

Traktografia rdzenia jako metoda diagnostyczna w trudnych przypadkach guzów śródrdzeniowych

Spinal cord diffusion tensor tractography as a diagnostic tool in difficult cases of spinal cord intramedullary tumours

Maciej Radek¹, Karol Wiśniewski¹, Marek Grochal¹, Karol Jastrzębski², Piotr Gębski³, Dorota Snopkowska-Wiaderna⁴, Andrzej Radek¹

¹Klinika Neurochirurgii i Chirurgii Nerwów Obwodowych, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

²Klinika Neurologii i Epileptologii z Oddziałem Udarowym, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

³NZOZ „Diagnostyka Medyczna Księży Młyn” w Łodzi

⁴Zakład Patomorfologii i Cytopatologii Klinicznej, USK im. WAM w Łodzi

Neurologia i Neurochirurgia Polska 2013; 47, 1: 74-79

DOI: 10.5114/ninp.2013.32938

Streszczenie

Traktografia rdzenia kręgowego z wykorzystaniem techniki tensora dyfuzji jest trudną technicznie, ale rozwijającą się metodą diagnostyczną. Trudności wynikają z małej objętości rdzenia, pulsacji płynu mózgowo-rdzeniowego i ruchów oddechowych. Metoda ta jest coraz częściej stosowana w badaniach długich dróg rdzeniowych u chorych z guzami śródrdzeniowymi. Badanie to może być szczególnie przydatne w trudnych decyzyjnie przypadkach. Na przykładzie chorego z guzem śródrdzeniowym i współistniejącą zaawansowaną postacią spondylozy w odcinku szyjnym rdzenia kręgowego autorzy prezentują własne doświadczenia w zastosowaniu traktografii jako metody przydatnej do wypracowania taktyki postępowania leczniczego.

Słowa kluczowe: tensor dyfuzji, traktografia, spondyloza szyjna, guzy śródrdzeniowe.

Wstęp

Guzy rdzenia kręgowego stanowią 2–4% nowotworów ośrodkowego układu nerwowego (OUN) [1].

Abstract

Diffusion tensor-based spinal cord tractography is a technically complicated but rapidly evolving diagnostic method. The difficulties result from the volume of the spinal cord, the constant pulsing of the cerebrospinal fluid and respiratory movements. The method is being used more and more frequently to examine long spinal tracts in patients with intramedullary tumours. The method can be especially useful for ambiguous cases investigation. The presented case with coincidental intramedullary tumour and severe cervical spondylosis has been described by the authors to show their own experience with spinal cord tractography as a useful tool in determining an effective treatment method.

Key words: diffusion tensor, tractography, cervical spondylosis, intramedullary tumours.

Częstość ich występowania zmniejsza się z wiekiem. Szczyt zachorowań przypada na okres dziecięcy i wynosi 35% zdiagnozowanych nowotworów, podczas gdy średnią dla dorosłych szacuje się na ok. 20% [2]. W tej gru-

Adres do korespondencji: dr med. Maciej Radek, Klinika Neurochirurgii i Chirurgii Nerwów Obwodowych, UM w Łodzi, ul. Żeromskiego 113, 90-549 Łódź, tel. +48 42 639 35 51, e-mail: mradex@poczta.onet.pl

Pracę otrzymano: 24.01.2012; przyjęto do druku: 4.04.2012

pie wiekowej najczęstszym guzem śródrdzeniowym jest wyściółczak (60%). Pozostałe 40% stanowią glejaki, naczyniaki płodowe i przerzuty [1,3,4]. Rozrost wyściółczaka jest zwykle bezobjawowy. Dopiero duże guzy, których wielkość przekracza możliwości kompensacyjne tkanki nerwowej, ujawniają ubytkowe objawy neurologiczne. Leczeniem z wyboru guzów śródrdzeniowych jest chirurgiczne wycięcie guza stanowiące duże wyzwanie dla chirurga. Dodatkowym problemem jest współistnienie guza i choroby zwyrodnieniowej kręgosłupa. Przed erą diagnostyki obrazowej takie przypadki stanowiły duży problem i były przyczyną pomyłek. Obecnie badaniem z wyboru jest rezonans magnetyczny (RM).

Oprócz strukturalnego badania przy użyciu RM współczesna diagnostyka obrazowa dysponuje możliwością obrazowania z wykorzystaniem tensora dyfuzji (*diffusion tensor imaging* – DTI). Specjalna aplikacja DTI, zwana traktografią tensora dyfuzji (*diffusion tensor tractography* – DTT), umożliwia wizualizację w formie trójwymiarowej przebiegu włókien nerwowych istoty białej. Jest ona szczególnie przydatna przed planowanym zabiegiem u chorych z nowotworem mózgu, ale znajduje również, mimo ograniczeń technicznych, coraz szersze zastosowanie w obrazowaniu rdzenia kręgowego.

Traktografia tensora dyfuzji

U podstaw DTI w RM leży zjawisko dyfuzji. W układach biologicznych można wyodrębnić dwa rodzaje środowisk tkankowych, różniące się swobodną dyfuzją: anizotropowe i izotropowe. Przestrzeń zewnątrzkomórkowa charakteryzuje się względną izotropią oraz względnie dużym współczynnikiem dyfuzji. Przestrzeń wewnątrzkomórkową cechuje anizotropia, którą warunkują błony komórkowe, wewnątrzkomórkowe i osłonki mielinowe. Istniejące bariery biologiczne ograniczają swobodny ruch cząstek wody i dyfuzja nie zachodzi z równą siłą w każdym kierunku. W organizmie ludzkim największą anizotropię obserwuje się w istocie białej OUN, dlatego w obrazowaniu przy użyciu DTI właśnie te struktury udaje się ukazać.

W celu scharakteryzowania współczynnika dyfuzji w strukturach anizotropowych stosuje się tensor dyfuzji (matematyczny opis wartości dyfuzji w trzech płaszczyznach, odpowiadający pojęciu „wektora”), umożliwiający przedstawienie wielkości fizycznej z uwzględnieniem kierunku dyfuzji. W celu obliczenia tensora dyfuzji konieczne jest wykonanie pomiarów ruchu molekuł wody w co najmniej sześciu różnych kierunkach oraz uwzględnienie

nie zjawisk zachodzących w strukturach biologicznych, tj. perfuzji i mikrokrążenia [5].

Istota biała OUN charakteryzuje się wysokim stopniem organizacji, dlatego też preferowany jest względny ruch cząstek wody równoległy do przebiegu aksonów. Integralność dróg istoty białej ilościowo wyraża parametr anizotropii dyfuzji (*fractional anisotropy* – FA), który najwyższe wartości osiąga w ciele modzelowatym oraz drogach piramidowych.

Algorytm traktografii wykorzystuje dostarczane przez tensor informacje o kierunku i wielkości dyfuzji. Kreślenie drogi włókien z wybranego punktu bazuje na zasadzie ciągłości wkseli, a kształt powstającej linii wyznacza kierunek maksymalnej dyfuzji w aktualnym wokselu. Aby powstający obraz drogi nerwowej był jak najbardziej fizjologiczny, musi być spełniony dodatkowo warunek progu kąтового między sąsiednimi wkselami. Jeśli kąt między dwoma wkselami jest mniejszy niż ustalony, wówczas linia w danym punkcie nie powstaje, a proces jej tworzenia w tym miejscu jest powtarzany [6].

Kolor drogi jest ustalony i warunkowany kierunkiem maksymalnej składowej tensora dyfuzji (czerwony – prawo/lewo, zielony – przód/tył, niebieski – góra/dół), a intensywność zależy od stopnia parametru anizotropii frakcjonowanej.

Model matematyczny DTT wizualizuje uśredniony dla każdego woksela przebieg włókien nerwowych, prezentując graficznie hipotetyczny przebieg dróg OUN w trzech wymiarach, w sposób jak najbardziej zbliżony do fizjologicznego.

Traktografia tensora dyfuzji w ocenie rdzenia kręgowego ma liczne techniczne ograniczenia i stanowi wyzwanie, dlatego też powinna być wykonywana przez osoby z doświadczeniem i wiedzą umożliwiającą prawidłowe wykonanie badania. Małe wymiary przekroju poprzecznego rdzenia kręgowego wymagają obrazów o dużej rozdzielczości przestrzennej i małej gęstości woksela [7,8]. W trakcie obrazowania DTT możliwe jest otrzymanie obrazów fałszywie dodatnich, powstających w miejscach rdzenia kręgowego, w których lokalizuje się więcej niż jedna grupa włókien nerwowych tworzących drogę OUN, jak również w miejscach, w których włókna się krzyżują lub zbiegają. Fałszywie ujemne wyniki występują, gdy procesy kreślenia toru są nieefektywne, co doprowadza do pozornego powstania nieistniejącej drogi [6].

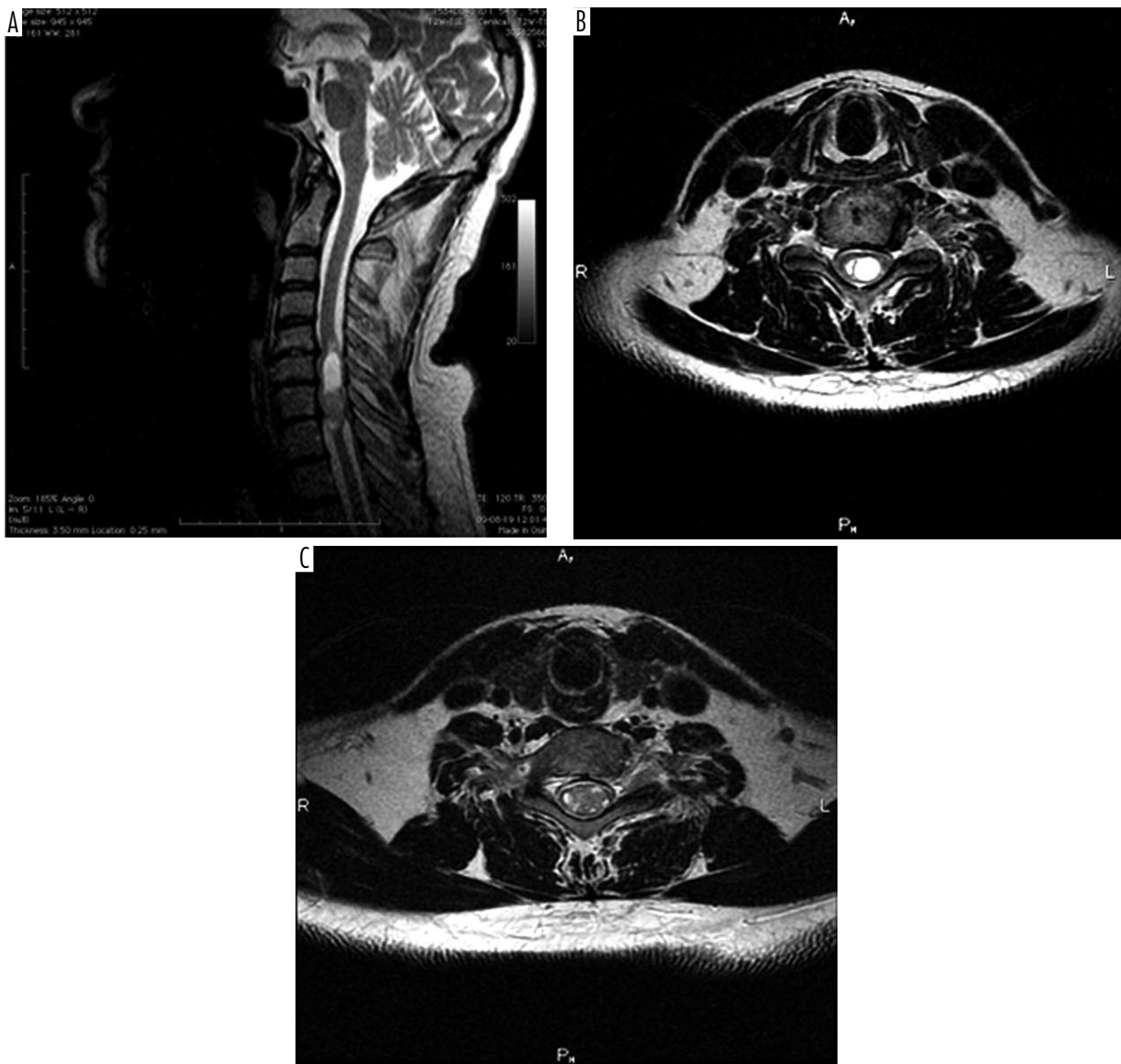
Za pomocą traktografii nie jest możliwa również ocena czynnościowa dróg rdzeniowych. Ponadto ograniczenia DTT mogą wynikać z artefaktów obejmujących

miejscową niejednorodność pola magnetycznego, będącą następstwem obecności metalowych wszczepów, z efektu podatności magnetycznej (części kostne kręgosłupa), efektu przesunięcia chemicznego (tłuszcz zawarty w trzonach kręgów i tkankach przykręgosłupowych), jak również z artefaktów ruchowych, które są skutkiem pulsującego przepływu płynu mózgowo-rdzeniowego, ruchów oddechowych, przetykania i chrząkania czy też fizjologicznych ruchów narządów wewnętrznych lub pacjenta w trakcie badania [7,8]. Wymienione trudności interpretacyjne nakazują ścisłą korelację wyniku badania ze stanem klinicznym chorego.

Bardzo duże znaczenie ma również jakość parametrów technicznych RM oraz doświadczenie osób wykonujących i oceniających badanie.

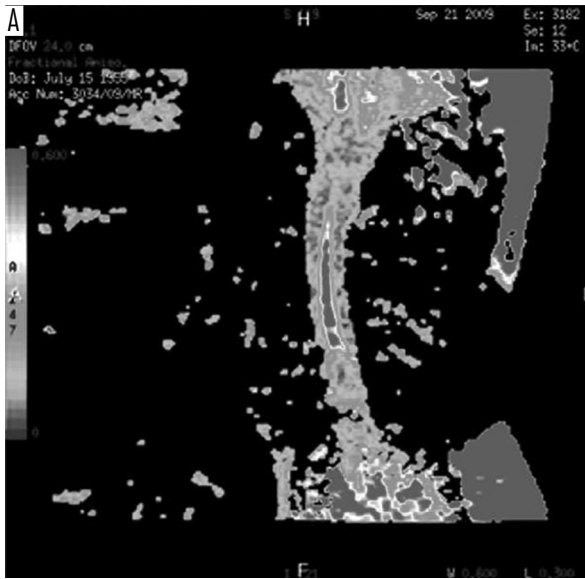
Pomimo ograniczeń i trudności traktografia, stanowiąca swoiste wyzwanie dla diagnostów, jest metodą rozwijaną i przydatną zwłaszcza w przypadkach trudnych decyzyjnie.

W pracy autorzy prezentują przypadek, w którym opisane badanie przy użyciu DTT okazało się bardzo pomocne w podjęciu decyzji co do kolejności stosowanych zabiegów chirurgicznych u chorego z guzem śródrzeniowym współistniejącym ze spondylozą szyjną.



Ryc. 1A–C. Guz śródrzeniowy z częścią litą i torbielowatą

Fig. 1A–C. Intraspinial tumor with solid and cystic part



Ryc. 2A, B. Badanie traktograficzne uwidoczniło znaczny ucisk zachowanych dróg rdzeniowych w przedniej części rdzenia przez osteofity i przepukliny jąder miażdżystych na poziomach C₅-Th₁

Fig. 2A, B. Tractography shows that preserved spinal tracts localized in the anterior part of the spinal cord are severely compressed by osteophytes and herniated intervertebral discs on the levels C₅-Th₁

Opis przypadku

Pacjent, 54 lata, został przyjęty do kliniki z powodu postępującego osłabienia siły mięśniowej prawej kończyny górnej. Objawom niedowładu towarzyszył silny ból kończyny. Wymienione dolegliwości pojawiły się nagle po pływaniu w morzu, po silnym odgięciu głowy ku tyłowi na fali. Chory, hospitalizowany po raz pierwszy w życiu, był przewlekłe leczony ambulatoryjnie z powodu nadciśnienia tętniczego I stopnia.

W badaniu neurologicznym stwierdzono osłabiony ucisk ręki prawej (3 pkt w skali Lovetta) oraz upośledzenie wykonywania czynności precyzyjnych, a także brak odruchów ścięgniastych prawej kończyny górnej, wygórowany odruch kolanowy prawej kończyny dolnej oraz obecny objaw Babińskiego po stronie prawej. Czucie powierzchniowe było osłabione na prawej kończynie górnej i prawej połowie tułowia. Czucie głębokie było prawidłowe.

W badaniu za pomocą RM wykazano obecność zaawansowanej spondylozy szyjnej na wysokości C₅-Th₁ – zmiany osteochondrotyczne w znacznym stopniu modelowały więzadło podłużne tylne kręgosłupa. Badanie ukazało również guz śródrdzeniowy o budowie litotorbielowatej, sięgający od wysokości połowy trzonu C₅ do górnej krawędzi Th₁. Po dożylnym podaniu środka kontrastowego uzyskano wzmocnienie części litej guza (ryc. 1A, 1B, 1C).



Ryc. 3. Kontrolne badanie RM wykonane 2 miesiące po dyscektomii sposobem Clowarda wykazuje odbarwienie przedniej powierzchni rdzenia

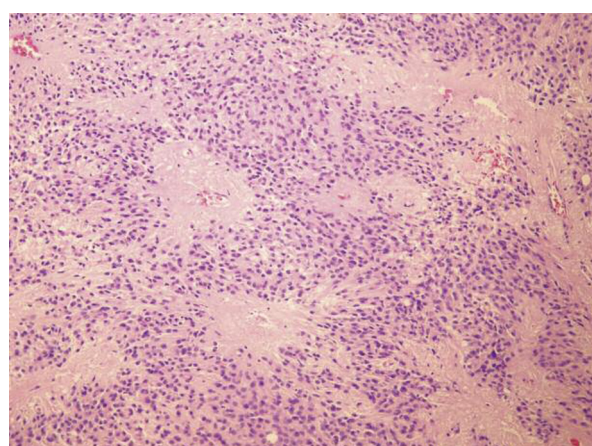
Fig. 3. Control MRI performed 2 months after Cloward discectomy shows good anterior decompression of the spinal cord

Z uwagi na zaawansowanie zmian oraz urazowy charakter objawów (nagle odgięcie głowy ku tyłowi) pojawił się problem kolejności postępowania leczniczego. Aby ułatwić decyzję dotyczącą sposobu leczenia operacyjnego, wykonano traktografię.



Ryc. 4A, B. Kontrolne badanie RM po usunięciu guza śródrzeniowego drogą laminektomii

Fig. 4A, B. Control MRI after laminectomy and complete tumour removal



Ryc. 5. Obraz histopatologiczny odpowiada wyściółczakowi (WHO II)

Fig. 5. The tumour was histopathologically diagnosed as ependymoma (WHO II)

W badaniu traktograficznym na poziomie opisywanej zmiany śródrzeniowej uwidoczniło się lepsze zachowanie dróg rdzeniowych po stronie prawej oraz znaczny ucisk zachowanej przedniej części rdzenia przez zmiany osteochondrotyczne na poziomach C₅–Th₁ (ryc. 2A, 2B). Stwierdzone zmiany wzbudzały obawę, że już samo ułożenie chorego może pogłębić istniejący deficyt neurologiczny, dlatego zdecydowano się na leczenie dwuetapowe.

W pierwszej fazie odbarczono rdzeń kręgowy z dościcia od przodu za pomocą dyscektomii sposobem Clowarda C₅–Th₁ oraz spondylodezy przedniej kością

autogenną z prawego talerza biodrowego (ryc. 3.). Po operacji z dościcia przedniego nastąpiła poprawa w zakresie dolegliwości prawostronnych zgłaszanych przed zabiegiem.

W odstępie dwóch miesięcy przeprowadzono drugi etap operacji. Wykonano laminectomię C₄–Th₂ oraz usunięto guz śródrzeniowy (ryc. 4A, 4B). W badaniu histopatologicznym rozpoznano wyściółczaka WHO II (ryc. 5.).

Po operacji guza śródrzeniowego wystąpił niedowład lewostronny z przewagą kończyny dolnej (2 pkt w skali Lovetta), który ustępował podczas rehabilitacji przyłózkowej w klinice neurochirurgii.

Chorego przeniesiono do Kliniki Rehabilitacji i Medycyny Fizycznej USK im. WAM w Łodzi celem leczenia usprawniającego, po którym uzyskano bardzo dużą poprawę stanu chorego, umożliwiającą powrót do pracy zawodowej.

Omówienie

Chirurgiczne wycięcie guza jest podstawową metodą leczenia wyściółczaków.

Każda operacja zmiany chorobowej zlokalizowanej w rdzeniu kręgowym niesie ze sobą duże ryzyko powstania deficytu neurologicznego. Prawdopodobieństwo to rośnie w wypadku współistnienia dodatkowych chorób upośledzających funkcje rdzenia kręgowego. Współist-

nienie kilku różnych schorzeń na tym samym poziomie kręgosłupa, z których każde wymaga leczenia operacyjnego, utrudnia podjęcie decyzji o kolejności wykonywania poszczególnych zabiegów chirurgicznych.

Występowanie dwóch chorób, kręgosłupa i rdzenia kręgowego, zlokalizowanych na tym samym poziomie, tak jak to miało miejsce w prezentowanym przypadku, jest rzadkie i z tego powodu może stwarzać problem decyzyjny.

Traktografia rdzenia jest wciąż metodą stosunkowo rzadko stosowaną z powodu pewnych ograniczeń technicznych wynikających z małych rozmiarów badanego obszaru i związanych z tym trudności w interpretacji obrazów. W opisywanym przypadku DTT była jednak metodą rozstrzygającą, ponieważ uwidoczniała przebieg dróg nerwowych i ich stosunek anatomiczny do zmian patologicznych oraz znaczne uciśnięcie zachowanych dróg rdzeniowych przez zmiany zwyrodnieniowe krążków międzykręgowych.

Dyscektomia wykonana w pierwszej kolejności w ocenie autorów zabezpieczyła ścieńczyły rdzeń przed dodatkowym urazem, do którego mogło dojść zarówno w trakcie wycinania guza, jak i podczas ułożenia w pozycji wyprostnej z przygięciem głowy do klatki piersiowej.

Zdaniem autorów zaawansowane zmiany zwyrodnieniowe stwarzające ciasnotę od przodu powodowały wzrost ryzyka jatrogennego uszkodzenia rdzenia w trakcie operacji usunięcia guza. Zastosowana u chorego dyscektomia C₅-C₆, C₆-C₇, C₇-Th₁, celowo wykonana tradycyjną techniką Clowarda, zapewniała odbarczenie rdzenia kręgowego, pewny wzrost kostny i brak artefaktów w późniejszych niezbędnych badaniach kontrolnych RM dzięki uniknięciu zastosowania wszczepów.

Dane z piśmiennictwa potwierdzają słuszność stosowania DTT jako badania obrazowego umożliwiającego podjęcie decyzji o chirurgicznym leczeniu danej zmiany chorobowej zlokalizowanej w OUN oraz ewentualnie o kolejności zabiegów w razie współistnienia kilku schorzeń wymagających leczenia chirurgicznego [9-11].

Analiza ułożenia długich dróg rdzeniowych umożliwia zdefiniowanie punktu wejścia do rdzenia, a w guzach o charakterze naciekającym pozwala na ocenę szans na bezpieczną cytoredukcję guza. Wstępne doświadczenia z zastosowaniem traktografii w wybranych przypadkach są pozytywne i wskazują na zasadność dalszego rozwijania tej metody badawczej. Należy podkreślić znaczenie jakości zastosowanej aparatury oraz doświadczenie personelu wykonującego badanie. W celu zwiększenia tego ostatniego konieczna jest ścisła i stała współpraca pomiędzy klinicystami i diagnostami.

Wnioski

1. Opisany przypadek ilustruje zalety metody DTT, która umożliwiła podjęcie decyzji o kolejności zabiegów chirurgicznych.
2. Traktografia tensora dyfuzji jest wprawdzie techniką dopiero się rozwijającą i wymagającą dużych umiejętności od personelu obsługującego aparaty RM, umożliwia jednak ocenę istoty białej rdzenia kręgowego i w przyszłości może stanowić pomocne narzędzie diagnostyczne.
3. W wypadku współistnienia guza śródrdzeniowego i spondylozy szyjnej należy brać pod uwagę czynniki ryzyka operacji mogące wpłynąć na powikłania jatrogenne dodatkowo wywołane niedokrwieniem rdzenia spowodowanym przez ucisk zmian zwyrodnieniowych.

Oświadczenie

Autorzy zgłaszają brak konfliktu interesów.

Piśmiennictwo

1. Stein B.M., McCormick P.C. Intramedullary neoplasms and vascular malformations. *Clin Neurosurg* 1992; 39: 361-381.
2. Chang U.K., Choe W.J., Chung S.K. i wsp. Surgical outcomes and prognostic factors of spinal intramedullary ependymomas in adults. *J Neurooncol* 2002; 57: 133-139.
3. Lonser R.R., Weil R.J., Wenebo J.E. i wsp. Surgical management of spinal cord hemangioblastomas in patients with von Hippel-Lindau disease. *J Neurosurg* 2003; 98: 106-116.
4. Schick U., Marquardt G., Lorenz R. Intradural and extradural spinal metastases. *Neurosurg Rev* 2001; 24: 1-7.
5. Basser B.J. Inferring microstructural features and the physiological state of tissues from diffusion-weighted images. *NMR Biomed* 1995; 8: 333-344.
6. Ciccarelli O., Catani M., Johansen-Berg H. i wsp. Diffusion-based tractography in neurological disorders: concepts, applications and future developments. *Lancet Neurol* 2008; 7: 715-727.
7. Thurnher M.M., Law M. Diffusion-weighted imaging, diffusion-tensor imaging, and fiber tractography of the spinal cord. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2009; 17: 225-244.
8. Maier S.E., Mamata H. Diffusion tensor imaging of the spinal cord. *Ann N Y Acad Sci* 2005; 1064: 50-60.
9. Setzer M., Murtagh R.D., Murtagh F.R. i wsp. Diffusion tensor imaging tractography in patients with intramedullary tumors: comparison with intraoperative findings and value for prediction of tumor resectability. *J Neurosurg Spine* 2010; 13: 371-380.
10. Vargas M.L., Delavelle J., Jlassi H. i wsp. Clinical applications of diffusion tensor tractography of the spinal cord. *Neuroradiology* 2008; 50: 25-29.
11. Facon D., Ozanne A., Fillard P. MR diffusion tensor imaging and fiber tracking in spinal cord compression. *Am J Neuroradiol* 2005; 26: 1587-1594.