

# ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

УДК 616.74-001.4+616-089.813  
DOI 10.32782/2226-2008-2023-1-4

*Р. О. Сабадишин, Л. Р. Коробко, І. Л. Литвин, Н. В. Сачук, М. О. Винокур*

## КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМ ПРИ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПОРАНЕННЯХ: ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ

КЗВО «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, Рівне, Україна

УДК 616.74-001.4+616-089.813

**Р.О. Сабадишин, Л.Р. Коробко, І.Л. Литвин, Н.В. Сачук, М.О. Винокур**  
**КОМПАРТМЕНТ-СИНДРОМ ПРИ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПОРАНЕННЯХ: ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ**

*КЗВО «Рівненська медична академія» Рівненської обласної ради, Рівне, Україна*

Згідно даних авторів, у 10-25% пацієнтів із переломами кісток нижніх кінцівок, а при вогнепальних пораненнях певних локалізацій – у майже 40% зустрічається компартмент-синдром [1].

Зниження кровообігу у футлярі, зменшення толерантності м'язу до ішемії та збільшення вмісту фасціального футляра в результаті набряку м'язів є пусковими механізмами розвитку компартмент-синдрому при вогнепальних пораненнях.

Класичні симптоми компартмент-синдрому можуть бути оманливими. Проте діагностичними критеріями даної патології є 6 «П»: pain, парестезія, пойкилотермія, блідість, параліч і відсутність пульсу. Будь який із цих критеріїв повинен спонукати до визначення підфасціального тиску, що є основним показником компартмент-синдрому.

Методом вибору лікування є фасціотомія, результат якої залежить від вчасності виконання.

**Ключові слова:** компартмент-синдром, вогнепальні поранення, підфасціальний тиск.

UDC 616.74-001.4+616-089.813

**R. O. Sabadyshyn, L. R. Korobko, I. L. Lytvyn, N. V. Sachuk, M. O. Vinokur**  
**COMPARTMENT SYNDROME IN BURN INJURIES: REVIEW AND ANALYSIS**

*Municipal Institution of Higher Education "Rivne Medical Academy" of Rivne Region Council, Rivne, Ukraine*

The use of high-energy firearms in today's war leads to an increase in the share of polystructural damage. According to various authors, compartment syndrome occurs in 10-25% of patients with bone fractures of the lower extremities, and in gunshot wounds of certain localizations – in almost 40% [1].

**Purpose.** To conduct a retrospective analysis of data of literature regarding risk factors for the occurrence of compartment syndrome, diagnosis and treatment tactics.

**Materials and methods.** An information search was conducted in the scientific literature, 52 sources were studied and analyzed, of which about 37 were in English. The obtained results were processed using the program "Microsoft Office Excel" and "Statistica 6".

**Results and discussion.** The triggering mechanisms for the development of compartment syndrome in gunshot wounds are a decrease in blood circulation in the sheath, a decrease in muscle tolerance to ischemia, and an increase in the contents of the fascial sheath as a result of muscle swelling.

The classic symptoms of compartment syndrome can be deceptive. However, the diagnostic criteria of this pathology are 6 "Ps": pain that does not correspond to the severity of the injury, paresthesia, poikilothermia, pallor, paralysis and absence of a pulse. Any of these criteria should lead to the determination of subfascial pressure, which is the main indicator of compartment syndrome.

The main method of treatment is fasciotomy, the result of which depends on the timeliness of execution.

### **Conclusions.**

1. Among the etiological factors of compartment syndrome, gunshot wounds prevail today
2. The main diagnostic criterion of the compartment syndrome is an increase in subfascial pressure;
3. A direct strong correlation ( $r=0.7912$ ) was established between the early (up to 6-8 hours) time of fasciotomy and the course of the disease

**Key words:** compartment syndrome, gunshot wounds, subfascial pressure.

Війна: страшна та безжальна. Вона несе за собою не лише руйнування інфраструктур, скорочення ВВП, зростання інфляції, збільшення міграції, а найголовніше – це людські втрати, зростання частки осіб з обмеженими можливостями, психічні та інші розлади здоров'я.

З початком повномасштабного вторгнення росії в Україну в зв'язку з використанням високотехніч-

ної зброї, різко збільшилася питома вага травм різної локалізації. Найбільш поширеними травмами військовослужбовців від початку АТО та до сьогодення були і є різноманітні ушкодження опорно-рухового апарату. За даними Centers for Disease Control у 2019 році у США від вогнепальних поранень померло 39707 осіб. В Україні чітка статистика – відсутня, проте в зв'язку з російсько-українською війною кількість загиблих різко зросла. По підрахунках ООН від початку АТО у 2014 році до лютого, від вогнепаль-

них поранень постраждало 44000 людей, з них 23% – цивільні громадяни України, понад 16000 – загиблі. Використання сучасної високоточної та висококінетичної вогнепальної зброї призводить до збільшення частки комбінованих ушкоджень. Бойова травма обумовлена, як тяжкістю процесу, так і поєднанням кісткових та м'якотканинних множинних дефектів з пошкодженням судинно-нервового пучка, які сприяють виникненню масивного некрозу, множинним інфекційним і гнійним ускладненням та розвитку гострого компартмент-синдрому.

Одним з найбільш вагомих ускладнень в хірургічній практиці, особливо під час військових дій є компартмент-синдром. Згідно даних авторів, у 10-25% пацієнтів із переломами кісток нижніх кінцівок, а при вогнепальних пораненнях певних локалізацій – у майже 40% зустрічається компартмент-синдром [1]. Саме вогнепальні поранення збільшують ризик виникнення компартмент-синдрому в середньому на 20-23%. Компартмент-синдром – стан, коли зростання підфасціального тиску в обмеженому кістково-фіброзному просторі зменшує перфузію тканин та супроводжується ішемією та некрозом м'язів. Відсутність насиченої киснем крові та накопичення продуктів розпаду супроводжується сильним болем та зниженням периферичної чутливості внаслідок порушення інервації, відсутності дистальної пульсації в результаті підвищеного тканинного тиску, в послідуєчому порушенням артеріального кровотоку та ішемічним некрозом.

**Мета:** Провести ретроспективний аналіз даних літератури, щодо факторів ризику виникнення компартмент-синдрому, діагностики та лікувальної тактики.

**Матеріали та методи:** було проведено інформаційний пошук в науковій літературі, вивчено та проаналізовано 52 джерела з проблеми дослідження, з них близько 37 – англійських. Отримані результати були оброблені за допомогою програми «Microsoft Office Excel» та «Statistica 6». Залежність від часу проведення фасціотомії та перебігом захворювання оцінювалася за допомогою коефіцієнту кореляції Пірсона (r).

**Результати та обговорення** Історично перший опис неконтрольованого підвищення підфасціального тиску надав Річард фон Фолькман. Його публікація 1872 року задокументувала пошкодження нерву та подальшу контрактуру від компартмент-синдрому після надвиросткового перелому [2]. Ця травма залишається відомою як контрактура Фолькмана. Переважаючою теорією на той час було те, що тугі пов'язки викликали ішемічний інсульт. Байвотерс і Білл краще [3] визначили хворобу компартмент-синдрому в серії випадків британських жертв Другої світової війни в 1941 році. Спочатку позначену, як розтрощення з порушенням функції нирок, вчені описували набряк кінцівки, в результаті якого виникало зниження пульсу в пошкодженій кінцівці, в послідуєчому: загрозлива гангрена, прогресуюча ниркова недостатність, шок і зрештою, смерть. Це було додатково з'ясовано та краще охарактеризовано Картером та іншими [4] у 1949 році, як травма м'яза, що призводить до підвищення тиску всередині м'язового відділу, що погіршує кровопостачання, та в послідуєчому веде до некрозу.

За даними багатьох авторів розвитку ішемії та некрозу м'язів передують причинно-наслідкові чинники, які викликають саме набряк м'язової тканини. Перш за все – це травма, особливо вогнепальні поранення в ділянці ліктьового та колінного суглобів. Згідно даних С. Страфуна, В. Гайовича та інших: підвищення підфасціального тиску у м'язових футлярах було у 6-35% хворих із переломами кісток як верхньої, так і нижньої кінцівки, а при циркулярних опіках чи електротравмі – до 100%. [1] Компартмент-синдром виникає, коли тиск у певному компартменті перевищує критичний поріг тиску, тим самим знижуючи перфузійний тиск у цьому компартменті [5]. На думку багатьох авторів, пусковими механізмами розвитку компартмент-синдрому є різні етіологічні чинники, які можна об'єднати в три групи:

- зменшення площі фасціального футляра, що виникає в результаті тісної й нефізіологічної гіпсової пов'язки, циркулярних опіків, переохолодження, геморагічних синдромів, стиснення вагою тіла або стороннім предметом;

- збільшення вмісту фасціального футляра, що виникає внаслідок гематоми, флегмони, переломів кісток зі значним зміщенням, екстравазації рідини при інфузіях, інтенсивного набряку, електротравми;

- ушкодження судин, тривала гіпотонія внаслідок шоку, синдром реперфузії при ушкодженнях магістральних артерій, підвищене положення кінцівки, анемія, виражена інтоксикація є етіологічними факторами зниження кровообігу у футлярі та зменшення толерантності м'язу до ішемії.

Нажаль, при вогнепальних пораненнях переважає поєднання всіх етіологічних чинників трьох груп, а не окремо однієї із. Тому, при проведенні аналізу причин виникнення компартмент-синдром єдиним травматологічним центром I рівня Бранко, було виявлено переважання вогнепального поранення. Пацієнти, які отримали комбіноване артеріально-венозне ушкодження, мали 41,8% ймовірність розвитку компартмент-синдрому, тоді як ймовірність для відкритого перелому становила 5,9% та 2,2% для закритого перелому [6]. Із цих статистичних даних чітко прослідковується збільшення ризику виникнення компартмент-синдрому при поліструктурних ушкодженнях в комбінації із артеріально-венозними ушкодженнями ніж при окремих травмах.

Патогенетично виникнення компартмент-синдрому при вогнепальних пораненнях має замкнене коло. Вогнепальна травма в результаті місцевого розладу кровопостачання та зниження швидкості кровотоку супроводжується глибокою циркуляторною гіпоксією, набряком м'язів і кісткового мозку та розвитком м'язової контрактури. Все це призводить до суттєвого підвищення підфасціального тиску, який посилює вторинне порушення тканинного кровопостачання, що, у свою чергу, веде до збільшення гіпоксії тканин. Результатом гіпоксії є порушення енергетичного обміну, що супроводжується розладами функції клітинної натрій-калієвої помпи та призводить до набухання клітин, їх руйнування. Додаткові локальні ушкодження які виникають, як наслідок вивільнених катаболічних ензимів та змін в позаклітинному електролітному

складі, сприяють розвитку міжклітинного інтерстиціального набряку, що, у свою чергу, підвищує внутрішньотканинний тиск, суттєво погіршує тканинне кровопостачання та поглиблює гіпоксію тканин. Окрім того, внутрішньо-компаратментальна кровотеча призводить до підвищення внутрішньо-компаратментального тиску, що підвищує тиск у венозних капілярах. Капілярний колапс виникає, коли тиск у певному відділі перевищує тиск капілярної перфузії, що призводить до клітинної ішемії та некрозу. Некроз тканин є причиною інтерстиціального набряку який ще більше посилює компартментальний набряк. Доведено, що ішемія тканин протягом однієї години викликає зворотню нейропраксією, тоді як ішемія протягом 4 годин може спричинити незворотний аксонотмезіс. Вже шести годинна ішемія яка пов'язана із незворотнім некрозом веде до вираженого ендотоксикозу, що в подальшому, через 3-4 дні, може призвести до розвитку гострої ниркової недостатності та смерті. Ряд авторів відмічали, що летальність при нелікованому тяжкому компартмент-синдромі сягає 47%.

Компартмент-синдром може виникати в будь-якій частині тіла. Проте, нога нижче коліна є найвірогіднішим відділом для розвитку гострого компартмент-синдрому, потім передпліччя, стегно та рука [6]. Так Гонсалес Р.П., Скотт В. та інші [7] в своїх дослідженнях описали що у жодного пацієнта з дистальним проникаючим пораненням нижче коліна не розвинувся компартмент-синдром, тоді як 27% пацієнтів із проксимальним проникаючим пораненням нижче коліна врешті-решт потребували фасціотомії. До такої ж думки схилилися Мескі та інші [8], які продемонстрували значно більший рівень асоційованого компартмент-синдрому при проксимальних переломах великогомілкової та малогомілкової кісток, ніж при середніх або дистальних переломах. Тобто чітко прослідковується залежність виникнення компартмент-синдрому від локалізації ушкодження.

Діагностичними критеріями даної патології є 6 «П»: pain-біль, сила якого не відповідає тяжкості ушкодження, парестезія, пойкилотермія, palor – блідість, параліч і відсутність пульсу. Окрім того, спостерігається прогресування вираженого набряку, протягом 2-3 діб після травми, значне підвищення підфасціального тиску (норма – 3-8 мм рт. ст.), зміни біохімічних показників (підвищення азоту сечовини, креатинінази, креатиніну, міоглобіну, калію та зниження кальцію), характерні дані додаткових методів обстеження: УЗД, МРТ, ЕНМГ. Проте найголовнішим критерієм є показник підфасціального тиску, й саме він визначає тактику лікування хворого. Ще в 1991 році в залежності від клініки та показника підфасціального тиску, С.С. Страфун запропонував використання трьох ступенів важкості компартмент – синдрому [1]:

- Легкий ступінь характеризується відсутністю порушення кровотоку по магістральних артеріях. При цьому уражена кінцівка тепла, шкіра-багряно-ціанотична, пульсація збережена, наявна парестезія або гіперстезія пальців. Підфасціальний тиск на 30-40 мм рт. ст. нижчий від діастолічного артеріального тиску або наближається до нього.

- При середньому ступені дистальна частина кінцівки прохолодна, ціанотична, пульс ослаблений, відмічається гіпестезія або анестезія пальців. Підфасціальний тиск дорівнює діастолічному або перевищує його.

- Тяжкий ступінь – який виникає в результаті первинного або вторинного порушення кровотоку по магістральних артеріях, характеризується блідістю та локальним зниженням температури кінцівки, відсутністю пульсації, анестезії пальців. Підфасціальний тиск перевищує діастолічний, а інколи дорівнює або перевищує систолічний артеріальний тиск.

Вибір лікувальної тактики залежить від ступеню важкості компартмент-синдрому. Згідно літературних джерел, в основі лікування компартмент-синдрому при вогнепальних пораненнях є фасціотомія з двома розрізами та чотирма відділами в поєднанні із іншими місцевими маніпуляціями та консервативною терапією. Бічний розріз декомпресує передній і бічний відділи, тоді як медіальний розріз декомпресує поверхневий і глибокий задні відділи [9]. Доведено, що лікувальна декомпресійна фасціотомія, виконана в перші 6-8 год з моменту розвитку компартмент-синдрому є найбільш ефективною. При проведенні статистичного аналізу літературних джерел встановлено прямий сильний кореляційний зв'язок ( $r=0,7912$ ), між раннім (до 6-8 год) часом проведення фасціотомії та послідувачим перебігом компартмент-синдрому. Саме рання фасціотомія при масивних ушкодженнях м'яких тканин, багатуламкових вогнепальних переломах, комбінованих судинно-нервових ушкодженнях, ушкодженнях суглобів має позитивний ефект, зменшує ризик проведення ампутацій в послідувачому інвалідизації та скорочує ліжко-дні перебування в стаціонарі. Ефективність використання інших місцевих маніпуляцій, таких як: розсічення всіх циркулярних зв'язок, зменшення навантаження або демонтаж скелетного витягу, уникнення позиційного стиснення (задні футляри кінцівки на шині Белера), підвищене положення кінцівки, дозоване охолодження уражених м'язових футлярів при вогнепальних пораненнях – мала. Для закриття, або перев'язки фасціотомічних ран використовується вільна пов'язка, що не стягує м'яз, щоб забезпечити повне розтягнення м'яза, особливо якщо триває реанімація, так і пов'язки на основі натягу, такі як техніка шнурівки або пов'язка із застібанням, VAC-терапія. На нашу думку, стверджувати, що один із методів закриття фасціотомічних ран є кращим (техніка-шнурівки, VAC-терапія чи вільна пов'язка) однозначно є не правильним. Так як існують докази того, що використання пов'язки з вакуумним закриттям пов'язане зі значно вищими показниками первинного закриття, ніж традиційні пов'язки [10]. Тоді, як Kakagia *та ін.* [11] виявили, що пацієнти, яким була накладена вакуумна пов'язка, мали значно більше часу для закриття рани, ніж пацієнти, які отримали техніку шнурівання. Зрозуміло, що дане рішення залежить від кожного конкретного випадку та вподобань лікаря. На думку С. Страфуна, В. Гайовича та А. Лисака, є доцільним поєднання лікувальної фасціотомії з позавогнищевим стабільним остеосинтезом АЗФ (бажано одностороннім) або з контролем стабільності АЗФ, що був накладений раніше [1]

Щодо консервативного лікування, то воно є стандартизованим та спрямоване на покращання реологічних властивостей, збільшення онкотичного тиску крові, корекцію гемодинаміки при артеріальній гіпотензії, оптимізацію тканинного обміну. Також в схему лікування включено сечогінні, знеболювальні, протизапальні препарати та засоби, що покращують функції ендотелію.

#### Висновки

1. Серед етіологічних чинників компартмент-синдрому на сьогоднішній день превалюють вогнепальні

поранення, що призводять до зниження кровообігу у футлярі, зменшення толерантності м'язу до ішемії та збільшення вмісту фасціального футляра;

2. Основним діагностичним критерієм компартмент-синдрому є підвищення підфасціального тиску;

3. Встановлено прямий сильний кореляційний зв'язок ( $r=0,7912$ ), між раннім (до 6-8 год) часом проведення фасціотомії та перебігом захворювання. Фасціотомія – це просте, зрозуміле лікування, яке є дуже ефективним, якщо його виконати вчасно.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Strafun SS, Hayovich VV, Lysak AS. Compartment syndrome in gunshot wounds of the extremities. *Surgery, Orthopedics, Traumatology, Intensive care*. 2019;1 (35):31-34 (in Ukrainian).
2. Von Volkmann R. Veilletzungen und Krankheiten der Bewegungsorgane. von Pithe F, Billroth T Stuttgart, Verlag von Ferdinand Enke eds. *Handbuch der Allgemeinen und Speciellen Chirurgis*; 1882.
3. Bywaters EG, Beall D. Crush injuries with impairment of renal function. 1941. *J Am Soc Nephrol*. 1998 Feb;9(2):322-32. doi: 10.1681/ASN.V92322. PMID: 9527411.
4. CARTER AB, RICHARDS RL, ZACHARY RB. The anterior tibial syndrome. *Lancet*. 1949 Nov 19;2(6586):928-34, illust. doi: 10.1016/s0140-6736(49)91504-4. PMID: 15395607.
5. Donaldson J, Haddad B, Khan WS. The pathophysiology, diagnosis and current management of acute compartment syndrome. *Open Orthop J* 2014;8:185–93. doi:10.2174/1874325001408010185 [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
6. Branco BC, Inaba K, Barmparas G, Schnüriger B, Lustenberger T, Talving P, Lam L, Demetriades D. Incidence and predictors for the need for fasciotomy after extremity trauma: a 10-year review in a mature level I trauma centre. *Injury*. 2011 Oct;42(10):1157-63. doi: 10.1016/j.injury.2010.07.243. Epub 2010 Aug 1. PMID: 20678764.
7. Gonzalez RP, Scott W, Wright A, Phelan HA, Rodning CB. Anatomic location of penetrating lower-extremity trauma predicts compartment syndrome development. *Am J Surg* 2009;197:371–5. doi:10.1016/j.amjsurg.2008.11.013 [PubMed] [Google Scholar]
8. Meskey T, Hardcastle J, O'Toole RV. Are certain fractures at increased risk for compartment syndrome after civilian ballistic injury? *J Trauma* 2011;71:1385–9. doi:10.1097/TA.0b013e31822fec25 [PubMed] [Google Scholar]
9. Cone, Jennifer, and Kenji Inaba. Lower extremity compartment syndrome. *Trauma Surg Acute Care Open*. 2017;2:1–6 doi:10.1136/tsaco-2017-000094
10. Zannis J, Angobaldo J, Marks M, DeFranzo A, David L, Molnar J, Argenta L. Comparison of fasciotomy wound closures using traditional dressing changes and the vacuum-assisted closure device. *Ann Plast Surg* 2009;62:407–9. doi:10.1097/SAP.0b013e3181881b29 [PubMed] [Google Scholar] [Ref list]
11. Kakagia D, Karadimas EJ, Drosos G, Ververidis A, Marks M, Trypsiannis G. Wound closure of leg fasciotomy: comparison of vacuum-assisted closure versus shoelace technique. A randomised study. *Injury* 2014;45:890–3. doi:10.1016/j.injury.2012.02.002 [PubMed] [Google Scholar] [Ref list]

*Надійшла до редакції 19.01.2023 р.*

*Прийнята до друку 05.02.2023 р.*

*Електронна адреса для листування [larisakorobko2304@gmail.com](mailto:larisakorobko2304@gmail.com)*