

УДК 616-089.811(045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-598720254115-124>

Дослідження ефективності використання джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет»

І. Ф. Федотова¹, О. Д. Карпінська¹, М. В. Лизогуб¹,
О. А. Тяжелов¹, І. В. Корж¹, О. П. Козлов²

¹ ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І.Ситенка НАМН України», Харків

² Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна, Україна

The experience of combat medics in the conditions of full-scale Russian aggression against Ukraine has demonstrated a huge amount of massive bleeding in the event of combat trauma. The operation of tourniquets is a fundamental element of modern tactical medicine. Objective. To assess the effectiveness of the tourniquet for stopping bleeding «SICH-Tourniquet» and to build a mathematical model that would allow predicting the pressure under the tourniquet based on individual anthropometric and hemodynamic parameters of a person. Materials. The study involved 130 volunteers aged 10 to 73 years, including 20 children. The gender distribution was as follows: 55 (42.3 %) men and 55 (42.3 %) women, as well as 20 children (10–17 years; 7 girls, 13 boys) Results. Observation included measurement of hemodynamic parameters, assessment of application time, pain syndrome, capillary test, effectiveness of dry and wet tourniquet, as well as durability during repeated use. It was found that the tourniquet provides complete occlusion of arterial blood flow in both the upper and lower extremities, without significant difference from its position. Correlation and regression analysis allowed us to identify key factors that influence effective compression pressure. For the upper extremities, the following statistically significant predictors were: gender, arm circumference, and body mass index. For the lower extremities, the following had the greatest influence: age, hip circumference, and diastolic pressure. Conclusions. Simplified models suitable for predicting pressure in field conditions were created. «SICH-Tourniquet» demonstrated high efficiency, reliability and safety, particularly in the pediatric group. The resulting mathematical models can be used to optimize individual compression selection in tactical and emergency medical care. Keywords. Tourniquet, bleeding control, mathematical model, tourniquet.

Досвід бойових медиків в умовах повномасштабної агресії росії проти України продемонстрував величезну кількість масивних кровотеч у разі бойової травми. Експлуатація турнікетів є основоположним елементом сучасної тактичної медицини. Мета. Оцінити ефективність джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» та побудувати математичну модель, яка дозволяла би прогнозувати тиск під турнікетом на основі індивідуальних антропометричних і гемодинамічних параметрів людини. Методи. У дослідженні взяли участь 130 добровольців віком від 10 до 73 років, включаючи 20 дітей. За гендерним типом розподіл виглядав таким чином: 55 (42,3 %) чоловіків та 55 (42,3 %) жінок, а також 20 дітей віком (10–17 років; 7 дівчаток, 13 хлопчиків). Результати. Спостереження включало вимірювання гемодинамічних показників, оцінювання часу накладання, больового синдрому, капілярного тесту, ефективності сухого та мокрого турнікета, а також довговічності за багаторазового використання. Виявлено, що турнікет забезпечує повну оклюзію артеріального кровотоку як на верхній, так і на нижній кінцівці, без значущої різниці від її положення. Кореляційний та регресійний аналіз дозволив визначити ключові чинники, які впливають на ефективний компресійний тиск. Для верхньої кінцівки статистично значущими предикторами стали: стать, окружність руки й індекс маси тіла. Для нижньої кінцівки найбільший вплив мали: вік, окружність стегна та діастолічний тиск. Висновки. Створені спрощені моделі придатні для прогнозування тиску в польових умовах. «СІЧ-Турнікет» продемонстрував високу ефективність, надійність і безпеку, зокрема у педіатричній групі. Отримані математичні моделі можуть бути використані для оптимізації індивідуального вибору компресії в разі тактичної та екстреної медичної допомоги.

Ключові слова. Джгут, зупинка кровотечі, математична модель, турнікет

Вступ

Досвід бойових медиків в умовах повномасштабної агресії росії проти України продемонстрував величезну кількість масивних кровотеч у разі бойової травми. Поранення кінцівок, тулуба або судин шиї можуть призвести до критичної втрати крові за лічені хвилини, і саме тому своєчасна реакція є ключовою. У багатьох випадках навіть найкраща медична допомога буде безсилою, якщо кровотечу не зупинити негайно на місці події.

За механізмом дії розрізняють пневматичні (з газовою подушкою) та непневматичні (механічні/стрічкові) турнікети [1]. Турнікети за класифікацією FDA належать до класу I, як пневматичні (21 CFR 878.5910), так і непневматичні (21 CFR 878.5900). До сучасних механічних турнікетів належать, зокрема, Combat Application Tourniquet (CAT) та його вітчизняний аналог — джгут для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет», який широко використовується в екстрених умовах бойових дій і надзвичайних ситуацій.

Експлуатація турнікетів є основоположним елементом сучасної тактичної медицини. У протоколі Tactical Combat Casualty Care (TCCC) першим критично важливим етапом є контроль масивної кровотечі, що відповідає принципам алгоритму MARCH (Massive hemorrhage, Airway, Respiration, Circulation, Hypothermia), який широко застосовується для структурування пріоритетів надання допомоги пораненим у тактичних умовах [2].

Класичні роботи з аналізу бойової летальності (зокрема R. F. Bellamy) зазначили провідну роль геморагії на полі бою, підкресливши важливість своєчасного застосування турнікетів для контролю масивних кровотеч [3]. З огляду на це, сучасна військова медицина приділяє велику увагу тактичній допомозі за масивних кровотеч.

Мета: оцінити ефективність джгута для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» та побудувати математичну модель, яка дозволяла би прогнозувати тиск під турнікетом на основі індивідуальних параметрів людини (зокрема, антропометричних показників, артеріального тиску, віку та статі).

Матеріали і методи

У дослідженні взяли участь 130 добровольців віком від 10 до 73 років, які були госпіталізовані чи отримували амбулаторну допомогу в ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» у період із лютого по травень 2025 року та які не мали гострої соматичної патології. Методичний су-

провід виконувався співробітниками медичного факультету Харківського національного університету ім. В. Н. Каразіна.

За гендерним типом розподіл виглядав таким чином: 55 (42,3 %) чоловіків і 55 (42,3 %) жінок, а також 20 дітей (10–17 років; 7 дівчаток, 13 хлопчиків), які надали інформовану згоду на участь та були застраховані Українською страховою компанією «ВЕЛТА» (вул. Ломоносова 4, оф. 46. Київ, Україна за договором страхування № 03KB/25 від 06/02/2025). Роботу виконано з дотриманням вимог і положень Гельсінської декларації про права людини, Конституції та основ законодавства України про охорону здоров'я, усіх етичних норм щодо проведення клінічних досліджень (протокол № 249 від 21.02.2025 ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України»). Для моделювання накладення турнікета використовували джгути для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет», надані спонсором дослідження — товариством з обмеженою відповідальністю «СІЧ-УКРАЇНА».

Перед проведенням експерименту кожного учасника проінструктовано й одноразово було продемонстровано техніку накладання турнікета. Учасник виконував первинне щільне затягнення стрічки вручну за вільний її край, а далі компресію за допомогою воротка виробу й утримував турнікет у такому положенні 100 секунд.

Досліджування ефективності турнікета перевіряли встановлюючи джгут послідовно на середину плеча (верхня кінцівка — ВК) та середину стегна (нижня кінцівка — НК). Одна й та сама особа виконувала всі вимірювання. Припинення кровотоку фіксувалося однією людиною за допомогою доплерографії на апараті «GE Healthcare Logiq P9 XD clear». Протягом цього етапу використовували два окремі турнікети: один накладається на середину плеча, другий на середину стегна. На середину плеча джгут накладався двічі: на руку у випрямленому положенні та на руку, зігнуту в ліктьовому суглобі під кутом 90°. На середину стегна турнікет також накладався двічі: на ногу у випрямленому положенні та на ногу, зігнуту в колінному суглобі під кутом 90°.

Наступним етапом дослідження було застосування вологого турнікету. Перед використанням його опускали у воду на 10 хв, після чого наклали послідовно на руку та ногу у випрямленому положенні. Припинення кровотоку також фіксували за допомогою доплерографії. Із метою визначення надійності та довговічності турнікета за умов багаторазового застосування кожному

учаснику на середину плеча накладався джгут, один і той самий. Останнім етапом було самостійне використання турнікета та проведення вищезазначених дій. Період між накладаннями був не меншим за 5 хвилин.

Протягом спостереження було зібрано такі параметри:

- антропометричні: вік, стать, індекс маси тіла (ІМТ), величина окружності верхньої та нижньої кінцівок;

- гемодинамічні: систолічний та діастолічний артеріальний тиск (САТ, ДАТ), частота серцевих скорочень (ЧСС). Вимірювання тиску проводили автоматичним тонометром PARAMED Flagman з точністю вимірювання ± 3 мм рт. ст.

- гемодинамічні локальні: швидкість кровотоку до компресії в плечовій артерії, підколінній артерії (*a. poplitea*) та задній великогомілкової артерії (*a. tibialis posterior*), тиск у тонометрі та під манжетою турнікета (датчиком);

- показники механічного впливу: кількість обертів стрижня турнікета до повного припинення кровотоку;

- фізіологічні реакції: час капілярного наповнення (капілярний тест);

- суб'єктивна оцінка: показник болю за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ) та рівень комфорту під час процедури.

Після попередньої обробки даних виконано описову статистику, перевірку кореляцій та побудовано регресійну модель прогнозування тиску під турнікетом. Статистичний аналіз проведено з використанням ліцензованого програм-

ного забезпечення SPSS 26 (Statistical Package for the Social Sciences) та R.

Дослідження проводилося в приміщеннях ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М. І. Ситенка НАМН України» в стандартних для медичних закладів умовах із контрольованими параметрами мікроклімату (температура $20\text{--}24^\circ\text{C}$, вологість $40\text{--}60\%$), що відповідає вимогам до проведення клінічних випробувань.

Результати

Після проведення збору даних визначено загальні показники функціонального стану учасників дослідження (табл. 1).

Середній вік становив $(46,0 \pm 18,9)$ років, жінки були значущо ($p < 0,001$) старшими $52,4 \pm 18,4$, ніж чоловіки $(37,7 \pm 15,5)$ роки. Середній ІМТ — $28,2 \pm 7,4$ зі статистично значущим ($p < 0,001$) переважанням у жінок.

Окружність верхньої кінцівки в середньому склала $(31,8 \pm 6,0)$ мм без помітної різниці між статтю ($p = 0,958$). Цей показник нижньої кінцівки був суттєво ($p = 0,039$) більший у жінок $52,8 \pm 9,3$, ніж у чоловіків $(49,6 \pm 7,8)$ мм. У жінок визначено суттєво ($p = 0,001$) більший систолічний тиск $(129,5 \pm 17,7)$ мм рт. ст. ніж у чоловіків $119,3 \pm 17,5$. Різниці в ДАТ і ЧСС не виявлено.

САТ становив $(125,0 \pm 18,3)$ мм рт. ст., ДАТ — $(79,5 \pm 10,9)$ мм рт. ст., ЧСС — $(79,9 \pm 13,2)$ уд./хв.

Показники гемодинаміки артеріального кровотоку пацієнтів до накладання турнікета наведено в табл. 2.

Під час аналізу не було виявлено різниці гемодинамічних показників артеріального

Таблиця 1

Загальні показники учасників дослідження

Показник	Група дослідження	Стать		
		чоловіча (n = 57)	жіноча (n = 73)	різниця (t, p, 95 % CI)
Вік	$46,0 \pm 18,6$ $10,0 \div 75,0$	$37,7 \pm 15,5$ $10,0 \div 67,0$	$52,4 \pm 18,4$ $13,0 \div 75,0$	$t = -4,834$; $p < 0,001$ [-20,7; 8,7]
ІМТ	$28,2 \pm 7,4$ $12,4 \div 46,6$	$25,6 \pm 6,4$ $12,4 \div 45,8$	$30,2 \pm 7,5$ $18,0 \div 46,6$	$t = -3,670$; $p < 0,001$ [-7,0; -2,1]
Величина окружності ВК	$31,8 \pm 6,0$ $15,7 \div 50,0$	$31,7 \pm 6,3$ $15,7 \div 50,0$	$31,8 \pm 5,8$ $22,5 \div 45,0$	$t = -0,053$; $p = 0,958$ [-2,2; 2,0]
Величина окружності НК	$51,4 \pm 8,8$ $28,5 \div 89,0$	$49,6 \pm 7,8$ $28,5 \div 68,0$	$52,8 \pm 9,3$ $38,0 \div 89,0$	$t = -2,090$; $p = 0,039$ [-6,2; -0,2]
САТ	$125,0 \pm 18,3$ $90,0 \div 170,0$	$119,3 \pm 17,5$ $90,0 \div 160,0$	$129,5 \pm 17,7$ $90,0 \div 170,0$	$t = -3,264$; $p = 0,001$ [-16,3; -4,0]
ДАТ	$79,5 \pm 10,9$ $58,0 \div 110,0$	$77,5 \pm 11,5$ $60,0 \div 110,0$	$81,0 \pm 10,3$ $58,0 \div 100,0$	$t = -1,846$; $p = 0,067$ [-7,3; 0,3]
ЧСС	$79,9 \pm 13,2$ $54,0 \div 138,0$	$81,2 \pm 14,1$ $60,0 \div 138,0$	$78,8 \pm 12,4$ $54,0 \div 110,0$	$t = 1,013$; $p = 0,313$ [-2,3; 7,0]

кровотоку в усіх пацієнтів, крім даних *a. tibialis posterior*, де швидкість кровотоку в чоловіків ($50,3 \pm 3,3$) см/с була значущо ($p = 0,045$) вище, ніж у жінок ($48,6 \pm 5,7$) см/с. Хоча зазначимо, інтервал розбіжності значень швидкості кровотоку *a. tibialis posterior* у чоловіків входив у межі інтервалу в жінок, що може свідчити про випадковість статистичної значущості.

Час накладання турнікета після навчання досліджуваних у середньому становив ($26,3 \pm 9,8$) с в інтервалі від 10 до 88 с.

Для забезпечення оклюзії необхідно було виконати ($2,0 \pm 0,3$) оберти для накладання сухого турнікета і $2,3 \pm 0,5$ мокро, що виявилось більше статистично значущо ($t = -7,433$; $p < 0,001$).

Не зафіксовано зв'язку між окружністю кінцівки (руки) і часом накладання турнікета ($r = -0,133$; $p = 0,132$).

Накладання турнікета на руку чи ногу у випрямленому положенні та в разі згинання суглоба під кутом 90° не показало статистично значущих геодинамічних відмінностей залежно від положення кінцівки.

Одним із показників якості джгутів є ступінь больового синдрому викликаного стисненням кінцівки, а також капілярний індекс (табл. 3).

Виявлено доволі значну розбіжність оцінювання больового синдрому під час накладання турнікета — від 3 (слабкий) до 10 балів (нестерпний), у середньому оцінка становила ($6,2 \pm 1,7$) балів, тобто було визначено, як біль середньої інтенсивності. Оцінка комфорту досліджуваних доволі висока — ($4,9 \pm 0,3$) бали. Капілярний тест також був варіабельним — від 3 до 8 с, що могло залежати від стану судинної стінки досліджуваних параметрів крові.

Вивчення надійності та довговічності турнікета за багаторазового застосування показало, що один і той самий джгут, накладений послідовно

на всіх учасників, не втрачав функціональності та надійності фіксації.

Окремо проведений експеримент із мокрим турнікетом — його занурювали у воду, після чого накладали стандартним способом і спостерігали протягом 30 с. Виявлено, що досягнуто всіх фізіологічних показників оклюзії, ефективність використання залишилася на рівні сухого джгута.

У дослідженні брали участь представники різних вікових груп, включно з неповнолітніми (діти віком 10–17 років). Жодної побічної реакції, пов'язаної з використанням турнікета відмічено не було. Це дає підстави вважати його безпечним та ефективним для застосування в педіатричній практиці.

Шкірних уражень після використання турнікета в жодному випадку не спостерігалось.

Для прогнозування тиску під турнікетом на основі індивідуальних параметрів людини побудовано математичну модель. На першому етапі дослідження для побудови прогностичного зразка використовували метричні дані віку та ІМТ для більш точної оцінки.

Визначення ефективності накладання турнікета на верхню кінцівку

Як зазначено, основа ефективності турнікета полягає в забезпеченні необхідного тиску під манжетю. Для виявлення які показники впливають на величину тиску проведено кореляційних аналіз за Пірсоном. Результати наведено в таблиці 4.

Встановлено, що величина окружності верхньої кінцівки та ІМТ є найбільш інформативними змінними. Швидкість кровотоку плечової артерії має слабкий негативний зв'язок, але для його перевірки було вирішено залучити цей показник до регресійної моделі. Тиск манжети тонометра має майже лінійний зв'язок із залежною змінною, тому буде вилучений з подальшого аналізу.

Таблиця 2

Гемодинамічний параметр кровотоку в артеріях верхньої та нижньої кінцівок до накладання турнікета

Показник швидкості кровотоку, см/с	Група дослідження	Стать		
		чоловіча (n = 57)	жіноча (n = 73)	різниця (t, p, 95 % CI)
Плечова артерія	$68,7 \pm 6,5$ $52,5 \div 78,9$	$69,6 \pm 6,0$ $55,3 \div 78,9$	$68,0 \pm 6,7$ $52,5 \div 78,9$	$t = 1,415$; $p = 0,160$ [-0,6; 3,9]
Стегнова артерія	$85,6 \pm 6,2$ $70,5 \div 100,0$	$85,7 \pm 5,9$ $75,3 \div 100,0$	$85,5 \pm 6,5$ $70,5 \div 98,8$	$t = ,218$; $p = 0,828$ [-1,9; 2,4]
<i>a. poplitea</i>	$69,0 \pm 4,6$ $55,0 \div 79,5$	$69,2 \pm 5,0$ $55,0 \div 75,6$	$68,8 \pm 4,4$ $55,7 \div 79,5$	$t = ,519$; $p = 0,605$ [-1,2; 2,1]
<i>a. tibialis posterior</i>	$49,3 \pm 4,8$ $30,0 \div 57,0$	$50,3 \pm 3,3$ $43,0 \div 55,0$	$48,6 \pm 5,7$ $30,0 \div 57,0$	$t = 2,021$; $p = 0,045$ [0,0; 3,4]

Крім означених даних до регресійної моделі було включено показник «Стать».

За даними регресійного аналізу оцінювання якості моделі доведено, що вона пояснює 36 % варіації тиску під манжетю ($R^2 = 0,360$), що є помірним рівнем для клінічних досліджень. Модель статистично значуща $F = 8,494$, $p < 0,001$. Предиктори подано в табл. 5.

Побудована регресійна модель виявила статистично значущий вплив статі, величини окружності верхньої кінцівки та ІМТ на рівень тиску під турнікетом. Найбільш виражений ефект спостерігався за окружності верхньої кінцівки ($\beta = 0,304$; $p = 0,009$) та статі ($\beta = -0,223$; $p = 0,013$).

Таблиця 3

Оцінювання комфортності та безпеки турнікета

Показник	Значення
ВАШ, бал	$6,2 \pm 1,7$ $3 \div 10$
Капілярний тест, с	$4,9 \pm 1,0$ $3 \div 8$
Оцінка комфорту, бал	$4,9 \pm 0,3$ $4 \div 5$

Спрощену модель можна отримати, вилучивши незначущі предиктори (табл. 6).

У спрощеній регресійній моделі, побудованій для прогнозування тиску під турнікетом, статистично значущими предикторами виступили стать ($\beta = -0,196$; $p = 0,018$), величина окружності верхньої кінцівки ($\beta = 0,295$; $p = 0,009$) та ІМТ ($\beta = 0,303$; $p = 0,012$). Частота серцевих скорочень продемонструвала тенденцію до впливу ($p = 0,072$), проте не досягла рівня статистичної значущості. Модель є статистично значущою ($F = 16,705$; $p = 0,001$) та пояснює 34,8 % варіації рівня тиску під турнікетом, що підтверджує її придатність для практичного застосування з метою індивідуалізованого контролю компресійного навантаження.

Рівняння прогнозу має вигляд:

$$\text{Тиск} = 34,05 - 0,910 \cdot \text{Стать} + 0,114 \cdot \text{величина окружності}_{\text{ВК}} + 0,095 \cdot \text{ІМТ} + 0,024 \cdot \text{ЧСС. (1)}$$

Результат роботи прогностичного рівняння подано графічно (рис. 1).

На графіку співвідношення прогнозованих і реальних значень тиску під турнікетом

Таблиця 4

Результат кореляційного аналізу зв'язку тиску під манжетю турнікета з іншими параметрами пацієнта

Параметр	r	p-value	Інтерпретація
Вік	0,248	0,004	Помірна позитивна кореляція, значуща
Величина окружності ВК	0,518	0,001	Сильна позитивна кореляція, дуже значуща
ІМТ	0,476	0,001	Середня позитивна, суттєва
САТ	0,323	0,000	Помірна позитивна
ДАТ	0,280	0,001	Помірна позитивна
ЧСС	0,214	0,015	Слабка, але значуща
Швидкість кровотоку плечової артерії	-0,212	0,016	Слабка негативна
Тиск манжети тонометра	0,941	0,001	Дуже сильна кореляція (лінійна, пов'язана)

Таблиця 5

Значущість та оцінювання предикторів регресійної моделі

Елементи регресійної моделі	B	β	t	p-value	Інтерпретація
(Constant)	33,449	—	—	—	—
Стать	-1,034	-0,223	-2,527	0,013	Жінки мали нижчий тиск, на ≈ 1 мм рт. ст.
Вік	0,001	0,012	0,100	0,920	—
Величина окружності ВК	0,118	0,304	2,648	0,009	Зі збільшенням величини окружності верхньої кінцівки зростає необхідний тиск турнікета
ІМТ	0,081	0,258	1,970	0,051	Близький до значущості
САТ	0,033	0,258	1,420	0,158	—
ДАТ	-0,044	-0,207	-1,236	0,219	—
ЧСС	0,024	0,135	1,766	0,080	Близький до значущості
Швидкість кровотоку плечової артерії	0,006	0,017	0,196	0,845	—

Таблиця 6

Елементи спрощеної регресійної моделі

Предиктор	B	β	t	p-value	Інтерпретація
Constant	34,050	—	22,002	0,000	—
Стать	-0,910	-0,196	-2,397	0,018	У жінок тиск у середньому нижчий на ~0,9 мм рт. ст.
Величина окружності ВК	0,114	0,295	2,637	0,009	Збільшення обхвату на 1 см → тиск +0,11 мм рт. ст.
ІМТ	0,095	0,303	2,536	0,012	Вищий ІМТ → більший тиск (на ~0,1 мм на 1 кг/м²)
ЧСС	0,024	0,136	1,815	0,072	На межі значущості, може впливати

Таблиця 7

Результат кореляції предикторів на тиск турнікета, накладеного на нижню кінцівку

Предиктор	r	p-value	Інтерпретація
Стать	-0,022	0,801	—
Вік	0,549	0,001	Середня позитивна кореляція, зростає з віком
Величина окружності НК	0,517	0,001	Середня позитивна кореляція з окружністю нижньої кінцівки
ІМТ	0,500	0,001	Помірна позитивна кореляція з ІМТ
САТ	0,416	0,001	Помірна позитивна кореляція зі САТ
ДАТ	0,453	0,001	Помірна позитивна кореляція з ДАТ
ЧСС	0,106	0,232	Слабка кореляція з ЧСС
Швидкість кровотоку артерій: – стегнової; – підколінної – задньої великогомілкової	0,155 0,060 0,119	0,079 0,496 0,178	Дуже слабка кореляція зі швидкістю кровотоку артерій
Тиск НК	0,990	—	Лінійна залежність, явна наявність кореляції

(рис. 1, а) точки згруповані вздовж діагоналі, що вказує на високу узгодженість моделі з емпіричними даними. Відхилення від ідеальної лінії ($y = x$) є незначними, без систематичного зміщення, що підтверджує високу якість передбачення. Візуальна оцінка графіка залишків (рис. 1, б) не виявила структурних закономірностей. Розбіжність залишків навколо нуля є випадковою, що підтверджує коректність специфікації моделі та відсутність серйозних відхилень від припущення нормальності похибок.

ІМТ продемонстрував високу позитивну кореляцію з величиною окружності верхньої кінцівки ($r = 0,721$; $p < 0,001$), що вказує на тісний зв'язок між загальною масо-ростовою характеристикою та локальним анатомічним параметром. Через це величина окружності руки може розглядатися як практичний орієнтир для визначення індивідуального достатнього рівня компресійного тиску.

Оцінювання ефективності накладання турнікета на нижню кінцівку

Як контроль тиску використовували наявність кровотоку на стегновій, підколінній та задній великогомілковій артеріях. Предиктори впливу наведено в табл. 7.

За результатами парного кореляційного аналізу встановлено, що тиск під турнікетом на нижній кінцівці достовірно корелює з віком ($r = 0,549$; $p < 0,001$), окружністю нижньої кінцівки ($r = 0,517$; $p < 0,001$), ІМТ ($r = 0,500$; $p < 0,001$), САТ ($r = 0,416$; $p < 0,001$) та ДАТ ($r = 0,453$; $p < 0,001$). Найвищий рівень кореляції зафіксовано з тиском у тонометрі ($r = 0,990$), що свідчить про майже повний збіг результатів тонометрії з показниками, зареєстрованими під манжетою.

Інші предиктори, зокрема стать, частота серцевих скорочень і швидкість кровотоку в магістральних судинах (*poplitea, tibialis posterior*), не продемонстрували статистично значущого зв'язку з компресійним тиском. Повна регресійна модель, яка враховує всі значущі предиктори, наведена в табл. 8.

Моделі статистично значуща ($F = 19,463$; $p < 0,001$) і пояснює 44,0 % варіації тиску, вимірюваного датчиком на нижній кінцівці ($R^2 = 0,440$). Стандартизовані коефіцієнти показують, що найбільший вплив на модель мають вік ($\beta = 0,398$), величина окружності нижньої кінцівки ($\beta = 0,343$) та ДАТ ($\beta = 0,314$).

Таблиця 8

Повна регресійна модель

Предиктор	B	β	t	p-value	Інтерпретація
(Constant)	33,395		17,892	0,001	—
Вік	0,062	0,398	3,948	0,001	Зі збільшенням віку, зростає величина ефективного тиску
Величина окружності НК	0,114	0,343	3,769	0,000	Більша довжина окружності НК асоціюється з підвищенням показника
IMT	0,020	0,052	0,470	0,639	Не значущі показники
CAT	-0,047	-0,298	-1,834	0,069	
ДАТ	0,083	0,314	2,107	0,037	Вища величина ДАТ також пов'язана з підвищенням результату

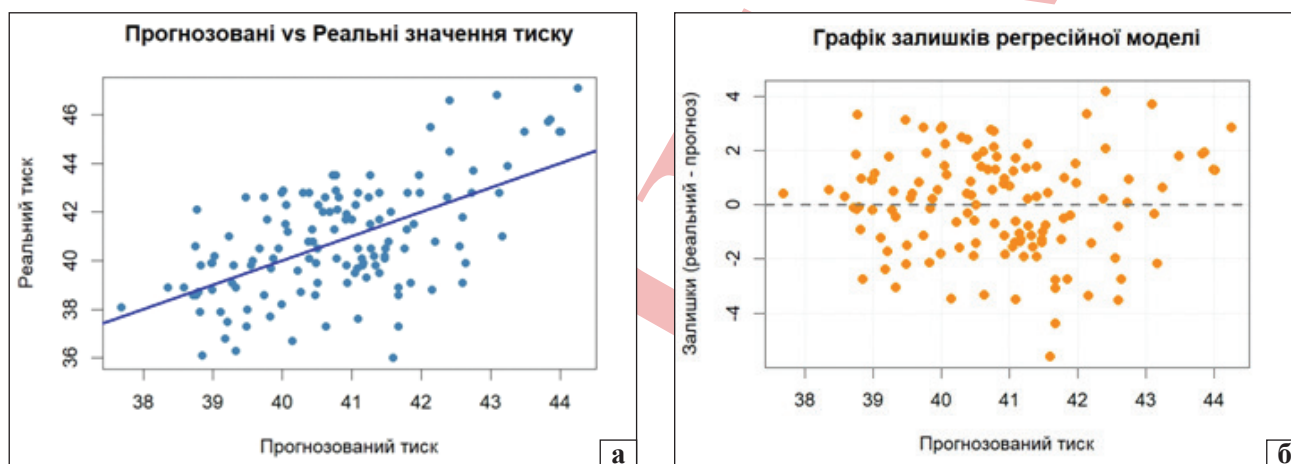


Рис. 1. Графічне подання роботи результатів регресійного рівняння: а) розподіл реального тиску під манжетою відносно лінії прогнозу; б) оцінювання залишків регресійного рівняння

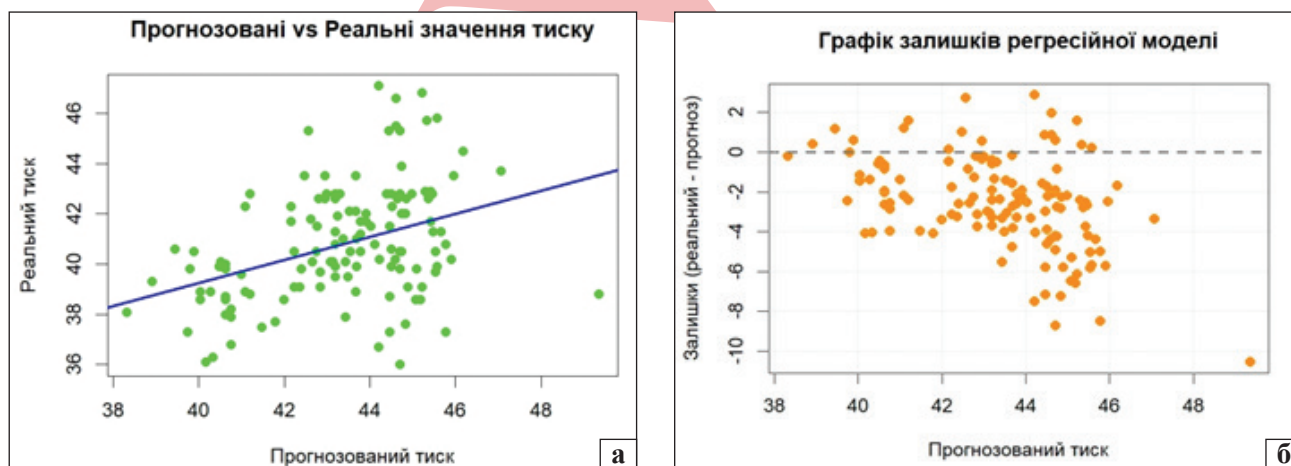


Рис. 2. Графічне подання роботи результатів регресійного рівняння: а) розподіл реального тиску під манжетою відносно лінії прогнозу; б) оцінювання залишків регресійного рівняння

З огляду на високий рівень кореляції між віком і артеріальним тиском ($r \approx 0,7$), було вирішено, що доцільним є використання порядкового вікового індексу як інтегрального предиктора, що враховує вікові зміни судинної реактивності. У спрощеній регресійній моделі, яка включала лише віковий код і окружність нижньої кінцівки,

коефіцієнт детермінації становив $R^2 = 0,44$, що підтверджує достатню прогностичну здатність для практичного застосування. Для спрощення моделі було введено кодування віку за таким принципом:

1) 10–18; 2) 19–35; 3) 36–60; 4) 61+.

Наводимо таблицю предикторів спрощеної прогностичної моделі (табл. 9).

Отже, регресійне рівняння для рівня тиску на нижню кінцівку має вигляд

$$\text{Тиск} = 33.626 + 0.119 \cdot \text{величина окружності нижньої кінцівки} + 1.278 \cdot \text{КодВіку.} \quad (2)$$

Графічне подання результатів регресійного рівняння показано на рис. 2.

На графіку співвідношення прогнозованих і реальних значень тиску під турнікетом (рис. 2, а) точки згруповані вздовж діагоналі, що вказує на високу узгодженість моделі з емпіричними даними. Відхилення від ідеальної лінії ($y = x$) є незначними, без систематичного зміщення, що підтверджує високу якість передбачення. Графік залишків (рис. 2, б) показав загалом рівномірний розподіл навколо осі нуля, проте з переважанням від'ємних залишкових значень. Така асиметрія свідчить про тенденцію моделі дещо переоцінювати прогнозовані значення в більшості випадків. Незважаючи на це, явних ознак нелінійності чи гетероскедастичності не виявлено.

Одним із показників якості турнікетів, як ми вказували вище, є ступінь больового синдрому викликаного стисненням кінцівки, а також капілярний індекс. Тому для оцінки даних було проведено кореляційний аналіз між рівнем болю за ВАШ, капілярним тестом і тиском під манжетою турнікета та довжиною окружності кінцівки (табл. 10).

Отримані результати кореляційного аналізу свідчать про наявність статистично значущого, але помірного негативного зв'язку між тиском під

манжетою та суб'єктивною оцінкою болю за шкалою ВАШ, як на верхній ($r = -0,297$; $p = 0,001$), так і на нижній кінцівці ($r = -0,335$; $p < 0,001$). Отже зазначимо, що зі зростанням компресійного тиску збільшується інтенсивність больового відчуття.

Подібна тенденція спостерігалася також щодо окружності верхньої кінцівки: особи з меншою величиною окружності мали вищий рівень дискомфорту ($r = -0,287$; $p = 0,001$), що підтверджує доцільність індивідуалізації компресії залежно від антропометричних особливостей.

Щодо капілярної реакції: значущий позитивний зв'язок виявлено лише з тиском під турнікетом на нижній кінцівці ($r = 0,234$; $p = 0,007$), що може вказувати на погіршення мікроциркуляції за підвищеної компресії. Водночас для інших змінних достовірного зв'язку з капілярною реакцією не встановлено.

Обговорення

Відповідно до аналізу бойових летальних випадків, раннє застосування турнікетів критично важливе для виживаності в разі тяжких травм кінцівок. За комплексним аналізом 4 596 бойових летальних випадків за 2001–2011 р., проведеним В. J. Eastridge та співавт., серед потенційно виживаних смертей, домінувала геморагія (90,9 %); летальна кровотеча локалізувалася переважно в ділянці тулуба (67,3 %), далі — у з'єднувальних ділянках (19,2 %) та кінцівках (13,5 %) [4]. На рівні системи використання турнікетів, передгоспітальна трансфузія та скорочення часу транспорту асоціювалися з 44,2 % від загальної частки смертей, яким запобігли, у період 2001–2017 р. [5].

Таблиця 9

Спрощена регресійна модель прогнозу тиску під манжетою турнікета на нижній кінцівці

	B	β	t	p-value
(Constant)	33,626	—	29,008	0,001
Величина окружності НК	0,119	0,359	5,062	0,001
Вік код	1,278	0,444	6,259	0,001

Таблиця 10

Результат кореляційного аналізу зв'язку рівня болю за ВАШ, капілярним тестом з довжина окружності кінцівки та тиском під манжетою турнікета

Предиктор	ВАШ		Капілярний тест	
	r	p-value	r	p-value
Тиск під манжетою турнікета на ВК	-0,297	0,001	0,051	0,563
Величина окружності ВК	-0,287	0,001	0,234	0,007
Тиск під манжетою турнікету на НК	-0,335	0,000	0,234	0,007
Величина окружності НК	-0,021	0,813	0,115	0,194

Комітет із тактичної допомоги бойовим пораненим (CoTCCC) рекомендує турнікети як ефективний засіб для контролю кровотечі з кінцівок у межах протоколів тактичної медицини [6].

Проте слід зазначити, що ненадійне накладання або неправильна заміна турнікета в бойових умовах може призвести до повторної кровотечі, що є потенційно смертельним без належного контролю та навчання персоналу [7].

Також важливо зазначити, що це дослідження охопило осіб віком від 10 до 75 років, включаючи підлітків (10–17), що дає підстави говорити про ефективність виробу в педіатричній практиці. Сучасні принципи застосування турнікетів підкреслюють важливість їхнього тестування в різних популяціях, включаючи педіатричних пацієнтів. Дослідження показують ефективність турнікетів у широкому віковому діапазоні, що потребує врахування анатомічних особливостей для розробки й оцінки нових моделей турнікетів. У педіатрії позиційна заява Pediatric Trauma Society підтримує застосування турнікетів за життєвими показами; метааналіз цивільних даних показує зниження смертності ($OR \approx 0,48$) без підвищення ризику ампутацій чи компартмент-синдрому. [8].

Проведене додаткове дослідження, у якому один і той самий джгут для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» накладався 130 особам поспіль, продемонструвало високу зносостійкість конструкції без втрати ефективності або механічного ушкодження, що підтверджує придатність виробу для масового застосування в бойових умовах або надзвичайних ситуаціях.

Згідно з даними когортних досліджень [9], а також систематичного огляду та метааналізу, користь турнікетів перевищує можливі ризики: хоча зафіксовано окремі випадки ушкодження нервів чи ішемії тканин, частота серйозних негативних наслідків є низькою, особливо як порівняти з урятованими життями. Зокрема, метааналіз застосування турнікетів у цивільних пацієнтів із травматичними ураженнями судин кінцівок довів, що його накладання на догоспітальному етапі майже вдвічі знижує ризик смерті від травматичної кровотечі ($OR = 0,48$; 95 % ДІ 0,27–0,86), водночас не підвищує ризику ампутації кінцівок ($OR = 0,85$; 95 % ДІ 0,43–1,68) або розвитку компартмент-синдрому ($OR = 0,94$; 95 % ДІ 0,37–2,35) [10]. При цьому слід зазначити, що згідно з оцінкою за методологією GRADE, якість доказів була оцінена як «дуже низька» через методологічні обмеження включених досліджень.

Висновки

Встановлено, що больовий синдром під час накладання турнікета — середньої інтенсивності. Оцінка комфорту досліджуваних доволі висока. Капілярний тест також мав високу варіабельність, що ймовірно залежало від стану судинної стінки досліджуваних, параметрів крові. Оцінка суб'єктивної та фізіологічної реакції на компресію виявила статистично значущі, але слабкі кореляції з рівнем тиску. Це, ймовірно, відображає індивідуальні варіації больової чутливості та стану периферичного кровообігу, які не можуть бути однозначно передбачені лише на основі компресійних параметрів.

Не виявлено різниці показників артеріального кровотоку в пацієнтів будь-якої статі, окрім показників *a. tibialis posterior*. Час накладання турнікета після навчання досліджуваних у середньому становив ($26,3 \pm 9,8$) с у інтервалі від 10 до 88 с. Для забезпечення оклюзії необхідно було виконати ($2,0 \pm 0,3$) оберти для накладання сухого джгута і $2,3 \pm 0,5$ мокрого. Не зафіксовано зв'язку між обхватом кінцівки і часом накладання турнікета.

Накладання турнікета на руку у випрямленому положенні та зігнуту в ліктьовому суглобі, а також на випрямлену чи зігнуту в колінному суглобі ногу, не показало статистично значущих геодинамічних відмінностей залежно від положення кінцівки. Експеримент із мокрим джгутом показав досягнення усіх фізіологічних показників оклюзії.

З огляду на проведені дослідження є підстави вважати турнікет «СІЧ» безпечним та ефективним для застосування в педіатричній практиці.

Зважаючи на обмежені можливості оперативного вимірювання параметрів у польових умовах, побудовано спрощені, але достатньо інформативні регресійні моделі, які враховують мінімум початкових даних. Водночас, із урахуванням специфіки військового контингенту, де переважає вік 35–60 років, цей фактор може бути розглянутий як умовно стабільний.

Отримані протягом дослідження дані свідчать, що джгут для зупинки кровотечі «СІЧ-Турнікет» повністю відповідає своєму призначенню, а саме для повної тимчасової зупинки кровотечі з магистральних судин кінцівок.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Перспективи подальших досліджень. Проведення досліджень дозволять удосконалити конструкцію турнікета, підвищити рівень надання медичної допомоги.

Інформація про фінансування. Автори заявляють, що ця стаття була фінансово підтримана ТОВ «СІЧ-УКРАЇНА». Компанія не мала впливу на дизайн дослідження, аналіз даних та інтерпретацію результатів. Автори гарантують, що результати подані об'єктивно.

Внесок авторів. Федотова І. Ф. — обґрунтувала цільність дослідження, розробила його методику; Карпінська О. Д. — аналіз отриманих даних, розробка результатів; Лизогуб М. В. — розробка концепції дослідження; Тяжелов О. А. — концепція і дизайн, аналіз отриманих даних; Корж І. В. — участь у зборі даних; Казлов О. П. — виконав математичні розрахунки. Усі автори схвалили остаточний рукопис.

Список літератури

- Office of the Federal Register. (2025). Code of federal regulations (CFR) — TITLE 21 — Food and drugs. Washington (DC): U.S. Government Publishing Office
- Strauss, R., Menchetti, I., Perrier, L., Blondal, E., Peng, H., Sullivan-Kwantes, W., Tien, H., Nathens, A., Beckett, A., Callum, J., & Da Luz, L. T. (2021). Evaluating the tactical combat casualty care principles in civilian and military settings: Systematic review, knowledge gap analysis and recommendations for future research. *Trauma surgery & acute care open*, 6(1), e000773. <https://doi.org/10.1136/tsaco-2021-000773>
- Bellamy, R. F. (1984). The causes of death in conventional land warfare: Implications for combat casualty care research. *Military medicine*, 149(2), 55-62. <https://doi.org/10.1093/milmed/149.2.55>
- Eastridge, B. J., Mabry, R. L., Seguin, P., Cantrell, J., Tops, T., Uribe, P., Mallett, O., Zubko, T., Oetjen-Gerdes, L., Rasmussen, T. E., Butler, F. K., Kotwal, R. S., Holcomb, J. B., Wade, C., Champion, H., Lawnick, M., Moores, L., & Blackbourne, L. H. (2012). Death on the battlefield (2001–2011). *Journal of trauma and acute care surgery*, 73(6), S431–S437. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e3182755dce>
- Howard, J. T., Kotwal, R. S., Stern, C. A., Janak, J. C., Mazuchowski, E. L., Butler, F. K., Stockinger, Z. T., Holcomb, B. R., Bono, R. C., & Smith, D. J. (2019). Use of combat casualty care data to assess the US military trauma system during the Afghanistan and Iraq conflicts, 2001–2017. *JAMA surgery*, 154(7), 600. <https://doi.org/10.1001/jamasurg.2019.0151>
- Butler, F. K., Holcomb, J. B., ..., & Shackelford, S. (2018). Advanced resuscitative care in tactical combat casualty care. *Journal of special operations medicine*, 18(4), 37–55. <https://doi.org/10.1001/10.55460/YJB8-ZC0Y>
- Kragh, J. F., Walters, T. J., Baer, D. G., Fox, C. J., Wade, C. E., Salinas, J., & Holcomb, J. B. (2008). Practical use of emergency tourniquets to stop bleeding in major limb trauma. *Journal of trauma: injury, infection & critical care*, 64(2), S38–S50. <https://doi.org/10.1097/ta.0b013e31816086b1>
- Cunningham, A., Auerbach, M., Cicero, M., & Jafri, M. (2018). Tourniquet usage in prehospital care and resuscitation of pediatric trauma patients — pediatric trauma society position statement. *Journal of trauma and acute care surgery*, 85(4), 665–667. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000001839>
- Inaba, K., Siboni, S., Resnick, S., Zhu, J., Wong, M. D., Haltmeier, T., Benjamin, E., & Demetriades, D. (2015). Tourniquet use for civilian extremity trauma. *Journal of trauma and acute care surgery*, 79(2), 232–237. <https://doi.org/10.1097/ta.0000000000000747>
- Ko, Y., Tsai, T., Wu, C., Lin, K., Hsieh, M., Lu, T., Matsuyama, T., Chiang, W., & Ma, M. H. (2024). Effectiveness and safety of tourniquet utilization for civilian vascular extremity trauma in the pre-hospital settings: A systematic review and meta-analysis. *World journal of emergency surgery*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s13017-024-00536-9>

Стаття надійшла до редакції 30.06.2025	Отримано після рецензування 20.07.2025	Прийнято до друку 20.08.2025
---	---	---------------------------------

RESEARCH INTO THE EFFECTIVENESS OF USING A TOURNIQUET TO STOP BLEEDING "SICH-TOURNIQUET"

I. F. Fedotova ¹, O. D. Karpinska ¹, M. V. Lyzohub ¹, O. A. Tyazhelov ¹, I. V. Korzh ¹, O. P. Kozlov ²

¹ Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kharkiv

² V. N. Karazin Kharkiv National University. Ukraine

✉ Inga Fedotova, MD, DMSci: ibolokadze@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-2069-7020>

✉ Olena Karpinska: helen.karpinska@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-1482-7733>

✉ Mykola Lyzohub, MD, DMSci: nlizogub@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-4776-1635>

✉ Oleksiy Tyazhelov, MD, DMSci, Prof.: alzhaz3001@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-0534-0528>

✉ Iryna Korzh, MD, PhD: irynakorzh36@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0000-1028-6768>

✉ Oleksandr Kozlov, PhD, Associated Professor: kozlov@karazin.ua; <https://orcid.org/0000-0003-1034-0909>