

УДК 616.12-005.4-001.5-089

DOI: <http://doi.org/10.31928/3083-7111-2026.1.5059>**В.В. Лазоришинець<sup>1</sup>, Р.М. Вітовський<sup>1, 2</sup>, Н.М. Верич<sup>1</sup>, А.Р. Вітовський<sup>1</sup>,  
М.С. Іщенко<sup>1</sup>, В.Ф. Оніщенко<sup>1, 2</sup>**<sup>1</sup> ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова НАМН України», Київ<sup>2</sup> Національний університет охорони здоров'я України імені П.Л. Шупика, Україна

## Уламкова емболія в некоронарний синус Вальсальви після вибухової травми: механізми міграції та гемодинамічні передумови

ВИПАДОК  
ІЗ ПРАКТИКИ

Мінно-вибухові поранення посідають провідне місце в структурі бойової травми та часто супроводжуються ушкодженнями грудної клітки. Частота ураження серця й магістральних судин при вибухових пораненнях може досягати 10–40 % усіх випадків тяжкої торакальної травми, тоді як уламкова емболія фіксується поодинокі. Ще рідкіснішими є випадки потрапляння сторонніх тіл у синуси Вальсальви, зокрема некоронарний, що зумовлює високий клінічний інтерес до подібних спостережень.

**Мета роботи** – представити унікальний клінічний випадок уламкової емболії некоронарного синуса Вальсальви після мінно-вибухового поранення грудної клітки та проаналізувати ймовірний механізм міграції уламка з легеневої судини у порожнину синуса з огляду на сучасні уявлення про гемодинаміку кореня аорти.

**Матеріали і методи.** Військовослужбовець, 40 років, із вогнепальним осколковим пораненням грудної клітки та нижньої кінцівки, множинними уламками в легенях і плевральній порожнині, був госпіталізований після поетапної евакуації та лікування. Первинний скринінг – рентгенографія й ехокардіографія. Ключовим методом стала багатофазна комп'ютерна томографія (КТ) з контрастним підсиленням та ЕКГ-синхронізацією за трирівневим протоколом (нативна КТ грудної клітки, КТ серця, контрастна КТ-ангіографія грудної клітки), що дало змогу уточнити локалізацію уламка в ділянці некоронарного синуса Вальсальви та оцінити стан аорти. Надалі виконано хірургічне втручання в умовах штучного кровообігу.

**Результати.** Під час операції виявлено металевий уламок 3 × 4 мм, вільно розташований у порожнині некоронарного синуса Вальсальви, повністю покритий фібрином, без ознак пенетрації або перфорації стінки аорти; перикард і міокард – без травматичних ушкоджень. Уламок видалено за допомогою неодимового магніту, аортальний корінь не потребував реконструкції. Післяопераційний період був без ускладнень, пацієнт успішно реабілітований. Аналіз часової динаміки КТ-досліджень дав змогу реконструювати шлях міграції: легенева тканина/судини → легенева вена → ліве передсердя → лівий шлуночок → висхідна аорта з осіданням у зоні стійких рециркуляційних потоків некоронарного синуса.

**Висновки.** Випадок демонструє вкрай рідкісну форму емболії некоронарного синуса Вальсальви без пенетрації аорти. Фіксація уламка сприяли гемодинамічні зони рециркуляції та фібринове покриття, що імітувало внутрішньомуральне розташування при КТ. Багатофазна ЕКГ-синхронізована КТ та магнітне видалення фрагмента в умовах штучного кровообігу є ефективними для діагностики й лікування подібних ускладнень, що підкреслює важливість мультидисциплінарного підходу при мінно-вибуховій торакальній травмі.

**Ключові слова:** мінно-вибухова травма, міграція уламка, уламкова емболія, некоронарний синус Вальсальви, гемодинаміка кореня аорти, магнітна екстракція неодимовим магнітом, бойова торакальна травма

Вітовський Ростислав Мирославович – д. мед. н., проф., зав. відділу хірургічного лікування поліорганної патології та кардіохірургії ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова НАМН України»; проф. кафедри хірургії серця та магістральних судин НУОЗ України імені П.Л. Шупика  
ORCID ID: 0000-0001-5318-6708  
E-mail: rostislavv1962@gmail.com

Стаття надійшла: 25.12.2025

Прийнята після рецензування: 11.02.2026

Опублікована: 01.04.2026

Vitovskyi Rostyslav Myroslavovych, MD, PhD, Head of the Department of Multiple Organ Failure and Obstetric Cardiosurgery N.M. Amosov National Institute of Cardio-Vascular Surgery of the NAMS of Ukraine; Prof of the Department of Cardiac Surgery of Shupyk National Healthcare University of Ukraine  
ORCID ID: 0000-0001-5318-6708  
E-mail: rostislavv1962@gmail.com

Received on: 25.12.2025

Accepted after review: 11.02.2026

Published: 01.04.2026

**М**інно-вибухові поранення посідають провідне місце серед бойових уражень у сучасних збройних конфліктах і супроводжуються високою частотою ураження грудної клітки. За даними аналізу бойових та терористичних вибухів, травми грудної клітки реєструють приблизно у 10–30 % поранених, а в деяких публікаціях – до 50–70 %, залежно від типу вибухового пристрою та умов ураження [1–3]. Більшість таких ушкоджень мають уламковий характер та поєднуються з травмами інших анатомічних ділянок.

У структурі бойових хірургічних травм поранення грудної клітки становлять від 8,3 до 15,9 %, причому 80,1 % із них є непроникними, а 19,9 % – проникними. Серед випадків проникних ушкоджень у 11,2–20,3 % виявляють травми внутрішніх органів, з яких 10,6–15,1 % становлять ураження перикарда, серця та магістральних судин [4–6]. За деякими джерелами, частота ураження серця та магістральних судин при вибуховій травмі може становити 10–40 % серед пацієнтів із тяжкими пораненнями грудної клітки, тоді як емболія уламками реєструється у поодиноких випадках [7].

Особливу небезпеку становлять мігрувальні уламки, які, потрапивши у судинне русло, спричиняють розвиток травматичної емболії з непередбачуваною локалізацією. На відміну від тромбоемболії, міграція кульових або металевих фрагментів характеризується більш хаотичною траєкторією та може тривалий час залишатися клінічно прихованою. Сучасні огляди підтверджують, що емболія кулями або уламками до камер серця, легеневої або системної циркуляції залишається надзвичайно рідкісною, але потенційно фатальною патологією [8–10].

Ще меншою частотою вирізняються випадки потрапляння сторонніх тіл у синуси Вальсальви, зокрема в некоронарний. Публікації, присвячені патології синусів Вальсальви (тромбоз, аневризми, емболізація), підкреслюють унікальність цієї ділянки як потенційного, але нетипового місця осідання емболів [11, 12].

Синуси Вальсальви є ключовими структурами вихідного тракту лівого шлуночка, забезпечують оптимальну геометрію закриття аортального клапана та формують коронарний кровоплин. Наявність стороннього тіла в цій зоні може спричинити порушення клапанної функції, інфекційні ускладнення, ерозивні зміни стінки аорти або гостру коронарну обструкцію.

Потрапляння уламка розміром 3–5 мм у некоронарний синус Вальсальви без ознак проникного ушкодження аорти є казуїстично рідкісним явищем. В доступній літературі аналогічних випадків ми не виявили. Аналіз таких клінічних ситуацій має високу практичну цінність, оскільки допомагає краще зрозуміти механізми міграції сторонніх тіл із легеневого русла у ліві камери серця та висхідну аорту, а також оптимізувати діагностичні алгоритми надання допомоги пораненим із мінно-вибуховими ураженнями грудної клітки.

**Мета роботи** – представити унікальний клінічний випадок уламкової емболії висхідної аорти з локалізацією в некоронарному синусі Вальсальви в результаті мінно-вибухового поранення грудної клітки та проаналізувати можливий механізм міграції уламка з легневих судин у порожнину синуса з позиції сучасної гемодинаміки.

## Матеріали і методи

Військовослужбовець О., 40 років, був госпіталізований в ДУ «Національний інститут серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова НАМН України» в задовільному стані з діагнозом: стан після вогнепального осколкового поранення (03.06.2025) з проникним пораненням грудної клітки, лівої нижньої кінцівки, множинними уламковими ураженнями лівої плевральної порожнини та м'яких тканин грудної клітки та нижньої кінцівки. Металевий уламок у ділянці між верхньою порожнистою веною та лівим передсердям. Стан після хірургічного втручання на лівій нижній кінцівці – усунення артеріовенозної фістули.

Для первинного скринінгу сторонніх тіл використовували рентгенографію та трансторакальну ехокардіографію. Клінічно вагомим внеском у діагностичний пошук був детальний і послідовний збір анамнезу, який допоміг відтворити хронологію травми, маршрут евакуації та ключові клінічні обставини, що могли впливати на подальшу міграцію та перебіг патологічного процесу.

Окрім стандартного лабораторного обстеження (клінічні, біохімічні аналізи крові та маркери системного запалення), основним методом верифікації локалізації внутрішньосудинного та внутрішньосерцевого уламка, а також оцінки аортальної стінки і кореня аорти, була багатофазна комп'ютерна томографія (КТ) з йодовмісним контрастним під-

силенням та електрокардіографічною синхронізацією.

Дослідження проводили за стандартизованим тривіневим алгоритмом сканування:

1. Нативна (безконтрастна) КТ органів грудної порожнини, що дала змогу ідентифікувати металеві фрагменти, визначити наявність прихованих сторонніх тіл, оцінити стан легеневої паренхіми, а також встановити ознаки гемотораксу, пневмотораксу або місцевого скупчення повітря та рідини.

2. Кардіосинхронізована КТ серця з контрастним підсиленням, виконана у фазу найменших рухів міокарда, що забезпечувало максимальну точність для аналізу структур серця – міокарда, порожнин шлуночків і передсердь, перикарда, клапанного апарату та коронарної анатомії. Особлива увага приділялася просторовій оцінці кореня аорти та його анатомічних взаємовідношень із суміжними структурами середостіння.

3. Контрастна КТ-ангіографія грудної клітки в артеріальну фазу, яка дозволяла комплексно оцінити магістральні артерії, разом з висхідною аортою, її дугою, головними гілками та легневими артеріями, із пошуком дефектів контрастування або інших ознак травми судинної стінки.

Сканування виконували на мультidetекторному томографі Canon Aquilion One Genesis Edition (Canon Medical Systems, Японія) із товщиною детекторного зрізу 0,5 мм (640,0 × 0,5 мм) та часом обертання гентрі 275 мс, у поєднанні з ЕКГ-синхронізацією для мінімізації рухових артефактів.

Постобробку та тривимірні реконструкції зображень виконували сертифіковані рентгенологи на робочій станції Vitrea Advanced (Canon Medical Systems, Японія) із використанням спеціалізованих програм для 3D-реконструкції, векторного аналізу анатомії та сегментації судин.

Завдяки запровадженню цієї методики вдалося з високою точністю визначити:

- топографічну локалізацію уламка;
- його лінійні розміри та об'ємну щільність;
- ступінь взаємодії з прилеглими тканинами;
- рентгенологічну щільність в одиницях Хаунсфілда (HU), що надало можливість не лише верифікувати траєкторію міграції, а й оцінити фізичну природу снарядного фрагмента, зокрема його перебування у зоні, яка не контактувала з основним контрастним кровоплином, що частково пояснювало діагностичну імітацію його внутрішньому-

рального розташування на початкових томограмах.

## Результати

З анамнезу відомо, що на позиції, в результаті скиду з дрона осколкової гранати, 3 червня 2025 р. боєць отримав множинні поранення у ділянку грудної клітки зліва та нижні кінцівки (рис. 1). Усвідомлюючи критичність ситуації, він самостійно наклав турнікети на обидві ноги та зміг дістатися до бліндажа, де перебували ще двоє поранених військовослужбовців. Втрюх залишились на позиції. Упродовж доби бійці проводили чергування та одночасно надавали один одному першу допомогу: виконували тампонування ран, проводили перев'язки, контролювали кровотечу та підтримували життєві функції в умовах відсутності медичного забезпечення.

Через добу групу евакуювали до медичної роти. Нашого бійця класифікували як важкопораненого. Медичний персонал провів первинну стабілізацію стану, здійснив первинну хірургічну обробку ран та встановив дренажі плевральної порожнини, що дозволило розпочати подальший етап лікування. Далі пацієнт був доправлений у м. Дніпро.

7 червня 2025 р. у м. Дніпро пацієнту було проведено рентгенологічне та перше КТ-дослідження грудної клітки. Уламків у серці не виявлено; натомість діагностовано множинні уламкові ураження легень, плевральних структур та м'яких тканин грудної клітки (рис. 2). Після проведення санації ран, корекції дренажів та стабілізації дихання пацієнта переведено для подальшого лікування до Житомирської обласної лікарні.

8 червня 2025 р. у цьому закладі виконано повторне КТ-дослідження. На відміну від попереднього обстеження, у ділянці серця було виявлено сторонній металевий фрагмент, який не ідентифікувався добою раніше. Ймовірно його локалізацією визначено зону стику кореня аорти, верхньої порожнистої вени та лівого передсердя, що створювало підозру на емболізоване стороннє тіло в межах серця або прилеглих структур середостіння. Паралельно пацієнту проводили лікування поранення нижньої кінцівки та виконували комплекс заходів зі стабілізації загально-го стану.

20 червня 2025 р. хворого переведено до Бердичівського госпіталю ветеранів війни, де протягом наступних 2 міс здійснювали щоденні перев'язки, спеціалізовану реабілітацію та

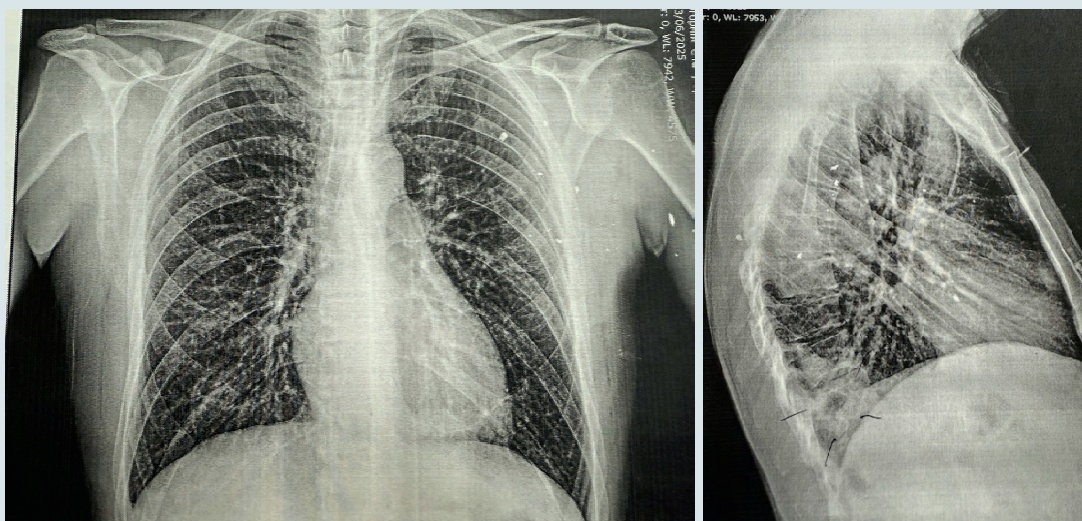


**Рис. 1. Наслідки множинного осколкового ураження грудної клітки та нижньої кінцівки через 3 міс після поранення**

лікування супутніх ушкоджень, разом із раннім відновленням функцій опорно-рухового апарату після вибухової травми. Проводився контроль стану легень та грудної клітки, де виявлена велика кількість дрібних уламків (див. рис. 2).

18 серпня 2025 р. пацієнта переведено до Київського військового госпіталю. Там виконано хірургічне втручання на лівій нижній

кінцівці – усунення артеріовенозної фістули. Після консультації в Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М.М. Амосова, де фахівці дійшли висновку про необхідність видалення уламка з ділянки серця, лікарями військового госпіталю було ухвалено рішення здійснити хірургічне втручання після остаточної стабілізації стану хворого та загоєння післяопераційних ран.



**Рис. 2. Рентгенограма пацієнта від 23.06.2025 р.: численні металеві уламки різного розміру в легеневій тканині та м'яких тканинах грудної клітки**



20 вересня 2025 р. пацієнт у стабільному стані був госпіталізований до НІССХ імені М.М. Амосова. Клінічні та біохімічні аналізи крові відповідали референтним значенням. За даними ехокардіографії уламка в ділянці кореня аорти не виявлено. Даних про порушення функції клапанної системи не виявлено. Чергова КТ-ангіографія з контрастуванням та електрокардіографічною синхронізацією виявила металевий уламок розміром 3–4 мм у ділянці некоронарного синуса Вальсальви (рис. 3). Візуальна картина створювала враження, що фрагмент частково перебуває у товщі стінки аорти, що не дозволяло точно

оцінити ступінь проникнення. З огляду на ризики травми кореня аорти та можливу міграцію стороннього тіла, показання до операції були чіткими.

22 вересня 2025 р. хворому виконано операцію в умовах штучного кровообігу. Анатомічна позиція серця та великих судин відповідала типовій топографії середостіння. Серце мало нормальні розміри, без ознак дилатації чи гіпертрофії камер. Перикардіальна порожнина була сухою, без патологічного вмісту, ознак геморагії чи випоту не відзначено. Внутрішньоперикардіальних зрощень не було, що свідчило про збереження рухливості серця



та відсутність посттравматичних адгезій. Дані інтраопераційної ревізії та томографічні характеристики не вказували на наявність проникного ранового каналу або порушення цілісності перикарда та аортальної стінки, що узгоджувалося з непрямим емболічним, а не пенетрувальним механізмом ураження.

Після відкриття кореня аорти виявлено, що уламок розміром 3 × 4 мм розташований у порожнині некоронарного синуса Вальсальви, вільно лежить у зоні турбулентних потоків і повністю покритий шаром фібрину. Ознак пенетрації чи перфорації стінки аорти не виявлено. Порожнина перикарда була чистою, без геморагічного або серозного вмісту, і не містила слідів травми. Структури серця не мали ушкоджень. Видалення уламка з гострими краями (рис. 4) виконано легко за допомогою неодимового магніту. Додатково проведено ревізію аорти, яка не виявила патологічних змін чи ушкоджень стінки.

Післяопераційний період – без ускладнень. Пацієнт успішно відновився після втручання та продовжив реабілітацію.

## Обговорення

Клінічний випадок демонструє надзвичайно рідкісну, а можливо й унікальну форму травматичної міграції уламка після мінно-вибухового поранення з його подальшим осіданням у некоронарному синусі Вальсальви. На користь саме емболічного, а не проникного механізму свідчить повна відсутність ознак пошкодження стінки аорти, що була підтверджена під час операції: інтактна інтима, відсутність пенетрації чи гематоми, чиста порожнина перикарда та вільно розташований металевий фрагмент, покритий фібрином.

На особливу увагу заслуговує інтерпретація передопераційної КТ-ангіографії. Згідно з даними візуалізації, уламок виглядав частково розташованим у товщі стінки некоронарного синуса, що могло створювати враження про його інтрамуральне залучення. Однак інтраопераційна ревізія показала інший механізм: фрагмент перебував у просвіті синуса, але був повністю вкритий щільним фібриновим нашаруванням. Саме ця фібринова капсула перешкоджала омиванню уламка контрастованою кров'ю, внаслідок чого на КТ створювалося хибне враження відсутності просвітної циркуляції навколо нього та, відповідно, його локалізації в товщі стінки аорти.

Таким чином, поєднання дрібного розміру уламка, складної геометрії синусів Вальсальви та фібринового покриття створило характерний візуальний артефакт, що ускладнив доопераційну діагностику. Подібні діагностичні ситуації описані в літературі у контексті внутрішньосерцевих сторонніх тіл, однак виявлення фрагмента саме у некоронарному синусі Вальсальви робить цей випадок особливо цінним для практичної кардіохірургії та розуміння патофізіології уламкової емболії.

Аналіз часової динаміки візуалізаційних досліджень дає змогу з високим ступенем впевненості реконструювати шлях міграції металевих фрагментів. Первинно уламок, імовірно, локалізувався у легеневої тканині або в одній із дрібних гілок легеневої артерії – це характерно для вибухових уражень із дисперсією численних дрібних частинок. У проміжку між першим (07.06.2025) та другим (08.06.2025) КТ-дослідженням відбулася його транслокація у легеневу вену, що могло статися внаслідок ерозії стінки дрібної судини або проникнення уламка у венозне русло через мікророзриви паренхіми.

Далі уламок перемістився класичним шляхом артеріальної травматичної емболії: легенева вена → ліве передсердя → лівий шлуночок → висхідна аорта. З огляду на його невеликі розміри (3–4 мм), він безперешкодно проходив через мітральний клапан та під час систоли був викинутий у висхідну аорту. Таким чином міграція відбулася природним шляхом без порушення цілісності аортального кореня. Цей механізм повністю відповідає відомим закономірностям переміщення сторонніх тіл у системному кровообігу після проникної вибухової травми. Подібні публікації підтверджують, що міграція сторонніх тіл (наприклад, металевих уламків) у серці та магістральних судинах хоча й рідкісна, але документована, зокрема М.А. Chen та співавтори описують випадок міграції кулі із серця у стегнову артерію [13]. Також в оглядовій статті V. Memmedov та співавтори підкреслюють, що фрагменти уламків у серці можуть залишатись непоміченими протягом періоду перебування в кровообігу, поки не будуть зафіксовані візуалізаційно [14].

Висхідна аорта має складну тривимірну гемодинаміку, що формується протягом кожного серцевого циклу. У фазу систоли лівий шлуночок викидає кров зі швидкістю до ~1,5–2 м/с, створюючи потужний ламінарний струмінь уздовж центральної осі судини. Навколо

нього формуються характерні периферійні зони вихрових течій (vortex rings), які виникають через взаємодію струменя та геометрії синусів Вальсальви.

У ділянці синусів створюються:

- рециркуляційні петлі кровоплину, які існують протягом усієї систоли та початкової діастоли;
- ділянки локально зниженого тиску, що притягують дрібні частинки;
- зони низького зсувного напруження, де турбулентність мінімальна і де можуть тимчасово затримуватися сторонні тіла;
- потоки діастолічного зворотного руху, які замикаються в межах синусів, забезпечуючи розвантаження стулок клапана.

Саме ці фізіологічні особливості, необхідні для оптимальної роботи аортального клапана, створюють умови, у яких дрібний металевий фрагмент може втратити поступальний рух та змінити траєкторію, переходячи з основного потоку в периферійні рециркуляційні зони. Публікації про гемодинаміку кореня аорти й синусів Вальсальви підтверджують обставини формування вихрових потоків у цій ділянці [15, 16, 17].

Некоронарний синус Вальсальви має низку характеристик, що роблять його найбільш вірогідною «гідродинамічною пасткою» для сторонніх тіл:

- він не має коронарного отвору. У правому та лівому синусах існує коронарний відтік, який створює спрямований кровоплин навіть у діастолу. Некоронарний синус такого відтоку не має, тому в ньому утворюється найстабільніша рециркуляційна петля;
- має найвираженішу зону рециркуляції серед трьох синусів;
- отримує частину зворотного потоку під час діастоли внаслідок відтоку крові від стулки клапана, що ще більше знижує швидкість потоку;
- утворює «гідродинамічну пастку» з мінімальним потоком уперед, що підвищує шанс осідання стороннього тіла.

Отже, дрібний уламок, потрапивши у висхідну аорту під час систоли, може пройти такі етапи:

1. Вихід у висхідну аорту з потужним струменем крові.
2. Захоплення периферійним вихровим потоком.
3. Переорієнтація траєкторії у бік некоронарного синуса.
4. Зупинка руху через локальне зниження швидкості крові.

5. «Притискання» до стінки під час діастоли, фіксація гострими краями.

6. Фіксація фібрином.

Інтраопераційна картина – вільно розташований уламок, покритий фібриновими нашаруваннями, без проникнення у стінку синуса – повністю узгоджується з описаним механізмом. Дослідження V. Memmedov та співавторів (2023) також свідчать, що сторонні тіла, які залишаються у серці або прилеглих структурах, часто пов'язані з формуванням фібринових капсул чи розростанням ендотелію навколо них [14].

Факт непомітності фрагмента на початковій КТ-ангіографії має декілька можливих пояснень:

- міграція відбулась після першого обстеження, що узгоджується з тим, що на зображенні (07.06.2025) уламка не виявлено, а (08.06.2025) – виявлено;
- дрібні металеві фрагменти важко візуалізувати на фоні множинних уламків, крові, повітря у плевральній порожнині та дренажних систем;
- особливості фази контрастування та рівня наповнення аорти при першому дослідженні;
- нижча просторово-часова роздільна здатність та відсутність прицільної реконструкції кореня аорти при первинному дослідженні, зосередженому переважно на легенях та середостінні.

Ці пояснення підтримуються оглядовими матеріалами про внутрішньосерцеві сторонні тіла, які підкреслюють діагностичні виклики раннього виявлення уламкових емболій [18, 19, 20].

Представлений випадок має важливе клінічне і наукове значення з кількох причин:

- це один із дуже небагатьох описаних випадків травматичної уламкової емболії саме в некоронарний синус Вальсальви;
- він підтверджує необхідність повторних КТ-досліджень у поранених із високим ризиком міграції уламків, навіть якщо первинне сканування не виявило сторонніх тіл у магістральних судинах;
- він демонструє ефективність магнітної екстракції при локалізації металевих частинок у синусах Вальсальви – метод, який допомагає уникнути складних резекцій або реконструкцій аортального кореня;
- випадок поглиблює розуміння ролі вихрових гемодинамічних структур у затриманні сторонніх тіл у висхідній аорті, що має значення для формування стратегії діа-

гностики та лікування при подібних травмах.

У підсумку цей клінічний випадок не лише демонструє унікальність траєкторії міграції уламка та його фіксації у некоронарному синусі Вальсальви, а й робить вагомий внесок у розуміння механізмів травматичної емболії, ролі аортальної гемодинаміки у затриманні сторонніх тіл та можливостей хірургічної корекції подібних станів при мінно-вибухових пораненнях.

## Висновки

1. Уламкова емболія в некоронарний синус Вальсальви після мінно-вибухового поранення грудної клітки є вкрай рідкісним, але потенційно небезпечним ускладненням, що може бути непоміченим на первинних етапах діагностики.

2. Ймовірний шлях міграції уламка реалізувався як класичний механізм артеріальної травматичної емболії: проникнення стороннього тіла з легеневої паренхіми або дрібних судин у легеневу вену з подальшим надходженням у ліве передсердя, лівий шлуночок і висхідну аорту.

3. Анатомо-гемодинамічні особливості висхідної аорти та синусів Вальсальви, зокрема зони рециркуляції, низького зсувного напруження та вихрові структури потоку, сприяли осіданню уламка саме в некоронарному синусі.

Відсутність коронарного отвору створила умови для стабільної локалізації стороннього тіла.

4. Первинна комп'ютерно-томографічна діагностика може не виявити дрібні сторонні тіла через їхню міграцію, малий розмір та артефакти на фоні множинних осколкових уражень. Це підкреслює важливість повторних досліджень і застосування комп'ютерно-томографічної ангіографії з ЕКГ-синхронізацією в пацієнтів із міграційно небезпечними пораненнями.

5. Хірургічне видалення уламка за допомогою магніту в умовах штучного кровообігу є ефективним і малотравматичним методом, який дає змогу уникнути реконструкцій аортального кореня та мінімізує хірургічні ризики.

6. Представлений випадок розширює сучасне розуміння механізмів уламкової емболії та ролі аортальної гемодинаміки в утриманні сторонніх тіл, що має значущість для формування оптимальних діагностичних алгоритмів і хірургічної тактики при мінно-вибухових пораненнях грудної клітки.

7. Комплексне спостереження пацієнта з багатоетапною евакуацією демонструє важливість міжзакладної наступності та мультидисциплінарного підходу, які забезпечили своєчасне виявлення та успішне усунення загрозливого ускладнення.

Доступність даних:	Data availability:
Дані можуть бути надані за обґрунтованим запитом.	Data can be provided upon reasonable request.
Джерела фінансування:	Sources of funding:
Зовнішні джерела фінансування і підтримки не залучалися. Гонорари або інші види компенсації не виплачувалися	No external sources of funding or support were involved. No fees or other types of compensation were paid.
Конфлікт інтересів:	Conflict of interest:
Конфлікту інтересів немає.	There is no conflict of interest.
Участь авторів:	Authors' participation:
Концепція та дизайн дослідження – В.Л., Р.В., А.В.; збір даних – Р.В., В.О., А.В., Н.В., М.І.; аналіз даних – В.Л., Р.В., В.О., М.І.; критичне рецензування – В.Л., Р.В., В.О., А.В., Н.В., М.І.; написання тексту – Р.В. Усі автори прочитали і схвалили остаточний варіант рукопису. Всі автори дали згоду на публікацію цього рукопису.	Concept and design of the study – V.L., R.V., A.V.; data collection – R.V., V.O., A.V., N.V., M.I.; data analysis – V.L., R.V., V.O., M.I.; critical review – V.L., R.V., V.O., A.V., N.V., M.I.; writing of the text and responsibility for the content – R.V. All authors have read and approved the final version of the manuscript. All authors have given their consent to the publication of this manuscript.
Етичне схвалення:	Ethical approval:
Усі процедури, які виконували в дослідженні із залученням пацієнтів, відповідали етичним стандартам щодо клінічної практики і Гельсінкській декларації 1964 р. з поправками.	All procedures performed in the study involving patients complied with ethical standards for clinical practice and the 1964 Declaration of Helsinki, as amended.
Інформована згода:	Informed consent:
Немає потреби в разі описання клінічного випадку.	Not required in clinical case report.
Подяка:	Gratitude:
Автори статті дякують персоналу клініки та колегам, відповідальним за ведення пацієнта.	The authors of the article thank the clinic staff and colleagues responsible for patient management.

## Література

- Johnston AM, Alderman JE. Thoracic injury in patients injured by explosions on the battlefield and in terrorist incidents. *Chest*. 2020;157(4):888-97. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.09.020>
- Lurin I, Salo V, Radhakrishnan RS, et al. Gunshot lung injury managed by VATS with magnetic tool during the Russia – Ukraine war: a case report. *Int J Emerg Med*. 2023;16:54. <https://doi.org/10.1186/s12245-023-00527-8>
- Feliciano DV, Mattox KL. Penetrating cardiac trauma: current therapy. *Surg Clin North Am*. 2023;103(2):223-35. <https://doi.org/10.1016/j.suc.2022.11.004>
- Hromalik LR Jr, Elci OC, et al. Penetrating cardiac injury: a narrative review. *Mediastinum*. 2023;7:37. <https://doi.org/10.21037/med-22-18>
- Lurin IA, Khoroshun EM, Humeniuk KV, et al. Treatment of wounded with combat chest injuries: A collective monograph. Tsybaliuk, V. I. (Ed.). Ternopil: TNMU, 2023. ISBN 978-966673-470-2. Ukrainian.
- Baker JB, et al. Thoracic trauma in modern conflicts: a narrative update 2022–2024. *BMJ Mil Health*. 2024;170(4):345-53. <https://doi.org/10.1136/military-2023-002345>
- Vitovskiy RM, Gumeniuk KV, Isayenko VV, Vitovskiy AR, Unitska OM, Lazoryshynets VV. Features of diagnosis and surgical treatment of fragment embolism of the right ventricle in mine-blast injuries. *Ukr J Cardiovasc Surg*. 2025;3(56):15-22. [https://doi.org/10.63181/ujcvs.2025.33\(3\).112-121](https://doi.org/10.63181/ujcvs.2025.33(3).112-121)
- Castater C, Noorbakhsh S, Harousseau W, et al. Missing bullets: bullet embolization case series and review of the literature. *Vasc Endovascular Surg*. 2023;57(3):281-4. <https://doi.org/10.1177/15385744221141295>
- Nguyen P, Sirinit J, Milia D, Davis CS. Management of intracardiac bullet embolisation and review of literature. *BMJ Case Rep*. 2022;15:e247252. <https://doi.org/10.1136/bcr-2021-247252>
- Yoon B, Grasso S, Hofmann LJ. Management of Bullet Emboli to the Heart and Great Vessels. *Mil Med*. 2018 Sep 1;183(9-10):e307-e313. <https://doi.org/10.1093/milmed/usx191>
- Syvolap VV, Malakhova EO, et al. Sinus of Valsalva thrombosis: clinical observation. *Zaporizhzhia Med J*. 2018;20(5):701-4. <https://doi.org/10.14739/2310-1210.2018.1.122159>
- Barroso FVC, Sabino H, et al. Ruptured aneurysm of the sinus of Valsalva causing pulmonary embolism. *Clin Case Rep*. 2020;8(4):726-9. <https://doi.org/10.1002/ccr3.3284>
- Chen MA. A Magic Bullet: Bullet Embolism From the Heart to the Femoral Artery. *J Diagnostic Med Sonography*. Jan 2022;38(1):99-102. <https://doi.org/10.1177/87564793211044088>
- Memmedov V, Emrah A, Shahaliyev Z, Ibrahimov J. Intracardiac foreign bodies: Diagnosis and management. *J Clin Med Kaz*. 2023;20(5):68-71. <https://doi.org/10.23950/jcmk/13764>
- Fan J, Sundström E. Vortex dynamics in the sinus of Valsalva. *Bioengineering (Basel)*. 2025;12(3):279. <https://doi.org/10.3390/bioengineering12030279>
- Ramaekers MJFG, Westenbergh JJM, Adriaans BP, et al. A clinician's guide to understanding aortic 4D flow MRI. *Insights Imaging*. 2023;14(1):114. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01458-x>
- Catapano F, Pambianchi G, Cundari G, et al. 4D flow imaging of the thoracic aorta: is there an added clinical value? *Cardiovasc Diagn Ther*. 2020;10(4):10681089. <https://doi.org/10.21037/cdt-20-452>
- Dedouit F, Tuchtan L, Telmon N, et al. The current state of forensic imaging – post-mortem imaging. *Forensic Sci Int*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s00414-025-03461-x>
- McKeown T, Gach HM, et al. Small metal artifact detection and inpainting in cardiac CT images. *arXiv preprint*. 2024; arXiv:2409.17342. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2409.17342>
- Cundari G, Pambianchi G, Galea N, et al. Imaging biomarkers in cardiac CT: moving beyond simple anatomical assessment. *Br J Radiol*. 2024;97(1160):20240110. <https://doi.org/10.1259/bjr.20240110>

V.V. Lazoryshynets<sup>1</sup>, R.M. Vitovskiy<sup>1,2</sup>, N.M. Verych<sup>1</sup>, A.R. Vitovskiy<sup>1</sup>, M.S. Ishchenko<sup>1</sup>,  
V.F. Onishchenko<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery, Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup> Shupyk National Healthcare University of Ukraine, Kyiv, Ukraine

## Shrapnel embolization to the non-coronary sinus of Valsalva following blast injury: migration pathways and hemodynamic determinants

Mine-blast injuries are among the leading causes of combat trauma and are frequently associated with thoracic involvement. The incidence of cardiac and great vessel injury in blast-related chest trauma may reach 10–40 % among severely injured patients, whereas fragment embolism is reported only sporadically. Even more exceptional are cases when foreign bodies lodge within the sinuses of Valsalva, particularly the non-coronary sinus. Such observations are clinically and pathophysiologically valuable.

**The aim** – to present a unique clinical case of shrapnel embolization to the non-coronary sinus of Valsalva following blast injury to the chest and to analyze the presumed migration pathway from the pulmonary circulation into the sinus cavity in the context of contemporary concepts of aortic root hemodynamics.

**Materials and methods.** A 40-year-old serviceman with gunshot–shrapnel injuries to the left hemithorax and lower limb, multiple fragments in the lungs and pleural cavity, and a metallic foreign body in the region of the aortic root was admitted after staged evacuation and treatment. Initial screening included chest radiography and transthoracic echocardiography. The key diagnostic tool was multiphase contrast-enhanced ECG-gated CT (non-contrast chest

CT, cardiac CT, and contrast CT angiography of the chest), which localized a 3–4 mm fragment in the area of the non-coronary sinus of Valsalva and assessed the aortic wall. Surgery was performed under cardiopulmonary bypass.

**Results.** Intraoperatively, a 3 × 4 mm metal fragment was found freely lying within the cavity of the non-coronary sinus of Valsalva, completely covered by fibrin, without any signs of aortic wall penetration or perforation; the pericardium and myocardium were intact. The fragment was removed easily using a neodymium magnet; no reconstruction of the aortic root was required. The postoperative course was uneventful. Serial CT studies allowed reconstruction of the presumed migration route: pulmonary parenchyma/vessels → pulmonary vein → left atrium → left ventricle → ascending aorta, with final trapping of the fragment in the non-coronary sinus by stable recirculating flow patterns.

**Conclusions.** The case demonstrates an extremely rare form of shrapnel embolization to the non-coronary sinus of Valsalva without aortic penetration. Fragment fixation was driven by aortic root recirculation zones and fibrin coverage, which mimicked an intramural location on CT. Multiphase ECG-gated CT and magnet-assisted fragment removal under cardiopulmonary bypass are effective for diagnosing and treating such complications, highlighting the importance of a multidisciplinary approach in combat thoracic blast trauma.

**Key words:** mine-blast injury, shrapnel migration, fragment embolism, non-coronary sinus of Valsalva, aortic root hemodynamics, neodymium magnetic extraction, combat thoracic trauma.