

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

Part I. Introduction and assumptions. Discussion of shot ballistics. Human thigh model

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

Część I. Wstęp i założenia. Omówienie balistyki śrutów. Model uda ludzkiego

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. In accordance with the Polish law, pneumatic weapons are weapons that use compressed gas to set a bullet in motion and generate a discharge energy of more than 17J. In recent years, Poland has seen an increase in crimes committed with pneumatic weapons. The research aim of the present study was to measure the velocity of selected 5.5 mm and 6.35 mm caliber shot and to create a model of a human thigh using a pig femur.

Material and methods. This study used Air Arms Hi-Power Xtra FAC cal. 5.5 mm and FX Bobcat Mk II cal. 6.35 mm carbines and Haendler&Natterman's Spitzkugel, Hollow Point and Baracuda cal. 5.5 mm and 6.35 mm lead shot and Excite Apollo cal. 5.5 mm and Black Max Lead-Free cal. 6.35 mm lead-free shot. The velocity of the shot at a distance of 10 m was measured and its kinetic energy was calculated; pig femurs were measured and CT imaging was performed.

Results. The 5.5mm caliber shot reached velocities between 253 m/s and 278 m/s, obtaining energies between 27J and 44J. The 6.35 mm cal. shot reached velocities between 242 m/s and 254 m/s and energies between 52J and 59J. Pig femurs had an average weight of 410 g, a length of 239 mm, and a shaft diameter at mid-length of 30.6mm. The thickness of pig femur shaft walls was variable. A ballistic model of the human thigh was created using gelatin available in Poland.

Conclusions:

1. The number of registered crimes with pneumatic weapons and the wide access to pneumatic devices with the possibility of design modifications justify the initiation of experimental studies on the assessment of gunshot injuries from pneumatic weapons.
2. The parameters of the shaft of a pig femur obtained from pigs weighing about 115 kg are similar to those of a human adult femur, which makes it possible to create a human thigh model.
3. Of the 5.5 mm cal. shot, the highest impact energies were generated by barracuda type shot, and of the 6.35 mm cal. shot, it was barracuda type and lead-free shot.
4. The thickness of the bony layer of the pig femur shaft is heterogeneous; the posterior wall of the shaft is the thickest, the lateral wall is the thinnest; however, it shows the greatest individual variability.

Keywords

pneumatic weapons, shot, femur, forensic medicine, gunshot

Streszczenie

Wstęp. Zgodnie z polskim prawem broń pneumatyczna to broń wykorzystująca do wprowadzenia w ruch pocisku sprężony gaz i generująca energię wylotową powyżej 17J. W ostatnich latach w Polsce notuje się wzrost przestępstw dokonanych z użyciem broni pneumatycznej. Celem badawczym niniejszej pracy były pomiary prędkości wybranych śrutów kal. 5,5 mm i 6,35 mm oraz stworzenie modelu uda ludzkiego z wykorzystaniem kości udowej wieprzowej.

Materiał i metody. W badaniach wykorzystano karabki pneumatyczne Air Arms Hi-Power Xtra FAC kal. 5,5 mm oraz FX Bobcat Mk II kal. 6,35mm 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. 5,5 mm oraz Black Max Lead-Free kal. 6,35 mm. Dokonano pomiarów prędkości śrutów na dystansie 10m oraz obliczono ich energię kinetyczną, przeprowadzono pomiary kości udowych wieprzowych oraz obrazowanie TK.

Wyniki. Śruty kal. 5,5 mm osiągały prędkości pomiędzy 253 m/s a 278 m/s, uzyskując energie pomiędzy 27J a 44J. Śruty kal. 6,35 mm osiągały prędkości pomiędzy 242 m/s a 254 m/s i energie między 52J a 59J. Kości udowe wieprzowe miały średnią masę 410g, długość 239mm, a średnicę trzonu w połowie długości 30,6 mm. Grubość ścian trzonów kości udowej wieprzowej była zmienna. W wykorzystując dostępne w Polsce żelatyny stworzono model balistyczny uda ludzkiego.

Wnioski:

1. Liczba zarejestrowanych przestępstw z użyciem broni pneumatycznej oraz szeroki dostęp do urządzeń pneumatycznych z możliwością modyfikacji konstrukcyjnych uzasadniają podjęcie badań doświadczalnych dotyczących oceny uszkodzeń postrzałowych z broni pneumatycznej.
2. Parametry trzonu kości udowej wieprzowej pozyskanej od świń o masie ok. 115 kg są zbliżone do trzonów kości udowych ludzkich osób dorosłych, co daje możliwość stworzenia modelu uda ludzkiego
3. Spośród śrutów kal. 5,5 mm największe energie uderzeniowe generowały śruty typu baracuda, a spośród śrutów kal. 6,35 mm były to śruty typu baracuda oraz śruty bezołowiowe.
4. Grubość warstwy kostnej trzonu kości udowej wieprzowej jest niejednorodna; największą grubością charakteryzuje się ściana tylna trzonu, najmniejszą grubością – ściana boczna, jednakże wykazuje ona największą osobniczą zmienność.

Słowa kluczowe

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

Introduction

The contemporary militaria market offers a wide range of pneumatic devices. In connection with technological progress, more and more modern models of air rifles are emerging. They are generally available to Polish citizens over the age of 18. In addition to the traditional, most widespread air rifles in the caliber of 4.5 mm with a folding-spring design, there are also devices with advanced technology, larger calibers (5.5 mm; 6.35 mm; 7.62 mm; and even 9 mm) with the design ability to achieve the power of a fired bullet exceeding 100J, and therefore comparable to that of a bullet fired from a sporting firearm in the caliber of 5.6 mm. Easy acquisition of pneumatic devices and the possibility of making alterations and design changes is associated with the lack of real administrative control over such devices in use, which, within the meaning of the Act of May 21, 1999 on weapons and ammunition, may meet the criteria for pneumatic weapons, i.e. have a kinetic energy exceeding 17J. The use of such air rifles by irresponsible and unauthorized persons, and under conditions and in a manner inconsistent with applicable regulations, results in an increased danger to humans and animals, manifested in the real possibility of sustaining severe and even fatal injuries. Depending on the type of bullets used, the availability of which on the market is large, gunshot injuries will be characterized by heterogeneous morphology. It depends on the ballistic characteristics of the shot (to make this article easier to perceive, the term "shot" = diabolo type bullet designed to be fired in pneumatic devices, including pneumatic weapons) impact energy and the region of the body (anatomical area) that the bullet hits. The different parameters and construction of the various types of shot result in different abilities to penetrate deep into the body and the varying extent of gunshot injuries, which is due to the different purpose of the bullets for sporting purposes, competitive shooting or hunting.

For these reasons, bearing in mind also frequent media reports and police statistics on the occurrence of incidents with pneumatic devices, recognizing the real danger of uncontrolled proliferation of pneumatic devices and weapons, a study was undertaken with the aim of evaluating gunshot injuries on a human thigh model using PCP air rifles in 5.5 mm and 6.35 mm calibers depending on the type of shot used, the impact energy and the surface of the femoral shaft struck by the shot. Due to the lack of data in the available specialized literature on the ballistics of pneumatic weapons in the given calibers and power significantly exceeding 17J, a determination of selected ballistic parameters of the fired pellets was made. The validity of the choice of air carbines in 5.5 mm and 6.35 mm calibers is supported by the fact that the achievable actual maximum energy of fired bullets many times exceeds the limit value of 17J, thus bridging the "gap" between air devices of <17J and low-energy firearms. In this paper, the impact energy of the pellets, i.e. the energy with which they strike the target, was determined, and the characteristics of a pig femur

Wstęp

Współczesny rynek militariów oferuje szeroki asortyment urządzeń pneumatycznych. W związku z postępem technologicznym pojawiają się coraz nowocześniejsze modele wiatrówek. Są one ogólnodostępne dla obywateli Polski, którzy ukończyli 18 rok życia. Oprócz tradycyjnych, najbardziej rozpowszechnionych wiatrówek w kalibrze 4,5 mm o konstrukcji łamanej – sprężynowej, dostępne są także urządzenia o zaawansowanej technologii, większym kalibrze (5,5 mm; 6,35 mm; 7,62 mm; a nawet 9 mm) z konstrukcyjną możliwością osiągnięcia mocy wystrzelianego pocisku przekraczającą 100J, a zatem porównywalnej do tej, jaką osiąga pocisk wystrzelony z broni palnej sportowej o kalibrze 5,6 mm. Łatwość nabycia urządzeń pneumatycznych oraz możliwość dokonywania przeróbek i zmian konstrukcyjnych wiąże się z brakiem realnej kontroli administracyjnej nad tego typu urządzeniami, będącymi w użytkowaniu, które w rozumieniu ustawy z dnia 21 maja 1999r. o broni i amunicji mogą spełniać kryteria broni pneumatycznej tj. charakteryzować się energią kinetyczną przekraczającą 17J. Wykorzystanie takich egzemplarzy wiatrówek przez osoby nieodpowiedzialne i nieuprawnione oraz w warunkach i w sposób niezgodny z obowiązującymi przepisami skutkuje zwiększeniem zagrożenia dla ludzi i zwierząt, przejawiającego się realną możliwością doznania ciężkich, a nawet śmiertelnych obrażeń ciała. W zależności od rodzaju użytych pocisków, której dostępność na rynku jest duża, obrażenia postrzałowe będą charakteryzować się niejednorodną morfologią. Jest ona zależna od charakterystyki balistycznej śrutu (aby ułatwić odbiór niniejszego artykułu, pojęcie „śrut” = pocisk typu diabolo przeznaczony do wystrzeliwania w urządzeniach pneumatycznych, w tym broni pneumatycznej) energii uderzeniowej oraz okolicy ciała (obszaru anatomicznego), w którą godzi pocisk. Odmienne parametry oraz budowa poszczególnych rodzajów śrutu skutkują różnymi zdolnościami do penetracji w głąb ciała oraz zróżnicowaną rozległością obrażeń postrzałowych, co wynika z odmiennego przeznaczenia pocisków dla celów sportowych, strzelectwa wyczynowego lub polowań.

Z tych powodów, mając także na względzie częste doniesienia medialne i statystki policyjne dotyczące zaistniałych zdarzeń z użyciem urządzeń pneumatycznych, dostrzegając rzeczywiste niebezpieczeństwo niekontrolowanego rozpowszechnienia urządzeń i broni pneumatycznej, podjęto badania, których celem była ocena uszkodzeń postrzałowych na przykładzie modelu uda ludzkiego z wykorzystaniem karabinków pneumatycznych PCP w kalibrze 5,5 mm i 6,35 mm w zależności od rodzaju użytego śrutu, energii uderzeniowej oraz powierzchni trzonu kości udowej, w którą śrut uderzył. Ze względu na brak w dostępnym piśmiennictwie specjalistycznym danych dotyczących balistyki broni pneumatycznej w podanych kalibrach i mocy znacznie przekraczającej 17J dokonano określenia wybranych parametrów balistycznych wystrzelianych śrucin. Za słuszością wyboru karabinków pneumatycznych w kalibrze 5,5 mm i 6,35 mm przemawia fakt, iż możliwa do uzyskania rze-

were studied as a human femur model adopted in experimental studies.

czywista maksymalna energia wystrzelianych pocisków wielokrotnie przekracza graniczną wartość 17J, wypełniając tym samym „lukę” pomiędzy urządzeniami pneumatycznymi o mocy <17J, a bronią palną o niskiej energii. W pracy określono energię uderzeniową śrucin, czyli energię, z jaką uderza w cel oraz zbadano charakterystykę kości udowej wieprzowej jako przyjętego w badaniach doświadczalnych modelu kości udowej ludzkiej.

Crimes committed in Poland with the use of pneumatic weapons

Data derived from the police statistics indicate that crimes with broadly defined pneumatic weapons are committed less each year than crimes with firearms. It should be noted that the police statistics do not distinguish between pneumatic devices with Ek<17 energy and pneumatic weapons with Ek>17J energy. Due to the obligation to register pneumatic weapons at the Police, the number of crimes from legally owned pneumatic weapons is most likely negligible. Nevertheless, the ease of modification of pneumatic devices with the power of less than 17J gives access to illegal possession of pneumatic weapons. These cases remain without any legal and administrative supervision.

Przestępstwa dokonywane w Polsce z użyciem broni pneumatycznej

Dane pochodzące ze statystyk policyjnych wskazują, że przestępstw z użyciem szeroko pojętej broni pneumatycznej dokonywanych jest corocznie mniej niż przestępstw z użyciem broni palnej. Należy podkreślić, iż statystyki policyjne nie odróżniają urządzeń pneumatycznych o energii Ek<17 od broni pneumatycznej o energii Ek>17J. Z uwagi na obowiązek rejestracji broni pneumatycznej na Policji, liczba przestępstw z legalnie posiadanej broni pneumatycznej najpewniej jest znikoma. Niemniej łatwość modyfikacji urządzeń pneumatycznych o mocy poniżej 17J daje możliwość dostępu do nielegalnego posiadania broni pneumatycznej. Przypadki te pozostają bez jakiegokolwiek nadzoru prawno-administracyjnego.

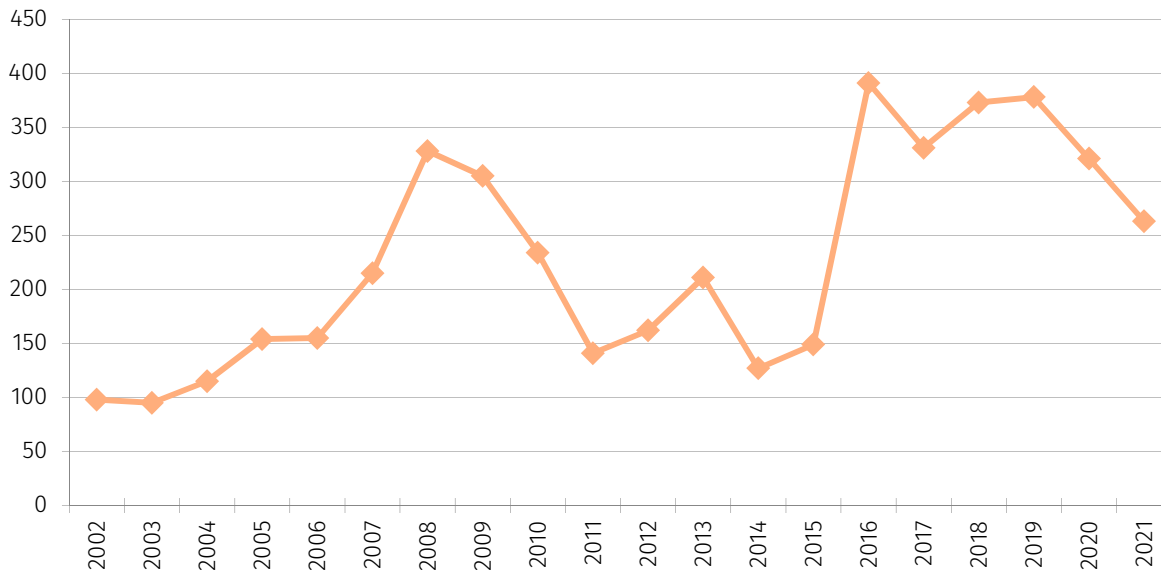


Fig. 1. Number of crimes committed with the use of pneumatic weapons in the broad sense between 2002 and 2021

Ryc. 1. Liczba przestępstw dokonanych z użyciem szeroko pojętej broni pneumatycznej w latach 2002-2021

Fig. 1 shows a slow upward trend in the number of crimes committed with pneumatic weapons in Poland, with two peaks in crime – in 2008-2009 and 2016-2019 [1]. These are official data, these statistics are most likely underestimated by about 50% [2].

Na rycinie 1 można zaobserwować powolny trend wzrostowy liczby przestępstw dokonywanych z użyciem broni pneumatycznej w Polsce, z dwoma szczytami przestępczości – w latach 2008-2009 oraz 2016-2019 [1]. Są to dane oficjalne, statystyki te najprawdopodobniej są zaniżone o ok. 50% [2].

The above premises and, simultaneously, the lack of data in the scientific literature, both national and international, were the reasons for undertaking research using a human thigh model to assess gunshot injuries from pneumatic weapons. The present work is a preview of a broader experimental study of soft tissue, bone and parenchymal organ damage resulting from pneumatic weapon gunshots using animal models.

Long bone injuries from firearms and pneumatic weapons in the available literature

Gunshot injuries to the lower extremities among military personnel during warfare account for up to 64.6% of all gunshot injuries [3]. The percentage of gunshot wounds regardless of the area involved dropped from 91% in the American Civil War (1861-1865) to 18% during the Afghanistan and Iraq missions (2003-2011) [4], where injuries from exploding IEDs – improvised explosive devices predominated.

During combat operations in Iraq and Afghanistan between 2005 and 2009, 370 lower extremity bone fractures caused by gunshots were reported among US soldiers, of which 141 involved femurs (38% of all gunshot fractures of lower extremity bones) [5]. It is assumed that the minimum impact velocity of the bullet to penetrate the bones is at least 60 – 170 m/s, with the actual extent of injury and the depth of entry of the bullet into the tissues, this depends on many factors, such as the anatomical area, the type and weight of the bullet, but also the type of clothing (uniforms) [6].

Gunshot fractures can be divided into complete and incomplete fractures. Complete fractures are those in which there is a break in the continuity of the bone with the displacement of bone fragments. In an incomplete fracture, on the other hand, the fissure does not run through the entire thickness of the bone. Incomplete fractures can be divided into pinhole and chip fractures. A pinhole fracture is one in which a bullet strikes a hole in the bone, not necessarily all the way through. In a chip fracture, the periosteum is stripped and bone chips are ripped from the bone [7]. Bullets with low velocity and impact energy most often cause a fracture in the form of a hole. As the impact energy increases, radial fracture fissures appear around the hole followed by fragmentation of the bone shaft [8]. The literature on gunshot injuries presents few case reports of pneumatic gunshots. Damage to tissues, including bone, from firearms has been very well described [9], as well as organ damage (eyeball, scapula, flaps of the side, liver) from the use of pneumatic devices that do not meet the definition of a pneumatic weapon, due to insufficiently low energy of the shot. In 2010, a study of long bone damage by shot was performed, but nevertheless used air carbines with the power of only 15.3J and fired at fragments of the shaft of a bovine femur embedded in ballistic gelatin [10]. In 2018, an

Powyższe przesłanki i równocześnie brak danych w piśmiennictwie naukowym, zarówno krajowym jak i międzynarodowym stanowiły przyczynę podjęcia badań z wykorzystaniem modelu uda ludzkiego do oceny obrażeń postrzałowych z broni pneumatycznej. Niniejsza praca stanowi wstęp do szerszych badań doświadczalnych nad uszkodzeniami tkanek miękkich, kości i narządów mięsnych powstałymi w wyniku postrzałów z broni pneumatycznej z wykorzystaniem modeli zwierzęcych.

Uszkodzenia kości długich z broni palnej i pneumatycznej w dostępnym piśmiennictwie





Uszkodzenia postrzałowe kończyn dolnych wśród personelu wojskowego w trakcie działań wojennych stanowią do 64,6% wszystkich obrażeń postrzałowych z broni palnej [3]. Odsetek ran postrzałowych z broni palnej bez względu na okolicę jakiej dotyczyły, obniżył się z 91% w Amerykańskiej Wojnie Domowej (1861-1865) do 18% w trakcie misji w Afganistanie i Iraku (2003-2011) [4], gdzie dominowały obrażenia powstałe wskutek wybuchów min pułapek, improwizowanych ładunków wybuchowych.

W trakcie działań wojennych w Iraku i Afganistanie latach 2005-2009 odnotowano wśród żołnierzy USA 370 złamań kości kończyny dolnej spowodowanych postrzałami z broni palnej, spośród których 141 dotyczyło kości udowych (38% wszystkich złamań postrzałowych kości kończyn dolnych) [5]. Przyjmuje się, że minimalna prędkość uderzeniowa pocisku umożliwiająca penetrację kości wynosi co najmniej 60 – 170 m/s, przy czym rzeczywisty zakres obrażeń i głębokość wejścia pocisku w tkanki zależy to od wielu czynników, np. obszaru anatomicznego, rodzaju i masy pocisku, ale także rodzaju odzieży (umundurowanie). [6].

Złamania postrzałowe można podzielić na całkowite i niecałkowite. Złamania całkowite to takie, w których następuje przerwanie ciągłości kości wraz z przemieszczeniem odłamów kostnych. W złamaniu niecałkowitym natomiast szczelina nie przebiega przez całą grubość kości. Złamania niecałkowite można podzielić na otworowe i odpryskowe. Złamanie otworowe to takie, w którym pocisk wybija w kości otwór, niekoniecznie na wyłot. W złamaniu odpryskowym dochodzi do zderzenia okostnej i wyrwania wiórów kostnych z kości [7]. Pociski o niskiej prędkości i energii uderzeniowej najczęściej powodują złamanie w postaci otworu. Wraz ze wzrostem energii uderzeniowej pojawiają się promieniste szczeliny złamań wokół otworu a następnie fragmentacja trzonu kości [8]. W literaturze fachowej dotyczącej postrzałów przedstawiono nieliczne opisy przypadków postrzałów z broni pneumatycznej. Bardzo dobrze zostały opisane uszkodzenia tkanek, w tym kostnej, powstałe z użyciem broni palnej [9] oraz uszkodzenia narządowe (gałka oczna, łopátka, płaty boczku, wątroba) z wykorzystaniem urządzeń pneumatycznych niespełniających definicji broni pneumatycznej, z uwagi na zbyt niską energię śrutu. W 2010 roku wykonano badania nad uszkodzeniami kości długich przez

Table I. Shot used in the study

Tabela I. Śrutu wykorzystane w badaniach

Shot type / Typ śrutu	Photograph / Zdjęcie
<p>Baracuda by Haendler&Natermann (H&N) cal. 6.35 mm (left) and 5.5 mm (right)</p> <p>Baracuda firmy Haendler&Natermann (H&N) kal. 6,35 mm (po lewej) i 5,5 mm (po prawej)</p>	
<p>HollowPoint by H&N cal. 6.35 mm (left) and 5.5 mm (right)</p> <p>HollowPoint firmy H&N kal. 6,35 mm (po lewej) i 5,5 mm (po prawej)</p>	
<p>Spitzkugel by H&N cal. 6.35 mm (left) and 5.5 mm (right)</p> <p>Spitzkugel firmy H&N kal. 6,35 mm (po lewej) i 5,5 mm (po prawej)</p>	
<p>Apollo by H&N cal. 5.5 mm (red case), Black Max Lead-Free cal. 6.35 mm (black case)</p> <p>Apollo firmy H&N kal. 5,5 mm (czerwony kołnierz), Black Max Lead-Free kal. 6,35 mm (czarny kołnierz)</p>	

article was published that described a single shot at a pig femur, so-called FSP (fragment simulating projectile) achieving in this case the penetration of a single bone layer without penetration of the bone all the way through [11]. The available literature on the issue of strictly pneumatic weapons lacks a broader description of gunshot injuries performed with these weapons.

Types of pneumatic weapon ammunition used in the study

1. 5.5 mm and 6.35 mm caliber lead shot:

- a) Baracuda shot by Haendler&Natermann – designed for precision shooting at long distances. It is heavy, smooth, with a conical tip part slightly rounded. It is much heavier than typical diablo type shot of the same caliber. It is characterized by the stability of its flight trajectory, ensuring accuracy, focus and repetition of shots fired. In addition, it is characterized by high knockdown power and low deformation at deep penetration [12].
- b) Hollow Point shot by Haendler&Natermann – shot with an unusual head shape, with a characteristic indentation of the central apex part, resembling burst type ammunition (so-called “dum-dum”). Such construction of the pellet after hitting the target, especially in a hard obstacle such as bone tissue, causes deformation of the bullet leading to a significant degree of flattening (so-called mushrooming) and fragmentation. The result is a significant area of damage. This shot has limited ability to penetrate the target [13].
- c) H&N Spitzkugel by Haendler&Natterman – a sharp-pointed pellet of moderate weight. The shape of its head makes it a pellet with good penetration properties, at the same time it reduces the risk of ricochet when hitting a soft obstacle [14].

2. Lead-free shot:

- a) Caliber 5.5 mm – Excite Apollo by Haendler&Natermann. Shot consists of a metal part, made of metal alloy, and a Teflon case surrounding it. The case acts as a seal in the barrel. According to the manufacturer, it is characterized by very high penetrability. It is made completely lead-free [15].
- b) Caliber 6.35 mm – Black Max Lead-Free. Special shot in caliber 6.35 mm lead-free with maximum hardness. It consists of a part made of a very hard metal alloy, rounded semicircularly and a surrounding Teflon case. According to the manufacturer, it has very high penetrability [16].

śrut, niemniej wykorzystano karabinki pneumatyczne o mocy zaledwie 15,3J oraz strzelano do fragmentów trzonu kości udowej wołowej zatopionej w żelatynie balistycznej [10]. W 2018 roku ukazał się artykuł, w którym opisano pojedynczy postrzał kości udowej wieprzowej tzw. FSP (fragment simulating projectile – pocisk symulujący odłamek) uzyskując w tym przypadku penetrację pojedynczej warstwy kostnej bez penetracji kości na wylot [11]. W dostępnym piśmiennictwie dotyczącym problematyki stricte broni pneumatycznej brakuje szerszego opisu uszkodzeń postrzałowych dokonanych z jej użyciem.

Rodzaje amunicji do broni pneumatycznej wykorzystane w badaniach

1. Śrutu ołowiane kalibru 5,5 mm i 6,35 mm:

- a) Śrut Baracuda firmy Haendler&Natermann – przeznaczony do precyzyjnych strzelań na dalekie dystanse. Jest ciężki, gładki, o części wierzchołkowej stożkowej nieznacznie zaokrąglonej. Jest o wiele cięższy od typowych śrutów typu diablo tego samego kalibru. Charakteryzuje się stabilnością toru lotu, zapewniając celność, skupienie i powtarzalność oddawanych strzałów. Ponadto cechuje się dużą siłą obalającą i niewielką deformacją przy głębokiej penetracji [12].
- b) Śrut Hollow Point firmy Haendler&Natermann – śrut o nietypowym kształcie główki, z charakterystycznym wgłębieniem centralnej części wierzchołkowej, przypominającym amunicję typu rozrywającego (tzw. „dum-dum”). Taka budowa śruciny po trafieniu w cel, zwłaszcza zaś w twardą przeszkodę np. tkankę kostną, powoduje deformację pocisku prowadząc do znacznego stopnia spłaszczenia (tzw. grzybkowanie) oraz rozfragmentowania. Efektem tego jest znaczny obszar uszkodzeń. Jest śrutem o ograniczonej zdolności penetracji celu. [13].
- c) H&N Spitzkugel firmy Haendler&Natterman – śrutem ostrowierzchołkowy, o umiarkowanej masie. Kształt jego główki powoduje, że jest to śrut o dobrych właściwościach penetracyjnych, jednocześnie obniża on ryzyko rykoszetu w przypadku trafienia w przeszkodę miękką [14].

2. Śrutu bezołowiowe:

- a) Kaliber 5,5 mm – Excite Apollo firmy Haendler&Natermann. Śrut składa się z części metalowej, wykonanej ze stopu metalu oraz otaczającego ją kołnierza teflonowego. Kołnierz spełnia funkcję uszczelnienia w lufie. Według danych producenta cechuje się bardzo dużą przebijalnością. Wykonany jest całkowicie bezołowiowo. [15].
- b) Kaliber 6,35 mm – Black Max Lead-Free. Specjalny śrut w kalibrze 6,35 mm bezołowiowy o maksymalnej twardości. Składa się on z części wykonanej z bardzo twardego stopu metali, zaokrąglonej półkuliście oraz otaczającego ją kołnierza teflonowego. Według producenta posiada bardzo wysoką przebijalność. [16].

Table II. Weight of shot used in the study

Tabela II. Masa śrutu wykorzystanego w badaniach

Weight of shot used in the study / Masa śrutu wykorzystanego w badaniach			
Caliber 5.5 mm		Caliber 6.35 mm	
Name / Nazwa	weight / masa [g]	Name / Nazwa	weight / masa [g]
H&N Baracuda	1.37	H&N Baracuda	2.00
H&N Hollow Point	0.82	H&N Hollow Point	1.70
H&N Spitzkugel	1.04	H&N Spitzkugel	1.61
H&N Excite Apollo	0.94	Blac Max Lead-Free	2.02

Haendler&Natterman shot was chosen because of its high quality of manufacture and the accepted assumption of using a single manufacturer's ammunition in the study.

Lead diabolo type shot varies significantly in shape. In theory, the greater the impact energy, the greater the extent of damage to the target (in this case, bone) should be. The greater the surface area of the shot that exerts pressure on the target, the greater the extent of damage should be. Thus, Hollow Point shot should cause (at similar impact energy) damage of greater magnitude than the shot with a pointed head shape, such as the Spitzkugel type. This should apply to both bone and periosteal soft tissues. At the same time, the lower the friction caused by the shot head, the lower the loss of energy during passage through periosteal soft tissues, so pointed shot should be characterized by better bone penetration. The value of the kinetic energy transferred by the bullet that determines the extent and nature of bone damage after the bullet passes through soft tissues depends on its weight and velocity. The morphology of gunshot damage is also influenced by the shape of the bullet – which is especially true of its tip, the ability to deform, but also the type of material from which it is built. Shot that is non-deforming and therefore not built of lead, such as H&N Excite Apollo, should give a different character of damage, consisting rather in bone penetration with little damage to soft tissues, including the periosteum. The extent of damage will depend primarily on the impact energy of the shot [17].

Final ballistics of the bullet – or what happens to the bullet after it hits the target

Diabolo type shot differs significantly in shape from a firearm projectile. This type of bullet comprises a head and a propeller, which causes it to undergo a characteristic deformation when hitting the target, so-called bullet mushrooming. The head of the shot after hitting an obstacle is deformed, the area of its contact with the object (e.g. bone) increases, and the shot itself becomes significantly flattened. This leads to

Śrutu firmy Haendler&Natterman zostały wybrane z uwagi na wysoką jakość wykonania oraz przyjęte założenie wykorzystania w badaniu amunicji jednego producenta.

Śrutu ołowiane typu diabolo znacząco różnią się kształtem. W teorii im większa energia uderzeniowa tym stopień uszkodzenia celu (w tym przypadku kości) powinien być większy. Im większe pole powierzchni śrutu, które wywiera nacisk na cel tym rozmiary uszkodzeń powinny być większe. Tak więc, śrutu typu Hollow Point powinny powodować (przy podobnej energii uderzeniowej) uszkodzenia o większych rozmiarach niż śrutu o szpiczastym kształcie główki, np. typu Spitzkugel. Dotyczyć to powinno zarówno tkanki kostnej jak i tkanek miękkich okółokostnych. Jednocześnie im mniejsze tarcie wywoływane przez główkę śrutu, tym mniejsze straty energii podczas przechodzenia przez tkanki miękkie okółokostne, a więc śrutu spiczaste powinny charakteryzować się lepszą penetracją kości. Wartość przekazanej przez pocisk energii kinetycznej determinującej rozległość i charakter uszkodzeń kości po przejściu pocisku przez tkanki miękkie zależna jest od jego masy i prędkości. Na morfologię uszkodzeń postrzałowych wpływa również kształt pocisku – co zwłaszcza dotyczy jego części wierzchołkowej, zdolność do odkształceń, ale także rodzaj materiału z którego jest on zbudowany. Śrutu nieodkształcające się, a więc niezbudowane z ołowiu, jak np. H&N Excite Apollo, powinny dawać inny charakter uszkodzeń, polegający raczej na penetracji kości przy niewielkim zakresie uszkodzeń tkanek miękkich, w tym okostnej. Zakres uszkodzeń będzie uzależniony przede wszystkim od energii uderzeniowej śrutu [17].

Balistyka końcowa pocisku – czyli co się dzieje z pociskiem po uderzeniu w cel

Śrut typu diabolo różni się znacznie kształtem od pocisku z broni palnej. Pocisk tego typu zbudowany jest z główki i lotki, co powoduje, że ulega ona charakterystycznemu zniekształceniu przy uderzeniu w cel, tzw. grzybkowaniu. Główka śrutu po uderzeniu w przeszkodę ulega deformacji, zwiększa się powierzchnia jej kontaktu z obiektem (np. kością), a sam śrut ulega znacznemu spłaszczeniu. Doprowadza to do skrócenia

the shortening and widening of the cup, which strikes the obstacle immediately after the impact of the head and, depending on the shape of the shot and the type of obstacle (hardness, compactness), causes different damage. Shot must be characterized by deformability and ability to be deformed, at the same time ensuring sufficient penetration ability after hitting the target. Damage caused by lead-free shot, made of metals that do not deform easily, should in theory differ in their characteristics from damage inflicted by lead shot.

Pneumatic weapons

In Polish literature, the terms pneumatic weapons and air rifle are used interchangeably. This is not a correct statement, since every pneumatic weapon is an air rifle, while not every air rifle can be classified as a pneumatic weapon. This applies to carbines as well as pistols or pneumatic revolvers. According to Article 8 of the Act of May 21, 1999 on weapons and ammunition (Journal of Laws 1999 No. 53, item 549), it is "a device dangerous to life or health, which, as a result of the action of compressed gas, is capable of firing a bullet from the barrel or element replacing it and thus capable of hurling a target at a distance, and the kinetic energy of the bullet leaving the barrel or element replacing it exceeds 17 J" [18].

Air carbines used in the study

Both carbines were chosen for their excellent quality and precision of manufacture, ideal accuracy, repeatability of shots fired and ergonomics. The air carbines shown above are equipped with Lothar-Walter barrels and the SmoothTwist type ([19], [20]), which are among the best in the world in terms of technical parameters.

PCA Crosman C2100 cal. 4.5 mm carbine – is a low-power air carbine (maximum power measured 10.5J, H&N Spitzkugel cal. 4.5 mm shot), with the ability to adjust the velocity of shot discharge. In the study, it was used for shooting with RAZORGUN cal. 4.46 mm shot to calibrate the gelatin block.

Structure of the human long bone and animal long bone on the example of a pig femur.

The human femur is a long bone. Anatomically, it consists of a proximal epiphysis and a distal epiphysis and a shaft. The proximal epiphysis is made up of the lesser trochanter, the greater trochanter connected anteriorly by the intertrochanteric line, posteriorly by the intertrochanteric crest of the femoral neck and the femoral head. The distal epiphysis consists of the medial and lateral condyles and epicondyles. The shaft

i poszerzenia kielicha, który uderza w przeszkodę bezpośrednio po uderzeniu główki i w zależności od kształtu śrutu oraz rodzaju przeszkody (twardości, spistości), powoduje różne uszkodzenia. Śrut musi cechować odkształcalność i zdolność do deformacji, zapewniająca jednocześnie dostateczną zdolność penetracyjną po trafieniu w cel. Uszkodzenia spowodowane przez śruty nieołowiane, wykonane z metali, które nie ulegają łatwemu odkształceniu, w teorii powinny różnić się swą charakterystyką od uszkodzeń zadanych śrutami ołowianymi.

Broń pneumatyczna

W polskim piśmiennictwie zamiennie stosuje się określenia broń pneumatyczna oraz wiatrówka. Nie jest to stwierdzenie prawidłowe, gdyż każda broń pneumatyczna jest wiatrówką, natomiast nie każda wiatrówka może zostać sklasyfikowana jako broń pneumatyczna. Dotyczy to zarówno karabinków jak i pistoletów czy rewolwerów pneumatycznych. Zgodnie z art. 8 Ustawy z dnia 21 maja 1999r. o broni i amunicji (Dz. U. 1999 Nr 53 poz. 549), jest to „niebezpieczne dla życia lub zdrowia urządzenie, które w wyniku działania sprężonego gazu jest zdolne do wystrzelenia pocisku z lufy lub elementu ją zastępującego i przez to zdolne do rażenia celu na odległość, a energia kinetyczna pocisku opuszczającego lufę lub element ją zastępujący przekracza 17 J” [18].

Karabinki pneumatyczne wykorzystane w badaniach

Obydwa karabinki zostały wybrane z uwagi na doskonałą jakość i precyzję wykonania, idealną celność, powtarzalność oddawanych strzałów oraz ergonomię. Przedstawione wyżej karabinki pneumatyczne wyposażone są w lufy produkcji Lothar-Walter oraz typu SmoothTwist ([19], [20]), które należą do najlepszych na świecie pod względem parametrów technicznych.

Karabinek PCA Crosman C2100 kal. 4,5 mm – to karabinek pneumatyczny małej mocy (moc maksymalna zmierzona 10,5J, śrut H&N Spitzkugel kal. 4,5 mm), z możliwością regulacji prędkości wylotowej śrutu. W badaniach został wykorzystany do strzelań śrutem kal. 4,46 mm firmy RAZORGUN w celu kalibracji bloku żelatynowego.

Budowa kości długiej człowieka oraz kości długiej zwierzęcej na przykładzie kości udowej wieprzowej.

Kość udowa ludzka jest kością długą. Anatomicznie składa się z nasady bliższej i nasady dalszej oraz trzonu. Nasada bliższa zbudowana jest z krętarza mniejszego, krętarza większego połączonych od przodu kresą międzykrętarzową, od tyłu grzebieniem międzykrętarzowym, szyjki kości udowej oraz głowy kości udowej. Nasada dalsza składa się z kłykci i nadkłykci przyśro-



Fig. 2. FAC Air Arms S410 Xtra Hi-Power cal. 5.5 mm air carbine

Ryc. 2. Karabinek pneumatyczny FAC Air Arms S410 Xtra Hi-Power kal. 5,5 mm



Fig. 3. FAC FX Bobcat Mk II cal. 6.35 mm air carbine

Ryc. 3. Karabinek pneumatyczny FAC FX Bobcat Mk II kal. 6,35 mm

is triangular in cross-section, with a strongly convex anterior surface that transitions into two lateral surfaces that fuse together [21]. The epiphyses are mainly composed of trabecular bone tissue, which, going towards the shaft, transitions into compact bone tissue. The human femur is anteverted. The trabecular tension arrangement was described by Koch in 1917 [22]. In the shaft, they run parallel to its long axis. The average overall length of the human femur is about 440 mm, while the diameter of the shaft in the A-P axis at its mid-length averages about 27 mm [23].

The bones shown in Fig. 4 were photographed at the Department of Human Anatomy of the Faculty of Medical Sciences in Katowice of the Medical University of Silesia.

The pig femur is very similar to the human femur in terms of anatomy, however, it is much shorter. Its average length, calculated on the basis of measurements taken in the course of conducting scientific research is about 240 mm, and the diam-

kowego i bocznego. Trzon na przekroju ma kształt trójścienny, z powierzchnią przednią silnie wypukłą, przechodzącą w dwie powierzchnie boczne, które łączą się ze sobą [21]. Nasady zbudowane są w głównej mierze z tkanki kostnej bełczkowej, która idąc w kierunku trzonu przechodzi w tkankę kostną zbitą. Kość udowa ludzka jest przodowygięta. Układ naprężeń bełczkowych został opisany przez Kocha w 1917r. [22]. W trzonie przebiegają one równoległe do jego osi długiej. Przeciętna długość całkowita kości udowej ludzkiej wynosi ok. 440 mm, natomiast średnica trzonu w osi A-P w jej połowie długości średnio ok. 27 mm [23].

Kości przedstawione na ryc. 4 zostały sfotografowane w Katedrze Anatomii Prawidłowej Wydziału Nauk Medycznych w Katowicach Śląskiego Uniwersytetu Medycznego.

Kość udowa wieprzowa pod względem budowy anatomicznej jest bardzo podobna do kości udowej ludzkiej, jednakże jest ona od niej znacznie krótsza. Średnia jej długość, obliczona na



Fig. 4. Human femur. View from the left: laterally, posteriorly, medially, anteriorly
Ryc. 4. Kość udowa ludzka. Widok od lewej: bocznie, od tyłu, przyśrodkowo, od przodu

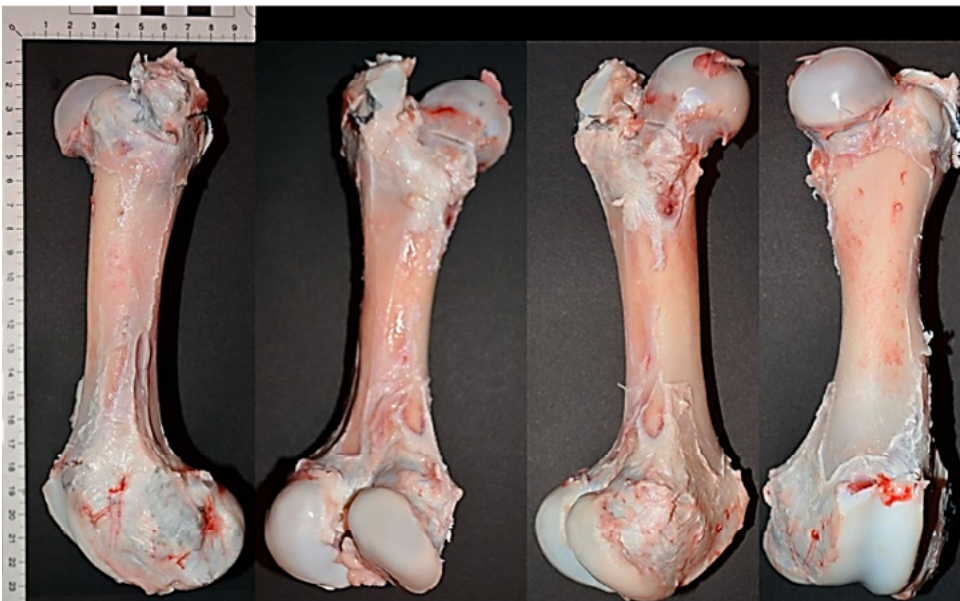


Fig. 5. Fresh pig femurs. View from the left: laterally, posteriorly, medially, anteriorly
Ryc. 5. Kości udowe wieprzowe świeże. Widok od lewej: bocznie, od tyłu, przyśrodkowo, od przodu

eter of the shaft in the A-P projection at the midpoint of its length averages about 30 mm. It should be noted that the diameter of the shaft of the pig femur is similar to the human femur.

podstawie pomiarów wykonanych w trakcie przeprowadzania badań naukowych wynosi ok. 240 mm, a średnica trzonu w rzucie A-P w połowie jej długości średnio ok. 30 mm. Należy zauważyć, że średnica trzonu, kość udowa wieprzowa jest zbliżona do kości udowej ludzkiej.

Measurements were taken of 10 bones. The average weight of a fresh pig bone, cleaned of soft tissues, was about 400 g. The bones were from pigs of different sexes, weighing about 120 kg, which, given the shift of the center of gravity in the pig towards the rear, may indicate that the pressure on both hind extremities was about 65-70 kg, which is close to the body weight of a model human (70 kg).

The exact parameters of the bones used in the study can be found in Table III.

Pomiarom poddano 10 kości. Przeciętna masa świeżej kości wieprzowej, oczyszczonej z tkanek miękkich wyniosła ok. 400g. Kości pochodziły od świni różnej płci, o masie ok. 120 kg, co zważywszy na przesunięcie środka ciężkości u świni ku tyłowi może wskazywać, że nacisk na obydwie kończyny tylne wynosił ok. 65-70 kg, co jest zbliżone do masy ciała modelowego człowieka (70 kg).

Dokładne parametry kości wykorzystanych w badaniach znajdują się w tabeli III.

Table III. Parameters of pig bones used in the study. Data were obtained after examining 10 bones. A-P: front-back, B-B: side-to-side, SD: standard deviation, Max: maximum value, Min: minimum value

Tabela III. Parametry kości wieprzowych wykorzystanych w badaniu. Dane uzyskano po zbadaniu 10 kości. A-P: przód-tył, B-B: bok-bok, SD: odchylenie standardowe, Max: wartość maksymalna, Min: wartość minimalna

Parameter / Parametr	Average / Średnia	SD	Max	Min
total length / długość całkowita [mm]	239.12	5.48	265.10	220.91
shaft diameter A-P / średnica trzonu A-P [mm]	30.63	1.62	35.77	26.39
shaft diameter B-B / średnica trzonu B-B [mm]	30.32	1.47	33.18	27.50
av. bone thickness, anterior surface of shaft śr. grubość kości powierzchnia przednia trzonu [mm]	4.35	0.26	4.48	4.12
av. bone thickness, posterior surface of shaft śr. grubość kości powierzchnia tylna trzonu [mm]	4.87	0.27	4.98	4.72
av. bone thickness, lateral surface of shaft śr. grubość kości powierzchnia boczna [mm]	4.02	0.75	5.12	3.31
bone weight [g]	410.63	20.22	443.12	378.00

It should be noted that the pig femur is thickest in the posterior part, and thinnest in the lateral external part. At the same time, the thickness of the bone in the lateral external part shows the greatest individual variability. A 3D reconstruction of the whole, intact pig femur is shown below, along with longitudinal and transverse sections.

What draws attention in the cross-sections is the uneven thickness of the bony wall of the shaft with significant thickening of the bony layer of the posterior wall and variation in the thickness of the external lateral wall. (Fig. 7, 8).

The above cross-sections show the uneven distribution of bone tissue of the shaft in the different walls. Again, the significant thickness of the posterior wall of the bone and the variability of the thickness of the external lateral wall of the bone are noteworthy.

The pig is a four-legged animal, which makes its gait mechanics different from those of a human. It should be noted that the average width of the shaft of a pig femur is similar to that of a human femur, and the unit pressure on the bones used in

Należy zwrócić uwagę na fakt, iż kość udowa wieprzowa jest najgrubsza w części tylnej, najcieńsza zaś w części bocznej zewnętrznej. Jednocześnie grubość kości w części bocznej zewnętrznej wykazuje największą zmienność osobniczą. Poniżej przedstawiono rekonstrukcję 3D całej, nieuszkodzonej kości udowej wieprzowej wraz z przekrojami podłużnymi oraz poprzecznymi.

Na przekrojach zwraca uwagę nierównomierna grubość ściany kostnej trzonu ze znacznym zgrubieniem warstwy kostnej ściany tylnej oraz zmiennością grubości ściany bocznej zewnętrznej. (Ryc. 7, 8).

Powyższe przekroje poprzeczne ukazują nierównomierne rozłożenie tkanki kostnej trzonu w poszczególnych ścianach. Pownownie zwraca uwagę znaczna grubość ściany tylnej kości oraz zmienność grubości ściany bocznej zewnętrznej kości.

Świnia jest zwierzęciem czworonożnym, przez co mechanika jej chodu jest inna niż u człowieka. Należy zwrócić uwagę, że przeciętna szerokość trzonu kości udowej wieprzowej jest podobna do szerokości kości udowej ludzkiej, a nacisk jednostkowy na kości wykorzystane w badaniu jest porównywalny do



Fig. 6. Pig femur in 3D VR CT image.

From the left: 1. – posteriorly, 2. – medially, 3. – anteriorly, 4. – laterally. Area of the shaft into which the shots were fired is marked

Ryc. 6. Kość udowa wieprzowa w obrazie TK 3D VR.

Od lewej: 1. – od tyłu, 2. – od strony przyśrodkowej, 3. – z przodu, 4. – od strony bocznej. Zaznaczono obszar trzonu w który oddawane były strzały



Fig. 7. Longitudinal sections through the shaft of a pig femur.

1. – inner lateral wall, 2. – outer lateral wall, 3. – posterior wall of the bone, 4. – anterior wall of the bone

Ryc. 7. Przekroje wzdłużne przez trzon kości udowej wieprzowej,

1. – ściana boczna wewnętrzna, 2. – ściana boczna zewnętrzna, 3. – ściana tylna kości, 4. – ściana przednia kości

the test is comparable to that on the femurs of a human weighing about 70 kg.

Each mammalian bone is surrounded by periosteum, a thin connective tissue membrane tightly attached to the bone, which plays a key role in the nutrition and regeneration of bone tissue. [24]. It consists of two layers: the outer (compact, fibrous) layer, which has a protective and structural function, and the inner layer, which contains numerous blood and lymphatic vessels along with nerves [25].

nacisku na kości udowe człowieka ważącego ok. 70 kg.

Każda kość ssaka otoczona jest okostną, czyli cienką błoną łącznotkankową ściśle przylegającą do kości, która pełni kluczową rolę w odżywianiu i regeneracji tkanki kostnej. [24]. Składa się ona z dwóch warstw: zewnętrznej (zbitiej, włóknistej), pełniącej funkcje ochronną i strukturalną oraz wewnętrznej, zawierającej liczne naczynia krwionośne i limfatyczne wraz z nerwy [25].

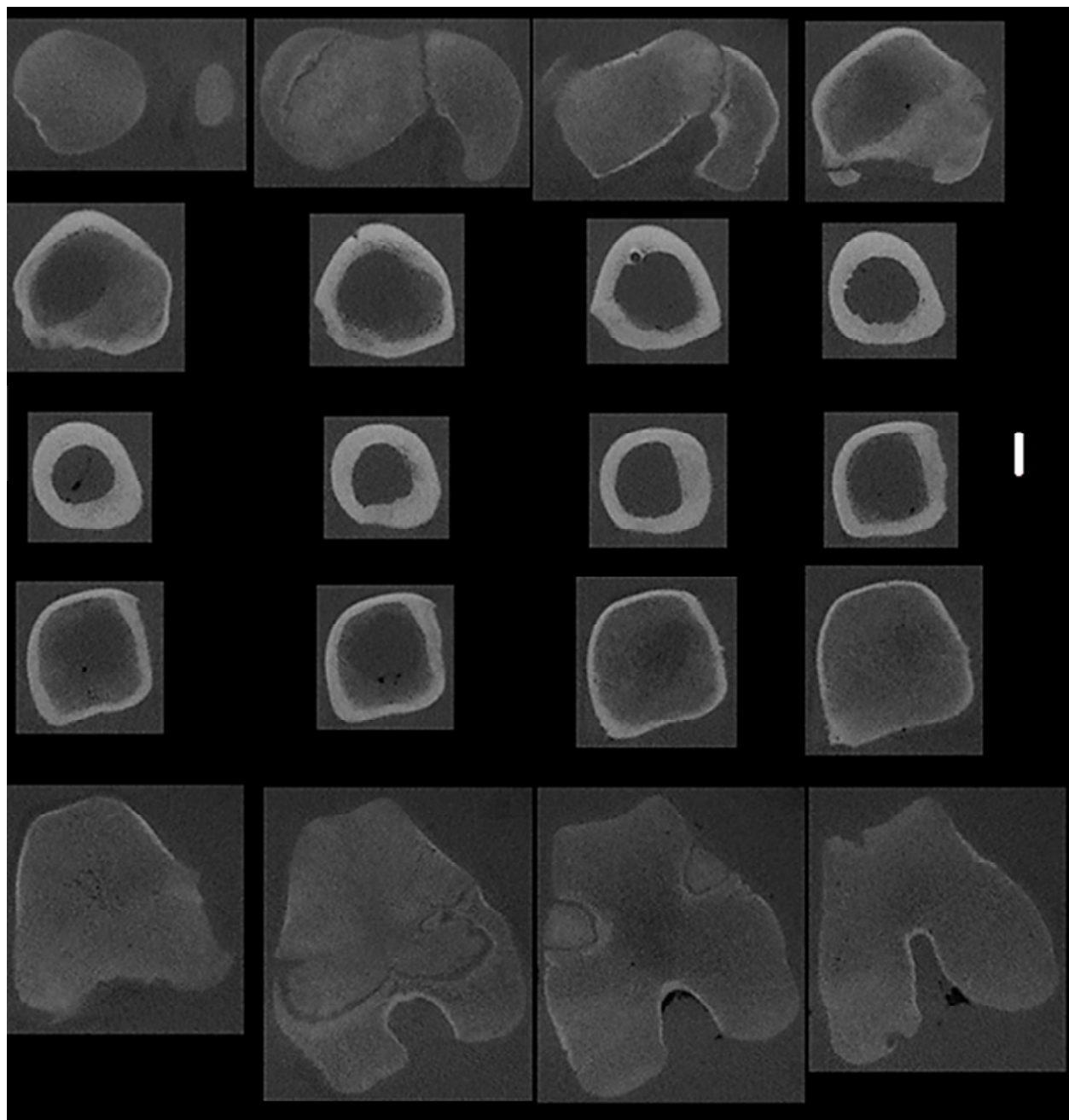


Fig. 8. Cross-sections of an intact pig femur.

The cross-sections were made at intervals of about 10 mm. The scale was maintained on the graphics. The red line on the graphics indicates a section of 10 mm in length

Ryc. 8. Przekroje poprzeczne nieuszkodzonej kości udowej wieprzowej.

Przekroje wykonano co ok. 10 mm. Na grafice zachowano skalę. Czerwona linia na grafice oznacza odcinek długości 10 mm

Objectives of the study:

- 1) The purpose of this study was to determine the ballistics of selected 5.5 mm and 6.35 mm caliber shot and
- 2) proposal and creation of an animal model of the human thigh.

Cele pracy:

- 1) Celem pracy było określenie balistyki wybranych śrutów kal. 5,5 mm i 6,35 mm oraz
- 2) Propozycja i stworzenie zwierzęcego modelu uda ludzkiego

Part one of the experiment – a study of the external ballistics of the shot

The evaluation of the external ballistics of the shot included the following:

1. Measurement of velocity and energy of the selected shot using the LMBR R2A shooting chronometer. The tests were conducted at a distance of 10m using the maximum powers of both air carbines. Each measurement was repeated 10 times to obtain an optimal control sample and authoritative, reliable and methodologically correct results.
2. Verification of the weight of individual pellets was conducted using a jeweler's scale to confirm the data provided by the manufacturers.
3. Calculation of the impact energy of the shot at a distance of 10 m was conducted using the formula: $E=mv^2/2$.

Część pierwsza eksperymentu – badanie balistyki zewnętrznej śrutów

Ocena balistyki zewnętrznej śrutów obejmowała:

1. Pomiar prędkości i energii wyselekcjonowanych śrutów z użyciem chronometru strzeleckiego LMBR R2A. Badania przeprowadzono na dystansie 10m wykorzystując maksymalne moce obydwu karabinków pneumatycznych. Każdy pomiar powtórzono 10-krotnie w celu uzyskania optymalnej próby kontrolnej oraz miarodajnych, wiarygodnych i poprawnych metodycznie wyników.
2. Weryfikację masy poszczególnych śrutów przy użyciu wagi jubilerskiej celem potwierdzenia danych podawanych przez producentów.
3. Obliczenie energii uderzeniowej śrutów na dystansie 10 m przy użyciu wzoru $E=mv^2/2$.



Fig. 9. *Bullet velocity measurement set*
Ryc. 9. *Zestaw do pomiaru prędkości pocisków*



Fig. 10. Air Arms S410 Xtra FAC cal. 5.5 mm (pictured left) and FX Bobcat Mk II cal. 6.35 mm (pictured right) air carbines on a Predator PSR-30MTM stand

Ryc. 10. Karabiny pneumatyczne Air Arms S410 Xtra FAC kal. 5,5 mm (zdjęcie po stronie lewej) oraz FX Bobcat Mk II kal. 6,35 mm (zdjęcie po stronie prawej) na stojaku Predator PSR-30MTM

Table IV. Shot velocities in cal. 5.5 mm measured at a distance of 10 m

Tabela IV. Prędkości śrutów kal. 5,5 mm zmierzone na dystansie 10 m

Shot velocity measured at a distance of 10 m in [m/s] Prędkość śrutu zmierzona na dystansie 10 m w [m/s]				
Caliber 5.5 mm				
Name / Nazwa	Average / Średnia	SD	Max	Min
H&N Baracuda	253.38	1.28	254.60	251.40
H&N Hollow Point	256.73	1.33	258.30	255.00
H&N Spitzkugel	257.25	0.78	258.40	256.10
H&N Excite Apollo	278.12	0.46	278.60	277.30

Table V. Shot velocities in cal. 6.35 mm measured at a distance of 10 m

Tabela V. Prędkości śrutów kal. 6,35 mm zmierzone na dystansie 10 m

Shot velocity measured at a distance of 10 m in [m/s] Prędkość śrutu zmierzona na dystansie 10 m w [m/s]				
Caliber 6.35 mm				
Name / Nazwa	Average / Średnia	SD	Max	Min
H&N Baracuda	242.65	1.22	243.6	240.5
H&N Hollow Point	248.82	0.69	249.6	248.1
H&N Spitzkugel	254.53	0.81	255.7	253.7
Black Max Lead-Free	242.82	1.06	244.4	241.6

Table VI. Shot energy values in cal. 5.5 mm measured at a distance of 10 m

Tabela VI. Wartość energii śrutów kal. 5,5 mm zmierzone na dystansie 10 m

Shot energy at a distance of 10 m in [J] Energia śrutu na dystansie 10 m w [J]				
Caliber 5.5 mm				
Name / Nazwa	Average / Średnia	SD	Max	Min
H&N Baracuda	43.98	0.44	44.40	43.29
H&N Hollow Point	27.02	0.28	27.35	26.66
H&N Spitzkugel	34.41	0.21	34.72	34.11
H&N Excite Apollo	36.35	0.12	36.48	36.14

Table VII. Shot energy values in cal. 6.35 mm measured at a distance of 10 m

Tabela VII. Wartość energii śrutów kal. 6,35 mm zmierzone na dystansie 10 m

Shot energy at a distance of 10m in [J] Energia śrutu na dystansie 10m w [J]				
Caliber 6.35 mm				
Name / Nazwa	Average / Średnia	SD	Max	Min
H&N Baracuda	58.88	0.59	59.34	57.84
H&N Hollow Point	52.62	0.29	52.96	52.32
H&N Spitzkugel	52.15	0.33	52.63	51.81
Black Max Lead-Free	59.55	0.52	60.33	58.95

Part two of the experiment – creation of a human thigh model

Description of the human thigh model used in the study

The model of a human thigh constituted a pig femur placed in a PCV tube of the diameter of about 155 mm and the height of about 250 mm, which was then embedded in 10% ballistic gelatin Bloom 240, which was then cooled down to the temperature of 4 degrees Celsius. The outer layer of the model constituted a thin plastic bag enabling gelification of gelatin at the temperature of 4°C and decreasing friction between the casting tube, which facilitated removing the model after its setting. Gelatin 240 Bloom was used for the study due to the fact that gelatin Bloom 250A is unavailable in Poland. The use of this gelatin enabled creation of an optimal model of the thigh maintaining very good transparency of the center.

Część druga eksperymentu – wykonanie modelu uda ludzkiego

Opis modelu uda ludzkiego wykorzystanego w badaniach

Model uda ludzkiego stanowiła kość udowa wieprzowa umieszczona w rurze PCV o średnicy ok. 155 mm i wysokości ok. 250 mm, którą następnie zalano 10% żelatyną balistyczną Bloom 240, która następnie schłodzono do temp. 4 st. Celsjusza. Zewnętrzną warstwą modelu był cienki worek foliowy, umożliwiający żelifikację żelatyny w temperaturze 4°C oraz zmniejszenie tarcia pomiędzy tubą odlewową, co ułatwiało wyjęcie modelu po jego zastygnięciu. Do badań wykorzystano żelatynę 240 Bloom, z uwagi na brak dostępności w Polsce żelatyny Bloom 250A. Wykorzystanie tej żelatyny umożliwiło stworzenie optymalnego modelu uda przy zachowanej bardzo dobrej przejrzystości ośrodka.



Fig. 11. *The view of the human thigh model through the telescopic sight (pictured left). The view of the human thigh model with visible coding (pictured right)*

Ryc. 11. *Po lewej widok modelu uda ludzkiego przez celownik optyczny. Po prawej model uda ludzkiego z widocznym kodowaniem*

Conclusions

1. The number of registered crimes with pneumatic weapons and the wide access to pneumatic devices with the possibility of design modifications justify the initiation of experimental studies on the assessment of gunshot injuries from pneumatic weapons.
2. The parameters of the shaft of a pig femur obtained from pigs weighing about 115 kg are similar to those of a human adult femur, which makes it possible to create a human thigh model.
3. Of the 5.5 mm cal. shot, the highest impact energies were generated by barracuda type shot, and of the 6.35 mm cal. shot, it was barracuda type and lead-free shot.
4. The thickness of the bony layer of the pig femur shaft is heterogeneous; the posterior wall of the shaft is the thickest, the lateral wall is the thinnest; however, it shows the greatest individual variability.

Wnioski

1. Liczba zarejestrowanych przestępstw z użyciem broni pneumatycznej oraz szeroki dostęp do urządzeń pneumatycznych z możliwością modyfikacji konstrukcyjnych uzasadnia podjęcie badań doświadczalnych dotyczących oceny uszkodzeń postrzałowych z broni pneumatycznej.
2. Parametry trzonów kości udowych wieprzowych pozyskanych od świń o masie ok. 115 kg są zbliżone do trzonów kości udowych ludzkich osób dorosłych, co daje możliwość stworzenia modelu uda ludzkiego.
3. Spośród śrutów kal. 5,5 mm największe energie uderzeniowe generowały śruty typu baracuda, a spośród śrutów kal. 6,35 mm były to śruty typu baracuda oraz śruty bezołowiowe.
4. Grubość warstwy kostnej trzonu kości udowej wieprzowej jest niejednorodna; największą grubością charakteryzuje się ściana tylna trzonu, najmniejszą grubością – ściana boczna, jednakże wykazuje ona największą osobniczą zmienność.

References | Piśmiennictwo

1. <https://statystyka.policja.pl/st/wybrane-statystyki/bron/bron-przestepstwa/186393,przestepstwa-przy-uzyciu-broni.html>, (dostęp: 10.08.2023)
2. Siemaszko A., Kogo biją, komu kradną Przeszłość nierejestrowana w Polsce i na świecie. Warszawa: Instytut Wymiaru Sprawiedliwości; 2001
3. Emergency War Surgery, Third United States Revision, US Department of Defence, Washington DC 2004
4. Belmont P.J., Owens B.D., Schoenfeld A.J., Musculoskeletal Injuries in Iraq and Afganistan: Epidemiology and Outcomes Following a Decade of War. *J Am Acad orthop Surg* 2016 (24), 341-348
5. Belmont P.J. Jr., et al. The Nature and Incidence of Musculoskeletal Combat Wounds in Iraq and Afganistan (2005-2009), *J Orthop Trauma*, 2013 (27), 107-113
6. Chapman K.A., When the Bullet Hits the Bone: Patterns in Gunshot Trauma to the Infracranial Skeleton. Thesis for the Degree Master of Arts, Texas State University, San Marcos 2007
7. Huelke D.F., Darling J.H., Bone fractures produced by bullets. *J Forensic Sci* 1964; 17: 461-469,
8. Bellamy R.F., Zajtcuk R., Conventional Warfare Ballistic, Blast and Burn Injuries. Walter Reed Army Medical Center, Walter Reed Institute of Research Washington DC 1991
9. 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
10. 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
11. 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
12. <https://www.hn-sport.de/en/air-gun-hunting/baracuda-22>, (dostęp: 10.08.2023)
13. <https://srut.pl/pl/635-mm/1683-srut-hn-hollow-point-635-mm-200-szt.html>, (dostęp: 10.08.2023)
14. <https://srut.pl/pl/55-mm/293-hn-spitzkugel-55-mm.html>, (dostęp: 10.08.2023)
15. <https://srut.pl/pl/55-mm/941-hn-excite-apollo-55-mm-150-sztuk.html>, (dostęp: 10.08.2023)
16. <https://srut.pl/pl/635-mm/930-srut-skenco-black-max-635-mm-50-szt.html>, (dostęp: 20.09.2020)
17. Stefanopoulos P. K., Filippakis K., Soupiou O.T., Pazarakiotis V.C, Wound ballistics of firearm-related injuries – part 2: Mechanisms of skeletal injury and characteristics of maxillofacial ballistic trauma. *Int J Oral Maxillofac Surg*. 2015; 44:67-78
18. Art. 8 Ustawy o broni i amunicji, Dz.U. 1999 nr 53 poz. 549
19. <https://fxairguns.com/rifles/the-bobcat/> (dostęp 10.08.2023)
20. https://www.air-arms.co.uk/showroom_product/s410-carbine (dostęp: 10.08.2023)
21. Bochenek A, Reichner M, Anatomia Człowieka, T.1. Warszawa: PZWL; 1990, s. 541-549
22. Koch C.J., The Laws of Bone Architecture, *American Journal of Anatomy*, 1917; 21:177-298.
23. Jayachandra Pilai T., K.lakshmi Devi C., Sobha Devi T., Osteometric Studies of Human Femurs. *IOSR JDMS* 2014; 13:34-39.
24. Bochenek A, Reichner M, Anatomia Człowieka, T.1. Warszawa: PZWL; 1990, s. 142
25. Bochenek A, Reichner M, Anatomia Człowieka, T.1. Warszawa: PZWL; 1990, s. 196

Date:

date of submission | data nadesłania: **13.01.2024**
acceptance date | data akceptacji: **25.01.2024**

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