УДК 616.133/.134+616.137.83/.93-044.6-06:617.58-005.4-089-059
DOI: https://doi.org/10.17721/3041-1491/2024.11-41

Віктор ЧЕРНЯК, д-р мед. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0001-8424-4691
e-mail: victorchernyak.ohta@gmail.com
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Костянтин КАРПЕНКО, д-р філософії
ORCID ID: 0000-0002-9737-4484
e-mail: zushpre@gmail.com
Національний військово-медичний клінічний центр
"Головний військовий клінічний госпіталь", Київ, Україна

РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВИЯВЛЕННЯ НЕРЕНТГЕНОКОНТРАСТНИХ УЛАМКІВ У ПОРАНЕНИХ ПІСЛЯ ВОГНЕПАЛЬНИХ ПОРАНЕНЬ

В с т у п . ***Оскільки часто поранення відбувається не тільки рентгеноконтрастними осколками та кулями, то діагностика положення сторонніх тіл у рановому каналі або в порожнині пацієнта стає ускладненою. В умовах сучасного конфлікту використовуються нові типи зброї та уражуючих снарядів, нові матеріали, зокрема модифікації пластику все частіше використовують як кулі, оболонки снарядів, гранат наступального та оборонного типу. Усе частіше стикаємось з випадками осколкового ураження м'яких тканин пластиковими та скляними елементами. Пластик, потрапляючи в м'які тканини людського тіла, має властивості сердечників розривних куль, значно збільшуючи розмір пульсуючої порожнини раньового каналу. У той же час спроможність пластику та скла дробитися в тілі може вимагати розкриття ран для обробки та вилучення цих сторонніх предметів, що збільшує травматичність і подовжує термін реабілітації пацієнтів. Пошук осколка, особливо нерентгеноконтрастного, у каналі рани часто складний і тривалий, що пов'язано з недостатньою його візуалізацією, зміною нормальної анатомії при вогнепальних пораненнях і складністю хірургічного пошуку.***

В и с н о в к и . ***Отже, пошук простих та надійних засобів діагностики сторонніх предметів у тілі пацієнта (без використання рентген-апаратів) у польових умовах є актуальним та надзвичайно важливим завданням сьогодення, вирішення якого здатне зберегти життя і здоров'я тисячам поранених.***

К л ю ч о в і с л о в а : ***передумови, розробка, пристрій, виявлення, уламки, вогнепальні поранення.***

Вступ

Основний метод, що використовується в сучасній медицині для знаходження осколків – це діагностика, яка не передбачає прямого контакту із самим осколком. Методи виявлення спрямовані на взаємодію через тканини людини з використанням таких властивостей осколків, як: феромагнітність, рентгеноконтрастність тощо (Gumeniuk et al., 2021). Таким чином, осколки, що не мають відповідних властивостей, складно виявляти (Baum et al., 2022; Charles, Geusens, & Nys, 2023; Paolucci, & Diaczuk, 2023; Tsymbaliuk et al., 2023; Wang et al., 2023). Це може бути скло, пластик, композити тощо (Fountain et al., 2021;

© Черняк Віктор, Карпенко Костянтин, 2024

Wang et al., 2023). Враховуючи особливості ранового каналу, пристрій, який вводиться в тіло людини, має бути достатньо гнучким для введення в рану з мінімальними пошкодженнями. Окрім того, пристрій необхідно робити одноразовим, щоб мінімізувати вірогідність потрапляння в рану інфекції, забруднення і крові інших людей. Також пристрій має бути здатним сканувати й бічні стінки каналу.

Метою роботи є розробка нового способу діагностики наявності в рані пацієнта сторонніх неконтрастних осколків засобами безпосереднього контакту.

Завдання роботи:

• виявити ефект від механічного контакту гнучкого зонду зі стороннім тілом у раневому каналі чи порожнині пацієнта;

• розробити принципово новий інструмент для перевірки ранових каналів;

• виявити функціональну обумовленість контрольованих сигналів від форми і типу стороннього предмета в рановому каналі;

• довести доцільність використання як параметр контрольованого сигналу його частотноамплітудні характеристики.

Для виявлення осколків використовують ефект шумової емісії. Оскільки на поверхні завжди є пошкодження і дефекти, і коли по ній провести чимось, то виникає шум. Якщо взяти і провести чимось по м'яких тканинах і твердому предмету (осколку), то на осцилограмі будуть спостерігатись значні відмінності. За рахунок такої різниці шумів можна тактильно діагностувати місце знаходження осколка.

Таким чином, наш пристрій має складатися із двох частин: 1) змінна деталь, що вводиться в поранення; 2) багаторазовий пристрій з мікрофоном для фіксації шуму і відповідним програмним забезпеченням (ПЗ) для його обробки.

За осколок візьмемо уламок пластику – модель, яку відтворено методом 3D-друку з металевого прототипу, отриманого від розриву касетного боєприпасу. Такі осколки можуть утворюватися після прошивання кулею пластикового захисного спорядження невисокого класу захисту. Розмір шматочка пластика становив 1 см на 0,5 см. За тканину людини взято шматок м'яса (імітатор), у якому зробили отвір і вставили осколок, зімітувавши таким чином осколкове поранення. Такий імітатор використано для знаходження осколка в 3D-проєкції, що зможе полегшити операцію. Відповідно до положення вхідного отвору, ми можемо визначити початкову точку, а за допомогою кута нахилу – подальший рух осколка. Враховуючи місце, де ми визначили осколки, і нанісши на щуп помітки, як у лінійки, можемо доволі точно визначити місце знаходження осколка. За допомогою 3D-сканера було отримано просторову картину з'єднання демонстратора в тренажері, що дозволяло чітко визначити положення демонстратора навіть за наявності ранового каналу складної форми. У розсічених тканинах взаємодію між зондом приладу та демонстратором також оцінювали візуально за допомогою мікроскопа. Після контакту бужа з демонстратором на екрані осцилографа спостерігалася картина шумового випромінювання, піддана спектральному

аналізу на низьких і високих частотах. Отже, використаний прилад дозволив встановити середні значення амплітуд на фіксованих частотах, ширину спектра, основні частоти та гармоніки для конкретних умов контакту. Положення демонстратора фіксувалося на розгортці по часовій осі, що дозволяло визначити його положення перед видаленням. Використовуючи 3D-модель симулятора, кут та довжину входу зонду можна було чітко визначити розташування осколка в тілі. Після цього імітатор розсікали скальпелем і пінцетом видаляли фрагмент.

Однією з найважливіших складових успішного лікування поранених є повний контроль над болем різної інтенсивності. У випадку слабкого болю за візуальною аналоговою шкалою (ВАШ 10–40 мм) застосовуємо: Інфулган, Кейдекс. Якщо біль середньої інтенсивності (ВАШ 40–70 мм), застосовуємо: Інфулган, Кейдекс, Ропілонг – зі швидкістю 6–16 мл/год через епідуральний катетер. У випадку сильного болю (ВАШ 70–100 мм) застосовуємо: 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. Для реалізації зазначених теоретичних положень скористаємося програмою статистичної обробки експериментальний 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.

Розглянемо найпоширеніші методи знаходження осколків в організмі людини в умовах польової хірургії.

Рентгенографія є одним із найпоширеніших видів діагностики. В основі формування рентгенівського зображення досліджуваного органу лежить неоднорідне поглинання випромінювання тканинами, а також сторонніми тілами, через що відбувається ослаблення освітленості плівки на різних ділянках. Підсумковий ефект у променевій діагностиці полягає в нашаруванні зображень одних органів і тканин на інші, що ускладнює об'єктивну та якісну діагностику патологічних процесів. У рентгенодіагностиці відбувається нашарування різних органів, розташованих на шляху рентгенівського променя.

Комп'ютерна томографія (КТ) – це діагностичний метод, який можна назвати вдосконаленою рентгенографією. Як і традиційний рентген комп'ютерна томографія забезпечує зображення за допомогою рентгенівських променів. Однак його конструкція дозволяє сканувати органи багатошаровим методом, що дає дуже детальну картинку з високою просторовою роздільною здатністю. А додаткова комп'ютерна обробка зображення дозволяє візуалізувати внутрішні органи чи структуру не просто як набір зрізів, а як тривимірні зображення, де проблемну зону можна оглянути з усіх боків. Комп'ютерну томографію можна проводити без контрасту або з введенням

контрастної речовини відповідно до конкретного клінічного завдання, поставленого перед рентгенологом. Завдяки об'ємному скануванню локалізацію осколка можна визначити набагато точніше, ніж на рентгенівському знімку, похибка відстані під час таких досліджень становить близько 1 мм. Крім того, завдяки можливості введення контрастної речовини можна знайти не тільки уламки заліза, а й уламки інших матеріалів. Однак слід пам'ятати, що найчастіше як контрастну речовину використовують йодовмісні засоби, тому можлива алергія. Для проведення такого обстеження обов'язкова проба на переносимість.

Магнітно-резонансна томографія (МРТ) – томографічний метод дослідження внутрішніх органів і тканин із застосуванням фізичного явища ядерного магнітного резонансу. Метод заснований на вимірюванні електромагнітного відгуку атомних ядер, найчастіше ядер атомів водню, а саме на їх збудженні за допомогою певної комбінації електромагнітних хвиль у постійному магнітному полі високої напруженості. Це неінвазивний метод медичного обстеження, який широко використовується в медичній діагностиці та контролі адекватності лікування пацієнта. На відміну від комп'ютерної томографії та рентгенівського дослідження, під час використання цього методу організм не піддається впливу іонізуючого випромінювання. Натомість зображення формується під впливом потужного магнітного поля та електромагнітних хвиль із застосуванням комп'ютерної обробки для отримання чіткої деталізації м'яких тканин, кісток та інших внутрішніх структур організму. Для підвищення чіткості зображення часто використовують контрастні речовини. Цей метод не можна використовувати для пошуку уламків заліза. Застосування МРТ протипоказано людям, у яких можуть бути металеві елементи: кардіостимулятори, протези, осколки тощо. Сильне магнітне поле томографа може притягувати залізні предмети, які містяться всередині тіла. Осколки також можуть зміщуватися.

Останнім часом набув поширення *метод магнітопошуку*. Застосовується при висіченні рани неодимовими магнітами з розривним навантаженням 100–150 кг (при глибокому заляганні 200–300). Завдяки взаємодії магнітних полів уламки заліза притягуються до магніту і, відповідно, призводять до утворення горбка на поверхні тіла, завдяки якому можна зробити висновок про місце розташування уламка. Крім того, цей метод використовується і під час витягання осколків: разом з магнітом останній видаляється з тіла пацієнта.

Найпоширенішим натепер є *метод ультразвукової діагностики* (УЗД). Цей метод постійно вдосконалюється і на сьогодні відомі мінігабаритні пристрої. Але в цьому методі зображення має виводитися на залежний від вайфаю екран, що обмежує його використання в польових умовах. Інші варіанти апаратів УЗД досить габаритні й якість обстеження пацієнта напряму залежить від цього фактора.

Метод прямого спостереження – фрагмент виявляється візуальним спостереженням в реальному часі. Цей метод можливий тільки для

фрагментів з низькою кінетичною енергією, але не гарантує повного знаходження всіх фрагментів.

Отже, *основними методами діагностики є:* рентгенографія, МРТ, УЗД, КТ, метод пошуку за допомогою магніту, метод прямого спостереження. Основними недоліками цих методів є неможливість їх застосування в умовах бойових дій. Крім того, у випадках певних осколкових поранень деякі види діагностики протипоказані, а деякі взагалі не можуть виявити осколки в тілі людини.

Із цих позицій пошук простих і надійних засобів діагностики сторонніх предметів в організмі пацієнта (без використання рентгенівських апаратів, складних систем МРТ) у польових умовах є актуальною та надзвичайно важливою задачею сьогодення, вирішення якої може врятувати життя і здоров'я тисяч поранених.

Використовуючи 3D-модель імітатора кут і довжину входу щупа, попередньо нам вдалося чітко визначити місце знаходження осколка в тілі, після чого було проведено розріз імітатора ножем і вилучення осколка пінцетом. Оскільки зонд рухається в рановому каналі, то 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 осколка та його розміру в рановому каналі. Залежність форми сигналу від типу осколка потребує подальшого дослідження. Проведено також перевірку розподілу контрольованих параметрів усередині груп, у межах однієї вибірки. Якщо у першому випадку генеральна сукупність даних у цілому не підкоряється закону нормального розподілу, то в 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 кожної вибірки порівнянні між собою та порівнянні із загальним полем розсіювання, то функціональна обумовленість відсутня. Тож з 95 % імовірністю можна вважати, що контрольована амплітуда не залежить від того, який осколок міститься в рані, а проявляється випадковим чином.

До комплексу засобів детоксикації поранених залучали препарати ксилат, реосорбілакт, сорбілакт, а у випадках прогресуючої артеріальної ішемії застосувати схему терапії "Тріо": базова терапія + Реосорбілакт 400 мл/добу, Латрен 400 мл/добу, L-аргінін 100 мл/добу.

Висновки

1. Надано теоретичне підґрунтя для розробки принципово нового інструменту для перевірки раневих каналів.

2. Виявлено функціональну обумовленість контрольованих сигналів від форми та типу стороннього предмета в раневому каналі. Доведено доцільність

використання як параметр контрольованого сигналу його частотноамплітудні характеристики.

3. Доведено функціональну обумовленість ширини спектра сигналу шумової емісії в момент механічного контакту зі стороннім предметом у рані, його формою та типом.

4. Визначено, що використання осцилографа з каналом спектрального аналізу дозволяє досить точно ідентифікувати сторонній нерентгеноконтрастний предмет у рані.

5. Доведено, що результативним є параметр ширини смуги шумової емісії, водночас параметр амплітуди сигналу такої властивості не виявив.

Внесок авторів: Віктор Черняк – концептуалізація, формальний аналіз, програмне забезпечення, методологія, валідація даних, написання – оригінальна чернетка; Костянтин Карпенко – написання – перегляд і редагування.

Подяки, джерела фінансування. Висловлюємо подяку за сприяння в написанні цієї роботи Національному фонду досліджень України.

Список використаних джерел

Baum, G. R., Baum, J. T., Hayward, D., & MacKay, B. J. (2022). Gunshot Wounds: Ballistics, Pathology, and Treatment Recommendations, with a Focus on Retained Bullets. *Orthopedic Research and Reviews*, 14, 293–317. https://doi.org/10.2147/ORR.S378278

Charles, S., Geusens, N., & Nys, B. (2023). Interpol Review of Gunshot Residue 2019 to 2021. *Forensic Science International: Synergy,* 6, 100302. https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100302

Fountain, A. J., Corey, A., Malko, J. A., Strozier, D., & Allen, J. W. (2021). Imaging Appearance of Ballistic Wounds Predicts Bullet Composition: Implications for MRI Safety. *American Journal of Roentgenology*, 216(2), 542–551. https://doi.org/10.2214/AJR.20.23648

Gumeniuk, K., Lurin, I., Tsema, I., Susak, Y., Mykhaylenko, O., Nehoduiko, V., Krymchuk, S., Gryshchenko, O., Lopatiuk, K., Maksymenko, M., Dubenko, D., & Tsema, Y. (2021). Woundary ballistics of biological tissue's plastic deformation on the model of ballistic plastiline using hollow point and shape-stable bullets. *Journal of Education, Health and Sport*, 11(11), 37–57. https://doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.11.003

Paolucci, J. C., & Diaczuk, P. (2023). The effects of certain intermediary target materials and their proximity to ballistic gelatin on jacketed hollow point bullet expansion. *Journal of Forensic Sciences*, 68(6), 1932–1945. https://doi.org/10.1111/1556-4029.15362

Tsymbaliuk, V., Lurin, I., Gumeniuk, K., Herasymenko, O., Furkalo, S., Oklei, D., Negoduyko, V., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2023). Modeling of wound ballistics in biological tissues simulators. *Medicni Perspektivi*, 28(1), 37–48. https://doi.org/10.26641/2307-0404.2023.1.275866

Wang, J., Chen, J., Zhou, J., Qiu, J., & Yao, Y. (2023). Injuries from Conventional Explosive Weapons. In Zhengguo Wang, Jianxin Jiang (Eds.), *Explosive Blast Injuries* (pp. 505–547). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2856-7_33

References

Baum, G. R., Baum, J. T., Hayward, D., & MacKay, B. J. (2022). Gunshot Wounds: Ballistics, Pathology, and Treatment Recommendations, with a Focus on Retained Bullets. *Orthopedic Research and Reviews*, 14, 293–317. https://doi.org/10.2147/ORR.S378278

Charles, S., Geusens, N., & Nys, B. (2023). Interpol Review of Gunshot Residue 2019 to 2021. *Forensic Science International: Synergy,* 6, 100302. https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100302

Fountain, A. J., Corey, A., Malko, J. A., Strozier, D., & Allen, J. W. (2021). Imaging Appearance of Ballistic Wounds Predicts Bullet Composition: Implications for MRI Safety. *American Journal of Roentgenology*, 216(2), 542–551. https://doi.org/10.2214/AJR.20.23648

Gumeniuk, K., Lurin, I., Tsema, I., Susak, Y., Mykhaylenko, O., Nehoduiko, V., Krymchuk, S., Gryshchenko, O., Lopatiuk, K., Maksymenko, M., Dubenko, D., & Tsema, Y. (2021). Woundary ballistics of biological tissue's plastic deformation on the model of ballistic plastiline using hollow point and shape-stable bullets. *Journal of Education, Health and Sport*, 11(11), 37–57. https://doi.org/10.12775/JEHS.2021.11.11.003

Paolucci, J. C., & Diaczuk, P. (2023). The effects of certain intermediary target materials and their proximity to ballistic gelatin on jacketed hollow point bullet expansion. *Journal of Forensic Sciences*, 68(6), 1932–1945. https://doi.org/10.1111/1556-4029.15362

Tsymbaliuk, V., Lurin, I., Gumeniuk, K., Herasymenko, O., Furkalo, S., Oklei, D., Negoduyko, V., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2023). Modeling of wound ballistics in biological tissues simulators. *Medicni Perspektivi*, 28(1), 37–48. https://doi.org/10.26641/2307-0404.2023.1.275866

Wang, J., Chen, J., Zhou, J., Qiu, J., & Yao, Y. (2023). Injuries from Conventional Explosive Weapons. In Zhengguo Wang, Jianxin Jiang (Eds.), *Explosive Blast Injuries* (pp. 505–547). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-2856-7_33

Отримано редакцією збірника / Received: 05.07.24
Прорецензовано / Revised: 13.09.24
Схвалено до друку / Accepted: 01.10.24

Viktor CHERNYAK, DSc (Med.), Prof.
ORCID ID: 0000-0001-8424-4691
e-mail: victorchernyak.ohta@gmail.com
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Kostiantyn KARPENKO, PhD
ORCID ID: 0000-0002-9737-4484
e-mail: zushpre@gmail.com
National Military Medical Clinical Center "Main Military Clinical Hospital", Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR THE DETECTION OF NON-X-RAY CONTRAST FRAGMENTS IN THE WOUNDED AFTER BURNT INJURIES

Introduction. ***Since the injury often occurs not only with radiopaque fragments and bullets, the diagnosis of the position of foreign bodies in the wound channel or the patient's cavity is complicated. In the conditions of modern conflict, new types of weapons and striking projectiles are used, and new materials, in particular modifications of plastic, are increasingly used as bullets, projectile shells, and offensive and defensive grenades. Cases of splinter damage to soft tissues by plastic and glass elements are increasingly common. Plastic, getting into the human body's soft tissues, has the properties of the cores of bursting bullets, significantly increasing the size of the pulsating cavity of the wound channel. At the same time, the ability of plastic and glass to shatter in the body may require opening wounds to treat and remove these foreign objects, increasing the trauma and prolonging the rehabilitation period of patients. Searching for a fragment, especially a non-radiocontrast one, in the wound channel is often difficult and long, which is associated with its insufficient visualization, a change in the normal anatomy in gunshot wounds, and the difficulty of the surgical search. Therefore, the search for simple and reliable means of diagnosing foreign objects in the patient's body (without the use of X-ray machines) in the field is an urgent and***

extremely important task today, the solution of which can save the lives and health of thousands of wounded.

C o n c l u s i o n s . ***The article describes the prerequisites for the development of a new method of diagnosing the presence of extraneous non-contrast fragments in a patient's wound through direct contact. The use of the noise emission effect is described for the detection of fragments. Due to the difference in noise, it is possible to tactilely diagnose the location of the fragment. After experimenting with the biological model, it was possible to record the dependence of the amplitude and base frequency of oscillations depending on the position of the fragment and its size in the wound channel. The article also provides an example of an effective pain relief scheme when searching for fragments.***

K e y w o r d s : ***prerequisite, development, device, detection, debris, gunshot wounds.***

Автори В. Черняк та К. Карпенк заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors V. Chernyak and K. Karpenko declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.