

УДК 615.47

Устройство для формирования холодной плазмы в физиологическом растворе*

Н.А. ЖУМАНТАЕВА¹, А.Н. АЛЕЙНИК², Л.И. ЛИСИЦЫНА³, В.В. ПЕДДЕР⁴

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, аспирант. E-mail: nabat-ps@mail.ru

² 634050, РФ, г. Томск, пр. Ленина, 30, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, кандидат физико-математических наук, доцент. E-mail: Aleinikan@mail.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор. E-mail: Lisitsinali@gmail.com

⁴ 644048 РФ, г. Омск, ООО «Научно-производственное предприятие «Метромед». E-mail: metromed@mail.ru

Рассмотрены и обобщены результаты исследования авторов по разработке устройства для формирования холодной плазмы (ХП) в физиологическом растворе (физрастворе). Проведен анализ литературного обзора существующих устройств для формирования холодной плазмы и показано, что такие устройства производятся в основном за рубежом и стоимость их довольно высокая. Кроме того, теория и практика данного процесса изучена недостаточно. Поэтому существует потребность в создании подобных отечественных устройств. Цель данной работы – создание отечественного устройства для формирования ХП в физрастворе и исследование его работоспособности в процессе ХП удаления (коблации) биоткани. Сформулированы достоинства ХП на примере процесса коблации биоткани, заключающиеся в «щадящем» воздействии, позволяющем рассекать и удалять измененные патологическим процессом биоткани, сокращать сроки заживления ран, обеспечивать низкий уровень болевых ощущений, минимизировать кровопотерю, обеспечивать гемостаз, исключать ожог тканей и их термодеструкцию. Обоснована возможность ХП удаления доброкачественных новообразований кожного покрова (кожные папилломы и контрактура Дюпюитрена). Описан макет разработанного экспериментального устройства для исследования и оптимизации электрических и технологических параметров процесса, реализующего метод формирования ХП в физрастворе. При этом учтены следующие факторы: увеличение рабочей частоты; использование миниатюрного электрода для удаления тканей различной площади. Устройство состоит из блока питания, ХП-узла, содержащего рабочую часть электродной системы, и электронного блока, состоящего из схемы управления, формирователя импульсов и схемы согласования. Показано, что осциллограмма выходного напряжения разработанного устройства качественно соответствует результатам, представленным в зарубежной литературе. Приведены результаты поискового эксперимента по ХП коблации биоштата биоткани на разработанном экспериментальном устройстве, под-

* Статья получена 17 декабря 2015 г.

тверждающие перспективность применения данного метода для удаления доброкачественных кожных новообразований.

Ключевые слова: устройство для холодной плазмы, эксперимент по получению плазмы, выходное напряжение, результаты поискового эксперимента, холодно-плазменная коблация, доброкачественные новообразования, папиллома, контрактура Дюпюитрена

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-35-48

ВВЕДЕНИЕ

На мировом рынке начиная с конца двадцатого столетия появились аппараты, формирующие ХП с температурой +45...+65 °С в физрастворе. Этот метод может быть альтернативой высокотемпературным плазменным устройствам. С 1970-х годов известно применение плазменных хирургических устройств, позволяющих осуществлять оперативное вмешательство путем воздействия на биоткань операционной зоны потоком высокотемпературной плазмы, генерируемой небольшими плазмотронами (диаметр струи около 1 мм, длина – 3...20 мм) [1–3]. «Горячая» плазма, осуществляя жесткое воздействие на биоткань, обеспечивает легкое рассечение мягких и твердых тканей организма, одновременно «заваривая» стенки коагулируемых сосудов и дезинфицируя операционное поле. При этом механизм рассечения и коагуляции биотканей носит в основном тепловой характер, происходит прямой нагрев тканей, реализующий только «жесткое» воздействие, разрушающее кроме патологически измененных тканей и близлежащие здоровые. По этой причине использование «горячей» плазмы в клинической медицине ограничено.

Новая эпоха в применении плазмы для хирургических целей ведет свой отсчет с 1980 года, когда американские ученые Hira Thapliyal и Phil Eggers разработали метод холодно-плазменной радиочастотной хирургии, использующий многоконтактные электроды, способные в промежуточных электропроводящих растворах электролитов (например, NaCl или KCl) создавать «холодную» плазму с температурой вблизи электродов порядка +45...+65 °С [2, 4]. Однако, теория и практика данного процесса формирования такой плазмы в физрастворе до сего времени изучена недостаточно. Видные ученые всего мира уделяют данному вопросу довольно серьезное внимание.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Способность ХП в физрастворе, применяемая в методе коблации, рассекать, удалять и коагулировать ткани в операционной зоне, не оказывая выраженного теплового воздействия, может быть полезна во многих областях клинической хирургии. Существующие приборы для формирования ХП в физрастворе производятся в основном за рубежом, и их стоимость довольно высокая. Кроме того, теория и практика данного процесса изучена недостаточно. Поэтому существует потребность в создании подобных отечественных устройств для исследования ХП удаления тканей и исследования процесса коблации.

Задача данной работы – создание отечественного устройства, обеспечивающего ХП удаление доброкачественных новообразований кожного покрова на основе проведения исследований непосредственно на модельных образцах (биотатах) биологических тканей.

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ХП В ФИЗРАСТВОРЕ

Аппараты для формирования ХП в физрастворе используются в клинической практике с 1995 года, когда американская компания ArthroCare выпустила первый базовый блок Controller 2000 и разработала семейство электродов для применения в травматологии, оториноларингологии и спинальной хирургии [5].

Авторами данной работы был сделан обзор доступных в настоящее время на рынке приборов, использующих удаление биологических тканей с помощью ХП коблации. В результате было выяснено, что имеющиеся на рынке приборы для ХП коблации в настоящее время производятся в основном за рубежом (американской компанией ArthroCare).

Электрохирургический аппарат Coblator II – холодно-плазменный, биполярный аппарат, позволяющий выполнять широкий спектр ЛОР-операций при температуре +50...+55 °С [6–7]. Электрохирургический аппарат Coblator II может быть использован для хирургического удаления ткани с патологией, для прижигания и соединения тканей в области ЛОР-хирургии [8].

Atlas System Controller – базовый блок для артроскопических операций [5]. В артроскопической хирургии коблация применяется для обработки поверхности хряща, рассечения или удаления ткани мениска, удаления, рассечения и коагуляции тканей капсулы и связочного аппарата.

Холодно-плазменный хирургический аппарат Quantum 2 System – радиочастотное устройство нового поколения, которое является последней разработкой инженеров компании ArthroCare Sports Medicine и результатом пятнадцатилетнего опыта применения ХП коблации [5, 9]. Quantum 2 System занимает особое место в ряду хирургических устройств, предназначенных для артроскопии, и может заменить ВЧ-коагулятор, хирургический лазер, криохирургическую установку и классические стальные инструменты. Quantum 2 System – единственный аппарат с частотой переменного тока 100 кГц на выходе, которая обеспечивает контролируемое удаление тканей (удаление ткани происходит легче и с наименьшим вредом для окружающих здоровых тканей).

Обзор доступных в настоящее время на рынке устройств, обеспечивающих ХП коблацию, показал отсутствие подобных устройств отечественного производства.

3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ХП, ФОРМИРУЕМОЙ В ФИЗРАСТВОРЕ

Метод холодно-плазменной хирургии (коблация, от англ. cold ablation – холодное разрушение) – хирургический метод, основанный на применении «холодной» плазмы для обработки биологических тканей. Физической основой метода ХП коблации является создание достаточной разности потенциалов между контактами электродов рабочей части ХП узла (100...300 В), вызывающей ионизацию молекул промежуточного физраствора (NaCl или KCl) с формированием устойчивого тонкого слоя ионизированного пара между активным и пассивным электродами зонда (рис. 1). Плазменный слой в толще раствора составляет величину 0,5...1 мм с температурой +45...+65 °С (в зави-

симости от напряженности и частоты электромагнитного поля, количества и формы электродов зонда рабочей части ХП узла и пр.). При этом напряженность поля оказывается достаточной для ионизации атомов в электролитах (5...8 эВ), для диссоциации молекул воды, нарушения молекулярных связей в органических молекулах и иных продуктах, которые удаляются из операционной зоны [2, 3, 5–7]. Метод ХП коблации нацелен на решение задач, обеспечивающих «щадящее» отношение к окружающим тканям операционной зоны, а также на минимизацию кровотечения.

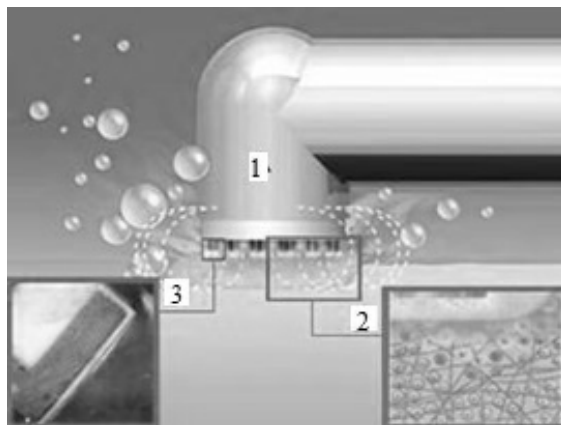


Рис. 1. Схема формирования ХП в физрастворе:
1 – погруженный в физраствор электрод; 2 – плазменный слой; 3 – спектр свечения плазмы (в среде NaCl) [5]

Физические и химические процессы, происходящие при возникновении плазмы в жидкости, важны для понимания явлений, наблюдаемых в хирургических инструментах. В качестве рабочей жидкости используется физраствор, который готовится из поваренной соли, растворенной в воде, с концентрацией 0,9 г/л [13, 14]. Такой раствор является изотоническим для клеточной жидкости и оказывает незначительное влияние на клеточные мембраны, когда ткань погружается в него на длительный период. При прохождении тока через физраствор выделяется тепло, что приводит к образованию тонкого слоя пузырей, покрывающего электрод. При возникновении электрического разряда газ в пузырьках ионизируется (потенциал ионизации атомов натрия 5,139 эВ [15]).

Преимущество ХП коблации перед механическими средствами обработки ткани заключается в том, что ХП электроды оставляют идеально ровную и гладкую поверхность без микроскопических трещин и дефектов. В отличие от электрохирургических и лазерных аппаратов устройство для ХП коблации основано не на температурном воздействии, и его применение не сопровождается тепловым повреждением внутрисуставных тканей. В ходе операции зона воздействия холодной плазмы остается постоянной, и возможно легко определять глубину и объем воздействия. Свечение холодной плазмы безвредно для зрения и средств визуализации [2, 5].

Уникальное «щадящее» воздействие «холодной» плазмы позволяет рассекать и удалять измененные патологическим процессом биоткани с сокра-

щением сроков послеоперационного заживления операционной зоны, обеспечивая при этом [2, 6] следующее:

- низкий уровень болевых ощущений;
- минимальную кровопотерю и качественный гемостаз без видимых следов ожога тканей или их термодеструкции;
- минимизацию рубцовых изменений в тканях операционной зоны.

Рядом авторов [3, 5, 6, 16] описан опыт успешного применения ХП коблации в клиниках США, Западной Европы и России, например, в оториноларингологии, в ортопедии, травматологии и спинальной хирургии.

4. ВЫБОР ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Известно, что доброкачественные новообразования кожного покрова можно удалять различными хирургическими методами практически без последующих осложнений. В результате обзора существующих видов доброкачественных новообразований авторами были выбраны контрактура Дюпюитрена и папилломы на кожном покрове для использования ХП коблации.

Папилломатоз кожи как объект исследования

Вирус папилломы человека (ВПЧ) – это мелкий вирус ДНК, характерная особенность которого заключается в способности вызывать раздражение эпителия кожи и / или слизистых оболочек [2, 17].

Представляет интерес изучение возможности использования ХП коблации в лечении папилломатоза кожи – эпидермального ВПЧ, клинические проявления которого многообразны. По классификации, на основании внешнего вида папиллом (бородавок) и их локализации выделяют четыре разные группы [2, 18, 19]: вульгарные бородавки, плантарные бородавки, плоские бородавки, генитальные бородавки.

Большинство вульгарных, плантарных и плоских бородавок обычно относят к доброкачественным типам папиллом [2, 20, 21]. ХП коблацию возможно использовать для удаления доброкачественных типов папиллом, не вызывая опасности их диссеминации.

Некоторые типы ВПЧ вызывают образование злокачественных бляшек при стимулировании ионизирующим излучением [2, 20], что является прямым противопоказанием для использования метода ХП коблации при их лечении.

Генитальные бородавки, колонизирующие ротовую полость, перианальную область, обнаруживающиеся в мочевом пузыре, в легких и т. д., часто устраняются самостоятельно, при повторных инфицированиях в дальнейшем не исключается их озлокачествление и развитие онкологических заболеваний. Поэтому при лечении данных типов ВПЧ не следует использовать метод ХП коблации.

Контрактура Дюпюитрена как объект исследования

Впервые описал и разработал процесс хирургического лечения контрактуры Дюпюитрена (КД) французский хирург Гиллом Дюпюитрен [22].

Контрактура Дюпюитрена (ладонный фиброматоз) – хроническое прогрессирующее безболезненное рубцовое перерождение и укорочение ладонных сухожилий.

Контрактура Дюпюитрена клинически проявляется утолщением и укорочением ладонной фасции из-за ряда генетических, возрастных и внешних факторов (профессия, быт, прием алкоголя и т. д.) и сопровождается сгибательной контрактурой пальцев кисти с утратой ее функции.

Консервативное лечение КД лишь уменьшает и приостанавливает проявление заболевания, но не способствует полному исчезновению симптомов [22, 23]. Поэтому большинство отечественных и зарубежных специалистов отдают предпочтение хирургическим методам лечения, причем оперативное лечение более эффективно на ранних стадиях заболевания. При увеличении степени контрактуры ее коррекция усложняется и возрастает риск развития осложнений [22–24].

Теоретически возможно использовать метод ХП коблации для удаления патологически измененного апоневроза. Данный метод может существенно снизить время операции, уменьшить зону некроза и опасность кровотечения. Его можно использовать для удаления грубых послеоперационных рубцов.

Однако продукция процесса осуществления ХП коблации (дымовые аэрозоли) требует создания условий для работы и проведения технических мероприятий по активному удалению аэрозолей из рабочей зоны [2].

5. РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ХП В ФИЗРАСТВОРЕ

Первые исследования авторов в направлении создания устройства для ХП коблации были в направлении получения ХП при атмосферном давлении (воздух) с использованием барьерного разряда для исследования ее взаимодействия с живыми организмами. В работах [25–27] были исследованы процессы коагуляции крови под воздействием ХП с использованием барьерного разряда. В работах [27, 28] описаны результаты предварительных клинических исследований по ХП обработке инфицированной раны мягких тканей кисти (рис. 2). Рана обрабатывалась ХП с барьерным разрядом в течение трех недель, после чего на коже остался еле заметный след.

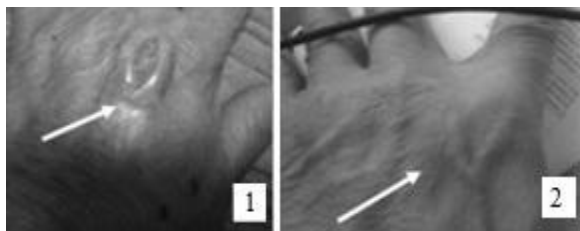


Рис. 2. Рана после обработки ХП с барьерным разрядом – 1, спустя три недели – 2

В работе [29] представлены результаты исследований по разработке устройства для получения ХП в физиологическом растворе. Был разработан лабораторный макет экспериментального устройства для удаления тканей

методом ХП коблации и проведены исследования зависимости электрического сопротивления разрядного промежутка от приложенного напряжения.

В работах [2, 13] авторами были описаны результаты усовершенствования экспериментального устройства для исследования и оптимизации электрических и технологических параметров процесса формирования ХП в физиологическом растворе (коблации). При этом учтены следующие факторы:

- увеличение рабочей частоты (для удаления тканей с патологией с наименьшим вредом для окружающих тканей [5]);
- использование миниатюрного электрода для удаления тканей различной площади.

Разработанное экспериментальное устройство состоит из блока питания, ХП узла, содержащего рабочую часть электродной системы, и электронного блока, состоящего из схемы управления, формирователя импульсов и схемы согласования. Отличия разработанного устройства от существующих иностранных аналогов:

- увеличение рабочей частоты до 150 кГц;
- малая площадь электрода (для возможности удаления биологических тканей малого объема и площади с патологией с наименьшим повреждением близлежащих здоровых тканей). При этом уменьшается выходной ток и соответственно тратится меньше энергии в процессе ХП коблации. При необходимости удаления тканей большого объема и площади можно использовать метод сканирования;
- амплитуда импульса выходного сигнала, поступающего на электродную систему, ниже по сравнению с иностранными аналогами.

Оциллограмма выходного напряжения разработанного экспериментального устройства (рис. 3) качественно соответствует результатам, представленным в работе [12], где использован ХП узел, содержащий рабочую часть электродной системы, состоящей из 18 независимых титановых электродов (диаметр 0,38 мм, высота 0,38 мм) и выполненных в виде двух концентрических узлов, каждый из которых содержит соответственно 12 и 6 электродов.

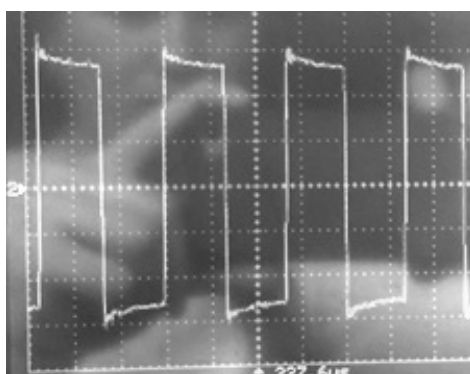


Рис. 3. Оциллограмма выходного напряжения разработанного устройства

В нашем эксперименте на разработанном устройстве (входное напряжение составляло 100 В) был использован простой двухэлектродный зонд, изготовленный из сплава молибдена. Электроды, выполненные на рабочей по-

верхности зонда, представляют собой две параллельно расположенные на расстоянии 1 мм проволочные скобы U-образной формы диаметром 0,4 мм, разделенные изолятором [2]. Проведенные исследования показали работоспособность устройства. Была получена низкотемпературная плазма в физрастворе путем варьирования электрических параметров, обеспечиваемых блоком управления (рис. 4). Было отмечено, что осциллограмма выходного напряжения также искажается при увеличении входного напряжения и образовании слоя плазмы в физиологическом растворе, как и в работе [12].

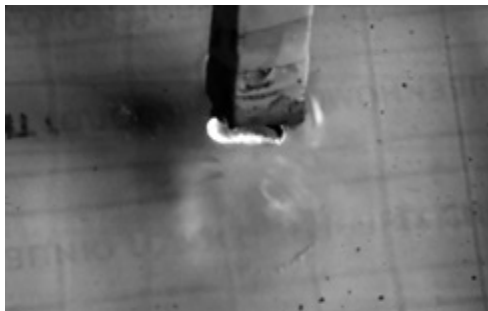


Рис. 4. Вид «холодной» плазмы в кювете, заполненном физраствором

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для изучения воздействия «холодной» плазмы на биоткань, получаемой методом ХП коблации, было проведено испытание работоспособности устройства на возможность реализации ХП воздействия на биоптат биоткани, а именно на мышцы крупного рогатого скота, с достижением его разрушения при исключении выраженной термодеструкции биоткани ближайших к области ХП коблации тканей (рис. 5).

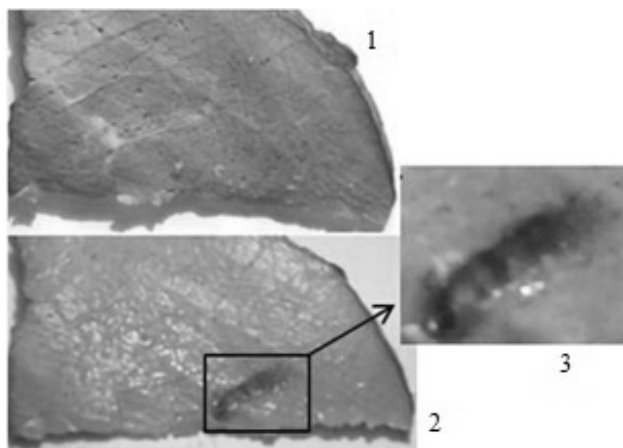


Рис. 5. Вид образца биоптата:

1 – до ХП обработки; 2 – после ХП обработки; 3 – увеличенный участок биоптата в зоне ХП обработки [2]

После проведения ХП коблации биоптата (рис. 5) отчетливо видна зона с «щадяще» удаленной тканью без видимых следов термодеструкции окружающих тканей, что подтверждает возможность использования разработанного экспериментального устройства в дальнейших исследованиях по оптимизации электрических и технологических параметров процесса, реализующего удаление биотканей ХП в физрастворе методом коблации с перспективой его применения для удаления доброкачественных кожных папиллом, а также патологически измененного апоневроза при контрактуре Дюпюитрена.

ВЫВОДЫ

В данной работе рассмотрены и обобщены результаты исследований авторов по разработке устройства для формирования «холодной» плазмы в физиологическом растворе.

1. Сформулированы достоинства ХП на примере процесса коблации биоткани, заключающиеся в «щадящем» воздействии, позволяющем рассекать и удалять измененные патологическим процессом биоткани, сокращать сроки заживления раны с обеспечением низкого уровня болевых ощущений, минимизировать кровопотерю, обеспечивать гемостаз, практически исключив ожог тканей или их термодеструкцию. Указанное позволит минимизировать опасность рубцовых изменений в тканях.

2. Сделан обзор существующих устройств для формирования холодной плазмы в физрастворе. Выяснено, что подобные устройства выпускаются только за рубежом.

3. Проведен выбор объектов исследования для применения ХП коблации – доброкачественные новообразования кожного покрова (контрактура Дюпюитрена и папилломы кожи).

4. Описано разработанное экспериментальное устройство, формирующее ХП в физрастворе для исследования и оптимизации электрических и технологических параметров процесса, реализующего метод ХП коблации, обеспечивающего «щадящее» удаление патологически измененных участков тканей.

5. Показано, что осциллограмма выходного напряжения разработанного устройства качественно соответствует результатам, представленным в зарубежной литературе.

6. Представлены результаты поискового эксперимента по ХП коблации биоптата биоткани, подтверждающего перспективность применения этого метода для удаления доброкачественных кожных папиллом, а также патологически измененного апоневроза при контрактуре Дюпюитрена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алейник А.Н.* Плазменная медицина: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 45 с.
2. Justification of the possibility of using cold-plasma method in surgery of papillomatosis and Dupuytren's contracture / N.A. Zhumantayeva, L.I. Lisitsyna, V.V. Pedder, A.N. Aleinik, A.Y. Kondrashov // 16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2015), Erlagol, Altai Republic, Russia, 29 June – 3 July 2015. – Novosibirsk, 2015. – P. 572–575. – doi: 10.1109/EDM.2015.7184607.

3. Жуликов А.Л., Маланин Д.А. Применение метода холодноплазменной абляции в травматологии и других областях хирургии. Новые методы в эксперименте и клинике // Бюллетень Волгоградского научного центра РАМН. – 2008. – № 1. – С. 59–61.
4. Холодно-плазменная кобляция [Электронный ресурс]. – URL: <http://koleno21.ru/cartilage/coblation.html> (дата обращения: 08.04.2016).
5. Филиппов Ю.А. Холодноплазменная технология в артроскопии [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.line2life.ru/site/oper/coldplaz> (дата обращения: 08.04.2016).
6. Электрохирургические аппараты (Холодноплазменная хирургия) [Электронный ресурс]. – URL: http://www.sante.ru/product_info.php?id=238 (дата обращения: 08.04.2016).
7. Coblator II (ArthroCare, США) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.iris-m.ru/catalog/elektrokhirurgicheskie-apparaty/coblator-ii.html> (дата обращения: 08.04.2016).
8. Электрохирургический аппарат Coblator II. Базовый блок [Электронный ресурс]. – URL: http://www.dealmed.ru/elektrokhirurgicheskiy_apparat_coblator_ii.html (дата обращения: 11.04.2016).
9. Холодноплазменное оборудование. Холодноплазменный генератор Quantum 2 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.sante.ru/product_info.php?id=269 (дата обращения: 11.04.2016).
10. Woloszko J., Kwende M., Stalder K.R. Coblation in otolaryngology // *Lasers in Surgery: Advanced Characterization, Therapeutics, and Systems XIII*. – Bellingham, 2003. – P. 341–352. – (Proceedings of SPIE; vol. 4949). – doi: 10.1117/12.488349.
11. Stalder K.R., Nersisyan G., Graham W.G. Spatial and temporal variation of repetitive plasma discharges in saline solutions // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2006. – Vol. 39. – P. 3457–3460. – doi: 10.1088/0022-3727/39/16/S02.
12. Woloszko J., Stalder K.R., Brown I.G. Plasma characteristics of repetitively-pulsed electrical discharges in saline solutions used for surgical procedures // *IEEE Transactions on Plasma Science* – 2002. – Vol. 30, iss. 3. – P. 1376–1383. – doi: 10.1109/TPS.2002.801612.
13. Жумантаева Н.А., Алейник А.Н. Разработка макета прибора, обеспечивающего холодно-плазменную кобляцию биологических тканей // Наука. Технологии. Инновации: материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Новосибирск, 2–6 декабря 2014 г. – Новосибирск, 2014. – Ч. 7. – С. 23–26.
14. Stalder K.R., Ryan T., Woloszko J. Some physics and chemistry of coblation electrosurgical plasma devices // *Energy-based Treatment of Tissue and Assessment VII* / ed. by T.P. Ryan. – Bellingham, 2013. – P. 85840P–85840P-12. – (Proceedings of SPIE; vol. 8584). – doi: 10.1117/12.2007341.
15. Зырянова И.М., Круглова Л.Н. Строение атома и периодическая система элементов. Ч. 2: методические указания к программированному контролю. – Омск: ОмГУПС, 2000. – 42 с.
16. Пелишенко Т.Г., Вишняков В.В., Клименко К.Э. Применение холодноплазменного хирургического метода в оториноларингологии // *Вестник оториноларингологии*. – 2009. – № 3. – С. 25–27.
17. Акберова Д.Р., Батыршина С.В. Папилломавирусная инфекция: современная диагностика и терапия // *Практическая медицина*. – 2012. – № 9 (65). – С. 168–169.
18. Новые клинико-фармакологические подходы к лечению эпидермальных проявлений папилломавирусной инфекции / Н.Г. Бердникова, Д.А. Фартух, В.Н. Иванова, В.Г. Сорокин // *Биомедицина*. – 2010. – Т. 1, № 1. – С. 56–68.
19. Особенности клинического течения, диагностика и подходы к терапипапилломавирусной инфекции в детском возрасте / Мазитова Л.П., Асламазян Л.К., Намазова Л.С., Шаипов Т.С. // *Педиатрическая фармакология*. – 2006. – Т. 3, № 6. – С. 51–54.
20. Современные возможности иммунопрофилактики злокачественных новообразований / В.М. Делягин, Е.П. Мацева, Ю.И. Будчанов, А. Уразбагамбетов // *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. – 2010. – № 6 (76), ч. 1. – С. 57–60.
21. Касихина Е.И. Рецидивирующие бородавки и латентная генитальная папилломавирусная инфекция у женщин: факторы риска, клиника и лечение // *Клиническая дерматология и венерология*. – 2011. – № 1. – С. 49–54.
22. Контрактура Дюпюитрена [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.med.ru/patient/diseases/466> (дата обращения: 11.04.2016).
23. Профилактика осложнений хирургического лечения контрактуры (болезни) Дюпюитрена / Р.О. Магомедов, Г.И. Микусев, И.Е. Микусев, Р.Ф. Байкеев, Р.Ф. Хабибуллин // *Практическая медицина*. – 2011. – № 7 (55). – С. 72–75.

24. Вишневский В.А. Контрактура Дюпюитрена кисти и ее медико-социальная экспертиза // Запорожский медицинский журнал. – 2014. – № 1 (82). – С. 9–12.

25. Плазменная медицина / Н.А. Жумантаева, Н.Д. Тургунова, О.И. Денекко, Е.В. Семичев // Перспективные направления развития атомной отрасли: сборник тезисов Конференции-школы молодых атомщиков Сибири, 4–6 октября 2011 г. – Томск, 2011. – С. 189–191.

26. Плазменная медицина / Н.А. Жумантаева, Н.Д. Тургунова, О.И. Денекко, Е.В. Семичев // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2012. – Т. 55, № 2/2. – С. 212–215.

27. Использование неравновесной плазмы в медицине / Н.А. Жумантаева, Н.Д. Тургунова, О.И. Денекко, Е.В. Семичев // Электронные приборы, системы и технологии: сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 14–18 ноября 2011 г. – Томск, 2011. – С. 122–125.

28. Воздействие неравновесной плазмы барьерного разряда при атмосферном давлении на живые ткани / Н.А. Жумантаева, Н.Д. Тургунова, О.И. Денекко, Е.В. Семичев // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник научных трудов IX Международной конференции студентов и молодых ученых, Томск, 24–27 апреля 2012 г. – Томск, 2012. – С. 107–109.

29. Жумантаева Н.А., Новоселова А.С. Разработка прибора для удаления тканей с помощью коблации // Современные техника и технологии: сборник трудов международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 18–22 апреля 2011. – Томск, 2011. – Т. 3. – С. 27–28.

30. Жумантаева Н.А., Алейник А.Н. Устройство, обеспечивающее возможность проведения холодно-плазменного удаления биологических тканей // Наука. Технологии. Инновации: материалы всероссийской научной конференции молодых ученых, г. Новосибирск, 2–6 декабря 2015 г. – Новосибирск, 2015. – С. 59–61.

Жумантаева Набат Абдесеновна, магистр физики, аспирант кафедры электронных приборов Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: разработка устройств медицинского назначения и медицинская физика. Опубликовано более 25 научных работ. Email: Nabat-ps@mail.ru

Алейник Александр Никанорович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной физики Физико-технического института Томского политехнического университета. Область научных интересов: ядерная электроника и медицинская физика. Опубликовано более 100 научных работ. Email: Aleinikan@mail.ru

Лисицына Лилия Ивановна, доктор технических наук, профессор кафедры электронных приборов Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: разработка устройств медицинского назначения. Опубликовано более 400 научных работ. Email: Lisitsinali@gmail.com

Педдер Валерий Викторович, кандидат технических наук, доцент, заслуженный изобретатель Российской Федерации, генеральный директор НПП «МетроМед». Область научных интересов: разработка технологических основ использования концентрированных источников энергии, создание инновационной био- и медицинской технологии для лечения заболеваний и разработка соответствующего оборудования для здравоохранения и биотехнологий. Опубликовано более 660 научных работ. Email: Metromed@mail.ru

The device for generating cold plasma in saline*

N.A. ZHUMANTAeva¹, A.N. ALEINIK², L.I. LISITSYNA³, V.V. PEDDER⁴

¹ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, post-graduate student. E-mail: nabat-ps@mail.ru

² National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenina Street, Tomsk, 634050, Russian Federation, PhD (Phys & Math), associate professor. E-mail: aleinik@tpu.ru

³ Novosibirsk State Technical University, 20 K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russian Federation, D.Sc. (Eng.), professor. E-mail: lisitcinali@gmail.com

⁴ Research and Production Company LLC METROMED, Dolgireva, 117A, Omsk, 644012, Russian Federation, PhD (Eng.), CEO. E-mail: metromed@mail.ru

The results of our studies on the development of devices for the formation of cold plasma (CP) in saline are reviewed and summarized. The literature review of existing devices for the formation of cold plasma is presented and it is shown that such devices are made primarily abroad and their price is quite high. In addition, the theory and practice of this process is insufficiently understood. Therefore, there exists a need in the development of such domestic devices. The purpose of this work is the development of a domestic device for the formation of CP discharges in saline and the investigation of its efficiency for CP removal of biological tissues (coblation). The advantages of Based on the biotissue coblation process some advantages of CP are formulated such as its sparing influence which makes it possible to cut and remove pathologically changed biological tissues, to reduce the healing time of wounds, to provide a low level of pain, and to minimize blood loss. It also provides fast hemostasis, excludes burn of tissues and their thermal degradation. A possibility of skin benign tumors removal (e.g. skin papillomas and Dupuytren's contracture) by CP is validated. The developed experimental device for research and optimization of electrical and technological parameters of the process which implements the method of CP formation in saline is described. The following factors are taken into account: increasing the operating frequency and using miniature electrodes for removing tissues of various sizes. The device consists of a power supply, a discharge assembly with an electrode system and an electronic unit which contains a control circuit, a pulse forming unit and a matching circuit. It is shown that the voltage output waveform of the developed device is in qualitative agreement with the results presented in the foreign literature. The experimental results of a coblation impact on biological tissue biopsy are presented which confirm the prospects of this method for removing benign skin neoplasms.

Keywords: Cold plasma device, experiment to obtain cold plasma, output voltage, results of experimental search, cold plasma coblation, benign tumors, Dupuytren's contracture

DOI: 10.17212/1814-1196-2016-1-35-48

REFERENCES

1. Aleinik A.N. *Plazmennaya meditsina* [Plasma medicine]. Tomsk, TPU Publ., 2011. 45 p.
2. Zhumantaeva N.A., Lisitsyna L.I., Pedder V.V., Aleinik A.N., Kondrashov A.Y. Justification of the possibility of using cold-plasma method in surgery of papillomatosis and Dupuytren's contracture. *16th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices (EDM 2015)*, Erlagol, Altai, Russia, 29 June – 3 July 2015, pp. 572–575. doi: 10.1109/EDM.2015.7184607
3. Zhulikov A.L., Malanin D.A. Primenenie metoda kholodnoplazmennoi ablastsii v travmatologii i drugikh oblastyakh khirurgii. *Novye metody v eksperimente i klinike* [Application of cold plasma ablation in trauma surgery and other areas. New methods in experiment and clinic]. *Byulleten' Volgogradskogo nauchnogo tsentra RAMN – Bulletin of Volgograd Research Center*, 2008, no. 1, pp. 59–61. (In Russian)

* Received 17 December 2015.

4. *Kholodno-plazmennaya koblatsiya* [Cold-plasma coblation]. Available at: <http://koleno21.ru/cartilage/coblation.html> (accessed 08.04.2016)
5. Filippov Yu.A. *Kholodnoplazmennaya tekhnologiya v artroskopii* [Cold plasma technology in arthroscopy]. Available at: <http://www.line2life.ru/site/oper/coldplaz> (accessed 08.04.2016)
6. *Elektrokhirurgicheskie apparaty (Kholodnoplazmennaya khirurgiya)* [Electrosurgical devices (Cold plasma surgery)]. Available at: http://www.sante.ru/product_info.php/?id=238 (accessed 08.04.2016)
7. Coblator II (ArthroCare, USA). (In Russian) Available at: <http://www.iris-m.ru/catalog/elektrokhirurgicheskie-apparaty/coblator-ii.html> (accessed 08.04.2016)
8. *Elektrokhirurgicheskii apparat Coblator II. Bazovyi blok* [Electrosurgical device Coblator II. The base block]. Available at: http://www.dealmed.ru/elektrokhirurgicheskij_apparat_coblator_ii.html (accessed 11.04.2016)
9. *Kholodnoplazmennoe oborudovanie. Kholodnoplazmennyi generator Quantum 2* [Cold plasma equipment. Cold plasma generator Quantum 2]. Available at: http://www.sante.ru/product_info.php/?id=269 (accessed 11.04.2016)
10. Woloszko J., Kwende M., Stalder K.R. Coblation in otolaryngology. *Proceeding of SPIE*, vol. 4949. *Lasers in Surgery: Advanced Characterization, Therapeutics, and Systems XIII*. Bellingham, 2003, pp. 341–352. doi: 10.1117/12.488349
11. Stalder K.R., Nersisyan G., Graham W.G. Spatial and temporal variation of repetitive plasma discharges in saline solutions. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2006, vol. 39, pp. 3457–3460. doi: 10.1088/0022-3727/39/16/S02
12. Woloszko J, Stalder K.R., Brown I.G. Plasma characteristics of repetitively-pulsed electrical discharges in saline solutions used for surgical procedures. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 2002, vol. 30, iss. 3, pp. 1376–1383. doi: 10.1109/TPS.2002.801612
13. Zhumantaeva N.A., Aleynik A.N. Razrabotka maketa pribora, obespechivayushchego kholodno-plazmennuyu koblatsiyu biologicheskikh tkanei [Development of the model device for cold-plasma coblation of biological tissues]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh* [Proceedings of national Russian research conference of young scientists "Science. Technology. Innovation"], Novosibirsk, Russia, 2–6 December 2014, pt. 7, pp. 23–26.
14. Stalder K.R., Ryan T., Woloszko J. Some physics and chemistry of coblation electrosurgical plasma devices. *Proceeding of SPIE*, vol. 8584. *Energy-based Treatment of Tissue and Assessment VII*. Bellingham, 2013, pp. 85840P12–85840P-12. doi: 10.1117/12.2007341
15. Zyryanova I.M., Kruglova L.N. *Stroenie atoma i periodicheskaya sistema elementov*. Ch. 2: metodicheskie ukazaniya k programmirovannomu kontrolyu [The structure of atoms and the periodic system of elements. Pt. 2. Methodical directions for programmed control]. Omsk, OmGUPS Publ., 2000. 42 p.
16. Pelishenko T.G., Vishnyakov V.V., Klimentko K.E. Primenenie kholodnoplazmennogo khirurgicheskogo metoda v otorinolaringologii [Application of plasma-mediated cold ablation]. *Vestnik otorinolaringologii – Bulletin of Otorhinolaryngology*, 2009, no. 3, pp. 25–27. (In Russian)
17. Akberova D.R., Batyrshina S.V. Papillomavirusnaya infektsiya: sovremennaya diagnostika i terapiya [Human papillomavirus infection: the modern diagnosis and therapy]. *Prakticheskaya meditsina – Practical medicine*, 2012, no. 9 (65), pp. 168–169. (In Russian)
18. Berdnikova N.G., Fartukh D.A., Ivanova V.N., Sorokin V.G. Novye kliniko-farmakologicheskie podkhody k lecheniyu epidermal'nykh proyavlenii papillomavirusnoi infektsii [New clinical and pharmacological approaches to the treatment of epidermal manifestations of papillomavirus infection]. *Biomeditsina – Biomedicine*, 2010, vol. 1, no. 1, pp. 56–68. (In Russian)
19. Mazitova L.P., Aslamazyan L.K., Namazova L.S., Shaipov T.S. Osobennosti klinicheskogo techeniya, diagnostika i podkhody k terapiipapillomavirusnoi infektsii v detskom vozraste [Peculiarities of clinical treatment, diagnostics and approaches to papilloma viral therapy in childhood]. *Pediatricheskaya farmakologiya – Pediatric pharmacology*, 2006, vol. 3, no. 6, pp. 51–54. (In Russian)
20. Delyagin V.M., Matsekha E.P., Budtchanov Yu.I., Urasbagambetov A. Sovremennyye vozmozhnosti immunoprofilaktiki zlokachestvennykh novoobrazovaniy [Present-day opportunities of immunoprophylaxis of malignant tumors]. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi Akademii meditsinskikh nauk – Bulletin of the East Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences*, 2010, no. 6 (76), pt. 1, pp. 57–60. (In Russian)
21. Kasikhina E.I. Retsidiviruyushchie borodavki i latentnaya genital'naya papillomavirusnaya infektsiya u zhenshchin: faktory riska, klinika i lechenie [Recurring warts and latent genital papillo-

mavirus infection in women: risk factors, clinical picture, and treatment]. *Klinicheskaya dermatologiya i venerologiya*, 2011, no. 1, pp. 49–54.

22. *Kontraktura Dyupyuitrena* [Dupuytren's contracture]. Available at: <http://www.med.ru/patient/diseases/466> (accessed 11.04.2016)

23. Magomedov R.O., Mikusev G.I., Mikusev I.E., Baikeev R.F., Khabibullin R.F. Profilaktika oslozhnenii khirurgicheskogo lecheniya kontraktury (bolezni) Dyupyuitrena [The prevention of complications of surgical treatment for Dupuytren's contracture (disease)]. *Prakticheskaya meditsina – Practical medicine*, 2011, no. 7 (55), pp. 72–75. (In Russian)

24. Vishnevskiy V.O. Kontraktura Dyupyuitrena kisti i ee mediko-sotsial'naya ekspertiza [Dupuytren's contracture of hand and its medical and social review]. *Zaporozhskii meditsinskii zhurnal – Zaporozhye Medical Journal*, 2014, no. 1 (82), pp. 9–12. (In Russian)

25. Zhumantayeva N.A., Turgunova N.D., Deneko O.I., Semichev E.V. [Plasma medicine]. *Perspektivnye napravleniya razvitiya atomnoi otrasli: sbornik tezisov Konferentsii-shkoly molodykh atomshchikov Sibiri* [Collection of theses the Conference of the School of young atomic scientists of Siberia "Perspective directions of development of the nuclear industry"], Tomsk, Russia, 4–6 October 2011, pp. 189–191.

26. Zhumantayeva N.A., Turgunova N.D., Deneko O.I., Semichev E.V. Plazmennaya meditsina [Plasma medicine]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Fizika – Russian Physics Journal*, 2012, vol. 55, no. 2/2, pp. 212–215. (In Russian)

27. Zhumantayeva N.A., Turgunova N.D., Deneko O.I., Semichev E.V. [The use of nonequilibrium plasma in medicine]. *Elektronnye pribory, sistemy i tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Proceedings of the all-Russian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists: "Electronic devices, systems and technology"], Tomsk, Russia, 14–18 November 2011, pp. 122–125.

28. Zhumantayeva N.A., Turgunova N.D., Deneko O.I., Semichev E.V. [Interaction of barrier discharge non-equilibrium plasma at atmospheric pressure with living tissue]. *Perspektivy razvitiya fundamental'nykh nauk: sbornik nauchnykh trudov IX Mezhdunarodnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh* [Proceedings of the IX International conference of students and young scientists "Prospects of fundamental Sciences development"], Tomsk, Russia, 24–27 April 2012, pp. 107–109.

29. Zhumantayeva N.A., Novoselova A.S. [Development of the device for removing tissue by using coblation]. *Sovremennye tekhnika i tekhnologii: sbornik trudov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Proceedings of the international scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists "Modern engineering and technologies"], Tomsk, Russia, 18–22 April 2011, vol. 3, pp. 27–28.

30. Zhumantaeva N.A., Aleynik A.N. [The device which provides the possibility of cold-plasma removal of biological tissues]. *Nauka. Tekhnologii. Innovatsii: materialy vserossiiskoi nauchnoi konferentsii molodykh uchenykh* [Proceedings of national Russian research conference of young scientists "Science. Technology. Innovation"], Novosibirsk, Russia, 2–6 December 2015, pp. 59–61.