UNIWERSYTET WARMIŃSKO- MAZURSKI

W OLSZTYNIE

Wydział Medycyny Weterynaryjnej





lek. wet. Angelika Tobolska

Obrazowanie wybranych struktur anatomicznych stawu nadgarstkowego psa za pomocą ultrasonografii oraz niskopolowego rezonansu magnetycznego

Rozprawa doktorska wykonana w
Katedrze Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką

Promotor
Dr hab. Yauheni Zhalniarovich, prof. UWM

Promotor pomocniczy
Dr n. wet. Joanna Bajon

Olsztyn 2023

UNIVERSITY OF WARMIA AND MAZURY

IN OLSZTYN

Faculty of Veterinary Medicine





Angelika Tobolska DVM

Ultrasonography and low-field magnetic resonance imaging of selected anatomical structures of the canine carpal joint

Doctoral Thesis was written in.

Department of Surgery and Radiology with Clinic

Under supervision of

Dr hab. Yauheni Zhalniarovich, prof. UWM

Dr n. wet. Joanna Bajon

Olsztyn 2023

Podziękowania

Promotorowi dr hab. Yauheniemu Zhalniarovich, prof. UWM

- za umożliwienie realizacji pracy doktorskiej

Promotorowi pomocniczemu dr Joannie Bajon

- za wsparcie oraz cenne wskazówki

Panu prof. dr hab. Zbigniewowi Adamiakowi

- za opiekę naukową i pomoc merytoryczną

Pracownikom Katedry Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką

- za nieocenioną pomoc oraz życzliwość

Niniejszą pracę dedykuję

Mojemu Mężowi oraz Synom,

w podziękowaniu za wiarę i nieocenione wsparcie

Spis treści

Spis treści 5

Wykaz skrótów i oznaczeń 7

1. Streszczenie 11

2. Summary 14

3. Wstęp 17

3.1. Ultrasonografia 17

3.1.1. Rys historyczny zastosowania ultrasonografii 17

3.1.2. Podstawy fizyczne ultrasonografii 19

3.1.3. Badanie ultrasonograficzne stawów w medycynie człowieka 20

3.1.4. Badanie ultrasonograficzne stawów u psów 21

3.2. Rezonans magnetyczny 22

3.2.1. Rys historyczny zastosowania rezonansu magnetycznego 22

3.2.2. Podstawy fizyczne rezonansu magnetycznego 23

3.2.3. Badanie rezonansem magnetycznym stawów w medycynie człowieka 25

3.2.4. Badanie rezonansem magnetycznym stawów u psów 26

3.3. Anatomia stawu nadgarstkowego psa 26

3.4. Urazy i choroby w obrębie stawu nadgarstkowego psa 28

3.5. Zastosowanie metod obrazowania w diagnostyce urazów i chorób stawu nadgarstkowego psa 30

4. Cel pracy 32

5. Materiały i Metody 33

5.1. Grupa badawcza i schemat doświadczenia 33

5.2. Pomiary kończyny i badanie radiologiczne 36

5.3. Badanie ultrasonograficzne i pomiary struktur stawu nadgarstkowego 38

5.4. Badanie niskopolowym rezonansem magnetycznym i pomiary struktur stawu nadgarstkowego 42

5.5. Analiza statystyczna 50

6. Wyniki 52

6.1. Obraz wybranych struktur anatomicznych stawu nadgarstkowego uzyskany metodą niskopolowego rezonansu magnetycznego 52

6.2. Obraz wybranych struktur anatomicznych stawu nadgarstkowego uzyskany metodą ultrasonografii 57

6.3. Wyniki analizy statystycznej 60

6.3.1. Zależności pomiędzy pomiarami 60

6.3.2. Porównanie pomiarów na obrazach T1 i T2-zależnych 61

6.3.3. Porównanie pomiarów na obrazach T1-zależnych i RTG 61

6.3.4. Porównanie pomiarów na obrazach MRI i USG 61

6.3.5. Modele regresji liniowej pomiarów wybranych struktur stawu nadgarstkowego psa 63

7. Dyskusja 101

8. Wnioski 115

9. Piśmiennictwo 116

Wykaz skrótów i oznaczeń

3D SPGR	ang. three-dimensional spoiled gradient recalled acquisition in steady state- trójwymiarowa sekwencja rezonansu magnetycznego
BCS	ang. body condition score –-ocena kondycji ciała
BML	ang. bone marrow lesions- zmiany w obszarze szpiku kostnego
Bo	wielkość indukcji pola magnetycznego
CNR	ang. contrast to noise ratio- współczynnik kontrastu do szumu
CT	ang. computed tomography- tomografia komputerowa
DJD	ang. degenerative joint disease- choroba zwyrodnieniowa stawów
DKD	długość kości dodatkowej nadgarstka (średnia w mm)
DKP	długość kości pośrodkowo-promieniowej nadgarstka (średnia w mm)
DPA	ang. dual-phased array- rodzaj cewy wykorzystywanej w badaniu metodą rezonansu magnetycznego
ELT	ang. echo train lenght- długość ciągu impulsów
EMG	elektromiografia
FID	ang. free induction decay – sygnał swobodnej relaksacji
FOV	ang. field of view-pole widzenia
FSE	ang. fast spin echo – sekwencja szybkiego echa spinowego
GE	ang. gradient echo- sekwencja echa gradientowego
G_{x-}	gradient położony wzdłuż osi x cewki

HF	ang. high-field– aparatura rezonansu magnetycznego o wysokim natężeniu pola magnetycznego
IN	ang. instance number- liczba powtórzeń wszystkich sekwencji tworzących obraz
kąt α	kąt odchylenia wektora wypadkowej magnetyzacji
LF	ang. low-field- aparatura rezonansu magnetycznego o niskim natężeniu pola magnetycznego
MF	ang. mid-field- aparatura rezonansu magnetycznego o pośrednim natężeniu pola magnetycznego
mg/kg m.c.	miligramy na kilogram masy ciała zwierzęcia
min	minuty
mm	milimetry
Mo	wypadkowa magnetyzacji
MRI	ang. magnetic resonance imaging- obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego
ms	milisekundy
NEX	ang. number of excitations – liczba akwizycji danych
PC	płaszczyzna czołowa/grzbietowa
PD	proton density, gęstość protonowa
PP	płaszczyzna poprzeczna
PS	płaszczyzna strzałkowa
RF	ang. radio frequency- częstotliwość radiowa
RTG	rentgenografia

SE	ang. spin echo -sekwencja echa spinowego
SKD	średnia szerokość kości dodatkowej nadgarstka
SKP	średnia szerokość kości pośrodkowej nadgarstka
SNR	signal to noise ratio- współczynnik sygnału do szumu
STIR	ang. short time inversion recovery- sekwencja tłumiąca tkankę tłuszczową
T	tesla, jednostka natężenia pola elektromagnetycznego w układzie SI
T1	czas relaksacji podłużnej, czas relaksacji spin-sieć
T2	czas relaksacji poprzecznej, czas relaksacji spin-spin
TE	ang. time to echo- czas echa
TR	ang. time of repetition- czas powtórzenia
TSE	ang. turbo spin echo – sekwencja szybkiego echa spinowego
USG	ang. ultrasonography – ustrasonografia
WARP turbo	sekwencja w rezonansie magnetycznym tłumiąca artefakty pochodzenia ferromagnetycznego
WD	średnica więzadła dodatkowośródręcznego (gałąź pośrodkowa) (średnia w mm)
X BONE	sekwencja w rezonansie magnetycznym oparta o metodę Dixona
CTS	ang. carpal tunnel syndrome- zespół cieśni nadgrastka
ZPG	średnica ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego (średnia w mm)

ZPP	średnica ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego (średnia w mm)

1. Streszczenie

Zastosowanie niskopolowego rezonansu magnetycznego (MRI) oraz ultrasonografii (USG) w obrazowaniu więzadeł i ścięgien w stanach fizjologicznych oraz patologicznych stawu nadgarstkowego u psa jest coraz częściej wykorzystywane w diagnostyce urazów i chorób. W porównaniu z rentgenologią, która ogranicza się jedynie do oceny struktur kostnych umożliwiają bardziej wszechstronne podejście. Kulawizny spowodowane przez urazy więzadeł lub ścięgien wymagają dokładniejszej diagnostyki. Dzięki możliwości obrazowania w wysokiej rozdzielczości, zarówno MRI, jak i USG, są niezastąpione w ich ocenie, zarówno w warunkach fizjologicznych, jak i w przypadkach patologicznych.

Celem pracy była ocena zastosowania ultrasonografii i niskopolowego rezonansu magnetycznego (MRI) w obrazowaniu wybranych struktur anatomicznych stawu nadgarstkowego u psów. W związku z tym opracowano protokoły badań MRI i USG, które umożliwiają określenie szczegółowej anatomii ścięgien i więzadeł stawu. Kolejnym celem było opracowanie modelu, który będzie określał średnie wymiary wybranych struktur stawu nadgarstkowego na podstawie masy ciała i wymiarów kończyny piersiowej. Ponadto omówiono przydatność opracowanego modelu w diagnozowaniu chorób i urazów stawów nadgarstkowych u psów.

Badania zostały przeprowadzone na grupie 30 psów o prawidłowej kondycji ciała wg. skali BCS, niewykazujących objawów chorobowych związanych z układem mięśniowo-szkieletowym. Na grupie 4 psów, których nie uwzględniono w głównym etapie doświadczenia ustalono protokoły obrazowania stawu nadgarstkowego dla badania radiologicznego, ultrasonograficznego oraz aparatury rezonansu magnetycznego o niskim natężeniu pola. Przed przystąpieniem do badań obrazowych określono masę ciała każdego zwierzęcia oraz wykonano pomiary okolicy stawu nadgarstkowego kończyny

prawej za pomocą centymetra krawieckiego. Następnie wykonano radiogramy prawego stawu nadgarstkowego w projekcji bocznej i strzałkowej. Radiogramy posłużyły do wyznaczania średnich wartości pomiarów kości pośrodkowej i dodatkowej nadgarstka. Badanie ultrasonograficzne prawego stawu nadgarstkowego obejmowało zobrazowanie ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego i głębokiego w przekrojach poprzecznych i strzałkowych, a także więzadła dodatkowo-śródręcznego w płaszczyźnie strzałkowej. Następnie przeprowadzono badanie MRI stawu nadgarstkowego przy użyciu tomografu rezonansu magnetycznego o indukcji pola magnetycznego 0,245 T. Badanie obejmowało sekwencje obrazów T1-zależnych i T2-zależnych w trzech płaszczyznach: strzałkowej, czołowej i poprzecznej. Na podstawie uzyskanych obrazów wykonano pomiary takich samych struktur stawu jak na radiogramach i ultrasonogramach. Dane zgromadzone w plikach tekstowych i arkuszach kalkulacyjnych zostały poddane analizie statystycznej przy użyciu języków programowania Python i R. Przeprowadzono test Shapiro-Wilka w celu weryfikacji normalności rozkładu danych i zastosowano parametryczną metodykę analizy. Korelacja między pomiarami wykonanymi przy użyciu MRI, radiologii i ultrasonografii a masą ciała i parametrami kończyny piersiowej została ustalona na podstawie korelacji Pearsona. Skonstruowano modele regresji liniowej, a ocena ich jakości została dokonana na podstawie wartości R2.

W pierwszym etapie eksperymentu stwierdzono, że lepszą widoczność struktur stawu nadgarstkowego w badaniu MRI i USG można uzyskać u większych psów o masie ciała większej lub równej 10 kg. Zastosowanie dedykowanej cewki nadgarstkowej podczas badania MRI pozwoliło uzyskać lepszy kontrast i rozdzielczość obrazu w porównaniu z użyciem cewki kolanowej. Obrazy uzyskane za pomocą MRI były zgodne z innymi metodami obrazowania. Badanie ultrasonograficzne nie wymagało farmakologicznego uspokojenia psów i pozycja ciała nie wpływała na jakość obrazów.

Ścięgna mięśni zginaczy palców powierzchownego i głębokiego oraz więzadło dodatkowo-śródręczne były dobrze widoczne na obrazach MRI i USG, co pozwoliło wykonać pomiary. Większość pomiarów wykonanych na obrazach MRI była bardzo silnie skorelowana z masą ciała i pomiarami kończyny piersiowej. Tylko dwa pomiary w obrazach T2-zależnych w płaszczyźnie strzałkowej miały silną zgodność z cechami zwierzęcia. Pomiary struktur wykonanych na obrazach MRI były najsilniej skorelowane z masą ciała. Pozostałe parametry pomiarowe kończyny piersiowej również wykazywały bardzo silną i silną korelację z pomiarami. Pomiary średnic ścięgien uzyskane na obrazach T1 i T2-zależnych wykazały bardzo silną zgodność. Pomiar średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego w płaszczyźnie strzałkowej miał najniższą wartość współczynnika zgodności. Pomiary wymiarów kości pośrodkowo-promieniowej i kości nadgarstka dodatkowej wykazały bardzo silną zgodność pomiarów. Zostały stworzone modele regresji liniowej pozwalające przewidywać wartość pomiarów struktur stawu nadgarstkowego na podstawie masy ciała i pomiarów kończyny piersiowej. Masa ciała okazała się najdokładniejszym pomiarem do przewidywania wartości pomiarów struktur stawu nadgarstkowego. Modele zostały zwalidowane i przedstawiono zgodność między pomiarami.

Podsumowując, przeprowadzona analiza statystyczna wykazała silne zależności pomiędzy pomiarami wykonanymi na obrazach różnych technik obrazowania oraz masą ciała i pomiarami kończyny piersiowej. Opracowano modele regresji liniowej, które umożliwiają wyznaczenie standardowych wymiarów struktur stawu na podstawie parametrów anatomicznych zwierzęcia tj. masa ciała czy obwód stawu. nadgarstkowego Zastosowanie takich modelów w praktyce może znacznie ułatwić i przyspieszyć diagnostykę urazów oraz chorób z wykorzystaniem technik diagnostyki obrazowej.

2. Summary

The use of low-field magnetic resonance imaging (MRI) and ultrasonography (USG) for imaging ligaments and tendons in physiological and pathological conditions of the canine carpal joint is increasingly being utilized in the diagnosis of injuries and diseases. Compared to radiography, which is limited to the evaluation of bony structures, these advanced imaging techniques allow for a more comprehensive approach. Limping caused by ligament or tendon injuries requires more precise diagnostics. Due to their excellent imaging capabilities, both MRI and USG play a crucial role in evaluating various physiological and pathological conditions with exceptional detail and precision.

The aim of this study was to evaluate the application of ultrasonography and low-field magnetic resonance imaging (MRI) in imaging selected anatomical structures of the canine carpal joint. For this purpose, MRI and USG examination protocols were developed, enabling the determination of detailed anatomy of the joint's tendons and ligaments. Another goal was to develop a model that would determine the average dimensions of selected structures of the wrist joint based on body weight and measurements of the thoracic limb. Additionally, the usefulness of the developed model in diagnosing diseases and injuries of the carpal joints in dogs was discussed.

The study was conducted on a group of 30 dogs with a normal body condition score (BCS) and no signs of musculoskeletal system-related diseases. In a subgroup of 4 dogs, which were not included in the main stage of the experiment, imaging protocols for radiographic, ultrasonographic, and low-field magnetic resonance imaging of the carpal joint were established. Before the imaging examinations, the body weight of each animal was determined, and measurements of the area around the right carpal joint were performed using a measuring tape. Subsequently, radiographs of the right carpal joint in lateral and oblique projections were obtained. The radiographs were used to determine

the mean values of measurements of the intermedioradial and accessory carpal bones. Ultrasonographic examination of the right carpal joint included visualization of the superficial and deep flexor tendons in transverse and sagittal sections, as well as the medial accessoriometacarpal ligament in the sagittal plane. Subsequently, MRI of the carpal joint was performed using a low-field magnetic resonance imaging system with a magnetic field strength of 0.245 T. The examination included T1-weighted and T2-weighted image sequences in three planes: sagittal, frontal, and transverse. Based on the obtained images, measurements of the same structures of the joint as in radiographs and ultrasonograms were made. The data collected in text files and spreadsheets were subjected to statistical analysis using Python and R programming languages. The Shapiro-Wilk test was conducted to verify the normality of data distribution, and parametric analysis methodology was applied. The correlation between measurements obtained using MRI, radiography, and ultrasonography and body weight and thoracic limb parameters was established based on Pearson's correlation. Linear regression models were constructed, and the quality of the models was assessed based on the R2 value.

In the first stage of the experiment, it was found that better visibility of the carpal joint structures in MRI and USG examinations can be achieved in larger dogs with a body weight equal to or greater than 10 kg. The use of a dedicated carpal coil during MRI examination allowed for better contrast and image resolution compared to the use of a knee coil. The images obtained by MRI were consistent with other imaging methods. The ultrasonographic examination did not require pharmacological sedation of the dogs, and body position did not affect the image quality. The flexor tendons of the superficial and deep digital flexor muscles and the medial accessoriometacarpal ligament were well visualized on MRI and USG images, enabling measurements to be made.

Most of the measurements performed on MRI images showed a strong correlation with body weight and thoracic limb measurements. Only two measurements in T2-weighted images in the sagittal plane showed a strong correlation with the animal's characteristics. Measurements of the joint structures performed on MRI images were most strongly correlated with body weight. Other thoracic limb measurement parameters also showed very strong and strong correlations with the measurements. Measurements of tendon diameters obtained from T1 and T2-weighted images showed a very strong agreement. The measurement of the deep digital flexor tendon diameter in the sagittal plane had the lowest coefficient of the agreement value. Measurements of the dimensions of the intermedioradial and accessory carpal bones showed a very strong agreement of measurements. Linear regression models were created to predict the measurements of carpal joint structures based on body weigth and thoracic limb measurements. Body weight proved to be the most accurate predictor of the measurements of carpal joint structures. The models were validated, and the agreement between the measurements was presented.

In conclusion, the statistical analysis conducted demonstrated strong correlations between measurements obtained from images produced by different imaging techniques and body weight and thoracic limb measurements. Linear regression models were developed, allowing for the determination of standard dimensions of carpal joint structures based on anatomical parameters of the animal, such as body weight and carpus circumference. The application of such models in practice can significantly facilitate and expedite the diagnosis of injuries and diseases using imaging techniques.

3. Wstęp

3.1. Ultrasonografia

3.1.1. Rys historyczny zastosowania ultrasonografii

W medycynie człowieka ultrasonografię zastosowano po raz pierwszy w latach 50. XX wieku. (Cartee i wsp., 1993). Badania ultrasonograficzne umożliwiły wizualizację wewnętrznych struktur ciała przy użyciu fal dźwiękowych o wysokiej częstotliwości. Ultrasonografia, nazywana także sonografią, dzięki wykorzystaniu zasady odbicia fal dźwiękowych od różnych tkanek pozwoliła na uzyskanie obrazów narządów. Początkowo technika ta była stosowana głównie w diagnostyce jamy brzusznej i ginekologii, gdzie umożliwiała wykrywanie zmian patologicznych i monitorowanie ciąży.

Wraz z upływem czasu, ultrasonografia zdobyła coraz większą popularność i znalazła zastosowanie w innych dziedzinach medycyny. W latach 60. i 70. XX wieku, rozwój technologiczny pozwolił na ulepszenie aparatów ultrasonograficznych, co zaowocowało poprawą jakości obrazów i możliwości diagnostycznych. Badanie ultrasonograficzne narządów jamy brzusznej stało się rutynowym narzędziem w diagnostyce chorób wątroby, trzustki, nerek i pęcherza moczowego.

Medycyna weterynaryjna również szybko zaczęła wykorzystywać ultrasonografię w diagnostyce chorób zwierząt. W latach 70. i 80. XX wieku popularne stało się badanie ultrasonograficzne stawów u psów (Cartee i wsp., 1993). Technika ta była już szeroko stosowana w diagnostyce narządów wewnętrznych u zwierząt, a jej zastosowanie w badaniu stawów otworzyło nowe możliwości diagnostyczne. Ultrasonografia stawów pozwoliła na ocenę różnych struktur anatomicznych, takich jak ścięgna, więzadła,

chrząstka stawowa i torebka stawowa. Na wzrost popularności tej metody obrazowania w weterynarii miały wpływ zalety takie jak: bezinwazyjność, łatwa dostępność, niski koszt wykonania oraz brak konieczności sedacji zwierzęcia.

Oprócz rozwoju samej technologii ultrasonograficznej, wprowadzono również nowe techniki i narzędzia, które poszerzyły jej możliwości diagnostyczne. Wraz z rozwojem ultrasonografii powierzchniowej (USG powierzchniowego), możliwe stało się badanie struktur znajdujących się bliżej powierzchni skóry, takich jak mięśnie, ścięgna i więzadła (Strakowski, 2016). Dzięki temu, ultrasonografia stała się przydatnym narzędziem w diagnostyce urazów i chorób kładu ruchu. Dodatkowo, wprowadzenie technologii dopplerowskiej umożliwiło ocenę przepływu krwi wokół stawów (Grassi i wsp. 2005). Doppler jest techniką, która wykorzystuje zmiany częstotliwości fali dźwiękowej odbitej od poruszających się cząsteczek krwi, co pozwala na ocenę przepływu krwi w naczyniach. Ocena dopplerowska w ultrasonografii stawów stała się istotnym narzędziem w diagnostyce stanów zapalnych, chorób naczyń i urazów stawowych, dzięki możliwości oceny przepływu krwi- w tym diagnostyce zmian niedokrwiennych oraz zakrzepów.

Historia zastosowania ultrasonografii pokazuje, jak ta technika ewoluowała i znalazła zastosowanie w różnych dziedzinach medycyny. Początkowo wykorzystywana głównie w diagnostyce narządów jamy brzusznej i ginekologii, ultrasonografia znalazła swoje miejsce także w diagnostyce stawów. W weterynarii stała się niezastąpionym narzędziem w badaniu tkanek miękkich zwierząt oraz ocenie struktur stawowych psów. Rozwój technologii ultrasonograficznej, w tym wprowadzenie wysokorozdzielczych sond oraz technologii dopplerowskiej, znacznie poszerzył możliwości diagnostyczne i umożliwił ocenę przepływu krwi wokół stawów. Ultrasonografia stawów jest obecnie powszechnie stosowaną metodą diagnostyczną, która pozwala na szybkie, precyzyjne i

nieinwazyjne ocenianie różnych struktur anatomicznych i zmian patologicznych w stawach.

3.1.2. Podstawy fizyczne ultrasonografii

Ultrasonografia jest jedną z najczęściej stosowanych technik obrazowania w medycynie diagnostycznej. Metoda ta opiera się na zasadzie odbicia fal dźwiękowych od wewnętrznych struktur organizmu. Podstawowym elementem u aparatu ultrasonograficznego jest sonda, która generuje i wysyła fale dźwiękowe, a następnie odbiera je po ich odbiciu od tkanek. Sonda składa się z jednego lub wielu kryształów piezoelektrycznych, które są w stanie generować fale ultradźwiękowe o wysokiej częstotliwości. Kiedy fala ultradźwiękowa jest emitowana przez sondę, penetruje ona przez tkanki organizmu. Podczas przechodzenia przez tkanki, fale ultradźwiękowe podlegają odbiciom od różnych struktur o różnych właściwościach akustycznych. Odbicia te są następnie odbierane przez sondę i przekształcane w sygnały elektryczne. Sygnały te są przetwarzane przez układ elektroniczny ultrasonografu i tworzą obraz struktur anatomicznych na monitorze. W ultrasonografii wykorzystuje się fale dźwiękowe o wysokiej częstotliwości, zwykle w zakresie od 2 do 18 megaherców (MHz). Częstotliwość fali dźwiękowej zależy od głębokości badanego obszaru. Wysoka częstotliwość jest stosowana do badania powierzchownych struktur, podczas gdy niższa częstotliwość umożliwia penetrację głębiej położonych tkanek. (Zagzebski, 1996; Jensen, 1996).

W ultrasonografii stosuje się różne rodzaje głowic (transducerów) w zależności od badanego obszaru i potrzeb diagnostycznych. Głowice mogą mieć różne kształty i rozmiary. Przykładowo głowice liniowe są stosowane do badania powierzchownych struktur, takich jak stawy nadgarstkowe u psów i ludzi. Natomiast głowice konweksowe

i sektorowe są bardziej odpowiednie do badania głębszych struktur anatomicznych i narządów wewnętrznych. Dodatkowo, w przypadku USG dopplerowskiego, używane są specjalne głowice dopplerowskie, które pozwalają na badanie przepływu krwi w naczyniach (Zagzebski, 1996).

Ważną cechą ultrasonografii jest możliwość oceny głębokości penetracji fali ultradźwiękowej. Zależy to od częstotliwości fali - im wyższa częstotliwość, tym mniejsza głębokość penetracji, ale lepsza rozdzielczość obrazu. Dlatego w zależności od badanego obszaru, wybiera się odpowiednią częstotliwość sondy. Rozdzielczość obrazu jest również zależna od liczby linii obrazowych, które są generowane przez sondę. Im większa liczba linii obrazowych, tym wyższa rozdzielczość przestrzenna obrazu. Sondy wieloelementowe, takie jak sondy liniowe lub fazowe, pozwalają na generowanie większej liczby linii skanu, co przekłada się na lepszą jakość obrazu (Rumack i wsp., 2017).

3.1.3. Badanie ultrasonograficzne stawów w medycynie człowieka

Ultrasonografia stawów jest szeroko wykorzystywaną metodą obrazowania w medycynie człowieka. Pozwala ona na dokładną ocenę struktury anatomicznej stawów, identyfikację zmian patologicznych oraz wspomaganie procesu diagnostycznego. Badanie ultrasonograficzne stawów oferuje wiele korzyści, takich jak nieinwazyjność, dostępność, relatywnie niski koszt i brak promieniowania jonizującego. Jest to metoda dynamiczna, która umożliwia ocenę ruchomości stawów (Rumack i wsp., 2017).

W praktyce ultrasonografii stawów u ludzi, najczęściej badane są stawy kończyn, takie jak staw kolanowy, staw ramienny, staw biodrowy oraz staw nadgarstkowy. Ultrasonografia pozwala na ocenę struktur stawowych, takich jak torebka stawowa, chrząstka stawowa, więzadła, ścięgna oraz obecność płynu stawowego. Jest szczególnie

przydatna w diagnozowaniu uszkodzeń ścięgien, na przykład zerwania ścięgna Achillesa, łokcia tenisisty czy uszkodzenia więzadeł (Rumack i wsp., 2017; Prada, 2017)

W diagnostyce ultrasonograficznej stawów u ludzi wykorzystuje się wysokie częstotliwości sond, które umożliwiają uzyskanie szczegółowych obrazów struktur stawowych. (Rumack i wsp., 2017; Herring i Patti, 2019).

3.1.4. Badanie ultrasonograficzne stawów u psów

Ultrasonografia stawów odgrywa również istotną rolę w diagnostyce weterynaryjnej. U zwierząt wykonywane jest badanie ultrasonograficzne w celu oceny stanu stawów i planowaniu odpowiedniego leczenia w przebiegu chorób takich jak zwyrodnienia, stany zapalne czy uszkodzenia więzadeł. W medycynie weterynaryjnej ultrasonografia stawów obejmuje ocenę różnych struktur stawowych, takich jak torebka stawowa, chrząstka stawowa, ścięgna, więzadła i pozwala również na ocenę ilości płyny stawowego. Badanie ultrasonograficzne stawów u zwierząt może być stosowane w przypadku różnych gatunków, w tym psów, kotów, koni czy bydła (Thrall, 2018; Prada, 2017).

Podobnie jak w medycynie człowieka, ultrasonografia stawów u zwierząt wykorzystuje sondy o wysokich częstotliwościach, które pozwalają uzyskać szczegółowe obrazy struktur stawowych. Technika dopplerowska może być również stosowana w celu oceny przepływu krwi w stawach zwierząt (Prada, 2017).

Wykorzystanie ultrasonografii w obrazowaniu stawów zarówno u ludzi, jak i u zwierząt, jest niezwykle cenne w diagnostyce chorób. Oferuje ona nieinwazyjne, dynamiczne i precyzyjne obrazowanie.

3.2. Rezonans magnetyczny

3.2.1. Rys historyczny zastosowania rezonansu magnetycznego

Początki badań nad rezonansem magnetycznym w medycynie sięgają lat 70. XX wieku. Jednym z kluczowych pionierów w tej dziedzinie był Raymond Damadian, amerykański naukowiec i lekarz. W 1971 roku opublikował on pracę, w której przedstawił potencjał rezonansu magnetycznego do obrazowania tkanek. Damadian skonstruował pierwszy prototyp tomografu rezonansu magnetycznego (MR) i wraz z zespołem przeprowadził pierwsze badania na pacjentach. Jego praca stanowiła przełomowe odkrycie, które otworzyło drogę do dalszego rozwoju MR w diagnostyce medycznej. W swojej pracy Damadian opisał zasady działania MR, zwracając uwagę na zależność sygnału MR od zawartości wody w tkankach i różnic w ich relaksacji (Damadian, 1971).

W latach 70. i 80. XX wieku następował szybki rozwój tej technologii. Badacze skupiali się na doskonaleniu metod akwizycji i przetwarzania danych, a także na opracowaniu bardziej zaawansowanych sekwencji impulsów. Pozwoliło to na uzyskanie bardziej precyzyjnych i kontrastowych obrazów, co miało zasadnicze znaczenie dla diagnostyki medycznej.

Medycyna weterynaryjna również zaczęła korzystać z możliwości badania za pomocą rezonansu magnetycznego. W 1986 roku niemiecki lekarz weterynarii Hans-Hermann Schild jako pierwszy przeprowadził badanie rezonansem magnetycznym konia. Wyniki tych badań były obiecujące i potwierdziły przydatność RM w diagnostyce weterynaryjnej. Obecnie rezonans magnetyczny jest szeroko stosowany w weterynarii, umożliwiając dokładne obrazowanie narządów i tkanek u zwierząt (Schild i Heywang-Kobrunner, 1986).

W kolejnych latach technologia rezonansu magnetycznego stale ewoluowała. Pojawienie się nowych technik, takich jak rezonans magnetyczny z wykorzystaniem kontrastu funkcjonalny rezonans magnetyczny pozwoliło jeszcze lepiej ocenić struktury anatomiczne i wykrywać patologie. Rozwój systemów o wyższej mocy magnetycznej, takich jak 3 Tesla, umożliwił uzyskanie jeszcze wyższej jakości obrazów (Haacke i wsp., 2017).

3.2.2. Podstawy fizyczne rezonansu magnetycznego

Obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego (MRI) oparte jest na zjawisku jądrowego rezonansu magnetycznego, charakterystycznego dla jąder pierwiastków posiadających nieparzystą liczbę protonów lub neutronów, a dzięki temu posiadającym moment pędu (spin) oraz moment magnetyczny. Najpowszechniej wykorzystywanym pierwiastkiem jest atom wodoru, ze względu na bogactwo występowania w organizmach żywych. W wyniku umieszczenia protonów w zewnętrznym, stałym polu magnetycznym, protony porządkują swoje momenty pędu wzdłuż linii pola magnetycznego. Położenie równoległe jest preferowane ze względu na niższy stan energetyczny (Geethanath i Vaughan, 2019). Atom wodoru pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego wykonuje ruch zwany precesją, a częstotliwość tego ruchu zależy od indukcji pola magnetycznego i jest określana równaniem Larmora. Poprzez dostarczenie energii z zewnątrz w postaci impulsów RF (radio frequency), protony mogą przejść na wyższy poziom energetyczny, powodując odchylenie wektora wypadkowej magnetyzacji i generując impuls α. Po ustąpieniu impulsu RF, układ ulega relaksacji emitując sygnał swobodnej relaksacji FID (free induction decay). Proces relaksacji obejmuje relaksację podłużną (spin-siatka), związaną z powrotem protonów do położenia równoległego, oraz

relaksację poprzeczną (spin-spin), związana z utratą zgodności fazowej ruchu precesyjnego protonów (Geethanath i Vaughan, 2019).

Wykorzystanie transformacji Fouriera pozwala na przetworzenie sygnałów z MRI na obrazy analogowe, umożliwiające analizę różnic w czasach relaksacji podłużnej (T1) i poprzecznej (T2) różnych struktur i tkanek. Obrazy T1-zależne charakteryzują się wysokim natężeniem sygnału z tkanek i niskim natężeniem z obszarów bogatych w płyny, podczas gdy obrazy T2-zależne wykazują silny sygnał z obszarów płynowych (Reiser i wsp., 2008). Dodatkowo, istnieją techniki MRI, takie jak spektroskopia MRI, fMRI (funkcjonalne MRI) i obrazowanie MR naczyń, które umożliwiają analizę metabolizmu, przepływu krwi i aktywności mózgu (Webb, 2017).

MRI ma szerokie zastosowanie w diagnostyce medycznej. Dzięki precyzyjnym obrazom struktur wewnętrznych ciała, MRI umożliwia wykrycie zmian patologicznych, takich jak guzy, uszkodzenia tkanek czy zmiany zwyrodnieniowe. Ponadto, MRI jest wykorzystywane w monitorowaniu postępu terapii oraz planowaniu interwencji chirurgicznych (Geethanath i Vaughan, 2019).

Wraz z postępem technologicznym, aparaty MRI stają się bardziej precyzyjne i dostępne dla większej liczby pacjentów (Reiser i wsp., 2008). Nowoczesne techniki, takie jak obrazowanie dyfuzji, spektroskopia MRI i fMRI, umożliwiają bardziej szczegółową analizę struktur i funkcji ciała (Reiser i wsp., 2008; Webb, 2017).

Metoda rezonansu magnetycznego jest powszechnie stosowaną techniką diagnostyczną, która umożliwia uzyskanie szczegółowych obrazów struktur wewnętrznych ciała. Dzięki wykorzystaniu zjawiska rezonansu magnetycznego i różnych sekwencji impulsów, MRI dostarcza istotnych informacji diagnostycznych oraz pomaga w planowaniu leczenia i monitorowaniu postępu choroby.

3.2.3. Badanie rezonansem magnetycznym stawów w medycynie człowieka

Rezonans magnetyczny (MRI) jest jedną z kluczowych technik diagnostycznych stosowanych w obrazowaniu stawów u ludzi. Badanie MRI stawów u ludzi umożliwia dokładną ocenę różnych struktur stawowych oraz identyfikację różnego rodzaju patologii. Wykorzystywane jest w ocenie stawów barkowych, kolanowych, biodrowych czy nadgarstkowy (Weissman, 2009). Dzięki zastosowaniu pola magnetycznego i impulsów radiowych, MRI generuje szczegółowe obrazy wewnętrznej struktury stawów, umożliwiając lekarzom dokładną analizę i interpretację.

W zależności od badanego obszaru, stosuje się odpowiednie sekwencje obrazowania, które umożliwiają ocenę poszczególnych struktur anatomicznych (Dennis, 1998). Przykładowo, badanie MRI stawu nadgarstkowego pozwala na ocenę więzadeł, stożka rotatorów, torebki stawowej i innych struktur anatomicznych w tej okolicy (Kirberger i McEvoy, 2016). Dzięki wykorzystaniu różnych sekwencji, możliwe jest uwidocznienie zmian patologicznych, takich jak uszkodzenia, zmiany zwyrodnieniowe czy zapalenia stawowe.

Specjalistyczne sekwencje obrazowania umożliwiają również precyzyjną ocenę stanu chrząstki (Brown, 2022). Dodatkowo, MRI może być stosowany w ocenie skuteczności terapii, umożliwiając monitorowanie postępu i reakcji na leczenie.

Ważnym atutem MRI jest to, że jest nieinwazyjne i nie wykorzystuje promieniowania jonizującego, co czyni go bezpiecznym narzędziem diagnostycznym. Pacjenci mogą przeprowadzić badanie bez ryzyka wystąpienia skutków ubocznych związanymi z promieniowaniem jonizującym.

3.2.4. Badanie rezonansem magnetycznym stawów u psów

Medycyna weterynaryjna również wykorzystuje technologię rezonansu magnetycznego (MRI) do obrazowania stawów u zwierząt, w tym u psów. Badanie MRI stawów u psów umożliwia ocenę różnych struktur stawowych i identyfikację patologii. Podobnie jak w przypadku badań u ludzi, MRI stawów u psów umożliwia ocenę panewki stawowej, więzadeł i innych struktur anatomicznych w tej okolicy (Mai, 2018).

Badanie MRI stawów u psów przeprowadza się za pomocą specjalistycznego sprzętu i odpowiednich sekwencji obrazowania, które umożliwiają uzyskanie wysokiej rozdzielczości obrazu. To pozwala na precyzyjną analizę różnych elementów stawowych i ich funkcji. MRI jest szeroko stosowany w diagnostyce różnych schorzeń stawowych u psów, takich jak dysplazja stawu biodrowego, uszkodzenia więzadeł czy zmiany zwyrodnieniowe (Packer i wsp., 2019).

Podobnie jak w przypadku badań u ludzi, MRI u psów umożliwia również ocenę skuteczności terapii i monitorowanie postępu leczenia. Wykorzystanie rezonansu magnetycznego (MRI) w obrazowaniu stawów zarówno u ludzi, jak i u psów stanowi znaczący postęp w dziedzinie diagnostyki. Dzięki tej technologii możliwe jest dokładne i nieinwazyjne ocenienie struktur stawowych oraz identyfikacja różnych patologii, co przyczynia się do lepszego zrozumienia chorób stawowych i poprawy opieki nad pacjentami.

3.3. Anatomia stawu nadgarstkowego psa

Staw nadgarstkowy psa to złożony staw, który składa się z kilku struktur anatomicznych, takich jak kości nadgarstka, więzadła nadgarstka, ścięgna oraz obszar między przedramieniem a śródręczem. Kości nadgarstka psa są ułożone w dwóch rzędach. Kości rzędu bliższego to kości pośrednio-promieniowe, łokciowe oraz

dodatkowe kości nadgarstka. Natomiast kości z dystalnego rzędu to pierwsza, druga, trzecia i czwarta kość nadgarstka (Kirberger i McEvoy, 2016). Warto zaznaczyć, że oprócz wymienionych kości, może występować także kość dodatkowa, zwana też kością dodatkową nadgarstka. Kość dodatkowa, jeśli jest obecna, znajduje się zazwyczaj po stronie przyśrodkowej nadgarstka i może być połączona więzadłem z kością łokciową lub pośrednio-promieniową (Brown, 2022).

Stawy nadgarstka składają się z trzech głównych połączeń: przedramienno-nadgarstkowego, środkowego oraz nadgarstkowo-śródręcznego. Pomiędzy poszczególnymi kośćmi nadgarstka każdego rzędu znajdują się stawy między-nadgarstkowe (Mai, 2018).

Staw nadgarstkowy psa posiada również specyficzną strukturę, znaną jako kanał nadgarstka, który znajduje się po stronie dłoniowej nadgarstka. Kanał ten utworzony jest przez troczek zginaczy, chrząstkę włóknistą dłoniową nadgarstka oraz torebkę stawową (Packer i wsp., 2019). Jest to istotne z punktu widzenia stabilizacji stawu oraz przebiegu ścięgien i naczyń krwionośnych. Więzadła również odgrywają istotną rolę w stabilizacji stawu nadgarstkowego psa. Głównymi więzadłami są więzadła poboczne krótkie przyśrodkowe i boczne, więzadło promieniowo-nadgarstkowe grzbietowe, więzadło promieniowo-nadgarstkowe dłoniowe oraz więzadło łokciowo-nadgarstkowe. Dodatkowo, w niektórych przypadkach, występuje również więzadło kości dodatkowej, które łączy kość dodatkową nadgarstka z innymi kośćmi nadgarstka (Brown, 2022).

Prostowanie i zginanie stawu nadgarstka u psów jest możliwe dzięki pracy mięśni prostownika promieniowego nadgarstka, prostownika łokciowego nadgarstka, zginacza promieniowego nadgarstka i zginacza łokciowego nadgarstka. Mięsień zginacz palców powierzchowny to silny i płaski mięsień u psów. Znajduje się bezpośrednio pod skórą i powięzią przedramienia w części przyśrodkowo-doogonowej przedramienia i obejmuje

mięsień zginaczy palców głęboki. Mięsień ten przechodzi w ścięgno w niewielkiej odległości proksymalnie od stawu nadgarstkowego. Jest zginaczem stawów śródręczno-paliczkowych i międzypaliczkowych bliższych. Podczas gdy mięsień zginacz palców głęboki składa się z głów kości ramiennej, promieniowej i łokciowej, których ścięgna łączą się, tworząc grube ścięgno zginacza palców. Przebiega przyśrodkowo od kości dodatkowej w kanale nadgarstka Jest zginaczem nadgarstka i stawów palców (Evans i de Lahunta, 2013).

Warto podkreślić, że znajomość anatomii stawu nadgarstkowego psa jest istotna zarówno z punktu widzenia diagnostyki, jak i leczenia schorzeń stawowych u zwierząt. Badania obrazowe, takie jak rezonans magnetyczny (MRI), umożliwiają dokładną ocenę tych struktur anatomicznych i identyfikację ewentualnych patologii, co przyczynia się do skutecznej terapii i opieki nad pacjentami (Dennis, 1998).

3.4. Urazy i choroby w obrębie stawu nadgarstkowego psa

Staw nadgarstkowy psa jest podatny na różnego rodzaju urazy i choroby, które mogą znacznie wpływać na jego prawidłowe funkcjonowanie. Często spotykanymi urazami stawu przedramionowo-nadgarstkowego są uszkodzenia więzadeł pobocznych (również w miejscach ich przyczepu), oraz złamania wyrostka rylcowatego. Urazem, który może wystąpić jest również ostre zwichnięcie kości nadgarstka pośrednio-promieniowego (Brown, 2022). Urazy otwarte często są wynikiem podwichnięcia stawu przedramienia i nadgarstka, zazwyczaj spowodowanego wypadkami komunikacyjnymi. Te urazy często są poważne i wymagają natychmiastowej interwencji medycznej ze względu na uszkodzenia tkanek, złamania kości i inne poważne konsekwencje (Anderson i wsp., 1993; Packer i wsp., 2019).

Skutkiem upadku z wysokości, skoków do głębokich wykopów oraz wypadków drogowych są urazy stawu nadgarstkowo-śródręcznego środkowego i nadgarstkowo-śródręcznego, które powodują urazowy przeprost. Jeden z objawów tych urazów to chodzenie pacjenta po stronie dłoniowej nadgarstka (Mai, 2018; Cook C. R. i Cook J. L., 2009).

Złamania kości dodatkowej nadgarstka są najczęstsze u psów wyścigowych. Wśród innych przyczyn wskazuje się również wypadki drogowe lub upadki z wysokości. Złamania kości promieniowej nadgarstka, wyrostka rylcowatego promieniowego lub łokciowego, oraz drugiej lub piątej kości śródręcza mogą również powodować objawy kliniczne takie jak kulawizna, obrzęk i ból w okolicy stawu nadgarstkowego (Vaughan, 1985a; Vaughan, 1985b). Urazy te są rzadziej obserwowane niż urazy więzadeł.

Ponadto, staw nadgarstkowo-śródręczny może być narażony na inne choroby, które mogą wpływać na jego funkcjonowanie. Wśród tych chorób można wymienić wady dystalnych płytek wzrostowych kości promieniowej lub łokciowej, wrodzone wady nadgarstka, chorobę zwyrodnieniową stawów oraz zapalenie stawów (Earley & Dee, 1980). Nowotwory stawu nadgarstka, takie jak mięsak maziówkowy, są rzadkie, ale kostniakomięsak często występują w dalszej części kości promieniowej, a rzadziej w dalszej części kości łokciowej (Vaughan, 1985a; Vaughan, 1985b).

Warto podkreślić, że zrozumienie tych urazów i chorób stawu nadgarstkowego psa ma kluczowe znaczenie dla skutecznej diagnostyki, leczenia i opieki nad pacjentami. Badania obrazowe, takie jak rezonans magnetyczny (MRI), mogą być pomocne w dokładnej ocenie struktur anatomicznych i identyfikacji ewentualnych (Dennis, 1998). Wczesne rozpoznanie i odpowiednie postępowanie terapeutyczne mogą znacznie wpłynąć na rehabilitację i jakość życia pacjentów.

3.5. Zastosowanie metod obrazowania w diagnostyce urazów i chorób stawu nadgarstkowego psa

Diagnostyka obrazowa, taka jak radiografia, ultrasonografia, tomografia komputerowa (CT) i rezonans magnetyczny (MR), odgrywa istotną rolę w identyfikacji, ocenie urazów i chorób stawu nadgarstkowego u psów. Dzięki zastosowaniu tych zaawansowanych technik obrazowania, lekarze weterynarii mają możliwość dokładnej analizy struktur anatomicznych oraz oceny ewentualnych zmian patologicznych, co przyczynia się do postawienia trafnej diagnozy i zaplanowania odpowiedniego leczenia (Thrall, 2018).

Radiografia jest jedną z najczęściej stosowanych metod obrazowania w diagnostyce stawu nadgarstkowego psa. Pozwala ona na uzyskanie obrazu struktur kostnych, co umożliwia wykrycie złamań, w tym złamań awulsyjnych, pęknięć kości czy zwichnięć w obrębie stawu. Radiografia może być wykonywana w różnych projekcjach, co umożliwia uzyskanie różnych perspektyw i lepszą ocenę urazów i zmian degeneracyjnych (Zink i Van Dyke, 2018; Cook C. R. i Cook J. L., 2017).

Ultrasonografia, wykorzystująca fale dźwiękowe, pozwala na ocenę miękkich tkanek w obrębie stawu nadgarstkowego psa. Ta nieinwazyjna metoda obrazowania umożliwia ocenę więzadeł, torebki stawowej, chrząstki stawowej i ścięgien. Ultrasonografia może być przydatna w wykrywaniu uszkodzeń więzadeł, stanów zapalnych czy zmian guzowatych (Packer i wsp., 2019).

Tomografia komputerowa (CT) jest kolejną przydatną techniką obrazowania stawu nadgarstkowego psa. Ta zaawansowana metoda pozwala na uzyskanie precyzyjnych przekrojowych obrazów struktur anatomicznych. Dzięki CT można dokładnie ocenić złamania kości, uszkodzenia więzadeł czy inne patologie stawu

nadgarstkowego. Ponadto, CT może być również wykorzystane do planowania i monitorowania zabiegów chirurgicznych (Brown, 2022).

Rezonans magnetyczny (MR) jest jedną z najbardziej zaawansowanych metod obrazowania stosowanych w diagnostyce stawu nadgarstkowego psa. Ta nieinwazyjna technika pozwala uzyskać szczegółowy obraz tkanek miękkich, takich jak więzadła, chrząstka czy torebka stawowa. Badanie MR stawu nadgarstkowego umożliwia precyzyjną ocenę stanu struktur anatomicznych, wykrycie uszkodzeń, zmian zwyrodnieniowych czy guzów. Ponadto, MR pozwala na ocenę stopnia zapalenia i reakcji tkankowej wokół stawu, co jest istotne w planowaniu odpowiedniej terapii (Dennis, 1998).

Należy podkreślić, że zastosowanie narzędzi do obrazowania struktur stawu nadgarstkowego u psów nie jest tak rozwinięte jak w medycynie człowieka. Większość technik obrazowania, takich jak rezonans magnetyczny, jest szerzej stosowana w diagnostyce ludzkiego stawu nadgarstkowego, a ich zastosowanie u psów jest nadal ograniczone. Jednak ciągły rozwój technologii i postęp w dziedzinie medycyny weterynaryjnej mogą przyczynić się do coraz szerszego zastosowania metod obrazowania w diagnostyce stawu nadgarstkowego u psów (Earley i Dee, 1980; Vaughan, 1985a; Vaughan, 1985b).

Metody obrazowania takie jak radiografia, ultrasonografia, tomografia komputerowa i rezonans magnetyczny stanowią istotne narzędzia w diagnostyce urazów i chorób stawu nadgarstkowego u psów. Dzięki nim możliwe jest dokładne określenie uszkodzeń i patologii, co przyczynia się do skutecznego planowania leczenia i opieki nad pacjentami. Pomimo pewnych ograniczeń w zastosowaniu tych technik u zwierząt, dalszy rozwój diagnostyki obrazowej weterynaryjnej może przynieść korzyści w postaci bardziej precyzyjnych i kompleksowych ocen stawu nadgarstkowego psa.

4. Cel pracy

Celem niniejszej pracy była ocena wykorzystania ultrasonografii (USG) i niskopolowego rezonansu magnetycznego (MRI) w obrazowaniu wybranych anatomicznych struktur stawu nadgarstkowego u psów.

W zawiązku z powyższym zakłada się:

- Opracowanie protokołów badania MRI i USG pozwalających na określenie najbardziej szczegółowej anatomii wybranych ścięgien i więzadła stawu,
- Ustalenie sposobu ustawienia płaszczyzn obrazowania za pomocą MRI- (strzałkowej, poprzecznej i czołowej) oraz za pomocą USG (strzałkowej i poprzecznej), w celu uzyskania porównywalnych obrazów struktur wchodzących w skład stawu nadgarstkowego.
- Opracowanie modelu określającego średnie wymiary wybranych struktur stawu na podstawie standardowych cech zwierzęcia.
- Ocena przydatności ultrasonografii i niskopolowego rezonansu magnetycznego w diagnostyce chorób i urazów w obrębie stawów nadgarstkowych u psów.
- Określenie roli ultrasonografii jako standardowego narzędzia podczas oceny kondycji stawu u psów pracujących i sportowych.

5. Materiały i Metody

5.1. Grupa badawcza i schemat doświadczenia

Badania zostały przeprowadzone na 34 psach nie wykazujących objawów chorobowych wywodzących się z układu mięśniowo-szkieletowego. Podczas doboru grupy badawczej wykluczono psy ras chondrodystoficznych ze względu na fenotyp tych zwierząt charakteryzujący się krótkimi, szpotawymi kończynami i wynikającymi z tego zaburzonymi proporcjami ciała. Z tego powodu u tych zwierząt często występują zwyrodnienia stawów nadgarstkowych. Dodatkową cechą, która determinowała dobór psów do badania była prawidłowa kondycja ciała. Oceny kondycji ciała dokonano na podstawie powszechnie przyjętej dziewięciostopniowej skali BCS (Freeman i wsp., 2011). Do badania zakwalifikowano psy z oceną 4 lub 5, która wskazuje na prawidłową kondycję ciała. Miało to na celu uzyskanie wiarygodnych wyników i porównań dokonanych pomiarów. Masa ciała i pomiary kończyny w przypadku innych wartości oceny BCS byłyby nieproporcjonalne do uzyskanych pomiarów struktur anatomicznych stawu. Dodatkowo kacheksja i otyłość u zwierząt istotnie wpływają na występowanie urazów i chorób układu mięśniowo-szkieletowego. Grupę badawczą stanowili pacjenci Kliniki Katedry Chirurgii i Rentgenologii Wydziału Medycyny Weterynaryjnej przyjęci w latach 2017- 2020. Na wykonanie wszystkich procedur zostały uzyskane zgody właścicieli psów.

W pierwszym etapie doświadczenia grupa 4 psów posłużyła do doboru masy ciała osobników głównej grupy badawczej oraz walidacji metody badania za pomocą ultrasonografii i niskopolowego MRI (tabela 1). Główną grupę badawczą stanowiło 30 psów, które zostały zbadane za pomocą aparatury RTG, USG i MRI z użyciem wcześniej określonych protokołów. Badania kontrolne wykazały, że aby osiągnąć odpowiednią

jakość obrazu masa ciała psów powinna wynosić lub przekroczyć 10 kg. Wśród badanych zwierząt było 17 osobników płci męskiej oraz 13 płci żeńskiej, masa ciała zwierząt mieściła się w przedziale od 10 kg do 32 kg, natomiast wiek zwierząt w przedziale od 2 do 13 lat. W celu wykluczenia choroby stawu oraz uszkodzeń na terenie stawu nadgarstkowego wykonano palpacyjne badanie ortopedyczne stawu prawego i lewego u każdego zwierzęcia. Badanie polegało na ocenie stanu stawów poprzez omacywanie struktur stawu takich jak kości, więzadła, ścięgna oraz poruszaniu i zagnaniu stawu. Wykonane czynności pozwoliły ocenić ruchomości stawu, wykluczyć bolesność, opory i obecność guzów oraz innych nieprawidłowość wokół stawu. Badanie ortopedyczne nie wykazało patologii w obrębie stawu nadgarstkowego każdego badanego zwierzęcia. W następnej kolejności zostały zebrane pomiary kończyny w okolicy prawego stawu nadgarstkowego.

Prawy staw nadgarstkowy każdego psa został zobrazowany za pomocą radiografii, ultrasonografii oraz niskopolowego rezonansu magnetycznego. Badanie radiograficzne oraz ultrasonograficzne przeprowadzono bez zastosowania uspokojenia farmakologicznego (premedykacji). Natomiast przed przystąpieniem do badania MRI każde zwierzę zostało poddane uspokojeniu farmakologicznemu i następnie wprowadzeniu w znieczulenie ogólne. Celem zastosowania znieczulenia w przypadku badania MRI była minimalizacja stresu zwierząt, ograniczenie wystąpienia artefaktów ruchowych oraz immobilizacja podczas badania. Zwierzęta poddano premedykacji poprzez domięśniowe podanie dexmedetomidyny (Dexdomitor 0,5 mg/ml; Orion Corporation, Finlandia) w dawce 5 μg /kg oraz butorfanolu (Torbugesic Vet 10 mg/ml; Zoetis, Polska) w dawce 0,1 mg/kg. Do badań za pomocą niskopolowego MRI niezbędne było założenie dojścia dożylnego w celu indukcji i podtrzymania znieczulenia ogólnego. Do indukcji znieczulenia zastosowano propofol (Propomitor 10 mg/ml; Orion

Corporation, Finlandia) w dawce 3 mg/kg m.c., natomiast do podtrzymania znieczulenia również propofol we wlewie o stałej prędkości w dawce 0,2 mg/kg m.c./min. Wszystkie zwierzęta podczas znieczulenia w trakcie badania MRI były zaintubowane. Otrzymywały również stały wlew dożylny kroplowy. Prędkość wlewu oraz rodzaj płynu ustalany był na podstawie *status praesens* zwierzęcia.

Tabela 1. Grupa. badanych zwierząt w pierwszym etapie doświadczenia.

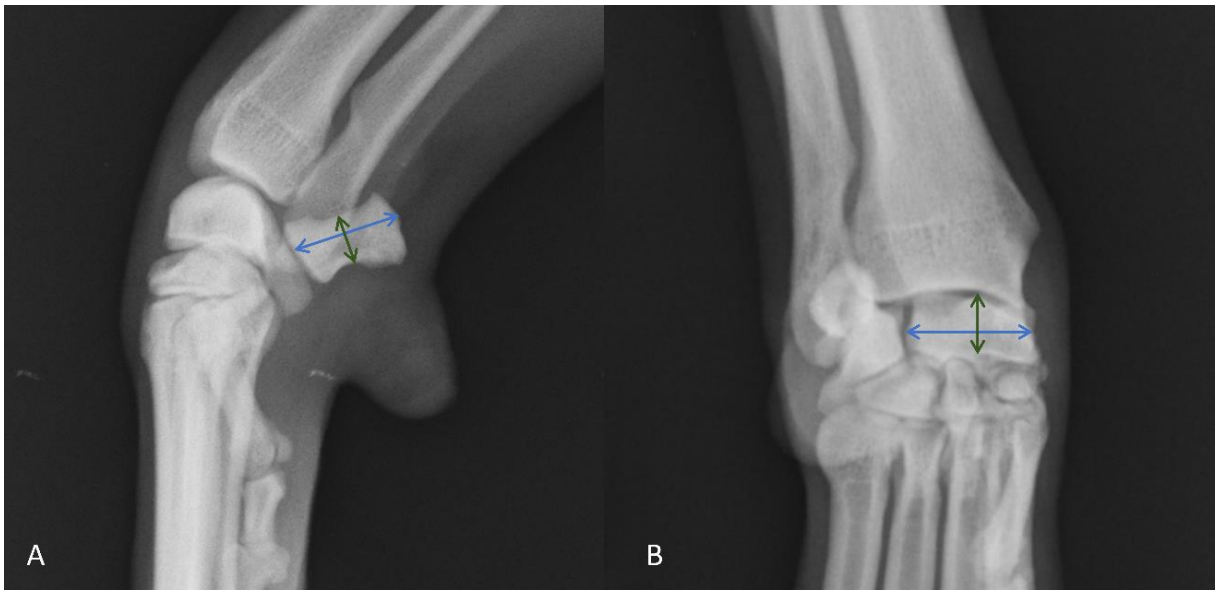
	Wiek (lata)	**Masa ciała (kg)**	**BCS**	**Rasa**	**Płeć**
Pies 1	6	5	4	Mieszana	Męska
Pies 2	10	8	4	Mieszana	Żeńska
Pies 3	3	12	5	Mieszana	Męska
Pies 4	7	23	4	ON	Męska

5.2. Pomiary kończyny i badanie radiologiczne

Przed przystąpieniem do badań obrazowych wykonano pomiary okolicy stawu nadgarstkowego kończyny prawej za pomocą centymetra krawieckiego. Wszystkie pomiary zostały wykonane przez autorkę dysertacji. Pomiarów dokonano na zwierzęciu w pozycji leżącej na boku z prawą kończyną na górze. Pierwszym pomiarem był obwód stawu nadgarstkowego na wysokości pomiędzy bliższym a dalszym rzędem kości nadgarstka. Miejsce to zlokalizowano palpacyjnie, pomiar nie obejmował opuszki nadgarstka. Kolejnym pomiarem była długość od początku opuszki III palca do końca wyrostka łokciowego kości łokciowej.

Następnie wykonano radiogramy prawego stawu nadgarstkowego za pomocą systemu pośredniego (lampa rentgenowska: Siemens, Comet AG CH-3097; skaner: Agfa-Gevaert AG Cr 25; oprogramowanie: eFilm Lite, Merge Healthcare). Radiogramy zostały wykonane w projekcji bocznej (lewo-prawej) oraz w projekcji strzałkowej (grzbietowo-brzusznej). Każdy radiogram został oceniony w celu wykluczania możliwych patologii taki jak złamania, nadwichnięcia, zwichnięcia, zmiany zwyrodnieniowe oraz nowotworowe. Radiogramy posłużyły do wyznaczania średnich wartości pomiarów kości pośrodkowej i dodatkowej nadgarstka. Pomiarów dokonano w przeglądarce plików DICOM (RadiAnt Dicom Viewer 2020.1.1, Medixant). Średnia długość i szerokość kości została wyliczona z pięciu niezależnych pomiarów wykonanych przez autorkę w różnych miejscach danej kości. Długość i szerokość kości pośrodkowej były mierzone na radiogramie strzałkowym, natomiast długość i szerokość kości dodatkowej na radiogramie bocznym (Rycina 1).

Rycina 1. Radiogram boczny stawu nadgarstkowego (A) ukazujący sposób wykonywania pomiarów kości nadgarstka dodatkowej. Radiogram strzałkowy stawu nadgarstkowego (B) ukazujący sposób wykonywania pomiarów kości pośrodkowo-promieniowej nadgarstka. Długość kości- strzałka niebieska; szerokość kości- strzałka zielona.



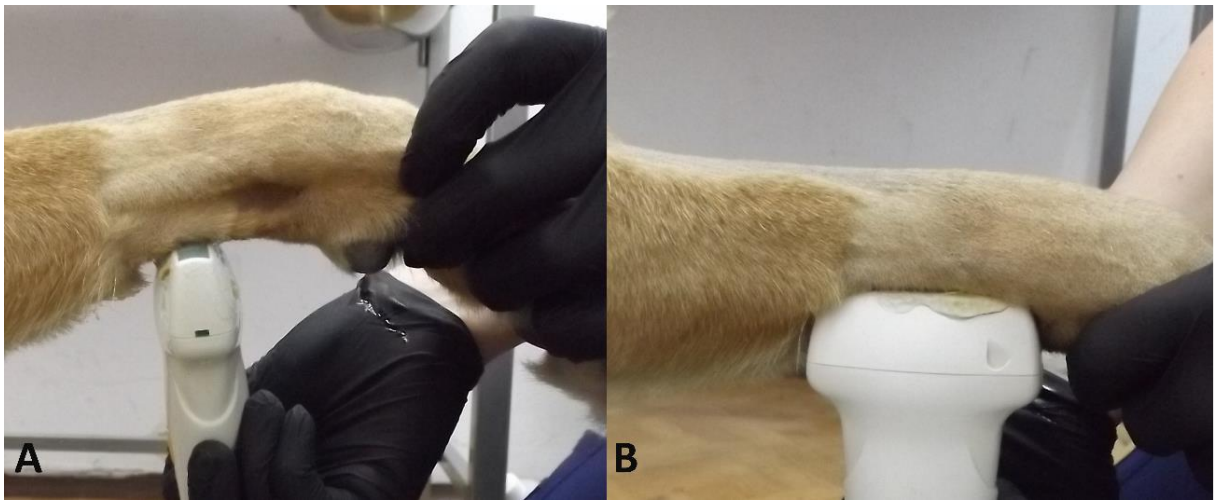
5.3. Badanie ultrasonograficzne i pomiary struktur stawu nadgarstkowego

Badanie ultrasonograficzne prawego stawu nadgarstkowego zostało przeprowadzone przy użyciu aparatu MYlab five Esaote, Genova, Italy przy pomocy głowicy linowej o częstotliwości 7.5-12 MHz. Przed przystąpieniem do badania ogolono sierść okolicy stawu nadgarstkowego w celu uzyskania lepszej jakości obrazów. Badanie było przeprowadzane na kończynie w neutralnej pozycji. Zwierzęta znajdowany się w pozycji siedzącej lub leżącej na lewym boku z prawą kończyną piersiową na górze. Zobrazowane zostało ścięgno mięśnia zginacza palców powierzchownego oraz ścięgno mięśnia zginacza palców głębokiego w przekrojach poprzecznych i strzałkowych. Na podstawie wcześniej opisanej metody przez Turan i wsp. (2009), aby uzyskać obraz płaszczyzny poprzecznej ścięgien głowicę umieszczono proksymalnie i przyśrodkowo od opuszki nadgarstka, odpowiednio na wysokości proksymalnej i dystalnej granicy kanału nadgarstka. Dodatkowo głowicę umieszczono w kliku miejscach proksymalnie od opuszki nadgarstka w celu zobrazowania przekrojów ścięgien w różnych miejscach ich przebiegu. W następnej kolejności zobrazowano wyżej wymienione ścięgna w płaszczyźnie strzałkowej, umieszczając głowicę wydłuż ich przebiegu. Sonda została przyłożona odpowiednio w tych samych miejscach jak podczas obrazowania płaszczyzn poprzecznych (Rycina 2). Następnie sonda została umieszczona w kierunku dystalnym od kości dodatkowej nadgarstka w celu zobrazowania więzadła dodatkowo-śródręcznego w płaszczyźnie strzałkowej.

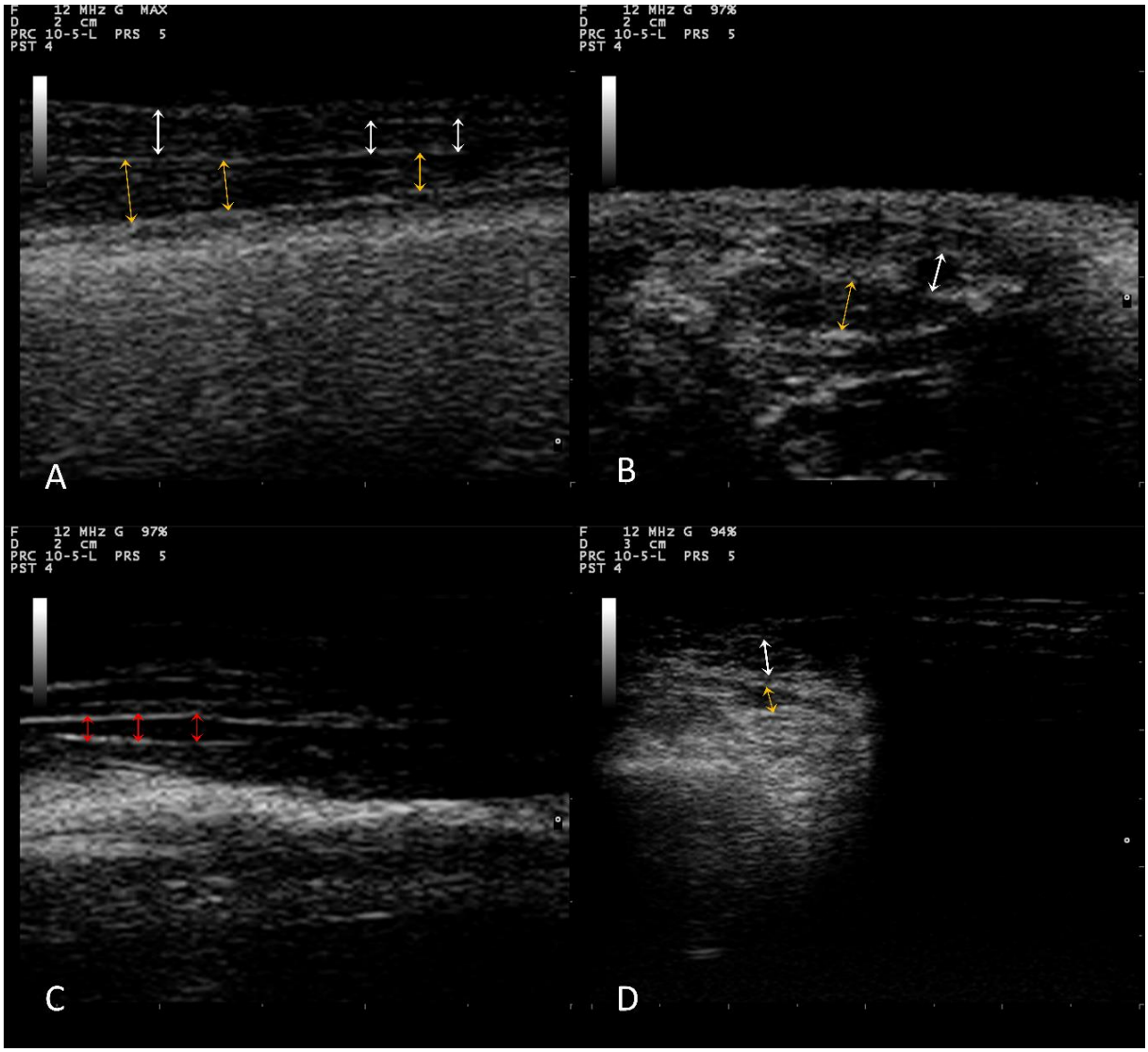
Wykonano pomiary struktur, które zostały zobrazowane i pomierzone na obrazach MRI. Pomiary średnic badanych ścięgien oraz badanego więzadła zostały wykonane jak w przypadku radiogramów w przeglądarce plików DICOM. Średnia

średnica ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego, ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego oraz więzadła dodatkowośródręcznego została wyliczona z pięciu niezależnych pomiarów wykonanych przez autorkę w różnych miejscach przebiegu tych struktur. Średnią średnicę obu ścięgien wyliczono niezależnie w płaszczyźnie poprzecznej i strzałkowej. Natomiast średnia średnica więzadła dodatkowośródręcznego została wyliczona z pomiarów dokonanych płaszczyźnie strzałkowej. Wysokości, na których zostały zmierzone powyższe struktury były analogiczne do obrazów MRI. Do lokalizacji tych wysokości punktem odniesienia była kość dodatkowa nadgarstka oraz opuszka nadgarstka. Sposób dokonywania pomiarów średnic wybranych struktur przedstawia rycina 3.

Rycina 2. Sposób przyłożenia głowicy liniowej w celu zobrazowania ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego oraz ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego w płaszczyźnie poprzecznej (A). Sposób przyłożenia głowicy liniowej w celu zobrazowania ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego oraz ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego w płaszczyźnie strzałkowej (B).



Rycina 3. Sonogramy przedstawiające sposób mierzenia średnic wybranych struktur w płaszczyźnie strzałkowej (A, C) oraz poprzecznej (B, D). W dwóch płaszczyznach mierzono przekrój ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego (białe strzałki) oraz ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego (żółte strzałki). Pomiary więzadła dodatkowośródręcznego (czerwone strzałki) mierzono na sonogramie strzałkowym.



5.4. Badanie niskopolowym rezonansem magnetycznym i pomiary struktur stawu nadgarstkowego

Obrazowanie prawego stawu nadgarstkowego wykonano za pomocą otwartego tomografu rezonansu magnetycznego o indukcji pola magnetycznego 0,245 T±5,0 mT (Vet-MR Grande, Esaote, 0,245 T, Via Siffredi, 58 16153 Genova, Italy, permanent magnet, gradient strength: 20 mT/m, gradient slew rate: 25 mT/m/s), znajdującego się w Pracowni Rezonansu Magnetycznego, Katedry Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką, Wydziału Medycyny Weterynaryjnej, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego. Zastosowano również kompatybilne z urządzeniem cewy nadawczo-odbiorcze kolanową (DPA, ang. dual phase array, średnica wewnętrzna: 14,3×16×18,3 cm) oraz nadgarstkową (DPA, ang. dual phase array, średnica wewnętrzna: 11,9×7,2×20 cm). W pierwszym etapie doświadczenia zbadano grupę psów przedstawionych w tabeli 1 w celu kwalifikacji zwierząt pod względem wielkości/masy ciała, wyznaczania odpowiedniego ułożenia zwierzęcia, doboru odpowiedniej cewy nadawczo-odbiorczej oraz wyznaczenia punktów anatomicznych przebiegu trzech płaszczyzn obrazowania.

Podczas badania głównej grupy liczącej 30 psów zastosowano cewę nadgarstkową. Zwierzęta układane były w pozycji mostkowej z wyciągniętą kończyną prawą. Prawy staw nadgarstkowy był umieszony w cewie w pozycji naturalnej, następnie został ustabilizowany za pomocą piankowych, dedykowanych poduszek dołączonych do urządzenia. Do akwizycji obrazów został wykorzystany dedykowany do aparatury program Opi (release 1.2B E-MRI Brio BUILD_20 SP1, Esaote S.p.A. Podczas badania MRI stawu nadgarstkowego protokół obrazowania zawierał:

- sekwencje SE obrazów T1-zależnych uzyskanych w trzech płaszczyznach: strzałkowej, czołowej, poprzecznej

- sekwencje FSE obrazów T2-zależnych uzyskanych w trzech płaszczyznach: strzałkowej, czołowej, poprzecznej

W tabeli 2 przedstawiono szczegółowe parametry zastosowanego protokołu obrazowania. Każdy prawy staw nadgarstkowy był obrazowany w trzech płaszczyznach czołowej, strzałkowej oraz poprzecznej, których przebieg ustalono na podstawie obrazów sekwencji próbnej (ang. scout) oraz obrazów sekwencji zwiadowczych (ang. localizer). Ustalenie płaszczyzn obrazowania zostało dokonane na podstawie wyników badania Nordberg i wsp., 1998. Przebieg płaszczyzn podczas obrazowania przedstawia rycina 4.

Uzyskane obrazy posłużyły do wykonania pomiarów średnic ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego, ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego oraz więzadła dodatkowośródręcznego analogicznie do pomiarów na sonogramach. Wykonano także pomiary szerokości i długości kości nadgarstka pośrodkowo-promieniowej oraz dodatkowej nadgarstka analogicznie do pomiarów na radiogramach. Ostateczne wartości wykorzystane do późniejszej analizy stanowiły średnią z pięciu pomiarów dokonanych na różnych przekrojach lub wysokościach, wszystkie wyniki podano w milimetrach.

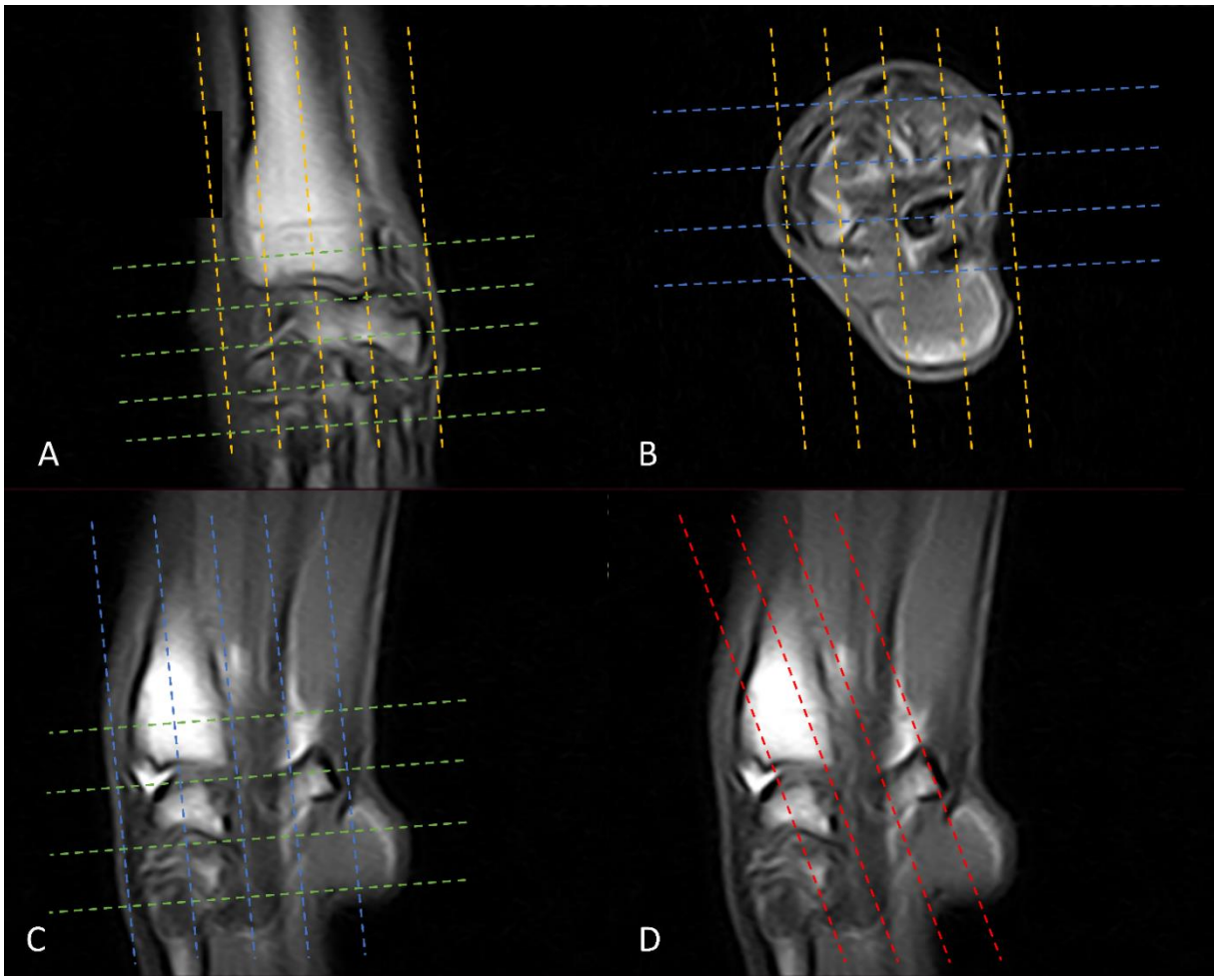
Sekwencje SE obrazów T1-zależnych wykorzystano do wyznaczania średnich pomiarów wybranych kości stawu nadgarstkowego. Na płaszczyźnie czołowej zmierzono długość i szerokość kości nadgarstka pośrodkowo-promieniowej. Natomiast na płaszczyźnie strzałkowej została zmierzona długość kości nadgarstka dodatkowej (rycina 5). Średnią średnicę obu ścięgien wyznaczono oddzielnie na płaszczyźnie poprzecznej oraz strzałkowej w obrazach SE T1-zależnych. Analogicznie obliczono średnią średnicę tych struktur w obrazach FSE T2-zależnych w płaszczyznach poprzecznej i strzałkowej (rycina 6). W identyczny sposób na tych samych obrazach i płaszczyznach wyznaczono średnie wartości średnicy więzadła dodatkowośrodręcznego (rycina 7). Wykonanie tych

pomiarów umożliwiło również porównanie obrazów T1 i T2-zależnych wybranych struktur.

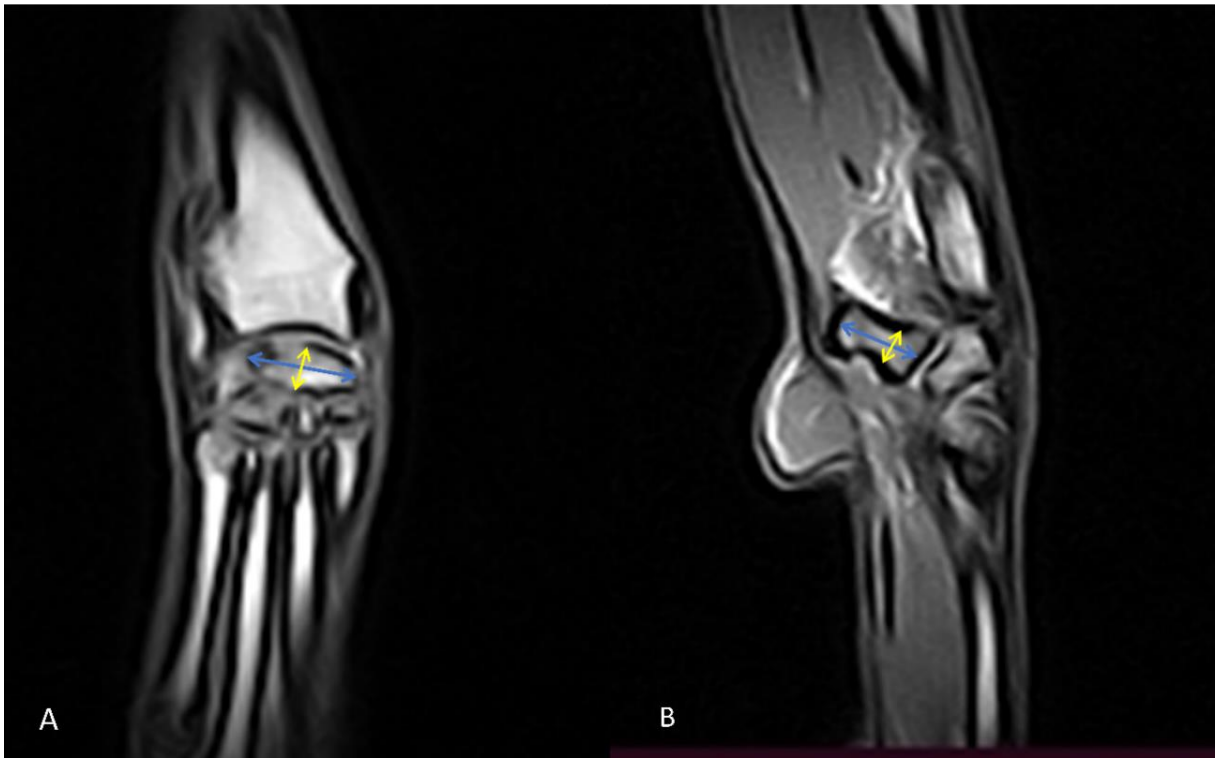
Tabela 2. Parametry sekwencji SE obrazów T1-zależnych oraz sekwencji FSE obrazów T2-zależnych zastosowanych podczas badania

	SE T1	**FSE T2**
Czas echa (TE, ms)	26	80
Czas repetycji (TR, ms)	1150 (1050-1350)	2050 (1630-2520)
Liczba uśrednień sygnału (NEX)	2-3	2-4
Wielkość pola obrazu (FOV, mm×mm)	230x200 (268-220x220-170)	260x260 (240-320x-240-320)
Matryca obrazowania (mm×mm)	256x192 (188-288x115-256)	288x216 (216-352x 192-256)
Grubość warstwy (mm)	2	3
Odstęp między warstwami (mm)	0,2	0,3
Liczba obrazów (najczęściej występujące, zakres)	23 (21-27)	15 (11-18)

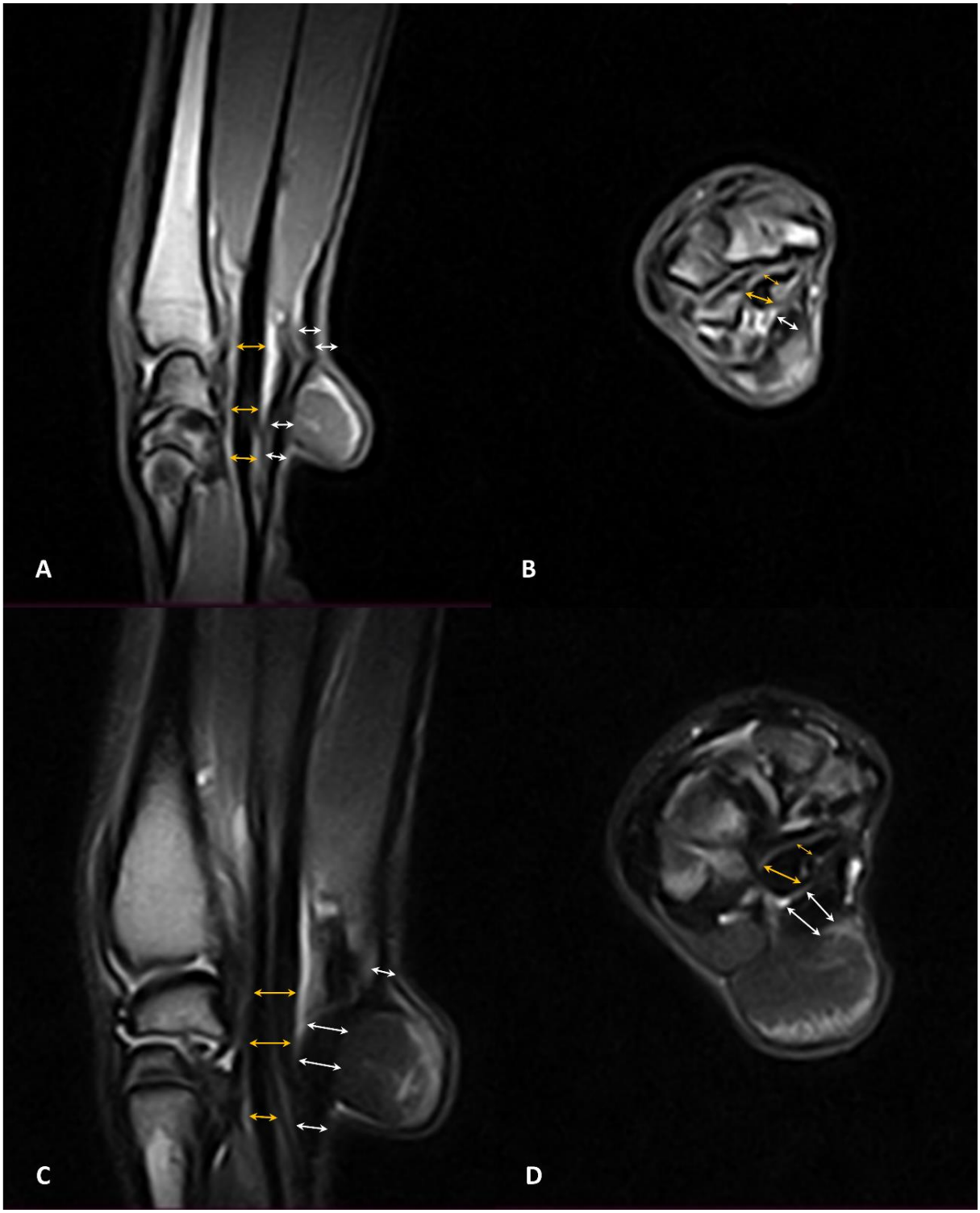
Rycina 4. Schemat przebiegu płaszczyzn obrazowania wyznaczony na podstawie obrazów sekwencji zwiadowczych. Przebieg płaszczyzny strzałkowej ukazano za pomocą żółtych linii przerywanych na obrazie w płaszczyźnie czołowej (A) i poprzecznej (B). Przebieg płaszczyzny czołowej ukazano za pomocą niebieskich linii przerywanych na obrazie w płaszczyźnie poprzecznej (B) i strzałkowej (C). Do obrazowania ścięgien zginaczy palców zastosowano przebieg płaszczyzny poprzecznej oznaczony zielonymi liniami przerywanymi na obrazie w płaszczyźnie czołowej (A) i strzałkowej (C). Za pomocą czerwonych linii przerywanych na płaszczyźnie strzałkowej (D) ukazano przebieg płaszczyzny poprzecznej obrazujący więzadło dodatkowo-śródręczne



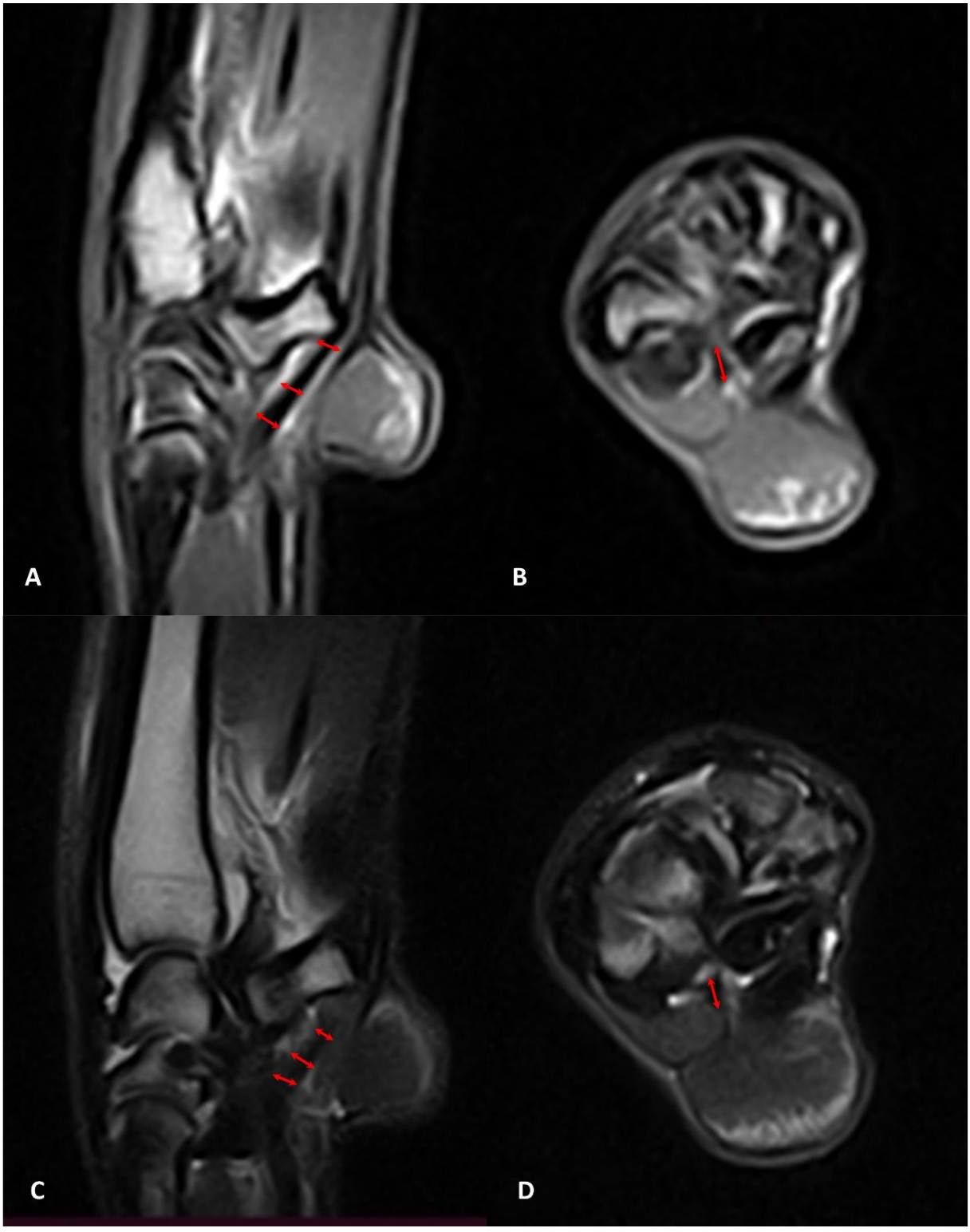
Rycina 5. Obrazy T1-zależne prawego stawu nadgarstkowego psa przedstawiające sposób mierzenia wybranych struktur kostnych. Na płaszczyźnie czołowej przedstawiono przykładowe pomiary kości pośrodkowo-promieniowej nadgarstka (A). Płaszczyzna strzałkowa przedstawia przykładowe pomiary kości nadgarstka dodatkowej (B). Długość kości- strzałka niebieska; szerokość kości- strzałka żółta.



Rycina 6. Obrazy T1 (A, B) oraz T2-zależne (C, D) prawego stawu nadgarstkowego psa przedstawiające sposób mierzenia ścięgien w płaszczyźnie strzałkowej (A, C) oraz poprzecznej (B, C). Pomiary średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego oznaczono białymi strzałkami, natomiast żółtymi strzałkami oznaczono pomiary średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego.



Rycina 7. Obrazy T1 (A, B) oraz T2-zależne (C, D) prawego stawu nadgarstkowego psa przedstawiające sposób mierzenia więzadła w płaszczyźnie strzałkowej (A, C) oraz poprzecznej (B, C). Pomiary średnicy więzadła dodatkowośródręcznego oznaczono czerwonymi strzałkami.



5.5. Analiza statystyczna

Dane wymagane do analizy zostały zgromadzone i przechowywane w plikach tekstowych oraz arkuszach kalkulacyjnych programu MS Excel. Następnie, analizę statystyczną przeprowadzono przy użyciu dwóch języków programowania: Python 3.10.0 (van Rossum & Drake, 2009) oraz R 4.3.1 (R Core Team, 2020) w środowisku JupyterLab.

W celu weryfikacji założenia o normalności rozkładu danych, zastosowano test Shapiro-Wilka. Dane spełniały założenia normalności rozkładu, co pozwoliło na zastosowanie parametrycznej metodyki analizy.

Korelacja pomiędzy pomiarami wykonanymi za pomocą rezonansu magnetycznego (MRI), radiologii (RTG) i ultrasonografii (USG) a masą ciała oraz parametrami pomiarowymi kończyny piersiowej była ustalana na podstawie korelacji Pearsona. Modele regresji liniowej zostały skonstruowane na podstawie pomiarów wykonanych za pomocą MRI, traktowanych jako złoty standard, oraz masy ciała i parametrów kończyny piersiowej.

Preliminarne oceny modeli liniowych dokonano za pomocą wartości R2. Na podstawie analizy wyznaczony został parametr, który następnie posłużył do dalszej analizy. Model regresji liniowej był następnie wykorzystany do przewidywania wymiarów konkretnej struktury na podstawie wyselekcjonowanego parametru dla każdego z badanych psów. Walidację modelu przeprowadzono przy użyciu pomiarów RTG lub USG.

Zastosowano wykres Bland-Altman oraz współczynnik korelacji zgodności CCC (Concordance Correlation Coefficient) do oceny zgodności między porównywanymi parametrami, metodami obrazowania oraz modelami liniowymi. Do oceny wyników

korelacji Pearsona oraz CCC użyto skali: < 0,20: brak lub bardzo słaba zgodność, 0,20 – 0,39: słaba zgodność, 0,40 – 0,59: umiarkowana zgodność, 0,60 – 0,89: silna zgodność, 0,90 - 1: bardzo silna zgodność.

Wykresy Bland-Altman, współczynnik korelacji zgodności oraz regresji liniowej zostały wykonane w Pythonie, przy użyciu kluczowych bibliotek do wizualizacji danych, takich jak pandas, matplotlib i seaborn.

Poziom istotności dla analizowanych danych został ustalony na poziomie $P<0,01$.

6. Wyniki

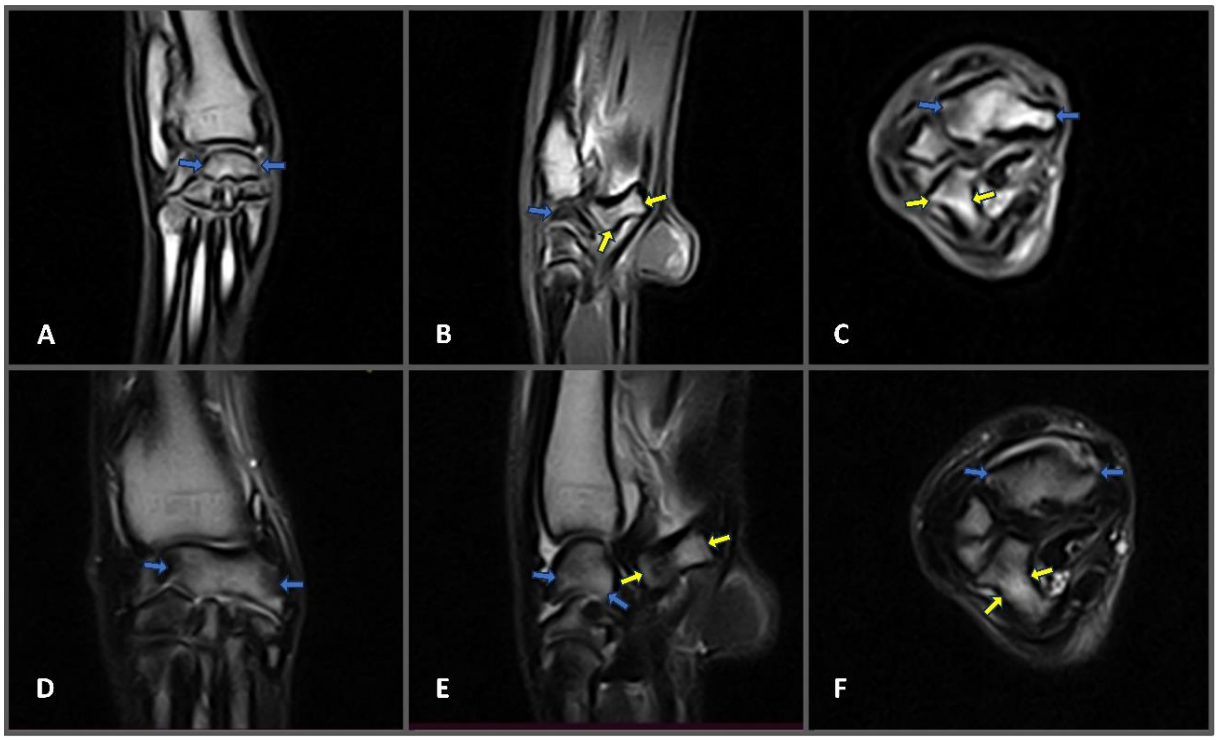
6.1. Obraz wybranych struktur anatomicznych stawu nadgarstkowego uzyskany metodą niskopolowego rezonansu magnetycznego

Pierwszy etap doświadczenia wykazał, że widoczność struktur stawu nadgarstkowego jest lepsza u większych psów. W zawiązku z tym niskopolowy rezonans magnetyczny pozwolił uzyskać odpowiednią jakość obrazów u psów, których masa ciała była większa lub równa 10 kg. Obraz wszystkich kości wchodzących w skład stawu, ścięgien mięśni zginaczy palców powierzchownego i głębokiego oraz więzadła dodatkowo-śródręcznego pozwalał na odpowiednie wyznaczenie granic stych struktur i wykonanie potrzebnych pomiarów. Dodatkowo pierwszy etap doświadczenia wykazał, że jakość obrazu odpowiednią do oceny klinicznej uzyskano dzięki zastosowaniu dedykowanej do obrazowania stawu nadgarstkowego i drobnych struktur cewy nadgarstkowej. Obrazy uzyskane z użyciem cewy kolanowej (cewa kolanowa, DPA Knee Coil) nie cechowały się dobrym kontrastem oraz rozdzielczością przestrzenną. Z kolei cewa nadgarstkowa ze względu na mniejszą średnicę lepiej przylegała i stabilizowała kończynę. Dzięki temu zmniejszała przestrzeń pomiędzy badanym stawem a nadajnikiem i umożliwiała ułożenie zwierzęcia na mostku z wyciągniętą dogłowowo badaną kończyną.

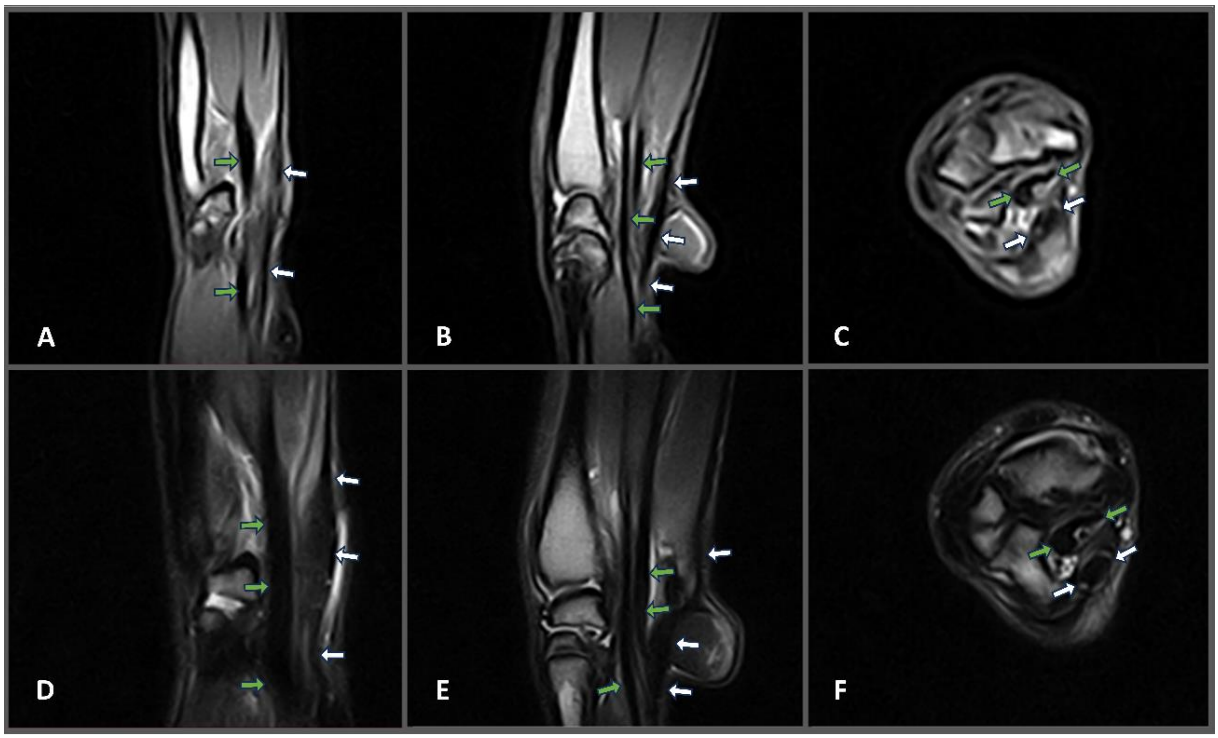
Uzyskany za pomocą MRI obraz mierzonych struktur odpowiadał ich wizualizacji z pozostałymi metodami wykorzystanymi w doświadczeniu. Kości nadgarstka pośrodkowo-promieniowa oraz dodatkowa były widoczne we wszystkich płaszczyznach na obrazach T1 i T2-zależnych. Obie kości charakteryzowały się gładkimi i regularnymi konturami we wszystkich sekwencjach. Na obrazach T1- zależnych charakteryzowały się sygnałem izointensywnym do hiperintensywnego w porównaniu do otaczających tkanek.

Natomiast na obrazach T2-zależnych miały sygnał izointensywny do hipointensywnego w porównaniu do otaczających struktur. Obraz kości w trzech płaszczyznach obrazowania przedstawia rycina 8. Ścięgna mięśni zginaczy palców powierzchownego i głębokiego zarówno w obrazach T1 jak i T2-zaleznych charakteryzowały się jednorodnie niskim sygnałem. Widoczne we wszystkich płaszczyznach jako hipointensywne podłużne struktury przebiegające na przyśrodkowo-doogonowej wysokości stawu nadgarstkowego. Na obrazach w płaszczyznach poprzecznych przekrój ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego miał kształt owalny. Z kolei przekrój ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego na tych samych obrazach miał kształt przecinka. Obraz ścięgien w trzech płaszczyznach obrazowania przedstawia rycina 9. Więzadło dodatkowo-śródręczne prezentowało się na obrazach T1 i T2- zależnych na płaszczyznach strzałkowych jako jednolity obszar w kształcie pasma o niskiej intensywności sygnału. Na płaszczyznach poprzecznych kształt przekroju więzadła był okrągły hipointensywny. Więzadło to łączy kość nadgarstka dodatkową z podstawą kości śródręcza piątej. Trudność stanowiło rozpoznanie więzadła na przekrojach czołowych ze względu na lokalizację i przebieg tej struktury. Obraz więzadła w płaszczyźnie strzałkowej i poprzecznej ukazano na rycinie 10.

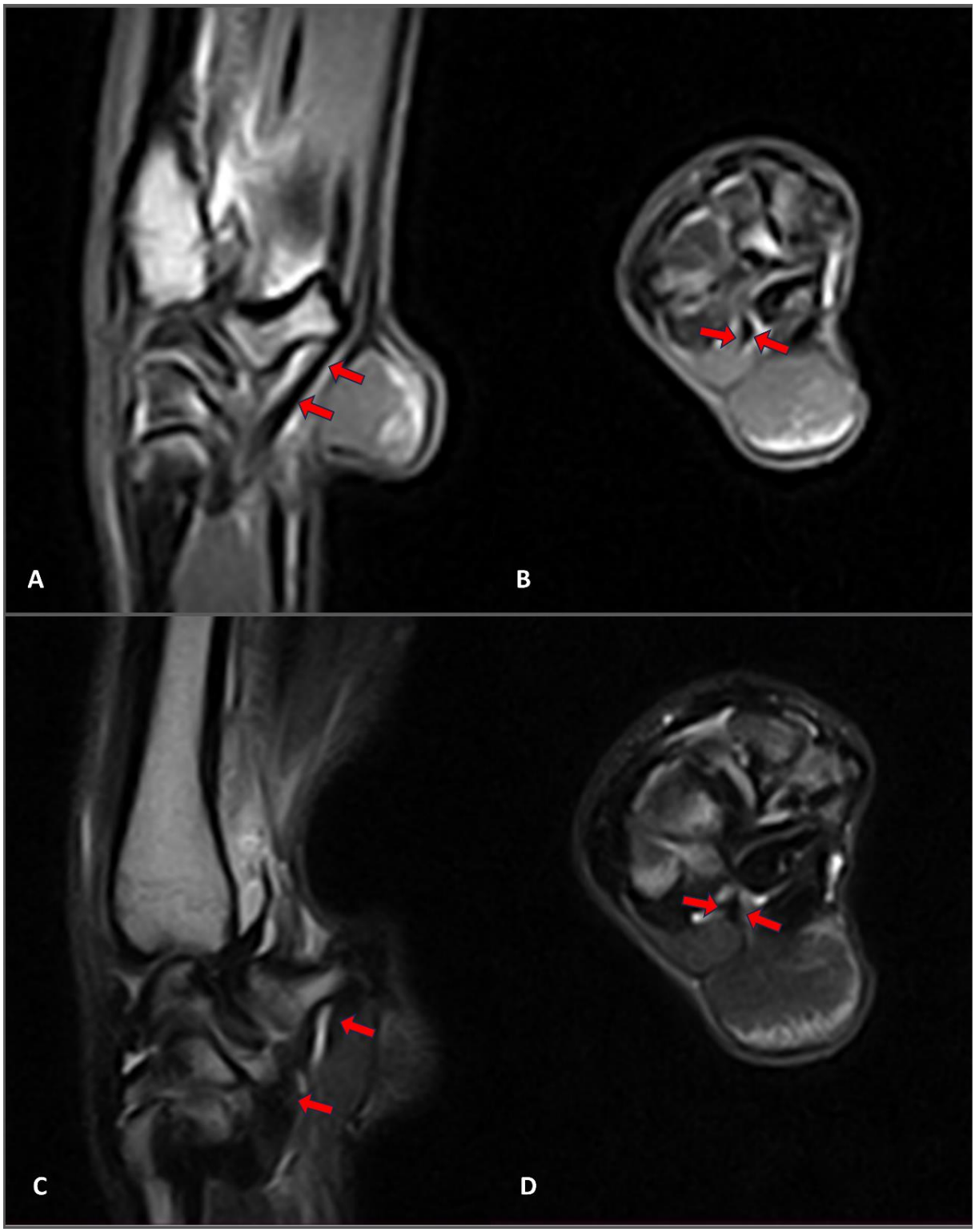
Rycina 8. Obrazy T1 (A, B, C) oraz T2-zależne (D, E, F) prawego stawu nadgarstkowego psa w płaszczyźnie czołowej (A, D), strzałkowej (B, E) oraz poprzecznej (C, F). Kość pośrodkowo-promieniową nadgarstka oznaczono niebieskimi strzałkami, natomiast żółtymi strzałkami oznaczono kość nadgarstka dodatkową.



Rycina 9. Obrazy T1 (A, B, C) oraz T2-zależne (D, E, F) prawego stawu nadgarstkowego psa w płaszczyźnie czołowej (A, D), strzałkowej (B, E) oraz poprzecznej (C, F). Ścięgno mięśnia zginacza palców powierzchownego oznaczono białymi strzałkami, natomiast zielonymi strzałkami oznaczono ścięgno mięśnia zginacza palców głębokiego.



Rycina 10. Obrazy T1 (A, B) oraz T2-zależne (C, D) prawego stawu nadgarstkowego psa w płaszczyźnie strzałkowej (A, C) oraz poprzecznej (B, D). Więzadło dodatkowo-śródręczne oznaczono czerwonymi strzałkami.



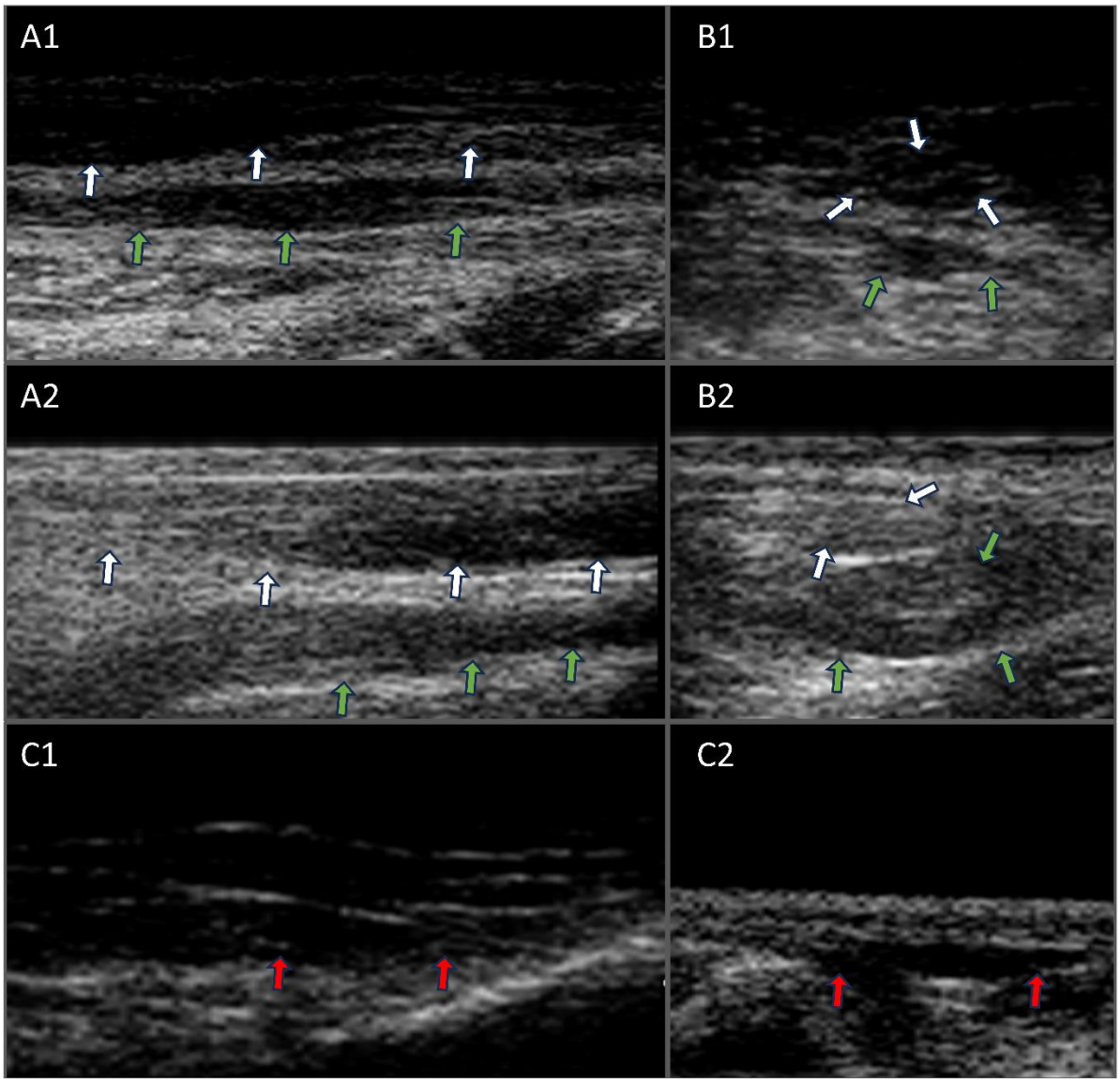
6.2. Obraz wybranych struktur anatomicznych stawu nadgarstkowego uzyskany metodą ultrasonografii

Podobnie jak w przypadku badania MRI pierwszy etap doświadczenia wykluczył psy o masie ciała mniejszej niż 10 kg. Ze względu na małe rozmiary kończyny trudność sprawiało uwidocznienie ścięgien i więzadeł za pomocą badania ultrasonograficznego. Odpowiednią jakość obrazu uzyskano analogicznie jak w przypadku badania MRI u zwierząt o masie ciała równej lub większej niż 10 kg. Badanie ultrasonograficzne nie wymagało uspokojenia farmakologicznego u wszystkich psów. Pozycja ciała, którą przyjęło zwierzę (siedząca lub leżąca na lewym boku) nie miała wpływu na jakość sonogramów. Uzyskane obrazy były odpowiedniej jakości i pozwalały rozpoznać wybrane struktury w obrębie kanału nadgarstkowego.

Ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego oraz głębokiego na sonogramach w płaszczyźnie poprzecznej były widoczne jako struktury o średniej echogeniczności, które były otoczone hipoechogeniczną obwódką. Obszar każdego ścięgna był niejednorodny, we wnętrzu struktur widoczne były punkty o zróżnicowanej echogeniczności. Kształt przekroju poprzecznego obrazowanych ścięgien był taki sam jak na obrazach uzyskanych za pomocą MRI. Ścięgno mięśnia zginacza palców powierzchownego miało kształt owalny i było zlokalizowane w tylnej części kanału nadgarstka. Natomiast ścięgno mięśnia zginacza palców głębokiego miało kształt przecinka i znajdowało się bliżej środka kanału nadgarstka. Na sonogramach strzałkowych wyżej opisane ścięgna posiadały strukturę wiązkową i były widoczne jako liczne, rozmieszczone blisko siebie równoległe echogeniczne linie. Ścięgno mięśnia zginacza palców powierzchownego było zlokalizowane bezpośrednio pod skórą, czyli bliżej powierzchni sondy. Głębiej blisko niego przebiegało ścięgno mięśnia zginacza

palców głębokiego, którego wiązki nie były idealnie równoległe do ścięgna powierzchownego. Dzięki temu możliwe było rozróżnienie przebiegu tych dwóch ścięgien. Więzadło dodatkowo-śródręczne również było widoczne jako struktura złożona z równoległych wiązek echogenicznych na strzałkowych sonogramach. Jednak cechowało się mniejszą echogenicznością niż opisane wyżej ścięgna. Ze względu na trudny dostęp i rozmiar używanej sondy więzadło nie zostało zobrazowane na sonogramach poprzecznych. Obraz ultrasonograficzny opisanych struktur przedstawiono na rycinie 11.

Rycina 11. Sonogramy okolicy doogonowej stawu nadgarstkowego w przekrojach strzałkowych (A1, A2, C1, C2) oraz poprzecznych. Ścięgno mięśnia zginacza palców powierzchownego oznaczono białymi strzałkami, natomiast zielonymi strzałkami wskazują ścięgno mięśnia zginacza palców głębokiego. Więzadło dodatkowo-śródręczne oznaczono czerwonymi strzałkami.



6.3. Wyniki analizy statystycznej

6.3.1. Zależności pomiędzy pomiarami

Zależności pomiędzy pomiarami wykonanymi na uzyskanych obrazach a masą ciała oraz parametrami pomiarowymi kończyny piersiowej przedstawiono za pomocą współczynnika korelacji Pearsona. Większość pomiarów wykonanych na obrazach MRI była skorelowana na poziomie bardzo silnej zgodności ($r>0,9$; $P<0,01$) z masą ciała i pomiarami kończyny piersiowej. Tylko dwa pomiary w obrazach T2-zależnych w płaszczyźnie strzałkowej posiadały silną (r 0,60 – 0,89; $P<0,01$) zgodność z cechami zwierzęcia. Była to średnica więzadła dodatkowo-śródręcznego nadgarstka oraz średnica ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego, z czego ta ostatnia charakteryzowała się niższą korelacją. Pomiary struktur wykonanych na obrazach MRI były najsilniej skorelowane z masą ciała zwierzęcia. Jednak pozostałe parametry pomiarowe kończyny piersiowej również wykazywały bardzo silną i silną korelację z pomiarami (tabela 3).

Zależności pomiędzy pomiarami wykonanymi na radiogramach i sonogramach prezentowały się podobnie jak w przypadku MRI. Prawie wszystkie pomiary posiadały bardzo silną ($r>0,9$; $P<0,01$) zgodność z masą ciała i pomiarami kończyny piersiowej. Wyjątek stanowił podobnie jak w przypadku MRI pomiar średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego na sonogramach strzałkowych, który prezentował się na poziomie silnej zgodności (r 0,60 – 0,89; $P<0,01$). W tym wypadku również masa ciała była najsilniej skorelowana z pomiarami wykonanymi na obrazach RTG i USG (tabela 4).

6.3.2. Porównanie pomiarów na obrazach T1 i T2-zależnych

Pomiary średnic ścięgien uzyskane na obrazach T1 i T2-zależnych zostały porównane poprzez wyznaczenie współczynnika korelacji zgodności (CCC). Zanotowano bardzo silną zgodność pomiarów w przypadku średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego w płaszczyźnie poprzecznej (rycina 12) i strzałkowej (rycina 13) oraz średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego w płaszczyźnie poprzecznej (rycina 14). Współczynnik korelacji zgodności powyższych pomiarów był bardzo bliski idealnej zgodności na poziomie 1 i wynosił CCC=0,98. Natomiast pomiary średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego w płaszczyźnie strzałkowej posiadały najniższą wartość współczynnika równą 0,714. Wartość ta posiadała silną zgodność między pomiarami i wykazała, że pomiary wykonywane na obrazach T2-zależnych były większe średnio o około 0,2 mm (rycina 15).

6.3.3. Porównanie pomiarów na obrazach T1-zależnych i RTG

Pomiary wymiarów kości uzyskane na obrazach T1-zależnych i RTG zostały również porównane poprzez wyznaczenie współczynnika korelacji zgodności (CCC). Zarówno długość i szerokość kości pośrodkowo-promieniowej jak i kości nadgarstka dodatkowej charakteryzowały się bardzo silną zgodnością pomiarów. Porównania dotyczące wymiarów kości pośrodkowo-promieniowej przedstawia rycina 16 i 17, natomiast Porównania dotyczące wymiarów kości nadgarstka dodatkowej przedstawia rycina 18 i 19.

6.3.4. Porównanie pomiarów na obrazach MRI i USG

Średnice więzadła dodatkowo-śródręcznego zostały porównane na płaszczyznach strzałkowych ze względu na trudność pomiaru za pomocą USG w płaszczyźnie

poprzecznej. Współczynnik korelacji zgodności różnił się w przypadku pomiarów na obrazach T1 i T2- zależnych wykonanych za pomocą MRI. Pomiar średnicy więzadła uzyskany na obrazach T1-zależnych w porównaniu do T2 był słabiej skorelowany z pomiarem wykonanym na obrazach USG. Jednak zgodność pomiarów była w dalszym ciągu silna (CCC=0,849). Porównanie wykazało, że pomiary wykonane na obrazach USG były średnio około 0,05mm większe od pomiarów na obrazach T1-zależnych. Zależności te przedstawiono na rycinie 20. Natomiast pomiar średnicy więzadła uzyskany na obrazach T2-zaleznych wykazywał bardzo silną zgodność z tym samym pomiarem wykonanym na obrazach USG. Współczynnik korelacji zgodności w tym wypadku wynosił 0,909; porównanie to przedstawiono na rycinie 21.

Zgodność pomiarów średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego wykonanych przy pomocy MRI oraz USG była bardzo silna. Współczynnik korelacji zgodności był nieznacznie większy dla pomiarów wykonanych na płaszczyznach poprzecznych. Dodatkowo, pomiary uzyskane na obrazach T2-zależnych również posiadały nieznacznie większy współczynnik zgodności korelacji z pomiarami na obrazach USG, w porównaniu do pomiarów na obrazach T1-zależnych. Porównania te zostały przedstawione na rycinach 22, 23, 24 oraz 25.

W przypadku pomiarów średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego bardzo silną zgodność zanotowano na obrazach MRI i USG w płaszczyznach poprzecznych (rycina 26 i 27). Pomiary w płaszczyznach strzałkowych posiadały niższą, lecz nadal silną zgodność, współczynniki korelacji zgodności wynosiły 0,68 dla obrazów T1-zależnych (rycina 28) oraz 0,79 dla obrazów T2-zależnych (rycina 29).

Należy zauważyć, że pomiary wszystkich struktur na obrazach T2- zależnych wykazywały silniejszą zgodność do pomiarów na obrazach USG niż w przypadku obrazów T1- zależnych.

6.3.5. Modele regresji liniowej pomiarów wybranych struktur stawu nadgarstkowego psa

Zostały stworzone i zwalidowane modele regresji liniowej pozwalające wyznaczyć wartość pomiaru danej struktury stawu nadgarstkowego w danej płaszczyźnie na podstawie masy ciała i pomiarów kończyny piersiowej. W tabeli 5 przedstawiono parametry regresji liniowej i wartości R-kwadrat dla poszczególnych modeli. Modele zostały zwalidowane przy pomocy pomiarów wykonanych na obrazach innej metody obrazowania. Dzięki temu zaprezentowano zgodność między pomiarami w postaci wykresów Bland-Altman. Przedstawiono współczynniki korelacji zgodności między wyznaczonymi modelami a pomiarami wykonanymi za pomocą innej techniki obrazowania. Wartość masy ciała podana w kilogramach okazała się pomiarem, który najdokładniej pozwalał przewidzieć wartość pomiaru danej struktury stawu nadgarstkowego w danej płaszczyźnie. Na rycinach przedstawiono opisy powstawania i walidacji modeli liniowych pozwalających wyznaczyć wymiary wybranych struktur stawu nadgarstkowego psa na podstawie jego masy ciała.

Pomiary szerokości i długości kości pośrodkowo-promieniowej stawu nadgarstkowego wykonane w płaszczyźnie czołowej w obrazach T1-zależnych MRI były bardzo silnie skorelowane z masą ciała psa (rycina 30 i 31). Ten sam wynik dotyczył pomiaru szerokości i długości kości nadgarstka dodatkowej wykonanych w płaszczyźnie czołowej w obrazach T1-zależnych MRI (rycina 32 i 33). Niższą, lecz silną zgodność z wartością masy ciała odnotowano w przypadku pomiaru średnicy więzadła dodatkowo śródręcznego w płaszczyźnie strzałkowej (rycina 34). Pomiary średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego wykonane w płaszczyźnie poprzecznej (rycina 35 i 36) oraz strzałkowej (rycina 37 i 38) w obrazach USG oraz T1 i T2-zależnych MRI były bardzo silnie skorelowane z masą ciała psa. Model regresji liniowej pozwalający

wyznaczyć wartość średnicy ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego okazał się najmniej zgodny z wartością masy ciała psa. Jednakże wartości współczynników korelacji zgodności wskazywały na silną zgodność pomiarów średnicy ścięgna z masą ciała (ryciny 39, 40, 41 i 42).

Tabela 3. Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy pomiarami wykonanymi przy pomocy MRI a masą ciała oraz parametrami pomiarowymi kończyny piersiowej

	Masa ciała	Obwód stawu nadgarstkowego	Długość od stawu nadgarstkowego do guza łokciowego	Długość od palców do stawu nadgarstkowego	Długość od palców do guza łokciowego
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
SKP-PC MRI T1 (mm)	0,9862	0,9725	0,9795	0,9742	0,9868
DKP-PC MRI T1 (mm)	0,9931	0,9708	0,9714	0,9804	0,9853
SKD- PS MRI T1 (mm)	0,9903	0,9714	0,9799	0,9777	0,9887
DKD- PS MRI T1 (mm)	0,9567	0,9302	0,9710	0,9506	0,9697
WD- PP MRI T1 (mm)	0,9880	0,9647	0,9794	0,9759	0,9882
WD- PP MRI T2 (mm)	0,9906	0,9700	0,9778	0,9782	0,9878
WD- PS MRI T1 (mm)	0,9323	0,9133	0,9400	0,9144	0,9378
WD- PS MRI T2 (mm)	0,8725	0,8694	0,8331	0,8610	0,8545
ZPP- PP MRI T1 (mm)	0,9861	0,9766	0,9721	0,9784	0,9835
ZPP- PP MRI T2 (mm)	0,9846	0,9748	0,9726	0,9791	0,9834
ZPP- PS MRI T1 (mm)	0,9753	0,9725	0,9659	0,9680	0,9742
ZPP- PS MRI T2 (mm)	0,9832	0,9711	0,9719	0,9767	0,9821

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

	Masa ciała	Obwód stawu nadgarstkowego	Długość od stawu nadgarstkowego do guza łokciowego	Długość od palców do stawu nadgarstkowego	Długość od palców do guza łokciowego
	(kg)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
ZPG- PP MRI T1 (mm)	0,9868	0,9727	0,9703	0,9763	0,9824
ZPG- PP MRI T2 (mm)	0,9809	0,9642	0,9510	0,9669	0,9672
ZPG- PS MRI T1 (mm)	0,9793	0,9577	0,9580	0,9594	0,9673
ZPG- PS MRI T2 (mm)	0,8091	0,7518	0,7516	0,7695	0,7753

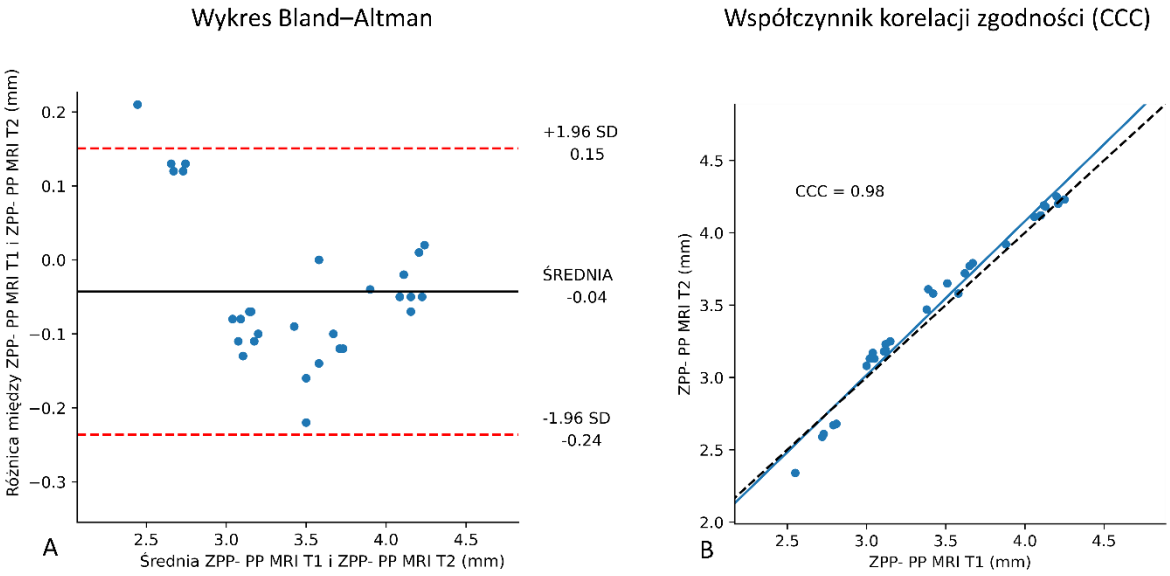
Wszystkie wartości korelacji przedstawione w tabeli są na poziomie istotności P<0,01, ZPP- średnica ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego; ZPG- średnica ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego; SKP- szerokość kości pośrodkowo-promieniowej; DKP- długość kości pośrodkowo-promieniowej; WD- średnica więzadła dodatkowo-śródręcznego; SKD- szerokość kości nadgarstka dodatkowej; DKD- długość kości nadgarstka dodatkowej; PP- płaszczyzna poprzeczna; PS- płaszczyzna strzałkowa; PC- płaszczyzna czołowa

Tabela 4. Współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy pomiarami wykonanymi przy pomocy RTG i USG a masą ciała i parametrami pomiarowymi kończyny piersiowej

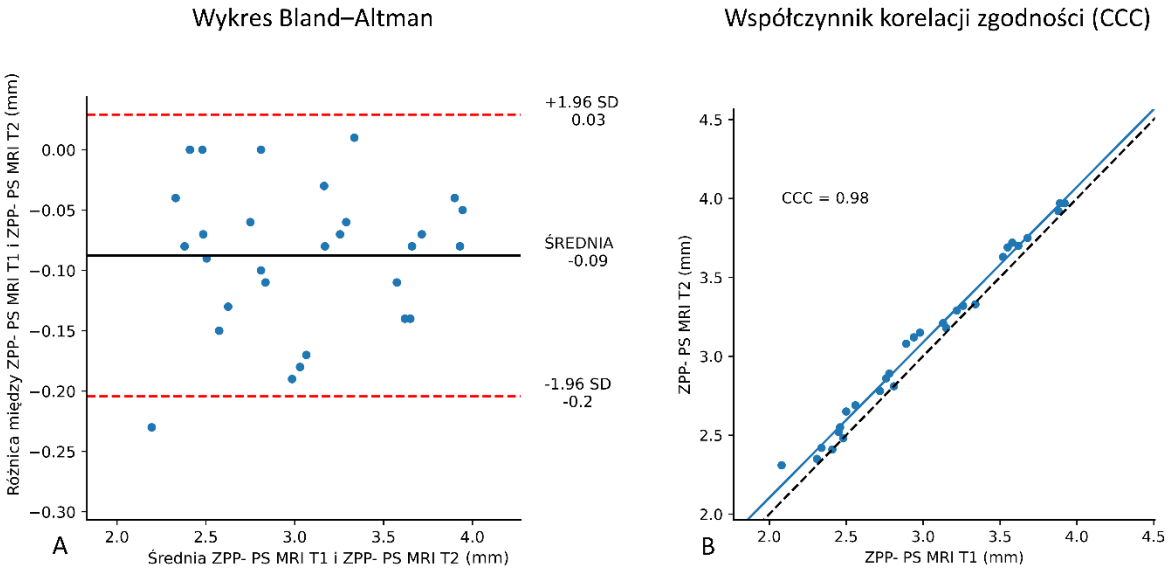
	Masa ciała (kg)	Obwód stawu nadgarstkowego (mm)	Długość od stawu nadgarstkowego do guza łokciowego (mm)	Długość od palców do stawu nadgarstkowego (mm)	Długość od palców do guza łokciowego (mm)
SKP- RTG	0,9847	0,9709	0,9845	0,9805	0,9914
DKP- RTG	0,9869	0,9777	0,9733	0,9814	0,9831
SKD- RTG	0,9891	0,9666	0,9737	0,9723	0,9837
DKD- RTG	0,9556	0,9189	0,9716	0,9349	0,9629
ZPP- USG PP	0,9833	0,9699	0,9665	0,9676	0,9748
ZPP- USG PS	0,9915	0,9668	0,9754	0,9748	0,9831
ZPG- USG PP	0,9785	0,9514	0,9411	0,9634	0,9607
ZPG- USG PS	0,8484	0,7826	0,8229	0,7946	0,8219
WD- USG PS	0,9304	0,9076	0,8974	0,9034	0,9128

Wszystkie wartości korelacji przedstawione w tabeli są na poziomie istotności P<0,01, ZPP- średnica ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego; ZPG- średnica ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego; SKP- szerokość kości pośrodkowo-promieniowej; DKP- długość kości pośrodkowo-promieniowej; WD- średnica więzadła dodatkowo-śródręcznego; SKD- szerokość kości nadgarstka dodatkowej; DKD- długość kości nadgarstka dodatkowej; PP- płaszczyzna poprzeczna; PS- płaszczyzna strzałkowa

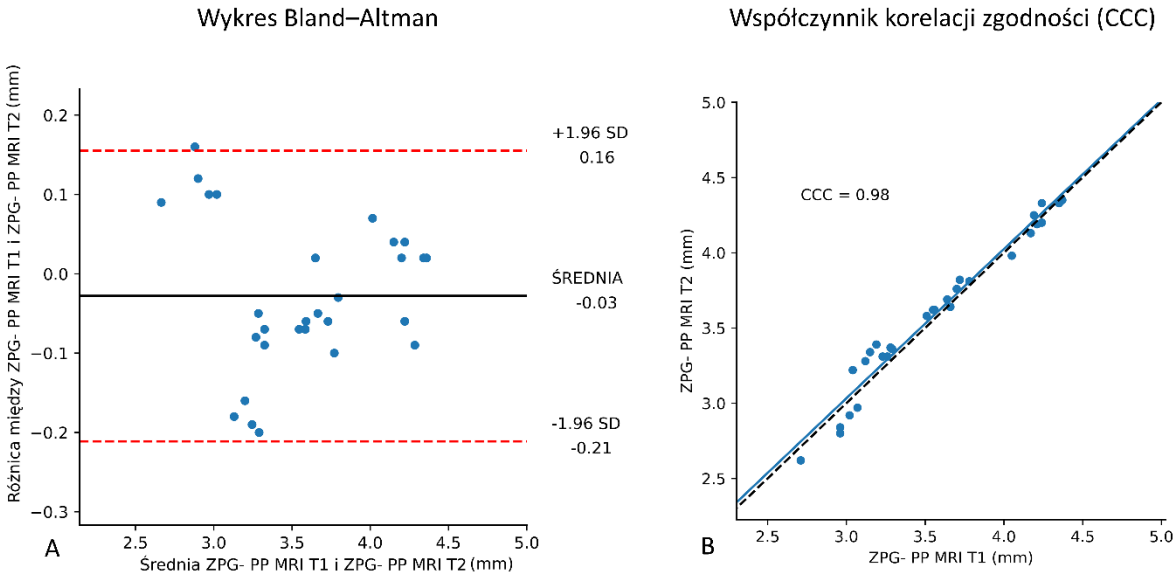
Rycina 12. Porównanie wartości ZPP- PP MRI T1 (mm) do ZPP- PP MRI T2 (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PP MRI T1 (mm) do ZPP- PP MRI T2 (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i T2), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PP MRI T1 (mm) i ZPP- PP MRI T2 (mm).



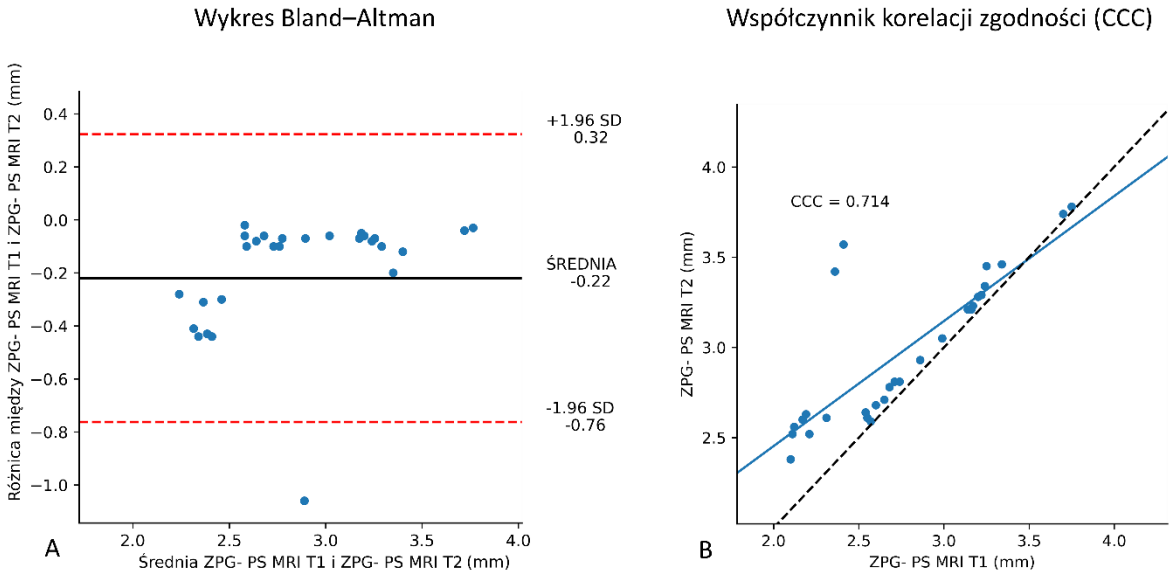
Rycina 13. Porównanie wartości ZPP- PS MRI T1 (mm) do ZPP- PS MRI T2 (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PS MRI T1 (mm) do ZPP- PS MRI T2 (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i T2), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PS MRI T1 (mm) i ZPP- PS MRI T2 (mm).



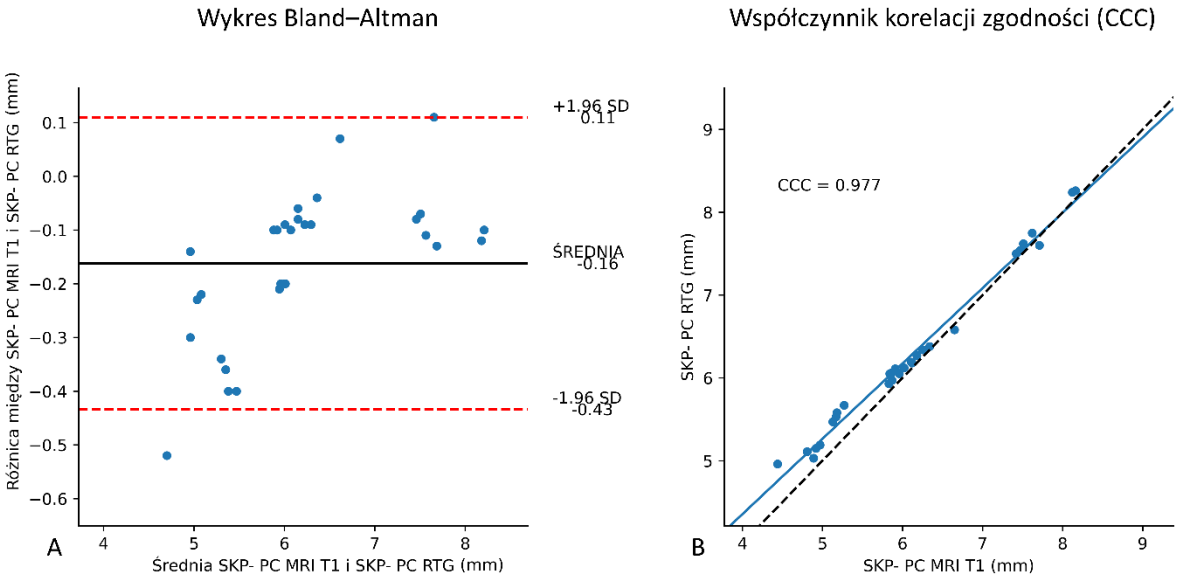
Rycina 14. Porównanie wartości ZPG- PP MRI T1 (mm) do ZPG- PP MRI T2 (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PP MRI T1 (mm) do ZPG- PP MRI T2 (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i T2), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PP MRI T1 (mm) i ZPG- PP MRI T2 (mm).



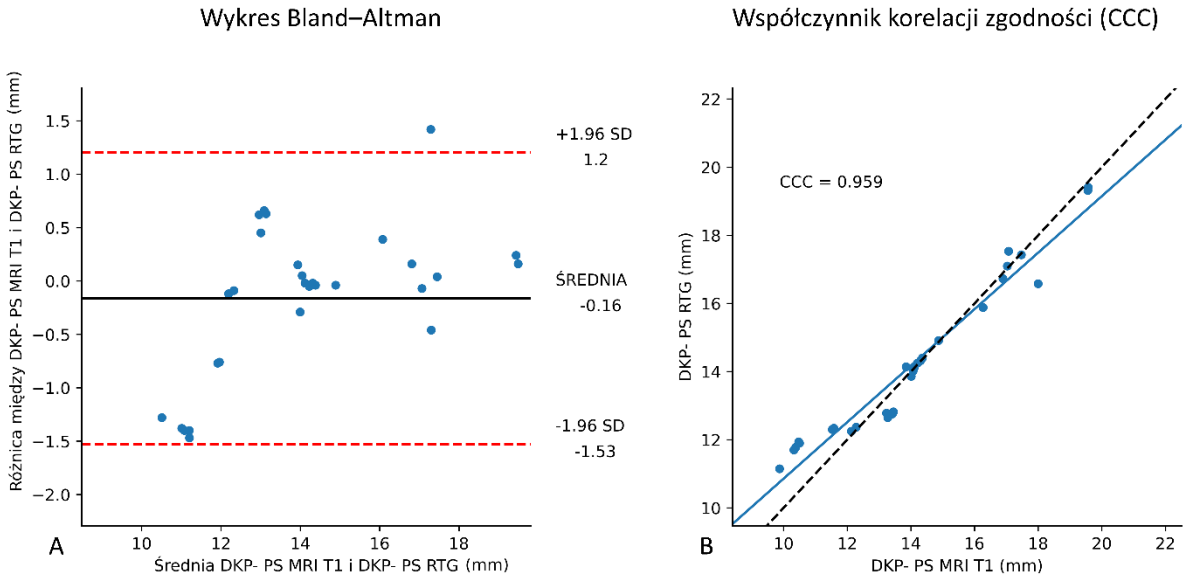
Rycina 15. Porównanie wartości ZPG- PS MRI T1 (mm) do ZPG- PS MRI T2 (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PS MRI T1 (mm) do ZPG- PS MRI T2 (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i T2), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PS MRI T1 (mm) i ZPG- PS MRI T2 (mm).



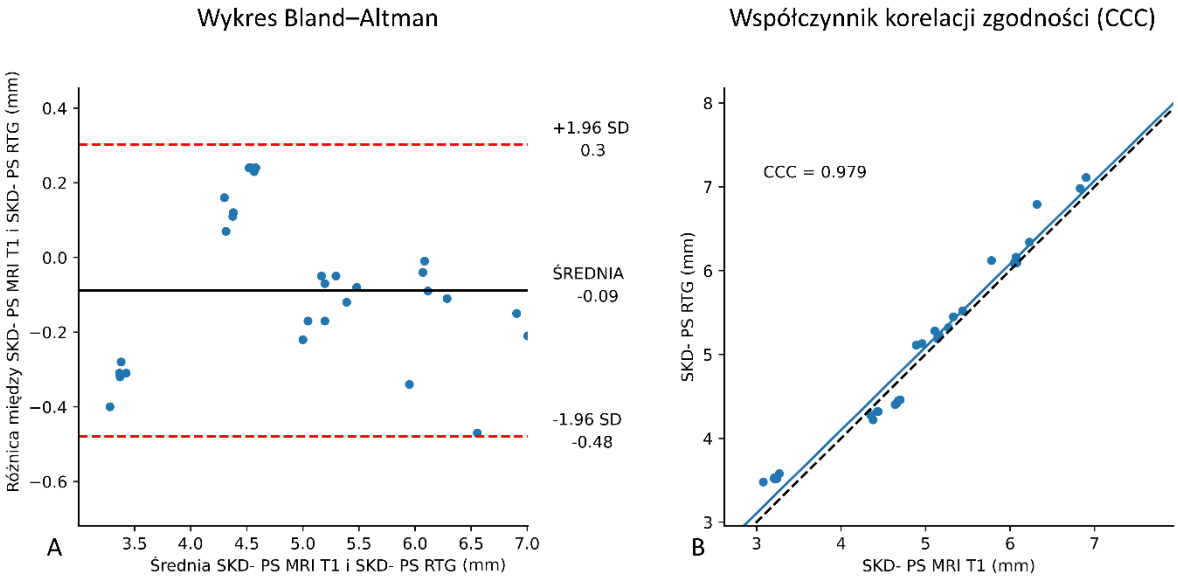
Rycina 16. Porównanie wartości SKP-PC MRI T1 (mm) do SKP- RTG (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie SKP-PC MRI T1 (mm) do SKP- RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między SKP-PC MRI T1 (mm) i SKP- RTG (mm).



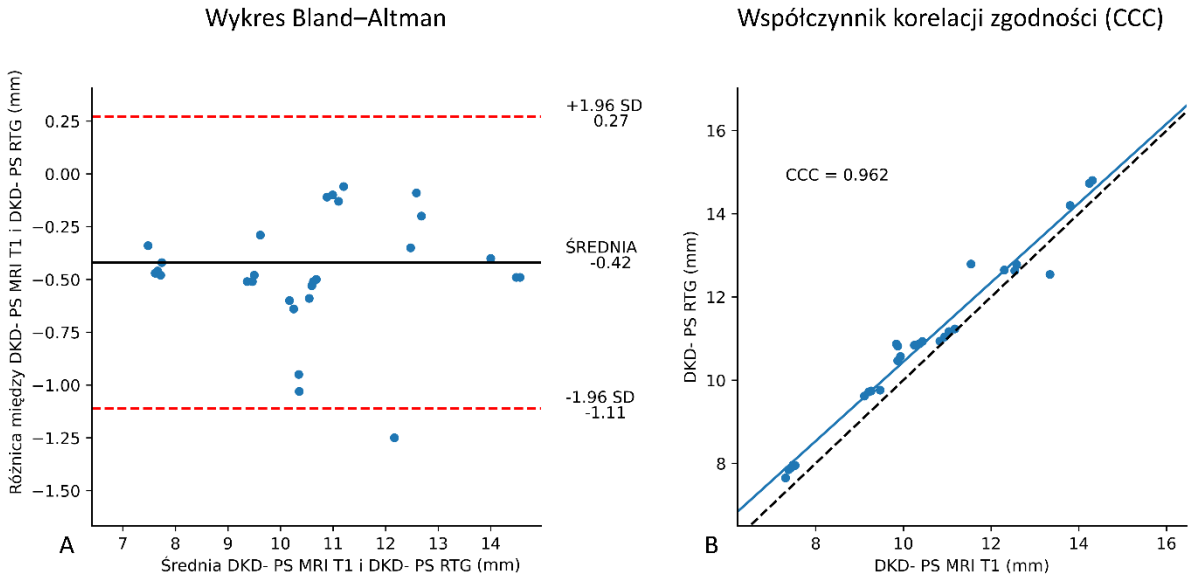
Rycina 17. Porównanie wartości DKP-PC MRI T1 (mm) do DKP- RTG (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie DKP-PC MRI T1 (mm) do DKP- RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między DKP-PC MRI T1 (mm) i DKP- RTG (mm).



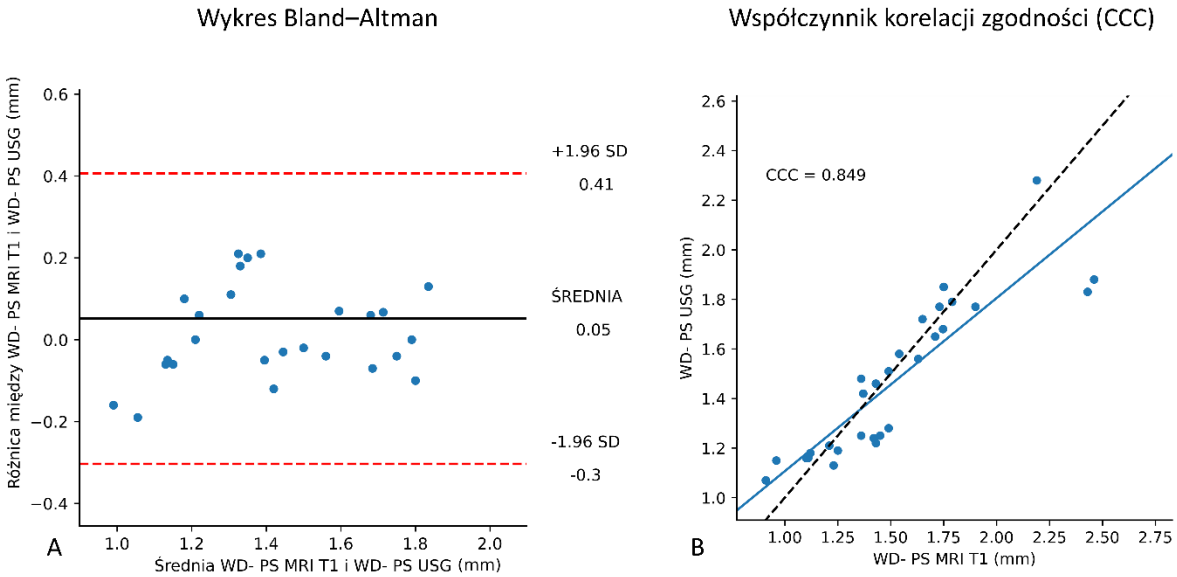
Rycina 18. Porównanie wartości SKP-PS MRI T1 (mm) do SKP- RTG (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie SKP- PS MRI T1 (mm) do SKP- RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między SKP- PS MRI T1 (mm) i SKP- RTG (mm).



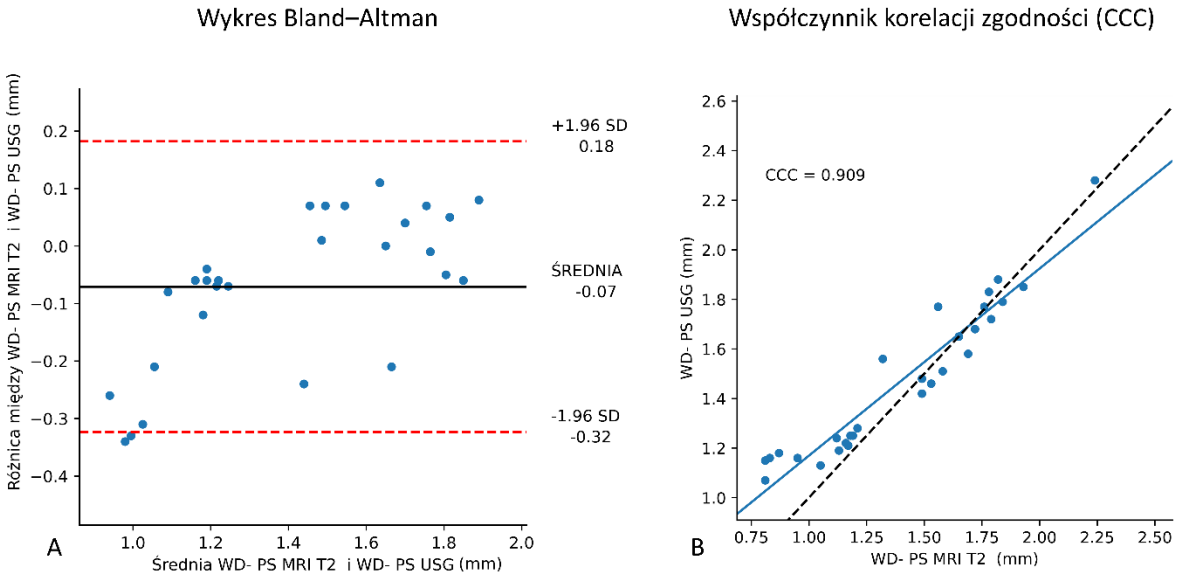
Rycina 19. Porównanie wartości DKD- PS MRI T1 (mm) do DKD- RTG (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie DKD- PS MRI T1 (mm) do DKD- RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między DKD- PS MRI T1 (mm) i DKD- RTG (mm).



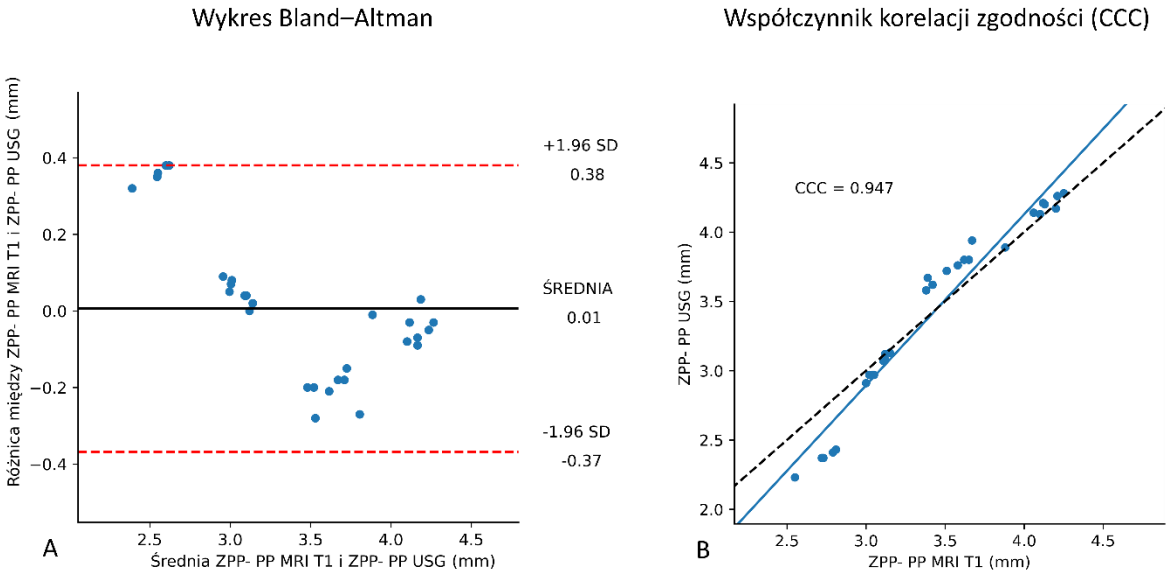
Rycina 20. Porównanie wartości WD- PS MRI T1 (mm) do WD- USG PS (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie WD- PS MRI T1 (mm) do WD- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między WD- PS MRI T1 (mm) i WD- USG PS (mm).



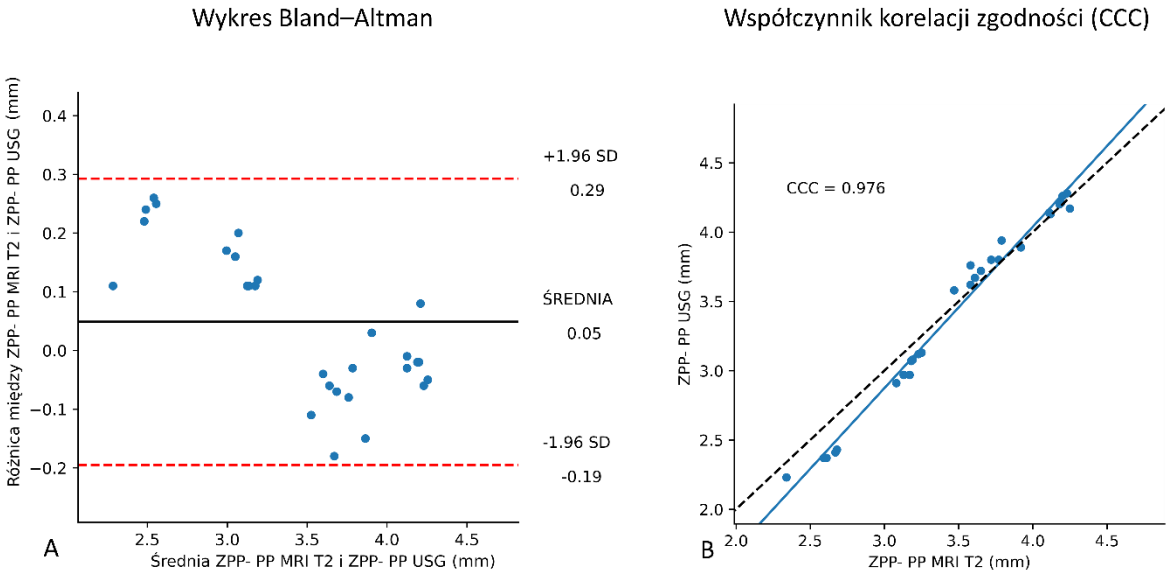
Rycina 21. Porównanie wartości WD- PS MRI T2 (mm) do WD- USG PS (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie WD- PS MRI T2 (mm) do WD- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T2 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między WD- PS MRI T2 (mm) i WD- USG PS (mm).



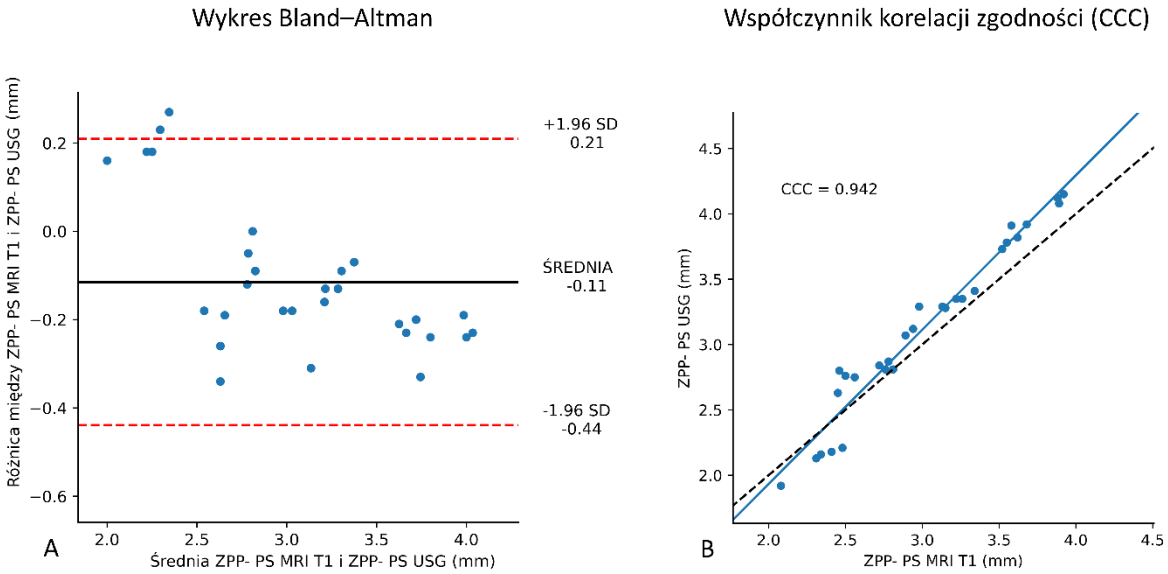
Rycina 22. Porównanie wartości ZPP- PP MRI T1 (mm) do ZPP- USG PP (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PP MRI T1 (mm) do ZPP- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PP MRI T1 (mm) i ZPP- USG PP (mm).



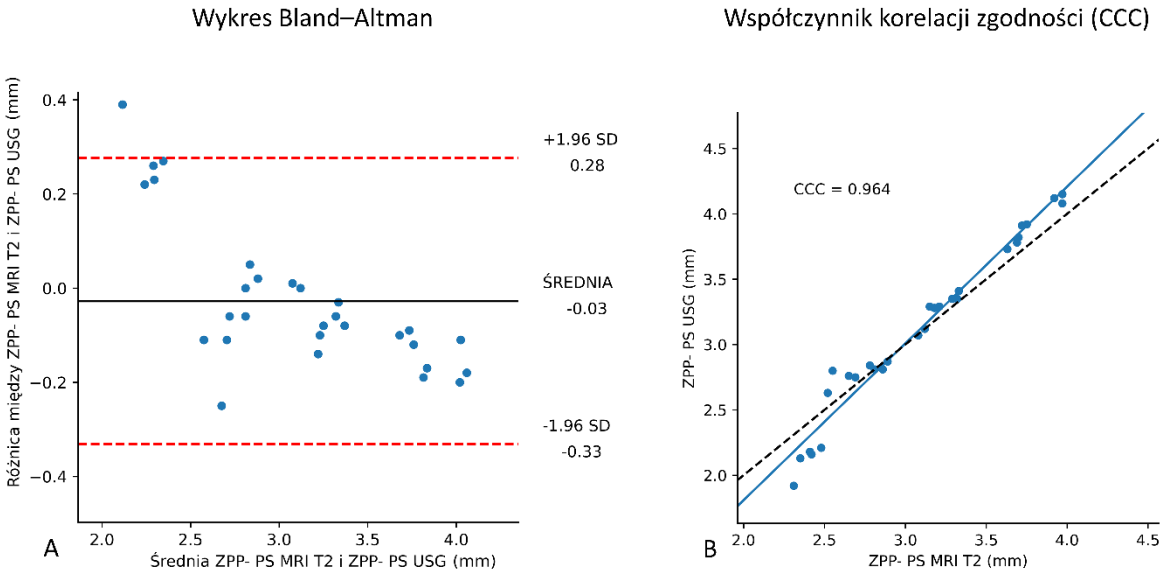
Rycina 23. Porównanie wartości ZPP- PP MRI T2 (mm) do ZPP- USG PP (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PP MRI T2 (mm) do ZPP- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T2 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PP MRI T2 (mm) i ZPP- USG PP (mm).



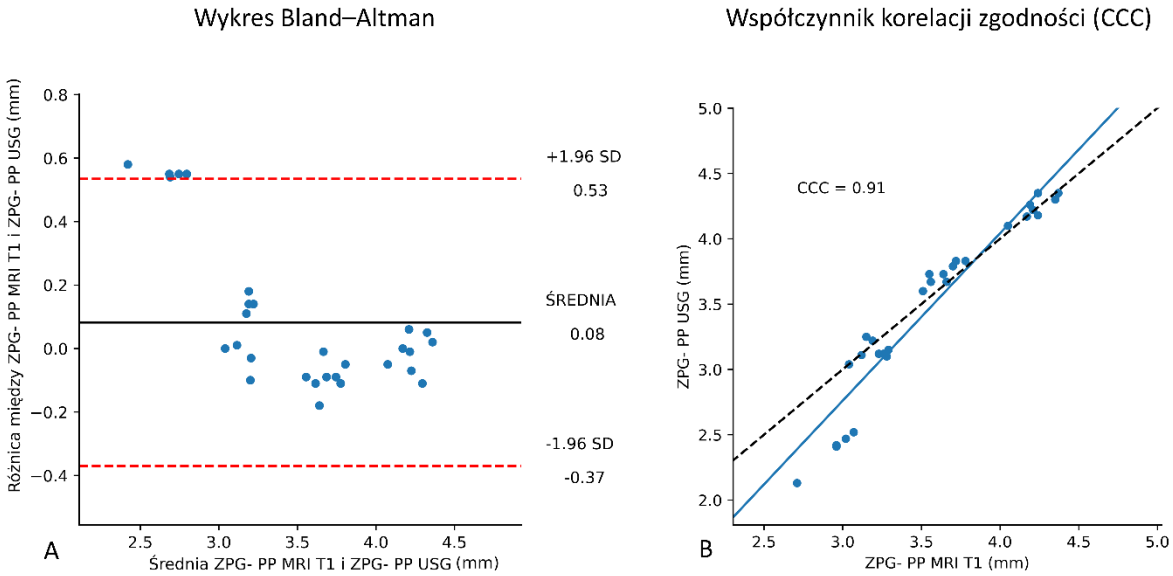
Rycina 24. Porównanie wartości ZPP- PS MRI T1 (mm) do ZPP- USG PS (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PS MRI T1 (mm) do ZPP- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PS MRI T1 (mm) i ZPP- USG PS (mm).



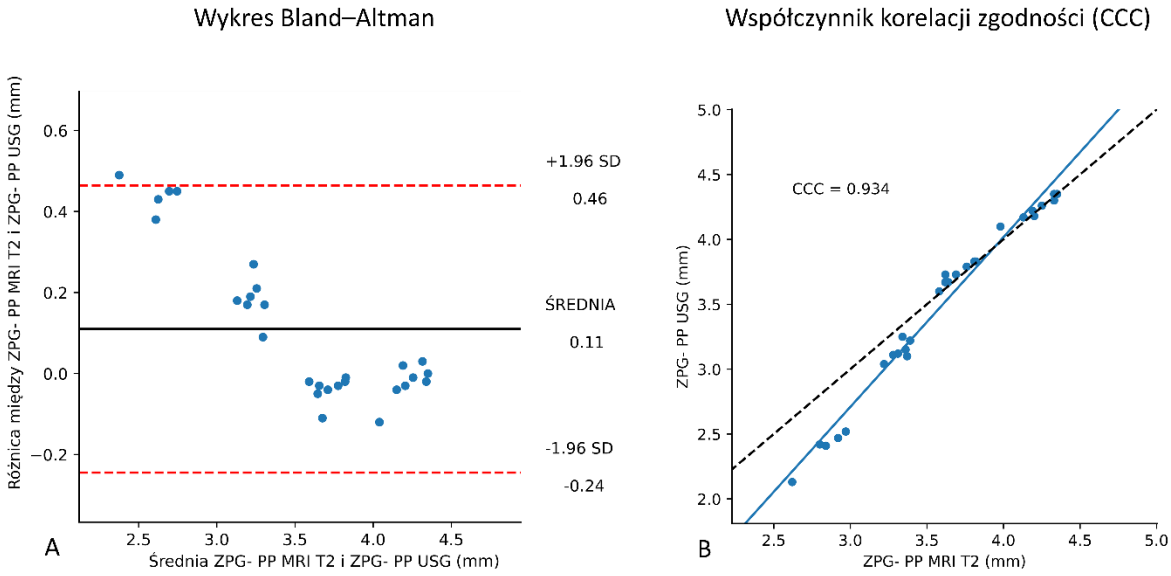
Rycina 25. Porównanie wartości ZPP- PS MRI T2 (mm) do ZPP- USG PS (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PS MRI T2 (mm) do ZPP- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T2 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PS MRI T2 (mm) i ZPP- USG PS (mm).



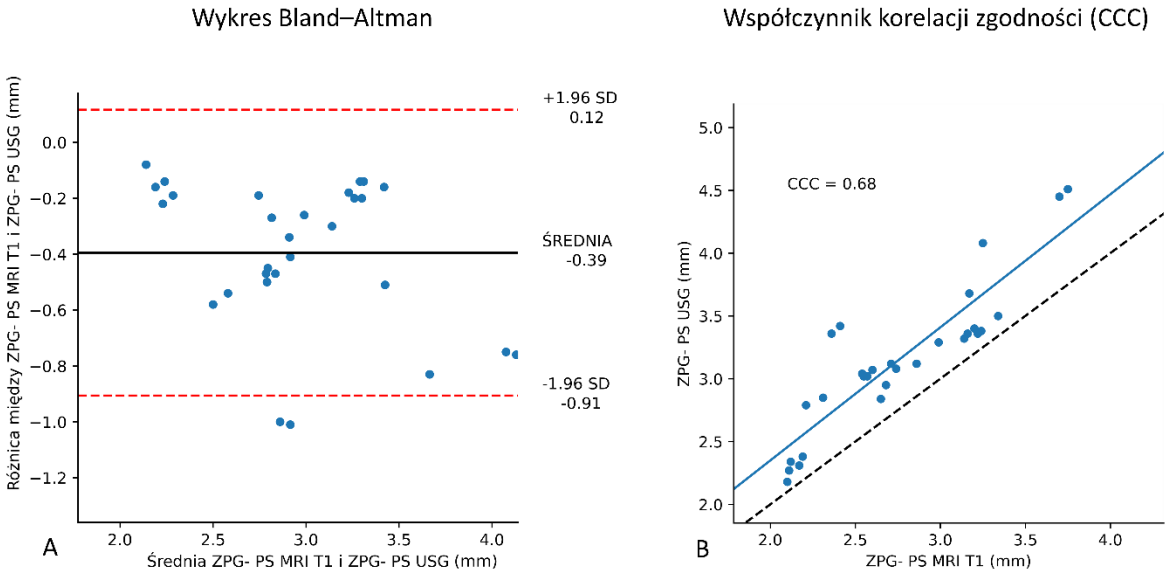
Rycina 26. Porównanie wartości ZPG- PP MRI T1 (mm) do ZPG- USG PP (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PP MRI T1 (mm) do ZPG- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PP MRI T1 (mm) i ZPG- USG PP (mm).



Rycina 27. Porównanie wartości ZPG- PP MRI T2 (mm) do ZPG- USG PP (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PP MRI T2 (mm) do ZPG- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T2 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PP MRI T2 (mm) i ZPG- USG PP (mm).



Rycina 28. Porównanie wartości ZPG- PS MRI T1 (mm) do ZPG- USG PS (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PS MRI T1 (mm) do ZPG- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T1 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PS MRI T1 (mm) i ZPG- USG PS (mm).



Rycina 29. Porównanie wartości ZPG- PS MRI T2 (mm) do ZPG- USG PS (mm). A) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PS MRI T2 (mm) do ZPG- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (MRI T2 i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. B) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PS MRI T2 (mm) i ZPG- USG PS (mm).

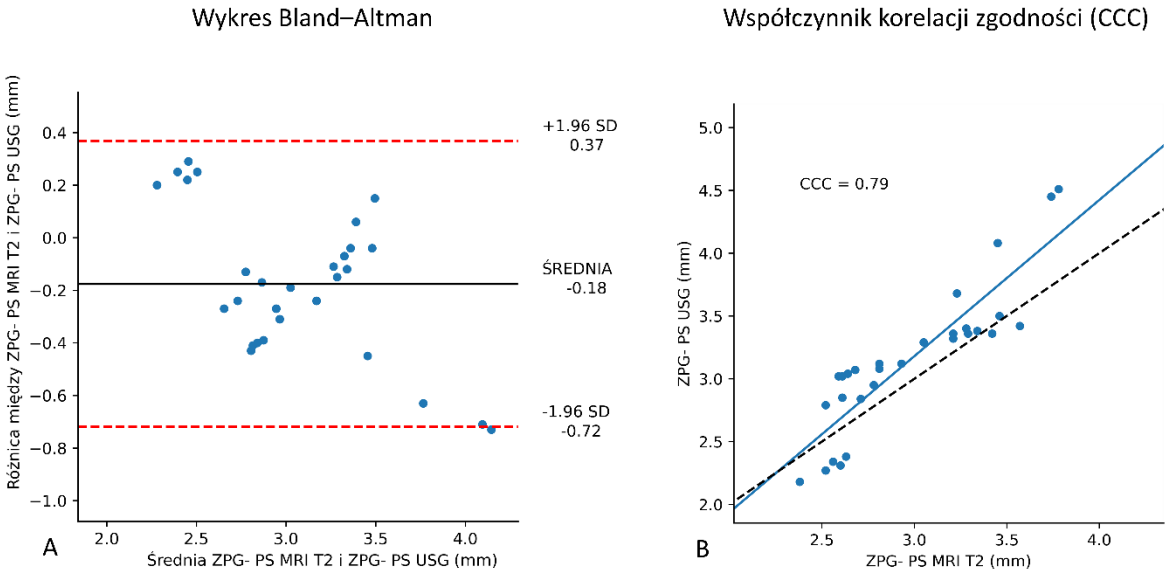


Tabela 5. Parametry regresji liniowej i wartości R-kwadrat dla modeli pomiarów wybranych struktur stawu nadgarstkowego psa w zależności od masy ciała i wymiarów kończyny piersiowej

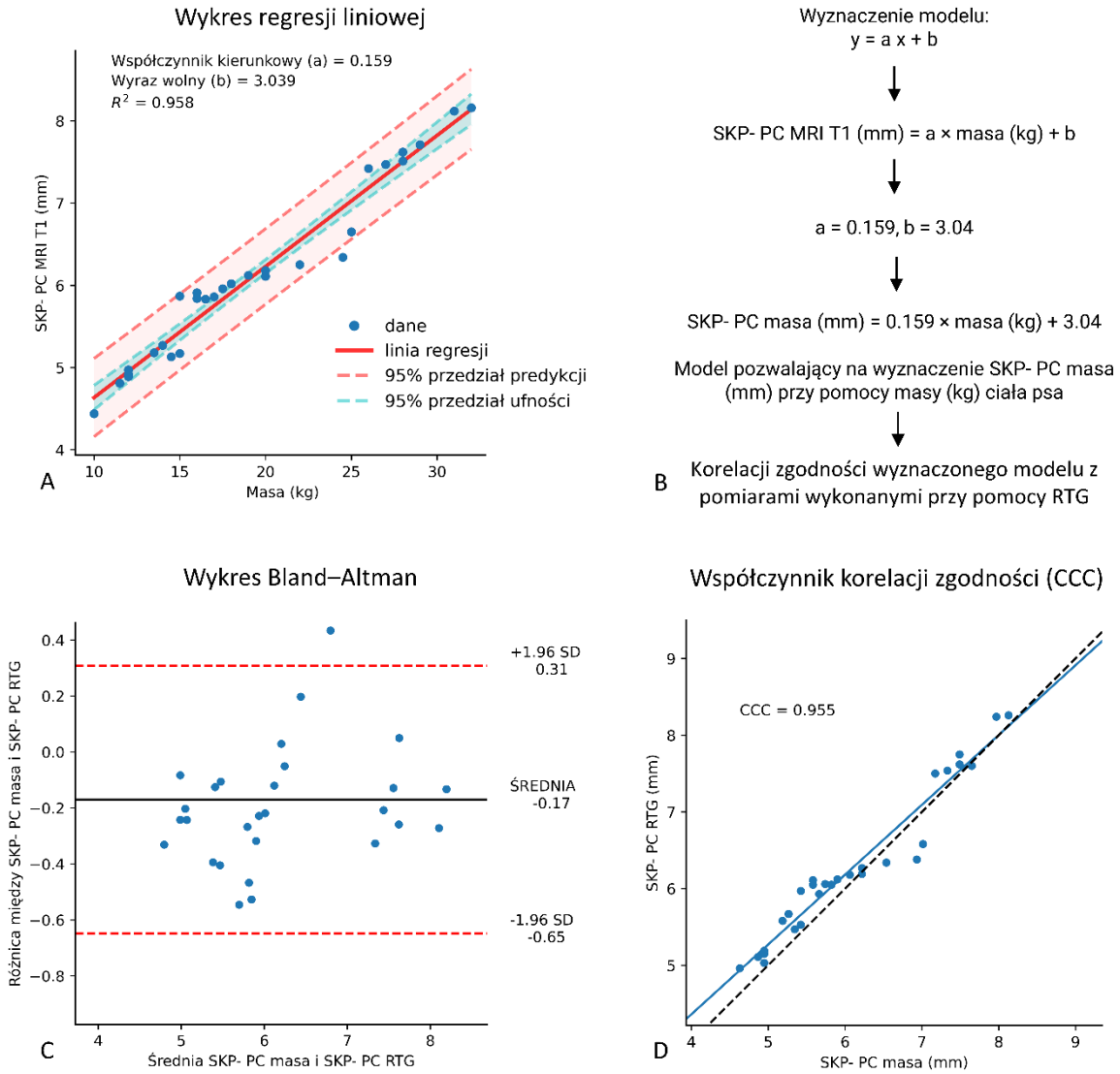
	Masa ciała			Obwód stawu nadgarstkowego			Długość od stawu nadgarstkowego do guza łokciowego			Długość od palców do stawu nadgarstkowego			Długość od palców do guza łokciowego		
	(kg)			(mm)			(mm)			(mm)			(mm)		
	int	coef	R^2	int	coef	R^2	int	coef	R^2	int	coef	R^2	int	coef	R^2
SKP-PC MRI T1 (mm)	3,039	0,159	0,958	1,015	0,043	0,92	1,238	0,016	0,944	0,57	0,042	0,952	1,858	0,025	0,882
DKP-PC MRI T1 (mm)	6,054	0,414	0,958	0,639	0,113	0,942	1,421	0,042	0,938	-0,29	0,108	0,943	3	0,064	0,879
SKD- PS MRI T1 (mm)	1,874	0,159	0,919	-0,291	0,044	0,931	0,211	0,016	0,855	-0,527	0,041	0,891	0,815	0,024	0,798
DKD- PS MRI T1 (mm)	4,63	0,301	0,924	0,875	0,081	0,874	1,289	0,03	0,898	0,08	0,078	0,898	2,432	0,047	0,843
WD- PP MRI T1 (mm)	0,448	0,079	0,897	-0,63	0,022	0,912	-0,339	0,008	0,808	-0,718	0,02	0,853	-0,032	0,012	0,745
WD- PP MRI T2 (mm)	0,512	0,077	0,939	-0,511	0,021	0,937	-0,257	0,007	0,85	-0,614	0,02	0,89	0,051	0,011	0,776
WD- PS MRI T1 (mm)	0,479	0,054	0,833	-0,247	0,015	0,837	-0,188	0,006	0,878	-0,335	0,014	0,807	0,021	0,009	0,829
WD- PS MRI T2 (mm)	0,46	0,049	0,676	-0,268	0,014	0,744	0,058	0,004	0,54	-0,267	0,013	0,65	0,295	0,006	0,449

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

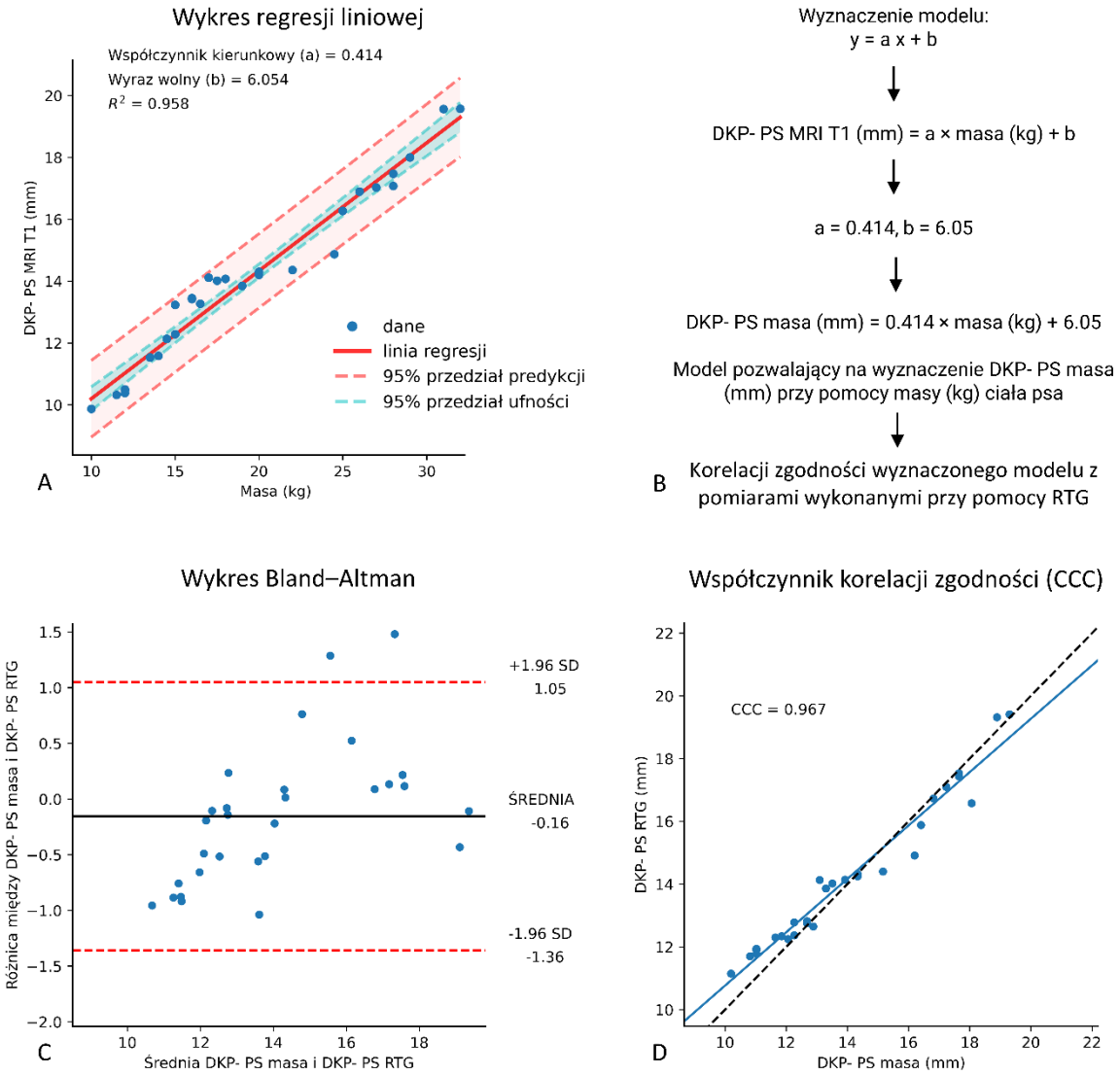
	Masa ciała			Obwód stawu nadgarstkowego			Długość od stawu nadgarstkowego do guza łokciowego			Długość od palców do stawu nadgarstkowego			Długość od palców do guza łokciowego		
	(kg)			(mm)			(mm)			(mm)			(mm)		
	int	coef	R^2	int	coef	R^2	int	coef	R^2	int	coef	R^2	int	coef	R^2
ZPP- PP MRI T1 (mm)	1,904	0,079	0,957	0,871	0,022	0,943	1,123	0,008	0,861	0,709	0,02	0,935	1,456	0,011	0,771
ZPP- PP MRI T2 (mm)	1,867	0,083	0,909	0,735	0,023	0,927	1,097	0,008	0,784	0,623	0,021	0,88	1,445	0,012	0,699
ZPP- PS MRI T1 (mm)	1,447	0,081	0,95	0,384	0,022	0,939	0,63	0,008	0,866	0,233	0,021	0,921	0,978	0,012	0,773
ZPP- PS MRI T2 (mm)	1,548	0,08	0,95	0,475	0,022	0,953	0,74	0,008	0,865	0,319	0,021	0,938	1,087	0,012	0,77
ZPG- PP MRI T1 (mm)	2,113	0,075	0,964	1,141	0,02	0,944	1,358	0,007	0,878	0,98	0,019	0,941	1,672	0,011	0,79
ZPG- PP MRI T2 (mm)	2,147	0,074	0,937	1,152	0,021	0,938	1,418	0,007	0,835	1,016	0,019	0,916	1,729	0,011	0,75
ZPG- PS MRI T1 (mm)	1,389	0,071	0,909	0,434	0,02	0,917	0,632	0,007	0,862	0,346	0,018	0,865	0,911	0,011	0,797
ZPG- PS MRI T2 (mm)	2	0,051	0,64	1,443	0,013	0,551	1,442	0,005	0,62	1,291	0,013	0,583	1,617	0,008	0,596

Modele regresji liniowej przedstawione w tabeli są istotne na poziomie P<0,01, ZPP- średnica ścięgna mięśnia zginacza palców powierzchownego; ZPG- średnica ścięgna mięśnia zginacza palców głębokiego; SKP- szerokość kości pośrodkowo-promieniowej; DKP- długość kości pośrodkowo-promieniowej; WD- średnica więzadła dodatkowo-śródręcznego; SKD- szerokość kości nadgarstka dodatkowej; DKD- długość kości nadgarstka dodatkowej; PP- płaszczyzna poprzeczna; PS- płaszczyzna strzałkowa; PC- płaszczyzna czołowa

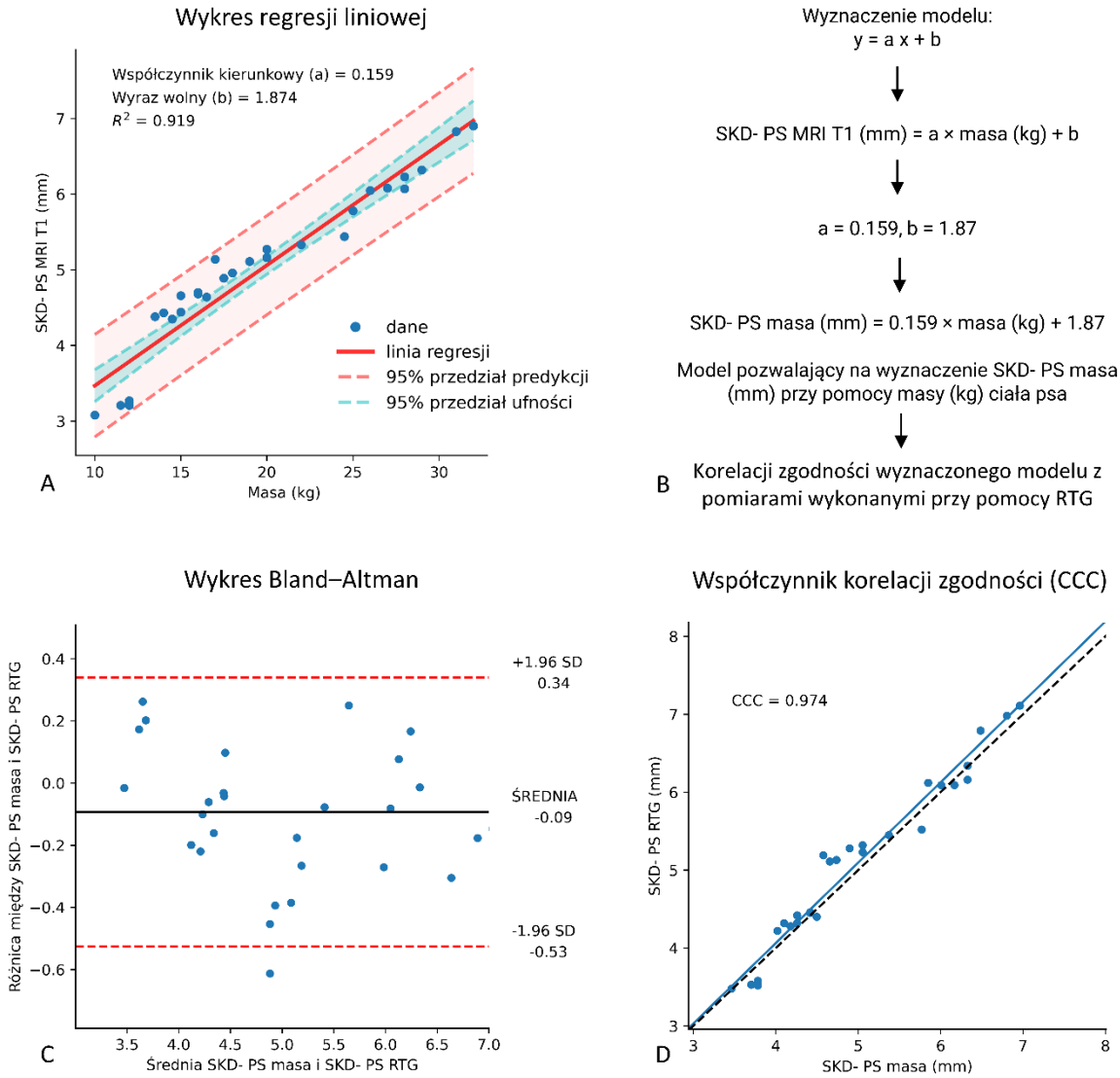
Rycina 30. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego SKP-PC masa, który pozwala na wyznaczenie wartości SKP-PC (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami SKP-PC MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów SKP-PC masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów SKP-RTG. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie SKP-PC masa (mm) do SKP-RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między SKP-PC masa (mm) i SKP- RTG (mm).



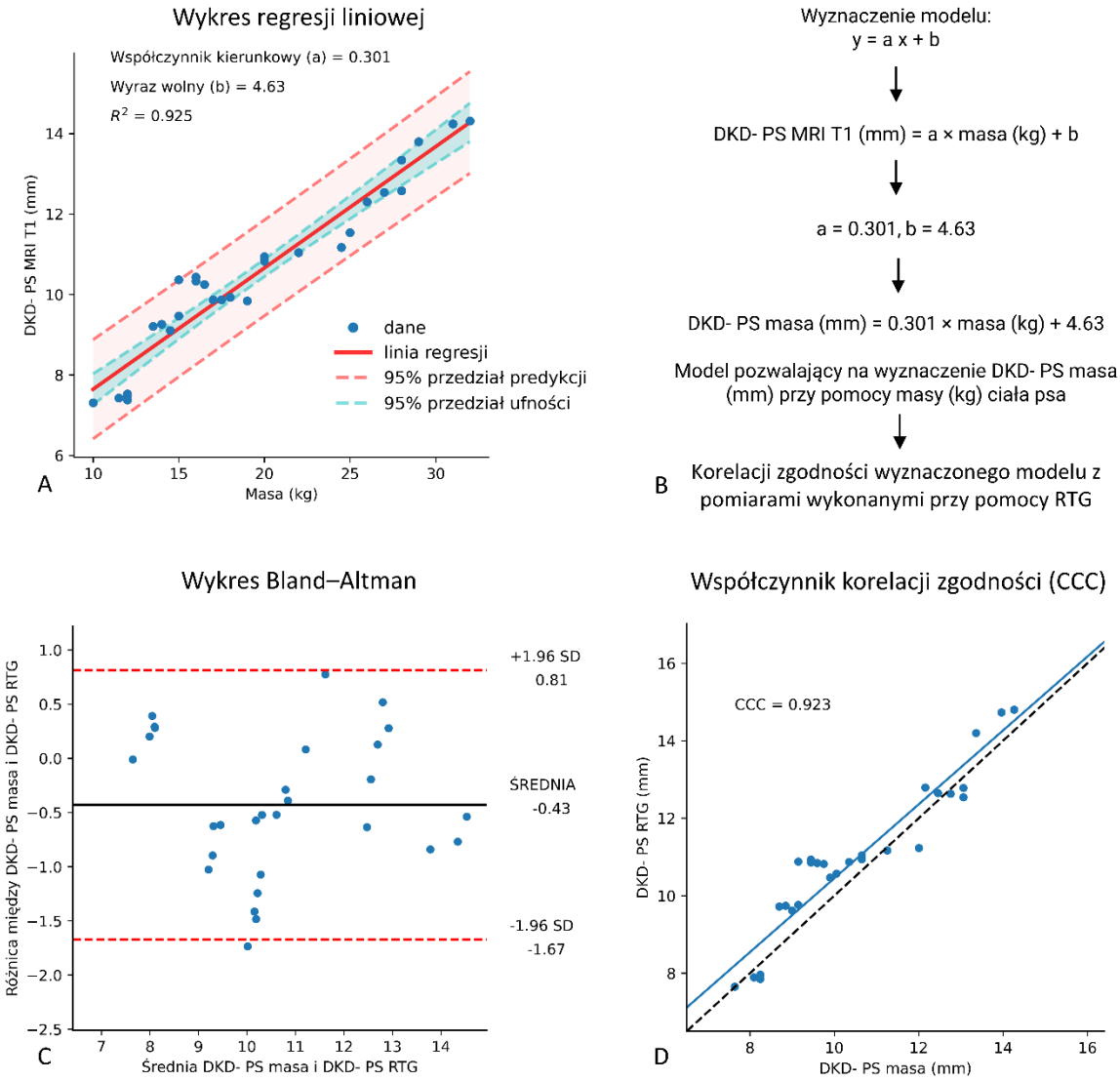
Rycina 31. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego DKP-PC masa, który pozwala na wyznaczenie wartości DKP-PC (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami DKP-PC MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów DKP-PC masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów DKP-RTG. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie DKP-PC masa (mm) do DKP-RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między DKP-PC masa (mm) i DKP- RTG (mm).



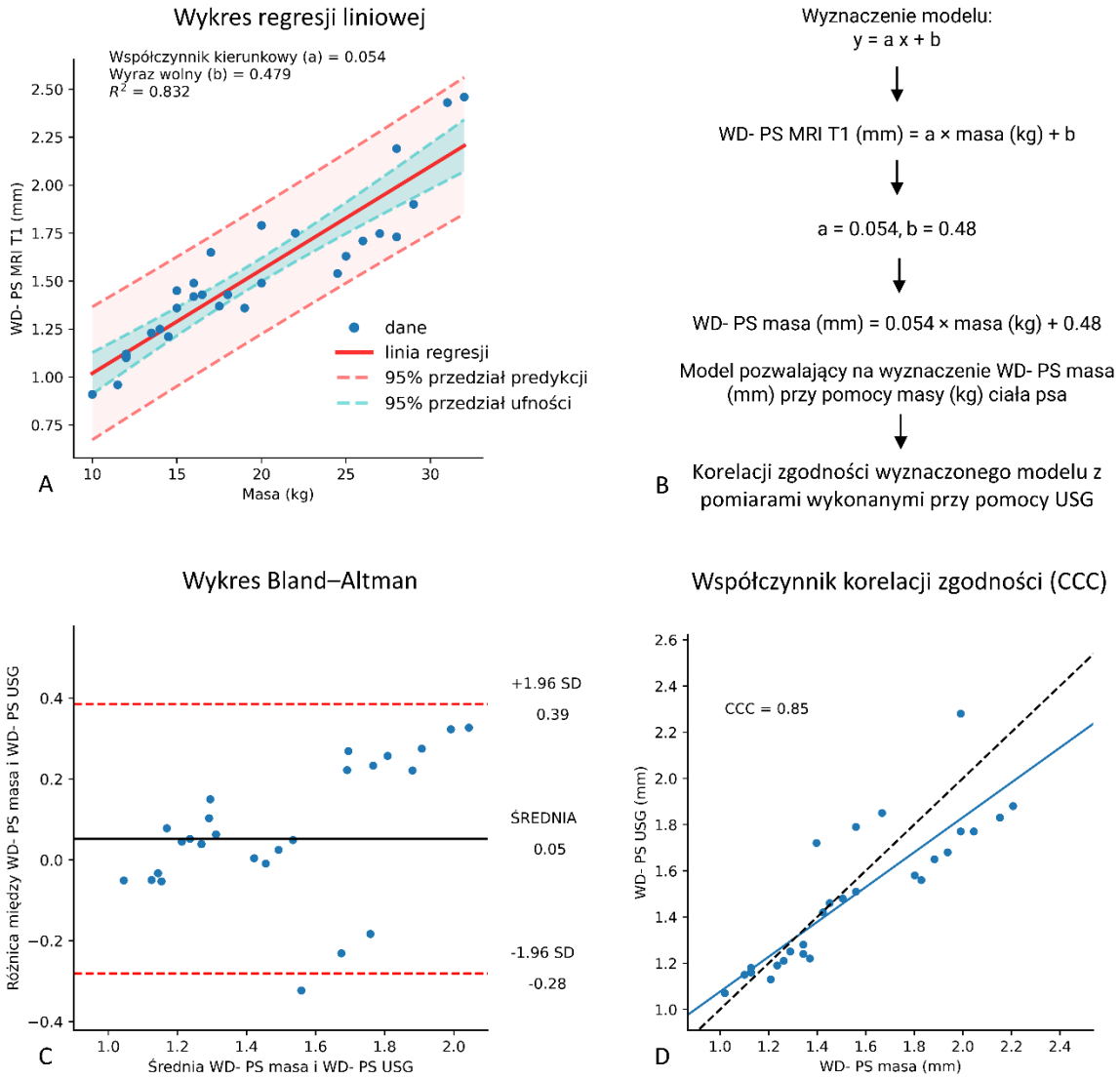
Rycina 32. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego SKD- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości SKD- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami SKD- PS MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów SKD- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów SKD- RTG. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie SKD- PS masa (mm) do SKD- RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między SKD- PS masa (mm) i SKD- RTG (mm).



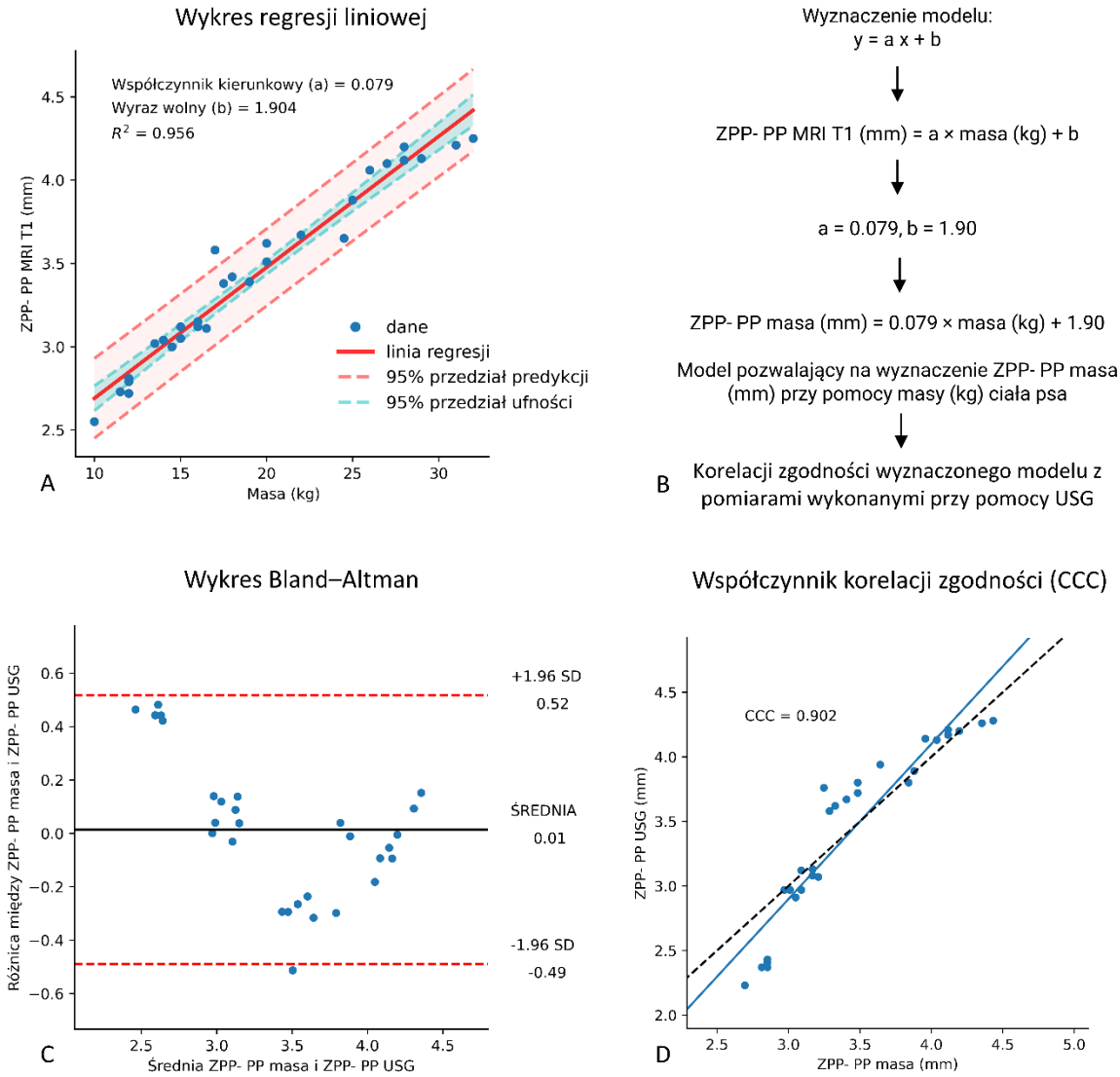
Rycina 33. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego DKD- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości DKD- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami DKD- PS MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów DKD- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów DKD- RTG. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie DKD- PS masa (mm) do DKD- RTG (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i RTG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między DKD- PS masa (mm) i DKD- RTG (mm).



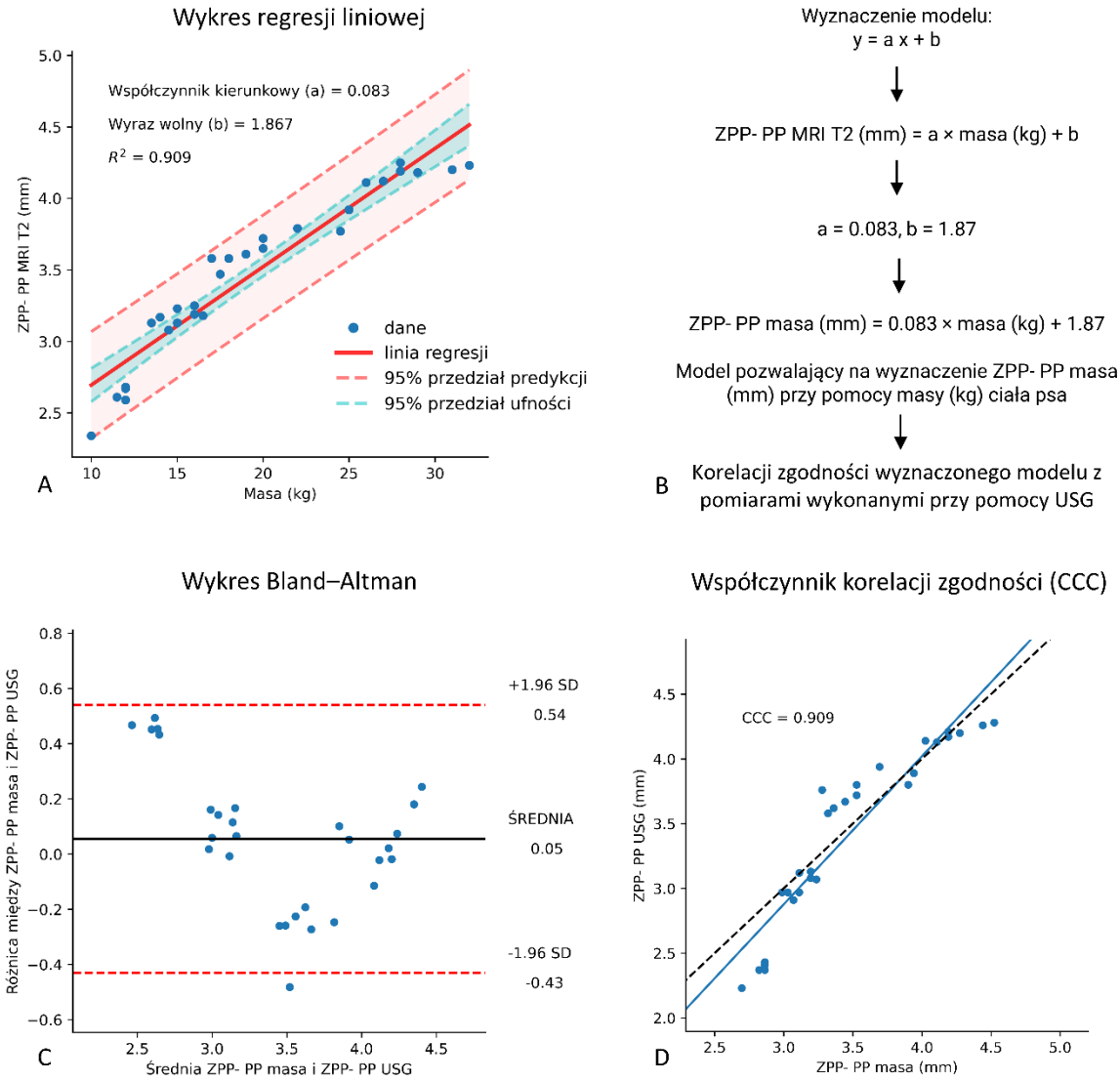
Rycina 34. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego WD- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości WD- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami WD- PS MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów WD- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów WD- USG PS. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie WD- PS masa (mm) do WD- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między WD- PS masa (mm) i WD- USG PS (mm).



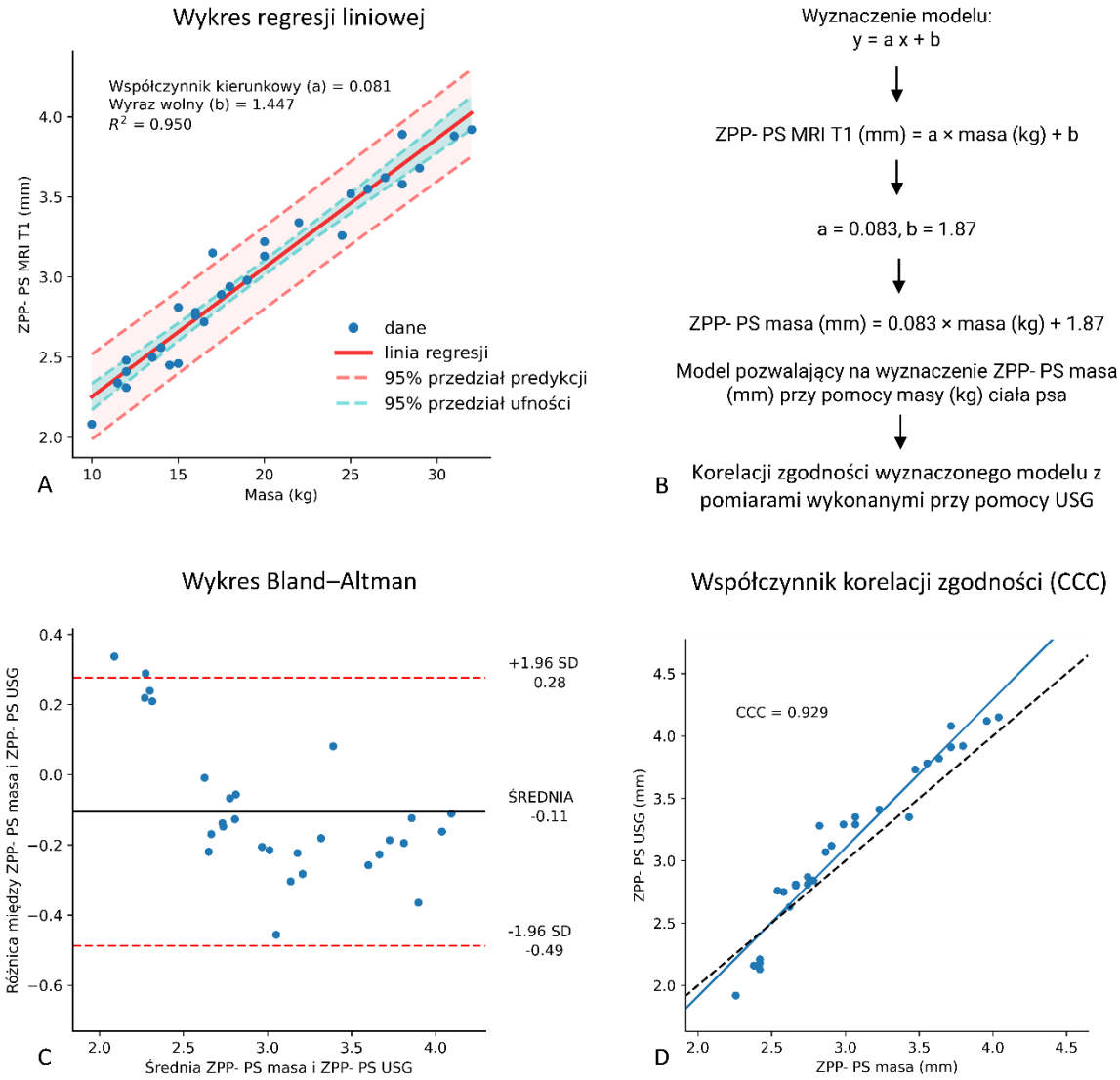
Rycina 35. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPP- PP masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPP- PP (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPP- PP MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPP- PP masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPP- USG PP. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PP masa (mm) do ZPP- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USG), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PP masa (mm) i ZPP- USG PP (mm).



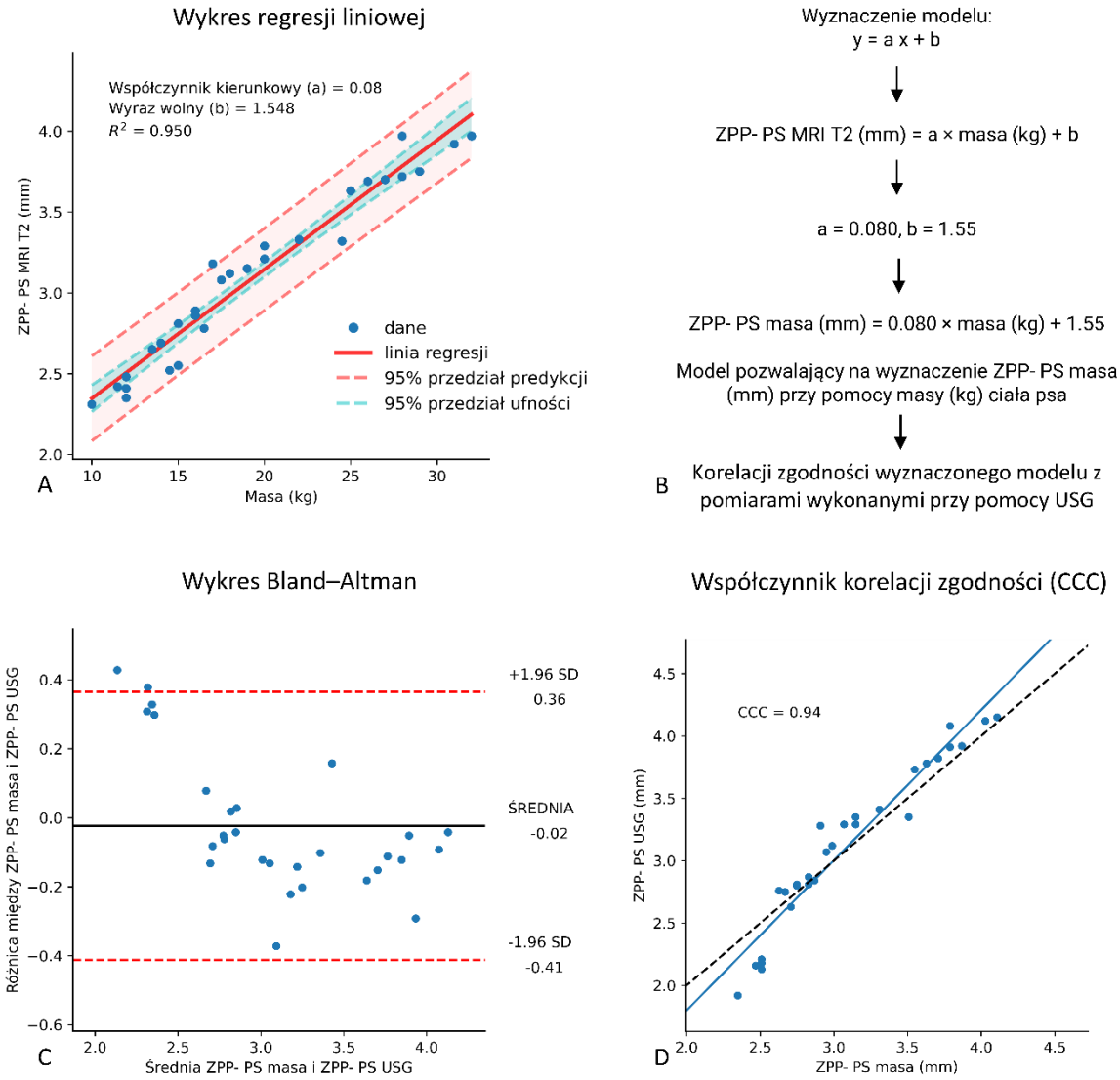
Rycina 36. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPP- PP masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPP- PP (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPP- PP MRI T2 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPP- PP masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPP- USG PP. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PP masa (mm) do ZPP- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PP masa (mm) i ZPP- USG PP (mm).



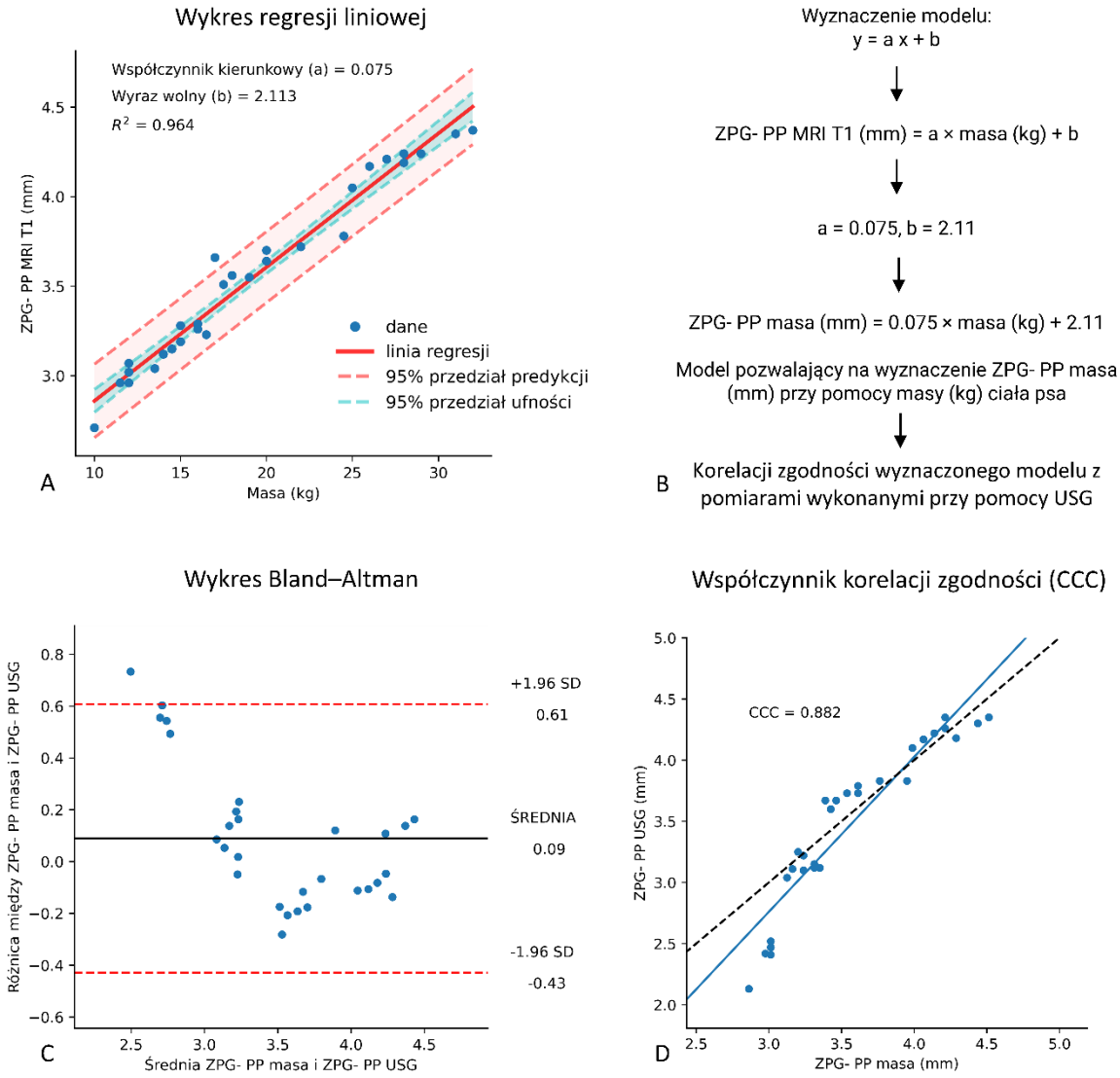
Rycina 37. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPP- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPP- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPP- PS MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPP- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPP- USG PS. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PS masa (mm) do ZPP- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PS masa (mm) i ZPP- USG PS (mm).



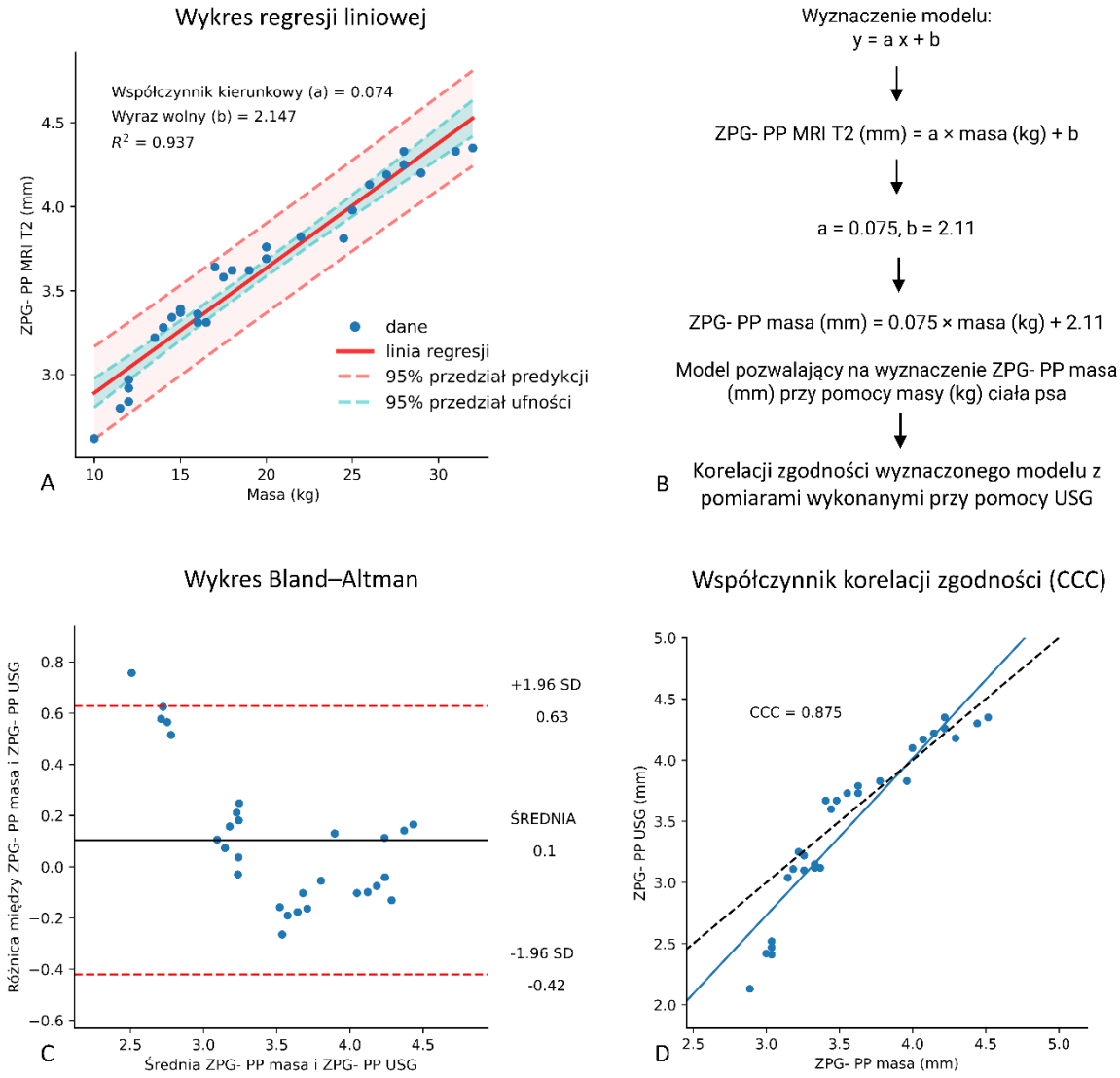
Rycina 38. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPP- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPP- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPP- PS MRI T2 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPP- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPP- USG PS. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPP- PS masa (mm) do ZPP- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPP- PS masa (mm) i ZPP- USG PS (mm).



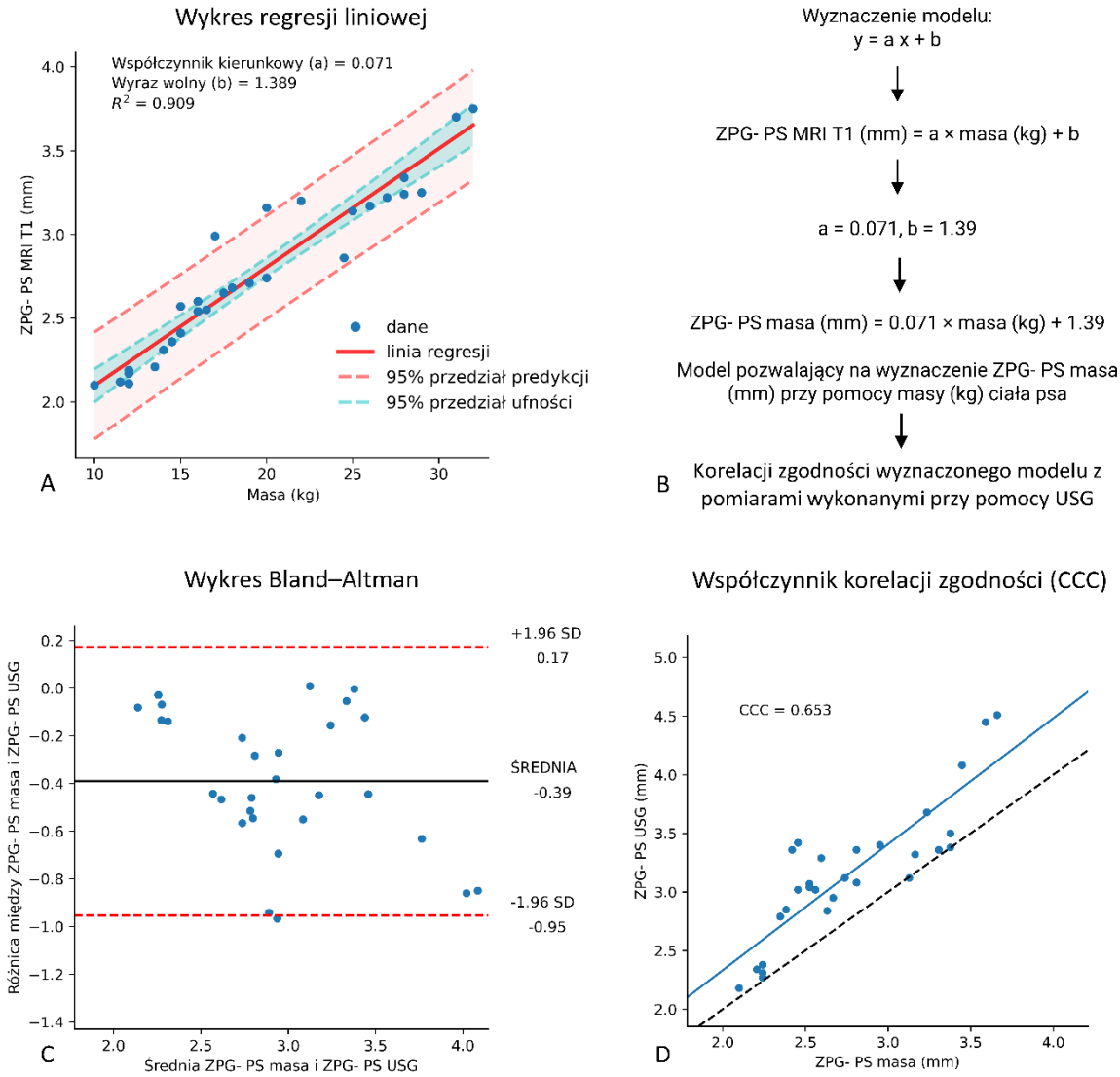
Rycina 39. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPG- PP masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPG- PP (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPG- PP MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPG- PP masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPG- USG PP. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PP masa (mm) do ZPG- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PP masa (mm) i ZPG- USG PP (mm).



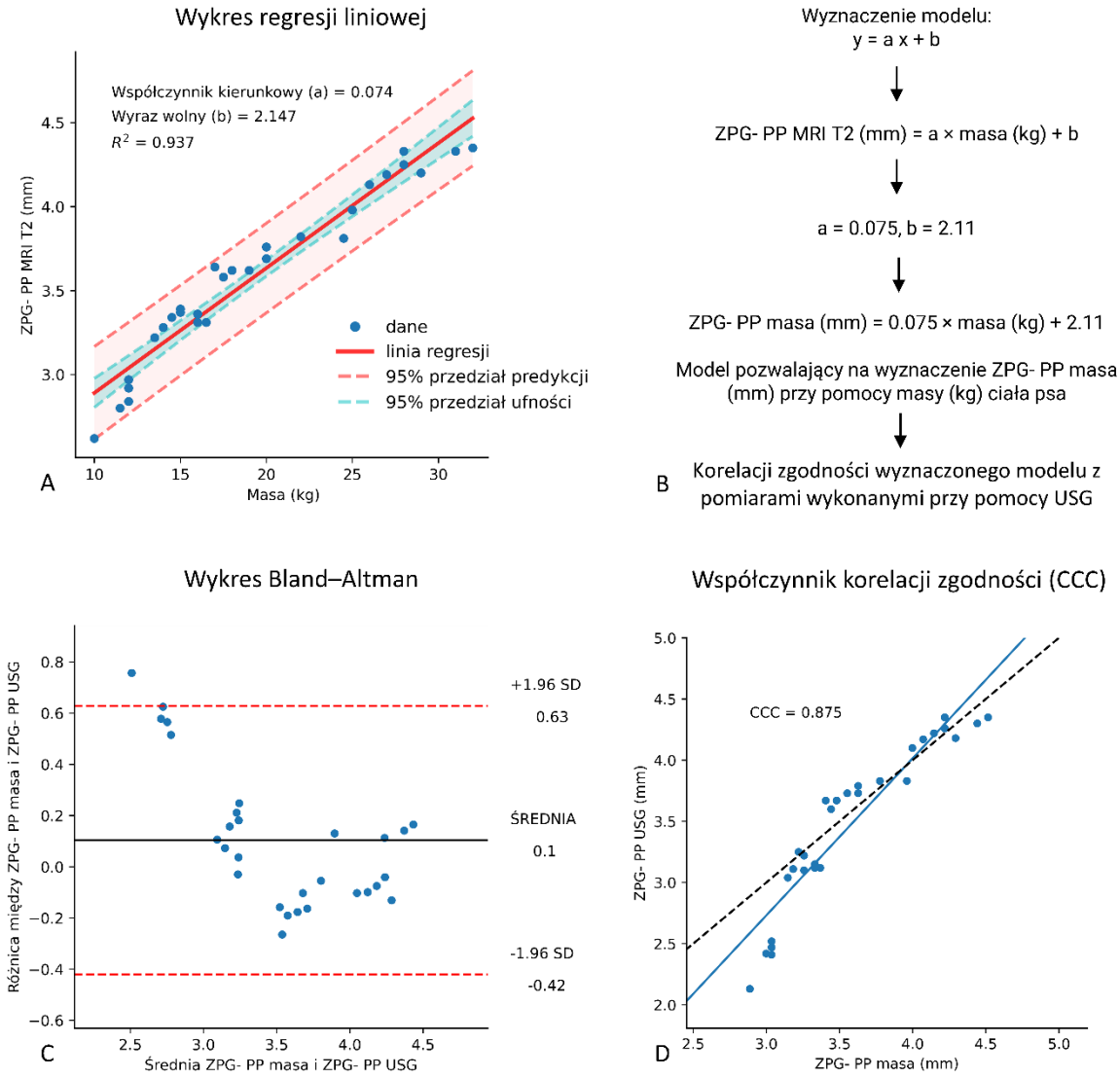
Rycina 40. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPG- PP masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPG- PP (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPG- PP MRI T2 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPG- PP masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPG- USG PP. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PP masa (mm) do ZPG- USG PP (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PP masa (mm) i ZPG- USG PP (mm).



Rycina 41. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPG- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPG- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPG- PS MRI T1 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPG- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPG- USG PS. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPG- PS masa (mm) do ZPG- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PS masa (mm) i ZPG- USG PS (mm).



Rycina 42. Opis powstawania oraz walidacja modelu liniowego ZPG- PS masa, który pozwala na wyznaczenie wartości ZPG- PS (mm) na podstawie masy ciała psa (kg). A) Wykres regresji liniowej prezentuje relację między dwiema zmiennymi: masą ciała psa (kg) na osi X i wymiarami ZPG- PS MRI T2 (mm) na osi Y. B) Model regresji liniowej jest następnie użyty do predykcji wymiarów ZPG- PS masa dla każdego z psów biorących udział w doświadczeniu. Model następnie jest walidowany przy pomocy pomiarów ZPG- USG PS. C) Wykres Bland-Altman prezentuje porównanie ZPD- PS masa (mm) do ZPG- USG PS (mm) oraz pozwala na ocenę zgodności między pomiarami. Na osi X wykresu znajduje się średnia pomiarów z obu metod (Model liniowy- masa i USB), natomiast na osi Y znajduje się różnica między pomiarami. D) Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między ZPG- PS masa (mm) i ZPG- USG PS (mm).



7. Dyskusja

Diagnostyka obrazowa to szerokie pojęcie obejmujące metody takie jak radiografia, ultrasonografia, tomografia komputerowa (CT) i rezonans magnetyczny (MR). Stanowi istotną część diagnostyki i leczenia kulawizn u małych zwierząt. Dzięki tym metodom lekarz weterynarii może potwierdzić swoją diagnozę, określić i udokumentować miejsca uszkodzeń, ocenić zakres i prześledzić daną chorobę. Dodatkowo znacznie ułatwiają zaproponowanie i zaplanowanie leczenia operacyjnego oraz rehabilitacji. Metody obrazowania są istotną częścią diagnozy urazów i chorób stawu nadgarstkowego u psów i ludzi. Niestety zastosowanie tych narzędzi do obrazowania struktur nadgarstka u psów nie są tak powszechne i rozwinięte jak w medycynie człowieka. W niniejszej pracy podjęto próbę ustalenia schematu wizualizacji wybranych struktur stawu nadgarstkowego za pomocą niskopolowego MRI oraz ultrasonografii. Dodatkowo dzięki wykonanym pomiarom powstał model wybranych struktur nadgarstka, który może wpłynąć na dokładniejszy i szybszy proces diagnostyczny chorób i urazów na terenie stawu. Rezultatem pracy jest model liniowy pozwalający na wyznaczanie rozmiaru kości, ścięgna lub więzadła na podstawie masy ciała psa. Jest to pierwsze badanie, w którym na podstawie pomiarów zwierzęcia oraz struktur na obrazach RTG, MRI i USG stworzono model pozwalający określić fizjologiczny rozmiar danej struktury anatomicznej stawu.

Obrazy radiologiczne pozwalają na uzyskanie szybkiej i precyzyjnej informacji morfologicznej o lokalizacji zmiany powodującej kulawiznę po badaniu fizykalnym (Hoskinson i Tucker, 2001). Jest to najczęściej stosowana metoda w diagnostyce urazów nadgarstka ze względu na szybkość jej wykonania i powszechną dostępność aparatury RTG. Standardowe projekcje radiologiczne stawu nadgarstkowego to grzbietowo-

dłoniowa i boczna. Radiogramy wykonywane w zgięciu stawu, wyprostowane i odwiedzione są wymagane, gdy podstawowe projekcje nie pokazują odchyleń, na przykład przy podejrzeniu złamania kości nadgarstka dodatkowej (Vaughan, 1985a). Autorka pracy wykorzystała do pomiarów radiogramy w standardowych projekcjach, ponieważ grupa badanych zwierząt była pozbawiona objawów patologicznych. Najczęstszymi urazami wykrywanymi na zdjęciach rentgenowskich są złamania i zwichnięcia kości nadgarstka. Ta metoda obrazowania również sprawdza się często podczas diagnozowania pierwotnych guzów kości, takich jak kostniakomięsak. Jest to najczęściej występujący nowotwór kości u psów, a jedną z jego lokalizacji w kończynie przedniej jest dalsza kość promieniowa, w pobliżu stawu nadgarstkowego. Zmiany wywołane przez ten nowotwór mogą rozprzestrzenić się na struktury stawu nadgarstkowego. Radiografia może być przydatna w obrazowaniu infekcji kości nadgarstka. Ich przyczyną jest najczęściej tło bakteryjne i jest spowodowana bezpośrednią inokulacją, na przykład poprzez ranę otwartą, po ugryzieniu lub po zabiegu chirurgicznym. Zdjęcia radiologiczne stawu nadgarstka psa są również pomocne w diagnostyce chorób, takich jak zmniejszone zmętnienie podchrzęstne, torbiel kostna, obrzęk tkanek miękkich okołostawowych, przemieszczenie lub inkongruencja stawu, entezopatie oraz choroby zwyrodnieniowe stawów. Przykłady wrodzonych wad budowy u psów to koślawe lub szpotawe deformacje nadgarstka (Thrall, 2018).

Zdjęcia radiologiczne obu kończyn piersiowych są podstawą rozpoznania złamań kości pośrodkowo-promieniowej nadgarstka u psów. Uraz ten często objawia się przewlekłą i okresową kulawizną, obrzękiem nadgarstka, bólem manipulacji stawu oraz ograniczeniem zakresu ruchu. Badania wykazały, że możliwe jest wystąpienie stwardnienie kości promieniowej nadgarstka sąsiadującej ze złamaniem oraz choroby zwyrodnieniowej stawów nadgarstka (Tomlin i wsp., 2001). Złamaniu kości

pośrodkowo-promieniowej nadgarstka u psa może towarzyszyć aseptyczna martwica. Na zdjęciach rentgenowskich objawia się ogniskową reakcją okostnową, obrzękiem tkanek miękkich i nieregularnym przyśrodkowym brzegiem stawu nadgarstkowego (Pownder i wsp., 2016). Rozpoznanie aseptycznej martwicy kości promieniowo-środkowej nadgarstka u psów można postawić na podstawie zdjęcia rentgenowskiego, badania histopatologicznego kości oraz obserwowanych objawów klinicznych. Badania opisują plamkowatą osteolizę w obrębie kości promieniowo-środkowej nadgarstka, którą można uwidocznić na zdjęciach rentgenowskich w projekcji grzbietowo-dłoniowej. Autorzy sugerują, że stan ten może być analogiczny do choroby Preisera, czyli idiopatycznej jałowej martwicy kości łódeczkowatej nadgarstka u ludzi (Aiken i wsp., 2013). Opisano również idiopatyczną niedokrwienną martwicę kości dodatkowej nadgarstka. Radiogram lewego stawu nadgarstkowego przedstawiał zmiany ekspansywne i lityczne na terenie kości dodatkowej. Oceny histologiczna próbek z biopsji kości wykazała obszary martwicy kości. Wyniki te były podobne do wcześniej opisanych wyników dotyczących niedokrwiennej martwicy głowy kości udowej u psów i niedokrwiennej martwicy kości grochowatej lub księżycowatej stawu nadgarstkowego u ludzi (Harris i Langley-Hobbs, 2013). Rozpoznanie zwężenia pochewki ścięgna mięśnia odwodziciela długiego kciuka u psów opisano na podstawie radiogramów nadgarstka. Na zdjęciach RTG objawia się większą przeziernością promieniowania rentgenowskiego w miejscu przyśrodkowego rowka na kości promieniowej. proliferacją kanalików kostnych przyśrodkowo-przednio od grzebienia poprzecznego oraz obrzękiem tkanek miękkich w okolicy przyśrodkowej stawu nadgarstkowego (Hittmair i wsp., 2012). Zwichnięcie grzbietowo-przyśrodkowe kości promieniowej nadgarstka u psa można zdiagnozować na podstawie radiogramów. Palierne i wsp. (2008) opisali na radiogramach przyśrodkowe zwichnięcie kości

promieniowej nadgarstka z jej promieniową powierzchnią stawową skierowaną do środka oraz niewielkie złamanie czwartej kości nadgarstka w jej bocznej części dystalnej.

Złamania kości nadgarstka i dalszego końca kości promieniowej są powszechnie diagnozowane u ludzi. Właściwa ocena radiologiczna złamań nadgarstka wymaga doświadczenia i wiedzy chirurga ortopedy. Radiogramy mogą być niewystarczające do stwierdzenia drobnych uszkodzeń kości lub więzadeł. Bardziej zaawansowane metody obrazowania odgrywają zasadniczą rolę w dokładnej diagnostyce zwichnięć i złamań stawu nadgarstkowego u ludzi (Goldfarb i wsp., 2001). W medycynie człowieka opisano diagnostykę radiologiczną urazów kości łódeczkowatej stawu nadgarstkowego, wyrostka rylcowatego kości promieniowej oraz złamań pierwszej kości śródręcza (Terry i Ramin, 1975). Zdjęcia radiologiczne nie są wystarczająco czułą metodą do oceny choroby zwyrodnieniowej stawów nadgarstkowych u ludzi. Ocena radiologiczna jest często ograniczona przez nakładanie się struktur stawu ze względu na jego złożoną budowę (Li i wsp., 2017).

Radiografia jest podstawową metodą wykorzystywaną do oceny struktur kostnych, jednakże ultrasonografia również może być przydatna do identyfikacji osteofitów, uszkodzeń tkanek miękkich otaczających kości i stawy, procesów zapalnych, a także nowotworów kości. Patologie w obrębie stawu takie jak wysięk, zgrubienie i pęknięcie torebki stawowej można z powodzeniem rozpoznać za pomocą ultrasonografii. Badanie to może być dodatkową metodą diagnostyczną różnicowania urazów mięśni lub ścięgien, niestabilności stawu, ropni, ciał obcych, krwiaków, nowotworów tkanek miękkich oraz zapaleń mięśni i ścięgien (Kramer i Gerwing, 1997). Ścięgna i więzadła składają się z wielu ściśle ułożonych równoległych włókien, z tego powodu nieprawidłowości dość łatwo rozpoznać. Na sonogramach widoczne są jako obszary o podniesionej lub obniżonej echogeniczności obecne w jednolitej strukturze. Ta metoda

obrazowania może być również wykorzystana do oceny ilości i charakteru płynu stawowego oraz lokalizacji mineralizacji okołostawowej. Ultrasonografia jest przydatna w dokładnej ocenie okostnej, nowotworów tkanek miękkich naciekających kość oraz sekwestracji kości (Hoskinson i Tucker, 2001).

Z badań wynika, że badanie ultrasonograficzne może być pomocne u psów w różnicowaniu urazów ścięgna lub pochewki ścięgna mięśnia odwodziciela długiego kciuka. Mięsień ten unieruchamia nadgarstek przyśrodkowo i jest przywodzicielem stawu nadgarstka psa. Określenie zawartości płynu, grubości ścięgna oraz obecności mineralizacji w tkance łącznej możliwe jest za pomocą ultrasonografii (Hittmair i wsp., 2012). Badania wykazały, że zapalenie pochewek ścięgien prostowników promieniowych nadgarstka i mięśni prostowników palców wspólnych można wykryć w badaniu ultrasonograficznym. Ta metoda obrazowania była doskonałym uzupełnieniem zdjęć rentgenowskich nadgarstka, które wykazały zwichnięcie przyśrodkowe kości promieniowo-przyśrodkowej nadgarstka oraz niewielkie złamanie czwartej kości nadgarstka (Palierne i wsp., 2008). Przedstawione badania wykazały przydatność badania ultrasonograficznego kanału nadgarstka u psa. Nerw pośrodkowy można zobaczyć jako owalny kształt z jasnymi punktowymi echami podczas badania ultrasonograficznego. Znajduje się również po tylno-przyśrodkowej stronie tętnicy pośrodkowej, co można rozpoznać za pomocą kolorowego Dopplera (Turan i wsp., 2009). Entani i wsp. (2022) jako jedni z pierwszych badaczy podjęli próbę opisania protokołu do ultrasonograficznego oceniania struktur ścięgnistych w obrębie stawu nadgarstkowego. Skupili się również na obrazowaniu ścięgien przebiegających po dłoniowej stronie stawu nadgarstkowego, podobnie jak autorka dysertacji. Autorzy z powodzeniem przeprowadzili wizualną ocenę struktur stawu u psów rasy Border Collie. Badanie podkreśla znaczenie poszerzania wiedzy na temat struktur stawu nadgarstkowego

zaangażowanych podczas wykonywania pracy lub uprawiania sportu przez psy niektórych ras. Bowiem są one szczególnie narażone na urazy ścięgien i więzadeł w obrębie stawu nadgarstkowego. Franini i Entani (2022) opisali przypadki psów sportowych, u których zdiagnozowano urazy ścięgien w obrębie stawu nadgarstkowego. Uszkodzenia dotyczyły ścięgna mięśnia prostownika palców wspólnego, któremu towarzyszył obrzęk grzbietowej okolicy śródręcza i palców. W diagnostyce i opracowaniu leczenia kluczowa okazała się ultrasonografia stawu.

Wyniki badań własnych pokazały, że na podstawie masy ciała psa, a w mniejszym stopniu na podstawie pomiarów okolicy stawu nadgarstkowego można ocenić prawidłowość ścięgien zginaczy palców oraz więzadła śródręczno-dodatkowego. Dzięki ustalonemu schematowi pomiarów struktur oraz wyznaczonemu modelowi lekarz weterynarii z większą łatwością zdiagnozuje obecność patologii. Analiza wykonana w niniejszej pracy wykazała również wysoką czułość badania USG wybranych struktur poprzez porównanie do wyników uzyskanych w badaniu MRI. Mimo wysokiej jakości obrazów jakie można uzyskać za pomocą rezonansu magnetycznego o różnym natężaniu pola badanie ultrasonograficzne jest metodą szybszą, mniej kosztowną i bardziej powszechną w praktyce klinicznej. Pacjenci mogliby być kierowani na badanie MRI wtedy, gdy badanie USG jako metoda pierwszego wyboru by zawiodło.

W medycynie człowieka badanie ultrasonograficzne układu mięśniowo-szkieletowego jest stosowane zawsze podczas szerszej diagnostyki chorób i urazów stawów, w tym stawu nadgarstkowego. Ultrasonografia jest powszechnie wykorzystywana podczas takich zabiegów jak nakłucie stawu, iniekcje do ścięgien i stawów, biopsja tkanek, aspiracja płynu, wprowadzanie cewnika drenażowego, przezskórna tenotomia czy usuwanie ciał obcych (Royall i wsp., 2011). W medycynie weterynaryjnej badanie ultrasonograficzne może być wykonywane i być przydatne

podczas tych samych zabiegów, które wykonuje się w obrębie układu mięśniowo-szkieletowego (Kramer i Gerwing, 1997). Natomiast wielkość stawów psów, w tym stawu nadgarstkowego nie stanowi ograniczenia przy obecnie dostępnej na rynku aparaturze USG. Medycyna człowieka wykorzystuje badanie USG również do wykrywania chorób stawów, nieprawidłowości oraz podczas zabiegów przezskórnych w leczeniu schorzeń w obrębie stawów. Jako metoda obrazowania ścięgien i stawów powierzchownych, nadgarstka i ręki posiada wiele zalet istotnych z punktu medycznego. Orlandi i wsp. (2014) opisali techniki procedur wykonywanych pod kontrolą USG wokół struktur nadgarstka i ręki, takich jak staw promieniowo-nadgarstkowy, małe stawy nadgarstkowo-śródręczne i ścięgna. Zespół De Quervaina jest stanem zapalnym, który powoduje zwężenie i zapalenie ścięgien mięśnia odwodziciela kciuka długiego w nadgarstku. Choroba ta jest spowodowana pogrubieniem troczka, co powoduje utrudnienia w normalnym przesuwaniu się ścięgien prostownika krótkiego kciuka i odwodziciela długiego kciuka. Głównym objawem u pacjentów z Zespołem De Quervaina jest zwykle ból po stronie grzbietowo-bocznej nadgarstka, który jest związany z ruchami kciuka lub bocznym ruchem przedramienia, lub obydwoma (Kulthanan i Chareonwat, 2007). W celu skutecznej diagnozy Zespołu De Quervaina, wykorzystuje się badanie ultrasonograficzne (USG) z użyciem techniki całkowitej emisji sygnału (power Doppler). Podczas badania USG w zakresie przedziału prostowników, można zaobserwować hiperperfuzję (zwiększony przepływ krwi) oraz pogrubienie troczka. Badanie to umożliwia precyzyjną lokalizację zmian i potwierdzenie diagnozy Zespołu De Quervaina. Dodatkowo, opisano procedury diagnostyczne, które mogą być przeprowadzane przy użyciu USG, oraz możliwość wykonywania zastrzyków pod kontrolą ultrasonografii w leczeniu choroby De Quervaina. Te procedury mogą być stosowane w celu redukcji stanu zapalnego i łagodzenia objawów pacjenta. Ten stan

został również opisany u psów przez Grundmanna i Montavona (2001). Nazywany jest on zwężeniem pochewki ścięgna mięśnia odwodziciela długiego kciuka. U psów manifestuje się jako przewlekła kulawizna kończyny przedniej, ból podczas hiperfleksji nadgarstka oraz obrzęk po stronie przyśrodkowej stawu nadgarstkowego.

Badanie tomografem komputerowym (CT) pozwala uzyskać wysoki kontrast i rozdzielczość tkanek kostnych dzięki wyeliminowaniu zmętnień spowodowanych nakładającymi się tkankami. W obrazowaniu za pomocą CT można uzyskać bardziej szczegółowy obraz konturów kości oraz powierzchni stawowych. CT wyróżnia się większą trójwymiarowością obrazów niż konwencjonalna radiografia, co umożliwia dokładniejsze wyświetlanie przekrojów tomograficznych. Czułość tomografii komputerowej pozwala na wcześniejsze wykrycie osteolizy i osteogenezy w porównaniu do standardowych technik obrazowania. Zaletą tej metody jest również możliwość oglądania obrazów w kilku płaszczyznach, co może pomóc w dokładniejszym określeniu lokalizacji złamania lub fragmentacji kości. Tomografia komputerowa jest również wykorzystywana w diagnostyce ubytków kostno-chrzęstnych oraz innych chorób związanych ze wzrostem kości. Jednak jak każda metoda obrazowania, CT posiada pewne wady, takie jak artefakty wywoływane przez obecność metalowych urządzeń i implantów ortopedycznych, a także ograniczoną rozdzielczość warstwy tomograficznej. (Hoskinson i Tucker, 2001).

Ober i Freeman (2009) wykazali, że dla większości struktur anatomicznych widocznych na preparatach tkanek ręki ze zwłok psów, można zidentyfikować odpowiednie cechy na obrazach uzyskanych za pomocą tomografii komputerowej (CT) i rezonansu magnetycznego (MR). Zarówno struktury kostne, jak i mięśniowo-ścięgniste dłoni były dobrze widoczne na obrazach CT i MR. Przeprowadzono także pomiary kanału nadgarstka u psów w celu ustalenia jego standardowych rozmiarów i kształtu na

podstawie obrazów CT. Wykazano, że kanał nadgarstka psa jest szerszy w części dystalnej niż bliższej. Można zatem przypuszczać, że budowa anatomiczna i morfometryczna kanału nadgarstka u psów jest podobna do budowy kanału nadgarstka człowieka. Autorzy pracy przedstawiają również możliwość wystąpienia u psów neuropatii ogniskowej, czyli zespołu cieśni nadgarstka (Turan i Erden, 2003). Tomografia komputerowa może być przydatnym narzędziem w diagnostyce i planowaniu operacji korekcyjnych deformacji kończyn przednich u psów (Dismukes i wsp., 2008). Ze względu na mniejszą czułość tej techniki w obrazowaniu ścięgien i więzadeł niewielkich rozmiarów, w niniejszym badaniu nie obrazowano stawów nadgarstkowych za pomocą tomografii komputerowej.

W medycynie człowieka opisano zastosowanie wysokiej rozdzielczości tomografii komputerowej w ocenie urazów więzadeł nadgarstka. Ta metoda umożliwia dokładniejsze wykrycie rozdarć i perforacji więzadeł niż konwencjonalna artrografia (Theumann i wsp., 2001). Jednak badania wykazały, że tomografia komputerowa o wysokiej rozdzielczości nie jest przydatna do przedoperacyjnej oceny pacjentów z zespołem cieśni nadgarstka. Pomiar cieśni nadgarstka za pomocą tomografii komputerowej nie wykazał istotnej różnicy między pacjentami z objawami klinicznymi a grupą kontrolną (Merhar i wsp., 1986).

Rezonans magnetyczny (MRI) służy do wykrywania zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego kończyn miedniczych i piersiowych psów. Badanie zwykle obejmuje stawy barkowe, łokciowe, nadgarstkowe, kolanowe i stępowe. MRI może być pomocne, gdy zdjęcia rentgenowskie nie są wystarczające do postawienia ostatecznej diagnozy. Ze względu na zdolność do obrazowania stanu tkanek miękkich i nieprawidłowej zawartości płynów badanie to umożliwia identyfikacje wielu jednostek chorobowych i urazów. Ułożenie pacjenta do badania MRI w przypadku zwierząt odbywa się w znieczuleniu

ogólnym. Zwierzę układa się w pozycji mostkowej lub bocznej w celu zobrazowania stawu nadgarstka, a badana kończyna powinna znajdować się w cewie nadawczo-odbiorczej. Kończyna piersiowa i staw nadgarstkowy powinny znajdować się w neutralnej, prostej pozycji. Zerwanie więzadła dodatkowo-śródręcznego i uszkodzenia tkanek miękkich otaczających staw są spowodowane urazami podwichnięcia z przeprostu i można je zidentyfikować na MRI. Ta metoda obrazowania może również wykryć wysięk w stawie, gromadzenie się płynu w okolicy ścięgien, obecność ciał obcych, zapalenie kości i szpiku (Adamiak i wsp., 2008; Przeworski i wsp., 2016; Sage i Gavin, 2016). Badanie MRI układu mięśniowo-szkieletowego jest zwykle wykonywane w kilku różnych sekwencjach akwizycji. Najczęściej staw ocenia się na podstawie obrazów T1 i T2- zależnych oraz obrazów w sekwencji PD (gęstość protonów) Zaletą MRI do identyfikacji schorzeń ortopedycznych jest możliwość akwizycji obrazów w dowolnej płaszczyźnie anatomicznej oraz wybór orientacji przekrojów względem określonych struktur, co zwiększa możliwości diagnostyczne tej metody. MRI może również wykryć niezwykły kontrast tkankowy w strukturach kostnych i tkanek miękkich (Adamiak i wsp., 2008; Kramer i Gerwing, 1997). Obrazy T1-zależne echa spinowego są preferowane w obrazowaniu chrząstki stawowej ze względu na doskonałe odwzorowanie szczegółów anatomicznych i wysoki kontrast między chrząstką a podchrzęstną kości. Obrazy T2-zależne są również przydatne ze względu na wizualizację wysokiej intensywności sygnału płynu stawowego i wykrywanie wewnętrznych zmian natężenia sygnału w samej chrząstce stawowej. MRI z powodzeniem sprawdza się w ocenie nasilenia zmian zapalnych w obrębie chrząstek stawowych oraz rozległości zmian podchrzęstnych u psów ze zmianami osteochondrotycznymi (Carrig, 1997). Głównym celem obrazowania stawu nadgarstka są urazy spowodowane przeprostem lub zerwaniem więzadła dodatkowo-śródręcznego nadgarstka. Do uwidocznienia gromadzenia się płynu w pochewkach

ścięgien i wysięku stawowego wymagane są obrazy T2-zależne lub PD o wysokim stężeniu STIR lub z supresją tłuszczu. Strzałkowe i poprzeczne obrazy T1-zależne i T2-zależne z powodzeniem ukazują zerwanie więzadła dodatkowo-śródręcznego nadgarstka (Sage i Gavin, 2016).

Wcześniejsze badania wykazały, że wszystkie więzadła nadgarstka psa oraz chrząstka stawowa promieniowo-łokciowa i chrząstka włóknista dłoniowa zostały zidentyfikowane na obrazach wykonanych za pomocą MRI w płaszczyźnie grzbietowej i strzałkowej. Struktury anatomiczne w skrawkach histologicznych skorelowano ze strukturami widocznymi na obrazach MRI. W badaniu zastosowana tylko ocenę wizualną (Nordberg i Johnson, 1999). Castelli i wsp. (2019) przeprowadzili analizę porównawczą wizualizacji więzadeł stawu nadgarstkowego między MRI o wysokim polu magnetycznym (3T) a tomografią komputerową z i bez artrografii. Artrografia z powodzeniem poprawiła jakość obrazów uzyskanych za pomocą MRI, natomiast nie wpłynęła na obrazy CT. Badanie MRI jest przydatne w nieinwazyjnej diagnostyce jałowej martwicy nadgarstka i może pozwolić na wcześniejsze jej rozpoznanie niż w przypadku standardowych zdjęć rentgenowskich. Skutkiem jałowej martwicy mogą być złamania kości, np. kości pośrodkowo-promieniowej nadgarstka (Pownder i wsp., 2016). Jednak badania przeprowadzone na psich pacjentach pokazują, że sygnał MRI może być prawidłowy w martwiczej, nieunaczynionej kości promieniowej nadgarstka. W większości przypadków sygnał nie korelował bezpośrednio z przepływem krwi w kościach we wczesnym stadium jałowej martwicy kości, chociaż w jednym przypadku wszystkie pozbawione unaczynienia kości pośrodkowo-promieniowe nadgarstka wykazywały zmniejszone sygnały T1 i zwiększone sygnały T2 (Willems i wsp., 2011).

MRI jest niezbędnym narzędziem diagnostycznym w przypadkach wystąpienia przewlekłego bólu nadgarstka w medycynie człowieka. Technika ta stała się

rekomendowaną metodą w ocenie choroby zwyrodnieniowej stawów nadgarstka u ludzi. MRI jest lepszym narzędziem diagnostycznym do wykrywania zaniku chrząstki stawowej i zmian zwyrodnieniowych stawów niż zdjęcia rentgenowskie (Li i wsp., 2017; Zanetti i wsp., 2007). Ocena integralności więzadeł nadgarstka zazwyczaj koncentruje się na trzech kompleksach więzadłowych. Radiolodzy i lekarze medycyny człowieka oceniają głównie więzadło łódeczkowato-księżycowate, więzadło księżycowato-trójgraniaste i trójkątny kompleks chrząstki włóknistej na skanach MRI. Jednak wewnętrzne, dłoniowe i grzbietowe zewnętrzne więzadła nadgarstka i więzadła kciuka można określić podczas badań MRI przy użyciu udoskonalonych technik. Rozpoznanie podwichnięcia grzbietowego kości łódeczkowatej w obrazie rezonansu magnetycznego strzałkowego nadgarstka może być istotnym markerem wskazującym na zerwanie więzadła łódeczkowato-księżycowatego (Bateni i wsp., 2013; Meister i wsp., 2017). Prawidłową anatomię i związane z nią zaburzenia ścięgien prostowników grzbietowych nadgarstka można również wykryć za pomocą MRI. Badania wykazały, że MRI jest podstawową metodą obrazowania w diagnostyce bólu nadgarstka związanego z urazami ścięgien prostowników u ludzi (Meraj i wsp., 2017). Szczególnie MRI o wysokim polu natężenia może mieć istotną wartość w rozpoznawaniu uszkodzeń chrząstki w dystalnym rzędzie nadgarstka i ocenie wewnętrznego uszkodzenia więzadeł w medycynie człowieka (Ochman i wsp., 2017). Badania przeprowadzone na pacjentach pediatrycznych wykazały, że rezonans magnetyczny nadgarstka w większości przypadków znacząco zmienia rozpoznanie kliniczne. Ponadto stwierdzono, że przyczyną zmiany postępowania u znacznej części dzieci było badanie MRI (Taylor i wsp., 2017). Badanie za pomocą niskopolowego MRI kanału nadgarstka u ludzi zapewnia wyraźne określenie jego zawartości tkanek miękkich i granic kostnych. Obrazowanie stawów nadgarstkowych za pomocą MRI u pacjentów z objawami zespołu cieśni nadgarstka mogą dostarczyć

dodatkowych informacji o stanie tkanek miękkich i nerwu pośrodkowego (Healy i wsp., 1990). Zespół cieśni nadgarstka (CTS) i zespół de Quervaina to schorzenia występujące u ludzi. CTS to objawowa neuropatia uciskowa nerwu pośrodkowego na wysokości stawu nadgarstkowego. Charakterystycznymi objawami są ból ręki, drętwienie i mrowienie w okolicy przebiegu nerwu pośrodkowego oraz zmniejszenie siły chwytu i funkcji ręki. Istotnym skutkiem zespołu cieśni nadgarstka jest ból i upośledzenie funkcji ręki. Rozpoznaje się ją najczęściej u pacjentów w wieku od trzydziestu do pięćdziesięciu lat, przy czym kobiety chorują trzy razy częściej niż mężczyźni (Burton i wsp., 2014; D'arcy i McGee, 2000). Obecne badania wykazały, że zespół ten nie jest diagnozowany u psów, ale zwierzę to może służyć jako model do badania ucisku nerwu pośrodkowego u ludzi. Badania sugerują, że istnieją pewne podobieństwa między psami i ludźmi podczas badania kilku parametrów anatomicznych i fizjologicznych, na przykład wymiarów kanału nadgarstka i niektórych więzadeł (Tung i wsp., 2010; Turan i Bolukbasi, 2004; Turan i Erden, 2003). Istnieje wiele badań dotyczących diagnostyki i leczenia CTS u ludzi, które są stale udoskonalane (Burton i wsp., 2014; D'arcy i McGee, 2000; Healy i wsp., 1990; Merhar i wsp., 1986). Badania przeprowadzone na stawach nadgarstka psów mogą pomóc w ich postępie. Psy wyścigowe i pracujące mogą być narażone na objawy spowodowane uciskiem nerwu pośrodkowego, jednak CTS u psów nie został do tej pory zdiagnozowany i opisany. Zarejestrowano i opisano utajenie potencjału czynnościowego nerwu czuciowego nerwu pośrodkowego u zdrowych psów przy wymuszonym przeproście, hiperfleksji oraz w neutralnych pozycjach stawu nadgarstkowego. Pomiar ten był najkrótszy podczas przeprostu i najdłuższy podczas hiperfleksji. Wykazano, że zwiększenie ucisku na nerw pośrodkowy może przyczynić się do progresji neuropatii ogniskowych (Turan i Bolukbasi, 2004). Tung i wsp. (2010) przeprowadzili badanie porównawcze, którego celem było zmierzenie podatności cieśni nadgarstka u zwierząt

kandydujących na modele CTS, poprzez pomiar oporu podczas przepuszczania stożkowego metalowego pręta przez cieśń nadgarstka. Wykazali, że podatność kanałów nadgarstka u ludzi, psów, królików i szczurów znacznie się różni. Kanały nadgarstka człowieka są największe, a więzadła poprzeczne nadgarstka są gęstsze i najdłuższe. Cechy kanału nadgarstka psa były najbliższe i najbardziej zbliżone mechanicznie do człowieka. Dane te sugerują, że pies może być nowym modelem, który można by wykorzystać do bardziej szczegółowych badań nad CTS. Wyniki badań pracy autorskiej wykazały, że pomiary struktur stawów mogą być przydatne w diagnostyce wielu chorób. Analiza i porównanie pomiarów pozwoliły stworzyć model liniowy, który może w przyszłości posłużyć do powszechnego wykorzystywania w diagnostyce, ale również podczas kontrolnych badań psów sportowych i pracujących.

8. Wnioski

1. Badanie stawu nadgarstkowego psa za pomocą niskopolowego rezonansu magnetycznego pozwala zidentyfikować większość struktur anatomicznych, w szczególności kość pośrodkowo-promieniową, kość nadgarstka dodatkową, ścięgien mięśni zginaczy palców powierzchownego i głębokiego palców oraz więzadło dodatkowo-śródręczne. Uzyskany obraz tych struktur stawu nadgarstkowego odpowiadał ich wizualizacji z pozostałymi metodami wykorzystanymi w badaniu.
2. Badanie ultrasonograficzne stawu nadgarstkowego psa umożliwia identyfikację ścięgien mięśni zginaczy palców powierzchownego i głębokiego palców oraz więzadła dodatkowo-śródręcznego.
3. Wymiary wybranych struktur stawu nadgarstkowego psa wykazywały silne zgodność między metodami obrazowania.
4. Rozmiar struktur stawu nadgarstkowego jest związany z masą ciała psa. Zależność ta może mieć duże znaczenie kliniczne przy ocenie i diagnozowaniu schorzeń stawu nadgarstkowego.
5. Stworzenie modelu umożliwiającego wyznaczenie standardowych wymiarów struktur stawu na podstawie parametrów anatomicznych zwierzęcia tj. masa ciała, obwód stawu może znacznie ułatwić i przyspieszyć diagnostykę urazów oraz chorób z wykorzystaniem technik diagnostyki obrazowej.

9. Piśmiennictwo

Adamiak, Z., Jaskólska, M., Matyjasik, H., Pomianowski, A., & Kwiatkowska, M. (2011). Magnetic resonance imaging of selected limb joints in dogs. Polish Journal of Veterinary Sciences, 14(3), 501–505.

Aiken, M. J., Stewart, J. E., & Anderson, A. A. (2013). Avascular necrosis of the canine radial carpal bone: a condition analogousto Preiser's disease?. Journal of Small Animal Practice, 54(7), 374-376.

Anderson, A., Stead, A. C., & Coughlan, A. R. (1993). Unusual muscle and tendon disorders of the forelimb in the dog. Journal of Small Animal Practice, 34(7), 313-318.

Bateni, C. P., Bartolotta, R. J., Richardson, M. L., Mulcahy, H., & Allan, C. H. (2013). Imaging key wrist ligaments: what the surgeon needs the radiologist to know. AJR Am J Roentgenol, 200(5), 1089-1095.

Brown, J. (2022). Orthopedic Imaging: A Practical Clinical Guide. Veterinary Clinics: Small Animal Practice, 52(4), 869-906.

Burton, C., Chesterton, L. S., & Davenport, G. (2014). Diagnosing and managing carpal tunnel syndrome in primary care. British Journal of General Practice, 64(622), 262-263.

Carrig, C. B. (1997). Diagnostic imaging of osteoarthritis. Veterinary clinics of North America: Small animal practice, 27(4), 777-814.

Cartee, R. E., Hudson, J. A., & Finn-Bodner, S. (1993). Ultrasonography. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 23(2), 345-377.

Castelli, E., Pozzi, A., Klisch, K., Scotti, L., Hoey, S., & Dennler, M. (2019). Comparison between high-field 3 Tesla MRI and computed tomography with and without

arthrography for visualization of canine carpal ligaments: A cadaveric study. Veterinary Surgery, 48(4), 546-555.

Chang, A., & Miller, T. T. (2009) Imaging of tendons. Sports health, 1(4), 293-300.

Cook, C. R., & Cook, J. L. (2009). Diagnostic imaging of canine elbow dysplasia: a review. Veterinary Surgery, 38(2), 144-153.

Damadian, R. V. (1971). Tumor detection by nuclear magnetic resonance. Science, 171(3976), 1151-1153.

D'arcy C. A. & McGee S. (2000). Does this patient have carpal tunnel syndrome? Journal of the American Veterinary Medical Association, 283, 3110–3117.

Dennis, R. (1998). Magnetic resonance imaging and its applications in small animals. In Practice, 20(3), 117-124.

Dismukes, D. I., Fox, D. B., Tomlinson, J. L., & Essman, S. C. (2008). Use of radiographic measures and three-dimensional computed tomographic imaging in surgical correction of an antebrachial deformity in a dog. Journal of the American Veterinary Medical Association, 232(1), 68-73.

Earley T. D. & Dee J. F. (1980) Trauma to the carpus, tarsus, and phalanges of dogs and cats. The Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice, 10, 717–747.

Entani, M. G., Franini, A., Barella, G., Saleri, R., De Rensis, F., & Spattini, G. (2022). High-Resolution Ultrasonographic Anatomy of the Carpal Tendons of Sporting Border Collies. Animals, 12(16), 2050.

Evans H. E., de Lahunta A., Miller’s Anatomy of the Dog. Fourth Edition, Missouri: Elsevier Sauders 2013.

Franini, A., & Entani, M. G. (2022). Common Digital Extensor Tendon Injury in Three Sporting Dogs. Animals, 12(19), 2619.

Freeman L., Becvarova I., Cave N., MacKay C., Nguyen P., Rama B., Takashima G., Tiffin R., Tsjimoto H. & van Beukelen P. (2011). WSAVA Nutritional Assessment Guidelines. Journal of Small Animal Practice,52(7):385-96.

Geethanath, S., & Vaughan Jr, J. T. (2019). Accessible magnetic resonance imaging: a review. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 49(7), e65-e77.

Goldberg, B. B., Raichlen, J. S., & Forsberg, F (2011). Ultrasound Contrast Agents: Basic Principles and Clinical Applications. Springer.

Goldfarb, C. A., Yin, Y., Gilula, L. A., Fisher, A. J., & Boyer, M. I. (2001). Wrist fractures: what the clinician wants to know. Radiology, 219(1), 11-28.

Grassi, W., Salaffi, F., & Filippucci, E. (2005). Ultrasound in rheumatology. Best Practice & Research Clinical Rheumatology, 19(3), 467-485.

Grundmann, S., & Montavon, P. M. (2001). Stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology, 14(02), 95-100.

Haacke, E. M., Brown, R. W., Thompson, M. R., & Venkatesan, R. (2017). Magnetic resonance imaging: physical principles and sequence design. John Wiley & Sons. ↩

Harris K. P., Langley-Hobbs S. J. (2013) Idiopathic ischemic necrosis of an accessory carpal bone in a dog. Journal of the American Veterinary Medical Association, 12, 1746–1750.

Healy C., Watson J. D., Longstaff A., Campbell M. J. (2019). Magnetic resonance imaging of the carpal tunnel. Journal of Hand Surgery - European Volume 1990, 15, 243–248.

Herring, W. J., & Patti, J. G. (2019). Learning Radiology: Recognizing the Basics. Elsevier Health Sciences.

Hittmair K. M., Groessl V., Mayrhofer E. (2012). Radiographic and ultrasonographic diagnosis of stenosing tenosynovitis of the abductor pollicis longus muscle in dogs. Veterinary Radiology and Ultrasound, 53, 135–140.

Hodgson, R. J., O'Connor, P. J., & Grainger, A. J. (2012). Tendon and ligament imaging. The British Journal of Radiology, 85(1016), 1157-1172.

Hoskinson J. J., Tucker R .L. (2001). Diagnostic imaging of lameness in small animals. Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice, 1, 165–180.

Jensen J. A. Estimation of Blood Velocities Using Ultrasound: A Signal Processing Approach. Cambridge University Press; 1996.

Kirberger, R. M., & McEvoy, F. J. (2016). BSAVA manual of canine and feline musculoskeletal imaging (No. Ed. 2). British Small Animal Veterinary Association. Weissman, B. N. (2009). Imaging of arthritis and metabolic bone disease. Elsevier Health Sciences. Taylor, K. W., Moore, M. M., Brian, J., Methratta, S., & Bernard, S. (2017). Wrist MR imaging in children: effect on clinical diagnosis and management. Clinical Imaging, 44, 61-65.

Kramer, M., Gerwing, M., Hach, V., & Schimke, E. (1997). Sonography of the musculoskeletal system in dogs and cats. Veterinary Radiology & Ultrasound, 38(2), 139-149.

Kulthanan, T., & Chareonwat, B. (2007). Variations in abductor pollicis longus and extensor pollicis brevis tendons in the Quervain syndrome: a surgical and anatomical study. Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery and Hand Surgery, 41(1), 36-38.

Li, A. E., Lee, S. K., Rancy, S. K., Burge, A. J., Potter, H. G., & Wolfe, S. W. (2017). Comparison of magnetic resonance imaging and radiographs for evaluation of carpal osteoarthritis. Journal of Wrist Surgery, 6(02), 120-125.

Mai, W. (Ed.). (2018). Diagnostic MRI in dogs and cats. CRC press.

Meister, D. W., Hearns, K. A., & Carlson, M. G. (2017). Dorsal scaphoid subluxation on sagittal magnetic resonance imaging as a marker for scapholunate ligament tear. The Journal of hand surgery, 42(9), 717-721.

Meraj, S., Gyftopoulos, S., Nellans, K., Walz, D., & Brown, M. S. (2017). MRI of the extensor tendons of the wrist. American Journal of Roentgenology, 209(5), 1093-1102.

Merhar, G. L., Clark, R. A., Schneider, H. J., & Stern, P. J. (1986). High-resolution computed tomography of the wrist in patients with carpal tunnel syndrome. Skeletal radiology, 15, 549-552.

Mieszkowska M., Adamiak Z., Mieszkowski M., Holak P. & Wolinska K. (2016). Magnetic resonance imaging provides a detailed perspective on the navicular syndrome in horses. Med Weter, 72, 298-302.

Mikić, Ž. D., Ercegan, G., & Somer, T. (1992). Detailed anatomy of the antebrachiocarpal joint in dogs. The Anatomical Record, 233(2), 329-334.

Nordberg, C. C., & Johnson, K. A. (1999). Magnetic resonance imaging of normal canine carpal ligaments. Veterinary Radiology & Ultrasound, 40(2), 128-136.

Ober, C. P., & Freeman, L. E. (2009). Computed tomographic, magnetic resonance imaging, and cross-sectional anatomic features of the manus in cadavers of dogs without forelimb disease. American journal of veterinary research, 70(12), 1450-1458.

Ochman, S., Wieskötter, B., Langer, M., Vieth, V., Raschke, M. J., & Stehling, C. (2017). High-resolution MRI (3T-MRI) in diagnosis of wrist pain: is diagnostic arthroscopy still necessary?. Archives of orthopaedic and trauma surgery, 137, 1443-1450.

Orlandi D., Corazza A., Silvestri E., Serafini G., Savarino E.V., Garlaschi G., Mauri G., Cimmino M.A. & Sconfienza, L. M. (2014). Ultrasound-guided procedures around the wrist and hand: how to do. European journal of radiology, 83(7), 1231-1238.

Packer, R. M., Seath, I. J., O'Neill, D. G., De Decker, S., & Volk, H. A. (2016). DachsLife 2015: An Investigation of Lifestyle Associations with the Risk of Intervertebral Disc Disease in Dachshunds. Canine Genetics and Epidemiology, 6(1), 9.

Packer, R. M., Seath, I. J., Smith, S., & McGreevy, P. D. (2019). What's in a Name? Inconsistency in the Classification of Breeds of Dog and the Implications for Breed-Specific Legislation. Animals, 9(12), 1115.

Palierne, S., Delbeke, C., Asimus, E., Meynaud-Collard, P., Mathon, D., Zahra, A., & Autefage, A. (2008). A case of dorso-medial luxation of the radial carpal bone in a dog. Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology, 21(02), 171-176.

Pownder, S. L., Cooley, S., Hayashi, K., Bezuidenhout, A., Koff, M. F., & Potter, H. G. (2016). Non-invasive magnetic resonance imaging diagnosis of presumed intermedioradial carpal bone avascular necrosis in the dog. The Canadian Veterinary Journal, 57(8), 879.

Prada, F. (2017). Small Animal Ultrasonography: A Practical Guide. CRC Press.

Przeworski, A., Adamiak, Z., & Głodek, J. (2016). Comparison of high-field and low-field magnetic resonance imaging of stifle joint disorders in dogs. Polish Journal of Veterinary Sciences, 19(3), 663–670.

Reiser M., Semmler W., Hricak H., et al. (2008). "Magnetic Resonance Tomography: Principles and Applications." Springer Science & Business Media.

Royall, N. A., Farrin, E., Bahner, D. P., & Stawicki, S. P. (2011). Ultrasound-assisted musculoskeletal procedures: a practical overview of current literature. World Journal of Orthopedics, 2(7), 57.

Rumack, C. M., Levine, D., & Bluth, E. I. (2017). Diagnostic ultrasound. Elsevier.

Sage, J. E., & Gavin, P. (2016). Musculoskeletal MRI. Veterinary Clinics: Small Animal Practice, 46(3), 421-451.

Schild, H. H., & Heywang-Kobrunner, S. H. (1986). Nuclear magnetic resonance imaging of the musculoskeletal system: comparison with computed tomography and ultrasonography. Radiology, 160(3), 787-791. ↩

Strakowski, J. A. (2016). Ultrasound-guided peripheral nerve procedures. Physical Medicine and Rehabilitation Clinics, 27(3), 687-715.

Terry Jr, D. W., & Ramin, J. E. (1975). The navicular fat stripe: a useful roentgen feature for evaluating wrist trauma. The American journal of roentgenology, radium therapy, and nuclear medicine, 124(1), 25-28.

Theumann, N., Favarger, N., Schnyder, P., & Meuli, R. (2001). Wrist ligament injuries: value of post-arthrography computed tomography. Skeletal radiology, 30, 88-93.

Thrall, D. E. (2018). Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology. Elsevier Health Sciences.

Tomlin, J. L., Pead, M. J., Langley-Hobbs, S. J., & Muir, P. (2001). Radial carpal bone fracture in dogs. Journal of the American Animal Hospital Association, 37(2), 173-178.

Tung, W. L., Zhao, C., Yoshii, Y., Su, F. C., An, K. N., & Amadio, P. C. (2010). Comparative study of carpal tunnel compliance in the human, dog, rabbit, and rat. Journal of Orthopaedic Research, 28(5), 652-656.

Turan, E., & Bolukbasi, O. (2004). Evaluation of possible carpal tunnel syndrome in dogs. Veterinary Record-English Edition, 155(4), 122-123..

Turan, E., & Erden, H. (2003). Computed tomography and morphometry of the carpal canal in the dog. Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger, 185(2), 173-178.

Turan, E., Ozsunar, Y., & Yildirim, I. G. (2009). Ultrasonographic examination of the carpal canal in dogs. Journal of veterinary science, 10(1), 77-80.

Vaughan, L. C. (1985). Disorders of the carpus in the dog II. British Veterinary Journal, 141(5), 435-446.

Vaughan, L. C. (1985a). Disorders of the carpus in the dog I. British Veterinary Journal, 141(4), 332-341.

Webb A. (2017). "Introduction to Biomedical Imaging." John Wiley & Sons.

Willems, W. F., Alberton, G. M., Bishop, A. T., & Kremer, T. (2011). Vascularized bone grafting in a canine carpal avascular necrosis model. Clinical Orthopaedics and Related Research®, 469, 2831-2837.

Zagzebski J.A. (1996). Essentials of Ultrasound Physics. Elsevier.

Zanetti, M., Saupe, N., & Nagy, L. (2007). Role of MR imaging in chronic wrist pain. European radiology, 17, 927-938.

Zink, C., & Van Dyke, J. B. (2018). Canine Sports Medicine and Rehabilitation.