

# ФИЗИОЛОГИЯ И ПАТОФИЗИОЛОГИЯ

УДК: 616–092.9

Оригинальная статья

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОТОКА ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭЛЕКТРОШОКОВЫХ УСТРОЙСТВ

**О. А. Григорьев** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», заведующий отделом, доктор биологических наук; **А. Е. Коклин** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», старший научный сотрудник; **С. Н. Лукьянова** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», главный научный сотрудник, профессор, доктор биологических наук; **В. А. Алексеева** — ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр им. А. И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства», научный сотрудник.

## BIOLOGICAL EFFECTS OF AN IMPULSE CURRENT ACCORDING TO LABORATORY RESEARCHES OF ELECTROSHOCK DEVICES

**O. A. Grigoryev** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Head of department, Doctor of biological sciences; **A. E. Koklin** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, senior researcher; **S. N. Lukyanova** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, leading researcher, doctor of biological sciences, professor; **V. A. Alekseyeva** — State Scientific Research Center n.a. A. I. Burnazyan — Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, researcher.

Дата поступления — 18.11.2013 г.

Дата принятия в печать — 16.12.2013 г.

**Григорьев О. А., Коклин А. Е., Лукьянова С. Н., Алексеева В. А. Биологические эффекты импульсного электротока по данным лабораторных испытаний электрошоковых устройств // Саратовский научно-медицинский журнал. 2013. Т. 9, № 4. С. 828–830.**

Электрошоковые устройства (ЭШУ) в настоящее время широко используются в качестве гражданского оружия самообороны и как спецсредство — силовыми структурами. В связи с этим актуальным является клиничко-физиологическая оценка эффективности ЭШУ и совершенствование гигиенических нормативных документов. **Цель:** обоснование балльной оценки биологической эффективности ряда электрошоковых устройств (ЭШУ) отечественного производства, данной по итогам экспериментов. **Опыты** проведены на кроликах. **Объектом изучения** явились 13 ЭШУ отечественного производства, имеющих различные технические характеристики. **Результаты.** Установлено, что реакция биообъекта включает судороги, нарушение дыхания и сердечной деятельности. Осуществлен анализ биоэффектов импульсного тока ЭШУ, полученных в экспериментальных условиях. Обоснован балльный подход к интегральной оценке реакции организма, дана характеристика реакции на конкретные образцы ЭШУ. **Заключение.** Тяжесть клиничко-физиологической реакции биообъекта на действие ЭШУ находится в полипараметрической зависимости от сочетания различных характеристик электроимпульса и состояния самого объекта воздействия.

**Ключевые слова:** импульсный ток, реакция, кролик, сердечно-сосудистая система, судороги, безопасность, электрошоковое устройство

**Grigoryev O. A., Koklin A. E., Lukyanova S. N., Alekseyeva V. A. Biological effects of an impulse current according to laboratory researches of electroshock devices // Saratov Journal of Medical Scientific Research. 2013. Vol. 9, № 4. P. 828–830.**

The federal law “About Weapons” permits the use of electroshock devices if they are safe for people. We developed requirements for the procedure medical-biological testing on the safety of electroshock devices. We did an experimental study assessing medical-biological safety of electroshock devices. The assessment is based on a point system, which use ranges of biological effects. The experiments were performed in rabbits. We used 13 electroshock devices with different characteristics. Electroshock devices were made in Russia. We found that the response of a biological object to inrush current included convulsions, respiratory and cardiac activity. We analyzed the biological effects of pulsed current electroshock device obtained in experimental conditions. It is concluded that the characteristic clinical and physiological response to the action of electric current is pulsepolyparametric and depending on a combination of characteristics and condition of the electric impulse influence object.

**Key words:** pulse current, reaction, rabbit, cardiovascular system, spasms, safety, electro-shock device

**Введение.** Электрошоковые устройства (ЭШУ) российским законодательством определены как отдельный тип оружия, в порядке оборота которого определена необходимость обеспечения допустимого воздействия поражающего фактора (электри-

ческого тока) согласно требованиям, определяемым федеральным органом исполнительной власти в области здравоохранения. Исследования по обоснованию требований к безопасности, последующие испытания позволили сформировать базу данных экспериментальных результатов о биологических эффектах импульсного электротока, сделать обобщения о характере и направленности развития био-

**Ответственный автор** — Григорьев Олег Александрович  
Адрес: 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46.  
Тел.: 8 (499) 1909532.  
E-mail: oa.grigoriev@gmail.com

**Сравнительная балльная оценка визуально изучаемых,  
клинически значимых реакций на анализируемые воздействия**

Модель	Балльная оценка реакции		
	на воздействие	после воздействия (в течение 5 минут)	Суммарная оценка
Яна 4Д-К.111	11	1	12
Катран	11	4	15
Мальвина 200	11	6	17
Мальвина 250	8	3	11
Каракурт А	10	6	16
Тандер-01-323	8	3	11
ЭШУ АЭП-0	5	1	6
Яна-13	3	1	4
УЗЭ-007-332 «Скат»	2	1	3
Протектор 1-01	7	1	8
Протектор 2-02	8	1	9
ЭШУ 01ф 212	3	1	4
УМА-2	5	1,3	9

эффектов экспериментального биообъекта в условиях, эквивалентных нелетальному воздействию.

**Материал и методы.** В качестве экспериментального биообъекта использован кролик, что обусловлено следующим теоретическим обоснованием. Данные научной литературы о влиянии электрического тока на организм человека и законы сравнительной физиологии позволяют как качественную модель реакции человека на импульс тока ЭШУ рассматривать соответствующую реакцию позвоночного животного. Это может быть как крыса, так и кролик, свинья и т.д. [1, 2]. Возможная модификация эффекта у человека по сравнению с экспериментальными животными может быть представлена различными путями: расчетным, экспериментальным, с участием испытуемых-добровольцев. Возможная опасность для испытуемых целиком определяется реакцией животного и тем, что изучаемые образцы ЭШУ по характеристике тока не должны выходить за рамки существующих предельно допустимых уровней для электрического тока. Таким образом, использование именно кролика в процедуре медико-биологического испытания определяется исключительно удобством работы, а также большим опытом и массивом данных, полученных на кролике в ранние исследования [1]. Проведение испытаний производится под наблюдением комиссии по биоэтике и с соблюдением правил работы с экспериментальными животными.

Условия воздействия определялись техническими характеристиками ЭШУ:

напряжение холостого хода 2–75 кВ;  
действующее напряжение в импульсе 200–25000 В;  
действующее значение тока в импульсе 0,009–0,12 А;  
частота повторения импульсов 1–1600 Гц;  
коэффициент формы импульса 0,12–1,0;  
длительность импульса  $0,6 \times 10^{-6}$ – $7,0 \times 10^{-3}$  с;  
общая энергия импульсов за секунду 0,1–3,6 Дж.

Продолжительность воздействия 3 с. ЭШУ генерировали как однополярные, так и разнополярные импульсы. Расстояние между электродами не превышало 4,0 см. По конструктивным особенностям это

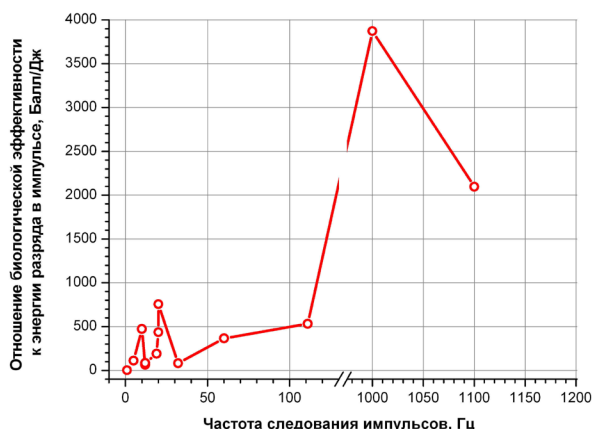
были электрошоковые дубинки или ручные электро-разрядники. Процедура экспериментального исследования полностью стандартизирована [3].

Методы контроля состояния биообъекта до, во время и после воздействия электротока соответствовали теоретическим представлениям о характере реакции на импульсный электроток. Клинические наблюдения за опытными проводились в динамике: до воздействия, в момент воздействия и в течение первых пяти минут после воздействия. Отмечали наличие, характер и длительность судорожных реакций; нарушения в двигательной активности; вокализацию и другие эмоциональные особенности.

До и после воздействия электротока оценка состояния организма животных проводилась инструментальными методами с использованием компьютерного аппаратно-программного электрофизиологического комплекса. Были исследованы: система внешнего дыхания (на пневмограмме анализировали период и амплитуду дыхательных движений); сердечно-сосудистая система (на кардиограмме определяли среднюю величину RR интервалов и частоту сердечных сокращений).

**Результаты.** Полученные результаты позволили представить основную характеристику клинически значимых изменений на каждую из исследуемых моделей ЭШУ (таблица).

Основные эффекты электрического тока, использованные для переноса результатов теста на человека, — это кратковременные изменения в состоянии организма, имеющие судорожную природу происхождения и типичные для электрошокового воздействия. Они отмечались, главным образом, во время действия электрошокового устройства (0,25–3 с), сопровождалась болевой реакцией, изменениями дыхания и частоты сердечных сокращений (ЧСС). Изменения дыхания и ЧСС сохранялись не более 5 мин после воздействия. В редких случаях регистрировали более выраженный ответ с кратковременной потерей сознания, грубым нарушением дыхания. При наличии таких проявлений выносился запрет на возможное применение ЭШУ. В основном реакция животного



Зависимость биологической эффективности, приведенной к энергии разряда в импульсе от частоты

го выражалась в наличии тонических, клонических или смешанных судорог, проявляющихся в мышцах по ходу электрического тока и в такт с его импульсами. Этот главный компонент биоэффекта ЭШУ (как и сопутствующие изменения в дыхании и ЧСС) был строго постоянным у всех животных в группе на одно и то же конкретное воздействие. Различным могло быть только болевое сопровождение, которое выражалось криком животного различной длительности ( $\leq 1$  с  $\div$  1 мин).

Главная особенность сильного и очень сильного типов реакций — обязательное развитие последствия в виде судорог, диспноэ (нарушение дыхания), нарушение сердечной деятельности. Необходимо отметить, что в этих случаях по сравнению с исходным фоном в период воздействия и непосредственно после него регистрируется сильная двигательная реакция в виде клонических судорог.

Расстройства дыхания (диспноэ) в период воздействия высоковольтного импульса характеризовались изменением частоты и амплитуды. В некоторых случаях сразу после воздействия наблюдалось кратковременное апноэ и в последующем хаотичный ритм дыхания.

Анализ ЭКГ свидетельствует в основной массе случаев об угнетении структур мозга, регулирующих вегетативные функции в организме, что выражается сразу после воздействия в снижении вольтажа зубцов ЭКГ, брадикардии, в отдельных случаях в синусовой аритмии, переходящих в тахикардию.

**Обсуждение.** Приведенные выше функциональные изменения систем организма, происходящие под воздействием импульсного тока ЭШУ, важны для его жизнедеятельности. Однако ни одно из них в отдельности не может быть нормируемой величиной для реакции организма на действие ЭШУ. Для наиболее объективной оценки реакции должна быть использована полипараметрическая зависимость. Наиболее приемлемой в этом случае может быть балльная оценка биоэффекта, которая широко применяется в физической и клинической практике для количественной характеристики полипараметрической реакции. В основе данного подхода лежит значимость изменения каждого отдельного показателя для жизнедеятельности организма. Использование балльной оценки позволило сравнить эффективность различных образцов ЭШУ, увидеть зависимость реакции от частоты повторения импульсов и экспозиции и ее полипараметрический характер [4].

Клиническое значение предложенной балльной системы оценки эффективности выходных параметров ЭШУ можно классифицировать как различную степень тяжести ответной реакции физиологических систем животного на воздействие. В связи с этим можно различить несколько типов реакций — от слабой до очень сильной: очень слабая (1–2 балла); слабая (3–4 балла); средняя (5–7 баллов); сильная (8–15 баллов); очень сильная (16 баллов и выше).

Балльный подход позволил представлять интегральную оценку биологической реакции объекта на импульсный электрический ток различных образцов ЭШУ (пример применительно к конкретным образцам приведен в таблице).

Балльная оценка реакции фактически характеризует показатель эффективности высоковольтного импульса, данные этой оценки и технические характеристики ЭШУ позволяют построить частотную зависимость при соотношении балльной оценки на единицу энергии в импульсе (рисунок).

Из графика, представленного на рисунке, видно, что увеличение частоты следования импульсов ведет к постепенному увеличению биологической эффективности на единицу вложенной энергии. При этом возможны проявления частотных окон, где эффективность резко возрастает. Определение таких частотных окон следует считать перспективным направлением дальнейших исследований с точки зрения уменьшения энергетических затрат вновь разрабатываемых электрошоковых устройств.

**Заключение.** Таким образом, биологическая эффективность ЭШУ зависит от комплекса параметров воздействия: напряжения на электродах, силы тока, длительности импульса, частоты повторения импульсов, длительности воздействия, места приложения электродов, а также от психоэмоционального состояния объекта воздействия.

**Конфликт интересов** отсутствует.

#### Библиографический список

1. Гигиенические проблемы неионизирующих излучений / под общ. ред. акад. РАМН Л.А. Ильина. М.: Изд. АТ, 1999. Т. 4. 304 с.
2. Каркищенко Н.Н. Альтернативы биомедицины. Т. 1: Основы биомедицины и фармако моделирования. М.: Изд-во ВПК, 2007. 320 с.
3. Алексеева В.А., Григорьев О.А. Унификация требований к медико-биологическим испытаниям при аттестации современных специальных средств противодействия терроризму // Труды Седьмой Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: Лубавич, 2012. С. 28–31.
4. Lukyanova S., Grigoriev O., Koklin A., Andrianova T. Biological Effects of High-Voltage Pulse Current at Medical-biologic Tests for Safety of Electroshock Devices // Proceedings of 5th European Symposium on Non-Lethal Weapons, Ettlingen, Germany. May 10–15, 2009. P. 161–164.

#### Translit

1. Gigenicheskie problemy neionizirujushih izluchenij / pod obshh. red. akad. RAMN L.A. Il'ina. M.: Izd. AT, 1999. T. 4. 304 s.
2. Karkishhenko N.N. Al'ternativy biomeditsiny. T. 1: Osnovy biomeditsiny i farmakomodirovanija. M.: Izd-vo VPK, 2007. 320 s.
3. Alekseeva V.A., Grigor'ev O.A. Unifikacija trebovanij k mediko-biologicheskim ispytaniyam pri attestacii sovremennyh special'nyh sredstv protivodejstvija terrorizmu // Trudy Sed'moj Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. SPb.: Ljubavich, 2012. S. 28–31.
4. Lukyanova S., Grigoriev O., Koklin A., Andrianova T. Biological Effects of High-Voltage Pulse Current at Medical-biologic Tests for Safety of Electroshock Devices // Proceedings of 5th European Symposium on Non-Lethal Weapons, Ettlingen, Germany. May 10–15, 2009. P. 161–164.