

# Ocena morfologii kanału kręgowego dolnego odcinka kręgosłupa lędźwiowego za pomocą cyfrowej tomografii komputerowej

## Assessment of Lumbar Spinal Canal Morphology with Digital Computed Tomography

Kazimierz Rapala<sup>1,2(A,D,G)</sup>, Sławomir Chaberek<sup>1(B,C)</sup>, Aleksandra Truszczyńska<sup>1,2,3(A,D,F)</sup>, Stanisław Łukawski<sup>1(B)</sup>, Piotr Walczak<sup>1(B,E,F)</sup>

<sup>1</sup> Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny im. prof. A. Grucy, Otwock

<sup>2</sup> Zamiejskowy Wydział Akademii Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego, Biała-Podlaska

<sup>3</sup> Wyższa Szkoła Ekonomiczna Almamere, Warszawa

<sup>1</sup> Professor Adam Gruca Teaching Hospital, Otwock

<sup>2</sup> Józef Piłsudski University of Physical Education in Warsaw, Faculty of Physical Education, Biała Podlaska

<sup>3</sup> Faculty of Physiotherapy, Almamere Higher School of Economics, Warsaw

### STRESZCZENIE

**Wstęp.** Badania naukowe dotyczące patologii kręgosłupa lędźwiowego wymagają przygotowania i wiedzy o prawidłowej budowie tego odcinka. Głównym celem pracy była ocena morfologii kanału kręgowego za pomocą cyfrowej tomografii komputerowej. Za najistotniejsze uznano wykonanie pomiarów: strzałkowego i międzynasadowego oraz pola powierzchni kanału kręgowego. Celem dodatkowym była ocena kształtu kanału kręgowego i wartości kątów stawów międzykręgowych.

**Material i metody.** Ocenie poddano kręgosłup lędźwiowy 42 osób za pomocą TK. Pomiary wykonano przy użyciu konsoli do analizy cyfrowej z dokładnością do 0,01.

**Wyniki.** Średni wymiar strzałkowy wykazywał małe różnice i wahał się od 15,75 ± 0,886 mm na poziomie L3 do 17,77 ± 1,619 mm na poziomie L5. Średni wymiar międzynasadowy był znacząco różny na badanych poziomach i wynosił na poziomie L3 – 24,75 ± 2,173 mm i zwiększał się znacznie na poziomie L5 do 34,57 ± 3,332 mm. Podobnie było ze średnim pomiarem pola powierzchni kanału kręgowego. Na poziomie L3 wymiar pola wynosił 277,2 ± 36,15 mm<sup>2</sup>, na poziomie L4 – 297 ± 9,90 mm<sup>2</sup>, a na poziomie L5 – 386,5 ± 50,55 mm<sup>2</sup>. W 42 kręgosłupach na poziomie L4-L5 stwierdzono kanał kręgowy trójkątny lub liścia koniczyny. Nie stwierdzono istotnych różnic w wartości kątowej prawego i lewego stawu międzykręgowego.

**Wnioski.** 1. Otrzymane wyniki nie odbiegają od danych w piśmiennictwie. 2. Wymiar strzałkowy powyżej 15 mm i międzynasadowy powyżej 25 mm charakteryzują prawidłowy obraz kanału kręgowego. 3. Otrzymane dane stanowią wyjściowy punkt odniesienia do dalszych badań nad stenozą lędźwiową.

**Słowa kluczowe:** morfologia, pomiary morfometryczne, cyfrowa tomografia komputerowa, lędźwiowy kanał kręgowy

### SUMMARY

**Background.** The study of lumbar spine pathology requires adequate preparation and knowledge of the normal structure of this part of the spine. The main goal of the study was to assess spinal canal morphology with computed tomography. The sagittal and interpedicular dimensions and surface area were considered the most important measurements. An additional goal was to assess the shape of the spinal canal and intervertebral joint angles.

**Material and methods.** Computed tomography was used to assess the lumbar spinal canals of 42 people to an accuracy of 0.01 using a special console for digital analysis.

**Results.** The mean sagittal dimension showed minor differences and ranged from 15.75±0.886 at the L3 level to 17.77±1.619 at the L5 level. The mean interpedicular dimension was significantly different between the levels, increasing from 24.75±2.173 at L3 to 34.57±3.332 at L5. Similar results were obtained as regards the mean surface area of the spinal canal. The surface area was 277.2±36.15 mm<sup>2</sup> at the L3 level, compared to 297±9.90 mm<sup>2</sup> at L4 and 386.5±50.55 mm<sup>2</sup> at L5. The spinal canal shape at the L4-L5 level was triangular or trefoil in all 42 patients. No significant differences were found between the angles of right and left intervertebral joints.

**Conclusions.** 1. Our results do not differ from those described in literature. 2. A sagittal dimension over 15 mm, and an interpedicular dimension of more than 25 mm are characteristic of a normal spinal canal. 3. The results constitute reference data for further studies concerning lumbar stenosis.

**Key words:** morphology, morphometric measurements, digital computed tomography, lumbar spinal canal

## WSTĘP

Badania naukowe dotyczące patologii kręgosłupa lędźwiowego wymagają przygotowania i odpowiedniego zasobu informacji o prawidłowej budowie tego odcinka. Dlatego konieczne było przeprowadzenie badań u osób, którzy w wywiadzie nigdy nie mieli żadnych dolegliwości ze strony kręgosłupa. Ta grupa badanych miała stanowić punkt odniesienia w stosunku do osób chorych ze stenozą kręgosłupa lędźwiowego. Uważaliśmy, że w szerokim opracowaniu stenozy lędźwiowej potrzebna będzie grupa kontrolna.

Głównym celem pracy była ocena za pomocą cyfrowej tomografii komputerowej morfologii kanału kręgowego kręgosłupa lędźwiowego. Postanowiono zbadać wymiary: strzałkowy, poprzeczny oraz pole powierzchni kanału kręgów L3, L4, L5.

Natomiast celem dodatkowym była ocena konfiguracji i kształtu kanału kręgowego oraz kątów stawów międzykręgowych na tych poziomach.

## MATERIAŁ I METODY

Materiał badany stanowiło 42 chorych przyjętych do Kliniki Ortopedii z powodu ciężkich urazów pierścienia miednicy i złamań przezpanewkowych. U chorych tych oprócz zdjęć rentgenowskich kręgosłupa zawsze wykonywano badania TK miednicy i kręgosłupa. Sądzono, że wykonanie badania TK dolnego odcinka kręgosłupa lędźwiowego może dać nam więcej informacji o towarzyszących uszkodzeniach kręgosłupa bezobjawowych w badaniu klinicznym.

Wykonane badanie TK nie wykazały towarzyszących uszkodzeń w odcinku lędźwiowym kręgosłupa i ta grupa 42 osób była przedmiotem analizy i dalszych rozważań. Charakterystykę grupy przedstawia Tabela 1.

Ze względu na fakt, że pacjenci z grupy kontrolnej byli pacjentami po urazach miednicy nie było możliwości określenia dla nich wzrostu i wagi oraz wyznaczenia BMI.

### Metodyka pomiarowa

Na podstawie analizy matematycznej badań TK dokonano pomiarów kanału kręgowego i kątów stawów międzykręgowych.

## BACKGROUND

The study of lumbar spine pathology requires adequate preparation and knowledge of the normal structure of this part of the spine. It was therefore essential to carry out a study of individuals with no history of spine-related complaints. This group could be treated as a reference point for the study of patients with lumbar stenosis and we came to the conclusion that an in-depth analysis of lumbar stenosis requires a control group.

The main goal of the study was to assess spinal canal morphology using computed tomography. The sagittal and interpedicular dimensions and surface area of the spinal canal were measured at the L3, L4 and L5 levels.

An additional goal was to assess the shape of the spinal canal and intervertebral joint angles at these levels.

## MATERIAL AND METHODS

The study group consisted of 42 patients admitted to the Orthopedic Department following severe injuries to the pelvic ring and transacetabular fractures. Apart from radiographs of the spine, pelvic and spinal CT scans of were always obtained in these patients. It was assumed that a CT scan of the lower lumbar spine could provide more data concerning any concomitant spinal injuries that were asymptomatic on clinical examination.

CT scanning did not reveal any concomitant injuries to the lumbar spine and the above group of 42 persons was qualified for further analyses. Study group characteristics are presented in Table 1.

Since the control group consisted of patients following pelvic injuries, it was impossible to measure their height and weight or calculate their BMI.

### Measurement method

Measurements of the spinal canal and intervertebral joint angles were obtained on the basis of a mathematical analysis of the CT scans.

Tab. 1. Charakterystyka badanej grupy

Tab. 1. Study group characteristics

	Płeć Sex	N	Średnia Mean	Odch Std Standard deviation	Min	Max
WIEK Age	K	8	24,8	7,91	18,0	37,0
	M	34	26,6	4,82	20,0	38,0
	Cała grupa Entire group	42	26,2	5,47	18,0	38,0

Pomiary wysokości (wymiar strzałkowy), szerokości (wymiar międzynaśadowy) i pola powierzchni kanału kręgowego oraz kątów nachylenia stawów międzykręgowych wykonywane były na poziomach L3, L4 i L5.

Uzasadnieniem tych badań na dolnych trzech poziomach był fakt, że tylko na tych poziomach wykonywano w przypadkach stenozы odciążenia struktur nerwowych. Pomiary kanału kręgowego przeprowadzono na dolnych trzech poziomach za pomocą cyfrowej konsoli do analizy cyfrowej obrazu Carestream Diagnostic Workstation v 10, VR Virtual Reading Software z opcją V3D Option (MIP, Volume Rendering, Tissue Definition) produkcji firmy Carestream Health. Dane wejściowe dostarczane były z tomografu komputerowego na płytach CD lub DVD jako pierwotne dane surowe zapisane w formacie DICOM 3.0. Następnie wczytywane były do bazy danych stacji roboczej przetwarzającej zgromadzone dane i pozwalającej na wykonywanie pomiarów.

Pomiary wysokości, szerokości i pola powierzchni kanału kręgowego wykonywano na przekrojach poprzecznych przeprowadzonych przez nasadę łuków w połowie wysokości trzonu kręgowego. Wybierano warstwę równoległą do blaszek trzonu kręgowego badanego kręgu. Obrazy były automatycznie skalowane zgodnie z współczynnikiem zapisanym w pliku DICOM w czasie badania TK. W związku z tym można było przyjąć, że otrzymane wyniki odpowiadają rzeczywistym wymiarom anatomicznym. Pomiary długości wykonywane były w [mm], pomiary pola powierzchni w [mm<sup>2</sup>], a kątów w [°]. Dokładności pomiarowe oferowane przez stację diagnostyczną kształtowały się na poziomie: pomiar odległości  $\pm 0,01$  mm; pomiary powierzchni  $\pm 0,01$  mm<sup>2</sup>; pomiary kątów  $\pm 0,01^\circ$ .

Mierzone kąty nachylenia stawów międzykręgowych wyznaczała linia przeprowadzona przez brzegi powierzchni stawowej wyrostka stawowego górnego z linią pośrodkową biegnącą przez kanał kręgowy i wyrostek kolczysty. Obliczano kąt lewy (L) i prawy (P) stawów międzykręgowych na poziomach L3, L4, L5.

## WYNIKI

Wysokość (wymiar strzałkowy), szerokość (wymiar międzynaśadowy) kanału i pole powierzchni kanału kręgowego na poziomach L3, L4 i L5 przedstawiono w Tabeli 2.

Sprawdzono, czy badane parametry mają cechy rozkładu normalnego. Testowania dokonano przy użyciu testu Kołmogorowa-Smirnowa. Wyniki testów przedstawione zostały w Tabeli 3.

Na poziomie L3 wartości parametrów nie miały rozkładu normalnego ( $p < 0,05$ ), natomiast na pozo-

Height (sagittal dimension), weight (interpedicular dimension), surface area of the spinal canal and intervertebral joint angles were measured at the L3, L4 and L5 levels

The rationale for studying the abovementioned three levels was that decompression of nervous system structures was performed only at these levels in patients with lumbar stenosis. Measurements of the spinal canal at L3, L4 and L5 were conducted using a special console for digital analysis (Carestream Diagnostic Workstation v 10, VR Virtual Reading Software with V3D Option: MIP, Volume Rendering, Tissue Definition) manufactured by Carestream Health. Tomographic input data were recorded on CDs or DVDs as primary raw data saved in the DICOM 3.0 format and loaded into the workstation database for processing the data and performing measurements.

Height, weight and surface area of the spinal canal were measured on transverse cuts through the vertebral pedicle in the middle of the vertebral body. The layer parallel to the vertebral body laminae of the examined vertebra was selected for the analyses. The images were automatically calibrated in accordance with a coefficient recorded in the DICOM file in the course of the CT scan. Hence, it could be assumed that the results reflected the actual anatomical dimensions. Length was measured in mm, spinal canal surface area in mm<sup>2</sup> and angles in °. The device had the following measurement accuracy:  $\pm 0.01$  mm for distance,  $\pm 0.01$  mm<sup>2</sup> for surface area, and  $\pm 0.01^\circ$  for angles.

The angles of intervertebral joint inclination were determined by a line drawn through the rims of the articular surface of the superior articular process and the median line going through the spinal canal and the spinous process.

Left (L) and right (R) angles of intervertebral joints were determined at L3, L4 and L5

## RESULTS

Height (sagittal dimension), width (interpedicular dimension) and the surface area of the spinal canal at L3, L4 and L5 are presented in Table 2.

A test of normality was performed for the examined parameters using the Kolmogorov-Smirnov test. The results are presented in Table 3.

At L3, the values of parameters did not demonstrate a normal distribution ( $p < 0.05$ ), while at the remaining two levels, a normal distribution of parameter values was observed ( $p > 0.05$ ).

Tab. 2. Wymiary kanału na poziomie L3, L4 i L5

Tab. 2. Spinal canal dimensions at L3, L4, and L5

Parametr Parameter	Płeć Sex	L 3		L 4		L 5	
		Średnia Mean	Odch. Std Standard deviation	Średnia Mean	Odch. Std Standard deviation	Średnia Mean	Odch. Std Standard deviation
Wysokość [mm] Height	K Female	15.99	0.700	16.95	0.600	17.81	1.600
	M Male	15.69	0.924	16.41	0.927	17.33	1.634
	Razem Total	15.75	0.886	16.85	0.870	17.77	1.619
Szerokość [mm] Width	K Female	23.45	1.631	27.37	1.217	34.75	3.272
	M Male	24.86	2.267	28.95	1.273	34.41	3.394
	Razem Total	24.76	2.173	28.65	1.397	34.57	3.332
Pole pow. [mm <sup>2</sup> ] Surface Area	K Female	277.9	34.66	295.9	11.16	375.5	23.32
	M Male	277.0	36.99	298.1	9.71	389.0	54.99
	Razem Total	277.2	36.15	297.7	9.90	386.5	50.55

Tab. 3. Wyniki testu rozkładu normalnego dla badanych parametrów na poziomie L3, L4 i L5

Tab. 3. Results of normality test for all parameters at L3, L4 and L5

Parametr Parameter	Poziom Level		
	L3	L4	L5
Wysokość [mm] Height	p < 0.05	p > 0.05	p > 0.05
Szerokość [mm] Width	p < 0.05	p > 0.05	p > 0.05
Pole pow. [mm <sup>2</sup> ] Surface Area	p < 0.05	p > 0.05	p > 0.05

Tab. 4. Kształt kanału na poziomie L3, L4, L5

Tab. 4. Shape of spinal canal at L3, L4, L5 levels

Płeć Sex	Typ kanału Spinal canal type	L3	L4	L5
K Female	A	8	8	0
	B	0	0	6
	C	0	0	2
M Male	A	34	30	0
	B	0	4	8
	C	0	0	26
Razem Total	A	42	38	0
	B	0	4	14
	C	0	0	28

stałych poziomach wartości badanych parametrów miały rozkład normalny ( $p > 0,05$ ).

Oceniano też kształt kanału kręgowego na poziomach L3, L4, L5.

The shape of the spinal canal was assessed at L3, L4 and L5.

Tab. 5. Wymiary kątów stawów międzykręgowych w grupie kontrolnej na badanych poziomach L3, L4, L5

Tab. 5. Intervertebral joint angles in control group at examined levels (L3, L4, L5)

Poziom Level	Parametr Parametr	Płeć Sex	Średnia Mean	Odch. Std Standard deviation
L3	Kąt lewy Left angle	K female	37.54	8.583
		M male	39.67	8.642
		Razem Total	39.27	8.568
	Kąt prawy Right angle	K female	37.34	9.571
		M Male	40.58	9.677
		Razem Total	39.96	9.627
L4	Kąt lewy Left Angle	K female	46.45	6.278
		M male	45.31	4.004
		Razem Total	45.53	4.454
	Kąt prawy Right angle	K female	47.41	3.980
		M male	46.06	4.379
		Razem Total	46.32	4.292
L5	Kąt lewy Left angle	K female	54.80	4.695
		M male	55.74	3.433
		Razem Total	55.56	3.659
	Kąt prawy Right angle	K female	55.67	3.137
		M male	56.84	3.696
		Razem Total	56.61	3.590

#### Analiza wymiarów kątów stawów międzykręgowych w grupie kontrolnej

W Tabeli 5 przedstawiono wartości wyznaczonych kątów stawów międzykręgowych dla grupy kontrolnej składającej się z 42 pacjentów.

Z badań wynika, że kąty stawów międzykręgowych były coraz większe na niższych poziomach. Nie obserwowano znaczących różnic w stawach międzykręgowych pomiędzy kątem prawym i lewym.

#### DYSKUSJA

Ustalenie norm dotyczących morfologii kanału kręgowego odcinka lędźwiowego kręgosłupa stanowi ważny i istotny punkt odniesienia w ocenie danych informujących o zaczynającej się patologii.

#### Analysis of intervertebral joint angles in the control group

Table 5 presents the values of intervertebral joint angles in the control group of 42 patients.

The results of the study show that intervertebral joint angles increased at progressively lower levels. No significant differences were found between the angles of right and left intervertebral joints.

#### DISCUSSION

This determination of reference ranges concerning the morphology of the lumbar section of the spinal canal constitutes a significant reference for the assessment of data signaling the onset of stenosis.

Eisenstein wykonał 2166 pomiarów kręgów lędźwiowych w 433 szkieletach ludzi rasy czarnej i kaukaskiej [1]. Eisenstein pomiary wykonywał za pomocą noniusza (suwmiarki), które następnie były weryfikowane z pomiarami przeprowadzonymi na zdjęciach rentgenowskich szkieletów. Różnica w tak wykonywanych pomiarach wynosiła 2 mm. Z badań tych wynikało, że dolna granica tzw. normy wynosiła 15 mm dla wymiaru strzałkowego, a dla wymiaru poprzecznego 20 mm. Wartości poniżej stwierdzono w 46 kręgosłupach, co stanowiło 6% całej badanej grupy.

Pomiary, które dokonaliśmy za pomocą cyfrowego TK miały dokładność 0,01 mm. Natomiast badania Eisensteina za pomocą noniusza były znacznie mniej dokładne, gdyż stopień dokładności wynosił 0,1 mm [1]. Oznaczenie pomiarowego punktu rentgenowskiego dla pomiaru strzałkowego było również kłopotliwe. Eisenstein oznaczał go za pomocą metalowego markera zakotwiczonego na skrzyżowaniu linii łączącej wyrostek stawowy górny z dolnym i linią prostopadłą przeprowadzoną przez połowę trzonu kręgowego. Wymiary strzałkowe w szkieletach były różne w porównaniu z przekrojem poprzecznym. Znalazło to odbicie w pracach Verbiesta, Schatzkera i Penala, Tanga i Papatheodorou oraz Domminisse [2,3,4,5]. Cytowani autorzy w ocenie wymiaru strzałkowego korzystali z badania mielograficznego. Bolender i Schonstrom zastosowali radiograficzne metody diagnostyczne TK i mielo-TK [6]. Wykonane przez nich wymiary kanału kręgowego i kanału opony twardej za pomocą mielo-TK zwiększyły dokładność diagnostyczną do 83%. Zastosowana przez nas zasada obróbki cyfrowej była równie dokładna, a przede wszystkim dodatkowo była metodą nieinwazyjną. W naszych badaniach wymiar strzałkowy 15 mm i międzynasadowy 25 mm szczególnie dla poziomu L4-L5 odpowiadał danym literaturowym i był zbliżony dla obu płci [7]. Natomiast współczynnik kanałowo-trzonowy zaproponowany przez Jonesa i Thompsona okazał się mało przydatny w praktyce pomiarowej [8].

Oryginalną, ale też czasochłonną metodę opracował Królewski [9]. Autor ten warstwowo skrawał kręgi L4-L5 od szczytu wyrostka stawowego górnego do obwodowego końca wyrostka stawowego dolnego. Każdą odsłoniętą warstwę fotografował. Metoda ta wykonana na 5 segmentach ruchowych L4-L5 była poszukiwaniami dotyczącymi odkształceń kanału kręgowego spowodowanymi dokanałowym wpułkaniem się części łuku.

Wprowadzenie TK do badań nad strukturą kostną kanału kręgowego zrewolucjonizowało badania morfologiczne kręgosłupa. Prace Ulricha i wielu innych były kolejnym postępem w ocenie dokładności kanału kręgowego i tkanek miękkich [10,11,12]. Szczyto-

Using a slide calliper, Eisenstein performed measurements of 2166 lumbar vertebrae in 433 skeletons of black and Caucasoid South Africans [1]. The measurements were subsequently verified against radiographic images of the skeleton. The difference between the measurements amounted to 2 mm. The study revealed that the lower limit of the so-called reference range was 15 mm for the sagittal dimension and 20 mm for the transverse dimension. Values below this range were recorded in 46 spines, or 6% of the study group.

The accuracy of digital CT measurements performed by the authors of this study was 0.01 mm. Eisenstein's measurements obtained with a sliding calliper were far less precise with an accuracy level of 0.1 mm [1]. Determination of the radiographic measurement point for the sagittal dimension was also problematic. Eisenstein used a metal marker anchored at the intersection of the line connecting the superior and the inferior articular processes and a perpendicular line going through the middle of the vertebral body. Sagittal dimensions of the skeletons differed from the ones recorded on the transverse cut, which was reflected in the works by Verbiest, Schatzker and Pennel, Tang and Papatheodorou, and Domminisse [2,3,4,5]. The abovementioned authors used myelography to examine the sagittal dimension. Bolender and Schonstrom, in turn, used the radiographic diagnostic techniques of CT and myelo-CT [6]. Their measurements of the spinal canal and the dural canal using myelo-CT scanning improved the diagnostic accuracy to 83%. Digital processing employed in our study offered similar accuracy without the necessity of using an invasive method. Our results did not differ from those described in literature and were similar for both sexes, with a sagittal dimension of 15 mm and an interpedicular dimension of 25 mm, especially with respect to L4 and L5 [7]. The Jones-Thomas index did not appear to be a practicable measurement tool [8].

An innovative, though time-consuming, method was developed by Królewski in an experimental study [9]. The author machine-cut L4 and L5 vertebrae in layers starting from the apex of the superior articular process to the peripheral end of the inferior articular process. Each newly exposed layer was photographed. The procedure, performed on 5 motor segments of L4-L5, was aimed at exploring deformities of the spinal canal caused by the herniation of a part of the vertebral arch into the spinal canal.

Introducing CT technology to studies of bone structure of the spinal canal revolutionized spine morphometry. Publications by Ulrich and a number of other authors constituted another advancement in the

wym osiągnięciem dotyczącym badań morfologii prawidłowego i patologicznego kanału kręgowego było wprowadzenie w 90. latach TK z zastosowaniem techniki cyfrowej [13]. Przedstawione w tych badaniach wyniki były efektem tych postępów. Ocena kształtu kanału kręgowego nie była przedmiotem zainteresowań w ostatnich latach ortopedów zajmujących się chorobami kręgosłupa [14,15,16].

W opracowaniu naszym oceniliśmy też kształt kanału kręgowego w odcinku lędźwiowym. Okazało się, że nie był on prostym ściętym stożkiem, ale był podobny do tuby rozszerzającej się na końcu. Zmiana kształtu kanału na poziomie L3 z owalnego na kształt trójkątny na poziomie L4 i kształtu liścia koniczyny na poziomie L5 była bardzo charakterystyczna. Aż w 42 przypadkach na 2 ostatnich poziomach stwierdzono ten obraz kanału kręgowego.

Eisenstein uważał, że kanał kręgowy podobny do liścia koniczyny na poziomie L5 to odmiana anatomiczna i rozwojowa, a nie stan patologiczny [17]. Malawski był zdania, że taka budowa sprzyja rozwojowi stenozji na tym poziomie [18].

Badania, które planujemy przedstawić u chorych z objawami stenozji pozwolą przybliżyć ten problem.

Przeprowadzone badania dotyczące wymiarów kątów stawów międzykręgowych wykazały, że występują niewielkie różnice katowe (powyżej 2°). Wartość kąta zwiększa się w kierunku obwodowym i jest największa na poziomie L5. Bardziej czołowe usytuowanie wyrostków stawowych ma wpływ na wymiar poprzeczny kanału kręgowego [19]. Natomiast różnice w stopniach pomiędzy kątem lewym i prawym, są zbyt małe i naszym zdaniem, nie upoważniają do stwierdzenia czy mogą one być przyczyną późniejszych zmian zwyrodnieniowych.

## WNIOSKI

1. Wymiar strzałkowy powyżej 15 mm i międzynasadowy powyżej 25 mm był charakterystyczny dla prawidłowego kanału kręgowego kręgosłupa lędźwiowego.
2. Pole powierzchni kanału kręgowego dla obu płci nie różniło się istotnie i dla poziomu L3 wynosiło 237 mm<sup>2</sup>, dla poziomu L4 298 mm<sup>2</sup>, dla L5 389 mm<sup>2</sup>.
3. Obraz kanału kręgowego na poziomie L4 i L5 miał charakterystyczny kształt trójkątny lub liścia koniczyny. Taki kształt był związany z czołowym położeniem wyrostków stawowych na tym poziomie.
4. Wartości katowe stawów międzykręgowych badanej grupy zwiększały się od L3 do L5. Nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy lewym i prawym stawem międzykręgowym oraz pomiędzy płcią.

accuracy of assessment of the spinal canal and the soft tissues [10,11,12]. The peak achievement concerning studies of normal and pathological morphology of the spinal canal consisted in the introduction of digital CT in the 1990s [13]. The results presented in those studies stemmed directly from technological progress. In the last few years, assessment of the shape of the spinal canal has not been a topic of interest to orthopedists specializing in spinal disorders [14,15,16]

In our study, we also assessed the shape of the lumbar section of the spinal canal. It was revealed that the shape was not that of a simple truncated cone but rather resembled a tube flared at the end. There was a very characteristic pattern of change in the canal shape from oval at L3 to triangular at L4 and trefoil at L5. As many as 42 patients demonstrated this pattern at the two lower levels.

According to Eisenstein, a trefoil shape of the spinal canal at L5 counts represents an anatomical variant rather than a pathology [17]. Malawski, in turn, believed that this configuration favors the development of stenosis at this level [18].

The study of stenotic patients we are intending to perform will enable a more in-depth analysis of this problem.

Measurements of intervertebral joint angles have revealed slight angular differences (over 2°). The angle tends to increase towards the periphery and reaches its peak value at L5. A more frontal location of the articular processes influences the transverse dimension of the spinal canal [19]. Angular differences between the left and right angles, though, are too slight and we believe that it cannot be stated with certainty whether they may underlie future degenerative changes.

## CONCLUSIONS

1. A sagittal dimension over 15 mm and an interpedicular dimension of more than 25 mm were characteristic of normal lumbar spinal canals.
2. The surface area of the spinal canal did not demonstrate significant differences between the sexes, amounting to 237 mm<sup>2</sup>, 298 mm<sup>2</sup> and 389 mm<sup>2</sup> at L3, L4 and L5, respectively.
3. The spinal canal at the L4-L5 level was of characteristic triangular or trefoil shape, which was related to the frontal location of the articular processes at this level.
4. Intervertebral joint angles in the study group increased from L3 to L5. No significant differences were found between the angles of right and left intervertebral joints, neither were there any sex-related differences.

Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego Komitetu Badań Naukowych nr 2 P05C 041 29 pt. „Ocena zmian w stawach międzykręgowych w obrazie TK 2D, TK 3D jako przyczyny stenozy lędźwiowej oraz odległe wyniki różnych sposobów operacyjnego leczenia stenozy”, który uzyskał pozytywną opinię Komisji Biotycznej C. M. K. P. w dniu 1.12.2005 r.

This study was carried out within Committee for Scientific Research Project No. 2 P05C 041 29, entitled "Assessment of changes in the intervertebral joints on 2D CT and 3D CT images as the cause of lumbar stenosis and long-term outcomes of different surgical approaches to the treatment of stenosis", which was approved by the Ethical Review Board of the Centre for Post-Graduate Medical Education on 1 Dec 2005.

## PIŚMIENNICTWO / REFERENCES

- Eisenstein S. The morphometry and pathological anatomy of the lumbar spine in South African negroes and caucasoids with specific reference to spinal stenosis. *J. Bone Joint Surg Br*, 1977;59-B(2):173-180
- Verbiest H. A radicular syndrome from developmental narrowing of the lumbar vertebral canal. *J Bone Joint Surg* 1954;36(B): 230-237
- Schatzker J, Pennel GF. Spinal stenosis a cause of cauda equina compression. *J Bone Joint Surg* 1968;50(B):606-618
- Tanga P, Papatheodorou C. Myelographic findings in spondylosis of the lumbar spine. *British J of Radiology* 1973;36:122-128
- Domminisse G. Morphological aspects of the lumbar spine and lumbosacral region. *Orthop Clin Am* 1975;6:163-175
- Bolender NF, Schonstrom M, Sprengel DM. Role of computed tomography and myelography in the diagnosis of central spinal stenosis. *J Bone Joint Surg* 1985;67(A):240-246
- Epstein JA, Epstein BS, Lavine L. Nerve root compression associated with narrowing of the lumbar spinal canal. *J. Of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* NS 1962;25:165-176
- Jones R.A.C., Thompson I.L.G.: The narrow lumbar canal. *J. Bone Joint Surg.*, 1968;50(B):595-605
- Królewski J. Patomechanizm odkształceń i narastania ciasnoty kanału kręgowego i międzykręgowego w dolnym odcinku kręgosłupa na tle przeciążeniowo-zwyrodnieniowym na tle badań doświadczalnych, obserwacji klinicznych i radiologicznych (praca habilitacyjna 1984)
- Ulrich CG, Binet EF, Sanecki MG, Kieffer SA. Quantitative assessment of the lumbar spine canal by computed tomography. *Radiology* 1980;134:137-143
- Hammerschlag SB, Wolpert SM, Carter BM. Computed tomography of the spinal canal. *Radiology* 1976;121:366-367
- Koehler PR, Anderson RE, Baxter B. The effect of computed tomography viewer controls on anatomical measurements. *Radiology* 1979;130:189-194
- Zheng F, Farmer JC, Sandhu HS, O'Leary PF. A novel method for the quantitative evaluation of lumbar spinal stenosis. *HHS J* 2006;2:136-140
- Alfonso M, Palacio P, Bastarrika G, Villas C. Does the shape of the L5 vertebral body depend on the height of CT slices in the pedicle? Evaluation of the shape of the L5 vertebral body with a multicut CT scan. *Spine* 2008;33(1):1-5
- SantiagoFR, Milena GL, Herrera RO, Romero PG. Morphometry of the lower lumbar vertebrae in patients with and without low back pain. *European Spine Journal* 2001;10(3):228-233
- Papp T, Porter RW, Aspden RM. Trefoil configuration and developmental stenosis of the lumbar vertebral canal. *J Bone Joint Surg Br* 1995;77(3):469-472
- Eisenstein S. The trefoil configuration of the lumbar vertebral canal. A study of South African skeletal material. *J Bone Joint Surg Br* 1980;62-B(1):73-77
- Malawski S. Ciasnota kanału kręgosłupa lędźwiowego. *Chir. Narz. Ruchu i Ortop. Pol.* 1977;42:517-521
- Van Schaik JPJ, Verbiest H, Van Schaik FDJ. The orientation of laminae and facet joints in the lower lumbar spine. *Spine* 1985;10:59-63.

Liczba słów/Word count: 4103

Tabele/Tables: 5

Ryciny/Figures: 0

Piśmiennictwo/References: 19

Adres do korespondencji / Address for correspondence

Prof. dr hab. med. Kazimierz Rapala

Samodzielny Publiczny Szpital Kliniczny im. prof. A. Grucy

05-400 Otwock, ul. Konarskiego 13

Otrzymano / Received

14.12.2008 r.

Zaakceptowano / Accepted

26.02.2009 r.

