

# Ocena możliwości wykorzystania emisji otoakustycznych w badaniach przesiewowych słuchu u dzieci szkolnych w wieku 6-13 lat

## Evaluation of the feasibility of using otoacoustic emissions in hearing screening in 6-13 year-old schoolchildren

EDYTA PIŁKA, BARTOSZ TRZASKOWSKI, W. WIKTOR JĘDRZEJCZAK, KRZYSZTOF KOCHANEK,  
HENRYK SKARŻYŃSKI

Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, ul. Zgrupowania AK „Kampinos” 1, 01-943 Warszawa

**Wprowadzenie.** Emisje otoakustyczne to słabe sygnały dźwiękowe, które można zmierzyć w przewodzie słuchowym zewnętrzny. Ich pomiar umożliwia uzyskanie w krótkim czasie informacji o stanie ślimaka. Wykorzystywane są najczęściej do badań przesiewowych słuchu u noworodków.

**Cel pracy.** Celem pracy było zbadanie właściwości emisji otoakustycznych u dzieci z klas 0-6 szkoły podstawowej oraz ocena ich przydatności jako testu przesiewowego.

**Materiał i metody.** Zbadano 106 dzieci w wieku 6-13 lat. Mierzono emisje wywołane trzaskiem (CEOAE). Każde dziecko miało również wykonany test audiometrii tonalnej oraz impedancyjnej. Sygnały emisji analizowano pod kątem parametru powtarzalności pomiaru i stosunku sygnału do szumu. CEOAE porównywano z badaniami audiometrii tonalnej.

**Wyniki.** Dla testu CEOAE uzyskano 33% wyników dodatnich (czyli wskazujących na podejrzenie istnienia zaburzenia słuchu), dla audiometrii tonalnej – 11%, audiometrii impedancyjnej – 10%. Grupa, w której wynik dodatni pokrywał się we wszystkich trzech testach, stanowiła około 6% wszystkich badanych. Wykorzystując, jako punkt odniesienia, wyniki audiometrii tonalnej, oszacowano czułość testu CEOAE na 75%, a swoistość na 73%.

**Wnioski.** CEOAE wydaje się być mniej efektywną metodą badania przesiewowego dla dzieci w wieku szkolnym w porównaniu z audiometrią tonalną, ze względu na stosunkowo duży odsetek wyników fałszywie dodatnich. Z drugiej strony nie można wykluczyć, że są one wyrazem większej czułości testu CEOAE, umożliwiającej wykrycie nawet minimalnych uszkodzeń ślimaka, nieuchwytnych jeszcze w audiometrii tonalnej.

**Słowa kluczowe:** emisja otoakustyczna, parametr powtarzalności pomiaru, stosunek sygnału do szumu, predykcyjność testu

**Introduction.** Otoacoustic emissions are weak acoustic signals that can be measured in the ear canal. Their measurements enable obtaining information on the status of the cochlea in the inner ear. The most frequent application of otoacoustic emission is screening of newborns for hearing loss.

**Aim.** The aim of the research was to study the properties of otoacoustic emissions in primary school children (forms 0-6) and evaluate the feasibility of the emissions as a screening test.

**Material and methods.** In total, 106 children aged 6-13 years were tested with click evoked otoacoustic emissions (CEOAE). Each child was also examined by pure tone and impedance audiometry. Reproducibility and signal to noise ratio of otoacoustic emissions were analyzed and compared to the results of pure tone audiometry.

**Results.** As much as 33% of the CEOAE results were positive (that is, indicating a suspected hearing loss), while the corresponding figures for pure tone and impedance audiometry were 11% and 10%, respectively. Positive results in all three tests coincided in 6% of all tested ears. Taking pure tone audiometry as a reference, the sensitivity of the CEOAE test was evaluated as 75% and its specificity as 73%.

**Conclusions.** In school aged children, CEOAE appears to be a less effective test than pure tone audiometry because it generates relatively high number of false positive results. On the other hand, it could indicate that CEOAE is a more sensitive test which may pick up even minor cochlear defects impossible to detect by pure tone audiometry.

**Key words:** otoacoustic emissions, reproducibility, signal to noise ratio, predictive value of test

## WSTĘP

Emisje otoakustyczne (*Otoacoustic Emission* – OAE) to słabe sygnały akustyczne pochodzące ze ślimaka ucha wewnętrznego [1], których pomiar wykorzystywany jest jako obiektywny test słuchu [2]. Występują one w odpowiedzi na bodziec dźwiękowy bądź spontanicznie.

Jednym z najczęściej stosowanych w praktyce klinicznej typów emisji są emisje otoakustyczne wywołane trzaskiem (*Click Evoked Otoacoustic Emission* – CEOAE). Sygnał CEOAE rejestrowany jest głównie dla zakresu częstotliwości od 500 do 4500 Hz. Emisje wywołane trzaskiem zanikają przy ubytkach słuchu wynoszących średnio 30-40 dB HL [3]. Ich ocena cechuje się dużą czułością w aspekcie wykrywania zaburzeń słuchu. Zmiany amplitudy emisji otoakustycznej, które mogą świadczyć o pewnych nieprawidłowościach ślimaka, mogą wystąpić wcześniej niż podwyższenie progu w standardowej audiometrii tonalnej [4,5]. Przede wszystkim z tego powodu CEOAE często wykorzystywane są w badaniach przesiewowych słuchu u noworodków [6]. Można wówczas w krótkim czasie uzyskać informację o stanie części ślimakowej ucha wewnętrznego. Natomiast u starszych dzieci (np. w wieku szkolnym) testy przesiewowe opierają się w większości przypadków na badaniach subiektywnych, takich jak audiometria tonalna [7]. Dlatego też nie ma w piśmiennictwie zbyt wielu opracowań dotyczących badań emisji otoakustycznych w tej grupie wiekowej.

Celem niniejszych badań było wyznaczenie średnich wartości podstawowych parametrów CEOAE u dzieci z klas 0-6 szkoły podstawowej oraz zbadano właściwości CEOAE jako testu przesiewowego w odniesieniu do badań audiometrii tonalnej i impedancyjnej.

## MATERIAŁ I METODY

### Materiał

Badania wykonano w grupie 106 dzieci (25 dziewczynek, 91 chłopców) w wieku od 6 do 13 lat (średnia wieku wynosiła 9,4 lat przy odchyleniu standardowym 1,6 lat). Podstawą zakwalifikowania pacjenta do przeprowadzenia badań przesiewowych słuchu było podpisanie zgody przez rodziców. Do analizy kwalifikowano niezależnie każde ucho u badanego pacjenta (212 uszu).

Średnie wartości parametrów CEOAE wyznaczano dla trzech grup wyróżnionych na podstawie kryterium przesiewowego dla emisji wywołanej trzaskiem (opisanego szerzej w rozdziale „Metoda”), oraz badania audiometrii tonalnej:

Grupa pass – grupa uszu, które spełniały kryterium przesiewowe dla CEOAE – 143 uszu.

W grupie pass znalazło się 137 uszu, dla których progi w badaniu audiometrii tonalnej nie przekraczały 20 dB HL dla żadnej z częstotliwości z przedziału 250-8000 Hz, oraz 6 uszu, dla których progi w badaniu audiometrii tonalnej przekraczały 20 dB HL w jednej lub więcej częstotliwościach w tym samym przedziale częstotliwościowym.

Grupa refer 1 – grupa uszu, które nie spełniały kryterium przesiewowego dla CEOAE, ale progi w badaniu audiometrii tonalnej nie przekraczały 20 dB HL dla żadnej z częstotliwości z przedziału 250-8000 Hz – 51 uszu.

Grupa refer 2 – grupa, która nie spełniała kryterium przesiewowego dla CEOAE, a progi w badaniu audiometrii tonalnej przekraczały 20 dB HL dla co najmniej jednej częstotliwości z zakresu 250-8000 Hz – 18 uszu.

Przy określaniu swoistości i czułości testów emisji otoakustycznej w odniesieniu do „złotego standardu”, jakim jest audiometria tonalna materiał badawczy podzielono na dwie grupy:

1. Grupa uszu, dla których próg słyszenia był mniejszy, bądź równy 20 dB HL dla wszystkich częstotliwości z przedziału 250-8000 Hz – 188 uszy.
2. Grupa uszu, dla których próg słyszenia był większy od 20 dB HL dla co najmniej jednej częstotliwości z zakresu 250-8000 Hz – 24 uszy.

### Metoda

Pomiary przeprowadzono w warunkach niskiego poziomu tła akustycznego w odosobnionym pokoju na terenie szkoły. U każdego dziecka wykonano badanie emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem, audiometrię impedancyjną oraz audiometryczne badanie progu słyszenia.

Rejestracji sygnałów emisji otoakustycznej dokonano za pomocą systemu ILO 292 firmy Otodynamics. W badaniach CEOAE zastosowano procedurę pomiarową polegającą na stymulacji ucha trzaskiem szerokopasmowym o czasie trwania 80  $\mu$ s, intensywności  $80 \pm 3$  dB SPL, z protokołem nieliniowym. Zastosowany został standardowy czas analizy dla CEOAE – 20 ms. Pomiary emisji otoakustycznej kończono po zarejestrowaniu 260 pojedynczych odpowiedzi.

Badania progu słyszenia dla przewodnictwa powietrznego dla częstotliwości od 0,25 kHz do 8 kHz wykonano za pomocą Platformy Badań Zmysłów, natomiast pomiary audiometrii impedancyjnej dla tonu o częstotliwości 226 Hz wykonano przy użyciu mostka impedancyjnego Otoflex firmy Madsen.

Klasyfikacji tympanogramów dokonywano według nomenklatury Jergera z uwzględnieniem szczególnych form wyróżnianych w zasadniczych typach krzywych określonych przez Bargara i Kollara:

1. Tympanogram typu A – występujący w uszach z prawidłowym układem przewodzącym dźwięki. Ten typ tympanogramu występuje nie tylko w uszach normalnie słyszących, lecz także w przypadku odbiorczych ubytków słuchu.
  - a. Tympanogram As – typ tympanogramu A tzw. niski, charakteryzujący się obniżoną podatnością, który może występować zarówno w uszach zdrowych jak i w przypadkach otosklerozy lub tympanosklerozy.
2. Tympanogram typu B – występujący w przypadku np. wysiękowego zapalenia ucha środkowego.
3. Tympanogram typu C – występujący wówczas, gdy mamy do czynienia z dysfunkcją trąbki słuchowej i charakteryzujący się przesunięciem wierzchołka tympanogramu w kierunku ujemnych ciśnień.

Za nieprawidłowe uznawano wyniki sklasyfikowane jako tympanogram typu B i C.

Zgodnie z pracami innych autorów [8], obecność sygnału otoemisji oceniano w oparciu o parametr powtarzalności pomiaru (*reproducibility*) oraz stosunek sygnału do szumu (*signal to noise ratio* – SNR). Powtarzalność pomiaru wyrażana jest w procentach i stanowi współczynnik korelacji pomiędzy dwoma buforami uśrednionych odpowiedzi. Natomiast stosunek sygnału do szumu to różnica pomiędzy poziomem odpowiedzi a poziomem szumu wyrażona w dB SPL. Do detekcji odpowiedzi zastosowano kryterium opisywane przez wielu autorów [9-11]: całkowity parametr powtarzalności wyższy od 70% oraz SNR wyższy, bądź równy 3 dB SPL w przynajmniej trzech półoktawowych pasmach dla częstotliwości centralnych: 1000, 1414, 2000, 2828 i 4000 Hz.

Uzyskane wyniki poddano porównawczej analizie statystycznej testem t-studenta dla prób niepowiązanych, gdy uzyskane wartości miały rozkład normalny, lub testem U-Manna-Whitneya, gdy badana próbka nie posiadała tych cech. Analizy przeprowadzono w pakiecie Matlab R2010b firmy Mathworks, przyjmując różnice za istotne statystycznie, gdy wartość współczynnika  $p < 0,05$ .

Wyznaczono swoistość i czułość emisji otoakustycznej dla parametrów powtarzalności pomiaru. Swoistość i czułość testu wyznaczano w sposób standardowy. Swoistość definiowano jako iloraz wyników prawdziwie ujemnych do sumy wyników prawdziwie ujemnych i fałszywie dodatnich,

natomiast czułość – jako stosunek wyników prawdziwie dodatnich do sumy prawdziwie dodatnich i fałszywie ujemnych. Określano również dodatnią i ujemną wartość predykcyjną. Jako test referencyjny przyjęto badanie audiometrii tonalnej. Dodatnią wartość predykcyjną obliczano jako stosunek liczby wyników prawdziwie dodatnich do sumy wyników prawdziwie dodatnich i fałszywie dodatnich (czyli wszystkich wyników dodatnich). Natomiast ujemną wartość predykcyjną obliczano poprzez podzielenie liczby wyników prawdziwie ujemnych przez sumę wyników prawdziwie ujemnych i fałszywie ujemnych, czyli przez liczbę wszystkich wyników ujemnych.

## WYNIKI

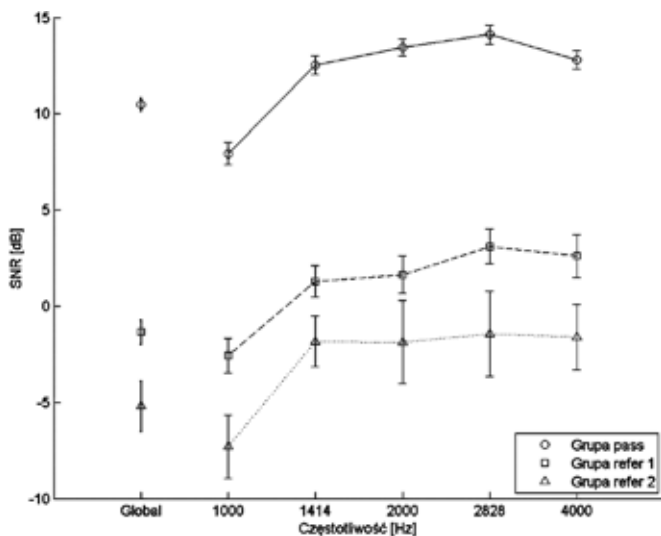
Na rycinie 1 zobrazowano zależność średniego sygnału od szumu (SNR) dla CEOAE w grupach wyodrębnionych na podstawie kryterium przesiewowego dla CEOAE. Dodatkowo wyniki dla grupy, która nie spełniała kryterium CEOAE podzielono w zależności od wyników audiometrii tonalnej (grupa refer 1 i grupa refer 2). Wartość współczynnika SNR w uszach, które uzyskały „pass”, była wyższa o ponad 10 dB SPL niż w pozostałych grupach ( $p < 0,001$ ). W grupie która nie spełniła kryterium przesiewowego, zaobserwowano także istotną różnicę pomiędzy SNR (w pasmach 1; 1,4; 2,8 kHz,  $p < 0,05$ ) w zależności od tego, czy wynik audiometrii tonalnej był prawidłowy czy nie.

Rycina 2 pokazuje średnie wartości parametru powtarzalności pomiaru CEOAE dla takiego samego podziału na grupy jak na rycinie 1. Różnice są bardzo podobne jak w przypadku SNR. Występuje różnica około 30% pomiędzy grupą, która spełnia kryterium przesiewowe dla CEOAE (grupa pass), a tą, która nie spełnia (grupa refer 1). Różnica ta sięga 50% w porównaniu z grupą, w której występował dodatkowo nieprawidłowy wynik audiometrii (grupa refer 2). Poza pasmem 1,4 kHz dla grup refer 1 i refer 2, wszystkie różnice pomiędzy grupami były istotne statystycznie ( $p < 0,05$ ).

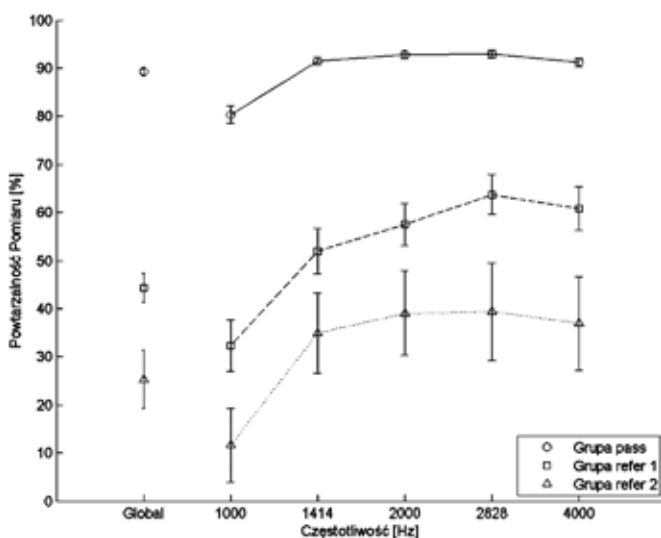
Zwraca uwagę fakt, że grupa uszu, które nie spełniały kryterium przesiewowego dla CEOAE, ale w których progi słyszenia były w normie (grupa refer 1) wykazywała jednak również pewną obecność CEOAE – SNR 2-3 dB SPL, powtarzalność pomiaru 55-65% w zakresie 1,4-4 kHz.

Na rycinie 3 przedstawiono zestawienie średnich wartości progów słyszenia w grupach z obecnym sygnałem emisji i bez sygnału. W grupie osób, u których obecne było CEOAE i wynik audiometrii tonalnej był prawidłowy, progi słyszenia były najlepsze. Dostyc zaskakujący jest wynik dla grupy

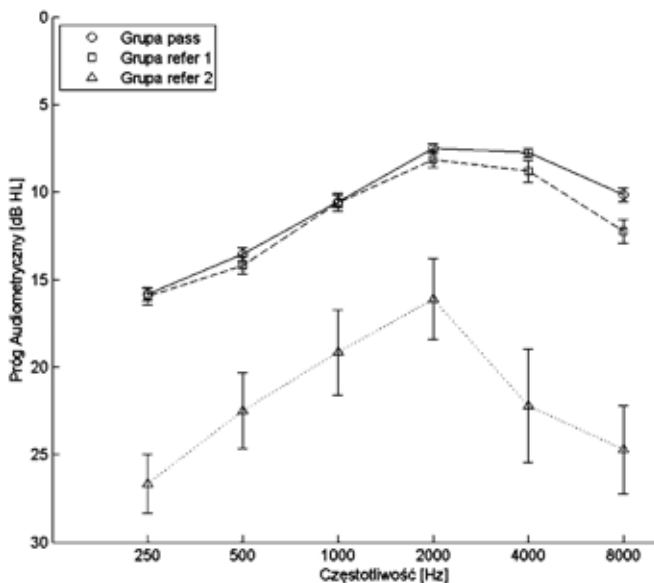
uszu, które nie przeszły testu emisji, a ich audiogram mieścił się w normie (grupa refer 1). Różnice w audiogramie w porównaniu z poprzednią grupą pass są nieznaczne; istotne statystycznie tylko dla wysokich częstotliwości (różnica około 2 dB HL;  $p < 0,01$ ). W grupie z nieprawidłowym wynikiem audiometrii i CEOAE (grupa refer 2) największe spadki w audiogramie wystąpiły dla niskich i wysokich częstotliwości, średnie progi słuchu były około 5 dB poniżej normy.



Ryc. 1. Średnie wartości stosunku sygnału do szumu (SNR) dla CEOAE (całkowite i w pasmach pół-okta-wowych). Wyróżniono grupy uszu, które przeszły i nie przeszły kryterium przesiewowego CEOAE (dodatkowo drugą z grup podzielono w zależności od prawidłowego bądź nieprawidłowego wyniku audiometrii tonalnej).



Ryc. 2. Średnie wartości parametru powtarzalności pomiaru dla CEOAE (całkowite i w pasmach pół-okta-wowych). Wyróżniono grupy uszu, które przeszły i nie przeszły kryterium przesiewowego CEOAE (dodatkowo drugą z grup podzielono w zależności od prawidłowego bądź nieprawidłowego wyniku audiometrii tonalnej).



Ryc. 3. Średnie audiogramy dla trzech grup wyróżnionych w zależności od wyniku testu CEOAE i audiometrii tonalnej

W tabeli I zestawiono odsetek dodatnich wyników testów przesiewowych wskazujących na nieprawidłowości w drodze słuchowej, oceniane według kryteriów szerzej opisanych w rozdziale „Metoda”. Najwięcej dodatnich wyników testów przesiewowych otrzymano dla pomiarów CEOAE – 33%. W przypadku audiometrii tonalnej było to niewiele ponad 11%, natomiast dla audiometrii impedancyjnej około 10%. Dodatni wynik występujący jednocześnie dla audiometrii tonalnej i CEOAE stanowił 8,5%. W zestawieniu audiometrii impedancyjnej z tonalną uzyskano jednocześnie dodatni wynik w zaledwie 6% uszu, a audiometrii impedancyjnej i CEOAE w 9%. Dodatni wynik we wszystkich testach jednocześnie otrzymano w 6% uszu.

Tabela I. Zestawienie dodatnich wyników testów przesiewowych

Rodzaj badań	Odsetek dodatnich wyników testu przesiewowego – łącznie procent uszu [%]
CEOAE	33
AT	11
AI	10
AT i AI	6
AT lub AI	16
AT i CEOAE	8
AI i CEOAE	9
AT i AI i CEOAE	6
AI lub AT i CEOAE	11

CEOAE – emisje otoakustyczne wywołane trzaskiem

AT – audiometria tonalna

AI – audiometria impedancyjna

Z przedstawionych w tabeli II wyników oceny swoistości i czułości emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem w odniesieniu do audiometrii tonalnej wynika, że czułość testu emisji wynosi 75%, a swoistość 73%. Testem referencyjnym była audiometria tonalna. Oznacza to, że większość przypadków z zaburzeniami słuchu zostanie wykrytych, ale kosztem dużej liczby wyników fałszywie dodatnich. Wartość predykcyjna dodatnia CEOAE wskazała 26%. Obrazuje to prawdopodobieństwo, że u dzieci z dodatnim wynikiem testu emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem zaburzenie, które ten test wykrywa, rzeczywiście występuje. Wartość predykcyjna ujemna wyniosła blisko 96%, co wskazuje na proporcję osób zdrowych wśród wszystkich osób z ujemnym wynikiem CEOAE.

Tabela II. Swoistość i czułość testu emisji otoakustycznej oraz jej wartość predykcyjna dodatnia i ujemna. Za test referencyjny przyjęto audiometrię tonalną.

Wynik testu CEOAE	Audiometria tonalna jako test referencyjny		wartość predykcyjna dodatnia
	nieprawidłowy	prawidłowy	
dodatni	prawdziwie dodatni 18	fałszywie dodatni 51	26%
ujemny	fałszywie ujemny 6	prawdziwie ujemny 137	96%
	Czułość 75%	Swoistość 73%	

## DYSKUSJA

W niniejszej pracy oceniano możliwości wykorzystania emisji otoakustycznych u dzieci w wieku szkolnym oraz porównywano je z badaniami audiometrii tonalnej i impedancyjnej. W porównaniu z innymi grupami wiekowymi, średnie wartości SNR u dzieci w wieku szkolnym były wyższe niż u osób dorosłych, ale niższe niż u noworodków. Uzyskane wartości SNR były wyrównane w zakresie 1,4-4 kHz. Z danych przedstawianych w literaturze wynika, że dla noworodków wyraźnie dominują częstotliwości z zakresu 2-4 kHz [12,13]. Natomiast u osób dorosłych największe wartości parametrów uzyskiwano w przedziale 1,4-2 kHz [14].

W przeprowadzonych badaniach uzyskano zbliżone wartości czułości (75%) i predykcyjności (26%) CEOAE do wyników podawanych przez innych autorów [15-18]. Zwraca uwagę duża liczba wyników dodatnich (33%) dla testu CEOAE w porównaniu z audiometrią tonalną (11%) i impedancyjną (10%). Na wynik ten mogło wpłynąć wiele czynników. Badania były przeprowadzane w okresie jesienno-zimowym. Wiele z badanych dzieci mogło mieć

obniżony poziom emisji ze względu na przebyte infekcje lub przyjmowanie leków (być może również ototoksycznych). Dzieci w wieku szkolnym są także narażone na stałe działanie hałasu, co może powodować obniżenie poziomu CEOAE, zanim zmiany będą zauważalne w badaniu audiometrycznym [5]. Poziom emisji może być obniżony również ze względu na wystąpienie niewielkich ubytków w bardzo wysokich częstotliwościach (> 8 kHz), których nie obejmuje standardowe badanie audiometryczne [19]. Trzeba brać także pod uwagę wpływ szumu własnego o dużym poziomie, którym charakteryzują się sygnały CEOAE u dzieci [20]. Wpływ mogło mieć także wybranie dosyć ostrego kryterium dla obecności CEOAE. Zapewniło ono niski odsetek wyników fałszywie ujemnych (3%), ale przełożyło się na stosunkowo dużą liczbę wyników fałszywie dodatnich (24%). Brak CEOAE pokrywał się z gorszym wynikiem audiometrii tonalnej tylko w 9% wszystkich przypadków. Jest to znacznie mniejsza liczba w stosunku do wszystkich wyników pozytywnych testu CEOAE (33%). Jednocześnie w uszach, które nie przeszły testu CEOAE, ale wykazały się prawidłowym wynikiem audiometrii, występowały emisje, ale o niższych wartościach parametrów powtarzalności i SNR. Wskazuje to na potrzebę prowadzenia prac w kierunku opracowania odpowiednich kryteriów na obecność CEOAE w tej grupie wiekowej.

Pomimo że przeprowadzone badania miały charakter przesiewowy i nie wykonywano otoskopii czy audiometrii dla przewodnictwa kostnego, to na podstawie uzyskanych wyników można postawić wstępną diagnozę. W grupie 24 uszu (11%) wynik testu audiometrii tonalnej był nieprawidłowy. W tej liczbie zawartych było 13 uszu (6%), które nie przeszły również testu audiometrii impedancyjnej. W uszach tych nie zarejestrowano CEOAE. Na tej podstawie można wstępnie ocenić, że w zbadanej grupie wystąpiło 6% ubytków typu przewodzeniowego oraz 5% typu odbiorczego.

## WNIOSKI

Przy zastosowanych kryteriach CEOAE wydaje się być mniej efektywną metodą badań przesiewowych dla dzieci w wieku szkolnym w porównaniu z audiometrią tonalną i impedancyjną, gdyż generuje dużo wyników fałszywie dodatnich. Z drugiej strony niska liczba wyników fałszywie ujemnych wskazuje, że prawie wszystkie dzieci z zaburzeniami słuchu są zidentyfikowane. Dlatego też, ze względu na takie dodatkowe zalety jak automatyczność procedury i obiektywność oceny, CEOAE jest mimo wszystko obiecującą metodą przejściową. Konieczne

jest jednak wybranie dla tej grupy wiekowej odpowiedniej metody pomiaru OAE oraz opracowanie nowych kryteriów oceny minimalizujących liczbę wyników fałszywie dodatnich. Przeprowadzone badania wykazały, że większość nieprawidłowych wyników testu audiometrii impedancyjnej miało odzwierciedlenie w dodatnim wyniku dla CEOAE.

Wydaje się zatem istotne, aby pomiar emisji otoakustycznej w badaniach przesiewowych słuchu u dzieci w wieku szkolnym był poprzedzany badaniem audiometrii impedancyjnej. W ten sposób wykluczone zostaną nieprawidłowe wyniki CEOAE, związane z zaburzoną funkcją ucha środkowego.

## Piśmiennictwo

1. Probst R, Lonsbury-Martin BL, Martin GK. A review of otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am* 1991; 89(5): 2027-67.
2. Lonsbury-Martin BL, Whitehead ML, Martin GK. Clinical applications of otoacoustic emissions. *J Speech Hear Res* 1991; 34(5): 964-81.
3. Robinette MS. Clinical observations with evoked otoacoustic emissions at Mayo Clinic. *J Am Acad Audiol* 2003; 14: 213-24.
4. Konopka W, Pietkiewicz P, Zalewski P. Otoacoustic emission examinations in soldiers before and after shooting. *Otolaryngol Pol* 2000; 54(6): 745-9.
5. Hendler B, Fiszer M, Śliwińska-Kowalska M. Zastosowanie emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem w monitorowaniu uszkodzeń słuchu spowodowanych hałasem. *Otolaryngol Pol* 2002; 1(2): 113-18.
6. Norton SJ, Gorga M, Widen J, Folsom RC, Sininger Y, Cone-Wesson B i wsp. Identification of neonatal hearing impairment: summary and recommendations. *Ear Hear* 2000; 21(5): 529-35.
7. Probst R, Lonsbury-Martin BL, Martin G. Coats a otoacoustic emissions in ear with hearing loss. *Am J Otolaryngol* 1987; 8: 73-81.
8. Zhang VW, McPherson B, Shi BX, Tang JL, Wong BY. Neonatal hearing screening: a combined click evoked and tone burst otoacoustic emission approach. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2008; 72(3): 351-60.
9. Maxon AB, White KR, Vohr BR, Behrens TR. Using transient evoked otoacoustic emissions for neonatal hearing screening. *Br J Audiol* 1993; 27(2): 149-53.
10. Dort JC, Tobolski C, Brown D. Screening strategies for neonatal hearing loss: which test is best? *J Otolaryngol* 2000; 29: 206-10.
11. McPherson B, Li SF, Shi BX, Tang JL, Wong BY. Neonatal hearing screening: evaluation of tone-burst and click-evoked otoacoustic emission test criteria. *Ear Hear* 2006; 27(3): 256-62.
12. Berninger E. Characteristics of normal newborn transient-evoked otoacoustic emissions: ear asymmetries and sex effects. *Int J Audiol* 2007; 46(11): 661-9.
13. Korres SG, Balatsouras DG, Lyra C, Kandiloros D, Ferekidis E. A comparison of automated auditory brainstem responses and transiently evoked otoacoustic emissions for universal newborn hearing screening. *Med Sci Monit* 2006; 12(6): 260-3.
14. Hamdan AL, Abouchacra KS, Zeki Al Hazzouri AG, Zaytoun G. Transient-evoked otoacoustic emissions in a group of professional singers who have normal pure-tone hearing thresholds. *Ear Hear* 2008; 29(3): 360-77.
15. Driscoll C, Kei J, McPherson B. Outcomes of transient evoked otoacoustic emission testing in 6-year-old school children: a comparison with pure tone screening and tympanometry. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2001; 57: 67-76.
16. Dille M, Glatke TJ, Earl BR. Comparison of transient evoked otoacoustic emissions and distortion product otoacoustic emissions when screening hearing in preschool children in a community setting. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2007; 71(11): 1789-95.
17. Taylor CL, Brooks RP. Screening for hearing loss and middle-ear disorders in children using TEOAEs. *Am J Audiol* 2000; 9(1): 50-5.
18. Sabo MP, Winston R, Macias JD. Comparison of Pure Tone and Transient Otoacoustic Emissions Screening in a Grade School Population. *Am J Otol* 2000; 21(1): 88-91.
19. Murnane OD, Kelly JK. The effects of high-frequency hearing loss on low-frequency components of the click-evoked otoacoustic emission. *J Am Acad Audiol* 2003; 14: 525-33.
20. Norton SJ. Application of transient evoked otoacoustic emissions to pediatric populations. *Ear Hear* 1993; 14: 64-73.