

Zakład Neuroradiologii i Rentgenodiagnostyki. Instytut Radiologii. Akademia Medyczna w Lublinie
Kierownik: prof. dr hab. n. med. Stanisław Bryc

Stanisław BRYC

Zastosowanie jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR) w neuroradiologii

Применение магнитного ядерного резонанса в неврорадиологии

Imaging of Magnetic Nuclear Resonance in Neuroradiology

Obserwujemy szczególnie zalew informacji na temat nowości technicznych, dlatego obecnie podjęcie jakiegokolwiek opracowania w tym zakresie wiąże się z ryzykiem przynajmniej częściowej jego dezaktualizacji. Niezwykły postęp techniczny umożliwia precyzyjniejsze niż dawniej określanie zaawansowania procesu chorobowego wewnątrz ciała ludzkiego, a także pozwala wcześniej go wykrywać, a zatem i skuteczniej leczyć. Trudno jednak rozwiązać problem wzrastających wydatków wiążących się z zakupem, proponowanych przez różne firmy, nowych generacji aparatury. Wiadomo bowiem, że sprzęt, którego amortyzację szacuje się na okres kilkuletni, często przed jego upływem jest już przestarzały (3, 6). Obecnie stosowane oraz proponowane nowe techniki obrazowania narządów będą w najbliższym czasie dominujące, gdyż łączą zalety badania czynnościowego i morfologicznego. Żadna dyscyplina medyczna nie notuje takich osiągnięć w zakresie wykorzystywania współczesnej techniki, jak rentgenodiagnostyka. Śledząc dotychczasowy jej rozwój, stwierdzamy, że nigdy nie rozwijały się tak gwałtownie nowe metody badania, jak właśnie dzisiaj (12). Wzbogaciliśmy się ostatnio o takie techniki badawcze, jak tomografia transmisyjna, emisyjna tomografia izotopowa, ultrasonografia i subtrakcyjna angiografia cyfrowa (23). Jednak wprowadzenie do kliniki techniki wykorzystującej zjawisko jądrowego rezonansu magnetycznego stworzyło nowe perspektywy diagnostyczne. Technika ta różni się od innych tym, że beznawazynie umiejscawia i rozróżnia obszary o zróżnicowanej gęstości jąder wodoru, tj. protonów.

Od czasu odkrycia tego zjawiska przed 41 laty technika ta w późniejszych latach wywierała olbrzymi wpływ na rozwój fizyki, chemii i innych dziedzin, stając się podstawowym badaniem spektroskopowym materii (5, 36). Dobrze wyposażone laboratoria nie mogą się obyć bez spektrometrów NMR. Możliwe stało się zatem dokonywanie strukturalnej i dynamicznej oceny cieczy i ciał stałych.

Obecne opracowanie oparto na analizie dostępnego piśmiennictwa i na własnych spostrzeżeniach dokonywanych podczas uczestniczenia w wielu kongresach krajowych i zagranicznych. Jego celem jest ukazanie zakresu skuteczności diagnostycznej techniki obrazowania NMR w różnych schorzeniach ośrodkowego układu nerwowego (OUN). Mimo że do dzisiaj urządzenie NMR nie jest

jeszcze dostępne w Polsce, jednak zakupienie go to już kwestia czasu. Dlatego uważam za zasadne przedstawienie stanu wiedzy w tej dziedzinie.

ZJAWISKO REZONANSU MAGNETYCZNEGO A METODA BADANIA NMR

NMR to technika badania materii wykorzystująca efekty rezonansowego pochłaniania fal elektromagnetycznych o częstotliwości radiowej przez niektóre jądra atomowe poddane działaniu stałego pola magnetycznego. Jest to znamienne zjawisko dla wszystkich stabilnych jąder atomowych zawierających nieparzystą liczbę protonów, neutronów bądź jednych i drugich. Jądra te posiadają „spin” oraz „moment magnetyczny” i zachowują się jak żyroskop w polu magnetycznym. W organizmie żywym najczęściej występującym jądrem, posiadającym właściwości magnetyczne, jest proton w atomie wodoru. Wprowadzenie jąder wykazujących moment magnetyczny do pola magnetycznego powoduje ustawienie się ich osi równoległe do linii tego pola. Wytrącenie jąder z położenia równowagi przez impulsy pola magnetycznego prostopadłego do ich osi obrotu powoduje ruchy precesyjne osi magnetycznych jąder wokół linii pola magnetycznego, które przypominają ruchy wirującego dziecięcego bąka wytrąconego z równowagi. Ruch protonów można zniekształcić działaniem zmiennego pola magnetycznego, które przykłada się do głównego pola magnetycznego. Jest to efekt rezonansowy o częstotliwości zależnej od natężenia głównego pola magnetycznego. Protony odchylają się od osi równowagi o 90 lub 180° w zależności od czasu, w którym zadziała zniekształcenie zmiennego pola magnetycznego, oraz od natężenia pola. W wypadku wyłączenia zakłócającego pola protony uwalniają się od udzielonej im energii, wypromieniowując ją. Sygnał otrzymywany natychmiast po zadziałaniu impulsu jest proporcjonalny do gęstości rezonujących protonów, czyli ich liczby (27).

Zanikanie sygnału w czasie powracania protonów do stanu równowagi znane jest jako relaksacja spin-siatka, której stała czasowa ma miano T1. Protony wprowadzone w rezonans przez impuls o częstotliwości radiowej poruszają się synchronicznie. Po ustaniu działania zewnętrznego pola magnetycznego ich momenty magnetyczne zaczynają oddziaływać na siebie i miejscowe zmiany pola magnetycznego. Zjawiska te określane są jako proces relaksacji spin-spin, w którym synchronizm ruchu protonów zanika wraz ze stałą czasową T2. Opierając się na znamiennej częstotliwości precesji i stałych czasowych jej zanikania T1 oraz T2, uzyskujemy informacje o rodzaju atomów, jakie wchodziły w skład próbki, oraz ich powiązaniu z przyległymi atomami. Elementy te łącznie tworzą sygnał rezonansu magnetycznego protonów. Aby uzyskać jednak obraz rozkładu sygnału, należy określić wielkość sygnału i jego położenie. Fale radiowe emitowane przez jądra atomowe w polu magnetycznym o natężeniu rzędu kilku tysięcy Gaussów mają długość 10—100 m. Wykluczone jest zatem budowanie

obrazu przy użyciu urządzeń optycznych. Należy uzyskać rejestrację sygnałów pochodzących z wybranej warstwy obiektu.

Ograniczenie zjawiska rezonansu protonów do cienkiej warstwy w badanym obiekcie uzyskujemy dzięki zastosowaniu gradientowego pola magnetycznego w czasie działania impulsu o częstotliwości radiowej. Gradient zatem sprawia, że natężenie pola jest właściwe jedynie w warstwie wybranej płaszczyzny. Przed i za płaszczyzną wartości pola są za duże lub za małe do otrzymania częstotliwości rezonansowej. Zmiana ustawienia płaszczyzny badanej warstwy jest uzyskiwana przez dobór sekwencji zmian gradientów natężenia pola. Proces ten nie wymaga zmiany położenia badanego obiektu, kierowany jest bowiem przez komputer.

W celu uzyskania obrazu badanej warstwy należy określić, z jakiej części przekroju pochodzą sygnały. Charakterystykę sygnałów wytwarzanych przez jądrowy rezonans magnetyczny i przestrzenny rozkład ich źródeł można zobrazować za pomocą znanych nam technik KT. Obraz badanego obszaru można uzyskać przy użyciu jądrowego rezonansu magnetycznego różnymi sposobami. Rodzaj obrazu zależy od następstwa impulsów o częstotliwości radiowej i impulsów gradientowych, które używane są podczas zbierania danych. Do utworzenia obrazu z sygnałów jądrowego rezonansu magnetycznego niezbędne jest różnicowanie udziału poszczególnych sygnałów z różnych obszarów badanego obiektu. Stosuje się wiele metod, polegają one na zasadzie topologicznego zbierania sygnałów z cząstkowej objętości, a różnią się jedynie wielkością tej cząsteczki (23): metoda nasycenia daje sygnał, w którym przeważa liczba protonów, metoda odrostu magnetyzacji — sygnał, w którym przeważa czas T_1 , a metoda echa spinowego — sygnał, w którym dominuje czas T_2 . Każdy z obrazów, zbudowany ze wspomnianych sygnałów, wykazuje nieco odmienne cechy badanego obiektu.

Natężenie sygnału widoczne jest w wielostopniowej skali szarości. Sygnały o silnym natężeniu są jasne, o słabym zaś — ciemne. Wszakże natężenie sygnału NMR zależy od sposobu wzbudzania protonów, jednak można sformułować pewne ogólne prawidła, jak to, że różni się wartość czasów relaksacji T_1 i T_2 w poszczególnych tkankach (36, 38). Dlatego kość i powietrze, zawierając bardzo mało wodoru, nie dają sygnału.

Istotną cechą NMR jest fakt, że wodór wody może być odróżniony od wodoru występującego w innym związku. Podobnie wodór we krwi odróżnia się od wodoru w innych tkankach. To zaś umożliwi dokonywanie pomiarów czasu przepływu krwi w mózgu. Odróżnienie krwi od innych płynów w przestrzeniach wewnątrz- i zewnątrzkomórkowych ułatwia różnicowanie ognisk, których gęstość elektronowa jest zbliżona do tej, jaka cechuje tkankę prawidłową, jednak różni się perfuzją lub pozakomórkową przestrzenią płynową (36). Dzięki NMR różne przeglądowe rzuty można wykonywać nie zmieniając pozycji chorego. Zmienny czas ekspozycji obiektu pozwala na uzyskanie skanów, na których poszczególne struktury są obrazowane bardziej lub mniej wyraźnie (ryc. 1 a, b).

W metodzie NMR winny być stosowane techniki wizualizacji w zależności od potrzeby uzyskania różnych parametrów badanej materii. Głównymi pomiarami są zatem: a) metoda obrazowania rozkładu gęstości protonów; b) metoda obrazowania odrostu magnetycznego (IR), wskazująca na rozkład czasów relaksacji T1; c) metoda echa spinowego (SE), obrazująca rozkład czasów T2 (ryc. 2 a, b). W odpowiednich sekwencjach można podkreślić niektóre elementy OUN. Najczęściej używa się sekwencji impulsów echa spinowego, osiągając skany OUN czasów relaksacji T1 poprzez krótkie czasy powtarzania (TR) i echa (TE). Skany rzędu T2 otrzymujemy przy długich czasach TR i TE, natomiast skany z mapą protonów — przez długie TR i krótkie TE.

Ostatnio wprowadzono metodę obrazowania wielopłaszczyznowego. Polega ona na równoczesnych pomiarach licznych, położonych równolegle, płaszczyzn. To zaś pozwala na ciągłe obrazowanie obiektu w krótkim czasie. Zastosowanie techniki podwyższonego echa umożliwi dodatkowo otrzymanie 2 skanów tego samego przekroju, różniących się charakterem obrazu (inaczej uwidaczniających parametry anatomiczne i patologiczne mózgu). Połączenie obrazowania wielopłaszczyznowego z podwójnym echem pozwala na utrzymanie w czasie jednego cyklu pomiarowego wielu przekrojów o różnym charakterze obrazu (4).

Zmniejszenie czasu pomiarów uzyskujemy przez redukcję napływających danych bądź skrócenie czasu ich zapisu (32), stosując nowe sekwencje ciągów impulsów bądź w metodzie szybkiej akwizycji ze wzmoczeniem czasu relaksacji w rzędzie T2 (RARE). Znalazło to zastosowanie w badaniach płynu mózgowo-rdzeniowego. Inną szybką techniką jest metoda wzbudzonego echa Frahma (STEAM), którą rozwinięto poprzez redukcję kąta impulsu i zwiększenie odstępów sygnał-szum (FLASH). Ta sekwencja gradientowa, skracając czas akwizycji, umożliwia uzyskanie licznych cienkich warstw (14).

W badaniu mózgowia stosuje się takie metody, które dają najwięcej potrzebnych informacji. Dlatego pierwszą z nich jest technika uzyskiwania na skanie mapy gęstości protonów, rozkład bowiem ich gęstości lepiej uwidacznia struktury mózgowia. Dalszym skanem są czasy relaksacji T2, dające wprawdzie gorsze obrazy przestrzenne, jednak cechujące się wyższą czułością diagnostyczną zmian chorobowych. Wartość rozpoznawcza sekwencji T1 uznawana jest zatem, z wyjątkiem badania kontrastowego, za niższą niż sekwencji T2.

Najczęściej stosujemy przekroje osiowe, skany są bowiem wówczas porównywalne ze zdjęciami osiowymi KT. Badania NMR jednak rozpoczynamy od warstw strzałkowych, gdy chorego podejrzewamy o patologię umiejscowioną w okolicy siodła, szyszynki, pnia mózgu bądź na pograniczu czaszko-wo-kręgosłupowym. Przekroje wieńcowe używane są w przypadku zmian umiejscowionych przy podstawie czaszki i nadspoidłowo. Nierzadko sporządza się pomiary w 3 sekwencjach podczas jednego ukierunkowania warstw, a dopiero potem wykonuje uzupełniająco inne płaszczyzny. W zależności od techniki badania grubość przekrojów waha się od 10 do 0,8 mm.

Zastosowanie środków paramagnetycznych w celu uzyskania efektu wzmocnienia kontrastowego podwyższa skuteczność diagnostyczną NMR (35). Stosujemy je doustnie i dożylnie. Są to albo jony paramagnetyczne, albo stałe wolne rodniki. Jony metali to jony tytanu, manganu, żelaza, wanadu, kobaltu, niklu, chromu, magnezu i miedzi oraz lantanowce i aktynowce. Wolne rodniki to pochodne pyrrolidyny i piperidyny oraz tlen cząstkowy. Umożliwiają one skrócenie czasów T1 i T2, dając wzrost intensywności sygnału NMR. Aby otrzymać w obrazie SE wzrost intensywności sygnału, efekt skrócenia czasu T1 musi przeważać nad efektem skrócenia T2. Najwyższy moment magnetyczny ma mangan i gadolin, jednak czynny chemicznie gadolin jest niezwykle toksyczny. Po licznych próbach opracowano preparat pod nazwą Gd-DTPA, podawany dożylnie i, jak dotąd, nie ma wzmianek co do jego toksyczności (18, 37, 40). Po iniekcji tego preparatu następuje w tkankach zmienionych chorobowo efekt paramagnetyczny już po 5 minutach i utrzymuje się do pół godziny. Największy efekt wzmocnienia kontrastowego notuje się w sekwencjach rzędu T1 odrostu magnetycznego lub w sekwencji SE, jednak wykorzystywany także bywa w sekwencjach rzędu T2 (24).

W obrazowaniu NMR współdziałanie chorych z badającym umożliwia korzystanie z subtrakcji (14). Szczegółowe omówienie zjawiska NMR, danych technicznych aparatury i stosowanej terminologii znaleźć można w piśmiennictwie (2, 7, 15, 19, 21, 26, 27, 35, 39, 40).

ZASTOSOWANIE W KLINICE

Panuje zgodne przekonanie, że badaniem NMR uzyskujemy wysoką czułość rozpoznania śródczaszkowych zmian chorobowych (29, 30, 41, 43).

W wykrywaniu pewnych zmian morfologicznych metoda ta nie tylko dorównuje, ale i przewyższa badanie KT. Skany NMR otrzymane techniką swobodnej precesji, dające rozkład gęstości protonów, ukazują mały kontrast istoty szarej i białej mózgu, dobrze jednak przedstawiają przepływ krwi w naczyniach. Skany uzyskane techniką odrostu magnetyzacji (z przewagą T1) wyróżniają się wysokimi kontrastami obrazów, różnicującymi istotę białą i szarą, a także szczegółami anatomicznymi, które nie są widoczne w badaniu KT. Skany z użyciem echa spinowego, a więc z przewagą T2, są mniej kontrastowe, jednak ich przydatność jest duża w wykrywaniu ognisk patologicznych (37, 38). Także w NMR mózgowie w okolicy podstawy czaszki i w sąsiedztwie sklepienia jest lepiej uwidocznione ze względu na brak artefaktów z przyległych kości i niewystępowanie zjawiska uśredniania sygnału w grubszej warstwie przekroju. Badanie NMR dobrze ukazuje nie tylko półkule mózgu, lecz także mózdzek, pień mózgu, ciało modzelowate, zwłaszcza w płaszczyźnie strzałkowej.

Większość procesów rozrostowych powoduje wydłużenie czasów T1 i T2, jednak ich specyficzność rozpoznawcza w NMR jest znacznie niższa niż się początkowo spodziewano (14, 19). Grądzki (14) uważa, że różnicowanie rodzaju guza w NMR nie tylko jest trudne, lecz wręcz niemożliwe i nie jest to pogląd odosobniony (8, 24). Istnieje także przekonanie, że wprowadzenie środków kontrastowych paramagnetycznych zwiększyło wykrywalność guzów, szczególnie małych rozmiarów, umiejscowionych w bliskości struktur kostnych (19). Sygnał protonowy w guzach zależy od zawartości w nich wody, zwłaszcza w przestrzeniach pozakomórkowych. Zawartość w guzie innej substancji (wapna, tłuszczu, krwi, melaniny) może zmieniać dominujący sygnał wody. Uwidocznienie torbieli jest wówczas pomocne w różnicowaniu zmian. Guzowi przeważnie towarzyszy obrzęk mózgu. Ogniska przerzutowe i pierwotne guzy anaplastyczne są otoczone obrzękiem miąższowym. Natomiast guzy łagodne powodują obrzęk naczyniopochodny, pochodzący z ucisku śródbłonna przyległych do guza naczyń (14).

Gwiaździki I° łatwo ujawniają się w NMR w sekwencjach z krótkim TR, ulegają bowiem zmianom torbielowatym. Masa guza daje wydłużone czasy T1 i T2. Gwiaździki II° ukazują się w obrazach T2 głównie jako ostro zarysowany obszar o większej intensywności sygnału, natomiast w obrazach T1 wykazują niższy sygnał (są ciemniejsze) w porównaniu z nie zmienioną tkanką. Jak wiadomo, w KT sprawiają one znaczne trudności diagnostyczne (14). Na skanach NMR odróżnienie tkanki guza od obrzęku jest dotychczas niemożliwe przez porównanie czasów relaksacji. Użycie Gd-DTPA korzystnie ocenia się w diagnostyce guzów (18). Gwiaździki III° często wewnątrz zawierają zwapnienia, ogniska martwicy, wynaczynioną krew. W tych przypadkach podane ciecze paramagnetyczne umożliwiają wyróżnienie tkanki litej guza od torbieli bądź martwicy, guz bowiem ulega wzmocnieniu kontrastowemu. Jednakże różnicowanie z innymi torbielami bądź pseudotorbielami sprawia dalej trudności (14, 29).

Skąpodrzewiaki wykazują podobny do glejaków obraz NMR. Dlatego też KT jest tu techniką bardziej użyteczną z uwagi na możliwość wykazania zwapnień w guzie. Podanie substancji paramagnetycznej nie poprawia czułości diagnostycznej, gdyż, jak w innych guzach o małej złośliwości, nie zwiększa się intensywność sygnału (14).

Wyściółczaki są rozpoznawane na podstawie ich wewnątrzkomorowego umiejscowienia. Podobnie jak gwiaździki wykazują wyraźne wydłużenie czasów T1 i T2.

Gąbczaki wielopostaciowe wykazują w obrazach T2 strefy o różnej intensywności sygnałów i zróżnicowaną strukturę guza. Na pustym skanie T2 nie udaje się odgraniczyć masy guza od obrzęku (24). Sekwencje wielokrotnych ech pozwalają rozpoznać ognisko martwicy w masie guza. Po podaniu Gd-DTPA występują obrączkowate wzmocnienia kontrastowe (14). W przypadku glejowacenia

mózgu NMR jest metodą z wyboru w jego rozpoznawaniu. Wówczas występuje zmniejszenie intensywności sygnału T2, podwyższony zaś sygnał w obrazowaniu T2 w półkulach, pniu mózgu i w jądrach podkorowych.

Oponiaki na pustych skanach słabo wyróżniają się od mózgowia, dają bowiem tylko nieznaczne wydłużenie czasów T1 i T2. Wokół oponiaka występuje pierścień o mniejszej intensywności sygnału, odpowiadający przylegającym do guza naczyniom i żyłom na powierzchni guza. W sekwencjach z wydłużonym czasem T2 łatwiej można odgraniczyć guz od obrzęku (28). W oponiakach brodawkowatych pojawia się wzmocnienie kontrastowe w pomiarach T1 po iniekcji Gd-DTPA paramagnetycznej. Natomiast efekt ten nie występuje w oponiakach (14).

Gruczolaki przysadki wykazują po podaniu kontrastu wyraźne wzmocnienie sygnału. Szczególnie użyteczne w rozpoznawaniu mikrogruczolaków okazały się przekroje strzałkowe NMR. Uzyskujemy na nich dobre uwidocznienie stosunku guza do skrzyżowania nerwów wzrokowych (14).

Nerwiaki, nawet wewnątrzprzewodowe o małych wymiarach, są dobrze widoczne po podaniu Gd-DTPA, a zatem łatwiej rozpoznawane w NMR niż w KT, ponieważ kość zbija sygnał nie daje. Najlepsze rezultaty diagnostyczne w technice wielopłaszczyznowej i FLASH otrzymuje się w przekrojach osiowych i wieńcowych (14).

Guzy pnia mózgu i jego sąsiedztwa łatwiej są rozpoznawane techniką NMR niż KT (20). Wójtowicz (35) uważa, że NMR tej okolicy jest metodą z wyboru i zupełnie wyeliminowuje cysternografię.

Torbiele skórzaste i naskórkowe cechuje w obrazie T2 różnorodność sygnałów jako następstwo różnych czasów relaksacji w wyniku zawartości keratyny, cholesterolu i wody (31). Torbiele te nie powodują obrzęku. Intensywność sygnału jest w nich wyższa niż w torbielach pajęczynówki (32). Torbiele koloidowe komory III dają wyższy sygnał w obrazach T2 niż płyn mózgowo-rdzeniowy. Duże zbiorniki i torbiele pajęczynówki są łatwo rozpoznawane, wyróżniają się bowiem znamienym obrazem (33).

Czaszkogardlaki zawierają torbiele cholesterolowe, co wyraża się obszarem o skróconym czasie T1 (22). Natomiast lite guzy ze zwapnieniami są łatwiej rozpoznawane w KT.

Przerzuty nie wykazują znamienych cech w NMR, jednak przy użyciu techniki NMR są wykrywalne wszystkie ogniska. Wyjątek stanowi przerzut czerniaka. Zawarta w nim melanina posiada właściwości paramagnetyczne, dlatego daje pola o znamienym wysokim sygnale. Na skanach NMR otrzymujemy na tle ciemnych ognisk jasne plamy (1).

Zawał mózgu wydłuża czas T1 i T2 oraz powoduje utratę kontrastu między istotą białą i szarą w badaniu odrostu magnetyzacji. Szczególnie dobrze odróżnia się pole niedokrwienne prawidłowego mózgu w sekwencjach SE z wydłużonymi czasami TR i TE. Ostry zawał krwotoczny wykazuje zmniejszenie intensywności

sygnału w T2, otacza go bowiem strefa obrzęku dająca wyższy sygnał, a w T1 zmiana jest izointensywna (14). Dopiero starsze zawały uwidaczniają się w obrazach T1 i T2 jako odgraniczone obszary o nierównych konturach. W obrazie T1 martwica ujawnia się jako pole o niskim sygnale i małym kontraście, podczas gdy w obrazie T2 demielinizacja istoty białej powoduje podwyższenie sygnału. Większe zawały nie stwarzają trudności różnicowych z uwagi na ich znamienny kształt i umiejscowienie. Głębokie zawały małych rozmiarów mogą dać podobny obraz jak plaki SM. Czułość NMR jest wyższa od KT o 40%, również pola ujawnione — większe niż w KT (14).

Zatory żyłne są trudne do wykrycia w angiografii i KT. Duże naczynia żyłne ujawniają się w NMR, podobnie jak tętnice, jako strefy o niskim sygnale. Zwolnienie przepływu krwi zwiększa intensywność sygnału, nie pozwala jednak uchwycić różnicy między zastojem a zatorem (4). Dopiero taką możliwość stwarza technika podwójnego echa poprzez porównywanie intensywności obu ech. Zamknięcie naczynia wytwarza sygnał wysokiej intensywności w pierwszym i zmniejszonej intensywności w drugim. Przy zwolnionym przepływie krwi w drugim echu sygnał jest taki sam jak w pierwszym (17).

Naczyniaki tętniczo-żyłne łatwo można rozpoznać nawet bez podawania kontrastu. Szybko płynąca krew pojawia się w obrazach T1 i T2 SE jako pole o niskiej intensywności. Podobny obraz dają zwapnienia oraz naczyniaki ze zwapnieniami, wykazując obraz fałszywie negatywny. W takich razach KT jest czulszą metodą niż NMR. Natomiast NMR ujawnia krwawienia śródmiaższowe i zakrzepy dające zwiększony sygnał.

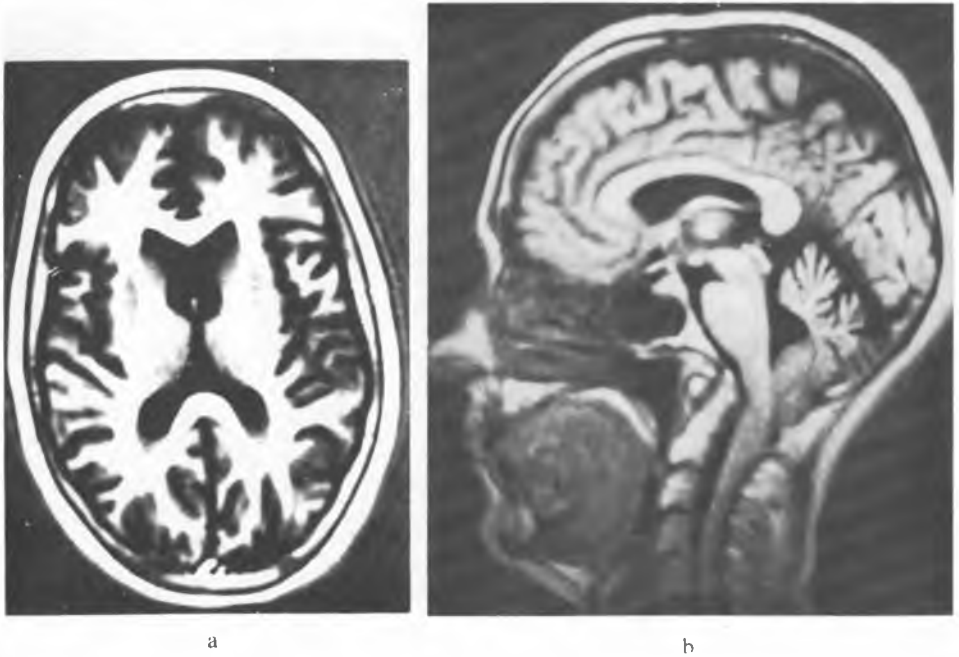
Tętniaki są widoczne w NMR jako jasne twory z uwagi na krótkie T1 skrzepłej krwi. W przypadku krwi płynnej w tętniaku twory te są na skanach ciemne.

Krwiak nad- i podtwardówkowy jest w NMR wyraźnie widoczny pomiędzy kością a tkanką mózgową, która różni się od krwiaka czasem relaksacji T1 i T2. W krwiaku śródmózgowym występuje wzrost gęstości protonów, w części zewnętrznej obserwujemy skrócenie T1 przy zachowaniu długiego T1 w części centralnej oraz przedłużenie T2 (10, 13).

Zmiany zanikowe uwidaczniają się w NMR wyraźnie, zarówno w istocie białej, jak i szarej mózgu i mózdzku.

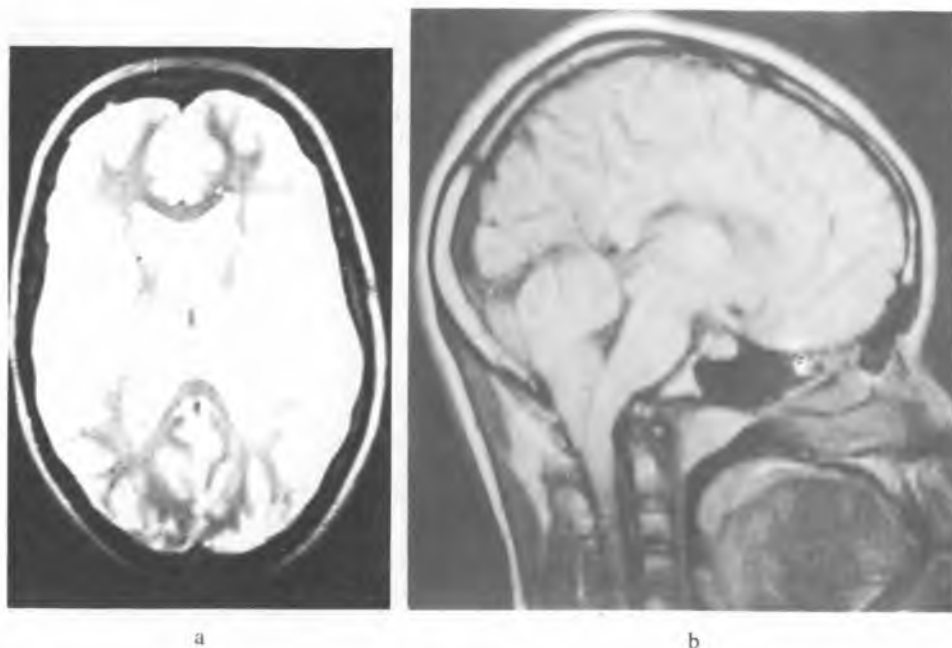
Kawernomy, niewidoczne w angiografii i niezbyt znamienne w KT, przedstawiają się w NMR jako ograniczone kuliste ogniska o zmniejszonym sygnale, niekiedy wewnątrz zawierające pola o wyższym sygnale (10).

Procesy demielinizacyjne i dysmielinizacyjne należą do chorób istoty białej mózgu. Stwardnienie rozsiane (SM) prowadzi do uszkodzenia neuronów, a w następstwie do rozpadu mieliny. Uważa się, że NMR techniką odrostu magnetyzacji uwidacznia więcej mniejszych ognisk wydłużenia czasu T1 i T2, szczególnie w tylnym dole czaszki, niż KT (9, 14, 36). W sekwencjach rzędu T1 plaki przedstawiają się na skanach jako pola ciemne (niski sygnał), w T2 jako



Ryc. 1. Prawidłowe struktury anatomiczne mózgu na skanie NMR rzędu T1; a — skan osiowy rzędu T1 uwidacznia dokładnie struktury anatomiczne głowy na wysokości komór, b — skan strzałkowy pośrodkowy rzędu T1 pozwala różnicować białą i szarą istotę mózgu, pień mózgu, most, mózdzek, połączenie czaszkowo-rdzeniowe i komorę IV mózgu (przekazał J. Woźnica)

The normal anatomical structures of the brain on NMR T1 weighted image; a — axial T1 weighted scan shows in detail the anatomical structures of the brain on ventricles level, b — sagittal paramedian T1 weighted image permits to differentiate white and gray matter of the brain, brainstem, pons, cerebellum, cranio-spinal junction and fourth brain ventricle (provided by J. Woźnica)



Ryc. 2. Obraz NMR głowy rzędu T2 prawidłowych struktur anatomicznych głowy wykazuje mniejszy kontrast niż skan rzędu T1 (ryc. 1), jednak zmiany patologiczne są łatwiej rozpoznawane; a — prawidłowy skan osiowy głowy rzędu T2, b — skan strzałkowy rzędu T2 wykazuje pośrodkowe struktury anatomiczne mózgu mniej wyraźnie niż skan T1 (ryc. 1 b) (przekazał J. Woźnica)

NMR T2 weighted image of the head shows less contrast of the normal anatomical structures of the brain in comparison with T1 (Fig. 1) weighted scan, but pathological changes could be better diagnosed; a — normal T2 weighted axial scan of the head, b — sagittal paramedian T2 weighted scan shows the middle brain anatomical structures less distinctly in comparison with T1 (Fig. 1 b) weighted image (provided by J. Woźnica)

poła ciemne, ostro konturowane (wysoki sygnał). Ogniska SM umiejscowione są głównie w sąsiedztwie komór bocznych, rzadziej podkorowo, w torebce wewnętrznej, spoidle wielkim oraz w pniu i mózdzku. W zaawansowanym SM ogniska zlewają się, obejmując większe obszary mózgu. W leukodystrofii nieprawidłowa istota biała wykazuje wydłużony czas T1. Zmiany pojawiają się w otoczeniu tylnych rogów, prowadząc także do utraty kontrastu w płatach potylicznych.

Metoda odrostu magnetyzacji uwidacznia u dzieci proces mielinizacji dzięki możliwości odróżniania istoty białej od szarej. Poszerzenie komór oraz obrzęk podwysciółkowy jest dobrze widoczny w technice echa spinowego. Przyjmuje się, że NMR przewyższa KT i USG w badaniu procesów chorobowych u dzieci (35, 36).

W rozpoznawaniu chorób oczodołu KT daje lepsze wyniki niż NMR. Powodem jest znaczna intensywność silnego sygnału tłuszczu, zjawisko usredniania sygnału w warstwie grubszej, a w następstwie nieostrość małych szczegółów oraz brak obrazowania zwapnień i struktur kostnych oczodołu (38).

Zmiany zapalne (ropnie gruźlicze, wirusowe zapalenie mózgu) dają w NMR wydłużenie czasu T1 i T2 (8).

Zmiany w zwojach podstawnych także bywają wykrywane badaniem NMR. Widoczność jąder podstawy jest dobra, a to umożliwia obrazowanie nawet drobnych ognisk, ich struktury i otoczenia w chorobie Parkinsona, płasawicy Huntingtona i chorobie Wilsona (8, 36).

Badanie NMR odgrywa coraz większą rolę w rozpoznawaniu zmian w ścianach tętnic. Okazuje się, że tłuszcze zawierające trójglicerydy wykazują długi czas T2, a zwapnienia dają słaby sygnał ze względu na skrócenie czasu T2. Podobnie tkanki martwicze w ścianie naczynia wykazują słaby sygnał, otrzymujemy bowiem przedłużony czas T1. Można to wykorzystać do wykrywania ognisk miażdżycy w ścianach naczyń oraz oznaczania przepływu w nich krwi (12, 16, 17).

Schorzenia pasożytnicze mogą być wykryte w NMR, jeśli nie występują w nich zwapnienia. W wągrzycy ujawniają się torbiele średnicy 1 cm z charakterystycznymi przyściennymi guzkami, zawierającymi czerwocha i dającymi wysoki sygnał (24). Procesy demielinizacyjne w toksoplazmozie wykrywane są częściej niż w KT, co w łączności z danymi klinicznymi stanowi podstawę do uściślenia rozpoznania (14).

Zmiany toksyczne wywołują strefy demielinizacji w półkulach i moście. Są zwykle bardziej rozlane niż w SM. Współistnieje często zanik kory bez zaniku spoidła wielkiego. U alkoholików wykazano w NMR ogniska demielinizacyjne w spoidle wielkim. Ma to być typowe dla choroby Marchiafava-Bignama (14, 29).

Stwardnienie guzowate, będące dyshistiozęzą, wykazuje w KT drobne zwapnienia rozsiane podkorowo i przykomorowo. Zwapnienia w NMR nie dają

sygnału, jednak niewidoczne w KT guzki korowe i podwyściółkowe, a także wodogłowie wewnętrzne są rozpoznawane w NMR.

Skany NMR złącza szczytowo-potylicznego, kanału kręgowego i rdzenia wykonane techniką echa spinowego, które daje przewagę T2, są ostre i dość kontrastowe. Z łatwością można wyróżnić na nich szczegóły anatomiczne. Możliwe jest zatem rozpoznawanie syringomyelii, zespołu Chiarego, wypadnięcia migdałków mózdzku do kanału kręgowego, następstw urazu oraz bloku kanału w odcinku szyjnym (34). W przepuklinie jądra miazdżystego techniką NMR wprawdzie wykazano zmniejszenie intensywności sygnału, co pozwoliło odróżnić jądro od pierścienia włóknistego, a także wykryć pooperacyjne blizny łącznotkankowe, jednak do dzisiaj KT pozostaje metodą z wyboru w rozpoznawaniu tego schorzenia (4, 11, 35, 38, 41).

WSKAZANIA I PRZECIWSKAZANIA

Najcenniejszą właściwością NMR jest nieszkodliwość metody w przeciwieństwie do technik stosujących promieniowanie X. Istnieje pogląd, że głównym wskazaniem do badania NMR jest uzyskanie informacji dotyczących zmian morfologicznych, które umiejscowione są głównie w pobliżu kości sklepienia i podstawy czaszki, szczególnie w tylnym dole i w złączu czaszkowo-kręgosłupowym. Brak sygnału z kości jest z jednej strony niekorzystnym zjawiskiem, z drugiej pozwala na uniknięcie omyłek spowodowanych na skanach KT przez artefakty z kości.

Panuje pogląd, że w przypadku rozpoznawania guzów mózgu pierwszą techniką badania winna pozostać KT, jako metoda pewna, dostępna i tańsza (41, 42). Dopiero, gdy wynik badania KT jest ujemny, a dane kliniczne niewyznacznie wskazują na guz, wówczas skierować należy chorego na badanie NMR. Ponadto w guzach tylnej jamy czaszki, nerwiakach, guzach IV komory i okolicy złącza technika NMR przewyższa KT.

Badanie NMR, wykonane w dowolnych płaszczyznach bez zmiany ułożenia chorego, lepiej określa topografię procesu ekspansywnego, a także wykazuje kierunek penetracji, zasięg, kształt i jego wielkość. Duże znaczenie ma obrazowanie struktur linii środkowej w rzucie strzałkowym. Istnieje bowiem możliwość rozpoznawania guzów siodła oraz ukazania ich stosunku do sąsiednich struktur. Badanie NMR jest cenne w wykrywaniu guzów szyszynki i jej okolicy. Podobnie w przypadku guzów umiejscowionych w pniu, odrastających gwiazdziaków, zawałów, krwawień, przetok tętniczo-żylnych — NMR jest techniką z wyboru (4, 20, 24). Najnowsze doświadczenia wskazują na możliwości oceny przepływu płynu mózgowo-rdzeniowego i krwi w naczyniach zaopatrujących mózg (11, 17, 25). Uważa się, że szczególnym wskazaniem do NMR są chorzy podejrzani o zmiany demielinizacyjne, zapalne, pasożytnicze, układowe i niedokrwienne (1, 4, 8, 16).

Możliwość wyboru płaszczyzny, dobre różnicowanie tkanek, wyraźny kontrast pomiędzy tkanką kostną a innymi tkankami, to zalety NMR w rozpoznawaniu i różnicowaniu zmian w rdzeniu i kanale kręgowym (38). Podanie dożylnie Gd-DTPA pozwala na odróżnienie granicy guza od otaczającego obrzęku. Rozpoznawanie guzów wewnątrzrdzeniowych, syringomyelii, torbieli, zmian wrodzonych i patologii rdzenia przedłużonego jest już możliwe na podstawie I skanu wykonanego w linii środkowej w rzucie strzałkowym. Okazuje się, że NMR jest jedyną techniką rozpoznawania w sposób bezpośredni zmian urazowych rdzenia kręgowego. Wyraźnie przewyższa mielografię i KT w diagnostyce nieprawidłowości rozwojowych złącza szczytowo-potylicznego. Zastosowanie NMR do spektroskopii pozwala określić metabolizm komórkowy guza oraz monitorowanie metabolizmu komórkowego podczas radio- i chemioterapii.

Przeciwwskazaniem do badania NMR są chorzy z wszczepionym rozrusznikiem serca, a także posiadający wewnątrzczaszkowe ciała ferromagnetyczne, wprowadzone podczas wypadków i operacyjnie. Dotyczy to także chorych z klipsami hemostatycznymi.

Ujemną stroną metody jest trudność oceny zwapnień śródczaszkowych oraz schorzeń dotyczących kości głowy (14). NMR można stosować u osób współpracujących z badającym, muszą bowiem odpowiedni czas wstrzymać się od zmiany pozycji ciała. Do niedogodności zaliczyć trzeba fakt jeszcze długiego gromadzenia danych i ograniczenia zdolności rozdzielczej.

Mimo wyeliminowania szkodliwego działania promieniowania X oddziaływanie na organizm jakiegokolwiek innej energii zewnętrznej może powodować ujemne skutki. Dotychczas nie wykazano uszkodzeń powstałych na skutek oddziaływania statycznego pola magnetycznego, zmiennego pola magnetycznego bądź fal o częstotliwości radiowej w natężeniach stosowanych w NMR. Jednakże jesteśmy świadkami rozwoju nowej dziedziny biofizyki — magneto-biologii. Pojawiło się już wiele doniesień omawiających efekty oddziaływania stałych pól magnetycznych na organizm. U osób badanych NMR występuje zmiana ciepłoty mięśni i niektórych żył. Zachodzą zmiany w parametrach krwi (jej składzie, krzepnięciu, fibrynolizie, zjawisku aglutynacji, szybkości OB, składzie jonowym osocza) i moczu, a zwłaszcza zmiany dotyczące występowania i aktywności niektórych enzymów, hamowania rozwoju pewnych grup nowotworów oraz syntezy DNA. Ponadto mutacyjne zmiany struktury chromosomów oraz zmiany w EEG i EKG. Zaburzenia te zależą wszakże od szeregu czynników, jak: natężenie i stopień jednorodności pola, czas jego działania i sposób ekspozycji (38). Znane są także korzystne efekty oddziaływania pola magnetycznego, jak leczenie stanów zapalnych, przyspieszanie gojenia się ran, hamowanie starzenia się, a także przyspieszanie procesów kościotwórczych.

Wydaje się, że dopóki nie będzie ostatecznych i jednoznacznych ocen, dopóty należy postępować w czasie badań NMR bardzo ostrożnie. Wprawdzie niektóre

doniesienia ukazują sposoby zapobiegania niekorzystnym skutkom tego badania, to jednak niewykluczone, że będą wprowadzone pewne ograniczenia dotychczasowych wskazań. Ogólnie można stwierdzić, że ta metoda analizy i obrazowania istotnie zmienia dotychczasowe sposoby określania stanu zdrowia i choroby oraz pozwala na wybór właściwego i skutecznego postępowania leczniczego. Niewątpliwie będziemy w najbliższym czasie świadkami doskonałości tej niezwyklej w medycynie metody analizy materii wewnątrz ciała ludzkiego, dokonywanej za życia.

PIŚMIENNICTWO

1. Atlas S. W. i wsp.: MR Imaging of Intracranial Metastatic Melanoma. *J. Comp. Assis. Tomography* **11**, 577, 1987.
2. Bielke G. i wsp.: Definitionen von Pulssequenzen im NMR-Tomogramm. *Fortschr. Röntgenstr.* **146**, 349, 1987.
3. Billewicz O. i wsp.: Warunki racjonalnej eksploatacji techniki magnetycznego rezonansu w Polsce. *Pol. Przegl. Rad.* **4**, 206, 1987.
4. Brand-Zawadzki M., Norman M.: *Magnetic Resonance Imaging of the Central Nervous System*. Raven Press, New York 1987.
5. Brodziak A.: Medycyna magnetyczno-rezonansowa. *Radiospektrometria. Pol. Tyg. Lek.* **23**, 797, 1984.
6. Bryc S.: Zastosowanie poprzecznej tomografii komputerowej w neuroradiologii. *Ann. Univ. M. Curie-Skłodowska, Lublin, Sectio D* **36**, 215, 1981.
7. Butkiewicz J., Pacewicz J.: Podstawy fizyczne medycznych zastosowań jądrowego rezonansu magnetycznego jądra. *Pol. Przegl. Rad. Med. Nukl.* **2**, 119, 1981.
8. Davidson H. D., Steiner E.: *Magnetic Resonance Imaging in Intentions of the Central Nervous System*. *AJNR* **6**, 499, 1985.
9. Dietemann J. L. i wsp.: Multiple Sclerosis and Corpus Callosum Atrophy: Relationship of NMR Findings to Clinical Data. XVth Congress of the European Society of Neuroradiology. Sept. 13-17 1988. Springer-Verlag, Würzburg 1988.
10. Doooms G. i wsp.: Spinecho MR Imaging of Intracranial Hemorrhage. *Neuroradiology* **28**, 132, 1986.
11. Elefante R. i wsp.: Impiego del Gd-DTPA nella patologia neoplastica spinale. *Riv. Neuroradiol.* **2**, 213, 1989.
12. Fromhold W.: Od obrazu rentgenowskiego do MR. *Diagnostyka radiologiczna a rozwój techniki*. *Pol. Przegl. Rad.* **4**, 219, 1987.
13. Gomori J. M. i wsp.: Intracranial Hematomas: Imaging by Highfield MR. *Radiology* **157**, 87, 1985.
14. Grądzki J., Voigt K.: Obrazowanie magnetycznego rezonansu jądrowego w neuroradiologii. *Pol. Przegl. Rad.* **3**, 156, 1988.
15. Kowalski P. i wsp.: Próba oceny przydatności metody magnetycznego rezonansu jądrowego w rozpoznawaniu nowotworów i chorób nienowotworowych przewodu pokarmowego. *Pol. Tyg. Lek.* **13**, 412, 1986.
16. Miller D. H. i wsp.: MR Brain Scanning in Patients with Vasculitis: Differentiation from Multiple Sclerosis. *Neuroradiology* **29**, 226, 1987.
17. Mills C. M. i wsp.: Nuclear Magnetic Resonance. Principles of Blood Flow Imaging. *AJR* **142**, 165, 1984.
18. Niedworek E.: Ciecze paramagnetyczne jako środki kontrastowe w tomografii MR. *Pol. Przegl. Rad.* **2**, 117, 1986.

19. Niezabitowski K. i wsp.: Sprawozdanie z VI Europejskiego Kongresu Radiologii, Lizbona 31 V — 6 VI 1987. *Pol. Przegl. Rad.* **2**, 96, 1988.
20. Peterman S. B. i wsp.: Nuclear Magnetic Resonance Imaging (NMR) of Brain Stem Tumors. *Neuroradiology* **27**, 202, 1985.
21. Piovan E. i wsp.: Tumori della regione pineale. E possibile una distinzione sulla base dell'iconografia? *Riv. Neuroradiol.* **2**, 43, 1989.
22. Pusey E. i wsp.: MR of Craniopharyngiomas. *AJNR* **8**, 439, 1987.
23. Radwan M. W., Woy-Wojciechowski J.: Magnetyczny rezonans jądrowy — nowe możliwości diagnostyczne. *Pol. Przegl. Rad.* **5-6**, 417, 1983.
24. Schörner W. i wsp.: Indikationen der magnetischen Resonanztomographie in der Diagnostik zerebraler Erkrankungen. *Fortschr. Röntgenstr.* **144**, 210, 1986.
25. Szczerbo-Trojanowska M., Trojanowski T.: Jądrowy rezonans magnetyczny — możliwości zastosowania w diagnostyce klinicznej. *Pol. Tyg. Lek.* **49**, 1543, 1983.
26. Tołwiński J.: Jądrowy rezonans magnetyczny jako nowa metoda obrazowania w diagnostyce klinicznej. *Nowotwory* **1**, 1, 1984.
27. Tołwiński J.: Jądrowy rezonans magnetyczny jako metoda obrazowania [w:] *Rentgenodiagnostyka zmian nowotworowych*. Pod red. J. Buraczewskiego, PZWL, Warszawa 1987.
28. Treisch J. i wsp.: Charakteristik intrakranieller Meningeome in der magnetischen Resonanztomographie. *Fortschr. Röntgenstr.* **146**, 207, 1987.
29. Triulzi F. i wsp.: L'agenesia del corpo calloso: valutazione mediante risonanza magnetica e correlazioni cliniche. *Riv. Neuroradiol.* **2**, 113, 1989.
30. Uhlenbrock D. H. K. i wsp.: Kernspintomographie bei Hirntumoren. Auswertung von 40 gesicherten Fällen. *Fortschr. Röntgenstr.* **143**, 505, 1985.
31. Vion-Dury J. i wsp.: MR Imaging of Epidermoid Cysts. *Neuroradiology* **29**, 333, 1987.
32. Weiss T. i wsp.: Zistische Veränderung der hinteren Schädelgrube in Kernspintomographie. *Fortschr. Röntgenstr.* **145**, 590, 1986.
33. Wiener S. N. i wsp.: MR Imaging of Intracranial Arachnoid Cysts. *J. Comp. Assist. Tomogr.* **11**, 236, 1987.
34. Woźnica J., Bryc S.: Rozpoznawanie jamistości rdzenia obrazowaniem techniką jądrowego rezonansu magnetycznego. *Neur. Neurochir. Pol.* **1**, 43, 1988.
35. Wójtowicz J.: Rezonans magnetyczny (NMR) w obrazowaniu narządów wewnętrznych. *Pol. Przegl. Rad.* **5**, 301, 1984.
36. Wójtowicz J.: Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR) w obrazowaniu narządów wewnętrznych. *Pol. Przegl. Rad.* **5-6**, 403, 1983.
37. Wójtowicz J.: Ocena pierwszych 5 lat (1981—1985) eksploatacji tomografii MR. *Pol. Przegl. Rad.* **2-3**, 131, 1987.
38. Wójtowicz J.: Obrazowanie wnętrza ciała metodą rezonansu magnetycznego. *Pol. Tyg. Lek.* **3**, 77, 1985.
39. Wójtowicz A.: Słownik terminów magnetycznego rezonansu jądrowego. *Pol. Przegl. Rad.* **4**, 229, 1986.
40. Zajgner J.: Nowe sposoby obrazowania. [w:] *Sprawozdanie z XVI Międzynarodowego Kongresu Radiologów, Honolulu, July 8-12, 1985*. *Pol. Przegl. Rad.* **50**, 175, 1986.
41. Zajgner J.: Perspektywy obrazowania za pomocą jądrowego rezonansu magnetycznego (NMR) w diagnostyce medycznej. *Pol. Przegl. Rad.* **5-6**, 439, 1983.
42. Zimmerman R. A. i wsp.: Head Injury: Early Results of Comparing CT and High-field MR. *AJNR* **7**, 757, 1986.
43. Zimmerman R. A. i wsp.: Magnetic Resonance Imaging in Temporal Bone Fracture. *Neuroradiology* **29**, 246, 1987.

РЕЗЮМЕ

Целью работы было представить, опираясь на данные из литературы, возможности исследования центральной нервной системы при помощи магнитного ядерного резонанса. Представлены преимущества и ограничения метода в случаях опухолей мозга, болезнях белого вещества, паразитных заболеваниях, а также в сосудистых изменениях, воспалительных процессах и нарушениях гистогенеза.

Улучшение качества получаемых картин, которое произошло в течение последних лет, предсказывает, что ядерный магнитный резонанс, не вызывающий у больного побочных вредных симптомов, станет техникой по выбору, при представлении разных внутренних тканей и органов. О том, что этот метод будет распространяться, решает факт, что он устраняет подвержение ионизирующему излучению, позволяет определить характер ткани на основании содержания в данном пространстве ядер водорода, а также дифференциацию тканей с разными межуатомными связями, т.е. содержащими разные химические соединения.

Автор подвергнул сравнению диагностический потенциал компьютерной томографии, ультрасонографии, ядерного магнитного резонанса, эмиссионной томографии и субтракционной томографии. Проанализировано также степень опасности, связанную с проведением клинических исследований с применением техники ядерного магнитного резонанса.

SUMMARY

The purpose of the study was to present, on the basis of literature data, the possibility of examination of the central nervous system by means of magnetic nuclear resonance. Advantages and limitations of the method are described in cases of brain tumours, white matter diseases, parasitic diseases and vascular changes, inflammatory processes as well as dyshistiogenesis.

The main advantage of the method which will make its future use particularly wide-spread is the fact that it eliminates exposure to ionizing radiation, makes possible determination of the character of the tissue based on the content of hydrogen nucleus in a given area, and enables differentiation to be made of the tissues with different interatomic bonds, that is those which contain different chemical compounds.

Diagnostic potential of computed tomography, ultrasonography, magnetic nuclear resonance, emission tomography and subtraction angiography have been compared. The hazards associated with clinical application of NMR technique are also discussed.