

УДК 616-001.45-07:616-073.75

DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.18.3.2022.1491>

Лурін І.А.¹, Бойко В.В.^{2,6}, Гуменюк К.В.³, Замятін П.М.^{2,6}, Хорошун Е.М.⁴, Михайлов І.Ф.⁵, Батурін О.А.⁵, Негодуйко В.В.⁴, Замятін Д.П.⁶, Тертишний С.М.⁷

¹ Національна академія медичних наук України, м. Київ, Україна

² ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В.Т. Зайцева НАМН України», м. Харків, Україна

³ Командування Медичних сил Збройних Сил України, м. Київ, Україна

⁴ Військово-медичний клінічний центр Північного регіону МО України, м. Харків, Україна

⁵ Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

⁶ Харківський національний медичний університет МОЗ України, м. Харків, Україна

⁷ Військово-медичний клінічний центр Південного регіону МО України, Одеса, Україна

Показники інтенсивності рентгенофлюоресценції вмісту капсул металевих осколків м'яких тканин у поранених із вибуховою і вогнепальною травмою

Резюме. *Актуальність.* Діагностика металевих осколків у м'яких тканинах пораненого базується на даних огляду, анамнезу, даних рентгенографічних та ультразвукових досліджень, ревізії рани. Помилки в діагностиці та лікуванні вогнепальних поранень обумовлені складністю механізму, поєднаним характером травми і невідповідністю зовні незначних змін тяжким внутрішньопорожнинним й внутрішньотканинним пошкодженням. Однією з нових технологій для поглиблення наукових знань є сучасний метод рентгенівської дифрактометрії за допомогою рентгенівського фазового аналізу, що ефективно застосовується при дослідженні металів. З огляду на металевий склад більшості остаточних осколків вибухового і вогнепального генезу та можливу дифузю елементів металу в оточуючу капсулу, цей метод адаптовано та застосовано для дослідження капсул металевих осколків вибухового і вогнепального генезу. **Мета дослідження:** визначити та проаналізувати інтенсивність рентгенофлюоресценції вмісту нанодомішок капсул металевих осколків м'яких тканин вибухового й вогнепального генезу. **Матеріали та методи.** Як матеріал для дослідження інтенсивності рентгенофлюоресценції вмісту нанодомішок використовували м'які тканини, видалені хірургічним шляхом разом з інкапсульованим металевим осколком вибухового і вогнепального генезу у 36 поранених в період від 2 місяців до 23 років після поранення, які знаходилися на лікуванні у Військово-медичному клінічному центрі Північного регіону МО України та у ДУ «ІЗНХ ім. В.Т. Зайцева НАМН України». **Результати.** За результатами проведеного дослідження інтенсивності рентгенофлюоресценції вмісту нанодомішок визначено 3 фази капсулювання металевих осколків у м'яких тканинах пораненого на підставі елементних, структурних, клітинних, тканинних та клінічних даних: активних динамічних змін, перехідної фази, нестабільної рівноваги, які відображують основні механізми виникнення ускладнень та їх відсутність у більшості клінічних випадків. **Висновки.** Визначено 3 фази капсулювання металевих осколків у м'яких тканинах поранених на підставі елементних, структурних, клітинних, тканинних та клінічних даних: активних динамічних змін, перехідної фази, нестабільної рівноваги, які відображують основні механізми виникнення ускладнень та їх відсутність у більшості клінічних випадків.

Ключові слова: м'які тканини; металеві осколки; вибухова і вогнепальна травма; нанодомішки; інтенсивність рентгенофлюоресценції

© «Медицина невідкладних станів» / «Emergency Medicine» («Medicina neotložnyh sostoànij»), 2022

© Видавець Заславський О.Ю. / Publisher Zaslavsky O.Yu., 2022

Для кореспонденції: Замятін Петро Миколайович, доктор медичних наук, професор, завідувач відділу комплексного програмування і розвитку невідкладної хірургії та захисту інтелектуальної власності, ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії ім. В.Т. Зайцева НАМН України», в'їзд Балакірева, 1, м. Харків, 61103, Україна; e-mail: petrziatiatin@gmail.com; контактний тел.: +38 (050) 301 78 88.

For correspondence: Petro Zamyatyn, MD, PhD, Professor, Head of the Department of Integrated Programming and Development of Emergency Surgery and Intellectual Property Protection, SI "Zaycev V.T. Institute of general and urgent surgery National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Balakireva Entrance, 1, Kharkiv, 61103, Ukraine; e-mail: petrziatiatin@gmail.com; contact phone: +38 (050) 301 78 88.

Full list of authors information is available at the end of the article.

Вступ

Діагностика металевих осколків у м'яких тканинах пораненого базується на даних огляду, анамнезу, даних рентгенографічних та ультразвукових досліджень, ревізії рани [1, 2]. Частина авторів вважає діагностику та видалення металевих осколків м'яких тканин справою нескладною [3]. Не всі методи дозволяють візуалізувати металеві осколки [4].

Слід відзначити, що помилки в діагностиці та лікуванні вогнепальних поранень обумовлені складністю механізму, поєднаним характером травми і невідповідністю зовні незначних змін тяжким внутрішньопорожнинним й внутрішньотканинним пошкодженням [5].

Однією з нових технологій для поглиблення наукових знань є сучасний метод рентгенівської дифрактометрії (XRF) за допомогою рентгенівського фазового аналізу, що ефективно застосовується при дослідженні металів [6]. З огляду на металевий склад більшості остаточних осколків вибухового і вогнепального генезу (до 90 %) та можливу дифузію елементів металу в оточуючу капсулу, нами було прийняте рішення адаптувати та застосувати цей метод для дослідження капсул металевих осколків вибухового й вогнепального генезу [7].

Мета дослідження: визначити та проаналізувати інтенсивність рентгенофлюоресценції вмісту нанодомішок капсул металевих осколків м'яких тканин вибухового і вогнепального генезу.

Матеріали та методи

Як матеріал для дослідження інтенсивності рентгенофлюоресценції вмісту нанодомішок використовували м'які тканини, які були видалені хірургічним шляхом разом з інкапсульованим металевим осколком вибухового і вогнепального генезу у 36 поранених у період від 2 місяців до 23 років після поранення, які знаходилися на лікуванні у Військово-медичному клінічному центрі Північного регіону МО України та у ДУ «ІЗНХ ім. В.Т. Зайцева НАМН України». Видалені фрагменти тканин були представлені фіброзною, жирковою і м'язовою тканиною, місцями з чіткою сформованою капсулою.

Рентгенівську дифрактометрію за допомогою рентгенівського фазового аналізу металевих осколків, що були видалені з м'яких тканин, проводили на дифрактометрі ДРОН-2.0 у кобальтовому Co-K α випромінюванні із застосуванням залізного селективно поглинаючого фільтра. Відбиті від зразка промені реєструвалися сцинтиляційним детектором. Дослідження проводили на базі лабораторії рентгеноспектрального аналізу кафедри фізики металів та напівпровідників ДУ «Національний технічний університет «ХПІ»» (завідуючий кафедрою д.фіз.-мат.н., проф. І.Ф. Михайлов).

Зйомки спектрів рентгенівської флуоресценції проводили на енергодисперсійному спектрометрі «Спрут» (Україна), що подано на рис. 1.

Математичний аналіз видалення металевих осколків проводився із використанням двох методів: математичного моделювання за допомогою двовимірної інтерполяції функції двох змінних поліномами Лагранжа на основі системи комп'ютерної математики Mathcad (15-та версія) і непевного математичного [8, 9].

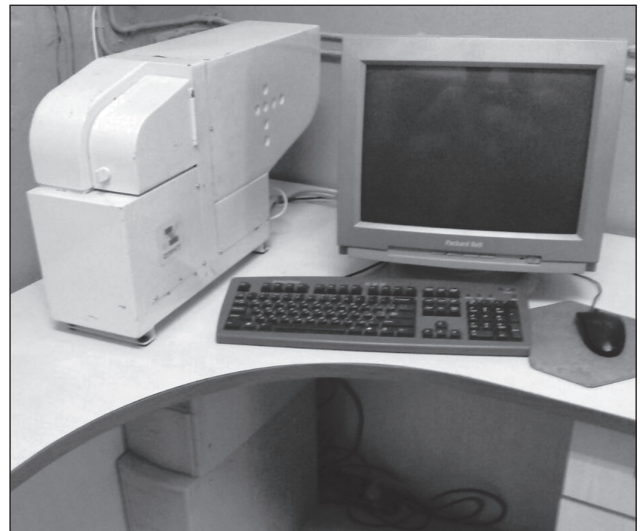


Рисунок 1. Енергодисперсійний спектрометр «Спрут»

Виконували стандартну обробку всіх дифрактограм (відділення фону, виділення K α 1 дублета, апроксимація дифракційних піків функцією псевдо-Фойгта) для отримання характеристик ліній (кут дифракції 2θ , інтегральна інтенсивність I, інтегральна напівширина B, міжплощинна відстань d), необхідних для проведення подальших розрахунків.

Бази досліджених даних формувалися на персональному комп'ютері «Pentium V» [10, 11]. Статистична обробка проводилася з використанням стандартного офісного пакета «Microsoft Office 2013» з додатком пакета «Microsoft Excel» і статистичних програм для медико-біологічних досліджень «Biostatistics», «Statistica 10.0» [12–14].

Результати та обговорення

Дослідження субструктурних характеристик і рівня мікронапруг ϵ -зразків проводили за інтегральною напівшириною ліній методом Вільямсона — Холла. Основна робоча формула методу:

$$\beta = \frac{\lambda}{D \cdot \cos(\theta)} + 4 \cdot \epsilon \cdot \operatorname{tg}(\theta),$$

де β — справжнє фізичне розширення; λ — довжина хвилі випромінювання; D — розмір ОКР; θ — кут дифракції; ϵ — рівень мікрореформацій.

Аналіз проводили за відображенням від сімейства площин. Як еталон для визначення інструментально-го розширення ліній був узятий порошок кремнію Si з розміром частинок ~ 30 мкм. За значеннями інтегральної напівширини ліній еталонного зразка була отримана інструментальна функція, за допомогою якої із загального розширення ліній досліджуваних зразків виділялося справжнє фізичне розширення β .

Відомо, що залізо — основний елемент гемоглобіну, міоглобіну, який забезпечує трофіку, обмінні процеси, сатурацію крові. Заліза більше в м'язовій тканині у зв'язку з наявністю міоглобіну, до складу якого входить залізо. Незважаючи на значне його використання в м'язах через навантаження, його запаси компенсу-

ють втрати при їх функціонуванні. Як досліджуваний матеріал використовувались металеві осколки, які знаходилися в тканинах упродовж різного терміну; незмінені м'які тканини (для контролю); капсули металевих осколків, видалені з м'яких тканин. Після попередньої мікроскопічної оцінки досліджуваний біологічний матеріал витягувався з парафінових блоків, пройшовши парафінову проводку за методикою, прийнятою в патологоанатомічній практиці [15–19], поміщався на плівці ULTRALENE товщиною 4 мкм в робочу камеру спектрометра. Час набору спектра 300 або 600 секунд. Необхідні розміри матеріалу для дослідження від 5×5 до 10×10 мм, у більшості випадків від 5 до 7 мм у найбільшому вимірі. Мікроскопія матеріалу дозволяла упевнитися у дослідженні необхідних тканин [20].

Вивчення процесів окиснення сторонніх домішок у тканинах людини проведено методом рентгенівської дифрактометрії за допомогою рентгенівського фазового аналізу. Цей метод є загально визнаним для структурної атестації зразків і спирається на міжнародну базу даних ASTM (American Society of Testing Materials). Суть методу полягає в тому, що спрямований на зразок монохроматичний пучок рентгенівського випромінювання λ відбивається під різними кутами θ , відповідно до рівняння

$$2d_i \cdot \sin\theta_i = \lambda,$$

де d_i — відстань між атомними площинами досліджуваного зразка.

На спектрі рентгенівської дифракції вимірювали положення всіх дифракційних піків і за ними обчислювали відповідні міжплощинні відстані. Отриманий набір значень досліджуваного зразка зіставляли з базою даних і проводили ідентифікацію всіх його фаз. Основні труднощі структурної атестації домішок у біологічних об'єктах були пов'язані із надзвичайно низьким їх вмістом. Тому для отримання структурних відображень, які можна виявити в спектрі дифракції, застосовували дуже потужні рентгенівські пучки, наприклад синхротронне випромінювання [6].

Однак застосування потужних пучків обмежене радіаційною й термічною стійкістю досліджуваного матеріалу й загрожує руйнуванням біологічного об'єкта під пучком.

Тому завданням даної розробки була модернізація методу рентгенівської дифракції для забезпечення можливості дослідження інтенсивності рентгенофлуоресцентного аналізу нанодомішок у біологічних тканинах.

Для цього використовували оригінальну схему з вторинним випромінювачем зі скандію, калію й хлору [7], яку наведено на рис. 2.

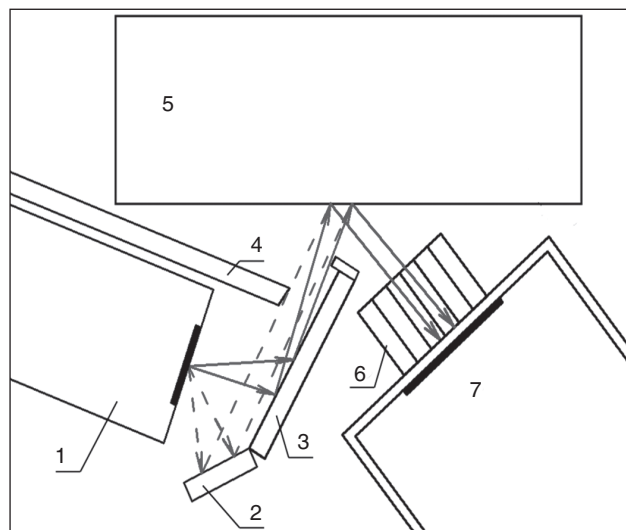


Рисунок 2. Схема вимірювання з вторинними випромінювачами: 1 — рентгенівська трубка; 2 — випромінювач KCl; 3 — випромінювач Sc; 4 — захисний екран; 5 — досліджуваний зразок; 6 — колімація; 7 — детектор

Слід підкреслити, що колімаційна система налаштована на пропускання діапазону кутів дифракції $\theta = 58 \pm 3$ для випромінювання скандію, і $\theta = 54 \pm 3$ для калію й хлору.

Сканування за кутом розсіювання здійснюється за схемою θ - θ за рахунок переміщення зразка у вертикальному напрямку. Оскільки діапазон зміни кута θ вельми обмежений технічно, для охоплення більшого діапазону d_{hkl} (діапазону виявлення нових фаз) зразок опромінюють випромінюванням з різними довжинами хвиль λ_1, λ_2 тощо.

У рамках проведених нами досліджень використовували випромінювання $Cl-K\alpha$ ($\lambda = 4,729$ Å), $Cl-K\beta$ ($\lambda = 4,403$ Å), $K-K\alpha$ ($\lambda = 3,742$ Å), $K-K\beta$ ($\lambda = 3,454$ Å), $Sc-K\alpha$ ($\lambda = 3,032$ Å), $Sc-K\beta$ ($\lambda = 2,78$ Å).

Для кожної аналітичної лінії вторинного випромінювача при такому скануванні виходить ділянка спектра в певному діапазоні міжплощинних відстаней.

Дані наведено у табл. 1.

Будь-яке структурне відображення зразка, яке потрапляє всередину діапазону $d_{\min} \div d_{\max}$, дає посилення відповідної лінії вторинного випромінювача.

Для ідентифікації структурних відображень у кожному діапазоні наноситься штрих-діаграма з бази даних. Показники отриманої бази даних наведено у табл. 2.

Відповідно до даних табл. 2 при скануванні зразка неокисненого α -Fe виявлено посилення тільки ліній

Таблиця 1. Діапазони значень міжплощинних відстаней для відображень, що реєструються в різних довжинах хвиль випромінювань вторинних випромінювачів

| | Cl-K α | Cl-K β | K-K α | K-K β | Sc-K α | Sc-K β |
|----------------|---------------|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| λ , Å | 4,728 | 4,408 | 3,742 | 3,454 | 3,031 | 2,780 |
| d_{\min} , Å | 2,421 | 2,257 | 1,916 | 1,770 | 1,557 | 1,430 |
| d_{\max} , Å | 2,906 | 2,710 | 2,300 | 2,120 | 1,787 | 1,640 |

K-K β і Sc-K β вторинних випромінювачів, а всі інші лінії залишилися без зміни.

Зразок нижчого оксиду FeO дає при скануванні посилення ліній Cl-K α і Cl-K β , але найбільше посилення спостерігається на лініях K-K α ($I = 100$) і Sc-K β ($I = 63$). При цьому лінії K-K β і Sc-K α залишаються без змін.

Зразок вищого оксиду Fe₂O₃ дає при скануванні посилення всіх ліній вторинних випромінювачів, хоча найменший ефект повинен спостерігатися на лінії K-K α ($I = 18$).

Таким чином, аналізуючи спектри дифракції різних ліній вторинних випромінювачів, можна спостерігати перехід від чистого заліза до нижчого і, нарешті, до вищого оксиду.

Як еталони були обрані порошки оксидів FeO і Fe₂O₃, а також однофазний зразок α -Fe. Оскільки нижчий оксид FeO є нестабільним і легко окиснюється до Fe₃O₄ навіть при кімнатній температурі, ми провели його структурну атестацію за стандартною методикою рентгенофазового аналізу на рентгенівському дифрактометрі. На рентгенівській дифрактограмі еталона FeO (рис. 3) поряд з відбитками від кристалічної решітки FeO спостерігаються досить інтенсивні відображення Fe₃O₄ (окис-закис заліза).

Кількісний фазовий аналіз дає співвідношення 60/40 між кількостями цих фаз в ідеалі FeO. Інші зразки, α -Fe і Fe₂O₃, виявилися практично однофазними (рис. 4).

Висока інтенсивність флюоресценції елементів важких металів відповідає не тільки їх фізіологічній активності, але й масовій частці їх вмісту в м'язовій тканині.

Інтегральна інтенсивність ліній флюоресценції елементів тканин капсули металевих осколків, залежно від глибини їх розташування й часу після поранення, була різноманітною.

Слід зазначити, що кількість важких елементів інтенсивно визначається через 3, 10, 24 місяці і 23 роки, кратно 5, навіть найінтенсивніше через 10 місяців — 10 хімічних елементів. Виявлена нами тенденція була охарактеризована як «біологічна адаптація організму». Найбільш схильним до впливу є хлор з постійною змінною спектра флюоресценції від 3 до 23 років. Найбільш стійкі до впливу з боку організму кремній, сірка, фосфор, кальцій, мідь, свинець.

Необхідно нагадати, що хлор входить до складу плазми крові й цитоплазми клітин, забезпечуючи фізіологічну стабільність плазмового складу і міне-

Таблиця 2. База даних оксидів заліза відповідно до ASTM і діапазонів пропускання вторинних випромінювачів

| | α -Fe | | FeO | | Fe ₃ O ₄ | | Fe ₂ O ₃ | |
|------------------------------|--------------|-----|------|-----|--------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
| | d, Å | I | d, Å | I | d, Å | I | d, Å | I |
| Cl-K α 2,421–2,906 | – | – | 2,47 | 50 | 2,53 2,42 | 100 11 | 2,69 2,51 | 100 75 |
| Cl-K β 2,257–2,710 | – | – | 2,47 | 50 | 2,53 2,42 | 100 11 | 2,69 2,51 | 100 75 |
| K-K α 1,916–2,300 | 2,02 | 100 | 2,14 | 100 | 2,10 | 32 | 2,20 | 18 |
| K-K β 1,77–2,12 | 2,02 | 100 | – | – | 2,10 | 32 | 1,84 | 63 |
| Sc-K α 1,557–1,787 | – | – | – | – | 1,71 1,61 | 16 64 | 1,69 1,60 | 63 13 |
| Sc-K β 1,430–1,640 | 1,428 | 15 | 1,51 | 63 | 1,61 1,48 | 64 80 | 1,485 1,452 | 50 50 |

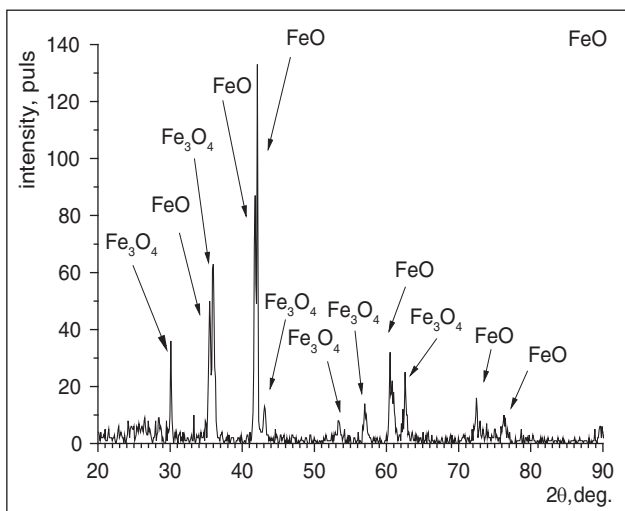


Рисунок 3. Рентгенівська дифрактограма еталона FeO

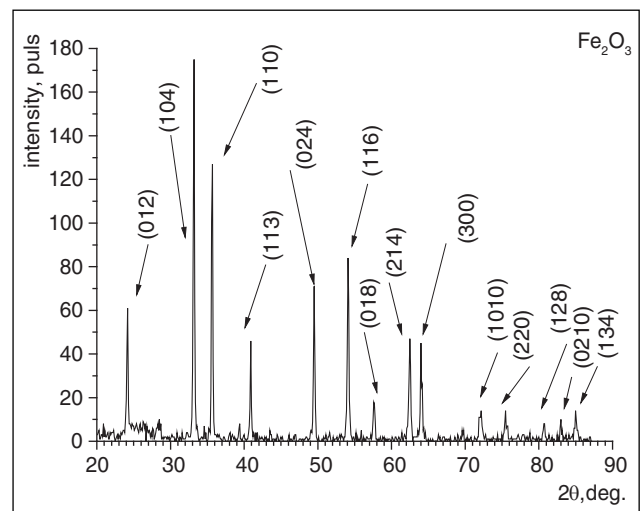


Рисунок 4. Рентгенівська дифрактограма еталона Fe₂O₃

рального обміну. Разом з натрієм концентрація хлору в тканинах повинна бути стабільною, обумовлюючи основу життєзабезпечення організму.

Кальцій, крім багатьох інших функцій, як структурний компонент кісткової системи та зубів, бере участь в м'язовому скороченні. Інтенсивність його використання більша в м'язовій тканині, а вміст менший у жировій тканині.

Залізо — основний елемент гемоглобіну, міоглобіну, забезпечує трофіку, обмінні процеси, сатурацію крові. Заліза більше в м'язовій тканині у зв'язку з наявністю міоглобіну, до складу якого входить залізо. Незважаючи на значне його використання в м'язах через навантаження, його запаси компенсують втрати при їх функціонуванні.

Магній забезпечує стійкість нервової системи і її регуляцію в усіх тканинах і м'язовій діяльності, що обумовлює його концентрацію в мінеральному обміні організму.

Індекс співвідношення кальцію і фосфору — інтегральний показник засвоюваності кальцію. Останній краще й у великих концентраціях засвоюється в м'язах в присутності фосфору, більше того, це обов'язкова умова. Зрозуміло, що робота м'язової тканини залежить від поєднання цих двох мікроелементів, й індекс включення кальцію в роботу скелетних і серцевого м'язів повинен бути більшим.

Елементний склад видалених металевих осколків ($n = 13$) надано в табл. 3.

Таблиця 3. Видалені сторонні тіла

| Елемент, $n = 11$ | Металевий осколок, % маси |
|-------------------|---------------------------|
| Вуглець | $3,33 \pm 0,50$ |
| Алюміній | $0,22 \pm 0,03$ |
| Кремній | $1,35 \pm 0,10$ |
| Фосфор | $3,5 \pm 0,4$ |
| Сірка | $0,42 \pm 0,06$ |
| Кальцій | $11,15 \pm 0,30$ |
| Титан | $0,07 \pm 0,01$ |
| Ванадій | $0,020 \pm 0,001$ |
| Хром | $0,080 \pm 0,005$ |
| Марганець | $0,07 \pm 0,01$ |
| Залізо | $78,53 \pm 0,62$ |
| Нікель | $0,32 \pm 0,05$ |
| Мідь | $0,94 \pm 0,20$ |

Наше дослідження показало, що за складом металевих осколків основою є чавун. Високі значення концентрації фосфору, сірки і кальцію обумовлені залишками порошу (S, P) й взаємодією з живою тканиною (P, Ca). Співвідношення Ca/P при тривалому знаходженні металевих осколків у капсулі організму близьке до стехіометричного співвідношення для кісткової тканини і плазми крові. Ймовірно, у цьому полягає реакція організму на металеві осколки — вапнування й відокремлення їх від незміненої тканини.

Елементом, найстійкішим до впливу різних організмів чинників, виявився цинк, концентрація якого в м'язовій тканині незначно підвищується тільки через 10 і 23 роки після поранення.

Інтенсивність флуоресценції важких металів у м'яких тканинах залежить від виду тканин й інтенсивності функціонування, концентрації.

Таким чином, окиснення металевих осколків на основі α -Fe в м'яких тканинах пораненого до утворення нижчого оксиду FeO відбувається протягом декількох місяців, тому залишкове неокиснене залізо за структурним відображенням практично не виявляється.

Зі збільшенням часу перебування металевих осколків в м'яких тканинах відбувається перехід до проміжного оксиду Fe_3O_4 і, нарешті, до вищого оксиду Fe_2O_3 . Цей перехід ми називаємо «біологічна адаптація організму», і він триває більше ніж два роки.

При здавленні ділянки м'яза металевим осколком неправильної форми зміни в м'язовій тканині розподіляються нерівномірно, найбільш виражені по лінії зіткнення. Найбільш оптимальними для вилучення ферромагнітних металевих осколків є неодимові магніти з силою магнітного поля 0,4 і 0,5 Тл при силі утримання 4,8 і 5 кг відповідно і часі утримання до 30 хвилин, чого досить для отримання ферромагнітного металевих осколків [21].

Застосований метод цифрової контактної прижиттєвої капілярскопії дозволяє об'єктивізувати зміни, що спостерігаються в живих тканинах [22].

Наведені дані інтегральної інтенсивності флуоресценції хімічних елементів у тканинах у сукупності з морфологічними дослідженнями є підставою до видалення у поранених металевих осколків вибухового і вогнепального генезу разом з капсулою і розкривають одну з основних ланок патогенезу порушення репарації й регенерації сучасних вибухових і вогнепальних ран.

Однак при знаходженні металевих осколків 2 роки і 10 місяців слабке віддзеркалення α -Fe все-таки спостерігається. Це означає, що навіть при мінімальному часі знаходження залізного осколків в тканинах пораненого воно значною мірою перетворюється під впливом середовища організму, а при знаходженні протягом 23 років зникає повністю. Окиснення металевих осколків на основі α -Fe в м'яких тканинах пораненого до утворення нижчого оксиду FeO відбувається протягом декількох місяців, так що залишкове неокиснене залізо за структурним відображенням практично не виявляється. Зі збільшенням часу перебування металевих осколків у м'яких тканинах пораненого відбувається перехід до проміжного оксиду Fe_3O_4 і, нарешті, до вищого оксиду Fe_2O_3 (біологічна адаптація організму).

На підставі сучасного методу рентгенівської дифрактометрії за допомогою рентгенівського фазового аналізу встановлено найбільші зміни мікроелементів, за якими стає помітним, що важкі метали в м'яких тканинах пораненого розщеплюються найбільш пізно, але з них можна виділити найбільш стійкі до захисних хімічних процесів організму — це мідь, цинк, свинець

(перша група), які тільки через 10 і 24 місяці після поранення двічі змінюють свою концентрацію.

Друга група хімічних важких елементів включає хром, магній і залізо, які двічі суттєво змінюють концентрацію через 10 місяців і 23 роки.

Третя група включає неважкі хімічні елементи, які підвищують функціональну активність через 23 роки, — це сірка, хлор і калій, які відіграють величезну роль в адаптації, структурі та функції клітин.

Висновки

За результатами проведеного аналізу визначено 3 фази капсулювання й носійства металевих осколків у м'яких тканинах пораненого на підставі елементних, структурних, клітинних, тканинних та клінічних даних: 1) активних динамічних змін; 2) перехідна фаза; 3) фаза нестабільної рівноваги, які відображують основні механізми виникнення ускладнень та їх відсутність у більшості клінічних випадків.

При дослідженні інтенсивності рентгенофлюоресценції встановлено, що окиснення металевих осколків на основі α -Fe в м'яких тканинах пораненого до утворення нижчого оксиду FeO відбувається протягом декількох місяців таким чином, що залишкове неокиснене залізо за структурним відображенням практично не виявляється. При збільшенні часу перебування металевих осколків у м'яких тканинах пораненого відбувається перехід до проміжного оксиду Fe_3O_4 і, нарешті, до вищого оксиду Fe_2O_3 , який триває більше ніж два роки і означений нами як «біологічна адаптація організму».

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Герасименко О.С., Джауаді Ф., Єнін Р.В., Каштальян М.А., Тертишний С.В. Нові напрямки в лікуванні вогнепальних ран. *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2017. Вип. 48. С. 360-366. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/prvoz_d_2017_48_56.
2. Гетьман В.Г., Сафонов В.Є., Кравченко К.В. та ін. Стронні тіла грудної клітки після бойової травми. *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2017. Вип. 48. С. 78-81.
3. Бойко В.В., Лісовий В.М., Макаров В.В. та ін. Обрані лекції з військово-польової хірургії. Харків: НТМТ, 2018. 212 с.
4. Шармазанова О.П., Бортний М.О., Волковська О.В., Оборіна Н.О. Визначення діагностичної ефективності сучасних методів візуалізації. *Українські медичні вісті*. 2011. Т. 9. № 1-4(72-75). С. 305-309.
5. Бойко В., Замятин П., Дубровина Н., Замятин Д. *Применение статистических моделей при прогнозировании исхода у пострадавших при тяжелой травме*. *Клінічна хірургія*. 2014. № 2. С. 39-44.
6. Михайлов И.Ф., Батурич А.А., Михайлов А.И. *Рентгеновские методы анализа состава материалов*. Харків: Підручник НТУ ХПІ, 2015. 204 с.
7. Михайлов И.Ф., Батурич О.А., Михайлов А.И., винахідники. *Способ определения вмісту вуглецю в сталі*. Патент України № 98040. 2015 квіт. 10.

8. Бойко В.В. и др. *Анализ клинических данных в медицинских исследованиях на основе методов вычислительного интеллекта*. Харків: Ексклюзив, 2008. 121 с.

9. Biecek P. *Analiza danych z programem R*. Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2012. 320 s.

10. *Informatyka medyczna*. Pod red. R. Rudowskiego. Warszawa: Wydawnictwo naukowe PWN, 2012. 250 s.

11. Roterman-Konieczna I. *Elementy informatyki medycznej*. Krakow: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2011. 202 s.

12. Kozak K. *Large Scale Data Handling in Biology*. Ventus Publishing Aps, United Kingdom. University of Essex, 2010. 53 p.

13. Pallaniappan R. *Biological Signal Analysis*. Ventus Publishing Aps, United Kingdom. University of Essex, 2010. 138 p.

14. Roterman-Konieczna I. *Statystyka na recepte*. Wprowadzenie do statystyki medycznej. Krakow: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, 2010. 262 s.

15. Бойко В.В., Замятин П.Н., Негодуйко В.В., Невзоров В.П., Невзорова О.Ф. Динамика измененной субмикроскопической организации плазматических мембран из капсулы, окружающей огнестрельный осколок в скелетных мышцах. *Клінічна анатомія та оперативна хірургія*. 2017. Т. 16. № 2(60). С. 113-5.

16. Замятин П.Н., Негодуйко В.В., Невзоров В.П. Динаміка змін ультраструктури ендотеліоцитів кровоносних капілярів в області локалізації вогнепального осколку в скелетних м'язах. *Мат-ли I Міжнар. наук.-практ. конф. «Ліки — людині. Сучасні проблеми фармакотерапії і призначення лікарських засобів»*. Харків: НФаУ, 2017. С. 122-123.

17. Замятин П.Н., Негодуйко В.В., Невзоров В.П. Динаміка измененной ультраструктурной организации миосимпласмов в мягких тканях при наличии инородного металлического тела огнестрельного происхождения. *Експериментальна і клінічна медицина*. 2017. № 1 (74). С. 103-9.

18. Замятин П.Н., Негодуйко В.В., Невзоров В.П., Невзорова О.Ф. Изучение ультраструктуры макрофагов из капсулы, окружающей огнестрельный осколок, в скелетных мышцах в эксперименте на кролях. *Експериментальна і клінічна медицина*. 2017. № 2 (75). С. 12-6.

19. Замятин П.Н., Негодуйко В.В., Невзоров В.П., Невзорова О.Ф. Ультраструктура фибробластов капсулы, окружающей огнестрельный осколок в скелетных мышцах. *Харківська хірургічна школа*. 2017. № 3-4 (84-85). С. 8-12.

20. Жуков В.І., Моїсєнко А.С., Наконечна О.А., Стеценко С.О., Васильєва І.М., Гонкалов В.Г. та ін. *Інформативні показники в діагностиці і моніторингу захворювань (навчальний посібник)*. Харків: ХНМУ, 2019. 396 с.

21. Михайлулов Р.М., Негодуйко В.В., Біленький В.А., Замятин П.М., Ромаєв С.М., винахідники; Харківська медична академія післядипломної освіти, патентовласник. *Способ диагностики наявності та уточнення локалізації сторонніх тіл у м'яких тканинах вогнепального походження*. Патент України № 104193. 2016 січ. 12.

22. Михайлулов Р.М., Негодуйко В.В., Біленький В.А., Замятин П.М., Ромаєв С.М., винахідники; Харківська медична академія післядипломної освіти, патентовласник. *Способ проведения обстеження поранених з вогнепальними пораненнями м'яких тканин*. Патент України № 107053. 2016 трав. 25.

Отримано/Received 06.01.2022

Рецензовано/Revised 15.01.2022

Прийнято до друку/Accepted 16.01.2022 ■

Information about authors

Lurin I.A., MD, PhD, Academician, Vice President of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Boyko V.V., MD, PhD, Academician, Director of the State Institution "Zaycev V.T. Institute of general and urgent surgery National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Zamyatin P.M., MD, PhD, Professor, Head of the Department of Integrated Programming and Development of Emergency Surgery and Intellectual Property Protection, SI "Zaycev V.T. Institute of general and urgent surgery National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

Khoroshun E.M., PhD, Colonel of the Medical Service, Head of the Military Medical Clinical Center of the Northern Region of the Ministry of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

Mikhailov I.F., Professor, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Physics of Metals and Semiconductors NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine

Baturin O.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Physics of Metals and Semiconductors NTU "KhPI", Kharkiv, Ukraine

Negoduyko V.V., Colonel of the Medical Service, MD, PhD, Head of the Clinic of Emergency Medical Care, Admission and Evacuation of the Military Medical Clinical Center of the Northern Region of the Ministry of Internal Affairs, Kharkiv, Ukraine

Tertyshny S.M., PhD, Head of the Department of Surgical Infections of the Military Medical Clinical Center of the Southern Region of the Ministry of Internal Affairs, Colonel of the Medical Service, Odesa, Ukraine

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

I.A. Lurin¹, V.V. Boyko^{2,6}, K.V. Gumeniuk³, P.M. Zamyatin^{2,6}, E.M. Khoroshun⁴, I.F. Mikhailov⁵,

O.A. Baturin⁵, V.V. Negoduyko⁴, D.P. Zamiatin⁶, C.M. Tertyshny⁷

¹ National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

² SI "Zaycev V.T. Institute of general and urgent surgery National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

³ Command of the Medical Forces of the Armed Forces of Ukraine, Kyiv

⁴ Military Medical Clinical Center of the Northern Region of the Ministry of Defense of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

⁵ National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

⁶ Kharkiv National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

⁷ Military Medical Clinical Center of the Southern Region of the Ministry of Defense of Ukraine, Odesa, Ukraine

Indicators of X-ray fluorescent intensity in the content of captules of metal fragiles of soft tissues in injuries with explosive and fire-fire

Abstract. Background. Diagnosis of metal fragments in the soft tissues of the wounded is based on examination, history, data of radiographic and ultrasound examinations, wound revision. Errors in the diagnosis and treatment of gunshot wounds are due to the complexity of the mechanism, the combined nature of the injury and the inconsistency of seemingly minor changes in severe intracavitary and intratissue damage. One of the new technologies for deepening scientific knowledge is a modern method of X-ray diffractometry using X-ray phase analysis, which is effectively used in the study of metals. Taking into account the metal composition of most final metal fragments of explosive and refractory genesis and the possible diffusion of metal elements into the surrounding capsule, this method is adapted and used to study capsules of metal fragments of explosive and refractory genesis. The purpose of the study: to determine and analyze the intensity of X-ray fluorescence of the contents of the nano-impurities of capsules of metal fragments of soft tissues of explosive and refractory genesis. **Materials and methods.** As a material for the study of X-ray fluorescence intensity of the nano-impurity content, soft tissues removed surgi-

cally together with an encapsulated metal fragment of explosive and fire-fighting genesis were used in 36 wounded in the period from 2 months to 23 years after wounding in a military medical clinic. The center of the Northern region of the Ministry of Defense of Ukraine and the State Institution "IZNH them. V.T. Zaitseva National Academy of Medical Sciences of Ukraine". **Results.** According to the results of the study of the intensity of X-ray fluorescence of nano-impurities, 3 phases of encapsulation of metal fragments in the soft tissues of the wounded were determined on the basis of elemental, structural, cellular, tissue and clinical data: active dynamic changes, transient phase, unstable equilibrium their absence in most clinical cases. **Conclusions.** 3 phases of encapsulation of metal fragments in soft tissues of wounded were determined on the basis of elemental, structural, cellular, tissue and clinical data: active dynamic changes, transitional phase, unstable balance, which reflect the main mechanisms of complications and their absence in most clinical cases.

Keywords: soft tissues; metal fragments; explosive and gunshot wounds; nano-impurities; X-ray fluorescence intensity