

УДК 519.711.3:616-073.75 616.24-001.46

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМЕНЕВОЇ ДІАГНОСТИКИ СТОРОННІХ ТІЛ ЛЕГЕНЬ ВОГНЕПАЛЬНОГО ПОХОДЖЕННЯ

**Бунін Ю.В.<sup>1</sup>, Михайлузов Р.М.<sup>2</sup>, Негодуйко В.В.<sup>1</sup>, Нечуйвітер О.П.<sup>3</sup>,  
Першина Ю.І.<sup>3</sup>, Ясинський О.В.<sup>1</sup>**


<sup>1</sup>Військово-медичний клінічний центр Північного регіону, Харків, Україна

<sup>2</sup>Харківська медична академія післядипломної освіти, Харків, Україна

<sup>3</sup>Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, Україна

За даними спіральної комп'ютерної томографії точно визначити розмір стороннього тіла складно через спостережуваний артефакт у вигляді «блиску» металу у тканинах. Розроблено математичну модель визначення розмірів сторонніх тіл легень вогнепального походження для покращання результатів діагностики вогнепальних проникних поранень грудей з ушкодженням легень. Для математичного моделювання діагностики сторонніх тіл легень використано розміри 32 сторонніх тіл легень вогнепального походження, виявлених під час спіральної комп'ютерної томографії та видалених під час хірургічних операцій. Для більш точного визначення розмірів довжини, ширини та висоти реального стороннього тіла необхідно враховувати поправочний коефіцієнт, який залежить від рентгенологічної щільності стороннього тіла. Вимірювання точних розмірів сторонніх тіл дозволяє більш адекватно визначити подальшу хірургічну тактику.

**Ключові слова:** математичне моделювання, вогнепальне поранення, легені, сторонні тіла.

	<p><b>Цитуйте українською:</b> Бунін ЮВ, Михайлузов РМ, Негодуйко ВВ, Нечуйвітер ОП, Першина ЮІ, Ясинський ОВ. Математичне моделювання променевої діагностики сторонніх тіл легень вогнепального походження. Медицина сьогодні і завтра. 2021;90(2):30-9. <a href="https://doi.org/10.35339/msz.2021.90.2.bmn">https://doi.org/10.35339/msz.2021.90.2.bmn</a></p>
	<p><b>Cite in English:</b> Bunin YuV, Mikhaylusov RN, Negoduyko VV, Nechuiviter OP, Pershyna Iul, Yasinsky OV. Mathematical simulation of radiation diagnostics of foreign bodies of lungs of fire origin. Medicine Today and Tomorrow. 2021;90(2):30-9. <a href="https://doi.org/10.35339/msz.2021.90.2.bmn">https://doi.org/10.35339/msz.2021.90.2.bmn</a> [in Ukrainian].</p>

Відповідальний автор:

Михайлузов Р.М.

Україна, 61176, м. Харків, вул. Амосова, 58,

Харківська медична академія

післядипломної освіти,

каф. ендоскопії та хірургії;

e-mail: [mihailusov1@ukr.net](mailto:mihailusov1@ukr.net)

Corresponding author:

Mikhaylusov R.N.

Ukraine, 61176, Kharkiv, Amosova str., 58,

Kharkiv Medical Academy

of Postgraduate Education,

dep. Endoscopy and surgery;

e-mail: [mihailusov1@ukr.net](mailto:mihailusov1@ukr.net)

© Бунін Ю.В., Михайлузов Р.М.,  
Негодуйко В.В., Нечуйвітер О.П.,  
Першина Ю.І., Ясинський О.В., 2021

© Bunin Yu.V., Mikhaylusov R.N.,  
Negoduyko V.V., Nechuiviter O.P.,  
Persyna Iul., Yasinsky O.V., 2021

### Вступ

У сучасній науці й техніці математичне моделювання процесів та систем відіграє велику роль [1; 2]. Це пов'язано з розширенням можливостей сучасної обчислювальної техніки й адаптаційним доопрацюванням програмного забезпечення під конкретні потреби користувачів, завдяки чому значно розширюються можливості успішного застосування математичних методів при вирішенні практичних завдань [3]. Крім того, застосування математичного моделювання дозволяє підвищити точність, заощадити час, зменшити фінансові витрати та здійснювати моделювання в багатоскладових умовах, реальне моделювання при яких недоцільно або навіть неможливо з етичної, економічної та часової точок зору [4].

Спіральна комп'ютерна томографія (СКТ) міцно ввійшла в арсенал практикуючого лікаря і має важливе значення для фундаментальних наукових досліджень. Одним з основних методів діагностики сторонніх тіл (СТ) легень вогнепального походження є СКТ органів грудної клітки [5; 6]. Попри високу точність і достовірність методу ряд авторів порушують питання щодо наявності спотворень, артефактів та неприпустимих похибок, які відбиваються на достовірності досліджень [7–9].

Існує проблема спотворення денситометричних даних при СКТ в основному у вигляді неправдивої гіподенсивності, більш вираженої в периферичних відділах ділянки сканування [10]. Крім того, через значну різницю рентгенологічної щільності між тканинами організму й металом та спостережуваним артефактом у вигляді «блиску» металу у тканинах попередньо визначити точний розмір СТ часто виявляється складною задачею [11]. Після зіставлення розмірів видалених СТ легень під час оперативного втручання та попередньо отрима-

них розмірів за даними СКТ також спостерігаються значні похибки [12]. А втім, розміри СТ легень є одним із головних чинників визначення подальшої хірургічної тактики [13].

Проведення математичного моделювання СТ вогнепального походження в легенях під час СКТ органів грудної клітки дозволить поліпшити результати діагностики й лікування поранених із вогнепальними проникними пораненнями грудей з ушкодженням легень.

**Мета роботи** – розробити математичну модель визначення розмірів сторонніх тіл легень вогнепального походження для покращання результатів діагностики вогнепальних проникних поранень грудей з ушкодженням легень.

### Матеріал і методи

Для математичного моделювання діагностики СТ легень за даними СКТ використано розміри 32 СТ легень вогнепального походження, які виявлені за СКТ та потім видалені під час хірургічних операцій у Військово-медичному клінічному центрі Північного регіону МО України (м. Харків). На проведення даної наукової роботи отримано дозвіл локальної етичної комісії Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України. Показники найбільших розмірів СТ легень та їхню рентгенологічну щільність подано в *таблиці 1*.

Вимірювання сторонніх тіл за даними спіральної комп'ютерної томографії та після видалення було розбито на три групи. До першої групи ввійшли дані, для яких рентгенологічна щільність СТ була вищою за 13 000 Од Н (*таблиця 2*), до другої групи віднесено дані, для яких рентгенологічна щільність СТ знаходилась у межах від 10 000 до 13 000 Од Н (*таблиця 3*), а до третьої – дані, для яких рентгенологічна щільність СТ була меншою за 10 000 Од Н (*таблиця 4*).

Таблиця 1. Розміри сторонніх тіл за даними СКТ та після видалення

№ СТ	Видалене СТ, мм			РЩ СТ, Од Н	СТ за даними СКТ, мм		
	довжина	ширина	висота		довжина	ширина	висота
1	8,8	6,8	7,5	14 385	10,2	9,5	8,5
2	7,2	5,2	6,0	10 406	8,9	8,8	7,5
3	4,7	5,7	4,0	8 960	6,0	6,8	5,0
4	9,1	3,6	3,0	1 070	11,2	5,1	4,0
5	2,8	1,2	2,0	12 903	4,8	2,2	2,5
6	4,8	3,6	1,5	9 202	7,6	5,4	2,0
7	6,5	5,3	1,6	11 919	8,1	8,3	2,4
8	14,0	7,0	3,0	11 601	17,0	9,2	4,1
9	8,4	6,1	4,0	14 383	11,9	9,0	6,1
10	5,4	3,0	1,0	15 075	8,0	4,2	1,3
11	4,8	1,6	2,0	10 465	7,1	2,5	2,8
12	2,0	6,0	4,0	11 548	2,6	8,1	5,6
13	5,5	5,1	3,0	9 320	8,0	7,2	4,6
14	9,2	3,4	4,0	10 691	12,4	11,0	4,8
15	8,1	8,0	6,0	12 732	12,0	10,4	7,0
16	4,5	2,6	2,0	15 600	6,7	4,0	3,1
17	9,0	6,1	2,0	13 747	13,6	9,0	2,8
18	6,0	1,6	1,0	9 954	9,8	3,2	1,3
19	9,8	3,1	5,0	9 398	13,3	5,2	6,1
20	6,5	4,0	7,0	10 946	9,0	6,0	7,9
21	1,4	0,7	1,0	11 014	2,0	1,0	1,6
22	3,2	2,0	2,0	9 619	4,4	3,0	2,9
23	9,5	6,9	5,0	11 846	13,8	10,1	6,0
24	6,6	3,2	2,0	12 247	9,2	4,7	2,8
25	3,8	2,4	1,0	9 203	6,0	3,9	1,8
26	6,2	2,2	3,0	12 567	8,9	3,5	4,2
27	8,1	6,5	2,0	11 172	12,0	8,3	2,6
28	5,9	2,6	1,6	12 325	8,0	3,8	2,0
29	4,7	3,0	2,0	14 162	6,8	4,2	3,2
30	3,8	1,2	6,0	14 208	6,0	1,7	6,9
31	6,8	6,2	4,0	11 410	10,8	9,0	5,8
32	8,6	5,2	3,0	13 173	12,5	7,2	4,1

Примітка. РЩ – рентгенологічна щільність. Тут і в табл. 2–4.

Таблиця 2. Розміри сторонніх тіл за даними СКТ та після видалення з рентгенологічною щільністю більшою за 13 000 Од Н

№ СТ	Видалене СТ, мм			РЩ СТ, Од Н	СТ за даними СКТ, мм		
	довжина	ширина	висота		довжина	ширина	висота
1	8,8	6,8	7,5	14 385	10,2	9,5	8,5
2	8,4	6,1	4,0	14 383	11,9	9,0	6,1
3	5,4	3,0	1,0	15 075	8,0	4,2	1,3
4	4,5	2,6	2,0	15 600	6,7	4,0	3,1
5	9,0	6,1	2,0	13 747	13,6	9,0	2,8
6	4,7	3,0	2,0	14 162	6,8	4,2	3,2
7	3,8	1,2	6,0	14 208	6,0	1,7	6,9
8	8,6	5,2	3,0	13 173	12,5	7,2	4,1

Таблиця 3. Розміри сторонніх тіл за даними СКТ та після видалення з рентгенологічною щільністю в межах від 10 000 до 13 000 Од Н

№ СТ	Видалене СТ, мм			РЩ СТ, Од Н	СТ за даними СКТ, мм		
	довжина	ширина	висота		довжина	ширина	висота
1	7,2	5,2	6,0	10 406	8,9	8,8	7,5
2	2,8	1,2	2,0	12 903	4,8	2,2	2,5
3	6,5	5,3	1,6	11 919	8,1	8,3	2,4
4	14	7,0	3,0	11 601	17,0	9,2	4,1
5	4,8	1,6	2,0	10 465	7,1	2,5	2,8
6	2,0	6,0	4,0	11 548	2,6	8,1	5,6
7	9,2	3,4	4,0	10 691	12,4	11,0	4,8
8	8,1	8,0	6,0	12 732	12,0	10,4	7,0
9	6,5	4,0	7,0	10 946	9,0	6,0	7,9
10	1,4	0,7	1,0	11 014	2,0	1,0	1,6
11	9,5	6,9	5,0	11 846	13,8	10,1	6,0
12	6,6	3,2	2,0	12 247	9,2	4,7	2,8
13	6,2	2,2	3,0	12 567	8,9	3,5	4,2
14	8,1	6,5	2,0	11 172	12,0	8,3	2,6
15	5,9	2,6	1,6	12 325	8,0	3,8	2,0
16	6,8	6,2	4,0	11 410	10,8	9,0	5,8

Таблиця 4. Розміри сторонніх тіл за даними СКТ та після видалення з рентгенологічною щільністю меншою за 10 000 Од Н

№ СТ	Видалене СТ, мм			РЩ СТ, Од Н	СТ за даними СКТ, мм		
	довжина	ширина	висота		довжина	ширина	висота
1	4,7	5,7	4,0	8960	6,0	6,8	5,0
2	9,1	3,6	3,0	1070	11,2	5,1	4,0
3	4,8	3,6	1,5	9202	7,6	5,4	2,0
4	5,5	5,1	3,0	9320	8,0	7,2	4,6
5	6,0	1,6	1,0	9954	9,8	3,2	1,3
6	9,8	3,1	5,0	9398	13,3	5,2	6,1
7	3,2	2,0	2,0	9619	4,4	3,0	2,9
8	3,8	2,4	1,0	9203	6,0	3,9	1,8

Для кожної групи в системі комп'ютерної математики MathCad 15 було побудовано залежності розмірів видаленого СТ та СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ.

**Результати та їх обговорення**

Результати залежності розмірів видаленого СТ та СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ для першої групи наведено на *рис. 1*. Побудовано залежності вимірних значень довжини видалених СТ та відповідних вимірних значень довжини СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ.

В MathCad 15 було підраховано коефіцієнти відношення отриманих значень довжини видалених СТ та відповідних вимірних значень довжини СТ за даними СКТ (*рис. 2*). Середнє значення відношень показників довжини видалених СТ та СТ за даними СКТ є шуканим коефіцієнтом ( $k_1=0,699$ ) для знаходження довжини СТ на етапі відомого значення СТ за даними СКТ. Залежності вимірних значень ширини (висоти) видалених СТ та відповідних вимірних значень ширини (висоти) СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ побудовано на *рис. 3, 4*.

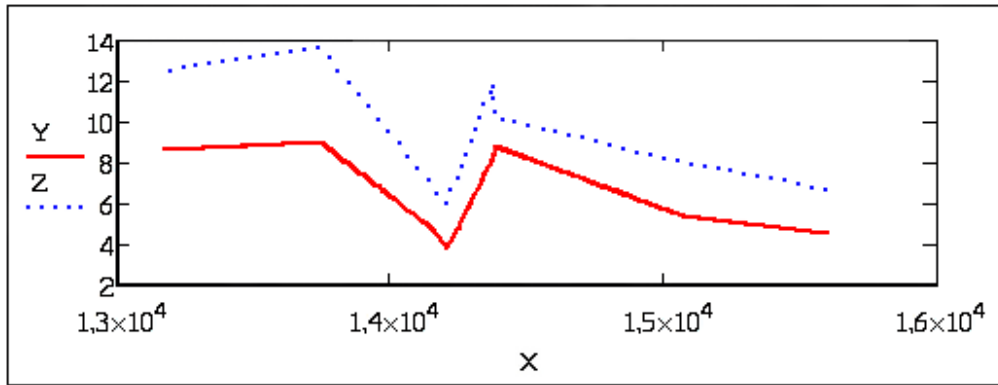


Рис. 1. Залежність вимірних значень довжини видалених СТ та відповідних значень довжини СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ

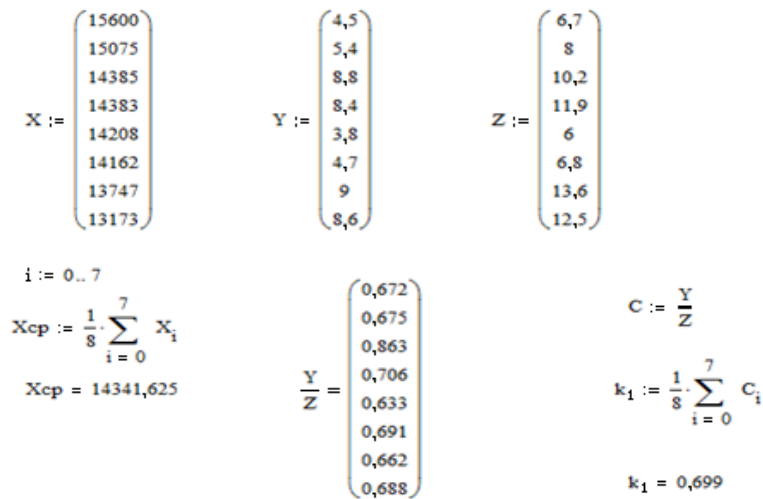


Рис. 2. Розрахунок коефіцієнта  $k_1$  для знаходження довжини СТ на етапі відомого значення СТ за даними СКТ

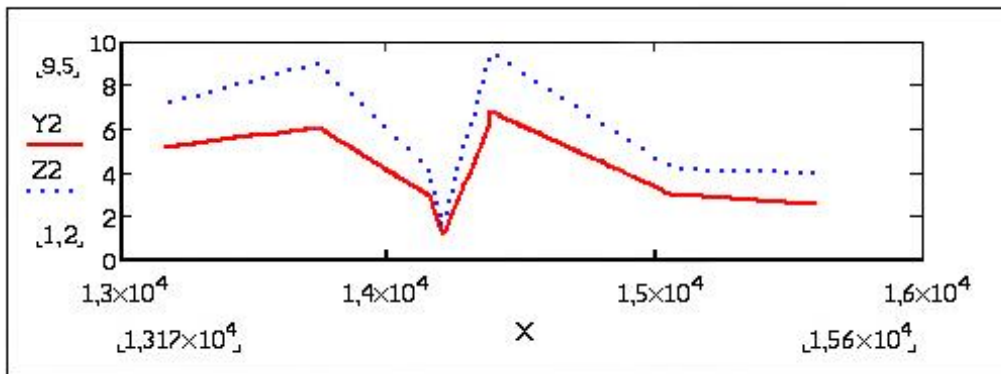


Рис. 3. Залежність вимірних значень ширини видалених СТ та відповідних значень ширини СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ

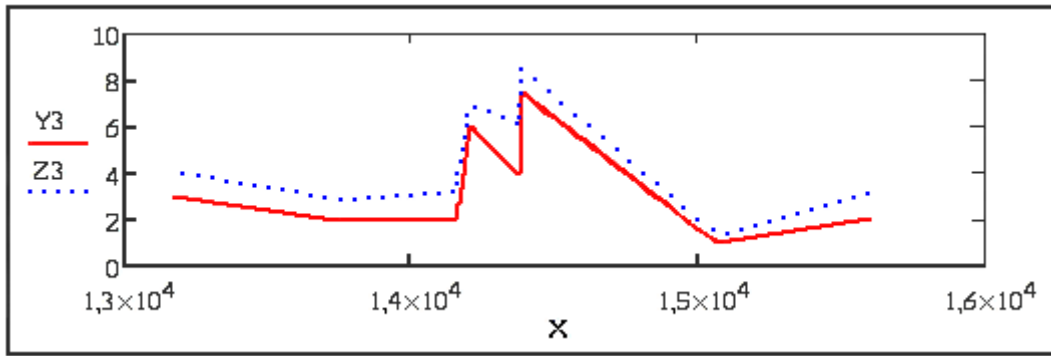


Рис. 4. Залежність вимірних значень висоти видалених СТ та відповідних значень висоти СТ за даними СКТ від рентгенологічної щільності СТ

У системі комп'ютерної математики MathCad 15 було розраховано коефіцієнти відношення отриманих значень ширини (висоти) видалених СТ та відповідних вимірних значень ширини (висоти) СТ за даними СКТ (рис. 5, б).

Середнє значення відношень показників ширини (висоти) видалених СТ та СТ за даними СКТ є шуканими коефіцієнтами ( $k_2=0,697$ ,  $k_3=0,737$ ) для знаходження ширини (висоти) СТ на етапі відомого значення СТ за даними СКТ.

$$\begin{aligned}
 X &:= \begin{pmatrix} 15600 \\ 15075 \\ 14385 \\ 14383 \\ 14208 \\ 14162 \\ 13747 \\ 13173 \end{pmatrix} & Y2 &:= \begin{pmatrix} 2.6 \\ 3 \\ 6.8 \\ 6.1 \\ 1.2 \\ 3 \\ 6.1 \\ 5.2 \end{pmatrix} & Z2 &:= \begin{pmatrix} 4 \\ 4.2 \\ 9.5 \\ 9 \\ 1.7 \\ 4.2 \\ 9 \\ 7.2 \end{pmatrix} & \frac{Y2}{Z2} &= \begin{pmatrix} 0.65 \\ 0.714 \\ 0.716 \\ 0.678 \\ 0.706 \\ 0.714 \\ 0.678 \\ 0.722 \end{pmatrix} \\
 i &:= 0..7 & C2 &:= \frac{Y2}{Z2} \\
 X_{\text{ср}} &:= \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=0}^7 X_i & k2 &:= \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=0}^7 C2_i & k2 &= 0.697 \\
 X_{\text{ср}} &= 14341.625 & & & & 
 \end{aligned}$$

Рис. 5. Розрахунок коефіцієнта  $k_2$  для знаходження довжини СТ на етапі відомого значення СТ за даними СКТ

$$\begin{aligned}
 X &:= \begin{pmatrix} 15600 \\ 15075 \\ 14385 \\ 14383 \\ 14208 \\ 14162 \\ 13747 \\ 13173 \end{pmatrix} & Y3 &:= \begin{pmatrix} 2 \\ 1 \\ 7.5 \\ 4 \\ 6 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} & Z3 &:= \begin{pmatrix} 3.1 \\ 1.3 \\ 8.5 \\ 6.1 \\ 6.9 \\ 3.2 \\ 2.8 \\ 4.1 \end{pmatrix} & \frac{Y3}{Z3} &= \begin{pmatrix} 0.645 \\ 0.769 \\ 0.882 \\ 0.656 \\ 0.87 \\ 0.625 \\ 0.714 \\ 0.732 \end{pmatrix} \\
 i &:= 0..7 & C3 &:= \frac{Y3}{Z3} & k3 &:= \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=0}^7 C3_i \\
 X_{\text{ср}} &:= \frac{1}{8} \cdot \sum_{i=0}^7 X_i & k3 &= 0.737 \\
 X_{\text{ср}} &= 14341.625 & & & & 
 \end{aligned}$$

Рис. 6. Розрахунок коефіцієнта  $k_3$  для знаходження довжини СТ на етапі відомого значення СТ за даними СКТ

Розраховуємо коефіцієнт  $k$  для знаходження розмірів СТ на етапі відомого значення СТ за даними СКТ як середнє значення коефіцієнтів  $k_1$ ,  $k_2$  та  $k_3$ . Отже, маємо коефіцієнт  $k=0,711$ .

Аналогічні розрахунки було зроблено для трьох груп окремо, а також для всіх даних з *табл. 1* в Excel. Отримані результати наведено в *табл. 5*.

2. Для визначення більш точних розмірів довжини, ширини та висоти реального стороннього тіла необхідно враховувати рентгенологічну щільність стороннього тіла.

3. Для більшої точності вимірювань необхідно обирати коефіцієнт  $k=0,71$  при рентгенологічній щільності стороннього тіла вищої за 13 000 Од Н,

*Таблиця 5. Середні значення коефіцієнтів відношень вимірних параметрів видалених СТ та за даними СКТ*

Рентгенологічна щільність СТ, Од Н	Коефіцієнт $k_1$ (довжина)	Коефіцієнт $k_2$ (ширина)	Коефіцієнт $k_3$ (висота)	Коефіцієнт $k$ (середнє $k_1, k_2, k_3$ )
Вища за 13 000	0,698	0,697	0,736	0,710
Від 10 000 до 13 000	0,715	0,656	0,759	0,710
Менш ніж 10 000	0,703	0,662	0,723	0,696
<b>Середнє значення</b>	0,705	0,671	0,739	0,705

### Висновки

1. Для прогнозування реальних розмірів сторонніх тіл необхідно відповідні розміри сторонніх тіл, отримані за даними спіральної комп'ютерної томографії, помножити на коефіцієнт  $k=0,7$ .

а коефіцієнт  $k=0,69$  при рентгенологічній щільності меншій за 10 000 Од Н.

4. Вимірювання точних розмірів сторонніх тіл дозволяє більш адекватно визначити подальшу хірургічну тактику.

**Конфлікт інтересів відсутній.**

### Література

1. Литвин ОМ, Лобанова ЛС. Математичне моделювання та обчислювальні методи на ПЕОМ: навчально-методичний посібник для аспірантів, магістрів, студентів інженерних, інженерно-педагогічних та математичних спеціальностей. Харків; 2012. 154 с.
2. Негодуйко ВВ. Класифікація сторонніх тіл м'яких тканин вогнепального походження. Медицина сьогодні і завтра. 2017;(3-4(76-77)):30-3. Доступно на: <https://msz.knmu.edu.ua/article/view/375>
3. Негодуйко ВВ, Михайлусов РМ, Якимова ТП. Фази носійства сторонніх предметів м'яких тканин вогнепального походження. Український журнал хірургії (Лиман). 2018;(2(37)):51-4. DOI: 10.22141/1997-2938.2.37.2018.147848.
4. Бровченко Ю. Розробка математичної моделі поширення епідемії COVID-19 в Україні. Світогляд. 2020;15(2(82)):2-14. Доступно на: <http://svitohlyad.org.ua/index.php/uk/2020?issue=2>
5. Цимбалюк ВІ, редактор. Вогнепальні поранення м'яких тканин (досвід АТО/ООС). Харків: Колегіум; 2020. 400 с.
6. Заруцький ЯЛ, Білий ВЯ, Денисенко ВМ, Асланян СА, Богдан ІС. Воєннопольова хірургія. Заруцький ЯЛ, Білий ВЯ, редактори. Київ: Фенікс; 2018. 552 с.
7. Barrett JF, Keat N. Artifacts in CT: recognition and avoidance. Radiographics. 2004;24(6):1679-91. DOI: 10.1148/rg.246045065. PMID: 15537976.

8. Boas FE, Fleischmann D. CT artifacts: Causes and reduction techniques. *Imaging Med.* 2012;4(2):229–40. Available from: <https://www.openaccessjournals.com/articles/ct-artifacts-causes-and-reduction-techniques.html>

9. Boas FE, Fleischmann D. Evaluation of two iterative techniques for reducing metal artifacts in computed tomography. *Radiology.* 2011;259(3):894–902. DOI: 10.1148/radiol.11101782. PMID: 21357521.

10. Wagenaar D, van der Graaf ER, van der Schaaf A, Greuter MJW. Quantitative Comparison of commercial and non-commercial metal artifact reduction techniques in computed tomography. *PLOS One.* 2015;10(6):e0127932. DOI: 10.1371/journal.pone.0127932. PMID: 26030821. PMCID: PMC4452515.

11. Meganck JA, Kozloff KM, Thornton MM. et al. Beam hardening artifacts in micro-computed tomography scanning can be reduced by X-ray beam filtration and the resulting images can be used to accurately measure BMD. *Bone.* 2009;45(6):1104–16. DOI: 10.1016/j.bone.2009.07.078. PMID: 19651256.

12. Литвин ОМ, Першина ЮІ, Нечуйвітер ЮП; Українська інженерно-педагогічна академія. Теоретичні, фізичні та інформаційні основи галузевого знання: навчально-методичний посібник для магістрів денної та заочної форми навчання інженерних та інженерно-педагогічних спеціальностей. Харків; 2016. 72 с.

13. Негодуйко ВВ, Нечуйвітер ОП, Першина ЮІ. Математическое моделирование удаления инородных тел мягких тканей огнестрельного происхождения. *Вестник морской медицины.* 2017;(1(74)):96–102. Доступно на: <https://is.gd/8JFwp9>

*Bunin Yu.V., Mikhaylusov R.N., Negoduyko V.V., Nechuiviter O.P., Pershyna Iu.I., Yasinsky O.V.*

#### **MATHEMATICAL SIMULATION OF RADIATION DIAGNOSTICS OF FOREIGN BODIES OF LUNGS OF FIRE ORIGIN**

According to spiral computed tomography, it is difficult to accurately determine the size of a foreign body, due to the observed artifact in the form of "shine" of metal in the tissues. A mathematical model for determining the size of foreign bodies of the lungs of gunshot origin has been developed to improve the results of diagnosis of gunshot wounds penetrating the chest with lung damage. For mathematical modeling of the process of diagnosing foreign bodies of the lungs, we used the dimensions of 32 foreign bodies of lungs of fire origin, detected during spiral computed tomography and removed during surgery. To more accurately determine the length, width and height of a real foreign body, it is necessary to take into account the correction factor, which depends on the X-ray density of the foreign body. Measuring the exact size of foreign bodies allows you to more adequately determine further surgical tactics.

**Keywords:** *mathematical simulation, gunshot wounds, lungs, foreign bodies.*

*Бунин Ю.В., Михайлузов Р.Н., Негодуйко В.В., Нечуйвітер О.П., Першина Ю.І., Ясинский А.В.*

#### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ ИНОРОДНЫХ ТЕЛ ЛЁГКИХ ОГНЕСТРЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

По данным спиральной компьютерной томографии точно определить размер инородного тела сложно из-за наблюдаемого артефакта в виде «блеска» металла в тканях. Разработана математическая модель определения размеров инородных тел лёгких огнестрельного происхождения для улучшения результатов диагностики огнестрельных



проникающих ранений груди с повреждением лёгких. Для математического моделирования диагностики инородных тел лёгких использованы размеры 32 инородных тел лёгких огнестрельного происхождения, обнаруженные во время спиральной компьютерной томографии и удаленные во время хирургических операций. Для более точного определения размеров длины, ширины и высоты реального инородного тела необходимо учитывать поправочный коэффициент, зависящий от рентгенологической плотности инородного тела. Измерение точных размеров инородных тел позволяет более адекватно определить дальнейшую хирургическую тактику.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, огнестрельное ранение, лёгкие, инородные тела.

Стаття надійшла 30.03.2021

### Відомості про авторів

*Бунін Юрій Володимирович* – полковник медичної служби, начальник хірургічної клініки Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України, м. Харків, Україна.

Адреса: Україна, 61058, м. Харків, вул. Культури, 5, клініка Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України.

E-mail: [77bun@ukr.net](mailto:77bun@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-1807-437X.

*Михайлусов Ростислав Миколайович* – доктор медичних наук, професор, професор кафедри ендоскопії та хірургії Харківської медичної академії післядипломної освіти МОЗ України, м. Харків, Україна.

Адреса: Україна, 61176, м. Харків, вул. Амосова, 58, Харківська медична академія післядипломної освіти.

E-mail: [mihailusov1@ukr.net](mailto:mihailusov1@ukr.net)

ORCID: 0000-0001-5869-7013.

*Негодуйко Володимир Володимирович* – доктор медичних наук, полковник медичної служби, завідувач клініки екстреної медичної допомоги (прийому та евакуації) Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України, м. Харків, Україна.

Адреса: Україна, 61058, м. Харків, вул. Культури, 5, клініка Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України.

E-mail: [vol-ramzes13@ukr.net](mailto:vol-ramzes13@ukr.net)

ORCID: 0000-0003-4540-5207.

*Нечуйвітер Олеся Петрівна* – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків, Україна.

Адреса: Україна, 61003, м. Харків, вул. Університетська, 16, Українська інженерно-педагогічна академія.

E-mail: [olesia.nechuiviter@gmail.com](mailto:olesia.nechuiviter@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-2775-8471.

*Першина Юлія Ігорівна* – доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційних комп'ютерних технологій і математики Української інженерно-педагогічної академії, м. Харків, Україна.

Адреса: Україна, 61003, м. Харків, вул. Університетська, 16, Українська інженерно-педагогічна академія.

E-mail: [u.pershina@uipa.edu.ua](mailto:u.pershina@uipa.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-4719-8195.

*Ясинський Олександр Володимирович* – полковник медичної служби, начальник комп'ютерної та променевої діагностики Військово-медичного клінічного центру Північного регіону МО України, м. Харків, Україна.

Адреса: Україна, 61058, м. Харків, вул. Культури, 5, к. 109.

E-mail: [vol-ramzes13@ukr.net](mailto:vol-ramzes13@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-0932-5309.