UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE

**WYDZIAŁ MEDYCYNY WETERYNARYJNEJ**

**Dziedzina: nauki weterynaryjne**

**Dyscyplina: weterynaria**

**lek. wet. Justyna Abako**

# PRZYDATNOŚĆ BADANIA ULTRASONOGRAFICZNEGO W OCENIE ZMIAN TOWARZYSZĄCYCH CHOROBOM ODCINKA LĘDŹWIOWEGO KRĘGOSŁUPA U PSÓW

# USEFULNESS OF ULTRASOUND EXAMINATION IN THE ASSESSMENT OF CHANGES ACCOMPANYING DISEASES OF THE LUMBAR SPINE IN DOGS

**Praca wykonana w Katedrze Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką**

**promotor : dr hab. Piotr Przemysław Holak, prof. UWM**

**promotor pomocniczy: dr n.wet. Joanna Izabela Bajon**

**Olsztyn 2024**

# Podziękowania

Dziękuję mojemu promotorowi, panu dr hab. prof. UWM Piotrowi Holakowi za umożliwienie realizacji rozprawy doktorskiej pod swoją opieką oraz za wsparcie i motywację na każdym etapie badań i powstawania niniejszej rozprawy.

Dziękuję mojej promotorce pomocniczej, pani dr Joannie Bajon za konstruktywne uwagi oraz pomoc merytoryczną podczas prowadzenia badań oraz pisania niniejszej dysertacji.

Dziękuję Kierownikowi Polikliniki Weterynaryjnej UWM, pani dr Renacie Nieradce za udostępnienie aparatury USG, która była niezbędna do przeprowadzenia badań.

Pragnę również podziękować panu dr Dawidowi Tobolskiemu oraz pani dr Angelice Tobolskiej za nieocenioną pomoc w opracowaniu analizy statystycznej, która znacznie podniosła wartość merytoryczną pracy.

Serdecznie dziękuję również Koleżankom i Kolegom z Katedry Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką za pomoc i wsparcie przez cały okres kształcenia w Szkole Doktorskiej UWM.

Dziękuję Rodzicom i Przyjaciołom za obecność i wsparcie każdego dnia.

# Spis treści


Wykaz skrótów i oznaczeń 5

1. Wstęp 7

1.1. Rys historyczny ultrasonografii 7

1.2. Zasada działania aparatu ultrasonograficznego 8

1.3. Zastosowanie ultrasonografii w badaniu odcinka lędźwiowego kręgosłupa u psów 11

1.4. Charakterystyka innych metod obrazowania kręgów i krążków międzykręgowych 12

1.5. Anatomia prawidłowa odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów 14

1.6. Wybrane zmiany chorobowe kręgów i krążków międzykręgowych u psów 16

2. Cel pracy 20

3. Materiał i metody badań 21

3.1. Grupa badawcza 21

3.1.1. Grupa pierwsza - zwłoki psów 21

3.1.1.1. Kwalifikacja i przygotowanie do badania 21

3.1.1.2. Badanie ultrasonograficzne okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa 22

3.1.2. Grupa druga - pacjenci kliniczni 29

3.1.2.1. Kwalifikacja i przygotowanie do badania 29

3.1.2.2. Badanie rezonansem magnetycznym odcinka lędźwiowego kręgosłupa 30

3.1.2.3. Badanie ultrasonograficzne okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa 31

3.2. Pomiary struktur okolicy kręgosłupa lędźwiowego 33

3.3. Analiza statystyczna pomiarów 41

4. Wyniki badań 42

4.1. Grupa pierwsza - zwłoki psów 42

4.1.1. Anatomia ultrasonograficzna okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa 42

4.2. Grupa druga - pacjenci kliniczni 47

4.2.1. Zmiany patologiczne odcinka lędźwiowego kręgosłupa w badaniu ultrasonograficznym 47

4.3. Wyniki analizy statystycznej 56

4.3.1. Zależności pomiarów w obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem

magnetycznym wybranych struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa 56
4.3.2. Zależność masy ciała i pomiarów w obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem magnetycznym wybranych struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa 57
4.3.3. Korelacja pomiarów w obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem magentycznym i badaniu ultrasonograficznym 57
5. Omówienie wyników i dyskusja 73
5.1. Badania wstępne na zwłokach 73
5.1.1. Model anatomiczny odcinka lędźwiowego kręgosłupa uzyskany w badaniu ultrasonograficznym 75
5.2. Pacjenci kliniczni 79
5.2.1. Badanie rezonansem magnetycznym 80
5.2.2. Badanie ultrasonograficzne 81
5.2.3. Wybrane schorzenia krążków międzykręgowych i kręgów zobrazowane z wykorzystaniem ultrasonografii 82
5.2.3.1. Choroba krążka międzykręgowego 82
5.2.3.2. Spondyloza 84
5.3. Pomiary struktur okolicy kręgosłupa lędźwiowego w badaniach z użyciem rezonansu magnetycznego i ultrasonografii 85
5.3.1. Analiza statystyczna 86
6. Wnioski 88
Streszczenie 89
Abstract 91
Piśmiennictwo 93
Wykaz rycin i tabel 98

# Wykaz skrótów i oznaczeń

**3D HYCE** – trójwymiarowa sekwencja hybrydowego wzmocnienia kontrastu

**BCS** – Body Condition Score, skala oceny kondycji ciała zwierzęcia

**CCC –** współczynnik korelacji zgodności

**DISH** – diffuse idiopathic spinal hyperostosis, rozsiana idiopatyczna hiperostoza kręgosłupa

**Dtk** – długość trzonu kręgu

**Dwp** – długość wyrostka poprzecznego

**FGF4** – gen kodujący czynnik wzrostu fibroblastów

**FSE** – fast spin echo, sekwencja szybkiego echa spinowego

**Gkm** – grubość krążka międzykręgowego

**Gmbn** – grubość mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu

**Gmp** – grubość mięśnia półkolcowego

**Gmw** – grubość mięśnia wielodzielnego

**Gtt** – grubość tkanki tłuszczowej

**Hz** - herc

**L1** – pierwszy kręg lędźwiowy

**L2** – drugi kręg lędźwiowy

**L2-L3** – krążek miedzykręgowy L2-L3

**L3** – trzeci kręg lędźwiowy

**L3-L4** – obszar od trzeciego do czwartego kręgu lędźwiowego; krążek międzykręgowy L3-L4

**L4-L5** – krążek międzykręgowy L4-L5

**L5** – piąty kręg lędźwiowy

**L6** – szósty kręg lędźwiowy

**L6-L7** – krążek międzykręgowy L6-L7

**L7** – siódmy kręg lędźwiowy

**L7-S1** – obszar od siódmego kręgu lędźwiowego do pierwszego kręgu krzyżowego; krążek międzykręgowy L7-S1

**mg/kg m.c.** – miligramy na kilogram masy ciała

**mg/ml** – miligramy na mililitry

**MHz** – megaherc

**MJM –** mineralizacja jądra miażdżystego

**MPW –** mineralizacja pierścienia włóknistego

**mm** – milimetry

**mm/µs** – milimetry na milisekundy

**µg/kg m.c** – mikrogramy na kilogram masy ciała

**OKM –** odwodnienie krążków międzykręgowych

**RM** – rezonans magnetyczny

**RTG** – rentgenodiagnostyka

**S1** – pierwszy kręg krzyżowy

**S1-Th13** - obszar od pierwszego kręgu krzyżowego do trzynastego kręgu piersiowego

**S3-Cd1 –** przestrzeń międzykręgowa między trzecim kręgiem krzyżowym a pierwszym kręgiem ogonowym

**SE** – spin echo, sekwencja echa spinowego

**SPON -** spondyloza

**STIR** – short tau inversion recovery, sekwencja tłumiąca sygnał tłuszczu

**Th13** – trzynasty kręg piersiowy

**T1** – czas relaksacji podłużnej

**T2** – czas relaksacji poprzecznej

**TK** – tomografia komputerowa

**Tryb A** – tryb obrazowania amplitude-mode

**Tryb B** – tryb obrazowania brightness-mode

**Tryb M** – tryb obrazowania motion-mode

**tt** – tkanka tłuszczowa

**USG** – ultrasonografia

**Wkm** – wysokość krążka międzykręgowego

**Wwk** – wysokość wyrostka kolczystego

# 1. Wstęp

## 1.1. Rys historyczny ultrasonografii

Historia ultrasonografii sięga XVIII wieku, kiedy włoski ksiądz i fizjolog Lazzaro Spallanzani wykonywał doświadczenia mające na celu wyjaśnienie, dlaczego nietoperze mają zdolność do lotu nocą. W 1938 roku Donald Griffin i Robert Galambos określili zjawisko odbijania się dźwięków o wysokiej częstotliwości, wykorzystywanych przez nietoperze do lokalizacji obiektów mianem echolokacji.

W 1880 roku bracia Jacques i Pierre Curie wykazali, że kryształy turmalinu, topazu, kwarcu, cukru trzcinowego i soli Rochelle mogą wytwarzać prąd elektryczny pod wpływem nacisku, a gdy napięcie przyłożone jest do tych kryształów, wytwarzane są fale o częstotliwości wyrażanej w megahercach. Zjawisko to określa się mianem piezoelektryczności i stanowi ono podstawę działania współcześnie wykorzystywanych w medycynie sond ultrasonograficznych (Manbachi i Cobbold 2011, Kaproth-Joslin i wsp. 2015).

Austriacki neurolog Karl Dussik był pierwszym lekarzem, który wykorzystał ultradźwięki w obrazowaniu medycznym, celem ukazania zmian w komorach mózgu, wtórnych do wzrostu nowotworu. Większość zarejestrowanych zmian okazała się być artefaktami wynikającymi z osłabienia fal ultradźwiękowych przez kości czaszki, jednak badania te były jednymi z pierwszych prób zobrazowania narządów organizmu *in vivo* (Kaproth-Joslin i wsp. 2015).

Amerykański lekarz George D. Ludwig wykorzystał obrazowanie w trybie A (amplitude-mode) do scharakteryzowania ultrastruktury tkanek takich jak mięśnie, tłuszcz czy różne rodzaje kamieni żółciowych. Obserwacje polegające na określaniu echostruktury kamieni żółciowych umieszczanych w pęcherzykach żółciowych i mięśniach grzbietu psów były efektem pierwszego doświadczenia dotyczącego obrazowania struktur organizmu *in vivo* na modelu zwierzęcym (Kaproth-Joslin i wsp. 2015).

Wykorzystanie ultrasonografii w medycynie weterynaryjnej rozpoczęło się w 1956 roku, kiedy w Stanach Zjednoczonych badano przy użyciu ultrasonografu grubość tkanki tłuszczowej u bydła mięsnego. W tym samym czasie w Europie rozpoczęto podobne badania na świniach. Były one przeprowadzone celem określenia użyteczności ultrasonografii w ewentualnym badaniu objętości tkanki tłuszczowej i mięśniowej u ludzi.

Kolejne badania koncentrowały się na potwierdzeniu hipotezy, że ultrasonografia nie jest szkodliwa dla organizmu. Wykonywano badania u ciężarnych owiec i świń, aby określić liczbę i żywotność

płodów. Uzyskane obrazy jednak nie zawsze były diagnostyczne ze względu na poruszanie się zwierzęcia w trakcie badania.

W roku 1992 zaprezentowano wyniki zastosowania ultrasonografii do wykrywania zapalenia szpiku i kości u indyków oraz innych patologii kostnych u zwierząt.

We wczesnych latach 90. XX wieku zaczęto wykorzystywać przenośne komputery oraz odpowiednie oprogramowanie, pozwalające na szybkie uzyskanie dokładnych obrazów badanych struktur (Stouffer 2004).

Najnowsze zastosowania ultrasonografii, wdrożone w ostatnich latach w medycynie człowieka skupiają się na technikach elastografii (badanie sztywności tkanek), badaniach kontrastowych i harmonicznych oraz ultrasonografii trójwymiarowej (Haers i Saunders 2009, Mantziaras i Luvoni 2020, Ozturk i wsp. 2018).

## 1.2. Zasada działania aparatu ultrasonograficznego

Działanie aparatu ultrasonograficznego opiera się na wykorzystaniu fal dźwiękowych o wysokiej częstotliwości, mierzonej w megahercach (MHz). Ultradźwięki są dźwiękami, których częstotliwość fali wynosi powyżej 20000 herców (Hz), w związku z czym nie są one słyszalne dla ludzkiego ucha.

Dźwięk jest energią rozchodzącą się w postaci fali. Fala dźwiękowa przenosi informacje między ośrodkami różniącymi się opornością akustyczną. Fale ultradźwiękowe potrzebują materii, w której mogą się rozprzestrzeniać, więc nie rozchodzą się w próżni (Blond i Buczinski, 2009, Easton 2009, Mace i wsp. 2013, Thrall 2017).

Fale ultradźwiękowe powstają dzięki zjawisku piezoelektryczności. Wytwarzane są one pod wpływem przyłożenia napięcia elektrycznego do kryształów (najczęściej są to spieki ceramiczne zawierające tytanian ołowiu i cyrkon, znajdujące się w głowicy ultrasonografu), które pod jego wpływem kurczą się i rozszerzają, co generuje ich drgania. Następnie drgania przenoszone są za pośrednictwem innych materiałów bądź powietrza jako podłużna fala dźwiękowa. Zjawisko piezoelektryczne może być odwracalne – potencjał elektryczny wytwarzany jest w momencie ściskania i rozszerzania kryształów, a gdy fala akustyczna pada na kryształ, powoduję zmianę jego grubości, wytwarzając zmienne pole elektryczne. Otrzymany sygnał elektryczny może ulegać wzmocnieniu oraz być przetwarzany. Grubość kryształu równa jest połowie długości fali dla częstotliwości zaplanowanej dla niego pracy, co powoduje, że większość energii emitowana będzie z częstotliwością podstawową (Easton 2009, Thrall 2017).

Częstotliwość fali jest liczbą jej pełnych cykli w ciągu sekundy – jedna fala albo pełny cykl mają miejsce, gdy dochodzi do następującego po sobie zagęszczenia i rozrzedzenia materii, a następnie powrotu do wartości wyjściowej. Jeden Hz odpowiada jednemu cyklowi na sekundę. Częstotliwość ultradźwięków, które wykorzystywane są w diagnostyce ultrasonograficznej mieści się w zakresie od 1 do 20 MHz.

Długość fali jest odległością, jaką fala ultradźwiękowa pokonuje podczas jednego cyklu i mierzona jest w milimetrach (mm). Wpływa ona, razem z częstotliwością, na rozdzielczość obrazu w trakcie badania. Mianem rozdzielczości ultrasonograficznej określa się najmniejszą odległość pomiędzy dwoma punktami widocznymi na ekranie monitora. Im wyższa rozdzielczość obrazu, tym większa jest jego wartość diagnostyczna, a tym samym lepsze uwidocznienie zmian chorobowych.

Prędkość poruszania się ultradźwięków w ośrodku zależna jest zarówno od jego sprężystości, jak i gęstości fizycznej, w związku z czym jest różna dla różnych typów tkanek organizmu. Ultradźwięki zazwyczaj osiągają najniższą prędkość w gazach, zwiększa się ona w płynach i osiąga najwyższe wartości dla ciał stałych; przekładając to na obrazowanie medyczne, najniższa prędkość dźwięku będzie obserwowana w płucach wypełnionych powietrzem, zaś najwyższa – w tkance kostnej. Prędkość ultradźwięków jest zależna zarówno od częstotliwości fali, jak i od jej długości, co obrazuje równanie:

$$\text{prędkość (mm/μs)} = \text{częstotliwość (MHz)} \times \text{długość fali (mm)}$$

W tkankach miękkich prędkość fali wynosi 1,54 mm/μs; jest to wartość uśredniona i stała. Procesory aparatów ultrasonograficznych używają tej wartości do wykonywania wszystkich obliczeń.

Oporność akustyczna tkanek (impedancja) jest iloczynem fizycznej gęstości tkanki oraz prędkości rozchodzącego się w niej dźwięku. Różnica impedancji akustycznej określa stopień odbicia fali ultradźwiękowej oraz to, jaka jej część przechodzi do sąsiadującej tkanki. Jeżeli między dwiema tkankami nie występuje różnica impedancji akustycznej, nie występuje również odbicie ultradźwięków (echo). Największe różnice w impedancji akustycznej występują tam, gdzie tkanki miękkie sąsiadują z tkanką kostną oraz gazem; tam dochodzi do niemal całkowitego odbicia ultradźwięków. To zjawisko odpowiada za powstanie cienia akustycznego, widocznego w obrazie ultrasonograficznym jako brak obrazu tkanek leżących poniżej linii odbicia. Zjawisko to tłumaczy także konieczność używania żelu do badań ultrasonograficznych, umieszczanego między skórą pacjenta a głowicą, by wyeliminować obecność cienkiej warstwy powietrza, która powodowałaby całkowite odbicie ultradźwięków i uniemożliwiała badanie (Thrall 2017).

W momencie przejścia przez ośrodek fala ultradźwiękowa ulega tłumieniu, czyli traci swoje natężenie przy przejściu w głąb tkanki. Tłumienie fali ultradźwiękowej odbywa się poprzez jej rozproszenie, absorpcję oraz odbicie.

Do rozproszenia fali ultradźwiękowej dochodzi, gdy napotyka ona na nieregularną powierzchnię. To zjawisko wykorzystywane jest w medycynie do obrazowania narządów wewnętrznych jako struktur o różnej ziarnistości. W miarę zwiększania częstotliwości ultradźwięków dochodzi do wzmocnienia rozproszenia fali.

Absorpcja fali ultradźwiękowej polega na przemianie jej energii mechanicznej w ciepło, spowodowanej głównie siłami tarcia. Podczas badania ultrasonograficznego w medycynie wzrost temperatury tkanek jest niewykrywalny, ze względu na niewielką ilość ultradźwięków absorbowanych przez tkankę.

Odbicie następuje, gdy w miejscu zetknięcia się dwóch tkanek wystąpią różnice w impedancji akustycznej. Echa wracające do głowicy aparatu ultrasonograficznego odgrywają istotną rolę w powstawaniu obrazu. Dzięki skanowaniu struktur pod różnym kątem wzrastają możliwości diagnostyczne, ponieważ do głowicy powraca większa liczba ech powstających na pograniczu tkanek ułożonych pod różnym kątem (Thrall 2017).

Wiązka ultradźwiękowa zostaje przetworzona elektronicznie, co pozwala na uzyskanie dwuwymiarowego obrazu, wyświetlanego na monitorze dzięki konwerterowi. Obrazowanie narządów i tkanek odbywa się w czasie rzeczywistym: seria nieruchomych obrazów zostaje połączona w celu uwidocznienia ruchu. Im większa będzie liczba takich klatek na sekundę, tym lepsza będzie rozdzielczość obrazu. Uzyskane obrazy mogą być następnie zapisane na różnych nośnikach (papier termoczuły, płyta CD, pamięć przenośna) (Easton 2009).

Stopień jasności widocznych w obrazie struktur jest związany z ich echogenicznością. Struktury bezechowe nie doprowadzają do powstania echa (są czarne w obrazie). Pozostałe struktury są powrównywane względem siebie; ciemniejsze określa się mianem hipoechogenicznych, zaś jaśniejsze – hiperechogenicznych. Struktury o takim samym stopniu jasności określa się mianem izoechogenicznych. Zmiany chorobowe tkanek powodują zmianę ich echogeniczności.

Głowica (sonda) aparatu ultrasonograficznego, nazywana też przetwornikiem ultradźwiękowym, jest integralnym elementem urządzenia, zamieniającym jedną formę energii w inną – fale ultradźwiękowe zostają przekształcone w energię elektryczną i odwrotnie, co zachodzi dzięki kryształom piezoelektrycznym. Głowica trzymana jest w ręce przez operatora i ma bezpośredni kontakt z powierzchnią ciała pacjenta. Działanie sondy polega zarówno na odbiorze, jak i nadawaniu impulsów ultradźwiękowych, ale nie w tym samym czasie. Emisja ultradźwięków przez głowicę trwa przez około 1% czasu jej pracy, natomiast w pozostałym czasie fale ultradźwiękowe

są odbierane. Głowice mogą różnić się od siebie zarówno częstotliwością nadawanych fal, jak też kształtem i rozmiarem. Umożliwia to badanie różnych struktur w zmiennych warunkach. W zależności od układu kryształów piezoelektrycznych we wnętrzu sondy można wyróżnić głowice sektorowe, liniowe i konweksowe, a dobór sondy zależy zarówno od cech badanego obszaru, jak i od jej właściwości fizycznych (Easton 2009, Thrall 2017).

Dobór częstotliwości fal ultradźwiękowych zależny jest od tego, jakie struktury będą obrazowane. Fale o wysokiej częstotliwości charakteryzują się mniejszą długością, w związku z czym pozwalają na badanie struktur położonych powierzchownie, dając wysoką rozdzielczość obrazu. Fale o niskiej częstotliwości cechują się większą długością, przez co nadają się do badania głębiej położonych narządów. Operator dobiera głowicę o odpowiedniej częstotliwości, uwzględniając cel badania i obrazowanie poszczególnych struktur (Easton 2009).

## 1.3. Zastosowanie ultrasonografii w badaniu odcinka lędźwiowego kręgosłupa u psów

Ultrasonografia okolicy kręgosłupa u psów zdobywa coraz większą popularność w medycynie weterynaryjnej ze względu na możliwość jej zastosowania zarówno do oceny zmian patologicznych, jak i wykonywania procedur interwencyjnych głównie w obrębie nerwów rdzeniowych oraz kanału kręgowego. Czynnikami niewątpliwie sprzyjającymi rozwojowi tej metody diagnostyki obrazowej jest względnie niski koszt badania ultrasonograficznego, łatwość jego wykonania po uprzednim przeszkoleniu, brak generowania promieniowania jonizującego oraz szeroka dostępność aparatury (Lopes i wsp. 2018). W literaturze można znaleźć liczne doniesienia dotyczące obrazowania ultrasonograficznego okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów, w szczególności obejmujące opisy technik znieczuleń korzeni poszczególnych nerwów rdzeniowych, iniekcji nadoponowych i podpajęczynówkowych, sonoanatomii czy śródoperacyjnej ultrasonografii rdzenia kręgowego, wykonywanej w trakcie zabiegu laminektomii bądź hemilaminektomii.

W przypadku wykonywania przykręgowych blokad korzeni nerwów obrazowanie może dotyczyć wszystkich odcinków kręgosłupa. Procedura ta w obszarze nerwów odcinka lędźwiowego ma na celu zniesienie bolesności powłok brzusznych w przypadku rozległych zabiegów w obrębie ściany jamy brzusznej (Leigh i Woodhouse 2017). Dzięki zastosowaniu ultrasonografii możliwe jest bezpośrednie zobrazowanie korzeni nerwów rdzeniowych w okolicy otworów międzykręgowych, jak również wizualizacja położenia igły iniekcyjnej oraz rozprzestrzeniania się anestetyku działającego miejscowo (Freitag i wsp. 2020). Zaletą wykorzystania ultrasonografii jest

zmniejszenie uszkodzenie tkanek podczas iniekcji poprzez redukcję liczby wkłuć. Poza wykonywaniem iniekcji nadoponowych u psów w odcinku lędźwiowo-krzyżowym (przestrzeń międzykręgowa L7-S1), w literaturze dostepne są opisy takich technik jak dostęp pod kontrolą USG na wysokości przestrzeni międzykręgowej krzyżowo-ogonowej (S3-Cd1) i okolicy ostatnich przestrzeni międzykręgowych odcinka lędźwiowego, celem pobrania płynu mózgowo-rdzeniowego lub umieszczenia kateteru do ciągłej podaży leków w przestrzeni nadoponowej (Adami i Gendron 2017, Boursier i wsp. 2018, Etienne i wsp. 2016, Ferreira i wsp. 2018, Ferreira i wsp. 2019, Garcia-Pereira 2018, Viscasillas i wsp. 2016).

W dostepnej literaturze brak jest pełnego opisu anatomii ultrasonograficznej odcinka lędźwiowego kręgosłupa i struktur towarzyszących. Nieliczne publikacje prezentują jednak dość szeroki obraz sonoanatomii odcinka lędźwiowego z uwzględnieniem struktur kostnych, nerwów rdzeniowych, kanału kręgowego czy więzadeł kręgosłupa (Etienne i wsp. 2010, Gregori i wsp. 2014).

Ultrasonografia, obok rezonansu magnetycznego, uważana jest aktualnie za jedną z najlepszych technik oceny zmian znajdujących się w obrębie rdzenia kręgowego i kanału kręgowego. Ponieważ rdzeń kręgowy psów jest strukturą o względnie małym przekroju poprzecznym, a dodatkowo jest otoczony elementami kostnymi, dostęp ultrasonograficzny do niego można uzyskać jedynie w trakcie zabiegów operacyjnych takich jak laminektomia lub hemilaminektomia. Podczas wyżej wymienionych procedur usunięcie fragmentu tkanki kostnej pozwala na utworzenie okna akustycznego do badania USG rdzenia kręgowego. Opisano szeroko sonoanatomię rdzenia oraz jego opon, obserwowano również przepływ płynu mózgowo-rdzeniowego (Bonelli i wsp. 2015). W badaniu śródoperacyjnym możliwa jest ponadto ocena stopnia ucisku na rdzeń kręgowy przez odłamy kostne, pochodzące ze złamanego kręgu, czy materiał krążka międzykręgowego w przypadku jego przepukliny. Badanie ultrasonograficzne pozwala na ocenę prawidłowego wykonania dekompresji rdzenia w przebiegu choroby krążka międzykręgowego, jak również na identyfikację zapalenia krążka. Uwidocznione w badaniu USG zmiany echogenności rdzenia mogą wskazywać na takie patologie, jak nowotwory, krwiaki, torbiele, zmiany zapalne czy pourazowe, co zostało opisane zarówno w medycynie człowieka, jak i w medycynie weterynaryjnej (Nanai i wsp. 2007, Tanaka i wsp. 2006).

## 1.4. Charakterystyka innych metod obrazowania kręgów i krążków międzykręgowych

Wśród metod obrazowania kręgów i krążków międzykręgowych można wyróżnić rentgenodiagnostykę (RTG), rezonans magnetyczny (RM) i tomografię komputerową (TK).

Rentgenodiagnostyka jest najstarszą techniką obrazowania, wykorzystywaną między innymi do oceny układu mięśniowo-szkieletowego. W przypadku obrazowania kręgosłupa tą techniką, w uzyskanych radiogramach widoczne są elementy kostne (kręgi) oraz zarys otaczających je tkanek miękkich. Za pomocą RTG nie można ocenić struktury rdzenia kręgowego oraz położenia krążków międzykręgowych (wyjątek stanowi sytuacja, w której dochodzi do mineralizacji krążków międzykręgowych). Pośrednia ocena rdzenia kręgowego możliwa jest dzięki wykorzystaniu mielografii; wówczas badanie RTG poprzedzone jest podaniem jodowego niejonowego środka kontrastowego do przestrzeni podpajęczynówkowej (Da Costa i wsp. 2020).

Tomografia komputerowa wykorzystuje promieniowanie X do generowania obrazów tkanek. W przeciwieństwie do rentgenodiagnostyki, TK umożliwia uzyskanie obrazu tkanek bez cech sumowania się cieni oraz pozwala na stworzenie trójwymiarowych modeli badanych struktur. Uzyskuje się obrazy badanych struktur w płaszczyźnie poprzecznej, które dzięki oprogramowaniu komputera można poddać rekonstrukcji wielopłaszczyznowej oraz przetworzyć na trójwymiarowe modele (Da Costa i wsp. 2020, Goldman 2007). Zastosowanie odpowiednich okien obrazowania pozwala na ocenę zarówno struktur kostnych budujących kręgosłup, jak i otaczających go tkanek miękkich. W tomografii komputerowej nie jest możliwe uzyskanie obrazu prawidłowych krążków międzykręgowych oraz rdzenia kręgowego. W przypadku przewlekłej choroby krążka międzykręgowego widoczne są cechy jego mineralizacji oraz protruzji lub ekstruzji. Aby zobrazować zarys rdzenia kręgowego i zmiany chorobowe w jego obrębie w TK wykonywana jest mielografia (mielo-TK). Zasada w rentgenodiagnostyce. Dzięki mielo-TK możliwe jest wykrywanie choroby krążka międzykręgowego w ostrej fazie, gdy nie doszło jeszcze do mineralizacji jego komponentów, ale widoczny jest ucisk materiału krążka na rdzeń kręgowy (Da Costa i wsp. 2020, Jones i wsp. 2005).

Rezonans magnetyczny jest techniką obrazowania bazującą na właściwościach paramagnetycznych atomów wodoru (protonów), obecnych w tkankach organizmu (Foltz i Jaffray 2012). Obrazowanie RM pozwala na dokładne uwidocznienie i zróżnicowanie tkanek miękkich w trzech pierwotnych płaszczyznach obrazowania (strzałkowej, poprzecznej i grzbietowej). Zastosowanie odpowiednich sekwencji obrazowania daje możliwość precyzyjnej oceny struktury rdzenia kręgowego, korzeni nerwów rdzeniowych, krążków międzykręgowych, a także elementów kostnych kręgosłupa, a dzięki temu identyfikacji procesów chorobowych w ich obrębie. RM stanowi aktualnie złoty standard w diagnostyce choroby krążka międzykręgowego, gdyż umożliwia uzyskanie pełnego obrazu jego struktury (wyodrębnienie jądra miażdżystego i pierścienia włóknistego) oraz zachodzących w krążku zmian związanych z wysunięciem się jego materiału (protruzja lub ekstruzja) do kanału kręgowego (Da Costa i wsp. 2020).

## 1.5. Anatomia prawidłowa odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów

Odcinek lędźwiowy kręgosłupa psów zbudowany jest z siedmiu kręgów. Trzony kręgów lędźwiowych stopniowo wydłużają się, aż do kręgu szóstego (L6) i są dłuższe oraz lepiej wykształcone niż trzony kręgów pozostałych odcinków kręgosłupa. Długość siódmego kręgu lędźwiowego (L7) jest porównywalna do długości kręgu pierwszego (L1). Doczaszkowe i doogonowe końce kręgów są znacznie spłaszczone. Na trzonach ostatnich kręgów pojawia się grzebień dobrzuszny. Łuki kręgów, umiejscowione dogrzbietowo, tworzą kanał kręgowy, zwężający się w kierunku doogonowym. Otwory dobrzuszne trzonów kręgów nie zawsze są obecne, zaś otwory dogrzbietowe są parzyste i przypominają wyglądem te obecne w kręgach piersiowych. Otwory międzykręgowe, utworzone przez wcięcia kręgowe doczaszkowe i doogonowe są wąskie w porównaniu z obecnymi w pozostałych odcinkach kręgosłupa (Hermanson i wsp. 2019 [3]).

Wyrostki kolczyste, wyraźnie zaznaczone w odcinku lędźwiowym są najwyższe w kręgu trzecim i czwartym (L3-L4) i lekko nachylone doczaszkowo. Wyrostki poprzeczne są najdłuższe w kręgach L3-L4, skierowane doczaszkowo i nieznacznie dobrzusznie. Wyrostki kolczyste i poprzeczne przybierają blaszkowaty kształt. Wyrostki dodatkowe są dobrze wykształcone w pierwszych trzech kręgach lędźwiowych, zaś w pozostałych kręgach są nieobecne. Pokrywają one wcięcia doogonowe kręgów i rozciągają się doogonowo i bocznie w stosunku do wyrostków stawowych kolejnych kręgów. Wyrostki stawowe leżą pomiędzy wyrostkiem poprzecznym a kolczystym i budują stawy międzywyrostkowe. Na każdym wyrostku stawowym doczaszkowym znajduje się ponadto wyrostek suteczkowaty (Hermanson i wsp. 2019 [3, 5]).

Pomiędzy trzonami kręgów znajdują się przestrzenie międzykręgowe, wypełnione przez krążki międzykręgowe. Każdy prawidłowo ukształtowany krążek międzykręgowy składa się z jądra miażdżystego, pierścienia włóknistego, strefy przejściowej oraz chrzęstnych blaszek krańcowych kręgów. Jądro miażdzyste jest galaretowatą substancją, składającą się w dużej mierze z wody, zlokalizowaną centralnie w obrębie krążka. Otoczone jest przez pierścień włóknisty, utworzony przez koncentrycznie ułożone włókna kolagenu. Dobrzuszna część pierścienia włóknistego jest 2-3 razy grubsza od części dogrzbietowej. Między jądrem miażdżystym a pierścieniem włóknistym znajduje się strefa przejściowa, zbudowana z tkanki chrzęstnej. Doczaszkową i doogonową granicę krążka międzykręgowego stanowią blaszki krańcowe, zbudowane z tkanki chrzęstnej, które są silnie połączone zarówno z pierścieniem włóknistym krążka, jak i z doczaszkowymi i doogonowymi powierzchniami trzonów kręgów (Bergknut i wsp. 2013). Każdy krążek

międzykręgowy połączony jest z więzadłem podłużnym dogrzbietowym i dobrzusznym, które jednocześnie łączą ze sobą sąsiadujące trzony kręgów.

W skład aparatu więzadłowego odcinka lędźwiowego kręgosłupa wchodzą więzadła długie, do których zalicza się więzadło nadkolcowe, biegnące nad wyrostkami kolczystymi kręgów i łączące je ze sobą oraz więzadła podłużne dobrzuszne i dogrzbietowe, które biegną odpowiednio na powierzchniach dobrzusznych i dogrzbietowych trzonów kręgów, zespalając kręgi odcinka lędźwiowego ze sobą i łącząc je z sąsiadującymi odcinkami kręgosłupa (Hermanson i wsp. 2019 [2]). Do więzadeł krótkich zalicza się więzadła międzykolcowe (łączą ze sobą sąsiadujące wyrostki kolczyste), więzadła międzypoprzeczne (łączą ze sobą wyrostki poprzeczne i są charakterystyczne tylko dla odcinka lędźwiowego) i więzadła żółte (biegną pomiędzy sąsiednimi łukami kręgów) (Hermanson i wsp. 2019 [1]).

Wśród mięśni okalających odcinek lędźwiowy kręgosłupa wyróżnia się grupę parzystych, silnie wykształconych mięśni prostowników kręgosłupa, a także mięśnie międzykolcowe i międzypoprzeczne. Do mięśni prostowników zalicza się mięsień biodrowo-żebrowy, najdłuższy grzbietu oraz poprzeczno-kolcowy. Rolą wyżej wymienionych mięśni jest zapewnienie stabilności kręgosłupa oraz jego ruchomości przy skurczu mięśni odpowiedniej strony.
Mięsień biodrowo-żebrowy lędźwi rozpoczyna się na powierzchni miednicznej skrzydła kości biodrowej, grzebieniu biodrowym oraz przegrodzie międzymięśniowej, zlokalizowanej pomiędzy opisywanym mięśniem a mięśniem najdłuższym grzbietu i połączonej z kością biodrową oraz powięzią piersiowo-lędźwiową. Włókna mięśnia biodrowo-żebrowego biegną w kierunku doczaszkowo-dobrzusznym i kończą się na powierzchni XIII, XII, XI, X i sporadycznie IX żebra. Mięsień najdłuższy grzbietu leży przyśrodkowo w stosunku do mięśnia biodrowo-żebrowego. Jego część piersiowo-lędźwiowa stanowi największy mięsień tułowia, rozciągając się od grzebienia biodrowego do ostatniego kręgu szyjnego. Część ta w odcinku lędźwiowym jest zespolona z mięśniem biodrowo-żebrowym lędźwi i pokryta rozcięgnem, oddzielonym od powięzi piersiowo-lędźwiowej przez tkankę tłuszczową. Mięsień najdłuższy grzbietu w odcinku lędźwiowym oddaje siedem skierowanych doczaszkowo pęczków, które pokrywają podstawy wyrostków poprzecznych kręgosłupa. Jego najmniejsza część, skierowana najbardziej doogonowo, przytwierdza się do łuku kręgu L7 i krążka międzykręgowego L7-S1. Obecne są również ścięgna, kierujące się bardziej dogrzbietowo i biegnące do wyrostków stawowych piątego, szóstego i siódmego kręgu lędźwiowego.

Mięsień poprzeczno-kolcowy to zróżnicowany system pęczków mięśniowych, rozciągających się bocznie od mięśni międzykolcowych i międzypoprzecznych oraz przyśrodkowo w stosunku do

mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu. W jego skład wchodzą trzy grupy mięśni: mięsień półkolcowy, wielodzielny oraz mięśnie skręcające.

Mięsień wielodzielny składa się z pokrywajacych się częściowo pęczków włókien i rozciąga się od kości krzyżowej do drugiego kręgu szyjnego. Jego część lędźwiowa jest dużą partią mięśniową, biegnącą od kości krzyżowej do wyrostków kolczystych ósmego lub dziewiątego kręgu piersiowego. Dzieli się na 11 płaskich, połączonych ze sobą części, które łączą sąsiadujące ze sobą kręgi. Mięśnie skręcające dzieli się na osiem mięśni długich i dziewięć krótkich. Mięśnie długie rozciągają się pomiędzy wyrostkiem poprzecznym a kolczystym kolejnych dwóch kręgów. Mięśnie krótkie leżą głębiej w stosunku do mięśni długich.

Mięśnie międzykolcowe w odcinku lędźwiowym przykryte są przez mięsień wielodzielny. Układają się one pomiędzy wyrostkami kolczystymi dwóch sąsiednich kręgów. Mięśnie międzypoprzeczne biegną między sąsiadującymi wyrostkami poprzecznymi, ale mogą łączyć się również z wyrostkami stawowymi i suteczkowatymi (Hermanson i wsp. 2019 [4]).

## 1.6. Wybrane zmiany chorobowe kręgów i krążków międzykręgowych u psów

Choroba krążka międzykręgowego stanowi jedną z najczęstszych przyczyn problemów neurologicznych u psów. Dotyczy wszystkich odcinków kręgosłupa, z wyjątkiem pierwszych dwóch kręgów szyjnych oraz kości krzyżowej, z uwagi na anatomiczną budowę – brak krążków. Najczęściej notowana jest u ras chondrodystroficznych (jamniki), ale może występować u psów wszystkich ras (Brisson 2010). U psów ras chondrodystroficznych zidentyfikowano gen (FGF4), którego obecność może predysponować do wystąpienia choroby krążka międzykręgowego (Casado i wsp. 2022).

Degeneracja krążków międzykręgowych jest typowym procesem, postępującym wraz z wiekiem zwierzęcia. Związana jest z utratą właściwości hydroelastycznych krążków oraz pojawiającymi się w ich obszarze zwyrodnieniami chrzęstnymi i włóknistymi. Proces ten szybciej postępuje u psów ras chondrodystroficznych, gdyż pierwsze zmiany w obrębie krążków mogą pojawiać się już w pierwszym roku życia (Brisson 2010). Prawidłowe krążki międzykręgowe nie są widoczne na radiogramach. Radiologicznie degeneracja objawia się zwiększeniem wysycenia cienia krążków międzykręgowych, spowodowanym ich mineralizacją (Lapplainen i wsp. 2014). W badaniu rezonansem magnetycznym (MRI) widoczne są cechy odwodnienia krążków międzykręgowych, zwłaszcza w obrazach T2-zależnych (Da Costa i wsp. 2020). Procesy zwyrodnieniowe obejmujące krążki międzykręgowe prowadzą do osłabienia ich struktury, co może skutkować pojawieniem się

zmian związanych z przemieszczeniem elementów krążka do kanału kręgowego (protruzja i ekstruzja) (Fenn i wsp. 2020).

Ekstruzja krążka międzykręgowego, opisywana jako zmiany typu I według Hansena, jest powiązana z jego zwyrodnieniem chrzęstnym i polega na przemieszczeniu się materiału jądra miażdżystego przez przerwany pierścień włóknisty do kanału kręgowego (Brisson 2010). Ekstruzję częściej obserwuje się u ras chondrosystroficznych (Lim i wsp. 2010).

Protruzja krążka międzykręgowego (zmiany typu II według Hansena) zwykle związana jest z jego zwyrodnieniem włóknistym, co skutkuje uwypukleniem się krążka (zdeformowanego pierścienia włóknistego) w kierunku kanału kręgowego (Brisson 2010). Protruzja zazwyczaj obserwowana jest u psów ras niechondrodystroficznych. Oba wymienione procesy prowadzą bezpośrednio do ucisku na rdzeń kręgowy i korzenie dobrzuszne nerwów rdzeniowych, co skutkuje silną bolesnością odcinka kręgosłupa objętego procesem chorobowym, a także niedowładami i porażeniami kończyn (Lim i wsp. 2010).

W przypadku standardowych zdjęć rentgentowskich nie jest możliwe uwidocznienie protruzji lub ekstruzji. Istnieją jednak cechy, które mogą pośrednio wskazywać na obecność choroby krążka międzykręgowego, takie jak zwiększenie wysycenia cienia krążka, zwężenie przestrzeni międzykręgowej, zwężenie przestrzeni stawowych oraz widoczne zacienienie otworów międzykręgowych (Da Costa i wsp. 2020, Rosenblatt i wsp. 2014). W celu uwidocznienia przemieszczonych krążków pomocna może okazać się mielografia. W badaniu radiograficznym z wykorzystaniem kontrastu podanego podpajęczynówkowo widoczne będzie przemieszczenie zarysu rdzenia kręgowego w obrębie kanału kręgowego (zewnątrzoponowy ucisk na rdzeń kręgowy od strony dobrzusznej).

W badaniu tomografem komputerowym widoczne jest uwypuklenie krążka międzykręgowego do kanału kręgowego, ale z reguły nie jest możliwe rozróżnienie protruzji od ekstruzji przy wykorzystaniu tej techniki obrazowania. W przypadku ostrej choroby krążka międzykręgowego w kanale kręgowym widoczny jest uwypuklony, zazwyczaj hiperdensyjny (intensywnie cieniujący) materiał krążka, następuje utrata sygnału tłuszczu nadoponowego oraz zostaje zniekształcony rdzeń kręgowy, co jest szczególnie widoczne w mielo-TK. W uzyskiwanych w badaniu TK przekrojach poprzecznych możliwe jest rozróżnienie przepukliny centralnej od bocznej (Da Costa i wsp. 2020, Lim i wsp. 2010, Lim i wsp. 2018).

Badanie rezonansem magnetycznym umożliwia rozróżnienie protruzji od ekstruzji krążka. Sygnał zmienionego chorobowo krążka jest hipointensywny (obniżony) w obrazach T2-zależnych, co wynika z jego odwodnienia. Podobnie jak w badaniu TK, widoczne jest uwypuklenie krążka do

wnętrza kanału kręgowego o różnym stopniu nasilenia, oraz zanik sygnału tłuszczu nadoponowego (Deards i wsp. 2019, Casado i wsp. 2022).

Zapalenie krążka międzykręgowego i kręgów (*discospondylitis*) jest schorzeniem zakaźnym, wywoływanym przez różne grupy drobnoustrojów, głównie bakterie (u psów najczęściej jest to *Staphylococcus intermedius*). Proces chorobowy obejmuje krążek międzykręgowy oraz sąsiadujące z nim kręgi (Carrera i wsp. 2011, Cherubini i wsp. 2004). Czynnikami ryzyka wystapienia choroby jest rasa psa (predysponowane są psy ras dużych, głównie niekastrowane samce), terapia kortykosteroidami oraz zabiegi chirurgiczne w obrębie kręgosłupa (Ruoff i wsp. 2017). Objawy kliniczne są niespecyficzne, obejmują bolesność okolicy kręgosłupa i kończyn oraz niezborność ruchową, może pojawić się również gorączka i ogólne pogorszenie samopoczucia (Cherubini i wsp. 2004).

Diagnostyka *discospondylitis*, oprócz badań laboratoryjnych i klasycznej radiografii, opiera się głównie na wykorzystaniu rezonansu magnetycznego. W badaniu RM opisane zostały takie zmiany jak ogniska hipointensywnego sygnału okolicy blaszek krańcowych w obrazach T1-zależnych, z obszarami silnego, rozsianego wzmocnienia pokontrastowego, nieznacznie hiperintensywny sygnał blaszek krańcowych w obrazach T2-zależnych i sekwencji STIR (short tau inversion recovery, sekwencja tłumiąca sygnał pochodzący z tkanki tłuszczowej) oraz współtowarzyszące zmiany w krążkach międzykręgowych (zniekształcenia oraz zmienny sygnał krążka). W przypadku znacznego zniszczenia blaszek krańcowych przestrzeń międzykręgowa ulega poszerzeniu, w niektórych przypadkach na skutek przebudowy może być zwężona. Czasami obserwowane są również podwichnięcia kręgów (Carrera i wsp. 2010, Cherubini i wsp. 2004, Gonzalo-Orden i wsp. 2000, Ruoff i wsp. 2017).

Tomografia komputerowa również stanowi użyteczne narzędzie w diagnostyce *discospondylitis.* Umożliwia opisanie takich zmian jak erozja blaszek krańcowych, ogniska lizy kości i odczynu okostnej, zwężenie przestrzeni międzykręgowych oraz zmiany w obrębie krążków międzykręgowych (Gomes i wsp. 2022, Gonzalo-Orden i wsp. 2000, Lim i wsp. 2018).

Spondyloza (*spondylosis deformans*) jest niezapalną chorobą zwyrodnieniową kręgosłupa, cechującą się występowaniem na dobrzusznych i bocznych krawędziach trzonów kręgów osteofitów o zróżnicowanym stopniu zaawansowania, od drobnych wyrośli kostnych po mosty kostne łączące sąsiadujące ze sobą kręgi. Najczęstszym miejscem występowania zmian jest odcinek piersiowo-lędźwiowy oraz lędźwiowo-krzyżowy kręgosłupa. Do występowania spondylozy predysponowane są szczególnie owczarki niemieckie i boksery. Spondylozie często towarzyszy choroba krążka międzykręgowego typu II według Hansena. Objawy kliniczne spondylozy obejmują sztywność i bolesność okolicy piersiowo-lędźwiowej kręgosłupa, zmieniony wzorzec chodu oraz

kulawizny o różnym stopniu nasilenia (Kranenburg i wsp. 2011, Ortega i wsp. 2012, Togni i wsp. 2014).

Zmiany o charakterze spondylozy najczęściej są diagnozowane przy wykorzystaniu klasycznej radiografii. W przeglądowych radiogramach w projekcjach bocznych widoczne są zmiany kostne w postaci dobrze cieniujących osteofitów na krawędziach trzonów sąsiadujących ze sobą kręgów. Często obserwowane są również cechy radiologiczne choroby krążka międzykręgowego. W badaniu rezonansem magnetycznym widoczne są hipointensywne obszary w przebiegu mostów kostnych (Togni i wsp. 2014).

Rozsiana idiopatyczna hiperostoza kręgosłupa (*diffuse idiopathic spinal hyperostosis*, DISH), podobnie jak spondyloza jest chorobą niezapalną, ale o innym mechanizmie powstawania, polegającym na mineralizacji więzadła podłużnego dobrzusznego kręgosłupa. W przebiegu DISH sąsiadujace ze sobą trzony kręgów ulegają trwałemu zespoleniu na dłuższym odcinku. W obrębie powstających mostów kostnych może dochodzić do złamań. U psów często mylnie określana jest jako bardzo zaawansowana spondyloza, choć obie choroby mogą występować jednocześnie u jednego zwierzęcia. Często objawy kliniczne nie są wyrażone, ale może pojawiać się sztywność i bolesność okolicy kręgosłupa, a w zaawansowanych przypadkach deficyty neurologiczne, wynikające z ucisku na rdzeń kręgowy i korzenie dobrzuszne nerwów rdzeniowych (Ciepluch i wsp. 2013, Ortega i wsp. 2012). Zmiany powstające w przebiegu DISH widoczne są w badaniach obrazowych jako mosty kostne, łączące ze sobą minimum cztery sąsiadujące ze sobą trzony kręgów po stronie dobrzusznej. Niekiedy w ich obrębie widoczne są linie złamania.

# 2. Cel pracy

2.1. Opracowanie protokołu badania odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów z wykorzystaniem ultrasonografii.

2.2. Opisanie sonoanatomii odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów z uwzględnieniem poszczególnych struktur anatomicznych i oznaczeniem ich w obrazach uzyskanych przy użyciu ultrasonografii.

2.3. Identyfikacja wybranych zmian chorobowych odcinka lędźwiowego kręgosłupa z wykorzystaniem badania ultrasonograficznego.

2.4. Porównanie i analiza statystyczna wymiarów poszczególnych struktur anatomicznych odcinka lędźwiowego kręgosłupa w obrazach uzyskanych przy użyciu ultrasonografii oraz niskopolowego rezonansu magnetycznego.

2.5. Ocena przydatności ultrasonografii do wstępnej oceny i diagnostyki zmian chorobowych w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów.

# 3. Materiał i metody badań

## 3.1. Grupa badawcza

Badania zostały przeprowadzone w Katedrze Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką oraz w Poliklinice Weterynaryjnej Wydziału Medycyny Weterynaryjnej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie w okresie od maja 2020 do września 2022 roku na 23 zwłokach i 20 pacjentach klinicznych.

### 3.1.1. Grupa pierwsza - zwłoki psów

Badania wstępne na zwłokach, mające na celu opisanie prawidłowej sonoanatomii struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa zostały przeprowadzone w Poliklinice Weterynaryjnej od maja 2020 do stycznia 2021 roku. Psy zostały poddane eutanazji z powodów niezwiązanych z celem badania. Właściciele każdorazowo byli informowani o wykorzystaniu ciał zwierząt do celów naukowych; po zapoznaniu się z celem badań wyrażali pisemną zgodę. Po przeprowadzeniu eutanazji 11 pacjentów zostało niezwłocznie przebadanych (przed wystąpieniem stężenia pośmiertnego), zaś 12 zwłok zostało zamrożonych w temperaturze -18 stopni Celsjusza, a następnie były one rozmrażane na potrzeby badań. Historia leczenia psów i wyniki badania USG zostały wydrukowane oraz zapisane na płytach CD i pamięci przenośnej USB.

#### 3.1.1.1. Kwalifikacja i przygotowanie do badania

Do badania wybrano zwłoki 23 psów, w przypadku których historia leczenia była w pełni udokumentowana i nie zawierała adnotacji dotyczących chorób kręgosłupa. Dodatkowo brak zmian patologicznych w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa potwierdzono badaniem radiologicznym, wykonywanym każdorazowo w projekcji bocznej i grzbietowo-brzusznej. Średni wiek psów wynosił 11 lat (5-17), zaś średnia masa ciała 12,88 kg (2-36). Zbadano 8 samic (34,8%) i 15 samców (65,2%). Rasy psów wyszczególniono w tabeli nr 1. Przed badaniem oceniano ogólną kondycję ciała przy pomocy 9-stopniowej skali Body Condition Score (BCS); wyniki zaprezentowano na rycinie 1.

Po przygotowaniu i wstępnej ocenie zwłok sierść była dokładnie usuwana przy użyciu maszynki elektrycznej na obszarze od trzynastego kręgu piersiowego do drugiego kręgu krzyżowego oraz od linii pośrodkowej wyznaczonej przez wyrostki kolczyste kręgów do 1/3 dystalnej długości łuku żebrowego po obu stronach ciała. Następnie skóra wygolonego obszaru była odtłuszczana przy pomocy alkoholu etylowego oraz pokrywana żelem do badania USG.

### 3.1.1.2. Badanie ultrasonograficzne okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa

Badanie USG okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa przeprowadzano na zwłokach ułożonych w pozycji bocznej, na lewym i na prawym boku. Do badania wykorzystano aparat ultrasonograficzny (Esaote MyLab Seven, Esaote, Italy), wyposażony w głowicę liniową o zakresie częstotliwości 3-13 MHz.

Początkowo głowicę przykładano prostopadle do powierzchni ciała i równolegle do linii pośrodkowej kręgosłupa tak, by zidentyfikować siódmy kręg lędźwiowy (L7) i pierwszy człon kości krzyżowej (S1) w płaszczyźnie podłużnej. Głównymi anatomicznymi punktami odniesienia, identyfikowanymi palpacyjnie przed przyłożeniem głowicy, były wyrostki kolczyste kręgów lędźwiowych (licząc od kręgu siódmego) oraz grzebień kości krzyżowej. Następnie liczono kręgi od L7, przesuwając głowicę doczaszkowo wzdłuż linii wyznaczonej przez wyrostki kolczyste, aż do trzynastego kręgu piersiowego (Th13) (ryc. 2 i 3)

Kolejny etap badania polegał na obróceniu sondy o 90 stopni bez jej przemieszczania poza linię pośrodkową – miało to na celu uzyskanie obrazu elementów kręgów oraz mięśni przykręgosłupowych w płaszczyźnie poprzecznej. Podobnie jak w przypadku obrazowania kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej, głowica była przesuwana doczaszkowo na odcinku S1-Th13 (ryc. 4 i 5).

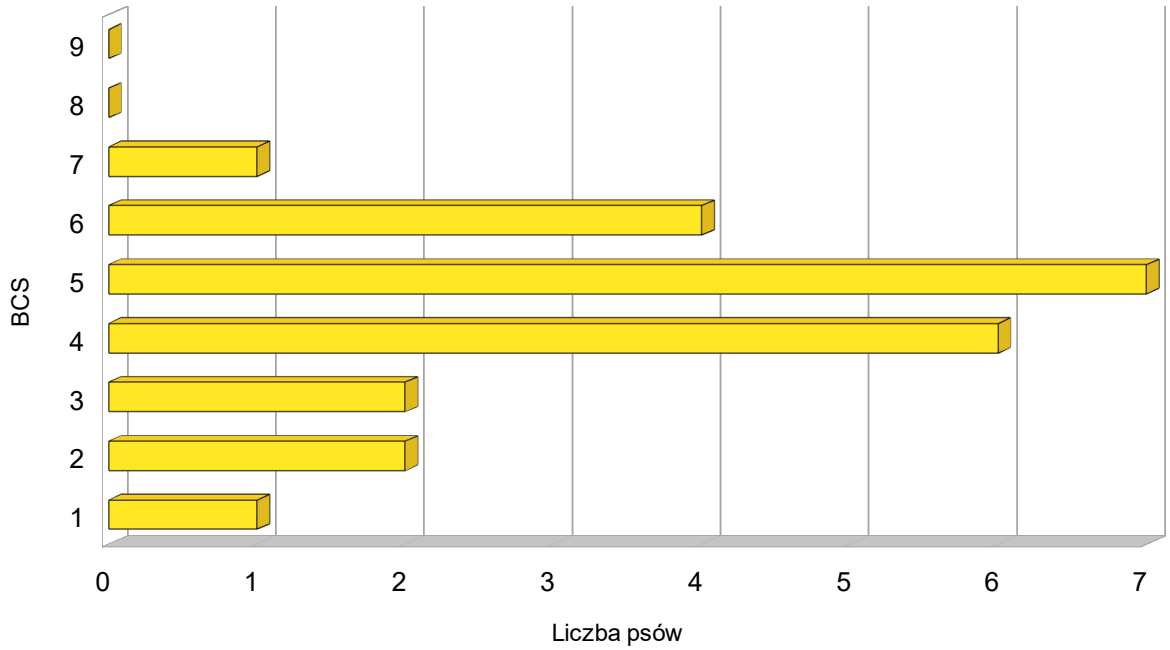
Następnie sonda była ponownie obracana o 90 stopni do płaszczyzny podłużnej i przykładana w linii przypośrodkowej, aby zobrazować wyrostki stawowe, stawy międzywyrostkowe i wyrostki poprzeczne. Podobnie jak w poprzednich etapach badania, głowica przesuwana była doczaszkowo, by zidentyfikować wyżej wymienione struktury w obrębie wszystkich kręgów lędźwiowych (ryc. 6 i 7).

Ostatnim etapem badania było przyłożenie sondy w płaszczyźnie podłużnej do powłok brzusznych w obszarze dołu przylędźwiowego i jej delikatne dociśnięcie w kierunku dogrzbietowym – dzięki temu możliwe było zobrazowanie krążków międzykręgowych oraz trzonów kręgów lędźwiowych i kręgu S1 (ryc. 8 i 9).

Obrazy zidentyfikowanych struktur anatomicznych oraz krótkie filmy wykonane w trakcie każdego badania zostały zarchiwizowane na płytach CD i pamięci przenośnej USB, a następnie dołączone do pozostałej dokumentacji.

| Rasa | Liczba psów/odsetek [%] |
|---|---|
| Mieszaniec | 9/39,13 |
| Yorkshire Terrier | 3/13,04 |
| Labrador Retriever | 2/8,7 |
| Owczarek niemiecki | 2/8,7 |
| Chihuahua | 1/4,35 |
| Cocker Spaniel | 1/4,35 |
| Gończy polski | 1/4,35 |
| Jamnik | 1/4,35 |
| Maltańczyk | 1/4,35 |
| Seter irlandzki | 1/4,35 |
| Sznaucer miniaturowy | 1/4,35 |

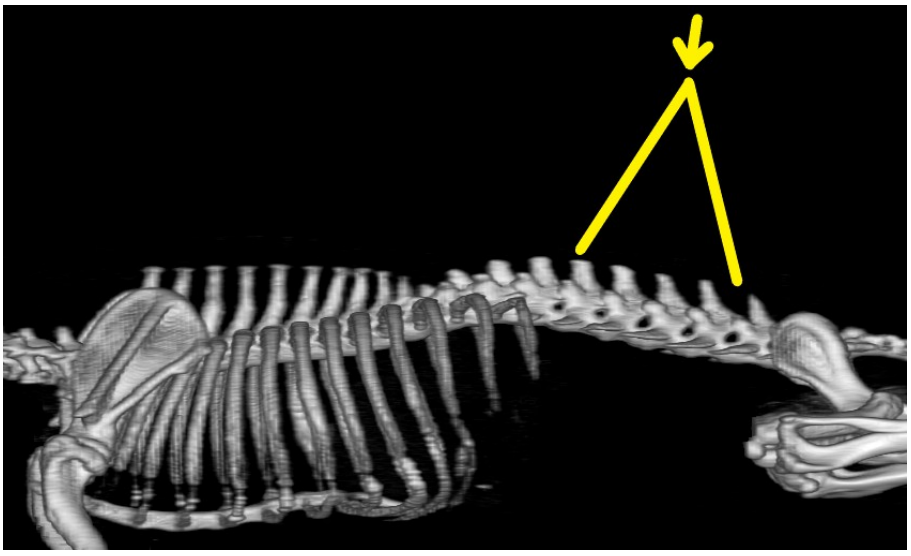
Tab. 1. Rasy psów wykorzystanych w badaniach wstępnych. Oprac. wł.




Ryc. 1. Ogólna kondycja ciała psów wykorzystanych w badaniach wstepnych według skali BCS. Oprac. wł.



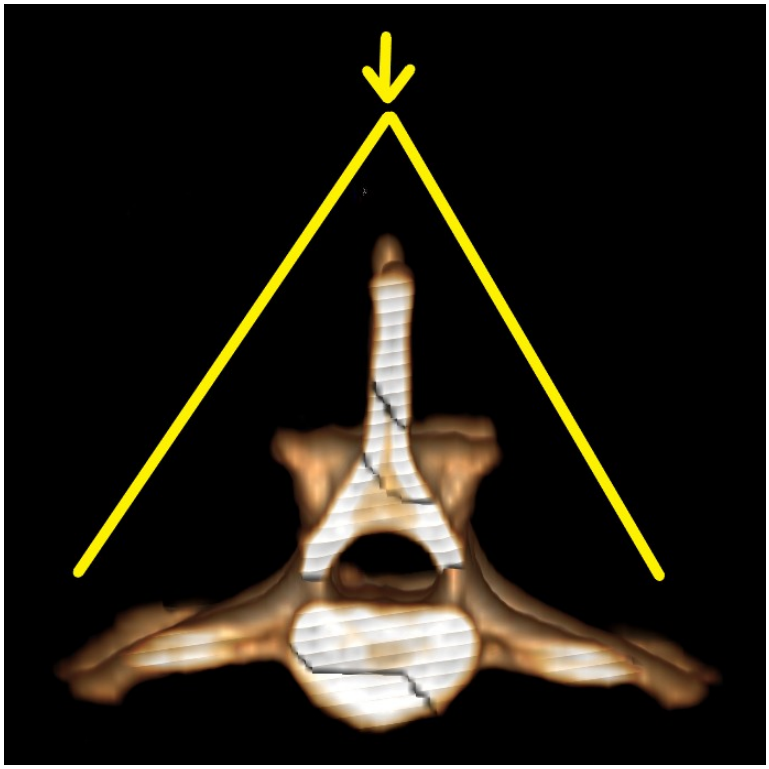
Ryc. 2. Przyłożenie głowicy USG równolegle do linii pośrodkowej kręgosłupa od strony dogrzbietowej. Oprac. wł.



Ryc. 3. Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa psa. Żółte linie wskazują obszar kręgosłupa, w którym przykładana była głowica USG. Oprac. wł.



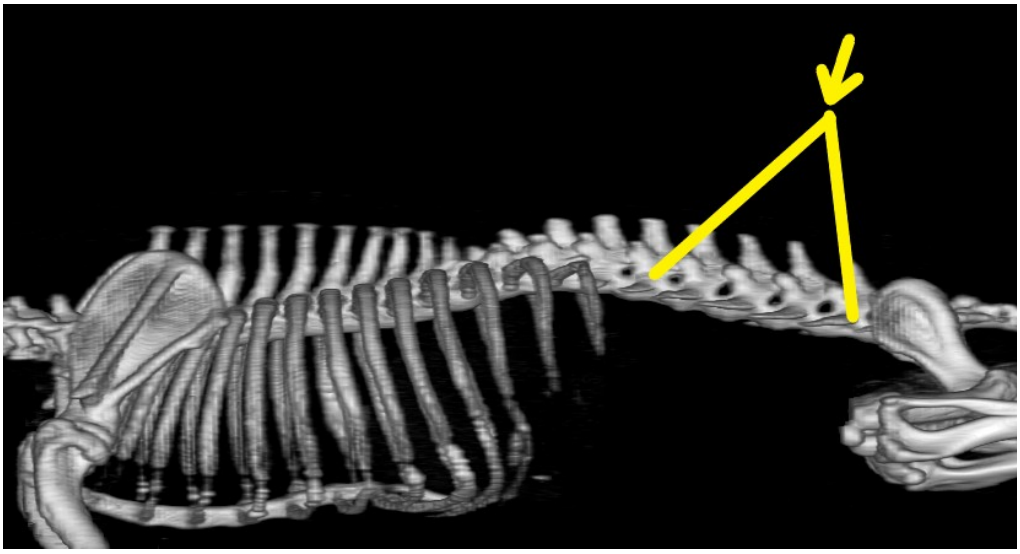
Ryc. 4. Przyłożenie głowicy USG prostopadle do linii pośrodkowej kręgosłupa po stronie dogrzbietowej. Oprac. wł.



Ryc. 5. Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym kręgu lędźwiowego kręgosłupa psa. Żółte linie wskazują obszar kręgosłupa, w którym przykładana była głowica USG. Oprac. wł.



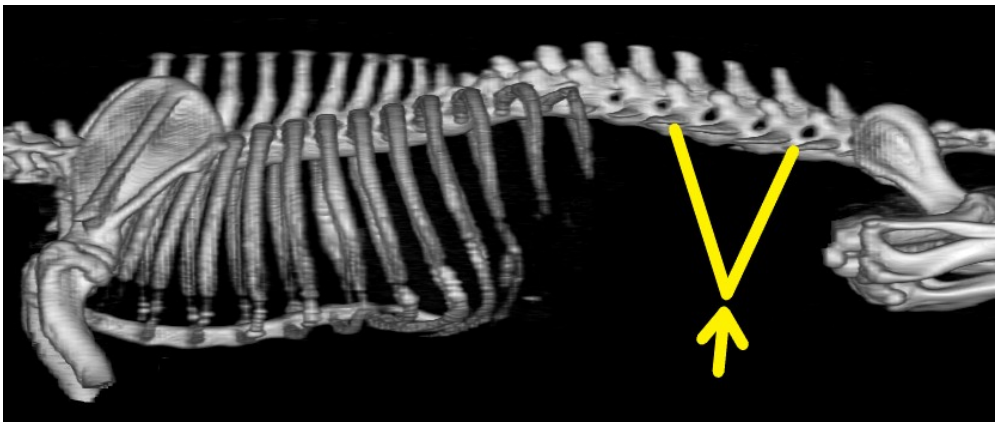
Ryc. 6. Przyłożenie głowicy USG równolegle w linii przypośrodkowej po stronie dogrzbietowej. Oprac. wł.



Ryc. 7. Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa psa. Żółte linie wskazują obszar kręgosłupa, w którym przykładana była głowica USG. Oprac. wł.



Ryc. 8. Przyłożenie głowicy USG po stronie dobrzusznej. Oprac. wł.



Ryc. 9. Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa psa. Żółte linie wskazują obszar kręgosłupa, w którym przykładana była głowica USG. Oprac. wł.

### 3.1.2. Grupa druga - pacjenci kliniczni

Badania pacjentów klinicznych ze stwierdzonymi przez specjalistę neurologa schorzeniami w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa przeprowadzono w Katedrze Chirurgii i Rentgenologii z Kliniką oraz w Poliklinice Weterynaryjnej w okresie od stycznia 2021 do września 2022 roku. Diagnostyka ultrasonograficzna każdego pacjenta poprzedzona była badaniem rezonansem magnetycznym (RM) odcinka lędźwiowego i krzyżowego kręgosłupa, przeprowadzanym zgodnie z zaleceniami lekarza kierującego na badania obrazowe. Właściciele psów każdorazowo otrzymywali wyczerpujące informacje dotyczące celu i sposobu przeprowadzenia badań, po czym wyrażali pisemną zgodę na wykonanie wszystkich procedur, łącznie ze znieczuleniem ogólnym oraz usunięciem sierści przed badaniem USG.
Historia leczenia psów i wyniki badań laboratoryjnych zostały wydrukowane i zarchiwizowane, zaś badania obrazowe zostały zapisane na płytach CD i pamięci przenośnej USB.

#### 3.1.2.1. Kwalifikacja i przygotowanie do badania

Pacjenci kliniczni z objawami neurologicznymi, wskazującymi na schorzenie w odcinku lędźwiowym kręgosłupa byli kwalifikowani do diagnostyki obrazowej na podstawie badania klinicznego, przeprowadzanego przez lekarza kierującego na badanie rezonansem magnetycznym. W przypadku wątpliwości powtarzano diagnostykę neurologiczną (określenie neurolokalizacji zmian) w momencie przyjęcia pacjenta na RM. Średni wiek psów wynosił 7 lat (1-13), zaś średnia masa ciała - 23,45 kg (4-62 kg). Zbadano 9 samic (45%) i 11 samców (55%). Wyniki wizualnej oceny kondycji przy pomocy skali BCS przedstawiono na rycinie 10. Rasy przebadanych psów przedstawiono w tabeli 2.
Przygotowanie pacjentów do badania RM i USG obejmowało premedykację, usunięcie sierści z badanej okolicy, założenie kateteru dożylnego, indukcję znieczulenia ogólnego oraz intubację. Premedykacja była przeprowadzana z wykorzystaniem deksmedetomidyny (Dexdomitor 0,5 mg/ml, Orion Pharma) w dawce 5-10 µg/kg m.c. oraz butorfanolu (Torbugesic, Zoetis) w dawce 0,2 mg/kg m.c., podanych w jednej iniekcji domięśniowej. Następnie sierść okolicy kręgosłupa lędźwiowego była usuwana przy pomocy maszynki elektrycznej na obszarze od trzynastego kręgu piersiowego do drugiego kręgu krzyżowego, od linii pośrodkowej wyznaczonej przez wyrostki kolczyste kręgów do 1/3 dystalnej długości łuku żebrowego po obu stronach. Kolejnym etapem było założenie kateteru dożylnego do żyły odpromieniowej oraz dożylne podanie lidokainy (Lignocainum Hydrochloricum

WZF 1%, Polfa Warszawa) w dawce 1 mg/kg m.c. i midazolamu (Midanium 1 mg/ml, Polfa Warszawa) w dawce 0,1-0,2 mg/kg m.c., a następnie indukcja znieczulenia ogólnego przy użyciu ketaminy (Bioketan, Vetoquinol Biowet) w dawce 2 mg/kg m.c., podanych dożylnie. Po umieszczeniu rurki intubacyjnej w tchawicy pacjenta znieczulenie ogólne podtrzymywano przy pomocy propofolu (Propomitor 10 mg/ml, Orion Pharma), podawanego dożylnie w dawce 1-2 mg/kg m.c. w odstępach 10-15 minutowych, w zależności od głębokości znieczulenia, określanej przy pomocy aparatury monitorującej (kapnograf), a także badania odruchu powiekowego. Znieczulenie ogólne kontynuowano do momentu zakończenia badań obrazowych; do czasu wybudzenia pacjenci przebywali pod stałym nadzorem anestezjologa.

### 3.1.2.2. Badanie rezonansem magnetycznym odcinka lędźwiowego kręgosłupa

Badanie rezonansem magnetycznym odcinka lędźwiowego kręgosłupa wykonywano z wykorzystaniem aparatu niskopolowego Esaote Vet-MR Grande (Esaote, Italy) o mocy 0,25 tesli oraz cewki nadawczo-odbiorczej (C-shape coil, Esaote, Italy) przeznaczonej do badania kręgosłupa małych zwierząt, według standardowego protokołu. Pacjenci układani byli każdorazowo na lewym boku tak, aby okolica kręgosłupa lędźwiowego przylegała ściśle do cewki. Protokół badania obejmował sekwencje lokalizacyjne i diagnostyczne, w obrazach T1-i T2-zależnych, w sekwencjach SE, FSE oraz 3D HYCE w płaszczyźnie strzałkowej, poprzecznej i grzbietowej.
Sekwencja zwiadowcza Scout oraz sekwencje lokalizacyjne, trwające do 30 sekund, wykonywane były na początku badania RM, aby określić precyzyjny obszar obrazowania, rozciągający się od 12-13 kręgu piersiowego do kości krzyżowej. Następnie wykonywano badania w obrazach T1- i T2-zależnych, w sekwencjach SE oraz FSE, w płaszczyźnie strzałkowej i grzbietowej, celem zlokalizowania zmian chorobowych w obrębie obrazowanego odcinka kręgosłupa. Zmiany te były następnie badane w płaszczyźnie poprzecznej z wykorzystaniem sekwencji SE, FSE i 3D HYCE, zarówno w obrazach T1- jak i T2-zależnych. W zależności od wielkości obrazowanych struktur oraz liczby wykonywanych sekwencji diagnostycznych, czas badania wynosił od 45 do 60 minut. Wszystkie przeprowadzone badania zostały zarchwizowane na płytach CD i dołączone do dokumentacji pacjentów.

### 3.1.2.3. Badanie ultrasonograficzne okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa

Podobnie jak w przypadku badań przeprowadzonych na zwłokach, badania na pacjentach wykonywano przy użyciu aparatu ultrasonograficznego (Esaote MyLab Seven, Esaote, Italy) z głowicą liniową o zakresie częstotliwości 3-13 MHz. Pacjenci do badania byli układani na lewym i na prawym boku. Przed przyłożeniem sondy do powierzchni ciała identyfikowano palpacyjnie punkty odniesienia, którymi były wyrostki kolczyste kręgów lędźwiowych oraz grzebień kości krzyżowej.

Początkowo identyfikowano siódmy kręg lędźwiowy (L7) i pierwszy kręg krzyżowy (S1) przez przyłożenie głowicy równolegle do linii pośrodkowej kręgosłupa. Następnie liczono kręgi, zaczynając od L7 i przesuwając głowicę doczaszkowo wzdłuż linii pośrodkowej kręgosłupa do 13 kręgu piersiowego (Th13).

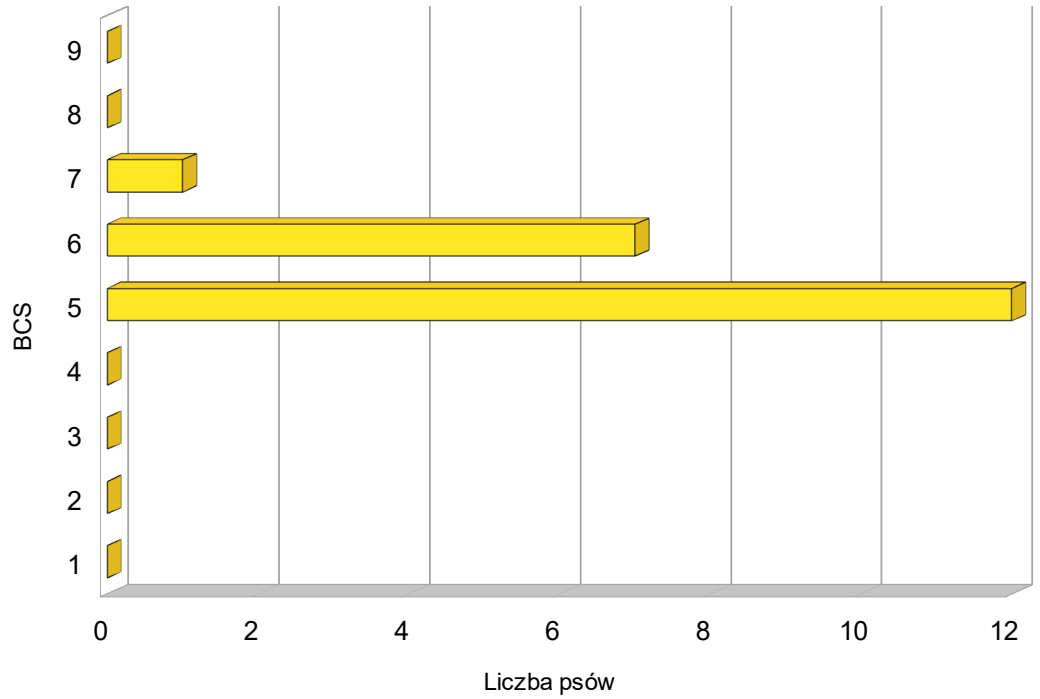
W kolejnym etapie badania obracano sondę o 90 stopni bez jej przemieszczania poza linię pośrodkową i przesuwano ją doczaszkowo tak, by obrazować struktury w płaszczyźnie poprzecznej. Następnie głowicę ponownie obracano o 90 stopni do płaszczyzny podłużnej i przesuwano do linii przypośrodkowej.

W ostatnim etapie przykładano sondę do powłok brzusznych w płaszczyźnie podłużnej, wraz z jej delikatnym dociśnięciem w kierunku dogrzbietowym.

Uzyskane obrazy zmian patologicznych oraz krótkie filmy wykonane w trakcie badań zostały zarchwizowane na płytach CD i pamięci przenośnej USB oraz dołączone do dokumentacji pacjentów.

| Rasa | Liczba psów/odsetek [%] |
|---|---|
| Buldog francuski | 5/25 |
| Mieszaniec | 5/25 |
| Owczarek niemiecki | 4/20 |
| American Staffordshire Terrier | 1/5 |
| Dog kanaryjski | 1/5 |
| Golden retriever | 1/5 |
| Jack Russell Terrier | 1/5 |
| Rottweiler | 1/5 |
| Yorkshire Terrier | 1/5 |

Tab. 2. Rasy pacjentów klinicznych wykorzystanych w badaniach. Oprac. wł.




Ryc. 10. Ogólna kondycja ciała psów wykorzystanych w badaniach klinicznych według skali BCS. Oprac. wł.

## 3.2. Pomiary struktur okolicy kręgosłupa lędźwiowego

Pomiary struktur anatomicznych odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy zostały wykonane w oparciu o obrazy uzyskane przy wykorzystaniu rezonansu magnetycznego (RM) i ultrasonografii (USG). Dla obu technik obrazowania dokonano pomiaru grubości podskórnej tkanki tłuszczowej na wysokości kręgu L5, długości trzonów kręgów od L3 do L7, grubości i wysokości krążka międzykręgowego od L3-L4 do L7-S1, wysokości wyrostka kolczystego L5, długości wyrostka poprzecznego L5 oraz grubości trzech partii mięśni grzbietu na wysokości kręgu L5: wielodzielnego, półkolcowego oraz biodrowo-żebrowego i najdłuższego lędźwi. Pomiarów dokonano przy pomocy przeglądarki plików DICOM (RadiAnt Dicom Viewer 2022.1.1, Medixant). Pomiary przy wykorzystaniu RM zostały wykonane dla obrazów T1-zależnych w sekwencji Spin Echo, w płaszczyźnie strzałkowej (tkanka tłuszczowa, trzony kręgów, krążki międzykręgowe) i poprzecznej (wyrostek kolczysty i poprzeczny oraz mięśnie grzbietu).

Grubość podskórnej tkanki tłuszczowej mierzono w połowie długości trzonu piątego kręgu lędźwiowego. Pomiaru dokonano od linii odgraniczającej skórę i tkankę podskórną od tkanki tłuszczowej do linii wyznaczającej granicę tkanki tłuszczowej i mięśni grzbietu.

Długość trzonów kręgów była mierzona każdorazowo w połowie ich wysokości, pomiędzy blaszkami krańcowymi dwóch sąsiadujących ze sobą krążków międzykręgowych.

Grubość krążków międzykręgowych była mierzona w połowie wysokości każdego krążka, od doczaszkowej do doogonowej blaszki krańcowej. Wysokość krążków międzykręgowych była mierzona w połowie grubości każdego krążka. Pomiar był dokonywany od krawędzi dogrzbietowej do krawędzi dobrzusznej każdego krążka (ryc. 11).

Grubość wszystkich partii mięśni grzbietu wyznaczana była każdorazowo na wysokości kręgu L5, od linii odgraniczającej brzuśce mięśni od podskórnej tkanki tłuszczowej do miejsca ich przyczepu przy odpowiednich strukturach kostnych kręgosłupa: do łuku kręgu (przestrzeni między wyrostkiem stawowym odpowiedniej strony a wyrostkiem kolczystym) dla mięśnia wielodzielnego, do wyrostka stawowego odpowiedniej strony dla mięśnia półkolcowego oraz do podstawy łuku kręgu odpowiedniej strony dla mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego lędźwi. Ze względu na specyfikę ułożenia pacjenta do badania RM (pacjent każdorazowo leżał na lewym boku, przez co mięśnie grzbietu po lewej stronie często ulegały spłaszczeniu w obrazie), pomiary grubości mięśni dokonywane były tylko po stronie prawej (ryc. 13).

Wysokość wyrostka kolczystego L5 była wyznaczana od jego podstawy na łuku kręgu do miejsca przyczepu więzadła nadkolcowego na szczycie wyrostka. Długość wyrostka poprzecznego L5 była mierzona od jego podstawy przy trzonie kręgu do wierzchołka wyrostka (ryc. 15).

Pomiary przy wykorzystaniu USG wykonywane były na podstawie obrazów uzyskanych z przyłożenia dobrzusznego sondy w płaszczyźnie podłużnej (tkanka tłuszczowa, trzony kręgów, krążki międzykręgowe) oraz przyłożenia dogrzbietowego sondy w płaszczyźnie poprzecznej (wyrostki kolczyste i poprzeczne oraz mięśnie grzbietu).

Grubość podskórnej tkanki tłuszczowej była mierzona w punkcie znajdującym się w połowie długości trzonu kręgu L5. Pomiar dokonywany był od linii odgraniczającej skórę i tkankę tłuszczową do linii odgraniczającej tkankę tłuszczową i mięśnie grzbietu.

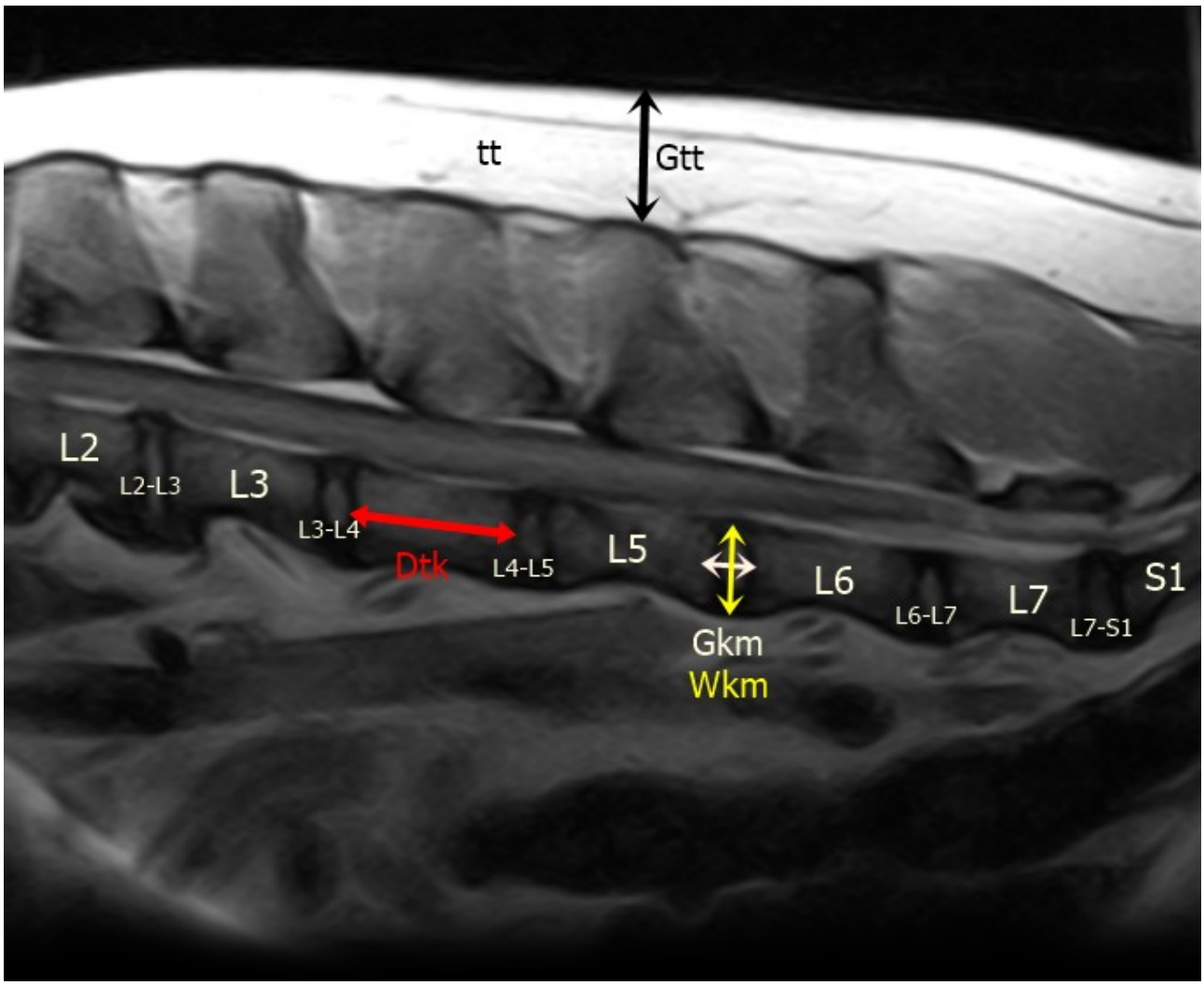
Długość trzonów kręgów była wyznaczana w połowie ich orientacyjnej wysokości, pomiędzy dwoma sąsiadującymi ze sobą krążkami międzykręgowymi.

Grubość krążków międzykręgowych była mierzona w połowie ich wysokości, między sąsiadującymi ze sobą trzonami kręgów. Wysokość krążków międzykręgowych była wyznaczana w połowie ich grubości, od krawędzi dobrzusznej do linii wyznaczającej ścianę kanału kręgowego (ryc. 12).

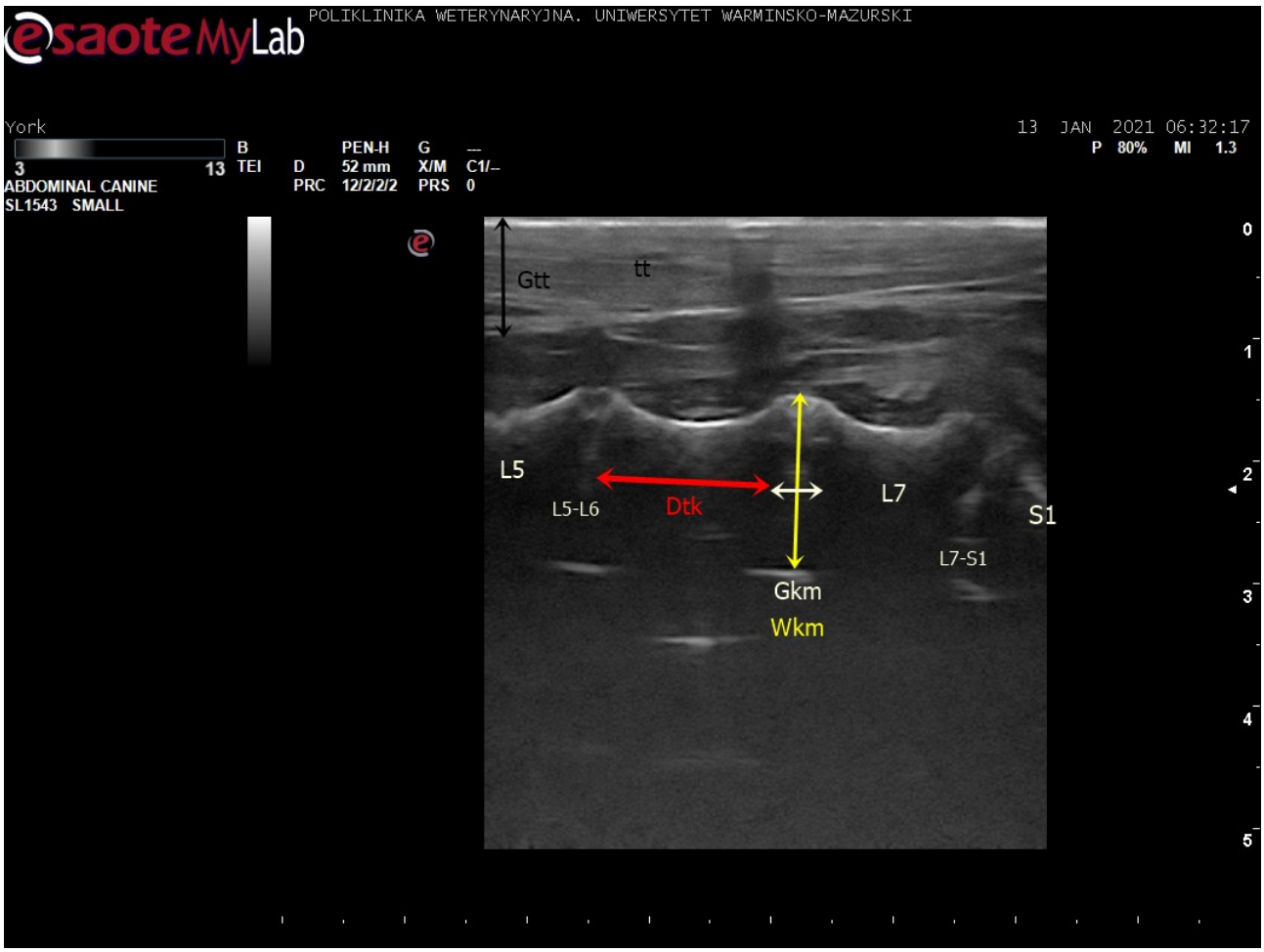
Grubość mięśni grzbietu była mierzona, podobnie jak w przypadku RM, tylko po stronie prawej, na wysokości kręgu L5. Pomiary dokonywane były każdorazowo od linii wyznaczającej granicę między podskórną tkanką tłuszczową a brzuścami mięśni, do odpowiednich miejsc ich przyczepu na strukturach kostnych kręgu: przestrzeni między wyrostkiem kolczystym a stawowym odpowiedniej strony dla mięśnia wielodzielnego, podstawy wyrostka stawowego odpowiedniej strony dla mięśnia półkolcowego oraz podstawy wyrostka poprzecznego odpowiedniej strony dla mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego lędźwi (ryc. 14).

Wysokość wyrostka kolczystego L5 była mierzona od jego podstawy na łuku kręgu do miejsca przyczepu więzadła nadkolcowego na jego wierzchołku. Długość wyrostka poprzecznego była mierzona od jego podstawy przy trzonie kręgu do wierzchołka wyrostka (ryc. 16).

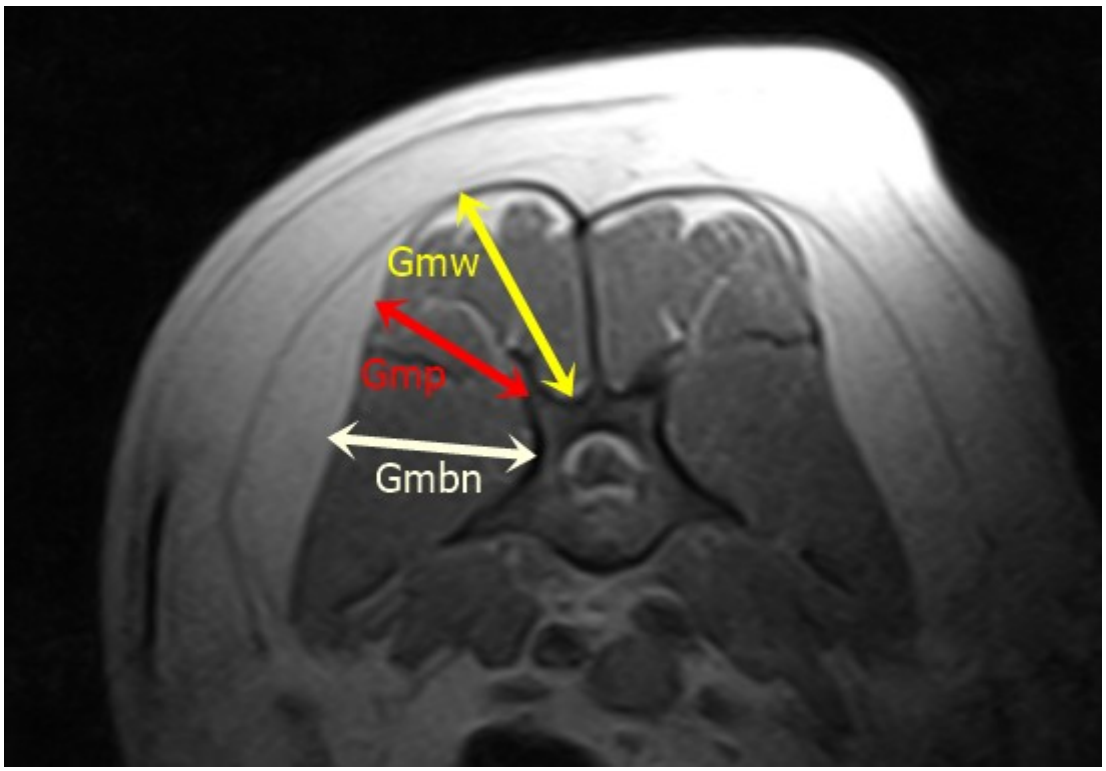
Każda struktura anatomiczna była mierzona trzykrotnie w jednym punkcie dla obu technik obrazowania, a następnie z trzech pomiarów dla każdej struktury została obliczona średnia arytmetyczna. Średnie wartości stanowiące dane statystyczne zostały wprowadzone do tabeli i posłużyły do liczbowego opracowania wyników badania.



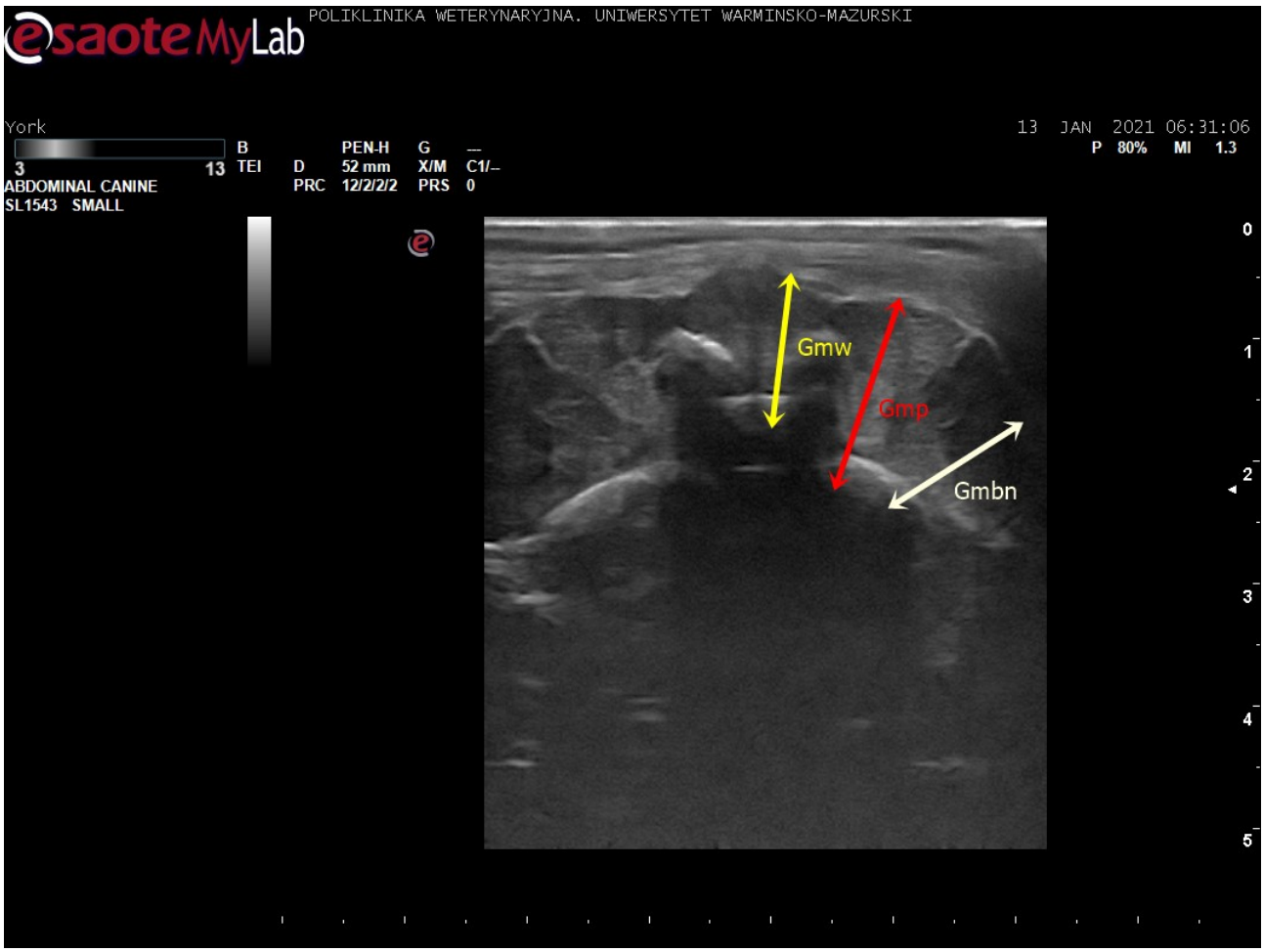

Ryc. 11. Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu rezonansem magnetycznym w płaszczyźnie strzałkowej. Strzałki wyznaczają pomiary grubości, wysokości i długości wybranych struktur. Dtk – długość trzonu kręgu; Gkm – grubość krążka międzykręgowego; Wkm – wysokość krążka międzykręgowego; Gtt – grubość tkanki tłuszczowej; tt – tkanka tłuszczowa; L2 – drugi kręg lędźwiowy; L3 – trzeci kręg lędźwiowy; L5 – piąty kręg lędźwiowy; L6 – szósty kręg lędźwiowy; L7 – siódmy kręg lędźwiowy; S1 – pierwszy kręg krzyżowy; L2-L3 – krążek miedzykręgowy L2-L3; L3-L4 – krążek międzykręgowy L3-L4; L4-L5 – krążek międzykręgowy L4-L5; L6-L7 – krążek międzykręgowy L6-L7; L7-S1- krążek międzykręgowy L7-S1. Oprac. wł.



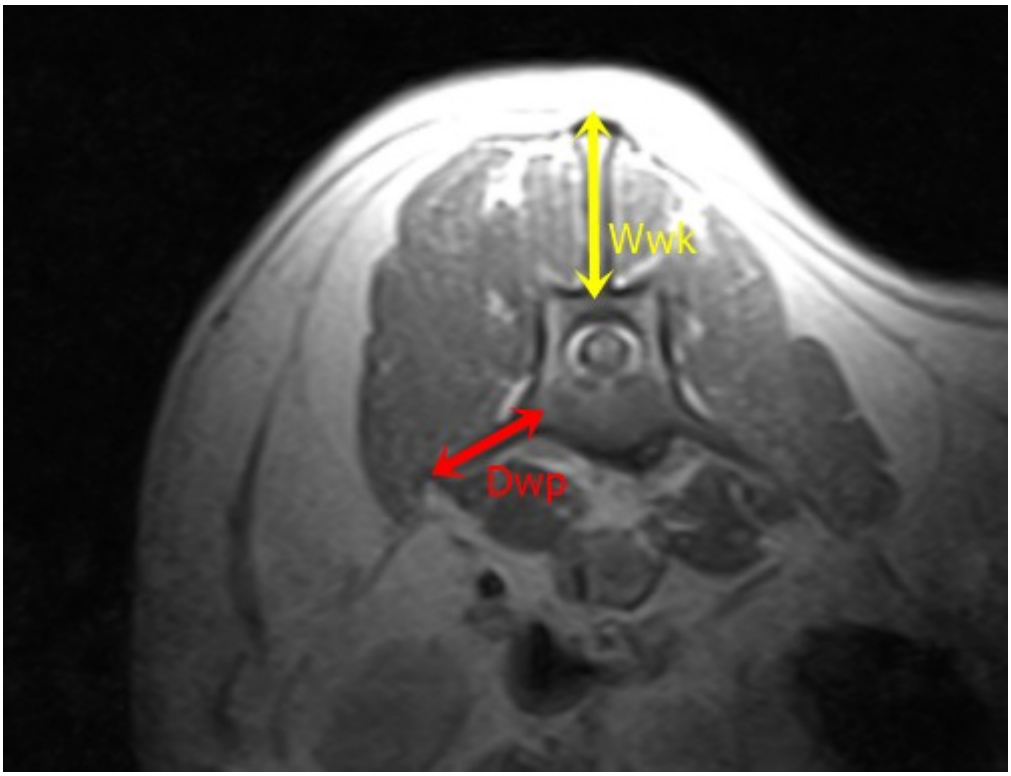

Ryc. 12. Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu ultrasonograficznym w płaszczyźnie podłużnej. Strzałki wyznaczają pomiary grubości, wysokości i długości wybranych struktur. Dtk – długość trzonu kręgu; Gkm – grubość krążka międzykręgowego; Wkm – wysokość krążka międzykręgowego; Gtt – grubość tkanki tłuszczowej; tt – tkanka tłuszczowa; L5 – piąty kręg lędźwiowy; L7 – siódmy kręg lędźwiowy; S1 – pierwszy kręg krzyżowy; L5-L6 – krążek międzykręgowy L5-L6; L7-S1- krążek międzykręgowy L7-S1. Oprac. wł.



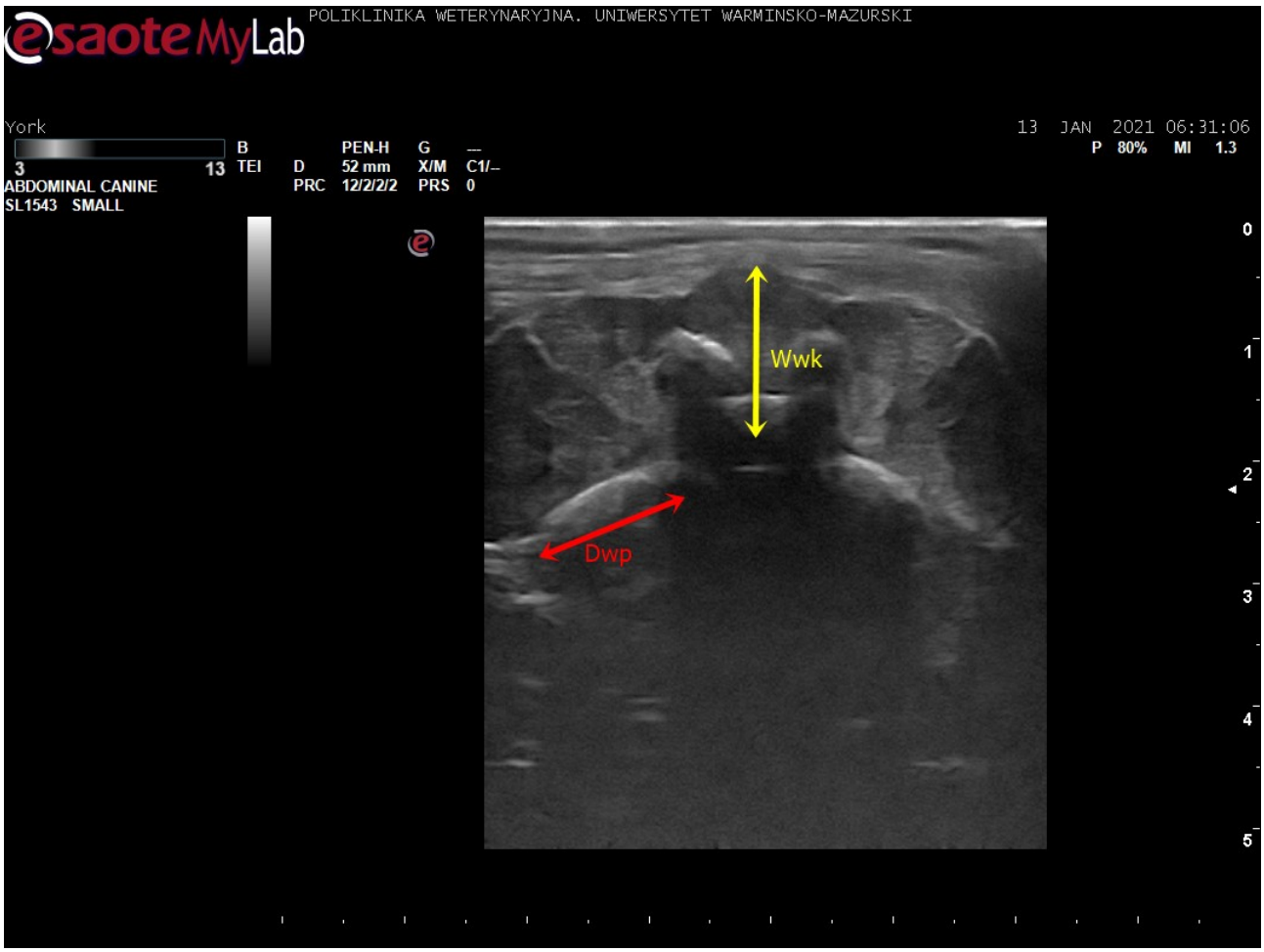

Ryc. 13. Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu rezonansem magnetycznym w płaszczyźnie poprzecznej. Strzałki wyznaczają pomiary grubości wybranych struktur. Gmw – grubość mięśnia wielodzielnego; Gmp – grubość mięśnia półkolcowego, Gmbn – grubość mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu. Oprac. wł.




Ryc. 14. Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu ultrasonograficznym w płaszczyźnie poprzecznej. Strzałki wyznaczają pomiary grubości wybranych struktur. Gmw – grubość mięśnia wielodzielnego; Gmp – grubość mięśnia półkolcowego, Gmbn – grubość mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu. Oprac. wł.




Ryc. 15. Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu rezonansem magnetycznym w płaszczyźnie poprzecznej. Strzałki wyznaczają pomiary wysokości i długości wybranych struktur. Wwk – wysokość wyrostka kolczystego; Dwp – długość wyrostka poprzecznego. Oprac. wł.




Ryc. 16. Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu ultrasonograficznym w płaszczyźnie poprzecznej. Strzałki wyznaczają pomiary wysokości i długości wybranych struktur. Wwk – wysokość wyrostka kolczystego; Dwp – długość wyrostka poprzecznego. Oprac. wł.

## 3.3 Analiza statystyczna pomiarów

Dane niezbędne do analizy były przechowywane w arkuszach kalkulacyjnych MS Excel. Analizę statystyczną przeprowadzono korzystając z języków programowania Python 3.10.0 oraz R 4.3.1 w środowisku JupyterLab. Aby ocenić normalność rozkładu danych, użyto testu Shapiro-Wilka. Uzyskane wyniki potwierdziły normalny rozkład danych, umożliwiając zastosowanie metod parametrycznych. Następie przeprowadzono analizę opisową wyników, obliczając średnie, mediany, zakresy wartości oraz odchylenia standardowe dla każdej ze zmierzonych struktur w obu technikach obrazowania.

Dla ustalenia korelacji między pomiarami wykonanymi przy użyciu rezonansu magnetycznego oraz ultrasonografii wykorzystano współczynnik korelacji Pearsona. Z kolei do oceny zgodności między poszczególnymi technikami obrazowania zastosowano współczynnik korelacji zgodności CCC dla zmiennych ciągłych. Zastosowano jednakową skalę służącą do interpretacji obu prezentowanych wyników korelacji: < 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.

W celu wizualizacji danych i analizy, wykorzystano biblioteki Python takie jak Pandas, Matplotlib oraz Seaborn. Ustalony poziom istotności statystycznej dla wszystkich testów wynosił $P<0,01$.

# 4. Wyniki

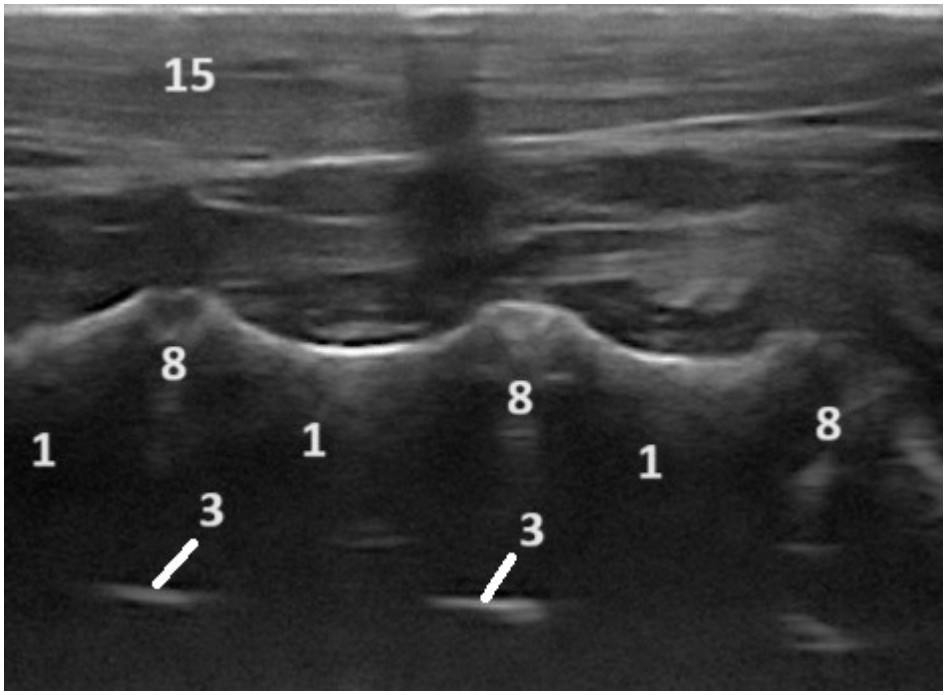
## 4.1. Grupa pierwsza - zwłoki psów

### 4.1.1. Anatomia ultrasonograficzna okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa

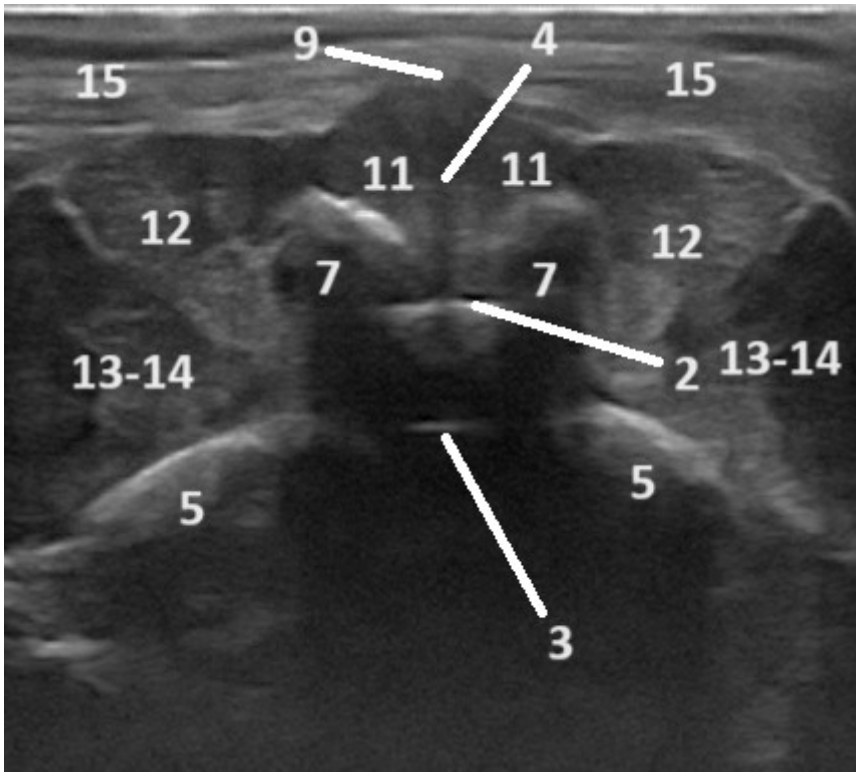
Badania ultrasonograficzne przeprowadzone na zwłokach psów posłużyły do opracowania modelu anatomicznego okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Uzyskane obrazy cechowały się dobrą rozdzielczością, co umożliwiło ocenę struktur anatomicznych. Wyniki doświadczenia zostały zaprezentowane w formie obrazów uzyskanych metodą ultrasonografii, w płaszczyźnie podłużnej i poprzecznej. W tabeli 3 umieszczono wykaz zobrazowanych struktur anatomicznych wraz z ich nazwami łacińskimi (na podstawie *Nomina Anatomica Veterinaria*).

| L.p | Nazwa polska | Nazwa łacińska |
|---|---|---|
| 1 | Trzon kręgu | Corpus vertebrae |
| 2 | Łuk kręgu | Arcus vertebrae |
| 3 | Kanał kręgowy | Canalis vertebralis |
| 4 | Wyrostek kolczysty | Processus spinosus |
| 5 | Wyrostek poprzeczny | Processus transversus |
| 6 | Wyrostek stawowy doczaszkowy | Processus articularis cranialis |
| 7 | Wyrostek stawowy doogonowy | Processus articularis caudalis |
| 8 | Krążek międzykręgowy | Discus intervertebralis |
| 9 | Więzadło nadkolcowe | Ligamentum supraspinale |
| 10 | Więzadło międzypoprzeczne | Ligamentum intertransversarium |
| 11 | Mięsień wielodzielny | Musculus multifidus |
| 12 | Mięsień półkolcowy | Musculus semispinalis |
| 13 | Mięsień biodrowo-żebrowy lędźwi | Musculus iliocostalis lumborum |
| 14 | Mięsień najdłuższy lędźwi | Musculus longissimus lumborum |
| 15 | Tkanka podskórna | Tela subcutanea |

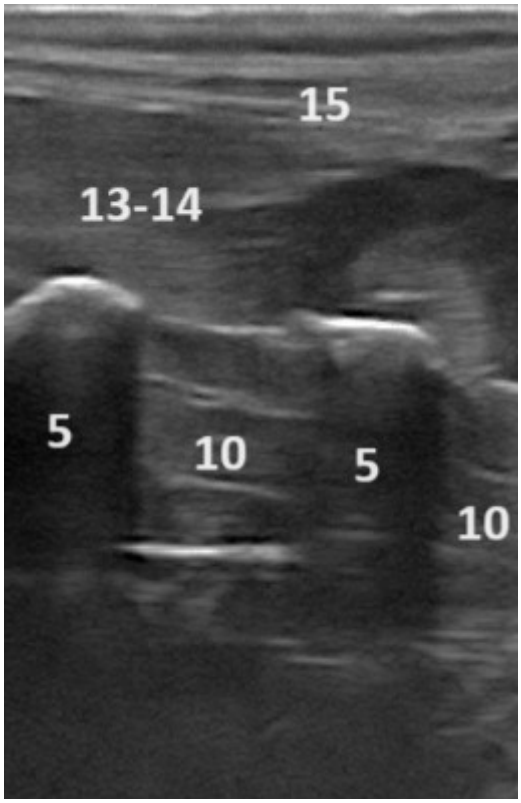
Tab. 3. Struktury anatomiczne zobrazowane w badaniu ultrasonograficznym. Oprac. wł.



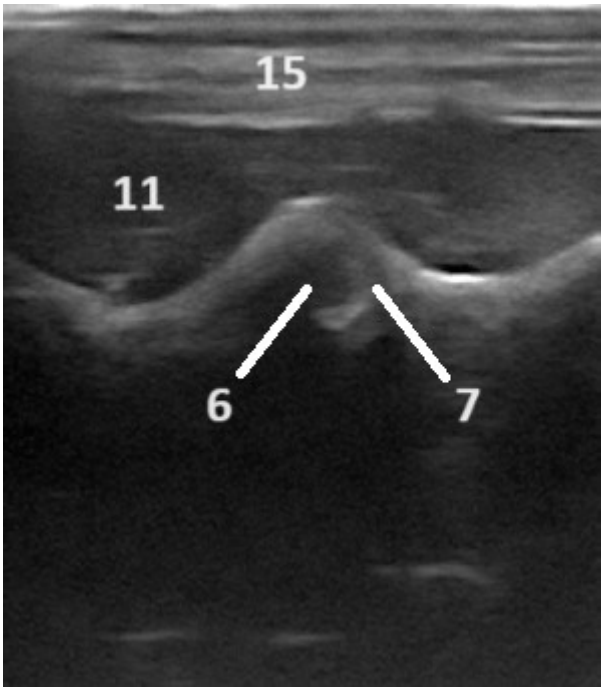

Ryc. 17. Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. 1 – trzon kręgu, 3 – kanał kręgowy, 8 – krążek międzykręgowy, 15 – tkanka podskórna. Oprac. wł.




Ryc. 18. Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie poprzecznej od strony dogrzbietowej. 4 – wyrostek kolczysty, 5 – wyrostek poprzeczny, 7 – wyrostek stawowy doogonowy, 9 – więzadło nadkolcowe, 11 – mięsień wielodzielny, 12 – mięsień półkolcowy, 13-14 – mięsień biodrowo-żebrowy i najdłuższy grzbietu, 15 – tkanka podskórna. Oprac. wł.




Ryc. 19. Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej od strony bocznej. 5 – wyrostek kolczysty, 10 – więzadło międzypoprzeczne, 13-14 – mięsień biodrowo-żebrowy i najdłuższy grzbietu, 15 – tkanka podskórna. Oprac. wł.

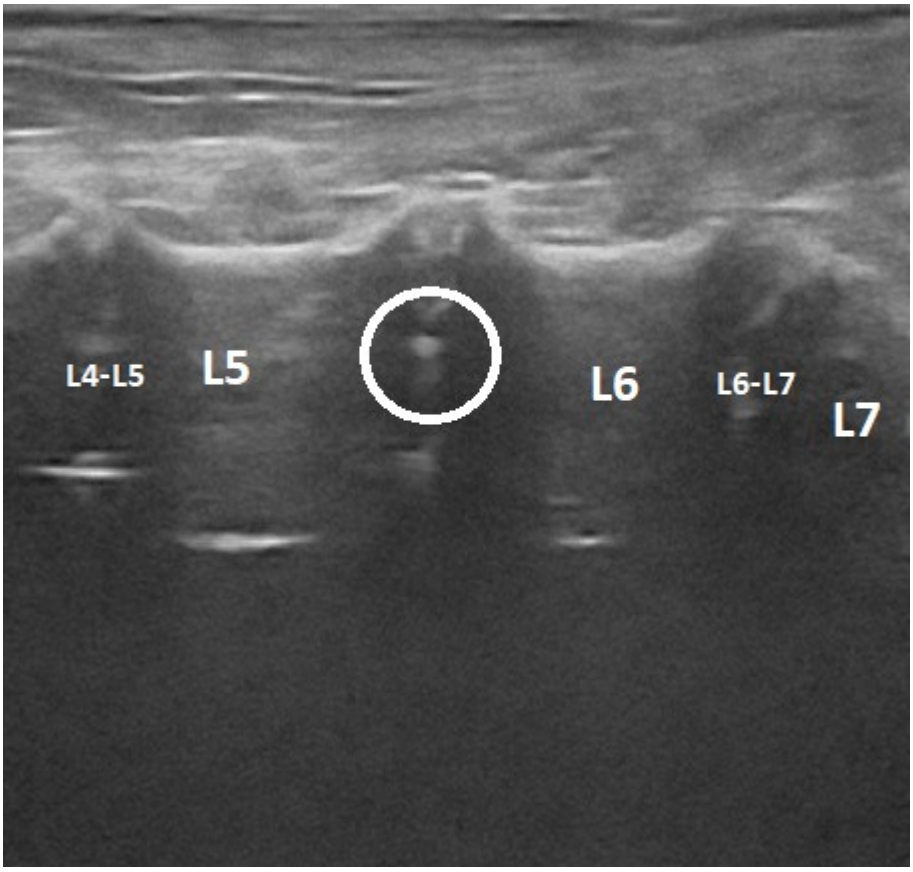



Ryc. 20. Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej od strony bocznej. 6 – wyrostek stawowy doczaszkowy, 7 – wyrostek stawowy doogonowy, 11 – mięsień wielodzielny, 15 – podskórna tkanka tłuszczowa. Oprac. wł.

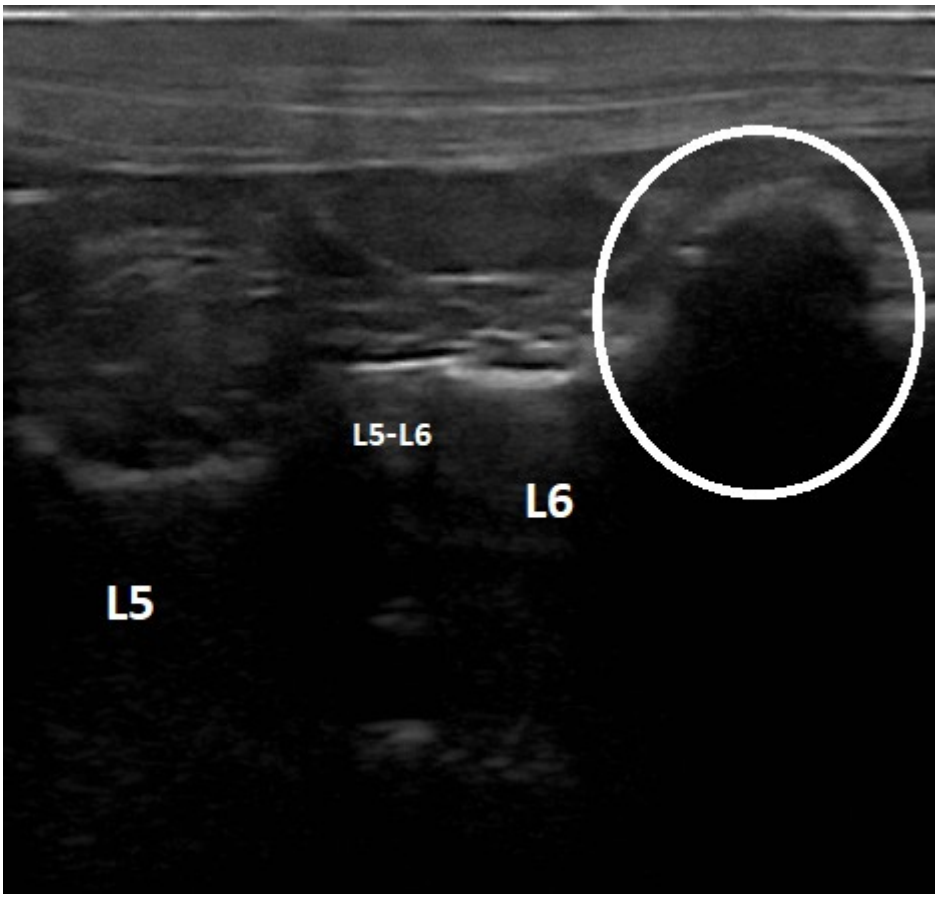
## 4.2. Grupa druga - pacjenci kliniczni

### 4.2.1. Zmiany patologiczne odcinka lędźwiowego kręgosłupa w badaniu ultrasonograficznym

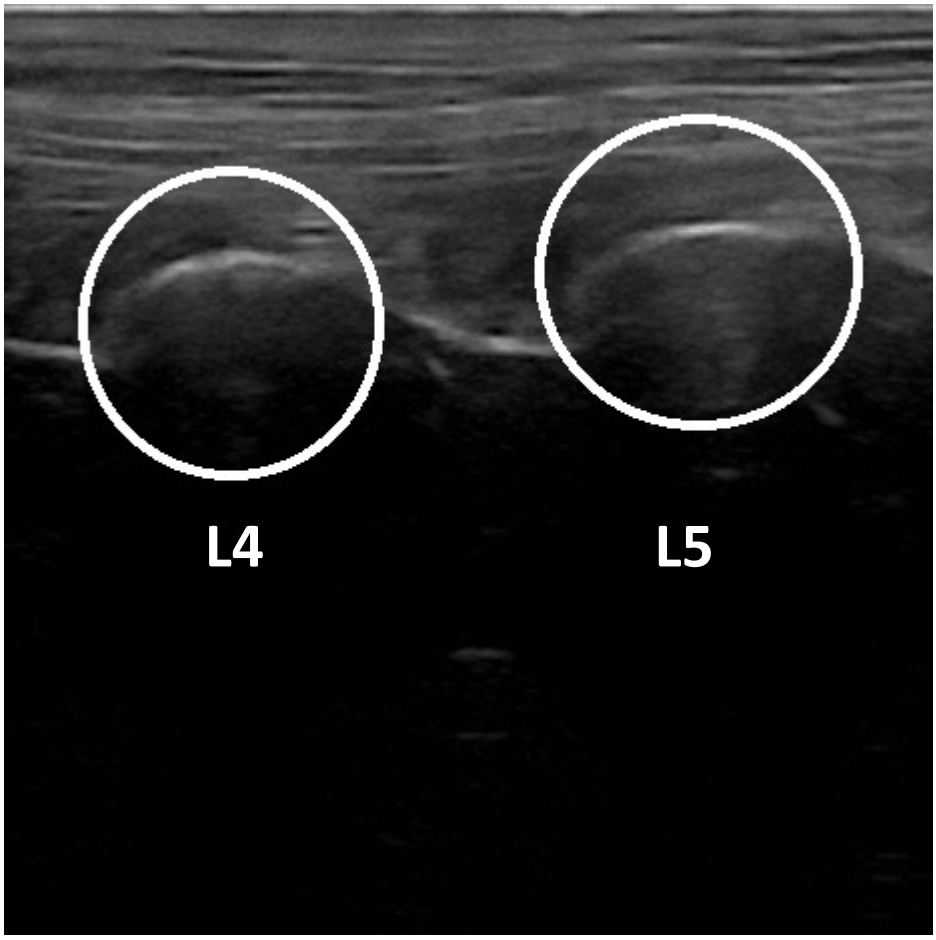
Badania pacjentów klinicznych wykonywano w oparciu o model anatomiczny okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa, opisany w punkcie 4.1. W przeprowadzonym badaniu ultrasonograficznym uzyskano obrazy zmian chorobowych krążków międzykręgowych i kręgów odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów, takich jak odwodnienie krążków, mineralizacja jądra miażdzystego, mineralizacja pierścienia włóknistego oraz spondyloza. Wyniki badania zostały zaprezentowane w formie obrazów uzyskanych metodą ultrasonografii, w płaszczyźnie podłużnej i poprzecznej (ryc. 21-27). Obrazy cechowały się dobrą jakością i umożliwiły identyfikację zmian chorobowych. Zmiany chorobowe u poszczególnych pacjentów przedstawiono w tabeli 3.



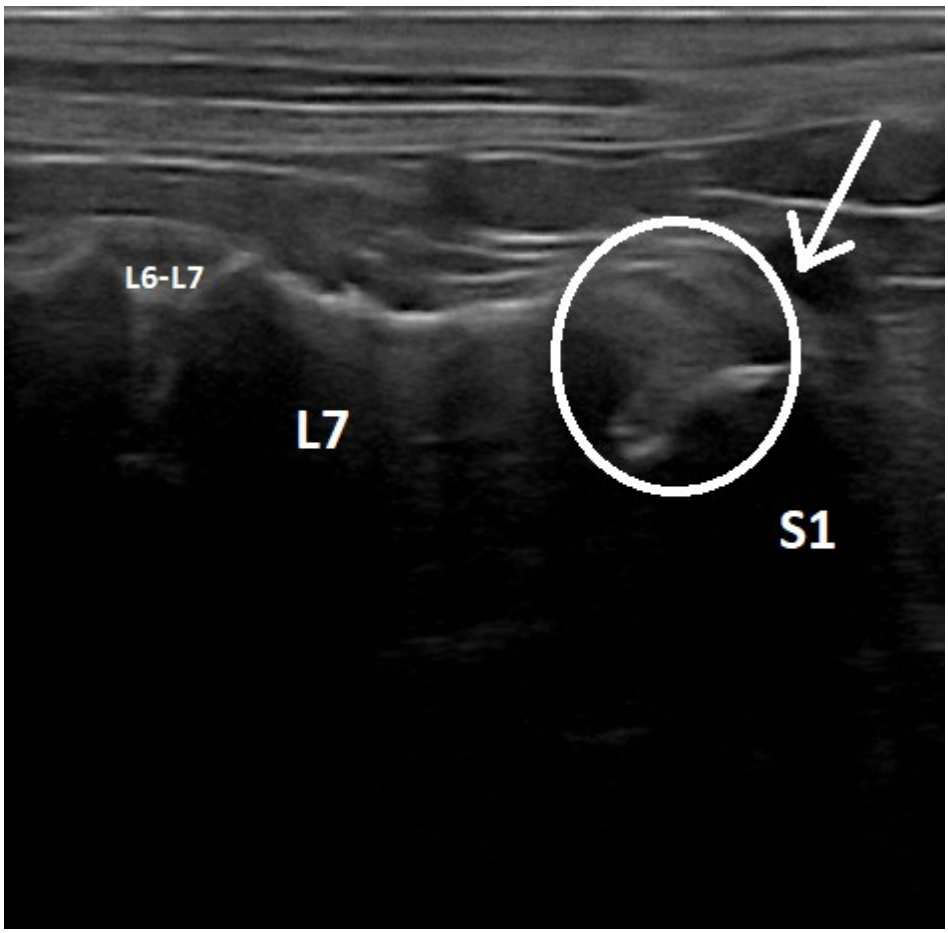

Ryc. 21. Mineralizacja krążka międzykręgowego L5-L6 z zaznaczoną mineralizacją jądra miażdzystego, zobrazowana w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. L5 - trzon kręgu L5, L6 – trzon kręgu L6, L7 – trzon kręgu L7, L4-L5 – krążek miedzykręgowy L4-L5, L6-L7 – krążek międzykręgowy L6-L7. Oprac. wł.



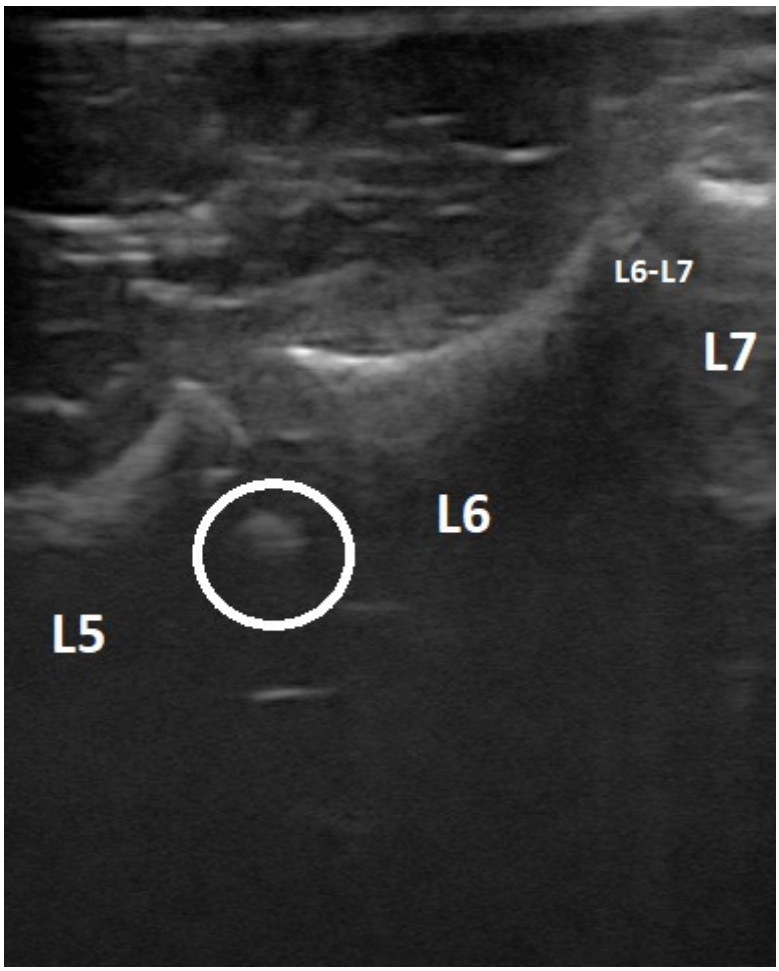

Ryc. 22. Zmiany typu spondylosis deformans w okolicy krążka miądzykręgowego L6-L7, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. L5 – trzon kręgu L5, L6 – trzon kręgu L6, L5-L6 – krążek międzykręgowy L5-L6. Oprac. wł.



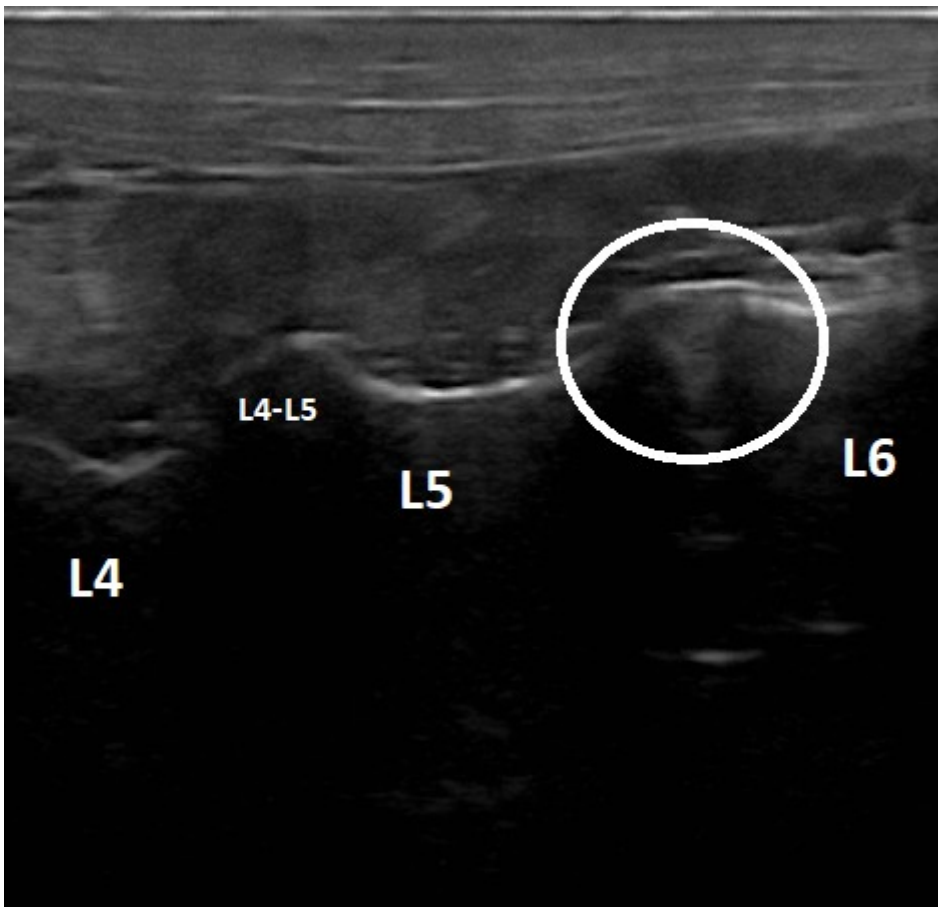

Ryc. 23. Zmienione zwyrodnieniowo krążki międzykręgowe, uwypuklone ponad powierzchnię trzonów kręgów, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej po stronie dobrzusznej. Oprac. wł.




Ryc. 24. Zmiany w obszarze trzonu kręgu i krążka międzykręgowego, sugerujące obecność zespołu ogona końskiego, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej po stronie dobrzusznej. Strzałką zaznaczono zmianę typu spondylosis deformans trzonu pierwszego członu kości krzyżowej. Okręgiem zaznaczono uwypuklony krążek międzykręgowy L7-S1. L7 – trzon kręgu L7, S1 – pierwszy kręg krzyżowy, L6-L7 – krążek międzykręgowy L6-L7. Oprac. wł.

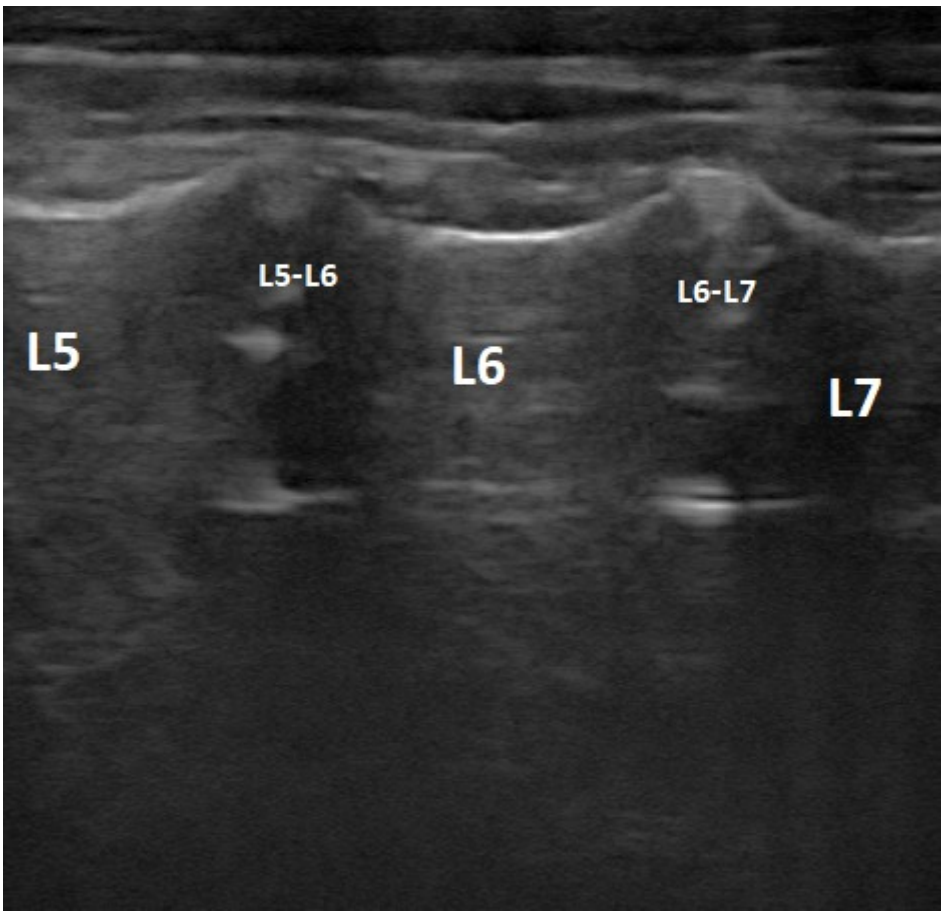



Ryc. 25. Mineralizacja jądra miażdżystego krążka międzykręgowego L5-L6, zobrazowana w płaszczyźnie podłużnej po stronie dobrzusznej. L5 – trzon kręgu L5, L6 – trzon kręgu L6, L7 – trzon kręgu L7, L6-L7 – krążek międzykręgowy L6-L7. Oprac. wł.




Ryc. 26. Odwodnienie krążka międzykręgowego L5-L6, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. L4 – trzon kręgu L4, L5 – trzon kręgu L5 – L6 – trzon kręgu L6, L4-L5 – krążek międzykręgowy L5-L6. Oprac. wł.

'




Ryc. 27. Mineralizacja i odwodnienie krążków międzykręgowych L5-L6 i L6-L7, zobrazowana w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. L5 – trzon kręgu L5, L6 – trzon kręgu L6, L7 – trzon kręgu L7. Oprac. wł.

| Numer pacjenta | Zmiany chorobowe |
|---|---|
| 1 | OKM, MJM |
| 2 | OKM, SPON |
| 3 | OKM, MJM, MPW |
| 4 | OKM, |
| 5 | OKM, MJM, MPW |
| 6 | OKM, MPW, SPON |
| 7 | OKM, MJM, MPW, SPON |
| 8 | OKM |
| 9 | OKM, MJM |
| 10 | OKM, MPW, SPON |
| 11 | OKM |
| 12 | OKM, MPW |
| 13 | OKM, MPW |
| 14 | OKM, MJM, PW, SPON |
| 15 | OKM, MPW, SPON |
| 16 | OKM, MPW |
| 17 | OKM, MPW, SPON |
| 18 | OKM |
| 19 | OKM, MPW |
| 20 | OKM, MJM, MPW, SPON |

Tab. 4. Zmiany chorobowe zidentyfikowane u poszczególnych pacjentów w badaniu ultrasonograficznym. OKM – odwodnienie krążków międzykręgowych, MJM – mineralizacja jądra miażdżystego, MPW – mineralizacja pierścienia włóknistego, SPON – spondyloza. Oprac. wł.

## 4.3. Wyniki analizy statystycznej

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów struktur okolicy kręgosłupa lędźwiowego dokonano analizy statystycznej, wykorzystując korelację Pearsona oraz współczynnik korelacji zgodności (CCC). Tabele 4 i 5 przedstawiają korelację Pearsona między poszczególnymi wartościami pomiarów struktur w rezonansie magnetycznym oraz korelację Pearsona między masą ciała pacjentów a pomiarami struktur w rezonansie magnetycznym.

### 4.3.1. Zależności pomiarów w obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem magnetycznym wybranych struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa

W przypadku korelacji między pomiarami struktur w rezonansie magnetycznym w większości uzyskano bardzo silną zgodność (wartość $p < 0.001$). Bardzo silna zgodność dotyczyła zależności między grubością krążka międzykręgowego L3-L4 a grubością tkanki tłuszczowej, między wymiarami struktur kręgosłupa (długość trzonu kręgu, grubość i wysokość krążka międzykręgowego, wysokość wyrostka kolczystego L5, długość wyrostka poprzecznego L5), między grubością mięśnia wielodzielnego a grubością krążka międzykręgowego L3-L4 i L7-S1 oraz wysokością wyrostka kolczystego L5, między grubością mięśnia wielodzielnego a grubością mięśnia półkolcowego oraz mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu, a także między grubością mięśnia biodrowo-żeborowego i najdłuższego grzbietu oraz wymiarami struktur kręgosłupa (długość trzonu kręgu, grubość i wysokość krążka międzykręgowego, wysokość wyrostka kolczystego L5, długość wyrostka poprzecznego L5).

Korelacja między pomiarami grubości tkanki tłuszczowej oraz wymiarami struktur kręgosłupa i mięśni przykręgosłupowych wykazywała się silną zgodnością dla długości trzonów kręgów L3, L5, L6 i L7, grubości krążków międzykręgowych L4-L5, L5-L6, L6-L7 i L7-S1, wysokości krążka międzykręgowego L6-L7 oraz wysokości wyrostka kolczystego L5. Silną zgodność uzyskano również w przypadku zależności między grubością mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu a długością wyrostka poprzecznego L5.

Umiarkowana zgodność dotyczyła zależności między grubością tkanki tłuszczowej a długością trzonu kręgu L4, wysokością krążka międzykręgowego L3-L4, L4-L5, L5-L6 i L7-S1, długością wyrostka poprzecznego L5, grubością mięśnia wielodzielnego oraz biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu, między grubością mięśnia wielodzielnego a długością trzonów kręgów, wysokością krążka międzykręgowego L4-L5, L5-L6, L6-L7 i L7-S1 oraz długością wyrostka

poprzecznego L5, a także między grubością mięśnia półkolcowego i grubością krążka międzykręgowego L7-S1 oraz wysokością krążka międzykręgowego L3-L4, L4-L5 i L5-L6.
Słabą zgodność uzyskano między grubością mięśnia półkolcowego a grubością tkanki tłuszczowej, długością trzonów kręgów, grubością krążków międzykręgowych (z wyjątkiem krążka międzykręgowego L7-S1), wysokością krążka międzykręgowego L6-L7 i L7-S1 oraz długością wyrostka poprzecznego L5 (tab. 1).

### 4.3.2. Zależność masy ciała i pomiarów w obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem magnetycznym wybranych struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa

Korelacja między masą ciała pacjentów a pomiarami struktur kręgosłupa lędźwiowego w rezonansie magnetycznym wykazywała się w większości bardzo silną zgodnością (wartość $p < 0.001$). Najwyższą zgodność odnotowano w przypadku długości trzonów kręgów, grubości i wysokości krążków międzykręgowych, wysokości wyrostka kolczystego L5, długości wyrostka poprzecznego L5 oraz grubości mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu.
W przypadku korelacji masy ciała z grubością tkanki tłuszczowej ($r = 0.579$; $p = 0.007$) oraz grubością mięśnia wielodzielnego ($r = 0.566$; $p = 0.009$) uzyskano umiarkowaną zgodność; słabą zgodność uzyskano w przypadku mięśnia półkolcowego ($r = 0.374$; $p = 0.104$) (tab. 2).

### 4.3.3. Korelacja pomiarów w obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem magentycznym i badaniu ultrasonograficznym

Współczynnik korelacji zgodności między pomiarami w ultrasonografii i rezonansie magnetycznym określił zgodność tych technik obrazowania. Zgodność pomiarów wysokości krążków międzykręgowych L4-L5, L5-L6, L6-L7, L7-S1, grubości mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu oraz mięśnia półkolcowego była bardzo silna (CCC = 0.999) (ryc. 1-6). Bardzo silną zgodność wykazały również pomiary grubości mięśnia wielodzielnego (CCC = 0.998) (ryc. 7), długości wyrostka poprzecznego L5 i wysokości wyrostka kolczystego L5 (CCC = 0.996) (ryc. 8-9), długości trzonów kręgów L4, L5, L6 i L7 (CCC = 0.995) (ryc. 10-13), długości trzonu kręgu L3 (CCC = 0.993) (ryc. 14), wysokości krążka międzykręgowego L3-L4 (CCC = 0.992) (ryc. 15), grubości krążka międzykręgowego L5-L6 (CCC = 0.96) (ryc. 16), grubości krążka międzykręgowego L6-L7 (CCC = 0.928) (ryc. 17), grubości krążka międzykręgowego L3-L4 (CCC

= 0.923) (ryc. 18), grubości tkanki tłuszczowej (CCC = 0.914) (ryc. 19) oraz grubości krążka międzykręgowego L7-S1 (CCC = 0.907) (ryc. 20). Silną zgodność wykazał pomiar grubości krążka międzykręgowego L4-L5 (CCC = 0.888) (ryc. 21).

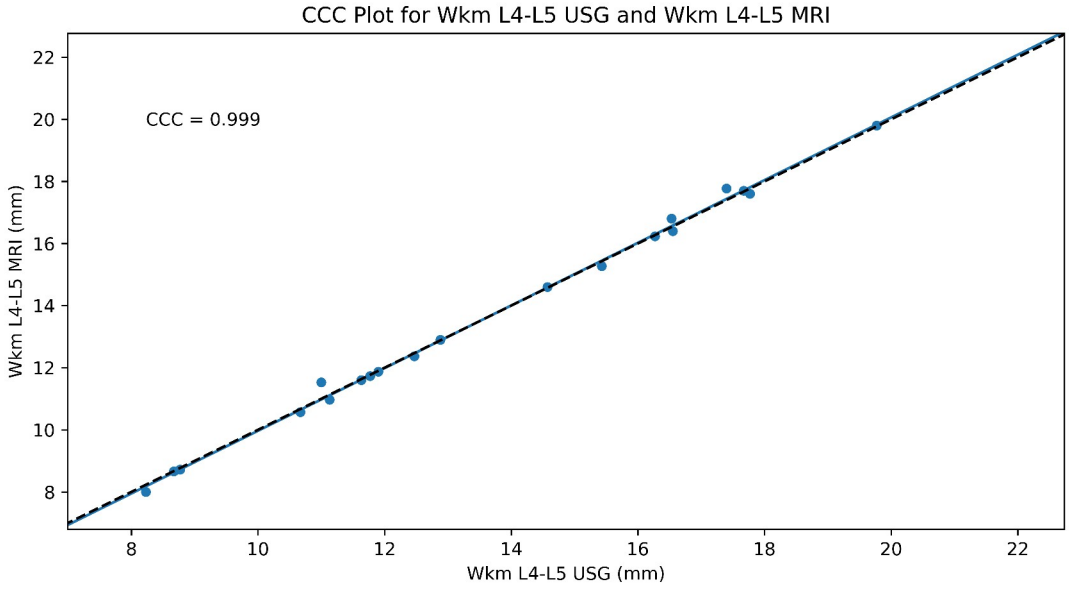
| Gkm L6-L7 | Gkm L7-S1 | Wkm L3-L4 | Wkm L4-L5 | Wkm L5-L6 | Wkm L6-L7 | Wkm L7-S1 | Wwk L5 | Dwp L5 | Gmw | Gmp | Gmbn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | |
| - | | | | | | | | | | | |
| 0.943 | - | | | | | | | | | | |
| <.001 | - | | | | | | | | | | |
| 0.870 | 0.894 | - | | | | | | | | | |
| <.001 | <.001 | - | | | | | | | | | |
| 0.881 | 0.898 | 0.989 | - | | | | | | | | |
| <.001 | <.001 | <.001 | - | | | | | | | | |
| 0.887 | 0.886 | 0.981 | 0.990 | - | | | | | | | |
| <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | | | | | |
| 0.871 | 0.876 | 0.965 | 0.979 | 0.985 | - | | | | | | |
| <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | | | | |
| 0.866 | 0.864 | 0.962 | 0.975 | 0.984 | 0.984 | - | | | | | |
| <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | | | |
| 0.876 | 0.875 | 0.750 | 0.773 | 0.799 | 0.807 | 0.777 | - | | | | |
| <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | | |
| 0.891 | 0.826 | 0.776 | 0.771 | 0.779 | 0.742 | 0.736 | 0.694 | - | | | |
| <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | |
| 0.637 | 0.688 | 0.485 | 0.499 | 0.497 | 0.477 | 0.443 | 0.729 | 0.563 | - | | |
| 0.003 | <.001 | 0.030 | 0.025 | 0.026 | 0.034 | 0.051 | <.001 | 0.010 | - | | |
| 0.349 | 0.503 | 0.425 | 0.430 | 0.407 | 0.353 | 0.344 | 0.476 | 0.256 | 0.740 | - | |
| 0.131 | 0.024 | 0.062 | 0.059 | 0.075 | 0.126 | 0.138 | 0.034 | 0.276 | <.001 | - | |
| 0.754 | 0.832 | 0.692 | 0.717 | 0.710 | 0.688 | 0.695 | 0.756 | 0.666 | 0.832 | 0.648 | - |
| <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | 0.001 | <.001 | 0.002 | - |

| Zmienna | | Gtt | Dtk L3 | Dtk L4 | Dtk L5 | Dtk L6 | Dtk L7 | Gkm L3-L4 | Gkm L4-L5 | Gkm L5-L6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Gtt | Współczynnik r | - | | | | | | | | |
| | Wartość p | - | | | | | | | | |
| Dtk L3 | Współczynnik r | 0.606 | - | | | | | | | |
| | Wartość p | 0.005 | - | | | | | | | |
| Dtk L4 | Współczynnik r | 0.590 | 0.997 | - | | | | | | |
| | Wartość p | 0.006 | <.001 | - | | | | | | |
| Dtk L5 | Współczynnik r | 0.606 | 0.997 | 0.997 | - | | | | | |
| | Wartość p | 0.005 | <.001 | <.001 | - | | | | | |
| Dtk L6 | Współczynnik r | 0.607 | 0.998 | 0.998 | 0.997 | - | | | | |
| | Wartość p | 0.005 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | | |
| Dtk L7 | Współczynnik r | 0.634 | 0.973 | 0.974 | 0.968 | 0.977 | - | | | |
| | Wartość p | 0.003 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | | |
| Gkm L3-L4 | Współczynnik r | 0.709 | 0.834 | 0.830 | 0.832 | 0.846 | 0.846 | - | | |
| | Wartość p | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | | |
| Gkm L4-L5 | Współczynnik r | 0.658 | 0.857 | 0.852 | 0.854 | 0.860 | 0.844 | 0.949 | - | |
| | Wartość p | 0.002 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - | |
| Gkm L5-L6 | Współczynnik r | 0.659 | 0.879 | 0.879 | 0.877 | 0.888 | 0.891 | 0.951 | 0.917 | - |
| | Wartość p | 0.002 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | - |
| Gkm L6-L7 | Współczynnik r | 0.636 | 0.875 | 0.879 | 0.877 | 0.886 | 0.890 | 0.957 | 0.962 | 0.950 |
| | Wartość p | 0.003 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Gkm L7-S1 | Współczynnik r | 0.668 | 0.845 | 0.844 | 0.849 | 0.857 | 0.854 | 0.934 | 0.963 | 0.927 |
| | Wartość p | 0.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Wkm L3-L4 | Współczynnik r | 0.540 | 0.935 | 0.932 | 0.934 | 0.935 | 0.888 | 0.828 | 0.897 | 0.836 |
| | Wartość p | 0.014 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Wkm L4-L5 | Współczynnik r | 0.546 | 0.931 | 0.930 | 0.927 | 0.935 | 0.900 | 0.836 | 0.897 | 0.839 |
| | Wartość p | 0.013 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Wkm L5-L6 | Współczynnik r | 0.524 | 0.940 | 0.936 | 0.934 | 0.943 | 0.913 | 0.844 | 0.883 | 0.861 |
| | Wartość p | 0.018 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Wkm L6-L7 | Współczynnik r | 0.610 | 0.926 | 0.919 | 0.916 | 0.928 | 0.909 | 0.840 | 0.868 | 0.853 |
| | Wartość p | 0.004 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Wkm L7-S1 | Współczynnik r | 0.575 | 0.928 | 0.924 | 0.924 | 0.934 | 0.900 | 0.841 | 0.854 | 0.848 |
| | Wartość p | 0.008 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Wwk L5 | Współczynnik r | 0.635 | 0.751 | 0.751 | 0.748 | 0.772 | 0.809 | 0.910 | 0.840 | 0.915 |
| | Wartość p | 0.003 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Dwp L5 | Współczynnik r | 0.541 | 0.825 | 0.827 | 0.829 | 0.829 | 0.854 | 0.800 | 0.837 | 0.831 |
| | Wartość p | 0.014 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |
| Gmw | Współczynnik r | 0.525 | 0.471 | 0.466 | 0.470 | 0.487 | 0.581 | 0.688 | 0.661 | 0.604 |
| | Wartość p | 0.018 | 0.036 | 0.038 | 0.037 | 0.029 | 0.007 | <.001 | 0.002 | 0.005 |
| Gmp | Współczynnik r | 0.184 | 0.319 | 0.310 | 0.322 | 0.329 | 0.346 | 0.413 | 0.487 | 0.354 |
| | Wartość p | 0.438 | 0.170 | 0.183 | 0.166 | 0.156 | 0.135 | 0.071 | 0.030 | 0.126 |
| Gmbn | Współczynnik r | 0.575 | 0.686 | 0.683 | 0.680 | 0.701 | 0.744 | 0.776 | 0.783 | 0.760 |
| | Wartość p | 0.008 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 | <.001 |

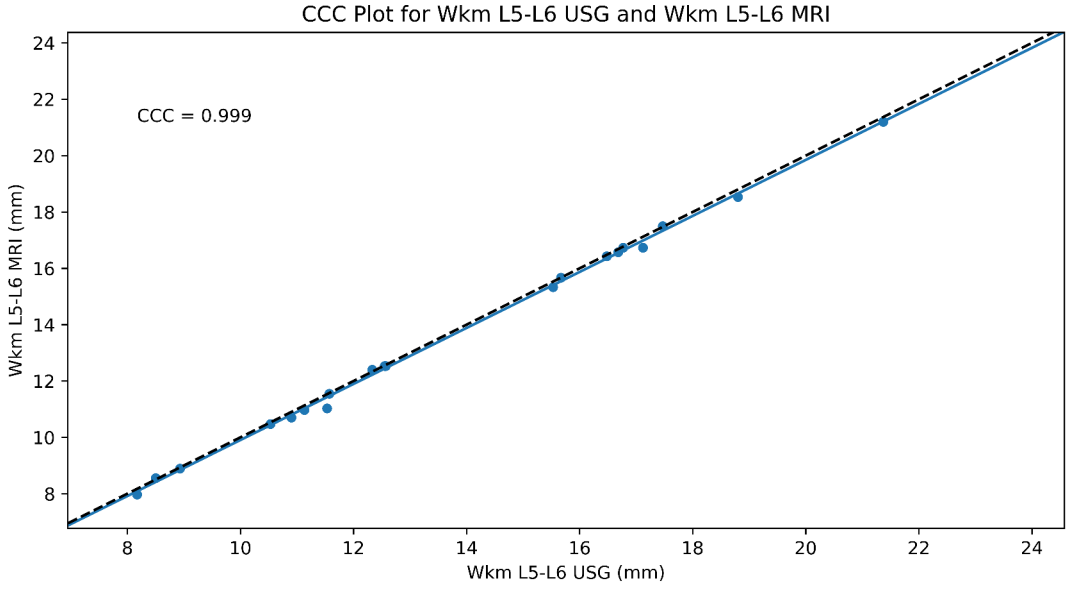
Tab. 5. Korelacja Pearsona między wartościami pomiarów struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa w rezonansie magnetycznym. Oprac. wł.

| | Współczynnik r | Wartość p |
|---|---|---|
| Gtt RM | 0.579 | 0.007 |
| Dtk L3 RM | 0.909 | <.001 |
| Dtk L4 RM | 0.902 | <.001 |
| Dtk L5 RM | 0.895 | <.001 |
| Dtk L6 RM | 0.906 | <.001 |
| Dtk L7 RM | 0.912 | <.001 |
| Gkm L3-L4 RM | 0.841 | <.001 |
| Gkm L4-L5 RM | 0.864 | <.001 |
| Gkm L5-L6 RM | 0.862 | <.001 |
| Gkm L6-L7 RM | 0.872 | <.001 |
| Gkm L7-S1 RM | 0.876 | <.001 |
| Wkm L3-L4 RM | 0.906 | <.001 |
| Wkm L4-L5 RM | 0.919 | <.001 |
| Wkm L5-L6 RM | 0.931 | <.001 |
| Wkm L6-L7 RM | 0.928 | <.001 |
| Wkm L7-S1 RM | 0.916 | <.001 |
| Wwk L5 RM | 0.763 | <.001 |
| Dwp L5 RM | 0.793 | <.001 |
| Gmw RM | 0.566 | 0.009 |
| Gmp RM | 0.374 | 0.104 |
| Gmbn RM | 0.806 | <.001 |

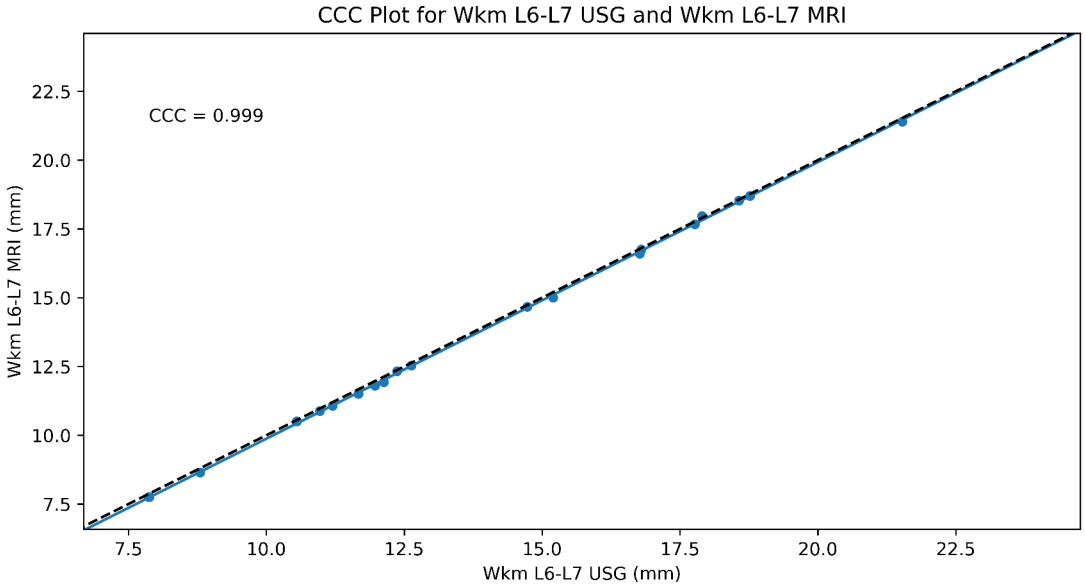
Tab. 6. Korelacja Pearsona między wartościami pomiarów struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa w rezonansie magnetycznym a masą ciała pacjentów. Oprac. wł.



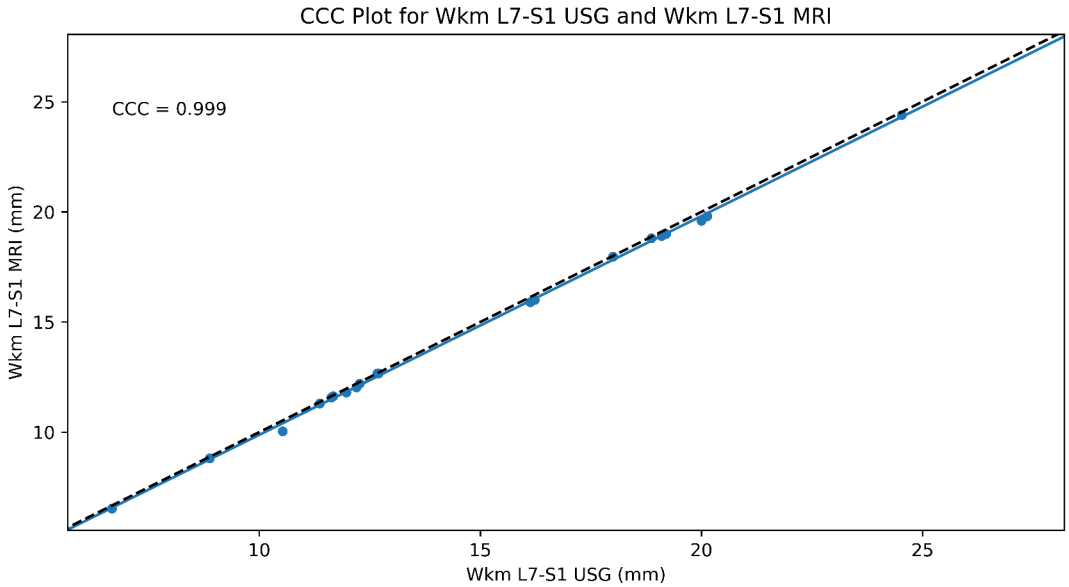

Ryc. 28. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L4-L5 w USG oraz RM. Oprac. wł.



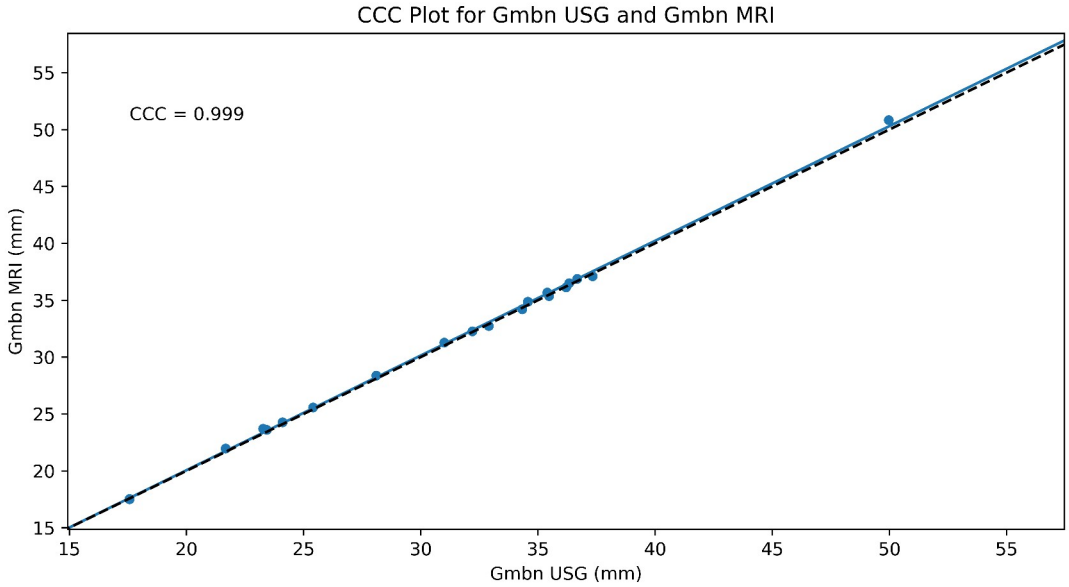

Ryc. 29. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L5-L6 w USG oraz RM. Oprac. wł.



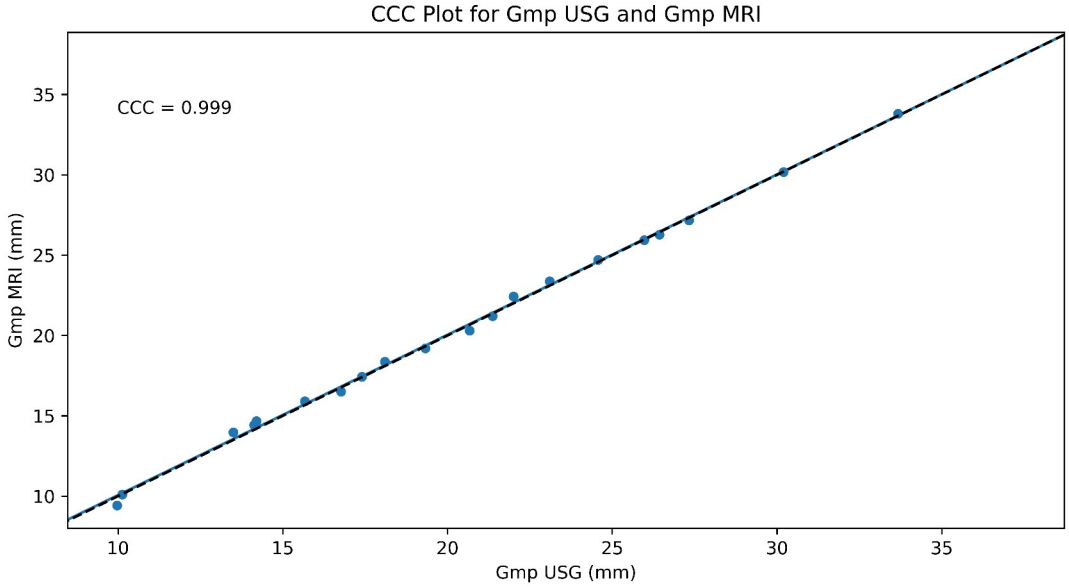

Ryc. 30. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L6-L7 w USG oraz RM. Oprac. wł.



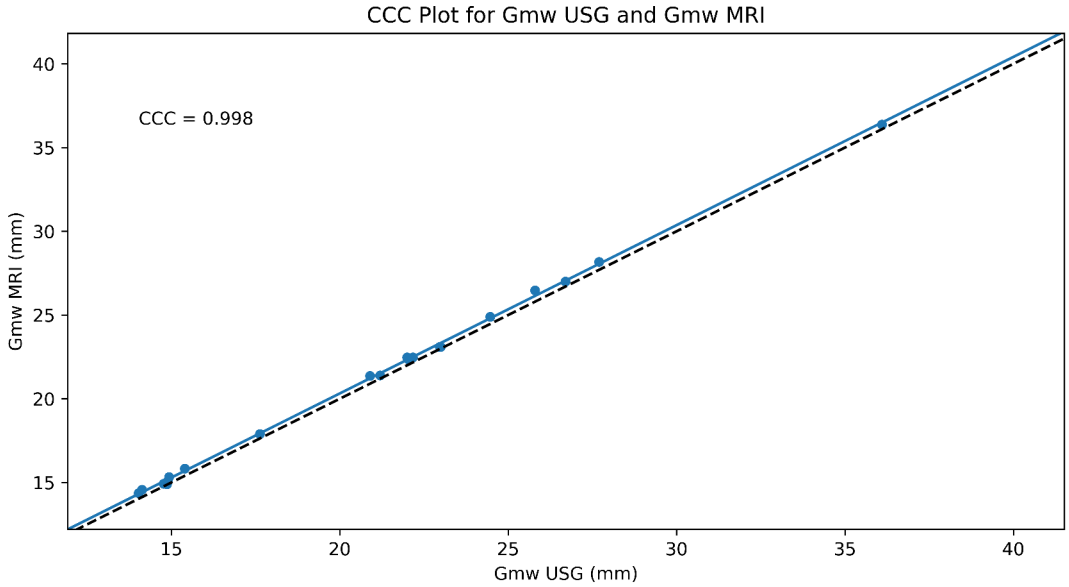

Ryc. 31. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L7-S1 w USG oraz RM. Oprac. wł.



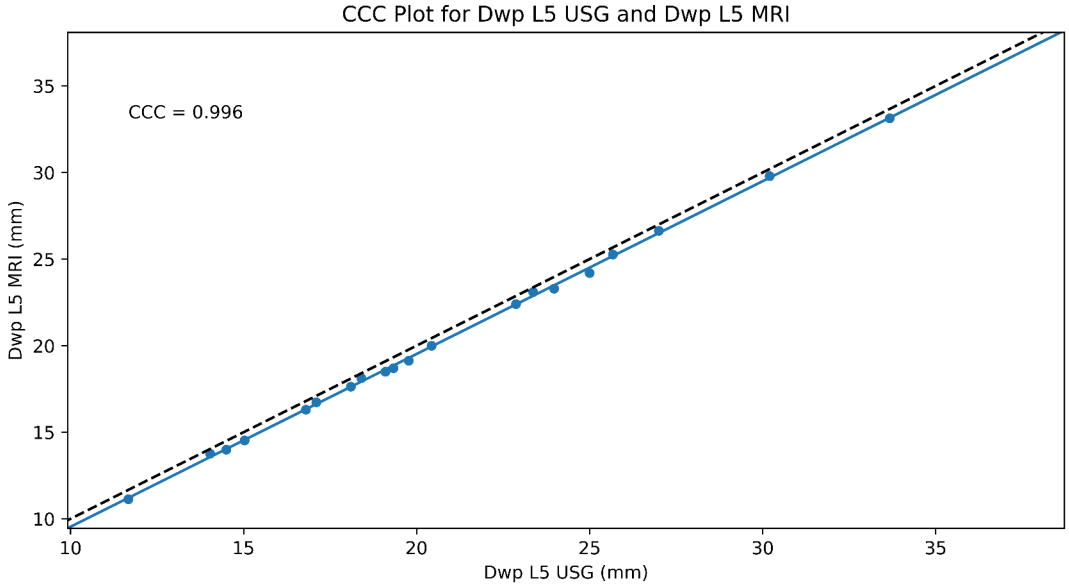

Ryc. 32. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu w USG i RM. Oprac. wł.



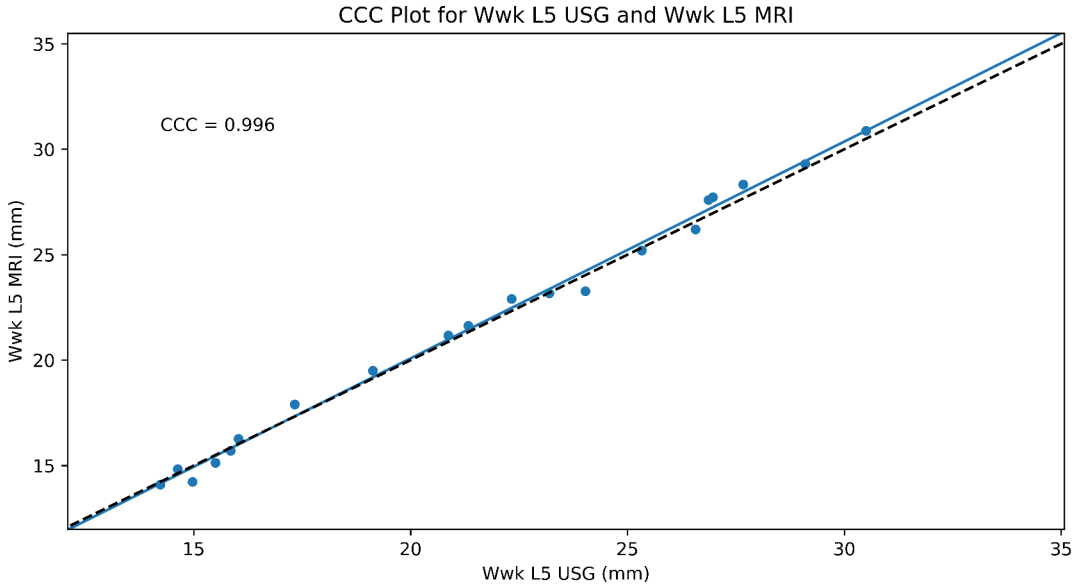

Ryc. 33. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości mięśnia półkolcowego w USG i RM. Oprac. wł.



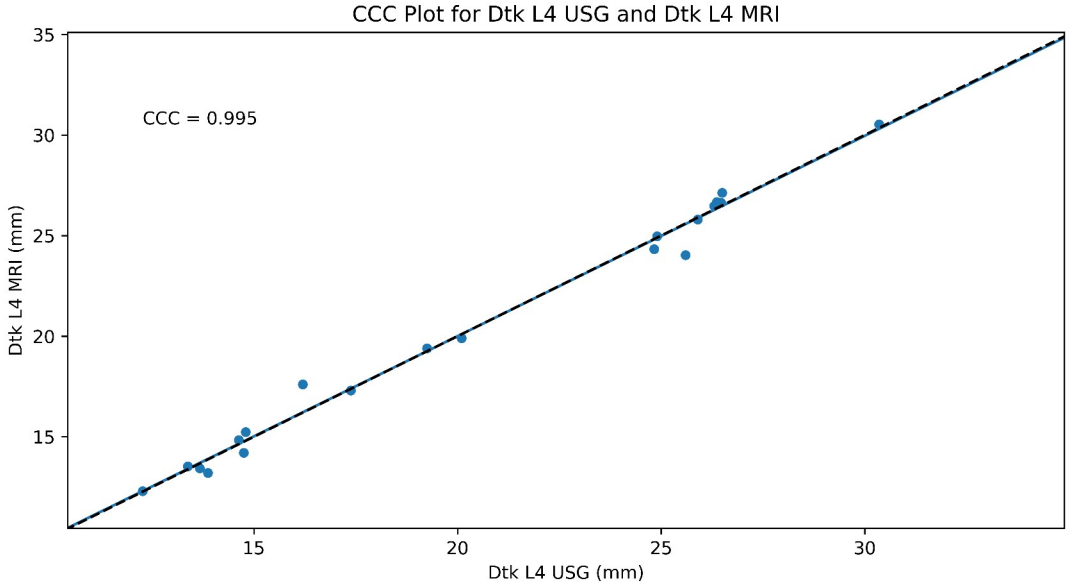

Ryc. 34. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości mięśnia wielodzielnego w USG i RM. Oprac. wł.



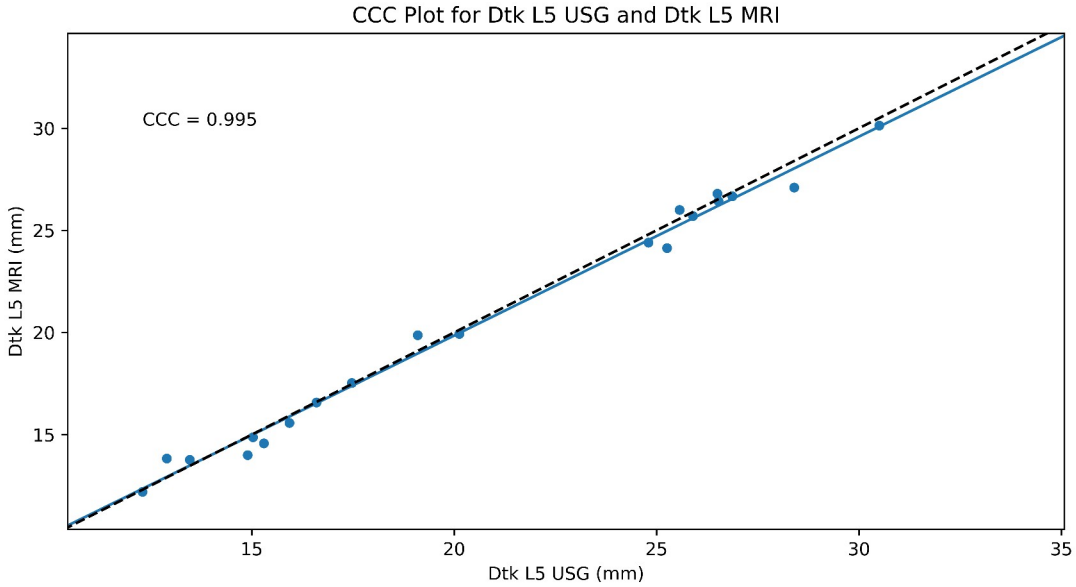

Ryc. 35. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości wyrostka poprzecznego w USG i RM. Oprac. wł.



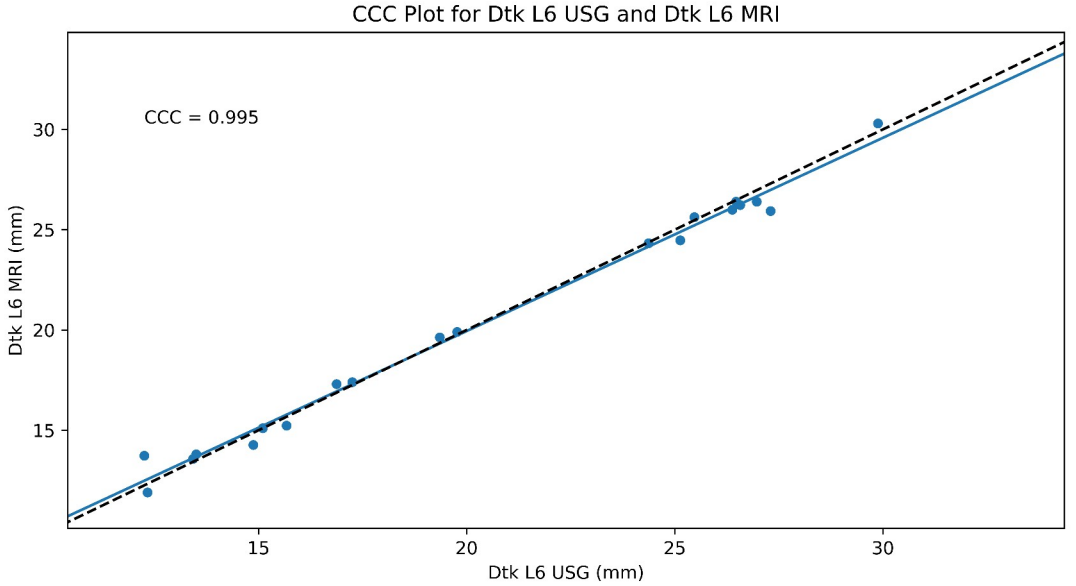

Ryc. 36. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości wyrostka kolczystego w USG i RM. Oprac. wł.



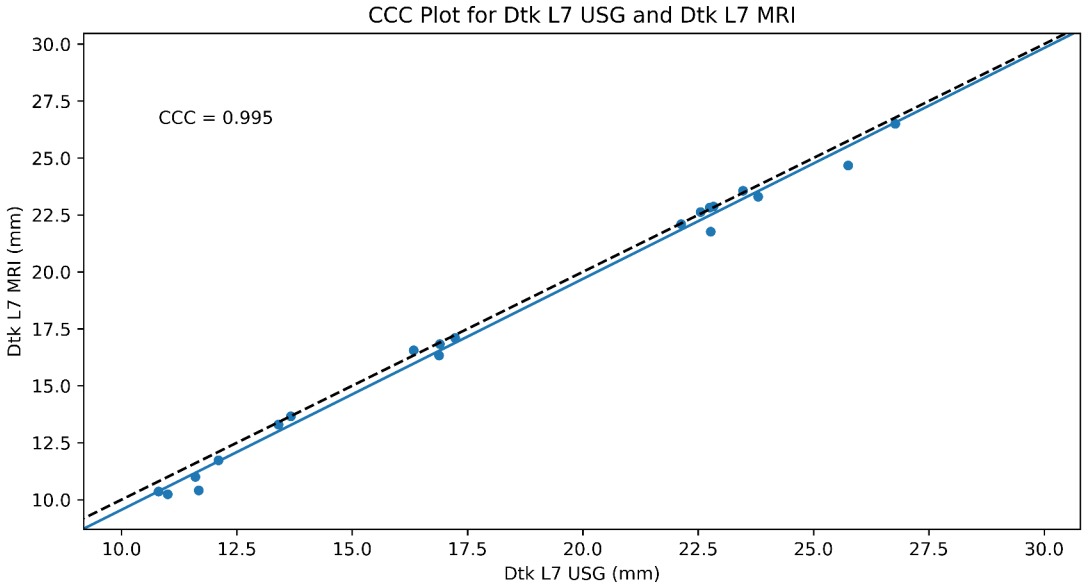

Ryc. 37. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L4 w USG i RM. Oprac. wł.



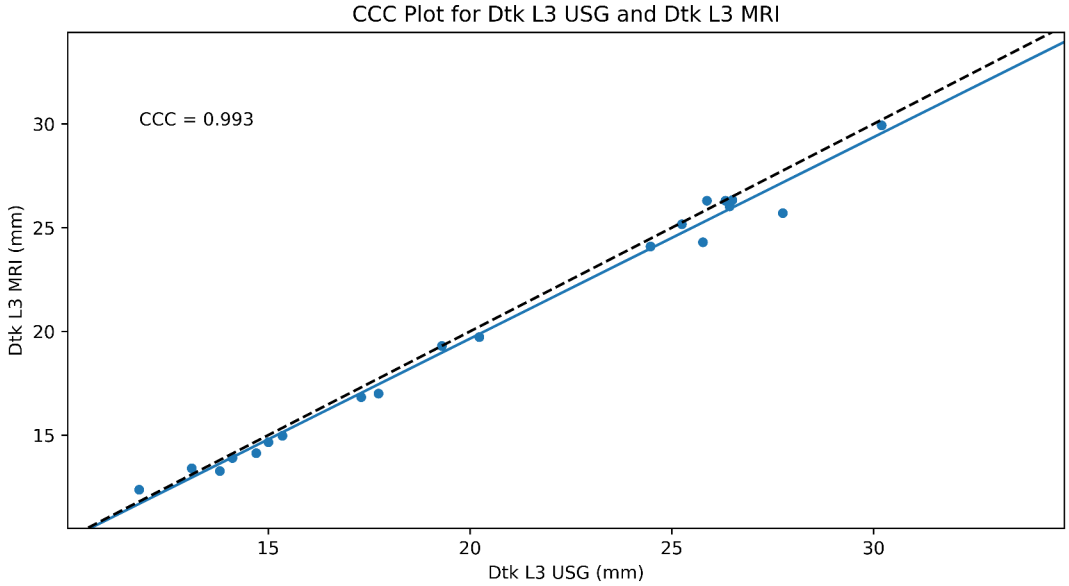

Ryc. 38. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L5 w USG i RM. Oprac. wł.



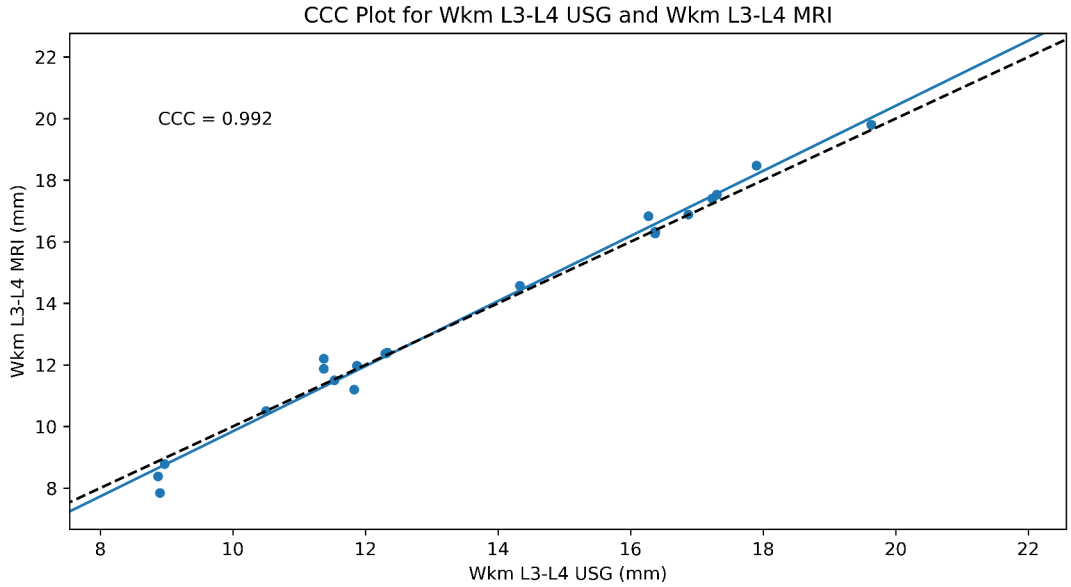

Ryc. 39. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L6 w USG i RM. Oprac. wł.



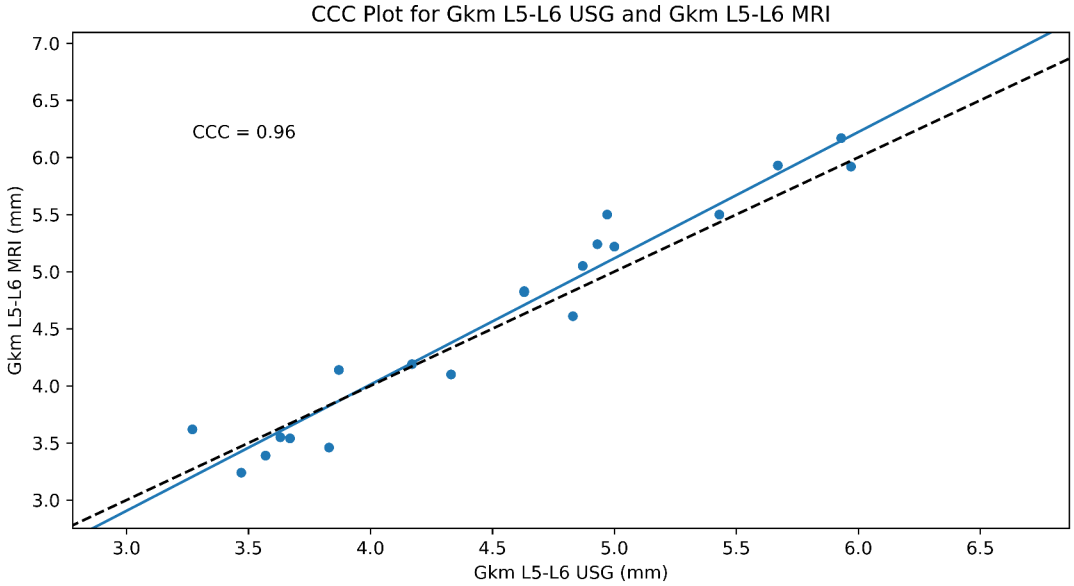

Ryc. 40. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L7 w USG i RM. Oprac. wł.



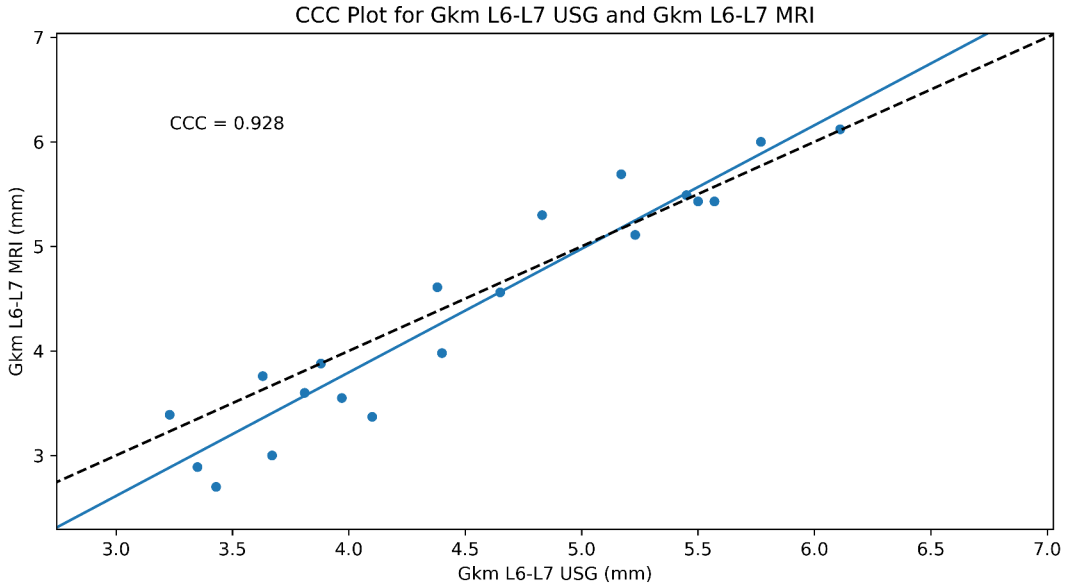

Ryc. 41. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L3 w USG i RM. Oprac. wł.



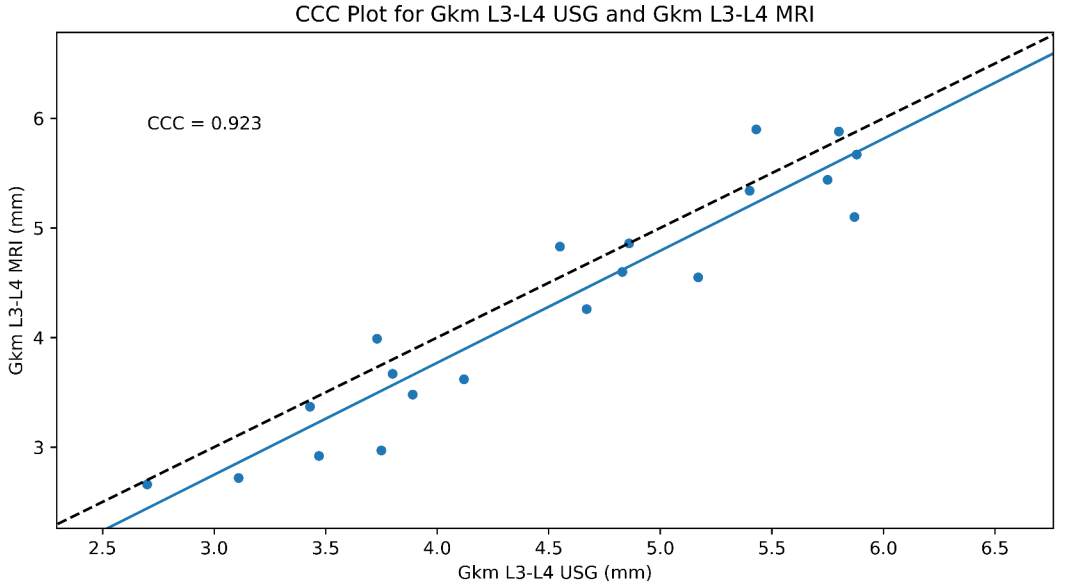

Ryc. 42. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L3-L4 w USG i RM. Oprac. wł.



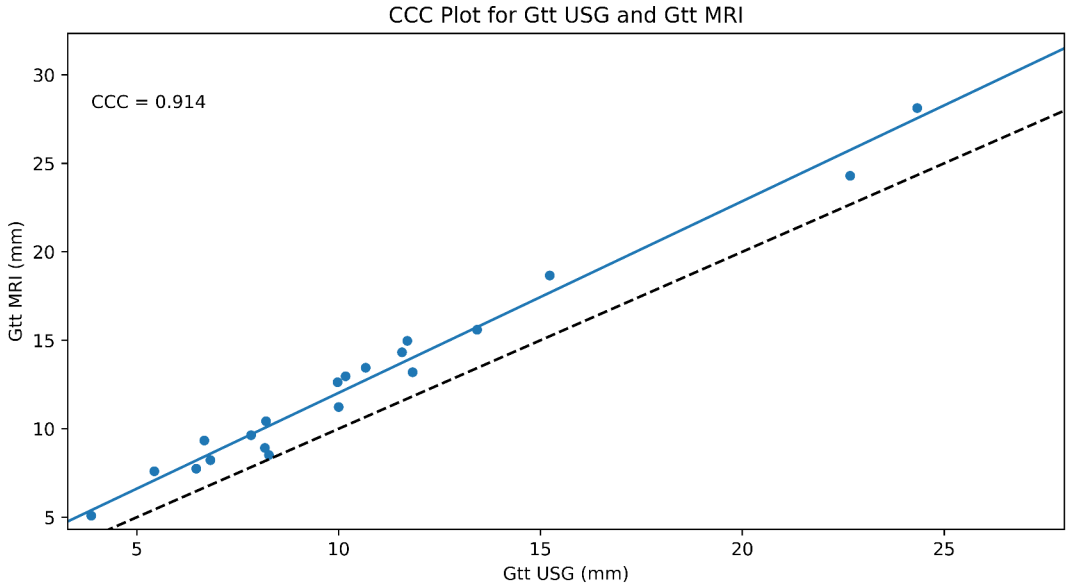

Ryc. 43. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L5-L6 w USG i RM. Oprac. wł.



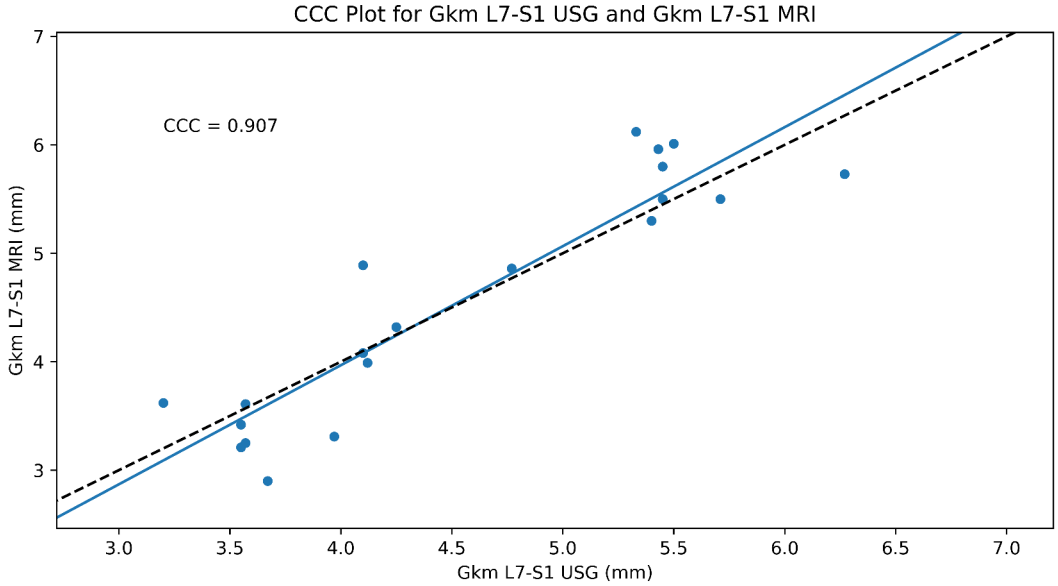

Ryc. 44. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L6-L7 w USG i RM. Oprac. wł.



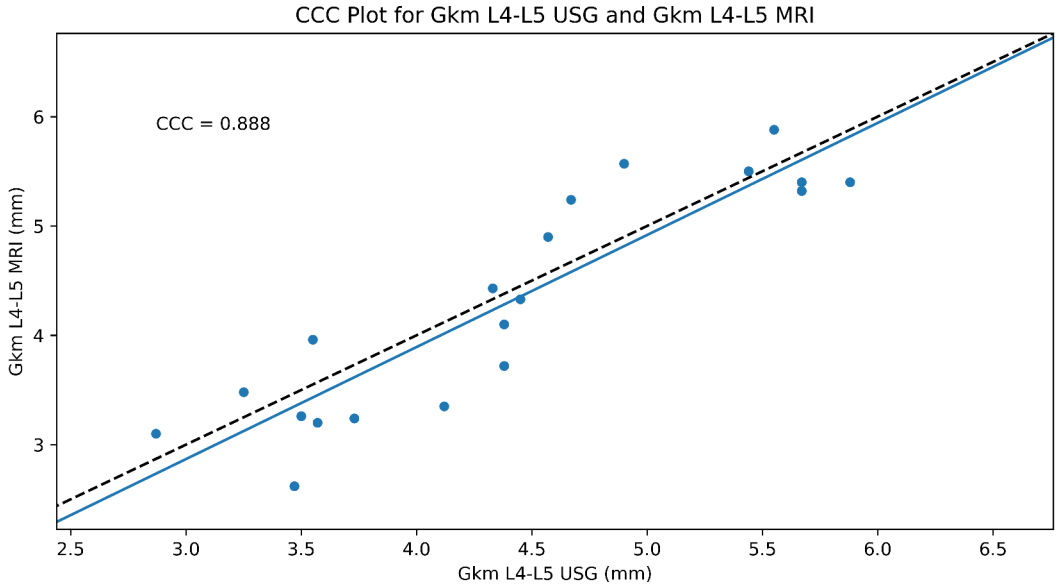

Ryc. 45. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L3-L4 w USG i RM. Oprac. wł.




Ryc. 46. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości tkanki tłuszczowej w USG i RM. Oprac. wł.




Ryc. 47. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L7-S1 w USG i RM. Oprac. wł.




Ryc. 48. Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L4-L5 w USG i RM. Oprac. wł.

# 5. Omówienie wyników i dyskusja

## 5.1. Badania wstępne na zwłokach

Zwłoki psów zostały wykorzystane w badaniach wstępnych, które miały na celu opracowanie protokołu obrazowania odcinka lędźwiowego kręgosłupa z wykorzystaniem USG, jak też opisanie sonoanatomii tego obszaru. Wykorzystanie zwłok eliminowało konieczność przeprowadzania badań pilotażowych na pacjentach, którzy musieliby zostać poddani długotrwałej i silnej sedacji, umożliwiającej wykonanie badania USG. Z danych literaturowych wynika, że do tej pory nie opisano dokładnego i powtarzalnego protokołu badania USG odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Opisane badania z zakresu sonoanatomii uwzględniały tylko niektóre miejsca przyłożenia głowicy aparatu, nie omawiając ich jako części lub całości protokołu badania, który mógłby znaleźć zastosowanie kliniczne (Etienne i wsp. 2010, Liotta i wsp. 2014).

Dobór odcinka kręgosłupa do badań był podyktowany zarówno wysoką częstotliwością występowania schorzeń w odcinku lędźwiowym, jak też jego budową anatomiczną. W przypadku odcinka szyjnego kręgosłupa barierę utrudniającą wykonanie badania USG stanowią struktury szyi, takie jak tchawica czy przełyk, a w przypadku odcinka piersiowego kręgosłupa żebra uniemożliwiają badanie większości struktur.

Pierwszy etap badań polegał na ułożeniu zwłok psów w pozycji bocznej spoczynkowej na lewym lub prawym boku; przed przyłożeniem głowicy ultrasonografu po stronie dobrzusznej odwodzono bocznie kończynę znajdującą się wyżej. Część źródeł literaturowych opisuje ułożenie mostkowe pacjenta z kończynami odwiedzionymi do tyłu lub skierowanymi doczaszkowo z jednoczesnym wygięciem dogrzbietowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa (Boursier i wsp. 2018, Liotta i wsp. 2014). Pozycja mostkowa ułatwia wykonanie wkłucia nadoponowego pod kontrolą USG lub badania śródoperacyjnego; może być też użyteczna w przypadku wykonywania badania w płaszczyźnie poprzecznej od strony dogrzbietowej, ale nie pozwala na uzyskanie dostępu do kręgosłupa od strony dobrzusznej, który był istotny w badaniach opisanych w rozprawie doktorskiej. Wykonanie badania w płaszczyźnie podłużnej z dostępu dobrzusznego możliwe jest tylko w przypadku ułożenia pacjenta na boku. Opisano badania, w których pacjenci byli układani na boku przed wykonaniem badania USG, ale nie obrazowano wówczas okolicy kręgosłupa lędźwiowego od strony dobrzusznej (Etienne i wsp. 2016, Graff i wsp. 2014).

Usunięcie sierści oraz użycie alkoholu etylowego i żelu przeznaczonego do badania USG pozwoliło na uzyskanie obrazów dobrej jakości, które posłużyły do opracowania modelu anatomicznego

odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Dzięki usunięciu sierści uzyskano okna akustyczne, które umożliwiły ocenę odcinka lędźwiowego (od kręgu L2 do kręgu L7), kości krzyżowej i otaczających je struktur.

Dobór głowicy liniowej o zakresie częstotliwości 3-13 MHz podyktowany był zarówno możliwościami dostepnej aparatury, jak też przede wszystkim danymi literaturowymi, wskazującymi jednoznacznie na wykorzystanie tego typu sondy w badaniach okolicy kręgosłupa oraz aparatu ruchu. W przypadku badań śródoperacyjnych niektórzy autorzy wykorzytywali głowicę typu "kij hokejowy", natomiast nie była ona dostępna jako składowa aparatu wykorzystanego w badaniach opisywanych w niniejszej rozprawie. Etienne i wsp. wykorzystali do obrazowania okolicy kręgosłupa lędźwiowego głowicę mikrokonweksową; ze względu na znaczną przewagę źródeł literaturowych sugerujących wykorzystanie głowicy liniowej do tego typu badań, sonda mikrokonweksowa nie była wykorzystywana.

Aparat wykorzystywany w badaniach pozwolił na regulację częstotliwości generowanych ultradźwięków. Częstotliwości ultradźwięków zbliżone do wartości 13 MHz umożliwiły zobrazowanie struktur położonych bliżej powierzchni ciała, zaś częstotliwości bliskie wartości 3 MHz pozwoliły na identyfikację struktur umiejscowionych głębiej. W przypadku psów małych (do 15 kg) cześciej wykorzystywane były częstotliwości w zakresie 10-13 MHz, zaś w badaniach przeprowadzonych na psach średnich i dużych (powyżej 15 kg) korzystano z częstotliwości w zakresie 3-6 MHz. Wartości w zakresie 6-10 MHz nie były wykorzystywane w opisywanych badaniach. Pokrywa się to z badaniami przeprowadzonymi przez cytowanych w niniejszej rozprawie autorów.

Miejsca przyłożenia głowicy ultrasonografu pozwoliły na zobrazowanie konkretnych struktur i obszarów. Dobór okien akustycznych wynikał z analizy nielicznych opisów badań ultrasonograficznych okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa (Etienne i wsp. 2010, Liotta i wsp. 2014) oraz z doświadczenia własnego, nabytego w trakcie przeprowadzania badań pilotażowych. Sonda była przykładana do przygotowanego wcześniej obszaru ciała w czterech miejscach. Pierwsze okno akustyczne osiągane było poprzez przyłożenie głowicy aparatu w linii pośrodkowej kręgosłupa, prostopadle do powierzchni ciała. Dzięki temu możliwe było zidentyfikowanie anatomicznych punktów odniesienia (określonych palpacyjnie przed badaniem USG), takich jak grzebień kości krzyżowej oraz wyrostki kolczyste ostatnich kręgów lędźwiowych. Obrócenie głowicy o 90 stopni w linii pośrodkowej stanowiło drugie okno akustyczne i pozwoliło na zobrazowanie takich elementów kręgów lędźwiowych jak wyrostki kolczyste, wyrostki poprzeczne, wyrostki stawowe czy łuki kręgów, jak także mięśni przykręgosłupowych (mięsień wielodzielny, mięsień półkolcowy, mięsień biodrowo żebrowy i mięsień najdłuższy grzbietu) oraz struktur

aparatu więzadłowego kręgosłupa, takich jak więzadło nadkolcowe. Trzecie okno akustyczne osiągano dzięki przyłożeniu sondy w płaszczyźnie przypośrodkowej, równolegle do linii kręgosłupa. Umożliwiło to identyfikację wyrostków poprzecznych oraz stawowych kręgów, wyodrębnienie stawów międzywyrostkowych oraz zobrazowanie przebiegu więzadeł międzypoprzecznych. Przyłożenie sondy w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej stanowiło czwarte okno akustyczne, którego wykorzystanie pozwoliło na uwidocznienie trzonów kręgów oraz krążków międzykręgowych. Badanie USG zwłok psów było wykonywane każdorazowo w tej samej kolejności, opisanej powyżej. Dzięki temu opracowano dokładny protokół obrazowania i uzyskano powtarzalność wyników, co umożliwiło rzetelną ocenę zobrazowanych struktur i opracowanie modelu anatomicznego odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów.

### 5.1.1. Model anatomiczny odcinka lędźwiowego kręgosłupa uzyskany w badaniu ultrasonograficznym

W dostępnej literaturze obecne są nieliczne opisy struktur anatomicznych odcinka lędźwiowego kręgosłupa, zobrazowanych przy pomocy ultrasonografii (Etienne i wsp. 2010, Liotta i wsp. 2014). Celem tych publikacji nie było jednak szczegółowe opisanie modelu anatomicznego tego obszaru, ale ustalenie wyglądu i położenia struktur kręgów, stanowiących punkty odniesienia dla procedur takich jak wkłucia nadoponowe czy znieczulenia przykręgowe pod kontrolą USG. Etienne i wsp. zidentyfikowali i opisali najwięcej struktur anatomicznych odcinka lędźwiowego kręgosłupa, wykonując badanie USG w wielu płaszczyznach. Nie uwzględnili oni jednak w opisie wyników badań takich elementów jak trzony kręgów, krążki międzykręgowe, mięśnie przykręgosłupowe czy więzadła. Naish i wsp. opisali sonoanatomię krążka międzykręgowego psów, natomiast był to krążek izolowany ze zwłok psów i opisywany tylko w płaszczyźnie poprzecznej. MacKenzie i wsp. opisali sonoanatomię krążka w sposób zbliżony do wyników badania zaprezentowanych w niniejszej rozprawie, jednak posłużyła ona jedynie ustaleniu miejsca wkłucia do podaży preparatów do wnętrza krążka.

Uwidocznienie krążka międzykręgowego było możliwe tylko w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. Niemożność zobrazowania go od strony dogrzbietowej wynikała najprawdopodobniej z obecności łuków kręgów i wyrostków kolczystych, które generowały w obrazie długi cień akustyczny, ograniczający widoczność niżej położonych struktur.

Krążek międzykręgowy jest strukturą o niskiej echogenności, trójkątnego kształtu z wydłużonym wierzchołkiem, leżącym pomiędzy dwiema nieznacznie hiperechogennymi blaszkami krańcowymi

kręgów. W obrazie ultrasonograficznym subtelnie uwypukla się ponad powierzchnię trzonów kręgów. Niekiedy, oprócz blaszek krańcowych kręgów wyraźnie zaznaczona jest też jego granica dobrzuszna, w postaci cienkiej hiperechogennej linii. Według Naish i wsp., pierścień włóknisty krążka międzykręgowego w obrazie ultrasonograficznym składa się z równoległych, hiperechogennych linii, ale w niezmienionym chorobowo krążku nie jest możliwe odróżnienie pierścienia włóknistego od jądra miażdżystego. Opisywane przez Naish i wsp. linie niekiedy były widoczne w badaniach opisywanych w rozprawie doktorskiej, natomiast w większości przypadków krążki miedzykręgowe stanowiły strukturę jednolitą. Taki obraz mógł wynikać z ograniczeń sprzętowych oraz z faktu, że w wyżej wymienionych badaniach obrazowane były krążki izolowane.
Ze względu na swoje właściwości, związane z silnym uwodnieniem, krążki miedzykręgowe stanowią dobre okno akustyczne dla obrazowania ściany kanału kręgowego. W obrazach uzyskanych w przeprowadzonych badaniach była ona widoczna jako średniej grubości silnie hiperechogenna linia, prostopadła do krążka międzykręgowego, położona nieznacznie pod nim, widoczna jedynie w okolicy krążka. Niekiedy obrazowanie ściany kanału kręgowego możliwe było również w badaniu w płaszczyźnie poprzecznej przy przyłożeniu głowicy nad wyrostkiem kolczystym kręgu. Wynika to z faktu, że łuk kręgu daje stosunkowo niewielki cień akustyczny (aechogenny obszar leżący poniżej struktury kostnej, którego obecność wynika z całkowitego pochłonięcia lub odbicia fal dźwiękowych), co pozwala na wyróżnienie leżącej pod nim ściany kanału kręgowego, widocznej wówczas jako pozioma, hiperechogenna linia. Ze względu na fakt, że ściana kanału kręgowego jest elementem kostnym, dającym silny cień akustyczny, nie jest możliwe zobrazowanie rdzenia kręgowego w przezskórnym badaniu USG. Uwidocznienie rdzenia kręgowego możliwe jest jedynie w badaniach śródpoeracyjnych, po przeprowadzeniu zabiegu laminektomii (usunięcia fragmentów kości tworzących łuki kręgów i wyrostki kolczyste celem odsłonięcia rdzenia kręgowego i jego dekompresji) (Nanai i wsp. 2007).
Struktury kostne kręgów, takie jak wyrostki kolczyste, stawowe i poprzeczne, łuki i trzony kręgów charakteryzują się obecnością silnego cienia akustycznego, uniemożliwiającego zobrazowanie struktur położonych niżej. Są one wyraźnie odgraniczone od otaczających je tkanek miękkich, ponieważ ich granice stanowią cienkie, hiperechogenne linie. Elementy kostne kręgów cechują się zazwyczaj umiarkowaną echogennością, ale są nieznacznie hiperechogenne względem tkanek miękkich okolicy kręgosłupa. Wyjątek może stanowić wyrostek kolczysty, który jest z reguły strukturą hipoechogenną. Ultrasonografia pozwala na dokładne odwzorowanie topografii elemetów kręgów, co jest możliwe zwłaszcza w badaniu w płaszczyźnie poprzecznej od strony dogrzbietowej. Echogenność i położenie kręgów w przeprowadzonych badaniach są zbliżone do opisu Etienne i wsp., którzy również zidentyfikowali wyżej wymienione struktury.

Wyrostek kolczysty widoczny był jedynie w płaszczyźnie poprzecznej jako cienka, pionowa, hipoechogenna linia, położona pomiędzy brzuścami mięśni wielodzielnych oraz wyrostkami stawowymi lewej i prawej strony, dająca niewielki pionowy cień akustyczny.
Wyrostki stawowe w płaszczyźnie poprzecznej były widoczne jako parzyste, nieznacznie kuliste struktury, dobrze odgraniczone od tkanek miękkich hiperechogenną linią, dające cień akustyczny. W badaniu w płaszczyźnie poprzecznej jak i podłużnej, leżały ponad wyrostkami poprzecznymi kręgów. W płaszczyźnie podłużnej były widoczne jako kuliste wypustki, odchodzące od podstawy łuków kręgów, odgraniczone od otaczających je tkanek miękkich cienką hiperechogenną linią. Niekiedy było możliwe zobrazowanie stawu międzywyrostkowego, widocznego jako hiperechogenna, łukowato wygięta linia biegnąca w obrębie wyrostka stawowego, oddzielająca wyrostek stawowy doczaszkowy od wyrostka stawowego doogonowego. W płaszczyźnie podłużnej możliwe było zobrazowanie 2-3 wyrostków stawowych w jednym oknie akustycznym; ich liczba uzależniona była od wielkości pacjenta.
Wyrostki poprzeczne kręgów lędźwiowych w płaszczyźnie poprzecznej stanowiły parzyste, skośnie ułożone, hiperechogenne linie o zróżnicowanej grubości, odchodzące od podstawy łuków kręgów, dające umiarkowany cień akustyczny. Były one położone poniżej wyrostków stawowych, zarówno w płaszczyźnie poprzecznej, jak i w płaszczyźnie podłużnej. W płaszczyźnie podłużnej wyrostki poprzeczne obrazowane były jako liniowe, listewkowate struktury o zróżnicowanej grubości i echogenności, z hiperechogenną linią wyznaczającą ich wierzchołek, położone prostopadle do osi długiej kręgosłupa. Okno akustyczne w badaniu w przyłożeniu przypośrodkowym w płaszczyźnie podłużnej umożliwiało jednoczesne zobrazowanie 2-3 wyrostków poprzecznych, w zależności od wielkości psa.
Łuki kręgów widoczne były w płaszczyźnie poprzecznej jako cienkie, poziome, hiperechogenne linie, łączące wyrostki stawowe obu stron. Podstawy łuków kręgowych nie były widoczne ze względu na silny cień akustyczny generowany przez wyrostki stawowe kręgów. Niekiedy pod linią łuku kręgu widoczna była równoległa do niej linia, reprezentująca ścianę kanału kręgowego.
Uwidocznienie trzonów kręgów, podobnie jak w przypadku opisywanych wyżej krążków międzykręgowych, możliwe było jedynie w badaniu przeprowadzonym od strony dobrzusznej, w płaszczyźnie podłużnej. Jedno okno akustyczne pozwalało na jednoczesne zobrazowanie kilku sąsiadujących ze sobą trzonów kręgów; ich liczba była zależna od wielkości zwierzęcia. Trzony kręgów były widoczne jako łukowate, poziome, hiperechogenne linie z silnym cieniem akustycznym. Blaszki krańcowe kręgów stanowiły hipoechogenne obszary o zmiennej grubości, sąsiadujące od strony doczaszkowej i doogonowej z krążkami międzykręgowymi.

W przeprowadzonych badaniach uwidoczniono też doczaszkowy obszar kości krzyżowej. Jego echostruktura była zbliżona do wyglądu trzonów kręgów, natomiast linia wyznaczająca granicę dobrzuszną kości krzyżowej położona była skośnie względem trzonów kręgów, co jest widoczne na ryc. 17.

Niekiedy obrazowano również skrzydła kości biodrowej, ale nie stanowiły one przedmiotu badań. Dla niektórych autorów stanowiły one jeden z punktów odniesienia do przeprowadzania procedur w obrębie odcinka lędźwiowo-krzyżowego kręgosłupa (Boursier i wsp. 2018).

Elementy kostne kręgów są zespolone, oprócz krążków międzykręgowych, także przy pomocy aparatu więzadłowego. W przeprowadzonych badaniach udało się uwidocznić więzadło nadkolcowe oraz więzadła międzypoprzeczne. Pozostałe więzadła długie i krótkie kręgosłupa nie zostały zobrazowane. Ich sonoanatomia nie została również opisana w badaniach innych autorów. Może to wynikać z niewielkich rozmiarów tych struktur oraz ich położenia względem kręgów, z ograniczonego dostępu do poszczególnych obszarów kręgosłupa w badaniu (małe okna akustyczne, struktury kostne dające cień akustyczny) oraz ograniczeń sprzętowych.

Więzadło nadkolcowe widoczne było jedynie w badaniu w płaszczyźnie poprzecznej od strony dogrzbietowej. Prezentowało się jako obła struktura zespolona z wierzchołkiem wyrostka kolczystego kręgu, izoechogenna względem otaczających tkanek miękkich, odgraniczona od nich słabo wyrażoną, hipoechogenną linią.

Więzadła międzypoprzeczne położone były pomiędzy wyrostkami poprzecznymi kręgów i widoczne jedynie po przyłożeniu głowicy ultrasonografu w linii przypośrodkowej, w płaszczyźnie podłużnej. Podobnie jak w przypadku wyrostków poprzecznych, możliwe było jednoczesne zobrazowanie kilku więzadeł międzypoprzecznych w jednym oknie akustycznym. Więzadła międzypoprzeczne cechowały się liniową strukturą; w ich obrębie były niekiedy widoczne cienkie hiperechogenne linie, prostopadłe do wyrostków poprzecznych. Jako całość, podobnie jak więzadło nadkolcowe, stanowiło strukturę izoechogenną względem okolicznych tkanek miękkich, odgraniczoną od nich poziomą hiperechogenną linią.

W dostepnej literaturze brak jest opisów sonoanatomii mięśni otaczających odcinek lędźwiowy kręgosłupa. W badaniach pilotażowych opisywanych w niniejszej rozprawie doktorskiej możliwe było uwidocznienie i wyodrębnienie niektórych partii mięśniowych, takich jak mięsień wielodzielny, półkolcowy, biodrowo-żebrowy i najdłuższy grzbietu.

Echostruktura mięśni przykręgosłupowych jest typowa dla mięśni poprzecznie prążkowanych; są to struktury o zróżnicowanej echogenności (w znacznej mierze izoechogenne względem leżącej nad nimi podskórnej tkanki tłuszczowej), odseparowane od siebie i otaczających tkanek hiperechogennymi powięziami. Ich zróżnicowana echogenność może wynikać z efektu anizotropii,

czyli skośnego padania wiązki ultradźwięków na włókna mięśniowe o różnym ułożeniu w brzuścu mięśnia. W takim przypadku zmiana echogenności jest zależna od kąta przyłożenia głowicy aparatu względem włókien mięśni. Ocena prawidłowej echogenności mięśni jest utrudniona przez zjawisko anizotropii, ale może być istotna z punktu widzenia zmian w obrębie krążków międzykręgowych.
Mięsień wielodzielny jest strukturą parzystą, leżącą między wyrostkiem kolczystym i wyrostkiem stawowym odpowiedniej strony. Ze względu na położenie między wyrostkami kręgów, brzusiec mięśnia wielodzielnego przybiera w płaszczyźnie poprzecznej trójkątny kształt.
Parzysty mięsień półkolcowy jest strukturą większą niż mięsień wielodzielny. Leży w okolicy wyrostka stawowego odpowiedniej strony i podobnie jak mięsień wielodzielny przybiera trójkątny kształt.
Na podstawie badania ultrasonograficznego nie jest możliwe rozróżnienie mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu, dlatego w niniejszej rozprawie doktorskiej opisywane są one łącznie. W płaszczyźnie poprzecznej widoczne są jako największa struktura mięśniowa okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa, leżąca pomiędzy wyrostkiem stawowym a wyrostkiem poprzecznym lewej i prawej strony. Brzusiec o trójkątnym kształcie w większości przeprowadzonych badań był w znacznej mierze hipoechogenny względem mięśnia wielodzielnego i półkolcowego. Mogło to wynikać z innego ułożenia włókien niż w pozostałych partiach mięśniowych.
Obrazowanie naczyń i nerwów okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa przy użyciu USG wykraczało poza zakres przeprowadzonych badań. Identyfikacja naczyń przy wykorzystaniu efektu Dopplera możliwa jest tylko przyżyciowo, w związku z czym nie przeprowadzano tego badania na zwłokach. Korzenie nerwów rdzeniowych nie były widoczne w przeprowadzonych badaniach. Mogło to wynikać z niedostatecznego doświadczenia operatora i przyłożenia sondy aparatu pod niewłaściwym kątem.

## 5.2. Pacjenci kliniczni

W badaniach klinicznych wykorzystano 20 psów różnych ras. Byli to pacjenci z objawami neurologicznymi, takimi jak niedowłady i porażenia kończyn miednicznych, kórzy zostali skierowani przez specjalistę neurologa na badanie rezonansem magnetycznym odcinka lędźwiowego i krzyżowego kręgosłupa. RM pozwalał na wstępne zlokalizowanie zmian chorobowych na terenie kręgosłupa, w związku z czym stanowił metodę referencyjną, wykorzystywaną każdorazowo przed badaniem USG kręgosłupa. Badania przeprowadzone przy

użyciu RM posłużyły również do wykonania pomiarów struktur anatomicznych okolicy kręgosłupa lędźwiowego i porównania ich z pomiarami tych samych struktur, wykonanymi na podstawie przeprowadzonych badań USG.

### 5.2.1. Badanie rezonansem magnetycznym

Badanie rezonansem magnetycznym wykonywano z wykorzystaniem aparatu niskopolowego oraz cewki nadawczo-odbiorczej C-shape coil. Wykorzystana aparatura pozwoliła na wykrycie zmian chorobowych takich jak choroba krążka międzykręgowego (głównie ekstruzja lub protruzja krążka), spondyloza, zespół ogona końskiego, zator włóknisto-chrzęstny rdzenia kręgowego czy zmiany zapalne i pokrwotoczne na jego terenie. Dobór cewki do obrazowania odcinka lędźwiowego i krzyżowego kręgosłupa wynikał ze zróżnicowania wielkości psów wykorzystywanych w badaniach. Cewka typu C-shape pozwoliła na zbadanie całego odcinka lędźwiowego i krzyżowego w jednym badanu zarówno u małych, jak i u dużych psów. Pacjenci byli każdorazowo układani na lewym boku tak, by dopasować krzywiznę kręgosłupa do cewki.

Badanie rezonansem magnetycznym wykonywano w określonych sekwencjach obrazowania, takich jak SE (spin echo, sekwencja echa spinowego), FSE (fast spin echo, sekwencja szybkiego echa spinowego) oraz 3D HYCE (trójwymiarowa sekwencja hybrydowego wzmocnienia kontrastu). Dobór sekwencji zebranych w protokół obrazowania odcinka lędźwiowego i krzyżowego kręgosłupa podyktowany był obecnością, typem i umiejscowieniem określonych zmian chorobowych na terenie kręgosłupa, widocznych niekiedy już w sekwencjach lokalizacyjnych. Dzięki temu możliwa była ocena zmian w trzech płaszczyznach: strzałkowej, poprzecznej i grzbietowej. Podstawę protokołu obrazowania stanowily sekwencje SE i FSE w płaszczyźnie strzałkowej i grzbietowej. W przypadku wykrycia zmian chorobowych, wykonywano ponownie sekwencje SE i FSE, tym razem w płaszczyźnie poprzecznej, zorientowane tak, by objąć wybrane zmiany. Sekwencja 3D HYCE w płaszczyźnie poprzecznej wykonywana była w przypadku stwierdzenia ekstruzji lub protruzji krążka międzykręgowego celem potwierdzenia lub wykluczenia ucisku uszkodzonego krążka na korzenie nerwów rdzeniowych.

Badania wykonywane były każdorazowo zarówno w obrazach T1-, jak i T2-zależnych. Czas relaksacji wpływa bezpośrednio na intensywność sygnału pochodzącego z poszczególnych typów tkanek, a tym samym na ich obraz w badaniu RM. Przykładowo, płyn mózgowo-rdzeniowy w obrazach T1-zależnych będzie cechował się silnie hipointensywnym sygnałem, natomiast w obrazach T2-zależnych będzie silnie hiperintensywny (Wald 2019). W przeprowadzonych

badaniach wykorzystywano zarówno obrazy T1-zależne, pozwalające głównie na ocenę struktur anatomicznych, jak i obrazy T2-zależne, które umożliwiały identyfikację zmian chorobowych.
Czas przeprowadzanego badania wahał się pomiedzy 45 a 60 minut; różnica wynikała z liczby i rodzaju zmian chorobowych na terenie badanego odcinka kręgosłupa i rdzenia kręgowego, co przekładało się na ilość i długość sekwencji obrazowania wykorzystanych w badaniu. Wielkość obrazowanych struktur również miała znaczenie dla długości trwania badania – wydłużało się ono w przypadku dużych psów.

### 5.2.2. Badanie ultrasonograficzne

Bezpośrednio po badaniu RM u każdego pacjenta wykonywano badanie USG odcinka lędźwiowego kręgosłupa. W literaturze cytowanej w niniejszej pracy opisane są głównie badania USG okolicy kręgosłupa przeprowadzane wyłącznie na zwłokach.
Badanie USG poprzedzone było, podobnie jak w przypadku badań prowadzonych na zwłokach psów, usunięciem sierści z badanej okolicy, wykonywanym przy użyciu maszynki elektrycznej jeszcze przed indukcją znieczulenia ogólnego. Jest to konieczne podczas wykonywania badania ultrasonograficznego u zwierząt, gdyż między włosami gromadzi się powietrze, którego obecność prowadzi do powstawania artefaktów obrazu. Aby po usunięciu sierści wyeliminować również obecną między powierzchnią skóry, a głowicą aparatu cienką warstwę powietrza, wykorzystywano żel przeznaczony do badania USG. W przypadku pacjentów sierść usuwana była w obszarze od 13 kręgu piersiowego do drugiego kręgu krzyżowego tak, by umożliwić badanie całego odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Nie było konieczne usuwanie sierści na brzuchu, gdyż okno akustyczne było uzyskiwane zwykle poprzez przyłożenie głowicy w okolicy pachwiny, gdzie u badanych psów ilość sierści była niewielka i nie wpływała na jakość uzyskiwanych obrazów.
Ze względu na stosunkowo krótki czas przeprowadzania procedury, nie było konieczności przedłużania znieczulenia ogólnego u pacjentów, a badanie było przeprowadzane w fazie wybudzania. Sedacja, polegająca na uspokojeniu przy pomocy leków podawanych zwykle domięśniowo, bez konieczności wprowadzania pacjenta w znieczulenie ogólne, jest wystarczająca do wykonania badania ultrasonograficznego okolicy kręgosłupa. Uspokojenie farmakologiczne w przypadku badania kręgosłupa jest niezbędne, gdyż uzyskanie obrazów z przyłożenia głowicy od strony dobrzusznej wymaga nacisku o odpowiedniej sile, co może być nieprzyjemne dla zwierzęcia. Doświadczenie własne, zdobyte w trakcie przeprowadzania badań pilotażowych na zwłokach, jak także dokładna analiza danych dotyczacych badań kręgosłupa, zawartych w dostępnej literaturze

pozwoliły na sprawne przeprowadzenie badania USG u każdego pacjenta. W przypadku badań opisanych w niniejszej rozprawie czas trwania badania wahał się między 8 a 10 minut.
Badanie ultrasonograficzne jest krótkie i tanie w porównaniu z bardziej zaawansowanymi technikami obrazowania, takimi jak tomografia komputerowa czy rezonans magnetyczny. Ponadto, w przeciwieństwie do TK i RM, aparatura do badania USG jest powszechnie dostępna, a badanie nie generuje niebezpiecznego dla zdrowia promieniowania jonizującego, jak to ma miejsce w przypadku TK (Levy i wsp. 2014). Wykorzystanie ultrasonografii do badania odcinka lędźwiowego kręgosłupa może usprawnić proces diagnostyczny w praktyce klinicznej.

### 5.2.3. Wybrane schorzenia krążków międzykręgowych i kręgów zobrazowane z wykorzystaniem ultrasonografii

Podczas wykonywania badania ultrasonograficznego u pacjentów ze zmianami chorobowymi potwierdzonymi w badaniu rezonansem magnetycznym zobrazowano niektóre ze zmian. Ograniczona liczba zidentyfikowanych w USG zmian chorobowych może wynikać z doświadczenia osoby wykonującej badanie, a także z ograniczeń ultrasonografii, takich jak występowanie cienia akustycznego w przypadku napotkania struktury kostnej przez falę ultradźwiękową, co uniemożliwia obrazowanie rdzenia kręgowego oraz krążków międzykręgowych od strony dogrzbietowej kręgosłupa. Uniemożliwiło to zobrazowanie takich zmian, jak zator włóknisto-chrzęstny czy protruzja bądź ekstruzja krążka międzykręgowego. Znajomość sonoanatomii odcinka lędźwiowego kręgosłupa, wynikająca z przeprowadzonych badań pilotażowych na zwłokach psów, pozwoliła na identyfikację zmian chorobowych na podstawie zmiany echogenności struktur anatomicznych bądź zmiany ich kształtu, a także dokładne określenie ich położenia. W dostępnej literaturze brak jest doniesień dotyczących identyfikacji zmian chorobowych na terenie odcinka lędźwiowego w ultrasonografii. Dotychczasowe badania dotyczyły jedynie wykorzystania klasycznej rentgenodiagnostyki, tomografii komputerowej oraz rezonansu magnetycznego (Ramirez i Thrall, 1998).

#### 5.2.3.1. Choroba krążka międzykręgowego

Ze względu na możliwość zobrazowania krążków międzykręgowych w USG jedynie od strony dobrzusznej oraz brak możliwości uwidocznienia rdzenia kręgowego w nieinwazyjnym badaniu USG, nie było możliwe uwidocznienie ich protruzji bądź ekstruzji, natomiast wystąpienie

wymienionych zmian chorobowych krążków poprzedzone jest zmianami degeneracyjnymi w ich obrębie, takimi jak odwodnienie i mineralizacja krążka (Brisson 2010). Są to zmiany, które z łatwością można obserwować w badaniu USG.

Prawidłowo uwodniony krążek międzykręgowy jest aechogenny lub nieznacznie hipoechogenny. Gdy dochodzi do odwodnienia krążka, jego sygnał staje się izo- lub hiperechogenny w stosunku do otaczających go tkanek miękkich. Odwodnienie krążka, w przeciwieństwie do jego mineralizacji, cechuje się jednorodną echogennością w całym jego obszarze.

W przypadku mineralizacji krążka międzykręgowego, jego sygnał również wzrasta do hiperechogennego względem tkanek miękkich. Zmiana echogenności moze obejmować zarówno pierścień włóknisty, jak i jądro miażdżyste. Mineralizacja pierścienia włóknistego charakteryzuje się niekiedy liniową echostrukturą (hiperechogenne linie biegnące w poprzek krążka). Zwapnienie jądra miażdżystego cechuje się występowaniem silnie hiperechogennego, dobrze odgraniczonego obszaru, zlokalizowanego centralnie w krążku międzykręgowym.

W przeprowadzonych badaniach obserwowano głównie mineralizację pierścienia włóknistego wraz z odwodnieniem krążka. Ponieważ średni wiek badanych psów wynosił 7 lat, zmiany były widoczne u większości pacjentów jako typowe dla degeneracji krążków. Według Brisson, od 40 do 60% psów w wieku 7 lat i powyżej jest dotknięta zmianami degeneracyjnymi krążków, w szczególności jądra miażdżystego.

Wśród ras przebadanych pacjentów dominowały buldogi francuskie, które jako rasa chondrodystroficzna są szczególnie obciążone ryzykiem wystąpienia choroby krążka międzykręgowego (Leu i wsp. 2023). Ponieważ są one psami średniej wielkości, przeprowadzenie badania USG było łatwiejsze niż u psów większych ras, co przełożyło się na jakość uzyskanych obrazów i możliwość uwidocznienia zmian w obrębie krążków międzykręgowych. U ras chondrodystroficznych dominują zmiany mineralizacyjne (Brisson 2010), stąd mogła wynikać ich przewaga w przeprowadzonych badaniach.

Furtado i wsp., Morrison i wsp. oraz Trampus i wsp. udowodnili, że choroba krążka międzykręgowego jest u psów skorelowana ze zmianą sygnału mięśni przykręgosłupowych w badaniu RM. W przypadku badań własnych nie zaobserowano podobnych zmian w USG. Ponieważ jednak przeprowadzone badania nie koncentrowały się na tym zagadnieniu, problematyka zmiany echogenności mięśni przykręgosłupowych w badaniu USG w przebiegu choroby krążka międzykręgowego może stanowić punkt wyjścia do dalszych badań. Uwidoczniona zmiana echogenności mięśni przykręgosłupowych, podobnie jak mineralizacja i odwodnienie krążków międzykręgowych, może wskazywać na występowanie choroby krążka międzykręgowego.

Wstępna identyfikacja wyżej wymienionych zmian w badaniu ultrasonograficznym może sugerować konieczność wykonania dalszych badań z wykorzystaniem bardziej zaawansowanych technik obrazowania, takich jak tomografia komputerowa czy rezonans magnetyczny. Na podstawie przeprowadzonych już badań, opisanych w niniejszej rozprawie doktorskiej można wnioskować, że ponieważ badanie USG, jak wspomniano wyżej, jest badaniem tanim, szybkim i łatwo dostępnym, może być badaniem przesiewowym wykorzystywanym do diagnostyki choroby krążka międzykręgowego, poprzedzającym wykonanie TK lub RM.

Naish i wsp. ustalili skalę stopniującą zmiany ultrasonograficzne w obrębie krążków międzykręgowych i potwierdzili, że może być to wiarygodna metoda do wykrywania zmian degeneracyjnych na ich terenie. Badanie to było wykonywane na 13 psach ras niechondrodystroficznych, co stanowi mało reprezentatywną populację; ponadto w przeciwieństwie do badań opisanych w poniższej rozprawie doktorskiej, Naish i wsp. badali krążki izolowane ze zwłok, co może mieć małe przełożenie na diagnostykę kliniczną.

### 5.2.3.2. Spondyloza

Do występowania spondylozy, w przeciwieństwie do choroby krążków międzykręgowych, predysponowane są głównie psy ras dużych (Kranenburg i wsp. 2011, Ortega i wsp. 2012). Rasy takie jak owczarek niemiecki (szczególnie predysponowany do wystąpienia spondylozy) (Ortega i wsp. 2012), labrador retriever czy dog kanaryjski stanowiły większość populacji psów przebadanych w opisywanych w niniejszej rozprawie badaniach, w związku z czym spondyloza była zmianą chorobową kręgosłupa często diagnozowaną w USG, każdorazowo po jej stwierdzeniu we wcześniejszym badaniu RM. Ponieważ odcinek piersiowo-lędźwiowy jako jedno z miejsc predylekcyjnych nie stanowił przedmiotu badań, zmiany typu *spondylosis deformans* u wyżej wymienionych pacjentów obserwowano głównie w odcinku lędźwiowo-krzyżowym kręgosłupa, niekiedy także na trzonach pozostałych kręgów lędźwiowych.

Zmiany w przebiegu spondylozy w badaniu USG widoczne były po stronie dobrzusznej kręgów, w związku z czym były stosunkowo łatwe do zobrazowania. Ponieważ są one związane z występowaniem wyrośli kostnych (osteofitów), charakteryzują się, podobnie jak pozostałe elementy kostne kręgosłupa, występowaniem cienia akustycznego. Echostruktura zmian typu *spondylosis deformans* cechuje się obecnością cienkiej hiperechogennej linii na powierzchni zmiany i długiego cienia akustycznego za wymienioną linią. Mosty kostne powstające w przebiegu spondylozy były obrazowane jako półokrągłe zmiany uwypuklające się ponad powierzchnią dobrzusznej krawędzi

trzonów sąsiadujących ze sobą kręgów i łączących je krążków międzykręgowych, zaś mniejsze wyrośla kostne przybierały wygląd "dziobów", których podstawa połączona była z krawędzią dobrzuszną trzonu kręgu, zaś wierzchołek osteofitu przylegał do powierzchni dobrzusznej krążka międzykręgowego.

Spondyloza, wraz ze zmianami w obszarze krążka międzykręgowego L7-S1, blaszek krańcowych kręgów oraz kości krzyżowej, stanowi jednostkę chorobową znaną jako zespół ogona końskiego (Ramirez i Thrall, 1998). Ultrasonografia może być narzędziem diagnostycznym pozwalającym na wstępne rozpoznanie cech zespołu ogona końskiego, a w przeciwieństwie do klasycznej rentgenodiagnostyki czy tomografii komputerowej nie generuje promieniowania jonizującego. Ponadto USG jest badaniem znacznie tańszym niż rezonans magnetyczny, który jest często wykorzystywany do diagnostyki tego schorzenia. Pacjenci z objawami zespołu ogona końskiego mogliby być wstępnie zbadani ultrasonograficznie, po czym, po wykryciu ewentualnych zmian chorobowych, kierowani na badania z wykorzystaniem bardziej zaawansowanych technik obrazowania, takich jak TK czy RM. Nie zostało to do tej pory opisane w dostępnej literaturze.

## 5.3. Pomiary struktur okolicy kręgosłupa lędźwiowego w badaniach z użyciem rezonansu magnetycznego i ultrasonografii

W dostępnej literturze brak jest danych dotyczących porównania pomiarów struktur kręgosłupa w RM i USG. Może to wynikać z faktu, że USG kręgosłupa nie jest spopularyzowaną metodą diagnostyczną, w związku z czym brakuje badań w tym zakresie. W badaniach opisanych w niniejszej rozprawie doktorskiej pomiary wykorzystane do przeprowadzenia analizy statystycznej zostały dokonane z wykorzystaniem obrazów uzyskanych w badaniu RM i USG. Dobór struktur anatomicznych i dokładnych miejsc dokonywania pomiarów podyktowany był ich widocznością w poszczególnych badaniach. W tym celu przeanalizowano badania wszystkich pacjentów i wybrano obrazy najlepiej odzwierciedlające rzeczywisty wygląd trzonów kręgów, krążków międzykręgowych, wyrostków kręgów i mięśni przykręgosłupowych. Każda struktura była mierzona trzykrotnie tak, by obliczyć średnią arytmetyczną pomiarów, która oddawała rzeczywisty wymiar danej struktury. Pomiary dokonywane były w przeglądarce plików DICOM, ponieważ pozwala ona na odtworzenie rzeczywistych wymiarów poszczególnych struktur anatomicznych. Ze względu na fakt, że pomiary dokonywane były na obrazach uzyskanych w badaniach pacjentów klinicznych z różnymi schorzeniami odcinka lędźwiowo-krzyżowego kręgosłupa, dołożono starań,

by jak najdokładniej odwzorować anatomiczny wymiar poszczególnych struktur, nawet jeżeli były one zmienione chorobowo.

### 5.3.1. Analiza statystyczna

Analizy statystycznej dokonano wykorzystując korelację Pearsona oraz współczynnik korelacji zgodności (CCC). Dobór metod statystycznych podyktowany był typem przeprowadzanych badań – dokonywano porównania pomiarów poszczególnych struktur w dwóch technikach obrazowania, w związku z czym konieczne było określenie zależności między poszczególnymi pomiarami w RM oraz między pomiarami w RM a masą ciała pacjentów, do czego wykorzystano korelację Pearsona, oraz porównanie pomiarów w RM i USG, którego dokonano z wykorzystaniem współczynnika korelacji zgodności.

Zależności pomiarów w obrazach RM wybranych struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa wskazują, że w większości przypadków pomiary te były dodatnio skorelowane ze sobą (uzyskano bardzo silną zgodność). Silna do umiarkowanej zgodności dla korelacji pomiarów struktur i grubości tkanki tłuszczowej może wynikać z faktu, że grubość podskórnej tkanki tłuszczowej nie zawsze była spójna z wymiarami pozostałych struktur kręgosłupa – w wielu przypadkach była większa u mniejszych psów, ale o wyższym BCS.

Słaba zgodność pomiarów grubości mięśnia półkolcowego i pozostałych struktur okolicy kręgosłupa lędźwiowego może wynikać z ograniczeń niskopolowego rezonansu magnetycznego oraz ułożenia pacjenta do badania. Mięsień półkolcowy jest stosunkowo małą strukturą, w związku z czym trudno go wyróżnić spośród pozostałych partii mięśniowych, dlatego pomiar mógł być obarczony błędem. Ponadto ułożenie pacjenta do badania mogło dodatkowo utrudnić wykonanie pomiaru, nawet jeśli były one dokonywane jedynie po stronie prawej przy lewobocznym ułożeniu pacjenta.

Powiązanie pomiarów wybranych struktur anatomicznych z masą ciała było szczególnie istotne, ponieważ we wszystkich przeprowadzonych badaniach były widoczne różnice między jakością obrazów w zależności od masy ciała i ilości tkanki tłuszczowej. Z doświadczenia własnego wynika, że obrazy najlepszej jakości uzyskiwano u psów o masie ciałą między 10 a 20 kg i BCS 5. Grubość podskórnej tkanki tłuszczowej miała również wpływ na jakość obrazów, a tym samym na

dokładność pomiarów, natomiast nie we wszystkich przypadkach była ona dodatnio skorelowana z masą ciała pacjenta, na co wskazuje przeprowadzona analiza statystyczna. Również obraz mięśni przykręgosłupowych, takich jak mięsień wielodzielny i półkolcowy nie zawsze był zależny od masy ciała pacjenta, dlatego też uzyskano umiarkowaną bądź słabą zgodność w przypadku korelacji ich pomiarów. W większości przypadków jednak korelacja między masą ciała pacjentów a poszczególnymi strukturami w RM wykazywała się bardzo silną zgodnością, co wskazuje na statystyczne powiązanie tych wartości.

Zgodność rezonansu magnetycznego, jako referencyjnej metody obrazowania, oraz ultrasonografii została określona przez współczynnik korelacji zgodności. Wszystkie pomiary cechowały się bardzo silną lub silną zgodnością. Wskazuje to na fakt, że pomiary struktur anatomicznych wykonane z wykorzystaniem ultrasonografii są wiarygodne. To z kolei przekłada się na wykorzystanie USG okolicy kręgosłupa lędźwiowego w praktyce klinicznej – może ono posłużyć do oceny tego obszaru, jak również do wstępnej diagnostyki niektórych zmian chorobowych, takich jak wymienione wcześniej choroba krążka międzykręgowego czy spondyloza.

Ograniczeniami przeprowadzonych badań i wykonanych pomiarów mogą być też mała ilość przebadanych pacjentów oraz zbyt małe doświadczenie osoby wykonującej badanie. Stanowi to również punkt wyjścia dla badań możliwych do przeprowadzenia w przyszłości na większej grupie pacjentów klinicznych.

# 6. Wnioski

6.1. Badanie ultrasonograficzne wykonane u psów pozwoliło na opracowanie protokołu badania odcinka lędźwiowego kręgosłupa.
6.2. Obrazy uzyskane w badaniach wstępnych pozwoliły na opisanie sonoanatomii odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów i towarzyszących mu struktur.
6.3. Obrazy ultrasonograficzne uzyskane podczas badania pacjentów klinicznych wykazały zmiany echostruktury elementów odcinka lędźwiowego kręgosłupa w przebiegu takich schorzeń jak choroba krążka międzykręgowego i spondyloza.
6.4. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała wysoką korelację pomiędzy badaniem ultrasonograficznym a badaniem niskopolowym rezonansem magnetycznym wybranych struktur anatomicznych odcinka lędźwiowego kręgosłupa.
6.5. Uzyskane wyniki badań oraz przeprowadzona analiza statystyczna pozwalają stwierdzić, że ultrasonografia jest techniką obrazowania umożliwiającą wstępną ocenę i diagnostykę niektórych zmian chorobowych w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów.

# Streszczenie

Ultrasonografia jest techniką obrazowania cieszącą się dużą popularnością w weterynarii. Duża dostępność aparatury, stosunkowo krótki czas badania oraz brak narażenia pacjenta i personelu na promieniowanie jonizujące sprawiają, że jest to metoda wykorzystywana powszechnie do badania jamy brzusznej czy klatki piersiowej, a także układu ruchu. W dostępnej literaturze pojawiają się doniesienia dotyczące możliwości wykorzystania ultrasonografii do obrazowania struktur kręgosłupa u psów celem wykonywania różnych procedur, głównie w odcinku lędźwiowym i krzyżowym. Nie opisano do tej pory jednak dokładnej sonoanatomii odcinka lędźwiowego kręgosłupa ani nie zidentyfikowano przy pomocy ultrasonografii zmian chorobowych w jego obszarze, z wyłączeniem badań wykonywanych śródoperacyjnie.

Odcinek lędźwiowy kręgosłupa składa się z siedmiu kręgów, połączonych przy pomocy krążków międzykręgowych oraz więzadeł krótkich i długich; bezpośrednio do niego przylegają mięśnie przykręgosłupowe. Kręgi wyposażone są w wyrostki kolczyste, poprzeczne i stawowe, które stanowią podporę dla wspomnianych mięśni oraz miejsce przyczepu elementów aparatu więzadłowego. Krążki międzykręgowe zbudowane są z jądra miażdżystego i pierścienia włóknistego.

Schorzenia występujące w obszarze odcinka lędźwiowego kręgosłupa u psów dotyczą zarówno kręgów, jak i krążków międzykręgowych. Choroba krążka międzykręgowego dotyczy zarówno ras chondrodystroficznych, jak i psów o typowej budowie ciała. Wysunięcie krążka międzykręgowego w kierunku dogrzbietowym powoduje ucisk na rdzeń kręgowy, co skutkuje zaburzeniami neurologicznymi, objawiającymi się głównie jako niedowłady i porażenia kończyn miednicznych. Spondyloza jest schorzeniem polegającym na tworzeniu się wyrośli kostnych na krawędziach trzonów kręgów, które mogą zrastać się ze sobą, tworząc mosty kostne, znacznie ograniczające ruchomość kręgosłupa i powodujące objawy bólowe.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie protokołu badania odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów z wykorzystaniem ultrasonografii, co posłużyło bezpośrednio do opisania jego sonoanatomii, z uwzględnieniem poszczególnych struktur anatomicznych, takich jak elementy kręgów, krążki międzykręgowe, więzadła oraz mięśnie przykręgosłupowe. Ponadto zaplanowano omówienie obrazów uzyskanych przy wykorzystaniu ultrasonografii dla wybranych zmian chorobowych odcinka lędźwiowego kręgosłupa oraz porównanie i analizę statystyczną wymiarów poszczególnych struktur anatomicznych odcinka lędźwiowego kręgosłupa w obrazach uzyskanych przy użyciu ultrasonografii oraz niskopolowego rezonansu magnetycznego. Powyższe etapy badań

miały posłużyć do wykazania użyteczności ultrasonografii jako narzędzia służącego do wstępnej oceny i diagnostyki zmian chorobowych w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa psów.

W pierwszym etapie badań, który miał na celu opracowanie protokołu badania oraz opisanie anatomii ultrasonograficznej odcinka lędźwiowego, wykorzystano zwoki 23 psów. Badanie ultrasonograficzne każdorazowo było poprzedzone badaniem RTG, które miało na celu wykluczenie zmian chorobowych w obrębie odcinka lędźwiowego kręgosłupa. Psy układane były każdorazowo na lewym lub prawym boku i badane przy użyciu głowicy liniowej o częstotliwości 3-13 MHz. Ustalony protokół badania miał na celu zobrazowanie jak największej liczby struktur anatomicznych i obejmował cztery okna akustyczne, z przyłożenia od strony dogrzbietowej, bocznej i dobrzusznej, w płaszczyźnie podłużnej i poprzecznej. Protokół pozwolił na uwidocznienie trzonów kręgów i wyrostków poprzecznych, kolczystych i stawowych, krążków międzykręgowych, więzadła długiego i międzypoprzecznego oraz mięśni przykręgosłupowych, takich jak mięsień wielodzielny, półkolcowy oraz biodrowo-żebrowy i najdłuższy grzbietu.

Drugi etap badań obejmował 20 psów, będących pacjentami z zaburzeniami neurologicznymi o neurolokalizacji w odcinku lędźwiowym i krzyżowym kręgosłupa. Psy były kierowane na badanie rezonansem magnetycznym, po czym wykonywane było badanie ultrasonograficzne odcinka lędźwiowego kręgosłupa według protokołu ustalonego w pierwszym etapie badań. Na podstawie przeprowadzonych badań możliwe było zidentyfikowanie takich zmian chorobowych jak mineralizacja i odwodnienie krążka międzykręgowego oraz spondyloza.

Analiza statystyczna opierała się na porównaniu pomiarów długości trzonów kręgów, wysokości i grubości krążków międzykręgowych, grubości mięśni przykręgosłupowych, wysokości wyrostka kolczystego oraz długości wyrostka poprzecznego. Pomiary wykonywane były na obrazach uzyskanych w badaniu rezonansem magnetycznym oraz w badaniu ultrasonograficznym. Na podstawie uzyskanych wyników analizy statystycznej udowodniono, że badanie ultrasonograficzne jest techniką mogącą znaleźć zastosowanie jako badanie przesiewowe pozwalające na identyfikację niektórych zmian chorobowych przed wykonaniem badania rezonansem magnetycznym.

# Abstract

Ultrasonography is an imaging technique that is very popular in veterinary medicine. The high availability of equipment, relatively short examination time and no exposure of the patient and staff to ionizing radiation make this method commonly used to examine the abdomen or thorax, as well as the musculoskeletal system. There are reports in the available literature regarding the possibility of using ultrasound to image spinal structures in dogs to perform various procedures, mainly in the lumbar and sacral spine. However, no detailed sonoanatomy of the lumbar spine has been described so far, nor have any pathological lesions in its area been identified using ultrasound, with the exception of examinations performed intraoperatively.

The lumbar spine consists of seven vertebrae, connected by intervertebral discs and short and long ligaments; the paraspinal muscles are directly adjacent to it. The vertebrae are equipped with spinous, transverse and articular processes, which provide support for the above-mentioned muscles and a place of attachment for the elements of the ligamentous apparatus. Intervertebral discs are composed of the nucleus pulposus and the annulus fibrosus.

Diseases occurring in the lumbar spine in dogs affect both the vertebrae and intervertebral discs. Intervertebral disc disease affects both chondrodystrophic breeds and dogs with typical body build. The protrusion of the intervertebral disc dorsally causes pressure on the spinal cord, which results in neurological disorders, manifested mainly as paresis or paralysis of the pelvic limbs. Spondylosis is a disease involving the formation of bony outgrowths on the edges of the vertebral bodies, which can fuse together, forming bone bridges, significantly limiting the mobility of the spine and causing pain.

The aim of this doctoral dissertation was to develop a protocol for examining the lumbar spine of dogs using ultrasound, which was used to directly describe its sonoanatomy, taking into account individual anatomical structures, such as vertebral elements, intervertebral discs, ligaments and paraspinal muscles. Additionally, a discussion of images obtained using ultrasound for selected lesions of the lumbar spine is planned, as well as a comparison and statistical analysis of the dimensions of individual anatomical structures of the lumbar spine in images obtained using ultrasound and low-field magnetic resonance imaging. The above stages of research were intended to demonstrate the usefulness of ultrasound as a tool for the initial assessment and diagnosis of lesions in the lumbar spine of dogs.

In the first stage of the study, which aimed to develop a research protocol and describe the ultrasound anatomy of the lumbar spine, 23 dog cadavers were used. Each time, the ultrasound

examination was preceded by an X-ray examination, which aimed to exclude pathological changes in the lumbar spine. The dogs were each placed on their left or right side and examined using a linear transducer with a frequency of 3-13 MHz. The established examination protocol was aimed at imaging as many anatomical structures as possible and included four acoustic windows, applied dorsally, laterally and ventrally, in the longitudinal and transverse planes. The protocol allowed for visualization of vertebral bodies and transverse, spinous and articular processes, intervertebral discs, long and intertransverse ligaments, and paravertebral muscles, such as the multifidus, semispinalis, and iliocostal and longissimus dorsi muscles.

The second stage of the study included 20 dogs, which are patients with neurological disorders neurolocalized in the lumbar and sacral spine. The dogs were sent for magnetic resonance imaging, followed by an ultrasound examination of the lumbar spine according to the protocol established in the first stage of the study. Based on the examinations performed, it was possible to identify pathological changes such as mineralization and dehydration of the intervertebral disc and spondylosis.

The statistical analysis was based on the comparison of measurements of the length of the vertebral bodies, the height and thickness of the intervertebral discs, the thickness of the paravertebral muscles, the height of the spinous process and the length of the transverse process. Measurements were performed on images obtained in magnetic resonance imaging and ultrasound examination. Based on the results of the statistical analysis, it was proven that ultrasound examination is a technique that can be used as a screening test allowing the identification of certain pathological lesions before magnetic resonance imaging.

# Piśmiennictwo


1. Adami C, Gendron K (2017). What is the evidence? The issue of verifying correct needle position during epidural anaesthesia in dogs. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 44(2); 212-218.

2. Bergknut N, Smolders LA, Grinwis GCM, Hagman R, Lagerstedt A-S, Hazewinkel HAW, Tryfonidou MA, Meij BP (2013). Intervertebral disc degeneration in the dog. Part 1: Anatomy and physiology of the intervertebral disc and characteristics of intervertebral disc degeneration. The Veterinary Journal, 195(3); 282-291.

3. Blond L, Buczinski S (2009). Basis of Ultrasound Imaging and the Main Artifacts in Bovine Medicine. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice, 25(3); 553-565.

4. Bonelli MA, Tudury EA, Santos CRO, Araújo BM, Diogo CC, Silva AC, Costa FS (2015). Intraoperative ultrasonography of the vertebral canal in dogs. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 67(3); 655-663.

5. Boursier JF, Fournet A, Bassanino J, Manassero M, Bedu AS, Leperlier D (2018). Ultrasonography is more accurate than percutaneous palpation for identifying targeted thoracolumbar intervertebral disc spaces in dogs. Veterinary Radiology and Ultrasound, 59(6); 749-757.

6. Brisson BA (2010). Intervertebral Disc Disease in Dogs. Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice, 40(5); 829-858.

7. Carrera I, Sullivan M, McConnell F, Gonçalves R (2011). Magnetic resonance imaging features of discospondylitis in dogs. Veterinary Radiology and Ultrasound, 52(2); 125-131.

8. Casado D, Fernandes R, Lourinho F, Gonçalves R, Clark R, Violini F, Carrera I (2022). Magnetic resonance imaging features of canine intradural/extramedullary intervertebral disc extrusion in seven cases. Frontiers in Veterinary Science, 14(9); 1-10.

9. Cherubini GB, Cappello R, Lu D, Targett M, Wessmann A, Mantis P (2004). MRI findings in a dog with discospondylitis caused by Bordetella species. Journal of Small Animal Practice, 45(8); 417-420.

10. Ciepluch MF, da Costa RC, Russell D (2013). Imaging diagnosis – an atypical presentation of diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) in a dog. Veterinary Radiology and Ultrasound, 56(1); 1-4.

11. Da Costa RC, De Decker S, Lewis MJ, Volk H, CANSORT-SCI (2020). Diagnostic imaging in intervertebral disc disease. Front Vet Sci 22(7); 588338

12. Deards E, Clements DN, Schwarz T (2019). MRI signal changes and their association with intervertebral disc disease in canine vertebral endplates. Irish Veterinary Journal, 72(12); 1-5.
13. Wprowadzenie do ultrasonografii [w:] Easton S (2009). Radiografia: podręcznik dla techników elektroradiologii. Edra Urban & Partner, Wrocław; 201-208.
14. Etienne AL, Delguste C, Busoni V (2016). Comparison of ultrasound-guided vs. standard landmark techniques for training novice operators in placing needles into the lumbar subarachnoid space of canine cadavers. Veterinary Radiology and Ultrasound, 57(4); 441-447.
15. Etienne AL, Peeters D, Busoni V (2010). Ultrasonographic percutaneous anatomy of the caudal lumbar region and ultrasound-guided lumbar puncture in the dog. Veterinary Radiology and Ultrasound, 51(5); 527-532.
16. Fenn J, Olby N, CANSORT (2020). Classification of intervertebral disc disease. Frontiers in Veterinary Science, 6;7:579025.
17. Ferreira TH, St James M, Schroeder CA, Hershberger-Braker KL, Teixeira LBC, Schroeder KM (2019). Description of an ultrasound-guided erector spinae plane block and the spread of dye in dog cadavers. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 46(4); 516-522.
18. Ferreira TH, Teixeira LBC, Schroeder CA, de Miguel Garcia C, Schroeder KM (2018). Description of an ultrasound-guided thoracic paravertebral block technique and the spread of dye in dog cadavers. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 45(6); 811-819.
19. Foltz WD, Jaffray DA (2012). Principles of magnetic resonance imaging. Radiat Res 177(4); 331-348.
20. Freitag FAV, Gaio TS, dos Santos AA-M, Muehlbauer E, Machado M, Duque JCM (2020). Ultrasound-guided superficial serratus plane block in dog cadavers: an anatomical evaluation and volume dispersion study. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 47(1); 88-94.
21. Furtado ARR, Cherubini GB, Taeymans O (2019). Low-field magnetic resonance changes in the paravertebral musculature of dogs with acute intervertebral disc extrusion. Journal of Small Animal Practice, 60(6); 367-373.
22. Garcia-Pereira F (2018). Epidural anesthesia and analgesia in small animal practice: An update. Veterinary Journal, 242; 24-32.
23. Goldman LW (2007). Principles of CT and CT technology. J Nucl Med Technol 35(3); 115-128.
24. Gregori T, Viscasillas J, Benigni L (2014). Ultrasonographic anatomy of the sacrococcygeal region and ultrasound-guided epidural injection at the sacrococcygeal space in dogs. Veterinary Record, 175(3); 68-68.

25. Haers H, Saundres JH (2009). Review of clinical characteristics and applications of contrast-enhanced ultrasonography in dogs. Journal of the American Veterinary Medical Association 234 (4); 460-470, 430.
26. Jones JC, Inzana KD, Rossmeisl JH, Bergman RL, Wells T, Butler K (2005). CT myelography of the thoraco-lumbar spine in 8 dogs with degenerative myelopathy. Journal of Veterinary Sciences 6(4); 341-348.
27. Gomes SA, Targett M, Lowrie M (2022). Computed tomography features of discospondylitis in dogs. Journal of Veterinary Internal Medicine, 36(6); 2123-2131.
28. Gonzalo-Orden JM, Altónaga JR, Asunción Orden M, Gonzalo JM (2000). Magnetic resonance, computed tomographic and radiologic findings in a dog with discospondylitis. Veterinary Radiology and Ultrasound, 41(2); 142-144.
29. Graff SM, Wilson DV, Guiot LP, Nelson NC (2014). Comparison of three ultrasound giuded approaches to the lumbar plexus in dogs; a cadaveric study. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 42(4); 394-404.
30. Intervertebral Discs and Short Ligaments of the Vertebral Column [in:] Hermanson JW, de Lahunta A, Evans HE (2019) Miller and Evans' Anatomy of the Dog, Fifth Edition, Elsevier, pp. 393-395 [1].
31. Long Ligaments of the Vertebral Column [in:] Hermanson JW, de Lahunta A, Evans HE (2019) Miller and Evans' Anatomy of the Dog, Fifth Edition, Elsevier, pp. 391-393 [2].
32. Lumbar Vertebrae [in:] Hermanson JW, de Lahunta A, Evans HE (2019) Miller and Evans' Anatomy of the Dog, Fifth Edition, Elsevier, pp. 279-284 [3].
33. Muscles of the Dorsum [in:] Hermanson JW, de Lahunta A, Evans HE (2019) Miller and Evans' Anatomy of the Dog, Fifth Edition, Elsevier, pp. 510-523 [4].
34. Other Synovial Joints of the Vertebral Column [in:] Hermanson JW, de Lahunta A, Evans HE (2019) Miller and Evans' Anatomy of the Dog, Fifth Edition, Elsevier, pp. 391 [5].
35. Kaproth-Joslin KA, Nicola R, Dogra VS (2015). The History of US: From Bats and Boats to the Bedside and Beyond: RSNA Centennial Article. RadioGraphics 35(3), 960-970.
36. Kranenburg HJC, Hazewinkel HAW, Meij BP (2013). Spinal hyperostosis in humans and companion animals. Veterinary Quarterly, 33(1); 30-42.
37. Kranenburg HJC, Voorhout G, Grinwis GCM, Hazewinkel HAW, Meij BP (2011). Diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) and spondylosis deformans in purebred dogs: A retrospective radiographic study. The Veterinary Journal, 190(2); e84-e90.

38. Lapplainen AK, Vaittinen E, Junnila J, Laitinen-Vapaavuori O (2014). Intervertebral disc disease in Dachshunds radiographically screened for intervertebral disc calcifications. Acta Veterinaria Scandinavica, 56(1); 1-7.
39. Leigh HE, Woodhouse KJ (2017). Multilevel paravertebral nerve blockade for abdominal wall resection in a dog. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 44(6); 1397-1398.
40. Leu D, Vidondo B, Stein V, Forterre F (2023). Recurrence rate of intervertebral disc disease in surgically treated French Bulldogs: a retrospective study (2009-2019). Acta Veterinaria Scandinavica. 65(1); 3.
41. Levy M, Gaschen L, Rademacher N, Bragulla H (2014). Technique for ultrasound-guided intraarticular cervical articular processinjection in the dog. Veterinary Radiology and Ultrasound, 55; 435–440.
42. Lim C, Kweon O-K, Choi M-C, Choi J, Yoon J (2010). Computed tomographic characteristics of acute thoracolumbar intervertebral disc disease in dogs. Journal of Veterinary Science, 11(1); 73-79.
43. Lim J, Yoon Y, Hwang T, Lee HC (2018). Novel vertebral computed tomography indices in normal and spinal disorders dogs. J Vet Sci 19(2); 296-300.
44. Liotta A, Busoni V, Carrozzo MV, Sandersen C, Gabriel A, Bolen G (2015). Feasibility of ultrasound-guided epidural access at the lumbo-sacral space in dogs. Veterinary Radiology & Ultrasound, 56(2); 220-228.
45. Lopes ÉR, Bellegard GMC, Cury FS, Abreu FAS, Ambrósio CE, Carregaro AB, Hage MCFNS (2018). Evaluation of the applicability of musculoskeletal ultrasonography of the thoracolumbar and lumbar spine segment of healthy dogs. Pesquisa Veterinária Brasileira, 38(12); 2278-2283.
46. Mace E, Montaldo G, Osmanski B-F, Cohen I, Fink M, Tanter M (2013). Functional ultrasound imaging of the brain: theory and basic principles. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 60(3); 492-506.
47. MacKenzie SD, Caswell JL, Brisson BA, Gaitero L, Chalmers HJ (2014). Comparison between computed tomography, fluoroscopy and ultrasonography for guiding percutaneous injection of the canine intervertebral disc. Veterinary Radiology and Ultrasound, 55(5); 571-581.
48. Mantziaras G, Luvoni GC (2020). Advanced ultrasound techniques in small animal reproduction imaging. Reproduction in Domestic Animals. 55 supl. 2; 17-25.
49. Morrison EJ, Baron-Chapman ML, Chalkley M (2020). MRI T2/STIR epaxial muscle hyperintensity in some dogs with intervertebral disc extrusion corresponds to histologic patterns of muscle degeneration and inflammation. Veterinary Radiology and Ultrasound, 62(2); 150-160.

50. Nanai B, Lyman R, Bichsel PS (2007). Use of intraoperative ultrasonography in canine spinal cord lesions. Veterinary Radiology and Ultrasound, 48(3); 254-261.
51. Naish C, Mitchell R, Innes J, Halliwell M, McNally D (2003). Ultrasound imaging of the intervertebral disc. Spine, 28(2); 107-113.
52. Ortega M, Gonçalves R, Haley A, Wessmann A, Penderis J (2012). Spondylosis deformans and diffuse idiopathic skeletal hyperostosis (DISH) resulting in adjacent segment disease. Veterinary Radiology and Ultrasound, 53(2); 128-134.
53. Ozturk A, Grajo JR, Dhyani M, Anthony BW, Samir AE (2018). Principles of ultrasound elastography. Abdominal Radiology, 43(4); 773-785.
54. Ramirez O 3rd, Thrall DE (1998). A review of imaging techniques for canine cauda equina syndrome. Veterinary Radiology and Ultrasound, 39(4); 283-96.
55. Rosenblatt AJ, Bottema CDK, Hill PB (2014). Radiographic scoring for intervertebral disc calcification in the Dachshund. The Veterinary Journal, 200(3); 355-361.
56. Ruoff CM, Kerwin SC, Taylor AR (2018). Diagnostic Imaging of Discospondylitis. Veterinary Clinics of North America. Small Animal Practice, 48(1); 85-94.
57. Stouffer JR (2004). History of Ultrasound in Animal Science. Journal of Ultrasound in Medicine 23(5), 577-584.
58. Tanaka H, Nakayama M, Takase K (2006) Intraoperative spinal ultrasonography in two dogs with spinal disease. Veterinary Radiology and Ultrasound, 47(1); 99-102.
59. Togni A, Kranenburg HJC, Morgan JP, Steffen F (2014). Radiographic and MRI characteristics of lumbar disseminated idiopathic spinal hyperostosis and spondylosis deformans in dogs. Journal of Small Animal Practice, 55(7); 343-349.
60. Trampus P, Goepfert C, Welle M, Henke D, Forterre F, Schweizer-Gorgas D (2018). Magnetic Resonance Imaging Signal Alterations in Paraspinal Muscles in Dogs with Acute Thoracolumbar Intervertebral Disk Extrusion. Frontiers in Veterinary Science, 15; 5:16.
61. Wald LL (2019) Ultimate MRI. Journal of Magnetic Resonance, 306; 139-144.
62. Viscasillas J, Gregori T, Castińeiras D, Redondo I, Seymour C (2016). Description and evaluation of four ultrasound-guided approaches to aid spinal canal puncture in dogs. Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 43(4); 444-452.

# Wykaz rycin i tabel

## Ryciny

**Ryc. 1.** Ogólna kondycja ciała psów wykorzystanych w badaniach wstępnych według skali BCS 24
**Ryc. 2.** Przyłożenie głowicy USG równolegle do linii pośrodkowej kręgosłupa od strony dogrzbietowej. 25
**Ryc. 3.** Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa psa. 25
**Ryc. 4.** Przyłożenie głowicy USG prostopadle do linii pośrodkowej kręgosłupa po stronie dogrzbietowej. 26
**Ryc. 5.** Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym kręgu lędźwiowego kręgosłupa psa. 26
**Ryc. 6.** Przyłożenie głowicy USG równolegle w linii przypośrodkowej po stronie dogrzbietowej. 27
**Ryc. 7.** Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa psa. 27
**Ryc. 8.** Przyłożenie głowicy USG po stronie dobrzusznej. 28
**Ryc. 9.** Rekonstrukcja trójwymiarowa z badania tomografem komputerowym odcinka lędźwiowego kręgosłupa psa. 28
**Ryc. 10.** Ogólna kondycja ciała psów wykorzystanych w badaniach klinicznych według skali BCS. 32
**Ryc. 11.** Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu rezonansem magnetycznym w płaszczyźnie strzałkowej. 35
**Ryc. 12.** Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu ultrasonograficznym w płaszczyźnie podłużnej. 36
**Ryc. 13.** Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu rezonansem magnetycznym w płaszczyźnie poprzecznej. 37
**Ryc. 14.** Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu ultrasonograficznym w płaszczyźnie poprzecznej. 38
**Ryc. 15.** Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu rezonansem magnetycznym w płaszczyźnie poprzecznej. 39

**Ryc. 16.** Pomiary struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa i jego okolicy w badaniu ultrasonograficznym w płaszczyźnie poprzecznej. 40
**Ryc. 17.** Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. 43
**Ryc. 18.** Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie poprzecznej od strony dogrzbietowej. 44
**Ryc. 19.** Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej od strony bocznej. 45
**Ryc. 20.** Obraz ultrasonograficzny struktur okolicy odcinka lędźwiowego kręgosłupa w płaszczyźnie podłużnej od strony bocznej. 46
**Ryc. 21.** Mineralizacja krążka międzykręgowego L5-L6 z zaznaczoną mineralizacją jądra miażdzystego, zobrazowana w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. 48
**Ryc. 22.** Zmiany typu spondylosis deformans w okolicy krążka miądzykręgowego L6-L7, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. 49
**Ryc. 23.** Zmienione zwyrodnieniowo krążki międzykręgowe, uwypuklone ponad powierzchnię trzonów kręgów, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej po stronie dobrzusznej. 50
**Ryc. 24.** Zmiany w obszarze trzonu kręgu i krążka międzykręgowego, sugerujące obecność zespołu ogona końskiego, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej po stronie dobrzusznej. 51
**Ryc. 25.** Mineralizacja jądra miażdżystego krążka międzykręgowego L5-L6, zobrazowana w płaszczyźnie podłużnej po stronie dobrzusznej. 52
**Ryc. 26.** Odwodnienie krążka międzykręgowego L5-L6, zobrazowane w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. 53
**Ryc. 27.** Mineralizacja i odwodnienie krążków międzykręgowych L5-L6 i L6-L7, zobrazowana w płaszczyźnie podłużnej od strony dobrzusznej. 54
**Ryc. 28.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L4-L5 w USG oraz RM. 62
**Ryc. 29.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L5-L6 w USG oraz RM. 62
**Ryc. 30.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L6-L7 w USG oraz RM. 63
**Ryc. 31.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L7-S1 w USG oraz RM. 63
**Ryc. 32.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości mięśnia biodrowo-żebrowego i najdłuższego grzbietu w USG i RM. 64

**Ryc. 33.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości mięśnia półkolcowego w USG i RM. 64
**Ryc. 34.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości mięśnia wielodzielnego w USG i RM. 65
**Ryc. 35.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości wyrostka poprzecznego w USG i RM. 65
**Ryc. 36.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości wyrostka kolczystego w USG i RM. 66
**Ryc. 37.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L4 w USG i RM. 66
**Ryc. 38.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L5 w USG i RM. 67
**Ryc. 39.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L6 w USG i RM. 67
**Ryc. 40.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L7 w USG i RM. 68
**Ryc. 41.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami długości trzonu kręgu L3 w USG i RM. 68
**Ryc. 42.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami wysokości krążka międzykręgowego L3-L4 w USG i RM. 69
**Ryc. 43.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L5-L6 w USG i RM. 69
**Ryc. 44.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L6-L7 w USG i RM. 70
**Ryc. 45.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L3-L4 w USG i RM. 70
**Ryc. 46.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości tkanki tłuszczowej w USG i RM. 71
**Ryc. 47.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L7-S1 w USG i RM. 71
**Ryc. 48.** Współczynnik korelacji zgodności (CCC) między pomiarami grubości krążka międzykręgowego L4-L5 w USG i RM. 72

## Tabele

**Tab. 1.** Rasy psów wykorzystanych w badaniach wstępnych. 24
**Tab. 2.** Rasy pacjentów klinicznych wykorzystanych w badaniach. 32
**Tab. 3.** Struktury anatomiczne zobrazowane w badaniu ultrasonograficznym. 42
**Tab. 4.** Zmiany chorobowe zidentyfikowane u poszczególnych pacjentów w badaniu ultrasonograficznym. 55
**Tab. 5.** Korelacja Pearsona między wartościami pomiarów struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa w rezonansie magnetycznym. 60
**Tab. 6.** Korelacja Pearsona między wartościami pomiarów struktur odcinka lędźwiowego kręgosłupa w rezonansie magnetycznym a masą ciała pacjentów. 61