

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

## SOUND METHODS OF DETECTING FRAGMENTS IN THE WOUND

### ЗВУКОВІ МЕТОДИ ВИЯВЛЕННЯ УЛАМКІВ В РАНІ

**Cherniak V.A. / Черняк В.А.**

*d.med.s., prof. / д.мед.н., проф.*

ORCID:<https://orcid.org/0009-0005-5280-542X>

Web of Science:<https://www.webofscience.com/wos/author/record/JNR-7817-2023>

Google Scholar: [https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=fixhR\\_UAAAAJ](https://scholar.google.com/citations?hl=uk&user=fixhR_UAAAAJ).

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:<https://orcid.org/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:<https://orcid.org/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:<https://orcid.org/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.** В роботі розглядається пошук простих та надійних засобів діагностики сторонніх предметів у тілі пацієнта без використання рентген-апаратів. До основних методів такої діагностики належить ультразвуковий, однак він потребує використання спеціальної імерсійної рідини (спеціального гелю), що наноситься на тіло пацієнта; без такого засобу отримувана картина може мати істотні спотворення та втратити інформативність. Цей метод достатньо надійно виявляє зміну стану тканини, новоутворення, при цьому може фіксувати сторонні предмети певних властивостей, хоча і зі значною похибкою як положення, так і розмірів. Однак якщо останні мають округлу форму і малі за розмірами, отримана картина дешифрованого сигналу втрачає

інформативність; за певних обставин сторонні тіла можуть мати схожі реологічні властивості та малі розміри, тож їх виявлення стає неефективним. Тому цікавим може виявитися метод шумової емісії, який є унікальною вітчизняною технологією, розробленою в межах гранту Національного фонду досліджень України та дозволяє виявляти в прифронтових умовах нерентгеноконтрастні уламки, такі як: скло, пластик, деревину, фрагменти амуніції та ін.

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

**Abstract.** The work considers the search for simple and reliable means of diagnosing foreign objects in the patient's body without the use of X-ray machines. The main methods of such diagnostics include ultrasound, but it requires the use of a special immersion liquid (special gel) that is applied to the patient's body; without such a tool, the obtained picture may have significant distortions and lose its informativeness. This method reliably detects a change in the state of the tissue, a neoplasm, while it can fix foreign objects of certain properties, although with a significant error in both position and size. However, if the latter have a rounded shape and are small in size, the resulting picture of the decoded signal loses its informativeness; under certain circumstances, foreign bodies may have similar rheological properties and small sizes, so their detection becomes ineffective. Therefore, the noise emission method, which is a unique domestic technology developed within the framework of a grant of the National Research Fund of Ukraine, may be of interest and allows detecting non-radiocontrast fragments, such as: glass, plastic, wood, ammunition fragments, etc. in front-line conditions

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

**Вступ.** Основний метод, що використовується в сучасній медицині для знаходження уламків – це діагностика, яка не передбачає прямого контакту із самим осколком. Методи виявлення спрямовані на взаємодію через тканини людини, з використанням властивостей уламків таких як: феромагнітність, рентгеноконтрастність тощо. Таким чином уламки, що не мають відповідних властивостей, складно виявляються (1-9). Однак в рані може бути скло, пластик, композити тощо і це матеріали нерентгеноконтрастні. Тому метою роботи було розробити спосіб діагностики наявності в рані пацієнта сторонніх неконтрастних уламків засобами безпосереднього контакту на основі новоствореної технології. Враховуючи таку амбітну мету завданнями нашої роботи були: оцінити переваги і недоліки ультразвукових методів діагностики уламків у рані; виявити ефект від механічного контакту гнучкого зонду зі стороннім тілом у рановому каналі чи порожнині пацієнта; виявити функціональну обумовленість контрольованих сигналів від форми та типу стороннього предмета в рановому каналі; розробити принципово новий

інструмент для перевірки ранових каналів.

**Основний текст.** Спроможність звукових (у тому числі, ультразвукових) хвиль поширюватися у середовищах з різними реологічними властивостями та відбиватися від поверхонь або меж розділу компонентів покладена в основу методу ультразвукових лабораторних досліджень включно з методами детекції інеродних тіл (10-13). У загальному вигляді завдання розрахунку поля імерсійного фокусованого перетворювача (ПЕП) можна схематично розділити на підмоделі:

- ультразвукові коливання, що поширюються в імерсійному середовищі від первинного випромінювача - ПЕП, формують на поверхні об'єкту дослідження випромінюючу поверхню фокусуєчої системи - поле вторинного випромінювача;

- ультразвукові коливання, що створюються вторинним випромінювачем, поширюються в матеріалі об'єкта дослідження;

- ультразвукові коливання, що поширюються від внутрішньої нещільності, яка залягає в об'єкті дослідження, повертаються на лінзу перетворювача.

Пошуковий ехосигнал від стороннього тіла у реологічному середовищі  $V_d(t)$  у вигляді тимчасової функції можна представити як зворотне перетворення Фур'є (ОПФ) від добутку двох незалежних величин (1) :

$$V_d(t) = F^{-1}(P_4(f) \cdot (V_{и}) \tilde{(f)}), (1)$$

де  $(V_{и}) \tilde{(f)}$  - Фур'є-образ імпульсного відгуку системи  $V_{и}(t)$ , який визначає спектральну характеристику системи як лінійного фільтра. Він враховує частотні характеристики перетворювача, генератора зондуєчих імпульсів, приймального електричного тракту системи.

$P_4(f)$  - просторова частотна характеристика (ПЧХ) акустичного тракту, яка описує вплив на сигнал процесів дифракції, загасання, заломлення, інтерференції і відображення від поверхні ОК ультразвукових хвиль при їх поширенні від ПЕП до ОК і назад. ПЧХ є Фур'є-образом просторової імпульсної характеристики (ПІХ) акустичного тракту.

Амплітуда тиску  $P_{(ок сум)}$ , який створює весь ультразвуковий

перетворювач (первинний випромінювач) в точці з координатами  $(x_2, y_2)$  на поверхні об'єкта контролю становить (2):

$$P_{\text{(ок сум)}}(x_2, y_2) = \iint_{\text{S\_пеп}} (i f P_0 \cos[\theta] e^{i 2 \pi f r / c}) / c r \, dx_1 \, dy_1, \quad (2)$$

де  $c$  - швидкість поширення в середовищі ультразвукових коливань;

$r$  - відстань від елементарної площадки до точки з координатами  $(x_2, y_2)$

на поверхні об'єкта контролю;

$\cos[\theta]$  - спрямованість поля елементарного випромінювача;

$f$  - частота коливань випромінюваної хвилі;

$P_0$  - амплітуда тиску на поверхні випромінювача.

Спектр амплітуди тиску  $(P_{\text{(ок сум)}} \tilde{\phantom{P}}(x_2, y_2))$  знаходять, використовуючи такий вираз (3,4):

$$(P_{\text{(ок сум)}} \tilde{\phantom{P}}(x_2, y_2)) = (i f (P_{\text{випр}} \tilde{\phantom{P}}(f)) / c) \iint_{\text{S\_пеп}} (\cos[\theta] e^{i 2 \pi f r / c}) / r \, dx_1 \, dy_1 \quad (3)$$

$$P_{\text{(ок сум)}}(x_2, y_2) = \iint_{\text{S\_пеп}} (i f P_0 \cos[\theta] / c r) e^{i 2 \pi f r / c} \, dx_1 \, dy_1 \quad (4)$$

Як правило, чутливість перетворювача до точкового випромінювача на поверхні дефекту буде пропорційна амплітуді тиску, створеної ПЕП в цій точці. Тому ПЧХ, що описує амплітуду і фазу ехосигнала від усього дефекту на частоті  $f$ , можна обчислити на основі оціночного (приблизного) виразу(5):

$$P_4(f) = \iint_{\text{S\_д}} P_3(f, x_3, y_3, z_3) \, ds. \quad (5)$$

При цьому акустичний випромінювач може бути як зовнішнім, так і мати фокусуєчий концентратор, і вводиться у тіло пацієнта. В останньому випадку імерсійною рідиною виступатиме рідина організму (зокрема, кров пацієнта). При таких дослідженнях використовують головку-випромінювач ультразвукових коливань, приймач відбитого сигналу, плати перетворювачів і підсилювачів, а також блоки реєстрації результатів досліджень. Залежно від типу досліджень, використовують той чи інший датчик. Використовується також поздовжня (переважно для дослідження м'яких тканин організму) та поперечна (що застосовується для дослідження кісткових тканин, твердих включень) модуляція. Зазвичай прилад комплектується лінійним,

абдомінальним та внутрішньопорожнинним датчиками, однак їх кількість може бути значною і залежить від того, які дослідження планують виконувати на даному пристрої, від типу перетворювачів тощо. При цьому алгоритмічно вдається виокремлювати фронти відбитих сигналів (відлунь), що визначають наявність та положення площин розділу середовища (тобто тих площин, які розділяють зони відмінних пружно-в'язких властивостей). Однак калібрування приладу зазвичай націлене на встановлення максимально досяжного контрасту на конкретних відмінностях складових середовища; при цьому компоненти з іншими властивостями можуть залишитися непоміченими або нечітко визначеними. Незважаючи на появу останнім часом портативних апаратів УЗД-досліджень (діагностики), складність апаратної частини, значна кількість налаштувань та вибору спеціальних головок, а також потреба у високій кваліфікації користувача УЗД-апарату обмежує їх застосування на практиці. У клінічному використанні перевагу надають більш дорогим стаціонарним апаратам, що виявляють можливість зміни фокусу зони обстеження, зум-функції (з достатньою роздільною здатністю), володіють більшою захищеністю від зовнішніх впливів (у тому числі, елекромагнітних). Таким чином, попри очевидні переваги УЗД-апаратів, у польових умовах, особливо при первинній санітарній обробці уражених уламками пацієнтів пропонований пристрій має беззаперечні переваги, оскільки не вимагає ні високої кваліфікації персоналу, є простим та енергоощадним у використанні. Так, для виявлення уламків пропонуємо використати ефект шумової емісії. На поверхні завжди є пошкодження і дефекти, тому при проведенні по ній чимось виникає шум. Якщо взяти і провести чимось по м'яких тканинах і твердому предмету (уламку), то на осцилограмі будуть значні відмінності. За рахунок такої різниці шумів можна тактильно діагностувати місце знаходження уламка. Таким чином, наш пристрій повинен складатися з 2 частин: 1) змінна деталь, що вводиться в поранення; 2) багаторазовий пристрій з мікрофоном для фіксації шуму і відповідним програмним забезпеченням (ПЗ) для його обробки. Це може бути використано для знаходження уламка в 3Д проєкції, що зможе полегшити

операцію. Відповідно до положення вхідного отвору, ми можемо визначити початкову точку, а за допомогою кута нахилу – подальший рух уламка. Враховуючи місце, де ми визначили уламки, й нанісни на щуп помітки, як у лінійки, можемо доволі точно визначити місце знаходження уламка. Для реалізації зазначених теоретичних положень скористаємося програмою статистичної обробки експериментальних даних «StargraphicCENTURION». Ця програма дозволяє на основі внесених у вигляді електронних таблиць даних експериментів виконувати увесь необхідний комплекс статистичної обробки даних і використовуючи певні критерії подібності (t-критерій Стьюдента, G-критерій Кохрена, критерій Пірсона) робити висновок щодо значущості прийнятих гіпотез, законів розподілу величин та іншого.

Порушення гомеостазу в організмі часто спостерігається під час великих хірургічних втручаннях та критичних захворюваннях, таких як травми. Важливим аспектом менеджменту під час цих ситуацій є введення внутрішньовенних розчинів як компоненту рідинної ресусцитації. Неправильне або надмірне введення рідин може призвести до серйозних наслідків, включно з підвищеною смертністю. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є індивідуалізація терапії, що базовано на розумінні патофізіології порушень, що виникають на кожному етапі критичних станів. Одним з варіантів вирішення цієї проблеми є впровадження у щоденну практику 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. Зосереджена на корекції критичного стану пацієнта та ранньому адекватному дозуванню рідини з метою корекції гіповолемії та збільшення судинного опору. O – оптимізація – триває години. Акцент на попередження розвитку ускладнень та уникнення перевантаження рідиною. S – стабілізація – триває дні. Увага на підтримці функціонування органів. E – евакуація – триває дні або тижні. Фокус на відновлення органів та усунення перевантаження рідиною. 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. 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.**

Використовуючи 3Д модель імітатора кут і довжину входу шупа, попередньо, вдалося чітко визначити місце знаходження уламка в тілі. Після чого проведено розріз імітатора ножем й вилучення уламка пінцетом. Оскільки зонд рухається в рановому каналі, на екрані осцилографа спостерігається значний шумовий ефект, який має бути нівельований спеціальним алгоритмічним забезпеченням, що покращить якість сигналу та його інформативність. Наразі вдалося зафіксувати залежність амплітуди та базової частоти коливань залежно від положення уламка та його розміру в рановому каналі. Залежність форми сигналу від типу уламка потребує подальшого дослідження. Проведено також перевірку розподіл контрольованих параметрів усередині груп, у межах однієї вибірки, якщо у першому випадку генеральна сукупність даних в цілому не підкоряється закону нормального розподілу, то у другому маємо таке підкорення, що свідчить про існування відмінностей серед серій спостережень, у той час як кожен вимір може характеризуватися середнім значенням контрольованих параметрів із шестисигмовим інтервалом розсіювання, що встановлюється стандартними статистичними процедурами. Оскільки поля розсіювання  $A_i$  кожної вибірки порівняні між собою та порівняні із загальним полем розсіювання, функціональна обумовленість відсутня. Тож з

95% ймовірністю можна вважати, що контрольована амплітуда не залежить від того, який осколок знаходиться в рані, а проявляється випадковим чином. У комплекс засобів детоксикації поранених залучали препарати ксилат, реосорбілакт, сорбілакт а у випадках прогресуючої артеріальної ішемії застосувати схему терапії «Тріо»: базова терапія + Реосорбілакт 400 мл/доба, Латрен 400 мл/доба, L-аргінін 100 мл/доба.

### **Висновки.**

1. Розглянутий пошук простих та надійних засобів діагностики сторонніх предметів у тілі пацієнта без використання рентген-апаратів показав недоліки методу ультразвукової діагностики.

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

3. Визначені передумови для створення інструменту по перевірці ранових каналів з метою виявлення уламків.

4. Були отримані переконливі дані щодо алгоритмів знеболювання та інфузійної терапії поранених.

### **Література:**

1. Жианну К., Балдан М., Молде А. Військово-польова хірургія. Робота хірургів за умов обмеженості ресурсів під час збройних конфліктів та інших ситуацій насильства. 2013. 389 с.

2. Заруцький Я. Л., Ткаченко А. Є., Вовк М. С. Клініко-епідеміологічна характеристика вогнепальних поранень грудної клітки у військовослужбовців під час проведення АТО/ООС. Київ, 2021. 93 с.

3. Вибір системи оцінки тяжкості бойової хірургічної травми в поранених із вогнепальними дефектами м'яких тканин на I-II рівнях медичного забезпечення / Хоменко І. П. та ін. Тернопіль, 2022. 12 с.



4. Суворов В. В. Клініко-патогенетичне обґрунтування методики оцінки тяжкості стану у постраждалих з тяжкою травмою в динаміці травматичної хвороби : дис. канд. мед. наук : 14.00.27. 2005. 197 с.
5. Туманська Н. В., Барська К. С., Скринченко С. В. Рентгенологічні методи дослідження. Запоріжжя, 2016. 82 с.
6. Indicators of X-ray fluorescent intensity in the content of captules of metal fragiles of soft tissues in injuries with explosive and fire-fire / Lurin I. A. et al. Харків, 2022. 7 с.
7. Застосування магніта для вилучення осколків при мінно-вибухових пораненнях / Герасименко Е. П. та ін. Укрмедкнига. 2014. №4. С. 101-103.
8. Хірургічна тактика лікування вогнепальних поранень кінцівок в умовах багатопрофільної лікарні / Лоскутов О. Є. та ін. 2016. 172 с.
9. Modern methods of surgical treatment of victims with limb gunshot injuries / O. A. Buryanov O. A. et al. 2017. 35 p.
10. Белокур, И. П. Дефектоскопия материалов и изделий / И. П. Белокур, В. А. Коваленко. – Киев : Техника, 1989. – 192 с.
11. Фазовимірювальні системи неруйнівного контролю [Електронний ресурс] / С. М. Маєвський. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 288 с.
12. Momot, A. Influence of architecture and training dataset parameters on the neural networks efficiency in thermal nondestructive testing / A. Momot, R. Galagan // Sciences of Europe. – 2019. – Vol. 1, No 44. – Pp. 20–25.
13. Губка, В. О. Ультразвуковий контроль за відновленням кровообігу при реконструктивних операціях у хворих на облітеруючий атеросклероз артерій нижніх кінцівок [Текст] / В. О. Губка, О. М. Волошин // Науковий вісник Ужгородського університету / УжНУ. – Ужгород : ТОВ «Спектраль», 2012. – Вип. 2 (44). – С. 46–48. – Бібліогр.: с. 48 (9 назв).

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).  
Статья відправлена: 29.09.2024 г.  
© Черняк В.А.