

**Б. Е. ПАТОН**

Президент НАН Украины, директор Института электросварки им. Е. О. Патона, акад. НАН Украины

И. В. Кривцун — зам. директора Института электросварки им. Е. О. Патона, акад. НАН Украины

Г. С. Маринский — зав. отделом Института электросварки им. Е. О. Патона, д-р техн. наук

А. В. Чернец — ведущий науч. сотрудник Института электросварки им. Е. О. Патона, д-р техн. наук

И. Ю. Худецкий — ведущий науч. сотрудник Института электросварки им. Е. О. Патона, д-р техн. наук, проф.

Ю. Н. Ланкин — зав. отделом Института электросварки им. Е. О. Патона, д-р техн. наук

С. Е. Подпрятков — рук. отделения Киевского городского центра электросварочной хирургии и новейших технологий, д-р мед. наук

И. А. Сухин — зав. хирургическим отделением Узловой больницы № 1 ГТОО «Юго-западная железная дорога» (ст. Дарница)

ВЫСОКОЧАСТОТНАЯ СВАРКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖИВЫХ ТКАНЕЙ В ХИРУРГИИ

Кроме традиционных областей использования (для соединения и обработки конструкционных и функциональных материалов) сварка и родственные технологии находят все более широкое применение в медицине. В связи с этим использование новых методов сварки и обработки различных материалов, в том числе биологических тканей, в целях улучшения здоровья человека, а также среды его обитания в настоящее время является одним из приоритетных направлений научных исследований Института электросварки (ИЭС) им. Е. О. Патона НАН Украины. На сегодняшний день эти технологии включают:

- ✓ высокочастотную сварку живых тканей для соединения и восстановления жизнедеятельности органов человека и животных;
- ✓ гипертермические методы сварки, резки и обработки живых биологических тканей;
- ✓ использование материалов с эффектом памяти формы для изготовления имплантатов, протезов и специальных хирургических инструментов;
- ✓ микроплазменное напыление биокерамических покрытий на эндопротезы;
- ✓ парофазную электронно-лучевую технологию получения композиционных наноматериалов для целенаправленной транспортировки и усиления действия лекарственных препаратов в живом организме;
- ✓ пароплазменные технологии переработки медицинских отходов.

В данной работе мы остановимся на первых двух технологиях и рассмотрим результаты выполненных в последние годы в ИЭС им. Е. О. Патона исследований и разработок в области оборудования и процессов высокочастотной сварки, а также родственных технологий для соединения, резки, коагуляции и обработки живых биологических тканей.

Высокочастотная сварка живых тканей

Историю электрохирургии обычно связывают с открытием тепловых свойств электричества в начале XVIII в., а также с изобретением Беккерелем электроножа, в котором нагревался конец проволоки с последующим прижиганием тканей.

Первые свидетельства применения высокочастотного электрокоагуляционного оборудования в медицине связаны с именами d'Arsonval, Tesla, Cushing, Bovie и насчитывают уже более 100 лет. В течение многих лет выпускалась и совершенствовалась аппаратура, которая позволяла разрушать опухоли, удалять поврежденные ткани, коагулировать поверхности ран и др. В настоящее время на мировом рынке представлены многочисленные высокочастотные электрохирургические аппараты, выпускаемые такими ведущими производителями, как Valleylab (подразделение компании Tyco Healthcare, США), Ethicon (подразделение компании Johnson&Johnson, США), KLS Martin Group и ERBE (Германия) и др. [<http://valleylab.com/product/es>; <http://ethicon.com/emea/ua/healthcare-professionals>; <http://klsmartin.com/products/electrosurgery>; <http://erbe-med.com/de/medical-technology/public/>

products/electrosurgery]. Выпускают подобные аппараты и в Украине, например ЗАО «НИИ прикладной электроники», г. Киев [<http://nii-prikladnoj-elektroniki.uaprom.net>]. Однако решить проблемы получения надежных соединений живых биологических тканей и восстановления жизнедеятельности органов человека и животных методами электрохирургии стало возможным только в последние годы с использованием технологии высокочастотной сварки. Именно сварка живых тканей стала приоритетом в совместной работе специалистов ИЭС им. Е. О. Патона с рядом медицинских учреждений Украины, начатой еще в начале 1990-х годов.

Метод высокочастотной сварки живых тканей (ВЧ СЖТ), разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона в тесном сотрудничестве с Международной ассоциацией «Сварка», компанией CSMG (США) и ведущими медицинскими организациями Украины, показал свою эффективность и используется в медицинской практике уже более 10 лет.

За это время освоено более 150 различных хирургических методик и успешно выполнено свыше 100 тыс. хирургических операций в таких областях, как общая и абдоминальная хирургия, травматология, пульмонология, проктология, урология, маммология, оториноларингология, гинекология, офтальмология и др. По отзывам хирургов [21], данный метод весьма перспективен при трансплантации различных органов. По нашей оценке, на сегодняшний день в Украине на аппаратах, разработанных в ИЭС им. Е. О. Патона, выполняется в среднем от 15 до 20 тыс. операций в год. Безусловным лидером является Донецкий противоопухолевый центр (руководитель Г. В. Бондарь) [2].

Также очень перспективно использование новой техники и технологии в ветеринарии: как для проведения хирургического лечения и хирургической обработки домашних и диких животных (удаление опухолей, кастрация и пр.), так и для осуществления санитарной обработки городов (стерилизация бродячих животных) [27].

Метод ВЧ СЖТ обеспечивает:

- ✓ бескровное, быстрое, удобное для хирурга и малотравматичное для пациента выполнение оперативных вмешательств, надежный гемостаз;
- ✓ снижение кровопотерь более чем на 50 %;
- ✓ сокращение продолжительности операций на 20—50 %;
- ✓ высокую абластичность проведения операций;
- ✓ отсутствие нагноений;
- ✓ быструю и полноценную послеоперационную реабилитацию;
- ✓ возможность хирургического лечения больных, которые считались неоперабельными.

Это подтверждено многочисленными отзывами ведущих хирургов, а также неоднократно отмечалось в докладах, представленных на конференциях по сварке живых тканей, регулярно проводимых в ИЭС им. Е. О. Патона [13; 24; 25].

Для дальнейшей интенсификации работ в области электросварки живых тканей и в соответствии с совместным решением Главного управления здравоохранения и медицинского обеспечения Киевской городской госадминистрации, Национальной академии наук Украины, Национальной академии медицинских наук Украины и Национальной медицинской академии последипломного образования имени П. Л. Шупика в 2011 г. на базе Киевской городской клинической больницы № 1 был создан Киевский городской лечебный учебно-внедренческий центр электросварочной хирургии и новых хирургических технологий (руководитель С. Е. Подпрятков) [<http://zvarka.org>].

Ареал распространения аппаратов конструкции ИЭС им. Е. О. Патона для ВЧ СЖТ (около 150 аппаратов различных модификаций) охватывает практически все регионы Украины, а также некоторые страны ближнего и дальнего зарубежья. Есть наши аппараты в Российской Федерации и Болгарии. Недавно первая партия аппаратов была поставлена в Китай. Проявляют интерес к нашим разработкам такие страны, как США, Индия, Вьетнам, Польша, Македония, страны Балтии и др.

В последние годы западные производители в перечне функциональных возможностей своего оборудования также начали употреблять термин «сварка» [<http://erbe.ru/produktsiya/vessel-sealing>]. Следует, однако, отметить, что эта функция в основном относится лишь к процедуре перекрытия сосудов, а по количеству и разнообразию хирургических методик с использованием высокочастотной электросварки Украина, безусловно, является мировым лидером [28].

Практической основой для реализации процесса ВЧ СЖТ, как и любой другой технологии, служат соответствующие оборудование и инструментарий. Начиная с первых аппаратов, разработанных еще в середине 1990-х годов, в ИЭС им. Е. О. Патона создана различная аппаратура для осуществления такого процесса [12].

Сегодня ИЭС им. Е. О. Патона выпускает и предлагает на рынке аппараты ЕК-300М1 различных модификаций (разработки прошлых лет) и новый аппарат ЕКВЗ-300 под торговой маркой **ПАТОНМЕД®** (рис. 1) [6].

Универсальный аппарат ЕКВЗ-300 прошел клинические испытания, государственную регистрацию и успешно используется в хирургической практике более чем 20 медицинских учреждений Украины. Эти аппараты были поставлены в Китай для оценки и демонстрации



Рис. 1. Универсальный аппарат для сварки живых тканей EKV3-300 «Патонмед»

нового метода, что должно послужить основой для совместного производства данной аппаратуры для китайского рынка, а также рынков других стран.

В аппарате EKV3-300 собран опыт, накопленный в ходе эксплуатации ранее разработанного оборудования, и, по возможности, учтены рекомендации и предложения хирургов различных специальностей. EKV3-300 обеспечивает работу в следующих режимах: резка, коагуляция, автоматическая сварка. Имеется широкая возможность выбора алгоритмов работы и рабочих параметров процесса в зависимости от видов операций и требований хирургов. Проводятся адаптация, изменение и ввод дополнительных программ по желанию пользователя. Аппарат работает на двух рабочих частотах: 66 и 440 кГц с контролируемой мощностью. Предусмотрено одновременное подключение двух инструментов по выбору хирурга. Аппарат комплектуется базовым набором электрохирургических инструментов (пинцеты и зажимы). Возможна комплектация дополнительными инструментами для открытой и лапароскопической хирургии.

Данный аппарат работает со всеми инструментами для ВЧ СЖТ, созданными в ИЭС им. Е. О. Патона на сегодняшний день. Он успешно испытан при проведении операций в различных областях хирургии, включая общие полостные операции, пульмонологию, урологию, маммологию, офтальмологию и др. Проводятся операции с выполнением сварки (перекрытия) сосудов, резекции легких и печени, удаления почки, кишечного анастомоза и др.

В Научно-техническом комплексе (НТК) «Институт электросварки им. Е. О. Патона» создано производство (рис. 2), которое позволяет полностью удовлетворить потребности Украины в данном виде оборудования, в том числе с возможностью его поставок на экспорт.

Дальнейшее развитие оборудования для сварки живых тканей, состоящего из собственно аппарата (электронного блока) и соответствующего инструментария с соединительными кабелями, прежде всего связано с совершенствованием самих аппаратов, повышением их надежности, эргономичности, удобства в рабо-



а



б

Рис. 2. Участок производства аппаратов для высокочастотной сварки живых тканей в НТК «Институт электросварки им. Е. О. Патона»: *а* — входной контроль и наладка элементов и узлов; *б* — сборка и программирование аппаратов

те и обслуживании, адаптации к потребностям хирургов. На данном этапе требуется разработка нового программного продукта, ориентированного на отдельные хирургические методики и потребности пользователей, а также новых систем автоматического управления процессом; необходимо создание нового специализированного оборудования для отдельных областей хирургии (офтальмология, сердечно-сосудистая хирургия, нейрохирургия и пр.) [12].

Кроме того, необходима разработка мобильных систем, предназначенных для автономной работы (станции скорой медицинской помощи, санитарная авиация, медицина катастроф и пр.). Прототипом такого оборудования могут служить новые, созданные на базе EKV3-300, аппараты EKV3-300М (рис. 3, *а*) и EKV3-300МДУ (рис. 3, *б*) [12].

Не менее важной составляющей оборудования для ВЧ СЖТ является соответствующий инструментарий. На сегодняшний день разра-



а



б

Рис. 3. Универсальные мобильные аппараты для высокочастотной сварки живых тканей со встроенным (а) и выносным (б) пультом управления

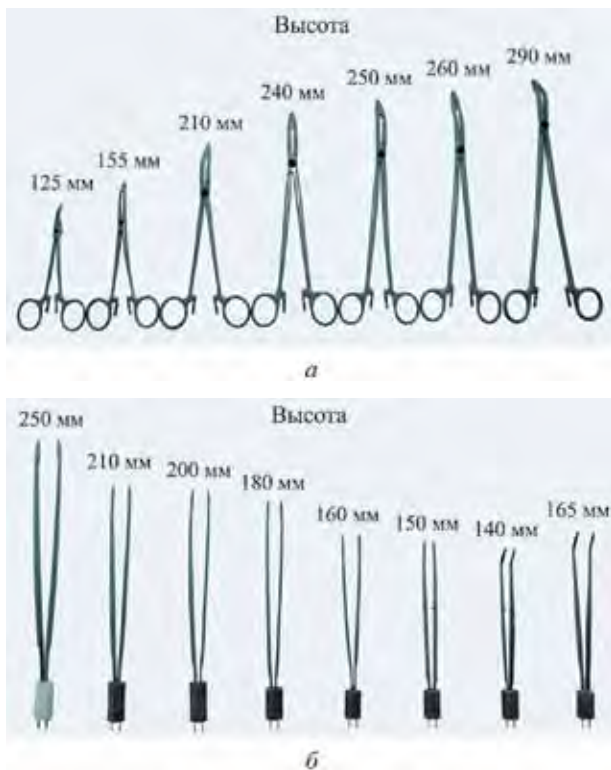


Рис. 4. Базовые инструменты для высокочастотной сварки живых тканей: а — биполярные электрохирургические зажимы; б — пинцеты

ботаны и выпускаются в кооперации с нашими партнерами многие типы электросварочных хирургических инструментов, в основном базовых (рис. 4).

Все более широко используются и инструменты различного типа для лапароскопической хирургии (рис. 5).

Кроме базовых на практике применяются и различные специализированные инструменты. В качестве примера здесь можно привести многочисленные инструменты, разработанные для нужд оториноларингологии (рис. 6) [10].

К сожалению, следует отметить, что несмотря на определенные успехи, разработка и выпуск нового инструментария в необходимых номенклатуре и объемах все еще не удовлетворяют существующих потребностей.

Одновременно с разработкой оборудования в ИЭС им. Е. О. Патона в тесном контакте с ведущими медицинскими и научно-техническими учреждениями Украины и других стран непрерывно ведутся работы по исследованию поведения различных типов живых тканей при прохождении через них тока высокой частоты, разработке на основании данных исследований новых алгоритмов работы оборудования и созданию новых хирургических методик.

В результате исследований, проведенных совместно с Киевским центром электросварочной хирургии (С. Е. Подпратов и С. Г. Гичка), впервые



Рис. 5. Инструменты для лапароскопической хирургии: а — биполярные лапароскопические зажимы; б — щип-«ложка»; в — гибкий эндоскопический инструмент

установлены особенности реструктуризации живых тканей и образования сварного соединения при воздействии проходящего через них высокочастотного тока [26]. Определены следующие фазы реструктуризации:

1. Отделение токопроводящих структур (белков или их комплексов в составе коллагеновых и мышечных волокон, мембран тканей и внутриклеточных органелл) от токонепроводящих (жиров, глюкозаминогликанов как в межклеточном пространстве, так и внутри клетки).



Рис. 6. Инструменты для высокочастотной сварки в оториноларингологии

2. Переориентация токопроводящих структур вдоль направления прохождения тока, а токонепроводящих — поперек.

3. Образование щелей между токопроводящими структурами одновременно с возникновением их волнистости.

4. Сближение токопроводящих структур и их слияние друг с другом с образованием однородной массы, которая и является электросварочным швом.

В качестве примера на рис. 7 показаны изменения структуры, происходящие в стенке артерии при ее перекрытии.

Совместно с российскими организациями — Институтом теоретической и экспериментальной биофизики РАН и Институтом биофизики клетки РАН (г. Пущино), а также НИЦ «Курчатовский институт» (г. Москва) — методом рентгеновской дифракции с использованием синхротронного излучения исследовано влияние высокочастотной электрохирургической сварки на структуру различных биологических тканей. На основе полученных экспериментальных и клинических данных продемонстрирована возможность ткани, подвергнутой действию высокочастотной сварки, поддерживать свою жизнеспособность, восстанавливать физиоло-

гические свойства и функции за счет процессов регенерации.

Отработанные в процессе многолетней клинической практики рабочие режимы электросварочного воздействия в физиологическом диапазоне позволили зарегистрировать следующие структурные события на молекулярном и наноструктурном уровнях. В частности, показано, что при высокочастотной сварке более лабильные глобулярные белки претерпевают тепловую денатурацию: повышение температуры вызывает структурный переход типа «глобула— клубок», в результате чего формируются клееподобные субстанции. Метод склеивания широко распространен в хирургии; для этого используются специализированные медицинские клеи или белковые препараты, которыми покрывают места соединения поврежденных структур (например, альбумином при лазерной коагуляции). Преимущество метода ВЧ СЖТ в том, что удается избежать присутствия инородного материала и проблем иммунной несовместимости [3].

В последние годы в ИЭС им. Е. О. Патона проведены исследования процесса высокочастотной сварки мягких биологических тканей как объекта автоматического регулирования. Выполнены многочисленные эксперименты с записью и компьютерной обработкой электрических и физических параметров процесса ВЧ СЖТ. Показано, что при прохождении электрического тока через ткань между электродами температура ткани в центре сварного соединения быстро повышается до температуры коагуляции белков и денатурации клеток — 60 °С, при этом электрическое сопротивление ткани снижается в 2,5—3 раза. Затем температура постепенно повышается до 150—180 °С.

Происходит обезвоживание ткани с увеличением ее сопротивления. Вследствие этого поля электрического сопротивления, электрического тока и температуры становятся неоднородными. Ток преимущественно протекает по участкам с более низким в данный момент со-

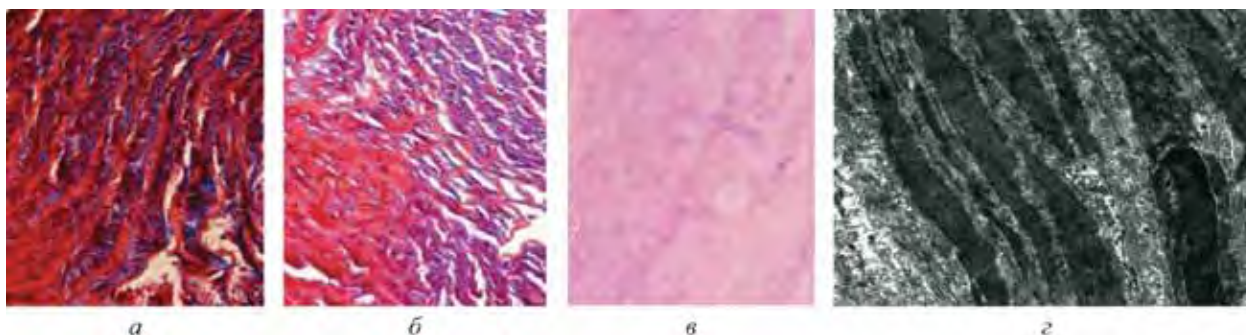


Рис. 7. Изменения структуры, происходящие в стенке артерии при ее перекрытии: а — переориентация токопроводящих структур вдоль направления прохождения тока, а токонепроводящих — поперек; б — образование щелей и волнистости; в, г — сближение и слияние токопроводящих структур, образование однородной массы — сварного соединения

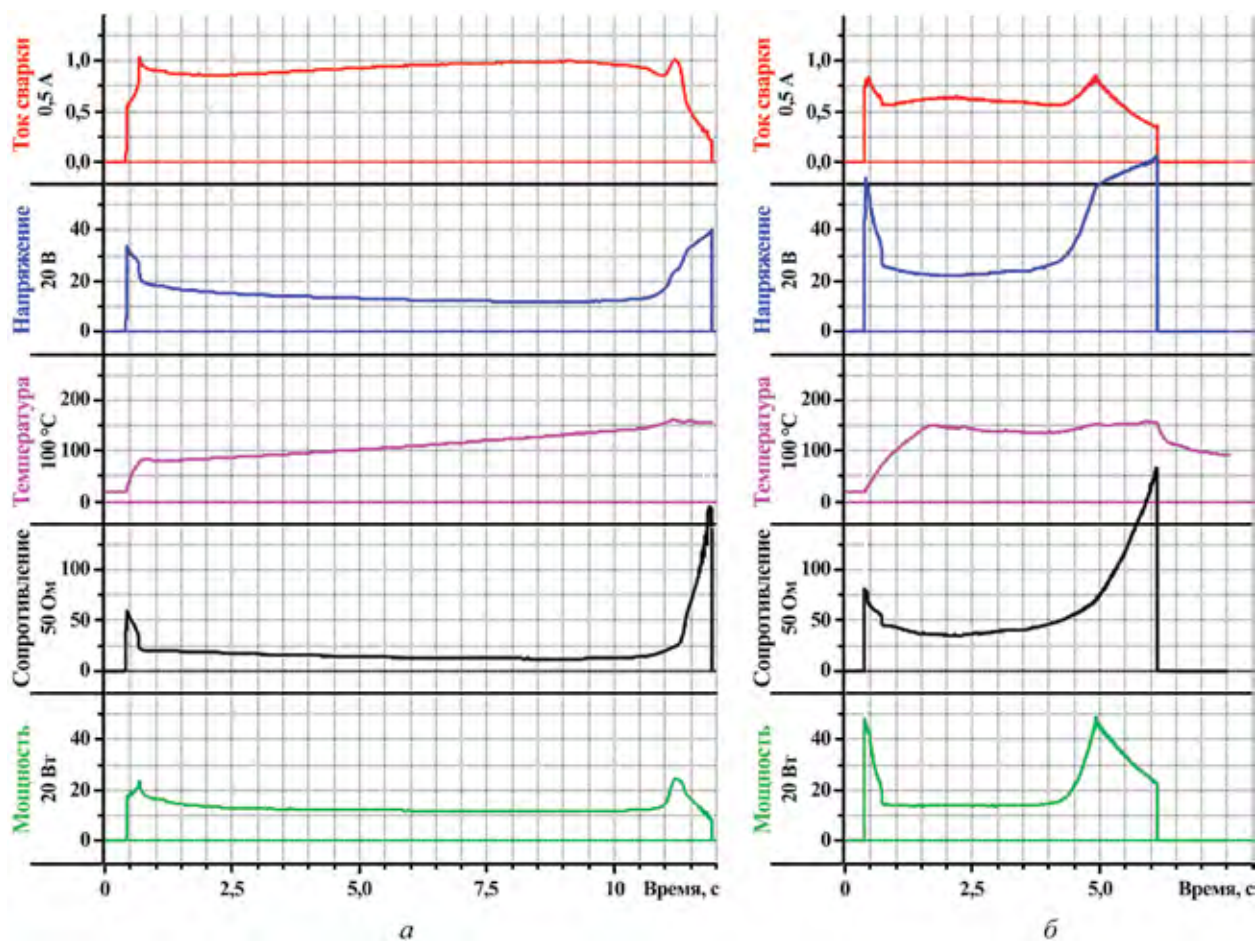


Рис. 8. Осциллограммы средних значений сварочного тока и напряжения, температуры в центре сварного соединения, электрического сопротивления ткани между электродами, мощности, определяемой в свариваемой ткани: а — кишечник; б — мышечная ткань

противлением. Когда вся ткань между электродами полностью обезвоживается, ее интегральное сопротивление резко возрастает, что является признаком гарантированно сформированной сварной точки и сигналом к окончанию сварки. Дальнейший нагрев приводит лишь к нежелательной карбонизации ткани.

На основе полученных представлений о физических процессах, протекающих при сварке, разработана математическая модель сварки мягких биологических тканей. Выявлены физические и соответствующие им электрические показатели (рис. 8), свидетельствующие об окончании формирования качественного сварного соединения. В соответствии с этой моделью разработан алгоритм автоматического регулирования процесса сварки, обеспечивающий гарантированное получение сварного соединения в широком диапазоне изменения свойств свариваемой ткани.

Разработан принципиально новый сварочный аппарат, реализующий этот алгоритм. Параметры режима сварки в нем устанавливаются и поддерживаются автоматически в результате идентификации системой типа ткани, ее состо-

яния и т. п. По желанию хирург имеет возможность устанавливать интенсивность режима сварки — «жесткий» или «мягкий» режим.

Эти и другие исследования легли в основу разработки новых алгоритмов работы аппаратов для сварки живых тканей, один из которых схематически представлен на рис. 9. В результате использования предложенного алгоритма достигается оптимальное воздействие высокочастотного тока на оперируемую ткань, что в конечном результате приводит к получению высококачественного соединения [7]. Конкретные параметры назначаются исходя из конкретных условий проведения хирургических вмешательств.

Как конкретный результат применения новых алгоритмов работы можно отметить следующее. Вместе с врачами Киевского центра электросварочной хирургии с использованием стандартных аппарата ЕКВЗ-300 «Патонмед» и инструментария в клинике выполнено перекрытие артерий диаметром до 8 мм и вен диаметром до 11 мм [http://zvarka.org]. Впервые достигнуто формирование электросварного шва паренхимы печени. Получены позитивные

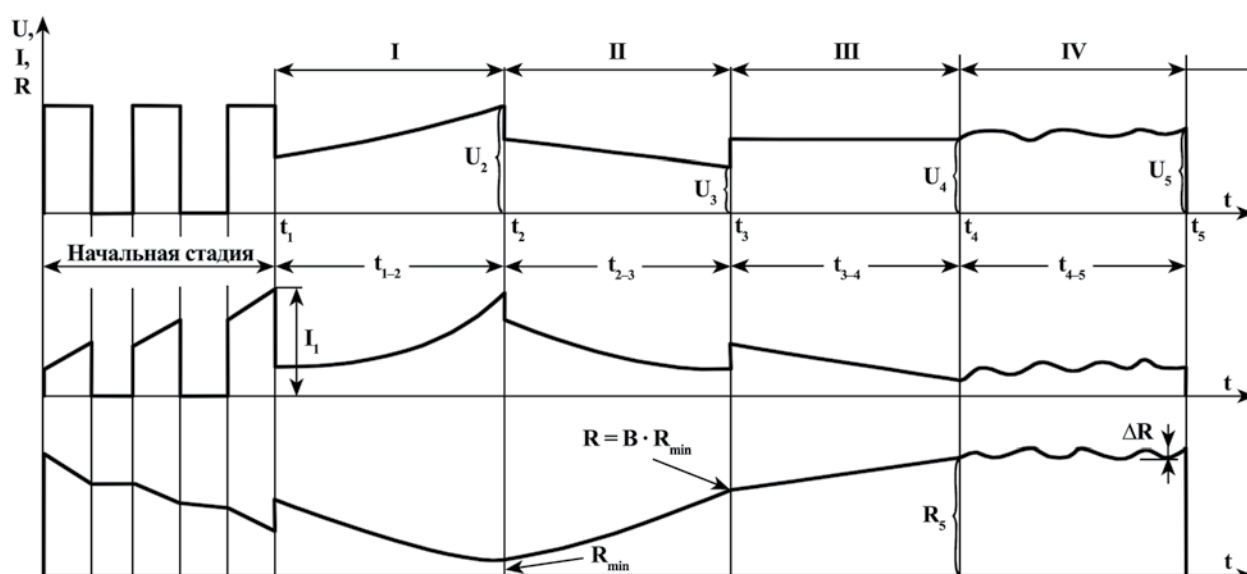


Рис. 9. Типовой алгоритм сварки живой ткани [7]

результаты при лечении сахарного диабета хирургическим путем с использованием технологии электросварки живых тканей в открытом и лапароскопическом вариантах. Отработана и успешно применяется на практике новая технология позадилобковой простатэктомии при хирургическом лечении аденомы предстательной железы [30]. Данная технология обладает множеством преимуществ по сравнению с существующей, что позволяет охарактеризовать ее как одну из наиболее перспективных при лечении этого весьма распространенного заболевания.

Достаточно перспективным представляется использование методов высокочастотной электросварки в кардиохирургии. Для расширения возможностей ее применения в указанной области хирургии и разработки соответствующего оборудования был создан Межведомственный центр сердечно-сосудистой инженерии, в который вошли специалисты ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Национального института сердечно-сосудистой хирургии (НИССХ) им. Н. М. Амосова НАМН Украины и Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

В рамках данного Центра ведутся работы по созданию специализированных аппаратуры, инструментария и технологий: кардиохирургического инструментария для трансмуральной абляции проводящих путей сердца, диатермокоагуляции тканей и остановки кровотечений; инструментария для проведения кардиохирургических операций с одновременными резкой и коагуляцией ткани и др. [4]. Разработаны опытные образцы указанных инструментов, которые успешно прошли предварительные испытания (рис. 10) [8].

Планируются работы по дальнейшему совершенствованию аппаратуры и инструмента в соответствии со спецификой сердечно-сосудистой хирургии, а также разработка и внедрение новых методик операционных вмешательств на базе НИССХ им. Н. М. Амосова и других кардиохирургических учреждений Украины.

Отдельно следует отметить работы по сварке живых тканей в офтальмологии, проводимые совместно со специалистами Института глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова НАМН Украины (г. Одесса). Так, совместно созданная технология приваривания сетчатки в настоящее время является одной из наиболее эффективных. На сегодняшний день в офтальмохирургической практике указанного института высокочастотная электросварка используется достаточно широко [14; 15; 29].

В частности, ВЧ СЖТ применяется во время энуклеации (удаление глазного яблока) у больных с внутриглазными новообразованиями, злокачественной вторичной неоваскулярной глаукомой и др. В режиме «Резка» выполняется отсечение прямых мышц глазного яблока от склеры, пересечение сосудисто-нервного пучка, в режиме «Сварка» — адаптация краев конъюнктивного разреза.

В хирургии сетчатки и стекловидного тела электросварка применяется у больных с отслойкой сетчатки, диабетической ретинопатией, которая является одним из наиболее тяжелых осложнений сахарного диабета, и внутриглазными новообразованиями.

При операциях используются оригинальные параметры модифицированных для офтальмологии аппаратов конструкции ИЭС им. Е. О. Патона и совместно разработанные оригинальные инструменты (рис. 11).

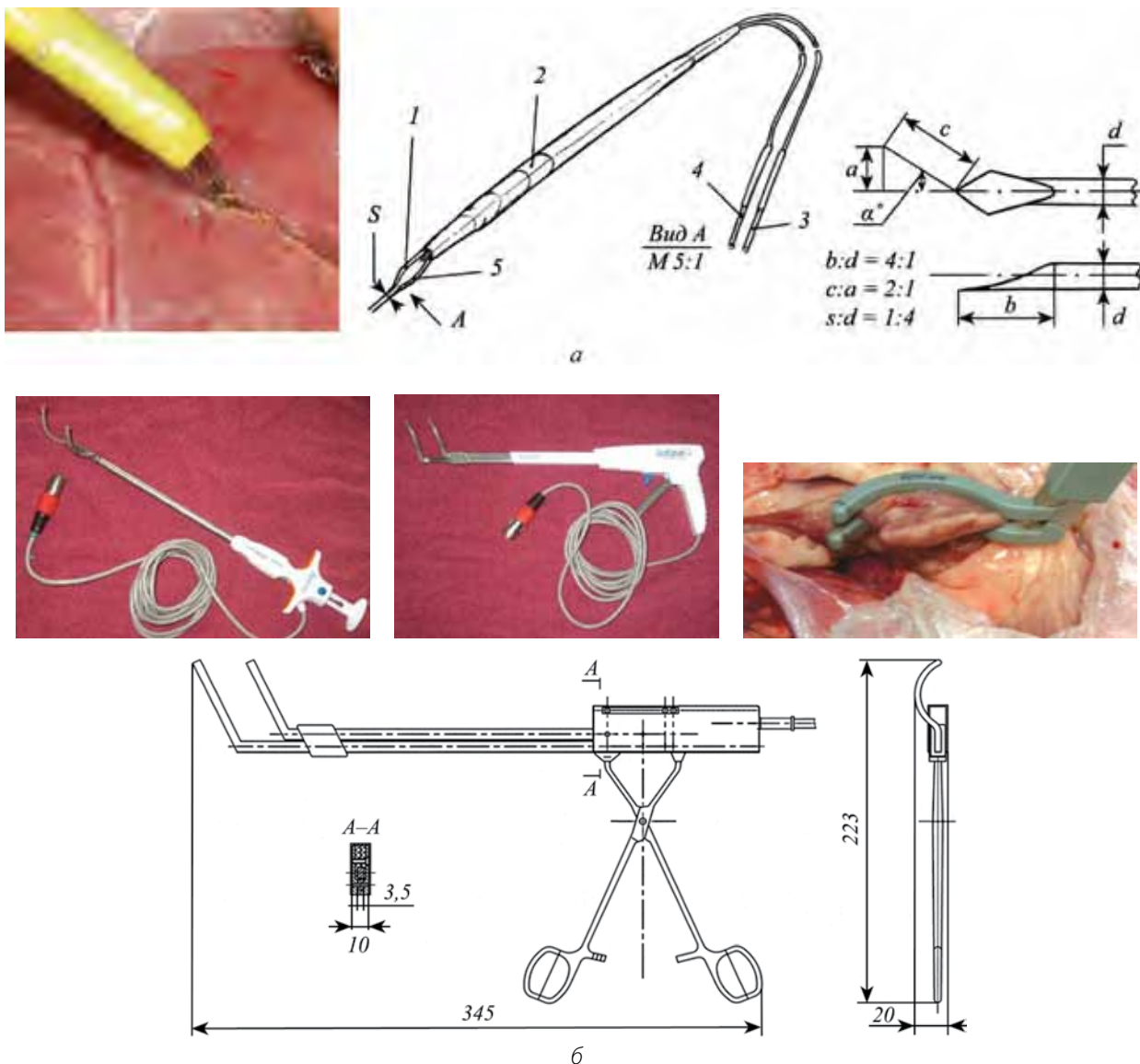


Рис. 10. Опытные образцы инструментов для проведения кардиохирургических операций: а — биполярный высокочастотный электронож для выполнения операций с одновременными резкой и коагуляцией ткани; б — биполярный зажим для трансмуральной абляции проводящих путей сердца

Кроме того, выполняются экспериментальные исследования по следующим направлениям:

- ✓ девитализация злокачественных новообразований сосудистой оболочки. Новый метод позволит повысить эффективность лечения больных со злокачественными внутриглазными новообразованиями за счет повышения качества абластики;
- ✓ трабектомия. Электросварка даст возможность повысить эффективность лечения больных вторичной неоваскулярной глаукомой вследствие повышения качества гемостаза при пересечении трабекулы;
- ✓ хирургия роговицы (послойная кератопластика). ВЧ СЖТ позволит повысить качество послойной пересадки роговицы в результате бесшовной фиксации роговичного трансплантата.

Одновременно в ИЭС им. Е. О. Патона успешно проводились и продолжают работы по другим направлениям использования ВЧ СЖТ и



Рис. 11. Инструмент для высокочастотной сварки в офтальмологии

родственных технологий в медицине. К их числу относятся методы бесконтактной термохирургии. Представим эти работы более подробно.

Гипертермические методы сварки, резки и обработки живых тканей

В 2001 г. сотрудники КБ «Южное» и ИЭС им. Е. О. Патона совместно разработали плазменный хирургический комплекс «Плазмамед». Тем самым было положено начало развитию в Украине новой отрасли медицины — бесконтактной гипертермической хирургии.

На первом этапе была создана аппаратура, которая с помощью струи низкотемпературной аргоновой плазмы способна осуществлять резку паренхиматозных тканей и остановку внутриранных кровотечений. Получена положительная медико-техническая оценка данной аппаратуры и разработана методика плазменной сварки живых тканей кишечника и желудка, а также способ соединения краев ран паренхиматозных органов.

В ходе этих исследований специалисты ИЭС им. Е. О. Патона совместно с Национальным институтом хирургии и трансплантологии имени А. А. Шалимова разработали способ и аппаратуру для конвекционно-инфракрасной обработки и сварки живых тканей. Этот способ отличается

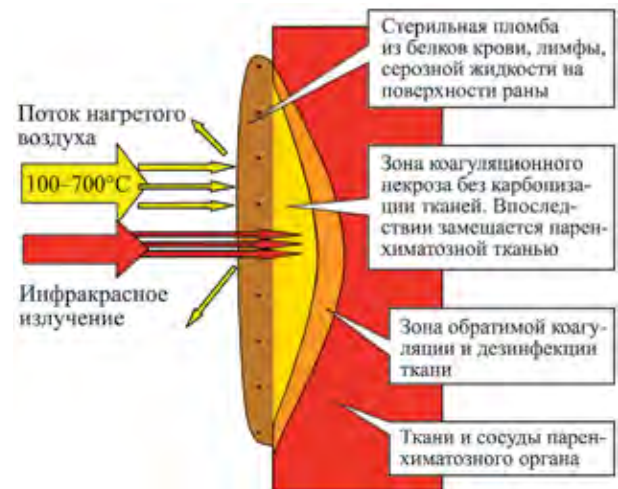


Рис. 12. Основные эффекты бесконтактного взаимодействия конвекционно-инфракрасных потоков тепла и живых тканей

простотой, доступностью созданной для него аппаратуры, а также использованием вместо аргона окружающего воздуха. Новизна разработок подтверждена патентами Украины [16 — 20]. Данный способ обеспечивает надежный гемостаз, возможность формирования пленок коагулированной крови на поверхности ткани, отсутствие термического поражения паренхимы органа, воз-



а



б



в



г

Рис. 13. Аппараты конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей: а — ТПБ-65; б — ТПБ-65Б; в — ТПБ-65Бк; г — ТПБ-65Авт



Рис. 14. Аппараты конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей для стационарных операций: а — ТПБ-180; б — ТПБ-180Б; в — ТПБ-180^{UPS}; г — ТПБ-200^{BCH}

возможность безопасной работы в области крупных сосудов и полых органов (рис. 12).

Проведены проверки основных конструктивных и программных решений для этой аппаратуры. Созданы и испытаны опытные образцы аппаратов конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей и инструментов к ним. Для использования в полевых условиях разработаны такие аппараты, как полнофункциональный ТПБ-65, бюджетный ТПБ-65Б, автомобильный ТПБ-65Авт, беспроводной ТПБ-65Ак (рис. 13), для стационарных операций — полнофункциональный ТПБ-180, бюджетный ТПБ-180Б, полнофункциональный со встроенным блоком бесперебойного питания ТПБ-180^{UPS} (рис. 14).

Большинство аппаратов могут работать автономно или использовать в качестве источников питания бортовую сеть автомобиля, полевые электростанции, а аппарат ТПБ-200^{BCH} также может выполнять манипуляции высокочастотной резки и коагуляции живых тканей. Доклинические исследования данной аппаратуры и методик ее применения проведены на базе Национального института хирургии и трансплантологии им. А. А. Шалимова с участием специалистов Украинской военно-медицинской академии и хирургов Узловой больницы № 1 ГТОО ЮЗЖД.

Результаты исследования конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей в хирургии показали перспективность этого метода, особенно при оперативных вмешательствах, сопровождающихся инфекционными осложне-

ниями. Данный метод был модифицирован для остановки кровотечений и профилактики развития инфекции при огнестрельных ранениях (рис. 15) [32].

Установлена высокая эффективность метода независимо от конкретной аппаратной реализации при остановке кровотечений из сосудов диаметром до 3 мм, при кровотечениях из поврежденных паренхиматозных органов, губчатых костей, санации инфицированных и хронических гнойных ран [5; 23].

В качестве материала для инфицирования в опытах на лабораторных животных (крысы, кролики, свиньи) применялась смесь устойчивых к антибиотикам культур микроорганизмов (клинических штаммов), состоящая из кишеч-



Рис. 15. Хирургическая обработка инфицированной огнестрельной раны конвекционно-инфракрасным потоком

ной палочки, пневмонийной клебсиеллы, синегнойной палочки, золотистого стафилококка, фекального энтерококка, грибка рода *Candida*. Конвекционно-инфракрасный метод обработки ран успешно прошел доклинические испытания. По мнению многих ведущих хирургов, целесообразно его широкое внедрение в хирургическую практику. В настоящее время выполнено более 200 оперативных вмешательств с использованием метода конвекционно-инфракрасной обработки ран и остановки паренхиматозных кровотечений.

С помощью такой аппаратуры можно оказывать первую врачебную помощь пострадавшим в авариях и катастрофах как в полевых условиях, в непосредственной близости от места получения травмы, так и в стационарах. Она существенно повышает эффективность специализированной и высокоспециализированной хирургической помощи, особенно при политравме и хирургических вмешательствах, сопровождающихся инфекционными осложнениями [1; 11]. Конвекционно-инфракрасная технология позволяет провести остановку кровотечения из паренхиматозных органов, губчатых костей и сосудов диаметром



Рис. 16. Остановка кровотечения с помощью конвекционно-инфракрасного коагулятора и санация инфицированной раны после ампутации фаланги пальца

1—3 мм, санацию инфицированных и хронических гнойных ран, профилактику гнойной инфекции при боевых травмах, сварку тканей органов пищеварительной системы, коагуляцию тканей для бескровного их рассечения, профилактику рецидивов и развития метастазов при удалении опухолей (рис. 16).

Наряду с указанными способами применения данного метода сварки и обработки живых тканей начата разработка гипертермического метода для уничтожения злокачественных опухолей и метастазов, что является актуальным и перспективным направлением исследований.

Создание многофункциональных аппаратов, сочетающих процессы высокочастотной сварки и конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей, — одна из важных задач при разработке и внедрении нового поколения электротермохирургического оборудования. Первые макетные образцы такого оборудования на базе ЕК-300М1 (рис. 17) сейчас проходят всесторонние клинические испытания. Разработаны макетные образцы конвекционно-инфракрасных инструментов для аппарата ЕКВЗ-300 «ПАТОНМЕД». Таким образом, большинство высокочастотных аппаратов для сварки живых тканей будут иметь функции и конвекционно-инфракрасной обработки. По отзывам хирургов, сочетание обоих методов в одном многофункциональном аппарате позволяет выполнять с его помощью до 80 % стандартных хирургических манипуляций [22; 31].

Еще одним высокоперспективным направлением работ ИЭС им. Е. О. Патона является разработка комплексных медицинских технологий, направленных на решение отдельно взятых медицинских проблем, таких как реконструктивно-восстановительная хирургия, кардиососудистая хирургия, офтальмология [9]. Решение этих проблем не лежит в одной плоскости. Они требуют привлечения специалистов различных направлений, отделов и институтов.

Проблема реконструктивно-восстановительной хирургии охватывает материалы, техно-



Рис. 17. Многофункциональные аппараты для высокочастотной сварки и конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей на базе ЕК300М1

логии, аппаратуру, хирургические методики, используемые в ортопедии, травматологии, челюстно-лицевой хирургии, стоматологии для повышения эффективности оперативных вмешательств, сокращения сроков восстановления целостности и функций опорно-двигательного аппарата. Отдельные направления касаются также протезирования, онкологии, нейрохирургии и вертебрологии (в частности, восстановления целостности костей, межпозвоночных дисков, обеспечения подвижности позвоночника).

Например, в ходе оперативного вмешательства по поводу открытых переломов для получения операционного доступа, остановки кровотечения из крупных сосудов, сваривания отдельных элементов мягких тканей используют ВЧ СЖТ. Санацию первично инфицированной раны и остановку кровотечения из губчатых костей проводят с помощью конвекционно-инфракрасного коагулятора. Для остеосинтеза используют композиты титана, элементы из биоактивной керамики — биоситала, гидроксиапатитов, β -трикальций-

фосфата. Они образуют костно-керамический блок, который постепенно замещается полноценной костью. Специальные технологии заполнения дефектов кости гидроксиапатитами с остеокондуктивными и остеоиндуктивными добавками, полученными с помощью нанотехнологий, позволяют существенно ускорить процесс восстановления кости в зоне перелома.

Комплексное использование термохирургических технологий и новых материалов для остеосинтеза и протезирования дает возможность проводить одноэтапные реконструктивные операции без необходимости извлечения элементов остеосинтеза после восстановления кости.

Перечисленные преимущества новых процессов сварки, резки и термической обработки живых биологических тканей позволяют прогнозировать их широкое применение. В перспективе, по нашему убеждению, аппараты для высокочастотной сварки и конвекционно-инфракрасной обработки живых тканей должны стать неизменным атрибутом каждой операционной.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бесконтактная конвекционно-инфракрасная технология для термохирургии / I. Khudetskyu, I. Krivtsun, J. Furmanov, I. Suchin // The Proceedings Book chronicles materials of the SPECIAL FORUM & EXHIBITION on BEST OF EAST-FOR EASTERN PARTNERSHIP Challenges and Opportunities for Collaboration European Union — Poland — Eastern Europe Countries November 28—30, 2011, Warsaw, Poland, and 4th International Science and Technology Days Poland-East, April 12—14, 2011, Bialowieza, Poland. — Innovative Eastern Poland Association, ORGMASZ, Bialystok, 2012. — P. 37—47.
2. Бондарь Г. В. Расширение показаний к применению электросварочного комплекса мягких тканей в онкохирургии / Г. В. Бондарь // Доклад на Шестом междунар. семинаре [«Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития»]. — К., 2011.
3. Влияние высокочастотной электрохирургической сварки на функциональную устойчивость структуры биологических тканей / А. А. Вазина, Н. Ф. Ланина, Г. С. Маринский [и др.] // Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития : материалы Шестого междунар. семинара / под ред. О. Н. Ивановой. — К. : ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2011. — С. 53.
4. Деякі перспективи використання високо частотного електрозварювання в кардіохірургії / І. В. Кривцун, Г. С. Маринський, О. В. Чернець [та ін.] // Міжнар. мед. форум 2012 : матеріали наук.-практ. конф. «Результати впровадження в медичну практику технологій загального і локального термічного впливу на організм людини», Київ, 25 вересня 2012 р.
5. Дослідження впливу на паренхіматозні органи високотемпературних методів розсічення та коагуляції тканин в експерименті / І. А. Сухін, І. Ю. Худецький, С. Г. Качан, О. М. Білиловець // Клініч. хірургія. — 2012. — № 1. — С. 76—78.
6. Пат. № 72577U Україна, МПК (2012.01) А 61 В 18/12 (2006.01) А 61 В 17/00. Електрокоагулятор високо частотний зварювальний ЕКВЗ-300 / Б. Є. Патон, Г. С. Маринський, С. Є. Подпрятко, В. А. Ткаченко, С. В. Ткаченко, Н. А. Чвертко, А. Г. Дубко, В. А. Васильченко, О. В. Лебедєв, Д. Ф. Сидоренко. — Заявл. 24.01.12; опубл. 27.08.12, Бюл. № 16.
7. Заявка на винахід а201209185 Україна. Спосіб з'єднання біологічних тканин людей і тварин з використанням високо частотного струму / Б. Є. Патон, В. А. Ткаченко, Г. С. Маринський, С. Є. Подпрятко, О. В. Чернець, Г. М. Матвійчук, Н. А. Чвертко, С. С. Подпрятко, С. В. Ткаченко, А. Г. Дубко, В. А. Васильченко, О. В. Лебедєв, Д. Ф. Сидоренко. — Заявл. 26.07.12.
8. Заявка на корисну модель u2012 14299 Україна. Біполярний електрохірургічний інструмент (електроніж) для високо частотної електрохірургії / В. А. Васильченко, Г. С. Маринський, О. В. Чернець, Н. А. Чвертко, А. М. Александров, А. Г. Дубко, В. А. Ткаченко. — Заявл. 14.12.12.

9. Комплексні електротермохірургічні технології, апаратура та інструменти для стоматології та щелепно-лицевої хірургії / І. Ю. Худецький, Р. Х. Камалов, В. О. Пономаренко [та ін.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 49.
10. Косаковский А. Л. Биполярные электроинструменты для высокочастотной электросварки биологических тканей ЛОР-органов / А. Л. Косаковский, И. А. Косаковская, Р. Г. Семенов // Новые направления исследований в области сварки живых мягких тканей : материалы Пятого междунар. семинара / под ред. О. Н. Ивановой. — К. : ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2010. — С. 56.
11. Моноблочное использование аппаратов высокочастотной электрической сварки биологических тканей и пневмотермокоагуляции в хирургии / И. А. Сухин, С. Г. Качан, А. Н. Билиловец [и др.] // Клініч. хірургія. — 2011. — № 5. — С. 48.
12. Новое оборудование ИЭС им. Е.О. Патона для сварки живых тканей / Г. С. Маринский, А. В. Чернец, В. А. Ткаченко, С. Е. Подпратов // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 42.
13. Новые направления исследований в области сварки живых мягких тканей : материалы Пятого междунар. семинара / под ред. О. Н. Ивановой. — К. : ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2010. — 62 с.
14. Пасечникова Н. В. Наш опыт применения метода высокочастотной электросварки биологических тканей в ходе эндовитреальных вмешательств / Н. В. Пасечникова, В. А. Науменко, Н. Н. Уманец // Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития : материалы Шестого междунар. семинара / под ред. О. Н. Ивановой. — К. : ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2011. — С. 24.
15. Пасечникова Н. В. Экспериментальное обоснование возможности применения высокочастотной электросварки биологических тканей в витреоретинальной хирургии / Н. В. Пасечникова, В. А. Науменко, Н. Н. Уманец // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 22.
16. Пат. 20479/ЗУ/11 Україна, МПК А 61 М 11/00, А 61 N5/00. Термоструменевий хірургічний інструмент / Б. Є. Патон, І. В. Кривцун, І. Ю. Худецький, І. А. Сухін, Ю. О. Фурманов [та ін.]. — № u201106458; заявл. 23.05.11; опубл. 07.11.11.
17. Пат. 70151 Україна, МПК А 61 М 11/00, А 61 N5/00, А 61 К 31/00. Спосіб здійснення хірургічних операцій / І. А. Сухін, І. В. Кривцун, І. Ю. Худецький, Ю. О. Фурманов, С. Г. Качан. — № u201114108; заявл. 29.11.11; опубл. 25.05.12.
18. Пат. на корисну модель UA 23204 Україна, МПК (2006) А 61 В 17/00. Спосіб безлігатурного з'єднання дефектів м'яких живих тканин / Б. Є. Патон, І. В. Кривцун, В. С. Гвоздецький, Ю. О. Фурманов [та ін.]. — Заявл. 28.12.06; опубл. 10.06.07, Бюл. № 6. — 4 с.
19. Пат. на корисну модель UA 32900 Україна, МПК (2006) А 61 В 17/22. Спосіб санації гнійно-септичних вогнищ підшлункової залози / Ю. О. Фурманов, І. В. Хомяк, В. С. Гвоздецький [та ін.]. — Заявл. 28.12.06; опубл. 10.06.07, Бюл. № 6. — 4 с.
20. Пат. на корисну модель UA 30372 Україна, МПК (2006) А 61 В 18/04. Спосіб лікування вогнепальних ран / Б. Є. Патон, В. С. Гвоздецький, Ю. О. Фурманов та ін. — Заявл. 25.10.07; опубл. 25.02.08, Бюл. № 4. — 4 с.
21. Первый опыт применения высокочастотной электросварочной технологии в трансплантации почки / А. С. Никоненко, С. Н. Завгородний, Н. Н. Поляков [и др.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 27.
22. Перспективы дальнейшего развития многофункциональной и специализированной термохирургической аппаратуры / И. В. Кривцун, И. Ю. Худецкий, И. А. Сухин [и др.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 48.
23. Подальший розвиток апаратури для зупинки кровотечі, обробки і лікування інфікованих ран високотемпературним потоком / І. Ю. Худецький, І. В. Кривцун, В. Г. Терехов [та ін.] // Клініч. хірургія. — 2010. — № 7. — С. 53—55.
24. Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — 52 с.
25. Сварка мягких живых тканей. Современное состояние и перспективы развития : материалы Шестого междунар. семинара / под ред. О. Н. Ивановой. — К. : ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, 2011. — 60 с.
26. Структура электрозварного шва як основа нового розвитку хірургії / С. Є. Подпратов, С. Г. Гичка, С. С. Подпратов [та ін.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 45.

27. Тарнавский Д. В. Эффективность использования ВЧ-электросварки при кастрации козлов, баранов и бычков в условиях УНПК ЮФ НУБиП Украины «КАТУ» / Д. В. Тарнавский, А. А. Чумиков // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 51.
28. Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас / под ред. Б. Е. Патона, О. Н. Ивановой. — К. : ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины, Международная ассоциация «Сварка», 2009. — 200 с.
29. Ультроструктурные изменения в тканях орбиты при энуклеации глазного яблока с использованием высокочастотной электросварки биологических тканей / Н. В. Пасечникова, В. А. Науменко, А. П. Малецкий [и др.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 44.
30. Эффективность выполнения позадилобковой простатэктомии / А. В. Витренко, С. Е. Подпратов, С. Г. Гичка [и др.] // Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы : материалы Седьмой междунар. науч.-практ. конф. / под ред. Г. С. Маринского. — Международная ассоциация «Сварка», 2012. — С. 36.
31. Creating innovative equipment and technology for the specialized care in cardiology, orthopedics, dentistry and maxillofacial surgery / I. Krivtsun, I. Khudetsky, R. Kamalov [et al.] // Materials 6th International Forum on Innovative Technologies for Medicine ITMED 2012 (November 21—23, 2012).
32. Usage of Portable Thermo-Spray Device for Treatment of Wounds Contaminated by Microbes / I. Khudetsky, I. Krivtsun, V. Gvozdetsky, J. Furmanov // Counteraction to Chemical and Biological Terrorism in East European Countries. — Springer, 2009. — P. 303—308.

РЕЗЮМЕ

ВИСОКОЧАСТОТНЕ ЗВАРЮВАННЯ І ТЕРМІЧНЕ ОБРОБЛЕННЯ ЖИВИХ ТКАНИН У ХІРУРГІЇ

Б. Є. Патон, І. В. Кривцун,
Г. С. Маринський, О. В. Чернець,
І. Ю. Худецький, Ю. М. Ланкін,
С. Є. Подпратов, І. А. Сухін

Наведено результати досліджень і розробок ІЕС ім. Є. О. Патона в галузі високочастотного зварювання та споріднених технологій для з'єднання, коагуляції, різання і термічного оброблення живих тканин, а також спеціалізованого обладнання для реалізації зазначених процесів. Описано досвід застосування розроблених технологій та обладнання в практичній хірургії. Перераховано переваги нових процесів зварювання, різання і термічного оброблення живих біологічних тканин, що дає можливість прогнозувати їх широке застосування.

Ключові слова: високочастотне зварювання, коагуляція, різання, гіпертермічне оброблення, живі біологічні тканини, хірургія, електрохірургічний інструмент.

ВИСОКОЧАСТОТНАЯ СВАРКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖИВЫХ ТКАНЕЙ В ХИРУРГИИ

Б. Е. Патон, И. В. Кривцун,
Г. С. Маринский, А. В. Чернец,
И. Ю. Худецкий, Ю. Н. Ланкин,
С. Е. Подпратов, И. А. Сухин

Представлены результаты исследований и разработок ИЭС им. Е. О. Патона в области высокочастотной сварки и родственных технологий для соединения, коагуляции, резки и термической обработки живых тканей, а также специализированного оборудования для реализации указанных процессов. Описан опыт применения разработанных технологий и оборудования в практической хирургии. Перечислены преимущества новых процессов сварки, резки и термической обработки живых биологических тканей, что позволяет прогнозировать их широкое применение.

Ключевые слова: высокочастотная сварка, коагуляция, резка, гипертермическая обработка, живые биологические ткани, хирургия, электрохирургический инструмент.

HIGH-FREQUENCY WELDING AND THERMAL PROCESSING OF TISSUES IN SURGERY

B. Y. Paton, I. V. Kryvtsun,
G. S. Marynsky, A. V. Chernets,
I. Y. Khudetsky, Y. M. Lankin,
S. Ye. Podpriatov, I. A. Sukhin

The article deals with the results of the research of high-frequency welding and related techniques of coagulation, cutting and thermal processing of living tissue, as well as specialized hardware to implement these processes. The experience of using the developed technology and equipment in the practice of surgery is described, as well as advantages and merits of the new processes of welding, cutting and thermal processing of living biological tissue, which allows to predict their widespread use.

Keywords: high-frequency welding, coagulation, cutting, hyperthermic processing, living biological tissue, surgery, electro-surgical instrument.