

УДК 617-72:621.3](09)(048.8)

## Исторические аспекты и перспективы электрохирургии (обзор литературы)

П. Ф. Музыченко <sup>1</sup>, В. А. Черняк <sup>1</sup>, Ю. Н. Ланкин <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский университет имени А. А. Богомольца, Киев, Украина

<sup>2</sup> Институт электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины, Киев

*The historical milestones of electrosurgery are reviewed. Traced many years through the creation and introduction of technologies of surgical treatment of patients with the use of electricity from the time of its invention and the first devices to receive it with modern devices for use in electrosurgery. The authors noted a significant contribution of outstanding engineers working in research and improve the use of electricity in the different sections of engineering and medicine. One of the outstanding geniuses end of IX — beginning of XX century was Nikola Tesla, who in 1891 published observations about the thermal effect during passage through the human body high frequency alternating currents obtained by generator constructed it. Tesla first demonstrated that high-frequency currents have irritating action, despite the great tension, and well tolerated by the human body, while the current of similar strength, but lower frequency is detrimental to him. This discovery was a significant impetus for the development of electrosurgery. Based on the developments of Nikola Tesla designed devices that are used in medicine today. The end of the twentieth century was marked undefined another discovery, which helped create a new trend in surgery — using electric medicine, sponsored by the genius of the twentieth century XI NAS of Ukraine Paton B. E. In the article the positive factors electrosurgery, given its shortcomings, which are caused by lack of understanding of the impact of electricity on the human body in general and cellular structures in the area of electricity. To address these problems should be involved in research specialists from different fields, including engineers, electrical engineers, biologists, biophysicists and doctors of various specialties. Key words: electrosurgery, biophysics, electrotechnique, welding soft tissues.*

*Розглянуто історичні віхи розвитку електрохірургії. Простежено багатолітній шлях створення та впровадження технологій хірургічного лікування пацієнтів із застосуванням електричної енергії від часів її винайдення та перших апаратів для її отримання до сучасних пристроїв для застосування в електрохірургії. Авторами відмічено значний вклад видатних інженерів, які працювали в галузі дослідження та удосконалення застосування електроенергії в різних розділах техніки та медицини. Одним із видатних геніїв кінця IX — початку XX століття був Ніколо Тесла, який у 1891 році опублікував інформацію про спостереження теплового ефекту під час проходження через тіло людини змінних струмів високої частоти, отриманих за допомогою сконструйованого ним генератора. Тесла вперше довів, що струми високої частоти не мають подразливої дії, незважаючи на велику напругу, та добре переносяться організмом людини, водночас струм подібної сили, але нижчої частоти, є для нього згубним. Це відкриття стало значним поштовхом у розвитку електрохірургії. На основі напрацювань Ніколо Тесли створені апарати, які використовують у медицині й сьогодні. Кінець XX століття відзначений черговим відкриттям, яке сприяло створенню нового напрямку в хірургії, — застосуванням електрозварювання в медицині, автором якого є геній XX–XI століття академік НАН України Патон Б. Є. У статті визначено позитивні чинники електрохірургії, вказано її недоліки, які зумовлені недостатнім розумінням впливу електроенергії на організм людини загалом і клітинні структури в зоні дії електричного струму. Для вирішення вказаних проблем необхідно залучити до досліджень спеціалістів із різних галузей науки, зокрема інженерів-електротехніків, біологів, біофізиків та лікарів різних спеціальностей. Ключові слова: електрохірургія, біофізика, електротехніка, зварка м'яких тканин.*

**Ключевые слова:** электрохирургия, биофизика, электротехника, сварка мягких тканей

### Введение

В начале XVIII века после открытия тепловых свойств электричества Александр Эдмон Беккер-

рель изобрел электронож, который использовался для прижигания тканей. С этого периода и можно отсчитывать историю электрохирургии.

В 1854 г. хирург Albrecht Theodor Middeldorpf (1824–1868) опубликовал первую монографию о применении электрического тока в хирургии и назвал этот метод «galvanocautery». В качестве источника тока использовались цинк-платиновые батареи. Предложенным способом можно было выполнять рассечение тканей и коагуляцию кровеносных сосудов. А. Middeldorpf разработал наиболее важные электрохирургические инструменты, включающие электронож и петлю для удаления полиповидных опухолей. Эти инструменты являются предками современного электрохирургического оборудования [1, 22]. М. J. Roberts [20] с помощью разработанных инструментов выполнял электроостеотомию.

В декабрьском номере журнала «Electrical-engineer» в 1891 году появилась статья инженера Н. Тесла о тепловом эффекте, который он наблюдал при пропускании через человеческое тело переменных токов высокой частоты, получаемых с помощью сконструированного им генератора. Впервые им показано, что токи высокой частоты не обладают раздражающим действием, несмотря на высокое напряжение, и хорошо переносятся человеческим организмом, в то время как токи такой же силы, но более низкой частоты, являются для него опасными [2, 11].

В 1907 году de Keating Hart стал применять фульгурацию — искры от аппарата d'Arsonval — для разрушения злокачественных новообразований. Изначально этот метод получил большое одобрение со стороны хирургов, но анализ отдаленных результатов выявил, что при его применении происходило разрушение только поверхностных слоев опухоли, но активизировался ее рост [12].

Инженер Forest в 1907 году предложил производить разрезы тканей при помощи иглы, насаженной на изолирующую ручку и соединенной с выходной клеммой резонатора Oudin в аппарате d'Arsonval. Электрическая дуга производила бескровное рассечение тканей. Поскольку игла при этом не раскалялась, ей дали название «кальткаутер» (холодного каутера), а метод назвали форестизацией. Регулировка глубины воздействия при этом была затруднительной — поверхностные слои обугливались раньше, чем разогревались более глубокие. В этом же 1907 году Doyen установил, что аппарат d'Arsonval действует гораздо эффективнее, если пациент лежит на металлической пластине, соединенной с другим полюсом генератора. Так появилась индифферентная плата пациента. Понятие электрокоагуляции как

метода лечения ввел в 1909 году тот же Doyen [15, 17, 18].

В 1910 году Czerny видоизменил форестизацию, ввел понятие «пассивный электрод» и, используя в качестве «активного электрода» иглу, достиг рассечение тканей с помощью высокочастотного тока [14, 15, 20].

В России пионером в применении электрохирургии считают В. Н. Шамова, который еще в 1910–1911 годах использовал в клинике Военно-медицинской академии высокочастотные токи для лечения злокачественных опухолей. Вопросы хирургической диатермии посвящена отдельная глава его докторской диссертации [1].

С 30-х годов XX века электрохирургические технологии получили широкое распространение в различных областях хирургии. Необходимо отметить, что прогресс электрохирургии был бы невозможен без работ физиков и инженеров, проектировавших это оборудование [4, 8, 9]. Внедрение электрохирургии проходило одновременно с более глубоким изучением механизмов взаимодействия биологических тканей и электрического тока [3, 4, 6, 7].

Первые электроножи, кроме рассечения тканей, вызывали образование большого коагуляционного струпа. Но неуклонный прогресс науки и техники способствовал значительному уменьшению этого недостатка. Благодаря исследованиям F. Krusen [21] были определены оптимальные параметры стандартной диатермии от 0,5 до 3 МГц и коротковолновый диапазон от 10 до 100 МГц.

В бывшем СССР З. З. Фердманом [9], С. А. Холдиным [10] и М. С. Шульманом [12], Б. Н. Фридляндом (1934), Я. М. Брускиным (1937), В. С. Георгиевской (1938), А. Г. Сосновским (1948), Я. Б. Гофманом (1949) были усовершенствованы методики электрохирургических операций. Особенно широкое применение электрохирургии нашла в онкологии. Именно из Ленинградского государственного онкологического института, руководимого профессором Н. Н. Петровым, в 1941 году вышла монография С. Я. Холдина «Электрохирургические резекции и анастомозы на желудочно-кишечном канале» [1, 5].

В настоящее время все большее распространение получает высокочастотная сварка мягких биологических живых тканей биполярным инструментом.

Подлежащие сварке биологические ткани отличаются значительной нестабильностью электрических параметров, вызванных разнообразием видов тканей, их неомогенностью,

неизотропностью, состоянием, толщиной свариваемых кромок, электротермическим воздействием во время сварки и т. п. [6–8]. К сожалению, до сих пор нет ясного представления ни о деталях физических процессов (электрические и тепловые поля, массоперенос), протекающих при сварке в тканях в зоне воздействия электротока, ни о физико-биологических механизмах, ответственных за прочность сварного соединения.

Сварка является альтернативой сшиванию тканей нитками и соединения при помощи скоб степлером. Поэтому сварное соединение как минимум не должно уступать указанным по прочности. Установлено, что природная прочность стенок артерий составляет в среднем от  $(248,51 \pm 31,58)$  до  $(359,97 \pm 12,67)$  кПа, венозных сосудов — от  $(196,38 \pm 49,59)$  до  $(257,58 \pm 24,66)$  кПа в зависимости от их диаметра [8, 16].

Для сосудов сварное соединение сразу же после его выполнения должно выдерживать с трехкратным запасом безопасности относительно максимальное (16 кПа) физиологическое систолическое давление в органе. Добиваться максимальной прочности сварного соединения, определяемой сразу после сварки, нецелесообразно, т. к. она должна увеличиваться по мере восстановления оперированного органа. Достаточно получить гарантированную минимально необходимую прочность. При сварке сосудов диаметром  $(2,57 \pm 1,35)$  мм с адаптивной системой управления LigaSure (Valleylab) получена прочность соединений  $(119,06 \pm 71,99)$  кПа, а при автоматической стабилизации мощности (технология Instance Response™) —  $(119,87 \pm 30,33)$  кПа [16, 19].

Гораздо чаще биполярная сварка применяется при перекрытии (герметизации) различных трубчатых органов — кровеносных сосудов, кишок, трахей и т. п. Противоположные стенки трубчатого органа, сплющивают браншами биполярного электрохирургического инструмента и приваривают друг к другу, образуя нахлесточное сварное соединение [3].

В литературе практически полностью отсутствуют данные об испытаниях на растяжение сварных соединений мягких биологических тканей. Мы восполнили этот недостаток, изучив сварной шов сухожилия с помощью испытания на разрыв с использованием машины РМБ-3 и динамометра [4].

Следует отметить, что вопрос природы нагрева периферийной зоны пока остается также открытым. В иностранной литературе высказана идея о нагреве прилегающих тканей исключи-

тельно за счет теплопроводности. Возможно, решающую роль при этом играет сварочный ток, протекающий в этой области, а не только между электродами. Справедливость этих предположений должны подтвердить или опровергнуть дальнейшие исследования. Единственным сертифицированным способом сварки для наиболее совершенных электрохирургических аппаратов сегодня остается перекрытие кровеносных сосудов небольшого диаметра не более 2 мм. Показателем качества в этом случае является предельное гидростатическое давление. В отличие от прочности на разрыв эта величина одновременно служит и показателем герметичности соединения [7, 8].

Все разработанные до 1990 г. высоко частотные коагуляторы, как следует из их названия, предназначались для остановки кровотечения путем перекрытия (запечатывания/sealing, закупорки) сосудов пробкой (сгустком) свернувшейся в результате нагрева проходящим электрическим током крови [3]. В настоящее время качество сварного соединения практически полностью зависит лишь от опыта и искусства хирурга. Он выбирает параметры режима сварки, исходя из своего опыта, и по визуальным, акустическим и тактильным признакам окончания формирования сварного соединения вручную прекращает сварку. Источники питания разработчики оснащают обширным набором режимов сварки, полностью возлагая ответственность за их выбор, обеспечивающий качество сварного соединения, на хирурга. Исключение составляют немногочисленные приборы, сертифицированные только для перекрытия сосудов (sealing of vascular structures), работающие в режиме автоматического перекрытия. Это прежде всего аппараты Valleylab, использующие алгоритм управления LigaSure™, и некоторые из Erbe. Режимом «автоматическая сварка» снабжены отечественные приборы ЕК-300, ЕК-300М1. Вследствие чрезвычайного разнообразия электрофизических свойств свариваемых биологических тканей и их изменения во время сварки надежный качественный результат невозможно получить без создания высококачественных систем автоматического регулирования процесса. Для этого необходима адекватная модель объекта управления. Объективная информация о состоянии биологической ткани перед и в процессе сварки позволила бы ввести автоматическую обратную связь «биологическая ткань пациента — сварочный источник». Физико-биологические процессы, происходящие при сварке и основанные на результатах гистологических исследова-

ний совместно с количественными измерениями и регистрацией параметров режима сварки, практически не изучены. Известные в настоящее время алгоритмы автоматического регулирования процесса сварки биологических тканей либо эмпирические, либо гипотетические.

## Выводы

Применение электрохирургии является перспективным, высокотехнологичным и экономически выгодным направлением в медицине. Однако в настоящее время для его изучения и совершенствования необходимо привлечь высококвалифицированных специалистов из разных областей науки, в первую очередь, инженеров-электротехников, биологов, биофизиков и врачей разных специальностей.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов.

## Список литературы

- Брехов Е. И. История развития электрохирургии до середины XX века / Е. И. Брехов, С. И. Аксенов // Хирургия. — 2008. — № 4. — С. 8–14.
- Долецкий С. Я. Высокочастотная электрохирургия / С. Я. Долецкий, Р. Л. Драбкин, А. И. Ленюшкин. — М. : Медицина, 1980. — 198 с.
- Макаров А. В. Возможности использования методики «сварки живых тканей» в торакальной хирургии / А. В. Макаров, В. Г. Гетьман, А. В. Линчевский / тез. докл. VII-й Междунар. научн.-практ. конф. [«Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы»]. — Киев : Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 23–24.
- Музыченко П. Ф. Восстановление сухожилий с помощью электросварки — новый шаг в травматологии / П. Ф. Музыченко, В. А. Черняк, Г. С. Маринский // Клиническая хирургия. — 2015. — № 12. — С. 45–61.
- Никитин А. Т. Клиническая электрохирургия / А. Т. Никитин, И. В. Федоров. — М. : Гэотар, 1997. — 88 с.
- Новое оборудование ИЭС им. Е. О. Патона для сварки живых тканей / Г. С. Маринский, А. В. Чернец, В. А. Ткаченко, С. Е. Подпрятков / тез. докл. VII-й Междунар. научн.-практ. конф. [«Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы»]. — Киев : Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 42–43.
- Перспективы дальнейшего развития многофункциональной и специализированной термохирургической аппаратуры / И. В. Кривцун, И. Ю. Худецкий, И. А. Сухин [и др.] / тез. докл. VII-й Междунар. научн.-практ. конф. [«Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы»]. — Киев : Междунар. ассоциация «Сварка», 2012. — С. 48.
- Сварка, резка и термическая обработка живых тканей / Б. Е. Патон, И. В. Кривцун, Г. С. Маринский [и др.] // Автоматическая сварка. — 2013. — № 10–11. — 2013. — С. 135–146.
- Фердман З. З. Основы электрохирургии / З. З. Фердман. — Ростов-на-Дону : Обл. кн-во, 1940. — 119 с.
- Холдин С. А. Электрохирургические резекции и анастомозы на желудочно-кишечном канале / С. А. Холдин. — Л. : Онкологич. ин-т, 1941. — 455 с.
- Шалимов М. П. Сварка вчера, сегодня, завтра / М. П. Шалимов, В. И. Панов. — Екатеринбург : УГТУ-УПИ, 2006. — 250 с.
- Шульман М. С. Электрохирургическая резекция желудка при раке : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Шульман М. С. — Свердловск, 1948. — 23 с.
- Bainbridge W. S. Fulguration and thermo-radiotherapy / W. S. Bainbridge. — New York : Worthington S. R. — 1913. — 20 p.
- Bennett R. A. R. How to make electrical machines. Containing full directions for making electrical machines, induction coils, dynamos, and many novel toys to be worked by electricity / R. A. R. Bennett. — New York : F. Tousey, 1902. — 62 p.
- Clark W. L. Oscillatory desiccation in the treatment of accessible malignant growths and minor surgical conditions. A new electrical effect / W. L. Clark // J. Adv. Ther. — 1911. — Vol. 29 (2). — P. 169–180.
- Corner N. B. Surgical Diathermy is not suitable for vascular tissue welding // N. B. Corner, R. E. Smith // J. R. Army Med. Corps. — 1994. — Vol. 140. — P. 127–131.
- Cushing H. Electro-surgery as an aid to the removal of intracranial tumors. With a preliminary note on a new surgical-current generator by W. T. Bovie / H. Cushing, W. T. Bovie. — Surgical Publishing Company, 1928. — 34 p.
- d'Arsonval A. Action physiologique de courants alternatifs a grand fréquence / A. d'Arsonval // Arch. Physiol. Normale Pathol. — 1893. — Vol. 5 (401–408). — P. 780–790.
- Effect of hemostasis and electrosurgery on the development and evolution of brain tumor surgery in the late 19<sup>th</sup> and early 20<sup>th</sup> centuries / J. R. Vender, J. Miller, A. Rekito, D. E. McDonnell // Neurosurg. Focus. — 2005. — Vol. 18 (4). — P. 3–4.
- Roberts M. J. The electro-osteotome. A new instrument for the performance of the operation of osteotomy / M. J. Roberts. — New York : J. J. O'Brien, 1883. — 8 p.
- Sachs M. History of surgical instruments : 7. The first electrosurgical instruments : galvanic cauterization and electric cutting snare / M. Sachs, H. Sudermann // Zentralbl. Chir. — 1998. — Vol. 123 (8). — P. 950–954.
- Wicker P. Electrosurgery — part I : The history of diathermy / P. Wicker // Br. J. Theater Nursing. — 1990. — Vol. 27 (8). — P. 6–7.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720171124-127>

Статья поступила в редакцию 09.09.2016

## HISTORICAL ASPECTS AND PERSPECTIVES OF ELECTROSURGERY (LITERATURE REVIEW)

P. F. Muzichenko<sup>1</sup>, V. A. Cherniak<sup>1</sup>, Y. N. Lankin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bohomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine, Kyiv

✉ Petro Muzichenko, PhD: [metost@ukr.net](mailto:metost@ukr.net)