

Обзоры

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2018
УДК 615.849.19.03:617-089

Шулутко А.М., Османов Э.Г., Чантурия М.О., Мачарадзе А.Д. **ПЛАЗМЕННЫЕ ПОТОКИ В ХИРУРГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ**

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

♦ В настоящее время для диссекции и коагуляции биологических тканей в хирургии широко используют различные методы термической энергии. Среди них особое место занимает плазменная хирургическая технология. Многочисленные работы, посвященные использованию плазменных потоков, свидетельствуют о следующих их преимуществах: бескровном рассечении тканей, гемостазе и стерилизации раневой поверхности, создании оптимальных условий для последующей регенерации тканевого субстрата, особенно благодаря стимулирующему эффекту молекул экзогенного оксида азота (II) воздушно-плазменной струи. На основании данных литературы авторы анализируют эффективность данной технологии, особенности плазменно-физического воздействия в различных режимах, возможности комбинированного использования технологии с другими физико-химическими методами. В статье подробно изложены исторические аспекты развития плазменной технологии в России, типы плазменных установок, характерные термические изменения органов и тканей после плазменной обработки в хирургическом режиме. Методика успешно апробирована в абдоминальной и торакальной хирургии, оперативной гинекологии, стоматологии и онкологии. Однако наиболее востребована плазменная технология в гнойной хирургии. В сочетании с хирургической обработкой она обеспечивает эффективную элиминацию некротизированных масс и патогенной микрофлоры; тщательный гемостаз с образованием барьерного для внутригоспитальной инфекции механически изолирующего струпа. Быстрое разрешение воспалительных явлений как в самой ране, так и в тканях паравульварной зоны, а также стимулирующее воздействие на регенераторные процессы свидетельствуют о положительном эффекте санации различными по источнику плазменными потоками в терапевтическом режиме.

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

Для цитирования: Шулу́тко А.М., Осма́нов Э.Г., Чанту́рия М.О., Мачара́дзе А.Д. Плазменные потоки в хирургической практике. *Российский медицинский журнал*. 2018; 24(2): 93-98. DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-2-93-98>

Для корреспонденции: Османов Эльхан Гаджиханович, доктор мед. наук, профессор кафедры факультетской хирургии № 2 ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М.Сеченова», 119991, г. Москва, E-mail: [mma-os@yandex.ru](mailto:mmma-os@yandex.ru)

Shulutko A.M., Osmanov E.G., Chanturiya M.O., Macharadze A.D.

THE PLASMA FLOWS IN SURGICAL PRACTICE

The I.M. Sechenov first Moscow state medical university of the Ministry of Health of the Russian Federation, 119991, Moscow, Russian Federation

♦ Nowadays, the various techniques of thermal energy are applied for dissection and coagulation of biological tissues in surgery. The plasma surgery technology is on of the leading one among them. Multiple publications concerning application of plasma flows testify the following advantages: bloodless dissection of tissues, hemostasis and sterilization of wound surface, making of optimal conditions for subsequent regeneration of tissue substrate, especially due to stimulating effect of molecules of exogenous nitrogen oxide (II) of air plasma jet. On the basis of publication data, the analysis is applied to efficiency of the given technology, features of plasma physical effect in various regimen, possibilities of combined application of this technology with other physical chemical methods. The article presents in details historical aspects of development of plasma technology in Russia, types of plasma installations, specific thermal alterations of organs and tissues after plasma processing in surgical regimen. The method was successfully approved in abdominal and thoracic surgery, operative gynecology, stomatology and oncology. However, plasma technology is mostly called-for in contaminated surgery. This technology, in combination with surgical processing, provides efficient elimination of necrotizing masses and pathogenic flora; thorough hemostasis with formation of mechanically isolating scab as a barrier for in-hospital infection. The fast settlement of inflammatory occurrences in the very wound and in tissues of para-vulnar zone and also stimulating effect on regeneration processes testify positive effect of sanation with various plasma flows in treatment regimen.

Keywords: review; plasma flows; dissection; NO-therapy; plasma technology.

For citation: Shulutko A.M., Osmanov E.G., Chanturiya M.O., Macharadze A.D. The plasma flows in surgical practice. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal (Medical Journal of the Russian Federation, Russian journal)*. 2018; 24(2): 93-98. (In Russ.) DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0869-2106-2018-24-2-93-98>

For correspondence: Elkhan G. Osmanov, doctor of medical sciences, professor, of the chair of faculty therapy № 2 «The I.M. Sechenov first Moscow state medical university», 119991, Moscow, E-mail: [mma-os@yandex.ru](mailto:mmma-os@yandex.ru)

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

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received 13.10.17
Accepted 26.12.17

Специфика плазменно-физического воздействия

Многие из физических факторов хирургического воздействия на биологические ткани имеют многолетнюю историю. Одним из таких средств является плазменная технология. Плазменные потоки (ПП), применяемые в

клинической практике, образуются при прохождении инертного газа (аргон, гелий) или струи атмосферного воздуха через дуговой разряд между электродами генератора (плазматрона). За счёт мощнейшей электромагнитной «бомбардировки» происходит ионизация мо-

лекул рабочего газа; процесс возбуждения электронов сопровождается переходом последних на более высокий энергетический уровень [1]. В небольшом пространстве устройства образуется поток физической плазмы. Особенностью последней является очень короткий период «жизни»: после прохождения через область постоянной электрической дуги (по сути после устранения источника воздействия) плазма рекомбинирует, т. е. подвергается обратной ионизации. Рекомбинация – экзотермический процесс с выделением энергии, расходуемой на образование квантов светового излучения и повышение кинетической энергии атомов, которая сразу же преобразуется в термическую энергию (ТЭН). В конечном счёте на выходе из плазматрона имеем исходный нейтральный газ за пределами высокой температуры и скорости истечения [2, 3].

Температура раскалённой струи варьирует от 2500 до 15 000°C. Длина светящейся части газового факела составляет 10–15 мм, а диаметр не превышает 3 мм. Концентрация столь огромных эквивалентов ТЭН в небольшом пространстве позволяет ПП при отсутствии механического контакта раны с рабочей частью установки легко и быстро рассекать биологические ткани путём мгновенного испарения (вапоризации, фульгурации). Одновременно происходит коагуляция мелких кровеносных и лимфатических сосудов, стерилизация зоны вмешательства [4–6]. Огромный энергетический потенциал позволяет осуществлять как точечную коагуляцию (на площади поверхности примерно 1 мм²), так и площадную (до 200–300 мм²). Глубина рассечения за один проход на паренхиматозных органах составляет до 10 мм.

При воздействии ПП на биологическую ткань формируется область характерных термических изменений [7, 8]. Микроскопически она представлена четырьмя слоями. Наиболее поверхностный – это карбонизированный слой некроза, являющийся исходом внезапного чрезмерного термического воздействия. Более глубокий губчатый слой некроза – пористая герметичная структура, состоящая из обезвоженных органических соединений. Между ней и неповреждённой тканью за счёт интенсивного нагрева ткани образуется компактный слой, являющийся по сути пограничным с подлежащими жизнеспособными тканями. Таким образом, формируется пласт деструктурированных тканей, окружённый общим коагуляционным слоем, который в свою очередь обеспечивает надёжный лимфо- и гемостаз. В ходе комплексных исследований было установлено, что изменения, происходящие в тканях печени, селезёнки и легких под действием ПП, идентичны по характеру заживления [9, 10].

Высокоэнергетический поток в окружающей среде быстро остывает, температура его критически падает до безопасного уровня: на 2–3 мм в стороне от плазменной струи температура воздуха не превышает 33–35°C. Это позволяет хирургу относительно безопасно и свободно манипулировать даже в условиях глубокой операционной раны, не опасаясь повредить близлежащие ткани и важные анатомические структуры. Все изменения в тканях поверхностны и контролируются зрением оперирующего хирурга. При контакте атмосферного воздуха с ПП, а также под влиянием ультрафиолетового излучения из него синтезируется озон. Тепловое излучение, сопровождающее физическую плазму во всём спектральном диапазоне, обеспечивает физиотерапевтический эффект [11]. Все вышеперечисленные факторы оказывают

мощное антимикробное и стимулирующее действие на рану, заметно ускоряют процессы грануляции и эпителизации, улучшая микроциркуляцию тканей [12–14].

Поскольку генерация физической плазмы происходит внутри плазматрона, никакого электрического воздействия на тело пациента не оказывается в отличие от электрохирургических средств. Это особенно важно у лиц с имплантированным кардиостимулятором [5].

Применение ПП в хирургической практике

Первые клинические работы по применению плазменной технологии были начаты в 70-е годы прошлого столетия в США [15–17]. Созданные тогда генераторы были предназначены исключительно для диссекции мягких тканей и получили названия «plasma scalpel» (плазменный скальпель), «thermal knife» (термический нож). Они генерировали ионизированную струю небольшой мощности (до 70 Вт) с температурой на выходе до 3700°C. Из-за недостаточной мощности исследователям приходилось длительное время воздействовать ПП на ткани, что вызывало значительный перегрев и повреждение клеточно-тканевых структур вне зоны обработки [18]. Кроме того, по единичным данным, имела место гибель подопытных животных в экспериментах в результате воздушно-газовой эмболии, обусловленной технологическими недочётами в системе охлаждения установок-пионеров. Дальнейшие научно-практические изыскания в данной области по не совсем понятным причинам в западных странах были приостановлены.

Первые зарубежные плазматроны (двухэлектродные) не позволяли достичь оптимальных параметров ПП. Позднее были предложены модификации в виде трёхэлектродных устройств, в которые затем были добавлены межэлектродные вставки для увеличения коэффициента полезного действия и оптимизации параметров струи. Благодаря этому с середины 90-х годов прошлого столетия началась новая эра в развитии плазменной технологии на Западе, появились хирургические установки, использующие в качестве рабочего газа аргон: вначале Plasmasurg 101 (Швеция), CoagSafe™ (США), а затем Plasmajet™ (Великобритания). Несколько клинических работ по применению различных моделей плазменного скальпеля опубликовано китайскими исследователями [19, 20].

В нашей стране становление плазменной хирургии связано с именами профессоров В.С. Савельева и Г.И. Лукомского, которые ещё в конце 80-х годов прошлого столетия доказали эффективность технологии при выполнении оперативных вмешательств на паренхиматозных органах и мягких тканях. Положительные результаты экспериментальных и клинических исследований позволяют успешно применять плазменную технологию:

- ♦ 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 кровяного или жёлчного истечения по дренажам [4];
- ♦ в ходе проведения резекции печени, органосохраняющих вмешательств на селезёнке, при выполнении резекции желудка, кишечника, а также обработке остаточной полости у пациентов с эхинококкозом различной локализации [9, 21–25];

Обзоры

- ♦ в оперативной гинекологии – в ходе проведения органосохраняющих операций на яичниках и матке через классический и лапароскопический доступы [5, 26–28];
- ♦ во время вмешательств по поводу злокачественных новообразований различной локализации: высокотемпературная плазменная струя в ходе удаления опухолевого очага вызывает некроз клеток в пограничной с разрезом области, а стимулирующее воздействие высокими энергиями улучшает результаты реконструктивно-пластических пособий у данной категории больных [29, 30];
- ♦ в торакальной хирургии. Наиболее эффективным оказалось использование ПП при коагуляции раневой поверхности лёгкого по линии резекции; для стерилизации и герметизации деплеврезированной поверхности лёгкого (после его декортикации); при разрушении патологических тканей (шварты, фибриновые наложения) у больных эмпиемой плевры. Плазменная энергия при этом обеспечивает надёжный гемо- и аэрозаст на обширных раневых поверхностях лёгкого, не приводит к деформации лёгкого и не препятствует его быстрому и полному расправлению [31–34];
- ♦ при вмешательствах на ЛОР-органах (тонзиллэктомия) и в хирургической стоматологии, в том числе при лечении пациентов с флегмонами челюстно-лицевой области и заглоточного пространства [35, 36];
- ♦ в комбустиологии, военно-полевой и гнойной хирургии [11, 13, 37–39]. Плазменная обработка в различных режимах широко применяется почти 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 полости рекомендуется для гемостаза и профилактики инфекции в ходе остеосинтеза, удаления костно-хрящевых опухолей различной локализации, эндопротезирования коленного и тазобедренного суставов [40].

За весь период становления плазменной хирургии в нашей стране было создано несколько типов высокоэнергетических установок, работающих на инертном газе: СУПР-М, СУПР-2М, Факел-3, Факел-7, УМПР-20 («Прометей»), СП-ЦПТ. Они выпускались серийно в течение последних 15–20 лет. Несколько десятков установок модельного ряда СП-ЦПТ продолжают успешно эксплуатироваться в России и странах СНГ.

Воздушно-плазменная технология и её особенности

Определённые трудности в сервисном обслуживании плазменных установок, работающих на инертном газе, привели отечественных конструкторов к оригинальной идее заменить дорогостоящий аргон атмосферным воздухом. С этой целью коллективом сотрудников МГТУ им. Н.Э. Баумана в начале 90-х годов XX века впервые в мире была создана серия аппаратов, генерировавших низкотемпературную воздушную плазму (Плазматом, Искротом, Гемоплаз-ВП). Следующим этапом стала разработка воздушно-плазменного аппарата Плазон, существенным отличием которого были небольшие габариты, что значительно упрощало эксплуатацию [42]. Последняя модификация Плазона – КСВВП/НО-01 – после коррекции технических просчётов, учёта рекомендации

специалистов стала особенно популярной и широко используется отечественными хирургами.

Если морфологические изменения в зоне воздействия воздушно-плазменного потока в режиме резки и коагуляции абсолютно идентичны таковым при обработке потоком аргоновой или гелиевой плазмы, его терапевтическая эффективность определяется плазмохимической генерацией молекул оксида азота (II). Первые публикации о результатах успешного применения экзогенного NO в гнойной хирургии появились в конце 90-х годов прошлого столетия [42]. Было установлено, что под влиянием экзогенного оксида азота (II) значительно ускоряются регенераторные процессы в очаге хирургической инфекции мягких тканей (ХИМТ). 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, ингибция свободных радикалов; стимуляция секреции активированными макрофагами цитокининов, усиливающих в свою очередь рост фибробластов и микрососудов [43–45].

По данным С.А. Петрина [46], уже на 4–5-е сутки на фоне лечения гнойных ран NO-содержащим газовым потоком наблюдается быстрое уменьшение местных воспалительных явлений, заметно сокращаются время очищения раны от гнойно-некротических масс, сроки появления грануляций и начала краевой эпителизации, опережая таковые при традиционном лечении более чем в 1,5 раза. Примечателен факт повышения содержания гликогена в нейтрофилах при регулярной обработке в терапевтическом режиме, что свидетельствует об их «оздоровлении» - нормализации клеточного метаболизма и уменьшении эндогенного токсикоза. Многими авторами отмечено также умеренное анальгезирующее действие NO-содержащего ПП на гнойную рану [41, 47, 48].

Пути оптимизации плазменной технологии

Как показало время, методика наиболее востребована в гнойной хирургии. Здесь применяют следующие режимы плазменно-физического воздействия:

- ♦ хирургический (диссекция или резка, коагуляция) – воздействие на раневую поверхность высокотемпературным газовым факелом при максимальной мощности ПП. Подавляющее большинство авторов настоятельно рекомендуют данный режим на заключительном этапе некрэктомии [4, 12, 37–39, 49];
- ♦ терапевтический (стимуляция) – регулярная обработка раневой поверхности охлажденными до 36–40°C ПП с целью стимуляции регенераторных процессов и купирования воспаления [6, 12, 14, 35, 37, 45]. Термическая травма биологических тканей при этом полностью исключена.

Учитывая особенности течения ХИМТ, предлагают различные способы улучшения результатов комбинированного лечения. Так, К.В. Липатов [50] сочетает воздушно-плазменную обработку с «озвучиванием» постнекрэктомической раны озонированным физиологическим раствором. С.О. Ондар [51] применяла воздушно-плазменные потоки в режиме NO-терапии совместно с биологически активными раневыми покрытиями (Дигестол-А, Хитоскин-супер). Это позволило автору уже к 5-м суткам значительно снизить уровень бактериальной контаминации до $2,9 \cdot 10^2$ микробных тел на 1 г ткани, а также в 1,5 раза сократить сроки

подготовки гнойных ран к восстановительным вмешательствам.

По данным А.А. Раджабова [45], NO-терапия в сочетании с раневым покрытием Дальцекс-трипсин обеспечивает ускоренное очищение ран от гнойно-некротических масс (в 1,7 раза), появление грануляций (в 1,9 раза) и краевой эпителизации (в 1,8 раза) по сравнению с традиционным лечением (мазевые повязки) без плазменной обработки. При осложнённой роже автор использовал лечебную программу, включавшую фотодинамическую терапию и воздушно-плазменную стимуляцию, что привело к значительному сокращению сроков некролиза (в 3–3,5 раза по сравнению с контрольной группой больных) и раннему наступлению регенераторной фазы. Морфологические исследования при этом показали усиление фагоцитарной активности нейтрофилов и макрофагов, снижение воспалительных проявлений и микроциркуляторных нарушений в очаге ХИМТ, активацию пролиферации фибробластов, неоангиогенеза и синтеза коллагена, раннее образование грануляционной ткани. Аналогичные результаты получил И.С. Ользеев [52], применивший NO-терапию после однократной плазменной обработки гнойного очага в режиме «щадящей коагуляции» у лиц с флегмонозно-некротической рожой. Л.В. Писаренко [53] проводит аргоно-плазменную обработку обширных гранулирующих ран до и после пересадки клеточно-кожной культуры аллотрансплантатов. Различные лечебные схемы, включающие воздушно-плазменную обработку, фотодинамическую терапию, раневые покрытия при трофических язвах и длительно незаживающих ранах, используют А.В. Дуванский и соавт. [44] и Е.Г. Чирикова [54].

Большая серия публикаций и диссертационных работ появилась благодаря исследованиям в клинике факультетской хирургии № 2 Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, возглавляемой проф. А.М. Шулутко. В частности, Д.М. Джамалов [55] и К.А. Шанавазов [56] на большом клиническом материале (свыше 200 наблюдений) доказали эффективность применения воздушного и аргоно-плазменных потоков в ходе высоких ампутаций у пациентов с ишемической гангреной нижней конечности. Высокоэнергетическая диссекция мягких тканей в ходе вмешательства и послеоперационная плазмодинамическая санация позволили достоверно уменьшить частоту раневых осложнений (до 18–21%), сократить средний койко-день примерно в 1,4–1,5 раза, а общую летальность снизить до 16,3%. При этом отмечено снижение фантомно-болевого синдрома. В клинике уже много лет широко применяется комбинированное аргоно-воздушно-плазменное воздействие в ходе комплексного лечения обширных гнойно-некротических ран, некротизирующих фасциитов, различных форм рожистого воспаления, а также при отдалённых гнойно-некротических осложнениях контурной пластики тела полиакриамидным гелем [6, 12, 57]. Оригинальной представляется предложенная С.А. Дукояном [58] методика воздушно-плазменной обработки в режиме NO-терапии у больных острым варикотромбофлебитом. Ю.А. Крюгер [48] сообщает, что регулярная плазмодинамическая санация в режиме NO-терапии способствовала ускоренному очищению раневой поверхности при гнойно-некротических осложнениях синдрома диабетической стопы и появлению грануляций в 1,3 раза по сравнению с результатами традиционного лечения. Автору удалось существенно снизить число высоких ампутаций нижних конечностей.

Заключение

Развитие хирургических технологий на сегодняшний день немислимо без привлечения средств дополнительного физического воздействия на биологические ткани. Широкий спектр терапевтического воздействия и различные режимы позволяют использовать ПП в качестве эффективного дополнительного средства в комплексном лечении воспалительных и гнойно-некротических процессов различной этиологии и локализации, и не только их.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черковец В.Е. *Физика приэлектродных явлений*. М.; 1994.
2. Жданов С.К., Курнаев В.А., Романовский М.К. *Основы физических процессов в плазме и плазменных установках*. М.; 2000.
3. Кингсеп А.С. *Плазма как объект физических исследований*. М.: Физика; 1996.
4. Брюсов П.Г., Кудрявцев Б.П. *Плазменная хирургия*. М.: Медицина; 1995.
5. Кулаков В.И., Адамян Л.В., Мынбаев О.А. *Оперативная гинекология – хирургические энергии*. М.: Медицина; 2000.
6. Шулутко А.М., Османов Э.Г. Использование плазменных технологий в лечении обширных гнойно-некротических поражений мягких тканей. *Хирургия. Журнал им. Н.И.Пирогова*. 2006; (11): 40-3.
7. 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.
8. Грищенко А.А. *Разработка и обоснование характеристик плазматрона косвенного действия для обработки биоткани*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1992.
9. Майстренко Н.А., Юшкин А.С., Курыгин А.А. *Физические способы диссекции и коагуляции тканей в абдоминальной хирургии*. СПб.: Фолиант; 2004.
10. Chan C., Hotouras A., Chaudry O. The Use of PlasmaJet as a Novel Technique for Tissue Dissection in Complex Abdominal Surgery. *Dis. Colon. Rectum*. 2015; 58(7): 402-3.
11. Нигматзянов С.С. *Клинико-экспериментальное обоснование применения плазменных технологий в гнойной хирургии*: Дисс. ... канд. мед. наук. Уфа; 2004.
12. Шулутко А.М., Османов Э.Г. Плазменная технология в комплексном лечении хирургических инфекций мягких тканей у пациентов пожилого возраста. *Клиническая геронтология*. 2009; 15(4-5): 13-7.
13. Грушко В.И. *Применение плазменного потока в комплексном лечении гнойных ран*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2008.
14. Хрупкин В.И., Зудилин А.В., Писаренко Л.В. Местное применение низкоэнергетической воздушной и аргоновой плазмы в лечение гнойных ран и трофических язв. *Вестник хирургии им. И.И.Грекова*. 2001; 160(2): 39-45.
15. 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.
16. 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.
17. Glover J., Bendick P., Link W., Plunkett R. The plazma scalpel: a new thermal knife. *Lasers Surg. Med.* 1982; 2(1): 101-6.
18. Hishimoto K., Rockwell R., Yunis N. Some technical problems in plasma scalpel hepatectomy. In: *Read before the 22nd Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology*. Chicago; 1969.
19. Xiaohua Z., Jingxiang B. A plasma scalpel an experimental study and its clinical application. In: *Proceedings of the International Conference on Plasma Science and Technology*. Beijing; 1986.
20. *Plasma Science and Technology*. Beijing; 1986.
21. Zhengu L., Hao Z., Dglin H. The development and clinical practice of plasma scalpel unit. In: *Proceedings of the International Conference on Plasma Science and Technology*. Beijing; 1986.
22. Айдемиров А.Н. *Применение плазменных технологий в хирургии эхинококкоза*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2002.

23. Тартынский С.И. *Изучение воздействия плазменных потоков аргона, гелия, неона, гелия на биологические ткани и механизма достижения окончательного гемостаза на печени и селезенке*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 1989.
24. Gugenheim J., Bredt L., Iannelli A. A randomized controlled trial comparing fibrin glue and PlasmaJet on the raw surface of the liver after hepatic resection. *Hepatogastroenterology*. 2011; 58(107-108): 922-5.
25. Grand K., Straub T., Farm G. New haemostatic techniques: argon plasma coagulation. *Res. Clin. Gastroenterol*. 1999; 13(1): 67-84.
26. Bourdel N., Chauvet P., Roman H., Pereira B. Comparison between resection, bipolar coagulation and PlasmaJet: A preliminary animal study. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod Biol*. 2017; 211(10): 127-33.
27. Комратова Е.Н. *Клиническое значение применения воздушно-плазменного потока с генерацией монооксида азота при органосохраняющих операциях на матке*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2006.
28. Кучухидзе С.Т., Клиндухов И.А., Бахтияров К.Р. Высокие энергии в современной гинекологии. *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии*. 2004; 3(2): 76-82.
29. 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.
30. Seror J., Bats A., Habchi H., Lécure F. Optimal surgical cytoreduction of the upper abdomen and the diaphragm for advanced ovarian cancer using PlasmaJet™ energy. *Gynecol. Oncol*. 2016; 140(2): 372-3.
31. 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, реконструктивной и эстетической хирургии*. 2000; (4): 24-39.
32. Вишневецкий О.А. *Применение плазменного скальпеля в комплексном лечении осложненных форм гнойно-деструктивных заболеваний легких и плевры*: Дисс. ... канд. мед. наук. Смоленск; 2000.
33. Качикин А.С. *Применение плазменных потоков для аэрогемостаза в хирургии легких*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2005.
34. 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.
35. Ситникова В.М. *Применение плазменного скальпеля в хирургии хронической эмпиемы плевры*: Дисс. ... канд. мед. наук. Омск; 1994.
36. Боровой В.И., Забелин А.С. Применение физиотерапевтического плазменного потока аргона в комплексном лечении пострадавших с переломами нижней челюсти. *Российский стоматологический журнал*. 2001; (3): 22-4.
37. Кузьмина Б.В. *Применение плазменного потока аргона в комплексном лечении больных с флегмонами челюстно-лицевой области и шеи*: Дисс. ... канд. мед. наук. Смоленск; 1997.
38. Зудилин А.В. *Применение низкоэнергетической воздушной и аргонной плазмы в местном лечении гнойных ран и трофических язв*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2001.
39. Марахонич Л.А. *Применение плазменных потоков в лечении огнестрельных ран и их осложнений*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 1997.
40. Сибилев А.В. *Сравнение эффективности лечения гнойных ран мягких тканей углекислотным лазером и плазменными потоками*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2000.
41. Шестерня Н.А., Иванников С.В., Тарасов Д.А. *Плазменная коагуляция в травматологии и ортопедии*. М.: Бином; 2009.
42. 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; 326(5): 51-4.
43. Козлов Н.П., Маликов В.Н., Пекшев А.В., Шарапов Н.А. Разработка плазменных хирургических установок. *Вестник МГТУ*. 1998; (4): 127-41.
44. Грачев С.В., Шектер А.Б., Козлов Н.П. *NO-терапия: теоретические аспекты, клинический опыт и проблемы применения экзогенного оксида азота в медицине*. М.: Русский врач; 2001.
45. 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.
46. Раджабов А.А. *Воздушно-плазменные потоки в режиме NO-терапии и коагуляции в комплексном лечении гнойных ран различного генеза и трофических язв*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2002.
47. Петрин С.А. *Коррекция микроциркуляторных нарушений в гнойных ранах путем воздействия воздушно-плазменными потоками в режиме NO-терапии*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2001.
48. Дуванский В.А. *Физические и физико-химические методы в комплексном лечении гнойных ран и трофических язв*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2002.
49. Kryuger Yu.A. *Plasmodynamic sanation 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)
50. 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.
51. Липатов К.В. *Новые технологии на основе использования оксида азота и озона в лечении гнойных ран*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2002.
52. Ондар С.О. *Обоснование комбинированного использования новых некротических препаратов и физических методов в лечении гнойных ран*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2005.
53. Ользеев И.С. *Экзогенный оксид азота в комплексном хирургическом лечении флегмонозно-некротической рожи*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2004.
54. Писаренко Л.В. *Применение плазменных потоков и жизнеспособных кожных аллотрансплантатов в комплексном лечении ран*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2004.
55. Чирикова Е.Г. *Плазмодинамическая санация оксидом азота (NO) трофических язв венозной этиологии*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2002.
56. Джамалов Д.М. *Пути улучшения результатов нетравматических ампутиаций нижних конечностей*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2011.
57. Шанавазов К.А. *Аргоно-плазменная технология в хирургическом лечении облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей в стадии гнойно-некротических поражений*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2014.
58. Османов Э.Г. *Инновационные плазменно-хирургические технологии в комплексном лечении воспалительно-гнойных поражений мягких тканей*: Дисс. ... д-ра мед. наук. М.; 2009.
59. Дукоян С.А. *Комплексное лечение острого варикотромбофлебита с применением технологии плазменного потока*: Дисс. ... канд. мед. наук. М.; 2007.

REFERENCES

1. Cherkovets V.E. *Physics of Near-Electrode Phenomena [Fizika pri-elektrodykh yavleniy]*. Moscow; 1994. (in Russian)
2. Zhdanov S.K., Kurnaev V.A., Romanovskiy M.K. *Fundamentals of Physical Processes in Plasma and Plasma Systems [Osnovy fizicheskikh protsessov v plazme i plazmennyykh ustanovkakh]*. Moscow; 2000. (in Russian)
3. Kingsep A.S. *Plasma as an Object of Physical Research [Plazma kak ob"ekt fizicheskikh issledovaniy]*. Moscow: Fizika; 1996. (in Russian)
4. Bryusov P.G., Kudryavtsev B.P. *Plasma Surgery [Plazmennaya khirurgiya]*. Moscow: Meditsina; 1995. (in Russian)
5. Kulakov V.I., Adamyan L.V., Mynbaev O.A. *Operative Gynecology – Surgical Energy [Operativnaya ginekologiya – khirurgicheskie energii]*. Moscow: Meditsina; 2000. (in Russian)
6. Shulutko A.M., Osmanov E.G. The use of plasma technology in the treatment of extensive necrotic soft tissue lesions. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I.Pirogova*. 2006; (11): 40-3. (in Russian)
7. 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.
8. Grishchenko A.A. *Development and substantiation of characteristics of an indirect action plasmatron for the treatment of biological tissue*: Diss. Moscow; 1992. (in Russian)
9. Maystrenko N.A., Yushkin A.S., Kurygin A.A. *Physical Methods of Tissue Dissection and Coagulation in Abdominal Surgery [Fizicheskie sposoby dissekcii i koagulyacii tkanej v abdominal'noy hirurгии]*. St. Petersburg: Foliant; 2004. (in Russian)
10. Chan C., Hotouras A., Chaudry O. The Use of PlasmaJet as a Novel Technique for Tissue Dissection in Complex Abdominal Surgery. *Dis. Colon. Rectum*. 2015; 58(7): 402-3.

11. Nigmatzyanov S.S. *Clinical and experimental substantiation of the use of plasma technologies in purulent surgery*: Diss. Ufa; 2004. (in Russian)
12. Shulutko A.M., Osmanov E.G. Plasma technology in complex treatment of surgical infections of soft tissues in elderly patients. *Klinicheskaya gerontologiya*. 2009; 15(4-5): 13-7. (in Russian)
13. Grushko V.I. *Application of plasma flow in the complex treatment of purulent wounds*: Diss. Moscow; 2008. (in Russian)
14. Khrupkin V.I., Zudilin A.V., Pisarenko L.V. Local application of low-energy air and argon plasma in the treatment of purulent wounds and leg ulcers. *Vestnik khirurgii im. I.I.Grekova*. 2001; 160(2): 39-45. (in Russian)
15. 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.
16. 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.
17. Glover J., Bendick P., Link W., Plunkett R. The plazma scalpel: a new thermal knife. *Lasers Surg. Med.* 1982; 2(1): 101-6.
18. Hishimoto K., Rockwell R., Yunis N. Some technical problems in plasma scalpel hepatectomy. In: *Read before the 22nd Annual Conference on Engineering in Medicine and Biology*. Chicago; 1969.
19. Xiaohua Z., Jingxiang B. A plasma scalpel an experimental study and its clinical application. In: *Proceedings of the International Conference on Plasma Science and Technology*. Beijing; 1986.
20. Zheng L., Hao Z., Dglin H. The development and clinical practice of plasma scalpel unit. In: *Proceedings of the International Conference on Plasma Science and Technology*. Beijing; 1986.
22. Aydemirov A.N. *Application of plasma technologies in echinococcosis surgery*: Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
23. Tartynskiy S.I. *Study of the effect of plasma flows of argon, helium, neon, helium on biological tissues and the mechanism of achieving final hemostasis on the liver and spleen*: Diss. Moscow; 1989. (in Russian)
24. Gugenheim J., Bredt L., Iannelli A. A randomized controlled trial comparing fibrin glue and PlasmaJet on the raw surface of the liver after hepatic resection. *Hepatogastroenterology*. 2011; 58(107-108): 922-5.
25. Grand K., Straub T., Farm G. New haemostatic techniques: argon plasma coagulation. *Res. Clin. Gastroenterol.* 1999; 13(1): 67-84.
26. Bourdel N., Chauvet P., Roman H., Pereira B. Comparison between resection, bipolar coagulation and Plasmajet: A preliminary animal study. *Eur. J. Obstet. Gynecol. Reprod Biol.* 2017; 211(10): 127-33.
27. 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)
28. Kuchukhidze S.T., Klindukhov I.A., Bakhtiyarov K.R. High energy in modern gynecology. *Voprosy ginekologii, akusherstva i perinatologii*. 2004; 3(2): 76-82. (in Russian)
29. 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.
30. Seror J., Bats A., Habchi H., Lécure F. Optimal surgical cytoreduction of the upper abdomen and the diaphragm for advanced ovarian cancer using PlasmaJet™ energy. *Gynecol. Oncol.* 2016; 140(2): 372-3.
31. 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, rekonstruktivnoy i esteticheskoy khirurgii*. 2000; (4): 24-39. (in Russian)
32. 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)
33. Kachikin A.S. *Application of plasma flows for airmenostasis in pulmonary surgery*: Diss. Moscow; 2005. (in Russian)
34. 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 meditsina*. 1999; 3(1): 44-6. (in Russian)
35. Sitnikova V.M. *Application of the plasma scalpel in the surgery of chronic pleural empyema*: Diss. Omsk; 1994. (in Russian)
36. Borovoy V.I., Zabelin A.S. Application physiotherapeutic argon plasma flow in the complex treatment of patients with mandibular fractures. *Rossiyskiy stomatologicheskij zhurnal*. 2001; (3): 22-4. (in Russian)
37. 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)
38. Zudilin A.V. *The use of low-energy air and argon plasma in the local treatment of purulent wounds and leg ulcers*: Diss. Moscow; 2001. (in Russian)
39. Marakhonich L.A. *Application of plasma flows in the treatment of gunshot wounds and their complications*: Diss. Moscow; 1997. (in Russian)
40. 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)
41. Shesternya N.A., Ivannikov S.V., Tarasov D.A. *Plasma Flow Coagulation in Traumatology and Orthopedics [Plazmennaya koagulyatsiya v travmatologii i ortopedii]*. Moscow: Binom; 2009. (in Russian)
42. Efimenko N.A., Khrupkin V.I., Marakhonich L.A. Air-plasma flows and NO-therapy are a new technology in the clinical practice of military hospitals. *Voenno-meditsinskiy zhurnal*. 2005; 326(5): 51-4. (in Russian)
43. 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)
44. 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 problemy primeneniya ekzogenogo oksida azota v meditsine]*. Moscow: Russkiy vrach; 2001. (in Russian)
45. Duvanskiy V.A., Tolstykh M.P., Petrin S.A., Troitskaya O.S. Photodynamic therapy and exogenous nitric oxide in the complex treatment of purulent wounds of soft tissues. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I.Pirogova*. 2004; (10): 59-62. (in Russian)
46. 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)
47. 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)
48. Duvanskiy V.A. *Physical and physicochemical methods in the complex treatment of purulent wounds and trophic ulcers*: Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
49. Kryuger Yu.A. *Plasmodynamic sanation 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)
50. Deb S., Sahu B., Deen S., Newman C., Powell M. Comparison of tissue effects quantified histologically between PlasmaJet coagulator and Helica thermal coagulator. *Arch. Gynecol. Obstet.* 2012; 286(2): 399-402.
51. 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)
52. 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)
53. Ol'zeev I.S. *Exogenous nitric oxide in the complex surgical treatment of phlegmonous-necrotic erysipelas*: Diss. Moscow; 2004. (in Russian)
54. Pisarenko L.V. *The use of plasma flows and viable skin allograft in the complex treatment of wounds*: Diss. Moscow; 2004. (in Russian)
55. Chirikova E.G. *Plasmodynamic sanation with nitric oxide (NO) of trophic ulcers of venous etiology*: Diss. Moscow; 2002. (in Russian)
56. Dzhamaalov D.M. *Ways to improve the results of non-traumatic amputations of the lower extremities*: Diss. Moscow; 2011. (in Russian)
57. 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)
58. Osmanov E.G. *Innovative plasma-surgical technologies in the complex treatment of inflammatory-purulent soft tissue lesions*: Diss. Moscow; 2009. (in Russian)
59. Dukoyan S.A. *Innovative plasma-surgical technologies in the complex treatment of inflammatory-purulent soft tissue damage*: Diss. Moscow; 2007. (in Russian)