

Forensic veterinary examination of defeat of the dogs, cats and other animals as a result of electric shock

R. Bokotko¹ | S. Harkusha¹ | O. Kruchynenko² | O. Peredera²

Article info

Correspondence Author

O. Kruchynenko

E-mail:

oleg.kruchynenko@pdaa.edu.ua

¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Oborony St., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

²Poltava State Agrarian University, Skovorody St., 1/3, Poltava, 36003, Ukraine

Citation: Bokotko, R., Harkusha, S., Kruchynenko, O., & Peredera, O. (2024). Forensic veterinary examination of defeat of the dogs, cats and other animals as a result of electric shock. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (2), 105–110. doi: 10.31210/spi2024.27.02.18

One of the harmful physical factors that negatively affect a living organism is electric current. It affects animals through both direct and indirect contact. The purpose of the study is to systematize the currently available information on electric shocks to animals in terms of forensic veterinary research. There are two types of electric shocks: technical and natural. The most common type of electrocution is by technical current, either direct or alternating. It occurs when the body of animals comes into contact with objects that are conductors of live current, with faulty electrical appliances and electrical equipment. In the area of powerful electromagnetic fields due to damage to high-voltage electrical equipment, damage can occur even in the absence of direct contact. There are three types of effects of technical electric current on a living organism: electrochemical, thermal, and mechanical. Both in living animals and in dead animals, specific changes in the discharge gate (electromark), burns, mechanical damage to the skin, muscles and internal organs, tissue stratification at the microscopic level, and in case of death, signs of primary cardiac arrest, lack of blood clotting, venous and arterial hyperemia of internal organs are detected on the body. In the case of an atmospheric electric discharge, tissue carbonization, lightning, mechanical damage, charring, tearing of body parts, and tearing of the body into separate fragments are detected. The forensic veterinarian should keep in mind that death from electrocution is often sudden and there is no history. Damage from electric shock is difficult to treat and difficult to prevent. Therefore, it is necessary to differentiate electrocution of animals from diseases of a different nature and pathological processes that can also lead to sudden death. Inspection of the scene is also important, especially in the case of natural electric shock. The question arises as to the presence or absence of criminal negligence in the actions of persons responsible for the serviceability of electrical equipment in places where animals are kept. Thus, the effect of electric current on animals is a set of specific clinical and anatomical changes in the animal's body that occur under the influence of an electric discharge of man-made or natural origin.

Keywords: forensic veterinary, dogs, cats, electrical trauma, pathological processes, death.

Судово-ветеринарне дослідження за ураження собак, котів та інших тварин електричним струмом

Р. Р. Бокотько¹ | С. Є. Гаркуша¹ | О. В. Кручиненко² | О. О. Передера²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

²Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Одним із шкідливих фізичних чинників, що негативно впливають на живий організм, є електричний струм. Він впливає на тварин як через прямий, так і через непрямий контакт. Метою дослідження є систематизація наявних на сьогодні відомостей про ураження тварин електричним струмом в аспекті судово-ветеринарного дослідження. Розрізняють ураження технічним та природним електричним струмом. Найчастіше трапляється ураження технічним струмом, постійним або змінним. Виникає воно за контакту тіла тварин із предметами-провідниками струму, що знаходиться під напругою, із несправними електроприладами та електрообладнанням. В зоні виникнення потужних електромагнітних полів за пошкодження високовольтного електрообладнання ураження може виникнути навіть за відсутності прямого контакту. Відомо три типи дії технічного електричного струму на живий організм: електрохімічна, термічна, механічна дія. Як в живих тварин, так і в мертвих, на тілі виявляють специфічні зміни у вхідних воротах розряду (електромітки), опіки, механічні пошкодження шкіри, м'язів та внутрішніх органів, розшарування тканин на мікроскопічному рівні, у разі смерті, крім того – ознаки первинної зупинки серця, відсутність зсідання крові, венозну та артеріальну гіперемію внутрішніх органів. За ураження атмосферним електричним розрядом, тобто блискавкою, виявляють механічні ушкодження, обвуглювання, відрив частин тіла, розриви тіла на окремі фрагменти. Судово-ветеринарному експерту слід пам'ятати, що смерть від ураження електричним струмом часто буває раптовою, анамнестичні дані відсутні. Ушкодження від ураження електричним струмом важко піддаються лікуванню і важко попередити. Тому необхідно диференціювати ураження тварин електричним струмом від хвороб іншої природи і патологічних процесів, які також можуть призвести до раптової смерті. Важливе значення має і огляд місця подій, особливо за ураження природним електричним струмом. Постає питання про наявність чи відсутність злочинної недбалості в діях осіб, які відповідають за справність електрообладнання у місцях утримання тварин. Отже, дія електричного струму на тварин – це комплекс специфічних клініко-анатомічних змін в організмі тварини, які виникають під впливом електричного розряду техногенного чи природного походження.

Ключові слова: судова ветеринарія, собаки, коти, електротравма, патологічні процеси, смерть.

Бібліографічний опис для цитування: Бокотько Р. Р., Гаркуша С. Є., Кручиненко О. В., Передера О. О. Судово-ветеринарне дослідження за ураження собак, котів та інших тварин електричним струмом. *Scientific Progress & Innovations*. 2024. № 27 (2). С. 105–110.

Електро травми у тварин найчастіше трапляються випадково. Вони включають в себе контакт з різними формами струму – змінним та постійним. Залежно від різних параметрів струму (включаючи тип ланцюга, напругу, силу струму і тривалість впливу) і стану тварини (наприклад, мокрого або сухого волосяного покриву і шляху проходження струму через тіло), ураження можуть бути відсутніми або включати ранній чи локальний розвиток трупного задубіння, ознак гострої недостатності кровообігу або важких термоелектричних опіків. Такі опіки можуть проявлятися у вигляді зовнішніх слідів струму, посіченого волосся або пір'я, металізації шкіри або, іноді, внутрішньої електропорації, що призводить до некрозу м'язів, гемолізу, пошкодження судин з тромбозом, пошкодження головного і спинного мозку або переломів кісток скелета. Крім того, удари блискавки трапляються у тварин, що випасаються на пасовищах й мають більший ризик загибелі від крокового потенціалу (струму землі) на додаток до прямих ударів і контактних травм. У таких випадках на підшвах копит або коронарних смугах можуть бути відсутні будь-які ушкодження, зовнішні ознаки лінійних або точкових опіків, вихідні опіки. Окрім детальної інформації про обставини на місці, де було знайдено тварину, електро травми у тварин вимагають ретельного морфологічного дослідження, включаючи додаткові дослідження в поєднанні з певними знаннями про можливий спектр ураження.

Розрізняють ураження технічним та природним електрострумом.

Більшість випадків уражень спричиняє технічний електрострум за контакту тварини з оголеним дротом під напругою, пошкодженими електричними розетками, електроприладами побутового характеру, безпосередньо при дотику до електроогорожі, електропастуха та іншими предметами, які несуть загрозу ураженням електричним струмом тварин [1–4]. Нерідко тварини стають жертвами з власної ініціативи, наприклад, перегризаючи електропроводи, нападаючи на людину, озброєної засобами на кшталт електрошокера. Кримінальні провадження, пов'язані із ураженням та загибеллю тварин від дії технічного електроструму, виникають у випадку підозри на прояв злочинної недбалості технічного персоналу, що відповідає за справність електрообладнання, підозри на здійснення катування тварин електрострумом, використання електро струму як засобу незаконної риболовлі тощо.

Електричний струм поділяють на струм постійного та змінного характеру [5]. За дії електричного струму патогенез ураження як постійним, так і змінним струмом може бути подібний між собою за загальними ознаками, А при достатньо високих температурах уже несе величезну загрозу для організму його життя саме постійний струм. [5, 6]. В умовах господарств, промислових підприємств, домогосподарств в основному трапляється ураження змінним струмом [7–10].

Дія електричного струму залежить безпосередньо від таких характеристик, як частота струму, його сила та напруга [11–15].

Напруга електричного струму від 3000 вольт і більше є найбільш небезпечною для живого організму [15, 16]. В усіх мережах побутового користування зазвичай використовують електричний струм, який має напругу 220 В або, рідше, 380 В, тобто є двофазним чи трифазним [17–19]. Найчастіше ураження виникають за дії струму напругою 100–1500 вольт [5, 18].

Вважається що електричний струм є безпечним для життя тварини та людини з величиною 40–60 Гц. Коли частота струму збільшується, то ризик пошкодження живого організму буде зменшуватися, при високих частотах електричного струму 10000 Гц чи 20 000 Гц патологічна дія на живі тканини організму зазвичай взагалі не виявляється, адже високочастотні електричні струми часто використовуються у терапевтичних цілях [20–23].

Ампер – це одиниця виміру сили струму. Летальність є високою ймовірною за ураження струмом силою від 100 до 500 мА [19, 24, 27].

Вплив електричного струму на організм залежить від умов, в яких знаходиться тварина, від стану опірності організму до електричного струму, від матеріалів, з яких виготовлено провідник [19, 25, 27, 35].

Струм в організмі тварини може розповсюджуватися при наявності відповідних умов що супроводжуються входом та виходом електричного розряду [23, 28]. Якщо відбувається контакт одночасно з декількома електродами, виникає двополосне чи трьохполосне включення, тому при контакті з різними частинами тіла організму тварини з одним електродом та із заземленням спостерігатиметься однополосне включення [19, 29, 30]. За наявності контакту двох різнойменних полюсів з різними ділянками тіла тварини спостерігатиметься повне включення, з однією й тою самою частиною тіла – часткове включення [32, 33]. Коли спостерігається ураженням струмом високої напруги, може мати місце як безпосередній контакт з провідником, так і розряд іншого характеру, коли провідником стає повітря внаслідок іонізації електричним струмом [34, 35]. Електрична дуга може сягати в довжину 35 см, а коли вологість повітря висока, її довжина може зростати. [28, 30, 33]. Крокове ураження напругою супроводжується дотиком тварини до точок ґрунту із різними електричними потенціалами [29]. Це спостерігається при заземленні пошкодженого кабелю, при падінні на землю високовольтної технічної споруди або високовольтного електропроводу [33–35]. Тому тварин не рекомендується випасати, вигулювати, утримувати поруч з високовольтними лініями електропередач [5, 11].

Реєструється три типи дії електричного струму на організм тварин і людей: електрохімічна дія, термічна дія, та механічна дія [12].

Електрохімічний вплив зумовлений подібністю електричного струму та нервового імпульсу в організмі тварин. Нервова тканина, по суті, стає провідником струму, нервова регуляція органів, які знаходяться на шляху електричного струму в організмі тварини доволі сильно порушується [1, 5, 12, 13, 27].

Дезінервація життєво важливих органів зумовлює раптову смерть (коли петля електричного струму буде проходити у першу чергу через серце або органи центральної нервової системи) [1, 2, 7, 13, 17]. Також вплив електричного струму зумовлює порушення іонної рівноваги в тканинах організму, що призводить до відмирання клітин і тканин [1, 2, 10, 13, 27]. В ділянці впливу аноду спостерігається тотальна коагуляція тканин, а біля катода вологий некроз [5, 13, 27].

Опікова дія на організм тварини буде виникати за дуги спалаху електроструму в основному при коротких замкненнях, тоді електрична енергія частково переходить у теплову [33–35]. Виникають опіки, різні мітки на тілі, обвуглювання тканини. Цікаво, що обвуглена тканина набуває властивостей діелектрика і надалі перешкоджає подальшому надходженню в тканини електричного струму [33–35].

При впливі струму високої напруги спостерігається механічна дія на організм, коли електрична енергія частково перетворюється на кінетичну. Крім цього, струм ініціює скорочення м'язів із виникненням судом, а отже, їх масове розтягнення в організмі тварини, а також розриви, надриви та навіть переломи кісток [4, 11, 20, 33].

Підсилює ураження велика вологість повітря, перебування в воді, наявність захворювань серцево-судинної, ендокринної, сечовидільної систем, анемії, перегрівання тощо [7–9].

За ураження електричним струмом тварин в переважній більшості випадків ураження настає раптова смерть тварини. Незначні ураження струмом можуть часто перебігати без будь-яких клінічних ознак та морфологічних змін [1, 8, 9]. Стан організму при ураженні струмом як шоківий. Електрошок завжди буде супроводжуватися больовими відчуттями, за походженням він є нейрогенним [11, 20, 34]. Внаслідок ураження електричним струмом відбувається больове подразнення рецепторів, нервів, сплетінь, спазми скелетних м'язів, серця, судин [12, 20, 29]. Смерть може настати не одразу після ураження, а протягом певного тривалого періоду чи часу, бо можуть бути уражені вазомоторний та/або дихальний центри довгастого мозку чи кори великих півкуль [2, 7, 9]. Також в момент розряду скорочення м'язів експіраторів, як правило, є сильнішим, ніж в інспіраторів, що спричиняє затруднення дихання, гіпоксію [3, 4, 9, 25, 33, 34].

За клінічних обстежень виявляють сліди контакту безпосередньо на поверхні тіла, тобто електромітки, які виникають у місці входу струму, термічні опіки та механічні ушкодження тканин [2, 10, 14, 33, 34].

Судово-ветеринарна експертиза трупів тварин. Загибель тварин при ураженні електрострумом настає внаслідок тотального паралічу центрів дихання у головному мозку тварини або тимчасовим первинною зупинкою серця, що ініційована параліч судинно-рухових центрів головного мозку у шлуночках серця [27, 33, 35].

При огляді трупа потрібно звертати увагу на наявність вхідних воріт електричного розряду, де виникає електрична мітка. Електромітка має округлу або овальну форму. У даній ділянці шкіра на дотик суха, ущільнена, шерсть може бути підпалена.

Електромітка має вигляд западини, краї завжди будуть підняті догори, валикоподібні [11, 33–35].

В тканинах, що оточують електромітку, майже ніколи не спостерігають запалення. Забарвлення електроміток сіро-біле, як в тканин при коагуляційному некрозі, але може змінюватись за імпрегнації шкірного покриву металом, з якого був зроблений провідник [19, 20, 24]. Металізація шкірного покриву виникає шляхом дифузії іонів металу в ділянку шкіри в електромагнітному полі й буде спостерігатися навіть при дуговому розряді, коли немає безпосереднього контакту поверхні тіла тварини з електродом [6, 15, 16]. За кольором електромітка буде нагадувати метал якого був виготовлений сам провідник. Буро-коричневий колір характерний для сталевих провідників, сіро-жовтий для свинцевих, зеленуватий для мідних [24, 33, 34]. Електромітки можуть мати вигляд подряпин чи саден які можуть супроводжуватися змозолінням шкіри, пігментації, крапкових крововиливів [3, 8, 20, 28, 30].

У тканині підшкірної клітковини, скелетних м'язів, внутрішніх органах за ходом електричного струму можуть спостерігатися набряки, сухі та вологі некрози. Мікронадриви, надриви, розриви тканини, опіки I-IV ступенів також можуть мати місце [21, 34, 35].

В кістках можуть спостерігатися своєрідні утворення – «перлинне намисто». Це кульки діаметром 4-6 мм, виплавлені у кістковій тканині. Волога у місці проходження електричного струму випаровується, а розплавлені кристали фосфату кальцію залишатимуться у вигляді специфічних кульок [1, 8, 9].

Часто буде спостерігатися гостра гіперемія венозного характеру внутрішніх органів, численні крапкові крововиливи, під серозними оболонками, особливо під плеврою та перикардом. Кров має забарвлення темно-червоного кольору, розріджена, не зсідается [5, 22, 25, 27, 28, 35].

Мікроскопічні зміни спостерігають в шкірі, а особливо в ділянці електроміток, тому уражена шкіра підлягає гістологічному дослідженню [5, 20, 28]. В блискучому та роговому шарах епідермісу спостерігають множинні дрібні порожнини [34, 35]. Комірки є округлими, овальними чи полігональними, розташовані скупчено або окремо одна від одної. Ці шари епідермісу зазвичай відділені від зернистого шару [34, 35]. Можуть також бути виражені окремі порожнини в зернистому та остистому шарах епідермісу, інколи він повністю може відшаровуватися від дерми і нависати над нею у міхуроподібному вигляді. Межі клітин епідермісу не чітко виражені, а ядра клітин базального та зернистого й остистого шарів розміщені на біля клітинних оболонок [6, 34, 35]. Частинки металу шкірного покриву можна спостерігати при застосуванні різних гістохімічних методів фарбування гістопрепаратів наприклад частинки заліза фарбуються за Перлсом чи за Тірманом [4, 12, 33]. Частинки металу в шкірі можна виявити також спектрографічними та рентгенографічними методами [6, 14, 20].

Ураження природною (атмосферною) електрикою. В практичній діяльності лікаря ветеринарної медицини може мати місце ураження тварин

природним атмосферним струмом [34, 35]. Такі ураження можуть кваліфікуватися юридично як нещасний випадок або ж злочинна недбалість внаслідок порушення техніки безпеки експлуатації тварин, наприклад, пастухи під час грози не заганяють тварин в приміщення, щоб сховати від удару атмосферного струму, залишають тварин під деревами, що підвищує ризик удару блискавки тощо [1, 8, 9, 18, 25, 33].

Блискавка – це електричний іскровий розряд з гігантським потенціалом, що може виникати між однаковими двома протилежними наелектризованими хмарами, або між хмарою і певним предметом на поверхні землі й характеризується яскраво-світлим спалахом природного світла та звуковим супроводом громовиці. Сила струму в блискавці складає сотні ампер, напруга десятки тисяч вольт [1, 34, 35].

Виникають блискавки зазвичай під час сильної грози. Удар блискавкою буде схожий на прямий контакт з електрострумом (безпосередньо у тіло тварини чи людини або поруч на відкритій ділянці земної поверхні). Відомі випадки ураження незаземлених будівель, де можуть перебувати тварини. Електричний струм від блискавки в такому разі може розповсюджуватися самою електромережею й здатен вражати тварин і людей через електрообладнання [18, 26, 35].

Кулясті блискавки здатні проходити через відкриті частини будівель в середину приміщень, де знаходяться тварини, через вікна, двері вентиляційні отвори та ліфтові шахти. Електрика атмосферного характеру має здатність накопичуватися біля високовольних споруд, дерев, будинків, мостів, виступів рельєфу [2, 12, 20].

Дія розряду блискавки триває в дуже обмеженому часі, від однієї мікросекунди до однієї секунди. Існують такі види впливу розряду блискавки на живий організм [34, 35]. Електрохімічна дія – це ураження, яке подібне до такого при дії технічного електроструму. Термічна дія спричиняє опіки, обвуглювання ділянок тіла тварини [8, 12, 20]. Механічна дія – це ушкодження які будуть викликати травму тканин біологічного об'єкта. Акустична дія – це вплив звуку низької частоти із великим рівнем шуму на організм тварини. За удару блискавки тварина рідко залишається живою. Тобто смерть, як правило, настає раптово [34, 35]. Клінічні ознаки, таким чином, фіксують дуже рідко. Будуть спостерігатися опіки від першого до четвертого ступеня й утворення місць випадіння волосся [1, 8]. В перші 10-15 хвилин на шкірі тварини після удару блискавкою виникають лінії розгалуження на тілі тварини, темно-рожевого кольору зі світлим відтінком чи червоного кольору, так звані «фігури блискавки» або «громові фігури» [2, 9]. Ці утворення виникають внаслідок різкого розширення судин (вазомоторна гіперемія), в першу чергу артерій та артеріол шкірного покриву тварини за ходом руху електричного струму після удару блискавкою. Вони згодом, як правило, безслідно зникають без будь-якого прояву. В тварин фігури блискавки особливо важко спостерігати, тому що шкіра в тварин, як правило, пігментована, має розвинений

шерстний волосяний покрив [15, 30, 35]. Буде виражена чітка гіперестезія різних ділянок тіла ураженої тварини чи людини. Може спостерігатися оторагія, внаслідок розриву барабанних перетинок вуха. Часто можуть траплятися паралічі та парези кінцівок, параплегії, розлади серцебиття та дихання (серцеві аритмії, диспноє, апноє тощо) [5, 29, 30].

Дія на організм тварин і людей кулястої блискавки на даний час недостатньо вивчена, як і її причини та механізм виникнення. Куляста блискавка здатна вражати електричними розрядами абсолютно різного типу і наслідки ураження можуть бути дуже різноманітними – від відсутності будь-яких клінічних симптомів до миттєвої загибелі [6, 29, 33].

Важливе значення за ураження атмосферною електрикою має огляд місця подій. Топографічно при ураженні електричним розрядом блискавки тварини (людини) остання стає епіцентром зони ураження, яка може мати діаметр 6–9 м. В цьому місці виникають ознаки дії розряду на оточуючих уражену тварину чи людину формах рельєфу, предметах, рослинності тощо [11, 20, 34]. Може виявлятися заглиблення у місті входу розряду в земну породу, дерева й куші можуть бути посічені, розщеплені, обвуглені, пошкоджені будівлі або інші конструкції, із слідами горіння, оплавлення тощо. Все це за наявності має бути зафіксовано у протоколах огляду місця подій, а також на фото та/або відео [3, 18, 28, 33].

Судово-ветеринарна експертиза трупа. Зовнішнім оглядом трупа виявляють опіки з різною площею ураження, ступенем від першого до четвертого [5, 10, 19, 29]. Часто опіки мають розгалужену форму. За характером змін вони ідентичні з термічними опіками аналогічного ступеня. У випадках дослідження трупа одразу після події можна спробувати виявити «фігури блискавки» [9, 18, 20, 33]. Дуже рідко в ділянках опіків можуть виявлятися округлі отвори із обвугленими краями, дещо схожі на вхідні вогнепальні отвори [34]. Також виявляють механічні ушкодження у вигляді часткових чи повних розривів скелетних м'язів, розриви чи надриви внутрішніх органів, тріщини чи переломи кісток, відривів чи надривів частин тіла. Відомі випадки, коли тіла людей чи тварин внаслідок удару блискавки розривалися на кілька частин, які розкидалися в радіусі 2–5 м [2, 17, 29, 35].

Металеві предмети, які знаходяться всередині чи на поверхні тіла, (ланцюги, нашійники, штифти, у людей елементи одягу та вміст кишень) можуть бути розплавлені прямо на тілі з імпрегнацією тканин металом [8, 16, 25, 35]. Можуть траплятися опіки шкіри у вигляді «відбитків» металевих предметів. Відомі випадки й відсутності будь-яких ушкоджень на тілі загиблої від удару блискавкою тварини чи людини [7, 20, 35].

Більшість змін на мікроскопічному рівні за ураження блискавкою є подібними таких за ураження електричним струмом технічного характеру [1, 33, 35].

При контакті з кулястою блискавкою на шкірі інколи спостерігають рисунки, які нагадуватимуть предмети, що оточували її до ураження. Подібні явища описані в людини, але не в тварин [11, 20, 34, 35].

Висновки

Ураження тварин технічним та, особливо, природним електричним струмом на сьогодні залишаються маловивченим як в клінічній, так і в патоморфологічній практиці, а також в судово-ветеринарному аспекті. У більшості випадків причиною смерті є випадковий контакт з електричним струмом. Для визначення причини смерті та можливої причетності до смерті тварин певних осіб необхідна детальна інформація про обставини, за яких відбулася загибель тварини, особливості місця подій та ретельного морфологічного дослідження трупа у кожному окремому випадку. Часто лише незначні характерні зміни, можуть бути єдиною зачіпкою для встановлення характеру та обставин події, за наслідками якої відкривають кримінальні провадження. Описано та систематизовано основні клініко-морфологічні зміни за ураження природним та технічним електрострумом, особливості судово-експертного дослідження у подібних випадках. Лікар ветеринарної медицини – патоморфолог, судово-ветеринарний експерт повинен бути обізнаний зі спектром уражень, спричинених технічним електричним струмом та ударами блискавки, а також із особливостями та можливими результатами інших досліджень, що здатні підтвердити або заперечити наявність електротравми.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів щодо їхнього викладу та результатів досліджень.

References

1. Adjutanitis, G., & Skalos, G. (1962). The identification of the electrical burn in cases of electrocution by the acroreaction test. *Journal of Forensic Medicine*, 9, 101–105.
2. Bedenice, D., Hoffman, A. M., McDonnel, J., & Parrott, B. (2001). Vestibular signs associated with suspected lightning strike in two horses. *Veterinary Record*, 149 (17), 519–522. <https://doi.org/10.1136/vr.149.17.519>
3. Jia-ke, C., Li-gen, L., Quan-wen, G., Xiao-peng, S., Hai-jun, Z., Zhi-yong, S., Zhi-qiang, W., & Cai, Z. (2009). Establishment of soft-tissue-injury model of high-voltage electrical burn and observation of its pathological changes. *Burns*, 35 (8), 1158–1164. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2009.02.010>
4. Evans, P. M., Armour, M. D., & Dubielzig, R. R. (2011). Ocular lesions following suspected lightning injury in a horse. *Veterinary Ophthalmology*, 15 (4), 276–279. <https://doi.org/10.1111/j.1463-5224.2011.00983.x>
5. Kinoshita, H., Nishiguchi, M., Ouchi, H., Minami, T., Kubota, A., Utsumi, T., Sakamoto, N., Kashiwagi, N., Shinomiya, K., Tsuboi, H., & Hishida, S. (2004). The application of a variable-pressure scanning electron microscope with energy dispersive X-ray microanalyser to the diagnosis of electrocution: a case report. *Legal Medicine*, 6 (1), 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2003.08.006>
6. Dees, D. D., & MacLaren, N. E. (2012). Presumptive electric cataracts in a Great Horned owl (*Bubo virginianus*). *Veterinary Ophthalmology*, 16 (1), 73–76. <https://doi.org/10.1111/j.1463-5224.2012.01013.x>
7. Acar, K., Boz, B., Kurtulus, A., Divrikli, U., & Elci, L. (2004). Using of atomic absorption spectrometry for diagnosis of electrical injuries (an experimental rat study). *Forensic Science International*, 146, S3–S4. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.09.007>
8. Andrews, C. (1995). Structural changes after lightning strike, with special emphasis on special sense orifices as portals of entry. *Seminars in Neurology*, 15 (03), 296–303. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1041035>
9. Bier, M., Chen, W., Bodnar, E., & Lee, R. C. (2005). Biophysical injury mechanisms associated with lightning injury. *Neuro Rehabilitation*, 20 (1), 53–62. <https://doi.org/10.3233/nre-2005-20110>
10. Boeve, M. H., Djajadiningrat-Laanen, S. C., Grinwis, G., & Huijben, R. (2004). Visual impairment after suspected lightning strike in a herd of Holstein-Friesian cattle. *Veterinary Record*, 154 (13), 402–404. <https://doi.org/10.1136/vr.154.13.402>
11. Cherington, M., McDonough, G., Olson, S., Russon, R., & Yarnell, P. R. (2007). Lichtenberg figures and lightning: case reports and review of the literature. *Cutis*, 80 (2), 141–143.
12. Cherington, M., Olson, S., & Yarnell, P. R. (2003). Lightning and Lichtenberg figures. *Injury*, 34 (5), 367–371. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(02\)00313-3](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(02)00313-3)
13. Cooper, M. A., Andrews, C. J., & Holle, R. L. (2007). Lightning injuries. *Wilderness Medicine*, 67–108. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-03228-5.50008-2>
14. Dettmeyer, R. B. (2011). *Forensic histopathology*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-20659-7>
15. Ghandour, N. M., Refaiy, A. E., & Omran, G. A. (2014). Cardiac histopathological and immunohistochemical changes due to electric injury in rats. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 23, 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2014.01.007>
16. Huang, Q.-Y., Chen, Y.-C., & Liu, S.-P. (2012). Reduction in Purkinje fiber number in rats undergone fatal electrocution. *American Journal of Forensic Medicine & Pathology*, 33 (1), 19–21. <https://doi.org/10.1097/paf.0b013e3181eafbe7>
17. Huang, Q. Y., Chen, Y. C., & Liu, S. P. (2012). Connexin 43, angiotensin II, endothelin 1, and type III collagen alterations in heart of rats having undergone fatal electrocution. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 33, 215–221. <https://doi.org/10.1097/paf.0b013e31823f04eb>
18. Karger, B., Suggeler, O., & Brinkmann, B. (2002). Electrocution-autopsy study with emphasis on "electrical petechiae". *Forensic Science International*, 126, 210–213. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(02\)00061-0](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(02)00061-0)
19. Kroll, M. W., Fish, R. M., Lakkireddy, D., Luceri, R. M., & Panescu, D. (2012). Essentials of low-power electrocution: Established and speculated mechanisms. *2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. <https://doi.org/10.1109/embc.2012.6347297>
20. Knox, R. V., Shipley, C. F., & Bressner, G. E. (2014). Mortality, morbidity and fertility after accidental electrical shock in a swine breeding and gestation barn. *Journal of Swine Health and Production*, 22, 300–305.
21. Kroll, M. W., & Panescu, D. (2012). Physics of electrical injury. *Atlas of Conducted Electrical Weapon Wounds and Forensic Analysis*, 25–45. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3543-3_2
22. Lehman, R. N., Kennedy, P. L., & Savidge, J. A. (2007). The state of the art in raptor electrocution research: a global review. *Biological Conservation*, 136, 159–174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.015>
23. Muehlberger, T., Vogt, P. M., & Munster, A. M. (2001). The long-term consequences of lightning injuries. *Burns*, 27, 829–833. [https://doi.org/10.1016/S0305-4179\(01\)00029-8](https://doi.org/10.1016/S0305-4179(01)00029-8)
24. Melero, M., Gonzalez, F., & Nicola's, O. (2013). Detection and assessment of electrocution in endangered raptors by infrared thermography. *BMC Veterinary Research*, 9(1), 149. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-149>
25. Ohashi, M., Hosoda, Y., & Fujishiro, Y. (2001). Lightning injury as a blast injury of skull, brain, and visceral lesions: clinical and experimental evidences. *The Keio Journal of Medicine*, 50, 257–262. <https://doi.org/10.2302/kjm.50.257>
26. Ros, C., de la Fuente, C., & Pumarola, M. (2015). Spinal cord injury secondary to electrocution in a dog. *Journal of Small Animal Practice*, 56 (10), 623–625. <https://doi.org/10.1111/jsap.12325>
27. Kumar, V., & Kumar, V. (2015). Seasonal electrocution fatalities in free-range rhesus macaques (*Macaca mulatta*) of Shivalik hills area in northern India. *Journal of Medical Primatology*, 44, 137–142. <https://doi.org/10.1111/jmp.12168>
28. Ozmen, O., & Haligur, M. (2007). Heart lesions following accidental electrocution of dairy cattle. *Veterinary Record*, 161, 240–241. <https://doi.org/10.1136/vr.161.7.240>

29. Seo, C. H., Jeong, J. H., & Lee, D. H. (2012). Radiological and pathological evaluation of the spinal cord in a rat model of electrical injury-induced myelopathy. *Burns*, 38, 1066–1071. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2012.02.016>
30. Toygar, M., Demirel, B., & Karšlioglu, Y. (2010). Nuclear morphometry in epidermal changes due to electrical current and thermal energy: trial for usage of image analysis in histological sections. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 31, 227–231. <https://doi.org/10.1097/paf.0b013e3181e214a5>
31. Verhoeff, J., Hogendoorn, M. P., & Wouda, W. (2007). Vier melkkoeien dood door elektrocutie. *Tijdschr Diergeneeskd*, 132, 962–964.
32. Viner, T. C., Kagan, R. A., & Johnson, J. L. (2014). Using an alternate light source to detect electrically singed feathers and hair in a forensic setting. *Forensic Science International*, 234, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.10.033>
33. Zack, F., Rothschild, M. A., & Wegener, R. (2007). Lightning strike-mechanisms of energy transfer, cause of death, types of injury. *Deutsches Ärzteblatt*, 104 (51–52), 3545–3549.
34. Zele, D., Bidovec, A., & Vengust, G. (2006). Atmospheric flash injuries in roe deer (*Capreolus capreolus*). *Acta Veterinaria Hungarica*, 54, 43–49. <https://doi.org/10.1556/avet.54.2006.1.5>
35. Price, T. G., & Cooper, M. A. (2013). Electrical and lightning injuries. In: J. Marx, R. Walls, R. Hockberger, (Eds.), *Rosen's Emergency Medicine-Concepts and Clinical Practice*, 8th ed. (pp. 1906–1914). PA: Elsevier Health Sciences, Philadelphia.

ORCID

- R. Bokotko  <https://orcid.org/0000-0002-6217-5266>
- S. Harkusha  <https://orcid.org/0000-0002-7677-696X>
- O. Kruchynenko  <https://orcid.org/0000-0003-3508-0437>
- O. Peredera  <https://orcid.org/0000-0002-8613-6827>



2024 Bokotko R. et al. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.