

Ocena parametrów wolumetrycznych wewnątrzczaszkowych stosunków objętościowych w zaniku mózgu

*Ewa Szczepek^{1,2,4}, Leszek Czerwosz^{3,4}, Krzysztof Nowiński⁵, Zbigniew Czernicki^{1,2}

¹Klinika Neurochirurgii, II Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny

Kierownik Kliniki: prof. dr hab. Zbigniew Czernicki

²Zespół Kliniczno-Badawczy Neurochirurgii, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN, Warszawa

Kierownik Zespołu: dr hab. Ewa Koźniewska-Kołodziejska

³Zakład Neurobiologii Oddychania, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN, Warszawa

Kierownik Zakładu: prof. dr hab. Mieczysław Pokorski

⁴Pracownia Bioinformatyki, Instytut Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN, Warszawa

Kierownik Pracowni: prof. dr hab. Bogdan Lesyng

⁵Interdyscyplinarne Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego, Uniwersytet Warszawski

Dyrektor Interdyscyplinarnego Centrum: prof. dr hab. Marek Niezgódka

THE ASSESSMENT OF INTRACRANIAL VOLUMETRIC RELATIONS IN THE BRAIN ATROPHY

S u m m a r y

Introduction. Currently used methods of radiological imaging and computerized functional tests do not fully address the problem of diagnosis and treatment of the brain atrophy. Brain atrophy affects elderly patients. A typical symptom of aging is diffuse cortical and subcortical atrophy resulting from progressive loss of physiological of nerve cells. Cerebral atrophy coexists of ten with a significant enlargement of the ventricular system.

Aim. The aim of the study was to evaluate the usefulness of intracranial volumetric parameters for the diagnosis and monitoring processes of developing dementia.

Material and methods. The CT images were assessed and the CSF volumes of intracranial subarachnoid space, skull base casters, and ventricular system were calculated in the group of 26 brain atrophy patients. The volumetric measurements has been performed by means of the VisNow proprietary software.

Results. In the group of brain atrophy patients the average volume of CSF contained in subarachnoid and skull base casters significantly differs from the volume contained in the ventricular system ($p < 0.01$). The volume of intra cranial CSF in atrophy patients differs from the norm.

Conclusions. Implementation of the VisNow volumetric assessment method in clinical practice indicate that it may been extremely useful tool in the differential diagnosis of selected pathological conditions of the CNS. The method seems to be promising for monitoring in of the progression of dementia process and evaluate the results of the treatment.

Key words: brain atrophy, volumetric assessment, volume

WSTĘP

Dostępne obecnie metody obrazowania radiologicznego i skomputeryzowanych testów czynnościowych nie rozwiązują w pełni problemu diagnostyki i leczenia zaniku mózgu. Zanik mózgu jest cechą wspólną wielu chorób otępiennych. Morfologicznym podłożem zespołów otępiennych, niezależnie od ich etiologii i obrazu klinicznego, jest postępujący ubytek komórek nerwowych OUN (1). Definicja Amerykańskiego Towarzystwa Psychiatrycznego DSM-IV określa otępienie jako upośledzenie pamięci zarówno krótkoterminowej (brak możliwości zapamiętania nowych informacji), jak i długoterminowej (upośledze-

nie odtwarzania wiedzy posiadanej wcześniej), któremu towarzyszy co najmniej jeden z poniższych objawów: afazja (zaburzenia mowy), agnozja (niezdolność do rozpoznawania przedmiotów), zaburzenie funkcji wykonawczych (niezdolność do planowania czy organizacji czynności) (2). Objawy kliniczne zależą od lokalizacji, a nie od etiologii. Wyróżnia się zatem otępienia korowe, podkorowe i mieszane (3). Przykładem otępienia podkorowego może być otępienie naczyniopochodne oraz otępienie w przebiegu chorób układu pozapiramidowego. W odróżnieniu od otępień korowych, gdzie dominującym elementem obrazu klinicznego są zaburzenia pamięci,

mowy, gnozi (rozpoznawania znaczenia) i praksi (ruchów celowych), w otępieniach typu podkorowego na pierwszy plan wysuwają się zaburzenia motoryczne, zaburzenia postawy, spowolnienie procesów pamięciowych i myślowych oraz towarzyszące im często objawy uszkodzenia jąder podkorowych (drżenie, sztywność, czy ruchy mimowolne) (4).

Zanik mózgu dotyka chorych w podeszłym wieku. Typowym objawem starzenia się jest rozlany zanik korowo-podkorowy, wynikający z postępującego fizjologicznego zaniku komórek mózgowych. Atrofia mózgowa współistnieje dość często ze znacznym poszerzeniem układu komorowego i przestrzeni pajączynówkowej. W niektórych przypadkach badaniem obrazowym TK można stwierdzić obecność okołokomorowej leukoarajozy. W badaniu MRI w sekwencji FLAIR (sekwencja stłumienia sygnału płynu mózgowo-rdzeniowego) strefa ta odpowiada wzmocnieniu sygnału wynikającego z niemego klinicznie niedokrwiennego zwyrodnienia osłonki mielinowej aksonu (zwyrodnienie typu Wallera) (5, 6).

Jednym z charakterystycznych objawów zaniku mózgu ocenianego w badaniach obrazowych jest poszerzenie przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników mózgu, towarzyszy temu poszerzenie układu komorowego o różnym stopniu nasilenia (7).

Celem podjętych badań była ocena przydatności wewnątrzczaszkowych parametrów wolumetrycznych dla rozpoznania i monitorowania rozwijających się procesów otępiennych.

MATERIAŁ I METODY

W Klinice Neurochirurgii WUM przebadano 26 pacjentów (średnia wieku $69,7 \pm 5,6$ roku) z rozpoznaniem zaniemienia mózgu, u których dokonano oceny wolumetrycznej w obrazach tomografii komputerowej TK objętości płynu mózgowo-rdzeniowego (PMR) zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy oraz objętości płynu mózgowo-rdzeniowego (PMR) w wewnątrzczaszkowym układzie komorowym.

Badania przeprowadzono zgodnie z Deklaracją Helsińską po uzyskaniu uprzednio zgody Komisji Bioetycznej Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.

Rozpoznanie zaniku mózgu ustalano na podstawie objawów: poszerzenie układu komorowego w TK lub MRI głowy, wskaźnik Evansa $< 0,3$; cechy zaniku korowego i korowo-podkorowego; objawy neurologiczne; ciśnienie wewnątrzczaszkowe mierzone w trakcie punkcji lędźwiowej $NL < 10 \text{ cm H}_2\text{O}$; opór resorpcji $R < 11 \text{ mm Hg/ml/min}$; badanie neuropsychologiczne. Badanie neuropsychologiczne oparte zostało na zestawie testów opracowanych i prowadzonych w Klinice Neurochirurgii II Wydziału Lekarskiego WUM (8).

Pomiarów wolumetrycznych dokonano przy wykorzystaniu autorskiego oprogramowania VisNow. Oprogramowanie zostało stworzone w Laboratorium Analizy Wizualnej w Interdyscyplinarnym Centrum Modelowania Matematycznego i Komputerowego (ICM) Uniwersytetu Medycznego pod kierownictwem dra Krzysztofa Nowińskiego. Otwarta platforma integracyjna wizualnego przetwarzania danych VisNow umożliwia integrację algorytmów, przetwarzanie danych eksperymentalnych i sy-

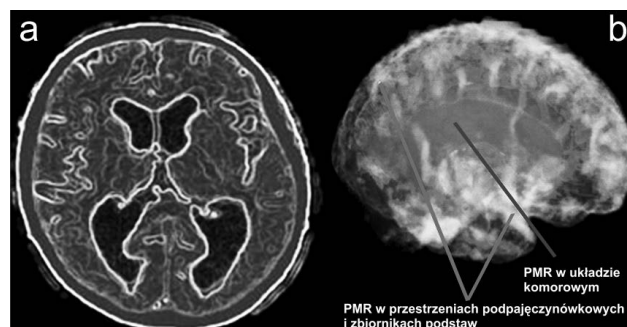
mulacyjnych z zaawansowanymi metodami wizualizacji wyników. Zaproponowana ocena wolumetryczna VisNow to obiektywna i liczbowa charakterystyka statystyczna voxelu wybranych obszarów patologicznych. Półautomatyczna, interaktywna analiza wyników obrazowych umożliwia wyliczenie obranych parametrów/deskryptów geometrycznych/charakteryzujących obraz TK lub MRI głowy w grupach chorych. Pomiary z poszczególnych warstw z ręcznie zaznaczonych obszarów są automatycznie sumowane, a wynikiem jest objętość płynu mózgowo-rdzeniowego w oznaczonych strukturach mózgowia (dotyczy to zarówno tkanek, jak i przestrzeni płynowych). Platforma VisNow to modułowy system sterowany przepływem danych, realizowany w technologii Java/Java 3. W skład wchodzi moduły umożliwiające przetwarzanie numeryczne oraz trójwymiarową wizualizację uzyskanych wyników. Moduły zaawansowane pozwalają na przetwarzanie danych obrazowych (obrazów radiologicznych TK czy MRI) ich odszukiwanie, segmentację i rekonstrukcję geometryczną.

Oprogramowanie ułatwia również integrację modułów i obiektów geometrycznych we wspólnym oknie graficznym. Szczegółowe dane techniczne oprogramowania VisNow przedstawiono w pracy E. Szczepek i wsp. (9).

W niniejszej pracy analizę statystyczną liczby voxelu w badaniach tomografii komputerowej TK przeprowadzono dla objętości PMR zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy oraz dla objętości PMR zgromadzonego w wewnątrzczaszkowym układzie komorowym u chorych z rozpoznaniem zanikiem mózgu. Przetworzenie wyników pozyskanych z badań obrazowych TK chorych pozwoliło na graficzną prezentację 3D trójwymiarową przestrzeni wewnątrzczaszkowej z wyodrębnioną objętością PMR w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy oraz objętości PMR w wewnątrzczaszkowym układzie komorowym (ryc. 1).

WYNIKI

Analiza statystyczna (t-testem) sparowanym dla zmiennych zależnych wykazała, że w grupie pacjentów z zakwalifikowanych do analizy z rozpoznaniem zaniemieniem mózgu wartości średnie objętości PMR (uzyskane

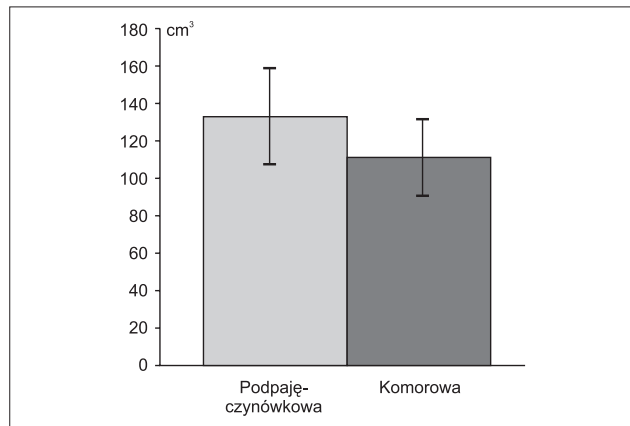


Ryc. 1. Ocena wolumetryczna: a) obraz tomografii komputerowej (przekrój osiowy); b) obraz graficzny trójwymiarowy przestrzeni wewnątrzczaszkowej z wyodrębnioną objętością przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników podstawy oraz objętością wewnątrzczaszkową układu komorowego u chorego z zanikiem mózgu.

z obrazów TK) w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy różnią się istotnie statystycznie na poziomie $p < 0,01$ od wartości średnich objętości PMR zawartego w przestrzeni wewnątrzczaszkowej układu komorowego (ryc. 2).

Statystyka opisowa dla pomiarów średnich wartości objętości PMR wybranych struktur wewnątrzczaszkowych u chorych z zanikiem mózgu przedstawia tabela 1.

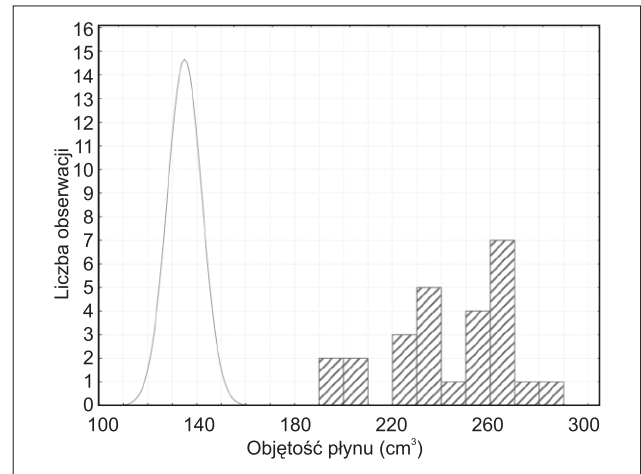
Procentowy rozrzut indywidualnych wartości objętości PMR wewnątrzczaszkowego w grupie 26 pacjentów z rozpoznaniem zanikiem mózgu ilustruje ryc. 3. W układzie współrzędnych osi X odpowiada procentowa objętości PMR zawartego w układzie komorowym, zaś osi Y procentowa objętości PMR będącego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy. Pojedynczym przypadkom chorych przypisany jest wynik w układzie współrzędnych. Oznaczono także wartość średnią ww. objętości PMR w grupie analizowanych pacjentów. Dostrzec można, iż wyższe wartości objętości PMR na poziomie przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników podstawy przypadają niższe wyniki objętości PMR na poziomie przestrzeni wewnątrzczaszkowej układu komorowego. Nie obserwuje się korelacji pomiędzy indywidualnymi wartościami objętości PMR zawartego w układzie komorowym a wartościami objętości PMR będącego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy (ryc. 4).



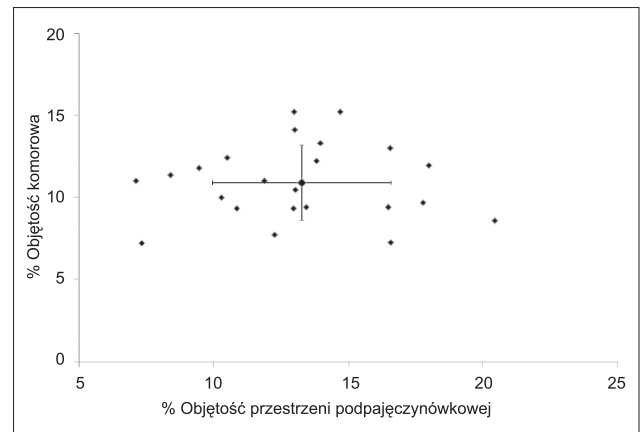
Ryc. 2. Średnie wartości objętości płynu mózgowo-rdzeniowego (PMR) zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy oraz w przestrzeni wewnątrzczaszkowej układu komorowego u chorych z zanikiem mózgu.

Tabela 1. Wartości średnich z odchyleniem standardowym uzyskane z obliczeń objętości PMR przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiorników podstawy oraz przestrzeni wewnątrzczaszkowej układu komorowego u chorych z zanikiem mózgu.

Objętość	cm ³	%
Objętość podpajęczynówkowa i zbiorników podstawy	133,3 ± 25,7	13,3 ± 3,3
Objętość komorowa	110,8 ± 21,1	10,9 ± 2,3
p	p < 0,01	p < 0,01



Ryc. 3. Histogram objętości wewnątrzczaszkowej płynu mózgowo-rdzeniowego w grupie pacjentów z zanikiem mózgu.



Ryc. 4. Wykres rozrzutu wartości objętości PMR zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy oraz w przestrzeni wewnątrzczaszkowej układu komorowego u chorych z zanikiem mózgu.

Praktycznym wytłumaczeniem uzyskanych wyników jest morfologiczny wykładnik starzejącego się mózgu, a dokładniej jego zanik. Ubytek komórek mózgowych powiązany ze zmniejszaniem się istoty białej, tj. ilości neuronów, a tym samym redukcją objętości mózgu, przełożył się na zwiększoną objętość PMR zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i w zbiornikach podstawy w obrazach TK w analizowanej grupie chorych z rozpoznaniem zanikiem mózgu.

Wykres histogramu objętości wewnątrzczaszkowej płynu mózgowo-rdzeniowego w grupie chorych z rozpoznaniem zanikiem mózgu (ryc. 3) przedstawia dane pomiarowe – sumę wyników objętości PMR uzyskaną z wykorzystaniem oprogramowania VisNow w wewnątrzczaszkowym układzie komorowym oraz w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy w analizowanej grupie pacjentów. Przedstawiono krzywą Gaussa – teoretyczny rozkład wartości objętości PMR wewnątrzczaszkowego w zdrowej populacji w przedziale wieku analogicznym do chorych z zanikiem mózgu. Rozkład (przedział ufności 95% 120-150 cm³; średnia 135

$\pm 7,5 \text{ cm}^3$) odpowiadaności płynu mózgowo-rdzeniowego w układzie komorowym oraz przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy w grupie osób zdrowych (10).

Histogram objętości wewnątrzczaszkowej płynu mózgowo-rdzeniowego w grupie chorych z rozpoznaniem zanikiem mózgu znajduje się poza obszarem odpowiadającym wartością objętości PMR wewnątrzczaszkowego u osób zdrowych. Wskazuje to, iż w grupie chorych z rozpoznaniem zanikiem mózgu objętość PMR w układzie komorowym oraz objętość PMR w przestrzeniach podpajęczynówkowych różnią się istotnie statystycznie od wartości objętości PMR uznawanych za prawidłowe.

DYSKUSJA

Metody oceny zaniku mózgu w obrazach tomografii komputerowej TK i rezonansu magnetycznego MRI możemy podzielić na: subiektywną ocenę zaniku (porównanie z obrazami grupy kontrolnej) oraz ocenę obiektywną, opierającą się na pomiarach liniowych układu komorowego, rowków i bruzd korowych bądź pomiarach planimetrycznych czy wolumetrycznych komór, przestrzeni i zbiorników podpajęczynówkowych (11, 12).

Liczne doniesienia w literaturze potwierdzają przydatność wykorzystania w praktyce klinicznej metod oceny wolumetrycznej w badaniach obrazowych TK i MRI jako nieinwazyjnych sposobów różnicowania zaburzeń o charakterze otępiennym.

W swojej pracy A. Czarnecka i wsp. (13) przedstawili autorskie, półautomatyczne oprogramowanie umożliwiające ocenę wolumetryczną w badaniach TK głowy dla wczesnego wykrywania zaburzeń otępiennych i ich diagnozy. Chorych zakwalifikowano do poszczególnych grup: choroba Alzheimera, otępienie o podłożu naczyniowym oraz chorzy z otępieniem mieszanym. Analizie poddano objętość PMR w układzie komorowym oraz objętość PMR w przestrzeni podpajęczynówkowej w płacie czołowym, skroniowym i ciemieniowo-potylicznym. U wszystkich chorych autorzy uzyskali podwyższone wartości objętości PMR w komorach mózgu. Wykazano wyraźnie zwiększoną objętość PMR w płacie ciemieniowo-potylicznym u pacjentów z chorobą Alzheimera i z otępieniem mieszanym w stosunku do normy. Zwiększone wartości objętości PMR w płacie skroniowym przestrzeni podpajęczynówkowej obserwowano także u chorych z otępieniem mieszanym w porównaniu do grupy chorych z otępieniem o podłożu naczyniowym. Autorzy podkreślają przydatność metody wolumetrycznej dla oznaczenia objętości PMR zawartego w analizowanych strukturach, tym samym umożliwiając ocenę stopnia zaniku i różnicowania rodzaju otępienia. Należy podkreślić, iż prowadzenie badań obrazowych i wolumetrycznej analizy długoterminowo może okazać się szczególnie przydatne dla monitorowania postępu choroby.

Dalszym potwierdzeniem wykorzystania w praktyce klinicznej metod wolumetrycznych jest praca Blattera i wsp. (14). Omówiono tam ilościową analizę zmian wartości objętości mózgu w badaniach obrazowych MRI z podziałem na wybrane dekady życia. Wysoce znaczące zmiany dostrzeżono wraz z wiekiem (przedział wieku 56-65 lat). Wraz z wiekiem obserwowano ubytek tkanki

mózgowej, objętość całkowita mózgu uległa zmniejszeniu, tym samym odnotowano zauważalne powiększenie objętości PMR w przestrzeniach podpajęczynówkowych.

Obrazy mikroskopowe mózgowia sprawnych osób w podeszłym wieku zbliżone są do tych występujących w zaniku mózgu, różnią się one jednak pod względem ilościowym oraz lokalizacyjnym. Nietłatwym problemem do rozstrzygnięcia jest pewne ustalenie, w którym momencie zmiany te są przejawem fizjologicznego starzenia się mózgowia, a w którym przedwcześnie pojawiających się chorób neurodegeneracyjnych (15, 16).

Dla neurochirurgicznej oceny najtrudniejsze staje kliniczne odróżnienie objawów wodogłowia normotensyjnego od rozwijających się procesów zanikowych mózgu. Pomimo różnorodności metod diagnostycznych wciąż sprawia to istotne trudności, a konsekwencje błędnego rozpoznania są bardzo poważne. Najwyższy procent prawdopodobieństwa właściwego rozpoznania uzyskiwany jest z testu infuzyjnego (17), którego wynik należy zawsze interpretować w połączeniu z innymi elementami procesu diagnostycznego: z oceną neuropsychologiczną (8) czy obrazowaniem mózgowia (18). Ciśnienie wewnątrzczaszkowe mierzone w trakcie punkcji lędźwiowej $NL < 10 \text{ cm H}_2\text{O}$ i opór resorpcji $R < 11 \text{ mm Hg/ml/min}$ – kwalifikacja chorych do grupy zaniku mózgu. Podkreślić należy, iż stosowanie metod inwazyjnych stwarza możliwość wystąpienia powikłań, niekiedy bardzo poważnych i niebezpiecznych dla chorego. Wprowadzenie do praktyki klinicznej metod diagnostyki nieinwazyjnej, tj.: badania neurologicznego, badań obrazowych TK i MRI, potencjałów wywołanych czy oceny wolumetrycznej, pozwala na uzyskanie większej liczby prawidłowych rozpoznań, a także staje się decydującym badaniem w przypadkach, gdy wartość oporu resorpcji uzyskanego z przeprowadzanego testu infuzyjnego wynosi 11 mm Hg/ml/min , a w badaniu neurologicznym nie stwierdza się pełnoobjawowej triady objawów.

Tsunoda i wsp. (19) przedstawili ocenę pomiaru objętości wewnątrzczaszkowej płynu mózgowo-rdzeniowego u chorych z rozpoznaniem wodogłowia normotensyjnego, wodogłowia o wtórnych przyczynach oraz w zaniku mózgu. Zaproponowana metoda wolumetryczna w badaniach obrazowych MRI wykazała, iż zarówno w grupie pacjentów z wodogłowiem normotensyjnym, jak i w grupie pacjentów z wodogłowiem „wtórnym” obserwujemy wzrost stosunku objętości PMR będącego w układzie komorowym i w przestrzeni podpajęczynówkowej. Potwierdzeniem naszych wyników jest otrzymana także przez autorów znacznie podwyższona wartość objętości PMR zgromadzonego w przestrzeni podpajęczynówkowej w grupie chorych z zanikiem mózgu.

Wykorzystana w niniejszej publikacji metoda wolumetryczna VisNow przedstawia, podając rzeczywistą, bezwzględną wartość voxelu PMR, rozkład płynu mózgowo-rdzeniowego w wewnątrzczaszkowych przedziałach płynowych zawartego w przestrzeni podpajęczynówkowej i zbiornikach podstawy oraz w przestrzeni wewnątrzczaszkowej układu komorowego u chorych z zanikiem mózgu. Praktyczne zastosowanie zaproponowanej metody oceny wolumetrycznej obrazów TK może okazać

się pomocnym narzędziem w diagnostyce różnicowej wybranych stanów patologicznych OUN, w szczególności różnych rodzajów zaniku mózgu. Metoda wydaje się obiecująca w ocenie progresji procesów zanikowych i wyników jego leczenia.

WNIOSKI

Parametry wolumetryczne są ilościowym wykładnikiem wewnątrzczaszkowych stosunków objętościowych.

Ocena tych parametrów może okazać się przydatną metodą monitorowania przebiegu procesów zanikowych i oceny wyników jego leczenia. □

Piśmiennictwo

1. Sąsiadek M, Kurek T: Diagnostyka obrazowa w otępieniu. [W:] Choroby otępienne. Teoria i praktyka. Leszek J. (red.). Continuo, Wrocław 2003; 389-99. 2. Wciórka J (red.): Kryteria diagnostyczne według DSM-IV-TR. Elsevier 2008; 1, 1-290. 3. Kotapka-Minc S, Szczudlik A: Otępienie. [W:] Rozpoznawanie i leczenie otępień – Rekomendacje Interdyscyplinarnej Grupy Ekspertów Rozpoznawania i Leczenia Otępień. Wydawnictwo Czelej, Lublin 2006; 11-22. 4. Józwiak A: Otępienie u osób w wieku starszym. Geriatria 2008; 2: 237-246. 5. Waller A: Experiments on the section of glossopharyngeal and hypoglossal nerves of the frog and observations of the alternatives produced thereby in the structure of their primitive fibers. Philos Trans R Soc Lond Biol 1850; 140: 423. 6. Salerno JA, Murphy DG, Horwitz B et al.: Brain atrophy in hypertension. A volumetric magnetic resonance imaging study. Hypertension 1992; 20(3): 340-348. 7. Walecki J, Pawłowska-Dejko A, Adamczyk M: Rola współczesnych metod obrazowania w rozpoznaniu i monitorowaniu otępienia. Pol Prz

Neurol 2007; 3: 69-89. 8. Marszałek P, Jurkiewicz J, Fersten E i wsp.: Wieloetapowa metoda rozpoznawania wodogłowia niskociśnieniowego. Neurol Neurochir Pol 1997; 31(3): 527-539. 9. 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 2014 (admitted to the print). 10. Bochenek A, Reicher M: Anatomia Człowieka. [W:] Układ nerwowy ośrodkowy. Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2000; t. 4. 11. Walecki J, Ziemiański A: Rezonans magnetyczny i tomografia komputerowa w praktyce klinicznej. Springer PWN, Warszawa 1997; 215-225. 12. Czarnowska M, Cudała WJ, Taraszewska M: Różnicowanie otępień w obrazach neuroradiologicznych. Psychiatr Prakt Ogólnoek 2004; 4 (1): 27-31. 13. Czarnecka A, Sąsiadek M: Value of volumetric head CT in diagnostics and differentiation of selected dementive disorders. Pol J Radiol 2009; 74 (2): 7-13. 14. Blatter DD, Bigler ED, Gale SD et al.: Quantitative Volumetric Analysis of Brain MR: Normative Database Spanning 5 Decades of Life. Am J Neuroradiol 1995; 16: 241-251. 15. Płotek W: Starzenie się ośrodkowego układu nerwowego i anestezja. Anest Ratow 2008; 1: 35-43. 16. Crosby G, Culley DJ: Anesthesia, the aging brain and the surgical patient. Can J Anesth 2003; 50(6): 1-5. 17. Juniewicz H, Kasprzewicz 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. 18. 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. 19. 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.

nadesłano: 29.05.2014

zaakceptowano do druku: 24.06.2014

Adres do korespondencji:

*Ewa Szczepek

Klinika Neurochirurgii

II Wydział Lekarski WUM

Szpital Bielański

ul. Ceglowska 80, 01-809 Warszawa

tel.: +48 (22) 835-00-05

fax: +48 (22) 865-60-57

e-mail: e_szczepek@op.pl