

Otrzymano:
05.12.2016
Zaakceptowano:
07.03.2017
Opublikowano:
29.09.2017

Błędy i pomyłki w diagnostyce ultrasonograficznej układu mięśniowo-szkieletowego – przyczyny i sposoby ich unikania

Diagnostic errors in musculoskeletal ultrasound imaging and how to avoid them

Małgorzata Serafin-Król¹, Artur Maliborski²

¹ Zakład Diagnostyki Obrazowej, II Wydział Lekarski, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

² Zakład Radiologii Lekarskiej, Wojskowy Instytut Medyczny, Warszawa, Polska

Adres do korespondencji: Dr n. med. Małgorzata Serafin-Król, Zakład Diagnostyki Obrazowej, II Wydział Lekarski, Mazowiecki Szpital Bródnowski, ul. Kondratowicza 8, 03-242 Warszawa, tel.: 22 326 58 10, kom.: 601 230 466, e-mail: mskrol@gmail.com

DOI: 10.15557/JoU.2017.0028

Słowa kluczowe

ultrasonografia,
układ
mięśniowo-szkieletowy,
artefakty,
błędy diagnostyczne

Keywords

ultrasound,
musculoskeletal
system,
artifacts,
diagnostic mistakes

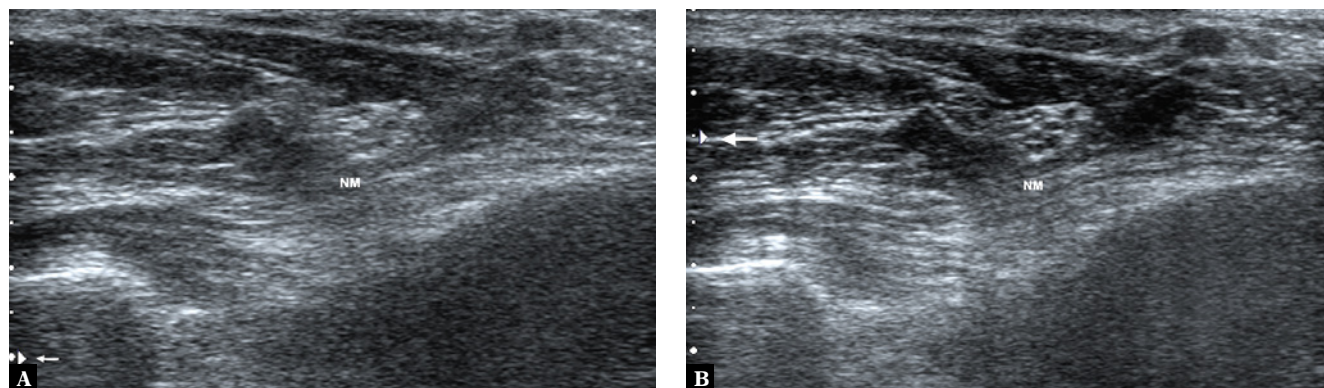
Abstract

The article reviews the major challenges related to the principles of the correct technique of musculoskeletal ultrasound (MSK US). All the crucial aspects of correct MSK soft tissue diagnosis have been discussed, including equipment settings, use of recent image software innovations and ultrasound standoff pads, and correct transducer positioning. The importance of the fundamental principles of MSK US, facilitating good quality image and limiting the occurrence of artifacts, has been highlighted. The most common artifacts of the musculoskeletal system have been described, including those that diagnostically helpful, such as the presence of echo enhancement deep to a fluid-filled structure, or an acoustic shadow behind a calcification. The presence of acoustic shadow in the context of lesions of a different type has also been discussed. The common anisotropy-related artifacts, frequently leading to diagnosis of a pathological condition where none is present, have been elaborated on. The frequently encountered mirror reflection artifact has been described. Special attention has been paid to the means of either eliminating, or taking advantage of artifacts for the correct diagnosis of musculoskeletal lesions. The possibilities and technique of correct differentiation of hypoechoic or anechoic foci, commonly found in the pathological conditions of the musculoskeletal system, have been analysed. Non-typical ultrasound findings leading to misdiagnosis of given pathological conditions have been discussed.

W ciągu ostatnich 20 lat ultrasonografia układu mięśniowo-szkieletowego (*musculoskeletal*, MSK) stała się ważnym narzędziem diagnostyki obrazowej w ortopedii, medycynie sportowej, reumatologii oraz innych dziedzinach medycyny, w których też spotykane są zmiany w jego obrębie. Istotne zalety badania USG to jego szeroka dostępność, bezpieczeństwo, łatwość wykonania w różnych warunkach i duże możliwości diagnostyczne, w tym badanie czynnościowe w czasie rzeczywistym, natychmiastowy wynik.

Pomimo wszystkich zalet i coraz częstszego uwzględnienia wyników badania w różnych algorytmach diagnostycznych należy pamiętać, że USG układu MSK nie jest badaniem

prostym z powodu różnorodnej i skomplikowanej anatomii i patofizjologii, w tym zmienności obrazów związanych z ruchem, który jest istotą jego funkcji. Ultrasonografia wymaga szczegółowej znajomości anatomii funkcjonalnej, która pozwala na prawidłowe wykonanie badań czynnościowych. Stanowią one w większości przypadków integralny element całego badania. Następnym utrudnieniem bywają często powstające artefakty, szczególnie przy badaniu zagiętych, nierównych tkanek oraz drobnych, położonych głęboko położeń bardzo rozbudowanych mięśni oraz gruba warstwa tkanki tłuszczowej sprawiają, że do diagnostyki trzeba użyć głowicy o niższej częstotliwości,



Ryc. 1. Wpływ ustawienia poziomu ogniska (strzałka) na obraz tkanek na różnej głębokości. Nerve pośrodkowy (NM) w dolnej $1/3$ przedramienia między mięśniami zginacza powierzchownego i głębokiego palców. **A.** niskie położenie ogniska, mniej wyraźna struktura nerwu i mięśni leżących powierzchni; **B.** podniesienie poziomu ogniska spowodowało lepsze uwidocznienie struktury nerwu i tkanek leżących powierzchni

niekiedy głowicy typu convex, stosowanej do badania jamy brzusznej. Wiąże się to z koniecznością zaakceptowania gorszej rozdzielczości, głównie przestrzennej, obrazu.

Bardzo szybki i ciągle rozwijający się rozwój technik ultrasonograficznych umożliwia uzyskiwanie coraz lepszych obrazów – z redukcją artefaktów, szerszym zakresem pracy pojedynczej głowicy i łatwiejszą obsługą aparatów, co pozwala na szybsze opanowanie techniki badania i jej zastosowanie w codziennej praktyce.

W każdym badaniu obrazowym, także w USG, nadal istnieją pewne ograniczenia metody i możliwość wystąpienia artefaktów, które powodują zafalszowanie obrazu prowadzące do błędnej jego oceny. Aby badanie było wykonane prawidłowo i trafnie zinterpretowane, konieczne jest spełnienie wielu warunków zależnych od następujących czynników:

- jakość aparatu;
- wybór głowicy;
- prawidłowe ustawienie parametrów pracy aparatu;
- prawidłowa technika badania z ustawieniem głowicy, zastosowaniem przystawki dystansowej;
- znajomość możliwości i ograniczeń metody, przyczyn powstawania artefaktów;
- znajomość anatomii prawidłowej, anatomii czynnościowej i patofizjologii układu MSK.

Na wybór aparatu i odpowiednich sond podstawowy wpływ mają czynniki ekonomiczne oraz w pewnym stopniu decyzja o zakresie badań, jakie będą wykonywane. Nowe aparaty, nawet te podstawowe, mają już szerokie pasmo generacji i przetwarzania fali ultradźwiękowej, szeroki zakres możliwości diagnostycznych oraz duży wybór głowic. Prawie wszystkie nowe aparaty umożliwiają poprawne wykonanie badania USG narządu ruchu w podstawowym zakresie. Ultrasonografia z zastosowaniem technik dopplerowskich ma coraz większe znaczenie; pozwala na uwidocznienie aktywności zmian zapalnych w błonie maziowej, obecności nieprawidłowej tkanki łącznej w miejscach gojenia uszkodzonych tkanek, odczynów zapalnych, przeciążeniowych, jednak nie jest badaniem, które warunkuje uwidocznienie zmian patologicznych. Zmiany te są widoczne bez zastosowania

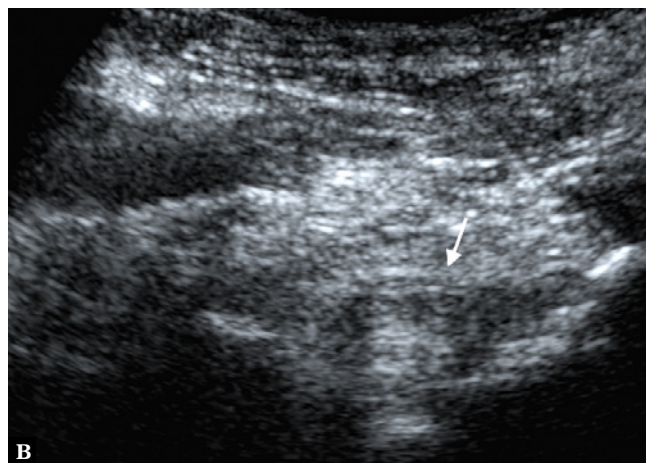
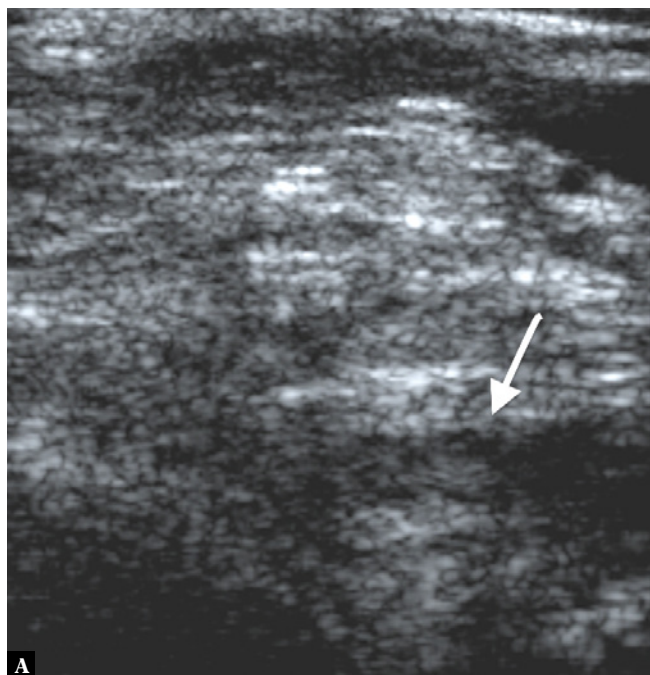
technik dopplerowskich – jedynie ich dokładne zróżnicowanie może być trudniejsze lub niemożliwe. Do pełnego badania z oceną naczyń konieczne są aparaty wyższej klasy, z czułymi opcjami dopplerowskimi. Badanie bez opcji dopplerowskiej w diagnostyce układu mięśniowo-szkieletowego nie jest błędem – to badanie podstawowe, uzupełniające badanie kliniczne. Dalsza decyzja o rozszerzeniu diagnostyki i użyciu technik dopplerowskich zależy od obrazu podstawowego i klinicznego.

Prawidłowe ustawienie parametrów aparatu pozwala na uzyskanie odpowiedniej jakości obrazu, a tym samym odpowiednie uwidocznienie tkanek leżących na różnych głębokościach i zmian o czasami subtelnymi różnicami echogeniczności. Pierwszy etap obejmuje ustawienie parametrów obrazowania odpowiadających wykonywanemu badaniu. W większości dostępnych aparatów obecne są ogólne lub bardziej szczegółowo zaprogramowane ustawienia firmowe dla badań układu MSK. Dotyczą one jakości obrazu, jego wielkości oraz poziomu ogniska. To często wystarczy, żeby prawidłowo wykonać badanie. Pomimo takiego przygotowania aparatu obraz czasami wymaga modyfikowania – zależy to od preferencji badającego. Zmiany dotyczą używanej skali szarości, zakresu dynamiki obrazu, wzmocnień brzeżnych, krzywej gamma – obraz trzeba dostosować do swoich wymagań, a własne ustawienia można obecnie we wszystkich aparatach zapamiętać.

Po wyjściowym ustawieniu w dalszej kolejności może być konieczna bieżąca korekta:

- ustawienie całkowitego wzmocnienia odbieranego echa;
- ustawienia kompensacji wzmocnienia na różnych głębokościach;
- ustawienie poziomu ogniskowania wiązki USG;
- użycie dodatkowych opcji poprawiających obraz.

W najnowszych aparatach średniej i wyższej klasy możliwa jest automatyczna korekcja obrazu przez system aparatu po naciśnięciu pojedynczego klawisza, co ułatwia i istotnie przyspiesza pracę. Nie zawsze jednak taka automatyczna optymalizacja jest wystarczająca.



Ryc. 2. Obraz więzadła krzyżowego tylnego (strzałka) u chorej z grubą warstwą tkanek w dole podkolanowym: **A.** głowica liniowa 3–9 MHz, bardzo duże osłabienie wiązki USG z niediagnostycznym obrazem; **B.** głowica typu convex 3–6 MHz, obraz tej samej okolicy z lepiej widocznym więzadłem krzyżowym tylnym i głębiej położonymi tkankami

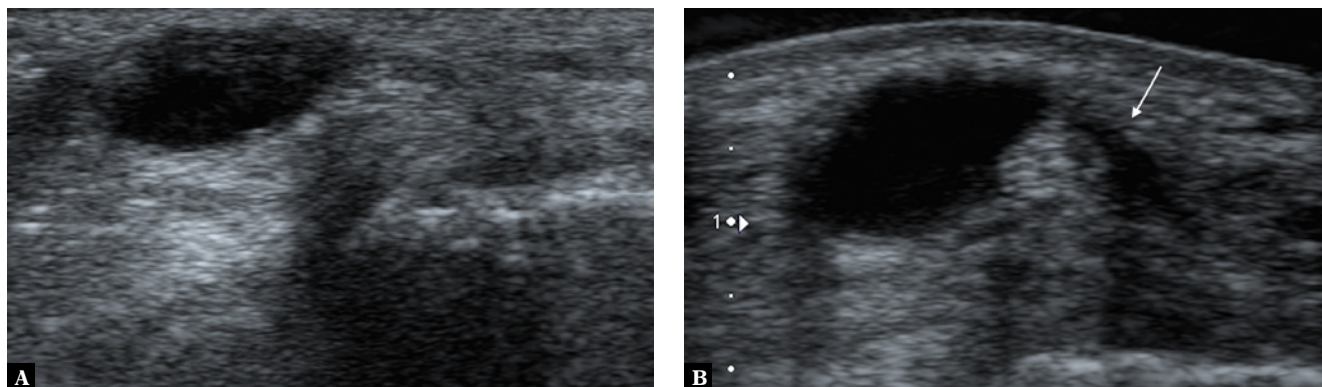
Kolejnym istotnym etapem dla uzyskania prawidłowego obrazu jest staranne ustawienie ogniskowania wiązki ultradźwiękowej (miejsca, czasami liczby poziomów ogniskowania). Zmniejszenie szerokości i grubości wiązki ultradźwięków ma zasadniczy wpływ na rozdzielczość przestrzenną i kontrastową. Obecnie stosowane systemy dynamicznego ogniskowania opierające się na naprzemiennej aktywacji różnych części głowicy w odpowiednich odstępach czasowych lub specjalne soczewki akustyczne Hanafy'ego położone przed przetwornikami są dostępne w aparatach wysokiej klasy. Pozwala to na ogniskowanie fali wysyłanej oraz odbieranego echa^(1–3). Te bardziej skomplikowane systemy w niektórych aparatach umożliwiają ustawianie szerokości strefy ogniskowania. Poprawa jakości ogniskowania świadcząca o klasie aparatu niestety związana jest ze wzrostem jego ceny.

Ogniskowanie najlepiej ustawić na wysokości lub nieco poniżej badanych struktur. Przy badaniu cienkich, położonych powierzchownie tkanek (okolica nadgarstka, grzbietu stopy, palców) potrzebny jest jeden poziom ogniskowania ustawiony jak najwyżej. Badając grubsze warstwy tkanek, dodajemy dodatkowe poziomy ogniskowania, pozostawiając poziom pierwszego ogniska jak najwyżej (ryc. 1). Jeżeli trzeba ocenić dokładniej tkanki leżące głębiej, a w warstwach powierzchownych znajduje się gruby obszar tkanki tłuszczowej, poziom pierwszego ogniska można przesunąć niżej.

Podstawową głowicą do badania USG układu mięśniowo-szkieletowego jest głowica liniowa o średniej częstotliwości w paśmie 7–8 MHz. Im szersze pasmo głowicy, tym większy zakres jej wykorzystania. Podstawowe, najczęściej dostępne głowice w aparatach średniej i wyższej klasy to 5–12 MHz, natomiast w aparatach niższej klasy – do 10 MHz.

W przypadku grubych warstw tkanek powierzchniowych, szczególnie przy grubej warstwie tkanki tłuszczowej w obrębie kończyn dolnych lub przy mocno rozwinętych mięśniach okolicy barku, może wystąpić konieczność zastosowania głowicy liniowej o niższej częstotliwości (tzw. naczyniowej). Można również wykorzystać głowicę typu convex, standardowo stosowaną do badań jamy brzusznej, pod warunkiem że działa w zakresie częstotliwości do 5–6 MHz (ryc. 2). Dodatkowo do badania cienkich i drobnych tkanek leżących powierzchownie (palec rąk i stóp zwłaszcza u dzieci) przydatna jest głowica krótsza typu hokejowego (głowica do badań śródoperacyjnych).

Zgodnie z zasadami tworzenia obrazu USG wiadomo, że wiązka ultradźwiękowa powinna padać prostopadłe na badane tkanki, aby można było uzyskać jej najlepszy obraz. W tkankach narządu ruchu często występują struktury cienkie, wąskie oraz powierzchnie zakrzywione. Prawidłowe położenie głowicy w przypadku tych badań jest jednym z najważniejszych warunków uniknięcia artefaktów i błędów diagnostycznych. Nierzadko jej prostopadłe ustawienie sprawia trudność i wymaga dużej uwagi. Podstawową zasadą układania głowicy jest jej stopniowe przesuwanie nad badanymi strukturami z utrzymywaniem jej prostopadłej orientacji, a unikanie ruchów skręcających głowicę na boki lub do przodu i tyłu. W niektórych aparatach opcja ugięcia wiązki ultradźwiękowej może poprawić obraz bez zmiany położenia głowicy. Ponadto należy unikać mocnego uciskania tkanek, ponieważ przy twardych podłożach kostnych w przypadku niektórych patologii można ich nie uwidocznnić lub znacznie zniekształcić, a także nie zobaczyć przepływu w naczyniach. Z doświadczenia autorów najlepiej sprawdza się chwyt głowicy podobny do trzymania pióra, pomiędzy kciukiem i palcem wskazującym z lekko wysuniętym małym palcem i czasami palcem IV. Pozwala to na ustabilizowanie głowicy na badanej okoli-



Ryc. 3. Obraz okolicy grzbietowej nadgarstka, przekrój poprzeczny: **A.** bez przystawki dystansowej; **B.** z przystawką dystansową. W badaniu z przystawką dobrze widoczne poszczególne warstwy skóry i lepiej zaznaczone granice torbieli oraz obrys ścięgna krótkiego prostownika nadgarstka (strzałka). W badaniu bez przystawki zaznaczony również efekt ucisku tkanek, jedynie pod ciężarem głowicy, powodujący przemieszczenie płynu z okolicy ścięgna, co pogarsza widoczność jego granic

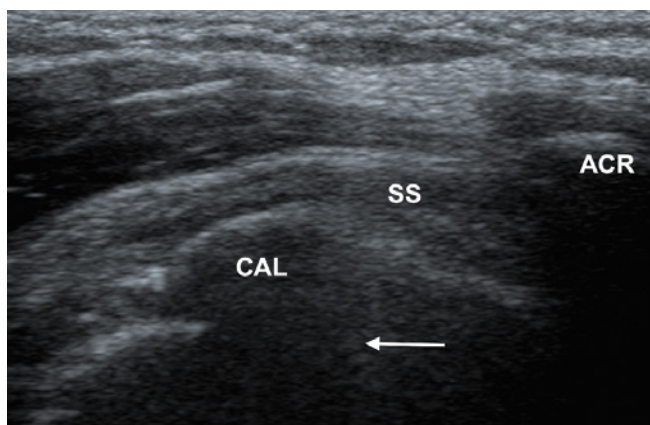
cy z możliwością kontrolowania siły dociskania. Podobny sposób trzymania sondy opisany jest w podręczniku pod redakcją Bianchiego i Martinolliego⁽²⁾.

Bezpośrednie przyłożenie głowicy do cienkich struktur leżących tuż pod warstwą skóry i cienkiej tkanki podskórnej, do nierównych, uwypuklających się zarysów tkanek powoduje występowanie artefaktów na granicy skóry i głowicy, stąd trudności w obrazowaniu powierzchniowych tkanek. Również badanie dynamiczne w takim przypadku może być znacznie utrudnione. Wówczas pomaga zastosowanie przystawki dystansującej, która odsuwając czoło głowicy od skóry i tkanki podskórnej, pozwala uwidocznić dokładnie warstwę skóry właściwej, tkanki podskórnej, powięzi i zarysu ścięgna (ryc. 3), a także ułatwia wykonanie badania w czasie ruchu. Przystawka dystansująca jest również wskazana w przypadku obecności guzków uwypuklających się zewnętrznie oraz w rzadkich przypadkach, gdy do badania tkanek powierzchniowych musimy użyć głowicy typu convex lub sektorowej. Jest ona nieodzowna podczas badania przez ranę lub zmiany skórne. Autorzy wykorzy-

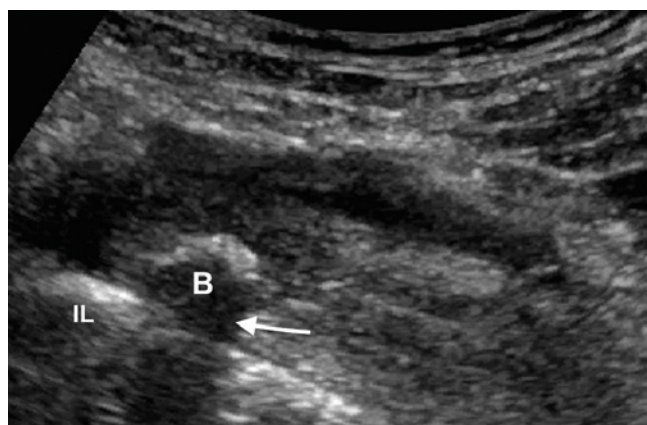
stują niekiedy przystawkę dystansową do badania okolic z bardzo uwypuklonymi zarysami kości (np. kłykcie stawu kolanowego, kostki boczna i przyśrodkowa stawu skokowego), na których prawidłowe przyłożenie głowicy jest trudne, a uzyskanie dobrego obrazu pracochłonne.

Kolejnym warunkiem prawidłowego wykonania badania jest znajomość zasad, na jakich tworzony jest obraz USG, a także – co się z tym ściśle wiąże – wiedza, kiedy może wystąpić zafałszowanie obrazu. W przypadku badania tkanek narządu ruchu zasada działania ultrasonografu oraz tworzenia obrazu jest taka sama jak w diagnostyce innych narządów. Należy pamiętać, że do większości badań stosujemy falę o wysokiej częstotliwości, co z jednej strony pozwala na uzyskanie dużej rozdzielczości przestrzennej obrazu, ale z drugiej sprzyja łatwiejszemu powstawaniu artefaktów i utrudnia uwidocznienie struktur głębiej leżących zarówno pod kątem anatomii, jak i oceny przepływu w naczyniach.

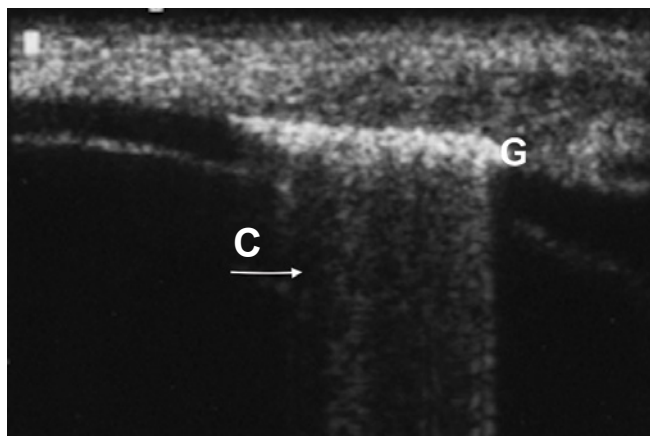
Nowe techniki w USG, takie jak obrazowanie harmoniczne, obrazowanie złożone (promieniami skrzyżowanymi – cross



Ryc. 4. Staw ramienny, ścięgno nadgrzebieniowe. Typowy obraz zwapnienia w ścięgnie w postaci silnego echa (CAL) z następowym cieniem akustycznym (strzałka). ACR – wyrastek barkowy, SS – ścięgno nadgrzebieniowe



Ryc. 5. Silne echo od ciała obcego – odłamek pocisku w okolicy pachwiny, stawu biodrowego, przypominający zwapnienie (strzałka). B – odłamek pocisku, IL – zarys kości biodrowej



Ryc. 6. Silne echo od gazu (G) w stawie kolanowym nad zarysem kłykcia kości udowej (C) z rewerberacjami i nieregularnym cieniem (strzałka)

beam imaging), ugięcie wiązki ultradźwiękowej (steering) i inne dodatkowe programy wprowadzane pod różnymi nazwami przez producentów aparatów, starają się ograniczać lub eliminować niektóre z tych problemów oraz poprawiać głównie rozdzielczość kontrastową. Nowe narzędzia wykorzystujące różne rodzaje impulsów i odpowiednie programy analizujące powracający sygnał pozwalają na zwiększenie głębokości penetracji bez pogorszenia rozdzielczości osiowej^(2,3).

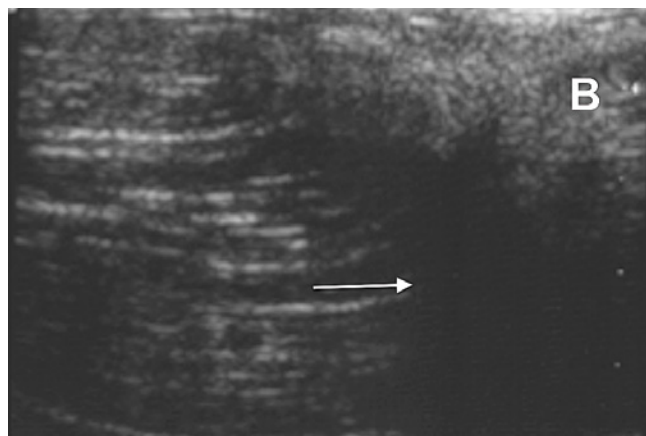
Tradycyjnie artefakty w USG dzieli się na korzystne i niekorzystne diagnostycznie^(4,5).

W grupie artefaktów korzystnych, pozwalających pewniej postawić diagnozę, można wymienić:

- występowanie cienia akustycznego za zwapnieniem;
- wzmocnienie echa za zbiornikiem płynu;
- artefakt warkocza komety za ciałem metalicznym, niekiedy dużym fragmentem szkła.

Cień akustyczny w typowej sytuacji powstaje za strukturą silnie odbijającą wiązkę ultradźwiękową. Klasycznym przykładem jest silne echo (odbicie fali ultradźwiękowej) od tkanki uwapnionej (warstwa korowa kości, zwapnienie) powodujące występowanie następnego cienia akustycznego (ryc. 4). Cień za silnym echem pozwala z całą pewnością rozpoznać zwapnienie, w przypadku niecieniującego silnego echa można jedynie podejrzewać obecność drobnych zwapnień. Ponadto w tkankach narządu ruchu cień z powodu silnego odbicia może występować za większymi ciałami obcymi (ryc. 5). Cień może się pojawić również za większym skupiskiem gazu, np. w stawie, jednak z powodu jego niestabilnej struktury powoduje także zmienny obraz cienia i objaw ten nie jest często widoczny (ryc. 6).

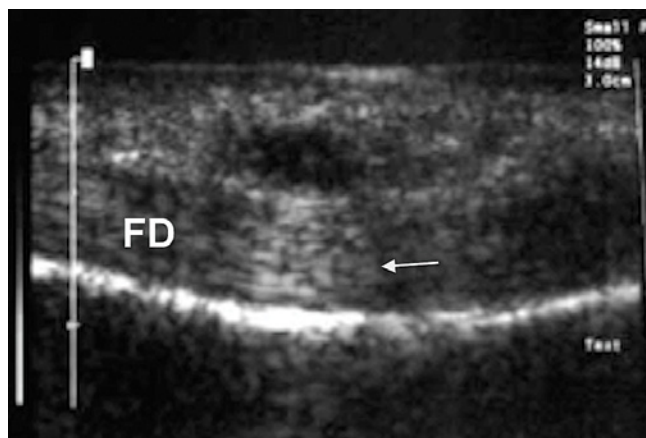
Objaw cienia akustycznego nie jest jednoznaczny z obecnością zwapnień, powstaje również w wyniku zjawiska refrakcji (załamania, rozproszenia wiązki ultradźwiękowej na zagiętej, nierównej tkance) i znacznego obniżenia intensywności echa w tym miejscu. Może występować w przypadku uszkodzenia i zawinięcia się tkanki włóknistej, np. zerwanej części ścięgna lub więzadła, w lokalizacji większej włóknistej blizny. W przeciwieństwie do zwapnienia nie widać ogniska hiper-



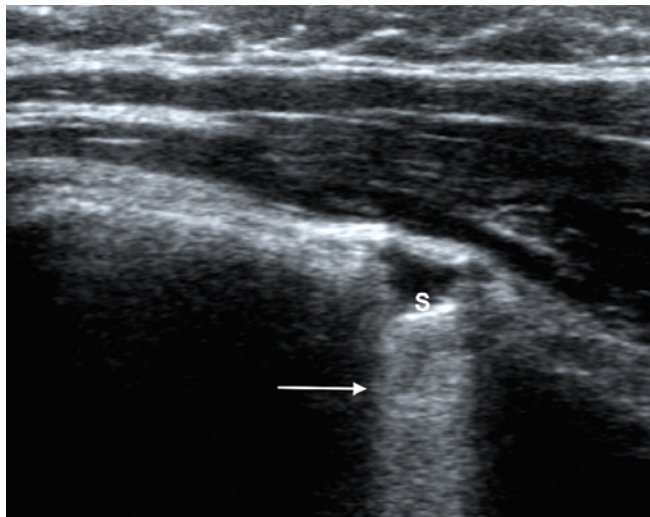
Ryc. 7. Cień akustyczny (strzałka) za blizną po przebytym częściowym przerwaniu mięśnia. Blizna włóknista (B) bez typowego dla zwapnienia silnego echa

echogenicznego, na co należy zwrócić uwagę (ryc. 7). Trzeba również pamiętać, że używanie głowic o wysokiej częstotliwości i rozdzielczości obrazu powoduje nasilenie występowania tego artefaktu. Dokładna ocena odbić od tkanek w okolicy cienia pozwala na różnicowanie tych zmian i pewne rozpoznanie zwapnienia. Podsumowując, należy pamiętać, że nie każdy cień odpowiada obecności zwapnienia, a brak cienia nie wyklucza występowania drobnego zwapnienia.

Objaw wzmocnienia echa za zbiornikiem płynu powstaje w wyniku braku typowego tłumienia fali ultradźwiękowej w obrębie jednorodnego płynu, ogniska galaretowatego, a także częściowo ugięcia fali na granicy ośrodków, co powoduje efekt skupienia wiązki za tą granicą. Przechodząca głębiej fala ma większą energię i jest silniej odbijana od warstw głębszych tkanek, co daje efekt silniejszego echa w porównaniu z tkankami otaczającymi na tej samej głębokości. Na podstawie występowania tego zjawiska można na podstawie występowania tego zjawiska można na podstawie zmiany odpowiada zbiornikowi płynu (ryc. 8). W rzadkich przypadkach zjawisko wzmocnienia może występować również za hipoechogenicznym lub prawie bezechowym ogniskiem odpowiadającym obecności bardzo



Ryc. 8. Obraz wzmocnienia echa za płynem (strzałka), widocznym za drobną torbielą galaretowatą przy ścięgnię zginacza palca (FD)



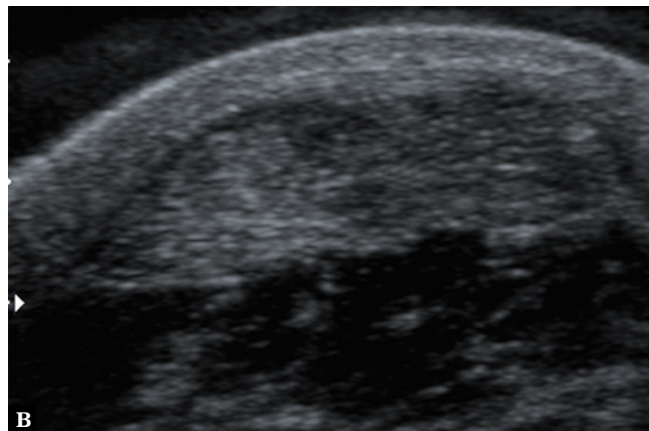
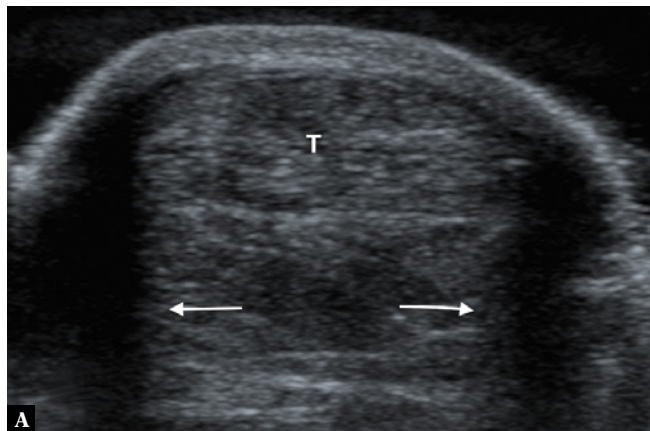
Ryc. 9. Śruba zespalająca (S) w kości ramiennej. Objaw warkocza komety za ciałem obcym metalicznym (strzałka)

unaczynionej, luźnej tkance miękkiej. Ten objaw rzadko występuje w strukturach układu MSK.

Artefakt warkocza komety powstaje typowo za metalowym ciałem obcym^(5,6). Może być obecny za większym fragmentem szklanym. Widoczny jest w postaci liniowych silnych odbić za powierzchnią odbijającą w regularnych odstępach. Natężenia echa zmniejszają się stopniowo wraz z odległością, co powoduje, że obraz przypomina warkocz komety (ryc. 9). Uwidocznienie tego artefaktu pozwala rozpoznać zwykle metalowe ciało obce.

W grupie niekorzystnych diagnostycznie artefaktów należy wymienić:

- szeroki cień za uwapnioną strukturą przysłaniającą tkanki leżące pod nim;
- cienie brzeżne;
- objaw anizotropii;
- artefakt rewerberacji;
- artefakt zależny od szerokości wiązki.

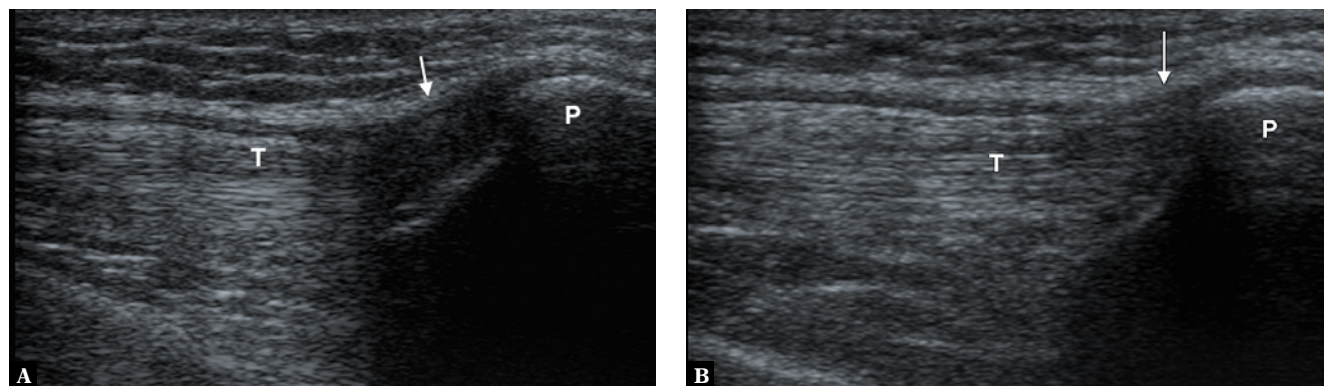


Ryc. 10. Cień brzeżny (strzałki) przy ścięgnie (T) Achillesa: **A.** prostopadłe ustawienie głowicy; **B.** skośne ustawienie głowicy redukujące cień. Należy zwrócić uwagę na użycie przystawki dystansowej, ułatwiającej ułożenie głowicy

Z jednej strony cień za zwapnieniem jest korzystny, z drugiej strony, jeżeli jest duży, przysłania leżące pod nim tkanki, stąd nie można uwidocznić przestrzeni jamy szpikowej, tkanek w stawie, tkanek pod dużymi zwapnieniami.

Cienie brzeżne powstają przy krawędzi zagiętych struktur, gdzie nie ma dużych różnic w gęstości akustycznej na granicy tkanek, natomiast kąt padania wiązki ultradźwiękowej jest prawie styczny do zagięcia tkanki lub inny niż 90°. W układzie MSK jest bardzo dużo takich struktur (np. ścięgna, torbiele). Cień brzeżny może przysłaniać lub czasami imitować nieduże zmiany w pochewce lub osłonce ścięgna oraz zmiany pourazowe. W przypadkach wątpliwych należy przesunąć głowicę, zmieniając kąt padania wiązki na tę okolice, i sprawdzić, czy zmiany są nadal widoczne (ryc. 10). Nie we wszystkich miejscach tego typu manewr ten jest możliwy. Zastosowanie opcji obrazowania skrzyżowanego, czasami zagięcia wiązki, pozwala zmniejszyć ten artefakt, zwykle jednak nie likwidując go w całości.

Zjawiskiem anizotropii w USG nazwano objaw nieprawidłowej zmiany echogeniczności tkanki – zwykle jej obniżenia, spowodowanego skośnym padaniem wiązki ultradźwiękowej na badaną strukturę, co sugeruje obecność patologii⁽⁷⁾. W układzie MSK objaw ten występuje bardzo często i bywa przyczyną pomyłek diagnostycznych. Najsilniejsze właściwości anizotropowe mają ścięgna i mięśnie. Nieduże skręcenie głowicy bez zmiany przebiegu powierzchni jej przylegania powoduje wyraźne obniżenie echogeniczności ścięgna lub mięśnia. Objawy anizotropii są silnie zaznaczone na wysokości zagiętych przyczepów ścięgien i więzadeł (ryc. 11). Podobne zjawisko o nieco mniejszym nasileniu można uzyskać na przebiegu nerwów. W mięśniu dodatkowo możliwe jest uzyskanie artefaktów w postaci ognisk hiperechogenicznych naśladujących zmiany obrzękowe lub zapalne. Obecnie w wielu aparatach zastosowanie opcji obrazowania skrzyżowanego bądź ugięcia wiązki pozwala najczęściej na zmniejszenie objawu anizotropii, rzadziej na jego wyeliminowanie. Zwykle do pełnego zlikwidowania tego objawu konieczne jest także bardzo dokładne prostopadłe ustawienie głowicy w stosunku do badanej tkanki oraz wykluczenie lub potwierdzenie tej zmiany w drugim,



Ryc. 11. Objaw anizotropii przyczepu ścięgna mięśnia czworogłowego (T) przy podstawie rzepki (P): **A.** przyczep z ogniskiem hipoechogenicznym po zastosowaniu obrazu skrzyżowanego (strzałka); **B.** prawidłowy obraz ścięgna po niedużym przesunięciu głowicy i napięciu mięśnia czworogłowego

prostopadłym przekroju. Świadomość występowania zjawiska anizotropii w tkankach narządu ruchu nawet przy zastosowaniu dodatkowego oprogramowania korygującego obraz pozwala na uniknięcie błędów.

Zjawisko refrakcji powstaje na granicy dwóch ośrodków, w których występują różnice w prędkości propagacji fali ultradźwiękowej, np. na granicy tkanki tłuszczowej i mięśnia. Fala zostaje ugięta na granicy ośrodków, w związku z czym zmiany poniżej tej granicy są pokazywane błędnie w innym miejscu. Aby zmniejszyć ten efekt, trzeba pamiętać o stałym prostopadłym ułożeniu głowicy w stosunku do badanych powierzchni. W niektórych, najnowszych aparatach możliwe jest obliczenie prawidłowych wartości prędkości fali ultradźwiękowej i poprawienie obrazu z uwzględnieniem tego pomiaru.

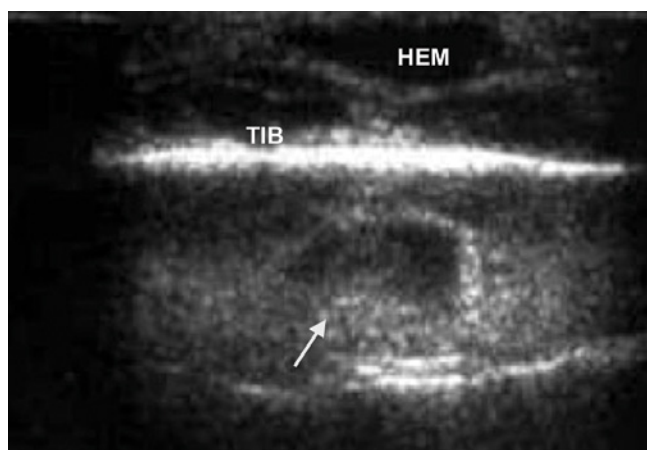
Zjawisko rewerberacji występuje na granicy silnie odbijających struktur, które powodują, że wiązka odbijana jest tam i z powrotem w obrębie tkanek i wraca z różnym opóźnieniem do głowicy. Jest to jedna z przyczyn powstawania liniowych ech w zbiornikach płynowych, za zarysem kości lub lustrzanego odbicia (ryc. 12). W tkankach narządu ruchu zjawisko to występuje najczęściej z powodu obecności zagiętej, silnie odbijającej ultradźwięki warstwy korowej.

Artefakty zależne od szerokości wiązki ultradźwiękowej, dające efekt uśredniania objętości, powodują, że aparat naprawdę rejestruje echa z pewnej objętości zależnej od budowy głowicy i grubości badanych tkanek. Jeżeli widoczna struktura jest mniejsza od szerokości wiązki, to jej obraz będzie powstawał z echa od danej struktury i otaczających tkanek. Może to powodować likwidację cienia za drobnym zwapnieniem albo uwidocznienie echa w obrębie płynu, nietypowego obrazu tkanek. W najnowszych, wysokiej klasy aparatach stosowane są dodatkowe techniki pozwalające na ogniskowanie fali USG, również w jej płaszczyźnie poprzecznej (grubości), co powoduje zmniejszanie tego efektu.

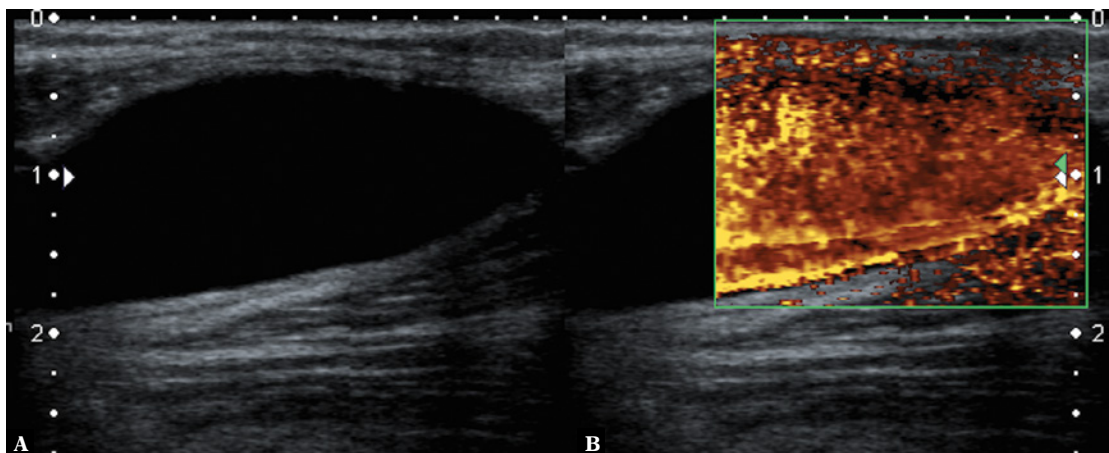
W badaniu USG, szczególnie układu MSK, obraz niektórych prawidłowych tkanek oraz różnego typu patologii bywa podobny i wymaga odpowiedniego różnicowania.

Do tej grupy obrazów należą ogniska i przestrzenie bez echa lub hipoechogeniczne, które mogą odpowiadać następującym tkankom i zmianom:

- chrząstce szklistej;
- zbiornikowi płynu o różnym charakterze (kaletka, pochewka z płynem, krwiak, torbiel, płyn zainfekowany – ropny);
- ognisku zapalnemu, obrzękowi;
- ognisku zwyrodnienia w miejscu uszkodzenia tkanek miękkich w postaci szkliwienia, zmian śluzowatych;
- martwicy tkanek;
- zmianom zapalnym ze zwiększonym unaczynieniem, np. błony maziowej (stawy, pochewki ścięgna, kaletki), przyczepów ścięgien, mięśni;
- uszkodzeniu gojącemu się nieprawidłowo z wytwarzaniem luźnej, bogato unaczynionej tkanki łącznej, tzw. hiperplazji angiofibroblastycznej (*angiofibroblastic hyperplasia*);
- zbitej tkance włóknistej blizny o nieregularnym układzie grubych włókien kolagenowych, które silnie rozpraszają falę USG.



Ryc. 12. Objaw odbicia lustrzanego przy przednim brzegu kości piszczelowej (TIB). Przed zarysem kości krwawiak pourazowy (HEM) w tkance podskórnej. Hipoechogeniczne ognisko widoczne za zarysem kości jest artefaktem tzw. lustrzanego odbicia (strzałka), udającym patologię w obrębie kości



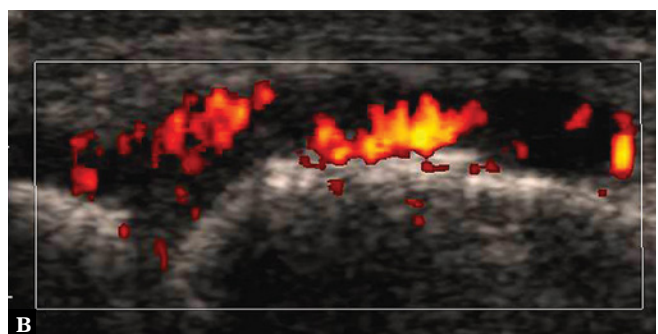
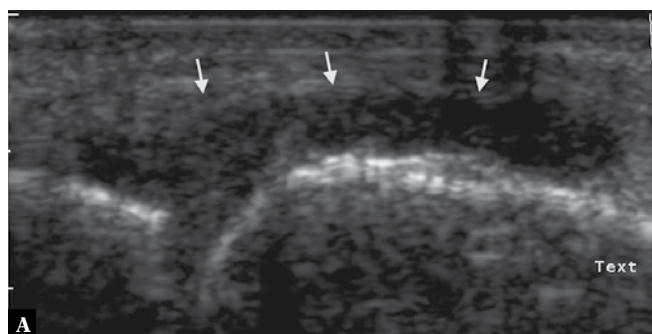
Ryc. 13. Dodatkowy objaw, pozwalający w przypadkach wątpliwych różnicować zbiorniki płynu: **A.** typowy zbiornik płynu w dole podkołanowym, odpowiadający powiększonej kaletce mięśnia brzuchatego; **B.** objaw chelbotania w opcji dopplera mocy, widoczny jako kolorowe zakontrastowanie przestrzeni płynowej przez ruch płynu wywołany uciskiem głowicy

Pierwszy etap różnicowania to lokalizacja struktury typowa dla chrząstki nad zarysem kości lub warstwy płynu w lokalizacji zachyłka stawu, kaletki albo pochewki. Ognisko bezechowe w miejscu uszkodzenia tkanek może odpowiadać zbiornikowi płynu o różnym charakterze, a także wszystkim innym ogniskom zwyrodnienia. W dalszym różnicowaniu ognisk płynowych z innymi zmianami pomaga prosty test uciskowy, w którym pod uciskiem głowicy zbiorniki płynu ulegają odkształceniu, nawet do pełnego jego przemieszczenia i zniknięcia płynu z okolicy pod głowicą. Test ten może jednak być ujemny przy wysokociśnieniowym zbiorniku płynu i odkształcenie może być nieduże. W różnicowaniu zbiornika wysokociśnieniowego pomaga opcja dopplera mocy, w której można uwidocznąć objaw chelbotania. Obszar płynu ulega zakontrastowaniu (obraz ruchu), szczególnie w fazie zmniejszania ucisku (ryc. 13).

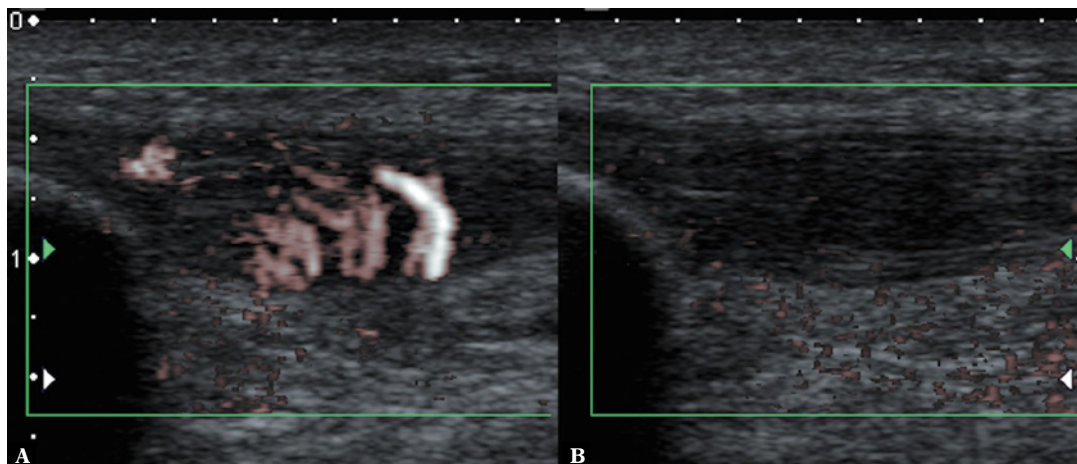
Test uciskowy pozwala także różnicować obecność luźniejszej, bardziej miękkiej tkanki łącznej (zwyrodnienia śluzowatego, martwicy, ziarniny zapalnej), która do pewnego stopnia poddaje się uciskowi i ulega spłaszczeniu, w porównaniu ze sztywną, niepodatną na ucisk nieregularną blizną kolagenową lub zwyrodnieniem szklistym.

Kolejnym etapem różnicowania ognisk hipoechogenicznych jest użycie opcji kolorowego dopplera lub dopplera mocy. Uwidocznienie naczyń w zmianie pozwala na różnicowanie zmian zapalnych z oceną aktywności zapalenia (ryc. 14) oraz nieprawidłowego gojenia tkanek po przebytych urazach, w przebiegu przewlekłych przeciążeń (ryc. 15 A)⁽⁸⁾. W przypadku podejrzenia takich zmian zawsze konieczne jest użycie czulej opcji dopplerowskiej.

Celem obrazowania naczyń w badaniach układu MSK jest ocena zwiększonego unaczynienia (przekrwienia) tkanek lub uwidocznienie ich patologicznego unaczynienia, czyli określenie, czy naczynia są widoczne, w jakiej ilości i w jakiej lokalizacji. Konieczne jest dążenie do uwidocznienia jak najdrobniejszych naczyń nawet w drobnych strukturach, np. nerwach. Przy takich założeniach, szczególnie w przypadku nielicznych, drobnych naczyń, ustawienie opcji dopplerowskiej wymaga największego wzmocnienia zawsze na poziomie widoczności niedużych artefaktów ruchowych. Istotne w technice badania jest dobre unieruchomienie głowicy bez dociskania jej do tkanek (ryc. 15 B). Artefakty tworzą zwykle chaotyczne, nieregularne przebarwienia; w pobliżu większych naczyń można obserwować udzielone tętnienie tkanek.



Ryc. 14. Staw śródrečno-paliczkowy: **A.** pogrubienie torebki stawowej z hipoechogenicznym obrzękiem błony maziowej (strzałki), wyglądającym jak płyn; **B.** badanie z zastosowaniem dopplera mocy uwidocznilo liczne naczynia, co odpowiada zmianom zapalnym o dużej aktywności (stopień III unaczynienia)



Ryc. 15. *Entezopatia przyczepu bliższego więzadła rzepki, zmiany w przebiegu dużych przeciężeń w sporcie wyczynowym: A. w opcji dopлера mocy bardzo liczne naczynia w przyczepie bliższym więzadła, odpowiadające objawom nieprawidłowego gojenia hiperplazji angiofibroblastycznej; B. naczynia niewidoczne przy silniejszym przyciśnięciu głowicy*

Konieczna jest znajomość możliwości technicznych użytego aparatu^(8,9). W aparatach wysokiej klasy dostępne są dodatkowe opcje poprawiające czułość oceny przepływu w drobnych naczyniach. Należy pamiętać, że pomimo tych dodatkowych możliwości czułość badania znacznie spada wraz z głębokością położenia badanych tkanek. Przy dużych głębokościach pomóc może użycie głowicy o niższych częstotliwościach, w tym również głowicy typu convex. Nie zawsze pozwala to na pewne wykluczenie obecności drobnych naczyń. Trzeba także pamiętać, że obecność zwiększonego, nieprawidłowego unaczynienia nie jest jednoznaczna z rozpoznaniem zapalenia. Ocena wymaga dokładnej oceny morfologii tkanek (obraz 2D), lokalizacji naczyń, kontekstu klinicznego. Zwiększone unaczynienie poza zmianami zapalnymi widoczne jest we wczesnych fazach prawidłowego gojenia urazów, w nieprawidłowym gojeniu zmian pourazowych z hiperplazją fibroangioblastyczną⁽¹⁰⁾, w zespołach uciskowych nerwów⁽¹¹⁾, guzach, malformacjach naczyniowych⁽¹²⁾.

Podsumowując, USG układu MSK jest badaniem bardzo czułym, pozwalającym na uwidocznienie nawet bardzo drobnych zmian w tkankach. Równocześnie obraz widocznych zmian jest często mało swoisty. Na prawidłowy wynik całego badania składa się wiele czynników. Poza zrozumieniem zasad i wykorzystaniem wszystkich możliwości techniki badania oraz znajomością pewnych pułapek, omówionych powyżej, konieczna jest rzetelna korelacja obrazu z objawami klinicznymi, a niekiedy także z wynikami innych badań dodatkowych. Dopiero wtedy możliwa jest pełna interpretacja objawów obrazu USG.

Konflikt interesów

Autorzy nie zgłaszają żadnych finansowych ani osobistych powiązań z innymi osobami lub organizacjami, które mogłyby negatywnie wpłynąć na treść publikacji oraz rościć sobie prawo do tej publikacji.

Piśmiennictwo

- Nowicki A: Ultrasonografia: wprowadzenie do obrazowania i metod dopplerowskich. Wydawnictwo IPPT PAN, Warszawa 2016.
- Derci LE, Rizzato G: Technical requirements. In: Bianchi S, Martinoli C (eds.): *Ultrasound of the Musculoskeletal System*. Springer, Berlin 2007: 1–16.
- Claudon M, Tranquart F, Evans DH, Lefèvre F, Correas M: Advances in ultrasound. *Eur Radiol* 2002; 12: 7–18.
- Laing FC: Commonly encountered artifacts in clinical ultrasound. *Semin Ultrasound CT MR* 1983; 4: 27–43.
- Thickman DI, Ziskin MC, Goldenberg NJ, Linder BE: Clinical manifestations of the comet-tail artifacts. *J Ultrasound Med* 1983; 2: 225–230.
- Ziskin MC, Thickman DI, Goldenberg NJ, Lapayowker MS, Becker JM: The comet-tail artifact. *J Ultrasound Med* 1982; 1: 1–7.
- Fornage BD: The hypochoic normal tendon. A pitfall. *J Ultrasound Med* 1987; 6: 19–22.
- Koski JM, Saarakkala S, Helle M, Hakulinen U, Heikkinen JO, Hermunen H: Power Doppler ultrasonography and synovitis: correlating ultrasound imaging with histopathological findings and evaluating the performance of ultrasound equipments. *Ann Rheum Dis* 2006; 65: 1590–1595.
- Torp-Pedersen ST, Terslev L: Settings and artifacts in colour/power Doppler ultrasound in rheumatology. *Ann Rheum Dis* 2008; 67: 143–149.
- Kraushaar BS, Nirschl RP: Tendinosis of the elbow (tennis elbow). Clinical features and findings histological and electron microscopy studies. *J Bone Joint Surg Am* 1999; 81: 259–278.
- Kowalska B: Assessment of the utility of ultrasonography with high-frequency transducers in the diagnosis of entrapment neuropathies. *J Ultrason* 2014; 14: 371–392.
- Teh J: Ultrasound of soft tissue masses of the hand. *J Ultrason* 2012; 12: 381–401.