

Evaluation of gunshot injuries to long bones from pneumatic weapons using a human thigh model

Part II. Presentation and discussion of the detailed results of tests of gunshots of the anterior surface of the femur with 5.5 mm and 6.35 mm caliber shot

Ocena uszkodzeń postrzałowych kości długich z broni pneumatycznej z wykorzystaniem modelu uda ludzkiego

Część II. Wyniki szczegółowe badań postrzałów przedniej powierzchni kości udowej śrutem kal. 5,5 mm i 6,35 mm wraz z ich omówieniem

Mateusz Wilk^[1], Elżbieta Chowaniec^[2], Małgorzata Chowaniec^[3], Czesław Chowaniec^[4]

[1] Collegium Medicum, Akademia WSB, Polska

[2] GC Adwokaci Gradowska Chowaniec Spółka Partnerska, Czeladź, Polska

[3] Katedra Anatomii, Wydział Nauk Medycznych w Katowicach, Śląski Uniwersytet Medyczny w Katowicach, Polska

[4] Wydział Nauk Medycznych, Akademia Śląska, Katowice, Polska

Abstract

Introduction. The development of pneumatic shooting has led to the construction of technologically advanced devices with discharge energies similar to those of firearms. The pneumatic weapons ammunition market offers a variety of shot which varies in penetration properties and the extent of gunshot damage. In view of the ease of „tuning” of air rifles, a study was conducted of the inlet damage to the anterior femoral surface after pneumatic gunshots. The paper shows the differences in damage parameters depending on the type of shot.

Material and methods. In the study, Air Arms Hi-Power Xtra FAC cal. 5.5 mm and FX Bobcat Mk II cal. 6.35 mm pneumatic carbines were used and lead shot by Haendler&Natterman's Spitzkugel type, Hollow Point and Baracuda cal. 5.5 mm and 6.35 mm, as well as lead-free shot Excite Apollo cal. 5.5 mm and Black Max Lead-Free cal. 6.35 mm. Measurements were taken of the extent of inlet damage to the anterior surface of the femoral shaft with X-ray and CT imaging.

Results. HollowPoint shot caused the greatest range of gunshot penetration damage in both bone and periosteum, Apollo lead-free shot caused the least. At the same time, HollowPoint shot showed the greatest susceptibility to ricocheting.

Conclusions:

1. The type of shot used influences diversified morphology of the holes and the nature of gunshot damage to the femoral shaft. The differences concern both the gunshot holes and the nature, course and extent of associated fractures.
2. The smallest inlet holes and damage to the periosteum with a regular shape are caused by gunshots with pointed and pointed tip pellets. The greatest extent of bone and periosteum inlet damage was observed in gunshots with Hollow Point type shot due to its predisposition to deformation and fragmentation.
3. Radio-imaging studies are a valuable complement to macroscopic visual assessment providing a useful value for identifying the type of shot used.

Keywords

pneumatic weapons, shot, femur, forensic medicine, gunshot

Streszczenie

Wstęp. Rozwój strzelectwa pneumatycznego doprowadził do powstania zaawansowanych technologicznie urządzeń o energii wlotowej zbliżonej do broni palnej. Rynek amunicji do broni pneumatycznej oferuje zróżnicowane śruty, które różnią się właściwościami przenikania i rozległością obrażeń postrzałowych. W związku z łatwością „tuningu” wiatrówek, przeprowadzono badania uszkodzeń wlotowych powierzchni przedniej kości udowej po postrzałach z broni pneumatycznej. Praca przedstawia różnice w parametrach uszkodzeń w zależności od rodzaju śrutu.

Materiał i metody. W badaniach wykorzystano karabinki pneumatyczne Air Arms Hi-Power Xtra FAC kal. 5,5 mm oraz FX Bobcat Mk II kal. 6,35 mm oraz śruty ołowiane firmy Haendler&Natterman typu Spitzkugel, Hollow Point i Baracuda kal. 5,5 mm oraz 6,35 mm oraz śruty bezołowiowe Excite Apollo kal. 5,5mm oraz Black Max Lead-Free kal. 6,35mm. Dokonano pomiarów rozmiarów uszkodzeń wlotowych powierzchni przedniej trzonu kości udowej wraz z obrazowaniem rentgenowskim oraz tomografią komputerowej.

Wyniki. Największy zakres postrzałowych uszkodzeń wlotowych zarówno w kości jak i okostnej powodował śrut typu HollowPoint, najmniejszy śrut bezołowiowy Apollo. Jednocześnie śrut typu HollowPoint wykazywał największą podatność na rykoszetowanie.

Wnioski:

1. Rodzaj użytego śrutu wpływa na zróżnicowaną morfologię otworów i charakter uszkodzeń postrzałowych trzonu kości udowej. Różnice dotyczą zarówno otworów postrzałowych jak również charakteru, przebiegu i rozległości złamań towarzyszących.
2. Najmniejsze otwory wlotowe i uszkodzenia okostnej o regularnym kształcie wywołują postrzały śrutami o spiczastym i ostrołukowym wierzchołku. Największy zakres uszkodzeń wlotowych kości i okostnej zaobserwowano przy postrzałach śrutami typu Hollow Point z uwagi na jego predyspozycje do deformacji i rozfragmentowania.
3. Badania radioobrazowe stanowią cenne uzupełnienie oceny wzrokowej makroskopowej stanowiąc wartość przydatną do identyfikacji rodzaju użytego śrutu.

Słowa kluczowe

broń pneumatyczna, śrut, kość udowa, medycyna sądowa, postrzał

Introduction

A wide range of pneumatic devices can be found on the militia market. The development of this branch of shooting has evolved considerably in the last twenty years, resulting in the emergence of very technologically advanced carbines and pneumatic pistols characterized by significantly higher discharge energies. The discharge energies generated by these pneumatic devices are bringing them ever closer to the ballistic parameters previously presented by firearms. The market for air rifle ammunition has also changed considerably, offering users access to extremely varied shot in terms of caliber, shape, and material. Gunshot injuries depend on the ballistic characteristics of the shot, the impact energy, and the anatomical area hit by the projectile. The available air rifle shot has different penetration characteristics and causes significantly different gunshot injuries, which is due to its different purpose for sporting purposes, competitive shooting or hunting. For this reason, and taking into account the fact that it is relatively easy to "tune" air rifles commonly available on the market, it was decided to start the study by evaluating the damage to the inlet surface of the anterior femur when shot with 5.5 mm and 6.35 mm caliber air rifles. The paper presents the differences in selected parameters of inlet damage to the anterior surface of the femur depending on the type of shot, with the most extensive documentation possible for the scope of the article showing this damage.

The aim of the study

The aim of this study is to verify whether the type of shot, the shape of its head and the material from which the shot is made affect damage to long bones.

Material – Description of the human thigh model used in the study

The human thigh model constituted a pig femur embedded in a cylinder of 10% Bloom 240 ballistic gelatin with an outer diameter of about 155 mm and a height of about 250 mm. The FBI model (10% concentration, 4°C gelatin temperature) [1] was chosen because of better transparency of the ballistic gel compared to the US Army model (20% concentration, 10°C gelatin temperature). A sample of gelatin prepared in this way was calibrated according to the protocol [2].

Methods

The first stage of the research consisted in the calibration of ballistic gelatin, for which the Crosman C2100 carbine and Razorgun shot cal. 4.46 mm were used. Shot impact velocities of about 163-166 m/s were obtained, achieving average penetra-

Wstęp

Na rynku militariów można znaleźć wiele rodzajów urządzeń pneumatycznych. Rozwój tej gałęzi strzelectwa w ostatnich dwudziestu latach znacznie ewoluował, czego skutkiem jest pojawienie się bardzo zaawansowanych technologicznie i o znacząco większej energii wylotowej, karabinków i pistoletów pneumatycznych. Energie wylotowe generowane przez te urządzenia pneumatyczne zbliżają je coraz bardziej do parametrów balistycznych dotychczas prezentowanych przez broń palną. Również rynek amunicji wiatrówkowej uległ znacznej zmianie, oferując użytkownikom dostęp do niezwykle zróżnicowanych pod względem kalibru, kształtu, oraz materiału śrutów. Obrażenia postrzałowe zależą od charakterystyki balistycznej śrutu, energii uderzeniowej oraz obszaru anatomicznego, który został trafiony przez pocisk. Dostępne śruty wiatrówkowe mają różne właściwości przenikania w głąb ciała i powodują znacznie zróżnicowane obrażenia postrzałowe, co wynika z ich odmiennego przeznaczenia do celów sportowych, strzelectwa wyczynowego lub polowań. Z tego powodu, a także biorąc pod uwagę fakt relatywnie łatwego „tuningu” wiatrówek powszechnie dostępnych na rynku, zdecydowano się na rozpoczęcie badań od oceny uszkodzeń wlotowych powierzchni przedniej kości udowej przy postrzałach z broni pneumatycznej kal. 5,5 mm i 6,35 mm. W pracy przedstawiono różnice w wybranych parametrach uszkodzeń wlotowych powierzchni przedniej kości udowej w zależności od rodzaju śrutu wraz z możliwie szeroką jak na możliwości artykułu dokumentacją przedstawiającą te uszkodzenia.

Cel pracy

Celem niniejszej pracy jest sprawdzenie, czy rodzaj śrutu, kształt jego główki oraz materiał, z którego śrut jest wykonany wpływają na uszkodzenia kości długich

Materiał – Opis modelu uda ludzkiego wykorzystanego w badaniach

Modelem uda ludzkiego stanowiła kość udowa wieprzowa zatopiona w walcu 10% żelatyny balistycznej Bloom 240 o średnicy zewnętrznej ok. 155 mm i wysokości ok. 250 mm. Wybrano model FBI (stężenie 10%, temperatura żelatyny 4°C) [1] z uwagi na lepszą przejrzystość żelu balistycznego w porównaniu do modelu US Army (stężenie 20%, temperatura żelatyny 10°C). Próbkę tak sporządzonej żelatyny poddano kalibracji zgodnie z protokołem [2].

Metody

Pierwszym etapem badań była kalibracja żelatyny balistycznej, do której wykorzystano karabinek Crosman C2100 oraz śrut Razorgun ka. 4,46 mm. Uzyskano prędkości uderzeniowe śrutu ok. 163-166 m/s uzyskując średnie wyniki penetracji w żelatynie

tion results in gelatin ranging from 73-79 mm according to the procedure [2]. Shooting was conducted at an indoor shooting range under constant and unchanging conditions of temperature (+3°C to +5°C), humidity of 60%, artificial lighting and windless conditions.

Research shots at human thigh models were fired from Air Arms s410 Hi-Power Xtra FAC caliber 5.5 mm PCP air carbines and FX Bobcat Mk II. The Air Arms s410 carbine allows shooting with a maximum bullet discharge energy of about 46J. This carbine is equipped with a rotating magazine that holds 10 pellets. The carbine has a 5.5 mm caliber threaded barrel, which was made at the Lothar Walther factory. The s-410 Xtra Hi-Power model weighs 3.10kg, while its length is 1080 mm. The shot is fired using compressed air, contained in a built-in pressure tank, located under the barrel. The maximum charge of the tank allows about 35 shots with maximum discharge energy. The bed is handmade from walnut wood [3]. The carefully contoured Monte Carlo-type stock, which is finished with a rubber foot, allows for a secure and comfortable folding into the shot [4,5,6].

FAC FX Bobcat Mk II carbine is one the newest models of PCP carbines of the Swedish producer FX. It is built in a bull-up configuration, which means it has a significantly shortened stock. The bed is made of heavy-duty plastic. The carbine weighs 3.8 kg, while its overall length is 940 mm. The FAC FX Bobcat Mk II features an 11-shot magazine. The integrated suppressor makes the carbine extremely quiet. At maximum power, the model has negligible recoil. The FX Bobcat Mk II has a firing power adjustment knob and trigger resistance adjustment. It is equipped with a 2-barrel "biathlon" lock with a reloading lever located on the right side of the carbine. Depending on the weight of the shot used, the maximum energy of the fired pellet reaches about 65J. The Smooth Twist barrel allows precision shots to be fired at long distances (above 100 meters). The carbine cartridge has a capacity of 0.47L, which allows for the firing of about 40 shots with maximum energy [7]. Gunshots with 5.5 mm caliber H&N Baracuda, HollowPoint, Spitzkugel and Apollo shot, as well as 6.35 mm caliber H&N Baracuda, H&N Hollowpoint, H&N Spitzkugel and Black Max lead-free shot were fired at a distance of 10 meters. This is the distance used for sport and recreational shooting. At this distance, the shot retains its stable ballistic properties and no significant drop in velocity is recorded. Shots were fired centrally into the anterior surface at the midpoint of the femoral shaft.

The models were then transported to the radiography lab, where two x-rays of the research model were taken in each case in A-P and lateral projection. For the purposes of the study, the A-P projection was taken to be the positioning of the research model with the inlet (gunshot) hole towards the lamp.

mieszczące się w przedziale 73-79 mm zgodnie z procedurą [2]. Strzelania prowadzono na strzelnicy krytej w stałych i niezmiennych warunkach temperatury (+3°C do +5°C), wilgotności powietrza wynoszącej 60%, oświetleniu sztucznym i warunkach bezwietrznych.

Strzały badawcze do modeli uda ludzkiego oddawano z karabinków pneumatycznych typu PCP Air Arms s410 Hi-Power Xtra FAC kal. 5,5 mm oraz FX Bobcat Mk II. Karabinek Air Arms s410 pozwala na oddawanie strzałów z maksymalną energią wylotową pocisków wynoszącą około 46J. Karabinek ten został wyposażony w magazynek obrotowy mieszczący 10 śrucin. Karabinek posiada gwintowaną lufę kalibru 5,5 mm, która została wykonana w zakładach Lothar Walther. Model s-410 Xtra Hi-Power waży 3,10 kg, natomiast jego długość wynosi 1080 mm. Śrut jest wystrzeliwany za pomocą sprężonego powietrza, znajdującego się we wbudowanym zbiorniku ciśnieniowym, umieszczonym pod lufą. Maksymalne naładowanie zbiornika umożliwia oddanie około 35 strzałów o maksymalnej energii wylotowej. Łoże wykonane jest ręcznie z drewna orzecha włoskiego [3]. Starannie wyprofilowana kolba typu Monte Carlo, która zakończona jest gumową stopką umożliwia pewne i wygodne złożenie się do strzału [4,5,6].

Karabinek FAC FX Bobcat Mk II to jeden z nowszych modeli karabinków PCP szwedzkiej firmy FX. Zbudowany jest w układzie bull-up, co oznacza, że posiada znacznie skróconą kolbę. Łoże wykonane jest z tworzywa sztucznego o dużej wytrzymałości. Karabinek waży 3,8kg, natomiast jego długość całkowita wynosi 940 mm. FAC FX Bobcat Mk II posiada 11-strzałowy magazynek. Zintegrowany tłumik powoduje, iż karabinek jest niezwykle cichy. Przy maksymalnej mocy model ten ma nieznaczny odrzut. FX Bobcat Mk II posiada pokrętkę regulacji mocy wystrzału oraz regulację oporu spustu. Wyposażony jest w 2-taktowy zamek „biathlonowy” z dźwignią przetądowania umieszczoną po prawej stronie karabinka. W zależności od masy użytego śrutu, energia maksymalna wystrzelwanej śruciny osiąga wartość ok 65J. Lufa typu Smooth Twist umożliwia oddawanie precyzyjnych strzałów na dużych odległościach (powyżej 100 metrów) Kartusz karabinka ma pojemność 0,47L, co pozwala na oddanie ok. 40 strzałów przy wykorzystaniu energii maksymalnej [7]. Strzały śrutami kal. 5,5 mm H&N Baracuda, HollowPoint, Spitzkugel i Apollo, jak również śrutami kal. 6,35 mm H&N Baracuda, H&N Hollowpoint, H&N Spitzkugel oraz Black Max Lead-free oddawano na dystansie 10 metrów. Jest to odległość, którą wykorzystuje się do strzelań sportowych i rekreacyjnych. Na tym dystansie śrut zachowuje swoje stabilne właściwości balistyczne i nie notuje się istotnego spadku prędkości. Strzały oddawano centralnie w powierzchnię przednią w połowie długości trzonu kości udowej.

Następnie modele były transportowane do pracowni RTG, gdzie w każdym przypadku wykonano dwa zdjęcia RTG modelu badawczego w projekcji A-P i bocznej. Za projekcję A-P na po-



Fig. 12. The result of a sample calibration test of ballistic gelatin (left), and a finished model with coding (right)

Ryc. 12. Wynik przykładowego testu kalibracyjnego żelatyny balistycznej (po lewej), oraz gotowego modelu z kodowaniem (po prawej)



Fig. 13. X-ray machine Editor HFe 601

Ryc. 13. Aparat RTG Editor HFe 601

Damage to selected models was additionally subjected to imaging using a Carestream CS9600 CT scanner. Imaging was performed using a 150-micrometer thick layer and software to reduce artifacts created by metal imaging.

trzeby badania przyjęto ułożenie modelu badawczego otworem wlotowym (postrzałowym) do lampy.

Uszkodzenia wybranych modeli dodatkowo poddano obrazowaniu z wykorzystaniem aparatu TK Carestream CS9600. Obrazowanie wykonano z użyciem warstwy o grubości 150 mikrometrów oraz oprogramowania do redukcji artefaktów powstających w wyniku obrazowania metali.



Fig. 14. Carestream CS 9600 CT scanner
Ryc. 14. Aparat TK Carestream CS 9600

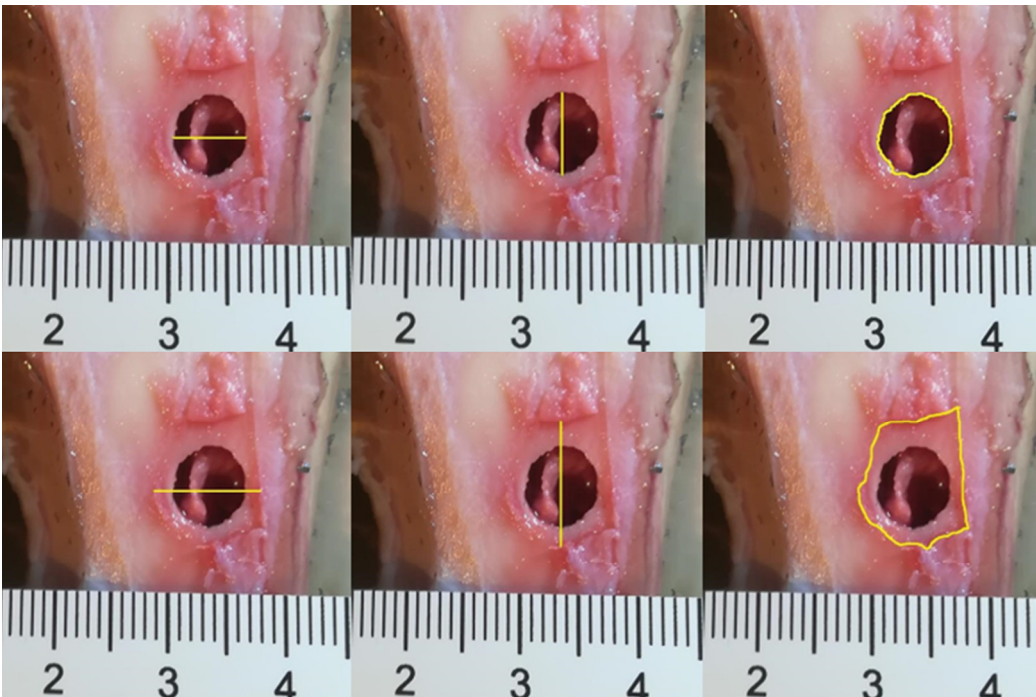


Fig. 15. Measurements of inlet holes taken from photographs. Top row from the left: horizontal dimension, vertical dimension and area of the inlet hole in the bone. Bottom row: horizontal dimension, vertical dimension and area of the inlet hole in the periosteum
Ryc. 15. Pomiar otworów wlotowych wykonywane na podstawie zdjęć. Górny rząd od lewej: wymiar poziomy, pionowy oraz pole powierzchni otworu wlotowego w kości. Dolny rząd: wymiar poziomy, pionowy oraz pole powierzchni otworu wlotowego w okostnej

After conducting radio-imaging studies, models were sliced for macroscopic evaluation of gunshot damage. ImageJ software was used in the analysis, taking the measurements shown in Fig. 4. The RA factor was also calculated, which is the ratio of the area of inlet damage in the periosteum to the area of inlet damage in the bone.

Statistical analysis

Considering the extensiveness of the analyses combined with the limitations of this paper's capacity, only selected results are presented below showing the differences between damage generated by 5.5 mm caliber pellets when shot into the anterior surface of the femoral shaft.

As part of the statistical analysis of the results of the study, the estimators of the positional parameters, as well as the expected value and standard deviation were determined for all variables; in addition, the hypothesis of normality of distribution was verified using the Shapiro-Wilk test.

Verification of statistical hypotheses for the comparison of the analyzed samples, in view of each positive verification of the normality of the distribution, was performed using parametric tests: the test for two means preceded by the test for two variances, the test of homogeneity for multiple means preceded by the test for homogeneity of multiple variances (Bartlett's test and Levene's test). Depending on the results of the tests for homogeneity of multiple variances, the following were used:

- a) a classic variant (a one-way ANOVA) for cases of positively verified homogeneity of variance,
- b) a variant with Brown-Forsythe correction for cases of negatively verified homogeneity of variance.

For the cases where the result of the classic variant of the analysis of variance indicated significant differences, Fisher's LSD post-hoc tests were used. In cases to the contrary, Games-Howell post-hoc tests were used. The results of the statistical analysis are presented graphically. The following levels of statistical significance were considered:

- 1) $p > 0.05$ – no statistical significance,
- 2) $p < 0.05$ – statistical significance,
- 3) $p < 0.01$ – high statistical significance,
- 4) $p < 0.001$ – very high statistical significance.

Po przeprowadzeniu badań radioobrazowych wykonano skrawanie modeli celem oceny makroskopowej uszkodzeń powstałych w wyniku postrzałów. W analizie wykorzystano program ImageJ dokonując pomiarów przedstawionych na ryc. 4. Obliczono również współczynnik RA, będący stosunkiem pola powierzchni uszkodzeń wlotowych w okostnej do pola uszkodzeń wlotowych w kości.

Analiza statystyczna

Z uwagi na rozległość analiz w połączeniu z ograniczeniami objętości artykułu poniżej zaprezentowano wybrane wyniki ukazujące różnice pomiędzy uszkodzeniami generowanymi przez śruty kal. 5,5 mm przy postrzale w powierzchnię przednią trzonu kości udowej.

W ramach statystycznej analizy wyników badań wyznaczano dla wszystkich zmiennych estymatory parametrów pozycyjnych oraz wartości oczekiwanej i odchylenia standardowego; weryfikowano ponadto hipotezę o normalności rozkładu za pomocą testu Shapiro-Wilka.

Weryfikację hipotez statystycznych dotyczących porównania analizowanych prób, wobec każdorazowej pozytywnej weryfikacji normalności rozkładu, przeprowadzono za pomocą testów parametrycznych: testu dla dwóch średnich poprzedzonego testem dla dwóch wariancji, testu jednorodności dla wielu średnich poprzedzonego testem jednorodności wielu wariancji (test Bartletta i test Levene). W zależności od wyników testów jednorodności wielu wariancji stosowano:

- a) klasyczny wariant (jednoczynnikowa ANOVA) dla przypadków pozytywnie zweryfikowanej jednorodności wariancji,
- b) wariant z poprawką Browna-Forsythe'a dla przypadków negatywnie zweryfikowanej jednorodności wariancji.

Dla tych przypadków, w których wynik klasycznego wariantu analizy wariancji wskazał istotne różnice zastosowano testy post-hoc w wariancie LSD Fishera. W przypadkach przeciwnych wykorzystano testy post-hoc Gamesa-Howella. Wyniki analizy statystycznej przedstawiono w formie graficznej. Uwzględniono następujące poziomy znamięności statystycznej:

- 1) $p > 0,05$ – brak znamienności statystycznej,
- 2) $p < 0,05$ – znamienność statystyczna,
- 3) $p < 0,01$ – wysoka znamienność statystyczna,
- 4) $p < 0,001$ – bardzo wysoka znamienność statystyczna

RESULTS

Gunshot injuries to the anterior surface of the shaft of the pig femur

Table VIII provides statistics on gunshot injuries to the femoral shaft. The only shot that resulted in a femoral shaft bullet hole was the H&N Baracuda. The shot that ricocheted was the H&N Hollowpoint. This was true for both 5.5 mm and 6.35 mm caliber shot.

WYNIKI

Uszkodzenia postrzałowe przedniej powierzchni trzonu kości udowej wieprzowej

W tabeli VIII zawarto statystykę dotyczącą uszkodzeń postrzałowych trzonu kości udowej. Jedyńm śrutem, który doprowadził do przestrzału trzonu kości udowej był H&N Baracuda. Śrutem, który rykoszetował był H&N Hollowpoint. Dotyczyło to zarówno śrutow kal. 5,5 mm jak i 6,35 mm.

Table VIII. Location of bone damage depending on the type of shot when shooting into the anterior surface of the shaft of a pig femur with 5.5 mm caliber shot

Tabela VIII. Lokalizacja uszkodzeń kości w zależności od typu śrutu przy strzeleniu w powierzchnię przednią trzonu kości udowej wieprzowej śrutem kal. 5,5 mm

Group Grupa	Bone anterior surface penetration Penetracja kości powierzchni przedniej	Ricochet Rykoszet	Bone anterior surface fractures Złamania kości powierzchni przedniej	Bone lateral surface fractures Złamania kości powierzchni bocznych	Bone posterior surface fractures Złamania kości powierzchni tylnej	Bone posterior surface penetration Penetracja kości powierzchni tylnej
PB5	6 out of 6	0	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6
PH5	6 out of 10	4	4 out of 6	0 out of 6	0 out of 6	0 out of 6
PS5	6 out of 6	0	3 out of 6	0 out of 6	0 out of 6	0 out of 6
PA5	6 out of 6	0	4 out of 6	0 out of 6	1 out of 6	0 out of 6
PB6	6 out of 6	0	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6
PH6	6 out of 8	2	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6	0 out of 6
PS6	6 out of 6	0	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6	0 out of 6
PBM6	6 out of 6	0	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6	6 out of 6

Graphic results

In the case of the area of bone inlet holes resulting from the use of 5.5 mm cal. shot, statistically significant differences were not shown for pairs of H&N Spitzkugel and H&N Hollow Point and H&N Baracuda and H&N Excite Apollo. Statistically significant differences were shown for the remaining pairs and all cal. 6.35 mm comparisons. In the case of inlet surface area, similar trends of averages are observed for cal. 5.5 mm and 6.35 mm. The inlet holes with the largest areas are formed by H&N Hollow Point shot (cal. 5.5 mm and 6.35 mm), and the smallest by H&N Apollo and Baracuda for cal. 5.5 mm and Black Max Lead-Free for cal. 6.35 mm. In the case of periosteal inlet damage area, statistically significant differences were shown in all pairs except H&N Baracuda and H&N Spitzkugel cal. 5.5 mm. Again, the largest damage area, in both 5.5 mm

Wyniki graficzne

W przypadku pola powierzchni otworów wlotowych w kości powstających z wykorzystaniem śrutow kal. 5,5 mm różnic znamiennych statystycznie nie wykazano dla par H&N Spitzkugel i H&N Hollow Point oraz H&N Baracuda i H&N Excite Apollo. Dla pozostałych par oraz wszystkich porównań kal. 6,35 mm wykazano różnice znamienne statystycznie. W przypadku pola powierzchni wlotu obserwuje się podobne tendencje średnich dla kal. 5,5 mm i 6,35 mm. Otwory wlotowe o największych powierzchniach tworzą śrutu H&N Hollow Point (kal. 5,5 mm i 6,35 mm), a najmniejsze H&N Apollo i Baracuda dla kal. 5,5 mm oraz Black Max Lead-Free dla kal. 6,35 mm. W przypadku pola powierzchni uszkodzenia wlotowego okostnej różnice znamienne statystycznie wykazano we wszystkich parach poza H&N Baracuda i H&N Spitzkugel kal. 5,5 mm. Ponownie naj-

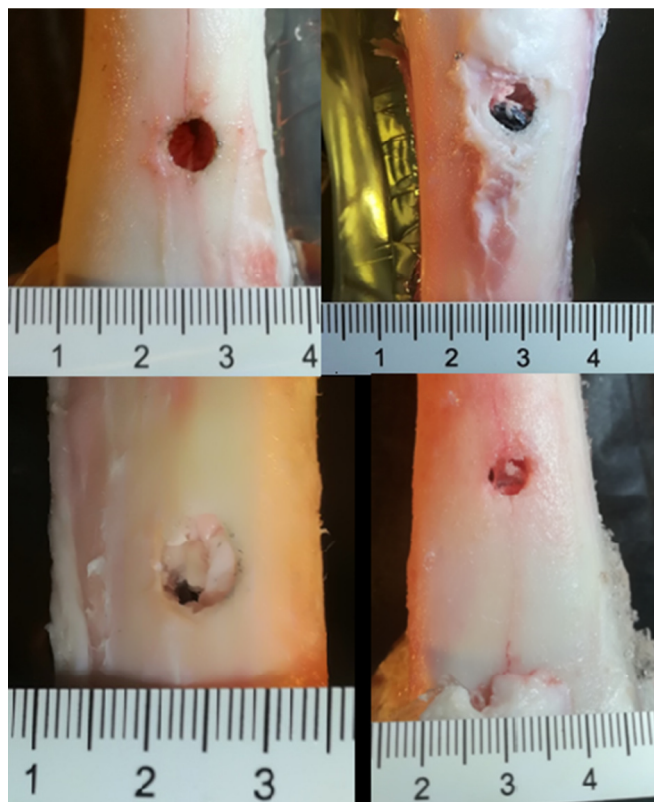


Fig. 16. Inlet damage to the anterior surface of the femoral shaft using 5.5 mm caliber shot. From the top, left H&N Baracuda, right H&N Hollowpoint; from the bottom, left H&N Spitzkugel, right H&N Apollo

Ryc. 16. Uszkodzenia wlotowe przedniej powierzchni trzonu kości udowej z wykorzystaniem śrutów kal. 5,5 mm. Od góry lewa H&N Baracuda, prawa H&N Hollowpoint; od dołu lewa H&N Spitzkugel, prawa H&N Apollo



Fig. 17. Inlet damage to the anterior surface of the femoral shaft using 6.35 mm caliber shot. From the top, left H&N Baracuda, right H&N Hollowpoint; from the bottom, left H&N Spitzkugel, right Black Max Lead-Free

Ryc. 17. Uszkodzenia wlotowe przedniej powierzchni trzonu kości udowej z wykorzystaniem śrutów kal. 6,35 mm. Od góry lewa H&N Baracuda, prawa H&N Hollowpoint; od dołu lewa H&N Spitzkugel, prawa Black Max Lead-Free

and 6.35 mm cal. was produced by H&N Hollow Point shot, and the smallest by H&N Excite Apollo (5.5 mm cal.) and Black Max Lead Free (6.35 mm cal.) shot. In the case of the RA factor, that is, the ratio of the area of inlet damage in the periosteum to the area of the inlet hole in the bone, all comparisons except for the H&N Spitzkugel and H&N Excite Apollo pair (cal. 5.5 mm) showed statistically significant differences. The highest RA for frontal shot for both 5.5 mm and 6.35 mm cal. applies to H&N Hollow Point shot, while the lowest RA applies to H&N Spitzkugel and H&N Apollo (cal. 5.5 mm) and Black Max Lead Free (cal. 6.35 mm).

większe pole powierzchni uszkodzenia, zarówno w kal. 5,5 mm jak i 6,35 mm, powstało w wyniku działania śrutu H&N Hollow Point, a najmniejsze w wyniku działania śrutów H&N Excite Apollo (kal. 5,5 mm) oraz Black Max Lead Free (kal. 6,35 mm). W przypadku współczynnika RA, czyli stosunku pola powierzchni uszkodzeń wlotowych w okostnej do pola powierzchni otworu wlotowego w kości, we wszystkich porównaniach poza parą H&N Spitzkugel i H&N Excite Apollo (kal. 5,5 mm) wykazano różnice znamienne statystycznie. Największy współczynnik RA dla strzału z przodu, zarówno dla kal. 5,5 mm jak i 6,35 mm dotyczy śrutów H&N Hollow Point, a najmniejszy zaś śrutu H&N Spitzkugel i H&N Apollo (kal. 5,5 mm) oraz Black Max Lead Free (kal. 6,35 mm).

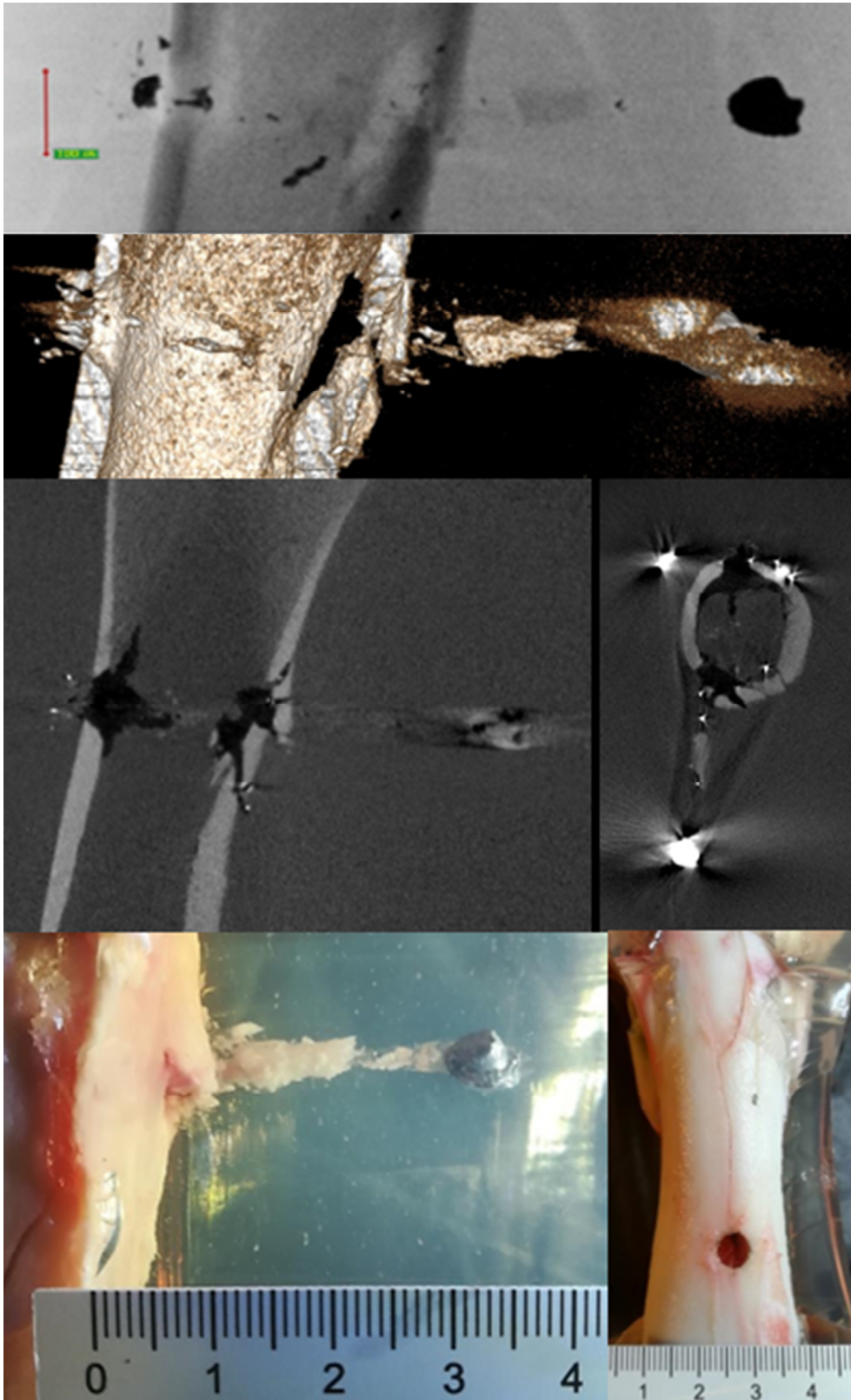


Fig. 18. Image of damage to a pig femur when the anterior surface of the shaft is shot using H&N Baracuda cal. 5.5 mm shot as an example. From the top, X-ray image, 3D CT reconstruction, sagittal and transverse plane CT image, real image

Ryc. 18. Obraz uszkodzeń kości udowej wieprzowej przy postrzale powierzchni przedniej trzonu śrutu na przykładzie śrutu H&N Baracuda kal. 5,5 mm. Od góry obraz RTG, rekonstrukcja TK 3D, obraz w TK płaszczyzna strzałkowa i poprzeczna, obraz rzeczywisty

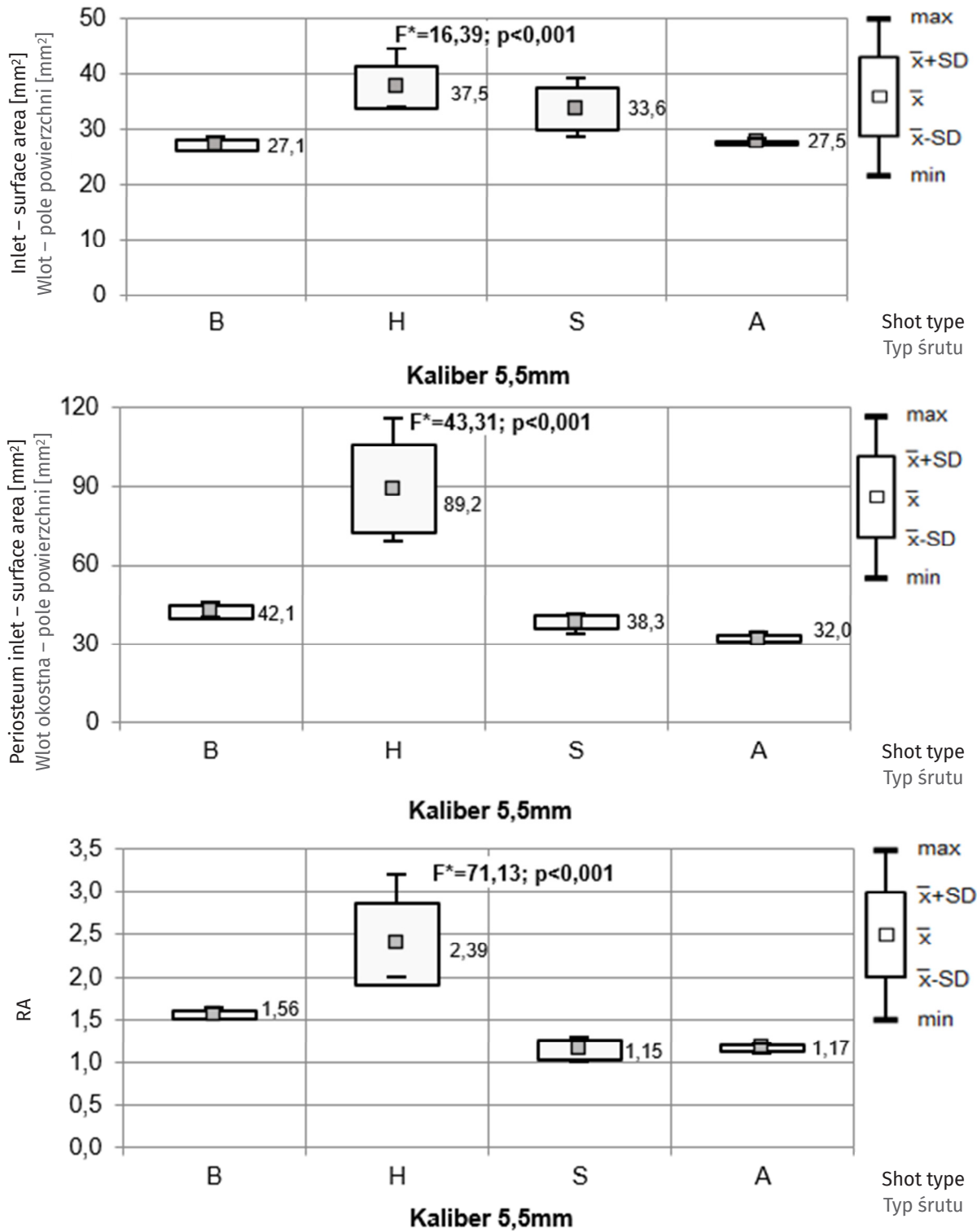


Fig. 19. Results of the one-way ANOVA analysis of variance used to assess the significance of differences in the area of inlet damage in bone, periosteum and in the RA factor when shot into the anterior surface of the shaft for different 5.5 mm cal. shot:

B – H&N Baracuda, H – H&N Hollowpoint, S – H&N Spitzkugel, A – H&N Apollo

Ryc. 19. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA zastosowanej dla oceny znamienności różnic w polu powierzchni uszkodzeń wlotowych w kości, okostnej oraz we współczynniku RA przy postrzale w powierzchnię przednią trzonu dla różnych śrutow kal. 5,5 mm:

B – H&N Baracuda, H – H&N Hollowpoint, S – H&N Spitzkugel, A – H&N Apollo

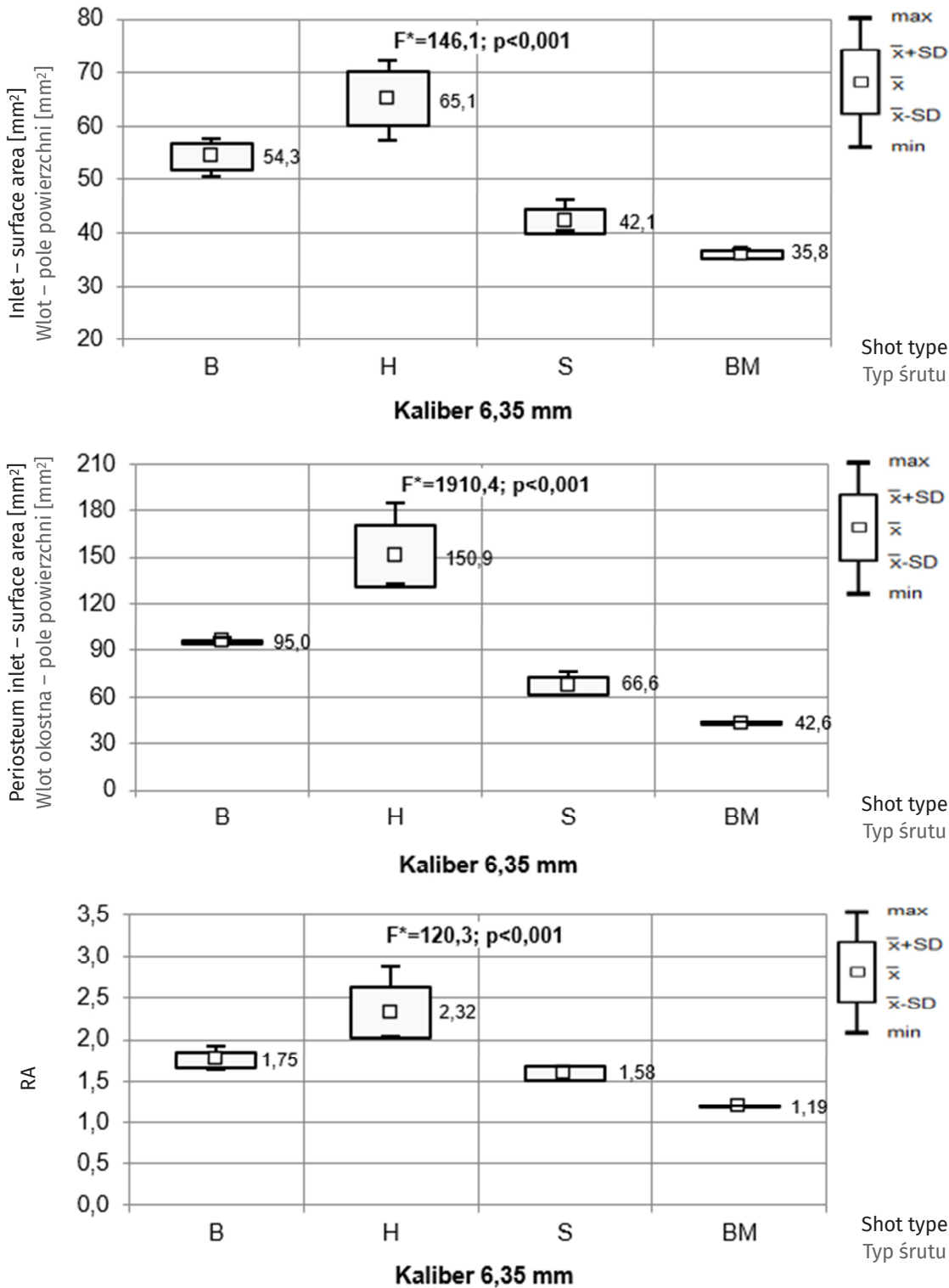


Fig. 20. Results of the one-way ANOVA analysis of variance used to assess the significance of differences in the area of inlet damage in bone, periosteum and in the RA factor when shot into the anterior surface of the shaft for different 6.35 mm cal. shot:

B – H&N Baracuda, H – H&N Hollowpoint, S – H&N Spitzkugel, BM – Black Max Lead-Free

Ryc. 20. Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji ANOVA zastosowanej dla oceny znaczącości różnic w polu powierzchni uszkodzeń wlotowych w kości, okostnej oraz we współczynniku RA przy postrzale w powierzchnię przednią trzonu dla różnych śrutow kal. 6,35 mm:

B – H&N Baracuda, H – H&N Hollowpoint, S – H&N Spitzkugel, BM – Black Max Lead-Free

Table IX. Summary presentation of post-hoc test results. G-H – Games-Howell test, PB5 – H&N Baracuda shot, PH5 – H&N HollowPoint shot, PS5 – H&N Spitzkugel shot, PA5 – H&N Apollo shot. The digit 5 refers to the caliber 5.5 mm

Tabela IX. Zbiorcze przedstawienie wyników testów post-hoc. G-H – test Gamesa-Howella PB5 – śrut H&N Baracuda, PH5 – śrut H&N HollowPoint, PS5 – śrut H&N Spitzkugel, PA5 – śrut H&N Apollo. Cyfra 5 odnosi się do kalibru 5,5 mm

Gunshot into the anterior surface – Caliber 5.5 mm / Strzał w powierzchnię przednią – Kaliber 5,5 mm											
Inlet – surface area / Wlot – pole powierzchni				Periosteum inlet – surface area / Wlot okostna – pole powierzchni				RA			
G-H	PB5	PH5	PS5	G-H	PB5	PH5	PS5	G-H	PB5	PH5	PS5
PH5	0.0027			PH5	0.0042			PH5	0.0289		
PS5	0.0268	0.3552		PS5	0.1092	0.003		PS5	0.0004	0.0033	
PA5	0.7865	0.0055	0.0422	PA5	0.0001	0.0017	0.0039	PA5	<0.0001	0.0057	0.9841

Table X. Summary presentation of post-hoc test results. G-H – Games-Howell test, PB6 – H&N Baracuda shot, PH6 – H&N HollowPoint shot, PS6 – H&N Spitzkugel shot, PBM6 – Black Max Lead-Free shot. The digit 6 refers to the caliber 6.35 mm

Tabela X. Zbiorcze przedstawienie wyników testów post-hoc. G-H – test Gamesa-Howella PB6 – śrut H&N Baracuda, PH6 – śrut H&N HollowPoint, PS6 – śrut H&N Spitzkugel, PBM6 – śrut Black Max Lead-Free. Cyfra 6 odnosi się do kalibru 6,35 mm

Gunshot into the anterior surface – Caliber 6.35 mm / Strzał w powierzchnię przednią – Kaliber 6,35 mm											
Inlet – surface area / Wlot-pole powierzchni				Periosteum inlet – surface area / Wlot okostna – pole powierzchni				RA			
G-H	PB6	PH6	PS6	G-H	PB6	PH6	PS6	G-H	PB6	PH6	PS6
PH6	0.0091			PH6	0.0037			PH6	0.0199		
PS6	<0.0001	0.0001		PS6	0.0001	0.0002		PS6	0.0343	0.0054	
PBM6	<0.0001	0.0001	0.002	PBM6	<0.0001	0.0002	0.0005	PBM6	0.0001	0.0011	0.0004

Summary of gunshot damage in a graphic form

A – bone shaft; B – soft tissues ejected by shot from the front; C – shot fragments in front of the bone; D – severed shot cup in front of the bone; E – ultimate channel in gelatin; F – bone marrow ejected by shot; G – bone fragments; H – deformed shot; I – Teflon case of lead-free shot; J – space in the marrow cavity blasted out by shot; K – damaged periosteum; L – edge of bone tissue damage; M – bone marrow; N – air ejected through cracks in bone after being shot; O – periosteum; P – bone fracture fissure; Q – bone defilement limbus; R – slate-like bone splintering; S – outlet hole with visible bone marrow; T – bone splinter

Podsumowanie uszkodzeń postrzałowych w formie graficznej

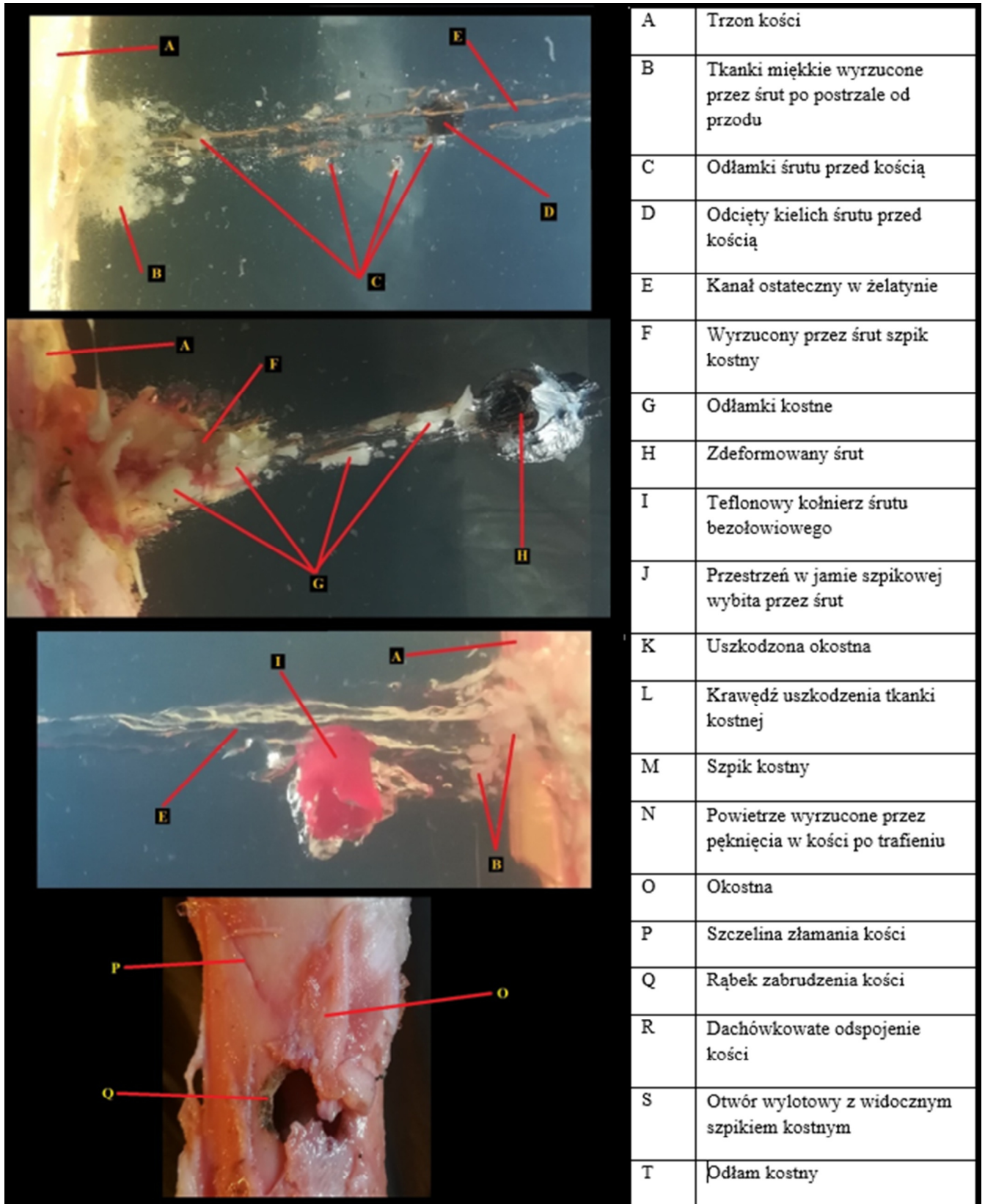


Fig. 21. Description of the damage observed in the study on selected examples with legend to the right

Ryc. 21. Opis uszkodzeń obserwowanych w badaniu na wybranych przykładach z legendą po prawej stronie

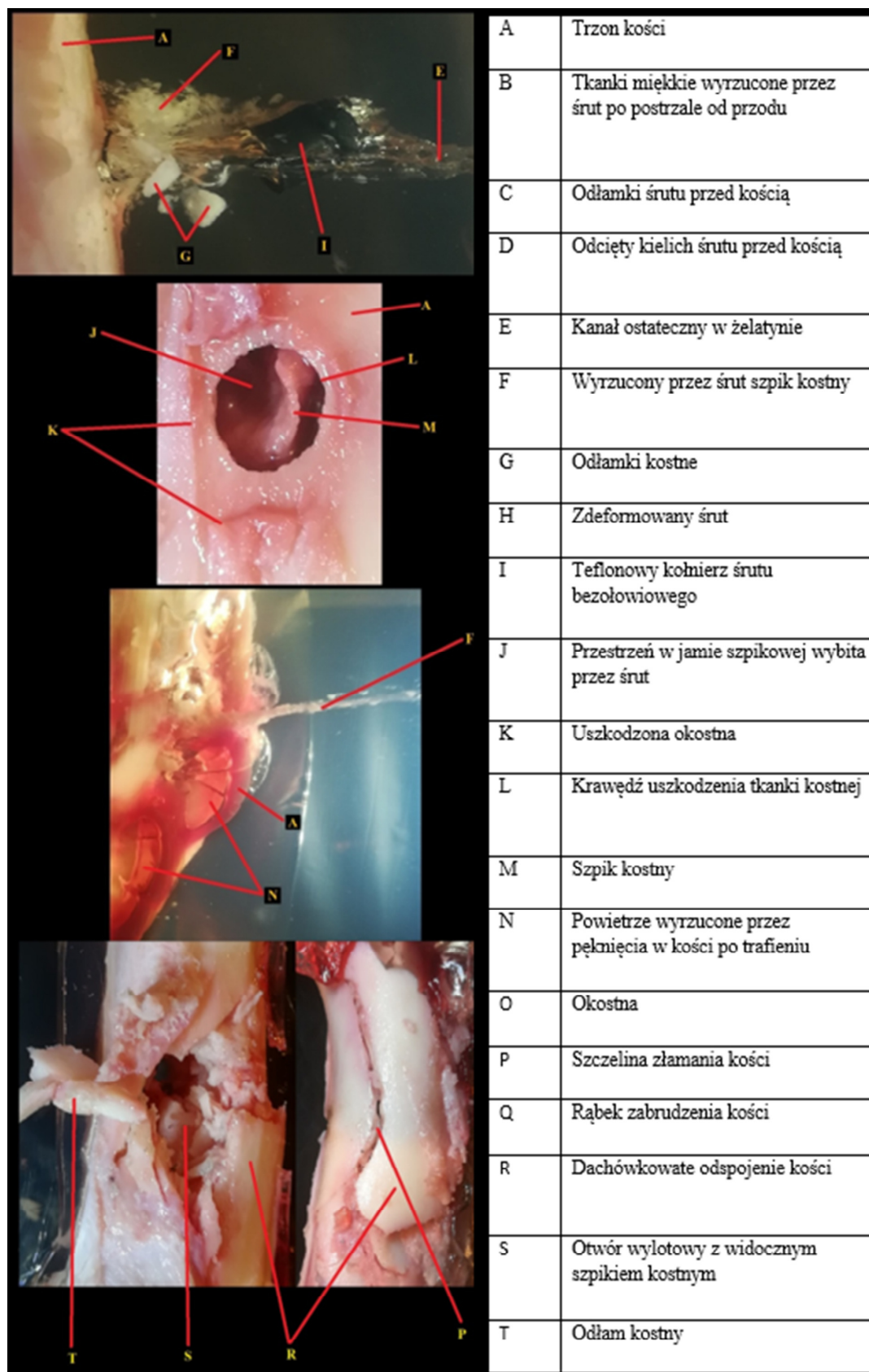


Fig. 22. Description of the damage observed in the study on selected examples with legend to the right
 Ryc. 22. Opis uszkodzeń obserwowanych w badaniu na wybranych przykładach z legendą po prawej stronie

Discussion and description of the results

There is no literature describing the problems of gunshot injuries from high-powered pneumatic weapons, particularly with the use of human models. Admittedly, a certain number of reports exist, but they generally concern pneumatic devices with discharge energies below 17J. Apart from a few papers, there is a lack of medico-legal studies on gunshot injuries to long bones from pneumatic weapons. Given the general descriptions of gunshot injuries from pneumatic weapons in commercially available forensic textbooks – including those by DiMayo [8] – the research undertaken was of a pioneering nature. In the available literature, similar studies include work by T-T.N. Nguyen et al. [9], in which the author studied the effect of so-called fragment simulating projectiles (FSP) for the study of long bone fractures. In this work, in addition to proposing a research model, they also performed, a single shot test of a pig femur, however, without describing the physical properties of the bone used for the test. A 4.5 mm caliber cylinder made of carbon steel weighing 0.78g was used as shrapnel equivalent in the test. According to data obtained by this researcher, the impact energy in a single penetration test was about 41J. No bullet hole was obtained, only penetration of the shaft surface exposed by the gunshot. The dimensions of the gunshot damage were not provided either. The thigh model used 20% gelatin with a 300 Bloom factor, and no dimensions were provided, particularly the width of the model that was made. With regard to this study, it is difficult to compare the results presented in this paper to those obtained by T-T.N. Nguyen. The author used a similar but non-identical research model for single trials. The shots were fired with 4.5 mm cal. cylindrical bullets, importantly constructed of carbon steel, much harder than the lead used in the manufacture of air rifle shot. In addition, most likely due to the test conditions, 20% Bloom 300 gelatin was used, most likely at 10 degrees C – as cited in the article – obtaining a much more compact medium compared to the 10% Bloom 240 gelatin at 4 degrees C used in our study. The lack of bullet hole at such high impact energy in the test model may have been related to the much higher bonding of the gelatin used in the tests and, consequently, the significantly higher resistance that the ballistic gelatin presented to the cylindrical projectile compared to that of the air rifle shot. At the same time, the lack of information on the dimensions of the thigh model makes it impossible to relate it to our study. In another paper by the same author [10], the fibula of a sheep was used as a research model, which, as the author himself admits, is equivalent to the fibula in a 5-year-old child. Due to the significantly different parameters of the bone used, it is not possible to make comparative assessments for the human thigh model using a pig femur. Studies have already been conducted in the past on femur shots with high-impact energy projectiles [11,12,13] nevertheless, in these studies, chromium steel bullets with a diameter of 0.25 inches (6.35 mm) and 0.406 inches (10.03 mm) were fired at fixed human femurs not coated with ballistic gelatin, hence, despite the interesting re-

Dyskusja i omówienie wyników

Brak jest piśmiennictwa opisującego problematykę uszkodzeń postrzałowych z broni pneumatycznej dużej mocy, w tym zwłaszcza z wykorzystaniem modeli ludzkich. Istnieje co prawda pewna liczba doniesień, ale dotyczą one zasadniczo urządzeń pneumatycznych o energii wylotowej poniżej 17J. Poza kilkoma pracami brakuje opracowań medyczno-sądowych dot. uszkodzeń postrzałowych kości długich z broni pneumatycznej. Z uwagi na ogólne opisy uszkodzeń postrzałowych z broni pneumatycznej w dostępnych na rynku wydawniczym podręcznikach medycyny sądowej – m.innymi autorstwa DiMayo [8], podjęte badania miały charakter pionierski. W dostępnej literaturze zbliżony charakter badań zawierają prace autorstwa T-T.N. Nguyen i in. [9], w których autor badał wpływ tzw. pocisków symulujących odłamek (FSP – fragment simulating projectiles) do badań złamania kości długich. W pracy tej oprócz zaproponowania modelu badawczego, wykonano także, pojedynczą próbę postrzału kości udowej wieprzowej, jednakże bez opisu właściwości fizycznych kości użytej do próby. Jako ekwiwalent odłamka wykorzystano w badaniu cylinder kalibru 4,5 mm, wykonany ze stali węglowej o masie 0,78g. Z danych uzyskanych przez tego badacza wynika, że energia uderzeniowa w pojedynczej próbie penetracyjnej wyniosła ok. 41J. Nie uzyskano przestrzału kości, jedynie penetrację powierzchni trzonu narażonej na postrzał. Nie podano także wymiarów uszkodzenia postrzałowego. W modelu uda wykorzystano 20% żelatynę o współczynniku 300 Bloom, nie podano wymiarów, a w szczególności szerokości modelu, który wykonano. W odniesieniu do tego badania trudno jest porównać wyniki badań przedstawionych w niniejszej pracy do wyników uzyskanych przez T-T.N. Nguyen. Autor wykorzystał do pojedynczych prób podobny, lecz nieidentyczny model badawczy. Strzały były oddawane cylindrycznymi pociskami kal. 4,5 mm, co istotnie, zbudowanymi ze stali węglowej, o wiele twardszej od ołowiu wykorzystwanego do produkcji śrutów wiatrówkowych. Ponadto, najpewniej z uwagi na warunki badania, wykorzystano żelatynę 20% Bloom 300 najpewniej o temperaturze 10 st. C – jak wynika z cytowania w artykule – otrzymując o wiele bardziej spoisty ośrodek w porównaniu do wykorzystanej w naszych badaniach 10% żelatyny Bloom 240 o temperaturze 4 st. C. Brak przestrzału przy tak wysokiej energii uderzeniowej w model badawczy mogło być związane z o wiele większą spoistością żelatyny wykorzystanej w badaniach i w konsekwencji istotnie większym oporem jaki żelatyna balistyczna stawiała cylindrycznemu pociskowi w porównaniu do śrutów wiatrówkowych. Jednocześnie brak informacji o wymiarach modelu uda uniemożliwia odniesienie go do naszych badań. W innej pracy tego samego autora [10], jako model badawczy zastosowano kość strzałkową owcy, która jak sam autor przyznaje, jest odpowiednikiem kości strzałkowej u 5-letniego dziecka. Z uwagi na znacząco odmienne parametry użytej kości nie jest możliwe dokonanie ocen porównawczych w odniesieniu do modelu uda ludzkiego z wykorzystaniem kości udowej wieprzowej. W przeszłości prowadzono już badania nad postrzałami kości udowej pociskami

sults obtained, these studies cannot be contrasted with our observations. Wightman G. et al. [14] described gunshot damage to bovine femoral shaft fragments embedded in small gelatin blocks using pneumatic devices with a discharge energy of 16.3J. In his study, the shot practically did not damage the bone surface.

Analyzing the results obtained in the course of our team's research, the area of inlet damage in bone, in the case of 5.5 mm caliber shot (Figure 19, Table IX), statistically significant differences were not shown for the pairs of H&N Spitzkugel and H&N Hollow Point shot and H&N Baracuda and H&N Excite Apollo. Inlet holes with the largest areas were formed by H&N Hollow Point shot and the smallest by H&N Apollo and Baracuda. In the case of periosteal inlet damage area, statistically significant differences were shown in all pairs except H&N Baracuda and H&N Spitzkugel. Again, the largest damage area, was produced by the H&N Hollow Point shot, and the smallest by the H&N Excite Apollo shot. In the case of the RA factor, which is the ratio of periosteal inlet damage area to bone inlet hole area, all comparisons except the H&N Spitzkugel and H&N Excite Apollo pair showed statistically significant differences. The highest RA factor for anterior shot applies to H&N Hollow Point, and the lowest to H&N Spitzkugel and H&N Apollo shot. Depending on the type, the 5.5 mm caliber shot caused bone and periosteal damage of varying size, morphology and character. Bone inlet damage was usually oval in shape, with vertical dimensions slightly larger than the horizontal. This was true for all the pellets used. This relationship is most likely due to the arrangement of bone trabeculae and osteons in the femoral shaft, already described by Koch [15], which run parallel to the long axis of the shaft. When striking the bone, the projectile splinters an oval inlet hole, with its longer dimension in the long axis of the shaft, which is surrounded by an irregularly ruptured periosteum. The most extensive damage within the inlet holes was caused by gunshots with H&N Hollow Point shot. A similar situation was observed for periosteal damage. Also, the RA factor (the ratio of the area of periosteal inlet damage to the area of the bone inlet hole) shows the highest values for this shot, which is determined by the characteristics of the shot construction. The shape of the H&N Hollow Point shot, in particular its flattened head with a central hollow at the top, causes this shot to deform more when hitting a hard obstacle than the other air rifle shot used in the study. Upon hitting the target, shot of this shape loses velocity very quickly and deforms (mushrooms). Its deformed head creates a larger hole in the bone than is observed with the other shot, while the flattened cup, together with the shock wave generated on impact, damages the periosteum over a much larger area than the other shot. An interesting and reproducible observation is the behavior of the H&N Baracuda shot, whose flattened cup fragment after hitting bone is cut off by the bone edge and remains in the ballistic gelatin in front of the inlet hole. H&N Baracuda and H&N Excite Apollo shot causes longitudinal fractures of the bone

o wysokiej energii uderzeniowej [11,12,13] niemniej w badaniach tych strzelano kulami ze stali chromowej o średnicy 0,25 cala (6,35 mm) oraz 0,406 cala (10,03 mm) w utrwalone kości udowe ludzkie nieotoczone żelatyną balistyczną, stąd, pomimo uzyskania ciekawych wyników, badań tych nie można skonfrontować z naszymi obserwacjami. Wightman G. i in. [14] opisał uszkodzenia postrzałowe fragmentów trzonu kości udowej wołowej zatopionej w niewielkich bloczkach żelatynowych z użyciem urządzeń pneumatycznych o energii wylotowej 16,3J. W jego badaniach śruty praktycznie nie uszkodziły powierzchni kostnej.

Analizując wyniki uzyskane w toku badań naszego zespołu, pole powierzchni uszkodzeń wlotowych w kości, w przypadku śrutów kal. 5,5 mm (ryc. 19, tab. IX) różnic znamiennych statystycznie nie wykazano dla par śrutów H&N Spitzkugel i H&N Hollow Point oraz H&N Baracuda i H&N Excite Apollo. Otwory wlotowe o największych powierzchniach tworzyły śruty H&N Hollow Point a najmniejsze H&N Apollo i Baracuda. W przypadku pola powierzchni uszkodzenia wlotowego okostnej różnice znamienne statystycznie wykazano we wszystkich parach poza H&N Baracuda i H&N Spitzkugel. Ponownie największe pole powierzchni uszkodzenia, powstało w wyniku działania śrutu H&N Hollow Point, a najmniejsze w wyniku działania śrutów H&N Excite Apollo. W przypadku współczynnika RA, czyli stosunku pola powierzchni uszkodzeń wlotowych w okostnej do pola powierzchni otworu wlotowego w kości, we wszystkich porównaniach poza parą H&N Spitzkugel i H&N Excite Apollo wykazano różnice znamienne statystycznie. Największy współczynnik RA dla strzału z przodu, zarówno dotyczy H&N Hollow Point, a najmniejszy zaś śrutu H&N Spitzkugel i H&N Apollo. Śruty kal. 5,5 mm w zależności od typu spowodowały uszkodzenia postrzałowe kości i okostnej o różnych rozmiarach, morfologii i charakterze. Uszkodzenia wlotowe kości miały zazwyczaj owalny kształt, o wymiarze pionowym nieco większym niż poziomy. Dotyczyło to wszystkich użytych śrutów. Zależność ta jest najpewniej spowodowana opisywanym już przez Kocha [15] układem beleczek kostnych i osteonów w trzonie kości udowej, które przebiegają równoległe do osi długiej trzonu. Uderzając w kość pocisk wyłamuje owalny otwór wlotowy, o dłuższym wymiarze w osi długiej trzonu, który otoczony jest przez nieregularnie rozerwaną okostną. Największe uszkodzenia w obrębie otworów wlotowych spowodowane były postrzałami śrutem H&N Hollow Point. Podobną sytuację zaobserwowano w przypadku uszkodzeń okostnej. Również współczynnik RA (stosunek pola powierzchni uszkodzeń wlotowych okostnej do pola powierzchni otworu wlotowego w kości) wykazuje dla tego śrutu największe wartości, co determinowane jest charakterystyką budowy śrutu. Kształt śrutu H&N Hollow Point, a w szczególności jego spłaszczona główka z centralnym zagłębieniem na szczycie powoduje, że śrut ten ulega większej deformacji przy trafieniu w twardą przeszkodę niż pozostałe wykorzystane w badaniu śruty wiatrówkowe. Po trafieniu w cel, śrut tego kształtu bardzo szybko wytraca prędkość i deformuje się (grzybkuje). Jego zdeformowana główka tworzy większy

shaft fusing with the inlet hole. The direction of the fracture fissures is most likely due to the aforementioned architecture of the femoral shaft. Completely different characteristics from lead shot are presented by H&N Excite Apollo shot. It is lead-free shot with a Teflon sabot. When it hits the target, it does not get deformed, leaving a Teflon case on the outside of the bone. This shot does not produce any shrapnel either. The shot holes it produces in the bone and damage in the periosteum are the smallest among the four 5.5 mm cal. pellets used in the study. The RA factor of the H&N Excite Apollo shot is very similar to that of the H&N Spitzkugel shot, which is lead shot with strictly penetrating properties. At the same time, it is smaller than the RA factor for the blunt, round-headed, heavy H&N Baracuda shot. For this reason, it provides more resistance when hitting a hard target showing a greater tendency to mushroom than H&N Excite Apollo and H&N Spitzkugel. H&N Baracuda shot, the heaviest of the 5.5 mm caliber shot, is the only one to penetrate the shaft of a bone completely, causing shot damage of the bullet hole type. At the same time, gunshot fractures occur on both the anterior surface of the bone and the lateral and posterior surfaces. This is most likely due to the significant mass and slower extinction of considerable energy after contact with the target, thus determining the larger size of the bone damage.

6.35 mm caliber shot, after hitting the shaft of the femur, causes gunshot damage of similar characteristics (morphology) to that of 5.5 mm caliber shot, however, the damage inflicted by it is characterized by larger size, and is more extensive (Fig. 20, Table X). This is primarily due to the larger dimensions and weight of 6.35 mm cal. shot compared to 5.5 mm cal. pellets, as well as the higher impact energy. Considering the size of the damage to the bone shafts, the inlet holes with the largest surface area are formed by H&N Hollow Point shot, and with the smallest surface area by Black Max Lead-Free. The inlet holes in the bone shafts after gunshots with 6.35 mm caliber shot are oval in shape, very close to round. They are surrounded by an area of damaged periosteum, which is ripped in an irregular manner, as shown in Fig. 23, among others.

Analyzing the damage areas of the periosteal inlet, it should be noted that, as in the case of the bone inlet holes, the greatest extent of damage is caused by H&N Hollow Point shot, while the smallest extent of damage is caused by Black Max Lead-Free shot. Analyzing the RA factor for particular shot in cal. 6.35 mm, one may notice that similarly to the case of shot in cal. 5 mm, it obtains the highest value for H&N Hollow Point shot, and the lowest for Black Max Lead-Free shot. The reason for such characteristics of damage morphology caused by cal. 6.35 mm shot is identical to the case of cal. 5.5 mm shot. The largest range of damage is caused by shot characterized by large surface area of the head, which provides much resistance after hitting a hard obstacle and is significantly deformed, or even fragmented. The least damage is caused by gunshots with tough shot, resistant to deformation, of a

otwór w kości niż jest to obserwowane w przypadku pozostałych śrutów, natomiast rozplaszczony kielich wraz z fałą uderzeniową generowaną przy uderzeniu uszkadzają okostną na powierzchni o wiele większej niż pozostałe śruty. Ciekawą i powtarzalną obserwacją jest zachowanie śrutu H&N Baracuda, którego rozplaszczony po uderzeniu w kość fragment kielicha jest odcinany przez krawędź kostną i pozostaje w żelatynie balistycznej przed otworem wlotowym. Śruty H&N Baracuda oraz H&N Excite Apollo powodują podłużne złamania trzonu kości łączące się z otworem wlotowym. Kierunek przebiegu szczelin złamań wynika najpewniej ze wspomnianej już wcześniej architektury trzonu kości udowej. Zupełnie odmienne od śrutów ołowianych charakterystyczne cechy prezentuje śrut H&N Excite Apollo. Jest to śrut bezołowiowy z teflonowym sabotem. Po uderzeniu w cel nie ulega on odkształceniu, pozostawiając teflonowy kołnierz na zewnątrz kości. Śrut ten nie wytwarza również odłamków. Wytwarzane przez niego otwory postrzałowe w kości oraz uszkodzenia w okostnej mają najmniejsze rozmiary spośród 4 śrutów kal. 5,5 mm wykorzystanych w badaniu. Współczynnik RA dla śrutu H&N Excite Apollo jest bardzo podobny do śrutu H&N Spitzkugel, który jest śrutem ołowianym o właściwościach ściśle penetracyjnych. Jednocześnie jest on mniejszy od współczynnika RA dla tępołukowego, o zaokrąglonej główce, ciężkiego śrutu H&N Baracuda. Z tego powodu stawia on większy opór przy trafieniu w twardy cel wykazując większą tendencję do grzybkowania niż H&N Excite Apollo i H&N Spitzkugel. Śrut H&N Baracuda, najcięższy spośród śrutów kal. 5,5 mm jako jedyny penetruje trzon kości na wylot powodując uszkodzenia postrzałowe typu przestrzału. Jednocześnie dochodzi do powstania złamań postrzałowych zarówno na przedniej powierzchni kości jak i bocznej oraz tylnej powierzchniach. Jest to najprawdopodobniej spowodowane znaczną masą i wolniejszym wytracaniem znacznej energii po kontakcie z celem, determinując przez to większe rozmiary uszkodzeń kości.

Śruty kal. 6,35 mm po uderzeniu w trzon kości udowej powodują uszkodzenia postrzałowe o podobnej charakterystyce (morfologii) do tych jakie uzyskano przy zastosowaniu śrutów kal. 5,5 mm, niemniej uszkodzenia przez nie zadane charakteryzują się większymi rozmiarami, są rozleglejsze (ryc. 20, tab. X). Jest to spowodowane przede wszystkim większymi wymiarami i masą śrutów kal. 6,35 mm w porównaniu do śrucin kal. 5,5 mm, jak również większą energią uderzeniową. Biorąc pod uwagę rozmiar uszkodzeń w trzonach kości, to otwory wlotowe o największej powierzchni tworzy śrut H&N Hollow Point, a o najmniejszej powierzchni Black Max Lead-Free. Otwory wlotowe w trzonach kości po postrzałach śrutami kal. 6,35 mm są kształtu owalnego, bardzo zbliżonego do okrągłego. Otacza je obszar uszkodzonej okostnej, która jest porozrywana w nieregularny sposób, co ukazuje m.in. ryc. 23

Analizując pola powierzchni uszkodzeń wlotowych okostnej należy zauważyć, że podobnie jak w przypadku otworów wlotowych w kości, największy zakres uszkodzeń powoduje śrut

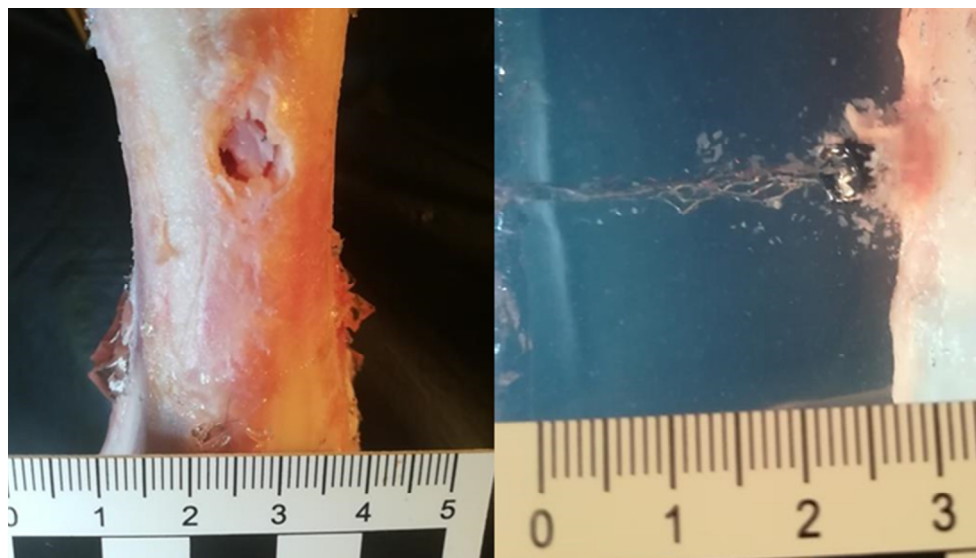


Fig. 23. Black-Max Lead-Free cal. 6.35 mm shot in the anterior surface of the shaft. On the left, a view of the inlet hole; on the right, a lateral view of the periosteal damage and the Teflon case

Ryc. 23. Śręt Black-Max Lead-Free kal. 6,35 mm, postrzał w powierzchnię przednią trzonu. Po lewej widok na otwór wlotowy, po prawej widok z boku na uszkodzenia okostnej oraz teflonowy kołnierz

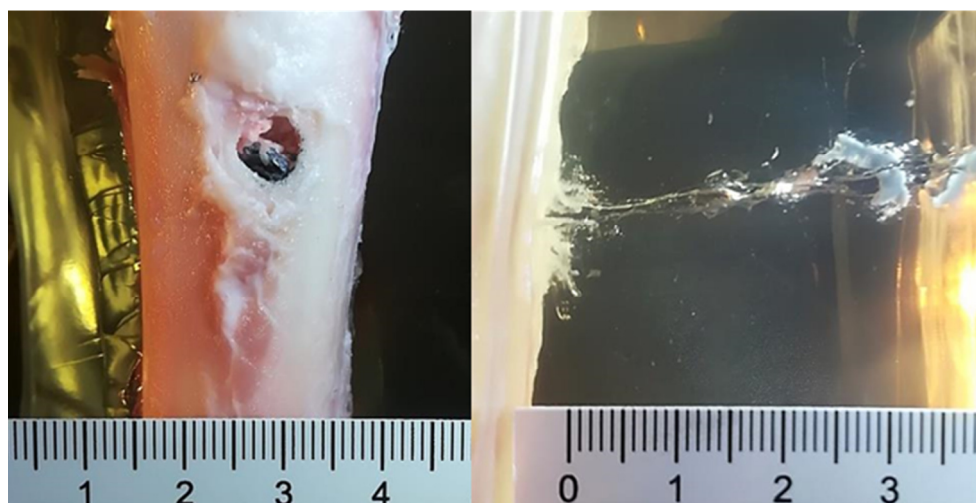


Fig. 24. H&N Hollow Point shot cal. 5.5 mm gunshot into the anterior surface of the bone shaft. On the left – the view of inlet hole, on the right – the view of periosteal fragments and damage by shot, lateral view

Ryc. 24. Śręt H&N Hollow Point kal. 5,5 mm postrzał w powierzchnię przednią trzonu. Po lewej widok otworu wlotowego, po prawej widok odłamków oraz uszkodzeń okostnej przez śręt, zdjęcie z boku

rounded or pointed head. Making comparative assessment, the element differentiating the consequences of gunshots inflicted with shot in cal. 6.35 mm and 5.5 mm, is the extent of bone tissue damage. What draws attention is that shot in cal. 6.35 mm hit the bone with energy 50% higher than shot in cal. 5.5 mm (tables VI and VII). This results in the extensiveness of bone shaft fractures being the consequence of a gunshot.

Every shot after hitting the femoral bone shaft (irrespective of the surface) caused periosteal damage. This damage is visible in photographs of dissected bones (fig. 24) as well as in photographs of bones in ballistic gelatin (fig. 23, fig. 25). In all cases, they took the appearance of a cloudlet of soft tissue, air bubbles and shrapnel which surrounded the inlet hole. If the pellet made a bullet hole in the bone, most frequently it 'snatched' bone marrow with bone fragments, which is visible in figure 27.

H&N Hollow Point, najmniejsze zaś śręt Black Max Lead-Free. Analizując współczynnik RA dla poszczególnych śrętów kal. 6,35 mm można zauważyć, że podobnie jak w przypadku śrętów kal. 5,5 mm najwyższą wartość osiąga on dla śrętu H&N Hollow Point, a najniższą dla bezołowiowego śrętu Black Max Lead-Free. Przyczyna takiej charakterystyki morfologii uszkodzeń wywołanych przez śręty kal. 6,35 mm jest tożsama jak w przypadku śrętów kal. 5,5 mm. Największy zakres uszkodzeń powodują śręty o dużej powierzchni główki, które stawiają duży opór po uderzeniu w twardą przeszkodę i ulegają znacznej deformacji, a nawet fragmentacji. Najmniejsze uszkodzenia spotyka się w postrzałach śrętami twardymi, odpornymi na zniekształcenia o zaokrąglonej lub spiczastej główce. Dokonując oceny porównawczej, elementem różnicującym następstwa postrzałów zadanych śrętami kal. 6,35 mm i 5,5 mm jest zakres uszkodzeń tkanki kostnej. Zwraca uwagę, że śręty kal. 6,35 mm godziły w kość z energią o około 50% większą niż śręty kal. 5,5

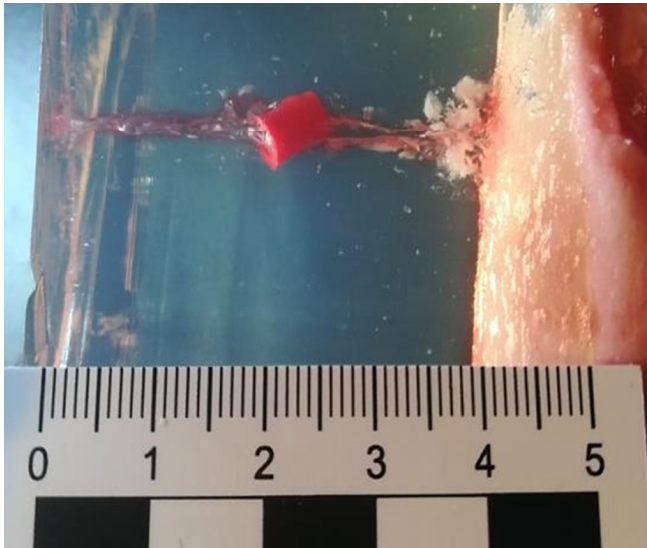


Fig. 25. H&N Excite Apollo shot cal. 5.5 mm gunshot into the anterior part of the bone shaft, lateral view of periosteal damage
Ryc. 25. Śrut H&N Excite Apollo kal. 5,5 mm postrzał w powierzchnię przednią trzonu, widok boczny na uszkodzenia okostnej

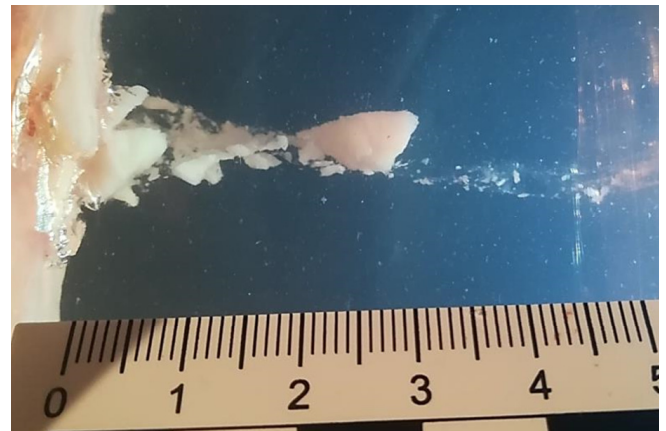


Fig. 26. Black-Max Lead-Free shot cal. 6.35 mm, gunshot into the bone shaft. Lateral view of outlet damage
Ryc. 26. Śrut Black-Max Lead-Free kal. 6,35 mm, postrzał w powierzchnię przednią trzonu. Widok z boku na uszkodzenia wylotowe

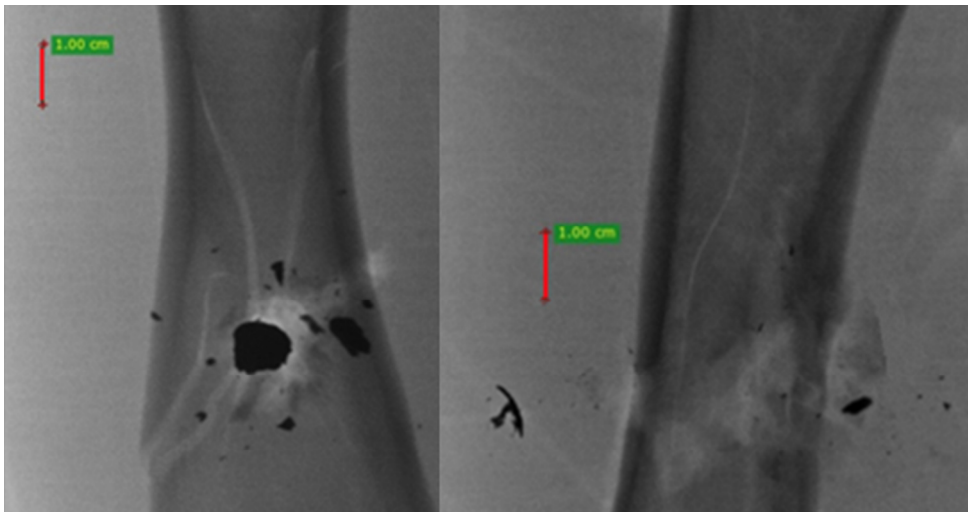


Fig. 27. H&N Baracuda shot cal. 6.35 mm, gunshot into the frontal surface of the bone shaft. On the left, X-ray in A-P projection, on the right, X-ray in the lateral projection
Ryc. 27. Śrut H&N Baracuda kal. 6,35 mm, postrzał w powierzchnię przednią trzonu. Po lewej RTG w projekcji A-P, po prawej RTG w projekcji bocznej

mm (tab. VI i VII). Konsekwencją tego jest znacząco większa rozległość powstałych złamań postrzałowych trzonów kości. Wszystkie śrutki po trafieniu w trzon kości udowej (niezależnie od powierzchni), powodowały uszkodzenie okostnej. Uszkodzenia te uwidoczniono na zdjęciach wypreparowanej kości (ryc. 24) jak również są one widoczne na fotografiach kości w żelatynie balistycznej (ryc. 23, ryc. 25). We wszystkich przypadkach przybierały one wygląd obłóczka tkanek miękkich, pęcherzyków powietrza oraz odłamków śrutki, które otaczały otwór wlotowy. Jeśli śrutka przebiła kość na wylot, najczęściej „porwał” ze sobą szpik kostny wraz z odłamkami kości, co widać np. na rycinie 27.

It is also worth mentioning (however, it is not connected with the main subject of the paper) that the majority of lead shot (mainly H&N Baracuda and H&N Hollow Point, more rarely H&N Spitzkugel), irrespective of caliber, when hitting the bone it was subject to fragmentation, splintering into fragments of various shape and size. It was not just the cut off cup of the pellet, mentioned earlier, but also numerous, small fragments visible in fig. 27.

Shot fragments were both in front and on the side of the bone shaft, and also inside the marrow cavity, which is visible in fig. 28.

Warto nadmienić również (aczkolwiek nie jest to związane z tematem przewodnim pracy), iż większość śrutów ołowianych (głównie H&N Baracuda i H&N Hollow Point, rzadziej H&N Spitzkugel), niezależnie od kalibru podczas uderzenia w kość ulegała fragmentacji, rozpadając się na odłamki różnej wielkości i kształtu. Nie był to jedynie wspomniany wcześniej odcięty kielich śrutu, ale także liczne, niewielkie fragmenty, widoczne na ryc. 27.

Odłamki śrutu znajdowały się zarówno przed, jak i z boku trzonu kości, a także wewnątrz jamy szpikowej, co widać na ryc. 28.

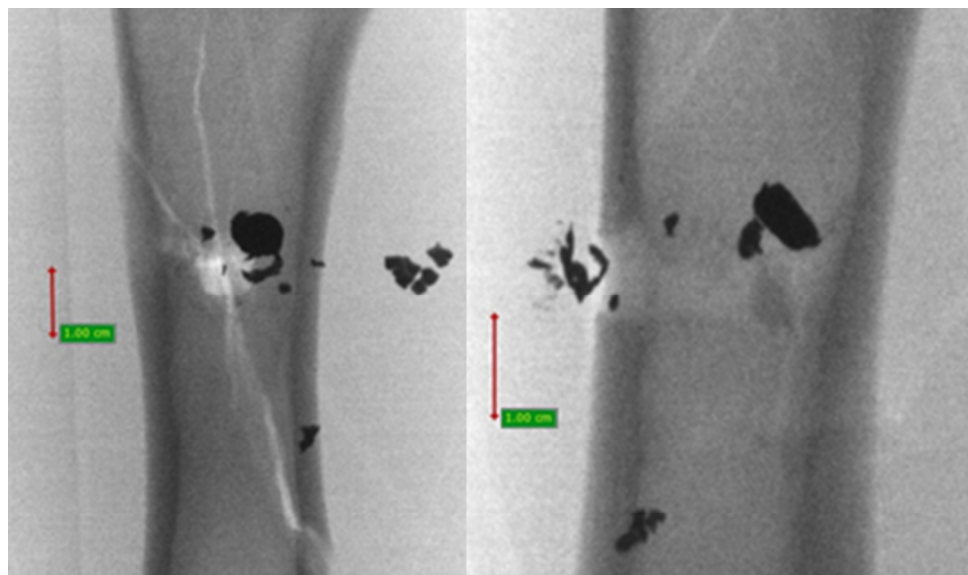


Fig. 28. H&N Baracuda shot cal. 5.5 mm, gunshot into the posterior part of the bone shaft. On the left, X-ray in the A-P projection, on the right, X-ray in the lateral projection
Ryc. 28. Śrut H&N Baracuda kal. 5,5 mm, postrzał w powierzchnię tylną trzonu. Po lewej RTG w projekcji A-P, po prawej RTG w projekcji bocznej

Lead-free shot with a Teflon case did not get fragmented, nor did it get deformed after hitting the bone, however, it left the case in front of the bone, which is visible in fig. 23 and fig. 25.

Śruty bezołowiowe z teflonowym kołnierzem nie rozpadały się ani nie ulegały odkształceniom po trafieniu w kość, niemniej zostawiały przed kością swój kołnierz, co przedstawiono na ryc. 23 i ryc. 25.

Conclusions

1. The type of shot used influences diversified morphology of the holes and the nature of gunshot damage to the femoral shaft. The differences concern both the gunshot holes and the nature, course and extent of associated fractures.
2. The smallest inlet holes and damage to the periosteum with a regular shape are caused by shot with pointed and pointed tip shot. The greatest extent of bone and periosteum inlet damage was observed in gunshots with Hollow Point type shot due to its predisposition to deformation and fragmentation.
3. Radio-imaging studies are a valuable complement to macroscopic visual assessment providing a useful value for identifying the type of shot used.

Wnioski

1. Rodzaj użytego śrutu wpływa na zróżnicowaną morfologię otworów i charakter uszkodzeń postrzałowych trzonu kości udowej. Różnice dotyczą zarówno otworów postrzałowych jak również charakteru, przebiegu i rozległości złamań towarzyszących.
2. Najmniejsze otwory wlotowe i uszkodzenia okostnej o regularnym kształcie wywołują postrzały śrutami o spiczastym i ostrołukowym wierzchołku. Największy zakres uszkodzeń wlotowych kości i okostnej zaobserwowano przy postrzałach śrutami typu Hollow Point z uwagi na jego predyspozycje do deformacji i rozfragmentowania.
3. Badania radioobrazowe stanowią cenne uzupełnienie oceny wzrokowej makroskopowej stanowiąc wartość przydatną do identyfikacji rodzaju użytego śrutu.

References | Piśmiennictwo

1. Ballistic gelatin mixing procedures practiced by the FBI. <http://www.vyse.common31.3.2003>, (access: 01.01.2024)
2. Jussila J., Preparing ballistic gelatin – review and proposal for standard method. *Forensic Sci Int* 2004; 141: 91-99
3. <http://www.militaria.tm.pl/wiatrowka-air-arms-s410-55-mm-xtra-hi-power-wersja-orzech-2371.html>, (access: 01.01.2024)
4. Szayer M., Nowoczesne wiatrówki, Poradnik. Warszawa: Bellona; 2007.
5. Szayer M., Wejman A., Nowoczesne wiatrówki. Field Target, balistyka, testy i opisy. Warszawa Pro Press; 2004.
6. https://www.air-arms.co.uk/showroom_product/s410-carbine (access: 01.01.2024)
7. <http://sklep.incorsa.pl/fx-airguns-karabin-wiatrowka-fx-bobcat-mkii,c15,p3613,pl.html>, (access: 01.01.2024)
8. Di Maio V. J.M., *Gunshot Wounds. Practical Aspects of Firearms, Ballistics, and Forensic Medicine*, Second Edition. CRC Press LLC 1999, ISBN 0-8493-8163-0
9. Nguyen T-T. N., Tear G.R., Masouros S.D., Proud W.G. Fragment penetrating injury to long bones, *AIP Conference Proceedings* 1979, 090011; 2018
10. Nguyen T-T. N et al. Mapping the Risk of Fracture of the Tibia From Penetrating Fragments, *Front. Bioeng. Biotechnol*, 8/2020
11. Huelke D.F., Darling J.H., Bone fractures produced by bullets. *J Forensic Sci* 1964; 17: 461-469
12. Huelke D.F., et al. An experimental study in bio-ballistics femoral fractures produced by projectiles, *J Biomech* 1968 Jul;1(2):97-105
13. Huelke D.F. et al. An experimental study in bio-ballistics: femoral fractures produced by projectiles-II. Shaft impacts, *J Biomech* 1968 Dec;1(4):313-21
14. Wightman G., Beard J., Allison R.. An investigation into the behaviour of air rifle pellets in ballistic gel and their interaction with bone. *Forensic Sci Int* 2010; 200: 41-49
15. Koch C.J., *The Laws of Bone Architecture*, *American Journal of Anatomy*, 1917; 21:177-298.

Date:

date of submission | data nadesłania: **13.01.2024**
acceptance date | data akceptacji: **26.01.2024**

ORCID:

Mateusz Wilk: 0000-0002-2561-7774
Elżbieta Chowaniec: 0009-0006-9758-8331
Małgorzata Chowaniec: 0000-0003-2312-7883
Czesław Chowaniec: 0000-0001-9096-0862

Corresponding author:

Mateusz Wilk
tel. 665759802
mail: mat1993wil@gmail.com