

©Borgis

\*Ewa Szczepek<sup>1,2</sup>, Beata Sokołowska<sup>3</sup>, Leszek Czerwosz<sup>4</sup>, Marta Hallay-Suszek<sup>5</sup>, Krzysztof Nowiński<sup>5</sup>, Zbigniew Czernicki<sup>1,2</sup>, Jerzy Jurkiewicz<sup>1</sup>

## Analiza statystyczna parametrów wolumetrycznych z wykorzystaniem platformy VisNow u pacjentów z wodogłowie normotensyjnym i zanikiem mózgu metodą *k* najbliższych sąsiadów

Statistical analysis of volumetric parameters using *k* nearest neighbors method and the VisNow software package in patients with normal pressure hydrocephalus and brain atrophy

<sup>1</sup>Klinika Neurochirurgii, II Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
Kierownik Kliniki: prof. dr hab. med. Waldemar Koszewski

<sup>2</sup>Zespół Kliniczno-Badawczy Neurochirurgii, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej, Polska Akademia Nauk, Warszawa  
Kierownik Zespołu: dr hab. Ewa Koźniewska-Kołodziejka, prof. IMDiK

<sup>3</sup>Pracownia Bioinformatyki, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej, Polska Akademia Nauk, Warszawa  
Kierownik Pracowni: prof. dr hab. Bogdan Lesyng

<sup>4</sup>Pracownia Fizjologii Oddychania, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej, Polska Akademia Nauk, Warszawa  
Kierownik Pracowni: dr hab. med. Katarzyna Kaczyńska

<sup>5</sup>Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego, Uniwersytet Warszawski  
Kierownik Centrum: prof. dr hab. Marek Niezgodka

### Słowa kluczowe

wodogłowie, zanik mózgu, ocena wolumetryczna

### Key words

hydrocephalus, brain atrophy, volumetric assessment

### Adres/address:

\*Ewa Szczepek  
Klinika Neurochirurgii  
II Wydział Lekarski WUM  
ul. Ceglowska 80, 01-809 Warszawa  
tel. +48 (22) 835-00-05  
fax +48 (22) 865-60-57  
e\_szczepek@op.pl

### Streszczenie

**Wstęp.** Diagnostyka różnicowa wodogłowie normotensyjnego od procesów zanikowych mózgu pomimo różnorodności metod wciąż sprawia problemy kliniczne. Rozwój technologiczny i wprowadzenie do praktyki klinicznej zaawansowanego oprogramowania do obróbki danych umożliwia precyzyjne pomiary wolumetryczne poszczególnych struktur mózgowia.

**Cel pracy.** Celem niniejszego opracowania jest analiza statystyczna wewnątrzczaszkowych parametrów wolumetrycznych uzyskanych z wykorzystaniem oprogramowania VisNow u pacjentów z rozpoznaniem wodogłowie normotensyjnego i zaniku mózgu metodą *k* najbliższych sąsiadów (*k*-NS).

**Materiał i metody.** Badaniu poddano ogółem 50 pacjentów: u 27 chorych rozpoznano zanik mózgu (grupa 1, klasa I, oznaczona symbolem BA), pozostałych 23 chorych zakwalifikowano do grupy wodogłowie normotensyjnego (grupa 2, klasa II, oznaczona symbolem NPH). W grupach badanych pacjentów dokonano pomiarów wolumetrycznych TK głowy z wykorzystaniem platformy VisNow. Zastosowano system klasyfikacji oparty na standardowej regule *k* najbliższych sąsiadów (*k*-NS) dla rozpoznawania klas statystycznych ze względu na analizowane cechy statystyczne (parametry wolumetryczne: objętość podpajęczynówkowa i zbiorników podstawy (VPP), objętość układu komorowego (VK), objętość mózgu (VTM), objętość wewnątrzczaszkowa płynu mózgowo-rdzeniowego (VPMR) i objętość wewnątrzczaszkowa całkowita (VC)). Jakość klasyfikacji oceniano na podstawie błędu mylnej klasyfikacji (E).

**Wyniki.** Cecha 1 (VPP – objętość przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników podstawy) i cecha 3 (VTM – objętość mózgu) pozwoliły na bezbłędne różnicowanie pomiędzy klasami NPH a BA w TK.

**Wnioski.** Analiza statystyczna parametrów wolumetrycznych wewnątrzczaszkowych ilustruje przydatność i skuteczność komputerowego wsparcia dla dotychczas stosowanych metod w diagnostyce różnicowej zaniku mózgu i wodogłowie normotensyjnego.

### Summary

**Introduction.** The differential diagnosis of normal pressure hydrocephalus brain atrophy processes despite the variety of methods still makes clinical problems. Technological

development and introduction into clinical practice of advanced data processing software enables accurate volumetric measurements of individual brain structures.

**Aim.** The purpose of this study is to analyze the statistical intracranial volumetric parameters obtained from the use of software VisNow patients with a diagnosis of normal pressure hydrocephalus and brain atrophy by  $k$  nearest neighbor ( $k$ -NN).

**Material and methods.** The study involved a total of 50 patients: 27 patients diagnosed with brain atrophy (group 1, class I, marked with BA), the remaining 23 patients were classified as normal pressure hydrocephalus group (group 2, class II, marked with NPH). In all three groups of patients were measured volumetric CT of the head using VisNow platform. Used classification system based on the standard rule  $k$  nearest neighbors ( $k$ -NN) for recognition statistical classes due to the analyzed statistical characteristics (volumetric parameters: volume of subarachnoid space and basal cisterns (VPP), the volume of intracranial ventricular system (VK), the volume of the brain tissue (VTM), the volume of intracranial cerebrospinal fluid (VPMR) and the total intracranial volume (VC)). Quality was assessed on the basis of the classification of erroneous classification error (Er).

**Results.** Feature 1 (VPP – spatial volume of subarachnoid and tank base) and feature 3 (VTM – brain volume) allowed us to differentiate between classes flawless NPH and Bain CT scan.

**Conclusions.** Statistical analysis of intracranial volumetric parameters illustrates the usefulness and effectiveness of computer support for the previously used methods in differential diagnosis of brain atrophy and normal pressure hydrocephalus.

## WSTĘP

Diagnostyka różnicowa wodogłowia normotensyjnego od procesów zanikowych mózgu pomimo różnorodności metod wciąż sprawia problemy kliniczne. Najwyższym procentem właściwych rozpoznań charakteryzuje się metoda diagnostyczna określana jako test infuzyjny (1, 2). Uważa się, iż uzyskane w czasie tego badania parametry (opór resorpcji, elastancja czy ciśnienie optymalne) interpretowane w połączeniu z oceną neuropsychologiczną (3) oraz wynikami badań obrazowych mózgu (4) pozwalają na ustalenie właściwego rozpoznania z najwyższą dokładnością statystyczną. Wadą tej metody jest jednak jej inwazyjność i możliwość wystąpienia powikłań. To sprawiło, iż trwają poszukiwania metody nieinwazyjnej o porównywalnym stopniu dokładności diagnostycznej. Spośród wielu wymienić należy: somatosensoryczne potencjały wywołane, morfometryczną ocenę obrazów TK czy badanie posturograficzne. Wśród nich na szczególną uwagę zasługuje ocena wolumetryczna obrazów TK z wykorzystaniem platformy VisNow oceniająca stosunek poszczególnych wewnątrzczaszkowych składników objętościowych.

Wyniki analiz wolumetrycznych z wykorzystaniem oprogramowania VisNow to doniesienia obejmujące prace Boruckiego i wsp. oraz Kapińskiego i wsp. (5-7). Należy jednak zauważyć, iż w dostępnej literaturze niewiele jest opracowań omawiających zmiany objętości PMR w przedziałach płynowych uzyskane metodą oceny wolumetrycznej w wodogłowiu normotensyjnym i zaniku mózgu (8-10).

Z wcześniejszych opracowań przedstawionych przez autorów niniejszej pracy (11, 12) wynika, iż jest to metoda, która w bardzo dobry sposób różnicuje omawiane zespoły patologiczne. Analiz statystycznych dokonano wykorzystując  $t$ -test, sparowany dla zmiennych zależnych. Zarówno w grupie chorych z wodogłowiem, jak i w zaniku mózgu wartości średnie objętości PMR w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach

podstawy, w wewnątrzczaszkowym układzie komorowym i objętość mózgu różnią się istotnie statystycznie.

## CEL PRACY

Celem niniejszego opracowania jest próba oceny wewnątrzczaszkowych parametrów wolumetrycznych u pacjentów z rozpoznaniem wodogłowia normotensyjnego i zaniku mózgu metodą analizy statystycznej opartej na standardowej regule  $k$  najbliższych sąsiadów ( $k$ -NS) (13) dla polepszenia znamienności statystycznej wyników.

## MATERIAŁ I METODY

Badaniu poddano ogółem 50 pacjentów: u 27 chorych rozpoznano zanik mózgu (grupa 1, klasa I, oznaczona symbolem BA – ang. *brain atrophy*), pozostałych 23 chorych zakwalifikowano do grupy wodogłowia normotensyjnego (grupa 2, klasa II, oznaczona symbolem NPH – ang. *normal pressure hydrocephalus*). W systemach rozpoznawania obrazów używane jest pojęcie klasy obiektów, która wyznacza wybraną grupę. Obiekty klasy omawiają pacjentów obserwowanych jako zestaw cech (tj. wektor). W grupach badanych pacjentów dokonano pomiarów wolumetrycznych TK głowy z wykorzystaniem platformy VisNow. Wyznaczono i poddano analizie następujące parametry wolumetryczne: objętość podpajęczynówkowa i zbiorników podstawy (VPP, cecha 1), objętość układu komorowego (VK, cecha 2), objętość tkanki mózgowej (VTM, cecha 3), objętość wewnątrzczaszkową płynu mózgowo-rdzeniowego (VPMR, cecha 4) i objętość wewnątrzczaszkową całkowitą (VC, cecha 5). Należy zwrócić uwagę, iż trzy pierwsze cechy: VPP, VK i VTM zostały wyznaczone z wykorzystaniem oprogramowania VisNow, poprzez półautomatyczne wyznaczenie objętości płynu mózgowo-rdzeniowego PMR oraz objętości mózgu. Cecha 4 (VPMR) jest sumą cechy 1 i 2 ( $VPMR = VPP + VK$ ), zaś cecha 5 (VC) jest sumą wszystkich analizowanych cech ( $VC = VPMR + VTM$ ).

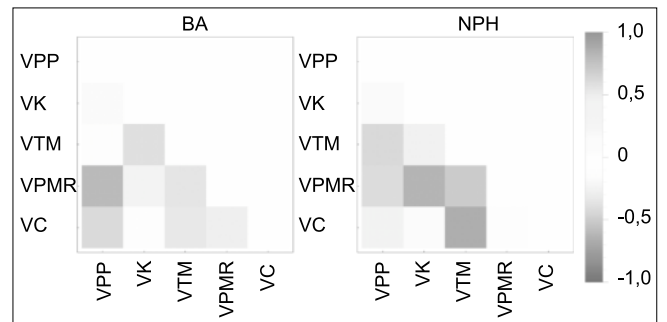
Badania przeprowadzono z zasadami Deklaracji Helsińskiej po uzyskaniu uprzednio zgody Komisji Bioetycznej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.

Dane przedstawiono jako wartości średnie z odchyleniem standardowym (SD), podano także medianę ocenianych parametrów wolumetrycznych (cech) oraz zakres (minimum i maksimum) tych wartości. Istotność statystyczną obserwowanych różnic pomiędzy grupami pacjentów NPH i BA oceniano nieparametrycznym testem Manna-Whitneya (14). Korelacje pomiędzy parametrami w każdej grupie pacjentów obliczono jako współczynniki korelacji rang Spearmana ( $\rho$ ) (14). Analizy statystyczne przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu statystycznego Statistica w wersji 9.0. Zastosowano system klasyfikacji oparty na standardowej regule  $k$  najbliższych sąsiadów ( $k$ -NS) (13) dla rozpoznawania klas statystycznych (grup pacjentów: NPH i BA) ze względu na analizowane cechy statystyczne (parametry wolumetryczne: VPP, VK, VTM, VPMR i VC). Jakość klasyfikacji oceniano na podstawie błędu mylnej klasyfikacji ( $E_r$ ), który szacowano metodą minus jednego elementu (15). Błąd  $E_r$  obliczano jako prawdopodobieństwo mylnej klasyfikacji, czyli jako iloraz  $E_r = r/m$ , gdzie  $r$  jest liczbą mylnie sklasyfikowanych pacjentów, a  $m$  jest ogólną liczbą pacjentów (tj. obiektów w tzw. zbiorze referencyjnym). Niższa wartość  $E_r$  oznacza poprawniejsze rozpoznanie klas na podstawie cech. Obliczono także macierze przekłamań pomiędzy klasami. Poziom istotności statystycznej przyjęto dla  $p \leq 0,05$ .

## WYNIKI

Grupy pacjentów z rozpoznaniem zanikiem mózgu (BA) i wodogłowiem normotensyjnym (NPH) różnią się istotnie statystycznie ( $p < 0,001$ ) ze względu na każdy z analizowanych parametrów wolumetrycznych (tab. 1). W grupie pacjentów z zanikiem mózgu (BA) obserwowano większą w porównaniu do grupy chorych z wodogłowiem (NPH) wartość średnią (i medianę) parametrów VPP i VPMR. Wartości średnie (i mediany) pozostałych parametrów są istotnie niższe w grupie BA w porównaniu z NPH.

Korelacje pomiędzy analizowanymi parametrami ilustruje rycina 1. Różnią się one w obu badanych grupach pacjentów. Obserwowano istotnie ujemne korelacje VTM z VPP ( $\rho_{NPH} = -0,44$ ;  $p = 0,036$  w NPH), VTM z VK ( $\rho_{BA} = -0,40$ ;  $p = 0,040$  w BA) oraz VTM z VPMR ( $\rho_{NPH} = -0,51$ ;  $p = 0,012$ ). Znaczące dodatnie korelacje wystąpiły pomiędzy VPMR z VPP ( $\rho_{BA} = 0,81$ ;  $p = 0,001$  i  $\rho_{NPH} = 0,61$ ;  $p = 0,002$ ), VPMR z VK ( $\rho_{BA} = 0,37$ ;  $p = 0,05$  i  $\rho_{NPH} = 0,84$ ;  $p < 0,001$ ) oraz VPMR z VC ( $\rho_{BA} = 0,50$ ;  $p = 0,004$ ).



**Ryc. 1.** Macierze korelacji pomiędzy parametrami wolumetrycznymi w grupie pacjentów z zanikiem mózgu (BA) i wodogłowiem normotensyjnym (NPH). Przyjęto kolorystyczną skalę korelacji: od koloru najciemniejszego – silna korelacja, do koloru białego – brak korelacji. Ze względu na symetrię korelacji wypełniono tylko dolną część macierzy.

Tabela 2 prezentuje wyniki analizy z zastosowaniem klasyfikacji opartej na standardowej regule  $k$  najbliższych sąsiadów ( $k$ -NS) dla każdej z analizowanych cech (parametrów wolumetrycznych zgodnie z tabelą 1). Podano błąd mylnej klasyfikacji ( $E_r$ ) dla różnicowania klas I i II (tj. grupy chorych z BA i NPH) ze względu na te cechy. W tabeli 3 przedstawiono macierze przekłamań pomiędzy klasami, w których podano liczby pacjentów z klinicznie rozpoznaną patologią (w kolumnie 2) zaklasyfikowanych do klasy I bądź II na podstawie każdej z cech (kolumny 3 i 4). Z liczb w macierzach przekłamań (tab. 3) obliczono błędy mylnej klasyfikacji (tab. 2).

**Tabela 1.** Wartości analizowanych parametrów w grupie pacjentów z zanikiem mózgu i pacjentów z wodogłowiem normotensyjnym.

Parametry wolumetryczne (cechy)	Parametry statystyczne	Zanik mózgu (BA), n = 27 (grupa 1, klasa I)	Wodogłowiem (NPH), n = 23 (grupa 2, klasa II)	p
VPP [cm <sup>3</sup> ] (cecha 1)	Średnia ± SD Mediana Zakres	140 ± 22 137 102-188	53 ± 7 50 43-75	< 0,0001
VK [cm <sup>3</sup> ] (cecha 2)	Średnia ± SD Mediana Zakres	111 ± 14 109 91-142	174 ± 15 179 134-194	< 0,0001
VTM [cm <sup>3</sup> ] (cecha 3)	Średnia ± SD Mediana Zakres	1130 ± 30 1134 1066-1184	1259 ± 39 1267 1190-1310	< 0,0001
VPMR [cm <sup>3</sup> ] (cecha 4)	Średnia ± SD Mediana Zakres	251 ± 24 253 196-286	227 ± 17 232 179-247	< 0,0007
VC [cm <sup>3</sup> ] (cecha 5)	Średnia ± SD Mediana Zakres	1381 ± 32 1391 1293-1430	1486 ± 36 1495 1407-1539	< 0,0001

**Tabela 2.** Wyniki analizy z klasyfikatorem  $k$ -NS dla różnicowania klas BA i NPH.

Cechy	Błąd mylnej klasyfikacji ( $E_r$ )
Cecha 1 (VPP)	0,000
Cecha 2 (VK)	0,020
Cecha 3 (VTM)	0,000
Cecha 4 (VPMR)	0,220
Cecha 5 (VC)	0,040

Jak wynika z tabeli 2, cechy 1 (VPP) i 3 (VTM) pozwalają na bezbłędne różnicowanie pacjentów z BA i NPH ( $E_r = 0,00$ ), zaś pozostałe cechy (2 – VK, 4 – VPMR i 5 – VC) obciążone są już pewnym błędem  $E_r$ , a wśród nich cecha 4 najostre różnicuje obie klasy ( $E_r = 0,22$ ). Tabela 3 wskazuje, iż klasyfikator  $k$ -NS na podstawie cechy 2 (VK), jak i cechy 5 (VC) bezbłędnie rozpoznał i przypisał właściwą klasę pacjentom z BA, zaś tylko jeden pacjent z NPH (wg cechy 2) i dwóch pacjentów z NPH (wg cechy 5) zostało błędnie zaklasyfikowanych jako BA. Cecha 4 (VPMR) pozwala na bezbłędne przypisanie pacjentów z NPH do właściwej im klasy, natomiast 41% (11/27) pacjentów z BA zostało sklasyfikowanych błędnie jako NPH. Podsumowując: tylko cechy 1 (VPP) i 3 (VTM) pozwalają na bezbłędne różnicowanie między klasami NPH a BA.

**Tabela 3.** Rozkład liczebności w macierzach przekłamań pomiędzy klasami.

Cechy	Klasa rzeczywista (wg kryteriów klinicznych)	Klasa przypisana przez klasyfikator (liczba przypadków)	
		Klasa I (BA)	Klasa II (NPH)
Cecha 1 (VPP)	Klasa I	27	0
	Klasa II	0	23
Cecha 2 (VK)	Klasa I	27	0
	Klasa II	1	22
Cecha 3 (VTM)	Klasa I	27	0
	Klasa II	0	23
Cecha 4 (VPMR)	Klasa I	16	11
	Klasa II	0	23
Cecha 5 (VC)	Klasa I	27	0
	Klasa II	2	21

## DYSKUSJA

Półautomatyczna, interaktywna analiza danych obrazowych poprzez opracowanie algorytmów matematycznych wbudowanych do oprogramowania VisNow pozwoliła na przestrzenną i przekrojową wizualizację wybranych struktur wewnątrzczaszkowych OUN. Ilościowa ocena strukturalna i pomiary objętości wolumetrycznych ustaliły wyniki pojedynczych analiz zestawu trzech cech: VPP, VK i VTM.

W niniejszej pracy zarówno w grupie pacjentów zakwalifikowanych jako wodogłowie (NPH), jak i w grupie zaniku mózgu (BA) dochodziło do zmian w zakresie rozmieszczenia objętości PMR i objętości mózgu w wewnątrzczaszkowych przedziałach OUN. Wykorzystanie zaawansowanej analizy statystycznej  $k$  najbliższych są-

siadów ( $k$ -NS) miało za zadanie rozdzielić badane grupy chorych (NPH i BA) według ustalonych kryteriów, które uznajemy za wewnętrzną sprawę danego analizatora. Wykorzystane w pracy niestandardowe analizatory statystyczne pozwoliły na wyselekcjonowanie charakterystycznych wskaźników – cech różnicujących klasy w największym stopniu. Zaobserwowano, iż cecha 1 (VPP – objętość PMR w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy) w grupie BA układała się na wyraźnie wyższym poziomie niż w grupie NPH. Cecha 3 (VTM – objętość mózgu) w badaniach wolumetrycznych była zauważalnie niższa w grupie BA niż u chorych z NPH. Ten wynik tłumaczyć można tym, iż w grupie BA wraz z wiekiem i postępującym zanikiem szlaków nerwowych dochodzi do ubytku tkanki nerwowej. Ubytek komórek mózgowych powiązany ze zmniejszaniem się liczby włókien istoty białej prowadzi do redukcji objętości mózgu. W efekcie tego u chorych z rozpoznaniem zanikiem mózgu obserwujemy zwiększoną objętość PMR zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i w zbiornikach podstawy w analizowanych obrazach TK. Podsumowując, z wyodrębnionych w niniejszej pracy i poddanych analizie cech, jedynie cecha 1 (VPP – objętość przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników podstawy) i cecha 3 (VTM – objętość mózgu) pozwoliły na bezbłędne różnicowanie pomiędzy klasami NPH a BA w ocenianych badaniach obrazowych.

Nasze dotychczasowe badania potwierdzają przydatność zastosowania algorytmów pomiarów wolumetrycznych w praktyce klinicznej (11, 12) jako nieinwazyjnej metody różnicowania zaburzeń neurodegeneracyjnych o charakterze otępiennym od wodogłowie normotensyjnego. Przedstawiono rozkład objętości PMR w wewnątrzczaszkowych przedziałach płynowych w wodogłowie i zaniku mózgu, wyznaczając rzeczywistą, bezwzględną wartość voxelu.

Podsumowując, przedstawione w niniejszej pracy wyniki analiz statystycznych wewnątrzczaszkowych parametrów wolumetrycznych ilustrują przydatność komputerowego wsparcia dla dotychczas stosowanych metod nieinwazyjnych w diagnostyce różnicowej wodogłowie normotensyjnego i zaniku mózgu.

## WNIOSKI

1. W badaniach TK bezbłędne różnicowanie pomiędzy grupami NPH i BA wykazują: cecha 1 (objętość przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników podstawy) oraz cecha 3 (objętość mózgu).
2. Wyniki analiz statystycznych opartych na regule  $k$  najbliższych sąsiadów ( $k$ -NS) parametrów wolumetrycznych wskazują na ich przydatność w diagnostyce różnicowej wewnątrzczaszkowych procesów patologicznych.

## PODZIĘKOWANIA

Autorzy dziękują Prof. dr hab. Adamowi Józwickowi z Instytutu Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej

PAN w Warszawie za możliwość wykorzystania interakcyjnego programu klasyfikacji opartej na standardowej regule  $k$  najbliższych sąsiadów w wersji z optymalną liczbą sąsiadów. Badania częściowo zostały zrealizo-

wane i sfinansowane w projekcie Biocentrum-Ochota nr POIG.02.03.00-00-003/09: „Infrastruktura informatyczna dla rozwoju strategicznych kierunków biologii i medycyny”.

## PIŚMIENNICTWO

1. Czernicki Z, Jurkiewicz J: Zaburzenia wewnątrzczaszkowych stosunków objętościowo-ciśnieniowych. *Neurol Neurochir Pol* 1991; 25(5): 671-677.
2. Juniewicz H, Kasprzowicz M, Czosnyka M et al.: Analysis of intracranial pressure during and after the infusion test in patients with communicating hydrocephalus. *Physiol Meas* 2005; 26(6): 1039-1048.
3. Marszałek P, Jurkiewicz J, Fersten E et al.: Wieloetapowa metoda rozpoznawania wodogłowia niskociśnieniowego. *Neurol Neurochir Pol* 1997; 31(3): 527-539.
4. Czernicki Z, Walecki J, Jurkiewicz J et al.: Intracranial volume reserve determination using CT images, numerical analysis and lumbar infusion tests. An experimental study. *Acta Neurochir* 1992; 115(1-2): 43-46.
5. Borucki B, Nowiński K, Adamczyk P et al.: Automated geometric features evaluation method for normal foot skeleton model. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2011; 1: 110-111.
6. Borucki B, Nowiński K, Adamczyk P et al.: Automatic classification of hallux valgus deformations with the use of automatic evaluation of geometric descriptors. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2012; 1: 196-198.
7. Kapiński N, Borucki B, Nowiński K: Error assessment and minimization in 4D motion tracking for functional orthopaedics diagnostics. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2013; 8(1): 157-159.
8. Ambarki K, Wahlin A, Birgander R et al.: MR imaging of brain volumes: evaluation of a fully automatic software. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011; 32(2): 408-412.
9. Hodel J, Besson P, Rahmouni A et al.: 3D mapping of cerebrospinal fluid local volume changes in patients with hydrocephalus treated by surgery: preliminary study. *Eur Radiol* 2014; 24(1): 136-142.
10. Tsunoda A, Mitsuoka H, Bandai H et al.: Intracranial cerebrospinal fluid measurement studies in suspected idiopathic normal pressure hydrocephalus, secondary normal pressure hydrocephalus, and brain atrophy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2002; 73: 552-555.
11. Szczepek E, Czerwos L, Nowiński K et al.: Evaluation of Volumetric Changes in Differential Diagnosis of Brain Atrophy and Active Hydrocephalus. *Adv Exp Med Biol* 2015; 840: 59-67.
12. Szczepek E, Czerwos L, Nowiński K et al.: Ocena parametrów wolumetrycznych wewnątrzczaszkowych stosunków objętościowych w zaniku mózgu. *Nowa Medycyna* 2014; 3: 113-117.
13. Jóźwik A: Pattern recognition metod based on  $k$  nearest neighbor rule. *J Commun* 1994; 45: 27-29.
14. Siegel S: Nonparametric statistics for the behavioral sciences. US: McGraw-Hill; New York 1956: 312.
15. Devijver PA, Kittler J: Pattern recognition: A statistical approach. Englewood Cliffs, NJ: Prentice/Hall International, London 1982.

otrzymano/received: 10.06.2015  
zaakceptowano/accepted: 25.06.2015