

# OPERACYJNE LECZENIE ZŁAMANIA KOŚCI ZA POMOCĄ DRUTÓW KIRSCHNERA U MŁODEGO KOTA

MAGDALENA ZIĄBKA<sup>1\*</sup>, PIOTR DERKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA,  
WYDZIAŁ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ I CERAMIKI,  
KATEDRA CERAMIKI I MATERIAŁÓW OGNIOTRWAŁYCH,  
AL. A. MICKIEWICZA 30, 30-059 KRAKÓW

<sup>2</sup> KLINIKA WETERYNARYJNA ARKA,  
UL. CHŁOPSKA 2A, 30-806 KRAKÓW

\* E-MAIL: ZIABKA@AGH.EDU.PL

## Streszczenie

W pracy przedstawiono technikę stabilizacji złuszczonej nasady dalszej kości promieniowej i złamanie przynasadowe dalszej kości łokciowej u dziesięcioletniego kota rasy europejskiej za pomocą drutów Kirschnera. Wykonano diagnostykę obrazową metodą rentgenograficzną przed i po zaimplantowaniu drutów. Na podstawie badania rentgenowskiego postawiono diagnozę: kilkudniowe złuszczenie nasady dalszej kości promieniowej lewej i złamanie wyrostka rylcowatego kości łokciowej. Kot został poddany sedacji, a następnie narkozie wziewnej. Przeprowadzono zabieg operacyjny polegający na stabilizacji kości promieniowej za pomocą drutów Kirschnera stosując ułożenie na krzyż przechodzące przez nasadę dalszą i istotę korową kości promieniowej. Kończyna została zabandażowana i usztywniona na okres 4 tygodni. Po miesiącu przeprowadzono zabieg reoperacji mający na celu usunięcie wszczepów. Następnie przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego i spektrometru dyspersji energii promieniowania X (SEM-EDX) przeprowadzono obserwacje mikrostrukturalne i analizę chemiczną EDS w mikroobszarach implantów. Przeprowadzone badania RTG wykazały poprawne nastawienie kości i całkowite jej zrośnięcie po 4 tygodniach od operacji. Analiza SEM-EDS wykazała brak śladów korozji drutów Kirschnera oraz brak obecności niklu w tkankach otaczających implanty. Przez cały czas rehabilitacji zastosowana stabilizacja zapewniła kotu normalne funkcjonowanie, bez znacznego dyskomfortu.

**Słowa kluczowe:** druty Kirschnera, implanty do osteosyntezy, analiza RTG, analiza SEM-EDS

[Inżynieria Biomateriałów 141 (2017) 20-27]

## Wprowadzenie

Koty, mimo że w swojej naturze przygotowane do oddawania długich skoków i amortyzowania zeskoków z dużej wysokości, ulegają urazom kończyn. Najczęściej dochodzi do nich podczas zeskoku, zaplątania (np. w siatkę ogrodzeniową), potrącenia przez samochód lub agresji ze strony innego zwierzęcia lub człowieka. Kot ze złamaną kończyną wymaga opieki weterynaryjnej.

# OPERATIVE TREATMENT OF BONE FRACTURE WITH KIRSCHNER WIRES - YOUNG CAT CASE

MAGDALENA ZIABKA<sup>1\*</sup>, PIOTR DERKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AGH UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY,  
FACULTY OF MATERIALS SCIENCE AND CERAMIC,  
DEPARTMENT OF CERAMICS AND REFRACTORIES,  
AL. A. MICKIEWICZA 30, 30-059 KRAKOW, POLAND

<sup>2</sup> VETERINARY CLINIC ARKA,  
UL. CHŁOPSKA 2A, 30-806 KRAKOW, POLAND

\* E-MAIL: ZIABKA@AGH.EDU.PL

## Abstract

This case study shows a cross pin technique of treating an epiphyseal fracture using the Kirschner wires in the case of a ten-month old European cat. The radiological diagnosis was performed both before and after the implantation. The radiological diagnosis proved a few day epiphyseal exfoliation of the left distal radius and the epiphyseal fracture of the distal ulna. The cat was sedated and subjected to general anesthesia. An operation was performed to stabilize the radius with the Kirschner wires, using the cross pin technique going through the distal epiphyseal and the cortical bone of the radius. The limb was immobilised for 4 weeks. After one month the reoperation was performed to remove the Kirschner wires. The microstructure of the implanted wires was observed using the scanning electron microscope equipped with X-ray energy dispersion spectrometer (SEM-EDS). The chemical analysis in the area around the operated tissue was performed. The radiological analysis showed the proper bone adjustment and its complete healing after 4 weeks after the surgery. The SEM-EDS analysis revealed no corrosion of the wire and lack of nickel in the tissues surrounding the implants. Throughout the rehabilitation the applied stabilization assured the cat the ordinary living conditions without noticeable discomfort.

**Keywords:** Kirschner wires, implants for osteosynthesis, RTG analysis, SEM-EDS analysis

[Engineering of Biomaterials 141 (2017) 20-27]

## Introduction

Cats, despite their natural ability of agile moves and absorbing jumps from heights, sometimes fall victim to accidents. Injuries occur as a consequence of entangling the limbs, being hit by a car or attacked by another animal or human. An injured cat requires a veterinary treatment.

At first, depending on the type of injury, it is recommended to treat the injured cat with anti-shock drugs and painkillers in order to calm it and prepare for further procedures. Next, the radiological examination should be performed to define the injuries and take decisions regarding the further steps and prevision concerning the wound healing. The technique of stabilization the fracture with nails or wires is well-known and it is often used to help small animals [1-4]. Although it is quite easy to implement, it is not suitable for every injury.

W pierwszej kolejności zaleca się, w zależności od urazu, odpowiednie zaopatrzenie przeciwwstrząsowe pacjenta oraz podanie leków przeciwbólowych, aby uśmierzyć ból i uspokoić kota. Po stabilizacji stanu ogólnego wykonuje się badanie radiologiczne w celu określenia uszkodzeń, podjęcia decyzji dalszego leczenia i przewidywań dotyczących gojenia się rany. Technika stabilizacji przy pomocy gwoździa lub drutu jest często stosowana u małych zwierząt i stosunkowo prosta jednak nie w każdym wypadku wystarczająco skuteczna [1-4]. Niezależnie od tego wymaga cierpliwości i ekspertyzy technicznej połączonej z dobrym zrozumieniem biomechaniki i procesu gojenia się złamanych kości. Zwykle u kotów używane są druty Kirschnera. Celem każdego zabiegu zespolenia złamania jest szybkie i kompletne przywrócenie funkcji kończyny. Niezbędne jest zapewnienie stabilnego ustawienia kości i przywrócenie pełnego zakresu ruchu stawu. Osteosynthese przy użyciu wewnętrznie zamocowanych implantów zmierza do osiągnięcia tego celu poprzez wykonanie repozycji i stabilizacji złamania poprzez założenie stabilizujących drutów Kirschnera [5,6].

Techniki zespolenia wewnętrznego zaczerpnięte są z technik i metod zespolenia stosowanych u ludzi. Wyroby medyczne, czyli implanty stosowane w medycynie weterynaryjnej obejmują między innymi szpilkę Steinmanna, drut Kirschnera, gwoździe Kuntschera, szpilki Rusha, drut kostny, płyty blokowane oraz stabilizację zewnętrzną [7-9]. Asortyment implantów dostępnych dla zwierząt jest coraz większy, jednakże to lekarz weterynarz mając na uwadze dobro swojego pacjenta oraz indywidualny charakter złamania decyduje o wyborze wszczepu oraz techniki operacyjnej. Podstawowym warunkiem decydującym o wyborze materiału przeznaczonego na implant jest jego biogodność, czyli zgodność biologiczna, która związana jest z zachowaniem się biomateriału w organizmie. Materiały biogodne nie powinny wykazywać działań cytotoksycznego dla otaczającego układu biologicznego.

Typowe przykłady metali stosowanych na implanty ortopedyczne u zwierząt obejmują stopy chirurgicznej stali nierdzewnej i tytanu. Stal nierdzewna używana jest do produkcji implantów ze względu na dobre właściwości mechaniczne, stosunkowo niską cenę i łatwy sposób wytwarzania. Wykazuje ona jednak słabą odporność na zużycie i niską odporność na korozję. Interakcja między otaczającym środowiskiem fizjologicznym a powierzchnią implantu ma także kluczowe znaczenie, ponieważ może prowadzić do utraty funkcji implantu i mieć niepożądany wpływ na pacjenta, powodując odrzucenie implantu przez otaczające tkanki [10].

Celem tego artykułu jest zatem przekazanie czytelnikowi informacji o leczeniu złamań kości za pomocą drutów metalowych i wykazanie, że te badane implanty są odporne na korozję.

## Materiały i metody

Kot rasy europejskiej w wieku 10 miesięcy został przywieziony do kliniki ARKA, z utrzymującą się kulawizną lewej przedniej kończyny od kilku dni. Badanie kliniczne wykazało bolesność i deformację okolicy lewego nadgarstka. W badaniu radiologicznym stwierdzono złuszczenie nasady dalszej kości promieniowej lewej, złamanie przynasadowe dalsze kości łokciowej. Złamanie zgodnie z klasyfikacją Saltera-Harrisa sklasyfikowano jako typ I [11]. Jest to uraz występujący u młodych zwierząt z niedojrzałym kośćcem i niezakończonym procesem wzrostu.

It also takes an experienced surgeon to correctly define a scale of the damage and act in respect to biomechanical details and the healing process of the broken bones. In general, cats' injuries might be successfully treated with the Kirschner wires. The aim of any fracture treatment is a rapid and complete restoration of the limb function. A stable realignment of bones and restoration of the full range of motion in the joint are necessary for the complete limb function. Osteosynthesis attempts to achieve this goal by open reduction and internal fixation using implants [5,6].

The technique of the internal fixation of the animal bone fractures is derived from the one used for humans. The medical devices, i.e. implants used in veterinary medicine include among others: the Steinmann pin, Kirschner wire, Rush pin, Kuntscher nail, bone wire, locking plates and external joints [7-9]. The assortment of implants available for animals is increasing. Therefore, keeping in mind the wellness of the patient and the individual nature of the fracture, a veterinary doctor chooses the implant type and the surgical technique. The fundamental requirement for a metallic implant material is its biocompatibility, which is related to the behaviour of biomaterials. Materials should not exhibit any toxicity to the surrounding biological system.

Common metals used in animal orthopaedic implants include the surgical stainless steel and titanium alloys. Stainless steel is used as an implant due to its good mechanical properties, a relatively low price and an easy manufacturing process. However, it possesses poor wear properties, such as the force-bearing surface and low corrosion endurance. The interaction between the surrounding physiological environment and the surface of the implant is crucial as it may lead to the failure of the implant to function the way it was intended to. Another risk may be an adverse effect on the patient, resulting in the rejection of the implant by the surrounding tissue [10].

Therefore, the aim of this study is to give a reader the information of bone fracture treatment using metallic wires and prove the corrosion resistance of the investigated implants.

## Materials and Methods

A 10-month old European cat was delivered to the ARKA veterinary center with the lameness of the left forelimb persisting for several days. The clinical examination showed pain and deformation in the area of the wrist. The radiological diagnosis proved epiphyseal exfoliation of the left distal radius and epiphyseal fracture of the distal ulna. According to the Salter-Harris classification, the bone fracture was described as type I [11]. Such an injury is typical for young cats with immature skeleton and still within the growing process. In many cases such injuries are treated in a traditional manner, i.e. the fracture reposition and application of a stiffening bandage.

In this case such a treatment would not have been effective as the accident had taken place quite a long time before and the bone fracture was considerably displaced. Therefore, the Kirschner wires were selected as the most effective method of treatment (FIG. 1).

In addition, it was decided to use the Kirschner wires because of the simplicity of the method, the minimal risk of growth plate damage and a very small (a few millimeters) size of the distal fraction. Such a method also makes the removal of the implant an easy procedure. The proposed stabilization is an optimal solution for young cats. It was decided to stabilize only the radial bone, which is responsible for load carrying of the front limb. The ulna fracture was left to spontaneous healing.

..... Często metodą leczenia takiego urazu jest leczenie zachowawcze, repozycja i opatrunek ustalający. Jednak w tym wypadku, ze względu na znaczne przesunięcie odłamów i czas, który upłynął od urazu zaproponowano leczenie operacyjne przy użyciu stabilizacji drutami Kirschnera (RYS. 1).

Dodatkowo zdecydowano się na zastosowanie drutów Kirschnera ze względu na prostotę metody, minimalne uszkodzenie chrząstki wzrostu, bardzo mały (kilkumilimetry) rozmiar odłamu dalszego oraz łatwość późniejszego usunięcia implantów. Zaproponowana stabilizacja jest optymalnym rozwiązaniem do zastosowania u młodych kotów. Zdecydowano się na stabilizację tylko kości promieniowej, która przenosi większość obciążeń kończyny przedniej, złamanie kości łokciowej pozostawiono do samoistnego zagojenia.

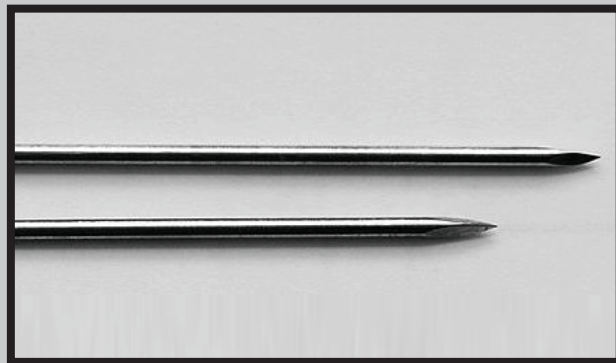
Kot został poddany sedacji: Medetomidyny chlorowodorek (Dorbene) w dawce 50 µg/kg j.m. + Butorfanol (Torbugesic) w dawce 25 µg/kg j.m. + Ketamina (Bioketan) w dawce 3 mg/kg j.m. Następnie założono kateter dożylny. Indukcja znieczulenia ogólnego - Propofol (Scanofol) dożylnie według efektu działania. Intubacja pacjenta i narkoza wziewna izofluranowa + tlen. Przygotowano powierzchnię operacyjną. W tym celu kończyna, część obwodowa (pale i dłoń) została zabezpieczona sterylną serwetą. Dostęp chirurgiczny: okolica grzbietowa nadgarstka pomiędzy mięśniami: prostownikiem wspólnym palców a prostownikiem promieniowym nadgarstka. Dokonano repozycji złamania przy zgiętym stawie nadgarstkowym, a następnie ustabilizowano złamanie przy pomocy dwóch gwoździ Kirschnera o średnicy 1,2 mm firmy Medgal, wprowadzonych od strony bocznego i przyśrodkowego wyrostka rylcowatego i zakotwiczonych w przeciwległej istocie korowej przynasady kości promieniowej. Zamknięcie rany było rutynowe: resorbowalne nici chirurgiczne, Biosyn 3/0. Na ranę w obszarze operacyjnym zastosowano maść gentamycynową i założono opatrunek Roberta-Jonesa. Po zabiegu zastosowano osłonę antybiotykową amoksycylina + kw. klawulonowy początkowo w iniekcji (Synulox), a w kontynuacji w tabletkach (Clavaseptin) 10 mg/kg, oraz ochronę przeciwbólową początkowo Tramadol (Tramal) 4 mg/kg + Meloxicam (Meloxidyl) 0,2 mg/kg w iniekcji, a następnie Meloxidyl w zawiesinie 0,05 mg/kg. Kończyna została zabandażowana i usztywniona na okres 4 tygodni.

W przypadku niedojrzałych pacjentów ważne jest by wszczepy usuwać, gdy tylko ich obecność przestaje być niezbędna dla stabilności i funkcjonowania kości. Może to być moment zrostu klinicznego (6-12 tygodni), ale bezpieczniejszy jest moment zrostu radiologicznego [12]. W przypadku badanego pacjenta czas ten wyniósł 4 tygodnie.

Po upływie miesiąca wykonano ponownie prześwietlenie RTG i przeprowadzono reoperację celem usunięcia drutów stabilizujących. Druty poddano obserwacjom i analizie przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego współpracującego ze spektrometrem dyspersji energii promieniowania X.

#### Diagnostyka RTG

Diagnostykę obrazową RTG wykonano przy użyciu analizy rentgenowskiej (Lampa Orange 1060HF, Skaner CR- Agfa CR 10-X w warunkach: 3,2 mAs i 46 kV).



**RYS. 1. Druty Kirschnera przed implantacją.**  
**FIG. 1. Kirschner wires before the implantation.**

The cat was sedated with Medetomidine hydrochloride, (Dorbene) in the amount of 50 µg/kg IU + Butorphanol, (Torbugesic) in the amount of 25 µg/kg IU + Ketamine (Bioketan) in the amount of 3 mg/kg IU. An intravenous catheter was then placed. The induction of general anesthesia was achieved by means of Propofol (Scanofol) applied intravenously as needed. Next, the patient was intubated and inhaled with narcotic isoflurane + oxygen. The surgical area was prepared. For this purpose the peripheral part of limb (fingers and palm) was protected by a sterile serviette. The surgical access was the dorsal region of the wrist between the muscles: common finger joint rectifier and the radial wrist rectifier. Afterwards, the bone fracture was repositioned and stabilized with two Kirschner wires of 1.2 mm in diameter (Medgal Company), using the cross pin technique. The wires were inserted from the lateral and paracentral styloid process and anchored in the opposite cortical bone of the radius epiphyseal. The surgical wound was sutured with needled Biosyn 3-0. The wound area was treated with the gentamicin ointment and protected with a stiff bandage by Robert-Jones. After the surgery the cat was treated with antibiotics and painkillers: initially Amoxicillin + Clavulanic acid (Synolux), followed by tablets (Clavaseptin) 10 mg/kg and analgesic treatment- initially Tramadol (Tramal) 4 mg/kg + injection of Meloxicam (Meloxidyl) 0.2 mg/kg, followed by Meloxidyl in suspension of 0.05 mg/kg. The limb was immobilised for 4 weeks.

In the case of immature patients, it is important to remove the implants as soon as their presence is no longer necessary for the bone stability and function. This may be a time of clinical symphysis (6-12 weeks), but radiological symphysis is safer [12]. For the examined patient 4 weeks were a sufficient enough period before reoperating.

After one month the RTG analysis was performed and the Kirschner wires were removed during the reoperation. The wires were observed using the scanning electron microscope equipped with X-ray energy dispersion spectrometer.

#### RTG analysis

The X-ray imaging was performed using an X-ray imaging device Orange-Lamp 1060HF, Scanner CR- Agfa CR 10-X under the following conditions: 3.2 mAs and 46 kV.



### Skaningowa Mikroskopia Elektronowa (SEM)

Mikrostruktura drutów Kirschnera była badana przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (Nova Nano SEM 200, FEI). Analizę chemiczną wykonano przy użyciu spektrometru dyspersji energii promieniowania X umożliwiającego analizę w mikroobszarach (EDS, EDAX). W celu przeprowadzenia precyzyjnych analiz do badań użyto detektora elektronów wstecznie rozproszonych (BSE). Wyniki przedstawiono w formie map rozkładu pierwiastków w badanych obszarach przed i po reimplantacji oraz widm pokazujących jakościowy skład chemiczny i w formie tabel zawierających ilościową zawartość poszczególnych pierwiastków w badanych implantach.

## Wyniki i dyskusja

### Diagnostyka RTG

Na RYS. 2A pokazano złamanie lewego podramienia 10 miesięcznego kota. Wyraźnie widać przemieszczenie się nasady dalszej kości promieniowej i złamanie kości łokciowej wraz z odklejeniem chrząstki. Na RYS. 2B pokazano stabilizację złamania poprzez zaimplantowanie drutów Kirschnera. Widać prawidłową stabilizację kończyny, dwa druty Kirschnera wprowadzone od końca kości (wprowadzenie w kierunku wstępującym) i przeprowadzony przez miejsce złamania. Druty ułożone na krzyż zapewniają stabilizację złamanego fragmentu kości. RYS. 2C pokazuje stabilizację złamanej kości drutami Kirschnera przed reoperacją mającą na celu ich usunięcie. RYS. 2D pokazuje natomiast zespolone złamanie po wyjęciu implantów.

Wewnętrzne łączenie kości u kotów najlepiej się sprawdza, ponieważ na zewnątrz jest tylko mała rana, zszyta i nieuciążliwa dla kota. Kot tuż po wybudzeniu się z narkozy może zacząć chodzić, co zapewnia mu duży komfort i znacznie przyspiesza rehabilitację. Oczywiście kot powinien mieć ograniczoną ruchliwość, należy sprawić, aby unikał zeskoków, ale poza tym taka stabilizacja zapewnia mu normalne funkcjonowanie, bez znacznego dyskomfortu.

### Scanning electron microscopy (SEM) analysis

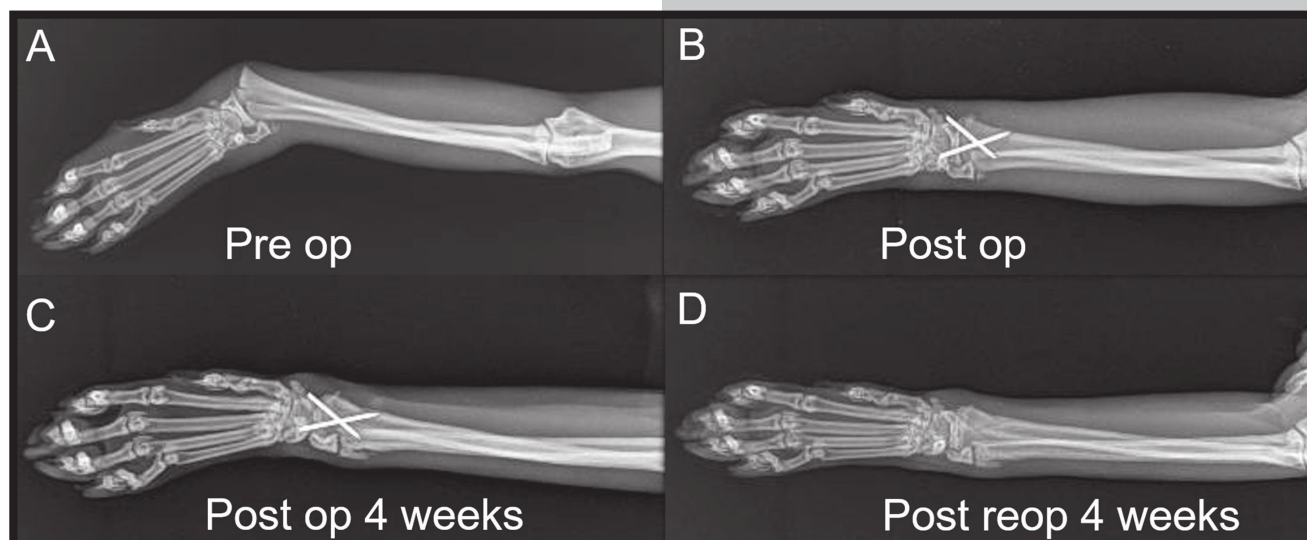
The wires' microstructure was investigated with the field emission gun scanning electron microscopy FEG-SEM utilizing a Nova Nano SEM 200, FEI Company. The observations were performed together with the chemical analysis of the specimens in microareas with the energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS, EDAX). The observations were carried out using Back Scattered Electron Detector (BSE) providing the detailed chemical analysis. The results are presented in the form of elements mapping distribution in the measured area, spectra and table demonstrating the qualitative and quantitative chemical composition of elements present on the surface of the tested implants.

## Results and Discussions

### RTG diagnostics

FIG. 2A shows the radial physeal fracture of a 10-month old cat. It is clearly visible that the epiphyseal distal of radius is displaced, the ulna - fractured and the growth plate - separated. FIG. 2B shows the bone fracture stabilization with the Kirschner wires. The proper bone fracture stabilization with Kirschner wires is visible. The wires are inserted from the distal part of the bone through the bone fracture. The cross pin fixation technique provides an excellent stabilization of the bone fracture. FIG. 2C shows the bone fracture stabilization with the Kirschner wires before reoperating while in FIG. 2D the bone without the Kirschner wires after reimplantation is shown.

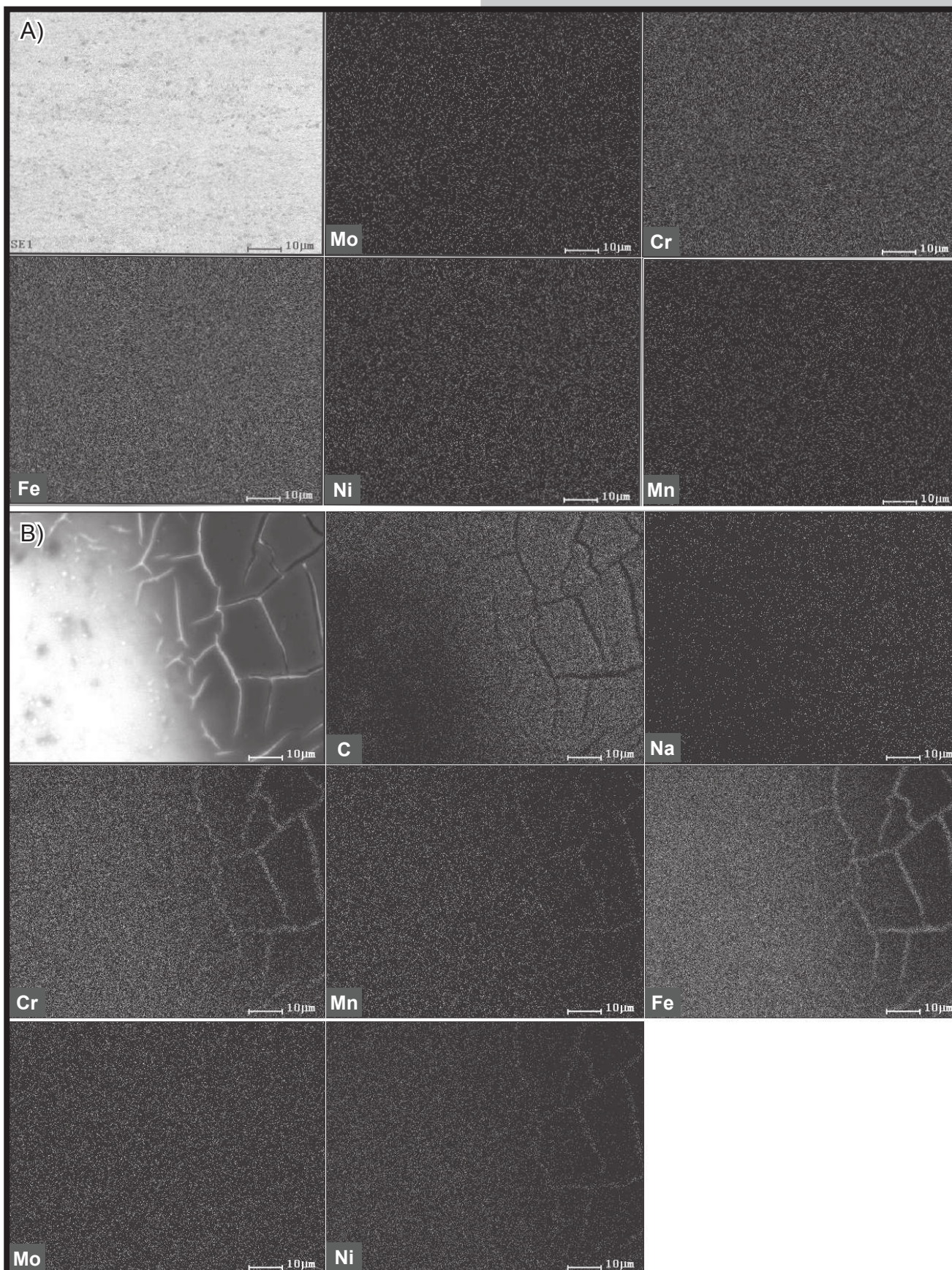
The method of intramedullary pin fixation of epiphyseal fracture is very comfortable as it assures quite a normal behavior of the animal during the convalescence. There is just a little wound outside, with small stitches. The cat straight after anesthesia is able to walk, which also shortens the time required for healing. Obviously, the cat should have only a limited area to move freely and a number of jumps should be minimized. Apart from such limitations, this kind of stabilization ensures the ordinary living conditions without noticeable discomfort.



RYS. 2. Zdjęcie RTG złamanych kości (A) wykonane bezpośrednio przed operacją, (B) po stabilizacji drutami Kirschnera, kontrola bezpośrednio po operacji, (C) po stabilizacji drutami Kirschnera, kontrola po miesiącu od operacji, (D) po reoperacji i wyjęciu drutów, kontrola po miesiącu od operacji.

FIG. 2. RTG of bone fracture (A) before the implantation, (B) with the Kirschner wires after the implantation - control immediately after the surgery, (C) with the Kirschner wires after the implantation - control after one month of the surgery, (D) control after one month after the reoperation.





RYS. 3. Mapa rozkładu pierwiastków dla drutu Kirschnera (A) przed implantacją - widoczne pierwiastki (Mo, Cr, Mn, Fe, Ni) odpowiadają składowi chemicznemu charakterystycznemu dla drutu, (B) miesiąc po reimplantacji - widoczne pierwiastki (Mo, Cr, Mn, Fe, Ni, C, Na) odpowiadają składowi chemicznemu charakterystycznemu dla drutu i tkanki pokrywającej powierzchnię implantu.

FIG. 3. EDS elements mapping of the Kirschner wire (A) before the implantation - the visible elements (Mo, Cr, Mn, Fe, Ni) correspond to the chemical composition of the wire (B) after one month of the reimplantation - the visible elements correspond to the chemical compositions of the wire and the tissue covering the implant.



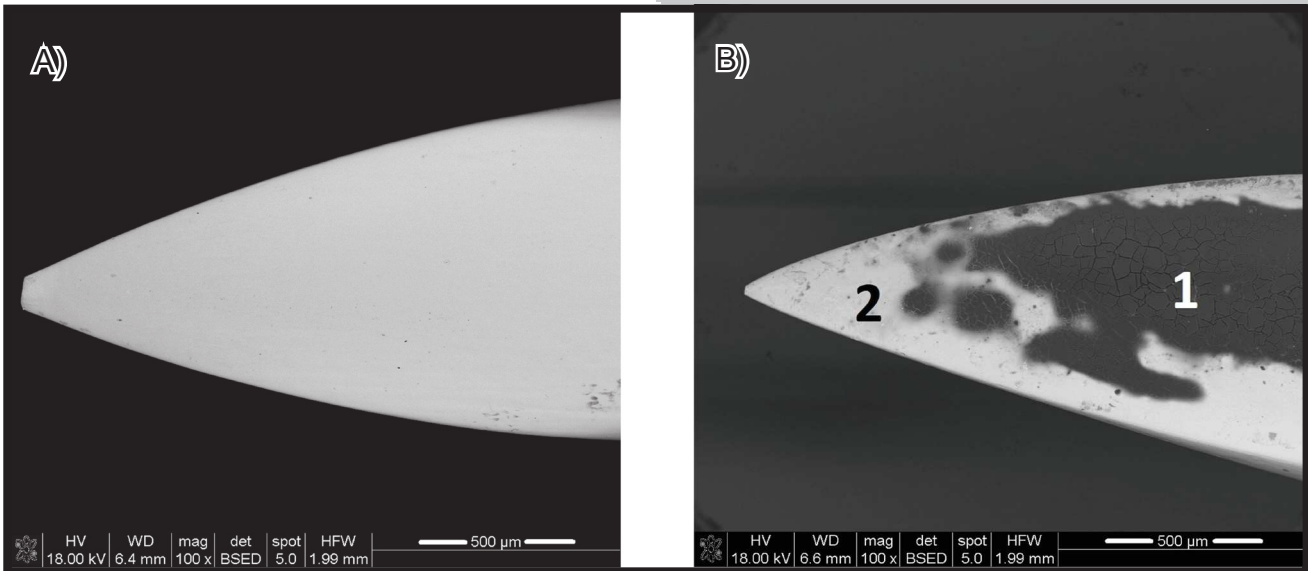
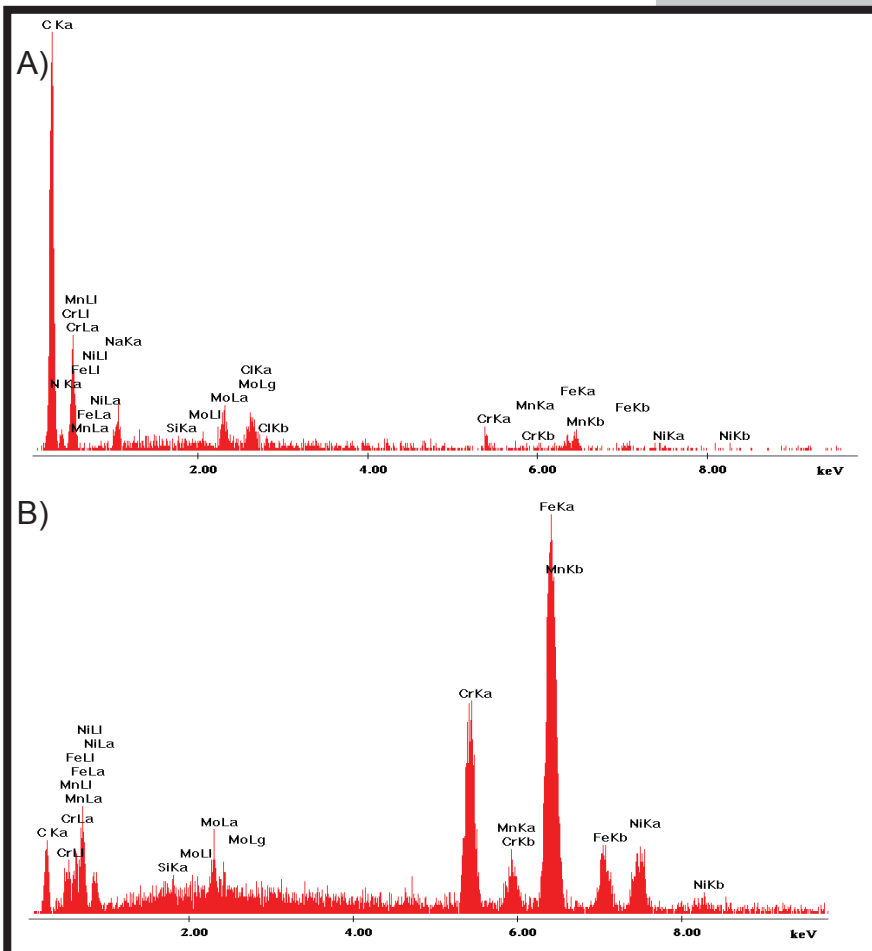


FIG. 4. Zdjęcia SEM drutów Kirschnera: A) sterylnego drutu przed implantacją i B) drutu wyjętego po miesiącu od implantacji – na zdjęciu widoczne dwa punkty, w których przeprowadzono analizę EDS.

FIG. 4. SEM picture of the Kirschner wire: A) before and B) after one month of implantation - two points in which the EDS analysis was performed.



RYS. 5. Analiza EDS drutu Kirschnera wyjętego po miesiącu od implantacji (A) odpowiadająca punktowi 1 - pokazującemu skład chemiczny występującej tkanki, (B) odpowiadająca punktowi 2 - pokazującemu skład chemiczny wszczepu.

FIG. 5. EDS analysis of the Kirschner wire after one month of implantation (A) corresponding to point 1 showing the chemical composition of the tissue, (B) corresponding to point 2 showing the chemical composition of the implant.

TABELA 1. Skład chemiczny drutu Kirschnera wyjętego po miesiącu od implantacji, P1 - badany w obszarze pozostałości tkanki, P2 - badany w obszarze samego wszczepu. TABLE 1. Element composition of the Kirschner wire after one month of implantation, P1 - examined in the area of the occurring tissue, P2 - examined in the area of the implant.

P1		
Pierwiastek Element	% wag. wt%	At %
<b>C K</b>	<b>75.0</b>	<b>84.9</b>
<b>N K</b>	<b>11.5</b>	<b>11.1</b>
<b>NaK</b>	<b>2.0</b>	<b>1.2</b>
SiK	0.2	0,1
MoL	4.2	0.6
<b>CrK</b>	<b>2.1</b>	<b>0.8</b>
CrK	1.4	0.4
MnK	0.0	0.0
FeK	3.7	0.9
NiK	0.0	0.0
Total	100.0	100.0
P2		
Pierwiastek Element	% wag. wt%	At %
<b>C K</b>	<b>11.8</b>	<b>38.4</b>
SiK	0.5	0.7
MoL	3.2	1.3
<b>CrK</b>	<b>16.3</b>	<b>12.2</b>
MnK	2.6	1.8
<b>FeK</b>	<b>52.2</b>	<b>36.5</b>
<b>NiK</b>	<b>13.6</b>	<b>9.0</b>
Total	100.0	100.0

## Obserwacje SEM

Na RYS. 3 pokazano mapę rozkładu pierwiastków dla sterylnego drutu Kirschnera i drutu zbadanego po wyjęciu go miesiąc po operacji zespajającej. Rozkład pierwiastków zmierzony dla czystego implantu wskazuje na równomierne rozłożenie wszystkich pierwiastków odpowiadających składem stali implantacyjnej (Mo, Cr, Mn, Fe, Ni). W przypadku drutu badanego po usunięciu go z kończyny kota, na powierzchni implantu zaobserwowano obecną wyraźną warstwę, która przybrała formę sieci. W składzie chemicznym oprócz pierwiastków odpowiadających stali wykryto dodatkowo węgiel, azot, sód, chlor, a więc pierwiastki pochodzące od tkanki.

Na RYS. 4 pokazano mikrostrukturę drutów po wyjęciu z kości. Badana powierzchnia drutów jest gładka, nie widać na niej śladów korozji (RYS. 5B). Na badanej powierzchni nie zaobserwowano jakichkolwiek wad, takich jak pęknięcia lub pory, które mogłyby mieć wpływ na proces korozji. Analiza EDS (TABELA 1, P2) wykonana w punktach potwierdziła skład chemiczny badanych drutów odpowiadający stali 316L. Zawartość poszczególnych pierwiastków zgodna jest z typowym składem stali implantacyjnej poza obecnością dużej zawartości węgla. Jego zwiększona zawartość spowodowana jest prawdopodobnie obecnością niewielkiej ilości tkanki na całej powierzchni wszczepu. W analizie EDS zaobserwowano także występowanie obszarów pokrytych tkanką – obszar widoczny w punkcie P1 (RYS. 5A) o składzie odpowiadającym fazie organicznej, tj. charakteryzującym się wysoką zawartością węgla i azotu (TABELA 1, P1). W tkance otaczającej wszczep nie zaobserwowano obecności niklu, co jest istotne ze względu na jego drażniące działanie. Tym samym analiza w punkcie 1 potwierdza, że nikiel nie uwalnia się ze stali implantacyjnej 316L do tkanki.

Materiały, z których wykonuje się wyroby medyczne i implanty klasy medycznej muszą spełniać najwyższe standardy jakości. Implanty metalowe wykonane ze stali nierdzewnej są szczególnie narażone na proces korozji. Procesy elektrochemiczne i mechaniczne (na przykład korozja naprężeniowa, zmęczeniowa i korozja cierna) mogą powodować przedwczesne zużycie i przyspieszone uwalnianie cząstek metalu i jonów do tkanek. Kliniczne znaczenie degradacji implantów metalowych uwiadamia się w korozji i produktach zużycia występujących w tkance otaczającej implant, co może ostatecznie doprowadzić do kaskady zdarzeń prowadzących do ubytku masy kostnej wokół implantu [13]. Szczegółowe badanie mikrostruktury za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej i spektroskopii dyspersyjnej energii - analiza SEM-EDS zapewnia, że skład chemiczny implantów metalicznych, proces obróbki cieplnej i/lub czystość spełniają wymagania dotyczące produktów oraz rygorystyczne standardy bezpieczeństwa. Ponadto analiza SEM-EDS pozwala na obserwację, czy powierzchnia implantu jest pokryta warstwą tlenków, które powstały w wyniku do korozji i świadczą o uszkodzeniach implantu. Charakter powstawania pasywnej warstwy tlenków i właściwości mechaniczne materiałów stanowią jedno z podstawowych kryteriów wyboru alternatywnych lub opracowania nowych materiałów. Mikrostruktura implantu ma również istotny wpływ na proliferację i różnicowanie komórek. Strukturyzacja powierzchni prowadzi do szybszej, zoptymalizowanej osteointegracji i zapewnia uzyskanie wyższych wskaźników sukcesu zaimplantowanych wszczepów [14].

Ze względu na to, że korozja jest jednym z głównych problemów powodujących uszkodzenia implantów, autorzy zalecają badanie powierzchni wszczepów przy użyciu techniki SEM-EDS jako prostej i szybkiej metody obserwacji mikrostruktury i analizy składu chemicznego.

## SEM observation

FIG. 3 shows the elements mapping distribution measured for the sterile Kirschner wire and for the wire removed after one month of the surgery. The main elements visible in the mapping correspond to the chemical composition of stainless steel, whereas for the wire analyzed after one month we observe a web on the implant surface. The analysis shows additionally the presence of carbon and sodium which come from the tissue.

FIG. 4 shows the microstructure of the wires just after removing them from the limb. The examined surface is smooth, with no signs of corrosion – FIG. 5B. There are no defects, such as cracks or porosity presence on the investigated surface, which may have influenced the corrosion process. The EDS analysis (TABLE 1, P2) confirmed the chemical composition of the examined wires – corresponding to 316L steel. The elements content is similar to the typical composition of the implant steel, except for the presence of high carbon content. Its increased content probably results from the presence of a small amount of tissue over the entire surface of the implant. In the EDS analysis some tissue remnants are observed (P1 – FIG. 5A) and the composition corresponding to the organic matter (TABLE 1, P1) - high carbon and nitrogen content. Nickel was not present in the tissue, which is important due to the irritant properties of this element. Thus, the analysis in point 1 confirms that nickel was not released from the implant into the tissue.

Medical grade materials, devices and implants must meet the highest quality standards. Metallic implants made of stainless steel are especially subjected to corrosion processes. Electrochemical and mechanical processes (for example stress corrosion cracking, corrosion fatigue and fretting corrosion) may interact, causing a premature structural failure and an accelerated release of metal particles and ions. The clinical importance of degradation of metal implants is evidenced by particulate corrosion and wear products in the tissue surrounding the implant, which may ultimately result in a cascade of events leading to periprosthetic bone loss [13]. The detailed microstructure testing using Scanning Electron Microscopy and Energy Dispersive Spectroscopy – SEM/EDS analysis ensures the composition of the metallic medical devices, the heat treat process, the cleanliness of the product requirements and the stringent regulatory and safety industry standards. Moreover, SEM-EDS analysis reveals if the implant surface is covered with passive oxide films, which leads to the implant failure. The nature of the passive oxide films and the mechanical properties of the materials are the basis for selecting a proper alternative or might serve as the background for further development of new materials. The microstructure of the implant has also a major influence on cells proliferation and differentiation. The surface structuring leads to faster optimized osseointegration and facilitating higher success rates and/or earlier loading of the inserted implants [14].

Due to the fact that corrosion is one of the major issues resulting in the failure of biomedical implant devices, authors recommend to investigate the implant's surface using SEM-EDS technique as a simple and fast method of microstructure observation and analysis of chemical composition.

## Wnioski

Po 4 tygodniach od implantacji drutów Kirschnera kończyna kota wykazywała prawidłową ruchomość. Nie zaobserwowano nasilonego stanu zapalnego. Leczenie operacyjne przy zastosowaniu zaproponowanej techniki stabilizacji złamania małych kości łokcia za pomocą drutów Kirschnera to jedna z najbardziej skutecznych technik leczenia złamań szczególnie u młodych zwierząt. Nie zaobserwowano powikłań, takich jak stres, infekcja, lub podrażnienie tkanek miękkich.

Jednoczesne wykorzystanie skaningowej mikroskopii elektronowej i spektroskopii dyspersji energii promieniowania X dostarcza informacji w zakresie analizy implantów metalicznych pod względem obserwacji śladów korozji. Obydwie techniki umożliwiają śledzenie zmian w składzie chemicznym implantów ewentualnie zachodzących podczas degradacji bądź korozji.

Niniejsza praca opisuje tylko jeden przypadek stabilizacji złamania przy zastosowaniu drutów Kirschnera i pokazuje możliwość obrazowania i analizy nie tylko samego złamania, ale także zachowania się implantów *ex vivo*. Kolejnym krokiem badawczym będzie przeprowadzenie obserwacji na większej grupie pacjentów i przeanalizowanie wyników uwzględniając różne czasy implantacji.

## Podziękowania

*Publikacja pracy jest finansowana w ramach badań statutowych nr 11.11.160.617.*

## Conclusions

After 4 weeks from stabilization the limb showed proper functionality. The surgical procedure using the Kirschner wires is one of the most effective techniques to treat broken ulna, especially in the case of young animals. There were no complications observed, such as stress, infection, or soft-tissue irritation. No inflammation was noticed either.

The combination of scanning electron microscopy and energy dispersive X-ray spectroscopy is a useful method to investigate the corrosion phenomena on the extracted metallic implants. Both techniques are effective in tracking changes in the chemical composition during degradation or corrosion of the implants.

This paper describes only one case of the Kirschner wires stabilization and shows the possibility of imaging and analysis not only of the fracture but also of the *ex vivo* implants assessment. The next step of the study will be the observation of a large group of patients and the implant analysis after various implantation times.

## Acknowledgments

*This work was supported by the Statutory research, No 11.11.160.617.*

## Piśmiennictwo

- [1] A.R. Coughlan, A. Miller: BSAVA Manual of Small Animal Fracture Repair and Management, Wiley, 6 mar 1998 – 332.
- [2] W.O. Brinker: The use of intramedullary pins in small animal fractures. North Am Vet 29 (1948) 292-297.
- [3] E.A. Ehmer: Bone pinning in fractures of small animals. J Am Vet Med Assoc 110 (1947) 14-19.
- [4] R.L. Rudy: Principles of intramedullary pinning. Vet Clin North Am 5 (1975) 209-228.
- [5] U. Matis: Current Techniques of Fracture Fixation in Dogs and Cats, World Small Animal Veterinary Association World Congress Proceedings, 2007
- [6] G.D. Pettit: Kirschner fixation splint. Kirschner Catalogue (1980) 80-81.
- [7] Ch.D. Newton, D.M. Nunamaker: Small animal orthopaedics. Methods of internal fixation, Chapter 16, (1985)
- [8] J. L. Milton, R. D.Horne, G. M. Goldstein: Cross-pinning: a simple technique for treatment of certain metaphyseal and physeal fractures of the long bones. Journal of the American Animal Hospital Association 16 (1980) 891-906.

## References

- [9] G. Schwarz: Fractures of the proximal tibia, AO principles of fracture management in the dog and cat, Time, NY, 2005, A0 Publishing.
- [10] D.C. Hansen: Metal Corrosion in the Human Body: The Ultimate Bio-Corrosion Scenario. The Electrochemical Society Interface (2008) 31-34.
- [11] R.B. Salter, R.W. Harris: Injuries involving the epiphyseal plate. J Bone Joint Surg Am 45 (1963) 587-622.
- [12] V. Brioschi, S. J. Langley-Hobbs, S. Kerwin, R. Meeson, H. Radke: Combined physeal fractures of the distal radius and ulna: complications associated with K-wire 1 fixation and long-term prognosis in six cats. J Feline Med Surg. 19(8) (2017) 907-914.
- [13] J. J. Jacobs, J. L. Gilbert, R. M. Urban: Current Concepts Review Corrosion of Metal Orthopaedic Implants. The Journal of Bone and Joint Surgery 17 (2011) 268-282.
- [14] D. Duddeck, J. Neugebauer: Surface analysis of sterile-packaged implants. Clinical Science (2015) 54-63.