

Uniwersytet Medyczny w Poznaniu
Kolegium Nauk Medycznych
Katedra Ortopedii i Traumatologii Dziecięcej
Klinika Chorób Kręgosłupa i Ortopedii Dziecięcej

lek. Szymon Rubczak

Morfologia krążka międzykręgowego w obrazie rezonansu
magnetycznego i jego trójwymiarowej rekonstrukcji
u chorych z bólem kręgosłupa lędźwiowego

Rozprawa doktorska

Promotor: prof. dr hab. Tomasz Kotwicki

Klinika Chorób Kręgosłupa i Ortopedii Dziecięcej
Kierownik Kliniki: prof. dr hab. Tomasz Kotwicki

Katedra Ortopedii i Traumatologii Dziecięcej
Kierownik Katedry: prof. dr hab. Marek Jóźwiak

Poznań 2020

Serdecznie podziękowania składam
prof. dr hab. Tomaszowi Kotwickiemu
za motywację, cierpliwość i pomoc podczas
pisanie pracy, oraz za przekazaną wiedzę
i umiejętności.

Żonie i Rodzinie dziękuję za wsparcie, pomoc
i wiarę w moje siły.

Praca wykonana w ramach grantu „Virdiamed” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – nr grantu PBS3/B9/34/2015

Spis treści

1. Wstęp	5
2. Założenia i cel pracy	15
2.1. Założenia.....	15
2.2. Cel pracy	15
2.3. Cele szczegółowe	15
3. Materiał	16
4. Metodyka	17
4.1. Badanie kliniczne	18
4.2. Badanie kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego techniką rezonansu magnetycznego (MR)	20
4.2.1. Wykonanie badania, wybór parametrów.....	20
4.2.2. Sposób pomiaru wybranych parametrów konwencjonalnego badania rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego	21
4.3. Trójwymiarowa rekonstrukcja krążka międzykręgowego w oparciu o konwencjonalne badanie rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (3D MR)	26
4.3.1. Sposób wykonania trójwymiarowej rekonstrukcji	26
4.3.2. Sposób pomiaru wybranych parametrów trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego	31
4.4. Porównanie wyników pomiarów konwencjonalnego badania rezonansu magnetycznego (MR) i trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	33
4.5. Metody analizy statystycznej	34
5. Wyniki.....	35
5.1. Wyniki badania klinicznego	35
5.2. Wyniki pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego (MR) kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.....	39
5.3. Wyniki pomiarów parametrów trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów (3D MR).....	44
5.4. Porównanie pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (MR) i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów (3D MR).....	45
6. Dyskusja.....	49
7. Wnioski	55
8. Bibliografia.....	56
9. Streszczenie	65
10. Summary.....	68
11. Załączniki	71
12. Spis ilustracji	79
13. Spis tabel	81

1. Wstęp

Epidemiologia

Ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego jest jednym z najczęściej występujących objawów (1,2). Jest drugą, po dolegliwościach układu oddechowego, przyczyną zgłaszania się chorych do lekarza pierwszego kontaktu (1,3). Jest zazwyczaj definiowany jako ból, napięcie mięśni lub sztywność zlokalizowana poniżej żeber i powyżej dolnego fałdu pośladkowego; ból ten może się objawiać z lub bez promieniowania do kończyny dolnej (4). W języku angielskim znajduje on trafniejszą i bardziej syntetyczną nazwę jaką jest „low back pain”. W polskiej nomenklaturze medycznej funkcjonują terminy określające przyczynę – jak przepuklina jądra miazdżystego lub określające objawy – jak rwa kulszowa, ischialgia czy lumbago. Z uwagi na brak polskiego równie trafnego odpowiednika (5), zdecydowałem się używać sformułowania „ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego”.

Epidemiologia bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego została szeroko omówiona w piśmiennictwie. Większość z nas doświadczy przynajmniej jednego epizodu ostrego bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego, jego występowanie w ciągu całego życia waha się od 49% do 70%, a występowanie w ciągu w roku w danej populacji od 12% do 30% (4,6). Około 10% z całej puli chorujących rozwinie przewlekłą postać choroby, z niesprawnością, przyspieszającą utratę zdolności do pracy (7). Jest to choroba występująca częściej u kobiet niż u mężczyzn i najczęściej w grupie wiekowej 40-69 lat (8). Powoduje znaczące skutki finansowe i mocno obciąża budżety ubezpieczeń zdrowotnych i społecznych (9–11). Obserwuje się częstsze występowanie u chorych w krajach rozwiniętych – kraje zamożne - 30,3%, średnio rozwinięte - 21,4%, nisko rozwinięte 18,2%; nie ma różnicy w występowaniu choroby na terenach miejskich i wiejskich (8). Współczynnik pacjentów poszukujących pomocy z uwagi na ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego to 58%. Poszukiwanie pomocy medycznej jest częstsze u kobiet i osób, u których wystąpił wcześniej epizod bólowy kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego oraz u osób z ogólnym złym stanem zdrowia (12).

Powszechny pogląd, iż jest to przypadłość wieku dorosłego nie znajduje potwierdzenia w literaturze, ponieważ praca Swaina i wsp. (13) na 402 406 nastolatkach z 28 krajów pokazała, że aż 37% z nich zgłaszało ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego raz w miesiącu lub częściej; był on częstszy u płci żeńskiej niż męskiej. Częstość występowania wzrastała z wiekiem – od 27,4% w wieku 11 lat, przez 37% w wieku 13 lat do 46,7% w wieku 15 lat (13). Ból w okresie dziecięcym niestety zwiastuje ból w okresie dorosłości (14). Bóle kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego powiązane są z wysokością i masą ciała. Obserwuje się zwiększoną częstość występowania bólu kręgosłupa lędźwiowego zarówno u otyłych, jak i u wysokich pacjentów (15,16).

Analizując czynniki ryzyka wystąpienia bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego należy wspomnieć, iż rodzaj wykonywanej pracy, a więc praca fizyczna – ciężar podnoszonych rzeczy, jak i liczba powtórzeń jest proporcjonalna do częstości występowania bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (17). Pozostałymi czynnikami nieznacznie zwiększającymi częstość bólu są: palenie papierosów (18) i objawy depresyjne (19).

Choroba jest jedną z głównych przyczyn zwiększenia poziomu niepełności i upośledzenia jakości życia (20). Badania potwierdziły, że osoby zmagające się z bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego są generalnie uboższe od zdrowej populacji (21); sytuacja nasila się w momencie występowania chorób współistniejących. Ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego jest jedną z głównych przyczyn odejścia na wcześniejszą emeryturę czy rentę. Osoby odchodzące z tego powodu na wcześniejszą emeryturę mają znacząco mniejszy wypracowany majątek w porównaniu z osobami bez tych dolegliwości (22).

Obraz kliniczny i diagnostyka

Ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego traktowany jest jako ostry jeśli trwa poniżej sześciu tygodni, podostry - pomiędzy sześć tygodni a trzy miesiące, przewlekły jeśli trwa powyżej trzech miesięcy (4). Najczęściej według doniesień literaturowych (23), 90% pacjentów przestanie przychodzić z powodu bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego do lekarza pierwszego kontaktu w ciągu 3 miesięcy. Niestety, aż 73% procent wróci w ciągu 12 miesięcy (24).

Nagły ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego może być wywołany przez czynniki fizyczne np. dźwignięcie ciężkiego przedmiotu lub przez czynniki psychosomatyczne - zmęczenie (25). Jednakże wedle danych literaturowych, jedna trzecia pacjentów nie potrafi wskazać konkretnego czynnika wywołującego (26). Z kolei dane amerykańskie zebrane z ostrych dyżurów pokazują, że urazy domowe – dźwignięcie ciężkich przedmiotów, stanowią ponad 60% przyczyn bólów kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (27).

Większość autorów dzieli bóle kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego na specyficzne i niespecyficzne. Specyficzny ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego jest definiowany jako spowodowany przez określony mechanizm patofizjologiczny, taki jak przepuklina krążka międzykręgowego, infekcja, osteoporoza, reumatoidalne zapalenie stawów, złamanie, proces nowotworowy, ropień nadtwódkowy, czy zespół ogona końskiego. Bóle kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego w 90% przypadków występują bez wykrywalnej przyczyny (ang. non-specific low back pain), a diagnozuje się je poprzez wykluczenie specyficznej patologii. W diagnostyce różnicowej należy również wykluczyć pozakręgosłupowe bóle pleców z przyczyn takich jak np. tętniak aorty brzusznej (4,28).

„Czerwone flagi” w diagnostyce bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego to: spadek masy ciała, obciążony wywiad nowotworowy, bóle nocne, czy nieustępowanie (niezmniejszanie) dolegliwości bólowych w pozycji leżącej – objawy sugerujące proces nowotworowy. Obecność systemowej choroby, znaczna sztywność i ograniczona ruchomość kręgosłupa, obrzęki i bóle innych stawów sugerują ogólnoustrojowy proces zapalny, najczęściej na tle reumatologicznym, ze specyficzną dla kręgosłupa chorobą jaką jest zeszywniające zapalenie stawów kręgosłupa. Gorączka jest objawem sugerującym infekcję, być może w obrębie kręgosłupa, choć to rzadkość (<1%).

Najczęstszym objawem jest ból, tkliwość i sztywność okolicy lędźwiowej kręgosłupa, w okolicy wyrostków kolczystych lub mięśni przykręgosłupowych. W momencie angażowania w proces chorobowy korzeni nerwowych ból może promieniować w okolice miednicy, pośladków czy kończyn dolnych wzdłuż unerwienia dermatomów. Częstym objawem jest ograniczenie ruchomości kręgosłupa lędźwiowego. Monitorowanie tego parametru może być pomocne w kontrolowaniu leczenia (29).

Obecność objawów korzeniowych sugeruje uszkodzenie krążka międzykręgowego. U pacjentów z objawami korzeniowymi należy przeprowadzić testy korzeniowe jakim jest test Lasegue’a, choć autorzy podkreślają, że ma on wysoką czułość, lecz niską swoistość (28). Skrzyżowany test Lasegue’a podawany jest za przykład testu specyficznego dla przepukliny krążka międzykręgowego lecz o niskiej czułości (30). W przepuklinach krążka międzykręgowego w 95% przypadków podrażnione zostają korzenie L5 i S1 (31). Patologie w obrębie krążka międzykręgowego nasilają się podczas kaszlu, kichania czy próby Valsalvy (28).

Objawy rzekomokorzeniowe definiowane są jako bóle promieniujące do kończyn dolnych nieprzekraczające linii kolan. Powodowane są przez m.in. przez choroby stawów krzyżowo-biodrowych czy zespół mięśnia gruszkowatego (32).

Diagnostykę bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego należy przeprowadzić również poprzez wykonanie badań dodatkowych. Obecnie w przypadku bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego wykonywane jest zdjęcie rentgenowskie głównie przez lekarzy pierwszego kontaktu. Wytyczne Amerykańskiego Towarzystwa Internistów (33) mówią jednak, iż standardowo projekcja RTG wskazana jest jeśli u chorego podejrzewamy nowotwór, infekcję kręgosłupa, zespół ogona końskiego czy chory przedstawia poważne neurologiczne deficyty lub przeżył uraz. Jest to jedynie kilka procent ogólnej puli chorych z bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Powszechne wykonanie zdjęć RTG wydają się więc być niepotrzebne. Należy wspomnieć iż zdjęcia rentgenowskie nie są wysoce pomocne we wczesnej postaci nowotworu lub infekcji, dlatego dodatkowe testy laboratoryjne jak odczyn Biernackiego, pomiar białek ostrej fazy oraz leukocytów jest w tym momencie pomocny, a dostępny do wykonania u lekarza pierwszego kontaktu (34).

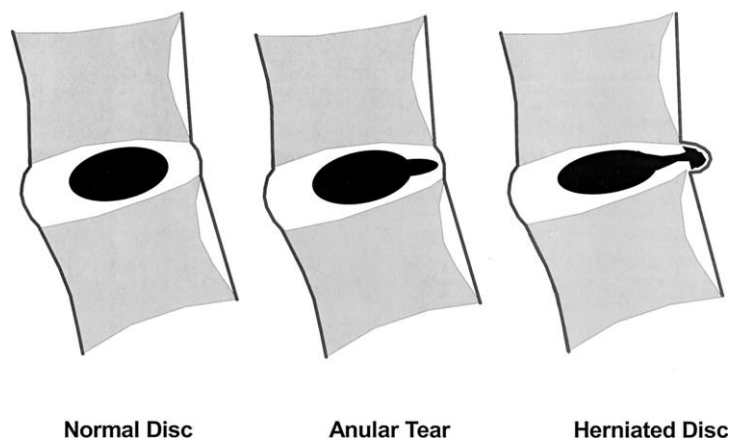
Najlepszym badaniem w diagnostyce bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego jest badanie rezonansu magnetycznego. Główną zaletą tego badania jest bardzo dobre uwidocznienie tkanek miękkich, co ma istotne znaczenie w obrazowaniu patologii krążka międzykręgowego oraz nieinwazyjność (brak promieniowania jonizującego) (35–37). Pozostaje ono badaniem kosztownym, lecz jego dostępność w ostatnich latach wzrasta. Drugim badaniem pomocnym w diagnostyce bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego jest badanie tomografii komputerowej. Badanie to jest bardziej specyficzne w obrazowaniu tkanki kostnej - w wykluczeniu złamań lub diagnozowaniu procesu rozrostowego w obrębie kręgosłupa. Minusem badania jest duża ekspozycja na promieniowanie jonizujące, plusem natomiast większa dostępność w porównaniu do rezonansu magnetycznego.

Należy wspomnieć, iż nie zawsze występuje bezpośrednia korelacja pomiędzy zmianami patologicznymi stwierdzonymi w rezonansie magnetycznym a stanem klinicznym pacjenta i jego dolegliwościami bólowymi. Literatura pokazała, iż patologie krążka międzykręgowego znajdowane są także u bezobjawowych ochotników poddanych badaniu rezonansu magnetycznego (38–41). Udowodniono też, że patologia krążka międzykręgowego stwierdzona w rezonansie magnetycznym nie przesądza o wystąpieniu kolejnych epizodów bólowych kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego w przyszłości (42).

Krążek międzykręgowy jest strukturą składającą się z włóknistego pierścienia otaczającego wysoce uwodnione jądro miażdżyste. Podczas ruchów kręgosłupa jądro miażdżyste przemieszcza się (43). Ruch jądra miażdżystego w stanie prawidłowym limitowany jest przez pierścień włóknisty. Uszkodzenie struktury pierścienia może powodować wydostanie się części jądra miażdżystego na zewnątrz, co określa się mianem wypukliny/przepukliny krążka międzykręgowego. Przemieszczone poza obręb krążka jądro miażdżyste może uciskać znajdujące się w sąsiedztwie struktury, w tym korzenie nerwów rdzeniowych (44).

Etiologia choroby krążka międzykręgowego jest wieloczynnikowa, można w niej wyróżnić: czynniki genetyczne (45), obciążenia mechaniczne (46), miażdżycę naczyń (47), palenie papierosów (48) i wiek (49).

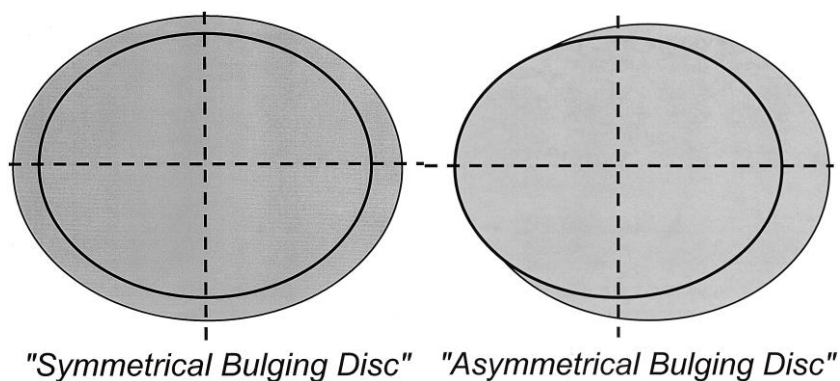
Patologia krążka międzykręgowego, może mieć różny obraz morfologiczny; na początku należy wyróżnić uszkodzenia wewnętrzne i zewnętrzne – Ryc.1.1.



Rycina 1.1. Schemat uszkodzeń wewnątrz i zewnątrzdiskowych (50).

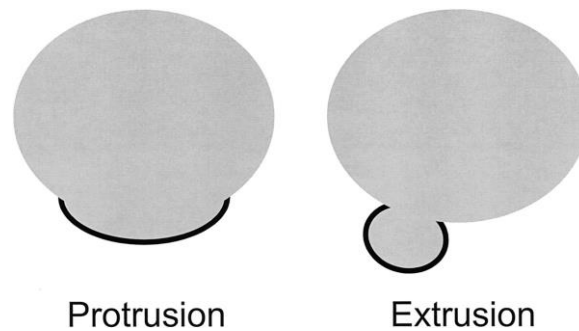
Pęknięcie wewnątrzdiskowe spowodowane są uszkodzeniem jądra miażdżystego bez poszerzenia obrysu krążka międzykręgowego.

Uszkodzenie ciągłości pierścienia włóknistego daje poszerzenie obrysu krążka międzykręgowego. łagodne wypuklenie ponad 50% obwodu krążka nieprzekraczające 3mm w płaszczyźnie poprzecznej określane jest mianem wypukliny krążka międzykręgowego – ang. bulging (5,50). Dzieli się je na uwypuklenie symetryczne obejmujące cały obwód krążka oraz asymetryczne obejmujące od 50-100% obwodu.



Rycina 1.2. Uwypuklenia krążka międzykręgowego (50).

Przepuklina krążka międzykręgowego to przemieszczenie materiału krążka międzykręgowego poza obręb przestrzeni dyskowej. Przepukliny krążka międzykręgowego dzielimy na protruzje i ekstruzje w zależności od wielkości. O protruzji mówimy, gdy długość podstawy przepukliny jest większa niż jej wymiar strzałkowy. W ekstruzji długość podstawy przepukliny jest mniejsza niż jej wymiar strzałkowy. Każde uwypuklenie krążka przekraczające wymiar wysokości dysku w płaszczyźnie strzałkowej jest ekstruzją. W ekstruzji dochodzi do przemieszczenia materiału dyskowego. Specjalną odmianą ekstruzji jest sekwestr – czyli oddzielenie fragmentu materiału dyskowego (5).



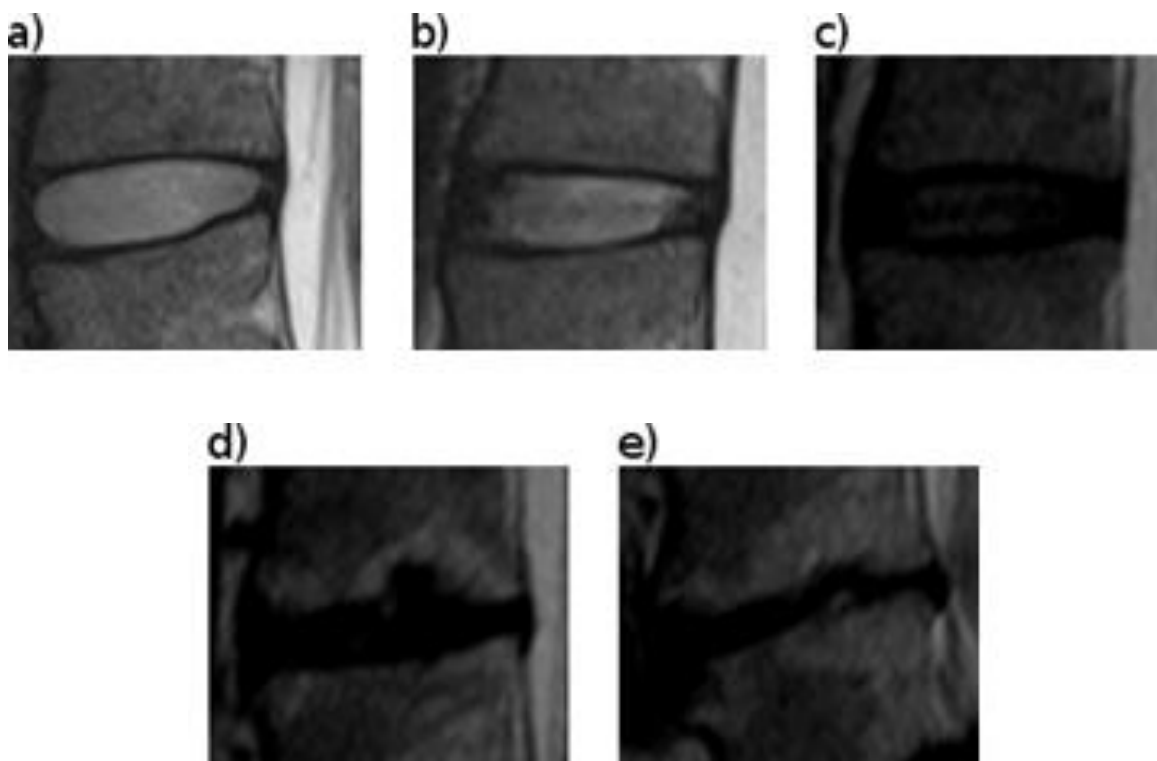
Rycina 1.3. Protruzja i ekstruzja krążka międzykręgowego (50).

Wraz z rozwojem zmian zwyrodnieniowych dochodzi do stopniowej dehydratacji krążków międzykręgowych. Zmiany dehydratacyjne najlepiej widoczne są na obrazach T2-zależnych rezonansu magnetycznego.

Aby ujednolicić stopień opisu zwyrodnienia krążka międzykręgowego Christian Pfirrmann w 2001 r. (51) opracował pięciostopniową skalę bazującą na obrazach krążka międzykręgowego w rezonansie magnetycznym.

Tabela 1.1. Morfologia krążka międzykręgowego na obrazach T2 zależnych- skala Pfirrmanna

Stopień	Struktura krążka	Granica między jądrem a pierścieniem	Wysokość krążka
I	homogenny z jasnym hiperintensywnym białym sygnałem	Wyraźna	zachowana
II	niehomogenny, ale utrzymuje hiperintensywny biały sygnał; może być widoczne szare horyzontalne pasmo	Jądro i pierścień są łatwo rozróżnialne	zachowana
III	niehomogenny, ze wstawkami sygnału o szarej intensywności	mniej wyraźna	prawidłowa lub nieco zmniejszona
IV	niehomogenny z hipointensywnym sygnałem o ciemno-szarej intensywności	nie da się rozróżnić granicy pomiędzy jądrem a pierścieniem	lekko lub umiarkowanie zmniejszona
V	niehomogenny, hipointensywny z sygnałem o czarnej / ciemnej intensywności	nie da się rozróżnić granicy pomiędzy jądrem a pierścieniem	krążek jest zapadnięty

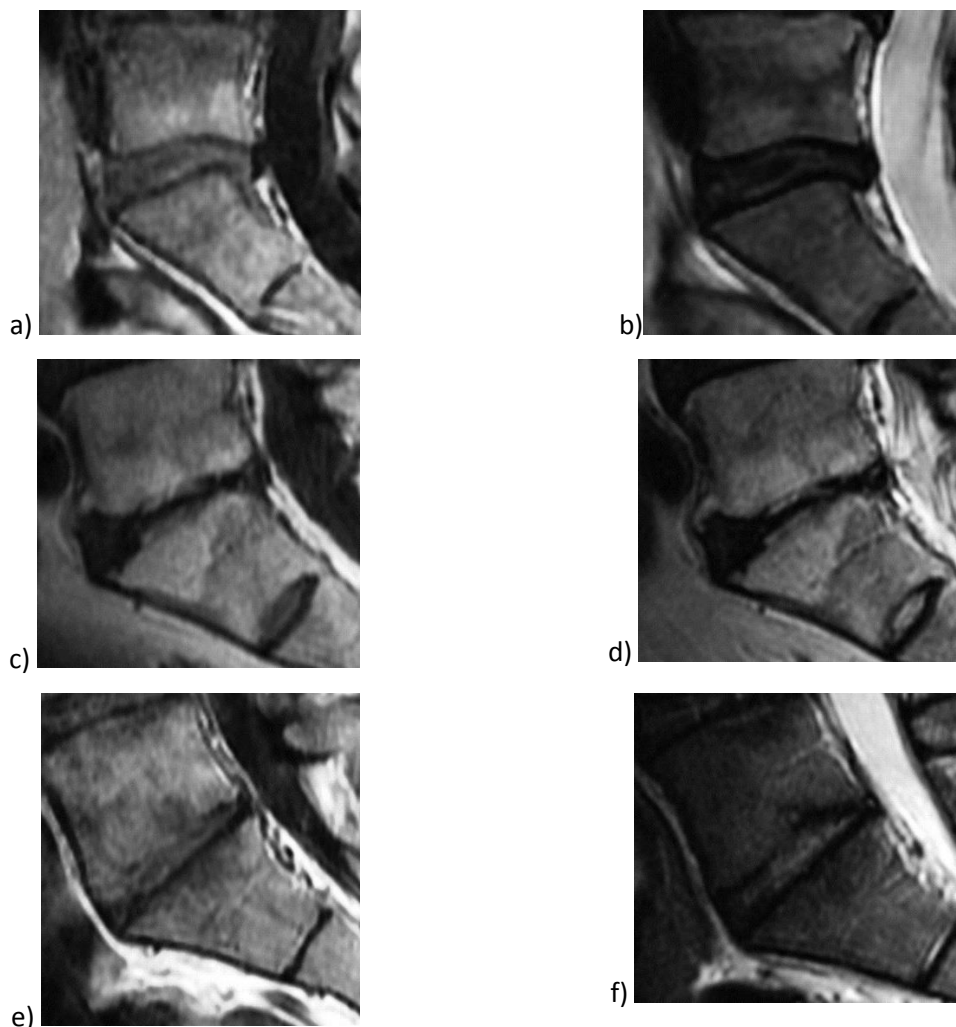


Rycina 1.4. Morfologia krążka międzykręgowego na obrazach T2 zależnych w skali Pfirrmanna: a) stopień I, b) stopień II, c) stopień III, d) stopień IV, e) stopień V.

W ocenie zmian dyskopochodnych zastosowanie ma także skala Modica (52). Skala ta ocenia występowanie zmian degeneracyjnych w sąsiadujących z krążkiem międzykręgowym trzonach kręgowych, rozwijających się w następstwie zwyrodnienia krążka międzykręgowego. W zależności od intensywności sygnału stwierdzanych zmian w obrazach T1 i T2 zależnych wyróżnia się 3 typy :

Tabela 1.2. Morfologia trzonów kręgów w obrazie rezonansu magnetycznego - skala Modica

Typ	Obraz T1	Obraz T2	Histopatologia
I	hypointensywny	hiperintensywny	obrzęk szpiku
II	hyperintensywny	izo lub hyperintensywny	przemiana w szpik żółty
III	hypointensywny	hypointensywny	sklerotyzacja



Rycina 1.5. Zmiany degeneracyjne w sąsiadujących z krążkiem trzonach kręgowych rozwijających się w następstwie zwyrodnienia krążka międzykręgowego: a) obraz T1 zależny Modic I; b) obraz T2 zależny Modic I; c) obraz T1 zależny Modic II; d) obraz T2 zależny Modic II; e) obraz T1 zależny Modic III; f) obraz T2 zależny Modic III.

Na uwagę zasługuje, że negatywne wyniki w powyższych skalach opisujące zwyrodnienie krążków międzykręgowych i sąsiadujących trzonów kręgów słabo korelują ze złymi wynikami kwestionariuszy oceniających jakość życia np. Oswestry Disability Index (53,54) czy wynikami testów funkcjonalnych – TUG (55–57).

Leczenie

Leczenie bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego należy podzielić na leczenie bólu ostrego i leczenie bólu przewlekłego. Wedle statystyk 72% pacjentów z ostrym bólem kręgosłupa lędźwiowego uzyska pełne wyzdrowienie w ciągu 12 miesięcy (58), natomiast z bólem przewlekłym tylko 42% (59). Wśród pacjentów, którzy przeszli ostry ból, 33% będzie miało nawrót w ciągu 12 miesięcy (60).

Zarówno w ostrym jak i przewlekłym bólu kręgosłupa bardzo ważna jest odpowiednia edukacja pacjenta, wyjaśnienie przyczyn, charakteru bólu, objaśnienie form terapii oraz możliwych dróg leczenia. Istotne jest przybliżenie pacjentowi mechaniki kręgosłupa, sił jakie na niego działają oraz ich związku z pozycjami jakie pacjent przyjmuje w domu, podczas pracy czy jazdy samochodem. Bardzo ważne jest wskazanie odpowiedniej higieny życia codziennego i pracy w zakresie zdrowia kręgosłupa. Odpowiednia rozmowa potrzebna jest też, by rozwiązać wątpliwości odnośnie bólu i popularnych przekazach np. odnośnie nastawiania kręgosłupa itp. (61).

Badania pokazały, że prawidłowa edukacja zapewnia długotrwałą poprawę dolegliwości oraz spadek częstości odwiedzin lekarza pierwszego kontaktu. Pokazały również, że bardziej efektywną edukację przeprowadzają lekarze, w porównaniu do fizjoterapeuty czy pielęgniarki (62,63).

W ostrym bólu podważane jest tradycyjne podejście do leczenia, jakim jest odpoczynek i leżenie w łóżku. Obecnie zalecane jest, aby pacjent pozostał aktywny na tyle ile to możliwe bólowo, stopniowo zwiększając obciążenia. Wspomniane jest również to, że nie jest konieczne zwolnienie z pracy (8).

Farmakologicznie zalecane jest podawanie leków z grupy niestereoidowych leków przeciwzapalnych (64). Istnieją również dowody na skuteczność leków z grupy miorelaksantów (64,65). Niezalecane jest podawanie paracetamolu (66), uznanego za nieskuteczny w terapii ostrego bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Nie znalazłem dowodów na temat skuteczności opioidów w leczeniu ostrego bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego, natomiast w leczeniu przewlekłej postaci mają niewielkie znaczenie (67).

Nawiązując do choroby krążka międzykręgowego, na której skupiam się w mojej pracy, podkreśla się rolę terapeutyczną ćwiczeń i regularnej aktywności fizycznej (68). Bezpiecznymi i skutecznymi ćwiczeniami są ćwiczenia z grupy tak zwanej „core stability”, czyli wzmacniające mięśnie: poprzeczny brzucha, prosty i skośne brzucha, wielodzielny, czworoboczny lędźwi oraz mięśnie dna miednicy (69). Podaje się przewagę ćwiczeń tej grupy nad resztą ćwiczeń ogólnorozwojowych i rozciągających w terapii bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (70–72). Jedną z form terapii może być terapia wg metody McKenziego, uznawana za bezpieczną i skuteczną (73,74).

Należy także wspomnieć, iż zwłaszcza w leczeniu przewlekłego bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego terapia powinna być multidyscyplinarna, z uwzględnieniem czynników psychologicznych. W przypadku długotrwałego bólu, może będzie trzeba wziąć pod uwagę zabezpieczenie pacjenta w leki przeciwdepresyjne oraz w psychoterapię (75).

Gdy leczenie nieoperacyjne jest nieskuteczne, proponowane jest leczenie operacyjne. Na pierwszym szczeblu leczenia inwazyjnego znajdują się ostrzyknięcia sterydowe kręgosłupa, mogą być skuteczne,

przynoszą one jednak najczęściej krótkotrwałą poprawę (8). Innym małoinwazyjnym sposobem leczenia może być termiczna ablacja w obrębie korzeni czuciowych nerwów rdzeniowych (RFA) lub wymrażanie tych zakończeń. Efekty przeciwbólowe tego leczenia najczęściej są przemijające (76).

Chirurgia w obrębie krążka międzykręgowego ma zastosowanie, gdy leczenie zachowawcze nie przynosi poprawy dolegliwości bólowych. Zalecana jest 6-8 tygodniowe postępowanie nieoperacyjne, a następnie, gdy brak rezultatu, wykonanie badań obrazowych – rezonansu magnetycznego, w celu oceny wskazań do leczenia operacyjnego. Częściowa discektomia niekiedy wsparta foraminotomią, w celu uwolnienia zachyłka ma wtedy zastosowanie, zwłaszcza w przypadku przepukliny krążka międzykręgowego zlokalizowanej po jednej stronie. Celem leczenia jest głównie usunięcie objawów korzeniowych – bólu kończyn dolnych; często ból pleców nie ustaje po leczeniu operacyjnym. Bezwzględny wskazaniem do leczenia operacyjnego jest zespół ogona końskiego, porażenie czy znaczne zaburzenia czucia lub ruchomości kończyn dolnych (77–79).

W wielopoziomowych zmianach zwyrodnieniowych proponuje się stabilizację kręgosłupa za pomocą implantów, powodując usztywnienie patologicznie zmienionych segmentów. Dostępne są prace naukowe mówiące o braku wyższości tej metody operacyjnej nad leczeniem nieoperacyjnym (80–82), inne natomiast dowodzą skuteczności metody (83). Podkreśla się, że bardzo ważnym kryterium pomyślności leczenia operacyjnego jest dobry dobór pacjentów, bazując na objawach klinicznych, ogólnym stanie zdrowia i obecności chorób współistniejących.

2. Założenia i cel pracy

2.1. Założenia

Nagły silny ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego u osób w wieku 20-50 lat może być spowodowany przez przemieszczenie jądra miażdżystego krążka międzykręgowego, które może wynikać z uszkodzenia pierścienia włóknistego. Dolegliwości bólowe mogą być związane z podrażnieniem włókien czuciowych uszkodzonego pierścienia włóknistego lub, w przypadkach z przemieszczeniem jądra miażdżystego, wytworzeniem przepukliny i uciskiem worka oponowego lub korzeni nerwowych (84,85).

2.2. Cel pracy

Celem pracy jest ocena morfologii krążków międzykręgowych widocznych w obrazie rezonansu magnetycznego u chorych z nagłym silnym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (z promieniowaniem lub bez promieniowania bólu do kończyny dolnej). Drugim celem pracy jest wykonanie cyfrowej rekonstrukcji trójpłaszczyznowej krążka międzykręgowego i porównanie tej techniki ze standardowym badaniem rezonansu magnetycznego.

2.3. Cele szczegółowe

1. Ocena morfologii krążków międzykręgowych wraz z przylegającymi trzonami kręgów obrazowanych w standardowym badaniu rezonansu magnetycznego u chorych z nagłym silnym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.
2. Wykonanie trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i przylegających trzonów kręgów w oparciu o standardowy rezonans magnetyczny kręgosłupa lędźwiowego.
3. Porównanie wybranych parametrów krążka i trzonów kręgów (wysokość krążka, objętość krążka, wielkość przepukliny, wysokość i objętość trzonów kręgów) mierzonych na trójwymiarowych rekonstrukcjach z odpowiadającymi im parametrami na obrazach strzałkowych T2 standardowego rezonansu magnetycznego.

3. Materiał

Do badań zostali zakwalifikowani pacjenci w wieku między 20 a 50 lat z nagłym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Pacjenci zgłaszali się do poradni ortopedycznej prowadzonej przez doktoranta. Kryteriami wyłączającymi z badania była ciąża, obecność implantów uniemożliwiających wykonanie badania rezonansu magnetycznego, przebyte złamanie kręgosłupa lędźwiowego, znaczna otyłość, klaustrofobia uniemożliwiająca wykonanie badania rezonansu magnetycznego.

Tabela 3.1. Kryteria włączenia i wyłączenia z badania

Kryteria włączenia	Kryteria wyłączenia
• ostry ból kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego • wiek 20-50 lat	• ciąża • obecność implantów uniemożliwiających wykonanie badania rezonansu magnetycznego • przebyte złamanie w obrębie kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego • znaczna otyłość (BMI>35) • klaustrofobia

Przebadanem 30 pacjentów spełniających kryteria włączenia i wyłączenia (Tab.3.1). Wykonanych zostało 30 badań rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Uszkodzenie krążka międzykręgowego w badaniu rezonansu magnetycznego potwierdziło się w 25 badaniach; u 5 badanych nie potwierdzono uszkodzenia krążka międzykręgowego.

Do dalszych prac zostało zakwalifikowanych 25 badań rezonansu magnetycznego wykonanych u 25 pacjentów.

Średnia wieku pacjentów wyniosła 35,5 lat, odchylenie standardowe 6,4, zakres wiekowy to 20-50 lat. W grupie badanej było 7 kobiet i 18 mężczyzn.

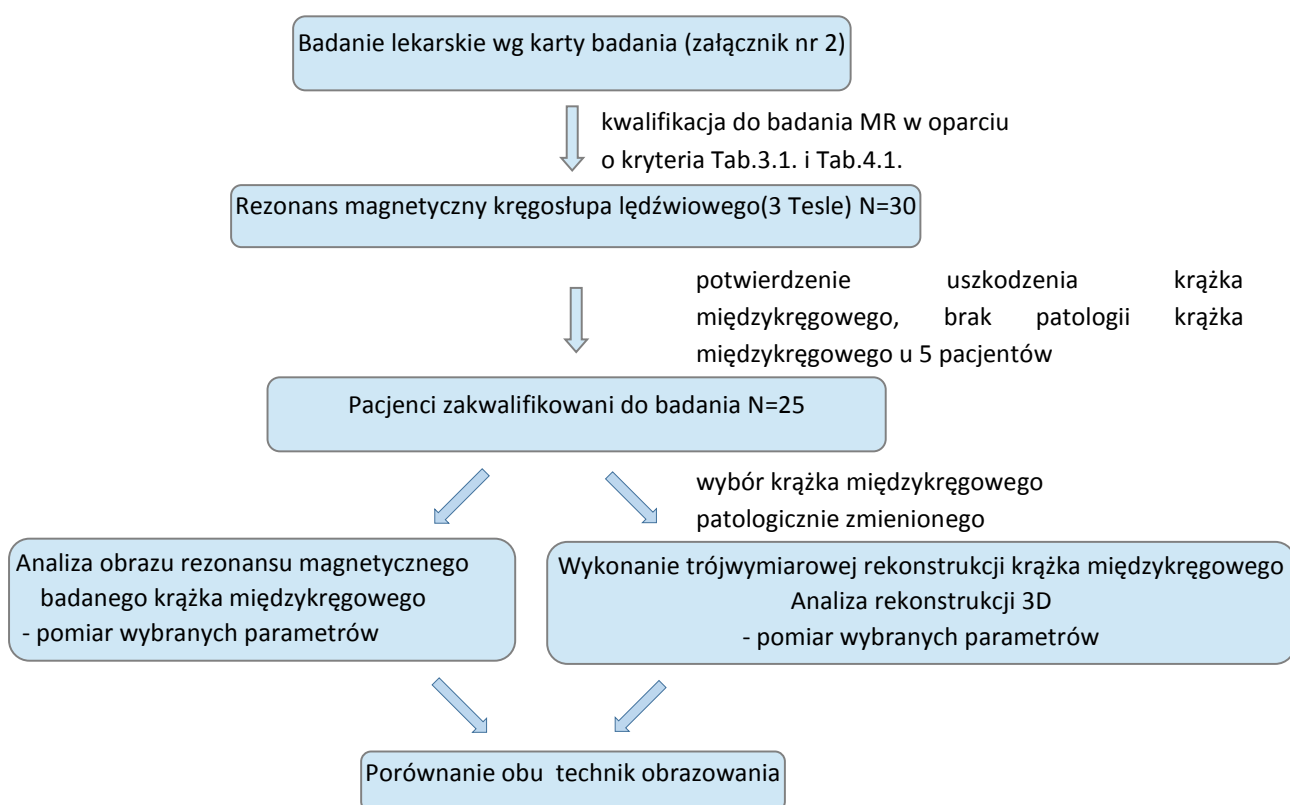
4. Metodyka

W metodyce zastosowałem:

1. badanie kliniczne,
2. badanie rezonansu magnetycznego (3 Tesle) kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego,
3. trójwymiarową rekonstrukcję krążka międzykręgowego w oparciu o konwencjonalne badanie rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego za pomocą procedury opracowanej w ramach realizacji grantu NCBiR Virdiamed

Na przeprowadzenie badań uzyskałem zgodę Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, uchwała nr 670/15 (Załącznik 1).

Badania były prowadzone według poniższego schematu:



Rycina 4.1. Schemat badania.

4.1. Badanie kliniczne

Badanie lekarskie przeprowadziłem osobiście według załączonej karty badania (Załącznik 2).

Po stwierdzeniu podejrzenia uszkodzenia krążka międzykręgowego jako przyczyny bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (Tabela 4.1.), kierowałem chorego/chorą na badanie kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego techniką rezonansu magnetycznego.

Tabela 4.1. Kryteria podejrzenia uszkodzenia krążka międzykręgowego (przynajmniej 2)

• ból zlokalizowany w okolicy wyrostków kolczystych kręgów lędźwiowych, kolców biodrowych tylnych lub ból okolicy pośladka, przedniej lub tylnej powierzchni uda • ból nasilający się przy skłonie ku przodowi lub w przeproście kręgosłupa lędźwiowego lub w momencie kaszlu • dodatnie testy korzeniowe (Lasegue’a lub Mackiewicza)

W trakcie badania klinicznego oceniałem parametry podane w tabeli 4.2.

Tabela 4.2. Parametry oceniane w badaniu

Podmiotowo:
• epizod bólowy – pierwszy/kolejny • czas trwania dolegliwości • natężenie bólu (skala VAS) • pozycje pogarszające dolegliwości bólowe • pozycje zmniejszające dolegliwości bólowe • nasilenie bólu w trakcie kaszlu – tak/nie • zależność bólu od pory dnia • występowanie bólów nocnych – tak/nie • charakter pracy pacjenta • aktywność fizyczna pacjenta • obecność chorób współistniejących
Przedmiotowo:
• lokalizacja dolegliwości bólowych w obrębie grzbietu • obecność deformacji kręgosłupa • promieniowanie dolegliwości bólowych do kończyn dolnych wedle unerwienia dermatomów • zakres ruchomości kręgosłupa lędźwiowego

-
- zakres ruchomości stawów biodrowych
 - siła mięśniowa wybranych grup mięśni kończyn dolnych
 - obecność odruchów neurologicznych fizjologicznych
 - obecność odruchów neurologicznych patologicznych
 - testy korzeniowe (Lasegue’a i Mackiewicza)
-

Ponadto pacjent wypełniał samodzielnie zmodyfikowany kwestionariusz Oswestry (polską wersję).

Zmodyfikowany kwestionariusz Oswestry (Załącznik nr 3) składa się z dziesięciu sekcji, oceniających stopień niesprawności pacjenta w poszczególnych dziedzinach życia codziennego. Te sekcje to: intensywność bólu, pielęgnacja, podnoszenie, chodzenie, siedzenie, stanie, spanie, życie towarzyskie, podróżowanie i zmiana natężenia bólu.

Sposób oceny kwestionariusza jest następujący. Każda sekcja jest oceniana w skali 0–5, przy czym 5 oznacza największą niesprawność. Indeks oblicza się, dzieląc zsumowany wynik przez całkowitą możliwą liczbę punktów, która jest następnie mnożona przez 100 i wyrażana jako procent. Zatem dla każdego pytania, na które nie udzielono odpowiedzi, mianownik zmniejsza się o 5. Jeżeli pacjent zaznacza więcej niż jedno stwierdzenie w pytaniu, stwierdzenie o najwyższym wyniku jest rejestrowane jako prawdziwa oznaka niesprawności (86).

4.2. Badanie kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego techniką rezonansu magnetycznego (MR)

4.2.1. Wykonanie badania, wybór parametrów

Badania rezonansu magnetycznego zostały wykonane w pracowni rezonansu magnetycznego przy ul. Góreckiej 30 w Poznaniu.

Badania były wykonywane na modelu Siemens Spectra Syngo MR D12.

Protokół badania był następujący: moc pola: 3 Tesle, rozdzielczość: 256x205 pikseli, grubość przekroju (slice thickness): 8mm, liczba przekrojów: 8, czas repetycji: 8,2ms, czas echa: 3,69ms.

Badania rezonansu magnetycznego zostały ocenione niezależnie przez doktoranta oraz opisane przez specjalistę radiologa. Specjalista radiolog dokonał oceny obrazów rezonansu magnetycznego w sposób typowy, określając umiejscowienie i rozległość patologii krążka międzykręgowego. Potwierdzono wystąpienie patologii krążka międzykręgowego u 25 chorych (n=25), wykluczono tą patologię u 5 chorych (n=5).

Po przeprowadzeniu własnej oceny oraz po zapoznaniu się z oceną specjalisty radiologa, u 25 chorych z potwierdzeniem uszkodzenia krążka międzykręgowego, dokonałem wyboru krążka międzykręgowego, który w oparciu o badanie kliniczne i badanie rezonansu magnetycznego był w największym stopniu odpowiedzialny za objawy u chorego. Ten krążek oraz sąsiadujące z nim trzony kręgów poddałem analizie wedle załączonej karty oceny rezonansu magnetycznego.

W ramach oceny rezonansu magnetycznego opisałem i zmierzyłem parametry podane w tabeli 4.3.:

Tabela 4.3. Parametry ocenione w konwencjonalnym rezonansie magnetycznym kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego

Krążek międzykręgowy	• lokalizacja • wysokość krążka międzykręgowego • objętość krążka międzykręgowego • wielkość przepukliny jądra miazdzystego • położenie przepukliny jądra miazdzystego • stopień zwyrodnienia krążka według skali Pfirrmanna
Trzon kręgu poniżej i powyżej badanego krążka międzykręgowego	• wysokość trzonu kręgu • objętość trzonu kręgu • stopień zwyrodnienia trzonu kręgu według skali Modica

4.2.2. Sposób pomiaru wybranych parametrów konwencjonalnego badania rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego

1. Wysokość krążka międzykręgowego

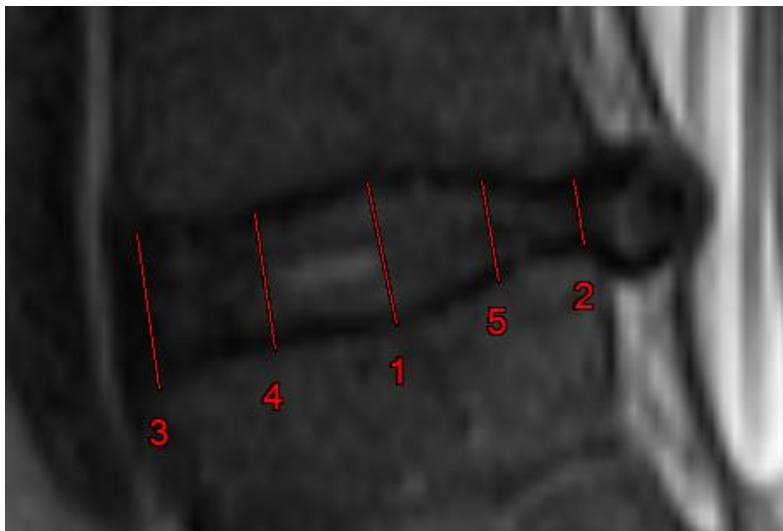
Metodę pomiaru wysokości krążka międzykręgowego opracowałem samodzielnie. W trakcie jej opracowania wsparłem się pracami i zmodyfikowałem sposoby pomiaru Tunset i wsp. (87), Hurxthal i wsp.(88), Dabbs i wsp.(89), Abdollah i wsp.(90) i van der Houwen i wsp.(91).

Pomiary wykonywałem na środkowym skanie przekroju strzałkowego w obrazach T2-zależnych (92).

Wykonałem pomiar wysokości krążka międzykręgowego w pięciu miejscach przekroju wedle schematu zamieszczonego poniżej (Ryc. 4.2.).

Pierwszy pomiar wykonywałem na środku krążka międzykręgowego, drugi na jego tylnym końcu przed początkiem przepukliny, trzeci na przednim końcu, czwarty pomiar w połowie odległości pomiędzy pomiarem pierwszym a trzecim, a piąty w połowie odległości pomiędzy pomiarem pierwszym a drugim.

Następnie wyliczyłem średnią arytmetyczną z pięciu pomiarów, którą przyjąłem za wysokość krążka międzykręgowego. Dodatkowo sprawdziłem, które miejsca pomiaru wysokości krążka cechowały się najniższymi wartościami.



Rycina 4.2. Sposób pomiaru wysokości krążka międzykręgowego w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (opis w tekście).

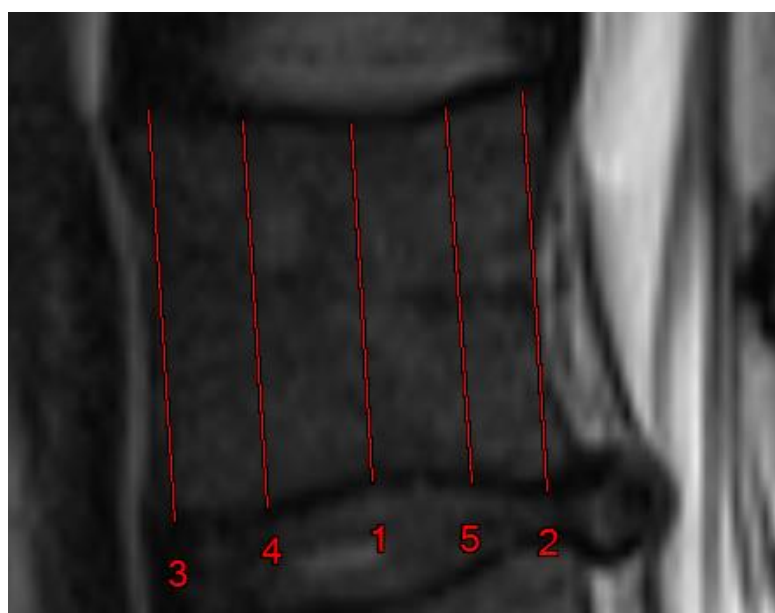
2. Wysokość trzonu kręgu znajdującego się powyżej badanego krążka międzykręgowego

Metodę pomiaru wysokości trzonu kręgu opracowałem samodzielnie. W trakcie jej opracowania wsparłem się pracami Gocmen-Mas i wsp.(93) i Zhou i wsp.(94).

Pomiary wykonywałem na środkowym skanie w przekroju strzałkowym w obrazach T2-zależnych. (92)

Wykonałem pomiar wysokości trzonu kręgu w pięciu miejscach przekroju wedle schematu zamieszczonego poniżej.

Pierwszy pomiar wykonywałem na środku trzonu kręgu, drugi na jego tylnym końcu, trzeci na przednim końcu. Czwarty pomiar w połowie odległości pomiędzy pomiarem pierwszym a trzecim, a piąty w połowie odległości pomiędzy pomiarem pierwszym a drugim. Następnie wyliczyłem średnią arytmetyczną z pięciu pomiarów, którą przyjąłem za wysokość trzonu kręgu.



Rycina 4.3. Sposób pomiaru wysokości trzonu kręgu w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (opis w tekście).

3. Wysokość trzonu kręgu znajdującego się poniżej badanego krążka międzykręgowego zmierzyłem wedle schematu opisanego w punkcie 2.

Jeżeli u danego pacjenta, trzonem kręgu znajdującym się poniżej badanego krążka międzykręgowego był kręgi S1, do pomiaru nie brałem całej wysokości kości krzyżowej lecz

jedynie trzon kręgu S1, który na obrazach rezonansu magnetycznego jest dobrze widoczny i oddzielony od trzonu kręgu S2.

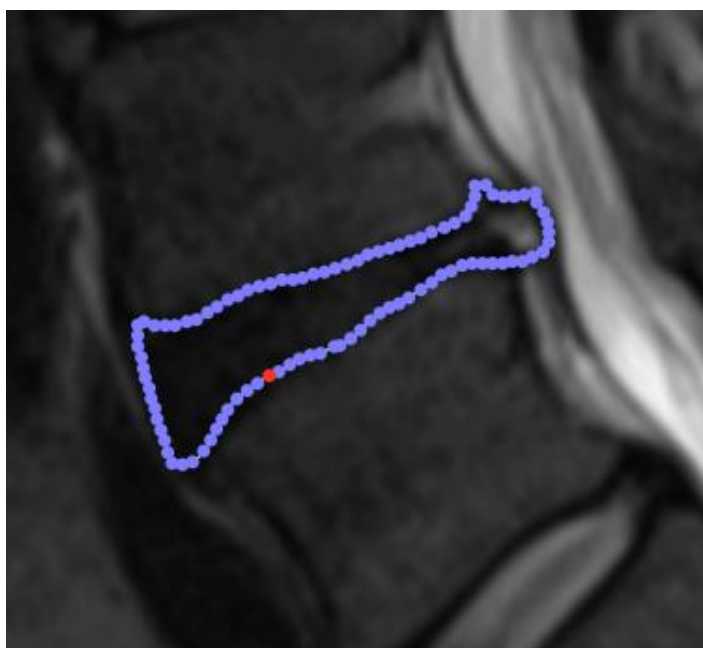
4. Objętość krążka międzykręgowego

Metodę pomiaru objętości krążka międzykręgowego opracowałem samodzielnie. W trakcie jej opracowania wsparłem się publikacją McGirta i wsp.(95).

Do tego celu użyłem narzędzia Volume przeglądarki plików DICOM Osirix. Używałem tego produktu w pracowni komputerowej z wykupioną licencją użytkowania.

Pomiary wykonywałem na wszystkich wykonanych skanach krążka w przekroju strzałkowym w obrazach T2-zależnych.

Zaznaczałem manualnie granice krążka międzykręgowego na każdym przekroju strzałkowym (Ryc.4.4.). Program Osirix następnie wyliczał objętość krążka na podstawie zaznaczonych pól powierzchni.



Rycina 4.4. Sposób pomiaru objętości krążka międzykręgowego w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Pokazano granice krążka międzykręgowego zaznaczone na jednym z przekrojów.

5. Objętość kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego

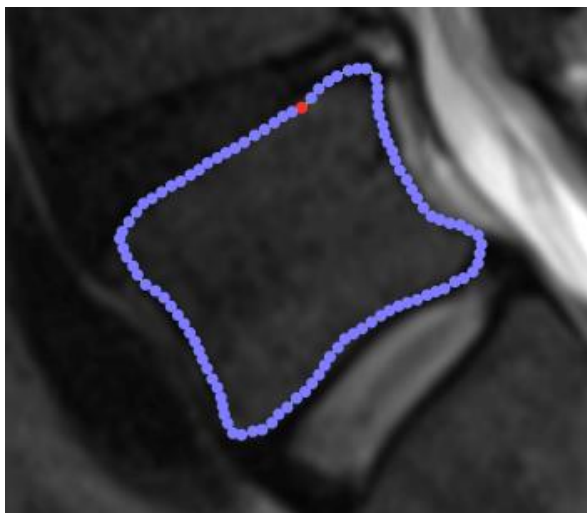
Metodę pomiaru objętości trzonu kręgu opracowałem samodzielnie. W trakcie jej opracowania wsparłem się publikacją McGirta i wsp.(95).

Do tego celu użyłem narzędzia Volume przeglądarki plików DICOM Osirix.

Pomiary wykonywałem na wszystkich wykonanych skanach trzonu w przekroju strzałkowym w obrazach T2-zależnych.

Zaznaczałem manualnie granice trzonu kręgu na każdym przekroju strzałkowym (Rycina 4.5.).

Program Osirix następnie wyliczał objętość trzonu na podstawie zaznaczonych pól powierzchni przekroju trzonu.



Rycina 4.5. Sposób pomiaru objętości trzonu kręgu w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Pokazano jeden z przekrojów z zaznaczoną manualnie granicą trzonu.

6. Objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego – pomiary wykonałem wedle opisu w punkcie 5.
7. Wielkość przepukliny jądra miazdżystego krążka międzykręgowego

Metodę pomiaru wielkości przepukliny krążka międzykręgowego opracowałem samodzielnie.

W trakcie jej opracowania wsparłem się publikacją Tunset i wsp. (87).

Zmierzyłem przepuklinę w obrazach T2-zależnych na przekroju strzałkowym.

Prostopadła linia poprowadzona od linii łączącej końce trzonów kręgów do tylnego końca przepukliny krążka międzykręgowego oznaczała wielkość przepukliny jądra miazdżystego (Ryc.4.6.).



Rycina 4.6. Sposób pomiaru wielkości przepukliny jądra miażdżystego krążka międzykręgowego w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.

8. Pozostałe oceniane parametry:

- a. położenie przepukliny wedle podziału na centralną, lewoboczną lub prawoboczną;
- b. stopień zwyrodnienia krążka międzykręgowego według skali Pfirrmanna;
- c. stopień zwyrodnienia trzonów kręgów sąsiadujących według skali Modica;

4.3. Trójwymiarowa rekonstrukcja krążka międzykręgowego w oparciu o konwencjonalne badanie rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (3D MR)

4.3.1. Sposób wykonania trójwymiarowej rekonstrukcji

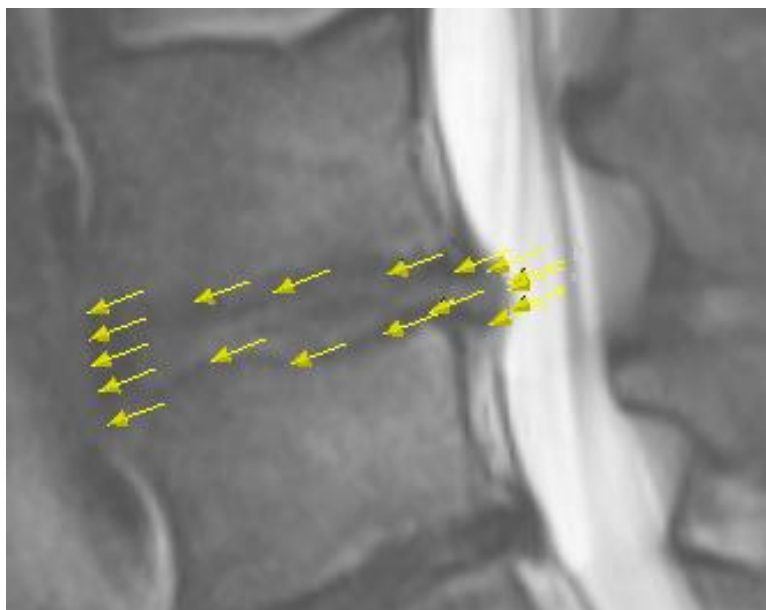
Na podstawie badań rezonansu magnetycznego wykonałem trójwymiarowe rekonstrukcje krążka międzykręgowego w oparciu o algorytm powstały w ramach realizacji projektu NCBiR Viridiamed PBS3/B9/34/2015 (96).

Byłem członkiem zespołu badawczego grantu, jako wykonawca brałem aktywny udział w opracowaniu metody izolacji obrazu i rekonstrukcji krążka międzykręgowego.

Pierwszym etapem algorytmu było wyizolowanie krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów z obrazu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.

Za pomocą przeglądarki DICOM na każdym z przekrojów strzałkowych w obrazach T2-zależnych danego badania rezonansu magnetycznego oznaczyłem szesnaście punktów kontrolnych dla krążka międzykręgowego według poniższego schematu. Po jednym punkcie przypadało na każdy z „rogów” krążka międzykręgowego sąsiadującego z przylegającym trzonem kręgu oraz po trzy punkty na każdą powierzchnię krążka (przednią, tylną, górną i dolną) (Rycina 4.7.)

Kolejność oznaczenia punktów była stała i powtarzana na każdym z przekrojów strzałkowych. Pierwsze cztery punkty oznaczyłem w „rogach” krążka międzykręgowego. Kolejne cztery punkty zaznaczyłem w połowie odległości odcinków łączących pierwsze cztery punkty. Następnie dodałem dwa punkty na każdej z powierzchni, wyznaczając połowy odcinków łączących poprzednie punkty kontrolne, w sumie szesnaście punktów kontrolnych na każdym przekroju strzałkowym krążka międzykręgowego.

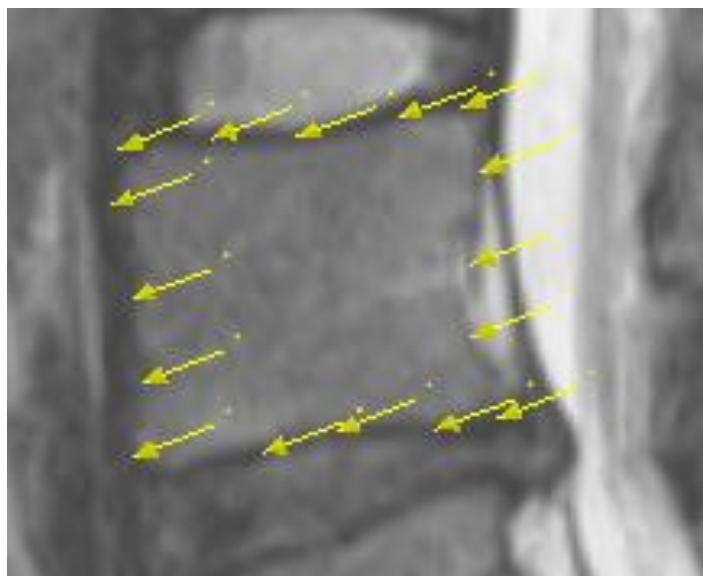


Rycina 4.7. Sposób oznaczenia szesnastu punktów kontrolnych krążka międzykręgowego na przekroju strzałkowym czasu T2 rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.

Podobny algorytm przyjąłem dla trzonu kręgu powyżej i poniżej badanego krążka międzykręgowego.

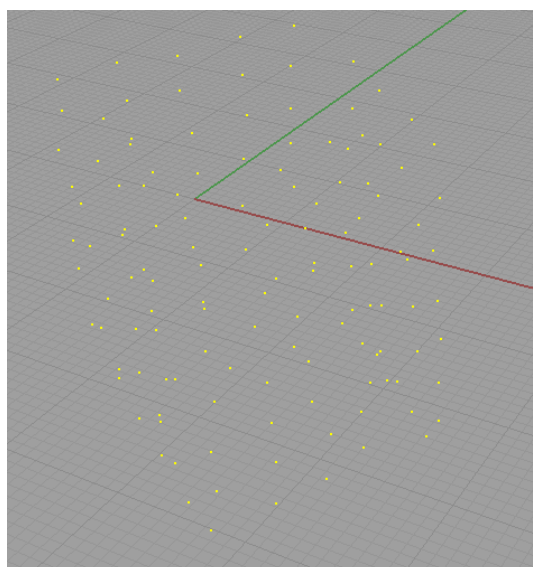
Za pomocą przeglądarki DICOM na każdym z przekrojów strzałkowych w obrazach T2-zależnych danego badania rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego oznaczyłem szesnaście punktów kontrolnych dla trzonu kręgu według poniższego schematu. Cztery punkty przypadły na każdy z „rogów” trzonu kręgu oraz po trzy punkty na każdą powierzchnię trzonu kręgu (przednią, tylną, górną i dolną) (Ryc. 4.8).

Kolejność oznaczenia punktów kontrolnych była stała i powtarzana na każdym z przekrojów strzałkowych. Pierwsze cztery punkty oznaczyłem w „rogach” trzonu kręgu. Kolejne cztery punkty wyznaczyłem w połowie długości odcinków łączących pierwsze cztery punkty. Następnie dodałem dwa punkty na każdej z powierzchni wyznaczając połowy odcinków łączących poprzednie punkty kontrolne, w sumie szesnaście punktów kontrolnych na każdym przekroju strzałkowym trzonu kręgu.



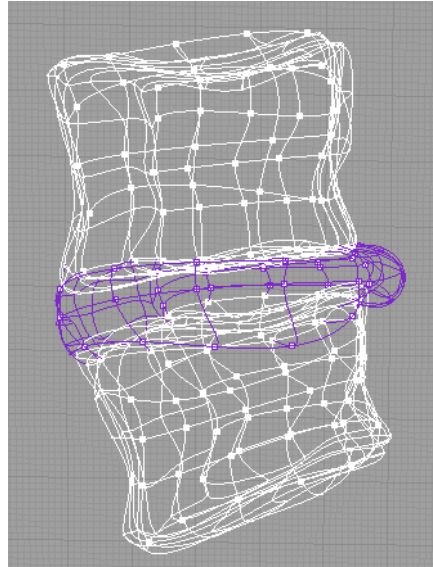
Rycina 4.8. Sposób oznaczenia szesnastu punktów kontrolnych trzonu kręgu na przekroju strzałkowym czasu T2 rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.

Położenie powyższych punktów kontrolnych zostało wyeksportowane do programu Rhinoceros (program komputerowy typu CAD/CAM/CAE służący do modelowania i tworzenia obiektów 3D) firmy Robert McNeel & Associates, na który posiadam licencję.



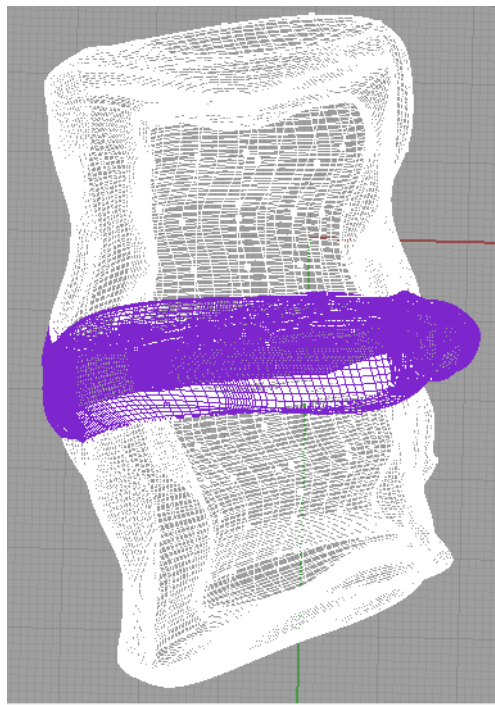
Rycina 4.9. Wyeksportowane punkty kontrolne zawierające strukturę krążka międzykręgowego i przylegających trzonów kręgów.

Poprzez połączenie punktów krzywymi dla każdej z powierzchni trzonów kręgów oraz krążka międzykręgowego otrzymane zostały siatki przestrzenne (Ryc. 4.10).



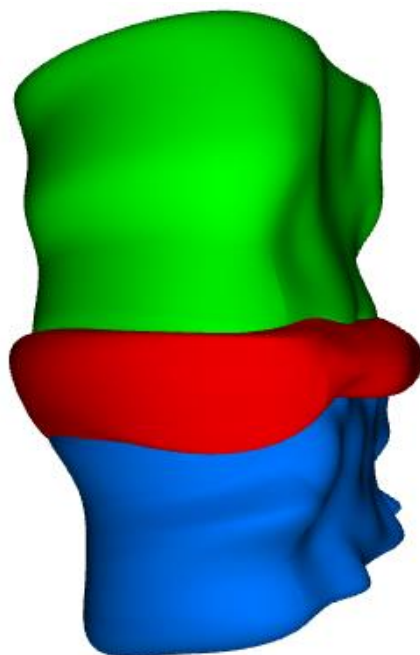
Rycina 4.10. Połączone krzywymi punkty kontrolne zawierające strukturę krążka międzykręgowego z sąsiadującymi z nim trzonami kręgów.

Obszar pomiędzy krzywymi został następnie automatycznie wypełniony poprzez dodanie powierzchni drogą interpolacji (Ryc. 4.11).



Rycina 4.11. Połączone krzywymi punkty kontrolne obrazują kształt krążka międzykręgowego z sąsiadującymi z nim trzonami kręgów.

Po wyznaczeniu powierzchni kręgów i krążka międzykręgowego rekonstrukcja 3D przybiera ostateczny kształt uwidoczniiony na rycinie 4.12.



Rycina 4.12. Końcowy model trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów.

Tak powstały model zostaje wyeksportowany do pliku PDF. Istnieje możliwość obracania, powiększania, mierzenia lub wykonania przekrojów w trzech płaszczyznach. Można także oglądać wszystkie powstałe trzy struktury naraz lub schować wybrane.

4.3.2. Sposób pomiaru wybranych parametrów trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego

Powstały model trójwymiarowy poddałem ocenie poprzez zmierzenie następujących parametrów (Tab. 4.4):

Tabela 4.4. Parametry oceniane w trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów

Krążek międzykręgowy	- wysokość krążka międzykręgowego - objętość krążka międzykręgowego - wielkość przepukliny jądra miażdżystego
Trzony kręgów	- wysokość trzonu kręgu - objętość trzonu kręgu

1. Wysokość krążka międzykręgowego.

Użyłem równania Laplace’a służącego do pomiaru odległości między nieregularnymi płaszczyznami. Równanie to zostało zaproponowane przez Jonesa i wsp. (97) i użyte przez Neuberta i wsp. (98). Podobnego sposobu pomiaru użyli Simson i wsp. (99).

2. Wysokość trzonów kręgów znajdującego się powyżej i poniżej badanego krążka międzykręgowego.

Ponownie użyłem równania Laplace’a.

3. Objętość krążka międzykręgowego.

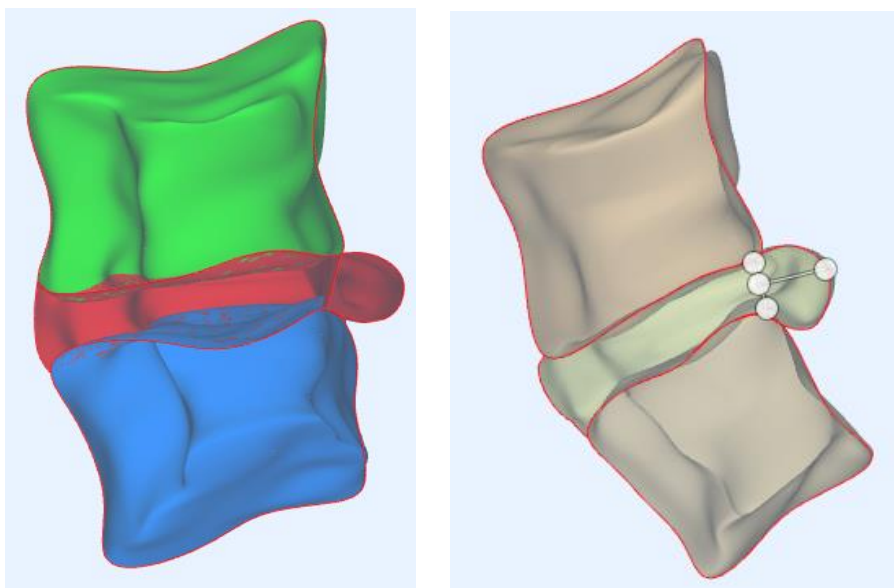
Wykorzystałem narzędzie do pomiaru objętości bryły nieregularnej dostępne w programie Rhinoceros i Blender.

4. Objętości kręgu powyżej i poniżej badanego krążka międzykręgowego.

Wykorzystałem schemat do pomiaru objętości krążka międzykręgowego jak wyżej.

5. Wielkość przepukliny jądra miażdżystego

Oceeniłem poprzez pomiar jej największego wymiaru strzałkowego na trójwymiarowej rekonstrukcji.



Rycina 4.13. Przekroje trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących trzonów kręgów (po lewej trójwymiarowa rekonstrukcja L4/L5, po prawej rekonstrukcja trójwymiarowa L5/S1).

4.4. Porównanie wyników pomiarów konwencjonalnego badania rezonansu magnetycznego (MR) i trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

Odpowiadające sobie parametry zostały porównane według zestawienia umieszczonego w tabeli 4.5.

Tabela 4.5. Parametry porównane pomiędzy konwencjonalnym badaniem rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego a trójwymiarową rekonstrukcją

Konwencjonalne badanie rezonansu magnetycznego (MR)	Trójwymiarowa rekonstrukcja krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów (3D MR)
1. Wysokość krążka międzykręgowego – średnia z pięciu pomiarów wysokości krążka międzykręgowego.	1. Wysokość krążka międzykręgowego – z równania Laplace’a
2. Wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego - średnia z pięciu pomiarów wysokości trzonu kręgu.	2. Wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego - z równania Laplace’a
3. Wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego - średnia z pięciu pomiarów wysokości trzonu kręgu.	3. Wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego - z równania Laplace’a
4. Objętość krążka międzykręgowego MR	4. Objętość krążka międzykręgowego 3D MR
5. Objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego MR	5. Objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego 3D MR
6. Objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego MR	6. Objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego 3D MR
7. Wielkość przepukliny jądra miazdzystego MR	7. Wielkość przepukliny jądra miazdzystego 3D MR

4.5. Metody analizy statystycznej

W celu analizy wyników otrzymanych w skali ilościowej wykorzystałem metody statystyki opisowej tj.: średnia arytmetyczna ($\bar{X}$), odchylenie standardowe (SD), minimum (Min), maksimum (Max).

W celu oceny normalności rozkładu zmiennych zastosowałem test Shapiro-Wilka. Przy braku rozkładu normalnego stosowałem testy nieparametryczne – test Wilcoxona, przy wykazaniu rozkładu normalnego zmiennych testy parametryczne – test t-Studenta.

Użyłem także współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC (Intraclass Correlation Coefficient).

Przyjąłem 5% błąd wnioskowania i związany z nim poziom istotności (α) wynoszący 0,05 ($\alpha=0,05$).

Na podstawie wyników analizy przyjąłem reguły prawdopodobieństwa testowego:

- $p < 0,05$ – istotność statystyczna
- $p < 0,01$ – silna istotność statystyczna
- $p < 0,001$ – bardzo silna istotność statystyczna

Analizę statystyczną wykonałem przy użyciu programu Statistica v.12.5 (StatSoft). Do zbierania danych oraz wspomagania analiz statystycznych zastosowałem program MS Excel 2013 (Microsoft).

5. Wyniki

5.1. Wyniki badania klinicznego

Pacjenci zgłaszali się na wizytę lekarską z powodu ostrego bólu kręgosłupa lędźwiowego. W 80% przypadków pacjenci podawali ból występujący od ok. 7-14 dni, nieustępujący lub nasilający się. W większości przypadków (90%) był to kolejny epizod bólowy kręgosłupa lędźwiowego. Początek kolejnego epizodu bólowego w prawie połowie przypadków (47%) był nagły, pacjenci upatrywali początek dolegliwości w zmianie pozycji – wyproście ze skłonu lub przy dźwignięciu ciężkiego przedmiotu. Natężenie dolegliwości bólowych wg skali VAS przedstawia poniżej tabela 5.1. – mediana 6, zakres 5÷8. Pozycje pogarszające dolegliwości bólowe przedstawione zostały w tabeli 5.2. – najczęściej (80%) był to skłon ku przodowi. Przeprost kręgosłupa lędźwiowego wyzwał dolegliwości u co piątego badanego. U przeważającej większości chorych (84%) kaszel nasilał dolegliwości bólowe kręgosłupa (Tabela 5.3.). Podczas badania przedmiotowego nie zaobserwowałem pozycji zmniejszających dolegliwości bólowe. Zależność bólu od pory dnia została przedstawiona w tabeli 5.4., u prawie trzech na czterech pacjentów dolegliwości występowały bez zależności od pory dnia, u prawie połowy w sposób znaczący zaburzały sen nocny - tabela 5.5. Charakter pracy pacjentów oraz ich aktywność fizyczną przedstawiłem w tabeli 5.6. i 5.7. – większość pacjentów to osoby „siedzące za biurkiem”, bez regularnej aktywności fizycznej.

Lokalizację dolegliwości bólowych przedstawiłem w tabeli 5.8. Najczęściej bolącymi miejscami były okolice w rzucie mięśni przykręgosłupowych oraz wyrostków kolczystych kręgów lędźwiowych. Dużo rzadziej miejsca ponad stawami krzyżowo-biodrowymi oraz okolice mięśnia gruszkowatego krzyżującego nerw kulszowy. Pacjenci nie prezentowali cech deformacji kręgosłupa, za wyjątkiem jednej pacjentki - skolioza lędźwiowa lewostronna 14 st. kąta Cobba (pomiar na rezonansie magnetycznym w pozycji leżącej). Najczęstszym miejscem promieniowania dolegliwości bólowych był zakres unerwienia dermatomu L5, na drugim miejscu dermatomu S1, tylko u jednej osoby zaobserwowałem dolegliwości w zakresie dermatomu L4 – tabela 5.9. Pacjenci mieli prawidłowy zakres ruchomości stawów biodrowych. Zakres ruchomości kręgosłupa lędźwiowego był obniżony. Siłę mięśniową – mięśnia czworogłowego uda, mięśnia piszczelowego przedniego i mięśni zginaczy podszwowych stopy, oceniłem w 92% przypadków na 5, jedynie u 2 osób stwierdziłem nieznacznie obniżoną siłę mięśniową – Lovett 4 – mięśnia piszczelowego przedniego i zginaczy podszwowych stopy. Nie stwierdziłem osłabienia ani wzmocnienia odruchów fizjologicznych ani pojawienia się odruchów patologicznych w badanej grupie osób. Obecność objawów korzeniowych przedstawiłem w tabeli 5.10., u trzech na czterech chorych występował dodatni test Lasegue’a. Test Mackiewicza był pozytywny u dwóch chorych.

Tabela 5.1. Natężenie dolegliwości bólowych w skali VAS

Nasilenie dolegliwości w skali VAS	Liczba n=25	Procent
5	7	28%
6	9	36%
7	7	28%
8	2	8%

Tabela 5.2. Pozycje pogarszające dolegliwości bólowe

Pozycje pogarszające objawy	Liczba n=25	Procent
Skłon tułowia w przód	20	80%
Przeprost kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego	5	20%

Tabela 5.3. Nasilenie bólu w trakcie kaszlu

Nasilenie bólu w trakcie kaszlu	Liczba n=25	Procent
Tak	21	84%
Nie	4	16%

Tabela 5.4. Zależność bólu od pory dnia

Zależność bólu od pory dnia	Liczba n=25	Procent
ból od rana, po nocy	5	20%
ból wieczorem, po całym dniu	2	8%
ból cały czas	18	72%

Tabela 5.5. Bóle nocne

Bóle nocne	Liczba n=25	Procent
tak	12	48%
nie	13	52%

Tabela 5.6. Charakter pracy

Charakter pracy	Liczba n=25	Procent
stojąca/chodząca	6	24%
siedząca	15	60%
ciężka fizyczna	4	16%

Tabela 5.7. Systematyczna aktywność fizyczna

Systematyczna aktywność fizyczna	Liczba n=25	Procent
tak	6	24%
nie	19	76%

Tabela 5.8. Lokalizacja dolegliwości bólowych

Lokalizacja dolegliwości bólowych	Liczba n=25	Procent
Wyrostki kolczyste kręgów lędźwiowych	10	40%
Mięśnie przykręgosłupowe	7	28%
Stawy krzyżowo-biodrowe	4	16%
Wyjście nerwu kulszowego spod m. gruszkowatego	4	16%

Tabela 5.9. Promieniowanie dolegliwości bólowych

Promieniowanie dolegliwości bólowych	Liczba n=25	Procent
Dermatom L4	1	4%
Dermatom L5	15	60%
Dermatom S1	9	36%

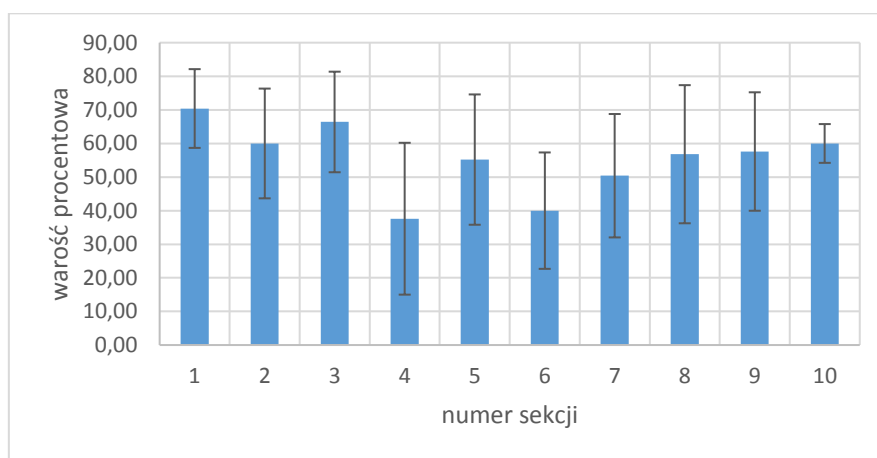
Tabela 5.10. Występowanie dodatnich testów korzeniowych

Testy korzeniowe	Liczba n=25	Procent
Lasegue'a	19	76%
Mackiewiczza	2	8%
Brak	4	16%

W tabeli 5.11. i na rycinie 5.1. przedstawiam wyniki zmodyfikowanego kwestionariusza Oswestry, wersji polskiej. Średnia wartość tego kwestionariusza wyniosła 55,4%. Najbardziej upośledzoną dziedziną życia było podnoszenie ciężkich przedmiotów oraz samodzielna pielęgnacja. Dalszymi sekcjami o zwiększonym nasileniu niesprawności było życie towarzyskie i podróżowanie, a następnie siedzenie i spanie.

Tabela 5.11. Średnia wartość niesprawności poszczególnych sekcji zmodyfikowanego kwestionariusza Oswestry, wersji polskiej (85) dla 25 pacjentów

Sekcja kwestionariusza Oswestry	Wskaźnik niesprawności (0-100%)	Zakres wartości
1. Intensywność bólu	70,4 ±11,7 %	40,0÷80,0 %
2. Pielęgnacja (mycie, ubieranie się itp.)	60,0 ±16,3 %	20,0÷80,0 %
3. Podnoszenie	66,4 ±15,0 %	40,0÷100 %
4. Chodzenie	37,6 ±22,6 %	0÷80,0 %
5. Siedzenie	55,2 ±19,3 %	0÷80,0 %
6. Stanie	40,0 ±17,3 %	20,0÷60,0 %
7. Spanie	50,4 ±18,4 %	20,0÷80,0 %
8. Życie towarzyskie	56,8 ±20,6 %	20,0÷80,0 %
9. Podróżowanie	57,6 ±17,6 %	20,0÷80,0 %
10. Zmiana natężenia bólu	60,0 ±5,8 %	40,0÷80,0 %
Wartość globalna	55,4 ±12,8 %	36,0÷76,0 %



Rycina 5.1. Porównanie średniej („słupki”) oraz odchylenia standardowego („wąsy”) wartości niesprawności poszczególnych sekcji kwestionariusza Oswestry – wersji zmodyfikowanej – polskiej (85) dla 25 pacjentów.

5.2. Wyniki pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego (MR) kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego

W tabelach 5.12-5.14 przedstawiłem wyniki pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.

Tabela 5.12. Wyniki pomiarów wysokości i objętości krążka międzykręgowego oraz wielkości przepukliny krążka międzykręgowego

Badanie (pacjent)	Lokalizacja	Pomiary cząstkowe wysokości krążka [mm]					Wysokość	Objętość	Wielkość
		pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5	krążka	krążka	przepukliny
							[mm]	[cm ³]	[mm]
1	L4/L5	9,39	6,98	10,47	9,08	7,76	8,74	8,42	9,80
2	L5/S1	7,95	6,16	10,49	8,62	6,14	7,87	13,68	6,25
3	L5/S1	5,31	5,83	8,26	6,04	7,19	6,53	8,74	6,79
4	L4/L5	7,67	5,81	13,27	8,84	5,94	8,31	12,13	6,00
5	L4/L5	9,77	5,60	13,73	9,97	9,02	9,62	14,67	5,42
6	L4/L5	14,25	6,80	13,96	13,03	10,52	11,71	26,89	7,18
7	L5/S1	10,95	8,82	11,41	10,60	9,72	10,30	15,31	6,25
8	L4/L5	12,10	8,78	12,46	10,53	8,92	10,56	12,42	6,31
9	L4/L5	9,87	6,57	11,68	9,43	7,40	8,99	11,00	8,26
10	L5/S1	10,19	7,69	11,47	8,62	9,11	9,42	14,83	7,29
11	L4/L5	11,98	6,46	10,25	8,82	8,33	9,17	13,24	7,54
12	L5/S1	7,36	6,06	10,16	9,36	6,12	7,81	20,99	12,17
13	L3/L4	11,20	6,51	8,59	8,00	9,73	8,81	19,82	5,08
14	L4/L5	10,10	5,90	10,95	8,33	6,84	8,42	11,31	7,89
15	L5/S1	11,40	8,25	12,40	11,30	9,26	10,52	16,58	8,36
16	L4/L5	8,00	8,60	8,63	7,64	8,40	8,25	12,28	5,06
17	L4/L5	10,73	10,96	10,67	8,65	10,81	10,36	16,77	11,89
18	L4/L5	8,51	8,75	13,63	13,9	9,94	10,95	15,52	7,13
19	L4/L5	14,85	9,61	12,32	10,72	11,53	11,81	15,14	11,65
20	L5/S1	6,35	3,94	5,41	5,34	4,91	5,19	10,04	14,90
21	L4/L5	9,37	6,56	9,59	9,09	10,82	9,09	13,00	6,78
22	L4/L5	10,28	6,33	10,84	10,08	9,54	9,41	9,72	4,48
23	L4/L5	7,78	6,83	10,38	7,86	7,75	8,12	9,98	6,79
24	L5/S1	10,01	6,59	14,55	12,13	9,49	10,55	12,20	9,17
25	L4/L5	15,62	10,17	12,45	12,46	12,81	12,70	18,19	7,52

Tabela 5.13. Wyniki pomiarów wysokości i objętości trzonu kręgu **powyżej** badanego krążka międzykręgowego

Badanie (pacjent)	Pomiary cząstkowe wysokości trzonu kręgu [mm]					Wysokość trzonu	objętość trzonu
	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5	[mm]	[cm ³]
1	26,25	26,43	28,82	27,53	25,15	26,84	25,19
2	24,86	25,43	30,63	29,78	25,05	27,15	29,47
3	27,17	25,44	29,77	27,89	25,96	27,25	25,76
4	26,67	25,01	26,58	27,25	25,34	26,17	30,95
5	24,55	25,77	27,82	26,32	23,08	25,51	32,77
6	24,11	31,47	28,10	24,61	26,21	26,90	55,58
7	20,56	21,12	26,77	24,11	21,44	22,80	27,45
8	25,25	27,04	28,14	28,28	24,74	26,69	32,14
9	25,54	26,83	28,53	26,49	25,54	26,59	23,92
10	25,86	24,72	27,92	26,76	24,21	25,89	29,02
11	24,63	26,91	29,40	28,57	25,72	27,05	30,59
12	28,56	27,78	31,25	31,60	25,58	28,95	45,99
13	28,15	34,60	32,10	29,95	30,49	31,06	46,08
14	28,41	31,27	32,57	31,18	28,94	30,47	30,75
15	25,53	26,16	30,61	30,83	26,22	27,87	41,11
16	27,20	26,96	29,08	28,36	28,06	27,93	30,52
17	25,95	30,85	30,58	27,97	24,82	28,03	33,34
18	25,28	27,45	26,82	25,06	25,69	26,06	26,89
19	22,37	27,30	29,22	25,36	23,49	25,55	27,42
20	23,77	21,32	28,89	27,67	22,26	24,78	29,03
21	28,98	30,95	31,00	29,15	27,99	29,61	39,32
22	25,06	30,16	28,66	27,58	25,23	27,34	31,93
23	29,16	29,86	32,86	31,51	27,87	30,25	36,95
24	26,82	25,38	29,81	29,79	24,13	27,19	38,47
25	28,39	33,30	30,77	29,81	28,21	30,10	45,72

Tabela 5.14. Wyniki pomiarów wybranych parametrów trzonu kręgu **poniżej** badanego krążka międzykręgowego

Badanie (pacjent)	Pomiary cząstkowe wysokości trzonu kręgu [mm]					Wysokość trzonu [mm]	objętość trzonu [cm ³]
	pomiar 1	pomiar 2	pomiar 3	pomiar 4	pomiar 5		
1	25,14	24,20	29,45	27,16	22,52	25,69	24,66
2	23,47	20,11	31,68	28,46	24,01	25,55	22,32
3	28,92	24,38	33,76	32,70	27,21	29,39	19,65
4	25,36	22,66	26,56	27,53	24,82	25,39	27,88
5	24,76	22,08	28,94	27,74	22,49	25,20	27,99
6	29,45	28,37	31,39	32,85	27,39	29,89	45,11
7	26,12	25,54	30,18	29,93	23,95	27,14	28,76
8	23,26	27,09	30,76	27,51	24,93	26,71	30,18
9	22,47	21,70	27,90	27,35	23,40	24,56	23,87
10	25,18	24,13	31,30	29,34	24,73	26,94	26,48
11	24,39	23,93	29,99	30,90	24,96	26,83	30,90
12	28,56	27,19	35,43	32,27	27,87	30,26	36,95
13	26,53	32,10	31,20	29,23	28,35	29,48	47,58
14	27,42	24,83	29,23	31,76	25,53	27,75	27,09
15	28,44	28,57	32,80	29,42	26,53	29,15	32,68
16	24,78	23,77	27,21	27,22	23,77	25,35	28,26
17	23,44	24,37	25,74	19,63	26,02	23,84	29,51
18	22,95	21,76	22,38	21,81	20,80	21,94	23,09
19	20,27	21,99	27,94	24,92	22,16	23,46	27,04
20	25,37	23,25	31,94	28,84	23,55	26,59	28,08
21	24,20	24,39	28,56	27,98	21,56	25,34	33,52
22	22,88	19,63	28,99	28,11	23,08	24,54	29,08
23	28,84	26,08	31,43	30,03	27,22	28,72	33,81
24	28,08	25,67	31,59	30,81	27,63	28,76	36,18
25	24,38	26,36	31,77	30,50	24,96	27,59	38,86

Poniżej w tabeli 5.15. przedstawiam zestawienie najniższych wartości pomiarów wysokości krążka międzykręgowego. Spośród badanej grupy krążków międzykręgowych w 64% przypadków najniższe pomiary wysokości krążka międzykręgowego dotyczyły pomiaru 2 i 5.

Tabela 5.15. Zestawienie miejsc pomiarów wysokości krążka międzykręgowego o najniższej wartości

Numery pomiarów	Liczba (n=25)	Procent
2,5	16	64%
2,4	4	16%
1,2	2	8%
1,4	1	4%
3,4	1	4%
2,3	1	4%

W tabelach 5.16-5.19 przedstawiłem pozostałe wyniki pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.

Tabela 5.16. Poziom lokalizacji krążków międzykręgowych

Poziom uszkodzonego krążka	Liczba (n=25)	Procent
L3/L4	1	4%
L4/L5	16	64%
L5/S1	8	32%

Tabela 5.17. Lokalizacja przepukliny krążka międzykręgowego

Lokalizacja przepukliny	Liczba (n=25)	Procent
centralna	23	92%
lewostronna	1	4%
prawostronna	1	4%

Tabela 5.18. Stopień zwyrodnienia badanych krążków międzykręgowych

Stopień zwyrodnienia krążka międzykręgowego w skali Pfirrmanna (51)	Liczba (n=25)	Procent
I	0	0
II	1	4%
III	14	56%
IV	9	36%
V	1	4%

Tabela 5.19. Stopień zwyrodnienia trzonów kręgów przylegających do badanych krążków międzykręgowych

Stopień zwyrodnienia trzonów kręgów wg skali Modica (52)	Liczba (n=50)	Procent
I	34	68%
II	14	28%
III	2	4%

Dokonałem także korelacji pary zmiennych – wyników testu Oswestry z wielkością przepukliny krążka międzykręgowego oraz natężenia bólu w skali VAS z wielkością przepukliny krążka międzykręgowego u badanych pacjentów. Nie znalazłem korelacji istotnej statystycznie. Wyniki tych korelacji przedstawiłem w tabeli 5.20. oraz 5.21.

Tabela 5.20. Wyniki korelacji pary zmiennych – wyników testu Oswestry z wielkością przepukliny krążka międzykręgowego

Para zmiennych	N ważnych	R-Spearman	t (n-2)	Istotność p
wielkość przepukliny krążka międzykręgowego i wynik testu Oswestry	25	0,25	1,27	0,22

Tabela 5.21. Wyniki korelacji pary zmiennych – natężenia bólu w skali VAS z wielkością przepukliny krążka międzykręgowego

Para zmiennych	N ważnych	R-Spearman	t (n-2)	Istotność p
wielkość przepukliny krążka międzykręgowego i natężenie bólu w skali VAS	25	0,27	1,33	0,20

5.3. Wyniki pomiarów parametrów trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów (3D MR)

Na podstawie wykonanych badań rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego wykonałem 25 trójwymiarowych rekonstrukcji krążka międzykręgowego wraz z sąsiadującymi z nimi trzonami kręgów. Poniżej w tabeli 5.20 zebrałem wyniki pomiarów wykonanych na rekonstrukcjach 3D.

Tabela 5.22. Wyniki pomiarów wybranych parametrów trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego, trzonów kręgów powyżej i poniżej badanego krążka międzykręgowego

Badanie	Krążek międzykręgowy				Trzon kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego			Trzon kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego		
	największa 3D wysokość [mm]	średnia 3D wysokość [mm]	objętość 3D [cm ³]	wielkość przepukliny [mm]	największa 3D wysokość [mm]	średnia 3D wysokość [mm]	objętość 3D [cm ³]	największa 3D wysokość [mm]	średnia 3D wysokość [mm]	objętość 3D [cm ³]
1	9,32	8,85	8,93	10,1	26,41	26,12	26,31	26,21	25,11	25,72
2	9,20	8,01	11,68	6,39	26,12	26,55	29,13	24,55	25,11	23,12
3	5,20	6,71	9,43	6,71	26,87	26,44	25,25	28,112	28,51	19,23
4	8,80	8,21	11,82	5,89	27,13	26,88	32,45	28,12	26,11	29,42
5	9,90	9,35	16,49	5,47	24,12	24,88	33,98	25,55	24,61	29,67
6	15,28	11,34	23,37	7,4	23,92	25,87	56,79	24,11	28,94	46,54
7	10,50	9,78	15,29	6,14	19,86	22,12	26,77	25,448	26,52	28,31
8	12,10	10,21	12,49	6,2	27,81	25,89	33,73	23,31	26,13	31,48
9	9,80	9,34	11,11	8,06	26,1	26,11	24,12	23,83	23,77	24,12
10	9,86	9,89	15,15	7,32	24,11	25,11	25,33	25,87	26,23	26,11
11	13,69	9,55	13,25	7,53	21,66	26,63	30,11	23,11	26,24	29,51
12	12,00	8,21	20,16	4,71	28,11	28,23	45,22	28,55	29,84	35,77
13	12,78	9,12	19,40	5,15	29,44	30,39	45,78	28,43	28,87	47,11
14	10,61	8,11	11,72	7,59	27,75	29,77	30,64	25,19	27,13	28,12
15	11,95	11,13	17,32	8,34	27,34	27,11	40,88	28,11	28,65	32,22
16	7,38	8,56	12,67	4,92	25,11	27,12	30,49	24,11	24,98	28,66
17	11,22	10,88	16,67	12,09	24,44	28,67	32,90	23,11	24,11	29,49
18	8,58	11,40	15,43	7,08	26,55	26,12	28,56	25,33	22,09	25,13
19	12,75	12,33	14,98	12,39	21,23	25,89	28,34	22,67	23,73	28,88
20	6,09	5,55	9,74	14,9	24,12	24,33	28,75	26,33	26,89	28,79
21	9,23	9,40	13,00	6,78	27,34	29,95	38,68	24,54	25,11	32,36
22	9,12	9,67	10,12	4,61	22,38	27,89	30,45	22,31	24,77	28,87
23	8,33	8,43	10,12	6,75	32,12	30,63	38,13	29,78	29,11	34,12
24	10,55	10,33	11,99	9,25	26,77	27,02	38,22	28,31	28,66	36,05
25	12,12	12,55	18,03	7,67	26,74	30,02	46,13	26,71	27,44	39,55

5.4. Porównanie pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (MR) i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów (3D MR)

W tabeli 5.23 przedstawiłem wyniki porównania pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego odcinka lędźwiowo-krzyżowego i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów

Tabela 5.23. Porównanie wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego odcinka lędźwiowo-krzyżowego i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów

Parametr	Rezonans magnetyczny konwencjonalny MR	Trójwymiarowa rekonstrukcja 3D MR	Test statystyczny	Istotność p
Wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego [mm]	27,36 ± 1,93 (22,80÷31,06)	27,02 ± 2,05 (22,12÷30,63)	t = 3,18 test t-Studenta	< 0,01
Wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego [mm]	26,64 ± 2,19 (21,94÷30,26)	26,34 ± 2,03 (22,09÷29,84)	t= 3,29 test t-Studenta	< 0,01
Wysokość krążka międzykręgowego [mm]	9,33 ± 1,67 (5,19÷12,70)	9,48 ± 1,63 (5,55÷12,55)	t = 2,21 test t -Studenta	< 0,05
Objętość krążka międzykręgowego [cm ³]	14,11 ± 4,21 (8,42÷26,89)	14,02 ± 3,71 (8,93÷23,37)	z=0,19 test Wilcoxona	> 0,05
Objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego [cm ³]	33,86 ± 7,92 (23,92÷55,58)	33,89 ± 8,07 (24,12÷56,79)	z=0,27 test Wilcoxona	> 0,05
Objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego [cm ³]	30,38 ± 6,65 (19,65÷47,58)	30,73 ± 6,49 (19,22÷47,11)	z=1,62 test Wilcoxona	> 0,05
Wielkość przepukliny jądra miazdżystego [mm]	7,84 ± 2,53 (4,48÷14,90)	7,57 ± 2,52 (4,61÷14,90)	z=0,28 test Wilcoxona	> 0,05

W tabeli 5.24. przedstawiam wyniki korelacji pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego odcinka lędźwiowo-krzyżowego i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów

Korelacja została dokonana poprzez test Spearmana (n=25)

Tabela 5.24. Wyniki korelacji pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego odcinka lędźwiowo-krzyżowego i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów

Para zmiennych	R-Spearman	t (n-2)	Istotność p
Wysokość krążka międzykręgowego w MR i wysokość krążka międzykręgowego w 3D MR	0,97	21,98	<0,001
Wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego w MR i wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego w 3D MR	0,94	14,07	<0,001
Wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego w MR i wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego w 3D MR	0,96	18,26	<0,001
Objętość krążka międzykręgowego w MR i objętość krążka międzykręgowego w 3D MR	0,96	18,91	<0,001
Objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego w MR i objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego w 3D MR	0,97	21,80	<0,001
Objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego w MR i objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego w 3D MR	0,96	18,16	<0,001
Wielkość przepukliny jądra miazdzystego krążka międzykręgowego w MR i wielkość przepukliny jądra miazdzystego krążka międzykręgowego w 3D MR	0,81	7,11	<0,001

Wyniki obliczeń współczynnika korelacji wewnątrzklasowej ICC (Interclass Correlation Coefficient) dla poszczególnych parametrów przedstawiono w tabelach od 5.25 do 5.31.

Tabela 5.25. Wartość ICC dla pary zmiennych - wysokość krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,98	0,94 - 0,99	<0,001
Średnia pomiarów	0,99	0,97 - 0,99	<0,001

Tabela 5.26. Wartość ICC dla pary zmiennych - wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,95	0,85 - 0,98	<0,001
Średnia pomiarów	0,97	0,92 - 0,99	<0,001

Tabela 5.27. Wartość ICC dla pary zmiennych - wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,97	0,89 - 0,99	<0,001
Średnia pomiarów	0,98	0,94 - 0,99	<0,001

Tabela 5.28. Wartość ICC dla pary zmiennych - objętość krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,97	0,93 - 0,99	<0,001
Średnia pomiarów	0,98	0,97 - 0,99	<0,001

Tabela 5.29. Wartość ICC dla pary zmiennych - objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,99	0,98 - 0,99	<0,001
Średnia pomiarów	0,99	0,98 - 0,99	<0,001

Tabela 5.30. Wartość ICC dla pary zmiennych - objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,98	0,97 - 0,99	<0,001
Średnia pomiarów	0,99	0,98 - 0,99	<0,001

Tabela 5.31. Wartość ICC dla pary zmiennych – wielkość przepukliny krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wielkość przepukliny krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)

	Intraclass correlation coefficient	Zakres pewności	p
Jeden pomiar	0,82	0,64 - 0,92	<0,001
Średnia pomiarów	0,90	0,78 - 0,96	<0,001

6. Dyskusja

Badanie kliniczne

Objawy klinicznie najczęściej zostały zlokalizowane w zakresie unerwienia korzeni L5 i S1. Nie zaobserwowałem objawów neurologicznych patologicznych, zniesienia odruchów fizjologicznych lub znaczącego osłabienia siły mięśniowej. Podczas przygotowania karty badania pacjenta z bólem kręgosłupa lędźwiowego starałem się skupić na kluczowych kwestiach wymagających oceny lekarskiej, stosować pytania o możliwie jak najbardziej zamkniętej formie odpowiedzi. Praktyczne sprawdzenie karty pokazało jednak, że niektóre pytania teoretycznie istotne, tracą przydatność lub są niemożliwe do rzetelnego ustalenia. Proste pytania jak czas trwania epizodu bólowego, potrafiły przynieść wiele podobnych odpowiedzi, a pytanie o ewentualny wcześniejszy wywiad w kierunku bólu pleców nasuwało wiele wątpliwości u pacjentów – „czy już kiedyś tak mocno bolało czy nie”. Niesprawdzalnym okazał się punkt o „pozycjach zmniejszających dolegliwości bólowe”, z uwagi na dość ograniczony czas wizyty lekarskiej, podczas której nie udało się wywołać ulgi od dolegliwości poprzez osiągnięcie danej pozycji. W punktach „lokalizacje bolesności”, czy „pozycje wywołujące nasilenie dolegliwości” znacznie zmniejszył się wachlarz udzielanych odpowiedzi, co pokazały tabele w rozdziale wyniki. Niektóre odpowiedzi nie były wybierane przez chorych, jak sposób poruszania się, uznany powszechnie za prawidłowy przez badanych pacjentów. W mojej ocenie istotnym i ciekawym punktem karty badania, oceniającym szerszą grupę badaną, była zmodyfikowana wersja kwestionariusza Oswestry w polskiej wersji językowej (100). Dzięki niej mogłem dowiedzieć się więcej o stopniu upośledzenia funkcjonowania chorych w ich codziennych czynnościach.

Badanie rezonansu magnetycznego

Przystępując do przygotowania arkusza oceny rezonansu magnetycznego zastanawiałem się, jakie parametry są najistotniejsze z punktu widzenia lekarza klinicysty w ocenie morfologii krążka międzykręgowego. Po analizie literatury przedmiotu doszedłem do wniosku, iż parametrem mającym istotną implikacją kliniczną (jej przydatnością staram się kierować w zawodowym życiu) jest wysokość krążka międzykręgowego. Parametr wysokości krążka międzykręgowego jest składową skali Pfirrmanna, będącej powszechną skalą opisywania zwyrodnień krążka międzykręgowego (51). Podczas przebiegu choroby zwyrodnieniowej krążka międzykręgowego, właśnie kwestia wysokości krążka jest najbardziej kluczowa, ponieważ wraz z nasileniem choroby zwyrodnieniowej ulega on stopniowemu obniżaniu, z powodu spadku uwodnienia. Parametr ten jest składową standardowego opisu rezonansu magnetycznego, będącą najczęściej analizą opisową – „obniżenie wysokości krążka międzykręgowego”. W trakcie poszukiwania metod pomiaru wysokości, znalazłem kilka o raczej starszej dacie metod (87–90), jednakże żadna nie miała cech „złotego standardu” stosowanego

w opisie rezonansu magnetycznego, dlatego pozwoliłem sobie na zaproponowanie własnej metody, opartej na bazie dostępnych, opisanych w literaturze. Proponując metodę pięciu pomiarów na konwencjonalnym rezonansie magnetycznym kierowałem się przede wszystkim dużą nieregularnością formy przestrzennej jaką jest krążek międzykręgowy. Na przekroju strzałkowym MR krążek międzykręgowy w środku swojej „długości” wydaje się być dużo wyższy niż na swoim przednim czy tylnym końcu. Stąd różnice pomiaru w pierwszym, drugim bądź trzecim miejscu wydają się być istotne. Aby udoskonalić pomiar zaproponowałem dodatkowo pomiary czwarty i piąty, wedle opisanej metodyki. W trakcie przygotowywania dyskusji i ponownego przeglądu literatury natrafiłem na pracę stosującą bardzo podobny sposób pomiaru wysokości krążka międzykręgowego (101). Inni autorzy natomiast proponują wyliczenie wskaźnika wysokości krążka międzykręgowego – disc height ratio (DHR) w odniesieniu do szerokości krążka międzykręgowego (102).

Interesującym wynikiem może być fakt, że w prawie 2/3 przypadków (64%) badanych krążków międzykręgowych dwoma najniższymi pomiarami wysokości krążka okazały się być pomiary nr 2 i 5 według ryc. 4.2., a więc jego tylnej części. Zwykło się myśleć o wnętrzu krążka międzykręgowego – jądrze miażdżystym jako strukturze półpłynnej, a więc uszkodzenia pierścienia włóknistego powinny dawać równomierne obniżenie całego krążka. Moje pomiary pokazały, że w pierwszej kolejności ulegała obniżeniu tylna część uszkodzanego krążka. Można by w związku z tym przypuszczać, iż wczesnym objawem wytwarzającej się przepukliny krążka międzykręgowego jest obniżenie wysokości tylnej części krążka międzykręgowego.

Następnym parametrem krążka międzykręgowego, który zdecydowałem się opisać, jest jego objętość. Parametr ten, w moim przekonaniu jest drugim, po wysokości, wymiarem opisującym kondycję krążka międzykręgowego, stopień jego uwodnienia. Mierzyłem go w sposób opisywany w literaturze (87,95,99,101). Krążki uznane za zdrowe w klasyfikacji Pfirrmanna (51) – czyli I i II, są strukturami dobrze uwodnionymi, sprężystymi, a więc o dużej objętości. Wraz ze spadkiem uwodnienia krążka spada jego sprężystość, a w dalszej kolejności objętość, krążek staje się niehomogeny, zwłókniały, źle odpowiadający na obciążenia mechaniczne.

Nie zdecydowałem się natomiast mierzyć długości krążka międzykręgowego, ani jego szerokości. Długość, jako wymiar przednio-tylny w płaszczyźnie strzałkowej, jest istotna klinicznie gdy dochodzi do poszerzenie obrysu krążka od strony tylnej – wypukliny czy przepukliny, mogącej dawać objawy kliniczne - ucisk na worek oponowy czy korzenie nerwów rdzeniowych. W rezultacie więc w wymiarze strzałkowym istotna klinicznie jest wielkość przepukliny. Pomiar ten został wykonany.

Powiększenie obrysu krążka międzykręgowego od strony przedniej jest bardzo rzadko występującym zjawiskiem i nie dającym istotnie klinicznych implikacji.

Szerokość krążka międzykręgowego, mierzona w płaszczyźnie czołowej, również nie wydaje się być istotna klinicznie – poszerzenie obrysu krążka międzykręgowego powyżej granic bocznych kręgu od strony prawej czy lewej nie daje implikacji klinicznych.

Zdecydowałem się dokonać pomiarów wysokości trzonów kręgów przylegających do badanego – patologicznie zmienionego krążka międzykręgowego. Oparłem się na dostępnej literaturze przedmiotu w wyborze sposobu pomiaru (93,94). Parametr wysokości kręgu rzadko ulega zmianie, najczęstszym powodem zmiany jest złamanie kompresyjne, u starszych pacjentów na tle osteoporotycznym, u młodszych pacjentów na tle urazowym. Tacy pacjenci zostali wykluczeni z grupy badanej na podstawie kryteriów wykluczających z badania. Choroba zwyrodnieniowa krążka międzykręgowego dotyka również sąsiadujące z nim trzony kręgów, o czym informuje klasyfikacja Modica (52). W mojej ocenie byłoby nierzetelne pozostawiać te struktury bez oceny jakościowej (stopień zwyrodnienia wg skali Modica). Wysokość trzonów kręgów włączyłem do pomiarów celem dodania parametru odniesienia w sprawdzeniu kreowanej trójwymiarowej rekonstrukcji. Chciałem także, aby trójwymiarowa rekonstrukcja miała bardziej kliniczny charakter jako segment ruchowy kręgosłupa, a obraz był bardziej czytelny. Z tych samych powodów dokonałem również pomiarów objętości trzonów kręgosłupa lędźwiowego.

Wymaga wspomnienia fakt, iż w mojej pracy nie uwzględniłem nasad i łuków kręgów oraz stawów międzywyrostkowych. Niestety upraszcza to przedstawiany przeze mnie segment ruchowy kręgosłupa. Podyktowane było to ograniczeniami technicznymi z uwagi na fakt znacznie trudniejszej realizacji trójwymiarowej rekonstrukcji zawierającej elementy tylnej kolumny kręgosłupa. Jest to ograniczenie mojej pracy.

Przepuklinę krążka międzykręgowego zdecydowałem się mierzyć z dwóch powodów. Pierwszy jest oczywisty, jako pomiar występującej patologii, mogącej mieć największe kliniczne znaczenie. Drugim jest próba porównania tego wyniku z wynikiem trójwymiarowej rekonstrukcji. W trakcie tworzenia sposobu pomiaru wsparłem się pracą Tunset i wsp. (87), po wcześniejszej analizie poprzednio stosowanych metod (103,104).

Trójwymiarowa rekonstrukcja

Trójwymiarową rekonstrukcję krążka międzykręgowego oparłem na algorytmie opracowanym w ramach realizacji grantu Viridiamed - finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – nr grantu PBS3/B9/34/2015 (96). W projekcie oprócz lekarzy uczestniczyli także inżynierowie z Politechniki Poznańskiej, co pozwoliło spojrzeć na problem obrazowania komputerowego z informatycznej strony. Owocem tej współpracy był sposób manualnej, a następnie półautomatycznej izolacji obrazu krążka międzykręgowego oraz jego późniejszej segmentacji. W okresie tworzenia

algorytmu (2015r.) temat trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego był rzadko podejmowany przez badaczy. Tworzone były schematy izolacji i segmentacji, które później przekształcono w coraz bardziej automatyczne procesy.

W trakcie przygotowania algorytmu, dokonaliśmy przeglądu stanu wiedzy. Zapoznaliśmy się z doświadczeniami poprzedników w tworzeniu procedury izolacji bazującej na: modelach graficznych (105), modelach probabilistycznych (106,107), algorytmach watershed (108), rejestracji atlas (109,110), graph cuts (111–113), normalized cuts (114), modelach statystycznych (115), strumienia zorientowanego anizotropowo (116) i randomowej regresji (117–119).

Zaproponowany przez zespół projektu Viridiamed system oparty jest na uczeniu maszynowym (120,121). Metody oparte na uczeniu maszynowym cieszą się coraz większym zainteresowaniem społeczności zajmującej się analizą obrazów medycznych. Większość z tych metod opiera się na zespołowych zasadach uczenia się. Rozwiązanie to stało się popularnym rozwiązaniem na świecie, proponowanym przez Glocker i wsp (122), Zheng i wsp (123,124), Urschler i wsp (125). Glocker i wsp. (117,126) zastosowali technikę umiejscowienia i identyfikacji kręgów w skanach tomografii komputerowej. Automatyzację tego procesu w MR przedstawili Chen i wsp. Rozwiązanie to oparte jest na formule regresji (2015a), Wang i wsp. (2015), w celu rozwiązania problemu lokalizacji i segmentacji krążka międzykręgowego na podstawie danych MR T2. Umiejętności zdobyte dzięki uczeniu maszynowym pozwoliły na dalszą automatyzację procesu. Droga do optymalnej metody automatycznej izolacji i segmentacji obrazu MR jest wielotorowa i nie ustalono jeszcze „złotego standardu”.

Analizując porównanie pomiarów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego i trójwymiarowej rekonstrukcji można stwierdzić, iż trójwymiarowa rekonstrukcja wykonana przez mnie w ramach metodyki opracowanej w ramach projektu Viridiamed wiernie odzwierciedla swój pierwowzór – badanie rezonansu magnetycznego. Należałoby wspomnieć, że chociaż w zakresie niektórych parametrów pojawiły się różnice istotne statystycznie, jednak w obliczu małych wartości liczbowych, należy je uznać za nieistotne klinicznie.

Ocena zastosowania metody 3D MR

W moim badaniu mocną stroną jest jakość danych, jaka została wniesiona do cyfrowej obróbki. Dzięki zastosowaniu trzy-teslowego rezonansu magnetycznego rozdzielczość obrazów, głębia szarości i poziom przedstawianych szczegółów był bardzo wysoki, dzięki czemu trójwymiarowy model wiernie odtwarza obraz rezonansu magnetycznego. Jakość obrazów wnoszonych danych jest istotnym elementem powodzenia automatycznych algorytmów izolacji krążka.

Minusem zastosowanej metody jest zbyt duża ilość manualnej pracy potrzebnej do izolacji i segmentacji krążka. Niestety wytworzony w projekcie Viridiamed algorytm odbiega jeszcze technologicznie od potrzeb klinicznych i wymaga większego zautomatyzowania. Wykonanie modelu trójwymiarowego jednego krążka międzykręgowego i przylegających do niego trzonów kręgów zajmowało mi około 3 godziny pracy przy komputerze. Obecnie opisywane są techniki o większej automatyzacji i możliwościach czasowych (127).

Plusem opracowanej w projekcie Viridiamed metody jest to, że model 3D zostaje wyeksportowany do formatu PDF. Format ten jest uniwersalny, powszechnie używany i możliwy do otworzenia na komputerze lub urządzeniu mobilnym bez specjalnego oprogramowania. Zajmuje niewielką ilość pamięci dyskowej (kilka MB) co sprawia, że może być bez przeszkód wysyłany za pomocą poczty elektronicznej. Jest łatwy w użyciu, czytelny, można go obracać, powiększać, wykonywać przekroje we wszystkich trzech płaszczyznach i robić pomiary wedle indywidualnych preferencji.

Projektując stosunkowo nową ideę, jaką jest obraz trójwymiarowy uzyskiwany z rezonansu magnetycznego należy pomyśleć nad jego użytecznością. Badanie rezonansu magnetycznego jest obecnie powszechnie używanym badaniem diagnostycznym. Pomimo jego rosnącej dostępności pozostaje wciąż badaniem drogim. Z punktu widzenia klinicysty – lekarza ortopedy zlecam je głównie w następujących sytuacjach: brak poprawy po leczeniu zachowawczym – opartym na klinicznie postawionej diagnozie oraz przy przygotowaniu do leczenia operacyjnego. Często drugi powód wynika z pierwszego. Bazując na doświadczeniach własnych, mogę przypuszczać, iż model trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego oraz przyległych trzonów kręgów może mieć zastosowanie w planowaniu leczenia operacyjnego, głównie zabiegów dotyczących krążka międzykręgowego. Powszechnym stało się planowanie przedoperacyjne oparte na trójwymiarowych rekonstrukcjach uzyskiwanych w oparciu o tomografię komputerową, stosowane w skomplikowanych złamaniach, endoprotezoplastykach rewizyjnych czy zaawansowanych deformacjach/wadach kręgosłupa. Takie planowanie pozwala lepiej zobrazować operatorowi zakres wykonywanej operacji, opracować dojście operacyjne i sposób jej wykonania.

Należałoby także pomyśleć o drugiej stronie, czyli o pacjencie i taka rekonstrukcja krążka międzykręgowego z obrazem przepukliny jądra miazdżystego wraz z przylegającymi do niego trzonami kręgów, z pewnością lepiej pozwoli pojąć mu istotę choroby i przyczynę dolegliwości bólowych. Dla lekarzy obeznanych z anatomią nie jest problemem zrozumienie istoty konfliktu przepukliny jądra miazdżystego ze strukturami nerwowymi i kanałem kręgowym. Dla pacjenta natomiast, pokazanie anatomii w trójwymiarze ułatwi zrozumienie patologii i omówienie leczenia.

Myślę, że trójwymiarowe rekonstrukcje oparte na rezonansie magnetycznym obrazujące tkanki miękkie, czyli np. krążek międzykręgowy, będą stanowić przyszłość obrazowania medycznego.

7. Wnioski

1. U chorych z nagłym silnym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego, z objawami klinicznymi sugerującymi etiologię w obrębie krążka międzykręgowego, stwierdza się zmiany w standardowym badaniu rezonansu magnetycznego polegające na obecności przepukliny/wypukliny krążka międzykręgowego i obniżeniu wysokości krążka międzykręgowego - przy czym obniżenie wysokości krążka ma miejsce w większym stopniu w części tylnej.
2. Trójwymiarowa rekonstrukcja krążka międzykręgowego jest możliwa do wykonania na bazie standardowego obrazu rezonansu magnetycznego.
3. Trójwymiarowa rekonstrukcja rezonansu magnetycznego jest rzetelnym odwzorowaniem krążka międzykręgowego i trzonów kręgów, a pomiary wykonane z jej użyciem cechują się dobrą zgodnością z obrazami konwencjonalnego rezonansu magnetycznego.

8. Bibliografia

1. Andersson GB. Epidemiological features of chronic low-back pain. *The Lancet*. 1999;354:581–5.
2. Deyo RA, Cherkin D, Conrad D, Volinn E. Cost, Controversy, Crisis: Low Back Pain and the Health of the Public. *Annu Rev Public Health*. 1991;12:141–56.
3. Hart LG, Deyo RA, Cherkin DC. Physician office visits for low back pain. Frequency, clinical evaluation, and treatment patterns from a U.S. national survey. *Spine*. 1995;20:11–9.
4. Koes BW, van Tulder MW, Thomas S. Diagnosis and treatment of low back pain. *BMJ*. 2006;332:1430–4.
5. Radło P, Smetkowski A, Tesiorowski M. [Polish nomenclature of lumbar disc disease]. *Przegl Lek*. 2014;71:394–9.
6. Cherkin DC, Deyo RA, Loeser JD, Bush T, Waddell G. An International Comparison of Back Surgery Rates: *Spine*. 1994;19:1201–6.
7. Becker A, Held H, Redaelli M, Strauch K, Chenot JF, Leonhardt C, i in. Low back pain in primary care: costs of care and prediction of future health care utilization. *Spine*. 2010;35:1714–20.
8. Maher C, Underwood M, Buchbinder R. Non-specific low back pain. *The Lancet*. 2017;389:736–47.
9. Hoy D, March L, Brooks P, Blyth F, Woolf A, Bain C, i in. The global burden of low back pain: estimates from the Global Burden of Disease 2010 study. *Ann Rheum Dis*. 2014;73:968–74.
10. Gandjour A, Telzerow A, Lauterbach KW, INTERCARE International Investigators. European comparison of costs and quality in the treatment of acute back pain. *Spine*. 2005;30:969–75.
11. Apeldoorn AT, Bosmans JE, Ostelo RW, de Vet HCW, van Tulder MW. Cost-effectiveness of a classification-based system for sub-acute and chronic low back pain. *Eur Spine J*. 2012;21:1290–300.
12. Ferreira ML, Machado G, Latimer J, Maher C, Ferreira PH, Smeets RJ. Factors defining care-seeking in low back pain - A meta-analysis of population based surveys. *Eur J Pain*. 2010;14:747.e1-747.e7.
13. Swain MS, Henschke N, Kamper SJ, Gobina I, Ottová-Jordan V, Maher CG. An international survey of pain in adolescents. *BMC Public Health*. 2014;14:447.
14. Hestbaek L, Leboeuf-Yde C, Kyvik KO. Is comorbidity in adolescence a predictor for adult low back pain? A prospective study of a young population. *BMC Musculoskelet Disord* 2006;7:29.
15. Hershkovich O, Friedlander A, Gordon B, Arzi H, Derazne E, Tzur D, i in. Associations of Body Mass Index and Body Height With Low Back Pain in 829,791 Adolescents. *Am J Epidemiol*. 2013;178:603–9.
16. Shiri R, Karppinen J, Leino-Arjas P, Solovieva S, Viikari-Juntura E. The Association Between Obesity and Low Back Pain: A Meta-Analysis. *Am J Epidemiol*. 2010;171:135–54.

17. Coenen P, Gouttebarga V, van der Burght ASAM, van Dieën JH, Frings-Dresen MHW, van der Beek AJ, i in. The effect of lifting during work on low back pain: a health impact assessment based on a meta-analysis. *Occup Environ Med.* 2014;71:871–7.
18. Shiri R, Karppinen J, Leino-Arjas P, Solovieva S, Viikari-Juntura E. The association between smoking and low back pain: a meta-analysis. *Am J Med.* 2010;123:87.e7-35.
19. Pinheiro MB, Ferreira ML, Refshauge K, Ordoñana JR, Machado GC, Prado LR, i in. Symptoms of Depression and Risk of New Episodes of Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arthritis Care Res.* 2015;67:1591–603.
20. Vos T, Barber RM, Bell B, Bertozzi-Villa A, Biryukov S, Bolliger I, i in. Global, regional, and national incidence, prevalence, and years lived with disability for 301 acute and chronic diseases and injuries in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet.* 2015;386:743–800.
21. Schofield DJ, Callander EJ, Shrestha RN, Passey ME, Kelly SJ, Percival R. Back problems, comorbidities, and their association with wealth. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* 2015;15:34–41.
22. Schofield DJ, Shrestha RN, Percival R, Callander EJ, Kelly SJ, Passey ME. Early retirement and the financial assets of individuals with back problems. *Eur Spine J.* 2011;20:731–6.
23. Thomas E, Silman AJ, Croft PR, Papageorgiou AC, Jayson MI, Macfarlane GJ. Predicting who develops chronic low back pain in primary care: a prospective study. *BMJ.* 1999;318:1662–7.
24. Pengel LHM, Herbert RD, Maher CG, Refshauge KM. Acute low back pain: systematic review of its prognosis. *BMJ.* 2003;327:323.
25. Steffens D, Ferreira ML, Latimer J, Ferreira PH, Koes BW, Blyth F, i in. What triggers an episode of acute low back pain? A case-crossover study. *Arthritis Care Res.* 2015;67:403–10.
26. Parreira P do CS, Maher CG, Latimer J, Steffens D, Blyth F, Li Q, i in. Can patients identify what triggers their back pain? Secondary analysis of a case-crossover study. *Pain.* 2015;156:1913–9.
27. Waterman BR, Belmont PJ, Schoenfeld AJ. Low back pain in the United States: incidence and risk factors for presentation in the emergency setting. *Spine J Off J North Am Spine Soc.* 2012;12:63–70.
28. Deyo RA, Weinstein JN. Low back pain. *N Engl J Med.* 2001;344:363–70.
29. Deyo RA, Rainville J, Kent DL. What can the history and physical examination tell us about low back pain? *JAMA.* 1992;268:760–5.
30. Vroomen PC, de Krom MC, Knottnerus JA. Diagnostic value of history and physical examination in patients suspected of sciatica due to disc herniation: a systematic review. *J Neurol.* 1999;246:899–906.
31. Deyo RA. Early diagnostic evaluation of low back pain. *J Gen Intern Med.* 1986;1:328–38.
32. Van Boxem K, Van Zundert J, Patijn J, van Kleef M. Pseudoradicular and radicular low-back pain: How to diagnose clinically? *Pain.* 2008;135:311–2.

33. Chou R, Qaseem A, Owens DK, Shekelle P, Clinical Guidelines Committee of the American College of Physicians. Diagnostic imaging for low back pain: advice for high-value health care from the American College of Physicians. *Ann Intern Med.* 2011;154:181–9.
34. Deyo RA, Diehl AK. Cancer as a cause of back pain: frequency, clinical presentation, and diagnostic strategies. *J Gen Intern Med.* 1988;3:230–8.
35. Haughton V. Imaging Intervertebral Disc Degeneration. *J Bone Jt Surg Am.* 2006;88(suppl_2):15.
36. Suthar P. MRI Evaluation of Lumbar Disc Degenerative Disease. *J Clin Diagn Res.* 2015;
37. Farshad-Amacker NA, Farshad M, Winklehner A, Andreisek G. MR imaging of degenerative disc disease. *Eur J Radiol.* 2015;84:1768–76.
38. Boden SD, Davis DO, Dina TS, Patronas NJ, Wiesel SW. Abnormal magnetic-resonance scans of the lumbar spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am.* 1990;72:403–8.
39. Jensen MC, Brant-Zawadzki MN, Obuchowski N, Modic MT, Malkasian D, Ross JS. Magnetic resonance imaging of the lumbar spine in people without back pain. *N Engl J Med.* 1994;331:69–73.
40. Weishaupt D, Zanetti M, Hodler J, Boos N. MR imaging of the lumbar spine: prevalence of intervertebral disk extrusion and sequestration, nerve root compression, end plate abnormalities, and osteoarthritis of the facet joints in asymptomatic volunteers. *Radiology.* 1998;209:661–6.
41. Stadnik TW, Lee RR, Coen HL, Neiryneck EC, Buisseret TS, Osteaux MJ. Annular tears and disk herniation: prevalence and contrast enhancement on MR images in the absence of low back pain or sciatica. *Radiology.* 1998;206:49–55.
42. Steffens D, Hancock MJ, Maher CG, Williams C, Jensen TS, Latimer J. Does magnetic resonance imaging predict future low back pain? A systematic review: MRI predicting future LBP. *Eur J Pain.* 2014;18:755–65.
43. Hu JK, Morishita Y, Montgomery SR, Hymanson H, Taghavi CE, Do D, i in. Kinematic Evaluation of Association between Disc Bulge Migration, Lumbar Segmental Mobility, and Disc Degeneration in the Lumbar Spine Using Positional Magnetic Resonance Imaging. *Glob Spine J.* 2011;1:43–8.
44. Yang H, Liu H, Li Z, Zhang K, Wang J, Wang H, i in. Low back pain associated with lumbar disc herniation: role of moderately degenerative disc and annulus fibrous tears. *Int J Clin Exp Med.* 2015;8:1634–44.
45. Battié MC, Videman T, Levälähti E, Gill K, Kaprio J. Genetic and environmental effects on disc degeneration by phenotype and spinal level: a multivariate twin study. *Spine.* 2008;33:2801–8.
46. Videman T, Sarna S, Battié MC, Koskinen S, Gill K, Paananen H, i in. The long-term effects of physical loading and exercise lifestyles on back-related symptoms, disability, and spinal pathology among men. *Spine.* 1995;20:699–709.
47. Kauppila LI. Atherosclerosis and disc degeneration/low-back pain--a systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg Off J Eur Soc Vasc Surg.* 2009;37:661–70.

48. Battié MC, Videman T, Gill K, Moneta GB, Nyman R, Kaprio J, i in. 1991 Volvo Award in clinical sciences. Smoking and lumbar intervertebral disc degeneration: an MRI study of identical twins. *Spine*. 1991;16:1015–21.
49. Powell MC, Wilson M, Szypryt P, Symonds EM, Worthington BS. Prevalence of lumbar disc degeneration observed by magnetic resonance in symptomless women. *Lancet Lond Engl*. 1986;2:1366–7.
50. Fardon DF. Nomenclature and classification of lumbar disc pathology. *Spine*. 2001;26:461–2.
51. Pfirrmann CWA, Metzdorf A, Zanetti M, Hodler J, Boos N. Magnetic Resonance Classification of Lumbar Intervertebral Disc Degeneration: *Spine*. 2001;26:1873–8.
52. Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, Masaryk TJ, Carter JR. Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging. *Radiology*. 1988;166:193–9.
53. Fairbank JC, Couper J, Davies JB, O'Brien JP. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy*. 1980;66:271–3.
54. Fairbank J. Revised Oswestry Disability Questionnaire: *Spine*. 2000;25:2552.
55. Gautschi OP, Corniola MV, Joswig H, Smoll NR, Chau I, Jucker D, i in. The timed up and go test for lumbar degenerative disc disease. *J Clin Neurosci*. 2015;22:1943–8.
56. Gautschi O, Smoll N, Corniola M, Joswig H, Chau I, Hildebrandt G, i in. Validity and Reliability of an Objective Measurement of Functional Impairment in Lumbar Degenerative Spine Disease: The Timed-Up-and-Go (TUG) Test. *J Neurol Surg Part Cent Eur Neurosurg*. 2015;76(S 01):s-0035-1564542.
57. Corniola M-V, Stienen MN, Joswig H, Smoll NR, Schaller K, Hildebrandt G, i in. Correlation of pain, functional impairment, and health-related quality of life with radiological grading scales of lumbar degenerative disc disease. *Acta Neurochir (Wien)*. 2016;158:499–505.
58. Henschke N, Maher CG, Refshauge KM, Herbert RD, Cumming RG, Bleasel J, i in. Prognosis in patients with recent onset low back pain in Australian primary care: inception cohort study. *BMJ*. 2008;337:a171.
59. Costa L da CM, Maher CG, McAuley JH, Hancock MJ, Herbert RD, Refshauge KM, i in. Prognosis for patients with chronic low back pain: inception cohort study. *BMJ*. 2009;339:b3829.
60. Stanton TR, Henschke N, Maher CG, Refshauge KM, Latimer J, McAuley JH. After an episode of acute low back pain, recurrence is unpredictable and not as common as previously thought. *Spine*. 2008;33:2923–8.
61. Kongsted A, Vach W, Axø M, Bech RN, Hestbaek L. Expectation of recovery from low back pain: a longitudinal cohort study investigating patient characteristics related to expectations and the association between expectations and 3-month outcome. *Spine*. 2014;39:81–90.
62. Engers A, Jellema P, Wensing M, van der Windt D a. WM, Grol R, van Tulder MW. Individual patient education for low back pain. *Cochrane Database Syst Rev*. 2008:CD004057.

63. Traeger AC, Hübscher M, Henschke N, Moseley GL, Lee H, McAuley JH. Effect of Primary Care-Based Education on Reassurance in Patients With Acute Low Back Pain: Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Intern Med.* 2015;175:733–43.
64. Chou R, Huffman LH, American Pain Society, American College of Physicians. Medications for acute and chronic low back pain: a review of the evidence for an American Pain Society/American College of Physicians clinical practice guideline. *Ann Intern Med.* 2007;147:505–14.
65. Abdel Shaheed C, Maher CG, Williams KA, McLachlan AJ. Efficacy and tolerability of muscle relaxants for low back pain: Systematic review and meta-analysis. *Eur J Pain Lond Engl.* 2017;21:228–37.
66. Machado GC, Maher CG, Ferreira PH, Pinheiro MB, Lin C-WC, Day RO, i in. Efficacy and safety of paracetamol for spinal pain and osteoarthritis: systematic review and meta-analysis of randomised placebo controlled trials. *BMJ.* 2015;350:h1225.
67. Abdel Shaheed C, Maher CG, Williams KA, Day R, McLachlan AJ. Efficacy, Tolerability, and Dose-Dependent Effects of Opioid Analgesics for Low Back Pain: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Intern Med.* 2016;176:958–68.
68. Belavý DL, Albracht K, Bruggemann G-P, Vergroesen P-PA, van Dieën JH. Can Exercise Positively Influence the Intervertebral Disc? *Sports Med.* 2016;46:473–85.
69. Akuthota V, Ferreira A, Moore T, Fredericson M. Core stability exercise principles. *Curr Sports Med Rep.* 2008;7:39–44.
70. Coulombe BJ, Games KE, Neil ER, Eberman LE. Core Stability Exercise Versus General Exercise for Chronic Low Back Pain. *J Athl Train.* 2017;52:71–2.
71. Smith BE, Littlewood C, May S. An update of stabilisation exercises for low back pain: a systematic review with meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15:416.
72. Akhtar MW, Karimi H, Gilani SA. Effectiveness of core stabilization exercises and routine exercise therapy in management of pain in chronic non-specific low back pain: A randomized controlled clinical trial. *Pak J Med Sci.* 2017;33:1002–6.
73. Clare HA, Adams R, Maher CG. A systematic review of efficacy of McKenzie therapy for spinal pain. *Aust J Physiother.* 2004;50:209–16.
74. Szulc P, Wendt M, Waszak M, Tomczak M, Cieślík K, Trzaska T. Impact of McKenzie Method Therapy Enriched by Muscular Energy Techniques on Subjective and Objective Parameters Related to Spine Function in Patients with Chronic Low Back Pain. *Med Sci Monit.* 2015;21:2918–32.
75. Kamper SJ, Apeldoorn AT, Chiarotto A, Smeets RJE, Ostelo RWJG, Guzman J, i in. Multidisciplinary biopsychosocial rehabilitation for chronic low back pain: Cochrane systematic review and meta-analysis. *BMJ.* 2015;350:h444.
76. Leggett LE, Soril LJ, Lorenzetti DL, Noseworthy T, Steadman R, Tiwana S, i in. Radiofrequency Ablation for Chronic Low Back Pain: A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Pain Res Manag.* 2014;19:e146–53.

77. van Tulder MW, Koes B, Seitsalo S, Malmivaara A. Outcome of invasive treatment modalities on back pain and sciatica: an evidence-based review. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc.* 2006;15 Suppl 1:S82-92.
78. Koes BW, van Tulder MW, Peul WC. Diagnosis and treatment of sciatica. *BMJ.* 2007;334:1313–7.
79. Gibson JNA, Waddell G. Surgical interventions for lumbar disc prolapse. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007;CD001350.
80. Koes BW. Surgery versus intensive rehabilitation programmes for chronic low back pain. *BMJ.* 2005;330:1220–1.
81. Fairbank J, Frost H, Wilson-MacDonald J, Yu L-M, Barker K, Collins R, i in. Randomised controlled trial to compare surgical stabilisation of the lumbar spine with an intensive rehabilitation programme for patients with chronic low back pain: the MRC spine stabilisation trial. *BMJ.* 2005;330:1233.
82. Brox JI, Sørensen R, Friis A, Nygaard Ø, Indahl A, Keller A, i in. Randomized clinical trial of lumbar instrumented fusion and cognitive intervention and exercises in patients with chronic low back pain and disc degeneration. *Spine.* 2003;28:1913–21.
83. Fritzell P, Hägg O, Wessberg P, Nordwall A, Swedish Lumbar Spine Study Group. 2001 Volvo Award Winner in Clinical Studies: Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: a multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine.* 2001;26:2521–32; discussion 2532-2534.
84. Cohen SP, Mao J. Neuropathic pain: mechanisms and their clinical implications. *BMJ.* 2014;348:f7656.
85. Nijs J, Apeldoorn A, Hallegraeff H, Clark J, Smeets R, Malfliet A, i in. Low back pain: guidelines for the clinical classification of predominant neuropathic, nociceptive, or central sensitization pain. *Pain Physician.* 2015;18:E333-346.
86. Mehra A, Baker D, Disney S, Pynsent PB. Oswestry Disability Index scoring made easy. *Ann R Coll Surg Engl.* 2008;90:497–9.
87. Tunset A, Kjaer P, Samir Chreiteh S, Secher Jensen T. A method for quantitative measurement of lumbar intervertebral disc structures: an intra- and inter-rater agreement and reliability study. *Chiropr Man Ther.* 2013;21:26.
88. Hurxthal LM. Measurement of anterior vertebral compressions and biconcave vertebrae. *Am J Roentgenol.* 1968;103:635–44.
89. Dabbs VM, Dabbs LG. Correlation Between Disc Height Narrowing and Low-Back Pain: *Spine.* 1990;15:1366–8.
90. Abdollah V, Parent EC, Battié MC. Reliability and validity of lumbar disc height quantification methods using magnetic resonance images. *Biomed Eng Biomed Tech.* 2018;0(0).
91. van der Houwen EB, Baron P, Veldhuizen AG, Burgerhof JGM, van Ooijen PMA, Verkerke GJ. Geometry of the Intervertebral Volume and Vertebral Endplates of the Human Spine. *Ann Biomed Eng.* 2010;38:33–40.

92. Hu X, Chen M, Pan J, Liang L, Wang Y. Is it appropriate to measure age-related lumbar disc degeneration on the mid-sagittal MR image? A quantitative image study. *Eur Spine J.* 2018;27:1073–81.
93. Gocmen-Mas N, Karabekir H, Ertekin T, Edizer M, Canan Y, Duyar I. Evaluation of Lumbar Vertebral Body and Disc: A Stereological Morphometric Study. *Int J Morphol.* 2010;28:841–7.
94. Zhou SH, McCarthy ID, McGregor AH, Coombs RRH, Hughes SPF. Geometrical dimensions of the lower lumbar vertebrae - analysis of data from digitised CT images. *Eur Spine J.* 2000;9:242–8.
95. McGirt MJ, Eustacchio S, Varga P, Vilendecic M, Trummer M, Gorenssek M, i in. A Prospective Cohort Study of Close Interval Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging After Primary Lumbar Discectomy: Factors Associated With Recurrent Disc Herniation and Disc Height Loss. *Spine.* 2009;34:2044–51.
96. Gaweł D, Głowska P, Kotwicki T, Nowak M. Automatic Spine Tissue Segmentation from MRI Data Based on Cascade of Boosted Classifiers and Active Appearance Model. *BioMed Res Int.* 2018;1–13.
97. Jones SE, Buchbinder BR, Aharon I. Three-dimensional mapping of cortical thickness using Laplace's Equation. *Hum Brain Mapp.* 2000;11:12–32.
98. Neubert A, Fripp J, Engstrom C, Gal Y, Crozier S, Kingsley MIC. Validity and reliability of computerized measurement of lumbar intervertebral disc height and volume from magnetic resonance images. *Spine J.* 2014;14:2773–81.
99. Simson KJ, Miller CT, Ford J, Hahne A, Main L, Rantalainen T, i in. Optimising conservative management of chronic low back pain: study protocol for a randomised controlled trial. *Trials.* 2017;18:184.
100. Misterska E, Jankowski R, Glowacki M. Quebec Back Pain Disability Scale, Low Back Outcome Score and Revised Oswestry Low Back Pain Disability Scale for Patients With Low Back Pain Due to Degenerative Disc Disease: Evaluation of Polish Versions. *Spine.* 2011;36:E1722–9.
101. Owen PJ, Miller CT, Rantalainen T, Simson KJ, Connell D, Hahne AJ, i in. Exercise for the intervertebral disc: a 6-month randomised controlled trial in chronic low back pain. *Eur Spine J* Dostęp 24.03.2020 na: <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06379-7>.
102. Fenty M, Crescenzi R, Fry B, Squillante D, Turk D, Maurer PM, i in. Novel Imaging of the Intervertebral Disk and Pain. *Glob Spine J.* 2013;3:127–32.
103. Masui T, Yukawa Y, Nakamura S, Kajino G, Matsubara Y, Kato F, i in. Natural History of Patients with Lumbar Disc Herniation Observed by Magnetic Resonance Imaging for Minimum 7 Years: *J Spinal Disord Tech.* 2005;18:121–6.
104. Yukawa Y, Kato F, Matsubara Y, Kajino G, Nakamura S, Nitta H. Serial Magnetic Resonance Imaging Follow-up Study of Lumbar Disc Herniation Conservatively Treated for Average 30 Months: Relation Between Reduction of Herniation and Degeneration of Disc. *J Spinal Disord.* 1996;9:251–6.
105. Schmidt S, Kappes J, Bergtholdt M, Pekar V, Dries S, Bystrov D, i in. Spine Detection and Labeling Using a Parts-Based Graphical Model. [w:] Karssemeijer N, Lelieveldt B, redaktorzy.

- Information Processing in Medical Imaging. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. s. 122–33. (Hutchison D, Kanade T, Kittler J, Kleinberg JM, Mattern F, Mitchell JC, i in. Lecture Notes in Computer Science; t. 4584).
106. Corso JJ, Alomari RS, Chaudhary V. Lumbar Disc Localization and Labeling with a Probabilistic Model on Both Pixel and Object Features. [w:] Metaxas D, Axel L, Fichtinger G, Székely G, redaktorzy. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2008. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2008. s. 202–10. (Hutchison D, Kanade T, Kittler J, Kleinberg JM, Mattern F, Mitchell JC, i in. Lecture Notes in Computer Science; t. 5241).
 107. Alomari RS, Corso JJ, Chaudhary V. Labeling of Lumbar Discs Using Both Pixel- and Object-Level Features With a Two-Level Probabilistic Model. IEEE Trans Med Imaging. 2011;30:1–10.
 108. Chevrefils C, Cheriet F, Aubin C-E, Grimard G. Texture Analysis for Automatic Segmentation of Intervertebral Disks of Scoliotic Spines From MR Images. IEEE Trans Inf Technol Biomed. lipiec 2009;13:608–20.
 109. Michopoulou SK, Costaridou L, Panagiotopoulos E, Speller R, Panayiotakis G, Todd-Pokropek A. Atlas-based segmentation of degenerated lumbar intervertebral discs from MR images of the spine. IEEE Trans Biomed Eng. 2009;56:2225–31.
 110. Forsberg D. Atlas-Based Registration for Accurate Segmentation of Thoracic and Lumbar Vertebrae in CT Data. [w:] Yao J, Glocker B, Klinder T, Li S, redaktorzy. Recent Advances in Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging. Cham: Springer International Publishing; 2015. s. 49–59. (Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics; t. 20).
 111. Ben Ayed I, Punithakumar K, Garvin G, Romano W, Li S. Graph Cuts with Invariant Object-Interaction Priors: Application to Intervertebral Disc Segmentation. [w:] Székely G, Hahn HK, redaktorzy. Information Processing in Medical Imaging. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011. s. 221–32. (Lecture Notes in Computer Science; t. 6801).
 112. Boykov Y, Funka-Lea G. Graph Cuts and Efficient N-D Image Segmentation. Int J Comput Vis. 2006;70:109–31.
 113. Ali AM, Aslan MS, Farag AA. Vertebral body segmentation with prior shape constraints for accurate BMD measurements. Comput Med Imaging Graph. 2014;38:586–95.
 114. Carballido-Gamio J, Belongie SJ, Majumdar S. Normalized Cuts in 3-D for Spinal MRI Segmentation. IEEE Trans Med Imaging. 2004;23:36–44.
 115. Neubert A, Fripp J, Engstrom C, Schwarz R, Lauer L, Salvado O, i in. Automated detection, 3D segmentation and analysis of high resolution spine MR images using statistical shape models. Phys Med Biol. 2012;57:8357–76.
 116. Law MWK, Tay K, Leung A, J. Garvin G, Li S. Intervertebral disc segmentation in MR images using anisotropic oriented flux. Med Image Anal. 2013;17:43–61.
 117. Glocker B, Zikic D, Konukoglu E, Haynor DR, Criminisi A. Vertebrae Localization in Pathological Spine CT via Dense Classification from Sparse Annotations. [w:] Salinesi C, Norrie MC, Pastor Ó, redaktorzy. Advanced Information Systems Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2013. s. 262–70. (Hutchison D, Kanade T, Kittler J, Kleinberg JM, Mattern F, Mitchell JC, i in. Lecture Notes in Computer Science; t. 7908).

118. Chen C, Belavy D, Yu W, Chu C, Armbrecht G, Bansmann M, i in. Localization and Segmentation of 3D Intervertebral Discs in MR Images by Data Driven Estimation. *IEEE Trans Med Imaging*. 2015;34:1719–29.
119. Wang Z, Zhen X, Tay K, Osman S, Romano W, Li S. A Unified Segmentation Framework for M3 Spinal Images. *IEEE Trans Med Imaging*. 2015;34:1640–8.
120. Theodoridis S. Machine learning: a Bayesian and optimization perspective. 2015.
121. Oktay AB, Akgul YS. Simultaneous Localization of Lumbar Vertebrae and Intervertebral Discs With SVM-Based MRF. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2013;60:2375–83.
122. Glocker B, Konukoglu E, Haynor DR. Random Forests for Localization of Spinal Anatomy. W: *Medical Image Recognition, Segmentation and Parsing*. Elsevier; 2016. s. 93–110.
123. Zheng Y, Barbu A, Georgescu B, Scheuering M, Comaniciu D. Four-Chamber Heart Modeling and Automatic Segmentation for 3-D Cardiac CT Volumes Using Marginal Space Learning and Steerable Features. *IEEE Trans Med Imaging*. 2008;27:1668–81.
124. Dong X, Zheng G. Automated 3D Lumbar Intervertebral Disc Segmentation from MRI Data Sets. [w:] Yao J, Glocker B, Klinder T, Li S, redaktorzy. *Recent Advances in Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging*. Cham: Springer International Publishing; 2015. s. 131–42. (Lecture Notes in Computational Vision and Biomechanics; t. 20).
125. Urschler M, Hammernik K, Ebner T, Štern D. Automatic Intervertebral Disc Localization and Segmentation in 3D MR Images Based on Regression Forests and Active Contours. [w:] Vrtovec T, Yao J, Glocker B, Klinder T, Frangi A, Zheng G, i in., redaktorzy. *Computational Methods and Clinical Applications for Spine Imaging*. Cham: Springer International Publishing; 2016. s. 130–40. (Lecture Notes in Computer Science; t. 9402).
126. Glocker B, Feulner J, Criminisi A, Haynor DR, Konukoglu E. Automatic Localization and Identification of Vertebrae in Arbitrary Field-of-View CT Scans. [w:] Ayache N, Delingette H, Golland P, Mori K, redaktorzy. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2012*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2012. s. 590–8. (Hutchison D, Kanade T, Kittler J, Kleinberg JM, Mattern F, Mitchell JC, i in. *Lecture Notes in Computer Science*; t. 7512).
127. Zheng G, Chu C, Belavý DL, Ibragimov B, Korez R, Vrtovec T, i in. Evaluation and comparison of 3D intervertebral disc localization and segmentation methods for 3D T2 MR data: A grand challenge. *Med Image Anal*. 2017;35:327–44.

9. Streszczenie

WPROWADZENIE

Patologia krążka międzykręgowego jest jedną z najczęstszych przyczyn ostrego bólu kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Rezonans magnetyczny (MR) jest najlepszą wizualizacją choroby krążka, natomiast trójwymiarowa rekonstrukcja nie jest powszechnie wykonywana. Aby lepiej ocenić patologię krążka międzykręgowego, zaproponowano półautomatyczną wizualizację krążka w trójwymiarowej rekonstrukcji, opartą na algorytmie stworzonym w ramach realizacji grantu NCBiR "Virdiamed".

CEL

Celem pracy jest ocena morfologii krążków międzykręgowych widocznych w obrazie rezonansu magnetycznego u chorych z nagłym silnym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (z promieniowaniem lub bez promieniowania bólu do kończyny dolnej). Drugim celem pracy jest wykonanie cyfrowej rekonstrukcji trójpłaszczyznowej krążka międzykręgowego i porównanie tej techniki standardowym badaniem rezonansu magnetycznego.

CELE SZCZEGÓŁOWE

1. Ocena morfologii krążków międzykręgowych wraz z przylegającymi trzonami kręgów obrazowanych w standardowym badaniu rezonansu magnetycznego u chorych z nagłym silnym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.
2. Wykonanie trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i przylegających trzonów kręgów w oparciu o standardowy rezonans magnetyczny kręgosłupa lędźwiowego.
3. Porównanie wybranych parametrów krążka i trzonów kręgów (wysokość krążka, objętość krążka, wielkość przepukliny, wysokość i objętość trzonów kręgów) mierzonych na trójwymiarowych rekonstrukcjach z odpowiadającymi im parametrami na obrazach strzałkowych T2 standardowego rezonansu magnetycznego

MATERIAŁ I METODA

Dwudziestu pięciu pacjentów, średnia wieku 35,5 lat, SD = 6,4, zakres 20-50 lat, wszyscy z ostrym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego, zostali przebadani według karty badania (Załącznik nr 2). Wykonano u nich badanie rezonansu magnetycznego (3 Teslowe) kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. U wszystkich chorych wykonano trójwymiarową rekonstrukcję wybranego krążka międzykręgowego wraz z przylegającymi trzonami kręgów (L3/L4 u 1 pacjenta, L4/L5 u 16 pacjentów, L5/S1 u 8 pacjentów).

Modele 3D MR porównałem ze standardowymi obrazami rezonansu magnetycznego mierząc następujące parametry: wysokość krążka międzykręgowego, objętość krążka międzykręgowego, wysokość trzonu kręgu powyżej krążka, objętość trzonu kręgu powyżej krążka, wysokość trzonu kręgu poniżej krążka, objętość trzonu kręgu poniżej krążka i wielkość przepukliny krążka międzykręgowego.

WYNIKI

W badaniu klinicznym bolesność palpacyjna u 40% pacjentów lokalizowała się w obrębie wyrostków kolczystych kręgów lędźwiowych, u 28% w obrębie mięśni przykręgosłupowych i po 16% w obrębie stawów krzyżowo-biodrowych i w okolicy wyjścia nerwu kulszowego spod mięśnia gruszkowatego. Objawy korzeniowe były obecne u 84% chorych.

Wartości uzyskane z rekonstrukcji 3D MR vs. wartości uzyskane z konwencjonalnych obrazów MR były następujące: wysokość krążka międzykręgowego 9,33 +/- 1,67 mm vs. 9,48 +/- 1,63 mm; objętość krążka międzykręgowego 14,11 +/- 4,21 cm³ vs. 14,02 +/- 3,71 cm³; wysokość trzonu kręgu powyżej dysku 27,36 +/- 1,93 mm vs. 27,02 +/- 2,05 mm; objętość trzonu kręgu powyżej dysku 33,86 +/- 7,92 cm³ vs. 33,89 +/- 8,07 cm³; wysokość trzonu kręgu poniżej dysku 26,64 +/- 2,19 mm vs. 26,34 +/- 2,03 mm; objętość trzonu kręgu poniżej dysku 30,38 +/- 6,65 cm³ vs. 30,73 +/- 6,49 cm³; wielkość przepukliny 7,84 +/- 2,53 mm vs. 7,57 +/- 2,52 mm; znaczące były jedynie różnice wysokości poszczególnych parametrów. Poziomy przepukliny krążka międzykręgowego układały się następująco: 64% pacjentów miało uszkodzony krążek L4/L5, 32% pacjentów L5/S1, 4% pacjentów L3/L4; w 92% przepuklina była centralna, w 4% lewostronna, w 4% prawostronna. Stopień uszkodzenia krążka międzykręgowego w skali Pfirrmanna: 56% III stopień, 36% IV stopień, po 4% II i V stopień. Stopień uszkodzenia przyległych trzonów kręgów w skali Modica przedstawiał się następująco: 68% Modic I, 28% Modic II, 4% Modic III.

Wartości parametrów ICC dla pary zmiennych:

1. wysokość krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,98 dla jednego pomiaru i 0,99 dla średniej pomiarów;
2. wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,95 dla jednego pomiaru i 0,97 dla średniej pomiarów;
3. wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona

- w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,97 dla jednego pomiaru i 0,98 dla średniej pomiarów;
4. objętość krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,97 dla jednego pomiaru i 0,98 dla średniej pomiarów;
 5. objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,99 dla jednego pomiaru 0,99 dla średniej pomiarów;
 6. objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,98 dla jednego pomiaru i 0,99 dla średniej pomiarów;
 7. wielkość przepukliny krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wielkość przepukliny krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR) wynosi 0,82 dla jednego pomiaru i 0,90 dla średniej pomiarów.

WNIOSKI

1. U chorych z nagłym silnym bólem kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego, z objawami klinicznymi sugerującymi etiologię w obrębie krążka międzykręgowego, stwierdza się zmiany w standardowym badaniu rezonansu magnetycznego polegające na obecności przepukliny/wypukliny krążka międzykręgowego i obniżeniu wysokości krążka międzykręgowego - przy czym obniżenie wysokości krążka ma miejsce w większym stopniu w części tylnej.
2. Trójwymiarowa rekonstrukcja krążka międzykręgowego jest możliwa do wykonania na bazie standardowego obrazu rezonansu magnetycznego.
3. Porównanie obrazów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego z obrazami trójwymiarowej rekonstrukcji wskazuje, że trójwymiarowa rekonstrukcja jest rzetelnym odwzorowaniem krążka międzykręgowego i przyległych trzonów kręgów w trójwymiarze.

10. Summary

INTRODUCTION

The pathology of the intervertebral disc is one of the most common causes of acute pain in the low back pain. Magnetic resonance imaging (MRI) is the best visualization of disc disease, while three-dimensional reconstruction is not commonly performed. In order to better understand the pathology of the intervertebral disc, a semi-automatic disc visualization in a three-dimensional reconstruction was proposed, based on an algorithm developed under the NCBI grant "Virdiamed".

OBJECTIVE

The aim of the study is to evaluate the morphology of the intervertebral discs visible in the magnetic resonance image in patients with sudden severe low back pain (with or without radiation of pain to the lower limb). The second goal of the study is to perform a digital three-plane reconstruction of the intervertebral disc and to compare this technique with a standard magnetic resonance imaging test.

DETAILED OBJECTIVES

1. Assessment of the morphology of the intervertebral discs with adjacent vertebral bodies imaged in a standard MRI in patients with sudden severe low back pain.
2. Performing a three-dimensional reconstruction of the intervertebral disc and adjacent vertebral bodies based on standard MRI of the lumbar spine.
3. Comparison of selected parameters of the disc and vertebral bodies (disc height, disc volume, hernia size, height and volume of vertebral bodies) measured on three-dimensional reconstructions with the corresponding parameters on T2 sagittal images of standard magnetic resonance

MATERIAL AND METHOD

Twenty-five patients, mean age 35.5 years, SD = 6.4, range 20-50 years, all with acute low back pain, were examined according to the study card (Appendix 2). They underwent an MRI (3 Tesla) of the lumbosacral spine. Three-dimensional reconstruction of the selected intervertebral disc with adjacent vertebral bodies was performed in all patients (L3 / L4 in 1 patient, L4 / L5 in 16 patients, L5 / S1 in 8 patients)

I compared the 3D MR models with standard MRI scans by measuring the following parameters: intervertebral disc height, intervertebral disc volume, vertebral body height above the disc, vertebral body volume above the disc, vertebral body height below the disc, vertebral body volume below the disc, and intervertebral disc herniation size.

RESULTS

In a clinical study, 40% of patients had palpation in the spinal processes of the lumbar vertebrae, 28% in the paraspinal muscles, and 16% in the sacroiliac joints and at the exit of the sciatic nerve from under the pear muscle. Root symptoms were present in 84% of patients.

Values obtained from 3D MR reconstruction vs. the values obtained from conventional MR images were as follows: intervertebral disc height 9.33 ± 1.67 mm vs. 9.48 ± 1.63 mm; intervertebral disc volume 14.11 ± 4.21 cm³ vs. 14.02 ± 3.71 cm³; vertebra body height above the disc 27.36 ± 1.93 mm vs. 27.02 ± 2.05 mm; volume of the vertebral body above the disc 33.86 ± 7.92 cm³ vs. 33.89 ± 8.07 cm³; vertebral body height below the disc 26.64 ± 2.19 mm vs. 26.34 ± 2.03 mm; volume of the vertebral body below the disc 30.38 ± 6.65 cm³ vs. 30.73 ± 6.49 cm³; hernia size 7.84 ± 2.53 mm vs. 7.57 ± 2.52 mm; Only the differences in the height of individual parameters were insignificant. The herniated levels of the intervertebral disc were as follows: 68% of patients had a damaged L4 / L5 disc, 32% of L5 / S1 patients, 4% of L3 / L4 patients; 92% of the hernia was central, 4% left-sided, 4% right-sided. The degree of damage to the intervertebral disc on the Pfirrmann scale: 56% 3rd grade, 36% 4th grade, about 4% of 2nd and 5th grade. The degree of damage to the adjacent body vertebrae on the Modica scale was as follows: 68% Modic I, 28% Modic II, 4% Modic III.

ICC parameter values for a pair of variables:

1. The height of the intervertebral disc in standard magnetic resonance (MR) and the height of the intervertebral disc in the three-dimensional reconstruction (3D MR) is 0.98 for one measurement and 0.99 for the mean of the measurements;
2. the vertebral body height above the test disc as measured by standard magnetic resonance (MR) and the vertebral body height above the test disc measured on the 3D reconstruction (3D MR) is 0.95 for one measurement and 0.97 for the mean of the measurements;
3. the vertebral body height above the test disc as measured by standard magnetic resonance (MR) and the vertebral body height above the test disc measured by 3D reconstruction (3D MR) is 0.97 for one measurement and 0.98 for the mean of the measurements;
4. the volume of the intervertebral disc in standard magnetic resonance (MR) and the volume of the intervertebral disc measured in the three-dimensional reconstruction (3D MR) is 0.97 for one measurement and 0.98 for the mean of the measurements;

5. the volume of the vertebral body above the test disc measured by standard magnetic resonance (MR) and the volume of the vertebral body above the test disc measured by the 3D reconstruction (3D MR) is 0.99 for one measurement 0.99 for the mean of the measurements;
6. the volume of the vertebral body below the test disc as measured by standard magnetic resonance (MR) and the volume of the vertebral body below the test disc measured by the 3D reconstruction (3D MR) is 0.98 for one measurement and 0.99 for the mean of the measurements;
7. the size of the intervertebral disc herniation in standard magnetic resonance (MR) and the size of the herniated disc in the three-dimensional reconstruction (3D MR) is 0.82 for one measurement and 0.90 for the mean.

CONCLUSIONS

1. In patients with sudden, severe low back pain, with clinical symptoms suggesting an etiology within the intervertebral disc, changes in a standard MRI are found consisting of the presence of a hernia / protrusion of the intervertebral disc and lowering the height of the intervertebral disc - with lowering the disc height occurs to a greater extent in the rear section.
2. Three-dimensional reconstruction of the intervertebral disc is possible on the basis of a standard magnetic resonance image.
3. Comparison of conventional MRI images with 3D reconstruction images shows that the 3D reconstruction is a reliable 3D representation of the intervertebral disc and adjacent vertebral bodies.

11. Załączniki

1. Uchwała nr 670/15 Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu.
2. Karta badania podmiotowego i przedmiotowego pacjenta.
3. Kwestionariusz Oswestry – wersja zmodyfikowana – polska.

Zgoda komisji bioetycznej



Collegium Maius
ul. Fredry 10
61-701 Poznań

tel. (+48 61) 854 62 51, 854 60 60
fax. (+48 61) 854 61 07
www.bioetyka.ump.edu.pl

Uchwała nr 670/15

[illegible]

*Komisja Bioetyczna, na posiedzeniu w dniu 11 czerwca 2015 r.
rozpatrzyła wniosek dotyczący prowadzenia badań naukowych.*

Kierownik projektu: Prof. dr hab. Tomasz Kotwicki

Miejsce prowadzenia badań:
Klinika Chorób Kręgosłupa i Ortopedii Dziecięcej oraz Pracownia Chorób
Kręgosłupa UM w Poznaniu

Główny badacz: lek. Paweł Głowka oraz lek. Szymon Rubczak

**Członkowie zespołu
badawczego:**

prof. dr hab. Marek Morzyński
dr hab. Michał Nowak prof. PP
mgr inż. Dominik Gawel
dr Witold Dudziński
dr Monika Grygorowicz
dr Dominika Puchalska

Temat badan:

„Obrazowanie zmian krążka międzykręgowego techniką rezonansu magnetycznego u pacjentów z dyskowo- pochodnym bólem kręgosłupa lędźwiowego- analiza zmian morfologicznych krążka w zależności o fazy choroby, reakcji na terapię i pozycji pacjenta w trakcie badania”.

Komisja wydała uchwałę o pozytywnym zaopiniowaniu tego wniosku

Przewodniczący Komisji

prof. dr hab. med. Paweł Chęciński

Załącznik nr 2

KARTA BADANIA

Imię i nazwisko

Wiek

Data

Telefon i adres e-mail

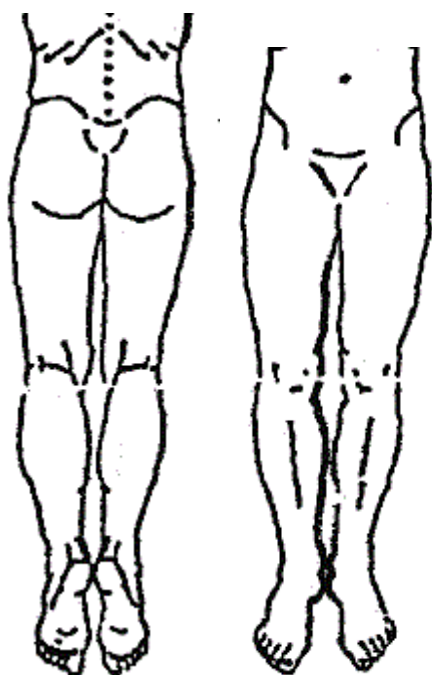
.....

.....

.....

.....

Badanie podmiotowe



Epizod bólowy

☐ pierwszy ☐ drugi ☐ kolejny

Objawy aktualnego epizodu:

.....

Lokalizacja bólu (schemat):

.....

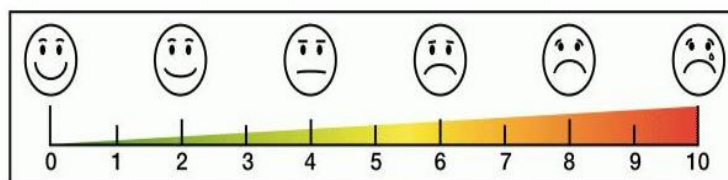
Czas trwania dolegliwości:

.....Poprawa/ Bez zmian/ Pogorszenie

Przyczyna początku epizodu:

.....

Natężenie bólu: (skala VAS)



BEZ
BÓLU

BÓŁ
ŁAGODNY

BÓŁ
UMIARKOWANY

BÓŁ
SILNY

BÓŁ
BARDZO SILNY

BÓŁ
NAJSILNIEJSZY
JAKI MOŻNA
SOBIE
WYOBRAZIĆ

Pozycje pogarszające dolegliwości:

☐ stanie / chodzenie

☐ siedzenie

☐ pochylanie się do przodu

Pozycje zmniejszające dolegliwości:

☐ leżenie na brzuchu

☐ leżenie na boku L/P

☐ leżenie na plecach

Nasilenie bólu w trakcie kaszlu: TAK.

..... NIE

Zależność od pory dnia:

- ☐ ból od rana, po nocy
- ☐ ból wieczorem, po całym dniu
- ☐ ból cały czas

Bóle nocne: ☐ tak ☐ nie

Charakter pracy:

- ☐ stojąca/chodząca
- ☐ siedząca
- ☐ ciężka, fizyczna

Aktywność fizyczna:

Sport:

Godz/tydzień

Choroby współistniejące:

Badanie przedmiotowe

Bolesność palpacyjna

- ☐ kołec biodrowy tylny górny L ☐ P ☐
- ☐ wyrostki kolczyste L5-S1
- ☐ mięśnie przykręgosłupowe lędźwiowe L ☐ P ☐
- ☐ wyjście nerwu kulszowego spod m. gruszkowatego L ☐ P ☐
- ☐ stawy krzyżowo-biodrowe L ☐ P ☐
- ☐ inne:

Pozycja wywołująca poprawę dolegliwości:

- ☐ skłon
- ☐ przeprost
- ☐ zgięcie tułowia w lewo
- ☐ zgięcie tułowia w prawo

Pozycja wywołująca nasilenie dolegliwości:

- ☐ skłon
- ☐ przeprost
- ☐ zgięcie tułowia w lewo
- ☐ zgięcie tułowia w prawo

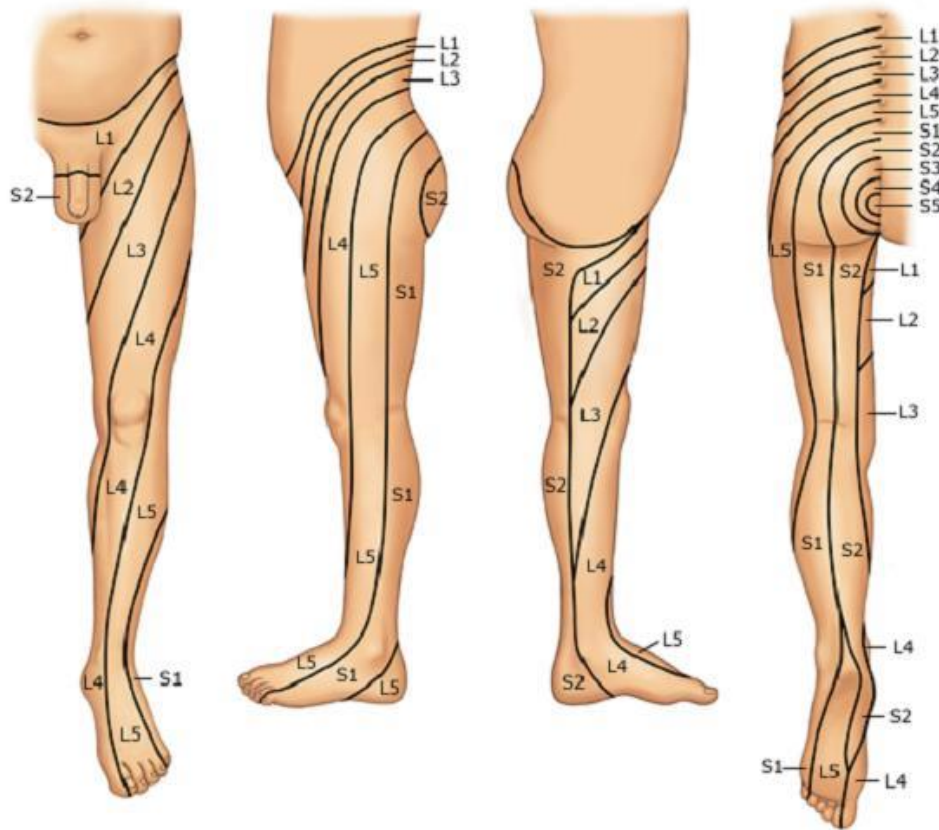
Sylwetka, obecność deformacji grzbietu:

.....

Sposób poruszania się:

.....

Promieniowanie do kończyny dolnej:



Zakres ruchomości (bezbólowy):

Kręgosłup lędźwiowy (inklinometr) – zgięcie | przeprost

Staw biodrowy zginanie/prostowanie PKD LKD

Siła mięśniowa (skala Lovetta)

Mięsień czworogłowy uda (L4) -

Mięsień piszczelowy przedni (L5) -

Zginacze podeszwowe stopy (S1) -

PKD	LKD

Obecność odruchów fizjologicznych:

kolanowy -

skokowy -

0 – nieobecny, 1 – osłabiony, 2 – prawidłowy

PKD	LKD

Obecność odruchów patologicznych:

.....

Objawy korzeniowe:

objaw Lassegue'a -

objaw Mackiewicza -

(w przypadku dodatnich - wartości kątowe uniesienia kkd)

PKD	LKD

Załącznik nr 3**Kwestionariusz Oswestry (zmodyfikowany – wersja polska*)**

Intensywność bólu ☐ Ból jest bardzo słaby, pojawia się i ustępuje. ☐ Ból jest słaby, o stałym natężeniu. ☐ Ból jest umiarkowany, pojawia się i ustępuje. ☐ Ból jest umiarkowany, o stałym natężeniu. ☐ Ból jest silny, pojawia się i ustępuje. ☐ Ból jest silny, o stałym natężeniu.	Pielęgnacja (mycie, ubieranie się itp.) ☐ Nie muszę zmieniać mojego sposobu mycia lub ubierania się, aby uniknąć bólu. ☐ Zazwyczaj nie zmieniam mojego sposobu mycia lub ubierania się, mimo iż powoduje to lekki ból. ☐ Mycie i ubieranie się powoduje zwiększenie bólu, ale daję sobie radę nie zmniejszając sposobu wykonywania tych czynności. ☐ Mycie i ubieranie się powoduje zwiększenie bólu, co zmusza mnie do zmiany sposobu wykonywania tych czynności. ☐ z powodu bólu nie jestem w stanie wykonać bez pomocy niektórych czynności związanych z myciem i ubieraniem. ☐ z powodu bólu nie jestem w stanie umyć się ani ubrać bez pomocy.
Podnoszenie ☐ Mogę podnosić ciężkie przedmioty bez bólu. ☐ Mogę podnosić ciężkie przedmioty, ale podnoszenie wywołuje ból. ☐ Ból nie pozwala mi podnosić ciężkich przedmiotów z podłogi. ☐ Ból nie pozwala mi podnosić ciężkich przedmiotów z podłogi, ale radzę sobie, jeśli są ułożone w dogodny sposób, np. na stole. ☐ Ból nie pozwala mi podnosić ciężkich przedmiotów, ale mogę podnosić lekkie i niezbyt ciężkie przedmioty, jeśli są ułożone w dogodny sposób. ☐ Mogę podnosić jedynie bardzo lekkie przedmioty.	Chodzenie ☐ Ból nie powstrzymuje mnie od pokonania żadnego dystansu. ☐ Ból uniemożliwia mi chodzenie na odległość dłuższą niż 1500 m. ☐ Ból uniemożliwia mi chodzenie na odległość dłuższą niż 800 m. ☐ Ból uniemożliwia mi chodzenie na odległość dłuższą niż 400 m. ☐ Mogę chodzić tylko z pomocą laski lub o kulach. ☐ Spędzam w łóżku większość czasu i muszę czołgać się do toalety.
Siedzenie ☐ Mogę siedzieć na dowolnym krześle tak długo, jak chcę, bez bólu. ☐ Mogę siedzieć tylko w moim ulubionym krześle tak długo, jak chcę. ☐ Ból nie pozwala mi siedzieć dłużej, niż jedną godzinę. ☐ Ból nie pozwala mi siedzieć dłużej, niż pół godziny. ☐ Ból nie pozwala mi siedzieć dłużej, niż dziesięć minut. ☐ Ból w ogóle nie pozwala mi siedzieć	Stanie ☐ Mogę stać tak długo, jak chcę, bez bólu ☐ Odczuwam lekki ból gdy stoję, ale ból ten nie narasta. ☐ Nie mogę stać dłużej, niż godzinę, bez narastającego bólu. ☐ Nie mogę stać dłużej, niż pół godziny, bez narastającego bólu. ☐ Nie mogę stać dłużej, niż dziesięć minut bez narastającego bólu. ☐ Unikam stania, ponieważ ból od razu narasta.
Spanie ☐ Leżąc w łóżku nie odczuwam bólu.	Życie towarzyskie ☐ Moje życie towarzyskie jest normalne i nie przysparza mi bólu kręgosłupa.

☐ Leżąc w łóżku odczuwam ból, ale nie utrudnia mi on snu. ☐ z powodu bólu przesypiam jedynie $\frac{3}{4}$ nocy. ☐ z powodu bólu przesypiam jedynie $\frac{1}{2}$ nocy. ☐ z powodu bólu przesypiam jedynie $\frac{1}{4}$ nocy. ☐ z powodu bólu w ogóle nie śpiam.	☐ Moje życie towarzyskie jest normalne, ale wzmacnia odczuwany ból. ☐ Ból nie ma znaczącego wpływu na moje życie towarzyskie, ale muszę unikać bardziej wymagających zajęć takich, jak taniec itp. ☐ Ból ogranicza moje życie towarzyskie i nie wychodzę zbyt często z domu. ☐ z powodu bólu całe moje życie towarzyskie ograniczam do spotkań w domu. ☐ z powodu bólu nie prowadzę prawie żadnego życia towarzyskiego.
Podróżowanie ☐ Nie odczuwam bólu podczas podróży. ☐ Odczuwam pewien ból, gdy podróżuję, ale żadna z moich typowych form podróżowania nie wzmacnia bólu. ☐ Odczuwam dodatkowy ból w trakcie podróży, ale nie zmusza mnie on do szukania innych sposobów podróżowania. ☐ Odczuwam dodatkowy ból w trakcie podróży, który zmusza mnie on do szukania innych sposobów podróżowania. ☐ Ból ogranicza wszelkie sposoby podróżowania ☐ Ból uniemożliwia mi podróżowanie, chyba że podczas podróży mogę leżeć.	Zmiana natężenia bólu ☐ Odczuwamy przez mnie ból szybko słabnie. ☐ Odczuwamy przeze mnie ból jest zmienny, ale generalnie słabnie. ☐ Odczuwany przeze mnie ból zdaje się słabnąć, ale obecnie poprawa następuje powoli. ☐ Odczuwany przeze mnie ból ani nie słabnie, ani nie wzmacnia się. ☐ Odczuwany przeze mnie ból stopniowo się wzmacnia. ☐ Odczuwany przeze mnie ból szybko się wzmacnia.

*Na podstawie:

Misterska E, Jankowski R, Glowacki M.

Quebec Back Pain Disability Scale, Low Back Outcome Score and revised Oswestry low back pain disability scale for patients with low back pain due to degenerative disc disease: evaluation of Polish versions.

Spine (Phila Pa 1976). 2011 Dec 15;36(26):E1722-9

12. Spis ilustracji

Rycina 1.1. Schemat uszkodzeń wewnątrz i zewnątrzdykowych (50).	9
Rycina 1.2. Uwypuklenia krążka międzykręgowego (50).	9
Rycina 1.3. Protruzja i ekstruzja krążka międzykręgowego (50).	10
Rycina 1.4. Morfologia krążka międzykręgowego na obrazach T2 zależnych w skali Pfirrmanna: a) stopień I, b) stopień II, c) stopień III, d) stopień IV, e) stopień V.....	11
Rycina 1.5. Zmiany degeneracyjne w sąsiadujących z krążkiem trzonach kręgowych rozwijających się w następstwie zwyrodnienia krążka międzykręgowego: a) obraz T1 zależny Modic I; b) obraz T2 zależny Modic I; c) obraz T1 zależny Modic II; d) obraz T2 zależny Modic II; e) obraz T1 zależny Modic III; f) obraz T2 zależny Modic III.	12
Rycina 4.1. Schemat badania.....	17
Rycina 4.2. Sposób pomiaru wysokości krążka międzykręgowego w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (opis w tekście).....	21
Rycina 4.3. Sposób pomiaru wysokości trzonu kręgu w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego (opis w tekście).	22
Rycina 4.4. Sposób pomiaru objętości krążka międzykręgowego w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Pokazano granice krążka międzykręgowego zaznaczone na jednym z przekrojów.	23
Rycina 4.5. Sposób pomiaru objętości trzonu kręgu w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego. Pokazano jeden z przekrojów z zaznaczoną manualnie granicą trzonu.....	24
Rycina 4.6. Sposób pomiaru wielkości przepukliny jądra miazdzystego krążka międzykręgowego w konwencjonalnym badaniu rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.	25
Rycina 4.7. Sposób oznaczenia szesnastu punktów kontrolnych krążka międzykręgowego na przekroju strzałkowym czasu T2 rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.	27
Rycina 4.8. Sposób oznaczenia szesnastu punktów kontrolnych trzonu kręgu na przekroju strzałkowym czasu T2 rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego.	28
Rycina 4.9. Wyeksportowane punkty kontrolne zawierające strukturę krążka międzykręgowego i przylegających trzonów kręgów.	28
Rycina 4.10. Połączone krzywymi punkty kontrolne zawierające strukturę krążka międzykręgowego z sąsiadującymi z nim trzonami kręgów.	29
Rycina 4.11. Połączone krzywymi punkty kontrolne obrazują kształt krążka międzykręgowego z sąsiadującymi z nim trzonami kręgów.	29
Rycina 4.12. Końcowy model trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów.	30
Rycina 4.13. Przekroje trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących trzonów kręgów (po lewej trójwymiarowa rekonstrukcja L4/L5, po prawej rekonstrukcja trójwymiarowa L5/S1).	32

Rycina 5.1. Porównanie średniej („słupki”) oraz odchylenia standardowego („wąsy”) wartości nieprawności poszczególnych sekcji kwestionariusza Oswestry – wersji zmodyfikowanej – polskiej (85) dla 25 pacjentów.....	38
--	----

13. Spis tabel

Tabela 1.1. Morfologia krążka międzykręgowego na obrazach T2 zależnych- skala Pfirrmanna	10
Tabela 1.2. Morfologia trzonów kręgów w obrazie rezonansu magnetycznego - skala Modica	11
Tabela 3.1. Kryteria włączenia i wyłączenia z badania	16
Tabela 4.1. Kryteria podejrzenia uszkodzenia krążka międzykręgowego (przynajmniej 2)	18
Tabela 4.2. Parametry oceniane w badaniu	18
Tabela 4.3. Parametry ocenione w konwencjonalnym rezonansie magnetycznym kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego	20
Tabela 4.4. Parametry oceniane w trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów	31
Tabela 4.5. Parametry porównane pomiędzy konwencjonalnym badaniem rezonansu magnetycznego kręgosłupa lędźwiowo-krzyżowego a trójwymiarową rekonstrukcją	33
Tabela 5.1. Natężenie dolegliwości bólowych w skali VAS	36
Tabela 5.2. Pozycje pogarszające dolegliwości bólowe	36
Tabela 5.3. Nasilenie bólu w trakcie kaszlu	36
Tabela 5.4. Zależność bólu od pory dnia	36
Tabela 5.5. Bóle nocne	36
Tabela 5.6. Charakter pracy	37
Tabela 5.7. Systematyczna aktywność fizyczna	37
Tabela 5.8. Lokalizacja dolegliwości bólowych	37
Tabela 5.9. Promieniowanie dolegliwości bólowych	37
Tabela 5.10. Występowanie dodatnich testów korzeniowych	37
Tabela 5.11. Średnia wartość niesprawności poszczególnych sekcji zmodyfikowanego kwestionariusza Oswestry, wersji polskiej (85) dla 25 pacjentów	38
Tabela 5.12. Wyniki pomiarów wysokości i objętości krążka międzykręgowego oraz wielkości przepukliny krążka międzykręgowego	39
Tabela 5.13. Wyniki pomiarów wysokości i objętości trzonu kręgu powyżej badanego krążka międzykręgowego	40
Tabela 5.14. Wyniki pomiarów wybranych parametrów trzonu kręgu poniżej badanego krążka międzykręgowego	41
Tabela 5.15. Zestawienie miejsc pomiarów wysokości krążka międzykręgowego o najniższej wartości	42
Tabela 5.16. Poziom lokalizacji krążków międzykręgowych	42
Tabela 5.17. Lokalizacja przepukliny krążka międzykręgowego	42
Tabela 5.18. Stopień zwyrodnienia badanych krążków międzykręgowych	43

Tabela 5.19. Stopień zwyrodnienia trzonów kręgów przylegających do badanych krążków międzykręgowych.....	43
Tabela 5.20. Wyniki korelacji pary zmiennych – wyników testu Oswestry z wielkością przepukliny krążka międzykręgowego	43
Tabela 5.21. Wyniki korelacji pary zmiennych – natężenia bólu w skali VAS z wielkością przepukliny krążka międzykręgowego	43
Tabela 5.22. Wyniki pomiarów wybranych parametrów trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego, trzonów kręgów powyżej i poniżej badanego krążka międzykręgowego.....	44
Tabela 5.23. Porównanie wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego odcinka lędźwiowo-krzyżowego i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów	45
Tabela 5.24. Wyniki korelacji pomiarów wybranych parametrów konwencjonalnego rezonansu magnetycznego odcinka lędźwiowo-krzyżowego i trójwymiarowej rekonstrukcji krążka międzykręgowego i sąsiadujących z nim trzonów kręgów.....	46
Tabela 5.25. Wartość ICC dla pary zmiennych - wysokość krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	47
Tabela 5.26. Wartość ICC dla pary zmiennych - wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	47
Tabela 5.27. Wartość ICC dla pary zmiennych - wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wysokość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	47
Tabela 5.28. Wartość ICC dla pary zmiennych - objętość krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	47
Tabela 5.29. Wartość ICC dla pary zmiennych - objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość trzonu kręgu powyżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR).....	48
Tabela 5.30. Wartość ICC dla pary zmiennych - objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona na standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i objętość trzonu kręgu poniżej badanego krążka mierzona w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	48
Tabela 5.31. Wartość ICC dla pary zmiennych – wielkość przepukliny krążka międzykręgowego w standardowym rezonansie magnetycznym (MR) i wielkość przepukliny krążka międzykręgowego mierzonego w trójwymiarowej rekonstrukcji (3D MR)	48