



УДК 616.133/.134+616.137.83/.93-044.6-06:617.58-005.4-089-059

**DEVELOPMENT, TESTING AND IMPLEMENTATION OF AN
INNOVATIVE DEVICE FOR DETECTION OF SHREDDERS IN A GUN
WOUND**

**РОЗРОБКА, АПРОБАЦІЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО ПРИЛАДУ ПО
ВИЯВЛЕННЮ УЛАМКІВ У ВОГНЕПАЛЬНІЙ РАНІ**

Cherniak V.A. / Черняк В.А.

d.med.s., prof. / д.мед.н., проф.

ORCID: 0009-0005-5280-542X

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Volodymyrska, 60, 01601

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

Київ, Володимирська 60, 01601

Salenko O.F. / Саленко О.Ф.

d.t.n., prof. / д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-5685-6225

National Technical University of Ukraine

"Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

of the Ministry of Education and Science of Ukraine,

37 Beresteysky prospect, Kyiv, 03056

НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»,

Міністерства освіти і науки України,

Берестейський проспект, 37, Київ, 03056

Orel V.M./Орел В.М.

s.t.s. / к.т.н.

ORCID: 0000-0002-8775-3253

Kremenchug Flight College

of the Kharkiv National University of Internal Affairs,

Ministry of Internal Affairs of Ukraine,

Kremenchuk, Victory Street, 17/6, 39600

Кременчуцький льотний коледж

Харківського національного університету внутрішніх справ,

Міністерства внутрішніх справ України.

Кременчук, вулиця Перемоги, 17/6, 39600

Karpenko K.K./ Карпенко К.К.

PhD in medicine/ доктор філософії з медицини

ORCID: 0000-0002-9737-4484

National Military Medical Clinical Hospital,

Kyiv, 16 Hospitalna St., 01133

Національний військово-медичний клінічний центр

"Головний військовий клінічний госпіталь"

Київ, вул. Госпітальна, 16, 01133

Pryiemska V.O./Приємська В.О.

Taras Shevchenko National University of Kyiv,

Volodymyrska, 60, 01601

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Київ, Володимирська 60, 01601



Анотація. Існуючі методи діагностики сторонніх тіл (СТ) у вогнепальній рані базуються на відмінностях певних фізичних властивостей тканин біологічних об'єктів від неорганічних уламків і речовин, які проявляються у магнітній та діелектричній проникненості порівнюваних зразків, рівня екранування проникаючого випромінювання (зокрема, рентгенівського), поглинальній здатності акустичних хвиль та їх відбиття та ін. Зазвичай такі методи потребують складного та дорогоартісного устаткування і обладнання, наявності відповідних алгоритмічних та програмних засобів та не завжди дозволяють виявляти уламки, особливо в умовах прифронтового госпіталя. Тому головна ідея роботи – використання ефекту шумової емісії як явища механічного контакту пружного елемента зонду з уламком у вогнепальній рані, що здійснюється через рановий канал, для визначення наявності, розмірів та положення уламка у тілі пацієнта. Для цього, вперше запропоновано спосіб і пристрій для діагностування та параметричного визначення уламку у пораненого бійця. Це стало можливим здійснювати процес пошуку СТ на основі шумової емісії механічного контакту спеціальним пристроєм із засобами фіксації шуму та його спектрального аналізу. Попередніми нашими дослідженнями було показано, що така емісія з великою долею ймовірності характеризує як тип осколку, так і стан його поверхні. В результаті були визначені основні параметри контролю шумової емісії та показано, що амплітуда окремих частот спектру коливань має максимальну інформативність щодо досліджуваного тіла (уламку). Структурний та параметричний синтез зазначеного засобу дозволив запропонувати таку конструкцію приладу, зонд якої додатково може використовуватися як дренажна магістраль для введення у рану антисептичного або знеболювального розчину. Встановлення додаткового генератора коливань дозволило фіксувати та аналізувати дані діагностичного дослідження у глибоких каналах, а інтеграція засобів фіксації сигналу в спеціальний інформативний простір - залучити засоби штучного інтелекту для підвищення точності діагностики, а також візуалізації форми уламку протягом оперативного втручання.

Ключові слова: уламки, рана, виявлення, звукові методи.

Вступ.

Розроблено конструкторську документацію, що відображає потребу в деталях сенсору заявленого приладу, а також макетну плату і радіокомпоненти для електронної частини приладу. При цьому взято до уваги, що з урахуванням змінних чинників та невизначеності стану середовища, конструкцією сенсору передбачено використання приладу без механічного збудження та зі збудженням; завдяки використанню призматичного елемента в позамембранній порожнині виникає можливість зміни основних осей збудження механічних коливань. Це дозволило більш точно детермінувати тип стороннього тіла у рані. окрім того, така конструкція дозволяє істотно спростити планування багатofакторного експерименту, перейшовши від повного до дробного факторного із половинною реплікою. Опрацьовано раціональну схему приладу із оригінальним сенсором для виявлення осколів у рановому каналі пацієнта, визначено основні вимоги до приладу. Зроблена декомпозиція елементів



приладу з урахуванням стерильності окремих його частин (зокрема, пружного гнучкого зонду та квазіпружної захисної оболонки). запропонована система швидкої фіксації окремих складових приладу. опрацьовано розмірні ланцюжки сполучених між собою деталей і частин приладу, на основі функціонального аналізу визначено основні матеріальні носії функцій. Проведені дослідження дозволили перейти до проектної пропозиції ескізу приладу, а також до створення твердотільних моделей для виготовлення його демонстратора і подальших експериментальних досліджень. На основі отриманих моделей компонентів приладу, а також із використанням відповідних електронних і механічних компонентів здійснене прототипування та складений макет приладу. Проведення доклінічних випробувань приладу дозволило виконати планування багатофакторного експерименту, визначено контрольовані змінні фактори, встановлено контрольований параметр досліджень та виконано удосконалення приладу. За результатами опрацювання шумових сигналів створено базу даних для ефективного визначення розмірів, типу та положення осколків у тілі пацієнта. На завершальному етапі досягнуто створення ефективних частотних фільтрів та розроблені рекомендації щодо застосування приладу.

Основний текст.

Попередньо були визначені теоретичні передумови створення інноваційного приладу для виявлення сторонніх тіл (осколків) у вогнепальній (або травмованій) рані. Було доведено, що пошуковий ехосигнал при контакті і стороннім тілом у реологічному середовищі у вигляді тимчасової функції можна представити як зворотне перетворення Фур'є від добутку двох незалежних величин. На основі цього було створено перший робочий варіант інноваційного пристрою, який було апробовано в експерименті після імітаційних вогнепальних поранень в лабораторії на ранових імітаторах штучного походження з інеродними тілами з тканин амуніції, елементів бронепластин, металу, скла, пластику і деревини (Рис. 1).

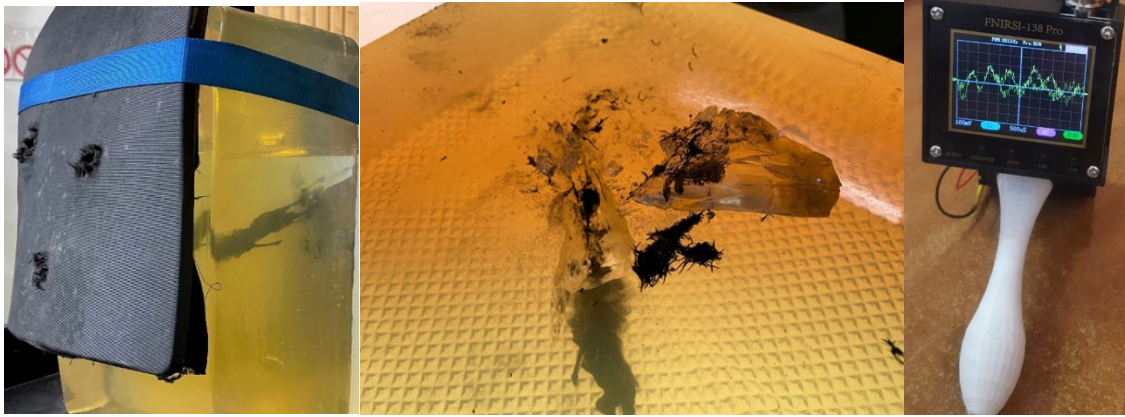


Рисунок 1 – Вигляд імітаційних вогнепальних поранень в лабораторії на ранових імітаторах та інноваційного пристрою першого покоління

Результати експериментів показали переваги і недоліки розробленого пристрою, що дало змогу створити пристрій другого покоління, придатний для експериментальних досліджень на біоімітаторах тваринного походження. Цей пристрій був апробований на моделях вогнепальної рани у м'язовій тканині, судинах, органах голови та шиї, грудної та черевної порожнин і результати були кращими ніж використання ультразвуку і рентгену стосовно металу, скла, деревини, пластику і кераміки (Рис. 2).

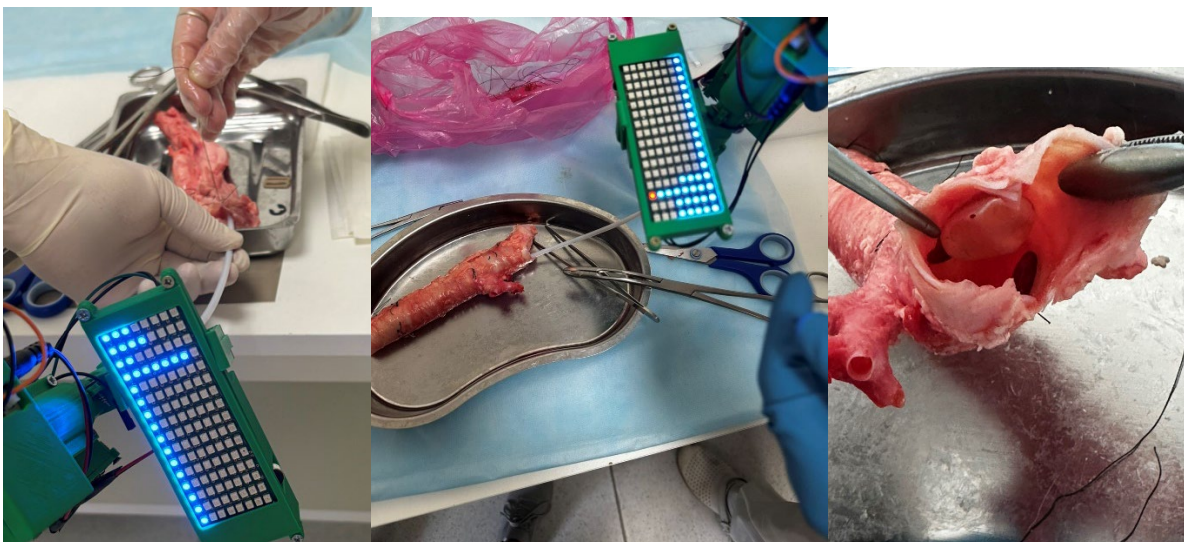


Рис. 2. Апробація інноваційного пристрою на моделях-біоімітаторах вогнепальної рани тваринного походження.



Виконання кластерного аналізу довело, що картини отриманих сигналів мають функціональну відмінність, що визначається чинниками: типу стороннього тіла; його розмірами; глибиною проникнення у тканини; станом поверхні та ін. це обумовило пошук прийомів врахування зазначених відмінностей, які могли б бути покладені в основу ідентифікації стороннього тіла. Для пошуку кластерів було детерміновано такі параметри шумової емісії:

- 1) Масив усереднених значень амплітуд A_j' на фіксованих частотах f_k ;
- 2) Відповідні амплітуди A_1' ; A_{max}' ; A_n' ;
- 3) Кількість M амплітуд, для яких виконується умова обмежень за середнім. Тут – критерій відмінності корисного сигналу від шумових спотворень;
- 4) Ідентифікаційна відмінність, або параметр R .

Введення даного параметру дозволило за його рівнем детермінувати тип осколка, оскільки він визначає сукупність усіх відмінностей за фіксованою максимальною амплітудою інших гармонік, або іншими словами, однозначно характеризує спектральну картину. З цією метою було частково змінено конструкцію чутливого пристрою, і принципово перероблено блок спектроаналізатора та захоплення сигналу. Додатково було запропоновано алгоритм та його програмну реалізацію для узагальнення статистичних вибірок, у тому числі, із використанням штучного інтелекту та машинних засобів навчання. На наступному етапі пристрій було апробовано в клінічних умовах і результати також були кращими ніж використання ультразвуку і рентгену стосовно скла, деревини, пластику і кераміки. Дешифратор пристрою якісно ідентифікував тип, місцезнаходження і розміри уламків (Рис. 3).

Оскільки точність детермінації визначається розмірами стороннього тіла (певною “роздільною здатністю” приладу, передбачено також введення ланцюжка оцінки точності детермінації за ймовірнісною шкалою, про що було зазначено в останніх публікаціях авторського колективу [1-12]. Таким чином, було побудовано 3 прототипи приладу, які дозволяють досягти поставлених цілей та мети. У зв'язку з тим, що порушення гомеостазу в організмі часто

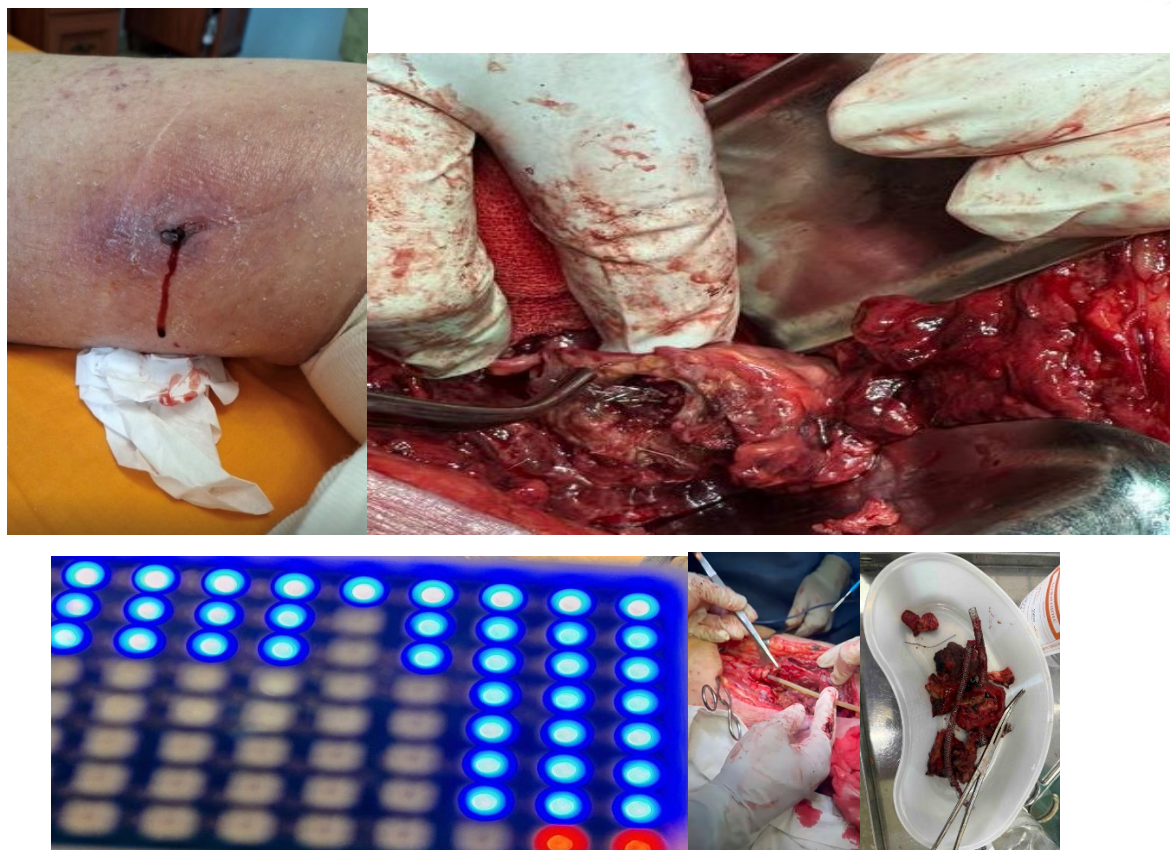


Рисунок 3 – Апробація інноваційного пристрою в клінічних умовах вогнепальної рани

спостерігається під час травми важливим аспектом менеджменту є тимчасовий надійний гемостаз та введення внутрішньовенних розчинів як компоненту рідинної ресусцитації. Варіантами вирішення цієї проблеми є впровадження у щоденну практику тимчасову зупинку артеріальної кровотечі з використанням джгута-турнікету BFT-01 та концепції рідинної ресусцитації ROSE, яка складається з чотирьох етапів: ресусцитація (R), оптимізація (O), стабілізація (S), евакуація (E) та ілюструє динамічний підхід до інфузійної терапії, який спрямований на максимізацію користі та мінімізацію можливої шкоди: R – ресусцитація – триває хвилини. Включення багатофункціонального гіперосмолярного розчину Реосорбілакт у схему інфузійної терапії за нашими спостереженнями сприяє досягненню цілей інфузійної терапії на етапі O, S, E та запобіганню ризиків перевантаження рідиною. Однією з найважливіших складових успішного лікування поранених також є повний контроль над болем різної інтенсивності, наприклад: слабкий біль (ВАШ 10 - 40 мм): Інфулган,



Кейдекс. Біль середньої інтенсивності (ВАШ 40 - 70 мм): Інфулган, Кейдекс, Ропілонг: зі швидкістю 6-16 мл/год через епідуральний катетер. Сильний біль (ВАШ 70 - 100 мм): Інфулган, Кейдекс, Ропілонг: зі швидкістю 6-16 мл/год через епідуральний катетер, Налбуфін. Також рекомендовано застосовувати Юмерокс® Інгал – індивідуальний пристрій, що призначений для інгаляційного введення Метоксифлурану.

Результати досліджень і їх обговорення.

Попри очевидні переваги УЗД-апаратів, у польових умовах, особливо при первинній хірургічній обробці вогнепальних ран уражених уламками пацієнтів запропонований нами пристрій мав беззаперечні переваги, оскільки не вимагав високої кваліфікації персоналу, та є простим та енергоощадним у використанні. Тому для виявлення уламків рекомендуємо використовувати ефект шумової емісії. Наш пристрій складається з 2 частин: 1) змінна деталь, що вводиться в місце поранення; 2) багаторазова частина з мікрофоном для фіксації шуму і відповідним програмним забезпеченням для його обробки. Це дозволяє використовувати пристрій для знаходження уламка в 3-Д проекції, що значно полегшує операцію. Основними перевагами інноваційного пристрою на основі технології шумової емісії є:

1. Висока чутливість до наявності рентгеннеконтрастних уламків, що можуть бути не виявлені іншими діагностичними методами, такими як рентгенографія або комп'ютерна томографія.

2. Відсутність використання іонізуючого випромінювання, що робить метод більш безпечним для пацієнтів, особливо при необхідності повторних обстежень.

3. Швидкість і точність діагностики, оскільки метод дозволяє виявляти уламки в реальному часі без необхідності проведення складних та витратних процедур.

4. Можливість виявлення мікроскопічних уламків, які можуть бути пропущені за допомогою традиційних методів.

Отримано вперше: обґрунтовано можливість використання шумової емісії,



генерованої під час динамічного контакту чутливого елементу з пружним тілом, для визначення наявності і детермінації стороннього тіла у геологічному середовищі. Шумова емісія, яка характеризується спектром, основними частотами та усередненими амплітудами, може виступати засобом виявлення та оцінки стороннього тіла за геометричними параметрами, типом та станом його поверхні. Ці теоретичні основи дозволили створити робочий прилад для виявлення уламків у вогнепальній рані, з не рентгеноконтрастними включеннями.

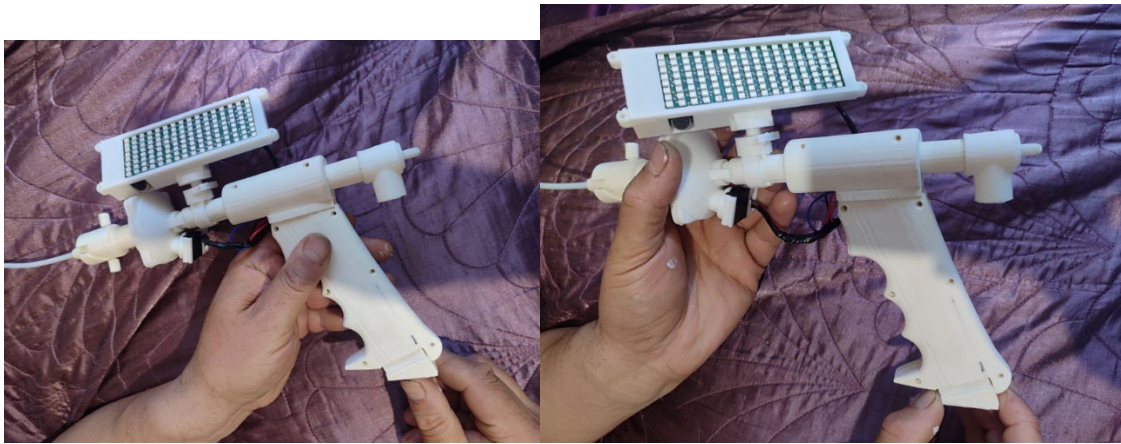
Удосконалено: метод і спосіб зняття шумової емісії у рановому каналі, що базується на використанні зонду у вигляді гнучкого пружного тіла, що рухається всередині трубки з відмінними пружно-пластичними характеристиками, та сполучається із мембраною камери фіксації шуму, а сигнал із мікрофону надходить до спектроаналізатора через блок спеціальних фільтрів, що дає змогу підвищити співвідношення “сигнал-шум” до прийнятних до ідентифікації рівнів. також удосконалено методи обробки картин шумової емісії із використанням алгоритмів неявної логіки та засобів машинного навчання (штучного інтелекту).

Дістало подальшого розвитку: методи ідентифікації складної динамічної системи “стерильний зонд - мембранна камера - тіло пораненого”, засновані на знятті шумової емісії на основі тестового контакту зі спеціальним виробом, що входить у склад приладу; тим самим забезпечено концептуальні засади невідкладної хірургії в умовах надзвичайних ситуацій та в районах бойових дій за рахунок використання запропонованого інноваційного приладу.

Порядок використання приладу для виявлення осколків у тілі людини

Прилад складається з рукояті з основою та змінного щупу-зонду, який може піддаватися стерилізації або бути стерильним разовим. Виконання роботи з приладом наведено на рис. 4-7.

Прилад живиться від батареї «крона». Вмикання приладу потребує вставлення батареї у відсік, що знаходиться в рукояті. При цьому батарея має бути встановлена правильно щодо поляризації. Перед процедурою пошуку осколків стерилізовану частину (щуп із зондом) відокремлюють, і піддають стерилізації. З цією метою доцільно відкрити камеру фіксації звукової емісії,



а



б

Рисунок 4 – а: загальний вигляд приладу, б: його складові частини

і обережно витягнути щуп, попередньо натиснувши на привод цанги пальцем відповідно до рис. 5. Цанга буде розкрита, і щуп вільно вийде із тримача.



а

б

Рисунок 5 – а: відкриття камери фіксації звукової емісії, б: витягування щупа



а

б

Рисунок 7 – Процес закриття камери (а), відображення шкали базових частот після подавання живлення (б)

внутрішньовенно (крапельно, струминно) зі швидкістю введення 1 мл/хв. При місцевому фібринолізі рекомендується введення препарату в дозі 200-500 мг внутрішньовенно повільно 2-3 рази на добу.

Висновки.

1. Лікування бойових ран має розглядатися в парадигмі комплексного лікування пацієнта спрямованого на багатовекторне направлення застосованої терапії.

2. Надано теоретичне підґрунтя для розробки принципово нової технології шумової емісії для детекції вогнепальних уламків: виявлено функціональну обумовленість контрольованих сигналів від форми та типу стороннього предмета в рановому каналі та доведена доцільність використання у якості параметру контрольованого сигналу його частотно-амплітудні характеристики.

3. Створений інструмент по перевірці ранових каналів з метою виявлення вогнепальних уламків показав свою високу ефективність.

4. Практична цінність зумовлена спроможністю розробленого і новоствореного пристрою ефективно виявляти у рановому каналі вогнепальної рани уламки різного походження і структури, особливо ті, які не можуть бути виявленими іншими методами досліджень. Портативність і енергонезалежність приладу дозволяє використовувати його для пошуку вогнепальних уламків в



умовах військово-польової хірургії, де можуть бути відсутні умови для застосування громіздких, дороговартісних засобів ідентифікації: рентгенівських апаратів, МРТ, КТ, ангиографів і ультразвукової діагностики.

5. Пропонований прилад, завдяки своїй простоті, невибагливості та низкій енергоспоживаності, не потребує спеціальних умов використання. маючи автономне джерело живлення у вигляді акумулятора або хімічного елемента, може здійснювати понад 500 вимірів без дозарядження або заміни елементів, може зберігати отримані картини спектрів, а у майбутньому планується оснащення приладу засобом комунікації з ПЕОМ або смартфоном, що зробить такий прилад незамінним для польової хірургії, при подоланні наслідків катастроф природного, техногенного або екологічного характеру.

6. Використання приладу не потребує наявності специфічної медичної освіти та високої кваліфікації у користувача, а також системи забезпечення його функціонування в екстремальних умовах.

7. Були отримані переконливі дані щодо алгоритмів знеболювання, гемостазу та інфузійної терапії поранених бійців.

Література:

1. Черняк В. А., Дубенко Д. Є., Карпенко К. К., Буцька Л. В., Мирона В. С., Кондратюк Н. Ю. Особливості детекції сторонніх тіл металевого та неметалевого походження в біологічних тканинах, отриманих внаслідок бойової травми: огляд літератури // Клінічна та профілактична медицина. – 2025. – № 3. – С. 121–128. – DOI: <https://doi.org/10.31612/2616-4868.3.2025.16>

2. O. Salenko, N. Gavrushkevch, Orel V., B. Salenko, V. Cherniak, K. Karpenko. Increasing the sensitivity of the tactile sensor to detect shredders in the patient's body // Mechanics Advanced Technologies. – 2025. – Vol. 9, No. 1(104). – P. 40–50. – DOI: [10.20535/2521-1943.2025.9.1\(104\).316213](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1(104).316213).

3. Cherniak V. A., Karpenko K. K., Dybkalyuk S. V., Butska L. V. Autologous mesenchymal stem cells as a component of multidisciplinary rehabilitation of war participants with severe forms of chronic critical lower limb ischemia and pain



syndromes // *Polski Merkuriusz Lekarski = Polish Medical Journal*. – 2025. – Vol. LIII, Issue 2 (March–April). – P. 174–179. – ISSN 1426-9686.

4. Cherniak V. A., Salenko O. F., Karpenko K. K., Bondar L. V., Pryiemska V. O., Prokopets K. O., Gorya E. D. Features of the primary surgical treatment of a gunshot wound with a foreign body – a fragment // *Modern engineering and innovative technologies*. – 2025. – Issue №40 (Germany, Copernicus, GScholar).

5. Черняк В. А. Роль якісної первинної хірургічної обробки вогнепальної рани в подальшій реабілітації поранених // *Філософсько-соціологічні та психолого-педагогічні проблеми підготовки особистості до виконання завдань в особливих умовах: зб. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 05 груд. 2024 р.)*. – Київ: КНУ ім. Т. Шевченка, 2024. – С. 122–127.

6. Cherniak V. A., Karpenko K. K., Dubenko D. E., Pryiemska V. O. Remote endoscopic subfascial dissection of perforated veins in the treatment of post-thrombotic disease of the lower extremities and the consequences of gunshot wounds // *2° Workshop/Tutorial SMHe'25: BioSensori, IoT, Artificial Intelligence in Medicine (Milan, January 31, 2025)*. – Milan, 2025.

7. Черняк В. А., Саленко О. Ф. Нові можливості раннього виявлення та видалення уламків в огнепальній рані // *III Міжнародна наук.-практ. конф. «Синергія освіти, науки та бізнесу в епоху глобальних трансформацій» (27 лютого 2025 р., Чернігів)*. – Чернігів, ГО «Науково-освітній інноваційний центр суспільних трансформацій», 2025. – С. 7–10. – ISBN 978-617-8431-06-8. – DOI: https://doi.org/10.54929/conf_reicst_27_02_25

8. Черняк В. А., Карпенко К. К., Дубенко Д. Є. Двопортова дистанційна ендоскопічна субфасціальна дисекція перфорантних вен... // *Журнал Клінічна хірургія*. – 2025. – Т. 92, Додаток 1. – С. 62–63. – DOI: <https://doi.org/10.26779/2786-832X.2025.Suppl.1.02-78>

9. Черняк В. А., Карпенко К. К., Дубенко Д. Є. Розробка технології пошуку сторонніх тіл у вогнепальній рані // *Медичний форум «Інтегративна медицина: досягнення та перспективи», Форум «Травма та її наслідки»*. – Київ, 2025. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/1dm29ZAYuHN0BmOpNnfMfbtz>

UHMHDiLJZK/view

10. Cherniak V. A., Karpenko K. K., Dybkalyuk S. V., Pryiemska V. O. Development of chronic venous cerebrospinal insufficiency after shrapnel gunshot wounds of the neck // 25th European Venous Forum Annual Meeting (26–28 June 2025, Kraków, Poland): Abstracts. – Kraków, EVF, 2025. – Poster presentation.

11. Drevitska O. O., Butska L. D., Chernyak V. A., Ryzhak V. O., Dybkalyuk S. V., Falalyeyeva T. M., Miyalovitska O. A. Principles of individualized physical therapy (PT) planning: incorporating psychological state (PS) and nutritional needs (NN) in the transition to personalized medicine (PM) // Науково-практична ONLINE конференція з міжнародною участю «Інноваційні технології в охороні здоров'я: досвід сьогодення і перспективи застосування у клінічній та профілактичній медицині» С. 183. <https://cp-medical.com/index.php/journal/issue/view/42/5-2025-pdf>

12. Butska L. D., Chernyak V. A., Hovavko O. Yu. Combined rehabilitation (CR) methods in patients with pain syndromes, comorbid conditions and sleep disorders on the background of combat trauma (CT) // Там само. – С. 181

Abstract. Existing methods for diagnosing foreign bodies (FB) in a gunshot wound are based on the differences in certain physical properties of the tissues of biological objects from inorganic fragments and substances, which are manifested in the magnetic and dielectric permeability of the compared samples, the level of shielding of penetrating radiation (in particular, X-rays), the absorption capacity of acoustic waves and their reflection, etc. Typically, such methods require complex and expensive equipment and equipment, the availability of appropriate algorithmic and software tools, and do not always allow for the detection of fragments, especially in the conditions of a front-line hospital. Therefore, the main idea of the work is to use the effect of noise emission as a phenomenon of mechanical contact of the elastic element of the probe with a fragment in a gunshot wound, which is carried out through the wound channel, to determine the presence, size and position of the fragment in the patient's body. For this, a method and device for diagnosing and parametric determination of a fragment in a wounded soldier are proposed for the first time. This made it possible to carry out the process of searching for ST based on the noise emission of mechanical contact with a special device with means of recording noise and its spectral analysis. Our previous studies have shown that such emission with a high probability characterizes both the type of fragment and the condition of its surface. As a result, the main parameters of noise emission control were determined and it was shown that the amplitude of individual frequencies of the oscillation spectrum has the maximum informativeness regarding the studied body (fragment). The structural and parametric synthesis of the specified tool made it possible to propose such a device design, the probe of which can additionally be used as a drainage line for introducing an antiseptic or anesthetic solution into the wound. The installation of an additional vibration generator allowed to record and analyze the data of the diagnostic study in deep channels, and the integration of signal recording tools into a special informative space allowed to involve artificial intelligence tools to increase the accuracy of



diagnostics, as well as to visualize the shape of the fragment during surgery.

Key words: *debris, wound, detection, sound methods*

Науковий керівник: д.мед.н., проф. Черняк В.А

Стаття підготовлена в рамках науково-дослідної роботи (НДР):

«Розробка інноваційного портативного пристрою для виявлення уламків в рані,

включаючи не рентгенконтрастні» за фінансової підтримки Національного

фонду досліджень України конкурсу «Наука для зміцнення обороноздатності

України» (№ 2023.04/0145).

Статтю надіслано: 19.11.2025 г.

© Черняк В.А.