



О. В. Кравцов,  
Т. А. Курбанов,  
Ю. І. Козін

ДУ «Інститут загальної  
та невідкладної хірургії  
ім. В. Т. Зайцева НАМНУ»,  
м. Харків

© Колектив авторів

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ КЛІНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ВНУТРІШНЬОТКАНИННОГО ТИСКУ ПРИ ГЛИБОКИХ ЦИРКУЛЯРНИХ ОПІКАХ ТА ЙОГО ДИНАМІКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ХАРАКТЕРУ Й ОБ'ЄМУ ХІРУРГІЧНОГО ВТРУЧАННЯ

**Реферат.** *Мета досліджень.* Удосконалити в експерименті оптимальні варіанти хірургічної тактики для усунення явищ компартмент-синдрому при циркулярних глибоких опіках на основі вивчення динаміки показників внутрішньотканинного тиску.

*Матеріали та методи.* Експеримент з вивчення ефективності лікування глибоких циркулярних опіків III ступеня, що супроводжувалися компартмент-синдромом, з об'єктивізацією внутрішньотканинного тиску, був виконаний на 18 щурах-самцях лінії WAG із масою тіла 190,0–200,0 г, яких було розподілено на три групи в залежності від характеру та об'єму оперативного втручання.

*Результати дослідження та їх обговорення.* На підставі оцінки залежності рівня внутрішньотканинного тиску в тканинах від термінів моделювання глибоких циркулярних опіків в експерименті та тактики й об'єму хірургічного лікування простежується чітка залежність показників у всіх групах експериментальних тварин. Проведена первинна некректомія в III – основній групі за рахунок радикальності хірургічного втручання дозволила повністю нормалізувати внутрішньотканинний тиск протягом 24 годин.

*Висновки.* 1. Визначені в експерименті клінічні показники внутрішньотканинного тиску при глибоких циркулярних опіках в залежності від часу моделювання термічної травми та характеру й об'єму хірургічного втручання.

2. Встановлено, що первинна некректомія за рахунок радикального висічення некротизованих тканин та швидкої декомпресії сприяє нормалізації показників внутрішньотканинного тиску.

**Ключові слова:** *опіки, компартмент-синдром, внутрішньотканинний тиск, хірургічне лікування.*

### Вступ

Своєчасне ефективне лікування хворих з опіковою травмою в даний час залишається однією з актуальних задач сучасної медицини. Опіковий травматизм є важливою медичною та соціальною проблемою. Глибокі циркулярні опіки дуже часто ускладнюються компартмент-синдромом, котрий визначають як патологічний стан, що супроводжується підвищенням рівня підфасціального тиску до такої величини, яка спричинює зменшення рівня перфузії нижче за життєво-необхідний і незворотні ішемічні зміни у м'язах ураженого сегменту [1, 2].

При глибоких циркулярних опіках необхідно виконувати некрофасціотомію, щоб запобігти або заблокувати явище «зовнішнього джгута», викликане відсутністю еластичності глибоко обпеченої шкіри. Підвищений внутрішньотканинний тиск перешкоджає венозному дренажу,

який є незалежним чинником, що сприяє набряку. Замкнуте коло призводить до стиснення артеріол. Швидке пошкодження ішемічної тканини призводить до незворотних некротичних ушкоджень, якщо хірургічна декомпресія не проводиться протягом перших 6 годин [3].

Фасціотомія, що виконується на фоні об'єктивної ранньої діагностики внутрішньотканинного тиску, забезпечує порятунок кінцівки і це підкреслює важливість об'єктивної клінічної оцінки та раннього хірургічного втручання [4]. Проте, не дивлячись на необхідність якомога більш раннього зниження внутрішньотканинного тиску, декомпресійні оперативні втручання часто відкладаються, якщо показання не зовсім ясні, щоб виправдати потенційні ризики, пов'язані з хірургічним втручанням [5].



Результати експериментальних досліджень свідчать про початок некрозу тканини й зупинку нервової провідності після 8 годин тиску тканини вище 40 мм рт. ст. [6]. Повне розуміння патофізіологічних змін, які керують опіковою травмою, до кінця не з'ясовано. Щоб отримати повне уявлення про механізми термічної травми у пацієнтів, існує потреба в моделюванні на тваринах термічної травми, яка адекватно імітує патологічні стани [7]. Гризуни, а саме щурі й миші, є найбільш широко використовуваними дрібномасштабними моделями тварин в дослідженнях опіків завдяки їх розміру, простоті догляду, швидкому розмноженню. Більші моделі тварин, такі як кролики, свині й вівці, зустрічаються рідше через їх більш високу вартість і тривалість експериментальних періодів часу [8]. Технологія моделювання термічної травми є важливим компонентом в експериментальних дослідженнях опіків, особливо тому, що вона допомагає відтворити різний рівень тяжкості опіків в експериментах, а це полегшує подальший процес оцінки клінічного перебігу [9].

Опікова травма в сучасних умовах в значній мірі пояснюється складністю й різноманітністю її патогенетичних механізмів, які лежать в основі розвитку, перебігу і наслідків глибоких опіків, що обумовлює пошук і розробку нових методів діагностики і хірургічного лікування даної патології шляхом використання різних варіантів її моделювання на лабораторних тваринах.

#### Мета досліджень

Удосконалити в експерименті оптимальні варіанти хірургічної тактики для усунення явищ компартмент-синдрому при циркулярних глибоких опіках на основі вивчення динаміки показників внутрішньотканинного тиску.

#### Матеріали і методи досліджень

Експеримент з вивчення ефективності лікування глибоких циркулярних опіків III ступеня, що супроводжувалися компартмент-синдромом, з об'єктивізацією внутрішньотканинного тиску, був виконаний на 18 щурах-самцях лінії WAG із масою тіла 190,0-200,0 г, яких було розподілено на три групи в залежності від завдань експерименту:

- група I — група порівняння — тварини (n=8), яким моделювали опік III ступеня, без подальшого хірургічного втручання.
- група II — основна група — тварини (n=8), яким після моделювання циркулярного глибокого опіку через 30 хвилин проводилося оперативне втручання некрофасціотомія.
- група III — основна група — тварини (n=8), яким після моделювання глибокого опіку через 30 хвилин проводили первинну не-

кректомію на всій площі термічного ушкодження до життєздатних тканин.

Тваринам всіх груп проводилося вимірювання внутрішньотканинного тиску в терміни 10, 20, 60 хвилин та через 24 години після термічної травми.

Щурам II та III основних груп вимірювання тиску здійснювалося через 30 хвилин після оперативних втручань на 60 хвилині з моменту термічного ушкодження. Зміст, догляд і методи експериментальної роботи з тваринами відповідали загальноприйнятим нормам і правилам, передбаченим Європейською конвенцією з нагляду й захисту хребетних тварин, які використовуються в експериментальних та інших наукових цілях. Для моделювання експериментальних циркулярних глибоких опіків застосовано розроблений нами пристрій та спосіб для формування опіків, стандартних за глибиною та площею ураження [10, 11]. Операції виконувалися під повітряно-ефірним наркозом. Для моделювання циркулярного субфасціального опіку III ступеня виконували 3 термовпливи аплікатором з площею 3,142 см<sup>2</sup> та температурою (210,5 ± 10,9) °C при експозиції 15 секунд. Загальна площа циркулярного опіку склала 9,42 см<sup>2</sup> (2,91% поверхні тіла щура).

Вимірювання внутрішньотканинного тиску в експерименті проводилося за допомогою системи Kompartmentsdruck Monitor System фірми MIPM Mammendorfer Institut für Physik und Medizin GmbH (Німеччина).

#### Результати дослідження та їх обговорення

Щурам всіх груп були виконані контрольні виміри тиску в інтактних тканинах до моделювання глибокого циркулярного опіку. Внутрішньотканинний тиск в усіх групах складав (8,2±1,3) мм рт. ст. (рис. 1).



Рис. 1 Показники внутрішньотканинного тиску до моделювання термічної травми

Після моделювання глибокого циркулярного опіку у щурів I групи — порівняння, через 10 хвилин відмічалось підвищення тканинного

тиску до  $(20,6 \pm 1,2)$  мм рт. ст., через 20 хв внутрішньотканинний тиск склав  $(26,2 \pm 1,5)$  мм рт. ст., 60 хвилин —  $(31,4 \pm 2,1)$  мм рт. ст. (рис. 2), значне підвищення внутрішньотканинного тиску простежувалося через 24 години з моменту термічної травми і становило  $(75,5 \pm 1,8)$  мм рт. ст., що в 9,2 рази більше ніж у інтактних тварин (табл. 1). Протягом доби у тварин групи порівняння формувалася набряк дистального термічно неушкодженого відділу кінцівки з високими показниками внутрішньотканинного тиску, який досягав  $(71 \pm 1,6)$  мм рт. ст.



Рис. 2 Підвищення внутрішньотканинного тиску до 30 мм рт. ст. через 60 хвилин після модельованого глибокого циркулярного опіку

рез 60 хвилин після термічної травми і проведеного оперативного втручання при вимірюванні тиску зазначалося зниження показників до  $(16,5 \pm 1,9)$  мм рт. ст. (рис. 3). Через 24 години у тварин II — основної групи показники тиску дещо зменшилися у порівнянні з попередніми показниками до  $(15,4 \pm 1,6)$  мм рт. ст. (табл. 1).



Рис. 3 Зменшення внутрішньотканинного тиску після проведення некрофасціотомії

Таблиця 1  
Залежність тканинного тиску від часу з моменту термічної травми та виду оперативного втручання

| Групи експериментальних тварин | Термін з моменту термічної травми, хв                    |          |           |           |
|--------------------------------|--|----------|-----------|-----------|
|                                | 10   | 20       | 60        | 24 год    |
|                                | Середній показник внутрішньотканинного тиску, мм рт. ст. |          |           |           |
| I — група порівняння (n=8)     | 20,6±1,2   | 26,2±1,5 | 31,4±2,1  | 72,5±1,8  |
| II — основна група (n=8)       | 21,2±1,6   | 25,3±1,7 | 16,5±1,9* | 15,4±1,6* |
| III — основна група (n=8)      | 21,4±1,3   | 27,6±2,1 | 10,3±1,2* | 8,4±1,1*  |

Примітка. \* показник статистично достовірний у порівнянні з тваринами I — групи ( $p < 0,05$ )

У щурів II — основної групи, через 10 хвилин після моделювання термічної травми при вимірюванні внутрішньотканинного тиску реєструвалися показники  $(21,2 \pm 1,6)$  мм рт. ст., протягом 20 хвилин внутрішньотканинний тиск склав  $(25,3 \pm 1,7)$  мм рт. ст. Через 30 хвилин після термічного ушкодження тваринам II — основної групи проводили некрофасціотомію термічно ушкоджених тканин двома лінійними розтинками, які забезпечували зниження наростаючого внутрішньотканинного тиску з явищами компартмент-синдрому. Че-

У щурів III — основної групи через 10 хвилин після моделювання термічної травми при вимірюванні внутрішньотканинного тиску реєструвалися показники  $(21,4 \pm 1,3)$  мм рт. ст., протягом 20 хвилин внутрішньотканинний тиск склав  $(27,6 \pm 2,1)$  мм рт. ст. Через 30 хвилин після моделювання циркулярного глибокого опіку тваринам III — основної групи проводили первинну тангенційну некротомію на всій площі термічного ушкодження, яка за рахунок радикальності забезпечувала істотне зниження внутрішньотканинного тиску до нормальних показників. Через 60 хвилин після термічної травми й проведеного раннього хірургічного втручання, спрямованого на висічення некротичних тканин, при вимірюванні тиску зазначалося зниження показників до  $(10,3 \pm 1,2)$  мм рт. ст. (табл. 1). Через 24 години у тварин III — основної групи показники внутрішньотканинного тиску практично не відрізнялися від показників інтактних тварин і склали  $(8,4 \pm 1,1)$  мм рт. ст. (рис. 4).

На підставі оцінки залежності рівня внутрішньотканинного тиску в тканинах від термінів моделювання глибоких циркулярних опіків в експерименті та тактики й об'єму хірургічного лікування простежується чітка залежність показників у всіх групах експериментальних тварин. Проведена первинна некротомія в III — основній групі за рахунок радикальності хірургічного втручання дозволила повністю нормалізувати внутрішньотканинний тиск протягом 24 годин (рис. 5).





Рис. 4 Нормалізація показників внутрішньотканинного тиску після проведення первинної некректомії

Таким чином, застосування ранньої хірургічної тактики, спрямованої на декомпресію уражених тканин при глибоких циркулярних опіках, особливо первинної некректомії, дозволяє в стислі терміни нормалізувати внутрішньотканинний тиск та ліквідувати явища компартмент-синдрому.



Рис. 5 Показники внутрішньотканинного тиску в залежності від часу моделювання глибокого опіку та характеру оперативного лікування

### Висновки

1. Визначені в експерименті клінічні показники внутрішньотканинного тиску при глибоких циркулярних опіках в залежності від часу моделювання термічної травми та характеру й об'єму хірургічного втручання.
2. Встановлено, що первинна некректомія за рахунок радикального висічення некротизованих тканин та швидкої декомпресії сприяє нормалізації показників внутрішньотканинного тиску.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гайко ГВ, Страфун СС, Бур'янов ОА. Компартмент-синдром при вогнепальних пораненнях кінцівок. Під ред. Лябаха АП. Київ, 2014, 24 с.
2. Cubano MA, Lenhart MK, Bailey JA, et al. Emergency war surgery. Fourth United State Revision. Office of the Surgeon General, Fort Sam Houston. Texas, Borden Institute, 2013, 568 p.
3. Taylor RM. Acute compartment syndrome: obtaining diagnosis, providing treatment, and minimizing medicolegal risk. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2012;5:206-13.
4. Adem Uzman, Sadık Öntürk, Zekeriya Tosun. Fasciotomy Procedures on Acute Compartment Syndromes of the Upper Extremity Related to Burns. 2015. 12:326-33. 10.15197/ejgm.01410.
5. Mataro I, Lanza A, Di Franco S. Releasing Burn Induced Compartment Syndrome (Bics) by Enzymatic Escharotomy-Debridement: A Case Series. *Journal of Burn Care & Research: Official Publication of the American Burn Association.* 2020 Mar. DOI: 10.1093/jbcr/iraa055.
6. Reichman EF. Compartment Syndrome of the Hand: A Little Thought about Diagnosis. *Case Rep. Emerg. Med.* 2016; 2016:2907067. doi:10.1155/2016/2907067.
7. Campelo AP, Campelo MW, Britto GA, Ayala AP, Guimarães SB, Vasconcelos PR. An optimized animal model for partial and total skin thickness burns studies. *Acta Cir Bras.* 2011;26 (1):38-42. doi:S0102-86502011000700008.
8. Qu M, Nourbakhsh M. Current experimental models of burns. *Discov. Med.* 2017;23(125):95-103.
9. Hanglin Ye, Suvranu De. Thermal injury of skin and subcutaneous tissues: A review of experimental approaches and numerical models. *Burns: journal of the International Society for Burn Injuries* vol. 2017; 43(5): 909-32. doi:10.1016/j.burns.2016.11.014.
10. Кравцов ОВ, Козін ЮІ, Ісаєв ЮІ, винахідники; ДУ "Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В.Т. Зайцева НАМН України", патентовласник. Спосіб керованого моделювання термічних опіків у лабораторних тварин. Патент України № 126980. 2018 липень 10.
11. Кравцов ОВ, Козін ЮІ, Ісаєв ЮІ, Курбанов ТА, винахідники; ДУ "Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В.Т. Зайцева НАМН України", патентовласник. Пристрій для моделювання експериментальних термічних опіків. Патент України № 131557. 2019 січень 25.



## REFERENCE

1. Haiko HV, Strafun SS, Burianov OA. Kompartment-syndrom pry vohnepalnykh poranenniakh kintsivok. Pid red. Liabakha AP. Kyiv, 2014, 24 s. [In Ukr.].
2. Cubano MA, Lenhart MK, Bailey JA, et al. Emergency war surgery. Fourth United State Revision. Office of the Surgeon General, Fort Sam Houston. Texas, Borden Institute, 2013, 568 r.
3. Taylor RM. Acute compartment syndrome: obtaining diagnosis, providing treatment, and minimizing medicolegal risk. Curr Rev Musculoskelet Med. 2012;5:206-13.
4. Adem Iızkan, Sadık Kentürk, Zekeriya Tosun. Fasciotomy Procedures on Acute Compartment Syndromes of the Upper Extremity Related to Burns. 2015. 12:326-33. 10.15197/ejgm.01410.
5. Mataro I, Lanza A, Di Franco S. Releasing Burn Induced Compartment Syndrome (Bics) by Enzymatic Escharotomy-Debridement: A Case Series. Journal of Burn Care & Research: Official Publication of the American Burn Association. 2020 Mar. DOI: 10.1093/jbcr/iraa055.
6. Reichman EF. Compartment Syndrome of the Hand: A Little Thought about Diagnosis. Case Rep. Emerg. Med. 2016; 2016:2907067. doi:10.1155/2016/2907067.
7. Campelo AP, Campelo MW, Britto GA, Ayala AP, Guimaraes SB, Vasconcelos PR. An optimized animal model for partial and total skin thickness burns studies. Acta Cir Bras. 2011;26 (1):38-42. doi:S0102-86502011000700008.
8. Qu M, Nourbakhsh M. Current experimental models of burns. Discov. Med. 2017;23(125):95-103.
9. Hanglin Ye, Suvranu De. Thermal injury of skin and subcutaneous tissues: A review of experimental approaches and numerical models. Burns: journal of the International Society for Burn Injuries vol. 2017; 43(5): 909-32. doi:10.1016/j.burns.2016.11.014.
10. Kravtsov OV, Kozin YuI, Isaiev YuI, vynakhidnyky; DU "Instytut zahalnoi ta nevidkladnoi khirurgii im. V.T. Zaitseva NAMN Ukrainy", patentovlasnyk. Sposib kerovanoho modeliuвання termichnykh opikiv u laboratornykh tvaryn. Patent Ukrainy № 126980. 2018 lypen 10 [In Ukr.].
11. Kravtsov OV, Kozin YuI, Isaiev YuI, Kurbanov TA, vynakhidnyky; DU "Instytut zahalnoi ta nevidkladnoi khirurgii im. V.T. Zaitseva NAMN Ukrainy", patentovlasnyk. Prystrii dlia modeliuвання eksperymentalnykh termichnykh opikiv. Patent Ukrainy № 131557. 2019 sichen 25 [In Ukr.].

EXPERIMENTAL STUDY OF  
CLINICAL INDICATORS OF  
INTRATISSUE PRESSURE  
IN DEEP CIRCULAR BURNS  
AND ITS DYNAMICS  
DEPENDING ON THE  
NATURE AND VOLUME OF  
SURGERY

*O. V. Kravtsov, T. A. Kurbanov,  
Yu. I. Kozin*

**Summary.** *The purpose of research.* To improve in the experiment the optimal variants of surgical tactics to eliminate the phenomena of compartment syndrome in circular deep burns on the basis of studying the dynamics of intratissue pressure.

*Materials and methods.* An experiment to study the effectiveness of treatment of deep circular burns of III degree, accompanied by compartment - syndrome with objectification of intra-tissue pressure was performed on 18 male WAG rats weighing 190.0-200.0 g, which were divided into three groups depending from the nature and scope of surgery.

*Research results and their discussion.* Based on the assessment of the dependence of the level of intratissue pressure in the tissues on the timing of modeling of deep circular burns in the experiment and tactics and volume of surgical treatment, a clear dependence of indicators in all groups of experimental animals. The primary necrectomy performed in the III - main group due to the radical surgical intervention allowed to completely normalize the intra-tissue pressure within 24 hours.

*Conclusions.* 1. Clinical indicators of intratissue pressure at deep circular burns depending on time of modeling of a thermal trauma and character and volume of surgical intervention are defined in experiment.

2. It is established that primary necrectomy due to radical excision of necrotized tissues and rapid decompression contributes to the normalization of intra-tissue pressure.

**Key words:** *burns, compartment syndrome, intratissue pressure, surgical treatment.*