

Otrzymano:
27.09.2020

Zaakceptowano:
07.10.2020

Opublikowano:
18.12.2020

Ultrasonografia wysokich częstotliwości skóry w XXI wieku

High-frequency ultrasound in the 21st century

Robert Krzysztof Mlosek¹, Bartosz Migda¹, Michał Migda²

¹ Zakład Diagnostyki Ultrasonograficznej Wydziału Medycznego, Warszawski Uniwersytet Medyczny, Warszawa, Polska

² Oddział Kliniczny Położnictwa, Chorób Kobięcych i Ginekologii Onkologicznej, Wojewódzki Szpital Zespolony w Toruniu, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu Collegium Medicum, Toruń, Polska

Adres do korespondencji: Robert Krzysztof Mlosek, Zakład Diagnostyki Ultrasonograficznej Wydziału Medycznego, Warszawski Uniwersytet Medyczny, ul. Kondratowicza 8, 03-242 Warszawa; tel.: +48 601 355 236; e-mail: mdchris@poczta.onet.pl

DOI: 10.15557/JoU.2020.0042

Słowa kluczowe

ultrasonografia
wysokich
częstotliwości,
ultrasonografia,
skóra,
dermatologia

Keywords

high-frequency
ultrasonography,
ultrasonography,
skin,
dermatology

Abstract

The beginnings of skin ultrasound date back to about 50 years ago. However, the dynamic progress of skin ultrasound took place in the last twenty years, when the unprecedented development of computer technologies occurred, which resulted in the popularization of and easier access to modern ultrasound equipment. Skin tests can be performed with both classic scanners equipped with broadband transducers with a minimum frequency of 15 MHz, and specially dedicated skin systems with high-frequency scanners, which are equipped with mechanical transducers with a frequency of 20 MHz to up to 100 MHz. Owing to technologically advanced machines, ultrasonography has proved to be useful in many areas. The aim of this study was to present the current knowledge and possibilities of skin imaging using high-frequency ultrasonography. The paper discusses technical aspects, types of devices available on the market, as well as methods for the analysis of ultrasound skin images and parameters useful in their interpretation. We also present current applications of skin ultrasound, with particular emphasis on dermatology and aesthetic medicine. In the field of dermatology, we discussed imaging of focal lesions as well as an assessment of pathologically changed skin and treatment monitoring. We also focused on the use of high-frequency ultrasonography in aesthetic medicine and cosmetology. The popularity of this method is constantly growing in these fields, and ultrasound is now used in everyday practice to assess the skin, plan and monitor procedures, as well as to treat potential complications. High-frequency ultrasonography is a highly effective method for skin evaluation, although still underappreciated in many fields. Further research is needed to standardize this modality, as well as to implement training for operators, and to popularize this imaging technique.

Wstęp

Skóra, będąca największym narządem człowieka, od wieków wzbudzała zainteresowanie. Tym samym zmiany skórne, które w łatwo można zaobserwować „gołym okiem”, były przedmiotem dociekań od czasów starożytnych. Mimo dużego zainteresowania wyglądem zarówno zdrowej, jak

i chorobowo zmienionej skóry przez wiele stuleci nie wyodrębniono osobnego działu poświęconego powłoce ciała człowieka. Dopiero XVIII i XIX wiek, wraz z powstaniem anatomii patologicznej i zastosowaniem mikroskopu do obserwacji tkanek ciała, dały początek współczesnej dermatologii. Razem z rozwojem tej dziedziny poszerzały się również możliwości diagnostyczne dotyczące skóry. Obecnie

dermatologia i dziedziny jej pokrewne dysponują zaawansowanymi metodami diagnostyki skóry, wśród których istotną rolę zajmuje ultrasonografia skóry⁽¹⁾.

Początków badań ultrasonograficznych skóry należy szukać w latach 70. XX wieku. Natomiast pierwszym naukowym doniesieniem jest opublikowana w 1979 roku praca autorstwa Alexandra i Millera dotycząca ultrasonograficznego pomiaru grubości skóry z pomocą mechanicznej głowicy ultrasonograficznej o częstotliwości 15 MHz⁽²⁾. Praca ta stała się impulsem dla innych badaczy do rozwijania tej metody i konstruowania aparatów dedykowanych badaniom skóry. Należy jednak zauważyć, że dynamiczny rozwój ultrasonografii skóry nastąpił na przełomie wieków XX i XXI, na co istotny wpływ miał postęp w dziedzinie nowych technologii komputerowych. Zaowocowało to lawinowym wzrostem publikacji naukowych z zakresu tej tematyki. Ultrasonografia jest chętnie wykorzystywana do badania skóry, gdyż w porównaniu z innymi metodami diagnostycznymi jest łatwiejsza w użyciu, tańsza, a przede wszystkim rzetelna i bezpieczna dla pacjenta⁽³⁾. Badania ultrasonograficzne skóry są obecnie wykorzystywane na gruncie dermatologii^(3,4) oraz w pokrewnych jej dziedzinach, takich jak medycyna estetyczna oraz kosmetologia^(4,5). Znalazły one swoje miejsce również we flebologii, a nawet w ginekologii^(6,7).

Celem niniejszej pracy jest kompleksowe przedstawienie zagadnień związanych z wykonywaniem ultrasonograficznych badań skóry oraz omówienie ich aktualnych zastosowań i ocena użyteczności.

Częstotliwość i aparatura stosowana do badań

Mając na uwadze istotę działania ultradźwięków w przypadku badania zewnętrznej powłoki ciała, jaką jest skóra, należy używać głowic o wyższej częstotliwości niż w przypadku klasycznych badań ultrasonograficznych (np. jamy brzusznej). Stosując wyższą częstotliwość, uzyskujemy wyższą rozdzielczość obrazu i możemy oceniać drobne struktury w obrębie skóry. Tracimy jednak wówczas na głębokości penetracji ultradźwięków. Przy zastosowaniu do badania głowicy o częstotliwości 10 MHz uzyskamy penetrację w głąb tkanki wynoszącą ok. 35 mm, przy częstotliwości 20 MHz będzie to 10 mm, a przy 50 MHz maksymalna penetracja wyniesie tylko 3–4 mm^(8,9). Szczegółowe zestawienie zawarto w Tab. 1.

W badaniach skóry zazwyczaj stosuje się częstotliwości w zakresie od ok. 15 MHz do 100 MHz, jednak większość badań skóry jest wykonywana przy częstotliwości ok. 20 MHz⁽¹⁰⁾. Należy jednak pamiętać, że wybór

częstotliwości, z jaką będzie wykonywane badanie, musi być podyktowany celem tego badania. Jeżeli celem będzie obserwacja zmian zachodzących w obrębie naskórka, najlepszym wyborem będzie głowica o częstotliwości 75–100 MHz, natomiast jeżeli istotne są również skóra właściwa i tkanka podskórna, lepszym wyborem będzie głowica 20–30 MHz. Zgodnie z najnowszymi wytycznymi European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology (EFSUMB) minimalna częstotliwość głowicy w przypadku wykonywania badania skóry powinna wynosić 15 MHz i wówczas mówimy o badaniu wysokich częstotliwości. Głowice o częstotliwości większej niż 20 MHz nazwano głowicami bardzo wysokiej częstotliwości. Natomiast głowice 30–70 MHz zaliczono do przetworników ultrawysokiej częstotliwości, które umożliwiają badanie małych struktur przydatków, takich jak gruczoły łojowe oraz gruczoły apokrynowe i ekrynowe⁽¹⁰⁾.

W przypadku badania skóry nie tylko musimy dokonać wyboru częstotliwości, ale również typu ultrasonografu. Badania można wykonywać ultrasonografami klasycznymi, wyposażonymi w szerokopasmowe głowice liniowe o częstotliwości od ok. 10 MHz do ponad 20 MHz, jak również specjalistycznymi ultrasonografami dedykowanymi badaniom skóry. Ultrasonografy do badania skóry, w odróżnieniu od klasycznych aparatów, pracują z jednoelementowymi głowicami mechanicznymi o stałej częstotliwości powyżej 20 MHz i nazywane są ultrasonografami wysokich częstotliwości. Obecnie na rynku jest kilku producentów aparatów tego typu. Najbardziej znanym ultrasonografem jest DermaScan C (Cortex Technology, Hadsund, Dania) i DUB-USB (Taberna Pro Medicum, Lüneburg, Niemcy). W pracach naukowych badacze wykorzystują również ultrasonograf Episcan I-200 (Longport, Inc., Silchester, Wielka Brytania). Od kilku lat produkowany jest także polski ultrasonograf wysokich częstotliwości DermaMed (Dramiński S.A., Olsztyn, Polska). Charakterystyka aparatów wysokich częstotliwości dostępnych na rynku została przedstawiona w Tab. 2⁽⁹⁾.

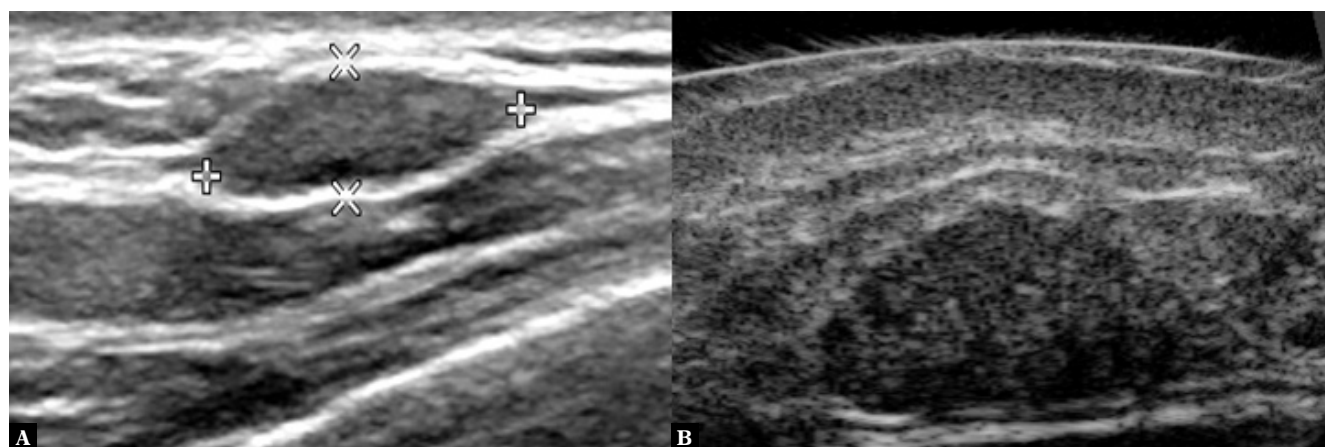
Wśród badaczy nie ma zgody co do tego, który typ ultrasonografu jest lepszy do badania skóry. Za stosowaniem klasycznych aparatów przemawia fakt, że mają one zmienną częstotliwość i dzięki temu umożliwiają obrazowanie na różnych głębokościach⁽¹¹⁾. Ich dużą zaletą jest również wyposażenie w opcje dopplera kolorowego i dopplera mocy. Ponadto na rynku pojawiają się coraz doskonalsze szerokopasmowe głowice, np. do oceny mikroprzepływów, które razem z wysoko zaawansowanymi technologicznie opcjami poprawiającymi obrazowanie – takimi jak obrazowanie harmoniczne, obrazowanie krzyżowe czy redukcja szumów – pozwalają uzyskać wysokiej rozdzielczości obrazu skóry. Natomiast aparaty wysokich częstotliwości lepiej sprawdzają się w sytuacjach,

Tab. 1. Zamiana głębokość penetracji ultradźwięków w tkankę zależna od zastosowanej częstotliwości głowicy

Lp.	Częstotliwość [MHz]	Głębokość penetracji [mm]	Struktury możliwe do zobrazowania
1	7,5	>40	Struktury położone głęboko, węzły chłonne
2	10	35	Naskórek, skóra właściwa, tkanka podskórna
3	20	10	Naskórek i skóra właściwa – fragment tkanki podskórnej
4	50	3–4	Naskórek i skóra właściwa
5	75	3	Naskórek i fragment skóry właściwej
6	100	1,5	Tylko naskórek

Tab. 2. Charakterystyka ultrasonografów wysokich częstotliwości

Parametr	Episcan I-200 (Longport)	DermaScan C (Cortex Technology)	DUB-USB Skin Scanner (Taberna Pro Medicum)	DermaMed (Dramiński)
Przetwornik analogowo-cyfrowy	200 MHz, 8-bit (256 poziomów)	Brak danych	100 MHz, 8-bit (256 poziomów)	96 MHz, 8 bit (256 poziomów)
Głębokość penetracji [mm]	3,8–22,4	10–20 (w zależności od głowicy)	15–3 (w zależności od głowicy)	4–20
Rozdzielczość osiowa [μm]	Do 40	60	Max. 21 przy 75 MHz	15
Rozdzielczość boczna [μm]	–	130	–	50
Częstotliwość głowic [MHz]	20, 50	20	18, 22, 33, 50, 75	35 (Pulse Frequency 48 MHz)
Boczna długość skanowania [mm]	15	–	12,8	15 mm ogniskowa (30° kąt skanowania)
Prędkość skanowania [obrazów/s]	1	8	2,5	8
Tryby obrazowania	A-scan, B-scan	A-scan, B-scan	A-scan, B-scan	B-scan
Połączenie z komputerem	Trwale połączone, z wbudowanym komputerem	Trwale połączone, z wbudowanym komputerem	Oddzielne urządzenie, podłączone do komputera przez USB 2.0 lub 3.0	Miniaturowe, podręczne urządzenie z wbudowanym portem USB podłączone do laptopa


Ryc. 1. Porównanie rozdzielczości aparatu klasycznego (Epiq5). **A.** Z aparatem wysokich częstotliwości (DermaMed). **B.** Na przykładzie ziarniniaka. Na obrazie **B** można dostrzec więcej szczegółów dzięki zastosowaniu głowicy 48 MHz

gdy zainteresowanie skupia się głównie na obrazowaniu naskórka i skóry właściwej. Stosując głowice o częstotliwościach powyżej 20 MHz, uzyskuje się obrazy wysokiej rozdzielczości, w których można oceniać struktury mniejsze niż 100 μm oraz dostrzec większą liczbę szczegółów^(3,9) (Ryc. 1). Zaletą tego typu urządzeń jest również ich mobilność i mały rozmiar, dzięki czemu można je w łatwy sposób transportować i wykorzystywać w wielu lokalizacjach. Wybierając więc rodzaj aparatu do badania skóry, należy przede wszystkim kierować się celem badania. Przy badaniu skóry najbardziej optymalne byłoby wykorzystywanie obu typów aparatów.

Ultrasonograficzny obraz skóry zdrowej

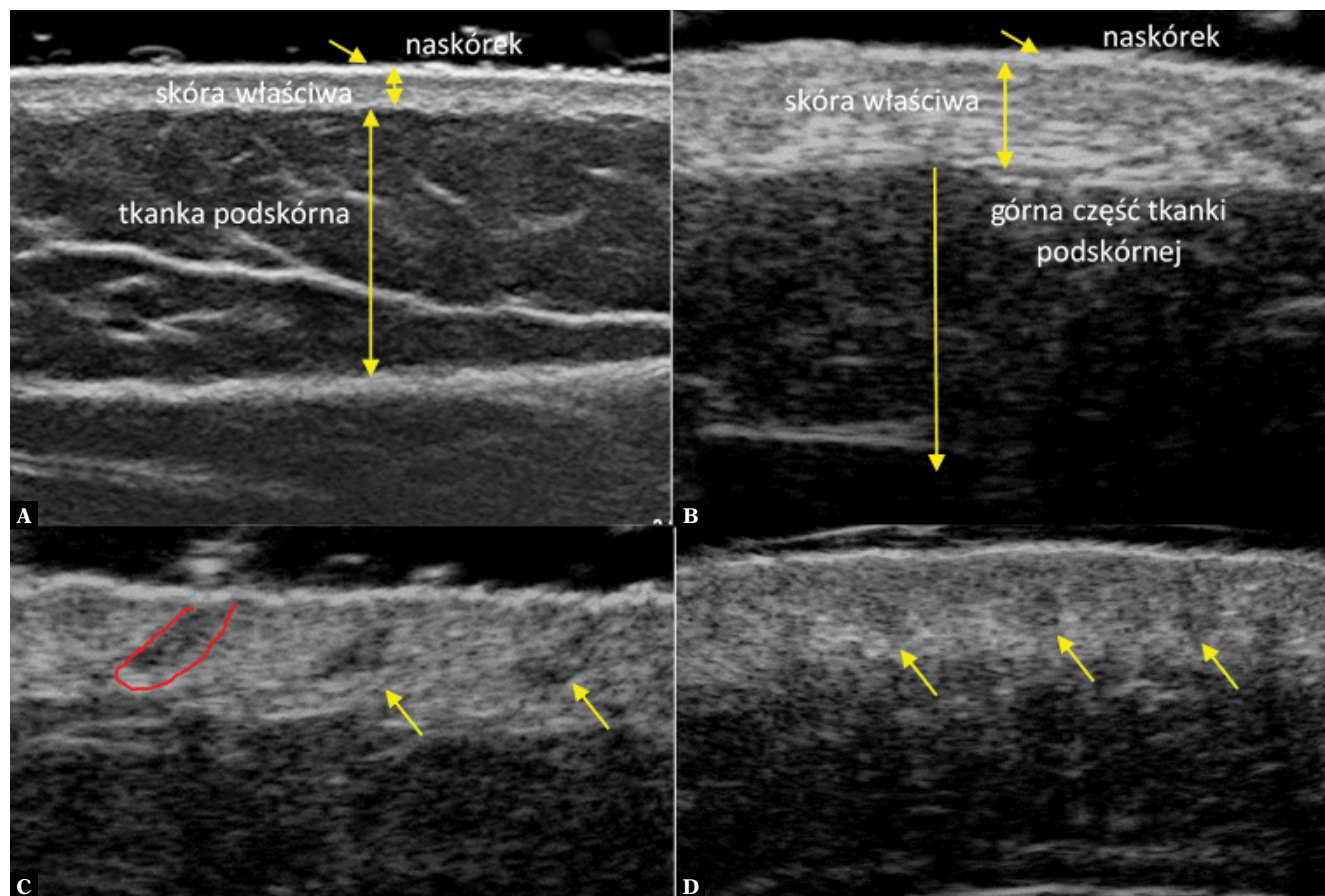
Na ultrasonograficznym obrazie skóry zdrowej rozróżnia się trzy podstawowe warstwy (Ryc. 2)^(3,4,11):

- **naskórek** – widoczny jako cienka warstwa silnie hiperechogeniczna;
- **skórę właściwą** – warstwa niejednorodna, na którą składają się odbicia hiperechogeniczne, będące odbiciem od włókien kolagenowych, i hipoechogeniczne, które są

odbiciami od macierzy zewnątrzkomórkowej. W obrębie skóry właściwej można zobrazować również mieszki włosowe, gruczoły oraz naczynia krwionośne;

- **tkankę podskórną** – hipoechogeniczna warstwa utworzona z odbić pochodzących od zrazików tłuszczowych, które są oddzielone cienkimi hiperechogenicznymi linijnymi odbiciami biegnącymi w różnych kierunkach, odpowiadającym cienkim włóknom tkanki łącznej. W zależności od częstotliwości głowicy ultrasonograficznej na obrazie ultrasonograficznym można zobaczyć fragment lub całą tkankę podskórną. Przy zastosowaniu najnowszej generacji ultrasonografów możliwe jest również uwidocznienie naczyń żylnych i tętniczych.

W ultrasonograficznym obrazie skóry zdrowej można także zaobserwować zlokalizowane podnaskórkowo bezechowe lub niskoechogeniczne pasmo (*subepidermal low echogenic band*, SLEB, inaczej określane jako: *subepidermal non echogenic band*, SENEb) (Ryc. 3)^(12,13). Najczęściej SLEB występuje w obrębie skóry wystawionej na działanie promieni słonecznych i w związku z tym traktowane jest jako marker fotostarzenia skóry^(11,13).

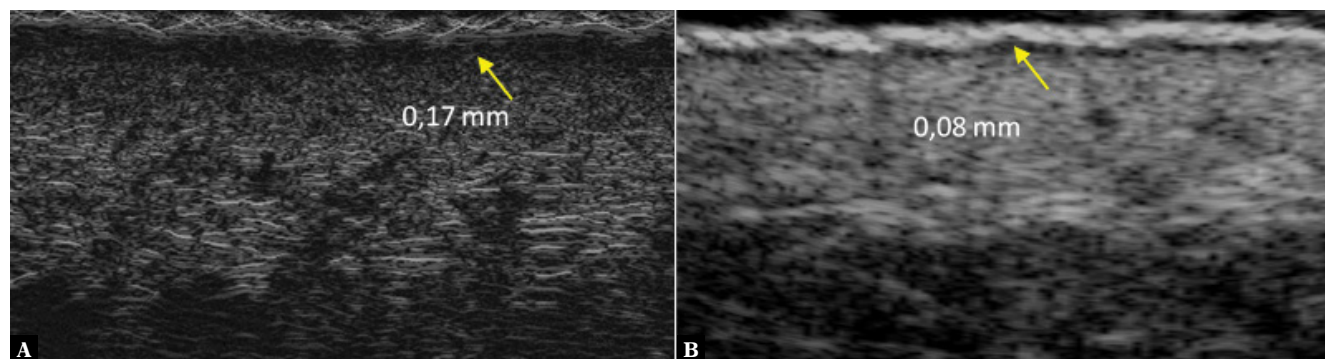


Ryc. 2. Ultrasonograficzny obraz skóry zdrowej: A. Ultrasonografia klasyczna, Philips Epiq5 z głowicą liniową 5–18 MHz. B. Ultrasonografia wysokich częstotliwości DermaMed, głowica 48 MHz. C. Mieszki włosowe, DermaMed. D. Gruczoły potowe – czoło, DermaMed

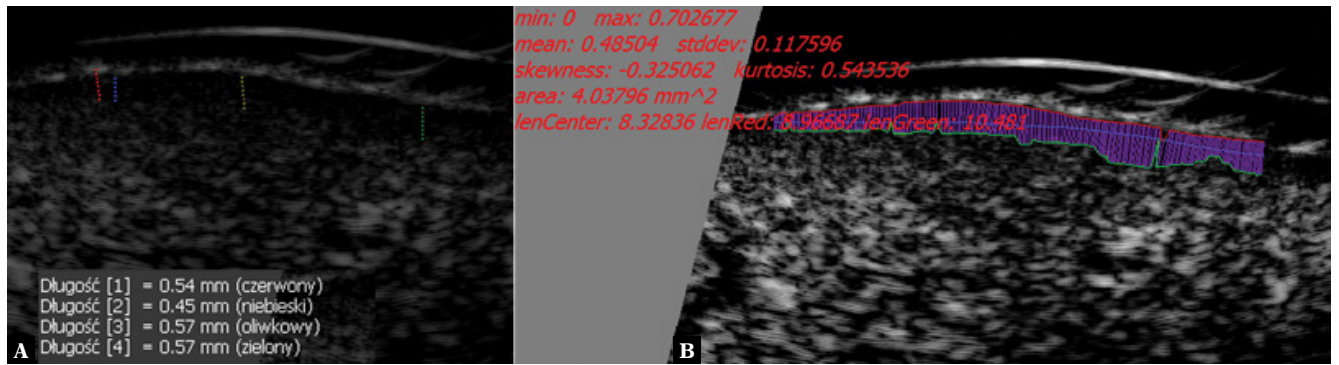
Analiza obrazów ultrasonograficznych i parametry poddawane ocenie w ultrasonograficznym badaniu skóry

Uzyskane w trakcie badania obrazy skóry są poddawane analizie ilościowej i jakościowej⁽¹⁴⁾. Analiza jakościowa jest dokonywana przez badacza (lub kilku niezależnych ekspertów) i polega na porównaniu obrazów. W zależności od celu badania porównanie może dotyczyć obrazu skóry chorej i zdrowej w jednoimiennej

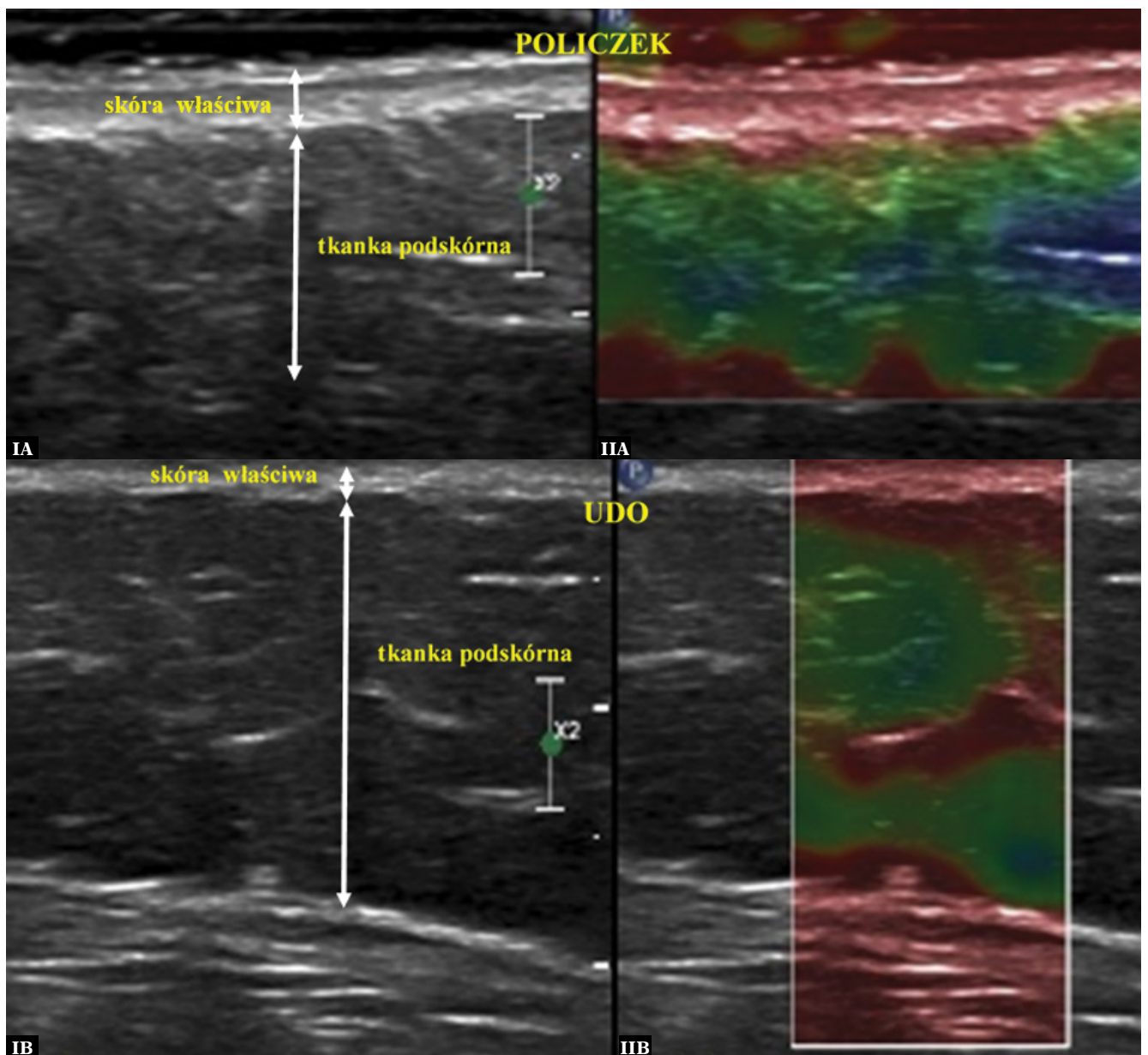
lokalizacji lub porównuje się obrazy z tej samej lokalizacji, ale w różnych okresach czasu. W tego typu analizie bardzo często badacze odnoszą się do echogeniczności, czyli jasności poszczególnych warstw skóry lub struktur. W ostatnich latach oprócz oceny jakościowej echogeniczności podejmowane są próby ilościowej oceny tego parametru. W przypadku aparatów z głowicami mechanicznymi istnieje możliwość pomiaru liczby pikseli z danego zakresu szarości w interesującym badacza obszarze.



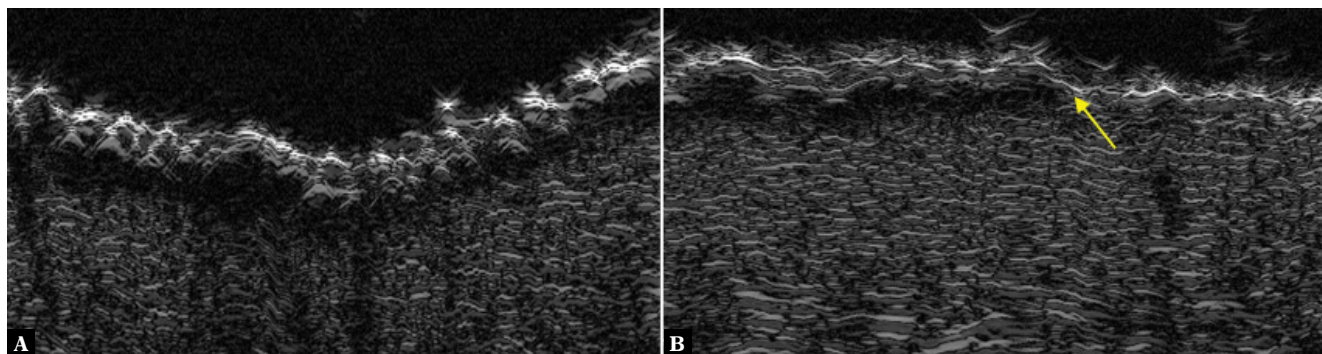
Ryc. 3. Bezechowe pasmo zlokalizowane pod naskórkiem (SLEB/SENEB) na ultrasonograficznym obrazie skóry zdrowej. A. Skóra czoła, aparat Episcan, głowica 50 MHz. B. Skóra dłoni, DermaMed, głowica 48 MHz



Ryc. 4. Pomiar grubości warstwy SLEB. A. Pomiar ręczny. B. Pomiar automatyczny z wykorzystaniem oprogramowania dostępnego w ultrasonografii (DermaMed)



Ryc. 5. Elastografia skóry zdrowej. IA. Policzek, obraz w skali szarości. IIB. Policzek, elastografia ultrasonograficzna. IIA. Udo, obraz w skali szarości. IIB. Udo, elastografia ultrasonograficzna. Zarówno na policzku, jak i na udzie tkanka podskórna jest bardziej podatna na odkształcenia niż skóra właściwa



Ryc. 6. Ultrasonograficzny obraz atopowego zapalenia skóry (Episcan, głowica 50 MHz). **A.** Zmiana aktywna. **B.** Granica między zmianą a otaczającą ją skórą bez zmiany

Analiza ilościowa jest stosowana również w przypadku takich parametrów jak:

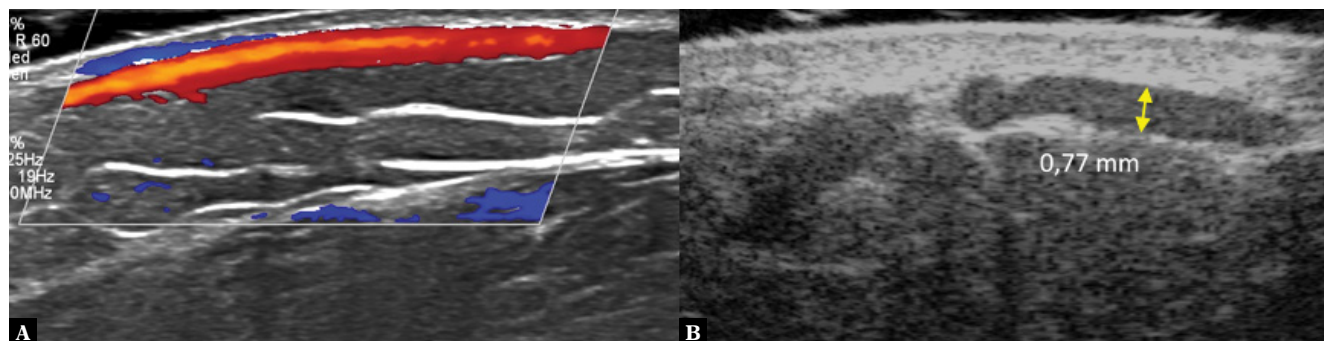
- **ocena grubości:** naskórka, skóry właściwej, tkanki podskórnej, SLEB lub innych struktur poddanych ocenie. Ocena ta jest podstawowym parapeitem pomiaru. Z racji tego, że pomiary grubości szczególnie w przypadku struktur cienkich (np. naskórek) obarczone są dużym ryzykiem popełnienia błęd pomiarowego – a w przypadku aparatów klasycznych czasami wręcz niemożliwe – istotne jest wprowadzenie metody rzetelnego pomiaru. Odpowiedzią na ten problem było wprowadzenie w ostatnich latach w kilku ultrasonografach z głowicami mechanicznymi oprogramowania, które automatycznie mierzy grubość wskazanej struktury (Ryc. 4). Jest to innowacyjna metoda pomiaru, która znacznie ułatwia pracę osobom przeprowadzającym badanie i minimalizuje ryzyko popełnienia błęd. Jak wynika z przeprowadzonych badań, zastosowanie automatycznego pomiaru grubości guza było dokładniejsze niż pomiary wykonywane ręcznie. Ponadto pomiary wykonywane automatycznie cechowała wysoka korelacja między grubością guza a wskaźnikiem Breslowa wykorzystywanym w ocenie czerniaków skóry⁽¹⁵⁾;
- **miar pola powierzchni** interesujących badacza struktur;
- **elastografia** – dostępna w wysokiej klasy ultrasonografach klasycznych, umożliwia pomiar sztywności (twardości) tkanek i ich podatności na odkształcenie. Ma to istotne znaczenie w ocenie skóry zdrowej, a także jej zmian ogniskowych. Twardość skóry zdrowej zmienia się w zależności od badanej warstwy: skóra właściwa jest bardziej twarda niż tkanka podskórna. Natomiast w tkance podskórnej mniej podatne

na odkształcenia są przegrody łącznotkankowe (Ryc. 5)⁽¹⁶⁾. W badaniach skóry wykorzystywano elastografię zarówno statyczną, jak i dynamiczną. W świetle dotychczas uzyskanych wyników wyższą wartość diagnostyczną ma elastografia dynamiczna^(17,18), jednak ze względu na stosunkowo małą liczbę prac z tego zakresu niniejsza tematyka wymaga przeprowadzenia dalszych badań;

- **ocena przepływu** w drobnych naczyniach krwionośnych – w tym zakresie badacze dysponują coraz to nowocześniejszymi rozwiązaniami. W ostatnim czasie aparaty klasyczne zostały wyposażone w opcje obrazowania przepływów MicroFlow, która pozwala wykrywać wolny i słaby przepływ krwi nawet w niewielkich naczyniach, co jest istotnie w badaniach skóry. MFI charakteryzuje się lepszą rozdzielczością, czułością oraz pozwala na obrazowanie przepływów, które nie są widoczne przy zastosowaniu dopplera mocy i dopplera kolorowego^(18,19,20).

Aktualne zastosowania ultrasonografii wysokich częstotliwości w badaniach skóry

W początkowym etapie rozwoju ultrasonografii wysokich częstotliwości była ona dedykowana głównie badaniom skóry wykonywanym na gruncie dermatologii. W trakcie pierwszego kongresu poświęconego ultrasonografii skóry, który odbył się w 1990 roku w Bochum, w tej metodzie pokładano wielkie nadzieje i wiązano ją na stałe z dermatologią. Badanie ultrasonograficzne skóry miało być „przedłużeniem ręki lekarza dermatologa” i wzbogacać stawianą przez niego diagnozę



Ryc. 7. Monitorowanie przebiegu drobnych naczyń krwionośnych. **A.** Aparat klasyczny Epiq5, naczynie żyłne przebiegające na granicy skóry właściwej i tkanki podskórnej. **B.** Aparat wysokich częstotliwości DermaMed 48 MHz, naczynie przebiegające pod skórą właściwą i schodzące do tkanki podskórnej

o dane z wnętrza skóry, do których nie miał dostępu, korzystając z metod oceny zmian opartych na obserwacji powierzchni skóry. Niestety mimo upływu 30 lat od niniejszego kongresu ultrasonografia skóry nie zagościła powszechnie w gabinetach dermatologicznych i w dalszym ciągu stanowi głównie zainteresowanie w kręgach akademickich. Badanie ultrasonograficzne skóry jest zdecydowanie niedocenianą metodą wśród wielu stosowanych w dermatologii⁽⁴⁾, a wieloletnie doświadczenia autorów niniejszej pracy pokazują, że wielu dermatologów jest jej niechętnych, gdyż ocenia się ją jako trudną do opanowania. Obecnie w Polsce incydentalnie można się spotkać z gabinetami dermatologicznymi, gdzie wykonuje się badania ultrasonograficzne skóry, również w trakcie studiów medycznych czy szkolenia specjalizacyjnego nie są one elementem nauczania. Taka sytuacja jest niezrozumiała, gdyż, jak pokazują badania^(3,4,9,11), ultrasonografia wysokich częstotliwości stosowana rutynowo byłaby szczególnie użyteczna w:

- obrazowaniu zmian ogniskowych [zmiany łagodne, nowotwory skóry – w tym czerniak i rak podstawnokomorowy (*basal cell carcinoma*, BCC)],
- monitorowaniu przebiegu leczenia dermatologicznego w licznych chorobach [takich jak twardzina, łuszczyca, atopowe zapalenie skóry (AZS)].

Zmiany ogniskowe skóry na obrazach ultrasonograficznych są zazwyczaj widoczne jako owalne lub okrągłe obszary hipoechogeniczne otoczone strukturami hiperechogenicznymi, w związku z czym ich różnicowanie nie jest w pełni możliwe. Pojawiają się doniesienia wskazujące na charakterystyczne cechy guzów łagodnych i BCC⁽¹⁰⁾, które są pomocne w różnicowaniu zmian, mimo to złotym standardem pozostaje nadal badanie histopatologiczne^(11,15,21). Ultrasonografia wysokich częstotliwości jest jednak niezastąpiona w ocenie wielkości zmiany, jej położenia względem innych tkanek i struktur, występowania ewentualnego nacieku i jego głębokości. Szczególnie istotne jest to w przypadku przedoperacyjnej oceny czerniaka, gdzie właściwe określenie marginesu skórno, z jakim zmiana zostanie usunięta, istotnie wpływa na dalsze postępowanie i rokowania pacjenta^(4,15,21).

Na gruncie dermatologii ultrasonografia wysokich częstotliwości jest użyteczna również w ocenie licznych chorób oraz monitorowaniu ich leczenia. Wśród chorób badanych przy pomocy USG występują choroby zapalne skóry, takie jak łuszczyca, egzema, atopowe zapalenie skóry (AZS), ale również twardzina. Obraz ultrasonograficzny chorób zapalnych charakteryzuje występowanie warstwy SLEB i obniżona echogeniczność innych warstw skóry właściwej, za co odpowiada obrzęk i naciek komórek zapalnych^(4,9) (Ryc. 6). Obrzęk skóry, spowodowany obecnością wody, zwiększa odległość między włóknami kolagenu, powodując zmniejszenie gęstości tkanki⁽⁴⁾. Jak wykazały badania Polańskiej i wsp.⁽²²⁾, ultrasonografia wysokich częstotliwości okazała się użyteczną metodą w długoterminowym monitorowaniu leczenia AZS. Natomiast obraz ultrasonograficzny twardziny ograniczonej wskazuje na istotne pogrubienie skóry oraz zwiększoną jej echogeniczność^(4,9). W obrębie zmienionej chorobowo skóry odnotowano również zanik jej przydatków. Badania Wortsmana i wsp.⁽²³⁾ wykazały 100% czułości i swoistość na poziomie 98,8% w różnicowaniu między fazą zapalną a fazą włóknienia. Użyteczna w ocenie twardziny okazała się również elastografia⁽²⁴⁾.

Wraz z pojawieniem się głowic dysponujących wyższą częstotliwością możliwa stała się także na gruncie dermatologii ocena gojenia się ran, oparzeń, tworzenia się blizn^(9,25).

Kolejnym obszarem, w którym ultrasonografia wysokich częstotliwości skóry znajduje zastosowanie, jest medycyna estetyczna i pokrewna jej kosmetologia. W tych dziedzinach w ciągu ostatnich kilku latach obserwujemy dynamiczny wzrost popularności tej metody i stale zwiększającą się liczbę gabinetów wykonujących tego typu badania. Na upowszechnianie się ultrasonografii skóry na gruncie medycyny estetycznej i kosmetologii wpłynęło to, że bardzo często tego typu gabinety prowadzone są przez lekarzy innych specjalności niż dermatologia i kosmetologów, którzy nie dysponują żadnymi obiektywnymi metodami oceny skóry. W sytuacji, gdy wiele zabiegów estetycznych ingeruje w tkanki, konieczne jest monitorowanie zachodzących w nich zmian. Łukę w metodach diagnostycznych skóry w medycynie estetycznej idealnie wypełnia ultrasonografia, która jest bezpieczna, rzetelna oraz stosunkowo tania⁽⁵⁾. W medycynie estetycznej badanie skóry jest użyteczne na każdym etapie postępowania: od planowania zabiegu poprzez monitorowanie jego przebiegu po ocenę efektów zabiegowych, jak również ewentualnych powikłań^(4,5,11). W opublikowanych kilka miesięcy temu zaleceniach EFSUMB⁽¹⁰⁾ wskazano kilka głównych obszarów w medycynie estetycznej i kosmetologii, w których ultrasonografia skóry jest użyteczna. Nie jest to kompletna lista zastosowań, jednak wskazuje główne strefy. Do najważniejszych zastosowań zalicza się:

- ocenę stanu skóry i fotostarzenia, a następnie monitorowanie skuteczności zabiegów. W tym zakresie użytecznym parametrem ultrasonograficznym jest pomiar grubości SLEB^(10,26);
- ultrasonograficzną ocenę anatomii twarzy i innych części ciała, co jest istotne przy planowaniu zabiegów i monitorowaniu poprawności ich wykonania. W tym zakresie istnieje możliwość oceny grubości poszczególnych struktur, ale również ich unaczynienia (Ryc. 7);
- ocenę i identyfikację różnego typu wypełniaczy tkankowych, toksyny botulinowej oraz ocenę ich lokalizacji, rozległości^(27,28). Wypełniacze są dobrze widoczne na obrazach ultrasonograficznych, najbardziej rozpoznany jest kwas hialuronowy, który daje się rozpoznać jako okrągła, bezechowa przestrzeń^(4,27,29);
- ocenę powikłań po różnego typu zabiegach estetycznych^(4,10). Ultrasonografia pozwala monitorować wczesne powikłania, takie jak obrzęk skóry i tkanki podskórnej, obrzęk limfatyczny, krwiaki, ropnie. Umożliwia również monitorowanie powikłań odroczonego w czasie, np. przetok, martwicy tłuszczu, ziarniniaków⁽³⁰⁾;
- ocenę tkanki podskórnej, w tym cellulitu, i monitorowanie skuteczności zabiegów^(4,31). Cellulit jest łatwy do zobrazowania za pomocą ultrasonografii, gdyż ma postać charakterystycznych pasm tkanki podskórnej zwanych „zębami”, które wrastają w skórę właściwą;
- wykonywanie zabiegów pod kontrolą ultrasonografii, np. podawanie hialuronidazy.

Poza dermatologią i medycyną estetyczną ultrasonografia skóry znajduje zastosowanie również w innych dziedzinach. Jednym z takich obszarów jest wykorzystanie jej na gruncie

flebologii. Dzięki wysokim częstotliwościom istnieje możliwość oceny średnicy małych naczyń krwionośnych i ich przebiegu, co istotnie poprawia bezpieczeństwo i skuteczność zabiegu seroterapii naczyń siatkowatych⁽⁶⁾. Możliwe jest także dokonywanie nakłucia naczynia pod kontrolą ultrasonografii. Ciekawym i innowacyjnym obszarem, w którym wykonuje się badania wysokich częstotliwości, jest ginekologia. Tam ultrasonografia służy do oceny sromu, pochwy i szyjki macicy⁽⁷⁾. Pojawiło się też doniesienie dotyczące obrazowania nowotworu sromu⁽³²⁾.

Wnioski

Rozwój technologii, którego wszyscy byli świadkami na przełomie wieków XX i XXI, wpłynął w istotny sposób na dostępność ultrasonografów, w tym ultrasonografów wysokich częstotliwości, które są wykorzystywane do badań skóry. W niniejszej pracy wykazano, że badania skóry znajdujące zastosowanie w wielu dziedzinach i zgodnie z wynikami wielu badaczy cechuje je wysoka użyteczność. Niestety łatwa dostępność sprzętu nie wpłynęła istotnie na upowszechnienie ultrasonografii skóry. Badania te nadal są niedoceniane i stanowią nowość w gabinetach lekarskich. Taka sytuacja ma miejsce szczególnie w dermatologii. Ultrasonografia wysokich częstotliwości jest wykorzystywana głównie w jednostkach naukowo-badawczych. Nieco lepiej wygląda sytuacja w medycynie estetycznej i kosmetologii, która dynamicznie się rozwija i implementuje zarówno nowe metody zabiegowe,

jak i metody diagnostyczne. Coraz częściej ultrasonografy wysokich częstotliwości wykorzystywane są w codziennej pracy gabinetów. W opinii autorów niniejszego artykułu to właśnie dzięki medycynie estetycznej ultrasonografia skóry ma szansę się upowszechnić. Jednak aby do tego doszło, konieczne jest wypracowanie przejrzystych i kompleksowych standardów badań ultrasonograficznych skóry. Takie próby są obecnie podejmowane⁽¹⁰⁾. W celu upowszechnienia ultrasonografii istotne jest również wprowadzenie rzetelnych szkoleń dla osób wykonujących tego typu badania. Udoskonalenia i standaryzacji wymagają też aparatura i oprogramowanie w ultrasonografach wysokich częstotliwości z głowicami mechanicznymi, tak aby uzyskiwane wyniki można było ze sobą porównywać, szczególnie w zakresie oceny echogeniczności. Rozwój oprogramowania, w które zostały wyposażone aparaty, powinien zmierzać w stronę automatyzacji, gdyż pozwala to uniknąć błędów pomiarowych.

Omówione w niniejszej pracy możliwości zastosowania ultrasonografii wysokich częstotliwości powinny skłonić lekarzy, kosmetologów i innych specjalistów zajmujących się skórą do wykorzystania tej metody w swojej codziennej praktyce.

Konflikt interesów

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

Piśmiennictwo

- Mogensen M, Morsy HA, Thrane L, Jemec GB: Morphology and epidermal thickness of normal skin imaged by optical coherence tomography. *Dermatology* 2008; 217: 14–20.
- Alexander H, Miller DL: Determining skin thickness with pulsed ultrasound. *J Invest Dermatol* 1979; 72: 17–19.
- Schmid-Wendtner MH, Dill-Müller D: Ultrasound technology in dermatology. *Semin Cutan Med Surg* 2008; 27: 44–51.
- Polańska A, Dańczak-Pazdrowska A, Jałowska M, Żaba R, Adamski Z: Current applications of high-frequency ultrasonography in dermatology. *Postepy Dermatol Alergol* 2017; 34: 535–542.
- Jaguś D, Malinowska S, Mlosek RK: Wykorzystanie ultrasonografii skóry w gabinecie kosmetyka. *Kosmetol Estet* 2018; 3: 279–282.
- Mlosek RK, Malinowska S: Application of high-frequency ultrasonography in closing small blood vessels. *J Ultrason* 2014; 14: 320–327.
- Migda MS, Migda M, Migda B, Słapa RZ, Mlosek RK: Feasibility of using high-frequency skin ultrasound (HFSU) in vulvar skin assessment – initial report with the description of HFSU anatomy. *Ginekol Pol* 2016; 87: 19–25.
- Kleinerman R, Whang TB, Bard RL, Marmur ES: Ultrasound in dermatology: principles and applications. *J Am Acad Dermatol* 2012; 67: 478–487.
- Jasaitiene D, Valiukeviciene S, Linkeviciute G, Raisutis R, Jasiuniene E, Kazys R: Principles of high-frequency ultrasonography for investigation of skin pathology. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2011; 25: 375–382.
- Alfageme F, Wortsman X, Catalano O, Roustan G, Crisan M, Crisan D *et al.*: European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology (EFSUMB) Position Statement on Dermatologic Ultrasound. *Ultraschall Med*. 2020.
- Wortsman X: Ultrasound in dermatology: why, how, and when? *Semin Ultrasound CT MR* 2013; 34: 177–195.
- de Rigal J, Scoffier C, Querleux B, Faivre B, Agache P, Lévêque JL: Assessment of aging of the human skin by in vivo ultrasonic imaging. *J Invest Dermatol* 1989; 93: 621–625.
- Waller JM, Maibach HI: Age and skin structure and function, a quantitative approach (I): blood flow, pH, thickness, and ultrasound echogenicity. *Skin Res Technol* 2005; 11: 221–235.
- Wawrzyniak ZM, Malinowska S, Mlosek RK: Parametry stosowane do oceny obrazów ultrasonograficznych wysokich częstotliwości skóry. *Inż Fiz Med* 2013; 4: 222–226.
- Bhatta AK, Keyal U, Liu Y: Application of high frequency ultrasound in dermatology. *Discov Med* 2018; 26: 237–242.
- Roldán FA: Elastography in dermatology. *Actas Dermosifiliogr* 2016; 107: 652–660.
- Yang Y, Wang L, Yan F, Xiang X, Tang Y, Zhang L *et al.*: Determination of normal skin elasticity by using real-time shear wave elastography. *J Ultrasound Med* 2018; 37: 2507–2516.
- Ambroziak M, Pietruski P, Noszczyk B, Paluch Ł: Ultrasonographic elastography in the evaluation of normal and pathological skin – a review. *Postepy Dermatol Alergol* 2019; 36: 667–672.
- Lim AKP, Satchithananda K, Dick EA, Abraham S, Cosgrove DO: Microflow imaging: New Doppler technology to detect low-grade inflammation in patients with arthritis. *Eur Radiol* 2018; 28: 1046–1053.
- Kim DH, Choi YH, Oh S, Kim HJ, Chai JW: Ultrasound microflow imaging technology for diagnosis of adhesive capsulitis of the shoulder. *J Ultrasound Med* 2020; 39: 967–976.
- Pellacani G, Seidenari S: Preoperative melanoma thickness determination by 20-MHz sonography and digital videomicroscopy in combination. *Arch Dermatol* 2003; 139: 293–298.
- Polańska A, Silny W, Jenerowicz D, Kniola K, Molińska-Glura M, Dańczak-Pazdrowska A: Monitoring of therapy in atopic dermatitis – observations with the use of high-frequency ultrasonography. *Skin Res Technol* 2015; 21: 35–40.
- Wortsman X, Wortsman J, Sazunic I, Carreño L: Activity assessment in morphea using color Doppler ultrasound. *J Am Acad Dermatol* 2011; 65: 942–948.

24. Wang Y, Shan JL, Chen HY, Wu Z: Comparison of 2-D shear wave elastography with clinical score in localized scleroderma: a new method to increase the diagnostic accuracy. *Dermatol* 2019; 46: 131–138.
25. Scotto di Santolo M, Sagnelli M, Tortora G, Santoro MA, Canta PL, Molea G *et al.*: The utility of the high-resolution ultrasound technique in the evaluation of autologous adipose tissue lipofilling, used for the correction of post-surgical, post-traumatic and post-burn scars. *Radiol Med* 2016; 121: 521–527.
26. Gniadecka M, Gniadecki R, Serup J, Søndergaard J: Ultrasound structure and digital image analysis of the subepidermal low echogenic band in aged human skin: diurnal changes and interindividual variability. *J Invest Dermatol* 1994; 102: 362–365.
27. Wortsman X, Wortsman J, Orlandi C, Cardenas G, Sazunic I, Jemec GBE: Ultrasound detection and identification of cosmetic fillers in the skin. *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2012; 26: 292–301.
28. Quezada-Gaon N, Wortsman X, Peñaloza O, Carrasco JE: Comparison of clinical marking and ultrasound-guided injection of botulinum type A toxin into the masseter muscles for treating bruxism and its cosmetic effects. *J Cosmet Dermatol* 2016.
29. Schelke LW, Van Den Elzen HJ, Erkamp PPM, Neumann HAM: Use of ultrasound to provide overall information on facial fillers and surrounding tissue. *Dermatol Surg* 2010; 36: 1843–1851.
30. Mlosek RK, Skrzypek E, Skrzypek DM, Malinowska S: High-frequency ultrasound-based differentiation between nodular dermal filler deposits and foreign body granulomas. *Skin Res Technol* 2018; 24: 417–422.
31. Malinowska S, Mlosek R: Efficacy of intradermal mesotherapy in cellulite reduction - Conventional and high-frequency ultrasound monitoring results. *J Cosmet Laser Ther* 2017; 19: 320–324.
32. Migda MS, Migda M, Ślapa R, Mlosek RK, Migda B: The use of high-frequency ultrasonography in the assessment of selected female reproductive structures: the vulva, vagina and cervix. *J Ultrason* 2019; 19: 261–268.