

УДК 616-073.75616.24-001.46

DOI: <https://doi.org/10.22141/2224-0586.20.5.2024.1736>Хорошун Е.М.^{1,2} , Макаров В.В.^{1,2} , Негодуйко В.В.^{1,2} , Нечуйвітер О.П.³ ,
Першина Ю.І.⁴ , Верьовкін І.В.⁵ ¹Військово-медичний клінічний центр Північного регіону, м. Харків, Україна²Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна³Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків, Україна⁴Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна⁵Національний військово-медичний клінічний центр «Головний військовий клінічний госпіталь», м. Київ, Україна

Математичне моделювання прогнозу міграції сторонніх тіл вогнепального походження

For citation: Emergency Medicine (Ukraine). 2024;20(5):363-375. doi: 10.22141/2224-0586.20.5.2024.1736

Резюме. Актуальність. Мета: демонстрація можливостей математичних методів при дослідженні міграції сторонніх тіл вогнепального походження. **Матеріали та методи.** Проаналізовано 82 випадки вогнепальних осколкових сліпих поранень різної локалізації за визначений період, у яких була міграція стороннього тіла різними шляхами. Усі поранені були чоловічої статі, середній вік становив $43,2 \pm 4,1$ року. За типом міграції сторонніх тіл вогнепального походження виділяємо наступні напрямки: дихальні шляхи, шлунково-кишковий тракт, судинне русло (магістральні вени та артерії, серце), сечостатеві шляхи, у порожнинах (плевральній, черевній, перикарда, суглобів), у м'яких тканинах при нагноєнні, коли джерелом є стороннє тіло, яке рухається за током гною. При розрахунку дистанції міграції були застосовані середні анатомічні розміри органів. Були визначені розміри та маса сторонніх тіл, які мігрували внаслідок вогнепального поранення. Для розрахунку основних показників враховували наступні дані: час виявлення стороннього тіла після поранення (хвилини), дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла (см), час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла) (хвилини, місяці), дистанція, яку може пройти стороннє тіло (см), кількість випадків міграції. За основу математичних розрахунків взято рівняння руху Ньютона. За результатами математичних розрахунків отримані наступні дані: середня швидкість міграції по напрямках міграції, обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості, інтервал знаходження середньої швидкості, розрахункова дистанція, яку пройде стороннє тіло. **Результати.** За розмірами сторонніх тіл вогнепального походження, які мігрували, розподіл був наступний: до 5 мм в найбільшому вимірі — 18 (19,8%), від 5,1 до 8 мм — 73 (80,2%) випадки. Середня маса видалених сторонніх тіл, які мігрували, становила $4,2 \pm 0,4$ грама. Кількість виявлених сторонніх тіл, які мігрували, була 91, з яких видалених сторонніх тіл — 90 та 1 — не видаляли. Поодинокі сторонні тіла становили 79 (96,3%), множинні — 3 (3,7%) випадки. Підрахований очікуваний час, за який в середньому може пройти середню можливу дистанцію стороннє тіло: за отриманими результатами була підрахована середня швидкість переміщення стороннього тіла вогнепального походження на різних частках тіла людини з урахуванням часу виявлення поранення; підраховано середній час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла) та середня дистанція, яку може пройти стороннє тіло; підраховано, за який очікуваний час тіло може пройти середню можливу дистанцію міграції із середньою швидкістю. **Висновки.** Середня швидкість міграції по напрямках міграції та розрахункова дистанція, яку пройде стороннє тіло, дозволяють прогнозувати місце розташування стороннього тіла за напрямком міграції, що впливає на оперативний доступ та обсяг оперативного втручання. Усі сторонні тіла вогнепального походження, які мігрували, були малих або середніх розмірів та мали масу до 5 грамів. Особливості анатомічної будови та функції органів за напрямком міграції впливають на прогнозування визначення місця локалізації стороннього тіла.

Ключові слова: сторонні тіла; вогнепальне поранення; міграція; прогноз; математичне моделювання

 © 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: Макаров Віталій Володимирович, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри хірургії № 4, Харківський національний медичний університет, просп. Науки, 4, м. Харків, 61022, Україна; e-mail: docvnmakarov@gmail.com; тел.: +380 (67) 951-83-82; лікар-хірург хірургічного відділення хірургічної клініки, Військово-медичний клінічний центр Північного регіону, вул. Культури, 5, м. Харків, 61058, Україна

For correspondence: Vitalii Makarov, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Surgery 4, Kharkiv National Medical University, Nauky Ave., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine; e-mail: docvnmakarov@gmail.com; phone: +380 (67) 951-83-82; Surgeon at the Surgical Department of the Surgical Clinic, Military Medical Clinical Center of the Northern Region, Kultury st., 5, Kharkiv, 61058, Ukraine

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

Вступ

Міграція сторонніх тіл вогнепального походження є рідким явищем [1–7] і потребує відповідної уваги та тактичних дій. Міграція сторонніх тіл є окремим видом перебігу вогнепального поранення, тому розуміння цієї проблеми дозволяє прийняти правильне рішення.

Сучасне математичне моделювання систем і процесів використовує як нові математичні методи, зокрема з новими інформаційними операторами [12, 13], так і відомі класичні [9].

Прогнозування міграції сторонніх тіл вогнепального походження з використанням математичних методів є сучасним, актуальним та дискусійним питанням, що розширює розуміння процесу міграції.

Мета: демонстрація можливостей математичних методів при дослідженні міграції сторонніх тіл вогнепального походження.

Матеріали та методи

Проаналізовано 82 випадки вогнепальних осколко-вих сліпих поранень різної локалізації за визначений період, у яких була міграція стороннього тіла різними шляхами. Усі поранені були чоловічої статі, середній вік становив $43,2 \pm 4,1$ року. За типом міграції сторонніх тіл вогнепального походження виділяємо наступні напрямки: дихальні шляхи, шлунково-кишковий тракт, судинне русло (магістральні вени та артерії, серце), сечостатеві шляхи, у порожнинах (плевральній, черевній, перикарда, суглобів), у м'яких тканинах при нагноєнні, коли джерелом є стороннє тіло, яке рухається за током гною (табл. 1).

При розрахунку дистанції міграції були застосовані середні анатомічні розміри органів [8].

Були визначені розміри та маса сторонніх тіл, які мігрували внаслідок вогнепального поранення.

Для розрахунку основних показників враховували наступні дані: час виявлення стороннього тіла після поранення (хвилини), дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла (см), час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла) (хвилини, місяці), дистанція, яку може пройти стороннє тіло (см), кількість випадків міграції. Схема проведення розрахунків при міграції сторонніх тіл вогнепального походження надана на рис. 1.

За основу математичних розрахунків взято рівняння руху Ньютона [12, 13]:

$$m\vec{a} = \vec{F}_{ум} + \vec{F}_{в'язк},$$

де m — маса тіла, \vec{a} — прискорення тіла, $\vec{F}_{ум}$ — штовхаюча сила, $\vec{F}_{в'язк} = \gamma\vec{v}$ — сила в'язкості середовища, \vec{v} — швидкість тіла, γ — коефіцієнт тертя рідини чи середовища.

У цьому дослідженні штовхаюча сила $\vec{F}_{ум}$ має періодичну природу. Представимо $\vec{F}_{ум}$ у вигляді $F_{ум} = F_0 \cdot f(t)$, $F_0 = \text{const}$, $0 < f(t) < 1$, $f(t + T) = f(t)$, причому $\frac{1}{T} = \nu < 1,5 \text{ Гц}$ — частота серця, $T \approx 0,66$ с. Оскільки в нас рух відбувається на часових проміжках порядку $10 \text{ хв} \gg T$, то замість періодичної функції можна взяти середню $F_{ум} = \langle F_0 \cdot f(t) \rangle$. При постійній силі швидкість стає постійною, оскільки сила в'язкого тертя компенсує штовхаючу силу.

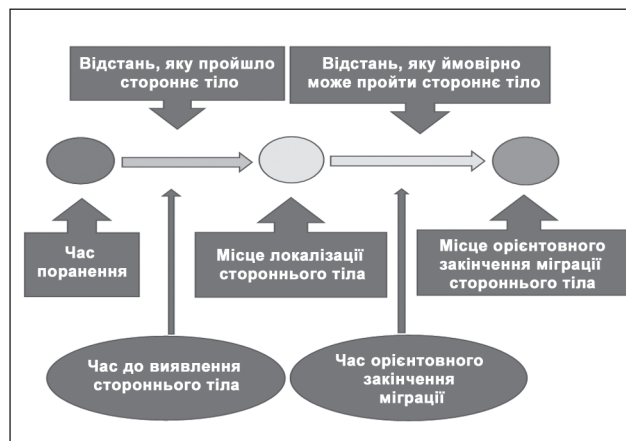


Рисунок 1. Схема проведення розрахунків при міграції сторонніх тіл вогнепального походження

Рівняння руху Ньютона можна переписати в наступному вигляді:

$$0 = \langle F_{ум} \rangle - \gamma|v|, \Rightarrow |v| = \frac{\langle F_{ум} \rangle}{\gamma} = \text{const}, \Rightarrow S = \langle v \rangle t,$$

де переміщення $S = \min(\langle v \rangle t, S_{max})$, S_{max} — максимальна відстань, яку може пройти тіло.

За результатами математичних розрахунків отримані наступні дані: середня швидкість міграції по напрямках міграції, обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості, інтервал знаходження середньої швидкості, розрахункова дистанція, яку пройде стороннє тіло.

Результати

За розмірами сторонніх тіл вогнепального походження, які мігрували, розподіл був такий: до 5 мм у найбільшому вимірі — 18 (19,8 %), від 5,1 до 8 мм — 73 (80,2 %) випадки. Середня маса видалених сторонніх тіл, які мігрували, становила $4,2 \pm 0,4$ грама.

Кількість виявлених сторонніх тіл, які мігрували, була 91, з яких видалених сторонніх тіл — 90 та 1 — не видаляли. Поодинокі сторонні тіла становили 79 (96,3 %), множинні — 3 (3,7 %) випадки.

Середні значення даних для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження наведені в табл. 2.

Підрахований очікуваний час, за який у середньому може пройти середню можливу дистанцію стороннє тіло: за отриманими результатами була підрахована середня швидкість переміщення стороннього тіла вогнепального походження на різних частках тіла людини з урахуванням часу виявлення поранення; підраховано середній час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла) та середня дистанція, яку може пройти стороннє тіло; підраховано, за який очікуваний час тіло може пройти середню можливу дистанцію міграції із середньою швидкістю.

Розрахунок для дихальних шляхів наданий в табл. 3.

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в дихальних шляхах становить $v_{дих} = (0,5 + 3 * 0,42 + 0,32) / 5 = 0,416$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma / \sqrt{n}$,

Таблиця 1

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хвилини	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтованого закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хвилини	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	<i>Дихальні шляхи</i>					5
	Ротоглотка — трахея	40	20	20	10	1
	Ротоглотка — центральні бронхи	60	25	20	7	3
	Гортань — бронхи	50	16	20	3	1
2	<i>Шлунково-кишковий тракт</i>					20
	Ротоглотка — шлунок	60	60	1440	340	5
	Ротоглотка — тонка кишка	100	310	1200	200	2
	Ротоглотка — товста кишка	240	460	240	20	3
	Ротоглотка — пряма кишка	360	510	0	0	2
	Шлунок — тонка кишка	180	180	1200	320	1
	Шлунок — товста кишка	240	320	240	20	1
	Шлунок — пряма кишка	360	340	0	0	1
	ДПК — тонка кишка	180	170	1200	320	1
	Тонка кишка — товста кишка	180	300	240	20	3
	Товста кишка — пряма кишка	240	45	0	0	1
3	<i>Судинне русло</i>					11
	Ліва яремна вена — ліва легенева артерія	60	42	1440	18	1
	Права підключична вена — ліва легенева артерія	60	37	1440	18	1
	Серце — права легенева артерія — ліва легенева артерія	120	19	1440	18	1
	Серце — права внутрішня сонна артерія	60	25	40	0	1
	Серце — ліва ниркова вена	60	32	1440	50	1
	Ворітна вена — гілка ворітної вени	120	7	1440	0	1
	Ліва ниркова вена — серце	120	32	1440	18	1
	Права ниркова вена — права легенева артерія	120	47	1440	18	1
	Нижня порожниста вена — серце	60	37	1440	18	1
	Нижня порожниста вена — права легенева артерія	60	50	1440	18	1
	Права поверхнева стегнова вена — серце	60	58	1440	18	1
	4	<i>Вільно розташовані в порожнинах сторонні тіла</i>				
Плевральна порожнина		60	28	240	28	10
Перикардальна сумка		90	13	240	13	2
Черевна порожнина		60	36	240	15	8
Порожнина плечового суглоба		120	6	1440	6	4
Порожнина кульшового суглоба		120	5,5	1440	5,5	1
Порожнина колінного суглоба		120	16	1440	7	18
5	<i>Сечостатева система</i>					1
	Нирка — сечовід	120	20	1440	22	1
6	<i>По м'яких тканинах при нагноєнні</i>					2
	Стегно	60	4	4 міс.	2	1
	Гомілка	60	3	3,5 міс.	2	1
Загалом						82

де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,0032}}{\sqrt{5}} = 0,0255$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в дихальних шляхах — (0,390; 0,442).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла в дихальних шляхах, наприклад на 65-й хвилині, необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 60 хвилин тіло пройшло 25 см (за даними вивчення).

2. За наступні 5 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,416 * 5 = 2,08$ см та знаходитися в проміжку (26,95; 27,20).

Розрахунки для шлунково-кишкового тракту надані в табл. 4–10.

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті $v_{шк} = 1,6$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,9}}{\sqrt{7}} = 0,358$$

Таблиця 2. Узагальнена таблиця середніх значень даних для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження

№ п/п	Напрямок міграції	Кількість випадків	Середній час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Середня дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Середня швидкість, см/хв	Похибка обчислення середньої швидкості	Інтервал знаходження середньої швидкості, см/хв	Середній час ориєнтованого закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Середня дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Очікуваний час, за який у середньому може пройти середню дистанцію тіло, хв
1	Дихальні шляхи	5	54	22,2	0,416	0,026	(0,39; 0,442)	20	6,8	16,35
2.1	Шлунково-кишковий тракт	7	71,43	131,43	1,6	0,358	(1,242; 1,958)	1371,43	300	187,5
2.2		5	180	250	1,389	0,152	(1,237; 1,541)	624	140	100,79
2.3		7	291,43	437,12	1,552	0,132	(1,42; 1,684)	137,14	14,29	9,21
2.4		1	240	45	0,19	0	–	0	0	0
3.1	Судинне русло	7	60	40,14	0,669	0,066	(0,603; 0,735)	120	20	29,89
3.2		4	120	26,25	0,219	0,062	(0,157; 0,281)	1440	13,5	61,64
4.1	Вільно розташовані в порожнинах сторонні тіла	20	63	29,7	0,487	0,029	(0,458; 0,516)	240	20,75	42,60
4.2		5	120	5,9	0,049	0,001	(0,048; 0,05)	1440	5,9	120,40
4.3		18	120	16	0,133	0	–	1440	7	52,63
5	Сечостатева система	1	120	20	0,167	0	–	1440	22	131,73
6	По м'яких тканинах при нагноєнні	2	60	3,5	0,058	0,006	(0,052; 0,064)	3,75 міс.	2	34,48

Таблиця 3. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в дихальних шляхах

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Ротоглотка — трахея	0,5	0,084	0,007	1
2	Ротоглотка — центральні бронхи	0,42	0,004	0,000016	3
3	Гортань — бронхи	0,32	–0,096	0,0092	1
Середнє значення		0,416		0,0032	

Таблиця 4. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення до 100 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Ротоглотка — шлунок	60	60	1440	340	5
2	Ротоглотка — тонка кишка	100	310	1200	200	2
Середнє значення		71,43	131,43	1371,43	300	

Таблиця 5. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення до 100 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Ротоглотка — шлунок	1	-0,6	0,36	5
2	Ротоглотка — тонка кишка	3,1	1,5	2,25	2
Середнє значення		1,6		0,9	

Таблиця 6. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення до 180 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Шлунок — тонка кишка	180	180	1200	320	1
2	ДПК — тонка кишка	180	170	1200	320	1
3	Тонка кишка — товста кишка	180	300	240	20	3
Середнє значення		180	250	624	140	

Таблиця 7. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення до 180 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Шлунок — тонка кишка	1	-0,389	0,1513	1
2	ДПК — тонка кишка	0,944	-0,444	0,1975	1
	Тонка кишка — товста кишка	1,667	1,6667	0,0773	3
Середнє значення		1,389		0,11614	

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в шлунково-кишковому тракті — (1,215; 1,958).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, на шляху «ротоглотка — тонка кишка» на 70-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 60 хвилин тіло пройшло 60 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 1,6 * 10 = 16$ см та знаходитися в проміжку (72,15; 79,58).

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті $v_{шк} = 1,389$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,11614}}{\sqrt{5}} = 0,152$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в шлунково-кишковому тракті — (1,237; 1,541).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, на шляху «шлунок — тонка кишка» на 200-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 180 хвилин тіло пройшло 180 см (за даними виявлення).

2. За наступні 20 хвилин тіло може мігрувати на $S = 1,389 * 20 = 27,78$ см та знаходитися в проміжку (204,74; 210,82).

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті $v_{шк} = 1,552$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,12179}}{\sqrt{7}} = 0,132$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в шлунково-кишковому тракті — (1,420; 1,684).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, на шляху «ротоглотка — товста кишка» на 300-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 240 хвилин тіло пройшло 460 см (за даними виявлення).

2. За наступні 60 хвилин тіло може мігрувати на $S = 1,552 * 60 = 93,12$ см та знаходитися в проміжку (545,21; 561,03).

Розглянемо як окремий випадок: $v_{ткк} = 0,19$ см/хв. За даним випадком можна дійти висновку, що тіло, наприклад, за 200 хв може пройти відстань 38 см.

Розрахунок для судинного русла наданий в табл. 11–14.

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в судинному руслі $v_{ср} = 0,669$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,029153}}{\sqrt{7}} = 0,066$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в порожнинах плечового та кульшового суглоба — (0,604; 0,734).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, на шляху «серце — права внутрішня сонна артерія» на 70-й хвилині треба використати S_{max} — максимальна відстань, яку може пройти тіло. У даному випадку $S_{max} = 0$, а якщо розглядаємо напрямок «серце — ліва ниркова вена», то необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 60 хвилин тіло пройшло 32 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,669 * 10 = 6,69$ см та знаходитися в проміжку (38,04; 39,34).

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в судинному руслі $v_{ср} = 0,219$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,01539}}{\sqrt{4}} = 0,062$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в порожнинах плечового та кульшового суглоба — (0,157; 0,281).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, на шляху «ліва ниркова вена — серце» на 150-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 120 хвилин тіло пройшло 32 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,219 * 30 = 6,57$ см та знаходитися в проміжку (36,708; 40,431).

Розрахунок для вільно розташованих у порожнинах сторонніх тіл наданий в табл. 15–19.

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в порожнинах плечового та кульшового суглоба $v_{ан} = (0,467*10 + 0,144*2 + 0,6*8)/20 = 0,487$ см/хв. Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,01707}}{\sqrt{20}} = 0,029$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в порожнинах плечового та кульшового суглоба — (0,458; 0,516).

Таким чином для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, в порожнині плечового суглоба на 100-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 90 хвилин тіло пройшло 13 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,049 * 10 = 0,49$ см та знаходитися в проміжку (13,46; 13,52).

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в порожнинах плечового та кульшового суглоба $v_{нск} = (0,05*4 + 0,047)/5 = 0,049$ см/хв.

Таблиця 8. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення понад 240 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Ротоглотка — товста кишка	240	460	240	20	3
2	Ротоглотка — пряма кишка	360	510	0	0	2
3	Шлунок — товста кишка	240	320	240	20	1
4	Шлунок — пряма кишка	360	340	0	0	1
Середнє значення		291,43	437,12	137,14	14,29	

Таблиця 9. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення понад 240 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Ротоглотка — товста кишка	1,9167	0,364667	0,132982	3
2	Ротоглотка — пряма кишка	1,4167	-0,135333	0,018315	2
3	Шлунок — товста кишка	1,3333	-0,218667	0,047815	1
4	Шлунок — пряма кишка	0,9444	-0,607556	0,369124	1
Середнє значення		1,552		0,12179	

Таблиця 10. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в шлунково-кишковому тракті (час виявлення понад 240 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Товста кишка — пряма кишка	240	45	0	0	1

Таблиця 11. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в судинному руслі (час виявлення 60 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Ліва яремна вена — ліва легенева артерія	60	42	1440	18	1
2	Права підключична вена — ліва легенева артерія	60	37	1440	18	1
3	Серце — права внутрішня сонна артерія	60	25	40	0	1
4	Серце — ліва ниркова вена	60	32	1440	50	1
5	Нижня порожниста вена — серце	60	37	1440	18	1
6	Нижня порожниста вена — права легенева артерія	60	50	1440	18	1
7	Права поверхнева стегнова вена — серце	60	58	1440	18	1
Середнє значення		60	40,14	120	20	

Таблиця 12. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в судинному руслі (час виявлення 60 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Ліва яремна вена — ліва легенева артерія	0,7	0,031	0,000961	1
2	Права підключична вена — ліва легенева артерія	0,617	-0,052	0,002704	1
3	Серце — права внутрішня сонна артерія	0,417	-0,252	0,063504	1
4	Серце — ліва ниркова вена	0,533	-0,136	0,018496	1
5	Нижня порожниста вена — серце	0,617	-0,052	0,002704	1
6	Нижня порожниста вена — права легенева артерія	0,833	0,164	0,026896	1
7	Права поверхнева стегнова вена — серце	0,967	0,298	0,088804	1
Середнє значення		0,669		0,029153	

Таблиця 13. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в судинному руслі (час виявлення 120 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Серце — права легенева артерія — ліва легенева артерія	120	19	1440	18	1
2	Ворітна вена — гілка ворітної вени	120	7	1440	0	1
3	Ліва ниркова вена — серце	120	32	1440	18	1
4	Права ниркова вена — права легенева артерія	120	47	1440	18	1
Середнє значення		120	26,25	1440	13,5	

Таблиця 14. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в судинному руслі (час виявлення 120 хвилин)

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Серце — права легенева артерія — ліва легенева артерія	0,158	-0,060666667	0,003680444	1
2	Ворітна вена — гілка ворітної вени	0,058	-0,160666667	0,025813778	1
3	Ліва ниркова вена — серце	0,267	0,047666667	0,002272111	1
4	Права ниркова вена — права легенева артерія	0,392	0,172666667	0,029813778	1
Середнє значення		0,219		0,015395028	

Таблиця 15. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження у вільно розташованих порожнинах

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Плевральна порожнина	60	28	240	28	10
2	Перикардіальна сумка	90	13	240	13	2
3	Черевна порожнина	60	36	240	15	8
Середнє значення		63	29,7	240	20,75	

Таблиця 16. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження у вільно розташованих порожнинах

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Плевральна порожнина	0,467	-0,02	0,0004	10
2	Перикардіальна сумка	0,144	-0,343	0,11765	2
3	Черевна порожнина	0,6	0,113	0,01277	8
Середнє значення		0,487		0,01707	

Таблиця 17. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в порожнинах плечового та кульшового суглоба

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Порожнина плечового суглоба	120	6	1440	6	4
2	Порожнина кульшового суглоба	120	5,5	1440	5,5	1
Середнє значення		120	5,9	1440	5,9	

Таблиця 18. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в порожнинах плечового та кульшового суглоба

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Порожнина плечового суглоба	0,05	0,001	0,000001	4
2	Порожнина кульшового суглоба	0,047	-0,002	0,000004	1
Середнє значення		0,049		0,0000016	

Стандартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,0000016}}{\sqrt{5}} = 0,00057$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в порожнинах плечового та кульшового суглоба — (0,0484; 0,0495).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, в порожнині плечового суглоба на 130-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 120 хвилин тіло пройшло 6 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,049 * 10 = 0,49$ см та знаходитися в проміжку (6,48; 6,495).

Через велику кількість випадків варто міграцію стороннього тіла в порожнині колінного суглоба розглянути як окремий випадок.

За результатами одного випадку можна знайти середню швидкість руху стороннього тіла: $v_{\text{колусг}} = 0,133$. Для знаходження відстані, на яку тіло могло мігрувати

в порожнині колінного суглоба через 130 хвилин, необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 120 хвилин тіло пройшло 16 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,133 * 10 = 1,33$ см, дистанція міграції буде становити 17,33 см.

Розрахунок для сечостатевої системи наданий в табл. 20.

За результатами одного випадку можна знайти середню швидкість руху стороннього тіла: $v_{\text{сеч}} = 0,167$. Для знаходження відстані, на яку тіло могло мігрувати в напрямку «нирка — сечовід» через 30 хвилин, необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 120 хвилин тіло пройшло 20 см (за даними виявлення).

2. За наступні 10 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,167 * 10 = 1,67$ см, дистанція міграції буде становити 21,67 см.

Розрахунок по м'яких тканинах при нагноєнні наданий в табл. 21, 22.

Середня швидкість переміщення сторонніх тіл вогнепального походження в м'яких тканинах при нагноєнні $v_{\text{м'як}} = (0,067 + 0,05)/2 = 0,058$ см/хв. Стан-

Таблиця 19. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в порожнині колінного суглоба

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Порожнина колінного суглоба	120	16	1440	7	18

Таблиця 20. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження в сечостатевої системі

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), хв	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Нирка — сечовід	120	20	1440	22	1

Таблиця 21. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження по м'яких тканинах при нагноєнні

№ п/п	Напрямок міграції	Час виявлення стороннього тіла після поранення, хв	Дистанція міграції на час виявлення стороннього тіла, см	Час орієнтовного закінчення міграції (видалення стороннього тіла), міс.	Дистанція, яку може пройти стороннє тіло, см	Кількість випадків
1	Стегно	60	4	4	2	1
2	Гомілка	60	3	3,5	2	1
Середнє значення		60	3,5	3,75	2	

Таблиця 22. Дані для розрахунку можливостей міграції сторонніх тіл вогнепального походження по м'яких тканинах при нагноєнні

№ п/п	Напрямок міграції	Швидкість, з якою тіло рухалося до виявлення, см/хв	Обчислення середньоквадратичної похибки для швидкості		Кількість випадків
1	Стегно	0,067	0,009	0,000081	1
2	Гомілка	0,05	-0,008	0,000064	1
Середнє значення		0,058		0,0000725	

дартна похибка середнього обчислюється за формулою $E = \sigma/\sqrt{n}$, де σ — середнє квадратичне відхилення. У даному випадку

$$E = \frac{\sqrt{0,0000725}}{\sqrt{2}} = 0,006$$

і відповідно інтервал знаходження середньої швидкості тіла в м'яких тканинах при нагноєнні — (0,052; 0,064).

Таким чином, для знаходження інтервалу перебування тіла, наприклад, в стегні на 65-й хвилині необхідно зробити наступні розрахунки:

1. За 60 хвилин тіло пройшло 4 см (за даними виявлення).

2. За наступні 5 хвилин тіло може мігрувати на $S = 0,058 * 5 = 0,29$ см та знаходитися в проміжку (4,26; 4,32).

3. Якщо тіло буде рухатися із швидкістю $v_{\text{мтк}} = 0,058$, то 2 см воно пройде за 34,48 хв. Якщо воно буде рухатися із швидкістю $v_{\text{мтк}} = 0,000012$, то зможе подолати відстань за 4 місяці. Або рух може бути нерівномірний.

Обговорення

Кожен з напрямків руху стороннього тіла при міграції має свої анатомічні та фізіологічні особливості [8].

За будовою дихальні шляхи звужуються від ротоглотки до периферії (альвеол) [8]. Дистанція міграції обмежена діаметром дихальних шляхів, розмірами стороннього тіла та наявним рухом повітря при диханні [10].

Шлунково-кишковий шлях має достатній діаметр для руху сторонніх тіл від ротоглотки до ануса [8]. Рух стороннього тіла сповільнюється при відсутності або зниженні перистальтики, що може бути при перитоніті (у наших випадках перитоніт в 30 % хворих цієї групи, як правило, рух сповільнюється в 2 рази).

Особливості руху стороннього тіла виникають при русі судинним руслом: по артеріях, у такому разі стороннє тіло фіксується в самому вузькому місці (напрямок руху від центру до периферії); легеневі артерії є венами за будовою (тому дистанція міграції може змінюватися); найбільша дистанція руху стороннього тіла відзначається при русі по венах (винятком є ворітна вена — вона звужується від центру до периферії) [8].

Вільно розташовані сторонні тіла в порожнинах обмежені в рухах розмірами порожнини, у якій вони знаходяться [3, 4].

Сечостатева система має свої фізіологічні звуження, і рух стороннього тіла реалізується за рахунок перистальтики та руху сечі (рух стороннього тіла більше ніж на 1 см малоімовірний) [8].

По м'яких тканинах після формування капсули навколо стороннього тіла його рух неможливий, але за наявності нагноєння стороннє тіло рухається за током гною [2, 6, 7, 11].

Час 1440 хвилин відповідає добовій передопераційній підготовці. Зазвичай до оперативного лікування або на операційному столі проводиться променевий контроль місця розташування стороннього тіла [10].

На міграцію стороннього тіла вогнепального походження впливає положення тіла, маса стороннього тіла та швидкість потоку, розміри стороннього тіла, площа взаємодії стороннього тіла та потоку впливають на емболізм стороннього тіла по судинному руслу. Урахування всіх факторів впливу вносить свої корективи в математичне обчислення.

Висновки

1. Середня швидкість міграції по напрямках міграції та розрахункова дистанція, яку пройде стороннє тіло, дозволяють прогнозувати місце розташування стороннього тіла за напрямком міграції, що впливає на оперативний доступ та обсяг оперативного втручання.

2. Усі сторонні тіла вогнепального походження, які мігрували, були малих або середніх розмірів та мали масу до 5 грамів.

3. Особливості анатомічної будови та функції органів за напрямком міграції впливають на прогнозування визначення місця локалізації стороннього тіла.

References

1. *Tsybaliuk VI, editor. Atlas of combat surgical trauma (experience of anti-terrorist operation/joint forces operation). Kharkiv: Kolegium; 2021. 385 p. Ukrainian.*
2. *Homenko IP, Lurin IA, Usenko OYu, et al., authors; Tsybaliuk VI, editor. Gunshot wounds of soft tissues (experience of anti-terrorist operation/joint forces operation). Kharkiv: Kolegium; 2021. 399 p. Ukrainian.*
3. *Lurin IA, Khoroshun EM, Gumeniuk KV, et al., authors; Tsybaliuk VI, editor. Treatment of wounded with combat chest injuries: a collective monograph. Ternopil: TNMU; 2023. 236 p. Ukrainian.*

4. Gumeniuk KV, Homenko IP, Lurin IA, et al., authors; Tsymbaliuk VI, editor. *Treatment of the wounded with combat injuries of the abdomen (according to the experience of anti-terrorist operation/joint forces operation): a monograph*. Kherson: Oldi+; 2022. 194 p. Ukrainian.
5. Lurin IA, Mykhailusov RM, Negoduyko VV, et al., authors; Tsymbaliuk VI, editor. *Simulation of gunshot wounds*. Kharkiv; 2022. 322 p. Ukrainian.
6. Negoduyko VV. *Diagnosis and removal of foreign bodies of soft tissues of gunshot origin (experimental and clinical study)*. PhD diss. Kharkiv; 2019. 44 p. Ukrainian.
7. Tsymbaliuk VI, Homenko IP, Lurin IA, et al., authors; Tsymbaliuk VI, editor. *Pathomorphosis of gunshot wounds of soft tissues*. Kharkiv: Kolegium; 2018. 176 p. Ukrainian.
8. Mateshuk-Vaceba LR. *Normal anatomy: educational and methodical guide*. 2nd ed. Vinnytsia: Nova knyga; 2019. 431 p. Ukrainian.
9. NASA Glenn Research Center. *Newton's Laws of Motion*. Available from: <https://www1.grc.nasa.gov/beginners-guide-to-aeronautics/newtons-laws-of-motion/>.
10. Lurin IA, Khoroshun EM, Negoduyko VV, et al. *Migration of foreign bodies of firearms origin*. *Ukrainian Journal of Clinical Surgery*. 2023;90(4):36-41. doi: 10.26779/2786-832x.2023.4.36.
11. Negoduyko VV, Mykhailosov RN, Velikodnyi AN, Kovtun KV. *Research of foreign bodies of soft tissues of incendiary origin*. *Georgian medical news*. 2019;(12):13-17. Russian.
12. 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 Sci Eng*. 2021;1031:012059. doi: 10.1088/1757-899X/1031/1/012059.
13. Mezhyuev V, Nechuiviter O, Pershyna Yu, Keita K, Lytvyn OM, Lytvyn OO. *Cubature formula for approximate calculation of integrals of two-dimensional irregular highly oscillating functions*. *UPB Sci Bull. Ser A*. 2018;80(3):169-182.

Отримано/Received 12.06.2024

Рецензовано/Revised 20.06.2024

Прийнято до друку/Accepted 30.06.2024 ■

Information about authors

Eduard Khoroshun, Hero of Ukraine, PhD in Medicine, 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) 692-31-20; Associate Professor at the Department of Surgery 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-1258-1319>

Vitalii Makarov, MD, DSc, PhD, Professor, Head of the Department of Surgery 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; e-mail: docvmmakarov@gmail.com; phone: +380 (67) 951-83-82; 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>

Volodymyr Nehoduiko, MD, DSc, 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) 452-32-73; Professor at the Department of Surgery 4, Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0003-4540-5207>

Olesia 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) 189-47-38; <https://orcid.org/0000-0003-2775-8471>

Yulia 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) 222-69-79; <https://orcid.org/0000-0002-4719-8195>

Ivan Veryovkin, Colonel of the Medical Service, Head of the Advanced Surgical Department, National Military Medical Clinical Center "Main Military Clinical Hospital", Kyiv, Ukraine; e-mail: iven12.08.80@gmail.com; phone: +380 (63) 647-52-31; <https://orcid.org/0009-0004-3822-4322>

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. Makarov^{1,2}, V.V. Nehoduiko^{1,2}, O.P. Nechuiviter³, Y.I. Pershina⁴, I.V. Veryovkin⁵

¹Military Medical Clinical Center of the Northern Region, Kharkiv, Ukraine

²Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine

³Ukrainian Engineering Pedagogics Academy, Kharkiv, Ukraine

⁴National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine

⁵National Military Medical Clinical Center "Main Military Clinical Hospital", Kyiv, Ukraine

Mathematical modeling to predict the migration of foreign bodies of gunshot origin

Abstract. Background. The purpose is to demonstrate the possibilities of mathematical methods when studying the migration of foreign bodies of gunshot origin. **Materials and methods.** Eighty-two cases of gunshot shrapnel blind wounds of different localization over a certain period were analyzed, where there was migration of a foreign body in different ways. All the wounded were male, the average age was 43.2 ± 4.1 years. According to the type of migration of foreign bodies of gunshot origin, we distinguish the following directions: respiratory tract, gastrointestinal tract, vascular bed (main veins and arteries, heart), urogenital tract, in cavities (pleural, abdominal, pericardial, joint), in soft tissues during suppuration, when the source is a foreign body that moves along the flow of pus. When calculating the migration distance, the average anatomical dimensions of the organs were used. The size and weight of foreign bodies that migrated as a result of a gunshot wound

were determined. To calculate the main indicators, the following data were taken into account: time of detection of a foreign body after injury (minutes), distance of migration at the time of detection of a foreign body (cm), time of estimated end of migration (removal of a foreign body) (minutes, months), distance that a foreign body can make (cm), number of cases of migration. Mathematical calculations are based on Newton's equation of motion. According to the results of mathematical calculations, the following data were obtained: the average speed of migration by the direction of migration, the calculation of the root mean square error for the speed, the interval of finding the average speed, the calculated distance that the foreign body will make. **Results.** According to the size of foreign bodies of gunshot origin, which migrated, the distribution was as follows: up to 5 mm in the largest dimension — 18 (19.8 %), from 5.1 to 8 mm — 73 (80.2 %) cases. The average weight of

removed foreign bodies that migrated was 4.2 ± 0.4 grams. The number of detected foreign bodies that migrated was 91, of which 90 were removed and one was not removed. Single foreign bodies accounted for 79 (96.3 %), multiple — 3 (3.7 %) cases. An expected time during which a foreign body can cover the average possible distance was estimated: based on the results, the average speed of movement of a foreign body of gunshot origin on different parts of the human body was calculated, taking into account the time of wound detection; the average time of the approximate end of migration (removal of the foreign body) and the average distance that the foreign body can make are evaluated; it is calculated in what expected time a body can cover

the average possible distance of migration at an average speed. **Conclusions.** The average speed of migration by the direction of migration and the calculated distance that the foreign body will make allows you to predict the location of the foreign body by the direction of migration, which affects operative access and the scope of surgical intervention. All foreign bodies of gunshot origin that migrated were small or medium and weighed up to 5 grams. Features of the anatomical structure and function of organs by the direction of migration affect the prediction of the location of the foreign body.

Keywords: foreign bodies; gunshot wound; migration; prognosis; mathematical modeling