

**Сачков А.В., Гринь А.А., Синкин М.В., Годков М.А., Спиридонова Т.Г., Жиркова Е.А.,
Светлов К.В., Алейникова И.Б., Клычникова Е.В., Мигунов М.А.**

АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С ЭЛЕКТРОТРАВМОЙ

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского
Департамента здравоохранения города Москвы», 129090, Москва

♦ Определение объема повреждения тканей при электротравме на раннем этапе чрезвычайно актуальная задача, так как от этого во многом зависят тактика и стратегия лечения. Нами проведена оценка информативности различных методов диагностики, позволяющих в ранние сроки после электротравмы установить уровень и объем повреждения тканей и разработать алгоритм обследования и лечения пациентов. Алгоритм включает в себя: исследование чувствительной и двигательной функции пораженной конечности, определение уровня креатинфосфокиназы, проведение электронейромиографии и стимуляционной нейромииографии (до- и интраоперационно). Алгоритм позволяет провести более точную диагностику объема повреждения и выполнить хирургическое лечение в более ранние сроки.

Ключевые слова: электротравма; электроожог; электронейромиография; креатинфосфокиназа; ампутация.

Для цитирования: Сачков А.В., Гринь А.А., Синкин М.В., Годков М.А., Спиридонова Т.Г., Жиркова Е.А., Светлов К.В., Алейникова И.Б., Клычникова Е.В., Мигунов М.А. Алгоритм диагностики и лечения пациентов с электротравмой. *Российский медицинский журнал*. 2020;26(3):152-160.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17816/0869-2106-2020-26-3-152-160>

Для корреспонденции: Жиркова Елена Александровна, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отделения острых термических поражений «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского», 129090, Москва, E-mail: ZhirkovaEA@sklif.mos.ru

**Sachkov A.V., Grin A.A., Sinkin M.V., Godkov M.A., Spiridonova T.G., Zhirkova E.A., Svetlov K.V., Aleynikova I.B.,
Klychnikova E.V., Migunov M.A.**

DIAGNOSTIC AND TREATMENT ALGORITHM FOR PATIENTS WITH ELECTRICAL INJURY

N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, 129090, Moscow, Russian Federation

♦ Determining the amount of tissue damage in electrical injury at an early stage is an extremely urgent task since the approach and therapeutic strategy depend on it to a great extent. We evaluated the informative value of various diagnostic methods, which enabled us to establish the degree and amount of tissue damage in the early stages after the electrical injury and to develop an algorithm for examining and treating the patients. The algorithm included studying the sensitive and motor function of the affected extremity and determining the creatine phosphokinase level, electroneuromyography, and stimulation neuromyography (preoperatively and intraoperatively). The algorithm allowed an accurate diagnosis of the damage and initiation of surgical treatment at an earlier stage.

Keywords: electrical injury; electric burn; electroneuromyography; creatine phosphokinase; amputation.

For citation: Sachkov A.V., Grin A.A., Sinkin M.V., Godkov M.A., Spiridonova T.G., Zhirkova E.A., Svetlov K.V., Aleynikova I.B., Klychnikova E.V., Migunov M. Diagnostic and treatment algorithm for patients with electrical injury. *Rossiiskii meditsinskii zhurnal* (Medical Journal of the Russian Federation, Russian journal). 2020;26(3):152-160 (In Russ.)

DOI: <http://dx.doi.org/10.17816/0869-2106-2020-26-3-152-160>

For correspondence: Elena A. Zhirkova, candidate of medical sciences, Lead Researcher of the Department of Acute Thermal Lesions «N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine», 129090, Moscow, Russian Federation, E-mail: ZhirkovaEA@sklif.mos.ru

Information about authors:

Sachkov A.V., <http://orcid.org/0000-0003-3642-6374>

Grin A.A., <http://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Sinkin M.V., <http://orcid.org/0000-0001-5026-0060>

Godkov M.A., <http://orcid.org/0000-0001-9612-6705>

Spiridonova T.G., <http://orcid.org/0000-0001-7070-8512>

Zhirkova E.A., <http://orcid.org/0000-0002-9862-0229>

Svetlov K.V., <http://orcid.org/0000-0002-1538-0515>

Aleynikova I.B., <http://orcid.org/0000-0003-4937-0400>

Klychnikova E.V., <http://orcid.org/0000-0002-3349-0451>

Migunov M.A., <http://orcid.org/0000-0002-2713-3634>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Received 28.01.20

Accepted 21.04.20

Актуальность

Частота ампутаций при электротравме среди взрослого населения, по данным отечественных авторов, составляет 10–15% [1], зарубежных – 3,8–43,0% [2–4].

Время, необходимое для принятия решения об ампутации, варьирует от 7 до 16 суток, в некоторых случаях до 36 суток [4, 5]. По нашим предыдущим данным, срок до ампутации составлял в среднем 7 суток [6]. До 40%

пациентов становятся инвалидами различной степени тяжести в результате ампутации [3, 7], при этом среди больных, которым была выполнена ампутация, летальность ниже, чем среди больных без ампутации [8]. Остается актуальной задача определения оптимального уровня ампутации в ранние сроки после травмы, позволяющего создать условия для наилучшей реабилитации пациента.

Для определения уровня и объема поражения тканей при электротравме зарубежные авторы рекомендуют применять магнитно-резонансную и компьютерную томографии [9–12], определять уровень креатинфосфокиназы (КФК) и миоглобина в моче [11, 12], выполнять сцинтиграфию [13, 14] и пульсоксиметрию [10]. Отечественные авторы с этой же целью предлагают использовать КТ и электронейромиографию (ЭНМГ) [15]. Для дифференциальной диагностики между поражением скелетных мышц и миокарда исследуют уровень фракции КФК-МВ: при повреждении скелетной мускулатуры ее показатель должен составлять не более 6% от количества общей КФК в плазме крови [16]. Нами не найдено результатов исследований изменения уровня тропонина при электротравме, как метода дифференциальной диагностики между инфарктом миокарда и повреждением скелетных мышц.

Таким образом, трудности определения уровня и объема повреждения тканей при электротравме приводят к выжидательной тактике, тем самым увеличивая сроки лечения и ухудшая прогноз реабилитации.

Цель. Разработать алгоритм обследования и лечения пациентов с электротравмой.

Материал и методы

В ожоговом центре НИИ СП им. Н.В. Склифосовского с 2017 по 2019 гг. обследовано и пролечено 34 пострадавших от электротравмы. Критериями включения были: диагноз «электротравма» и возраст старше 18 лет.

С целью определения уровня и объема пораженных тканей пациентам проводили комплексное обследование. При поступлении всем больным исследовали чувствительность и двигательную функцию поражённой конечности. Больному предлагали закрыть глаза. Тактильную чувствительность определяли при помощи кисточки с мягким волосом, болевую – при помощи инъекционной иглы. Последовательно прикасались к различным участкам поражённой конечности кисточкой или остриём инъекционной иглы, при этом больной отмечал наличие или отсутствие прикосновения или укола иглой. Двигательную функцию изучали посредством определения объёма активных и пассивных движений в суставах поражённой конечности.

В первые сутки исследовали уровень КФК в плазме крови, как возможный показатель массивности повреждения мышц. С целью дифференциальной диагностики с повреждением миокарда дополнительно исследовали фракцию КФК-МВ и тропонин I. КФК и КФК-МВ в сыворотке крови определяли кинетическим методом на биохимическом анализаторе «AU 2700», Beckman Coulter (США) с применением реактивов фирмы «Beckman Coulter» (США). Исследование тропо-

нина I в цельной крови проводили на иммунохимическом анализаторе AQT90 FLEX производства компании «Radiometer» (Дания) реагентами фирмы «Radiometer». Всем больным в течение 3 суток определяли миоглобин в моче качественным методом.

Всем пациентам в первые и третьи сутки проводили триплексное сканирование артерий и ультразвуковую доплерографию вен поражённой конечности на ультразвуковом аппарате LOGIC E.

Для определения жизнеспособности нервов и мышечной ткани верхних конечностей 12 пациентам со сниженной тактильной и болевой чувствительностью, а также с нарушением двигательной функции конечности в первые трое суток была выполнена стимуляционная ЭНМГ и игольчатая нейромиография (НМГ). С целью определения жизнеспособности нервов сначала выполняли стимуляционную ЭНМГ с применением накожных адгезивных регистрирующих электродов по стандартной методике, а затем повторяли исследование с применением игольчатых регистрирующих электродов для определения или исключения влияния таких факторов, как повреждение и изменение кожного покрова, отек мягких тканей [17, 18]. При стимуляционной ЭНМГ оценивали уровень поражения срединного, локтевого и лучевого нервов с использованием адгезивных накожных и игольчатых электродов. В дополнение к стимуляционной ЭНМГ также применяли игольчатую НМГ для определения жизнеспособности мышцы и оценивали наличие или отсутствие спонтанной активности.

Все больные с электротравмой получали стандартное медикаментозное лечение, соответствующее тяжести состояния, в том числе в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии.

Местное лечение ран заключалось в перевязках и операциях. Перевязки проводили с применением антисептиков, мазей на водорастворимой основе и атравматических покрытий, систем отрицательного давления. Хирургическое лечение: некротомия, фасциотомия, некрэктомия, остеонекрэктомия, ревизия раны, ампутация сегмента конечности, кожно-фасциальная кросспластика, аутодермопластика (АДП), пластика местными тканями, перемещение лоскутов и микрохирургическая аутоотрансплантация кожно-фасциальных, мышечных лоскутов на сосудистой ножке.

Статистический анализ проведён с помощью программы Statistica 13 (StatSoft®). Описательная статистика представлена медианами (Me) и квартилями (LQ; UQ), минимальными (min) и максимальными (max) значениями. Для сравнения независимых групп применяли U-критерий Манна-Уитни (кр. M-W) для непрерывных переменных, точный критерий Фишера (ТКФ) для категориальных переменных. За уровень статистической значимости принято $p \leq 0,05$.

Результаты

Больные с электротравмой составили 1,19% от всех поступивших в ожоговое отделение НИИ СП им. Н.В. Склифосовского. Мужчин было больше –



Рис. 1. Повреждения мягких тканей, вызванные электрическим током.
а, б – «метки тока», в, г – глубокий дефект мягких тканей, затрагивающий один и более сегментов верхней конечности.



Рис. 2. Больной Ч. после электротравмы.

а – ограниченные повреждения кожи; б – тотальная гибель подкожно расположенных тканей потребовала ампутации на уровне нижней трети плеча.

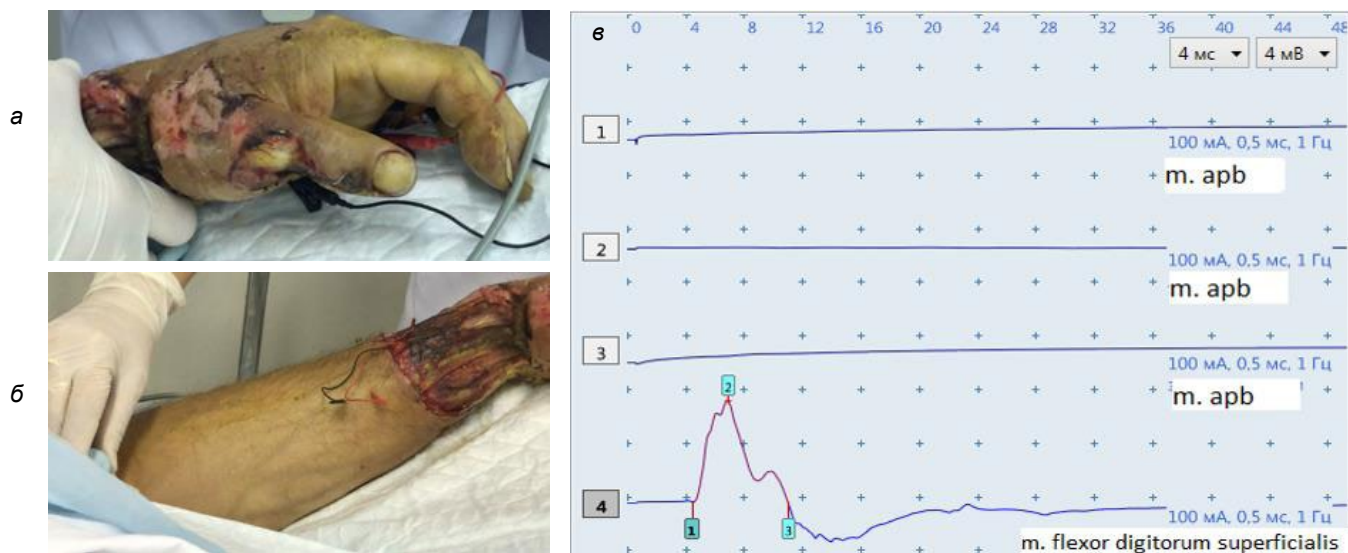


Рис. 3. Стимуляция срединного нерва. При стимуляции в области запястья, а также у медиального края сухожилия двуглавой мышцы плеча (а) моторных и сенсорных ответов не зарегистрировано (в – кривые 1, 2), адгезивные электроды были установлены на *m. abductor pollicis brevis*. При стимуляции в области локтевого сгиба (б) М-ответа не зарегистрировано с *m. abductor pollicis* (кривая 3), но получен М-ответ с игольчатых электродов, установленных на брюшко *m. flexor digitorum superficialis* (кривая 4).



Рис. 4. Оценка активности *m. abductor pollicis* с помощью игольчатого электрода. Спонтанная активность не зарегистрирована.

На рис. 3 приведен клинический пример исследования срединного нерва.

Во время операции, при проведении игольчатой НМГ, с визуально нежизнеспособных мышц, с которых не был зарегистрирован М-ответ, спонтанная активность потенциалов двигательных единиц тоже отсутствовала. Она не была зарегистрирована и в визуально сохранных мышцах, расположенных проксимальнее раневого дефекта, от которых ранее был зарегистрирован М-ответ. Мы расценивали это как признак нарушения целостности проксимального участка нерва. Таким образом, с помощью стимуляционной ЭНМГ и игольчатой НМГ на дооперационном этапе и во время операции была опре-

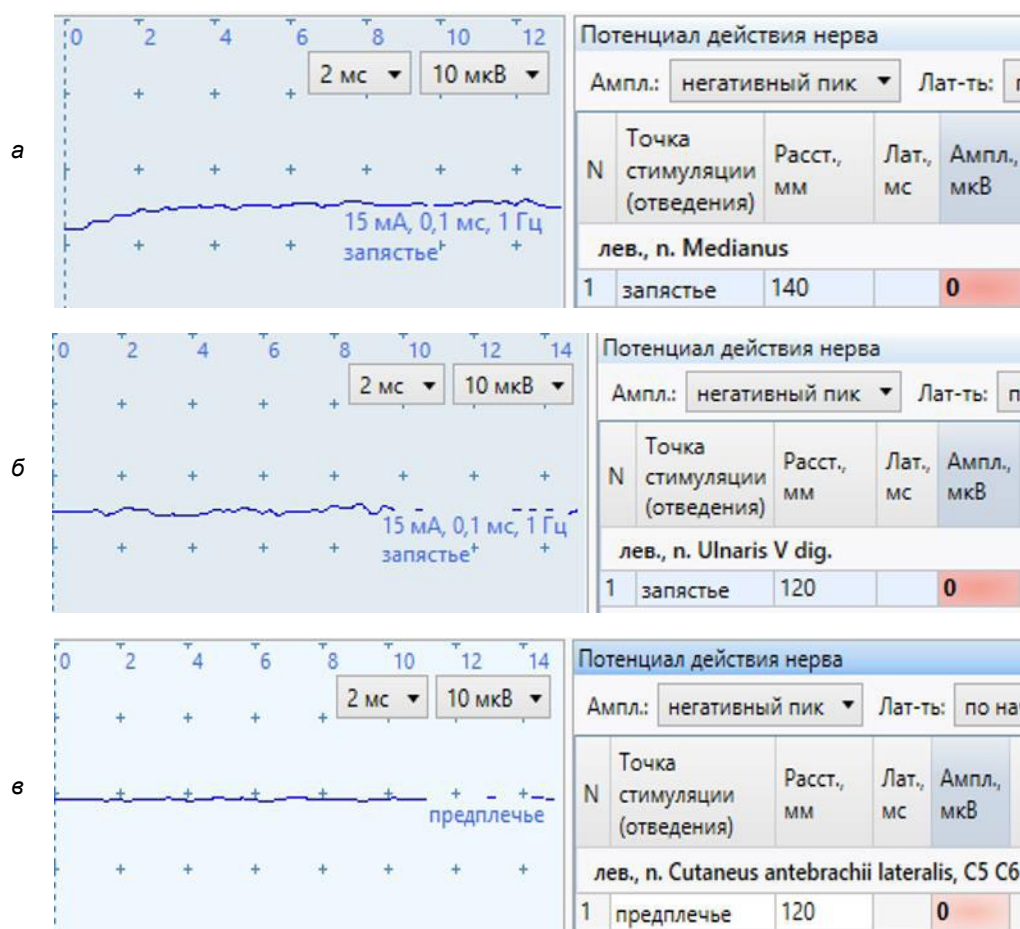


Рис. 5. Блок проведения по сенсорным волокнам срединного (а), локтевого (б) и лучевого (в) нервов по данным ЭНМГ.

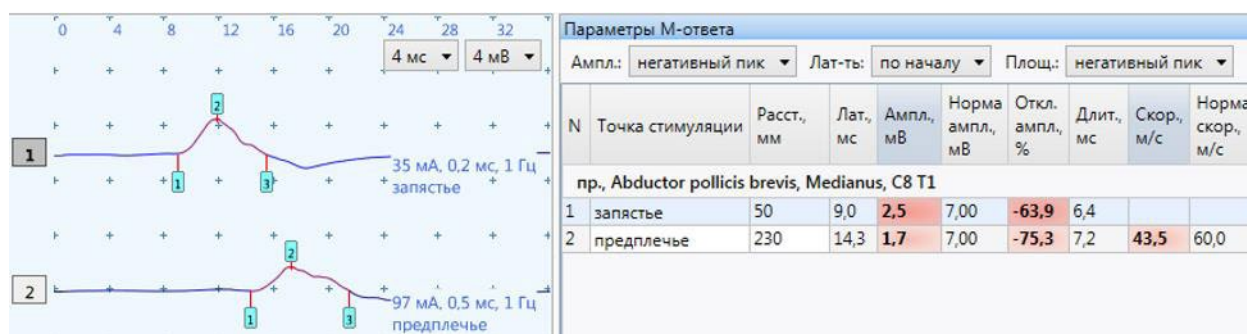


Рис.6. Смешанный характер невропатии срединного нерва в виде снижения амплитуды М-ответа и скорости распространения возбуждения по моторным волокнам.

делена граница поражения нервов и мышц конечности, что позволило установить уровень ампутации. Пример исследования спонтанной мышечной активности представлен на рис.4.

Полученные данные стимуляционной ЭНМГ оказались идентичными, как при использовании адгезивных накожных электродов, так и при использовании игольчатых регистрирующих электродов.

Во II группе у 5 больных, несмотря на снижение тактильной и болевой чувствительности вблизи «меток» тока и ограничение движений конечности, по данным стимуляционной ЭНМГ полный блок проведения был выявлен только по сенсорным волокнам срединного, локтевого и лучевого нервов (рис.5).

Смешанный характер невропатии проявлялся снижением амплитуды М-ответа и скорости распространения возбуждения по моторным волокнам без сопутствующих блоков проведения (рис.6).

Во время операции у 4 больных, которым была выполнена ампутация на уровне предплечья и плеча, при ревизии раны ткани в области электроожога выглядели нежизнеспособными – кожа была повреждена на всю толщину и представляла собой толстый плотный струп или отсутствовала вовсе; отмечали мозаичный характер повреждения подкожно-жировой клетчатки и мышц на протяжении – участки тусклой серой подкожно-жировой клетчатки и ишемизированных, местами некротизированных мышц, перемежались с участками визуально здоровых тканей; сухожилия имели тёмно-жёлтый цвет и участки некрозов. В области подкожно-жировой клетчатки и мышц визуально отмечали тромбоз на отдельном участке или на всем протяжении сосуда в ране. Уровень повреждения мягких тканей, определенный интраоперационно при помощи ЭНМГ и стимуляционной НМГ, визуально соответствовал тканям с признаками тотального, либо мозаичного повреждения. Нервы были утолщены, имели тёмно-жёлтый, до коричневого, цвет. При их пересечении в пределах участка с нарушением проводимости, установленной при ЭНМГ, кровотечения не наблюдали. После ампутации всем больным было выполнено первичное формирование культи. Послеоперационный период протекал без осложнений.

Троим больным ампутация пальцев проведена посредством экзартикуляции на уровне основной фаланги. Мягкие ткани ампутированных пальцев были мумифицированы. Одновременно была выполнена некрэктомия окружающих тканей. В дальнейшем этим больным потребовалась аутодермопластика.

При гистологическом исследовании ампутированных сегментов верхней конечности у 7 пациентов отмечено, что изменения в тканях обусловлены коагуляционным некрозом. Микроскопически выявляли: мышечная ткань с диффузным коагуляционным некрозом, расширенными полнокровными сосудами, периваскулярными очаговыми лимфоклеточными инфильтратами, малочисленными макрофагами, очаговыми кровоизлияниями; некроз суставной сумки, хрящевой поверхности сустава, костей фаланг пальцев.

Наше исследование показало, что информативными признаками уровня и объёма повреждения мягких тканей конечности являются:

- ♦ снижение тактильной, болевой чувствительности с одновременным нарушением двигательной функции конечности или её сегмента;
- ♦ повышение уровня КФК;
- ♦ наличие блока проведения по сенсорным и моторным волокнам нервов при стимуляционной ЭНМГ с одновременным отсутствием спонтанной мышечной активности при игольчатой НМГ.

Полученные результаты позволили разработать алгоритм диагностики уровня и объёма повреждения тканей конечности при электротравме для определения тактики лечения (рис.7):

1. Исследовать тактильную и болевую чувствительность, двигательную функцию поврежденной конечности.
2. При отсутствии нарушений тактильной и болевой чувствительности и двигательной функции целесообразно проводить консервативное лечение или хирургические вмешательства: некрэтомии, фасциотомии, некрэтомии, аутодермопластики, микрохирургические операции.
3. При нарушениях чувствительной и двигательной функции конечности необходимо исследовать уровень КФК, а для дифференциальной диагностики с повреждением миокарда – фракции КФК-МВ, тропонина I.
4. При нормальном уровне КФК показано консервативное или оперативное лечение: некрэтомия, фасциотомия, некрэктомия, аутодермопластика, реконструктивные операции.
5. При повышенном уровне КФК необходимо исследовать нервно-мышечную проводимость поражённой конечности при помощи стимуляционной ЭНМГ и игольчатой НМГ. При отсутствии нарушений или выявления блока проведения только по сенсорным волокнам при ЭНМГ и/или смешанного характера невропатии при НМГ, проводить консервативное или оперативное лечение ран, не прибегая к ампутации.
6. При выявлении во время стимуляционной ЭНМГ полного блока проведения по сенсорным и моторным волокнам нервов, а также выявления отсутствия спонтанной активности мышц при игольчатой НМГ, следует ставить вопрос об ампутации сегмента конечности ниже уровня электрографического «молчания» мышечной ткани.

Обсуждение

Пациенты с электротравмой составили 1,19% от всех поступивших в ожоговый центр НИИ СП им. Н.В. Склифосовского за период с 2017 по 2019 г., что согласуется с данными литературы о частоте электротравмы [19] и несколько меньше, чем число поступивших в ожоговый центр за предыдущие 6 лет [6]. Молодой возраст пострадавших и преобладание мужчин в нашем исследовании также соответствовали данным литературы [19].



Рис. 7. Алгоритм диагностики уровня и объема повреждения тканей конечности и тактики лечения.

J.G. Shih с соавт. [19] утверждают, что электротравма, в основном, носит производственный характер, а по нашим наблюдениям – бытовой. Частота выполнения ампутаций соответствовала приведённой в литературе [1–4].

Наиболее часто в результате электротравмы страдают верхние конечности, поэтому они чаще всего подвергаются ампутации [4, 20]. В нашем исследовании все ампутации проведены на верхних конечностях.

Применение разработанного протокола обследования позволило отказаться от выжидательной тактики и сократить время до ампутации в 2 раза по сравнению с нашим предыдущим исследованием [6] и более чем в 2 раза по сравнению с данными литературы [4, 5].

Метод определения уровня КФК в нашем исследовании показал высокую диагностическую ценность для прогноза ампутации, это согласуется с результатами других авторов [21, 22], хотя некоторые авторы не обнаружили этой зависимости [23, 24].

В.К. Гусак с соавт. [15] ранее проводили с помощью ЭНМГ оценку функциональной способности мышечной

ткани. Мы впервые провели оценку жизнеспособности периферических нервов при электротравме и считаем, что определение сохранности нервов является ведущим при определении хирургической тактики. В нашем исследовании ЭНМГ показала высокую информационную ценность при выявлении нежизнеспособности не только мышц, но и нервов, что позволяет уточнить уровень предстоящей ампутации.

Разработанный нами алгоритм в литературе описан не был.

Выводы

1. Снижение различных видов чувствительности и нарушение двигательной функции конечности встречалось чаще у больных, которым впоследствии была выполнена ампутация сегмента конечности.
2. Повышение уровня КФК было статистически значимо выше у больных, которым потребовалась ампутация.
3. Блок проведения по сенсорным и моторным волокнам нервов при стимуляционной ЭНМГ с одновременным отсутствием спонтанной мышечной актив-

ности при игольчатой НМГ является характерным признаком нежизнеспособности мышц и нервов в области электроожога.

4. Разработанный алгоритм обследования базируется на доказанной нами информативности методов диагностики уровня и глубины поражения тканей и позволяет оптимизировать тактику и сроки лечения пациентов с электротравмой.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА

- Кузнецов В.А., Попов С.В. Электротравма и электроожог: патогенез, клиника и лечение. *Комбустиология*. 2001; (7). Available at: <http://combustiology.ru/journal/e-lektrotravma-i-e-lektroozhogipatogenez-klinika-i-lechenie> (дата обращения 15.02.2020).
- Gajbhiye A.S., Meshram M.M., Gajjarwar R.S., Kathod A.P. The management of electrical burn. *Indian J Surg*. 2013;75(4):278-83. Doi: 10.1007/s12262-012-0476-x.
- Hedawoo J.B., Ali A. Electric burns and disability. *J Indian Med Assoc*. 2010;108(2):84-7.
- Tarim A., Ezer A. Electrical burn is still a major risk factor for amputations. *Burns*. 2013;39(2):354-7. Doi: 10.1016/j.burns.2012.06.012.
- Li Q., Wang L.F., Chen Q. et al. Amputations in the burn unit: a retrospective analysis of 82 patients across 12 years. *Burns*. 2017; 43(7):1449-54. Doi: 10.1016/j.burns.2017.04.005.
- Спиридонова Т.Г., Жиркова Е.А., Сачков А.В., Фролов С.В., Лазарева Е.Б., Меньшикова Е.Д. Электротравма: характеристика пострадавших, методы оперативного лечения, микрофлора ран. *Медицинский алфавит*. 2018;3(28):59-63.
- Толстов А.В. Состояние проблемы диагностики и лечения электротермических ожогов в Самарском регионе. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2008;4(4):112-5.
- Winkley J.H., Gaspard D.J., Smith L.L. Amputation as a life-saving measure in the burn patient. *J Trauma*. 1965;5(6):782-91. Doi: 10.1097/00005373-196511000-00014.
- Ohashi M., Koizumi J., Hosoda Y., Fujishiro Y., Tuyuki A., Kikuchi K. Correlation between magnetic resonance imaging and histopathology of an amputated forearm after an electrical injury. *Burns*. 1998;24(4):362-8. Doi: 10.1016/s0305-4179(98)00025-4.
- Kopp J., Loos B., Spilker G., Horch R.E. Correlation between serum creatinine kinase levels and extent of muscle damage in electrical burns. *Burns*. 2004;30(7):680-3. Doi: 10.1016/j.burns.2004.05.008.
- Koumbourlis A.C. Electrical injuries. *Crit Care Med*. 2002;30(11 Suppl):S424-30.
- Teodoreanu R., Popescu S.A., Lascar I. Electrical injuries. Biological values measurements as a prediction factor of local evolution in electrocutions lesions. *J. Med. Life*. 2014;7(2):226-36.
- 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):409-13.
- Holliman C. J., Saffle J. R., Kravitz M., Warden G. D. Early surgical decompression in the management of electrical injuries. *Am J Surg*. 1982;144(6):733-9.
- Гусак В.К., Фисталь Э.Я., Баринов Э.Ф., Штутин А.А. *Термические субфасциальные поражения*. Донецк: Донеччина; 2000. 240 с.
- Prellwitz W., Kapp S., Neumeier D., Knedel M., Lang H. [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. (in German) Doi: 10.1007/BF01477252.
- Николаев С.С. *Атлас по электромиографии*. Иваново: ПресСто; 2015. 844 с.
- Preston D.C., Shapiro B. Electromyography and neuromuscular disorders. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 2012. 704 p. Doi: 10.1016/C2010-0-68780-3.

- Shih J.G., Shahrokhi S., Jeschke M.G. 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-e8. Doi: 10.1097/BCR.0000000000000373.
- Sun C.F., Lv X.X., Li Y.J., Li W.Z., Jiang L., Li J. et al. Epidemiological studies of electrical injuries in Shaanxi province of China: a retrospective report of 383 cases. *Burns*. 2012;38(4):568-72. Doi: 10.1016/j.burns.2011.10.012.
- Hsueh Y.Y., Chen C.L., Pan S.C. Analysis of factors influencing limb amputation in high-voltage electrically injured patients. *Burns*. 2011; 37(4):673-7. Doi: 10.1016/j.burns.2011.01.014.
- Gille J., Schmidt T., Dragu A. Electrical injury - a dual center analysis of patient characteristics, therapeutic specifics and outcome predictors. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26(1):43. Doi: 10.1186/s13049-018-0513-2.
- d'Amato T.A., Kaplan I.B., Britt L.D. High-voltage electrical injury: a role for mandatory exploration of deep muscle compartments. *J Natl Med Assoc*. 1994;86(7):535-7.
- Brandão C., Vaz M., Brito I.M., Ferreira B., Meireles R., Ramos S., Cabral L. Electrical burns: a retrospective analysis over a 10-year period. *Ann Burns Fire Disasters*. 2017;30(4):268-271.

REFERENCES

- Kuznetsov V.A., Popov S.V. Electric trauma and electric burns: pathogenesis, clinic and treatment. *Kombustologiya*. 2001; (7). Available at: <http://combustiology.ru/journal/e-lektrotravma-i-e-lektroozhogipatogenez-klinika-i-lechenie> (accessed 15 February 2020). (In Russ.)
- Gajbhiye A.S., Meshram M.M., Gajjarwar R.S., Kathod A.P. The management of electrical burn. *Indian J Surg*. 2013;75(4):278-83. Doi: 10.1007/s12262-012-0476-x.
- Hedawoo J.B., Ali A. Electric burns and disability. *J Indian Med Assoc*. 2010;108(2):84-7.
- Tarim A., Ezer A. Electrical burn is still a major risk factor for amputations. *Burns*. 2013;39(2):354-7. Doi: 10.1016/j.burns.2012.06.012.
- Li Q., Wang L.F., Chen Q. et al. Amputations in the burn unit: a retrospective analysis of 82 patients across 12 years. *Burns*. 2017;43(7): 1449-54. Doi: 10.1016/j.burns.2017.04.005.
- Spiridonova T.G., Zhirkova E.A., Sachkov A.V., Frolov S.V., Lazareva E.B., Men'shikova E.D. Electrical injury: characteristics of the victims, methods of surgical treatment, microflora of wounds. *Meditinskii alfavit*. 2018;3(28):59-63. (In Russ.)
- Tolstov A.V. The state of the problem of diagnosis and treatment of electrothermal burns in the Samara region. *Saratovskii nauchno-medicinskii zhurnal*. 2008;4(4):112-115. (In Russ.)
- Winkley J.H., Gaspard D.J., Smith L.L. Amputation as a life-saving measure in the burn patient. *J Trauma*. 1965;5(6):782-91. Doi: 10.1097/00005373-196511000-00014.
- Ohashi M., Koizumi J., Hosoda Y., Fujishiro Y., Tuyuki A., Kikuchi K. Correlation between magnetic resonance imaging and histopathology of an amputated forearm after an electrical injury. *Burns*. 1998;24(4):362-8. Doi: 10.1016/s0305-4179(98)00025-4.
- Kopp J., Loos B., Spilker G., Horch R.E. Correlation between serum creatinine kinase levels and extent of muscle damage in electrical burns. *Burns*. 2004;30(7):680-3. Doi: 10.1016/j.burns.2004.05.008.
- Koumbourlis A.C. Electrical injuries. *Crit Care Med*. 2002;30(11 Suppl):S424-30.
- Teodoreanu R., Popescu S.A., Lascar I. Electrical injuries. Biological values measurements as a prediction factor of local evolution in electrocutions lesions. *J. Med. Life*. 2014;7(2):226-36.
- 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):409-13.
- Holliman C. J., Saffle J. R., Kravitz M., Warden G. D. Early surgical decompression in the management of electrical injuries. *Am J Surg*. 1982;144(6):733-9.
- Gusak V.K., Fistal' E.Ya., Barinov E.F., Shtutin A.A. *Thermal sub-fascial lesions*. [Termicheskie subfatsial'nye porazheniya]. Donetsk; Donechchina: 2000. 240 p. (In Russ.)
- Prellwitz W., Kapp S., Neumeier D., Knedel M., Lang H. 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):559-65. (in German) Doi: 10.1007/BF01477252.

17. Nikolaev S.S. *Atlas of electroneuromyography*. [Atlas of electroneuromyography]. Ivanovo: PresSto; 2015. 844 p. (In Russ.)
18. Preston D.C., Shapiro B. *Electromyography and neuromuscular disorders*. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 2012. 704 p. Doi: 10.1016/C2010-0-68780-3.
19. Shih J.G., Shahrokhi S., Jeschke M.G. 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-e8. Doi: 10.1097/BCR.0000000000000373.
20. Sun C.F., Lv X.X., Li Y.J., Li W.Z., Jiang L., Li J. et al. Epidemiological studies of electrical injuries in Shaanxi province of China: a retrospective report of 383 cases. *Burns*. 2012;38(4):568-72. Doi: 10.1016/j.burns.2011.10.012.
21. Hsueh Y.Y., Chen C.L., Pan S.C. Analysis of factors influencing limb amputation in high-voltage electrically injured patients. *Burns*. 2011; 37(4):673-7. Doi: 10.1016/j.burns.2011.01.014.
22. Gille J., Schmidt T., Dragu A. Electrical injury - a dual center analysis of patient characteristics, therapeutic specifics and outcome predictors. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2018;26(1):43. Doi: 10.1186/s13049-018-0513-2.
23. d'Amato T.A., Kaplan I.B., Britt L.D. High-voltage electrical injury: a role for mandatory exploration of deep muscle compartments. *J Natl Med Assoc*. 1994;86(7):535-7.
24. Brandão C., Vaz M., Brito I.M., Ferreira B., Meireles R., Ramos S., Cabral L. Electrical burns: a retrospective analysis over a 10-year period. *Ann Burns Fire Disasters*. 2017;30(4):268-271.

Поступила 28.01.20
Принята к печати 21.04.20

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Сачков Алексей Владимирович, к.м.н. [Aleksy V. Sachkov, MD, PhD]; E-mail: SachkovAV@sklif.mos.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3642-6374>

Гринь Андрей Анатольевич, д.м.н. [Grin Andrey A., MD, PhD, DSc]; E-mail: Aagreen@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3515-8329>

Синкин Михаил Владимирович, к.м.н. [Mikhail V. Sinkin, MD, PhD]; E-mail: mvsinkin@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5026-0060>

Годков Михаил Андреевич, д.м.н. [Mikhail A. Godkov, MD, PhD, DSc]; E-mail: mgodkov@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9612-6705>

Спиридонова Тамара Георгиевна, д.м.н. [T. G. Spiridonova, MD, PhD, DSc]; E-mail: SpiridonovaTG@sklif.mos.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7070-8512>

Жиркова Елена Александровна, к.м.н. [Elena A. Zhirkova, MD, PhD,]; адрес: 129090, Москва, Россия; [address: 129090, Moscow, Russian Federation]; E-mail: ZhirkovaEA@sklif.mos.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9862-0229>

Светлов Кирилл Всеволодович, к.м.н. [Kirill V. Svetlov, MD, PhD]; E-mail: Svetloffkirill@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1538-0515>

Алейникова Ирина Борисовна, к.м.н. [Irina B. Aleynikova, MD, PhD]; E-mail: Alejnikova_irina@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4937-0400>

Клычникова Елена Валерьевна, к.м.н. [Elena V. Klychnikova, MD, PhD]; E-mail: klychnikovaev@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3349-0451>

Мигунов Михаил Анатольевич [Mikhail A. Migunov]; E-mail: mihaile_migunov@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2713-3634>