



REDAKTOR DZIAŁU
dr n. med.
Magdalena
Zagrodzka

Szanowne Koleżanki i Koledzy,

Niniejszy odcinek kończy cykl Rezonans magnetyczny serca dla opornych. Zwracamy w nim szczególną uwagę na przydatność tej metody w ocenie morfologii serca i dużych naczyń, a także w ocenie przepływu. Mamy nadzieję, że cały cykl przynajmniej trochę przybliżył możliwości i ograniczenia tej cennej metody diagnostyki obrazowej w badaniu serca. Liczymy także, że będzie on może często pierwszą cegiełką w budowie zrozumienia i porozumienia pomiędzy klinicystami – kardiologami i radiologami, zgodnie z chińskim porzekadłem: „każdy tysięczny marsz zaczyna się jednym małym krokiem”.

Magdalena Zagrodzka

Rezonans magnetyczny serca dla opornych – część 3

Jacek Brzeziński, Magdalena Zagrodzka

Adres do korespondencji:

j.brzezinski@allenort.com
m.zagrodzka@allenort.com

W niniejszym odcinku kończącym cykl Rezonans magnetyczny serca dla opornych omówiona zostanie przydatność MR w:

- ocenie morfologii serca,
- badaniu dużych naczyń śródpiersia,
- badaniach przepływu,
- ocenie wad zastawkowych.

Ocena morfologii serca

NOWOTWORY

Jedną z głównych zalet rezonansu magnetycznego, sprawiającą, że jest on tak przydatny w diagnostyce obrazowej, jest najwyższa wśród wszystkich metod obrazowych rozdzielczość kontrastowa. Unikalne dla każdej tkanki właściwości fizykochemiczne bezpośrednio wpływają na natężenie sygnału z poszczególnych tkanek, kontrast pomiędzy tkankami oraz zmiany natężenia sygnału pod wpływem procesów zachodzących w tkankach.

W codziennej praktyce diagnostycznej w badaniach MR mających na celu ocenę morfologiczną tkanek i narządów najczęściej mamy do czynienia z obrazami, które generalnie możemy podzielić na dwie kategorie – obrazy T1 zależne i obrazy T2 zależne.

Widoczne na nich obszary jasne, o silnym sygnale określone są jako hiperintensywne, a obszary ciemniejsze, o słabszym sygnale, jako hipointensywne.

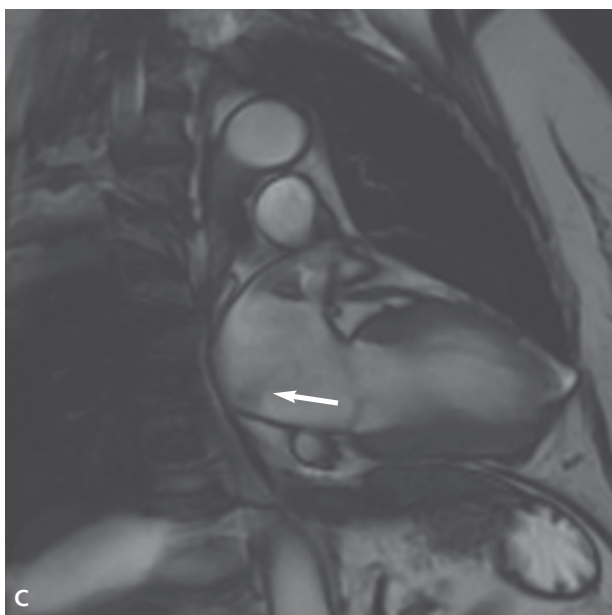
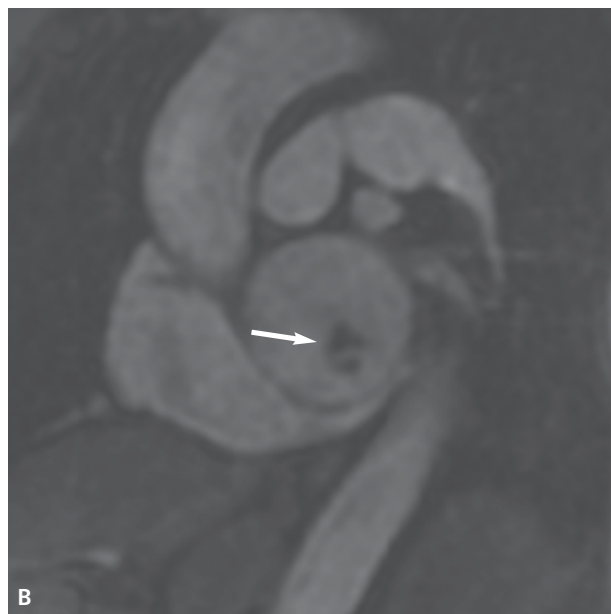
W warunkach prawidłowych w obrazach T1 zależnych strukturami o silnym sygnale, widocznymi jako obszary jasne są tkanki bogate w lipidy oraz zbiorniki zawierające wysokobiałkową treść. Jako struktury o słabym sygnale, widoczne jako obszary ciemne w obrazach T1 zależnych najczęściej obserwujemy przestrzenie płynowe oraz struktury ubogie w atomy wodoru, jak kości, zwapnienia, więzadła, ścięgna oraz inne obszary występowania tkanki łącznej włóknistej.

W warunkach prawidłowych w obrazach T2 zależnych strukturami o silnym sygnale, widoczne jako obszary jasne są przestrzenie płynowe. Jako struktury o słabym sygnale, widoczne jako obszary ciemne w obrazach T2 zależnych, najczęściej obserwujemy struktury ubogie w atomy wodo-

ru, jak kości, zwapnienia, więzadła, ścięgna oraz inne obszary występowania tkanki łącznej włóknistej.

Wszelkie procesy patologiczne prowadzące do zmian w budowie histochemicznej tkanek znajdują swoje odzwierciedlenie w zmienionym obrazie w badaniu MR. Znając przebieg patofizjologiczny danej jednostki klinicznej, często jesteśmy w stanie przewidzieć charakter sygnału zmiany poszukiwanej w obrazach MR.

Procesy prowadzące do stłuszczenia czy powstawania miejscowych depozytów tkanki tłuszczowej powodują pojawienie się odpowiednio rozległych lub ogniskowych zmian hiperintensywnych od otaczających tkanek w obrazach T1 zależnych. Pojawiający się w tkankach obręzk



RYCINA 1

Badanie MR serca, obrazy DIR (A) i FIESTA (B, C). Strzałki wskazują nieprawidłowy twór w obrębie lewego przedsionka odpowiadający najpewniej śluzakowi (dzięki uprzejmości dr. n. med. Bartłomieja Woźniakowskiego z ośrodka diagnostycznego Scanlab w Łodzi).

czy proces martwicy rozplywanej widoczne są jako obszary hipointensywne w obrazach T1 zależnych, a jednocześnie hiperintensywne w obrazach T2 zależnych. Wszelkie procesy przebudowy tkanek prowadzące do zwłóknienia czy zwapnienia powodują pojawienie się zarówno w obrazach T1 zależnych, jak i w obrazach T2 zależnych obszarów hipointensywnych.

Ze względu na różnorodność obrazu na szczególną uwagę zasługują organizujące się krwiaki. W obrazach T1 zależnych świeże krwawienie widoczne jest zwykle jako obszar hipointensywny, natomiast w fazie powstawania methemoglobiny (methemoglobina ma właściwości paramagnetyczne) sygnał ten zmienia się na hiperintensywny. W obrazach T2 zależnych sygnał natomiast ulega zmianie zwykle od hiperintensywnego charakterystycznego dla przestrzeni płynowej do hipointensywnego typowego dla złogów hemosyderyny.

Stwierdzić należy, że w diagnostyce guzów serca to zdolność określenia charakteru tkanki, a nie tylko wykrycia nieprawidłowej masy, jest największą zaletą metody. Informacje, które można uzyskać z obrazów T1 i T2 zależnych potencjalnie pozwalają określić budowę guza i ewentualnie stwierdzić cechy jego złośliwości. Połączenie wysokiej rozdzielczości kontrastowej i przestrzennej z możliwością obrazowania w dowolnej płaszczyźnie pozwala na wyjątkowo precyzyjne określenie topografii guza w odniesieniu do otaczających struktur anatomicznych. Rycina 1 przedstawia obrazy śluzaka lewego przedsionka.

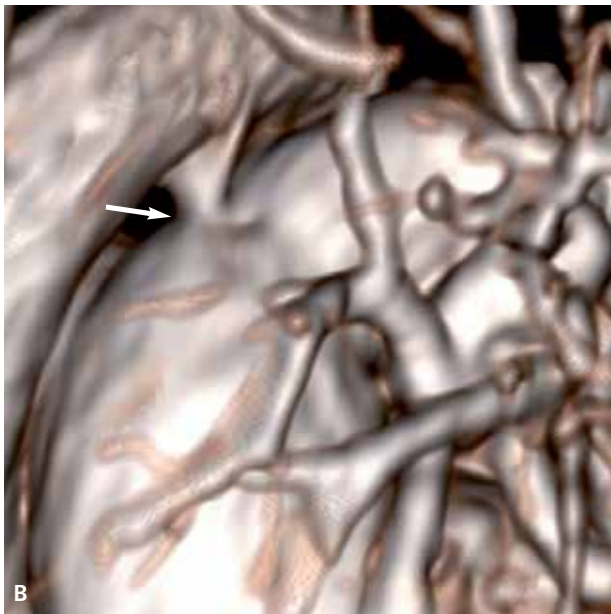
Cechy najczęściej występujących łagodnych nowotworów pierwotnych serca przedstawiono w tabeli 1, a złośliwych w tabeli 2. Występujące w tabelach określenie „zróżnicowane” w odniesieniu do sygnału w obrazach T1 czy T2 zależnych czy odpowiedzi na podanie paramagne-

TABELA 1 Cechy pierwotnych łagodnych nowotworów serca

Nowotwór	Typowa lokalizacja	Charakter sygnału		Wzmocnienie kontrastowe po podaniu gadolinu
		T1	T2	
Śluzak	Lewy przedsionek, przegroda międzyprzedsionkowa	Zróżnicowany	Hiperintensywny	Niejednorodne wzmocnienie
Brodawczak	Zastawki	Izointensywny	Izointensywny	Brak wzmocnienia
Tłuszczak	Lewy i prawy przedsionek, przegroda międzyprzedsionkowa, osierdzie	Hiperintensywny	Hiperintensywny	Brak wzmocnienia
Włókniak	Lewa komora, przegroda międzykomorowa	Izointensywny	Hipointensywny	Niejednorodne wzmocnienie
Mięśniak	Lewa i prawa komora, przegroda międzykomorowa	Izointensywny	Hiperintensywny	Zróżnicowane
Naczyniak	Lewa i prawa komora, przegroda międzykomorowa	Izointensywny	Hiperintensywny	Silne wzmocnienie
Potworniak	Prawy przedsionek, prawa komora, przegroda międzyprzedsionkowa i międzykomorowa, osierdzie	Zróżnicowany	Zróżnicowany	Zróżnicowane
Zwojak	Lewy przedsionek, tętnice wieńcowe, aorta	Izointensywny	Hiperintensywny	Silne wzmocnienie
Naczyniak chłonny	Osierdzie	Zróżnicowany	Hiperintensywny	Niejednorodne wzmocnienie

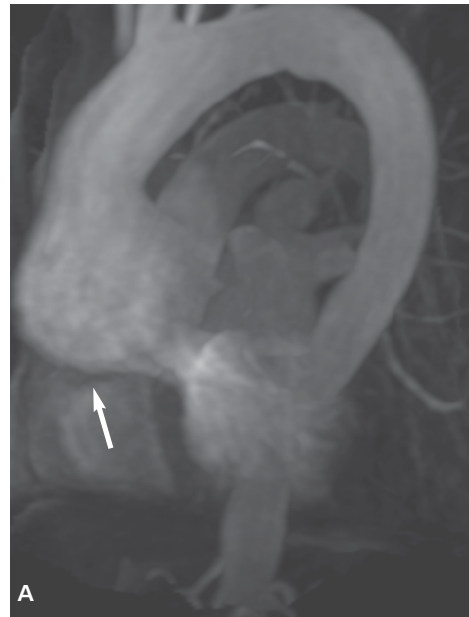
TABELA 2 Cechy pierwotnych złośliwych nowotworów serca

Nowotwór	Typowa lokalizacja	Charakter sygnału		Wzmocnienie kontrastowe po podaniu gadolinu
		T1	T2	
Mięsak naczyniopochodny	Prawy przedsionek	Izointensywny	Hiperintensywny	Niejednorodne wzmocnienie
Mięsak z komórek mięśniowych prążkowanych	Dowolna jama serca	Izointensywny	Izointensywny	Niejednorodne wzmocnienie
Mięsak niezróżnicowany	Lewy przedsionek	Izointensywny	Izointensywny	Zróżnicowane
Mięsak z komórek mięśniowych gładkich	Lewy przedsionek	Izointensywny	Hiperintensywny	Zróżnicowane
Włókniakomięsak	Lewy przedsionek	Izointensywny	Hiperintensywny	Niejednorodne wzmocnienie
Mięsak kościopochodny	Lewy przedsionek	Hiperintensywny	Hiperintensywny	Niejednorodne wzmocnienie
Tłuszczakomięsak	Lewy i prawy przedsionek	Zróżnicowany	Zróżnicowany	Zróżnicowane
Chłoniak	Prawy przedsionek	Hipointensywny	Hiperintensywny	Niejednorodne wzmocnienie



RYCINA 2

Obrazy FIESTA (A) i rekonstrukcji trójwymiarowej typu VR (B). Strzałki wskazują przetrwały przewód tętniczy Botalla (dzięki uprzejmości dr. n. med. Bartłomieja Woźniakowskiego z ośrodka diagnostycznego Scanlab w Łodzi).



RYCINA 3

Badanie aorty, rekonstrukcje MIP (A), trójwymiarowe typu VR (B) i obraz FIESTA (C). Strzałki wskazują tętniakowate poszerzenie opuszki aorty (dzięki uprzejmości dr. n. med. Bartłomieja Woźniakowskiego z ośrodka diagnostycznego Scanlab w Łodzi).

tycznego środka kontrastowego oznacza, że nie ma typowego, częstszego od innych objawu radiologicznego, patognomonicznego dla danej jednostki.

Złośliwy charakter guza należy podejrzewać zawsze, gdy stwierdza się cechy naciekania struktur sąsiednich oraz w przypadku dużych guzów (>5 cm średnicy), gdy obecne są cechy martwicy – centralnie zlokalizowany obszar hipointensywny w obrazach T1 zależnych, hiperintensywny w obrazach T2 zależnych.

Przerzuty do serca występują około 30-krotnie częściej niż nowotwory pierwotne. Ich cechy radiologiczne zależą oczywiście od cech guza pierwotnego, lecz w większości w obrazach MR widoczne są jako ogniska hipointensywne w obrazach T1 zależnych i hiperintensywne w T2 zależnych oraz zwykle ulegają niejednorodnemu wzmocnieniu po podaniu paramagnetycznych środków kontrastowych zawierających gadolin [1,2].



„Oj, to chyba nie jest homar...”

WADY WRODZONE

Wady wrodzone serca występują z częstością około 8 na każde 1000 żywych urodzeń. Połowa z nich wymaga interwencji kardiochirurgicznej lub innego leczenia. MR jako metoda diagnostyczna wolna jest od ograniczeń związanych z innymi metodami obrazowymi, jak echokardiografia (ograniczone okno akustyczne), tomografia komputerowa (promieniowanie jonizujące), cewnikowanie serca (promieniowanie jonizujące, powikłania, wysoki koszt). Ograniczona inwazyjność ma duże znaczenie zwłaszcza w tej grupie wiekowej.

W badaniu MR możliwa jest ocena morfologii i złożonej anatomii wady oraz dokładna powtarzalna ocena ilościowa przepływu przez struktury serca zarówno pod względem prędkości, jak i objętości. Jest to szczególnie przydatne w ocenie nieprawidłowych połączeń pomiędzy jamami serca i przepływów pomiędzy nimi. Dokładne pomiary ilościowe pozwalają także na monitorowanie czy te przepływy, zwłaszcza małe, nie ulegają istotnemu zwiększeniu.

Wskazania do wykonania badania MR serca w przypadku wad wrodzonych obejmują raczej pewne sytuacje niż konkretne jednostki kliniczne. Badanie MR serca powinno być badaniem rozstrzygającym:

- gdy echokardiografia nie jest w stanie dostarczyć wymaganych informacji diagnostycznych,
- gdy istnieje rozbieżność pomiędzy stanem klinicznym i wynikami badań diagnostycznych,
- jako alternatywa do diagnostycznego cewnikowania serca,
- gdy potrzebne informacje można uzyskać jedynie w badaniu MR.

W ocenie morfologii w przypadku wad wrodzonych serca najczęściej wykorzystywane są sekwencje czarnej krwi podwójnego odrostu inwersji (double inversion recovery, DIR) do uzyskania obrazów w płaszczyznach poprzecznej i czołowej. Dzięki znakomitej rozdzielczości kontrastowej na obrazach tych można najlepiej zidentyfikować struktury anatomiczne i określić ich wzajemną topografię. W ocenie jakościowej czynności serca i przepływu przydatne są sekwencje gradientowe jasnej krwi (True FISP, FIESTA), w których wyjątkowo dobrze widoczne są turbulencje związane z nieprawidłowym przepływem – czy przez nieprawidłowe połączenie pomiędzy jamami serca, czy przez niedomykalną zastawkę czy też w okolicy zwężeń. Dodatkową zaletą tych sekwencji jest możliwość uzyskania obrazów wielu faz cyklu pracy serca w obrębie danej warstwy i przedstawienia ich w postaci animowanej sekwencji CINE [3-5]. Na rycinie 2 przedstawiono obrazy przetrwałego przewodu tętniczego Botalla.



„-No tak, trzeba zbadać te naczynia...”

Badanie dużych naczyń śródpiersia

Rezonans magnetyczny jest unikalną metodą wśród technik obrazowych, w której możliwe jest uzyskanie obrazów angiograficznych bez konieczności podawania jakiegokolwiek środka w celu wypełnienia badanych naczyń. Dzieje się tak dzięki możliwości zróżnicowania sygnału pochodzącego z tkanek stacjonarnych w stosunku do przemieszczającej się w obrębie naczyń krwi. Ponadto, możliwość zbierania danych nie tylko z poszczególnych warstw, ale również z określonej objętości przydatna jest przy tworzeniu trójwymiarowych modeli drzewa naczyniowego. Jest to szczególnie użyteczne przy

ocenie dowolnych pomiarów geometrycznych naczyń, które dzięki temu mogą być wykonane w płaszczyźnie prostopadłej do osi długiej naczyń niezależnie od jego krętego przebiegu.

Badanie MR uznano za metodę referencyjną w ocenie tętniaków aorty oraz posiadającą najwyższą czułość i swoistość w wykrywaniu ich rozwarstwień. Liczne badania porównujące MR w wykrywaniu tętniaków aorty z echokardiografią przezprzełykową czy klasyczną angiografią, potwierdzają >98% czułość i swoistość tej metody. Rycina 3 przedstawia tętniak opuszki aorty.

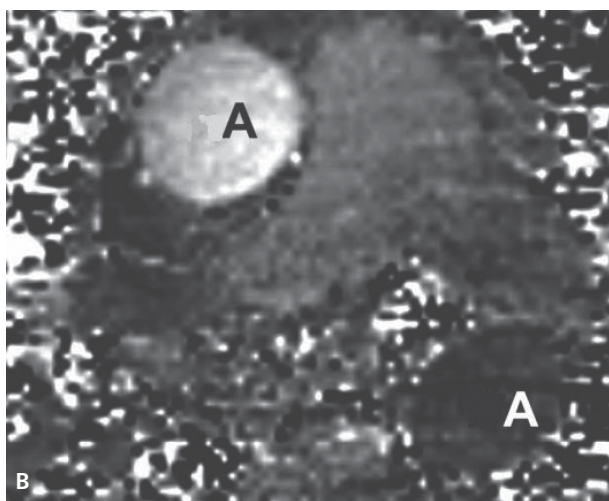
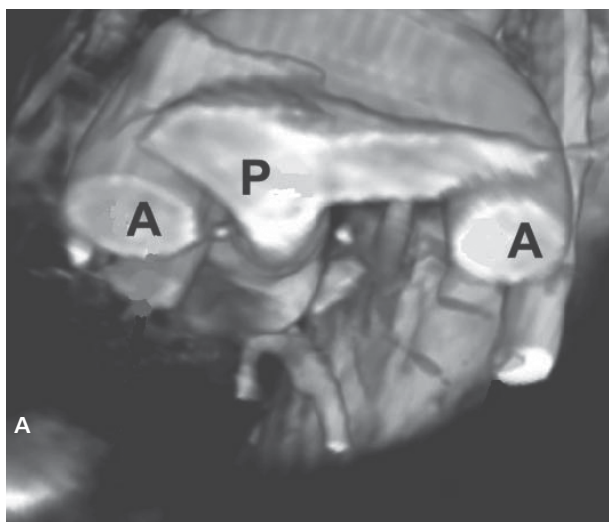
W badaniu MR dużych naczyń typowy protokół badania obejmuje sekwencje czarnej krwi podwójnego odrostu inwersji (DIR) w celu uzyskania obrazów w płaszczyznach poprzecznej i czołowej i oceny morfologii naczyń. Doskonała rozdzielczość kontrastowa pozwala najlepiej na tych obrazach zidentyfikować struktury anatomiczne i określić ich wzajemną topografię. W ocenie przepływającej przez naczynie krwi przydatne są sekwencje gradientowe jasnej krwi (True FISP, FIESTA). W tych obrazach możemy zaobserwować przepływ przez światło naczyń, ewentualny kanał rzekomy czy skrzepliny wewnątrznaczyniowe. W ostatnich latach, w celu poprawy jakości badań angiograficznych MR i skrócenia ich czasu, coraz częściej podawany jest paramagnetyczny środek kontrastowy zawierający gadolin [6,7].



„Temu przepływowi na szczęście nic nie dolega!”

Badania przepływu

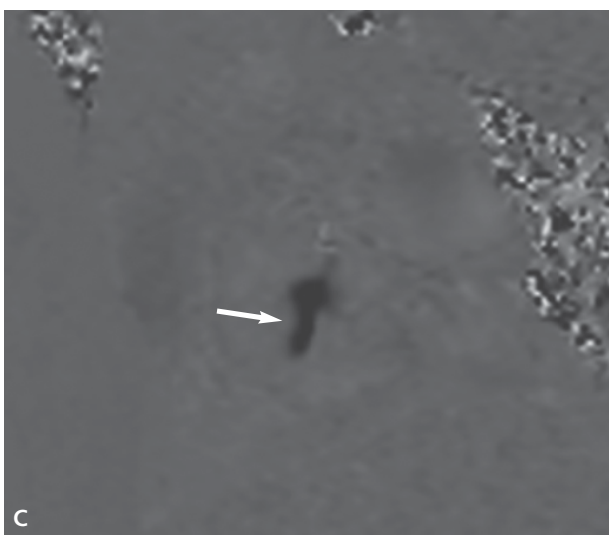
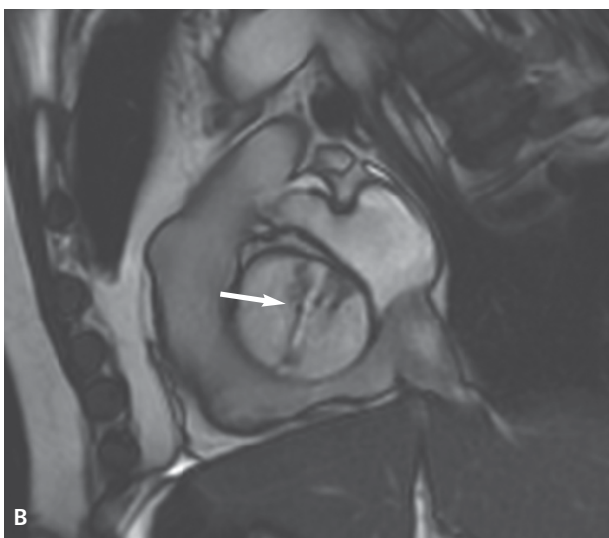
W badaniu MR możliwa jest nie tylko jakościowa ocena przepływu krwi i jego nieprawidłowości, ale również powtarzalne ilościowe określenie prędkości oraz objętości przepływającej krwi. W tym celu stosowana jest metoda oznaczania prędkości fazowej (phase velocity mapping, PVM). Polega ona na przyporządkowaniu określonego sy-



RYCINA 4

Obrazy głównych pni naczyniowych serca, rekonstrukcja trójwymiarowa typu SSD (A) i obraz prędkości fazowej (B). A – aorta, P – pień płucny. Na rycinie (B) uwagę zwraca różnica sygnału przepływającej krwi w aorcie wstępującej (czarne A) i zstępującej (białe A) – omówienie w tekście (dzięki uprzejmości dr. n. med. Bartłomieja Woźniakowskiego z ośrodka diagnostycznego Scanlab w Łodzi).

gnału, którego odzwierciedleniem na obrazie MR jest odpowiedni stopień szarości, danej prędkości przepływu. Z punktu widzenia oceniającego tak uzyskany obraz istotne jest, że pomiar prędkości przepływu dokonywany jest prostopadłe do płaszczyzny obrazu oraz że zwykle obszary jaśniejsze odpowiadają większej prędkości przepływu w kierunku do obserwatora, a obszary ciemniejsze większej prędkości przepływu w kierunku od obserwatora. Pośredni stopień szarości odpowiada strukturom nie przemieszczającym się przez płaszczyznę obrazu [8,9]. Przykładowy obraz badania prędkości fazowej przedstawiono na rycinie 4.



RYCINA 5

Badanie MR serca, obrazy FIESTA (A, B) i obraz prędkości fazowej (C). Strzałki na rycinach (A) i (B) pokazują zniekształcenia płatków zastawki. Na rycinie (C) obszar ciemny odpowiada przyspieszonemu przepływowi zwrotnemu przez zwężoną, niedomykalną zastawkę. Na podstawie natężenia sygnału z tego obszaru możliwe jest obliczenie prędkości przepływu (dzięki uprzejmości dr. n. med. Bartłomieja Woźniakowskiego z ośrodka diagnostycznego Scanlab w Łodzi).



„Chyba coś jest nie tak z tą zastawką?!”

Ocena wad zastawkowych

Mimo że MR nie jest metodą wiodącą w ocenie wad zastawkowych serca, a informacje uzyskane w ten sposób możliwe są do otrzymania także innymi metodami, warto przytoczyć możliwości diagnostyczne MR na tym polu.

W ocenie morfologii dostępne są sekwencje czarnej krwi podwójnego odrostu inwersji (DIR), dzięki którym możliwe jest uzyskanie obrazów zastawek w dowolnej płaszczyźnie z nieosiągalną innymi metodami rozdzielczością kontrastową.

Dzięki wykorzystaniu sekwencji gradientowych jasnej krwi i otrzymanych obrazów w animowanej sekwencji CINE możliwa jest ocena czynności całego serca i określenie podstawowych parametrów hemodynamicznych, ocena czynności zastawek, ruchomości płatków i określenie stopnia stenozы. Ponadto, doskonale widoczne są wszelkie zjawiska związane z nieprawidłowym przepływem, takie jak fala zwrotna przez niedomykalną zastawkę, czy szybki przepływ przez istotne zwężenie. Obrazy zmienionej zastawki przedstawiono na rycinie 5.

Wreszcie, dzięki metodzie oznaczania prędkości fazowej możliwe jest powtarzalne ilościowe określenie prędkości przepływu oraz objętości przepływającej krwi [10,11].

Piśmiennictwo:

1. Syed IS, Feng D, Harris SR, et al.: MR imaging of cardiac masses. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2008 May, 16 (2): 137-164.
2. Sparrow PJ, Kurian JB, Jones TR, Sivananthan MU: MR imaging of cardiac tumors. *Radiographics* 2005 Sep-Oct, 25 (5): 1255-1276.
3. Crean A: Cardiovascular MR and CT in congenital heart disease. *Heart* 2007, 93 (12): 1637-1647.
4. Kellenberger CJ, Yoo SJ, Büchel ER: Cardiovascular MR imaging in neonates and infants with congenital heart disease. *Radiographics* 2007 Jan-Feb, 27 (1): 5-18.
5. Weber OM, Higgins CB: MR evaluation of cardiovascular physiology in congenital heart disease: flow and function. *J Cardiovasc Magn Reson* 2006, 8 (4): 607-617.

Ciąg dalszy piśmiennictwa na str. 24