

УДК 616-003.6:303.447.2:519.87

DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.2.2024.1671>Хорошун Е.М.^{1,2} , Негодуйко В.В.^{1,2} , Макаров В.В.^{1,2} , Малімоненко М.О.^{3,4} ,
Нечуйвітер О.П.⁵ , Першина Ю.І.⁶ , Доценко В.В.¹ ¹Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна²Військово-медичний клінічний центр Північного регіону, м. Харків, Україна³Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь», м. Київ, Україна⁴ДНУ «Центр інноваційних медичних технологій НАН України», м. Київ, Україна⁵Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна⁶Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Математичне моделювання сторонніх тіл різної щільності в біологічних і небіологічних моделях в експерименті

For citation: Emergency Medicine (Ukraine). 2024;20(2):104-111. doi: 10.22141/2224-0586.20.2.2024.1671

Резюме. Актуальність. Моделювання дозволяє досліджувати як існуючі, так і передбачувані процеси і широко використовується в фундаментальній науці й багатьох галузях виробничої діяльності. **Мета:** розробити математичну модель визначення розмірів сторонніх тіл (СТ) і їхньої рентгенологічної щільності в небіологічних і біологічних моделях для поліпшення результатів діагностики вогнепальних рикошетних поранень. **Матеріали та методи.** У біологічну неживу модель (шматок свинячого м'яса) і небіологічні моделі (пінопласт, поролон) розміщуємо СТ з паперу, шкіри, гуми, пластику і літій-іонні батареї. Кількість СТ — по 9 кожного типу. Кількість моделей — по 3: свиняче м'ясо, пінопласт, поролон. Визначення розмірів СТ і моделей проводимо метричною лінійкою. На кожну модель відбираємо СТ, які підписуємо за номером дослідження. Занурюємо СТ на однакову глибину за допомогою інструмента загальнохірургічного середнього кровозупинного затискача типу Більрот у такій послідовності: папір, шкіра, гума, пластик і літій-іонна батарея. Проводиться мультиспіральна комп'ютерна томографія (МСКТ) моделей на апараті Revolution EVO (2021) із заміром розмірів і рентгенографічної щільності СТ і моделей. Рентгенологічна щільність вимірювалась в умовних одиницях за шкалою Хаусфільда. Для кожної групи досліджень у системі комп'ютерної математики MathCad 15 було визначено співвідношення реальних розмірів СТ і за даними спіральної комп'ютерної томографії залежно від рентгенологічної щільності СТ і моделі. **Результати.** За даними МСКТ, рентгенографічна щільність моделей за шкалою Хаусфільда така: пінопласт — $-990,0 \pm 0,3$ ум.од.; поролон — $-985,0 \pm 0,2$ ум.од.; свиняче м'ясо — $62,0 \pm 0,3$ ум.од.; рентгенографічна щільність сторонніх тіл: папір — $-743 \pm 10,3$ ум.од., шкіра — $-258 \pm 14,2$ ум.од., гума — $-12 \pm 2,6$ ум.од., пластик — $183 \pm 14,6$ ум.од., літій-іонні батареї — 3071 ум.од. Візуалізація паперу в небіологічних і біологічних моделях і шкіри в небіологічних моделях проблематична у зв'язку з подібною рентгенологічною щільністю моделей і неможливістю виміряти розміри. При зануренні СТ (гума, пластик, батарейка) в пінопласт: коефіцієнт довжини (КД) = $1,0612$; коефіцієнт ширини (КШ) = $1,928$; у поролон: КД = $0,9926$; КШ = $1,9641$; у свиняче м'ясо: КД = $0,8394$; КШ = $1,534$. Порівнюючи середні коефіцієнти відношення (КД і КШ), бачимо, що найближчим до 1 є коефіцієнт у біологічній моделі. Це означає, що СТ з гуми, пластику і батарейки найкращим чином визначаються в свинячому м'ясі. **Висновки.** Реальні розміри СТ, розміщених у біологічних і небіологічних моделях, відрізняються від розмірів, отриманих на МСКТ. Корекція даних проводиться через розрахункові коефіцієнти по довжині й ширині. Рентгенологічна щільність моделі впливає на променеву візуалізацію СТ. Застосування математичного моделювання при визначенні розмірів і рентгенографічної щільності дозволяє зменшити похибку вимірювання і визначитися зі структурою СТ. **Ключові слова:** математичне моделювання; сторонні тіла; біологічна модель; небіологічна модель, експеримент

© 2024. The Authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC BY, which allows others to freely distribute the published article, with the obligatory reference to the authors of original works and original publication in this journal.

Для кореспонденції: Доценко Володимир Васильович, кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургії № 4, Харківський національний медичний університет, пр. Науки, 4, м. Харків, 61022, Україна; e-mail: docenko73@ukr.net; факс: +380(57)7004132, тел.: +380(57)7077380, +380(50)7131665

For correspondence: Vladimir Dotsenko, PhD, Associate Professor at the Department of Surgery № 4, Kharkiv National Medical University, Nauky Ave., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine; e-mail: docenko73@ukr.net; fax: +380(57)7004132, phone: +380(57)7077380, +380(50)7131665

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

Вступ

Моделювання — це один з потужних методів сучасного наукового пізнання, який дозволяє досліджувати як існуючі, так і передбачувані процеси та широко використовується як у фундаментальній науці, так і в багатьох галузях виробничої діяльності [3].

Головна особливість моделювання в тому, що це метод опосередкованого пізнання за допомогою об'єктів-заступників. Модель постає як своєрідний інструмент пізнання, який дослідник ставить між собою і об'єктом і за допомогою якого вивчає об'єкт, що його цікавить. Саме ця особливість методу моделювання визначає специфічні форми використання абстракцій, аналогій, гіпотез, інших категорій і методів пізнання. Методи математичного аналізу широко використовують у сучасній науці [2, 4].

Для обробки вищезазначеної інформації та побудови нових математичних моделей також можуть бути використані нові інформаційні оператори, які гарно себе зарекомендували при математичному моделюванні задач цифрової обробки сигналів і зображень [7–10].

Вивчення рикошетних вогнепальних поранень потребує чіткого визначення розмірів і структури вторинних сторонніх тіл (СТ), які потрапляють у рану. Виникаючі проблеми з визначенням структури і розмірів СТ меншої рентгенографічної щільності, ніж у металу, потребують більш досконалого вивчення, цьому і присвячена дана робота.

Мета: розробити математичну модель визначення розмірів сторонніх тіл і їх рентгенологічної щільності в небіологічних і біологічних моделях для поліпшення результатів діагностики вогнепальних рикошетних поранень.

Матеріали та методи

У біологічну неживу модель (шматок свинячого м'яса) і небіологічні моделі (пінопласт, поролон) розміщуємо СТ з паперу, шкіри, гуми, пластику і літій-іонні батареї. Кількість СТ — по 9 кожного типу. Кількість моделей — по 3: свиняче м'ясо ($250 \times 120 \times 75$ мм), пінопласт ($200 \times 100 \times 50$ мм), поролон ($200 \times 100 \times 100$ мм).

Визначення розмірів СТ і моделей проводимо метричною лінійкою. На кожену модель відбираємо СТ, які підписуємо за номером дослідження. Занурюємо СТ на однакову глибину за допомогою інструмента загальнохірургічного середнього кровозупинного затискача типу Більрот у такій послідовності: папір, шкіра, гума, пластик і літій-іонна батарея (рис. 1).

Проводиться мультиспіральна комп'ютерна томографія (МСКТ) моделей на апараті Revolution EVO (2021) із кроком томографа 0,5 мм із замірюванням розмірів і рентгенографічної щільності сторонніх тіл і моделей. Рентгенологічна щільність вимірювалась в умовних одиницях за шкалою Хаусфільда.

Для кожної групи досліджень у системі комп'ютерної математики MathCad15 було визначено співвідношення реальних розмірів СТ і за даними МСКТ залежно від рентгенологічної щільності СТ і моделі.

Результати

За даними МСКТ, рентгенографічна щільність моделей за шкалою Хаусфільда така: пінопласт — $-990,0 \pm 0,3$ ум.од.; поролон — $-985,0 \pm 0,2$ ум.од.; свиняче м'ясо — $62,0 \pm 0,3$ ум.од.; рентгенографічна щільність сторонніх тіл: паперу — $-743,0 \pm 10,3$ ум.од., шкіри — $-258,0 \pm 14,2$ ум.од., гуми — $-12,0 \pm 2,6$ ум.од., пластику — $183,0 \pm 14,6$ ум.од., літій-іонної батареї — 3071 ум.од.

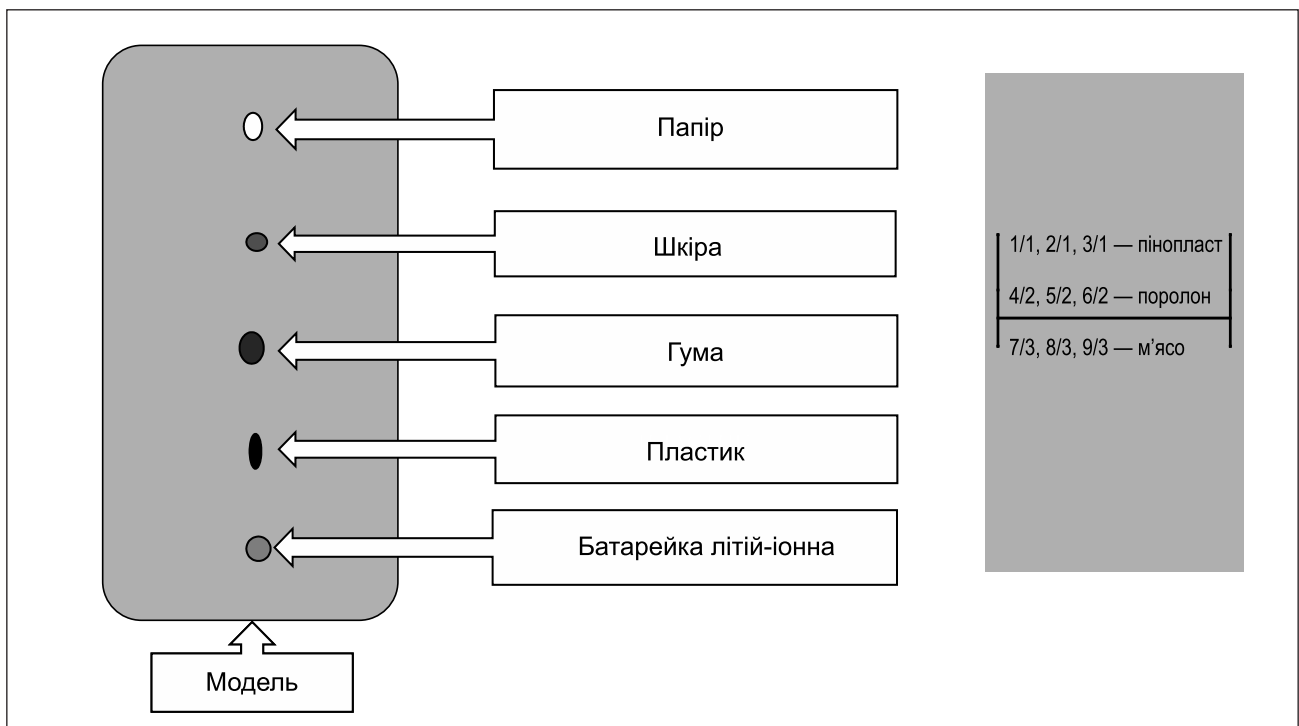


Рисунок 1. Схема розташування сторонніх тіл у моделях

Таблиця 1. Результати досліджень у моделі з пінопласту

Гума						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	9,3	8,6	7,3	4,1	1,273972603	2,097560976
2	8,9	8,9	10,1	4,5	0,881188119	1,977777778
3	9,7	9,4	9,1	4,3	1,065934066	2,186046512
Середній коефіцієнт відношення, КД1, КШ1					1,0737	2,0871
Пластик						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	7,7	7,4	7	2,4	1,1	3,083333333
2	6,8	6,5	5,6	3,1	1,214285714	2,096774194
3	6,1	5,8	5,7	2,6	1,070175439	2,230769231
Середній коефіцієнт відношення, КД2, КШ2					1,1282	2,4703
Батарейка						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	11,6	11,6	10,6	13,5	1,094339623	0,859259259
2	11,6	11,6	13	7,8	0,892307692	1,487179487
3	11,6	11,6	12,1	8,7	0,958677686	1,333333333
Середній коефіцієнт відношення, КД3, КШ3					0,9818	1,2266

Таблиця 2. Результати досліджень у моделі з поролону

Гума						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	9,6	10,1	9,5	4,1	0,95049505	2,317073171
2	8,9	8,9	8,7	4,2	1	2,071428571
3	9,1	9,8	8,8	3,8	0,928571429	2,315789474
Середній коефіцієнт відношення, КД1, КШ1					0,9597	2,2348
Пластик						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	6,5	6	5,4	2,5	1,203703704	2,4
2	7	6,5	6,9	2,9	1,014492754	2,24137931
3	6,6	6,2	5,5	3	1,2	2,066666667
Середній коефіцієнт відношення, КД2, КШ2					1,1394	2,2360
Батарейка						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	11,6	11,6	13,2	7,4	0,878787879	1,567567568
2	11,6	11,6	13,1	8,6	0,885496183	1,348837209
3	11,6	11,6	13,3	8,6	0,872180451	1,348837209
Середній коефіцієнт відношення, КД3, КШ3					0,8788	1,4217

Візуалізація паперу та шкіри проблематична у зв'язку з подібною рентгенологічною щільністю моделі і неможливістю виміряти розміри.

Результати знаходження коефіцієнтів (КШ — коефіцієнт ширини; КД — коефіцієнт довжини) при зануренні в пінопласт гуми, пластику і батарейки наведено в табл. 1.

Коефіцієнт, на який потрібно помножити результати більшого вимірювання (довжини), отримані після МСКТ моделі, щоб спрогнозувати реальні розміри (довжину) зануреного в середовище (в даному випадку середовищем є пінопласт) тіла, буде становити:

$$\text{КД} = (\text{КД1} + \text{КД2} + \text{КД3})/3 = (1,0737 + 1,1282 + 0,9818)/3 = 1,0612.$$

Коефіцієнт, на який потрібно помножити результати меншого вимірювання (ширини), отримані після МСКТ моделі, щоб спрогнозувати реальні розміри (ширину) зануреного в середовище (в да-

ному випадку середовищем є пінопласт) тіла, буде становити:

$$\text{КШ} = (\text{КШ1} + \text{КШ2} + \text{КШ3})/3 = (2,0871 + 2,4703 + 1,2266)/3 = 1,928.$$

Результати знаходження коефіцієнтів при зануренні в поролон гуми, пластику і батарейки наведено в табл. 2.

Коефіцієнт, на який потрібно помножити результати більшого вимірювання (довжини), отримані після МСКТ моделі, щоб спрогнозувати реальні розміри (довжину) зануреного в середовище (в даному випадку середовищем є поролон) тіла, буде становити:

$$\text{КД} = (\text{КД1} + \text{КД2} + \text{КД3})/3 = (0,9597 + 1,1394 + 0,8788)/3 = 0,9926.$$

Коефіцієнт, на який потрібно помножити результати меншого вимірювання (ширини), отримані після МСКТ моделі, щоб спрогнозувати реальні розміри

Таблиця 3. Результати досліджень у моделі зі свинячого м'яса

Шкіра						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	5,8	5,1	7,9	3,6	0,734177215	1,416666667
2	6,2	6,1	6,2	3,7	1	1,648648649
3	6,0	5,9	7,1	3,6	0,845070423	1,638888889
Середній коефіцієнт відношення, КД1, КШ1					0,8597	1,568
Гума						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	9,6	9,4	11,5	5,7	0,834782609	1,649122807
2	9,4	8,6	11,5	4,8	0,817391304	1,791666667
3	9,2	9	11,5	5,1	0,8	1,764705882
Середній коефіцієнт відношення, КД2, КШ2					0,8173	1,7351
Пластик						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	6,9	6	8,7	4,6	0,793103448	1,304347826
2	6,6	6,6	7,8	4,7	0,846153846	1,404255319
3	6,5	6,2	8,2	4,6	0,792682927	1,347826087
Середній коефіцієнт відношення, КД3, КШ3					0,8106	1,3521
Батарейка						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	11,6	11,6	13,4	7,8	0,865671642	1,487179487
2	11,6	11,6	13,3	7,9	0,872180451	1,46835443
3	11,6	11,6	13,3	7,8	0,872180451	1,487179487
Середній коефіцієнт відношення, КД4, КШ4					0,87	1,4809

(ширину) зануреного в середовище (в даному випадку середовищем є поролон) тіла, буде становити:

$$КШ = (КШ1 + КШ2 + КШ3)/3 = (2,2348 + 2,2360 + 1,4217)/3 = 1,9641.$$

Результати знаходження коефіцієнтів при зануренні у свиняче м'ясо шкіри, гуми, пластику і батарейки наведено в табл. 3.

Коефіцієнт, на який потрібно помножити результати більшого вимірювання (довжини), отримані після МСКТ моделі, щоб спрогнозувати реальні розміри (довжину) зануреного в середовище (в даному випадку середовищем є свиняче м'ясо) тіла, буде становити:

$$КД = (КД1 + КД2 + КД3 + КД4)/4 = (0,8597 + 0,8173 + 0,8106 + 0,87)/4 = 0,8394.$$

Коефіцієнт, на який потрібно помножити результати меншого вимірювання (ширини), отримані після МСКТ моделі, щоб спрогнозувати реальні розміри (ширину) зануреного в середовище (в даному випадку середовищем є свиняче м'ясо) тіла, буде становити:

$$КШ = (КШ1 + КШ2 + КШ3 + КШ4)/4 = (1,568 + 1,7351 + 1,3521 + 1,4809)/4 = 1,534.$$

Очевидним є те, що чим ближче коефіцієнт відношення реальної довжини до довжини, виміряної за допомогою МСКТ моделі (як і коефіцієнт відношення реальної ширини до ширини, виміряної за допомогою МСКТ) до одиниці, тим меншою є різниця між виміряними розмірами стороннього тіла і реальними.

Розглянемо результати вимірювань сторонніх тіл з гуми в поролоні, пінопласті й свинячому м'ясі (табл. 4). У кожному випадку знайдемо середнє значення КД і КШ.

Порівнюючи коефіцієнти К_Г_ПОР, К_Г_ПІН, К_Г_М, отримуємо, що найближчим до 1 є коефіцієнт К_Г_М. Це означає, що стороннє тіло з гуми найкращим чином визначається у свинячому м'ясі.

Аналогічні дослідження зробимо для стороннього тіла з пластику, яке знаходиться в поролоні, пінопласті й свинячому м'ясі (табл. 5).

Порівнюючи коефіцієнти К_ПЛ_ПОР, К_ПЛ_ПІН, К_ПЛ_М, отримуємо, що найближчим до 1 є коефіцієнт К_ПЛ_М. Це означає, що стороннє тіло з пінопласту найкращим чином визначається в свинячому м'ясі.

Проведемо відповідні обчислення і для стороннього тіла — батарейки, що знаходиться в поролоні, пінопласті й свинячому м'ясі (табл. 6).

Таблиця 4. Результати досліджень занурення гуми в моделях

Поролон						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/довжина СКТ	Ширина/ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	9,6	10,1	9,5	4,1	0,95049505	2,317073171
2	8,9	8,9	8,7	4,2	1	2,071428571
3	9,1	9,8	8,8	3,8	0,928571429	2,315789474
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					0,9597	2,2348
К_Г_ПОР = (КД + КШ)/2					1,5972	
Пінопласт						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/довжина СКТ	Ширина/ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	9,3	8,6	7,3	4,1	1,273972603	2,097560976
2	8,9	8,9	10,1	4,5	0,881188119	1,977777778
3	9,7	9,4	9,1	4,3	1,065934066	2,186046512
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					1,0737	2,0871
К_Г_ПІН = (КД + КШ)/2					1,5804	
Свиняче м'ясо						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/довжина СКТ	Ширина/ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	9,6	9,4	11,5	5,7	0,834782609	1,649122807
2	9,4	8,6	11,5	4,8	0,817391304	1,791666667
3	9,2	9	11,5	5,1	0,8	1,764705882
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					0,8173	1,7351
К_Г_М = (КД + КШ)/2					1,2762	

Таблиця 5. Результати досліджень пластику в моделях

Поролон						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	6,5	6	5,4	2,5	1,203703704	2,4
2	7	6,5	6,9	2,9	1,014492754	2,24137931
3	6,6	6,2	5,5	3	1,2	2,066666667
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					1,1394	2,2360
К_ПЛ_ПОР = (КД + КШ)/2					1,6877	
Пінопласт						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	7,7	7,4	7	2,4	1,1	3,083333333
2	6,8	6,5	5,6	3,1	1,214285714	2,096774194
3	6,1	5,8	5,7	2,6	1,070175439	2,230769231
Середній коефіцієнт відношення, КД2, КШ2					1,1282	2,4703
К_ПЛ_ПІН = (КД + КШ)/2					1,7992	
Свиняче м'ясо						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	6,9	6	8,7	4,6	0,793103448	1,304347826
2	6,6	6,6	7,8	4,7	0,846153846	1,404255319
3	6,5	6,2	8,2	4,6	0,792682927	1,347826087
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					0,8106	1,3521
К_ПЛ_М = (КД + КШ)/2					1,0813	

Таблиця 6. Результати дослідження батарейки в моделях

Поролон						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	11,6	11,6	13,2	7,4	0,878787879	1,567567568
2	11,6	11,6	13,1	8,6	0,885496183	1,348837209
3	11,6	11,6	13,3	8,6	0,872180451	1,348837209
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					0,8788	1,4217
К_Б_ПОР = (КД + КШ)/2					1,1502	
Пінопласт						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	11,6	11,6	10,6	13,5	1,094339623	0,859259259
2	11,6	11,6	13	7,8	0,892307692	1,487179487
3	11,6	11,6	12,1	8,7	0,958677686	1,333333333
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					0,9818	1,2266
К_Б_ПІН = (КД + КШ)/2					1,0813	
Свиняче м'ясо						
№	Розмір, мм		Розмір СКТ, мм		Довжина/ довжина СКТ	Ширина/ ширина СКТ
	Довжина	Ширина	Довжина	Ширина		
1	11,6	11,6	13,4	7,8	0,865671642	1,487179487
2	11,6	11,6	13,3	7,9	0,872180451	1,46835443
3	11,6	11,6	13,3	7,8	0,872180451	1,487179487
Середній коефіцієнт відношення, КД, КШ					0,87	1,4809
К_Б_М = (КД + КШ)/2					1,1754	

Порівнюючи коефіцієнти $K_{Б_ПОР}$, $K_{Б_ПІН}$, $K_{Б_М}$, отримуємо, що всі коефіцієнти є достатньо близькими до 1. Це означає, що стороннє тіло — батарея чітко визначається в поролоні, пінопласті та свинячому м'ясі.

Обговорення

У попередніх роботах [1, 5] було показано, що реальні розміри металевих сторонніх тіл відрізняються від тих, які визначаються під час МСКТ моделей. Для більш точного визначення розмірів використовуються коефіцієнти. Застосування математичних методів у підготовці до оперативного втручання дозволяє визначити імовірність видалення СТ залежно від розмірів СТ, розмірів рани й глибини розташування СТ [6].

При порівнянні рентгенологічної щільності СТ у різних моделях і їх коефіцієнтів можна визначити, що щільність моделі впливає на променеву візуалізацію СТ.

Висновки

1. Реальні розміри сторонніх тіл, розміщених у біологічних і небіологічних моделях, відрізняються від розмірів, отриманих на мультиспіральній комп'ютерній томографії. Корекція даних проводиться через розрахункові коефіцієнти по довжині й ширині.

2. Рентгенологічна щільність моделі впливає на променеву візуалізацію стороннього тіла.

3. Застосування математичного моделювання при визначенні розмірів і рентгенографічної щільності дозволяє зменшити похибку вимірювання і визначитися зі структурою стороннього тіла.

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

References

1. Bunin YuV, Mykhailusov RM, Nehodyuko VV, Nechuiviter OP, Pershyna YuI, Yasinsky OV. *Mathematical simulation of radiation diagnostics of foreign bodies of lungs of fire origin. Medicine To-*

day and Tomorrow. 2021;90(2):30-39. Ukrainain. doi: 10.35339/msz.2021.90.2.

2. Homenko IP, Lurin IA, Usenko OYu, et al., authors; Tsymbalyuk VI, editor. *Gunshot wounds of soft tissues (experience of anti-terrorist operation/operation of joint forces). Kharkiv: Collegium; 2020. 399 p. Ukrainian.*

3. Lurin IA, Mykhailusov RM, Nehodyuko VV, et al., authors; Tsymbalyuk VI, editor. *Simulation of gunshot wounds. Kharkiv; 2022. 322 p. Ukrainian.*

4. Nehodyuko VV. *Diagnosis and removal of foreign bodies of soft tissues of gunshot origin (experimental and clinical study). PhD diss. Kharkiv; 2019. 44 p. Ukrainian.*

5. Nehodyuko VV, Nechuiviter OP, Pershyna YuI. *Mathematical modeling of fire-fighting foreign bodies removing from soft tissues. Visnik morskoi medicini. 2017;(74):96-103. Ukrainian.*

6. Mykhailusov RM, Nehodyuko VV, Nechuiviter OP, Pershyna YuI, Lytvyn OO. *Method for determining the probability of foreign body removal. Patent UA № 121929 U, 2017. Ukrainian.*

7. Lytvyn OM, Nechuiviter OP. *3D Fourier Coefficients on the Class of Differentiable Functions and Spline Interpolation. Journal of Automation and Information Science. 2012;44(3):45-56. doi: 10.1615/JAutomatInfScien.v44.i3.40.*

8. Mezhuiev V, Lytvyn OM, Nechuiviter OP, Pershyna YuI, Keita K, Lytvyn OO. *Cubature formula for approximate calculation of integrals of two-dimensional irregular highly oscillating functions. UPB Sci Bull. Series A. 2018;80(3):169-182.*

9. Lytvyn OM, Nechuiviter OP, Pershyna YuI, Mezhuiev V. *Input Information in the Approximate Calculation of Two-Dimensional Integral from Highly Oscillating Functions (Irregular Case). In: Chertov O, Mylovanov T, Kondratenko Yu, Kacprzyk J, Kreinovich V, Stefanuk V, editors. Recent Developments in Data Science and Intelligent Analysis of Information: Proceedings of the XVIII International Conference on Data Science and Intelligent Analysis of Information. 2018, June 4-7; Kyiv, Ukraine. Cham: Springer; 2018. 365-373 pp.*

10. Nechuiviter OP, Iarmosh OV, Kovalchuk KH. *Numerical calculation of multidimensional integrals depended on input information about the function in mathematical modelling of technical and economic processes. IOP Conf Ser: Mater. Sc. Eng. 2021;1031:012059. doi: 10.1088/1757-899X/1031/1/012059.*

Отримано/Received 04.02.2024

Рецензовано/Revised 13.02.2024

Прийнято до друку/Accepted 23.02.2024 ■

Information about authors

E.M. Khoroshun, Hero of Ukraine, PhD, Colonel of the medical service, Head of the Military Medical Clinical Center of the Northern Region, Kharkiv, Ukraine; e-mail: ehoroshun@i.ua; phone: +380(67)6923120; Associate Professor at the Department of Surgery № 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-1258-1319>

Volodymyr Nehoduiko, MD, PhD, Associate Professor, Colonel of the medical service, Head of the Clinic of emergency medical care (and reception and evacuation), Military Medical Clinical Center of the Northern Region, Kharkiv, Ukraine; e-mail: vol-ramzes13@ukr.net; phone: +380(50)4523273; Professor at the Department of Surgery № 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-4540-5207>

V.V. Makarov, MD, PhD, Professor, Head of the Department of Surgery № 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: docvmmakarov@gmail.com; phone: +380(67)9518382; Surgeon at the Surgical department of the Surgical clinic, Military Medical Clinical Center of the Northern Region, Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-4224-0294>

M.O. Malimonenko, captain of the medical service, resident of the advanced surgical department, National military medical clinical center "Main military clinical hospital", Kyiv, Ukraine; e-mail: maxmegamon@gmail.com; phone: +380(63)2666222; Junior Research Fellow at the department of restorative and reconstructive surgery, State scientific institution "Center for Innovative Medical Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0001-5013-4857>

O.P. Nechuiviter, Doctor of physical and mathematical sciences, Professor, Head of the Department of information computer technologies and mathematics, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine; e-mail: olesia.nechuiviter@gmail.com; phone: +380(50)1894738; <https://orcid.org/0000-0003-2775-8471>

Yu.I. Pershyna, Doctor of physical and mathematical sciences, Professor, Head of the Department of higher mathematics, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; e-mail: YuliaPershina78@gmail.com; phone: +380(50)2226979; <https://orcid.org/0000-0002-4719-8195>

Vladimir Dotsenko, PhD, Associate Professor at the Department of Surgery № 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: docenko73@ukr.net; fax: +380(57)7004132; phone: +380(57)7077380, +380(50)7131665; <https://orcid.org/0009-0009-8242-0693>

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.

E.M. Khoroshun^{1,2}, V.V. Nehoduiko^{1,2}, V.V. Makarov^{1,2}, M.O. Malimonenko^{3,4}, O.P. Nechuviter⁵, Yu.I. Pershyn⁶, V.V. Dotsenko¹

¹Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

²Military Medical Clinical Center of the Northern Region, Kharkiv, Ukraine

³National Military Medical Clinical Center "Main Military Clinical Hospital", Kyiv, Ukraine

⁴State Scientific Institution "Center for Innovative Medical Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine", Kyiv, Ukraine

⁵Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine

⁶National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

Mathematical modeling of foreign bodies with different density in biological and non-biological models in the experiment

Abstract. Background. Modeling allows investigating both existing and predicted processes and is widely used in basic science and in many industries. The aim is to develop a mathematical model for determining the size of the foreign bodies (FB) and their radiographic density in non-biological and biological models to improve the results of diagnosis for gunshot ricochet wounds. **Materials and methods.** In the biological non-living model (a piece of pork) and non-biological models (polystyrene, foam rubber), we place the FB made of paper, leather, rubber, plastic, and lithium-ion batteries. The number of the FB is 9 of each type. Number of models is 3 each: pork, polystyrene, foam rubber. We measure the dimensions of the FB and models with a metric ruler. For each model, we select the FB, which we label with the study number. We immerse the FB to the same depth using a Billoth general surgical medium hemostatic clamp in the following sequence: paper, leather, rubber, plastic, and lithium-ion battery. Multislice computed tomography (MSCT) of the models is performed on the Revolution EVO (2021) apparatus with measurement of the sizes and radiographic density of the FB and models. Radiographic density was measured in conventional units on the Hounsfield scale. For each study group, the ratio of the actual sizes of the removed FB and according to MSCT data was determined in the MathCad 15 computer math software, depending on the radiological density of the FB and the model. **Results.** According to MSCT data, the radiographic density of the models

on the Hounsfield scale is as follows: polystyrene — -990.0 ± 0.3 units; foam rubber — -985.0 ± 0.2 units; pork — 62.0 ± 0.3 units; radiographic density of the foreign bodies: paper — -743.0 ± 10.3 units, leather — -258.0 ± 14.2 units, rubber — -12.0 ± 2.6 units, plastic — 183.0 ± 14.6 units, lithium-ion batteries — 3071 units. Visualization of paper in non-biological and biological models and leather in non-biological models is problematic due to the similar radiographic density of the models and the inability to measure the dimensions. When the FB (rubber, plastic, battery) is immersed in polystyrene, the coefficient of length (CL) is 1.0612, the coefficient of width (CW) is 1.928; in foam rubber: CL is 0.9926, CW is 1.9641; in pork: CL is 0.8394, CW is 1.534. Comparing the average coefficients of the ratio (CL and CW), we find that the coefficient in a biological model is closest to 1. This means that the FB from rubber, plastic, and batteries are best detected in pork. **Conclusions.** The actual dimensions of the FB placed in biological and non-biological models differ from those obtained by MSCT. Data correction is performed through calculated coefficients for length and width. The radiographic density of the model affects the radial visualization of the FB. The use of mathematical modeling in determining the sizes and radiographic density allows reducing the measurement error and determine the structure of the FB.

Keywords: mathematical modeling; foreign bodies; biological model; non-biological model; experiment