

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВІДСТАНИ ПОСТРІЛУ З ПІСТОЛЕТІВ «ФОРТ-12» ТА «ФОРТ-14ТП» ЗА РОЗПОДІЛОМ ПРОДУКТІВ ПОСТРІЛУ НА БАВОВНЯНИЙ ТКАНИНИ**О.М. Гуров, С.В. Куценко, В.В. Щербак, В.В. Сапелкін**

Харківська медична академія післядипломної освіти, м. Харків, Україна

Ключові слова:

вогнепальні
пошкодження,
пістолети «Форт»,
статистичний аналіз,
математична модель.

Буковинський медичний
вісник. Т.23, № 2 (90).
С. 79-83.

DOI:

10.24061/2413-0737.
XXIII.2.90.2019.38

E-mail: medkrim@ukr.
net

Мета роботи — побудувати парні та множинні лінійні регресійні моделі для визначення відстані пострілів із пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» залежно від параметрів розподілу продуктів пострілу на бавовняній тканині.

Матеріал і методи. У дослідженнях використовували мішені з бавовняної тканини полотняного плетіння (бязі), з розмірами робочої зони 40х40 см. Постріли здійснювали з пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» виробництва казенного науково-виробничого об'єднання «Форт» МВС України штатними боєприпасами калібру 9х18 мм. Проводили серії по п'ять пострілів з відстані від 1 см до 300 см. Отримані об'єкти досліджувалися візуально та за допомогою комплексу лабораторних методів. Всі розрахунки показників дослідження проведено за допомогою електронних таблиць середовища «Microsoft EXCEL». При моделюванні залежностей використані ліцензійні статистичні пакети Statistica 10.0 Enterprise та IBM SPSS 20.

Результати. За результатами статистичної обробки даних експерименту побудовано парні та множинні лінійні регресійні моделі для визначення відстані пострілів, залежно від параметрів розподілу продуктів пострілу на бавовняній тканині (бязі). Проведено якісну оцінку статистичних даних за допомогою кореляційно-регресійного аналізу. Доведено, що отримані моделі визначення відстаней пострілів є адекватними і статистично значущими, тому одержані рівняння можуть бути використані для отримання прогнозних значень відстаней пострілів для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП».

Висновки. За допомогою кореляційно-регресійного аналізу проведена статистична перевірка регресійних моделей на основі t-критерію Стьюдента та F-критерію Фішера, що дозволило виявити статистичну значущість отриманих моделей, тісний кореляційний зв'язок між визначеними показниками та відстанню пострілів, встановити, що моделі рівняння регресії є адекватними і можуть використовуватися для прогнозування відстані пострілів.

Ключевые слова:

огнестрельные
повреждения,
пистолеты «Форт»,
статистический анализ,
математическая
модель.

Буковинский медицинский
вестник. Т.23, № 2
(90). С. 79-83.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАССТОЯНИЯ ВЫСТРЕЛА ИЗ ПИСТОЛЕТОВ «ФОРТ-12» И «ФОРТ-14ТП» ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПРОДУКТОВ ВЫСТРЕЛА НА ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ТКАНИ**А. М. Гуров, С. В. Куценко, В. В. Щербак, В. В. Сапелкин**

Цель работы – построить парные и множественные линейные регрессионные модели для определения расстояния выстрелов из пистолетов «Форт-12» и «Форт-14ТП» в зависимости от параметров распределения продуктов выстрела на хлопчатобумажной ткани.

Материал и методы. В исследованиях использовали мишени из хлопчатобумажной ткани полотняного плетения (бязи), с размерами рабочей зоны 40х40см. Выстрелы производили из пистолетов «Форт-12»

Актуальні питання судово-медичної експертизи

и «Форт-14ТП» производства казенного научно-производственного объединения «Форт» МВД Украины штатными боеприпасами калибра 9x18 мм. Проводили серии по пять выстрелов с расстояния от 1 см до 300 см. Полученные объекты исследовались визуально и с помощью комплекса лабораторных методов. Все расчеты показателей исследования проведены с помощью электронных таблиц среды «Microsoft EXCEL». При моделировании зависимостей использованы лицензионные статистические пакеты Statistica 10.0 Enterprise и IBM SPSS 20.

Результаты. По результатам статистической обработки данных эксперимента построены парные и множественные линейные регрессионные модели для определения расстояния выстрелов в зависимости от параметров распределения продуктов выстрела на хлопчатобумажной ткани (бязи). Проведена качественная оценка статистических данных с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Доказано, что полученные модели определения расстояний выстрелов адекватны и статистически значимы, поэтому полученные уравнения могут быть использованы для определения прогнозных значений расстояний выстрелов для пистолетов «Форт-12» и «Форт-14ТП».

Выводы. С помощью корреляционно-регрессионного анализа проведена статистическая проверка регрессионных моделей на основе t-критерия Стьюдента и F-критерия Фишера, что позволило выявить статистическую значимость полученных моделей, тесную корреляционную связь между установленными показателями и расстоянием выстрелов, установить, что модели уравнения регрессии являются адекватными и могут использоваться для прогнозирования расстояния выстрелов.

Keywords: gunshot damage, «Fort» pistols, statistical analysis, mathematical model.

Bukovinian Medical Herald. V.23, № 2 (90). P. 79-83.

MATHEMATICAL MODELING OF SHOOTING DISTANCE FROM "FORT-12" AND "FORT-14TP" PISTOLS ON THE DISTRIBUTION OF GUNSHOT RESIDUES ON COTTON FABRIC

A. M. Gurov, S. V. Kutcenko, V. V. Shcherbak, V. V. Sapielkin

The purpose of the work was to build paired and multiple linear regression models for determining the shooting distance from "Fort-12" and "Fort-14TP" pistols depending on the distribution parameters of gunshot residues on cotton fabric.

Material and methods. The studies used the targets made of cotton fabric of plain weave (coarse calico), with a working area of 40x40 cm. The shots were made from "Fort-12" and "Fort-14TP" pistols produced by the state-owned scientific and production association "Fort" of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine with standard 9x18 mm caliber bullet. A series of five shots was conducted from 1 cm to 300 cm distance. The obtained objects were examined visually and with a set of laboratory methods. All calculations of the studied indicators were conducted using a spreadsheet environment "Microsoft EXCEL." For modeling dependencies we used licensed statistical packages Statistica 10.0 Enterprise and IBM SPSS 20.

Results. Using the results of statistical processing of experimental data, we constructed paired and multiple linear regression models to determine the shooting distance depending on the distribution parameters of the shot residue on cotton fabric (coarse calico). A qualitative assessment of statistical data was performed with the help of correlation and regression analysis. The obtained models for determining the shooting distance proved to be adequate and statistically significant. Therefore, the obtained equations can be used to determine the prognostic values for the shooting distance from "Fort-12"

and "Fort-14TP" pistols.

Conclusions. Using the correlation-regression analysis, we carried out the statistical testing of regression models with the help of the Student t-test and Fisher's F-criterion, which allowed us to identify the statistical significance of the obtained models, close correlation between the established indicators and the shooting distance. Moreover, it proved that the regression equation models were adequate and could be used to predict the shooting distance.

Вступ. Визначення дистанції пострілу є найбільш поширеним в експертній практиці завданням, яке вирішується при розслідуванні практично всіх фактів застосування вогнепальної зброї [1, 2]. На думку провідних фахівців, діагностика відстані ураження з триступінчастою градацією (впритул, з близької і неблизької дистанції) повинна бути лише проміжним варіантом, з подальшим обов'язковим трактуванням у зрозумілих метричних одиницях (метрах, сантиметрах тощо). Для реалізації цієї мети широко використовуються методи лабораторної діагностики, що переважно засновані на виявленні продуктів пострілу та проявів їхньої дії (порохових газів, полум'я, кіптяви, порошинок, металів тощо) [3, 4]. Визначення відстані пострілу, засноване на статистичному аналізі взаємозалежності, частоти зустрічальності та варіації ознак слідів пострілу, не вимагає застосування натурних колекцій, альбомів та описів слідів пострілу і дозволяє отримати висновок із відомою ймовірністю помилки [5].

Мета роботи. Побудувати парні та множинні лінійні регресійні моделі для визначення відстані пострілів із пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП», залежно від параметрів розподілу продуктів пострілу на бавовняній тканині.

Матеріал і методи. У дослідженнях використовували мішені з бавовняної тканини полотняного плетіння (бязі), з розмірами робочої зони 40х40 см. Постріли здійснювали з пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» виробництва казенного науково-виробничого об'єднання «Форт» МВС України (м. Вінниця) штатними боєприпасами калібру 9х18 мм. Проводили серії по п'ять пострілів з відстані від 1 см до 300 см. Отримані об'єкти досліджувалися візуально за допомогою стереомікроскопа «Stemi 305» та у крайніх променях спектра. Всі розрахунки показників дослідження проведено за допомогою електронних таблиць середовища «Microsoft EXCEL». При моделюванні залежностей використані ліцензійні статистичні пакети Statistica 10.0 Enterprise та IBM SPSS 20 [6, 7, 8]. Проведено якісну оцінку статистичних даних за допомогою кореляційно-регресійного аналізу [9].

Результати дослідження та їх обговорення. За результатами даних статистичної обробки експерименту, з використанням пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» побудовано парні та множинні лінійні регресійні моделі для визначення відстані пострілів, залежно від параметрів розподілу продуктів пострілу на бавовняній тканині полотняного плетіння (бязі).

Припущено, що залежність між показниками (незалежними змінними x та x_1, x_2, x_3) і відстанню пострілу (результативним показником y) є лінійною, тобто будуємо моделі у вигляді лінійної парної та множинної регресії:

$$y = b_0 + b_1x \text{ та } y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3,$$

де b_0 — вільний член, який вказує на вплив інших факторів, що не включені в модель в явному вигляді;

b_1, b_2, b_3 — коефіцієнти моделі при факторах x та x_1, x_2, x_3 , відповідно.

Тоді загальна множинна модель у стандартизованих змінних має вигляд: $t_y = \beta_1 t_{x1} + \beta_2 t_{x2} + \beta_3 t_{x3}$, де $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — значення β — коефіцієнтів рівняння регресії; $t_y, t_{x1}, t_{x2}, t_{x3}$ — стандартизовані змінні.

Побудовані регресійні моделі відстані пострілів для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП». Відзначено таку закономірність: тільки на відстані від 1 см до 30 см спостерігаються фактори x_1, x_2, x_3 , де x_1 — діаметр периферичної зони відкладання порошинок, x_2 — діаметр периферичної зони відкладання кіптяви, x_3 — діаметр центральної зони кіптяви. Відстань визначається з умов, якщо $1,0 < x_1 < 12,5$, $5,2 < x_2 < 11,9$, $2,3 < x_3 < 6,2$ для пістолета «Форт-12» та $0,5 < x_1 < 11,0$, $4,9 < x_2 < 11,5$, $2,4 < x_3 < 6,5$ для «Форт-14 ТП».

Тоді лінійні рівняння моделей розрахунку відстані пострілів y_1 та y_2 (см) для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» відповідно, коефіцієнти детермінації та множинної кореляції мають такий вигляд:

$$y_1 = -10,9277 + 2,7268x_1 - 2,6237x_2 + 5,921x_3, R^2 = 0,8964, R = 0,8968,$$

$$y_2 = -13,2851 + 2,1615x_1 - 1,1043x_2 + 4,6739x_3, R^2 = 0,8966, R = 0,9469.$$

Проведено кореляційно-регресійний аналіз показників моделей. Відповідно до значень коефіцієнтів детермінації R^2 отримано, що варіації загальної зміни відстані пострілів y_1 та y_2 на 89,64% та 89,66% визначаються варіацією факторів x_1, x_2, x_3 , у той час як на інші фактори, які не враховані в даних моделях, доводиться лише 10,36% та 10,34% відповідно. Значення коефіцієнтів множинної кореляції R свідчать про тісний зв'язок між означеними факторами та надійністю побудованих рівнянь регресії.

Перевірена значущість даних рівнянь за F-критерієм Фішера. Емпіричне значення критерію для пістолета «Форт-12» є $F_{\text{емп}}(3,76) = 219,15$. Критичні значення розподілу Фішера для рівнів значущості $\alpha = 0,05$ та $\alpha = 0,01$ при кількості ступенів свободи $k_1 = 3$ та $k_2 = n - k_1 - 1 = 76$ (при $n = 80$) визначено за довідковими таблицями розподілу Фішера-Снедекора:

Актуальні питання судово-медичної експертизи

$F_{0,05}(3,76)=2,74$ та $F_{0,01}(3,76)=4,1$.

Оскільки $F_{емп}(3,76)=219,15 > F_{0,01}(3,76)=4,1$, то з надійністю 99% приймається гіпотеза, що побудована модель є статистично значущою, тобто зв'язок між відстанню пострілів $y\epsilon_1$ та факторами x_1, x_2, x_3 істотний. Для моделі відстані пострілів $y\epsilon_2$ для пістолета «Форт-14 ТП» емпіричне значення критерію $F_{емп}(3,76)=219,15 > F_{0,01}(3,76)=4,1$, тоді з надійністю 99% можна стверджувати, що регресія в цілому є значущою. Великі емпіричні значення F-критерію та рівні значущості $p_1=0,0000$ та $p_2=0,0000$ вказують на те, що побудовані моделі є високо значущими.

Оцінена статистична значущість параметрів регресії кожної з моделей за t — критерієм Стьюдента. Емпіричні значення критерію для моделі відстані пострілів для пістолета «Форт-12» є $t_{b1}=8,66$, $t_{b2}=4,592$ та $t_{b3}=13,214$. Визначені критичні точки розподілу Стьюдента: $t_{0,05}(76)=2,0$ та $t_{0,01}(76)=2,66$. Отже, наявна статистична значущість параметрів b_1, b_2 та b_3 , оскільки $t_{b1}=8,66 > t_{0,05}(76)=2,0$, $|t_{b2}|=4,592 > t_{0,05}(76)$ та $t_{b3}=13,214 > t_{0,05}(76)$.

За емпіричними значеннями критерію для моделі відстані пострілів для пістолета «Форт-14 ТП» маємо статистичну значущість b_1, b_2 та b_3 , оскільки $t_{b1}=6,504 > t_{0,05}(76)=2,0$, $|t_{b2}|=2,043 > t_{0,05}(76)$ та $t_{b3}=13,214 > t_{0,05}(76)$.

Побудовані довірчі інтервали з надійністю 95% для прогнозних значень відстані пострілів для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП», які враховують помилку прогнозу та граничне значення критерію Стьюдента $t_{0,05}(76)=2,0$: $[y\epsilon_1-6,6046; y\epsilon_1+6,6046]$, $[y\epsilon_2-6,5962; y\epsilon_2+6,5962]$, де $y\epsilon_1, y\epsilon_2$ — значення, що обчислюються відповідно моделям. Визначаючи вплив факторів x_1, x_2, x_3 , отримуємо моделі відстані пострілів для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» у стандартизованих змінних:

$$t\epsilon_{y1} = 0,105776t_{x1} + 0,113088t_{x2} + 0,049046t_{x3}$$

$$t\epsilon_{y2} = 0,101671t_{x1} + 0,098731t_{x2} + 0,049046t_{x3}$$

та робимо висновок за β — коефіцієнтами, що фактори x_1 та x_2 найбільш сильно впливають на відстань пострілів для даних пістолетів.

Одержані результати розрахунків характеристик парних лінійних моделей для відстані пострілів від 3 см до 150 см, залежно від фактору в системі «Statistica» для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП». Побудовані довірчі інтервали з надійністю 95% визначення прогнозних значень відстані пострілів для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП»: $[y\epsilon_1-17,4639; y\epsilon_1+17,4639]$, $[y\epsilon_2-10,0856; y\epsilon_2+10,0856]$.

Зроблено висновки, що отримані моделі відстані пострілів є адекватними і статистично значущими як за окремими параметрами, так і в цілому, тому одержані рівняння можуть бути використані для визначення прогнозних значень відстані пострілів для пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП».

Висновки

1. На підставі узагальнення отриманих даних з

використанням кореляційно-регресійного аналізу виявлені найбільш істотні фактори, які можна вважати діагностичними критеріями для визначення відстані пострілів із пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП».

2. Побудовано статистично достовірні лінійні багатфакторні та парні регресійні моделі, що дозволяють обчислити відстані пострілів із пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП» для пошкоджень бавовняної тканини (бязі).

3. За допомогою кореляційно-регресійного аналізу проведена статистична перевірка регресійних моделей на основі t -критерію Стьюдента та F -критерію Фішера, що дозволило виявити статистичну значущість отриманих моделей, тісний кореляційний зв'язок між визначеними показниками та відстанню пострілів, встановити, що моделі рівняння регресії є адекватними і можуть використовуватися для прогнозування відстані пострілів.

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях планується побудувати парні та множинні лінійні регресійні моделі для визначення відстані пострілів із пістолетів «Форт-12» та «Форт-14 ТП», залежно від параметрів розподілу продуктів пострілу на текстильних матеріалах з різними абсорбційними властивостями.

Список літератури

1. Ananth V, Ahmad UK, Tong SM. Detection of organic gunshot residues for the estimation of firing distance. *Malaysian J. of Forensic Sci.* 2011;2(1):36-45.
2. Glatstein B, Vinokurov A, Levin N, Zeichner A. Improved method for shooting distance estimation. Part 1. Bullet holes in clothing items. *J. Forensic Sci.* 2000;45(4):801-6.
3. Филипчук ОВ, Гуров ОМ. Судово-медична криміналістика: підручник. Харків: Діса плюс; 2013. 640 с.
4. Marty W, Sigrist T, Wyler D. Determination of firing distance using the rhodizonate staining technique. *Int. J. Legal Med.* 2002;116(1):1-4.
5. Погребной АА. Определение дистанции выстрела из 7,62-мм пистолета «ТТ» по следам на многослойных преградах методом дискриминантного анализа. *Судебная экспертиза.* 2012;2(30):96-111.
6. Боровиков ВП. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Москва: Горячая линия – Телеком; 2013. 288 с.
7. Наследов АД. IBM SPSS 20 Statistics и AMOS: профессиональный анализ данных. СПб: Питер; 2013. 413 с.
8. Шеламова МА, Инсарова НИ, Лещенко ВГ. Статистический анализ медико-биологических данных с использованием программы Excel. Минск: БГМУ; 2010. 96 с.
9. Елисеєва ИИ, редактор. Статистика: учебник для вузов. СПб: Питер; 2010. 368 с.

References

1. Ananth V, Ahmad UK, Tong SM. Detection of organic gunshot residues for the estimation of firing distance. *Malaysian J. of Forensic Sci.* 2011;2(1):36-45.
2. Glatstein B, Vinokurov A, Levin N, Zeichner A. Improved method for shooting distance estimation. Part 1. Bullet holes in clothing items. *J. Forensic Sci.* 2000;45(4):801-806.
3. Fylypchuk OV, Hurov OM. *Sudovo-medychna kryminalistyka: pidruchnyk [Forensic criminalistics: Textbook]*. Kharkiv: Disa plyus; 2013. 640 s. (in Ukrainian)
4. Marty W, Sigrist T, Wyler D. Determination of firing distance

 Topical issues of Forensic Medical Examination

- using the rhodizonate staining technique. Int. J. Legal Med. 2002;116(1):1-4.
5. Pogrebnoy AA. Opredeleniye distantsii vystrela iz 7,62-mm pistoleta «ТТ» po sledam na mnogosloynnykh pregradakh metodom diskriminantnogo analiza [Determination of a gunshot distance when firing the 7.62 mm TT pistol by traces left on multi-layer obstructions by way of discriminant analysis]. Sudebnaya ekspertiza. 2012;2(30):96-111. (in Russian)
 6. Borovikov VP. Populyarnoye vvedeniye v sovremenny analiz dannykh v sisteme STATISTICA [A popular introduction to modern data analysis in the STATISTICA system]. Moskva: Goryachaya liniya - Telekom. M.: Goryachaya liniya - Telecom; 2013. 288 s. (in Russian)
 7. Nasledov AD. IBM SPSS 20 Statistika i AMOS: professional'nyy analiz dannykh [IBM SPSS 20 Statistics and AMOS: Professional Data Analysis]. SPb: Piter; 2013. 413 s. (in Russian)
 8. Shelamova MA, Inzarova NI, Leshchenko VG. Statisticheskiy analiz mediko-biologicheskikh dannykh s ispol'zovaniyem programmy Excel [Statistical analysis of biomedical data using the program Excel]. Minsk: BGMU; 2010. 96 s. (in Russian)
 9. Yeliseyeva II, redaktor. Statistika: uchebnik dlya vuzov [Statistics: a textbook for universities]. SPb: Piter; 2010. 368 s. (in Russian)

Відомості про авторів:

Гуров О. М. — д.мед. н., професор, завідувач кафедри судово-медичної експертизи Харківської медичної академії післядипломної освіти, м. Харків, Україна.

Куценко С. В. — к.мед. н., доцент кафедри судово-медичної експертизи Харківської медичної академії післядипломної освіти, м. Харків, Україна.

Щербак В. В. — асистент кафедри судово-медичної експертизи Харківської медичної академії післядипломної освіти, м. Харків, Україна.

Сапелкін В. В. — асистент кафедри судово-медичної експертизи Харківської медичної академії післядипломної освіти, м. Харків, Україна.

Сведения об авторах:

Гуров А. М. — д.мед. н., профессор, заведующий кафедрой судебно-медицинской экспертизы Харьковской медицинской академии последипломного образования, г. Харьков, Украина.

Куценко С. В. — к.мед. н., доцент кафедры судебно-медицинской экспертизы Харьковской медицинской академии последипломного образования, г. Харьков, Украина.

Щербак В. В. — ассистент кафедры судебно-медицинской экспертизы Харьковской медицинской академии последипломного образования, г. Харьков, Украина.

Сапелкин В. В. — ассистент кафедры судебно-медицинской экспертизы Харьковской медицинской академии последипломного образования, г. Харьков, Украина.

Information about the authors:

Gurov O. M. — MD, Professor, Head of the Forensic Medicine Department of Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine.

Kutchenko S. V. — PhD, associate professor of the Forensic Medicine Department of Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine.

Shcherbak V. V. — Assistant Professor of the Forensic Medicine Department of Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine.

Sapielkin V. V. — Assistant Professor of the Forensic Medicine Department of Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education, Kharkiv, Ukraine.

Надійшла до редакції 18.03.2019

Рецензент — проф. Савка І.Г.

© О.М. Гуров, С.В. Куценко, В.В. Щербак, В.В. Сапелкін, 2019
