

ВОПРОСЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ
ЭЛЕКТРОХИРУРГИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙВ.А. Мусаилов^{1,2}, И.Г. Бузель^{1,3}, П.М. Староконь², В.А. Потапов⁴, Н.И. Галик², Р.Ш. Исламгазин⁴¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий – центральный военный клинический госпиталь имени А.А. Вишневого» Министерства обороны Российской Федерации, г. Красногорск, Россия.² Филиал ФГБУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации в г. Москве³ Медицинский институт непрерывного образования ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)», г. Москва, Россия⁴ ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В организации современной хирургической практики одним из основных и безусловных трендов является обеспечение и контроль безопасности пациентов, подвергающихся оперативному вмешательству, что, в свою очередь, служит основой должного уровня качества медицинской помощи. Развитие современной хирургии немыслимо без применения новейших технологий. Но наряду с их высокой эффективностью, существуют и определенные опасности. Широкий спектр оборудования, используемого в хирургии, требует глубоких знаний медицинского персонала по безопасному его применению. Необходимо отметить, что увеличение объема новых технологий будет только нарастать. С этим прежде всего связан прогресс в хирургии. В статье рассмотрены основы монополярной и биполярной электрокоагуляции. Описаны возможные эффекты электрокоагуляции в зависимости от настроек электрохирургических высокочастотных аппаратов. Рассмотрены причины альтернативного выхода электрического тока из тела пациента и электрических ожогов. Представлены варианты и порядок установки нейтральных электродов. Рассмотрены особенности поражения электрическим током при лапароскопических оперативных вмешательствах. Даны рекомендации по электробезопасности пациентов во время выполнения оперативных вмешательств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность пациентов, электрохирургия, электрокоагуляция, оперативное вмешательство, осложнения в хирургии

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ: Мусаилов Виталий Анатольевич, e-mail: musailove@mail.ru

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мусаилов В.А., Бузель И.Г., Староконь П.М. [и др.] Вопросы безопасности пациентов при применении электрохирургических технологий // Вестник Медицинского института непрерывного образования. — 2024. — Т. 4. — № 3. — С. 107–117. — DOI 10.36107/2782-1714_2024-4-3-107-117.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ: Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы декларируют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ: Данные текущего исследования можно получить по обоснованному запросу у корреспондирующего автора.

PATIENT SAFETY ISSUES IN ELECTROSURGICAL TECHNOLOGIES USE

V.A. Musailov^{1,2}, I.G. Buzel^{1,3}, P.M. Starokon², V.A. Potapov⁴, N.I. Galik², R.S. Islamgazin⁴¹ National Medical Research Center of High Medical Technologies, Central Military Clinical Hospital named after A.A. Vishnevsky of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Krasnogorsk, Russia² Branch of Military Medical Academy named after S.M. Kirov of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow, Russia³ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia⁴ Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ABSTRACT

In the organization of modern surgical practice, one of the main and undoubted trends is to ensure and control the safety of patients undergoing surgery, which, in turn, serves as the basis for the proper level of quality of medical care. The development of modern surgery is inconceivable without the use of the latest technologies. But along with their high efficiency, there are also certain dangers. A wide range of equipment used in surgery requires deep knowledge of medical personnel on its safe use. It should be noted that the increase in the volume of new technologies will only increase. This is primarily associated with the progress in

surgery. The article discusses the basics of monopolar and bipolar electrocoagulation. The possible effects of electrocoagulation depending on the settings of high-frequency electrosurgical devices are described. The causes of alternative electrical current output from the patient's body and electrical burns are considered. The variants and procedure for installing neutral electrodes are presented. The features of electric shock during laparoscopic surgeries are described. The recommendations for electrical safety of patients during surgical interventions are given.

KEYWORDS: patient safety, electrosurgery, electrocoagulation, surgical intervention, complications in surgery

CORRESPONDENCE: Vitaliy A. Musailov, e-mail: musailove@mail.ru

FOR CITATIONS: Musailov V. A. Buzel I. G., Starokon P. M. [et al]. Patient Safety Issues in Electrosurgical Technologies Use // Bulletin of the Medical Institute of Continuing Education. — 2024. — V. 4, No. 2. — P. 107–117. — DOI 10.36107/2782-1714_2024-4-2-107-117.

FUNDING SOURCE: The authors declare no funding for the study.

DECLARATION OF COMPETING INTEREST: The authors declare no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

DATA AVAILABILITY STATEMENT: Data from the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ВВЕДЕНИЕ

Электрическая энергия для разрезания тканей и коагуляции кровоточащих сосудов была популяризирована нейрохирургом Харви Кушингом из Медицинской школы Джона Хопкинса в Балтиморе, штат Мэриленд, который использовал электрохирургическую установку, разработанную Уильямом Бови (William T. Bovie (1882–1958)) в Гарвардской медицинской школе в Бостоне, штат Массачусетс, в 1926 году [1]. Несмотря на то, что электрохирургия используется в каждой операционной, она плохо понимается большинством пользователей из-за недостаточного обучения основам электрохирургии и электробезопасности [2].

В 2021 году на XIII съезде хирургов России проведена секция «Обеспечение качества и безопасности хирургической помощи в Российской Федерации» совместно с Национальным институтом качества Росздравнадзора. По результатам секции принята резолюция, которая поручила правлению РОХ разработать срочные меры профилактики непреднамеренных повреждений органов и тканей электрохирургическими инструментами и внедрить их во все регулирующие документы [3]. В настоящее время данные рекомендации еще находятся в разработке.

Риск несчастных случаев, связанных с электричеством, является реальностью в операционных с увеличением количества используемого электрического оборудования. Электрический скальпель остается наиболее широко используемым устройством из-за его электрохирургической коагуляции и эффекта рассечения тканей [4, 5, 6].

В литературе описываются лишь единичные случаи электротравм, что обусловлено ятрогенным характером повреждения и медико-правовыми последствиями. В Соединенных Штатах этот тип несчастных случаев по оценкам составляет от 20 до 100 случаев в год, причиняя серьезный ущерб в 10–20% случаев и в среднем — два смертельных случая в год. Они часто являются источником конфликта между хирургической

бригадой и семьей пациента, приводя к 100-процентному судебному разбирательству [7].

Анализ электротравм показал, что в 68% случаев были задействованы электроприборы, в 19% случаев — электрический скальпель, в 13% — лазер [7].

При лапароскопических операциях электрохирургические травмы встречаются у 1–2 пациентов на 1000 операций. Большинство из них остаются нераспознанными во время поражения электрическим током и обычно проявляются через три-семь дней после развития некроза стенки кишки [8].

Электрическая травма — это повреждение, возникающее при прохождении электрического тока через тело, вызывающее ожоги тканей или нарушение функции внутренних органов. Электрический ток, проходящий через тело, создает тепло, которое может сильно обжечь и разрушить ткани, электроэнергия может вызвать глубокие ожоги. Прохождение тока через сердце и мозг может вызвать мгновенную смерть из-за остановки сердца и повреждения дыхательного центра головного мозга. Сильные мышечные спазмы, вызванные электричеством, могут привести к разрывам мышц и переломам костей. Вовлечение дыхательных мышц может приводить к остановке дыхания [9, 10].

Тяжесть травмы, которая может представлять собой легкий ожог или привести к смерти, зависит от типа и сила тока, сопротивления тела току в месте входа, путей прохождения тока и длительности контакта с током.

В 2023 году в России проведено исследование, направленное на оценку уровня знаний в области электрохирургической безопасности среди специалистов. Исследование представляло собой интернет-анкетирование по вопросам электрохирургической безопасности. Анкета состояла из 15 вопросов 5 тематических групп. Данные собирались в течение 2 мес. В опросе принял участие 231 специалист. Условную оценку «отлично» получили 5,6% респондентов, «хорошо» — 28,3%, «удовлетворительно» — 45,1%. Не преодолели

проходной балл, показав неудовлетворительные знания по электрохирургической безопасности, 21,03% респондентов [11].

Исследование выявило существенные пробелы в знаниях по электрохирургической безопасности среди практикующих специалистов различных специальностей. В качестве основных причин можно выделить отсутствие обязательных к освоению специализированных курсов по электрохирургической безопасности и мотивации у специалистов к самообразованию в этой области вследствие ложных представлений о собственном уровне знаний [11].

Таким образом, изучение свойств электроэнергии, способов ее использования в хирургии и электробезопасности является актуальным и обязательным для специалистов хирургического и анестезиологического профиля, а также для операционных медицинских сестер и медицинских сестер-анестезисток [12, 13].

МЕТОДЫ

В данном обзоре рассмотрены физические свойства электроэнергии, особенности использования электрохирургических аппаратов в открытой и лапароскопической хирургии, осложнения и основы электробезопасности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие техники и технологий позволяет улучшить результаты работы хирургов, облегчая их труд и сокращая время оперативных вмешательств. Однако насыщение операционных залов современным оборудованием требует от хирургов и всего персонала операционной знания методов и способов применения этого оборудования, четкого понимания механизмов работы оборудования и соблюдения требований техники безопасности.

Электрохирургический генератор является источником потока электронов и напряжения (в англоязычной литературе — ESU. ElectroSurgical Unit). За электрохирургическими аппаратами до сих пор не закрепилось определенного названия, их именуют по-разному: коагуляторами, радиножами, радиоскальпелями, электрохирургическими высокочастотными аппаратами (ЭХВЧ). Отсутствие единства в терминологии не всегда способствует пониманию процессов, происходящих в тканях человеческого организма.

Вероятно, последнее название (ЭХВЧ) наиболее точно отражает суть этих приборов — выработку переменного тока с определенной формой волны в диапазоне частот от 200 кГц до 5,5 МГц. Эти частоты совпадают с частотами радиоаппаратуры, поэтому их нередко называют радиохирургическими аппаратами. Принцип работы электрохирургических аппаратов основан на преобразовании высокочастотного тока в тепловую энергию [14]. (Ахтямов, 2014)

Электрокоагуляция. Часто понятие «электрокоагуляция» используется для обобщения электрохирургии. Это неверно. Электрокоагуляция (рис. 1) использует постоянный ток, т.е. электроны движутся в одном направлении, тогда как в электрохирургии используется переменный ток. Во время электрокоагуляции ток не проходит через тело пациента, в этом случае нагретый электрод взаимодействует с участком поверхности кожи пациента.

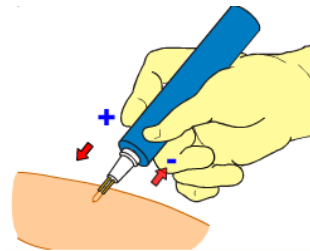


Рис. 1. Электрокоагуляция использует постоянный ток, т.е. электроны движутся в одном направлении (источник изображения: <https://essalud.gob.pe>)

Биполярная электрохирургия. Активный выход и возвращение тока пациенту осуществляется на месте операции. Распространение тока ограничивается только тканями, находящимися в зажиме, электрод заземления не нужен. В биполярной электрохирургии как активный электрод, так и функции заземляющего электрода осуществляются на месте операции (рис. 2): два зубца пинцета (или зажима) выполняют функцию активного и возвратного электродов, и в электрическую цепь входят только ткани, захваченные пинцетом. В отличие от электрокоагуляции, в биполярной электрохирургии для возвращения электрического тока не требуется тело пациента, эту функцию выполняет один из зубцов электроинструмента хирурга.

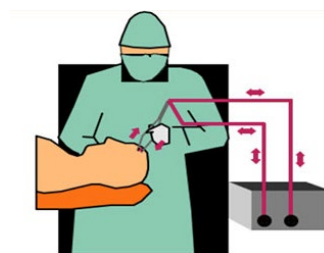


Рис. 2. Электрическая схема биполярной электрохирургии (источник изображения: <https://cordismed.ru>)

Монополярная электрохирургия. Активный электрод находится в ране (месте операции), электрод заземления устанавливается на пациента. Ток должен течь через пациента и возвращаться в аппарат ЭХВЧ. Монополярный метод является наиболее часто используемым методом в электрохирургии из-за своей универсальности и клинической эффективности. В монополярной электрохирургии активный электрод находится на коже пациента.

В схеме монополярных электрохирургических аппаратов есть четыре компонента: 1. Генератор; 2. Активный электрод; 3. Пациент; 4. Электрод для возвращения (нейтральный) электрического тока (заземление).

В электрохирургии воздействие высокочастотной электрической энергии на биологическую ткань применяется для выполнения разрезов, коагуляции (гемостаз), девитализации (разрушения) тканей, термозапаивания (лигирования) сосудов.

Высокочастотный (ВЧ) переменный ток свыше 200 кГц переносится к телу пациента через инструмент (электрическая цепь). Электрохирургический аппарат вырабатывает необходимую форму электрического тока, которая преобразуется в тепло и воздействует на биологические ткани (табл. 1. По материалам сайта <http://www.endosurgical.ru/>)

Таблица 1. Воздействие высокочастотного тока на биологические ткани

Температура ткани	Эффект
менее 40°C	Отсутствует
40-50°C	Гипертермия: изменения в клеточных мембранах и во внутриклеточных молекулярных структурах, формирование отеков, зависящих от продолжительности некроза (гибели клеток) и девитализации
около 60°C	Коагуляция (денатурация) внутриклеточных протеинов Девитализация
около 80°C	Коагуляция внеклеточного коллагена Разрушение клеточных мембран
около 100°C	Вспаривание жидкости из ткани В зависимости от скорости испарения: высушивание или разрыв из-за механического разрыва ткани
свыше 150°C	Карбонизация
свыше 300°C	Вспаривание (выпаривание всей ткани)

Факторами, влияющими на термический эффект, являются свойства ткани и выходная мощность электрохирургического аппарата.

Свойства ткани. Если режущий электрод касается ткани с разным электрическим сопротивлением, например, мышечной ткани или сосудов, электрохирургический аппарат подстраивает напряжение. Например, жировая или железистая ткань имеют более высокое сопротивление, следовательно, необходимо автоматическое регулирование мощности для получения одинакового эффекта на разных типах тканей.

Дозирование мощности. Автоматическое дозирование выходной мощности электрохирургического аппарата позволяет получить однородный воспроизводимый эффект резания, независимый от таких факторов, как вид ткани, тип электрода или вид операции. Датчики современного электрохирургического аппарата непрерывно контролируют силу тока, напряжение и мощность электрической дуги и задают необходимый оптимальный уровень выходной мощности (рис. 3). Основной принцип: мощность должна быть максимально необходимая, но минимально возможная. Цель: большая безопасность для пациентов и хирургов.



Рис. 3. Чем выше сила тока и напряжение, тем сильнее эффект гемостаза

Режимы работы ЭХВЧ аппаратов. Различные режимы резания (CUT) и коагуляции (COAG) по-разному воздействуют на ткани и, следовательно, позволяют хирургу настроить аппарат под определенные виды воздействия (резание, коагуляция, девитализация тканей, термолигирование). Варианты режимов работы ЭХВЧ аппаратов представлены в табл. 2. (по материалам сайта <https://fotek.ru/>)

Таблица 2. Возможные режимы работы ЭХВЧ аппаратов

РЕЖИМЫ РАБОТЫ:	
МОНОПОЛЯРНОЕ РЕЗАНИЕ	
	РЕЗАНИЕ монополярное резание без искрообразования и без выраженной коагуляции
	СМЕСЬ монополярное резание с искрообразованием и с тонким слоем коагуляции
	СМЕСЬ 1 монополярное резание с форсированным искрообразованием и с толстым слоем коагуляции
	ТУР/ВАП монополярное резание с коагуляцией и монополярная испаризация мягких тканей в сухих и жидких средах
МОНОПОЛЯРНАЯ КООГУЛЯЦИЯ	
	МЯГКАЯ монополярная контактная коагуляция без искрообразования, без карбонизации и с плавным ростом толщины коагулированной ткани до 5 мм
	ФОРС монополярная форсированная коагуляция с искрообразованием и с быстрым формированием толстого слоя коагулированной ткани
	ФУЛЬГУР монополярная форсированная бесконтактная коагуляция с искрообразованием и с быстрым формированием толстого слоя коагулированной ткани до 3 мм и возможностью контактного резания
	СПРЕЙ монополярная бесконтактная коагуляция с искрообразованием и с плавным ростом толщины коагулированной ткани до 3 мм
БИПОЛЯРНЫЕ РЕЖИМЫ	
	БИ-КОАГ биполярная коагуляция без искрообразования
	БИ-СМЕСЬ биполярное резание с коагуляцией ткани, в том числе и в жидких средах, с искрообразованием

Представленные в таблице режимы аппарата ЭХВЧ позволяют хирургу настроить аппарат под любую из выполняемых задач. Строгое соблюдение техники безопасности и правильное использование аппарата позволяет значительно повысить эффективность и качество оперативных вмешательств.

Типы активных электродов. Большая мощность достигается за счет большей площади электрода (рис. 4, 5) по сравнению с электродом с меньшей площадью. Гемостатический эффект на краях разреза больше выражен при использовании электрода-шпателя.

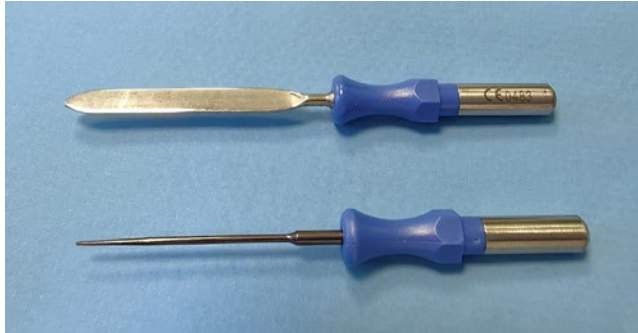


Рис. 4. Большая площадь контакта электрода-шпателя производит больший эффект коагуляции по сравнению с более тонким электродом-иглой.



Рис. 5. Различные типы активных электродов. Сверху вниз: волосок, шарик, площадка.

Выполнение разреза. Качество разреза в значительной степени не зависит от внешних факторов, но может изменяться под влиянием скорости и глубины выполняемого разреза (рис. 6).



Рис. 6. Электрохирургический разрез электродом-шпателем. Режим — резание с коагуляцией.

Режущий эффект проявляется при напряжениях выше 200 В за счет формирования электрических дуг между электродом и тканью. Электрическая энергия преобразуется в тепловую с температурой 1000°C или выше. Внутриклеточная и внеклеточная жидкости выпариваются, при этом мембраны клеток разрушаются.

Преимущества электрохирургического разреза:

- Прецизионный разрез без механического нажима на ткань,
- Воспроизводимый гемостаз на краях разреза (эффект коагуляции), меньшая кровопотеря

Вне зависимости от производителя электроинструментов функция резания всегда обозначается желтым цветом на электрохирургической рукоятке и ножном переключателе, а коагуляция — синим (рис. 7).

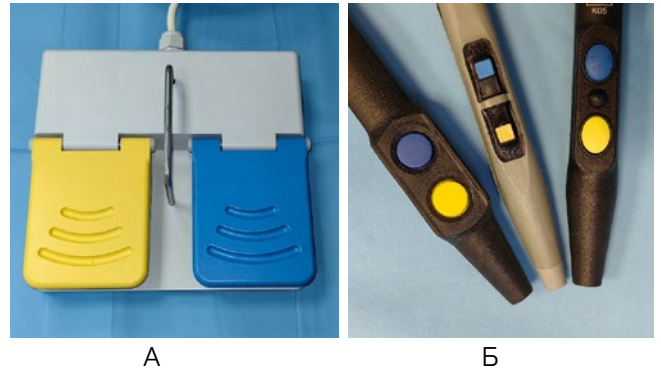


Рис. 7. А, Б. В соответствии с международным стандартом желтым цветом обозначается функция резания, синим — коагуляция

Коагуляция. Преобразование электрической энергии в тепловую позволяет нагревать ткани во время коагуляции до температур от 60 до 100 °C. Внутриклеточная и внеклеточная жидкости выпариваются без разрушения клеточных структур. Коагуляция может проводиться как при непосредственном контакте с тканью, например, электродом-шариком (рис. 8, 9), пинцетом или зажимом (рис. 10), так и без прямого контакта (рис. 11). В зависимости от типа электрода и режима работы коагуляция может быть как точечная, так и покрывать большую площадь. Сила тока и продолжительность воздействия влияют на глубину коагуляции. При бесконтактном применении высокочастотный ток передается через искровые разряды.



Рис. 8. Коагуляция электродом-шариком. Режим максимальной коагуляции



Рис. 9. Коагуляция электродом-шариком. Режим максимальной коагуляции

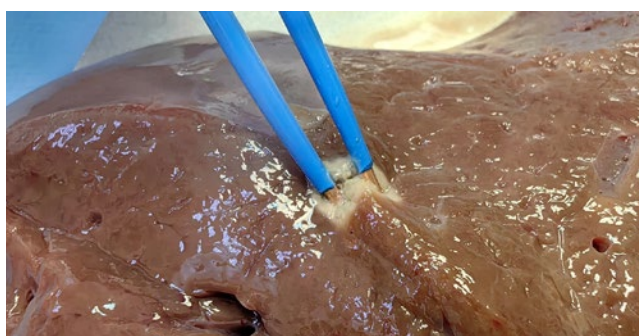


Рис. 10. Контактная коагуляция биполярным пинцетом

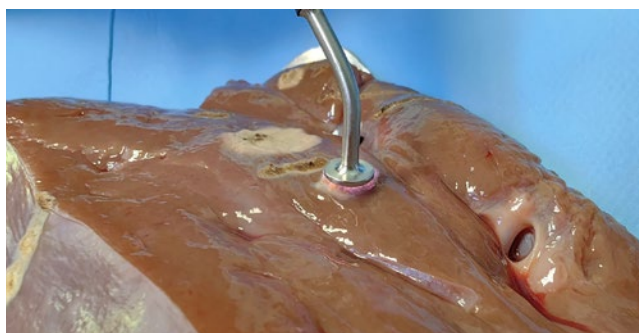


Рис. 11. Коагуляция без контакта – фульгурация.

Эффекты в тканях при коагуляции:

- Молекулы белков денатурируются
- Ткань высушивается
- Сосуды запаиваются
- Результат — гемостаз

Пользователь может устанавливать различные режимы коагуляции и изменять их в зависимости от процедуры (рис. 12).

Электрохирургические технологии сильно изменились со времен своего появления с 1920-х годов. Генераторы работают, принимая переменный ток с частотой 50–60 Гц в секунду и увеличивая ее более чем до 200 000 Гц в секунду [15]. Первоначально генераторы использовали заземленный ток от бытовой электросети. Предполагалось, что, как только ток войдет в тело пациента, он вернется на землю через возвращающий электрод на теле пациента. Но электричество всегда



Рис. 12. В дополнение к выбранному режиму пользователь может установить еще и эффект.

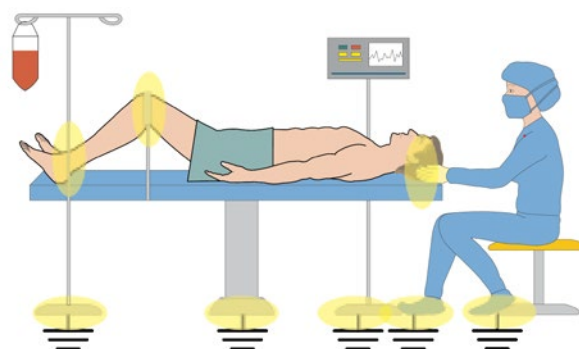


Рис. 13. Место альтернативного выхода электрического тока в области колен (источник изображения: Electrosurgery Self-Study Guide, 2009)



Рис. 14. Контактный электрический ожог голени при операции на молочной железе (источник изображения: Bae HS, Lee MY, Park JU. Intraoperative burn from a grounding pad of electrosurgical device during breast surgery: A CARE-compliant case report. Medicine [Baltimore]. 2018; 97(1)



Рис. 15. Альтернативное место ожога на месте стояния ЭКГ-электрода (источник изображения: <https://www.medtronic.com/covidien/en-us/index.html>)

будет стремиться к пути наименьшего сопротивления (рис. 13), и, когда есть много проводящих объектов, соприкасающихся с пациентом и ведущих к земле, ток будет выбирать кратчайший путь к земле. Прохождение тока через тело в этот момент может привести к альтернативным местам ожога (рис. 14, 15).

Ток, проходящий через тело пациента, может разделиться на несколько потоков в поисках пути наименьшего сопротивления. Это приводит к риску возникновения ожогов в альтернативных местах.

В 1968 году в электрохирургии произошла революция, связанная с технологией изолированных генераторов. Иными словами, в изолированных электрохирургических системах цепь замыкается не по земле, а в генераторе. Хотя заземленные предметы остаются в операционной, при электрохирургии ток от изолированных генераторов возвращается в ЭХВЧ для замыкания электрической цепи. Данные аппараты контролируют не только наличие возвратного электрода, но и его контакт с телом пациента. Если цепь электродов возврата на теле пациента нарушается, то изолированные генераторы отключаются, потому что ток не может вернуться к своему источнику. Генераторы с изолированной схемой понижают опасность ожога кожи, но не защищают пациента от ожога возвращающего электрода.

Исторически сложилось так, что во время использования электрохирургии пациент получает ожоги электродом возврата тока в 70% случаев электротравм. Электроды возврата не являются «неактивными» или «пассивными», единственное их отличие от «активных» электродов — в их размере и токопроводности.

Функция электродов возврата заключается в устранении существующих опасностей в виде альтернативных путей выхода электрического тока [16]. Идеальный возвращающий электрод благополучно собирает ток, идущий по пациенту во время электро-

хирургии, и отводит его. Чтобы исключить риск ожога, контактная площадка электрода возврата должна представлять собой контакт большой площади с низким сопротивлением для пациента (рис. 16). Размещение должно быть на проводящей ткани, которая близка к оперируемой ткани.

Если контактная площадь между пациентом и возвращающим электродом уменьшается, или, если сопротивление этого контакта увеличивается, может развиваться опасное состояние, приводящее к ожогу. В случае сокращения площади контакта концентрация тока увеличивается, температура на возвращающем электроде увеличивается. Если температура на возвращающем электроде увеличивается достаточно, пациент получает ожог. Изменение площади сопротивления тока может зависеть от таких факторов, как чрезмерный волосяной покров, жирность ткани, костные выступы, пролитые жидкости, рубцовая ткань и многое другое (рис. 17).

В монополярной технологии установленный нейтральный электрод выполняет задачу направить ток, введенный в операционное поле, обратно в аппарат. К нейтральным электродам предъявляют следующие требования: достаточно большая площадь контакта и высокая электропроводность.

В настоящее время широко используются клейкие электроды одноразового использования (рис. 18). Обычно такие одноразовые нейтральные электроды оснащены функцией контроля контакта с телом пациента. Многоразовые нейтральные электроды из проводящей резины встречаются реже (рис. 19). Они не имеют функции контроля контакта с телом пациента.

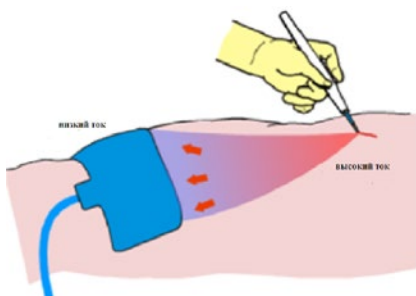


Рис. 16. Уменьшение плотности электрического тока на пути от активного электрода к пассивному (источник изображения: Electrosurgery Self-Study Guide, 2009)

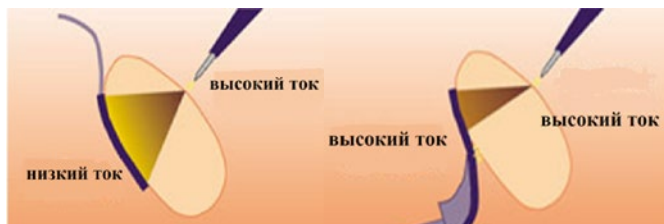


Рис. 17. Изменение площади сопротивления тока при уменьшении площади контакта нейтрального электрода (источник изображения: https://surgicalart.ru/safety_in_electrosurgery/)



Рис. 18. Одноразовые нейтральные электроды с функцией контроля контакта с телом пациента (источник изображения: <https://bowa-eurasia.com/>; <https://dionms.ru/>)



Рис. 19. Многоразовые нейтральные электроды из токопроводящей резины и металла (источник изображения: <https://firmed.ru/>; <https://itstom.ru/>)

При использовании разделенных одноразовых нейтральных электродов в современных ВЧ-аппаратах происходит постоянный мониторинг плотности контакта с кожей пациента. Контакт с тканями надежно контролируется на протяжении всего времени операции, при отсутствии контакта аппарат не подает электрический ток на активный электрод.

При использовании многоразовых нейтральных электродов необходимо периодически проверять правильность контакта. Это особенно важно, если во время оперативного вмешательства положение тела пациента меняли.

При подключении многоразового электрода прибор ЭХВЧ контролирует только соединение между устройством и электродом. Если контакт есть, загорится зеленый символ нейтрального электрода (рис. 20).

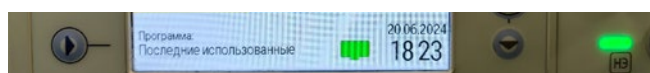


Рис. 20. Горящий зеленым символ нейтрального электрода (зеленый статус безопасности).

Требования электробезопасности для монополярной хирургии. Место установки нейтрального электрода должно соответствовать месту хирургического вмешательства и быть выбрано следующим образом:

- предпочтительна область с хорошо развитой мышечной тканью;
- текущие пути тока должны быть максимально короткие (максимально близко к месту операции);
- сердце и электроды ЭКГ не должны находиться на пути прохождения электрического тока.

Необходимо плотно прижимать всю поверхность нейтрального электрода к телу пациента. Нейтральный электрод должен находиться как можно ближе к операционному полю. Контактная пластина нейтрального электрода должна быть полностью вставлена в соединительный зажим. Контактная вкладка не должна касаться кожи пациента — существует риск ожогов. Не рекомендуется накладывать нейтральный электрод в область сердца.

Для установки нейтрального электрода следует избегать недостаточно васкуляризированных участков тела, суставов, костных выступов. Важно учитывать индивидуальные особенности каждого пациента, прежде всего, в плане наличия в организме протезирующих устройств (эндопротезы, кардиостимуляторы, импланты, стенты, металлические пластины для остеосинтеза) что может существенно повлиять на место установки нейтрального электрода в целях эффективности и безопасности применения электрохирургических инструментов. Варианты расположения нейтральных электродов показаны на рисунке 21.

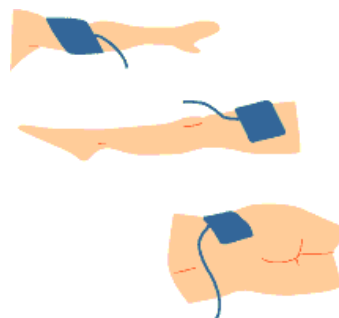


Рис. 21. Варианты расположения возвратных (нейтральных) электродов (источник изображения: <https://www.laparoscopyhospital.com/>)

Осложнения в эндовидеохирургии. В настоящее время эндовидеохирургия основательно и навсегда вошла в рутинную практику врачей различных специальностей — хирургов, урологов, травматологов, нейрохирургов и т.д. Эта технология невозможна без применения электрохирургических методик. Развитие новой технологии привело к появлению новых хирургических инструментов и, как следствие, новых специфических осложнений. Поэтому электробезопасности пациентов при эндовидеохирургических вмешательствах необходимо уделять особое внимание [17, 18].

Повреждение электрической дугой внутренних органов в эндохирургии может произойти в двух зонах (рис. 22):

- В зоне эндоскопического обзора.
- Вне зоны эндоскопического обзора.



Рис. 22. Зоны эндоскопического обзора и различной степени опасности эндоскопического инструмента

Повреждения в зоне эндоскопического обзора. Во избежание этого осложнения необходимо активировать электрод только тогда, когда захвачена ткань, которую необходимо рассечь или коагулировать, и избегать активации электрода в свободном состоянии. Если движение электрода производят не внутрь троакара, а в сторону, повреждение органов становится более вероятным. Именно таков механизм ранения диафрагмы и двенадцатиперстной кишки при лапароскопической холецистэктомии, мочевого пузыря и забрюшинных сосудов в гинекологии, слепой кишки при лапароскопической аппендэктомии.

При многих заболеваниях нормальная анатомия органов существенно изменена, что увеличивает риск электрохирургических повреждений.

Основные причины повреждений органов и отдельных анатомических структур при использовании электрохирургических инструментов:

1. Дефект изоляции электрода.

Даже небольшой дефект может привести к освобождению 100% энергии на прилежащие ткани и органы в зоне, не доступной обзору. При нарушении изоляции электрода возможно повреждение тканей за счет прямого контакта с другими инструментами, а также при соприкосновении непосредственно с тканью. Особенно опасно данное осложнение при повреждении вне зоны эндоскопического обзора, что может остаться незамеченным и привести к послеоперационным осложнениям (Рис 23).

Наиболее часто нарушение изоляции возникает на одноразовых инструментах при их многократном использовании.



А



Б

Рис. 23. Дефекты изоляции лапароскопических электроинструментов. А - в зоне эндоскопического обзора. Б - вне зоны эндоскопического обзора.

2. Емкостной «пробой» электроэнергии.

При этом электрическая энергия передается в расположенные рядом ткани через неповрежденную изоляцию за счет электростатических полей.

Наиболее опасна активация электрода, находящегося в канале троакара или в брюшной полости, который не соприкасается с нагрузкой, то есть с тканью. При последующем касании ткани емкостной ток может сойти, и благодаря большой плотности вызвать ожог ткани. Наибольшая концентрация тока возникает при работе пятимиллиметровым инструментом в пятимиллиметровом троакаре или десятимиллиметровым инструментом в десятимиллиметровом троакаре. Наименьший емкостной эффект возникает при работе пятимиллиметровым инструментом в десятимиллиметровом троакаре. Наибольшее количество энергии скапливается при работе в пластмассовых троакарах, так как металлические троакары способствуют рассеиванию энергии в тканях передней брюшной стенки.

Согласно литературным данным в канюлю троакара при работе генератора передается от 5 до 40 % энер-

гии. Таким образом, наиболее безопасная комбинация при введении инструментов в брюшную полость — изолированный инструмент, металлический троакар. При такой комбинации в качестве диэлектрика выступает изоляция инструмента, а металлический троакар способствует «стеканию» емкостного тока по направлению к нейтральному электроду [17].

3. Прямой пробой.

Возникает при соприкосновении инструмента, подключенного к электрохирургическому генератору, с троакаром или с другим инструментом вне поля зрения хирурга. При одновременном касании органа возникает его ожог.

4. Сброс тока через жидкость.

Если жидкость, которая по тем или иным причинам находится в брюшной полости, имеет меньшее сопротивление, чем ткань, то ток пройдет по пути наименьшего сопротивления и может вызвать ожог тканей при достаточной мощности.

5. Возгорание в брюшной полости.

Данное осложнение в настоящее время практически не встречается, так как в лапароскопической хирургии используют для инсuffляции газы, не поддерживающие горения. Однако на этапе становления эндовидеохирургии применяли газ с примесью кислорода, тогда и были описаны подобные осложнения [17].

Косвенно можно заподозрить пробой электрода по:

- А. Падению мощности воздействия;
- Б. Подергиванию мускулатуры брюшной стенки;
- В. Появлению «снежной метели» на экране монитора.

Применение биполярных инструментов в эндовидеохирургии устраняет вышеуказанные осложнения. Биполярные инструменты уничтожают емкостной эффект, так как магнитные поля, возникающие вокруг каждого проводника биполярной пары, имеют противоположные направления, и поэтому уничтожают друг друга. Однако из-за малой мощности их применение ограничено. В настоящее время разработаны системы с обратной связью, контролирующие пробой и автоматически отключающие генератор.

Особенности электрохирургии в лапароскопии:

- Видимое пространство ограничено, повреждения могут происходить за рамками экрана монитора.
- Хирург работает в условиях двухмерного изображения.
- В работе врачи используют непривычные для «открытой» хирургии инструменты.
- Рабочее пространство внутри брюшной полости ограничено, поэтому нередко инструменты по ходу операции контактируют с другими органами и между собой.
- Операционное поле после применения ЭХВЧ может быть задымлено, что снижает обзор.
- Осложнения могут проявить себя на поздних сроках. Например, поверхностный ожог стенки кишки клинически не проявляется на протяжении 3–5 дней до наступления перфорации органа и развития перитонита [7].

Рекомендации по предотвращению электрохирургических осложнений.

В целях предупреждения осложнений, связанных с применением электрохирургических инструментов, AORN (Association of periOperative Registered Nurses) разработал рекомендации для электрохирургии в 2003 году (<https://www.aorn.org/>).

- Активный электрод ЭХВЧ не должен использоваться в непосредственной близости от легковоспламеняющихся веществ;
- Необходимо избегать использования электрохирургии в обогащенной кислородом среде;
- Активный электрод во время операции лучше всего располагать в специальном чехле (рис. 24);
- Не используйте красные резиновые катетеры или другие материалы как изоляцию активных электродов. Это может привести к воспламенению.
- Используйте только выпущенные производителем ЭХВЧ изоляционные материалы.
- Шнуры не должны быть обернуты вокруг металлических инструментов.
- Шнуры не должны быть перекручены и лежать вместе.

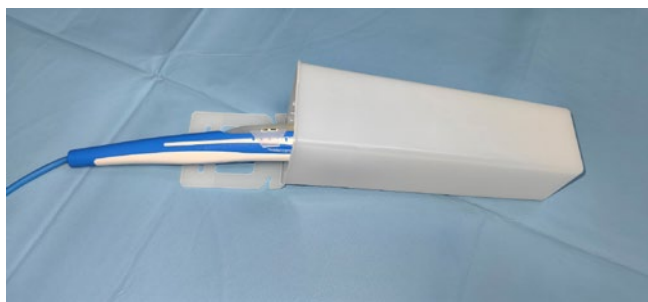


Рис. 24. Электроинструмент в специальном чехле во время операции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие современной хирургии немыслимо без применения новейших технологий. Наличие многообразных электрохирургических методик и оборудования требует от всех членов операционной бригады знаний по электробезопасности и навыков в настройке и использовании электрохирургических аппаратов различных производителей. При настройке электрохирургических аппаратов необходимо придерживаться принципа, что мощность должна быть максимально необходимая, но минимально возможная. В зависимости от требуемой глубины и толщины разреза, объема операции, условий ее исполнения, этиологии патологического процесса, ожидаемых сроков заживления, условий воздействия на окружающие ткани — правильно выбирать размер и форму активного электрода. Перед началом и во время операции контролировать положение и состояние нейтрального электрода. Устанавливать нейтральные электроды с соблюдением рекомендованных требований. Важно обязательное обучение всех членов операционной бригады по вопросам электробезопасности. Контроль за целостностью изоляции электроинструментов не является роскошью, а должен проводиться на всех этапах их обработки и непосредственно перед операцией. Важнейшей целью является обеспечение максимальной безопасности пациентов и хирургов в операционной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Goldwyn Robert M. M.D. Bovie: The Man and the Machine // *Annals of Plastic Surgery*. — Т. 2. — № 2. — Р. 135–153. — February 1979.
2. Vilos G. A. Understanding and practising safe electrosurgery in the operating room // *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*. — 2018. — Т. 40. — №. 10. — С. 1337–1347. doi:10.1016/j.jogc.2018.03.004
3. Резолюция XIII съезда хирургов России // *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. — 2021. — № 12. — С. 122–123. — DOI 10.17116/hirurgia2021121122. — EDN QNQPJP.
4. Отдельнов Л.А. Безопасность в электрохирургии как необходимый навык при подготовке хирургов / Л.А. Отдельнов, А.С. Мухин, О.В. Горох // *Виртуальные технологии в медицине*. — 2021. — № 3(29). — С. 130–131. — EDN YAGACQ.)
5. Федоров И.В. Практическое использование энергии и осложнения ее применения в хирургии (обзор литературы) / И. В. Федоров // *Хирургическая практика*. — 2014. — № 1. — С. 4–13. — EDN TAQXMT.
6. Шалагин К. С. Электрохирургия: эволюция, методика, аппаратура / К. С. Шалагин, Ю. Р. Агапова, В. А. Назарова // *Научосфера*. — 2023. — Т. 12. — №1. — С. 79–83. — DOI 10.5281/zenodo.10419020. — EDN OXCYNF)
7. Diop B. et al. Complications inattendues de la chirurgie: deux cas de brûlure par plaque de bistouri électrique // *Annals of Burns and Fire Disasters*. — 2016. — Т. 29. — №. 4. — С. 286–288.
8. Nduka C. C. et al. Cause and prevention of electrosurgical injuries in laparoscopy // *Journal of the American College of Surgeons*. — 1994. — Т. 179. — №. 2. — С. 161–170.
9. Давыдов А. И. и др. Высокие хирургические энергии в оперативной гинекологии // *Вопросы гинекологии, акушерства и перинатологии*. — 2013. — Т. 12. — №. 5. — С. 75–85.
10. Федоров И.В. Практическое использование энергии и осложнения ее применения в хирургии (обзор литературы) / И.В. Федоров // *Поволжский онкологический вестник*. — 2013. — Т. 4. — С. 56–65. — EDN TMOGUN.

11. Сажин А.В. Безопасность в электрохирургии: результаты общероссийского опроса уровня знаний / А.В. Сажин, Т.В. Нечай, А.Е. Тягунов [и др.] // Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. — 2023. — Т. 1. — С. 5–12. — DOI 10.17116/hirurgia20230115. — EDN HAIFVK.
12. Есипов А.В. Проблемы организации внутреннего контроля качества и безопасности медицинской деятельности в медицинской организации / А.В. Есипов, В.В. Абушинов // Госпитальная медицина: наука и практика. — 2018. — Т. 1, № 5. — С. 3–11. — EDN QLPERP.
13. Есипов А.В. Новые требования к внутреннему контролю качества и безопасности медицинской деятельности: пути и инструменты их реализации в многопрофильном стационаре (сообщение первое) / А. В. Есипов, В. В. Абушинов, А. В. Алехнович // Госпитальная медицина: наука и практика. — 2021. — Т. 4. — № 1. — С. 45–53. — DOI 10.34852/GM3CVKG.2021.47.52.007. — EDN UIEWZO.
14. Ахтямов С.Н. Электро- и радиохирургические методы в дерматологии и косметологии / С.Н. Ахтямов. — Москва, 2014. — 68 с.
15. Кулаков В.И. и др. Оперативная гинекология — хирургические энергии // Москва. — Антидор. — 2000. — 860 с. — ISBN 5-93751-001-1. — EDN VJMOUX.
16. Electrosurgery Self-Study Guide/ 2009, p. 32. www.covidien.com
17. Осипов А.В. Роль высокочастотного электрохирургического лигирования при лапароскопических операциях на органах брюшной полости : дис. — Воен.-мед. акад. им. СМ Кирова. — 2015.
18. Шаповалова Ю.А. Современные электрохирургические методики гемостаза в лапароскопической хирургии (обзор литературы) // Вестник неотложной и восстановительной медицины. — 2011. — Т. 12. — № 3. — С. 415–418. — EDN QMWDON.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мусаилов Виталий Анатольевич — д.м.н. Начальник хирургического отделения (с операционными блоками и центральной стерилизационной) ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — ЦВКГ имени А.А. Вишневского» Министерства обороны России. Преподаватель кафедры хирургии с курсом онкологии и лучевой диагностики, филиал ФГБУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны России, Researcher ID Web of Science: HKF-2148-2023, <https://orcid.org/0000-0002-0168-0939>, eLIBRARY SPIN-код: 3379-0023, eLIBRARY Author ID: 856312, Scopus ID 26536472300

Бузель Игорь Георгиевич — к.м.н., врач-пластический хирург ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр высоких медицинских технологий — ЦВКГ имени А.А. Вишневского» Министерства обороны России. Доцент кафедры пластической хирургии МИНО ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», eLIBRARY SPIN-код: 8459-9989, eLIBRARY Author ID: 983527, <https://orcid.org/0009-0005-5296-4535>

Староконь Павел Михайлович — д.м.н., профессор. Старший преподаватель кафедры хирургии с курсом онкологии и лучевой диагностики, филиал ФГБУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны России, <https://orcid.org/0000-0002-6512-9361>, eLIBRARY SPIN-код: 4367-6501; eLIBRARY AuthorID: 553813

Потапов Вячеслав Александрович — к.м.н., преподаватель военного учебного центра, ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ, <https://orcid.org/0000-0001-9995-0134>, eLIBRARY SPIN-код: 4282-3606, eLIBRARY AuthorID: 1127236

Галик Наталия Ивановна — к.м.н., доцент кафедры хирургии с курсом онкологии и лучевой диагностики филиал ФГБУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны России. eLIBRARY SPIN-код: 9936-1759. eLIBRARY AuthorID: 1122915

Исламгазин Руслан Шамилович — студент лечебного факультета ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» МЗ РФ, <https://orcid.org/0000-0002-9239-0645>, SPIN-код: 2756-0970, AuthorID: 1167491

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Мусаилов В.А. — идея статьи, актуальность проблемы, первичный анализ литературы

Бузель И.Г. — составление литературного обзора

Потапов В.А., Исламгазин Р.Ш. — написание текста статьи

Исламгазин Р.Ш. — перевод на английский язык

Галик Н.И. — составление таблиц, работа с изображениями

Староконь П.М. — утверждение версии для публикации

ПОСТУПИЛА: 13.07.2024

ПРИНЯТА ПОСЛЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ: 27.08.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 17.09.2024