абдоминальной хирургии). Устройство состояло из источника питания с пускорегулирующей аппаратурой и плазматрона, соединённого с ним посредством гибкого кабеля (рис. 9 на 3-й стр. обложки). Оно также комплектовалось сменными соплами-головками. К сожалению, данная установка также не вышла в серийное производство по экономическим причинам.

Воздушно-плазменная технология

Определённые трудности в сервисном обслуживании плазменных медицинских установок, работающих на инертном газе, привели отечественных конструкторов к идее заменить дорогостоящие аргон и гелий атмосферным воздухом. С этой целью коллективом сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана в начале 90-х годов XX в. впервые в мире была создана серия аппаратов, генерирующих низкотемпературную воздушную плазму (Плазматом-1, Плазматом-2, Искротом). Следующим этапом была экспериментальная разработка и внедрение в клиническую практику воздушно-плазменного хирургического аппарата Гемоплаз ВП (рис. 10 на 3-й стр. обложки). Существенным отличием его было не только использование в качестве рабочего тела атмосферного воздуха, но и небольшие габариты, что значительно упрощало эксплуатацию. Возникла идея применения установок в военно-полевых условиях и в амбулаторной хирургии [26].

Дальнейшие разработки велись под руководством главного хирурга МО РФ профессора П.Г. Брюсова совместно с инженерами НИИ ЭМ и МГТУ им. Н.Э. Баумана. К концу 1994 г. создан опытный образец, прошедший успешные испытания в ходе антитеррористических спецопераций на Северном Кавказе (1994–1996 гг.). Усилия инженеров-разработчиков, рекомендации военно-полевых хирургов, а также учёт технических недостатков первого образца позволили спустя несколько лет сконструировать аппарат Плазон, максимально отвеча-

ший требованиям как военно-полевой, так и амбулаторной хирургии (рис. 10 на 3-й стр. обложки).

Если морфологические изменения в зоне воздействия воздушно-плазменного потока (ВПП) в режиме резки и коагуляции идентичны таковым при высокотемпературной обработке потоком аргоновой или гелиевой плазмы, то терапевтический эффект определяется плазмохимической генерацией в потоке молекул оксида азота (II). Установлено, что под влиянием экзогенного NO значительно ускоряются регенераторные процессы в очаге хирургической инфекции. Выявлены конкретные механизмы положительного действия NO-терапии: улучшение сосудистой трофики и тканевого обмена, бактерицидное и бактериостатическое действие, усиление фагоцитоза бактерий и некротического детрита макро- и микрофагами, стимуляция секреции активированными макрофагами цитокининов, усиливающих, в свою очередь, рост фибробластов и микрососудов [27–30]. В настоящее время методика широко применяется во многих областях хирургии – в онкологии, гинекологии, офтальмологии для лечения гнойно-воспалительных заболеваний различной этиологии и локализации. За разработку и внедрение в медицинскую практику новых лечебных технологий и технических средств на основе использования воздушной плазмы группе авторов (Грачев С.В., Шулутко А.М., Ефименко Н.А., Кабисов Р.К., Вагапов А.Б., Пекшев А.В. и др.) присуждена премия Правительства Российской Федерации за 2003 г. в области науки и техники (Постановление Правительства РФ от 16.02.2004 г. № 85).

Плазменная хирургическая технологии сегодня

Как показало время, методика наиболее востребована в гнойной хирургии. Здесь уже много лет применяют два режима плазменно-физического воздействия:

1. Хирургический режим (диссекция или резка, коагуляция) – воздействие на раневую поверхность высокотемпературным газовым факелом на заключительном этапе некрэктомии [27, 31].

2. Терапевтический режим (стимуляция) – регулярная обработка раневой поверхности охлажденным ПП с целью стимуляции регенераторных процессов и купирования воспаления. Озон и ультрафиолетовое излучение, сопровождающие физическую плазму, обеспечивают мощный антимикробный эффект [20, 23, 27].

Учитывая особенности течения гнойно-воспалительных заболеваний, за последние 20 лет отечественными исследователями предлагались различные способы оптимизации результатов комбинированного лечения. Так, профессор К.В. Липатов из клиники общей хирургии Сеченовского университета уже много лет сочетает воздушно-плазменную обработку с «озвучиванием» постнекрэктомической раны озонированным физиологическим раствором (2002 г.) [32]. С.О. Ондар (2005 г.) в своей кандидатской диссертации сообщил об использовании воздушно-плазменных потоков в режиме NO-терапии совместно с биологически активными раневыми покрытиями [33]. Это позволило авторам уже к 4-5-м суткам резко снизить уровень бактериальной контаминации, более чем в 1,5 раза сократить сроки подготовки гнойных ран к восстановительным вмешательствам. Аналогичные результаты представил в 2008 г. в своей кандидатской диссертации В.И. Грушко [34].

Различные лечебные схемы, включающие воздушно-плазменную обработку, фотодинамическую терапию

и полифункциональные раневые покрытия, при трофических язвах и длительно незаживающих ранах предложены специалистами отделения хирургических инфекций ГНЦ лазерной медицины Минздрава РФ и ГКБ № 51 Москвы – докторами медицинских наук А.В. Дуванским (2004 г.) и А.А. Раджабовым (2002 г.) [35, 36]. На базе Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко и кафедры хирургии Государственного института усовершенствования врачей Минобороны РФ (ГКБ № 29) Л.В. Писаренко (2004 г.) успешно осуществляет аргоноплазменную обработку при обширных гранулирующих ранах до и после пересадки клеточно-кожной культуры аллотрансплантатов [37].

Немалый вклад в развитие плазменной технологии внесли сотрудники кафедры факультетской хирургии № 2 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, возглавляемой проф. А.М. Шулутко (УКБ № 4, бывшая ГКБ № 61 г. Москвы). В течение последних 18 лет ими проведены масштабные научные работы по оценке эффективности ПП в ходе комплексного лечения различного рода гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей, а также в торакальной хирургии. По данной тематике на кафедре защищены 9 диссертаций (1 докторская и 8 кандидатских). Уже много лет широко используется комбинированное и раздельное аргоновооздушно-плазменное воздействие в ходе комплексного лечения обширных гнойных ран, некротизирующих фасциитов, трофических язв и пролежней, различных форм рожистого воспаления, острого варикотромбофлебита, во время выполнения больших ампутаций у пациентов с ишемической гангреной нижних конечностей [38–42]. В отделении торакальной хирургии УКБ № 4 Сеченовского университета доцент А.С. Качикин успешно использует плазменную систему PlasmaJet с целью стерилизации, аэро- и гемостаза и герметизации лёгких в ходе видеоторакоскопической санации эмпиемы плевры, резекции лёгочных булл, эхинококкэктомии, удалении опухолей и кист лёгкого [17].

Заключение

Плазменная хирургическая технология – это уникальная отечественная разработка, пришедшая на смену традиционным вмешательствам с привлечением иных видов хирургической энергии. Применение физической плазмы в хирургии стало важным открытием своего времени и позволило повысить эффективность вмешательств на различных органах и тканях, снизить частоту возможных осложнений и летальность. Широкий спектр терапевтического воздействия и различные режимы делают плазменную обработку методом выбора при лечении воспалительных и гнойно-некротических процессов различной этиологии и локализации, и не только таковых.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА (п. п. 7-10, 14 см. REFERENCES)

1. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К. *Основы физических процессов в плазме и плазменных установках*. М.: Изд-во МИФИ; 2000.
2. Кингсеп А.С. *Плазма как объект физических исследований*. М.: Физика; 1996; 278.
3. Брюсов П.Г., Кудрявцев Б.П. *Плазменная хирургия*. М.: Медицина; 1995.

4. Кулаков В.И., Адамян Л.В., Мынбаев О.А. *Оперативная гинекология – хирургические энергии*. М.: Медицина; 2000.
5. Грищенко А.А. *Разработка и обоснование характеристик плазматрона косвенного действия для обработки биоткани*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1992.
6. Майстренко Н.А., Юшкин А.С., Курыгин А.А. *Физические способы диссекции и коагуляции тканей в абдоминальной хирургии*. СПб: Фолиант, Наука; 2004.
11. Айдемиров А.Н. *Применение плазменных технологий в хирургии эхинококкоза*: Дисс. ... докт. мед. наук. М.; 2002.
12. Комратова Е.Н. *Клиническое значение применения воздушно-плазменного потока с генерацией монооксида азота при органосохраняющих операциях на матке*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2006.
13. Кучухидзе С.Т., Клиндухов И.А., Бахтияров К.Р. *Высокие энергии в современной гинекологии. Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии*. 2004; 3 (2): 76-82.
15. Решетов И.В., Кабисов Р.К. *Применение воздушно-плазменного аппарата «Плазон» в режиме коагуляции и NO-терапии при реконструктивно-пластических операциях у онкологических больных. Анналы пластической и реконструктивной хирургии*. 2000; (4): 24-39.
16. Вишневский О.А. *Применение плазменного скальпеля в комплексном лечении осложненных форм гнойно-деструктивных заболеваний легких и плевры*: Дисс. ... канд. мед. наук. Смоленск; 2000.
17. Качикин А.С. *Применение плазменных потоков для азрогемостазы в хирургии легких*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2005.
18. Козлов К.К., Котов И.И., Ситникова В.М. *Разработка и внедрение технологий применения лазера и струи плазмы в хирургии легких и плевры. Лазерная медицина*. 1999; 3(1): 44-6.
19. Ситникова В.М. *Применение плазменного скальпеля в хирургии хронической эмпиемы плевры*: Дисс. ... канд. мед. наук. Омск; 1994.
20. Боровой В.И., Забелин А.С. *Применение физиотерапевтического плазменного потока аргона в комплексном лечении пострадавших с переломами нижней челюсти. Российский стоматологический журнал*. 2001; (3): 22-24.
21. Кузьмина Б.В. *Применение плазменного потока аргона в комплексном лечении больных с флегмонами челюстно-лицевой области и шеи*: Дисс. ... канд. мед. наук. Смоленск; 1997.
22. Марахонич Л.А. *Применение плазменных потоков в лечении огнестрельных ран и их осложнений*: Дисс. ... докт. мед. наук. М.; 1997.
23. Сибилев А.В. *Сравнение эффективности лечения гнойных ран мягких тканей углекислотным лазером и плазменными потоками*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2000.
24. Шулуто А.М., Османов Э.Г. *Плазменная технология в комплексном лечении хирургических инфекций мягких тканей у пациентов пожилого возраста. Клиническая геронтология*. 2009; (5): 13-7.
25. Шестерня Н.А., Иванников С.В., Тарасов Д.А. *Плазменная коагуляция в травматологии и ортопедии*. М.: Бином; 2009.
26. Козлов Н.П., Маликов В.Н., Пекшев А.В., Шарапов Н.А. *Разработка плазменных хирургических установок. Вестник МГТУ*. 1998; (4): 127-41.
27. Ефименко Н.А., Хрупкин В.И., Марахонич Л.А. *Воздушно-плазменные потоки и NO-терапия - новая технология в клинической практике военных лечебно-профилактических учреждений. Военно-медицинский журнал*. 2005; (5): 51-4.
28. Грачев С.В., Шехтер А.Б., Козлов Н.П. *NO-терапия: теоретические аспекты, клинический опыт и проблемы применения экзогенного оксида азота в медицине*. М.: Русский врач; 2001.
29. Ользеев И.С. *Экзогенный оксид азота в комплексном хирургическом лечении флегмонозно-некротической рожи*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2004.
30. Петрин С.А. *Коррекция микроциркуляторных нарушений в гнойных ранах путем воздействия воздушно-плазменными потоками в режиме NO-терапии*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2001.
31. Нигматзянов С.С. *Клинико-экспериментальное обоснование применения плазменных технологий в гнойной хирургии*: Дисс. ... канд. мед. наук. Уфа; 2004.
32. Липатов К.В. *Новые технологии на основе использования оксида азота и озона в лечении гнойных ран*: Дисс. ... докт. мед. наук. М.; 2002.
33. Ондар С.О. *Обоснование комбинированного использования новых некролитических препаратов и физических методов в лечении гнойных ран*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2005.
34. Грушко В.И. *Применение плазменного потока в комплексном лечении гнойных ран*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2008.
35. Дуванский В.А., Толстых М.П., Петрин С.А., Троицкая О.С. *Фотодинамическая терапия и экзогенный оксид азота в комплексном лечении гнойных ран мягких тканей. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2004; (10): 59-62.
36. Раджабов А.А. *Воздушно-плазменные потоки в режиме NO-терапии и коагуляции в комплексном лечении гнойных ран различного генеза и трофических язв*: Дисс. ... докт. мед. наук. М.; 2002.
37. Писаренко Л.В. *Применение плазменных потоков и жизнеспособных кожных аллотрансплантатов в комплексном лечении ран*: Дисс. ... докт. мед. наук. М.; 2004.
38. Джамалов Д.М. *Пути улучшения результатов неоперативных ампутированных конечностей*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2011.
39. Шанавазов К.А. *Аргонно-плазменная технология в хирургическом лечении облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей в стадии гнойно-некротических поражений*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2014.
40. Османов Э.Г. *Инновационные плазменно-хирургические технологии в комплексном лечении воспалительно-гнойных поражений мягких тканей*: Дисс. ... докт. мед. наук. М.; 2009.
41. Чирикова Е.Г. *Плазмодинамическая санация оксидом азота (NO) трофических язв венозной этиологии*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2002.
42. Крюгер Ю.А. *Плазмодинамическая санация оксидом азота (NO) в комплексном лечении гнойно-некротических поражений нижних конечностей у больных сахарным диабетом*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2004.

REFERENCES

1. Zhdanov S.K., Kurnae V.A., Romanovsk M.K. *Fundamentals of physical processes in plasma and plasma systems* [Osnovy fizicheskikh processov v plazme plazmennyyh ustanovkakh]. Moscow: MIFI; 2000. (in Russian)
2. Kingsep A.S. *Plasma as an object of physical research* [Plazma kak objekt fizicheskikh issledovaniy]. Moscow: Fizika; 1996. (in Russian)
3. Brjusev P.G., Kudrjavcev B.P. *Plasma surgery* [Plazmennaya hirurgiya]. Moscow: Meditsina; 1995. (in Russian)
4. Kulakov V.I., Adamjan L.V., Mynbaev O.A. *Operative gynecology - surgical energy* [Operativnaya ginekologiya – hirurgicheskie energii]. Moscow: Meditsina; 2000. (in Russian)
5. Grishchenko A., A. *Development and substantiation of characteristics of an indirect action plasmatron for the treatment of biological tissue*. Diss. Moscow; 1992. (in Russian)
6. Majstrenko N.A., Jushkin A.S., Kurygin A.A. *Physical methods of tissue dissection and coagulation in abdominal surgery* [Fizicheskie sposoby dissekcii i koagulyacii tkanej v abdominal'noy hirurgii]. St. Petersburg: Foliant, Nauka; 2004. (in Russian)
7. Link W., Incopera F., Glover J. *Plasma scalpel: of tissue and wound damage healing with electrosurgical and steel scalpels. Arch. Surg.* 1976; 111 (4): 92-7.
8. Payne N., Tindall G., Fleischer A., Mirra S. *Evaluation of the plasma scalpel for intracranial surgery: a pilot study. Surg. Neurol.* 1979; 12 (3): 247-50.
9. Glover J., Bendick P., Link W., Plunkett R. *The plazma scalpel: a new thermal knife. Laser surgery.* 1982; 2 (1): 101-6.
10. Iannelli A., Schneck A., Gugenheim J. *Use of the PlasmaJet System in patients undergoing abdominal lipectomy following massive weight loss: a randomized controlled trial. Obes Surg.* 2010; 20 (10): 1442-7. doi: 10.1007/s11695-009-0067-5.
11. Ajdemirov A.N. *Application of plasma technologies in echinococcosis surgery*. Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
12. Komratova E.N. *Clinical significance of the application of air-plasma flow with the generation of nitrogen monoxide with organ-preserving operations on the uterus*. Diss. Moscow; 2006. (in Russian)
13. Kuchuhidze S.T., Klinduhov I.A., Bahtijarov K.R. *High energy in modern gynecology. Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatalogii*. 2004; 3 (2): 76-82. [in Russian]

14. Panuccio E., Leunen K., Van Nieuwenhuysen E., Neven P., Lambrechts S. Use of PlasmaJet for Peritoneal Carcinomatosis in Ovarian Cancer. *Int. J. Gynecol. Cancer*. 2016; 26(8):1521-4. doi:10.1097/IGC.0000000000000788.
15. Reshetov I.V., Kabisov R.K. The use of the Plazon air-plasma apparatus in the coagulation and NO-therapy regimens for reconstructive-plastic operations in cancer patients. *Annaly plasticheskoy i rekonstruktivnoy hirurgii*. 2000; 4: 24-39. (in Russian)
16. Vishnevskiy O.A. *Application of the plasma scalpel in the complex treatment of complicated forms of purulent-destructive diseases of the lungs and pleura*: Diss. Smolensk; 2000. (in Russian)
17. Kachikin A.S. *Application of plasma flows for airgemostasis in pulmonary surgery*: Diss. Moscow; 2005. (in Russian)
18. Kozlov K.K., Kotov I.I., Sitnikova V.M. Development and implementation of laser and plasma jet technologies in surgery of the lungs and pleura. *Lazernaya medicina*. 1999; 3 (1): 44-6. (in Russian)
19. Sitnikova V.M. *Application of the plasma scalpel in the surgery of chronic pleural empyema*: Diss. Omsk; 1994. (in Russian)
20. Borovoj V.I., Zabelin A.S. Application physiotherapeutic argon plasma flow in the complex treatment of patients with mandibular fractures. *Rossiyski ystomatologicheskii zhurnal*. 2001; 3: 22-24(in Russian)
21. Kuz'mina B.V. *Application of the plasma flow of argon in the complex treatment of patients with phlegmons of the maxillofacial region and neck*: Diss. Smolensk; 1997. (in Russian)
22. Marahonich L.A. *Application of plasma flows in the treatment of gunshot wounds and their complications*: Diss. Moscow; 1997. (in Russian)
23. Sibilev A.V. *Comparison of the effectiveness of treatment of purulent wounds soft tissue carbon dioxide laser and plasma flows*: Diss. Moscow; 2000. (in Russian)
24. Shulutko A.M., Osmanov E.G. Plasma technology in complex treatment of surgical infections of soft tissues in elderly patients. *Klinicheskay gerontologiya*. 2009; 5: 13-7. (in Russian)
25. Shesternja N.A., Ivannikov S.V., Tarasov D.A. *Plasma flow coagulation in traumatology and orthopedics* [Plazmennaya koagulyaciya v travmatologii i ortopedii]. Moscow: Binom; 2009. (in Russian)
26. Kozlov N.P., Malikov V.N., Pekshev A.V., Sharapov N.A. Development of plasma surgical settings. *Vestnik MGTU*. 1998; 4: 127-41. (in Russian)
27. Efimenko N.A., Hrupkin V.I., Marahonich L.A. Air-plasma flows and NO-therapy are a new technology in the clinical practice of military hospitals. *Voенно-медицинский журнал*. 2005; 5: 51-4. (in Russian)
28. Grachev S.V., Shehter A.B., Kozlov N.P. *NO-therapy: theoretical aspects, clinical experience and problems of using exogenous nitric oxide in medicine* [NO-terapiya: teoreticheskie aspekty, klinicheskiy opyt i probleme primeneniya ekzogenного оксида азота v medicine]. Moscow: Russkijvrach; 2001. (in Russian)
29. Ol'zhev I.S. *Exogenous nitric oxide in the complex surgical treatment of phlegmonous-necrotic erysipelas*: Diss. Moscow; 2004. (in Russian)
30. Petrin S.A. *Correction of microcirculatory disorders in purulent wounds by exposure to air-plasma flows in the regime of NO-therapy*: Diss. Moscow; 2001. (in Russian)
31. Nigmatzhanov S.S. *Clinical and experimental substantiation of the use of plasma technologies in purulent surgery*: Diss. Ufa; 2004. (in Russian)
32. Lipatov K.V. *New technologies based on the use of nitric oxide and ozone in the treatment of purulent wounds*: Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
33. Ondar S.O. *Substantiation of the combined use of new necrolytic drugs and physical methods in the treatment of festering wounds*: Diss. Moscow; 2005. (in Russian)
34. Grushko V.I. *Application of plasma flow in the complex treatment of purulent wounds*: Diss. Moscow; 2008. (in Russian)
35. Duvanskij V.A., Tolstyh M.P., Petrin S.A., Troickaja O.S. Photodynamic therapy and exogenous nitric oxide in the complex treatment of purulent wounds of soft tissues. *Hirurgiya. Zhurnal im. N.I.Pirogova*. 2004; (10): 59-62. (in Russian)
36. Radzhabov A.A. *Air-plasma flows in the regime of NO-therapy and coagulation in the complex treatment of purulent wounds of various genesis and leg ulcers*: Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
37. Pisarenko L.V. *The use of plasma flows and viable skin allograft in the complex treatment of wounds*: Diss. Moscow; 2004. (in Russian)
38. Dzhamalov D.M. *Ways to improve the results of non-traumatic amputations of the lower extremities*: Diss. Moscow; 2011. (in Russian)
39. Shanavazov K.A. *Argon-plasma technology in the surgical treatment of obliterating diseases of arteries of the lower extremities in the stage of purulent-necrotic lesions*: Diss. Moscow; 2014. (in Russian)
40. Osmanov E.G. *Innovative plasma-surgical technologies in the complex treatment of inflammatory-purulent soft tissue lesions*: Diss. Moscow; 2009. (in Russian)
41. Chirikova E.G. *Plasmodynamicsanation with nitric oxide (NO) of trophic ulcers of venous etiology*: Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
42. Krjucer Ju. A. *Plasmodynamicsanation with nitric oxide (NO) in the complex treatment of purulent-necrotic lesions of the lower limbs in patients with diabetes mellitus*: Diss. Moscow; 2004. (in Russian)



К статье А.М. Шулутко и соавт.



Рис. 5. Плазменная хирургическая установка СУПР-2М.



Рис. 6. Плазменная установка СП-ЦПТ.



Рис. 7. Хирургическая установка Плазморан.

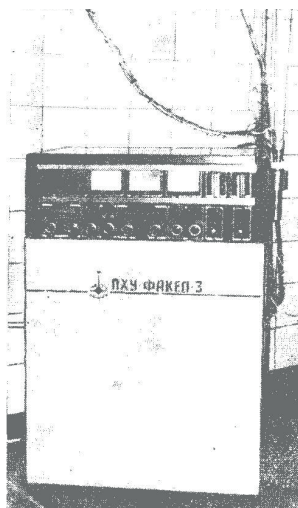


Рис. 8. Плазменная хирургическая установка Факел-3.



Рис. 9. Плазменная установка Прометей.



Рис. 10. Воздушно-плазменный аппарат Плазон.