

# Przegląd nowoczesnych technik ultrasonograficznych w reumatologii – ultrasonografia błony maziowej

Review of high-tech ultrasound techniques in rheumatology – ultrasonography of synovial membrane

*Sławomir Jeka*

Szpital Uniwersytecki nr 2 im. dr. Jana Bizuela w Bydgoszczy, Oddział Reumatologii i Układowych Chorób Tkanki Łącznej, ul. Ujejskiego 75, 85-168 Bydgoszcz, tel. +48 606 425 999, e-mail: s.jeka@wp.pl

## Streszczenie

Podstawową metodą oceny pozapalnych i zwyrodnieniowych zmian strukturalnych stawów jest badanie rentgenowskie. Jednakże szybki rozwój metod ultrasonograficznych w ostatnich latach spowodował, że badanie ultrasonograficzne staje się badaniem alternatywnym do rentgenodiagnostyki i rezonansu magnetycznego w rozpoznawaniu chorób reumatycznych. Już dziś wielu reumatologów i radiologów wykorzystuje badanie ultrasonograficzne we wczesnej diagnostyce oraz monitorowaniu chorób reumatycznych, a zwłaszcza w reumatoidalnym zapaleniu stawów.

W artykule przedstawiono najnowsze techniki obrazowania dostępne w ultrasonografii, najczęściej stosowane przez reumatologów w praktyce lekarskiej. Przedstawiono przykładowe badania błony maziowej.

**Słowa kluczowe:** ultrasonografia, reumatoidalne zapalenie stawów, błona maziowa, nadżerki

## Abstract

The basic diagnostics method of post-inflammatory and degenerative changes within the joints of hands and feet is the X-ray examination. The recent developments in ultrasound techniques caused that ultrasound-based diagnostics may become a real alternative to conventional X-ray or magnetic resonance imaging.

This paper presents the recent achievements in ultrasound imaging used by rheumatologists for examinations of rheumatoid diseases. Exemplary diagnosis of the synovial membrane inflammation is described.

**Key words:** ultrasonography, rheumatoid arthritis, synovial membrane, bone erosion

## Wstęp

W ostatnich latach nastąpił znaczny rozwój aparatów ultrasonograficznych. Udoskonalono głowice, których częstotliwość w badaniu stawów jest już rzędu 18-20 MHz. Drugim istotnym czynnikiem jest wzrost mocy obliczeniowej komputerów i zastosowanie coraz lepszego oprogramowania wykorzystywanego do analizy uzyskiwanego obrazu w trakcie badania. Jednakże pomimo znacznej poprawy jakości badań w reumatologii, ciągle mamy do czynienia z ograniczonym zastosowaniem nowych opcji obrazowania ultrasonograficznego. Ma na to wpływ wiele czynników, wśród których najważniejszymi są: brak odpowiedniej wiedzy z zakresu ultrasonografii wśród

reumatologów, brak jednoznacznych kryteriów oceny badania ultrasonograficznego oraz wysoki koszt nowoczesnych aparatów USG [1].

Wczesne rozpoznanie reumatoidalnego zapalenia stawów jest trudne. Postęp w dziedzinie obrazowania ultrasonograficznego spowodował, że badanie USG zyskuje na znaczeniu w diagnostyce wczesnego zapalenia stawów i reumatoidalnego zapalenia stawów (RZS) [2]. Należy zatem przyrzeć się postępowi ultrasonografii, jaki dokonał się na przestrzeni ostatnich lat, i spróbować wykorzystać nowe możliwości w praktyce reumatologicznej.

## Współczesne techniki obrazowania ultrasonograficznego

Oprócz poprawy niektórych parametrów, zwiększenia częstotliwości emitowanych ultradźwięków oraz coraz doskonalszych głowic, przydatność diagnostyczną aparatów ultrasonograficznych (USG) zwiększają również nowe opcje, takie jak PCD (*Power Color Doppler*) czy użycie środków kontrastujących. Z rozwojem mocy obliczeniowej procesorów komputerowych wiąże się również poprawa jakości obrazowania. Dostępne są różne nowe opcje np. SRI (*Speckle Reduction Imaging*) bądź odpowiednik XVIEW. Również obrazowanie harmoniczne (*Tissue Harmonic Imaging – THI*) pozwala na poprawę jakości obrazu.

Należy pamiętać, że każda metoda oprócz zalet ma również wady. Jako przykład może posłużyć obrazowanie harmoniczne, które pozwala uzyskać wyższą jakość obrazu niż w klasycznym badaniu ultrasonograficznym, jednak maksymalna głębokość penetracji, z jakiej można uzyskać obraz, jest mniejsza, niż ma to miejsce w przypadku klasycznego badania USG.

## Obrazowanie harmoniczne

Zjawisko generacji drugiej harmonicznej znane jest fizykom od roku 1961. W trakcie przechodzenia fali (w przypadku USG – ultradźwięków) przez ośrodek w wyniku procesów nieliniowych poza falą o podstawowej częstotliwości powstaje również fala o częstotliwości podwójnej – zjawisko to zostało odkryte przez A. Frankena i jego współpracowników [3-5].

Głębokości penetracji fali jest ściśle związana z jej długością. Im większa długość fali, tym większa jej głębokość penetracji. W przypadku badania ultrasonograficznego oznacza to, że można uzyskać obraz narządów położonych głęboko wewnątrz ciała.

Wzrost częstotliwości pociąga ze sobą spadek długości fali, a co za tym idzie – zmniejszanie efektywnej głębokości obra-

zowania. Zatem jakie korzyści daje nam obrazowanie harmoniczne? Zmniejszanie długości fali pozwala na uzyskanie lepszej rozdzielczości obrazu struktur anatomicznych narządów położonych na stosunkowo małej głębokości, jak np. sutki, jądra, gruczoł tarczowy czy ślinianki. Natomiast w przypadku struktur anatomicznych znajdujących się na dużej głębokości, np. prostata, nerki, śledziona, duże naczynia jamy brzusznej należy zastosować inną opcję.

## Redukcja szumów SRI/XVIEW

Obydwie opcje opierają się na bardzo podobnym algorytmie – sposób działania takiego typu algorytmu opisano na przykładzie opcji SRI.

Opcja redukcji szumów jest w rzeczywistości zaawansowaną obliczeniowo numeryczną analizą uzyskiwanego obrazu. W trakcie klasycznego badania ultrasonograficznego na spadek jakości obserwowanego obrazu wpływają artefakty oraz szumy. Opcja SRI analizuje uzyskiwany obraz w czasie rzeczywistym i poprawia jego jakość poprzez usuwanie z niego szumów. Proces ten opiera się na analizie każdego piksela, z którego jest budowany obraz. Program komputerowy dzieli piksele na dwie grupy: uważane za obserwowaną strukturę anatomiczną i piksele odpowiedzialne za szumy. Dodanie piksela następuje poprzez analizę innych przylegających do niego. Na tym etapie dokonywana jest analiza stopnia szarości pikseli znajdujących się w otoczeniu badanego. Jeśli różnica w stopniu szarości wydaje się przypadkowa, to taki piksel uznawany jest za szum i program dopasowuje stopień szarości takiego piksela do tych, które go otaczają. W przypadku klasyfikacji danego piksela jako elementu badanej struktury, algorytm stara się wzmocnić krawędzie dla takiej grupy pikseli [6]. Uzyskiwany w ten sposób obraz jest mniej „poszarpany” na krawędziach, niż ma to miejsce w przypadku obrazu uzyskanego w zwykłym badaniu ultrasonograficznym.

## Opcja Power Doppler Power Color Doppler

Opcja *Color Doppler* służy do pomiaru prędkości i kierunku przepływu krwi. Pozwala uzyskać informacje, które w innych opcjach badania ultrasonograficznego są trudno dostępne bądź nawet niemożliwe. Sama opcja *Color Doppler* ma niestety niewielkie praktyczne zastosowanie w reumatologii. Wynika to z faktu, że w błonie maziowej mamy do czynienia z bardzo wolnymi przepływami naczyniowymi. Oznacza to, że w praktyce sygnał z takich przepływów jest zbyt mały, aby mógł zostać zarejestrowany. Natomiast wariant *Power Color Doppler* (PCD) jest coraz powszechniej używany w praktyce

reumatologicznej [7]. Wzmocniony sygnał, jaki uzyskuje się w tej opcji, pozwala na zarejestrowanie nawet bardzo wolnych przepływów krwi, jakie np. występują w drobnych naczyniach krwionośnych błony maziowej. Należy tutaj podkreślić, że opcja PCD nie mierzy prędkości przepływu krwi i nie ustala jego kierunku. Dzięki temu również kąt ustawienia głowicy względem badanego naczynia nie ma większego wpływu na uzyskany wynik badania, jak ma to miejsce w przypadku opcji *Color Doppler*.

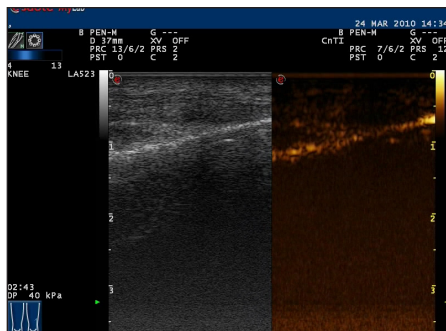
## Ultrasonografia z wykorzystaniem środków kontrastujących

Cyfrowa analiza obrazu ma swoje ograniczenia, a coraz to nowsze algorytmy uniemożliwiają poprawianie obrazu w nieskończoność, w innym wypadku obraz uzyskiwany za pomocą takiej analizy mógłby mieć niewiele wspólnego z obrazem rzeczywistym. Podobnie nie można poprawiać parametrów używanych głowic – wiele praw fizycznych wyznacza granicę, do której można dotrzeć.

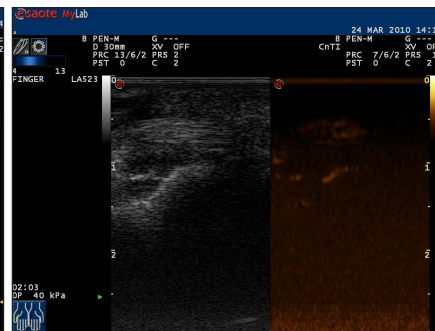
Alternatywną drogą poprawy jakości obrazowania może być ingerencja w środowisko, z którego uzyskuje się obraz. Zmieniając jego parametry fizyczne poprzez wprowadzenie środków kontrastujących drugiej generacji, można uzyskać znaczną poprawę jakości uzyskiwanego obrazu [8]. Zasadniczy wpływ na poprawę środków kontrastujących – mikropęcherzyków gazu, których średnice są rzędu 2,5-3  $\mu\text{m}$ , miało dodanie do nich błony fosfolipidowej, dzięki której są one bardziej odporne na uszkodzenia mechaniczne, do których może dojść np. pod wpływem zmian ciśnienia krwi. Dzięki temu czas życia takich pęcherzyków wynosi nawet do kilkunastu minut. Jest to dostateczny czas na wykonania bez pośpiechu dokładnego badania i dokonanie oceny przepływu krwi w obrębie błony maziowej [9].

Pęcherzyki fosfolipidowe są obiektem badań nauk przyrodniczych na pograniczu biologii i fizyki od wielu lat, co w efekcie umożliwiło ich zastosowanie w środkach kontrastujących. Poprawa jakości obrazu uzyskanego z użyciem środków cieniujących wynika z faktu, że pęcherzyki zwiększają echogeniczność w badanym obszarze. Dzięki temu głowica rejestruje o wiele silniejszy sygnał, niż ma to miejsce w przypadku badania bez użycia środków kontrastujących [10].

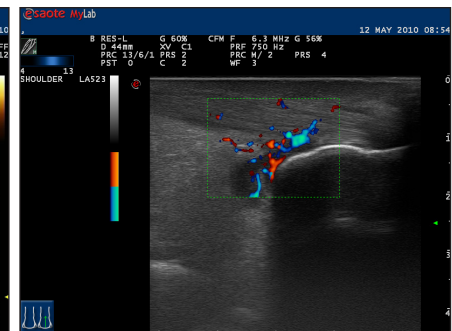
Zaletą badania z użyciem środków cieniujących jest to, że można je łączyć z innymi opcjami badań, jakie oferują współczesne aparaty ultrasonograficzne np. z SRI [11]. Przy odpowiednim doborze częstotliwości ultradźwięków można również wywołać nieliniowe oscylacje pęcherzyków fosfolipidowych i w efekcie uzyskać generację drugiej harmonicznej.



Fot. 1 USG błony maziowej stawu kolanowego, przekrój podłużny. Na zdjęciu prawym obraz został uzyskany po dożylnym wstrzyknięciu środka kontrastującego na bazie sześciofluorku siarki



Fot. 2 Staw MCP II prawy. Na zdjęciu po prawej stronie widoczny obraz został uzyskany pod dożylnym wstrzyknięciem środka kontrastującego na bazie sześciofluorku siarki



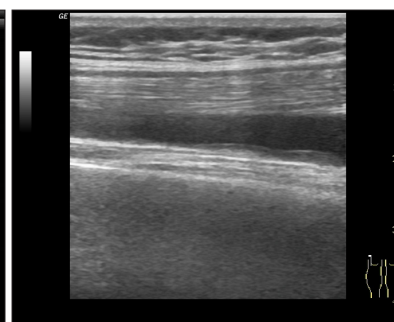
Fot. 3 Przyczep prawego ścięgna Achillesa, przekrój podłużny w opcji PCD



Fot. 4 Przekrój podłużny przez rowek międzyguzkowy kości ramiennej prawej z pochwą ścięgnistą i ścięgnem głowy długiej mięśnia dwugłowego ramienia prawego w opcji PCD



Fot. 5 Staw barkowy prawy, przekrój poprzeczny przez ścięgno głowy długiej mięśnia dwugłowego ramienia z obrazowaniem harmonicznym i opcja SRI



Fot. 6 Obrzęk błony maziowej, staw kolanowy



Fot. 7 Przerost błony maziowej w stawie skokowym

Tabela 1 Ocena aktywności zapalenia błony maziowej w PCD

Obraz prawidłowy – brak sygnału PCD
1. Niewielkie przekrwienie błony maziowej – sygnał PCD obejmuje poniżej 25% błony maziowej
2. Umiarkowane przekrwienie – sygnał PCD obejmuje powyżej 25%, ale mniej niż 50% błony maziowej
3. Znaczne przekrwienie – sygnał PCD obejmuje powyżej 50% błony maziowej

## Błona maziowa w badaniu ultrasonograficznym

Prawidłowa błona maziowa w badaniu ultrasonograficznym jest niewidoczna. W większości chorób reumatycznych dochodzi jednak do zmian zapalnych w jej obrębie. Obecność nadmiernej ilości płynu wewnątrzstawowego powoduje jej uwidocznienie w trakcie badania USG. Dzięki temu badanie ultrasonograficzne odgrywa ważną rolę w diagnozowaniu wczesnego zapalenia stawów, a w zwłaszcza wczesnego RZS, jak i monitorowaniu skuteczności ich leczenia. Warto jednak pamiętać, że to badanie nie pozwala ustalić przyczyny obecności płynu wewnątrzstawowego. Wysięk błony maziowej nie musi być wynikiem RZS, może wystąpić w innych układowych chorobach tkanki łącznej, jak również w przebiegu spondyloartropatii, dny moczanej, reaktywnych zapaleń stawów bądź infekcji. Z tego względu często przeprowadza się dodatkowo punkcję diagnostyczną płynu stawowego, która w sytuacjach trudnych technicznie odbywa się pod kontrolą USG. W przypadku RZS najwcześniej jest widoczna zapalnie zmieniona błona maziowa stawów rąk MCP i PIP oraz stóp MTP, a w przypadku dzieci również dużych stawów, w tym najczęściej stawów kolanowych. Obszary błony maziowej objęte stanem zapalnym na ogół charakteryzują się zwiększonym przepływem w opcji *Power Color Doppler*, co może być również wskaźnikiem aktywności choroby [12]. Zmiany, jakie zachodzą w błonie maziowej, można podzielić na trzy grupy – w zależności od czasu trwania zapalenia:

1. Okres wczesny:
  - a. pogrubienie i obrzęk błony maziowej,
  - b. zwiększenie ilości płynu.
2. Okres zaawansowany:
  - a. znaczny przerost błony maziowej,
  - b. obniżenie echogeniczności.

3. Okres późny:
  - a. znaczny przerost błony maziowej z dużymi uwypukleniami o kosmkowatych kształtach,
  - b. obecność zwapnień i zwłóknień,
  - c. obecność ciał wolnych w płynie stawowym.

W badaniu z użyciem opcji PCD widoczny zwiększony przepływ naczyniowy jest ściśle związany z aktywnym zapaleniem błony maziowej, a liczba widocznych naczyń w takim badaniu koreluje z aktywnością zapalenia. Na podstawie obrazu PCD można dokonać oceny aktywności zapalenia stawu [13]:

Chociaż PCD jest dobrą metodą do oceny zmian zapalnych błony maziowej u pacjentów z RZS, to nie ma jeszcze dowodów, które by dawały pewność, że za pomocą badania PCD można obserwować zmiany przepływu w błonie maziowej spowodowane sterydoterapią [14] czy stosowaniem środków z grupy leków modyfikujących przebieg choroby (LMPCH) [15].

W przypadku wykonywania badania ultrasonograficznego błony maziowej możemy wyróżnić następujące cele takiej diagnostyki:

1. ocena morfologiczna,
2. pobieranie materiału biologicznego do badań laboratoryjnych,
3. podawanie leków,
4. monitorowanie leczenia.

Obecnie rozpoznanie RZS opiera się na kryteriach ACR (*American College of Rheumatology*) z 1987 roku, w których m.in. na podstawie obecności nadżerek widocznych na zdjęciu rentgenowskim potwierdza się rozpoznanie RZS. Nowoczesne aparaty ultrasonograficzne mają o wiele lepszą rozdzielczość obrazu niż aparaty rentgenowskie. Dzięki temu w trakcie badania USG można wykryć nadżerki, które nie będą uwidocznione na zdjęciu RTG [16]. W momencie wykrycia nadżerek za pomocą RTG mamy już zwykle do czynienia z sytuacją, w której rokowania są już mniej pomyślne. Z tego względu wczesne wykrywanie nadżerek, a co za tym idzie, szybkie zdiagnozowanie RZS jest niezwykle ważne w procesie leczenia pacjentów. Niestety, pomimo tej niewątpliwiej zalety badania ultrasonograficznego ciągle brakuje standaryzowanych kryteriów w ocenie nadżerek w badaniu ultrasonograficznym.

## Podsumowanie

Rozwój techniczny w konstrukcji aparatów ultrasonograficznych, poza oczywistymi korzyściami, wynikającymi z poprawy jakości obrazu, wymaga również znajomości ograniczeń dostępnych opcji. Jest to wiedza niezbędna do wykonania prawidłowego badania USG. Dzięki temu wiele zabiegów można przeprowadzić z niespotykaną wcześniej precyzją i zwiększonym bezpieczeństwem dla pacjenta, jak np. aspiracja płynu stawowego, biopsja czy iniekcja dostawowa [17]. Poza tym w trakcie badania pacjentów z RZS pozwala ono na szybką i bezpośrednią ocenę stawu podczas wizyty.

Ocena błony maziowej za pomocą badania ultrasonograficznego z wykorzystaniem aktualnie dostępnych opcji obrazowania pozwala na szybszą diagnozę i rozpoczęcie właściwego leczenia. Należy pamiętać, że zapalenie błony maziowej wyprzedza pojawienie się takich zmian, jak ziarnina zapalna czy nadżerki.

Dodatkową zaletą ultrasonografii jest jej dostępność. Badanie USG jest tańsze od badania za pomocą rezonansu magnetycznego czy tomografii komputerowej. Poza tym jest bezpieczniejsze dla pacjenta niż powyższe badania czy klasyczne badanie rentgenowskie.

Dzięki temu badania ultrasonograficzne zyskują coraz większe znaczenie w reumatologii, co potwierdzają szkolenia, jakie prowadzi *British Society for Rheumatology*, ACR bądź EULAR [18]. ■

## Literatura

1. E. Filippucci, G. Meenagh, O. Epis i in.: *Ultrasound imaging for the rheumatologist. XIII. New trends. Three-dimensional ultrasonography*, Clin Exp Rheumatol., vol. 26(1), 2008, s. 1-4.
2. M. Korkosz, W. Wojciechowski, K. Kapuścińska i in.: *Niskopłowy rezonans magnetyczny i ultrasonografia wysokiej rozdzielczości nadgarstka, stawów śródrečno-paliczkowych i międzypaliczkowych bliższych rąk oraz przeciwciała antycytrulinowe i czynniki reumatoidalne w rozpoznawaniu reumatoidalnego zapalenia stawów u pacjentów z niezróżnicowanym zapaleniem wielostanowym*, Reumatologia, vol. 47(2), 2009, s. 51-59.
3. S. Kielich: *Molekularna optyka nieliniowa*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Poznań 1977.
4. M. Berry, V. Howdhury, S. Suri: *Diagnostic radiology – advances in imaging technology*, Jaypee 2005.
5. R. Ślapa: *Nowoczesne techniki ultrasonograficzne w badaniach tarczycy*, Ultrasonografia, vol. 9, 2009, s. 38.
6. A. Milkowski, L. Yadong, D. Becker i in.: *Speckle reduction imaging*, materiały branżowe GE Medical Systems Ultrasound.
7. M. Gutierrez, E. Filippucci, R. de Angelis i in.: *A sonographic spectrum of psoriatic arthritis “the five targets”*, Clin Rheumatol, vol. 29, 2010, s. 133-142.
8. W. Jakubowski: *Postępy w ultrasonograficznych środkach kontrastujących (USK)*, Ultrasonografia, nr. 15, 2004, s. 40.
9. T. Madej, B. Kolarz, C. Stępnik i in.: *Ultrasonograficzne środki kontrastujące w ocenie aktywności procesu zapalnego w obrębie stawów i pochewek ścięgnistych rąk u chorych na reumatoidalne zapalenie stawów*, Ultrasonografia, nr 31, 2007, s. 85-89.
10. F. Calliada, R. Campani, O. Bottinelli i in.: *Ultrasound contrast agents: basic principles*, Eur J Radiol., vol. 27(2), 1998, s. 157-160.
11. F.M. Solivetti, F. Elia, M. Teoli i in.: *Role of contrast-enhanced ultrasound in early diagnosis of psoriatic arthritis*, Dermatology, vol. 220, 2010, s. 25-31.
12. T.H.S. Bedi, R.N. Bagga: *Ultrasound in rheumatology*, Journal of Radiology and Imaging, Musculoskeletal ultrasound symposium, vol. 17(4), 2007, s. 299-305.
13. U. Fiocco, F. Ferro, M. Vezzu i in.: *Rheumatoid and psoriatic knee synovitis: clinical, grey scale, and power Doppler ultrasound assessment of the response to etanercept*, Ann. Rheum. Dis., vol. 64, 2005, s. 899-905.
14. E. Filippucci, A. Farina, M. Carotti, F. Salaffi, W. Grassi: *Grey scale and power Doppler sonographic changes induced by intra-articular steroid treatment*, Ann Rheum Dis, vol. 63, 2004, s. 740-743.
15. M.E. Weinblatt, E.C. Keystone, D.E. Furst: *Long term efficacy and safety of adalimumab plus methotrexate in patients with rheumatoid arthritis: ARMADA 4 year extended study*, Ann Rheum Dis., vol. 65(6), 2006, s. 753-759.
16. W. Grassi, E. Filippucci, A. Farina, C. Cervini: *Ultrasonography in evaluation of bone erosions*, Ann Rheum Dis, vol. 60, 2001, s. 98-104.
17. S. Jeka, A. Murawska: *Ultrasonografia błony maziowej w chorobach reumatycznych*, Reumatologia, vol. 47(6), 2009, s. 339-343.
18. D. Kane, W. Grassi, R. Sturrock, P.V. Balint: *A brief history of musculoskeletal ultrasound: From bats and chips to babies and hips*, Rheumatology, vol. 43, 2004, s. 931-933.

otrzymano / received: 12.03.2010 r.  
zaakceptowano / accepted: 30.07.2010 r.