

GUSTAW CHOŁUBEK<sup>1</sup>, KRZYSZTOF WIKTOR<sup>2</sup>, DOROTA ROBAK-CHOŁUBEK<sup>3</sup>,  
LECHOSŁAW PUTOWSKI<sup>2</sup>, HENRYK WIKTOR<sup>1,3</sup>

## Ultradźwięki w położnictwie – bezpieczeństwo coraz większe?

## Ultrasound in Obstetrics – More Safe?

### Streszczenie

Współcześnie ultrasonografia stała się podstawowym narzędziem stosowanym w diagnostyce perinatalnej. W krajach rozwiniętych większość płodów jest wewnątrzłono eksponowana na ultradźwięki w czasie diagnostycznych badań prenatalnych. Bezpieczne użycie ultradźwięków jest imperatywem w tych badaniach.

W pracy przedstawiono bioefekty działania ultradźwięków na tkanki żywe oraz opisano standardy używania mocy akustycznej w trakcie badań ultrasonograficznych. Założenia teoretyczne odniesiono do praktycznych aspektów klinicznych z uwzględnieniem najnowszych doniesień literaturowych na temat bezpieczeństwa stosowania ultradźwięków w położnictwie.

### Abstract

Nowadays, ultrasonography has become a basic diagnostic tool in prenatal medicine. In developed countries, most fetuses are exposed to ultrasound at least once throughout pregnancy. Safe use of ultrasound is imperative in fetal scanning.

The paper presents bioeffects of ultrasound on living tissue and describes standards for safe use of ultrasound in obstetrics. Theoretical assumptions are related to the practical aspects of ultrasound examinations with the latest literature data on the safety of ultrasound in obstetrics.

**Słowa kluczowe:** ultradźwięki, położnictwo, bezpieczeństwo ultradźwięków.

**Keywords:** ultrasound, obstetrics, safety of ultrasound.

1 Oddział Ginekologii i Położnictwa z Izłą Przyjęć, Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Stefana Kardynała Wyszyńskiego w Lublinie

2 Katedra i Klinika Ginekologii i Endokrynologii Ginekologicznej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

3 Zakład Położnictwa, Ginekologii i Pielęgniarstwa Ginekologiczno-Położniczego, Uniwersytet Medyczny w Lublinie

Wpływ ultradźwięków na organizmy żywe znajduje się w centrum uwagi naukowców od początku badań nad ultradźwiękami, czyli od początków XX stulecia [1,2].

Mechaniczne bioefekty działań ultradźwięków można podzielić na trzy grupy:

1. Skala mikro – wpływ na strukturę DNA poprzez sonizację (sonoportację) komórkową, polegającą m.in. na wprowadzaniu obcych genów do komórek z wykorzystaniem zjawiska mikrokawitacji.
2. Skala makro – efekty fizyoterapeutyczne – lokalne dostarczanie leków, chirurgia ultradźwiękowa, wzmacnianie efektów cytotoksycznych składników przeciwnowotworowych leków, itp.
3. Efekty uboczne działań diagnostycznych, typu ultrasonografia (z użyciem i bez użycia kontrastu) – skurcze naczyń, krwawienia z kapilar pęcherzyków płucnych, krwawienia z mikro-naczyń przewodu pokarmowego, nieprawidłowy rozwój centralnego układu nerwowego płodów – nieprawidłowa migracja neuronów w CUN, przedwczesne skurcze mięśnia sercowego tp. [3-5].

Opisane efekty uboczne dotyczą w większości badań doświadczalnych niższych gatunków zwierząt lub gryzoni, w przeciwieństwie do efektów fizyoterapeutycznych i wewnątrzkomórkowych, które są klinicznie zamierzone i osiągane celowo.

Ultrasonografia we współczesnej medycynie jest uważana za bezpieczne narzędzie diagnostyczne. Stosowanie ultradźwięków w położnictwie od 4 dekad nie wiąże się z żadnym udowodnionym szkodliwym działaniem ubocznym [6]. Biorąc pod uwagę skuteczność ultradźwięków w diagnostyce medycznej oraz korzyści ich stosowania m.in. w ciąży, Amerykański Instytut ds. Stosowania Ultradźwięków w Medycynie (American Institute of Ultrasound in Medicine) wydał w 1988 roku oświadczenie na temat ich bezpieczeństwa klinicznego: „Nigdy nie zostały zgłoszone żadne potwierdzone efekty biologiczne u pacjentów lub operatorów urządzeń spowodowane ekspozycją na fale o natężeniach typowych dla obecnych urządzeń do diagnostyki ultrasonograficznej. Korzyści dla pacjenta wynikające z rozważnego stosowania ultradźwięków w diagnostyce przeważają nad ewentualnym ryzykiem, które może być obecne” [7]. Wiarygodna ocena bezpieczeństwa stosowania ultradźwięków w medycynie wiąże się z wieloma ograniczeniami natury technicznej. Wszystkie parametry natężenia ultradźwięków in vitro są określane przez pomiary w wodzie. Woda nie pochłania

energii akustycznej, tak więc pomiary w niej dokonywane przedstawiają najbardziej niekorzystne wartości. W tkankach żywych fale akustyczne ulegają stopniowemu pochłanianiu. Wielkość absorpcji ultradźwięków zależy od grubości i rodzaju tkanek. Przyjmuje się, że ogólny współczynnik impedancji w raportach równa się 0,3 dB/cm/MHz, przy wartościach dla poszczególnych narządów od 0,43 dB/cm/MHz (dla wątroby) do 0,79 dB/cm/MHz (dla nerek) [8].

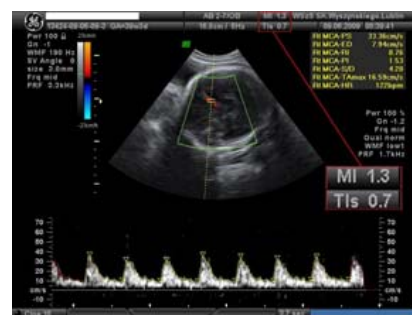
Bioefektem działania ultradźwięków jest każdy proces biologiczny, który powstaje lub jest katalizowany przez ekspozycję na ultradźwięki. Wyróżnia się dwa podstawowe mechanizmy działania ultradźwięków na organizmy żywe: efekt termiczny, opisujący skutki biologiczne spowodowane wzrostem temperatury w tkankach powyżej 1°C ponad fizjologiczną ciepłotę ciała, oraz efekt mechaniczny, obejmujący biologiczne efekty działania ultradźwięków związane ze wzrostem temperatury poniżej 1°C [4,9]. Efekt mechaniczny dotyczy nie tylko zjawisk mechanicznych, typu kawitacja, ale również reakcji chemicznych powstałych wtórnie, inicjowanych np. uwalnianiem wolnych rodników [4]. W 1992 roku Amerykański Instytut ds. Stosowania Ultradźwięków w Medycynie (AIUM) wydał „standard dotyczący wyświetlania w czasie rzeczywistym wskaźników mechanicznego (Mechanical Index – MI) i termicznego (Thermal Index – TI) mocy akustycznej w diagnostycznej aparaturze ultrasonograficznej” – „Standard for real-time display of thermal and mechanical acoustic output indices on diagnostic ultrasound equipment”, znany w skrócie jako ODS (output display standard) [10]. Wskaźniki te są widoczne na ekranie większości współczesnych aparatów diagnostycznych. Indeks mechaniczny jest wskaźnikiem potencjalnych bioefektów mechanicznych i jest obliczany według wzoru: przestrzenna szczytowa wartość szczytowego ciśnienia rozrzedzenia zmniejszonego o 0,1 dB/cm/MHz na każdy punkt wzdłuż osi wiązki, podzielona przez pierwiastek kwadratowy częstotliwości centralnej. Indeks termiczny natomiast stanowi wielkość związaną z obliczonym lub oszacowanym wzrostem temperatury przy określonych założeniach i określa go stosunek całkowitej mocy akustycznej do mocy wymaganej do zwiększenia temperatury tkanki o 1°C przy określonych założeniach [11]. Wskaźnik termiczny jest różny dla ośrodków o różnych gęstościach. Dla tkanek miękkich mówimy o Soft Tissue Thermal Index – TIS. Dla badań przezczaszkowych noworodków i badań płodu w II i III trymestrze, w których wiązka ultradźwiękowa przechodzi przez tkanki miękkie a obszar ogniskowania znajduje się w bezpośrednim



I



II



III

RYCINA 1. Wartości MI i TIS wyświetlane na ekranie w czasie rzeczywistym w zależności od rodzaju skanowania: I – B-mode, II – Duplex mode (B-mode + Color Doppler), III – Triplex mode – (B-mode + Color Doppler + Pulsed Doppler).

sąsiedztwie kości – Bone Thermal Index – TIB (wskaźnik termiczny kostny), oraz Cranial Bone Thermal Index – TIC, który jest wskaźnikiem termicznym stosowanym w badaniach przezczaszkowych u dzieci i dorosłych, w których wiązka ultradźwiękowa przechodzi przez kość w pobliżu wejścia wiązki do ciała [11,12]. Monitorowanie wartości TI oraz MI w czasie badania jest istotne, zwłaszcza w trakcie dopasowywania natężeń ultradźwięków do warunków panujących w badanych tkankach i powinno być zgodne z zasadą ALARA, tj. utrzymywania mocy i czasu ekspozycji na możliwie niskim poziomie (As Low As Reasonably Achievable) [12,13].

Bezpieczeństwo stosowania ultradźwięków w położnictwie zostało ostatnio poddane systematycznemu przeglądowi przez WHO. Przeanalizowano przeszło 60 publikacji na temat związku między ultrasonografią, a nieprawidłowym wynikiem porodu po stronie matki lub płodu, upośledzonym fizycznym lub neurologicznym rozwojem dziecka, zwiększonym ryzykiem występowania nowotworów w dzieciństwie, nieprawidłowym rozwojem intelektualnym lub chorobami psychicznymi. Nie stwierdzono związku pomiędzy stosowaniem ultradźwięków w diagnostyce położniczej a wymienionymi wyżej. Spośród badań klinicznych znaleziono jedynie słabe powiązanie pomiędzy ekspozycją na ultradźwięki w ciąży a leworęcznością u dzieci płci męskiej [14].

Ultrasonografia położnicza staje obecnie przed nowymi wyzwaniem. Z jednej strony dostępna jest coraz doskonalsza aparatura, o mocy wyjściowej do 15 razy większej niż przed kilkunastoma laty. A to, w przypadku możliwej kumulacji biologicznych efektów otrzymanej dawki ultradźwięków, może sprawić, iż wszystkie dotychczasowe przeglądy literatury oraz badania epidemiologiczne mogą być współcześnie całkowicie nieprzydatne [6]. Z drugiej – wykonującym badania pozostawia się coraz większą swobodę w doborze parametrów, wskazując zasadę ALARA i ODS jako podstawę bezpieczeństwa badań USG w ciąży [12,15]. Pozostawienie szerokiego pola w zakresie bezpieczeństwa ultradźwięków diagnostom (lekarzom, technikom, położnym), powinno wymusić na nich znajomość podstawowych pojęć i zasad używania tego (prawie) doskonałego narzędzia diagnostycznego. Ankieta obejmująca znajomość aspektów bezpieczeństwa w ultrasonografii przeprowadzona w 2003 roku wśród uczestników szkoleń podyplomowych w ultrasonografii położniczej, badaniach dopplerowskich, oraz echokardiografii płodowej w Szwecji, Norwegii i Austrii dała zaskakująco negatywne wyniki. Ankietowani, będący ekspertami w swojej dziedzinie, odpowiedzialnymi za kontrolę ekspozycji ultradźwięków, wykazali się znikomą wiedzą na temat podstawowych aspektów bezpieczeństwa ultradźwięków [15]. Na tej podstawie – w ankiecie brało udział blisko 200 ekspertów z zakresu ultrasonografii położniczej – można wnosić, iż poziom wiedzy na temat bezpieczeństwa ultradźwięków w medycynie był przed niespełną dziesięć laty niski. W Journal of Ultrasound in Medicine, będącym organem American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM) w lutym 2009 roku przedstawiono współczesne aspekty bezpieczeństwa stosowania ultradźwięków dla techników i lekarzy zajmujących się diagnostyką ultrasonograficzną [12].

W ultrasonografii prenatalnej sugeruje się stosowanie następujących wartości dla ustawień i monitorowania wartości wyjściowych:

1. Wartości indeksu termicznego TI powinny oscylować poniżej wartości 0,5, szczególnie w pierwszym trymestrze;
2. Wartość TI <0,5 powinna być jako traktowana jako wartość wyjściowa do badań USG;
3. Indeks termiczny oscylujący pomiędzy wartościami 0,5 a 1,0 może być używany w badaniach trwających do 30 minut;
4. Wartość TI >2,5 powinna być ograniczona w czasie do mniej niż 1 minutę;
5. Indeks mechaniczny MI o wartości >0,4 nie powinien być stosowany w środowisku z możliwą obecnością gazów;
6. W przypadku braku gazów MI może wzrosnąć, jednak jedynie o wartość niezbędną do przeprowadzenia badania, gdyż bioefekty „niegazowe” mogą mieć wpływ na rozwój płodu.

Nieistniejejednapowszechnadeklaracjanatematwarunków bezpieczeństwa w zakresie stosowania ultradźwięków w medycynie. Różne organizacje ultrasonograficzne przedstawiają swoje własne wytyczne [15]. Można je znaleźć na stronach www podanych w Tabeli 1.

**TABELA 1. Wykaz stron internetowych towarzystw ultrasonograficznych przedstawiających komunikaty lub inne publikacje na temat bezpieczeństwa stosowania ultradźwięków.**

American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM)	<a href="http://www.aium.org/provider/statements/statements.asp">http://www.aium.org/provider/statements/statements.asp</a>
Australasian Society for Ultrasound in Medicine (ASUM)	<a href="http://www.asum.com.au/open/home.htm">http://www.asum.com.au/open/home.htm</a>
British Medical Ultrasound Society (BMUS)	<a href="http://www.bmus.org/safety_of_ultrasoundNF.htm">http://www.bmus.org/safety_of_ultrasoundNF.htm</a>
European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology (EFSUMB)	<a href="http://www.efsumb.org/">http://www.efsumb.org/</a>
International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG)	<a href="http://www.isuog.org">http://www.isuog.org</a>
World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB)	<a href="http://www.wfumb.org/reports.htm">http://www.wfumb.org/reports.htm</a>

W listopadzie 2011 roku Komitet Bioefektów i Bezpieczeństwa (ultradźwięków) wydał w imieniu zarządu International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG) oraz World Federation of Ultrasound in Medicine and Biology (WFUMB) oświadczenie na temat stosowania ultradźwięków w celach nie-medycznych. Stwierdzono w nim, iż oba te opiniotwórcze gremia naukowe nie aprobują stosowania ultradźwięków w ciąży wyłącznie w celu dostarczenia „zdjęć na pamiątkę”. Zdaniem komitetu „od przeszło 40 lat nie ma bezpośrednich dowodów na szkodliwe działanie ultradźwięków na płody ludzkie w trakcie badań przeprowadzanych ze wskazań medycznych. Niemniej jednak USG jest formą ekspozycji na energię, która potencjalnie może inicjować efekty biologiczne. Efekty te w pewnych okolicznościach mogą być szkodliwe dla rozwijających się płodów. Dlatego należy unikać stosowania ultradźwięków bez wymiernych korzyści medycznych. Badania USG powinny

być wykonywane wyłącznie przez wykwalifikowany personel medyczny, przeszkolony w zakresie bioefektów i klinicznego zastosowania ultradźwięków” [16].

16 lat temu Salvesen i Eik-Nes postawili pytanie: „Czy ultradźwięki są niepewne?” – „Is ultrasound unsound?”. Artykuł był przeglądem badań epidemiologicznych do 1995 roku nad wewnątrzlonową ekspozycją na ultradźwięki [17]. W 2009 roku Salvesen odpowiedział sobie na pytanie sprzed lat: „Ultrasound is not unsound” – „Ultradźwięki nie są niepewne” [6]. Pomimo jednoznacznej odpowiedzi na pytanie sprzed przeszło dekady, druga część tytułu „but safety is an issue” – „ale bezpieczeństwo pozostaje kwestią otwartą” otwiera pole do dalszej dyskusji nad zagadnieniem bezpieczeństwa stosowania ultradźwięków w położnictwie w nadchodzących latach.

## PIŚMIENNICTWO

- Nyborg WL. Biological effects of ultrasound: development of safety guidelines. Part I: personal historie. *Ultrasound Med Biol.* 2000;26:911-64.
- Nyborg WL. Biological effects of ultrasound: development of safety guidelines. Part II: general review. *Ultrasound Med Biol.* 2001;27:301-33.
- Dalecki D, Raeman CH, Child SZ, et al., Intestinal hemorrhage from exposure to pulsed ultrasound, *Ultrasound Med Biol.* 1995;21:1067-72.
- Stratmeyer ME, Greenleaf JF, Dalecki D, et al., Fetal ultrasound: mechanical effects. *J Ultrasound Med.* 2008;27:597-605.
- Ang ES Jr, Gluncic V, Duque A, et al., Prenatal exposure to ultrasound waves impacts neuronal migration in mice. *Proc Natl Acad Sci USA.* 2006;22:103:12903-10.
- Salvesen KA, Lees C, Ultrasound is not unsound, but safety is an issue. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009;33: 502–5.
- Bioeffects considerations for the safety of diagnostic ultrasound. American Institute of Ultrasound in Medicine. Bioeffects Committee. *J Ultrasound Med.* 1988;7(Suppl):S1-38.
- Operation Manual, Voluson 730 Expert, General Electric Kretztechnik GmbH & Co. OHG, 2005.
- Abramowicz JS, Barnett SB, Duck FA, Edmonds PD, Hynynen KH, Ziskin MC, Fetal thermal effects of diagnostic ultrasound, *J Ultrasound Med.* 2008;27:541-59
- AIUM/NEMA (American Institute of Ultrasound in Medicine and National Electrical Manufacturers Association). ODS Standard for real-time display of thermal and mechanical indices on diagnostic ultrasound equipment. AIUM/NEMA, Laurel, MD and Rosslyn, VA
- Abbott JG, Rationale and derivation of MI and TI-a review, *Ultrasound Med Biol.* 1999;25:431-41.
- Nelson TR, Fowlkes JB, Abramowicz JS, Church CC. Ultrasound biosafety considerations for the practicing sonographer and sinologist. *J Ultrasound Med.* 2009;28:139-50.
- Fowlkes JB; Bioeffects Committee of the American Institute of Ultrasound in Medicine, American Institute of Ultrasound in Medicine consensus report on potential bioeffects of diagnostic ultrasound: executive Summary. *J Ultrasound Med.* 2008;27:503-15.
- Torloni MR, Vedmedovska N, Merialdi M, Betrán AP, Allen T, González R, Platt LD. ISUOG-WHO Fetal Growth Study Group. Safety of ultrasonography in pregnancy: WHO systematic review of the literature and meta-analysis. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2009;33:599-608.
- Marsál K. The output display standard: has it missed its target? *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2005;25:211-4.
- Bioeffects and Safety Committee (Salvesen K, Lees C, Abramowicz J, Brezinka C, Ter Haar G, Maršál K) on behalf of the Board of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology (ISUOG), ISUOG-WFUMB statement on the non-medical use of ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 2011;38:608.
- Salvesen KA, Eik-Nes SH, Is ultrasound unsound? A review of epidemiological studies of human exposure to ultrasound. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 1995;6:293-8.

### Informacje o Autorach

Dr n. med. GUSTAW CHOLUBEK - starszy asystent, Oddział Ginekologii i Położnictwa z Izłą Przyjęć, Wojewódzki Szpital Specjalistyczny im. Stefana Kardynała Wyszyńskiego w Lublinie; lek. med. KRZYSZTOF WIKTOR – asystent, Katedra i Klinika Ginekologii i Endokrynologii Ginekologicznej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie; dr n. med. DOROTA ROBAK-CHOLUBEK – adiunkt, Zakład Położnictwa, Ginekologii i Pielęgniarsstwa Ginekologiczno-Położniczego, Uniwersytet Medyczny w Lublinie; prof. dr hab. n. med. LECHOSLAW PUTOWSKI – kierownik, Katedra i Klinika Ginekologii i Endokrynologii Ginekologicznej, Uniwersytet Medyczny w Lublinie; prof. dr hab. n. med. HENRYK WIKTOR – ordynator, Oddział Ginekologii i Położnictwa z Izłą Przyjęć, Wojewódzki Szpital Specjalistycznego im. Stefana Kardynała Wyszyńskiego w Lublinie; kierownik, Zakład Położnictwa, Ginekologii i Pielęgniarsstwa Ginekologiczno-Położniczego, Uniwersytet Medyczny w Lublinie.

### Adres do korespondencji:

Gustaw Cholubek  
Al. Kraśnicka 100, 20-817 Lublin,  
Tel. 81 5258166  
E-mail: g.cholubek@gmail.com