

Электротравма (обзор литературы)

Е.А. Жиркова*, Т.Г. Спиридонова, А.В. Сачков, К.В. Светлов

Отделение острых термических поражений

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

Российская Федерация, 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3

* Контактная информация: Жиркова Елена Александровна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗ г. Москвы». E-mail: ZhirkovaEA@sklif.mos.ru

РЕЗЮМЕ

Проведенный анализ отечественных и зарубежных источников литературы показал, что проблема диагностики и лечения электротравмы, как и в начале XX века, остается актуальной. За прошедшее столетие механизмы воздействия электрического тока на органы и ткани были хорошо изучены. Однако поиск методов диагностики объема поврежденных тканей не завершен, а такие методы необходимы, так как призваны помочь в определении объемов хирургического вмешательства. По-прежнему многим больным требуются повторные оперативные вмешательства для полного иссечения некротизированных тканей. У большинства пациентов с тяжелой электротравмой реконструктивные операции проходят в несколько этапов. На сегодняшний день большая часть клинических данных и практических рекомендаций основаны на мнении отдельных экспертов и ограниченных клинических исследованиях.

Ключевые слова:

электротравма, электроожог, биовоздействие электрического тока, электролиз, электропорация, электроконформационная денатурация мембранных белков, диагностика электротравмы, лечение электротравмы

Ссылка для цитирования

Жиркова Е.А., Спиридонова Т.Г., Сачков А.В., Светлов К.В. Электротравма (обзор литературы). *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2019;8(4):443–450. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2019-8-4-443-450>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарности

Исследование не имеет спонсорской поддержки

ДВС-синдром — синдром диссеминированного внутрисосудистого свертывания
КФК — креатинфосфокиназа

КФК-МВ — сердечная фракция креатинфосфокиназы
ЦНС — центральная нервная система
ЭКГ — электрокардиография

АКТУАЛЬНОСТЬ

В 1600 г. вышел в свет труд У. Гилберта «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле», в котором были описаны опыты с наэлектризованными телами и введен термин «электрический заряд» [1]. О первой зарегистрированной смерти, вызванной электрическим током от искусственного источника, было сообщено в 1879 г. — плотник в Лионе (Франция) случайно прислонился к 250-вольтному генератору переменного тока [2]. Электрификация быта и промышленности, с одной стороны, неотъемлемый фактор прогресса, а с другой — причина тяжелого, в том числе смертельного травматизма.

Пострадавшие от электричества в наше время составляют около 5% от поступивших в ожоговые центры по всему миру [3]. Больных с электротравмой от больных, получивших термическую травму от других этиологических факторов, отличают: более молодой возраст, меньшая площадь и большая глубина поражения кожных покровов [4], тяжелое течение и высокая летальность [3], высокая частота инвалидизации [5]. Кроме того, описаны и случаи ятрогенной электротравмы [6, 7].

Целью работы явилось изучение современных данных об этиологии, патогенезе, клинической картине, диагностике и лечении электротравмы.

Поиск медицинской литературы проводили с использованием медицинских баз данных *eLibrary* и *Pubmed* за период 1929–2018 гг. Ресурсы с устаревшей информацией были исключены, а некоторые были найдены по спискам ссылок на статьи. Современное состояние проблемы диагностики и лечения отражают статьи за последнее десятилетие, однако данные фундаментальных экспериментальных и патоморфологических исследований в большинстве случаев привлечены из более ранних публикаций.

ЭТИОЛОГИЯ И ПАТОГЕНЕЗ

В ресурсе *Pubmed* публикации по электротравме доступны с 1898 г., а первые экспериментальные сведения по данному виду патологии появились лишь в 1929 г. [8]. При этом некоторые авторы еще не так давно (в 1976 г.) говорили лишь о термическом воздействии электрического тока на ткани [9]. В настоящее время описаны несколько механизмов воздействия электрического тока на биологические ткани: это термические ожоги, биовоздействие, электролиз, механические повреждения [10, 11].

Поражающее действие на организм электричества зависит от напряжения, силы тока, вида тока (постоянный или переменный), сопротивления, пути прохож-

дения тока, продолжительности контакта и состояния организма человека. При прочих равных условиях электрический ток тем более опасен, чем выше его напряжение. Ток высокого напряжения (>500–1000 В), как правило, приводит к глубоким ожогам, а низковольтный ток (110–220 В) обычно вызывает мышечный спазм во время воздействия — тетанию. Токи высокого напряжения (тысячи вольт и более) в ряде случаев не приводят к смерти, когда в месте контакта возникает дуговой разряд (вольтова дуга): происходит обугливание тканей, вызывающее резкое увеличение их сопротивления и снижение силы тока [12]. Переменный ток напряжением до 500 В опаснее постоянного, при напряжении около 500 В переменный и постоянный токи опасны в одинаковой мере, а при напряжении свыше 1000 В становится более опасным постоянный ток [10]. Различие воздействия связано с тем, что раздражение нервных тканей при постоянном токе возникает в момент замыкания и размыкания электрической цепи, при переменном токе — в течение всего времени прохождения тока. Переменный ток широко распространен в промышленности и быту [13]. Чаще всего при электротравмах имеют дело с током частотой 40–60 Гц. С увеличением частоты переменного тока, проходящего через тело человека, полное сопротивление тела уменьшается, а величина проходящего тока возрастает. Однако уменьшение сопротивления возможно лишь в пределах частот от 0 до 60 Гц, дальнейшее повышение частоты сопровождается снижением опасности поражения, которая полностью исчезает при 450–500 кГц. Однако эти токи сохраняют опасность ожогов как в случае возникновения электрической дуги, так и при прохождении их непосредственно через тело человека. Тяжесть поражения электрическим током зависит от сопротивления кожи: при высоком сопротивлении характерны ожоги в точках контакта, при низком более вероятны повреждения внутренних органов. Таким образом, отсутствие ожогов кожи в точках «входа» и «выхода» не исключает наличия электротравмы, а выраженность внешних проявлений не всегда определяет ее тяжесть [12]. По данным мировой статистики, наибольшее поражение электрическим током приходится на установки до 1000 В, что связано с их широкой распространенностью [14].

В.М. Алексеев и соавт. выделяют два типа поражения током: электротравма (локальное поражение) и электрический удар (воздействие тока на нервную систему и мышцы) [11]. В.А. Соколов и соавт. выделяют следующие типы поражения электротоком: электротравма — общее воздействие на организм электрического тока, электроожог — локальное воздействие на ткани, ожог вспышкой вольтовой дуги и поражение атмосферным электричеством [13]. *F. Sturmer* считает, что электрические ожоги могут возникнуть при контакте с источником тока, при возникновении электрической дуги и ударе молнии [15].

Свыше 70% смертельных исходов от контакта с электричеством вызывает электрический удар [11], который происходит обычно при токах силой до 1 А и напряжении до 1000 В [16]. Путь прохождения тока по человеческому телу определяется местами его входа и выхода и называется петлей. Самые опасные пути идут через сердце и органы дыхания [11]. Наиболее часто на практике встречаются пути «рука–рука» (до 40% от всех видов поражения) и «рука–нога» (до 35%). В таких

ситуациях погибают 80% пострадавших [10], так как такое воздействие практически всегда поражает сердце, приводя к его фибрилляции [11].

Различают двухфазное и однофазное прикосновение. При двухфазном прикосновении человек одновременно соприкасается двумя точками тела с разнополярными токоведущими частями. В момент касания на человека воздействует напряжение работающей сети. В сетях переменного тока напряжением выше 100 В ток, проходящий через тело, превышает значения порогового неотпускающего (16 мА, вызывающего при прохождении через человека непреодолимые судорожные сокращения мышц руки, в которой зажат проводник) и фибрилляционного (100 мА, вызывающего фибрилляцию сердца). Нередко это приводит к смертельному исходу, если пострадавшему своевременно не оказана помощь [10]. При однополюсном прикосновении человек касается токоведущей части только одной точкой тела, и на него воздействует почти в 2 раза меньше рабочего напряжения [16]. При однополюсном включении без заземления действие тока не проявляется, так как он не проходит через тело человека [17].

В отличие от металлов и полупроводников тело человека или животного является проводником электрического тока второго рода, то есть проводимость осуществляется за счет ионов различных электролитов, содержащихся в организме. Наибольшим сопротивлением в сравнении с другими тканями обладает кожа и, главным образом, ее наружный слой — эпидермис. Электрохимическое действие тока проявляется в виде нарушения ионного равновесия в тканях в виде коагуляционного (у анода) и колликвационного (у катода) некроза; в образовании пара и газа, в импрегнации кожи металлом проводника [12]. В костях в результате расплавления, а затем застывания фосфорнокислого кальция могут образовываться «жемчужные бусы» («костяные бусы»). Они представляют собой образования правильной шаровидной, яйцевидной формы или многогранников, полых внутри, диаметром 1–2 мм. Этот феномен был описан еще К. Рентгеном в 1911 г. Электрический ток оказывает влияние на калий-натриевый градиент клеток, нарушает мембранные потенциалы и передачу импульса по нервам [12, 17].

К биовоздействию относят электропорацию и электроконформационную денатурацию мембранных белков. Электропорация (возникновение в бислоидной липидной мембране локальной перестройки структуры, приводящей к появлению сквозного водного канала) может вызвать некроз клеток в отсутствие высокой температуры [5, 18, 19]. *D. Bhatt et al.* в экспериментальной работе показали, что рабдомиолиз и вторичное высвобождение миоглобина могут быть результатом электропорации [20]. Молекулы трансмембранного белка содержат полярные аминокислотные остатки, которые могут изменять свою ориентацию в ответ на прохождение электрического тока. Этот эффект, известный как электроконформационная денатурация мембранных белков, обычно необратим и представляет собой механизм нетеплового повреждения [5, 21].

Основную массу электротравм занимают термические ожоги, которые также подразделяют на дуговые ожоги и контактные. Дуговой ожог проявляется при вхождении человека в сферу влияния электродуги (таковая возникает, как правило, между токоведущими элементами оборудования) [11]. Температура в

канале дуги достигает 7000°C, в результате этого могут выгорать кожные покровы, мышечная и костная ткани [10]. Контактный ожог — результат контакта части тела человека с нагретым элементом электрооборудования [11].

Электрический ток, преодолев сопротивление кожи и подкожной жировой клетчатки, проходит по пути наименьшего сопротивления через глуболежащие ткани, по тканевой жидкости, кровеносным и лимфатическим сосудам, оболочкам нервных стволов [7, 15].

Ток, проходя по сосудам, повреждает их интиму, что является причиной развития тромбозов и кровотечения, нарушений сосудисто-тромбоцитарного гемостаза, свертывания крови и фибринолиза, ведущих к синдрому диссеминированного внутрисосудистого свертывания (ДВС-синдрому), нарушениям микроциркуляции, эндотелиальной дисфункции [22].

Различают два типа повреждения мозга: непосредственные термические эффекты и поздние дегенеративные последствия, которые появляются в непосредственной близости от сосудистых каналов или бассейнов спинномозговой жидкости [15]. Особое значение для практики ведения больных с электрической травмой имеют представления о первичном и вторичном повреждающих действиях электрического тока на нервную систему. Первичное повреждающее действие приводит к некрозу и последующему глиозу нейронов (замещению утраченных нейронов клетками нейроглии) центральной нервной системы (ЦНС) и валлеровскому перерождению периферических нервов. Вторичный повреждающий эффект электрического тока на нервную систему обусловлен действием сосудистого, токсического (ожоговая болезнь) и механического факторов [23]. В головном и спинном мозге обнаруживают кровоизлияния, участки разрежения мозговой ткани, утолщение глиальной сети, пролиферацию глиозных элементов, склероз и гиперхромность нервных клеток коры. В сосудистом русле наблюдают полнокровие с расширением крупных сосудов и капилляров, явления стаза, кровоизлияния в периваскулярные пространства и в вещество мозга. Периваскулярные кровоизлияния наиболее часто происходят в промежуточном, продолговатом мозге, в стенках III и IV желудочков, в области передних рогов спинного мозга [12].

Механическое действие тока проявляется в нарушении целостности кожных покровов и других тканей (с образованием ссадин, ран, изолированных трещин костей), а также во внедрении частиц металла проводника в кожу на месте контакта (металлизация) [17]. Механический эффект тока большой силы проявляется в расслоении тканей вплоть до отрыва частей тела [13].

Особый вид электротравмы вызван действием атмосферного электричества — молнии. Молния является огромным по напряжению (миллионы вольт) и силе тока (более десяти тысяч ампер) разрядом атмосферного электричества. При ее действии происходят процессы, сходные с действием высоковольтного технического электричества, но имеющие большую количественную выраженность. Тепловая и механическая энергия молнии при действии на человека может привести к распространенным ожогам I, II и III степеней, к опалению части или всего волосяного покрова, разрывам внутренних органов и отрывам частей тела. Иногда на коже образуются своеобразные

«фигуры молнии» в виде красного отпечатка древоподобной формы [17]. Поражение человека во время грозы молнией встречается реже, чем техническим электричеством и возможно, главным образом, на открытом воздухе, вблизи высоких металлических конструкций, деревьев или в помещении — через проводные устройства, а также через открытые окна и печные трубы. Известны случаи поражения молнией в трамвае и троллейбусе. При ударе молнии вследствие растекания тока по земле нередки поражения близко находящихся людей.

Причины смерти при электротравмах различны и обусловлены характером тока, путем его прохождения, реакцией и состоянием организма, а также другими факторами. Возможна одна из трех причин смерти или их сочетание: нарушение деятельности сердца (фибрилляция), остановка дыхания и шок [24]. Они могут возникать как при непосредственном действии электрического тока на сердце или головной мозг, так и рефлекторно, при воздействии на другие части тела. Большое значение в механизме развития этих состояний имеет острая ишемия тканей в результате спазма гладкой мускулатуры сосудов. В большинстве случаев причиной мгновенной смерти служит нарушение сердечной деятельности при действии тока низких напряжений (110–380 В) и небольшой силы. При более высоком напряжении и величине переменного тока чаще возникает поражение ЦНС и остановка дыхания [17].

КЛИНИЧЕСКАЯ КАРТИНА И ДИАГНОСТИКА

Клиническая картина весьма разнообразна и во многом зависит от тяжести и особенностей самой электротравмы. Ток, проходя через различные органы и ткани, вызывает целый ряд нарушений. Для определения тяжести поражения электрофоком С.А. Полищук и С.Я. Фисталь предложили классификацию, учитывающую судорожное сокращение мышц, потерю сознания, нарушение сердечной и дыхательной деятельности [24].

Остановка сердца обычно происходит в момент травмы. Многие осложнения схожи с таковыми при термических ожогах [25]. Могут возникнуть неврологические осложнения, такие как потеря сознания, последствия повреждения периферических нервов и отсроченные синдромы повреждения спинного мозга [26–28]. Наиболее распространенными осложнениями со стороны желудочно-кишечного тракта являются стрессовые язвы и кишечная непроходимость. Известны случаи повреждения поджелудочной железы и печени, полых внутренних органов, включая тонкую кишку, толстую кишку, мочевого пузыря и желчный пузырь [29, 30].

Переменный ток низкого напряжения (220–380 В), проходя через тело с низким сопротивлением кожных покровов (влажная, тонкая кожа, плотный, большой по площади контакт), может не оставить следов [7]. Тот же ток, действуя на кожу, обладающую высоким сопротивлением (сухая, толстая, омолоделая), как правило, образует на месте контакта «метку тока» или «электрометку». Электрометки при «двухполюсном касании» образуются на месте обоих контактов, при «однополюсном» — на месте входа, а на месте выхода тока указанных напряжений электрометки образуются редко или бывают слабо выражены [12]. Электрометки могут иметь различный вид. Наиболее типичные представляют собой плотный, серый или серо-жел-

тый округлый участок кожи размером в несколько миллиметров, с возвышающимися краями и небольшим вдавлением в центре. В отличие от термических ожогов, края электротравмы четкие, окружающая кожа внешне не изменена, волосы не опалены. Если на кожу воздействует напряжение выше 380 В, то возникает электрический ожог III степени, который захватывает всю толщу кожи и может сопровождаться ее обугливанием. Участок ожога имеет темно-желтый, бурый или черный цвет, четкие границы; площадь его зависит от величины тока и площади контакта. Обширные ожоги с обугливанием кожи и повреждением глубже лежащих мягких тканей и даже костей возникают при действии тока напряжением 1000 В и выше. Они часто сочетаются с ожогами от действия электрической дуги и воспаленной одеждой, то есть с термическими ожогами [17]. Иногда ожоги образуются и по ходу тока — в локтевых, паховых и других сгибах, где соприкасаются два слоя кожи, через которые проходит ток (так называемые *kissing burn*) [17, 25].

Электротермический нагрев является основной причиной повреждения мышц, и он наблюдается почти исключительно при воздействии высокого напряжения с длительным (секундным) контактом и протеканием тока [11].

Повреждение сосудов может привести к аррозионному кровотечению [31], к тромбозу или окклюзии сосудов в разные сроки после травмы, так как отек и сгустки образуются на поврежденной внутренней поверхности сосуда в течение нескольких дней [32]. Повреждение мелких мышечных артерий приводит к прогрессирующему некрозу мышц, при внешних первоначальных признаках их жизнеспособности [25].

При травмах высокого напряжения может произойти потеря сознания, но, как правило, она временная, за исключением случаев, когда имеется значительная сопутствующая травма головы [25]. Электротравма ЦНС может вызвать судороги, либо как единичное событие, либо как часть впервые возникшего и сохраняющегося судорожного расстройства [26]. При воздействии высокого напряжения повреждение спинного мозга может быть результатом переломов или разрывов связочного аппарата различных отделов позвоночника. Неврологическая симптоматика может проявиться в сроки от нескольких дней до нескольких лет после травмы в виде восходящего паралича, бокового амиотрофического склероза или поперечного миелита. Двигательные нарушения преобладают над нарушениями чувствительности, а прогноз восстановления функции обычно неблагоприятный [27].

Всем пострадавшим с кардиореспираторными нарушениями, вне зависимости от величины электрического напряжения, принято проводить электрокардиографию (ЭКГ) и определять уровень креатинфосфокиназы (КФК) и ее сердечной фракции (КФК-МВ). Дальнейший кардиологический мониторинг после высоковольтной травмы не проводят, если в момент травмы у пострадавшего не произошла потеря сознания, не возникла аритмия, а при ЭКГ не выявлены отклонения [33]. 24-часовое кардиомониторирование необходимо в случае подтвержденной аритмии или аномальной ЭКГ при первоначальном обследовании; при потере сознания [34, 35]. Для исключения инфаркта миокарда в условиях поражения электрическим током уровни КФК следует интерпретировать с осторожностью. Высокий уровень КФК не всегда указывает

на поражение миокарда, если поврежден большой объем скелетных мышц; миоциты могут содержать до 20–25% фракции КФК-МВ и быть возможным ее источником [36]. КФК-МВ составляет 37% от общего количества КФК в сердечной мышце и также может повышаться при травме скелетных мышц, но уровень этой фракции должен составлять менее 6% от общего количества КФК [37]. Нет информации относительно оценки изменений уровня тропонина после поражения электрическим током [7].

Зависимость между уровнем КФК и зоной распространенности ишемии скелетных мышц является недоказанной. Одни авторы считают, что уровень КФК зависит от объема ишемизированных тканей [25], другие — не обнаруживают такой связи [38, 39]. Есть мнение, что пациентам с чрезвычайно высокими уровнями КФК и лактатдегидрогеназы в течение первых двух дней после поступления в стационар, скорее всего, потребуется ампутация конечности, и в этой же группе самая высокая летальность [40, 41].

Пострадавшим от электрического тока, перенесшим нарушение сознания, проводят компьютерную томографию [7, 25], исключают миоглобинурию — частое осложнение при электрическом повреждении высоким напряжением. Если моча пигментирована или анализы мочи положительны на скрытую кровь, а при микроскопическом анализе не обнаруживают эритроциты, предполагают, что у пациента миоглобинурия [7, 25]. Рентгенограммы шейного отдела позвоночника выполняют, если подозревают травму позвоночника, как и рентгенологическое исследование любых областей, на боль в которых жалуется пациент, или отмечена их деформация [25].

Пульсоксиметрия может быть использована для диагностики ишемии конечности: при снижении показателя сатурации ниже 90% и его разницей между здоровыми и поврежденными участками более 6% может потребоваться декомпрессия тканей — некротомия, фасциотомия [41].

Сцинтиграфию применяют для уточнения объема и локализации повреждения мышц [42, 43].

Описано применение магнитно-резонансной томографии для диагностики некрозов мышц [41].

Повреждения внутренних органов встречаются редко, но могут потребовать интервенционного лечения и сопряжены с ростом летальности [44].

Гистологические изменения, наблюдаемые в поврежденных мышцах в результате прямого контакта с электрическим источником, представляют собой коагуляционный некроз с укорочением саркомера. Повреждение мышц может быть «мозаичным», поэтому области жизнеспособных и нежизнеспособных мышц часто находятся в одной и той же группе мышц. Известны наблюдения повреждения глубоких слоев мышц — при интактных поверхностных слоях [45].

R. DeBono, проведя тщательное гистологическое исследование ампутированной верхней конечности пострадавшего от высоковольтного напряжения (100 000 В), обратил внимание на то, что ткани на латеральной стороне предплечья были повреждены значительно больше, чем на медиальной стороне. Кроме того, он показал, что дистальные части предплечья были больше повреждены, чем проксимальные [5]. Эти наблюдения соответствуют представлениям о путях распространения тока в зависимости от сопротивления тканей.

ЛЕЧЕНИЕ

До настоящего времени отечественные клинические рекомендации по оказанию догоспитальной и стационарной медицинской помощи при электротравме не разработаны.

Догоспитальная помощь заключается в прерывании контакта пострадавшего с источником тока, немедленном начале сердечно-легочной реанимации, при необходимости иммобилизации (включая шейный отдел позвоночника) и начале инфузионной терапии при соблюдении техники безопасности работ в условиях риска электротравмы [46].

Интенсивная терапия. Лечение тяжелой электротравмы в стационаре требует одновременного проведения сердечно-легочной реанимации и оказания неотложной помощи как при множественных травмах. Объем вводимой жидкости зависит от тяжести травмы и повреждений конкретных органов [7]. Электрические ожоги кожи не дают четкого представления о том, какой объем тканей на самом деле поврежден. Пациентам назначают изотонические растворы для внутривенного вливания, достаточные для поддержания выработки мочи на уровне 1,0–1,5 мл/кг/ч. Необходимо проводить инфузионную терапию до достижения адекватного диуреза, контролировать уровень КФК и миоглобинурию [47], применять антиагреганты, в том числе ингибиторы синтеза тромбосана и ингибиторы тромбосановых рецепторов, антибиотики широкого спектра действия; переливать компоненты крови, так как снижения уровня гемоглобина ниже 70 г/л даже в течение 2–3 часов достаточно для распространения и усугубления ишемизированных зон. В ряде случаев отмечена эффективность гипербарической оксигенации у пострадавших от электротравмы [25].

Хирургическое лечение. Пациенты, получившие высоковольтные электроожоги конечностей, нуждаются в хирургическом лечении, которое начинают как можно раньше. Ранняя некротомия и фасциотомия, повторные хирургические обработки ран приводят к декомпрессии тканей и снижают частоту ампутаций [43].

T. d'Amato et al. проводили интраоперационное исследование жизнеспособности мышц сгибателей и разгибателей кисти и предплечья, а также исключали синдром сдавления карпального канала сразу после поступления пострадавшего. Затем повторно проводили ревизию оперированных областей через 24–48 часов. Пациенты перенесли обширную фасциотомию, в том числе футляров глубоких мышц, что избавило в последующем от необходимости ампутации пораженных конечностей [38]. В другом исследовании выполняли немедленно в случаях прогрессирующего отека и признаках ишемии конечности. Ранняя фасциотомия оказалась эффективной у пациентов с высоковольтными ожогами и ожогами кожи менее 40% поверхности тела. Это подчеркивает важное значение хирургических вмешательств, проведенных в течение 4–6 часов после травмы для предотвращения вторичного ишемического некроза мышц [40].

J. Gille et al. проводили некрэктомию и аутодермопластику расщепленным кожным лоскутом в течение 72 часов после травмы в зависимости от состояния пациента. Ампутацию конечностей и микрохирургическую аутоотрансплантацию лоскутов на сосудистой ножке проводили при обширном некрозе мышц в

соответствии с протоколами, принятыми в отдельных зарубежных ожоговых центрах [48].

Свободную аутодермопластику и пластику местными тканями применяли для закрытия небольших дефектов, возникающих, как правило, при воздействии тока низкого напряжения. При поражении током высокого напряжения в основном применяли пластику местными тканями и трансплантатами на сосудистой ножке, но и свободную аутодермопластику также использовали для обширных и сложных дефектов с обнажением глубоких структур [39, 49]. Микрохирургические методы устранения дефектов тканей при электротравме описаны в литературе в виде ограниченного числа наблюдений [50–54].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные представления об этиологии электротравмы сформировались в начале XX века, когда поражение электрическим током стали делить на электротравму техническим электричеством и молнией. По мере изучения воздействия электричества на живые ткани и организм в целом в эксперименте, клинике, при судебно-медицинских исследованиях стали различать электротравму от тока низкого и высокого напряжения. К концу XX века были открыты явления электропорации и конформационной денатурации белков клеточных мембран. Это дополнило ранее известные патогенетические механизмы электротравмы — термические ожоги, биовоздействие, электролиз.

Диагностика объема повреждения чаще основывается на клинических проявлениях (наличие характерных меток тока, отек мягких тканей, нарушение чувствительной и двигательной функции) и визуальном осмотре пораженных тканей (в том числе при операции). Однако электротравма — это нередко процесс, развивающийся во времени. Диагностика объема повреждения иногда занимает 2–3 недели, в течение которых пострадавшему требуется несколько операций с ревизией тканей. Поиски прогностического фактора, позволяющего в течение первых часов или дней определить объем пораженных тканей на основе лабораторных (зависимость между уровнями креатинфосфокиназы, лактатдегидрогеназы, тропонина) и инструментальных исследований (пульсоксиметрия, скинтиграфия, магнитно-резонансная томография) не привели к желаемому результату. В связи с этим описанные прогностические параметры следует интерпретировать с осторожностью и с учетом индивидуального течения и конкретного случая.

В публикациях по электротравме содержится относительно мало информации об оперативном лечении: когда оно должно начинаться, какие необходимые вмешательства должны быть выполнены и что произойдет, если они не будут выполнены. Результаты приведенных исследований нередко противоречивы, что может быть связано с желанием сравнить разные по характеру травмы (например, сочетание электро- и механической травмы), разные уровни и сроки ампутаций, разные возможности применения микрососудистых операций.

Учитывая, что в специализированных ожоговых центрах процент подобных больных очень небольшой, для оценки эффективности существующих методов диагностики и лечения необходимо проведение мультицентровых проспективных рандомизированных исследований, о чем в последнее время заявляют большинство исследователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов О.П. Универсальные физические постоянные. Москва: Просвещение; 1984.
2. Bernstein T. Theories of the causes of death from electricity in the late nineteenth century. *Med Instrum*. 1975;9(6):267–273. PMID: 1102874
3. Shih JG, Shahrokhi S, Jeschke MG. Review of adult electrical burn injury outcomes worldwide: an analysis of low-voltage vs high-voltage electrical injury. *J Burn Care Res*. 2017;38(1):e293–e298. PMID: 27359191 <https://doi.org/10.1097/BCR.0000000000000373>
4. Mangelsdorff G, García-Huidobro MA, Nachari I, Atenas O, Whittle S, Villegas J. High voltage electrical burns as a risk factor for mortality among burn patients. *Rev Med Chil*. 2011;139(2):177–181. PMID: 21773654 <https://doi.org/S0034-98872011000200006>
5. DeBono R. A histological analysis of a high voltage electric current injury to an upper limb. *Burns*. 1999;25(6):541–547. PMID: 10498366 [https://doi.org/10.1016/S0305-4179\(99\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0305-4179(99)00029-7)
6. Гаряев Р.В., Харатишвили Т.К., Буров Д.А., Костяк О.С. Ятрогенная интраоперационная электротравма лучевого нерва. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. 2012;(2):65–68.
7. Koumbourlis AC. Electrical injuries. *Crit Care Med*. 2002;30(11 Suppl):S424–S430. PMID: 12528784 <https://doi.org/10.1097/00003246-200211001-00007>
8. Macmahon HE. Electric Shock. *Am J Pathol*. 1929;5(4):333–348.5. PMID: 19969856
9. Hun JL, Mason AD Jr., Masterson TS, Pruitt BA Jr. The pathophysiology of acute electric injuries. *J Trauma*. 1976;16(5):335–340. PMID: 1271494 <https://doi.org/10.1097/00005373-197605000-00001>
10. Шкрабак В.С., Рузанова Н.И. Особенности электропоражений и методы защиты от воздействия электрической дуги. *Аграрный научный журнал*. 2015;(3):63–66.
11. Алексеев В.М., Алексеева М.С., Халыпин А.А. Действие электрического тока на организм. *Проблемы современной науки и образования*. 2016;33(75):25–26.
12. Назаров Г.Н., Николенко Л.П. *Судебно-медицинское исследование электротравмы*. Москва: Фолиум; 1992.
13. Соколов В.А., Степаненко С.А., Петрачков А.Л., Адмакин А.Л. Эпидемиология пораженных электрическим током: электротравма и электроожоги (обзор иностранных публикаций). *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2014;(4):26–33.
14. Соукуп Ф. *Электричество не прощает: 99 случаев нарушений правил эксплуатации и техники безопасности с указанием их причин и последствий*. Москва: Профиздат; 1960.
15. Sturmer FC. Electrical Burns: A Case Report. *Ann Surg*. 1961;154(1):120–124. PMID: 17859667 <https://doi.org/10.1097/00006558-196107000-00018>
16. Кокорев А.С. *Электрослесарь по ремонту электрических машин*. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Высшая школа; 1983.
17. Алисевич В.И., Прозоровский В.И. (ред.). *Судебная медицина*. Москва: Юридическая литература; 1968.
18. Lee RC, Zhang D, Hannig J. Biophysical injury mechanisms in electrical shock trauma. *Annu Rev Biomed Eng*. 2000;2:477–509. PMID: 11701521 <https://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.2.1.477>
19. Block TA, Aarsvold JN, Matthews KL, Mintzer RA, River LP, Capelli-Schellpfeffer M, et al. The 1995 Lindberg Award. Nonthermally mediated muscle injury and necrosis in electrical trauma. *J Burn Care Rehabil*. 1995;16(6):581–588. PMID: 8582954
20. Bhatt DL, Gaylor DC, Lee RC. Rhabdomyolysis due to pulsed electric fields. *Plast Reconstr Surg*. 1990;86(1):1–11. PMID: 2359775 <https://doi.org/10.1097/00006534-199007000-00001>
21. Chen W, Lee RC. Altered ion channel conductance and ionic selectivity induced by large imposed membrane potential pulse. *Biophys J*. 1994;67(2):603–612. PMID: 7948676 [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(94\)80520-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(94)80520-X)
22. Любин А.В., Солпов А.В., Шаповалов К.Г. Агрегация тромбоцитов и лимфоцитарно-тромбоцитарная адгезия при электротравме в эксперименте. *Дальневосточный медицинский журнал*. 2012;(1):112–115.
23. Хрулев А.Е., Григорьева В.Н., Хрулев С.Е. Механизмы поражения и морфологические изменения нервной системы при электрической травме. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2010;6(2):374–377.
24. Фисталь Э. Я. Электротравма (клиника, неотложная помощь и лечение). *Ликования та диагностика*. 1997;(2):57–64.
25. Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I. Electrical injuries. Biological values measurements as a prediction factor of local evolution in electrocutions lesions. *J Med Life*. 2014;7(2):226–236. PMID: 25408731
26. Hooshmand H, Radfar F, Beckner E. The neurophysiological aspects of electrical injuries. *Clin Electroencephalogr*. 1989;20(2):111–120. PMID: 2706789
27. Varghese G, Mani MM, Redford JB. Spinal cord injuries following electrical accidents. *Paraplegia*. 1986;24(3):159–166. PMID: 3748595 <https://doi.org/10.1038/sc.1986.21>
28. Mankani MH, Abramov G, Boddie A, Lee RC. Detection of peripheral nerve injury in electrical shock patients. *Ann N Y Acad Sci*. 1994;720:206–212. PMID: 8010639 <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1994.tb30448.x>
29. Newsome TW, Curreri PW, Eurenus K. Visceral injuries: an unusual complication of an electrical burn. *Arch Surg*. 1972;105(3):494–497. PMID: 5056946 <https://doi.org/10.1001/archsurg.1972.04180090097023>
30. Branday JM, DuQuesnay DR, Yeessing MT, Duncan ND. Visceral complications of electrical burn injury. A report of two cases and review of the literature. *West Indian Med J*. 1989;38(2):110–113. PMID: 2763531
31. Kobernick M. Electrical injuries: pathophysiology and emergency management. *Ann Emerg Med*. 1982;11(11):633–638. PMID: 7137674 [https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(82\)80211-4](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(82)80211-4)
32. Bongard O, Fagrell B. Delayed arterial thrombosis following an apparently trivial low-voltage electric injury. *Vasa*. 1989;18(2):162–166. PMID: 2662675
33. Purdue GF, Hunt JL. Electrocardiographic monitoring after electrical injury: necessity or luxury. *J Trauma*. 1986;26(2):166–167. PMID: 3944840 <https://doi.org/10.1097/00005373-198602000-00013>
34. Grosgrin O, Marti C, Niquille M. Electrical injuries. *Rev Med Suisse*. 2011;7(305):1569–1573. PMID: 21922721
35. Geddes LA, Bourland JD, Ford G. The mechanism underlying sudden death from electric shock. *Med Instrum*. 1986;20(6):303–315. PMID: 3543629
36. McBride JW, Labrosse KR, McCoy HG, Ahrenholz DH, Solem LD, Goldenberg IF. Is serum creatine kinase-MB in electrically injured patients predictive of myocardial injury? *JAMA*. 1986;255(6):764–768. PMID: 3944978
37. Prellwitz W, Kapp S, Neumeier D, Knedel M, Lang H, Heuwinkel D. Isoenzymes of creatine kinase: distribution in the skeletal muscle and in sera of patients with muscular diseases or damages (author's transl). *Klin Wochenschr*. 1978;56(11):559–565. PMID: 661151 <https://doi.org/10.1007/bf01477252>
38. d'Amato TA, Kaplan IB, Britt LD. High-voltage electrical injury: a role for mandatory exploration of deep muscle compartments. *J Natl Med Assoc*. 1994;86(7):535–537. PMID: 8064905
39. Brandão C, Vaz M, Brito IM, Ferreira B, Meireles R, Ramos S, et al. Electrical burns: a retrospective analysis over a 10-year period. *Ann Burns Fire Disasters*. 2017;30(4):268–271. PMID: 29983679
40. Hsueh YY, Chen CL, Pan SC. Analysis of factors influencing limb amputation in high-voltage electrically injured patients. *Burns*. 2011;37(4):673–677. PMID: 21334820 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.01.014>
41. Kopp J, Loos B, Spilker G, Horch RE. Correlation between serum creatinine kinase levels and extent of muscle damage in electrical burns. *Burns*. 2004;30(7):680–683. PMID: 15475142 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2004.05.008>
42. Hunt J, Lewis S, Parkey R, Baxter C. The use of Technetium-99m stannous pyrophosphate scintigraphy to identify muscle damage in acute electric burns. *J Trauma*. 1979;19(6):409–413. PMID: 448780 <https://doi.org/10.1097/00005373-197906000-00004>
43. Holliman CJ, Saffle JR, Kravitz M, Warden GD. Early surgical decompression in the management of electrical injuries. *Am J Surg*. 1982;144(6):733–739. PMID: 7149133 [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(82\)90560-8](https://doi.org/10.1016/0002-9610(82)90560-8)
44. Marques EG, Júnior GA, Neto BF, Freitas RA, Yaegashi LB, Almeida CE, et al. Visceral injury in electrical shock trauma: proposed guideline for the management of abdominal electrocution and literature review. *Int J Burns Trauma*. 2014;4(1):1–6. PMID: 24624308
45. Püschel K, Brinkmann B, Lieske K. Ultrastructural alterations of skeletal muscles after electric shock. *Am J Forensic Med Pathol*. 1985;6(4):296–300. PMID: 4072983 <https://doi.org/10.1097/0000433-198512000-00005>
46. Apfelberg DB, Masters FW, Robinson DW. Pathophysiology and treatment of lightning injuries. *J Trauma*. 1974;14(6):453–460. PMID: 4842641 <https://doi.org/10.1097/00005373-197406000-00002>
47. Gentges J, Schieche C. Electrical injuries in the emergency department: an evidence-based review. *Emerg Med Pract*. 2018;20(11):1–20. PMID: 30358379
48. Gille J, Schmidt T, Dragu A, Emich D, Hilbert-Carius P, Kremer T, et al. Electrical injury — a dual center analysis of patient characteristics, therapeutic specifics and outcome predictors. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26(1):43. PMID: 29855384 <https://doi.org/10.1186/s13049-018-0513-2>
49. Kym D, Seo DK, Hur GY, Lee JW. Epidemiology of electrical injury: Differences between low- and high-voltage electrical injuries during a 7-year study period in South Korea. *Scand J Surg*. 2015;104(2):108–114. PMID: 24809357 <https://doi.org/10.1177/1457496914534209>
50. Лакатош К.О., Самодай В.Г. Случай успешного хирургического лечения пострадавшего, перенесшего электротравму с поражением головного мозга. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2010;3(2):165–167.
51. Сачков А.В. Микрохирургическая аутоотрансплантация при ожоге головы. *Трансплантология*. 2011;(2–3):85–87.
52. Маликов М. Х., Курбанов У. А., Давлатов А. А. Пересадка васкуляризированных костных трансплантатов при травматических дефектах и ложных суставах костей верхней конечности. *Новости хирургии*. 2012;20(5):82–90.

53. Сачков А.В., Смирнов С.В., Мигунов М.А., Степанова Ю.В., Литинский М.А. Перемещение лучевого лоскута на сосудистой ножке для устранения дефекта кисти после электроожога. *Трансплантология*. 2016;(3):37–40.

REFERENCES

- Spiridonov OP. *Universal'nye fizicheskie postoyannye*. Moscow: Prosveshchenie Publ.; 1984. (In Russ.)
- Bernstein T. Theories of the causes of death from electricity in the late nineteenth century. *Med Instrum*. 1975;9(6):267–273. PMID: 1102874
- Shih JG, Shahrokhi S, Jeschke MG. Review of adult electrical burn injury outcomes worldwide: an analysis of low-voltage vs high-voltage electrical injury. *J Burn Care Res*. 2017;38(1):e293–e298. PMID: 27359191 <https://doi.org/10.1097/BCR.0000000000000373>
- Mangelsdorff G, Garcia-Huidobro MA, Nachari I, Atenas O, Whittle S, Villegas J. High voltage electrical burns as a risk factor for mortality among burn patients. *Rev Med Chil*. 2011;139(2):177–181. PMID: 21773654 <https://doi.org/S0034-98872011000200006>
- DeBono R. A histological analysis of a high voltage electric current injury to an upper limb. *Burns*. 1999;25(6):541–547. PMID: 10498366 [https://doi.org/10.1016/S0305-4179\(99\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0305-4179(99)00029-7)
- Garyaev RV, Kharatishvili TK, Burov DA, Kostyuk OS. Iatrogenic intraoperative electrical injury of nerve radialis. *Bone and soft tissue sarcomas and tumors of the skin*. 2012;(2):65–68. (In Russ.)
- Koumbourlis AC. Electrical injuries. *Crit Care Med*. 2002;30(11 Suppl):S424–S430. PMID: 12528784. <https://doi.org/10.1097/00003246-200211001-00007>
- Macmahon HE. Electric Shock. *Am J Pathol*. 1929;5(4):333–348. PMID: 19969856
- Hun JL, Mason AD Jr., Masterson TS, Pruitt BA Jr. The pathophysiology of acute electric injuries. *J Trauma*. 1976;16(5):335–340. PMID: 1271494 <https://doi.org/10.1097/00005373-197605000-00001>
- Shkrabak VS, Ruzanova NI. Features of electric trauma and methods of protection against electric arc. *The Agrarian Scientific Journal*. 2015;(3):63–66. (In Russ.)
- Alekseev V, Alekseeva M, Khalyapin A. The influence of electric current on the body. *Modern problems of science and education*. 2016;33(75):25–26. (In Russ.)
- Nazarov GN, Nikolenko LP. *Sudebno-meditsinskoe issledovanie elektrotravmy*. Moscow: Folium Publ.; 1992. (In Russ.)
- Soukup F. *Elektrichestvo ne proshchaet: 99 sluchaev narusheniy pravil ekspluatatsii i tekhniki bezopasnosti s ukazaniem ikh prichin i posledstviy*. Moscow: Profizdat Publ.; 1960. (In Russ.)
- Sokolov VA, Stepanenko AA, Petrachkov SA, Admakin AL. Epidemiology of electric shock: electrical accidents and electrical burns (review of foreign publications). *Medico Biological and Socio Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2014;(4):26–33. (In Russ.)
- Sturmer FC. Electrical Burns: A Case Report. *Ann Surg*. 1961;154(1):120–124. PMID: 17859667 <https://doi.org/10.1097/00000658-196107000-00018>
- Kokorev AS. *Elektroslesar' po remontu elektricheskikh mashin*. 2nd ed., rev. and exp. Moscow: Vysshaya shkola Publ.; 1983. (In Russ.)
- Alisevich VI, Prozorovskiy VI. (eds.). *Sudebnaya meditsina*. Moscow: Yuridicheskaya literatura Publ.; 1968. (In Russ.)
- Lee RC, Zhang D, Hannig J. Biophysical injury mechanisms in electrical shock trauma. *Annu Rev Biomed Eng*. 2000;2:477–509. PMID: 11701521 <https://doi.org/10.1146/annurev.bioeng.2.1.477>
- Block TA, Aarsvold JN, Matthews KL, Mintzer RA, River LP, Capelli-Schellpfeffer M, et al. The 1995 Lindberg Award. Nonthermally mediated muscle injury and necrosis in electrical trauma. *J Burn Care Rehabil*. 1995;16(6):581–588. PMID: 8582934
- Bhatt DL, Gaylor DC, Lee RC. Rhabdomyolysis due to pulsed electric fields. *Plast Reconstr Surg*. 1990;86(1):1–11. PMID: 2359775 <https://doi.org/10.1097/00006534-199007000-00001>
- Chen W, Lee RC. Altered ion channel conductance and ionic selectivity induced by large imposed membrane potential pulse. *Biophys J*. 1994;67(2):603–612. PMID: 7948676 [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(94\)80520-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(94)80520-X)
- Lyubin AV, Solpov AV, Shapovalov KG. Aggregation of Thrombocytes and Lymphocyte-Platelet Adhesion at the Electrotrauma in an Experiment. *Far East Medical Journal*. 2012;(1):112–115. (In Russ.)
- Khrulev AE, Grigorieva VN, Khrulev SE. Mechanisms of the damage and morphological changes in nervous system in case of electrical trauma. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*. 2010;6(2):374–377. (In Russ.)
- Fistal' E. Ya. *Elektrotravma (klinika, neotlozhnaya pomoshch' i lechenie). Likuvannja ta diagnostyka*. 1997;(2):57–64. (In Russ.)
- Teodoreanu R, Popescu SA, Lascar I. Electrical injuries. Biological values measurements as a prediction factor of local evolution in electrocutions lesions. *J Med Life*. 2014;7(2):226–236. PMID: 25408731
- Hooshmand H, Radfar F, Beckner E. The neurophysiological aspects of electrical injuries. *Clin Electroencephalogr*. 1989;20(2):111–120. PMID: 2706789
- Varghese G, Mani MM, Redford JB. Spinal cord injuries following electrical accidents. *Paraplegia*. 1986;24(3):159–166. PMID: 3748595 <https://doi.org/10.1058/sc.1986.21>
- Mullin P.I., Bogov A.A., Novikov P.G. Ранняя некрэктомиа і васкулярызаванная кожная пластика при электротравме пальца кисти. *Анналы пластычнай, рэканструктыўнай і эстэтычнай хірургіі*. 2016;(1):88–89.
- Mankani MH, Abramov GS, Boddie A, Lee RC. Detection of peripheral nerve injury in electrical shock patients. *Ann N Y Acad Sci*. 1994;720:206–212. PMID: 8010639 <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1994.tb30448.x>
- Newsome TW, Curreri PW, Eurenus K. Visceral injuries: an unusual complication of an electrical burn. *Arch Surg*. 1972;105(3):494–497. PMID: 5056946 <https://doi.org/10.1001/archsurg.1972.04180090097023>
- Branday JM, DuQuesnay DR, Yeessing MT, Duncan ND. Visceral complications of electrical burn injury. A report of two cases and review of the literature. *West Indian Med J*. 1989;38(2):110–113. PMID: 2763551
- Kobernick M. Electrical injuries: pathophysiology and emergency management. *Ann Emerg Med*. 1982;11(11):633–638. PMID: 7137674 [https://doi.org/10.1016/S0196-0644\(82\)80211-4](https://doi.org/10.1016/S0196-0644(82)80211-4)
- Bongard O, Fagrell B. Delayed arterial thrombosis following an apparently trivial low-voltage electric injury. *Vasa*. 1989;18(2):162–166. PMID: 2662675
- Purdue GF, Hunt JL. Electrocardiographic monitoring after electrical injury: necessity or luxury. *J Trauma*. 1986;26(2):166–167. PMID: 3944840 <https://doi.org/10.1097/00005373-198602000-00013>
- Grosgrin O, Marti C, Niquille M. Electrical injuries. *Rev Med Suisse*. 2011;7(305):1569–1573. PMID: 21922721
- Geddes LA, Bourland JD, Ford G. The mechanism underlying sudden death from electric shock. *Med Instrum*. 1986;20(6):303–315. PMID: 3543629
- McBride JW, Labrosse KR, McCoy HG, Ahrenholz DH, Solem LD, Goldenberg IF. Is serum creatine kinase-MB in electrically injured patients predictive of myocardial injury? *JAMA*. 1986;255(6):764–768. PMID: 3944978
- Prellwitz W, Kapp S, Neumeier D, Knedel M, Lang H, Heuwinkel D. Isoenzymes of creatine kinase: distribution in the skeletal muscle and in sera of patients with muscular diseases or damages (author's transl). *Klin Wochenschr*. 1978;56(11):559–565. PMID: 661151 <https://doi.org/10.1007/bf01477252>
- d'Amato TA, Kaplan IB, Britt LD. High-voltage electrical injury: a role for mandatory exploration of deep muscle compartments. *J Natl Med Assoc*. 1994;86(7):535–537. PMID: 8064905
- Brandão C, Vaz M, Brito IM, Ferreira B, Meireles R, Ramos S, et al. Electrical burns: a retrospective analysis over a 10-year period. *Ann Burns Fire Disasters*. 2017;30(4):268–271. PMID: 29985679
- Hsueh YY, Chen CL, Pan SC. Analysis of factors influencing limb amputation in high-voltage electrically injured patients. *Burns*. 2011;37(4):673–677. PMID: 21334820 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2011.01.014>
- Kopp J, Loos B, Spilker G, Horch RE. Correlation between serum creatinine kinase levels and extent of muscle damage in electrical burns. *Burns*. 2004;30(7):680–683. PMID: 15475142 <https://doi.org/10.1016/j.burns.2004.05.008>
- Hunt J, Lewis S, Parkey R, Baxter C. The use of Technetium-99m stannous pyrophosphate scintigraphy to identify muscle damage in acute electric burns. *J Trauma*. 1979;19(6):409–413. PMID: 448780 <https://doi.org/10.1097/00005373-197906000-00004>
- Holliman CJ, Saffle JR, Kravitz M, Warden GD. Early surgical decompression in the management of electrical injuries. *Am J Surg*. 1982;144(6):733–739. PMID: 7149133 [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(82\)90560-8](https://doi.org/10.1016/0002-9610(82)90560-8)
- Marques EG, Júnior GA, Neto BF, Freitas RA, Yaegashi LB, Almeida CE, et al. Visceral injury in electrical shock trauma: proposed guideline for the management of abdominal electrocution and literature review. *Int J Burns Trauma*. 2014;4(1):1–6. PMID: 24624308
- Püschel K, Brinkmann B, Lieske K. Ultrastructural alterations of skeletal muscles after electric shock. *Am J Forensic Med Pathol*. 1985;6(4):296–300. PMID: 4072983 <https://doi.org/10.1097/00000433-198512000-00005>
- Apfelberg DB, Masters FW, Robinson DW. Pathophysiology and treatment of lightning injuries. *J Trauma*. 1974;14(6):453–460. PMID: 4842641 <https://doi.org/10.1097/00005373-197406000-00002>
- Gentges J, Schieche C. Electrical injuries in the emergency department: an evidence-based review. *Emerg Med Pract*. 2018;20(11):1–20. PMID: 30358379
- Gille J, Schmidt T, Dragu A, Emich D, Hilbert-Carius P, Kremer T, et al. Electrical injury — a dual center analysis of patient characteristics, therapeutic specifics and outcome predictors. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26(1):43. PMID: 29855384 <https://doi.org/10.1186/s13049-018-0513-2>
- Kym D, Seo DK, Hur GY, Lee JW. Epidemiology of electrical injury: Differences between low- and high-voltage electrical injuries during a 7-year study period in South Korea. *Scand J Surg*. 2015;104(2):108–114. PMID: 24809357 <https://doi.org/10.1177/145749614534209>

50. Lakatosh KO, Samoday VG. Case of successful surgical treatment of the victim who has transferred the electrotrauma with defect of the skull. *Journal of Experimental and Clinical Surgery*. 2010;3(2):165–167 (In Russ.)
51. Sachkov AV. Microsurgical autotransplantation for electric burn of the head. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2011;(2–3):85–87. <https://doi.org/10.23873/2074-0506-2011-0-2-3-85-87> (In Russ.)
52. Malikov MH, Kurbanov UA, Davlatov AA. Transplantation of the vascularized bone transplants at traumatic defects and false joints of the upper limbs bones. *Novosti Khirurgii*. 2012; 20(5):82–90 (In Russ.)
53. Sachkov AV, Smirnov SV, Migunov MA, Stepanova YV, Litinskiy MA. Transposition of the pedicled radial forearm flap to reconstruct an electrical burn defect of the hand. *Transplantologiya. The Russian Journal of Transplantation*. 2016;(3):37–40. (In Russ.)
54. Mullin RI, Bogov AA, Novikov RG. Rannaya nekrotoziya i vaskulyarizirovannaya kozhnaya plastika pri elektrotravme pal'tsev kisti. *Annaly plasticheskoy, rekonstruktivnoy i esteticheskoy khirurgii*. 2016;(1):88–89. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Жиркова Елена Александровна	кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0002-9862-0229
Спиридонова Тамара Георгиевна	доктор медицинских наук, научный консультант отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0001-7070-8512
Сачков Алексей Владимирович	кандидат медицинских наук, заведующий научным отделением острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0003-3742-6374
Светлов Кирилл Всеволодович	кандидат медицинских наук, научный сотрудник отделения острых термических поражений ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ», https://orcid.org/0000-0002-1538-0515

Received on 23.05.2019

Accepted on 25.08.2019

Поступила в редакцию 23.05.2019

Принята к печати 25.08.2019

Electrical Injury (a Literature Review)

E.A. Zhirkova*, T.G. Spiridonova, A.V. Sachkov, K.V. Svetlov

Department of Acute Thermal Lesions

N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department
3 Bolshaya Sukharevskaya Square, Moscow 129090, Russian Federation* **Contacts:** Elena A. Zhirkova, Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department of Acute Thermal Lesions, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department. E-mail: ZhirkovaEA@sklif.mos.ru

ABSTRACT The analysis of domestic and foreign literature sources showed that the problem of diagnosing and treating electrical injuries remained relevant as in the early 20th century. Over the past century, the mechanisms of the effects of electric current on organs and tissues have been well studied. However, the search for methods for diagnosing the volume of tissue damage has not been completed, and such methods are necessary, since they are designed to help determine the volume of surgical intervention. Many patients still require repeated surgical interventions to completely excise necrotic tissue. In most patients with severe electrical trauma, reconstructive surgery takes place in several stages. Today, most clinical data and practical recommendations are based on the opinions of individual experts and limited clinical studies.

Keywords: electric trauma, electric burn, bio-exposure of electric current, electrolysis, electroporation, electro-conformational denaturation of membrane proteins, diagnosis of electrical injury, treatment of electrical injury

For citation Zhirkova EA, Spiridonova TG, Sachkov AV, Svetlov KV. Electrical Injury (a Literature Review). *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2019;8(4):443–450. DOI: 10.23934/2223-9022-2019-8-4-443-450 (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments The study had no sponsorship

Affiliations

Elena A. Zhirkova	Candidate of Medical Sciences, Leading Researcher of the Department of Acute Thermal Lesions, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, Cand. Med. Sci., ORCID https://orcid.org/0000-0002-9862-0229
Tamara G. Spiridonova	Doctor of Medical Sciences, Scientific Consultant of the Department of Acute Thermal Lesions, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, https://orcid.org/0000-0001-7070-8512
Aleksey V. Sachkov	Candidate of Medical Sciences, Head of the Scientific Department of Acute Thermal Lesions, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Health Department, https://orcid.org/0000-0003-3742-6374
Kirill V. Svetlov	Candidate of Medical Sciences, Researcher of the Department of Acute Thermal Lesions, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine of the Moscow Healthcare Department, https://orcid.org/0000-0002-1538-0515