

Кравець Ольга Вікторівна

доктор медицини, професор

Станін Дмитро Михайлович

кандидат медичних наук, доцент

Єхалов Василь Віталійович

кандидат медичних наук, доцент

Дніпровський державний медичний університет

м. Дніпро, Україна

УРАЖЕННЯ СПИННОГО МОЗКУ ПРИ ЕЛЕКТРОТРАВМІ

Анотація. Травму спинного мозку після ураження електричним струмом було описано понад 90 років тому. 1,91% ушкоджень спинного мозку пов'язані з ураженням електричним струмом і наразі складають близько 6% неврологічних проблем внаслідок електротравми. Результати сучасних досліджень показали, що 4,58% пацієнтів отримали механічну травму спинного мозку внаслідок падіння зі стовпів електропередач після ураження електричним струмом. Для пацієнтів з електричними травмами спинного мозку повне неврологічне відновлення є досить рідкісним.

Ключові слова: електротравма, неврологічна дисфункція, ураження спинного мозку, діагностика, ускладнення.

Опіки внаслідок дії електричного струму високої напруги пов'язані з високою захворюваністю та смертністю. При цьому виникає значний ризик ураження нервової системи. Пошкодження тканин внаслідок електричного опіку може бути результатом як прямої дії електричного струму, так і його перетворення з електричної енергії на теплову. Неврологічні травми, що пов'язані з ураженням електричним струмом, мають унікальну картину та

супроводжуються більшою кількістю ускладнень порівняно з механічними травмами [1, с. 1037]. Неврологічні травми не часто зустрічаються при легких електричних травмах, вони більш поширені при ураженні високовольтовим струмом. Ушкодження нервової системи при електротравмі (ЕТ) спостерігаються у 21 - 75% пацієнтів з ЕТ високою напругою. Хоча втрата свідомості, зміна психічних функцій та периферична нейропатія є поширеними неврологічними наслідками електричних опіків, травма спинного мозку також може бути єдиним неврологічним ускладненням уражень високою напругою [2, с. 101347; 3, с. 597; 4, с. 8].

Окрім різниці потенціалів та характеру струму, саме тривалість впливу та шлях, за яким проходить струм в організмі, визначається ступінь внутрішніх пошкоджень. Нервові провідники, великі з яких мієлінізовані та є природними провідниками електрики, мають більш низький електроопір порівняно зі шкірою, м'язами та кістками. В результаті нерви та кровоносні судини сприяють розповсюдженню струму, що обумовлює неврологічні та серцеві наслідки.

Коли електричний струм проходить через організм, неврологічні ефекти спричиняються за наступними механізмами:

- Електропорація означає відкриття пор у клітинній мембрані, що ініціює каскад подій, які сприяють клітинній загибелі.
- Судинне пошкодження внаслідок спазму та вивільнення судинних медіаторів запалення призводить до нейрональної ішемії, хроматолізу та активації мікроглії.
- Демієлінізація відбувається через зміну структури білків та ліпідів.
- Термічне ушкодження призводить до руйнування макромолекул [2, с. 101347].

Травму спинного мозку після ураження електричним струмом було описано понад 90 років тому. 1,91% ушкоджень спинного мозку пов'язані з ураженням електричним струмом і наразі складають близько 6% неврологічних проблем внаслідок ЕТ. Результати сучасних досліджень показали, що 4,58%

пацієнтів отримали механічну травму спинного мозку внаслідок падіння зі стовпів електропередач після ураження електричним струмом [1, с. 1037; 2, с. 101347].

Високовольтові електричні опіки клінічно відрізняються від термічних або хімічних опіків, оскільки вони спричиняють більш глибокі пошкодження, впливаючи на центральну нервову систему, що, як наслідок, призводить до розвитку поліорганної дисфункції. Однак спочатку їх ступінь та тяжкість можуть бути недооцінені.

Електричні опіки спинного мозку можуть призвести до парاپарезу, квадрипарезу, вегетативної дисфункції, сенсорних порушень та інших наслідків. Нейрогуморальна гіпотеза припускає, що електрика сприяє циркуляції речовин, зокрема кортизолу (гормону стресу) та утворенню вільних радикалів, що діють на відстані шляхом гіперстимуляції глутаматних рецепторів. Взаємодія всіх цих факторів може бути відповідальною за відстроковані ефекти в центральній та периферичній нервовій системі. Опіки від високої напруги є серйозною проблемою через різний ступінь та тип неврологічних порушень. Хоча опік високою напругою як причина гострого пошкодження спинного мозку є рідкісною подією, але коли він виникає, він часто супроводжується значною захворюваністю та смертністю від серцевих аритмій, компартмент-синдрому та ниркового ураження внаслідок рабдоміолізу. Ретельне спостереження за вищезгаданими ускладненнями у відділенні інтенсивної терапії є дуже важливим для виживання пацієнтів [2, с. 101347]. Ураження спинного мозку здебільшого пов'язані з безпосереднім проходженням електричного струму, розладами кровообігу й дихання та потужною психотравматичною дією. У ситуаціях, коли шлях електричного струму перетинає спинний мозок, що зазвичай відбувається на рівні C4 - C8 (тобто від однієї кінцівки до іншої), пацієнт наражається на ризик пошкодження спинного мозку. Цей тип травми призводить до його прямої травматизації, що спричиняє значні неврологічні розлади [5, с. 135; 6, с. 12]. Хоча швидкоминучі тимчасові симптоми з боку спинного мозку є досить поширеними, більшість таких пацієнтів отримують

стійку інвалідизацію. Рухові дефіцити частіше виникають при відносному збереженні сенсорного компоненту та є вторинними по відношенню до пошкодження судин басейну передньої спинномозкової артерії та її гілок. Нещодавно були описані випадки електричної травми із ураженням заднього відділу спинного мозку. При високовольтовій ЕТ спостерігається більша частота травм спинного мозку. Найчастіше вони являють собою поперечні пошкодження із синдромом заднього ураження спинного мозку. У поодиноких науково-практичних звітах, магнітно-резонансна томографія (МРТ) не виявила жодних змін до 9-го доби після травми. Але наступна МРТ шийного відділу хребта, що була виконана на 30-й день після травми, продемонструвала гіперінтенсивність T_2 у дорсальному стовпі шийного відділу хребта на рівнях $C_2 - C_3$ та $C_5 - C_6$. Спостерігалось порушення відчуття орієнтації, проте на МРТ, що була проведена через 16 днів після травми, не було виявлено жодних ознак ураження заднього відділу спинного мозку. У більшості пацієнтів із відстрокованим пошкодженням спинного мозку розвивалася параплегія коли місцями входу-виходу електричного струму були лише нижні кінцівки, тоді як квадриплегія була виявлена у тих, у кого були задіяні верхні кінцівки. В окремих випадках ознаки уражень спинного мозку визначалися при повторних дослідженнях через кілька днів або тижнів [2, с. 101347; 6, с. 12; 7, с. 116].

При травмі не дуже високою напругою типовими серед органічних спинномозкових пошкоджень вважаються спінально-атрофічні захворювання, що обумовлені ураженням електричним струмом спинного мозку в ділянках передніх рогів та сірої речовини в колі центрального каналу, яке супроводжується вазомоторними та трофічними порушеннями в іннервованих ділянках. Спінальні атрофічні процеси бувають пов'язані з субарахноїдальними крововиливами до спинного мозку, його вогнищевими ураженнями із втратою спинномозкових нейронів та порушеннями спінальної провідності. Довгостроковим ускладненням електричної травми визнано ураження клітин передніх рогів [8, с. 77472; 9, с. 682].

Якщо електричний струм досягає спинного мозку та судин, які його живлять, це може призвести до гіперстимуляції глутаматергічних нейронів, що спричиняє утворення вільних радикалів, які згодом поступово руйнують ендотеліальні клітини в живлячих кровоносних судинах що зрештою призводить до тромбозу та загибелі нейронів спинного мозку [10, с.681]. Також може розвинути вторинне неврологічне ураження внаслідок гіпоксії та подальшої ішемії в результаті вазоспазму або після зупинки кровообігу [6, с. 12].

Електричні опіки мають кілька гострих та хронічних проявів, таких як дефіцит спинного мозку, що з'являються пізніше та не спостерігаються при суто термічних травмах [5, с. 135]. Спінальні порушення зазвичай проявляються не одразу, а згодом - через тижні або навіть місяці. У певній кількості випадків вони є зворотними та тимчасовими [11, с. 1225]. Рухові розлади виникають частіше, ніж втрата чутливості. Описані випадки гострих та відстрокованих спінальних ЕТ дистальніше ділянки електричного контакту при напрузі від 75 до 75 000 В. Проте одразу після ЕТ не визначалося жодного неврологічного дефіциту. Ознаки та симптоми інколи дебютували через кілька днів або до 2 років після інциденту, коли виникали геміплегія або повна квадриплегія. Внаслідок проходження електричного струму виникає функційний «перетин спинного мозку», а також подібний до синдрому Броуна-Секара стан із поєднанням симптомів ураження верхніх та нижніх рухових нейронів. Досить значна ймовірність розвитку аміотрофічного бокового склерозу (АБС, хвороби Лу Геріга), який дебютує через значний час після ЕТ (інколи через роки) [4, с. 8; 10, с. 681; 12, с. 264857]. АБС та поперечна мієлопатія чітко описані разом із пов'язаними з ними синдромами демієлінізації. Особливо підкреслюється затримка розвитку. Також можуть виникати й інші пов'язані синдроми на рівні хребта: кортикоспінальні парези, мієлопатія передніх рогів, дистонії, атрофія м'язів, порушення чутливості із вазомоторними і трофічними розладами, інколи спостерігаються тазові розлади [10, с. 681; 13, с. 100388]. Досить часто виникають відносно стійкі паралічі із сенсорними, моторними та трофічними

розладами. Можливі порушення терморегуляції з асиметричною температурою в різних ділянках, зникнення фізіологічних та виникнення патологічних рефлексів тощо.

Хвороба моторних нейронів (ХМН) широко описана здебільшого як синдром із затримкою початку. Цей патологічний стан має значну схожість із аміотрофічним боковим склерозом (окремі автори їх ототожнюють). Ці розлади характеризують затримка початку та повільне прогресування. Хвороба проявляється втратою м'язового контролю, що супроводжується слабкістю, атрофією м'язів, утрудненням мовлення, ковтання та дихання. Схожість між загальною ХМН та більш специфічним АБС проявляється в залученні в обох випадках кінцевих моторних нейронів [10, с. 681]. Ознаки є різноманітними та можуть включати висхідний параліч або поперечний мієліт. Слабкість у нижніх кінцівках може спочатку залишатися недіагностованою, особливо якщо її не запідозрити, а пацієнт намагається ходити [9, с. 682; 14, с. 997; 15, с. 5].

Для підтвердження діагнозів використовуються дані МРТ. Проте за деякими винятками в ранньому періоді після ЕТ візуалізаційні дослідження зазвичай не виявляють ніяких ознак структурного пошкодження мозку [10, с.681].

З огляду на обмежені ефективні варіанти лікування неврологічних ускладнень, важливими є відповідні профілактичні заходи, багатопрофільне ведення пацієнтів та тривале неврологічне спостереження [2, с. 101347].

Початкова оцінка та курація пацієнтів з електричними опіками повинні бути подібними до підходу до лікування пацієнтів з серйозними травмами. Медичні працівники повинні отримати початковий розширений анамнез (алергії, ліки, історія хвороби, травми). У пацієнтів з опіками увагу слід зосередити на дихальних шляхах, виявляючи опіки ротової порожнини, які можуть спричинити набряк та обструкцію, порушення дихання внаслідок вдихання диму або травми легень, а також кровотечі або проблеми з кровообігом, що загрожують життю, здійснювати контроль артеріального тиску та частоти серцевих скорочень. Стратегічне ведення пацієнтів з

високовольтною електричною травмою може бути складним. Проблема починається з моменту травми та триває протягом реабілітації. Складним аспектом лікування є ускладнення, що виникають через системні ефекти. Лікування цих важких травм вимагає усвідомленого розуміння потенційних поширених анатомічних пошкоджень та руйнувань, які можуть проявитися негайно або відстроковано. Фізіологічні реакції на травму, індивідуальне хірургічне лікування широкого спектру ран, часті та різноманітні ускладнення, які слід передбачати, а також характерні для цього типу травм наслідки є важливими факторами у виборі терапії. Реконструкція електричних опіків шкіри голови вимагає врахування розміру, глибини та локалізації дефекту. Лікування при великих ділянках втрати тканин та оголенні нижньої частини черепа може бути утрудненим. Мета лікування полягає в тому, щоб досягти покриття дефектів добре васкуляризованою тканиною. Також необхідно враховувати судинне живлення черепа, оскільки некротична оголена кістка вимагає видалення нежиттєздатних внутрішнього або зовнішнього шарів для запобігання приєднання вторинної інфекції [2, с. 101347].

Багатопрофільне лікування за участю невролога, фахівця з невідкладної та критичної допомоги, нейрохірурга, пластичного хірурга, психіатра, фізіотерапевта та медсестер відділення інтенсивної терапії здатні покращити результати лікування [7, с. 116; 2, с. 101347].

Проте відстроковані неврологічні синдроми можуть ускладнювати процес відновлення та створювати додаткові труднощі в лікуванні. Для пацієнтів з електричними травмами спинного мозку повне неврологічне відновлення є досить рідкісним [6, с. 77472].

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Zeb A., Arsh A., Bahadur S., Ilyas S.M. Spinal cord injury due to fall from electricity poles after electrocution. Pak J Med Sci, 2019. Vol. 35, no 4. P. 1036-1039. doi: 10.12669/pjms.35.4.241.

2. Sefene B.S., Dereje W.D., Fentahun S., et al. Acute spinal cord injury caused by high-voltage electrical burn requiring a multidisciplinary approach in a resource-limited setting: A case report. *Trauma & Case Reports*, 2026. Vol. 62. P. 101347.
3. Kravets O.V., Yekhalov V.V., Gorbuntsov V.V. Central neurological injuries in electrical trauma (review). *International Neurological Journal (Ukraine)*, 2025. Vol. 21, no 8. P. 594-600.
4. Kravets O.V., Yekhalov V.V., Gorbuntsov V.V. Damage to the peripheral nervous system during electrical trauma. *Ukrainian Neurological Journal*, 2026. Vol. 1. P. 5-10.
5. Farzan R., Ziabari S.M.Z., Jafaryparvar Z., et al. Review of Electrocardiography Changes in Electrical Burn Injury: Is It Time To Revise Protocol? *Ann Burns Fire Disasters*, 2023. Vol. 36, no 2. P. 132-138.
6. Gentges J., Schieche C. Electrical injuries in the emergency department: an evidence-based review. *Emerg Med Pract*, 2018. Vol. 20, no 11. P. 1-20.
7. Rodgers A., Thompson C., Murphy D., et al. 566 Posterior Spinal Cord Syndrome after High Voltage Electrical Injury. *J Burn Care Res*, 2023. Vol. 44, no Suppl 2. P. 116.
8. Ragasivamalini B., Balambighai V., Sureshkumar S.A. Super-refractory Status Epilepticus and Cerebellar Involvement Following High-Voltage Electrical Injury. *Cureus*, 2025. Vol. 17, no 1. P. e77472.
9. Mansueto G., Di Napoli M., Mascolo P., et al. Electrocution Stigmas in Organ Damage: The Pathological Marks. *Diagnostics (Basel)*, 2021. Vol. 11, no 4. P. 682.
10. Andrews C.J., Reisner A.D. Neurological and neuropsychological consequences of electrical and lightning shock: review and theories of causation. *Neural Regen Res*, 2017. Vol. 12, no 5. P. 677-686.
11. Karamoy O.O., Edwar P.P.M. Electrical burn injury in a 12-year-old male: a case report. *Bali Medical Journal*, 2024. Vol. 13, no 3. P. 1224-1228.
12. Nielsen K.J., Carstensen O., Kærgaard A., Vestergaard J.M., Biering K.

- Neurological symptoms and disorders following electrical injury: A register-based matched cohort study. PLoS One, 2022. Vol. 17, no 3. P. e0264857.
13. van de Warenburg M.S., Riesmeijer S.A., Hummelink S., Ulrich D.J.O., Vehmeijer-Heeman M.L.A.W. Burn by battery, the dangers of portable devices – A case report. Burns Open, 2025. Vol. 9, no 4. P. 100388.
 14. Khartade H.K., Shrivastava S., Vashisht J., et al. Delayed Death Due to Lightning: An Autopsy Case Report Highlighting Diagnostic and Medicolegal Issues. J Burn Care Res, 2023. Vol. 44, no 4. P. 996-999.
 15. Di Vincenzo M. Quemaduras Eléctricas en Pediatría [Pediatric Electrical Burn Injuries]. Revista Argentina de Quemaduras, 2023. Vol. 33, no 3. P. 1-7.