

Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu



lek. Paweł Suwała

**Ocena wartości diagnostycznej tympanometrii szerokopasmowej
skorelowanej z otoemisją akustyczną w fizjologii i patologii ucha u dzieci
w wieku 3-7 lat**

ROZPRAWA NA STOPIEŃ DOKTORA NAUK MEDYCZNYCH

Promotor:

prof. dr hab. Witold Zbigniew Pilecki

Wrocław 2023

*Mojej Żonie, Córkom i Rodzicom
pracę tę poświęcam*

*Składam serdeczne podziękowania
Panu Profesorowi dr hab. Witoldowi Zbigniewowi Pileckiemu
za zaangażowanie i merytoryczne wsparcie
w realizacji niniejszej dysertacji*

SPIS TREŚCI

1. WYKAZ SKRÓTÓW	7
2. WSTĘP	9
2.1. Koncepcja eksperymentu medycznego	10
2.2. Uzasadnienie wyboru badanej grupy wiekowej	12
2.2.1. Specyficzne warunki anatomiczne i czynnościowe wpływające na stan ucha środkowego u dzieci w wieku 3-7 lat	12
2.2.2. Ocena stanu ucha środkowego jako niezbędne badanie poprzedzające diagnostykę niedosłuchu odbiorczego u dzieci w wieku 3-7 lat.....	13
2.2.3. Zastosowanie badań oceniających stan ucha środkowego jako przesiewowej metody oceny słuchu u dzieci przedszkolnych i wczesnoszkolnych.....	14
2.2.4. Ocena literatury tematu dotyczącej dzieci w wieku 3-7 lat	15
2.2.5. Podsumowanie	15
2.3. Zastosowane narzędzia diagnostyczne oceniające stan ucha środkowego i funkcjonowanie ślimaka – rys historyczny i charakterystyka	16
2.3.1. Otoskopia	16
2.3.2. Otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka – rys historyczny, podstawy zasad pomiaru, problemy diagnostyczne	20
2.3.3. Szerokopasmowa immitancja akustyczna i absorbancja szerokopasmowa – rys historyczny, podstawy zasad pomiaru, problemy diagnostyczne ..	23
3. CEL PRACY	30
4. MATERIAŁ I METODY	31
4.1. Materiał osobowy, kryteria włączenia i wyłączenia	31
4.2. Zastosowane kryteria włączenia i wyłączenia z eksperymentu medycznego.....	31
4.3. Zastosowane urządzenia i metody pomiarowe	32
4.3.1. Otoskopia	32
4.3.2. Jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz.....	32
4.3.3. Szerokopasmowa tympanometria	33
4.3.4. Otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka .	34
4.3.5. Urządzenie Titan	34
4.4. Metody i narzędzia statystyczne	35

4.5. Metodologia	37
5. WYNIKI	39
5.1. Statystyka ogólna badanej grupy pacjentów	39
5.2. Korelacje pomiędzy wynikami pomiarów zastosowanych rodzajów badań tympanometrycznych a maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka	40
5.2.1. Korelacje pomiędzy wynikami pomiarów wybranych parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz a maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka..	40
5.2.2. Korelacje pomiędzy wynikami pomiarów szerokopasmowej absorbancji a maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka..	41
5.3. Określenie możliwości różnicowania wyników REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w wariancie przesiewowym za pomocą absorbancji szerokopasmowej oraz jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz	47
5.4. Analiza porównawcza wybranych miar jakości testu dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz absorbancji szerokopasmowej w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w zastosowanych wariantach szczegółowym i przesiewowym.....	53
5.4.1. Analiza porównawcza wybranych miar jakości testu dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz absorbancji szerokopasmowej w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie szczegółowym.	53
5.4.2. Analiza porównawcza wybranych parametrów trafności i dokładności testu dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej oraz szerokopasmowej absorbancji akustycznej w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym.	59
5.5. Analiza porównawcza modeli logistycznych wyznaczonych do szacowania uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wariancie przesiewowym dla	

jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej i szerokopasmowej absorbancji	66
5.5.1. Model logistyczny dla SLFT-226 Hz.....	66
5.5.2. Model logistyczny dla szerokopasmowej absorbancji	68
5.5.3. Porównanie wartości diagnostycznej modeli logistycznych WBA i SLFT-226 Hz	70
6. DYSKUSJA	71
6.1. Grupa wiekowa pacjentów poddanych eksperymentowi medycznemu	71
6.2. Zastosowane kryteria uzyskania poszczególnych wariantów wyniku REFER dla DPOAE	72
6.3. Parametry mierzone w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz.....	73
6.4. Sposób oceny wyników pomiarów szerokopasmowej absorbancji akustycznej	76
6.5. Ocena korelacji	77
6.6. Możliwości jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i absorbancji szerokopasmowej w różnicowaniu wyników DPOAE w wariancie przesiewowym	80
6.7. Ocena wartości prognostycznej zastosowanych metod tympanometrycznych w uzyskaniu wyniku typu REFER otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka	81
6.8. Korzyści z zastosowania modeli logistycznych.....	83
6.9. Obserwacje dotyczące analizy szerokopasmowej absorbancji	83
6.10. Zastosowane wskaźniki miar jakości testu	84
6.11. Analiza przypuszczalnych przyczyn różnic pomiędzy uzyskanymi a dostępnymi w literaturze tematu wynikami.....	84
6.12. Podsumowanie	87
7. WNIOSKI.....	89
8. OGRANICZENIA EKSPERYMENTU MEDYCZNEGO.....	91
9. PLANOWANE UZUPEŁNIENIA I NOWE KIERUNKI BADAŃ.....	93
10. STRESZCZENIE	94
11. SUMMARY.....	96
12. LITERATURA	98
13. SPIS RYSUNKÓW.....	108
14. SPIS TABEL	111

1. WYKAZ SKRÓTÓW

WBT	– ang. Wideband Tympanometry tympanometria szerokopasmowa, tympanometria szerokoczęstotliwościowa
WAI	– ang. Wideband Acoustic Immittance, szerokopasmowa immitancja akustyczna, szerokoczęstotliwościowa immitancja akustyczna
WBA	– ang. Wideband Absorbance, szerokopasmowa absorbancja, szerokoczęstotliwościowa absorbancja
SLFT-226 Hz	– ang. single-tone low-frequency tympanometry 226 Hz, jednotonowa niskoczęstotliwościowa tympanometria 226 Hz
OEA	– otoemisja akustyczna
DPOAE	– ang. distortion product otoacoustic emission, otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka
TEOAE	– ang. transiently-evoked otoacoustic emission, otoemisja wywołana trzaskiem
SOAE	– ang. spontaneous otoacoustic emission otoemisjca, spontaniczna
SFOAEs	– ang. stimulus-frequency otoacoustic emission, Otoemisje generowane sygnałem sinusoidalnym
EEOAEs	– ang. electrically-evoked otoacoustic emission, Otoemisje generowane bodźcem elektrycznym
SNR	– ang. signal to noise ratio, stosunek sygnału do szumu dla otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka
ECV	– ang. equivalent ear canal volume, równoważna objętość przewodu słuchowego zewnętrznego
MEP	– ang. middle ear pressure, ciśnienie szczytowe ucha środkowego
MEC	– ang. middle ear compliance, admitancja lub podatność ucha środkowego
TW	– ang. tympanogram width, szerokość tympanogramu
GRAD	– ang. tympanogram gradient, gradient tympanogramu
Pm	– wypadkowe ciśnienie akustyczne w przewodzie słuchowym zewnętrznym
Pi	– ciśnienie akustyczne padające
Zc	– impedancja charakterystyczna przewodu słuchowego zewnętrznego

Pr	– ciśnienie akustyczne odbite
Ea	– energia akustyczna
Er	– energia akustyczna fali odbitej
Ei	– energia akustyczna fali padającej
ER	– współczynnik odbicia energii układu,
Za	– impedancja uch środkowego
Ya	– admitancja ucha środkowego
EA	– ang. Energy Absorbance, absorbanca; energia absorbancji
ROC	– ang. Receiver Operating Characteristic krzywa ROC
ROC-AUC	– ang. area under the curve, pole pod krzywą
Sens.	– ang. sensitivity, czułość
Spec.	– ang. specificity, swoistość
LR+	– ang. likelihood ratio for a positive test, wskaźnik wiarygodności testu dodatniego
PPV	– ang. positive predictive value, wartość predykcyjną wyniku dodatniego
OR	– ang. odds ratio iloraz szans
HFT	– ang. high-frequency tympanometry, wysokoczęstotliwościowa tympanometria
ABR	– ang. auditory brainstem response, słuchowe potencjały wywołane pnia mózgu

2. WSTĘP

Badanie stanu ucha środkowego pełni istotną rolę w diagnostyce laryngologicznej i audiologicznej. Pozwala oszacować zawartość jamy bębenkowej oraz ocenić funkcjonowanie układu przewodzącego ucha. Ułatwia postawienie prawidłowego rozpoznania a przez to wdrożenie właściwego leczenia w schorzeniach otologicznych. Jest niezbędne w procesie różnicowania rodzaju niedosłuchu. Powinno poprzedzić wykonanie badań audiometrycznych takich jak audiometria tonalna, rejestracja słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu (ABR) czy otoemisja akustyczna (OEA). Pominięcie oceny stanu ucha środkowego a zwłaszcza jego właściwości mechanoakustycznych, zastosowanie w tym celu niedoskonałej aparatury lub nieprawidłowa interpretacja wyniku badania może skutkować postawieniem przez lekarza błędnej lub spóźnionej diagnozy. W skrajnych przypadkach prowadzi to do nieodwracalnych konsekwencji dla pacjenta w tym różnie nasilonego, trwałego upośledzenia słuchu zarówno o typie przewodzeniowym jak i odbiorczym.

Ocena stanu ucha środkowego jest wyjątkowo ważna u dzieci w wieku 3-7 lat. Z przyczyn anatomicznych, fizjologicznych, rozwojowych i socjalno-społecznych w tej grupie wiekowej szczególnie często dochodzi do zaburzeń ciśnienia w jamie bębenkowej oraz wysiękowego i ropnego zapalenia ucha. Powodują one dysfunkcje w układzie przewodzącym narządu słuchu. Wspólnie z rzadziej występującymi innymi patologiami ucha środkowego takimi jak perlak czy zapalenie ziarninowe są odpowiedzialne za występowanie przewodzeniowego, dominującego u dzieci rodzaju niedosłuchu. Jeśli zostanie on zbyt późno rozpoznany prowadzi podobnie jak niedosłuch odbiorczy do opóźnionego rozwoju mowy, zaburzeń głosu oraz pogorszenia zdolności poznawczych. Może także negatywnie wpłynąć na stan intelektualny i emocjonalny dziecka.

Nierozpoznane zaburzenia w funkcjonowaniu ucha środkowego mogą skutkować między innymi nieprawidłową interpretacją wyników badań oceniających czynność narządu spiralnego odpowiedzialnego za przetwarzanie fali dźwiękowej w impuls elektryczny. Dotyczy to między innymi powszechnie stosowanej u dzieci otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (DPOAE). Ten test audiometryczny zależny jest od właściwości mechanoakustycznych układu przewodzącego ucha. Z tego powodu zaburzenia funkcjonowania ucha środkowego często skutkują uzyskaniem wyników typu

REFER dla DPOAE (określane jako inne niż prawidłowe). W przypadku braku lub niepełnych danych o stanie ucha środkowego takie wyniki badań otoemisji budzą podejrzenie nieistniejącej w rzeczywistości patologii komórek słuchowych zewnętrznych ślimaka. Wprowadza to w błąd badającego lekarza. W efekcie skutkuje to wydłużeniem procesu diagnostycznego, postawieniem nieprawidłowego rozpoznania i włączeniem nieadekwatnego do sytuacji klinicznej postępowania leczniczego. Z tych powodów istnieje ciągle zapotrzebowanie na coraz to doskonalsze narzędzia audiometryczne oceniające stan ucha środkowego mogące zostać wykorzystane jako badania poprzedzające kolejne etapy diagnostyki niedosłuchów.

Chcąc sprostać tym oczekiwaniom naukowcy i klinicyści wraz z rozwojem technologicznym wprowadzają kolejne metody oceny funkcjonowania ucha środkowego. Obecnie dysponujemy szerokim wachlarzem takich badań. Wśród nich wyróżniamy techniki optyczne, obrazowe, pneumatyczne oraz wykorzystujące detekcję impedancji lub refleksji układu przewodzącego ucha środkowego (1). Ich mnogość świadczy o tym, że nie istnieje jedna, doskonała metoda pomiarowa. Dlatego nieprzerwanie szukane są nowe sposoby oceny właściwości mechanoakustycznych i stanu ucha środkowego. Efektem tego jest wprowadzona niedawno do zastosowania klinicznego szerokopasmowa tympanometria (ang. Wideband Tympanometry, WBT) mierząca szerokopasmową immitancję (ang. Wideband Acoustic Immittance, WAI) wyrażoną najczęściej za pomocą szerokopasmowej absorpcji (ang. Wideband Absorbance, WBA). Wiązane są z nią duże nadzieje w dziedzinie diagnostyki audiologicznej. W badaniu stanu ucha środkowego wydaje się ona przewyższać wartością diagnostyczną inne rodzaje tympanometrii w tym powszechnie obecnie stosowaną jednotonową tympanometrię niskoczęstotliwościową wykorzystującą ton o częstotliwości 226 Hz (SLFT-226 Hz). Przypuszczenia te zostały dowiedzione nielicznymi jak dotąd doniesieniami naukowymi. Dlatego nadal wymagają one potwierdzenia wynikami kolejnych prac badawczych.

2.1. Koncepcja eksperymentu medycznego

Szerokopasmowa tympanometria jest niedawno wprowadzoną do zastosowania klinicznego metodą badawczą o nieokreślonej jak dotąd w sposób wystarczający wartości diagnostycznej. Jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz jest natomiast powszechnie stosowana od dziesiątków lat i wydaje się, że poznane zostały niemal ostatecznie jej możliwości i ograniczenia. Oba rodzaje tympanometrii służą do oceny stanu

ucha środkowego i pośrednio jego właściwości przewodzenia fal dźwiękowych ze środowiska zewnętrznego do ucha wewnętrznego.

Otoemisje akustyczne, w tym otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, oceniają funkcjonowanie narządu spiralnego. Z powodów anatomicznych i fizjologicznych są to badania zależne od właściwości mechanoakustycznych ucha, ponieważ dźwięk emitowany z sondy testowej i zwrotny wygenerowany przez komórki słuchowe zewnętrzne muszą pokonać drogę przez jamę bębenkową i układ przewodzący ucha środkowego. Zaburzenia na tym poziomie mogą prowadzić do nieprawidłowych wyników pomiarów OEA niewynikających z zaburzeń funkcjonowania ślimaka. Z tego powodu otoemisje akustyczne każdorazowo powinny być poprzedzone oceną stanu ucha środkowego za pomocą obiektywnej, możliwie najdokładniejszej metody pomiarowej. Ma to na celu zidentyfikowanie przypadków, w których nieprawidłowy wynik otoemisji akustycznych jest efektem obecności zaburzeń przewodzenia fali akustycznej a nie wad narządu spiralnego. W tym celu można zastosować jedną z wymienionych wcześniej metod tympanometrycznych.

U pacjentów z wykluczoną dysfunkcją komórek słuchowych zewnętrznych narządu spiralnego prawidłowo technicznie przeprowadzone testy na optymalnie skalibrowanym urządzeniu pomiarowym pozwalają założyć, że wyniki DPOAE jako badania w pełni obiektywnego są zależne jedynie od stanu ucha środkowego. Uzyskane wartości parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i szerokopasmowej tympanometrii powinny zatem znaleźć odzwierciedlenie w zarejestrowanych pomiarach otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka.

Obliczenie współczynników korelacji Pearsona dla par badań DPOAE i WBT oraz DPOAE i SLFT-226 Hz pozwoli porównać siłę zależności pomiędzy otoemisją akustyczną produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka a każdą z zastosowanych metod tympanometrycznych. Wyznaczenie median i rozstępów kwartylowych dla pomiarów poszczególnych parametrów STL226 Hz i WBA w odniesieniu do wyników REFER i PASS umożliwi orientacyjne określenie możliwości różnicowania wyników DPOAE dla obu rodzajów tympanometrii. Natomiast zestawienie wartości wskaźników trafności i wiarygodności testów dla wybranych zmiennych obu rodzajów tympanometrii jak i opracowanych dla nich modeli logistycznych umożliwi obiektywne porównanie użyteczności jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i szerokopasmowej absorbancji w szacowaniu uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE. Przeprowadzenie tych obliczeń i porównań pozwoli obiektywnie ustalić czy jedno z badań

tympanometrycznych precyzyjniej ocenia stan ucha środkowego i może mieć przewagę w zastosowaniu klinicznym zwłaszcza jako konieczne badanie poprzedzające wykonywanie otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka.

2.2. Uzasadnienie wyboru badanej grupy wiekowej

2.2.1. Specyficzne warunki anatomiczne i czynnościowe wpływające na stan ucha środkowego u dzieci w wieku 3-7 lat

Przerost adenoidu i przestrzeń nosogardła

Migdałek gardłowy obecny już w życiu płodowym swoją maksymalną wielkość osiąga między 3 a 7 rokiem życia (2). Dodatkowo wymiary nosogardła uzyskują wartości charakterystyczne dla dzieci starszych dopiero po 8 roku życia. Największa niewspółmierność wielkości migdałka gardłowego do wymiarami nosogardła będąca przyczyną mechanicznej niedrożności ujść gardłowych trąbek słuchowych i w konsekwencji zaburzeń ciśnienia w jamie bębnekowej występuje między 5 a 7-8 rokiem życia (3).

Pneumatyzacja kości skroniowej

W wieku około 6-7 lat kończy się rozpoczęty między 2 a 3 rokiem życia dynamiczny rozwój pneumatyzacji kości skroniowej (4,5). Komórki powietrzne osiągają około 10 cm³, co stanowi ponad 83% ich maksymalnej objętości (około 12 cm³), którą następnie powoli uzyskują w okresie dojrzewania płciowego dziecka (6). W wieku 6-7 lat osiągnięte upowietrzenie kości skroniowej tworzy wydolny bufor ciśnieniowo-objętościowo-temperaturowy zmniejszając częstotliwość infekcji ucha środkowego (7, 8).

Trąbka słuchowa Eustachiusza

Trąbka słuchowa swoją dojrzałość funkcjonalną osiąga około 7 roku życia (9, 10) choć zmiany anatomiczne i histologiczne zachodzą jeszcze przez kilka następnych lat (11). W wieku wczesnoszkolnym liczba gruczołów surowicznych błony śluzowej trąbki Eustachiusza uzyskuje przewagę nad liczbą gruczołów śluzowych i śluzowo-surowicznych, których wydzielina upośledza jej drożność (12). W podobnym czasie rozwoju osobniczego dziecka kąt nachylenia, długość oraz lokalizacja ujścia gardłowego trąbki słuchowej osiągają wartości odpowiadające osobie dorosłej (13). Dodatkowo wysycenie włóknami sprężystymi, choć postępujące do okresu pokwitania, staje się wystarczające do utrzymania drożności światła części chrzęstnej trąbki (14). Podobnie mechanizm nerwowo-mięśniowy

odpowiedzialny za otwarcie ujścia gardłowego trąbki Eustachiusza zwłaszcza przemieszczenie przyczepu mięśnia napinacza podniebienia miękkiego, choć pełną sprawność osiąga w okresie dorosłości to w wieku 6-8 lat uzyskuje dostateczną funkcjonalność (15). Z tych powodów przed 7 rokiem życia funkcja drenażowa trąbki słuchowej nie jest w pełni wydolna co sprzyja zaburzeniom wentylacji ucha środkowego i wpływa na jego właściwości mechanoakustyczne.

Wpływ efektu masy i sprężystości na funkcjonowanie układu przewodzącego ucha środkowego

Sugerując się właściwościami ucha środkowego noworodków należy założyć, że efekt masy i sprężystości układu przewodzącego może mieć wpływ na jego sprawność mechanoakustyczną także u dzieci przedszkolnych i wczesnoszkolnych (16-18). Wspomniany wcześniej proces kształtowania się kości skroniowej dopiero około 7 roku życia wchodzi w fazę plateau. Z tego powodu u pacjentów w wieku 3 a 7 lat można spodziewać się odmienności w pomiarach oceniających stan ucha środkowego w porównaniu do dzieci młodszych, starszych i osób dorosłych. Mogą one zostać zarejestrowane z wykorzystaniem nowowprowadzonych, precyzyjnych narzędzi badawczych takich jak szerokopasmowa tympanometria. Ocena tych różnic nie stanowiła wprawdzie przedmiotu tego eksperymentu medycznego jednak zgromadzony materiał może w przyszłości zostać wykorzystany do takich porównań. Przypuszczenie wystąpienia różnic pomiarów wynikających z efektu masy i sprężystości uzasadnia potrzebę wyodrębnienia osobnej grupy wiekowej dzieci między 3 a 7 rokiem życia w badaniach dotyczących oceny stanu ucha środkowego.

2.2.2. Ocena stanu ucha środkowego jako niezbędne badanie poprzedzające diagnostykę niedosłuchu odbiorczego u dzieci w wieku 3-7 lat

Mimo, iż najczęstszym niedosłuchem wieku dziecięcego w tym dzieci między 3 a 7 rokiem życia jest jego przewodzeniowa forma nie wolno bagatelizować możliwości występowania nierozpoznanego wcześniej wrodzonego lub pojawienia się nabytego odbiorczego upośledzenia słuchu. Z tego powodu, zwłaszcza przy nieustępujących pomimo leczenia niedosłuchach rozpoznanych pierwotnie jako przewodzeniowe należy przeprowadzić także badania w kierunku odbiorczej postaci zaburzeń słyszenia. W praktyce klinicznej, na poziomie poradni laryngologicznej, w pierwszej kolejności wykorzystuje się do tego celu otoemisje akustyczne w tym otoemisję akustyczną produktów zniekształceń

nieliniowych ślimaka. Jak już wspomniano jest to badanie, którego wyniki są zależne od funkcjonowania układu przewodzącego ucha. Brak prawidłowej oceny stanu ucha środkowego prowadzi do błędnej interpretacji wyników pomiarów otoemisji akustycznej. Skutkuje to postawieniem nieprawidłowego rozpoznania lub zleceniem niepotrzebnych kontrolnych oraz dodatkowych badań wydłużających czas diagnozowania. Powoduje to stres obciążający dziecko i jego rodziców. Ponadto zbyt późno rozpoznany lub niewykryty niedosłuch negatywnie wpływa na przebieg rozwoju procesu komunikatywnego w okresie swoistej mowy dziecięcej rozpoczynającym się w 3 a kończącym w 7 roku życia. Niejednokrotnie może stać się to przyczyną utrwalonych zaburzeń artykulacyjnych, problemów sfery emocjonalnej, trudności w komunikacji interpersonalnej i ograniczonej gotowości szkolnej (19). Z tych powodów dysponowanie precyzyjnym narzędziem oceniającym stan ucha środkowego jest szczególnie ważne.

2.2.3. Zastosowanie badań oceniających stan ucha środkowego jako przesiewowej metody oceny słuchu u dzieci przedszkolnych i wczesnoszkolnych

Zaleca się przeprowadzanie badań przesiewowych słuchu u dzieci w każdym wieku (20–22). Duży nacisk kładziony jest z oczywistych względów na wczesne wykrywanie zaburzeń percepcji słuchowej u noworodków. Od kilkunastu lat wskazywana jest potrzeba przeprowadzenia screeningu audiologicznego także u dzieci w wieku 3-7 lat (23, 24). Sygnowany w Warszawie w 2011 r. „Europejski Konsensus w sprawie badań przesiewowych słuchu, wzroku i mowy u dzieci w wieku przedszkolnym i szkolnym” zachęca kraje europejskie do wprowadzania takich programów (25). Konieczność ich wdrażania wynika z faktu, iż zbyt późne rozpoznanie problemów ze słuchem w tej grupie wiekowej skutkować może wcześniej zaprezentowanymi konsekwencjami. Ponadto dziecko w wieku przedszkolnym i wczesnoszkolnym zwykle nie zgłasza niedosłuchu a rodzice częściej zauważają w pierwszej kolejności nieprawidłowości w rozwoju mowy będące konsekwencją już obecnych, różnie długo trwających zaburzeń słuchu (19).

Dla uproszczenia a tym samym rozpowszechnienia badań przesiewowych słuchu u dzieci w wyżej wymienionej grupie wiekowej podejmowane są udane próby wykorzystania różnych rodzajów otoemisji akustycznych stosowanych z powodzeniem od wielu lat u noworodków (26–28). Niezbędne jest tu jednak, jak już wielokrotnie wspomniano, wstępne badanie stanu ucha środkowego. Ma to na celu wyeliminowanie fałszywie nieprawidłowych wyników otoemisji akustycznej spowodowanych obecnością nierozpoznanego wcześniej niedosłuchu przewodzeniowego (28). Od czułości

i specyficzności zastosowanych metod tympanometrycznych zależy efektywność badań przesiewowych z zastosowaniem otoemisji akustycznych. Z tego powodu konieczne jest testowanie i wdrażanie nowych, skuteczniejszych niż dotąd stosowane, metod pomiarowych oceniających właściwości mechanoakustyczne układu przewodzącego i stan ucha środkowego w tej grupie wiekowej.

2.2.4. Ocena literatury tematu dotyczącej dzieci w wieku 3-7 lat

Publikacji na temat zastosowania szerokopasmowej immitancji akustycznej w praktyce klinicznej w ciągu ostatnich lat przybyło. Jednak literatura tematu nadal jest skąpa. Prace dotyczą zwykle niejednorodnej puli pacjentów i zazwyczaj nie dokonywane są szczegółowe, konkretnie uzasadnione klinicznie podziały wiekowe. Obecnie brak jest publikacji porównujących wartość diagnostyczną pomiarów uzyskanych w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i szerokopasmowej tympanometrii w odniesieniu do otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka u dzieci w wieku 3 do 7 lat.

2.2.5. Podsumowanie

Dzieci w wieku 3-7 lat wymagają szczególnej uwagi w kwestii diagnostyki audiologicznej. Wśród wszystkich pacjentów to w tej grupie należy spodziewać się największej liczby rozpoznanych jak również bezobjawowych odstępstw w funkcjonowaniu ucha środkowego. Mają one wpływ na mierzone wartości parametrów tympanometrycznych i otoemisji akustycznej. Wymienione charakterystyczne cechy anatomiczne i rozwojowe sprzyjają powstawaniu podciśnienia i w następstwie tworzenia się płynu w jamie bębenkowej, który może zostać poddany wpływom czynników infekcyjnych. Szacuje się, że około 75% dzieci do 7 roku życia trzykrotnie przechoruje ostre zapalenie ucha środkowego a u około 60 % małych pacjentów między 2 a 6 rokiem życia zostanie rozpoznane przewlekłe zapalenie ucha środkowego z wysiękiem (29). Głównie z tych powodów okresowy niedosłuch przewodzeniowy jest rozpoznawany u około 50% dzieci do 6 roku życia (2). Dane te obrazują skalę problemu z jaką spotykają się w codziennej praktyce lekarze rodzinni, pediatrzy, laryngolodzy i audiolodzy. Dlatego też przeprowadzanie i publikowanie prac dotyczących zastosowania nowych metod oceny stanu ucha środkowego u dzieci przedszkolnych i wczesnoszkolnych mają istotne znaczenie poznawcze. Mogą także przynieść wymierne korzyści w praktyce klinicznej.

2.3. Zastosowane narzędzia diagnostyczne oceniające stan ucha środkowego i funkcjonowanie ślimaka – rys historyczny i charakterystyka

2.3.1. Otoskopia

Wykonanie badania otoskopowego jest konieczne przed wykonaniem pomiarów audiometrycznych w celu wykluczenia patologii ucha zewnętrznego i błony bębenkowej. Dotyczy to bezwzględnie pacjentów w każdej grupie wiekowej. Wystarczające jest nawet najprostsze wziernikowanie ucha w refleksie świetlnym lustra czołowego. Obecnie jest to wyjątkowo rzadko stosowana metoda. Zastąpiona ona została powszechnie dostępnym badaniem otoskopem z własnym źródłem światła, endoskopią i mikroskopią ucha. Pominięcie tych procedur może spowodować błędną interpretację badań audiologicznych w tym tympanometrii i otoemisji akustycznej. Dodatkowo doprowadzić może do uszkodzenia sondy badawczej urządzeń pomiarowych nieusuniętą woskowiną, zalegającym złuszczone naskórkiem lub treścią ropną. Z tych powodów różne formy otoskopii obowiązkowo muszą znaleźć się w każdym panelu badań narządu słuchu.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że w tej pracy badawczej ograniczono konieczność zastosowania otoskopii jedynie do określenia obecności kryteriów wykluczenia dotyczących drożności przewodu słuchowego zewnętrznego i ciągłości błony bębenkowej. Nie uwzględniono w analizie porównawczej wyników szczegółowej otoskopii jako pośredniej metody oceny stanu ucha środkowego dokonywanej na podstawie obrazu błony bębenkowej i jej ruchomości. Ustalenie zakresu i sposobu oceny zależności między wynikami otoskopii oraz pomiarami WBI, SLFT – 226 Hz i DOPAE wykracza poza ramy tego eksperymentu medycznego.

Jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz – rys historyczny, podstawy zasad pomiaru, problemy diagnostyczne

Możliwości wykorzystania zjawisk mechanoakustycznych w diagnostyce audiologicznej zauważono już w XIX wieku dzięki pracom Hermanna von Helmholtza, który jako pierwszy opisał znaczenie transmisji fali akustycznej przez struktury ucha środkowego (30).

W 1867r. Lucae doświadczalnie zastosował audiometrię impedancyjną do oceny właściwości układu przewodzącego ucha środkowego (30). W latach 20 ubiegłego wieku Webster West zauważył analogię zjawisk elektrotechnicznych i mechanoakustycznych. Przyspieszyło to rozwój audiometrii impedancyjnej, ponieważ zastosowano metody

badawcze od dawna znane w elektromechanice. Webster West zaadoptował także na potrzeby audiologii, funkcjonujące do dziś zaczerpnięte z elektrotechniki teoretycznej pojęcia immitancji, impedancji oraz admitancji służące do opisu zjawisk i właściwości mechanoakustycznych struktur ucha środkowego (31).

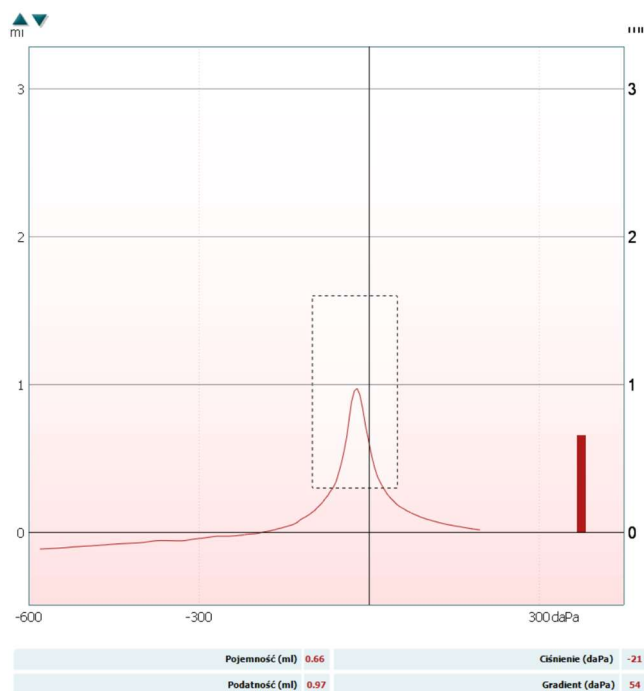
Pierwsze urządzenie, tzw. mostek akustyczny, umożliwiające szersze niż tylko doświadczalne zastosowanie impedancji akustycznej, skonstruował Schuster w 1934 roku jednak to prace Otto Metza (32) ponad 10 lat później zapoczątkowały okres klinicznego wykorzystania audiometrii impedancyjnej. Był on niestety powolny z przyczyn słabego zaawansowania i skomplikowania technicznego aparatów pomiarowych.

Mimo, że w latach 60. ubiegłego wieku czyniono próby modyfikacji pierwszych mostków akustycznych do powszechnego użytku, w tym najpopularniejszego w owych czasach mostka Schustera produkowanego przez firmę Zwislocki (33) dopiero rozwój technologiczny przełomu lat 70. i 80. XX wieku pozwolił upowszechnić i częściowo ustandaryzować metody badawcze audiometrii impedancyjnej. Od tej pory to właśnie ona stała się najpowszechniejszą zautomatyzowaną metodą badania narządu słuchu (34).

Jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz jest obok badania odruchu z mięśnia strzemiączkowego składową audiometrii impedancyjnej należących do obiektywnych metod badań narządu słuchu. Zasada jej działania opiera się na pomiarze odbitej od błony bębenkowej fali dźwiękowej, generowanej w postaci czystego tonu o częstotliwości 226 Hz podczas kontrolowanej zmiany ciśnienia powietrza w szczelnie zamkniętym sondą przewodzie słuchowym zewnętrznym. W ten sposób wyznacza się immitancję układu przewodzącego ucha środkowego. Immitancja akustyczna określa zdolność układu do stawiania oporu (impedancja) lub jego podatności (admitancja) na przepływ energii akustycznej. Zależy ona od sprężystości i jej odwrotności sztywności, masy i wynikającej z niej bezwładności oraz składowej tarcia charakterystycznych dla każdego mechanicznego układu przewodzącego. W prawidłowo funkcjonującym uchu środkowym za sprężystość i sztywność odpowiedzialna jest błona bębenkowa, mięśnie i więzadła wewnętrzne, masa i bezwładność determinowane są przez masę wszystkich elementów ruchomych znajdujących się w jamie bębenkowej natomiast tarcie powstaje głównie w połączeniach kosteczek słuchowych ze sobą, z błoną bębenkową oraz okienkiem owalnym. Zaburzenia i zmiany chorobowe ucha środkowego takie jak podciśnienie, płyn czy ropa w jamie bębenkowej jak również ziarnina, perlak lub zrastające się kosteczki słuchowe wpływają na masę i sprężystość układu przewodzącego ucha. Ma to odzwierciedlenie w wynikach pomiaru immitancji. Należy także pamiętać, że w praktyce

klinicznej tympanometrię zwykle określać się nazwą „impedancja akustyczna”, gdy w rzeczywistości współczesne aparaty pomiarowe dokonują rejestracji admitancji akustycznej (35,34). Szczegółowym informacjom na temat fizycznych podstaw oraz opisów matematycznych zjawisk rządzących tympanometrią poświęconych zostało wiele publikacji w tym uznawana za najbardziej wyczerpującą te zagadnienia monografia „Principles of tympanometry” pod redakcją Karela J. Van Campa (35) i z tego powodu nie będą w tej pracy szerzej prezentowane.

Jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz od lat 70. ubiegłego wieku znalazła powszechne zastosowanie jako obiektywna, nieinwazyjna, tania i prosta do przeprowadzenia metoda oceny stanu ucha środkowego. Swoją popularność zawdzięcza również nieskomplikowanymi sposobami interpretacji wyników pomiarów. Istnieją dwie główne formy oceny rezultatów badania tympanometrycznego. Pierwszy z nich to uproszczona jakościowa metoda. Polega ona na zakwalifikowaniu wyniku do grup krzywych tympanometrycznych oznaczonych zazwyczaj literami A, B, C, D odpowiadających stanom ucha środkowego. Grupy określone są przedziałami wartości jednocześnie impedancji i ciśnienia panującego w uchu środkowym. W dostępnych publikacjach dotyczących tej kwestii zauważyć można dowolność w modyfikacji tego sposobu oceny (36–40) jednak wszystkie zastosowane kryteria opierają się na podstawowej metodzie zaproponowanej jeszcze w latach 70. XX wieku przez Jergera (41) oraz Lidéna (42). Drugi sposób to ilościowa interpretacja wyniku konkretnych wartości liczbowych następujących wartości: równoważnej objętości przewodu słuchowego zewnętrznego – ECV (ml), ciśnienia szczytowego – MEP (daPa), wartość admitancji lub podatności MEC (ml) oraz gradientu GRAD (daPa) i szerokości tympanogramu TW (43). Przykład graficznego zapisu pomiaru funkcji ucha środkowego w postaci krzywej tympanometrycznej typu A wraz z numerycznym, ilościowym zapisem wartości parametrów charakterystycznych dla SLFT-226 Hz przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Graficzna prezentacja krzywej tympanometrycznej typu A wraz z numerycznym, ilościowym zapisem wartości parametrów charakterystycznych dla SLFT-226 Hz
 Źródło: opracowanie własne.

Doświadczenia kliniczne pozwalają uznać tympanometrię niskoczęstotliwościową za skuteczną metodę oceny stanu ucha środkowego. W rzeczywistości jednak najczęściej oceniane miary jakości testu takie jak czułość i swoistość nie zostały w przypadku SLFT-226 Hz jednoznacznie ustalone. Istnieją w tej kwestii duże rozbieżności. Analizując literaturę tematu można zauważyć szerokie przedziały wartości tych wskaźników. Wynoszą one 70–91% dla czułości i 71.7–98% dla swoistości (44). Wynika to z faktu przeprowadzenia badań na odmiennych grupach wiekowych, zastosowania urządzeń różnie zaawansowanych technologicznie oraz użyciem podobnych jednak różniących się zasad oceny krzywych tympanometrycznych (45–50). Mając na uwadze niedoskonałości tympanometrii niskoczęstotliwościowej, badacze niekiedy dodatkowo włączają do analizy statystycznej dodatkowe kryteria takie jak ocena otoskopowa błony bębenkowej, wielkość adenoidu (51) lub pomiar odruchu z mięśnia strzemiączkowego (52). Celem takiego zabiegu jest zwiększenie łącznej wartości diagnostycznej kilku badań. Świadczy to o tym, że tympanometria nie jest pozbawiona wad a do jej wyników powinno podchodzić się z ostrożnością. Należy zawsze zakładać, że nie w każdym przypadku uzyskana krzywa tympanometryczna odzwierciedla faktyczny stan ucha środkowego.

W tej pracy badawczej dla określenia tympanometrii z tonem o częstotliwości 226 Hz zaproponowano rozszerzoną, szczegółową nazwę – jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz – ang. single-tone low-frequency tympanometry – 226 Hz

(SLFT-226 Hz). Nie była ona do tej pory stosowana w dostępnych publikacjach medycznych. Zdecydowano się na jej użycie w celu uniknięcia nieporozumień w nazewnictwie. Określenie to jak i jego skrót wyraźnie odróżnia się od nazw innych wykorzystywanych powszechnie lub doświadczalnie metod tympanometrycznych takich jak pozostałe jednotonowe tympanometrie niskoczęstotliwościowe np. 220 Hz, jednotonowe tympanometrie wysokoczęstotliwościowe np. 678 Hz lub 1 kHz, tympanometrie wieloczęstotliwościowe jak również tympanometrie szerokoczęstotliwościowe.

2.3.2. Otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka – rys historyczny, podstawy zasad pomiaru, problemy diagnostyczne

Komórki słuchowe zewnętrzne ślimaka u 20- 90% (2) prawidłowo słyszących ludzi spontanicznie a u niemal 100 % (23) w odpowiedzi na bodziec akustyczny, dzięki swoim zdolnościom elektromechanicznym zmieniają swój kształt, indukują ruch rzęsek oraz odkształcają błonę podstawną generując w ten sposób dźwięki o bardzo niewielkim natężeniu. Zjawisko to nosi nazwę otoemisji akustycznej. Przypuszczenia o obecności takich zdolności ucha wewnętrznego wysuwał australijski fizyk Thomas Gold (53,54) już w latach czterdziestych ubiegłego wieku. Zarejestrowane i opisane po raz pierwszy zostały jednak dopiero przez Kempa w 1978 r. (55)

Otoemisja spontaniczna (*SOAE spontaneous otoacoustic emission*), powstająca samoistnie bez indukowania czynnikiem zewnętrznym, nie jest rejestrowana we wszystkich zdrowych uszach a wykrywalność jej znacznie spada po 50 r.ż. (56–58). Z tych powodów nie znalazła zastosowania klinicznego (23). Otoemisje generowane sygnałem sinusoidalnym (*SFOAE stimulus-frequency o.a.e.*) (59,60) oraz bodźcem elektrycznym (*EEOAEs electrically-evoked o.a.e.*) (61,62) wykorzystuje się niezwykle rzadko. Obecnie w codziennej praktyce audiologicznej najczęściej wykonywane są otoemisja wywołana trzaskiem (*TEOAE transiently-evoked o.e.*) oraz indukowana parą czystych tonów nazywana otoemisją akustyczną produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (*DPOAE distortion product o.a.e.*). Ta ostatnia została zastosowana w tym eksperymencie medycznym.

DPOAE jest bardzo cennym narzędziem diagnostycznym. Podobnie jak pozostałe rodzaje otoemisji akustycznej stanowi odzwierciedlenie procesów zachodzących w narządzie spiralnym. Jej pomiary służą do oceny funkcji mechanicznej ślimaka ucha wewnętrznego. Znalazła zastosowanie w rozpoznawaniu, ustalaniu lokalizacji oraz monitorowaniu leczenia niedosłuchu. Wykorzystywana jest do badania przesiewowego

słuchu u noworodków i coraz częściej także u dzieci przedszkolnych i wczesnoszkolnych (26–28). Jest metodą stosunkowo tanią, obiektywną, nieinwazyjną oraz prostą do przeprowadzenia i interpretacji. DPOAE niegdyś czasochłonna w realizacji obecnie jest porównywalnie szybka w przeprowadzaniu do TEOAE. Jest także mniej od niej wrażliwa na zakłócenia akustyczne docierające z otoczenia (63). Zmniejsza to ilość artefaktów w zapisie otoemisji podczas diagnozowania małych pacjentów, którzy często nieświadomie generują zakłócające dźwięki. Dodatkowo (z doświadczeń klinicznych autora), dzieci między 3 a 7 rokiem życia zwykle chętnie przystępują do badania DPOAE. Jest to spowodowane tym, że sygnały stymulujące ślimak przypominają dzieciom znane dźwięki środowiskowe takie jak odgłosy pracującego traktora lub lecącego helikoptera co przykuwa ich uwagę.

Zasada działania DPOAE opiera się na nieliniowym charakterze aktywności ślimaka i jego zdolności generowania dźwięku w odpowiedzi na pobudzenie wywołane podaniem z sondy badawczej do kanału słuchowego zewnętrznego dwóch sygnałów pierwotnych. Mają one postać czystych tonów o odpowiednio dobranych częstotliwościach pozostających w stosunku f_1/f_2 od 1,18 do 1,25 (23, 64). Doświadczalnie ustalono, że intensywność/głośność tonu pierwszego L1 powinno być większa od drugiego L2 o 5-15 dB (23, 64). Próbné dźwięki powodują skurcz komórek słuchowych zewnętrznych co prowadzi do odkształcenia błony podstawnej ślimaka w innych niż stymulowanych przez sygnały pierwotne miejscach (23,64,65). W ten sposób zostaje wyindukowana zwrotna fala akustyczna. Stwierdzono doświadczalnie, że sygnał wtórny o największej amplitudzie generowany jest dla częstotliwości $f_3=2f_1-f_2$ (dla $f_2>f_1$) i powstaje w sąsiedztwie największego wychylenia błony podstawnej dla częstotliwości f_2 (23, 64–66).

Zmierzone wartości zarejestrowanego sygnału zwrotnego wygenerowanego w ślimaku przedstawia się w postaci cellogramów (23). W praktyce klinicznej wykorzystuje się dwa ich rodzaje (64) w zależności od zastosowanego protokołu badania.

Pierwszy jest zapisem pomiaru, w którym stosunek częstotliwości podawanych tonów f_1 i f_2 oraz ich poziom głośności L1 i L2 są stałe natomiast częstotliwości f_1 i f_2 są zmieniane skokowo z rozdzielczością 2-8 punktów na oktawę. Uzyskany pomiar DPOAE podawany jest w postaci bezwzględnej wartości amplitudy w dB SPL. W zależności od zastosowanego urządzenia oraz protokołu pomiarowego przyjmuje się, że DPOAE jest prawidłowa jeśli jej amplituda wynosi 3-8 dB SPL powyżej szumu tła. (64,30,66). Wynik badania zapisywany jest w formie DP – Gramem. Przykładowy DP-Gram u dziecka bez zaburzeń w narządzie spiralnym przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Przykładowy DP-Gram u dziecka bez zaburzeń w narzędziu spiralnym
 Źródło: opracowanie własne.

Drugi to zapis pomiaru, w którym częstotliwości podawanych tonów są stałe, zmienia się natomiast poziom głośności L1 i L2 skokowo w zakresie 20-70 dB SPL. Oceniane są tutaj w wybranych częstotliwościach najmniejsze wartości L1 i L2, dla których jest rejestrowane DPOAE (próg detekcji). Tę metodę zapisu określamy “zapis wejścia/wyjścia” (64). Jest on rzadziej stosowany.

Jak już niejednokrotnie wspomniano uzyskanie prawidłowego zapisu DPOAE, a także każdego innego rodzaju otoemisji akustycznej, jest zależne nie tylko od prawidłowego funkcjonowania narządu spiralnego ale również od stanu ucha środkowego (23,64,65). Wynika to z faktu, że stymulujące sygnały wysyłane z sondy umieszczonej w przewodzie słuchowym zewnętrznym i powracający ton wygenerowany w ślimaku muszą pokonać drogę przez ucho środkowe. Zaburzenia na poziomie układu przewodzącego utrudniają a czasami wręcz uniemożliwiają przejście energii akustycznej z sondy do komórek słuchowych zewnętrznych jak i powrót wygenerowanego sygnału do rejestratora.

Wpływ stanu ucha środkowego na zapis DPOAE był wielokrotnie oceniany. Wykazano, że wzrost ciśnienia atmosferycznego powodujący powstanie względnego obniżenia ciśnienia w uchu środkowym powoduje spadek wartości odczytów DPOAE na niskich częstotliwościach (67). Podobny efekt uzyskać można sztucznie wywołując zmiany ciśnienia w kanale słuchowym zewnętrznym (68). Przypuszcza się, że tylko ciśnienie dodatnie a nie ujemne generowane w przewodzie słuchowym zewnętrznym wpływa na zmiany w zapisie DPOAE (69). Thompson i wsp. dokonując tympanometrem pomiarów

ciśnienia w jamie bębenkowej u pacjentów po wykonaniu manewru Toynbego wykazali, że ciśnienie niższe o 65 daPa od otoczenia ma statystycznie istotny wpływ na wyniki DPOAE (70). Natomiast Sun i Shaver podobne obserwacje odnotowali już przy wartości ciśnień mniejszych jedynie o 40 daPa od ciśnienia otoczenia (71). W obu przypadkach miały one wpływ na zmniejszenie odczytów DPOAE na niskich częstotliwościach. Obecność płynu w uchu środkowym (45), (72-74) a szczególnie jego śluzowy charakter (75) negatywnie wpływa na rejestrację DPOAE na wysokich częstotliwościach aż do całkowitego zaniku odpowiedzi ze ślimaka (76). Przebyte w przeszłości zapalenia, perforacje obejmujące ponad połowę powierzchni błony bębenkowej (77) oraz drenaż wentylacyjny (73) również mają znaczący wpływ na zapis DPOAE. Obecnie uważa się, że DPOAE jest bardziej podatna na zaburzenia związane z obecnością podciśnienia (71) lub płynu w jamie bębenkowej (72, 78) od TEOAE.

Powyższe obserwacje dotyczące pogorszenia rejestracji DPOAE na niskich częstotliwościach przy podciśnieniu i na wysokich dla płynu w jamie bębenkowej można tłumaczyć właściwościami mechanicznymi układu przewodzącego ucha. Przewodzenie dźwięku na częstotliwościach powyżej częstotliwości rezonansowej, która w zdrowym uchu wynosi około 1 000 Hz, zależna jest od masy czyli bezwładności układu przewodzącego natomiast na częstotliwościach niższych determinowana jest jego elastycznością (79,80). Wpływ efektu masy i sprężystości można traktować jako potwierdzenie oddziaływania stanu ucha środkowego na rezultaty pomiarów otoemisji akustycznej.

Z wyżej zaprezentowanych powodów pomiar DPOAE jak już wielokrotnie zaznaczono we wstępie musi zostać każdorazowo poprzedzony wykonaniem badania oceniającego stan ucha środkowego. W przeciwnym wypadku interpretacja zapisu otoemisji akustycznej może być błędna a ustalone na jej podstawie postępowanie lecznicze lub diagnostyczne nieprawidłowe. To wyjaśnia potrzebę opracowywania nowych, skuteczniejszych metod badających funkcjonowanie układu przewodzącego ucha i konfrontowania ich wyników z pomiarami DPOAE.

2.3.3. Szerokopasmowa immitancja akustyczna i absorbanca szerokopasmowa – rys historyczny, podstawy zasad pomiaru, problemy diagnostyczne

Szerokopasmowa immitancja akustyczna nazywana tradycyjnie tympanometrią szerokoczęstotliwościową lub szerokopasmową to nowa metoda oceny stanu ucha środkowego. Jest owocem prac mających na celu stworzenie techniki pomiarowej pozbawionej niedoskonałości jakimi obciążona jest między innymi klasyczna jednotonowa

tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz. Jej teoretyczne podstawy były znane od lat 80. XX wieku (81, 82). Ograniczone możliwości techniczne dotyczące stabilnej kalibracji sond badawczych skutecznie hamowały jednak wprowadzenie tego typu badań do powszechnego użytku. Obecnie jest to metoda coraz częściej stosowana ale dalece rzadziej od klasycznej tympanometrii. Wynika to z nieokreślonej dotychczas w pełni jej wartości diagnostycznej, nieustalonych jednolitych metod analizy wyników (83) oraz wysokiej ceny urządzeń zwłaszcza w rozbudowanych wersjach kliniczno-badawczych.

Szerokopasmowa immitancja akustyczna różni się od jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej, rodzajem zastosowanego impulsu oraz mierzonymi parametrami. Sygnałem jest bodziec szerokopasmowy o zakresie częstotliwości od około 200 Hz do 20 kHz oraz głośności 65-80 dB HL. Ma on charakter impulsu – typ „trzask” lub modulowanego częstotliwościowo tonu – typ „chrip” (84). W praktyce klinicznej wykorzystuje się najczęściej dźwięk o charakterze trzasku o rozpiętości częstotliwościowej od 200 Hz do 8 kHz. Przedział kontrolowanej zmiany ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym zwykle mieści się w granicach od -300 daPa do +200 daPa podobnie jak w SLFT-226 Hz (85,86). Główną cechą szczególną szerokopasmowej immitancji akustycznej, w opinii Autora istotniejszą od zastosowanego wieloczęstotliwościowego sygnału testowego, stanowiącego w istocie tylko udoskonalony sposób wcześniej już stosowanej impulsacji, jest sama koncepcja oceny stanu ucha środkowego. W przeciwieństwie do SLFT-226 Hz gdzie oceniana jest energia akustyczna fali odbitej od błony bębenkowej ucha środkowego w WBI mierzone jest wypadkowe ciśnienie akustyczne w przewodzie słuchowym zewnętrznym (P_m). Pozostałe parametry są ustalane automatycznie w oparciu o prawa fizyki na drodze przekształceń matematycznych. Uwzględnia się w nich wyniki uzyskanych pomiarów i ustalonych wcześniej, stałych wartości ciśnienia akustycznego padającego (P_i) oraz impedancji charakterystycznej przewodu słuchowego zewnętrznego (Z_c). Dla ułatwienia w dalszej części pracy rezultaty przekształceń rzeczywistego pomiaru wypadkowego ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym zewnętrznym nazywane będą pomiarami wybranych parametrów otrzymanych badaniem szerokopasmowej immitancji akustycznej (np. pomiar absorbancji, pomiar transmitancji, pomiar impedancji itd.). Poniżej przedstawiono w sposób uproszczony fizyczne podstawy i sposób wykonywania szerokopasmowej immitancji akustycznej.

Sondę sygnałowo-pomiarową, zawierającą emiter bodźca dźwiękowego oraz czujnik ciśnienia akustycznego umieszcza się w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Podany sygnał akustyczny dociera do błony bębenkowej. Część fali zostaje od niej odbita a część

zostaje pochłonięta przez ucho środkowe. Zakłada się, że większość fali pochłoniętej przekazana zostaje do ucha wewnętrznego. Wartości falowe sygnału odbitego i pochłoniętego zależne są między innymi od właściwości mechanicznych układu przewodzącego. Fala padająca i odbita charakteryzują się ciśnieniami akustycznymi oznaczonymi odpowiednio P_i i P_r . Oba zsumowane ciśnienia akustyczne dają wartość wypadkowego ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym zewnętrznym P_m – wzór [1]. Jest ono mierzone w świetle przewodu słuchowego zewnętrznego czujnikiem ciśnienia akustycznego.

$$P_m = P_i + P_r \quad [1]$$

P_i dla danej sondy jest znane. Wyznacza je producent urządzenia we wnęce pomiarowej o wiadomej impedancji oraz w oparciu o ustaloną doświadczalnie uśrednioną wartość impedancji akustycznej przewodu słuchowego zewnętrznego Z_c . P_m zostaje zmierzone podczas badania. Jediną niewiadomą pozostaje P_r , która możemy wyliczyć prostym przekształceniem wzoru [1] $P_r = P_m - P_i$.

Fale akustyczne padająca i odbita o danych ciśnieniach akustycznych posiadają energię akustyczną E_a . Energia w określonym przedziale czasu wyrażona jest zależnością [2]:

$$E_a = \frac{P_a^2 \cdot \Delta t}{Z_c} \quad [2]$$

Na tej podstawie możemy wyznaczyć energię fali odbitej E_r – wzór [3] i padającej E_i – wzór [4] podstawiając do wzorów P_r i P_i – wzory [3], [4]:

$$E_r = \frac{P_{ar}^2 \cdot \Delta t}{Z_c} \quad [3]$$

$$E_i = \frac{P_i^2 \cdot \Delta t}{Z_c} \quad [4]$$

Współczynnik odbicia energii ER danego układu, zwany reflektancją jest to stosunek energii fali odbitej do energii fali padającej – wzór [5].

$$ER = \frac{E_r}{E_i} \quad [5]$$

Przekształcając wzór [5] ER podstawiając E_r – wzór [3] i E_i – wzór [4] otrzymujemy wzór na ER zależny od omówionych wcześniej wartości ciśnień – wzór [6]:

$$ER = \frac{P_r^2}{P_i^2} \quad [6]$$

Z powyższych zależności wynika, że dokonując pomiaru ciśnienia akustycznego w przewodzie słuchowym zewnętrznym P_m możemy obliczyć współczynnik odbicia ER.

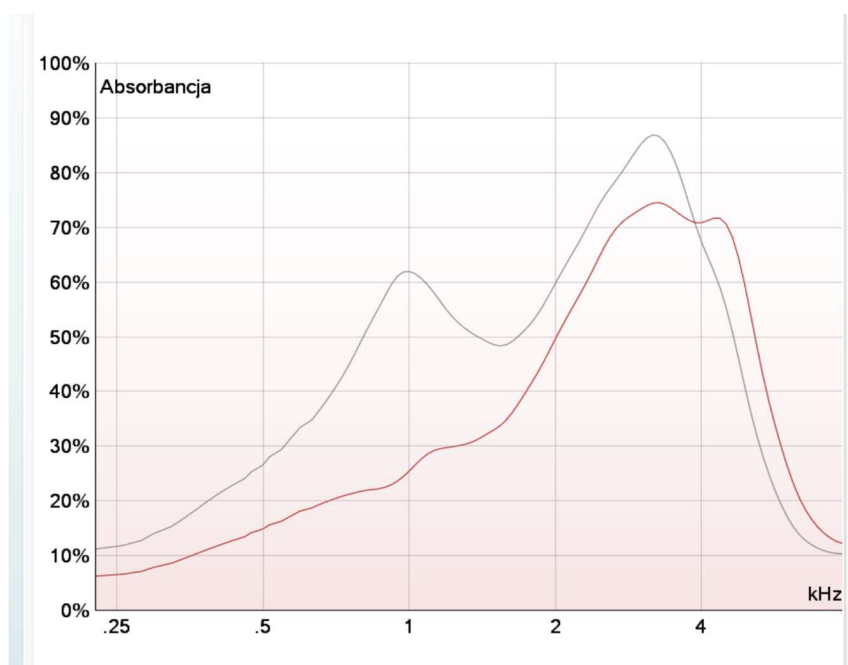
Możliwość wyznaczenia impedancji Z_a i admitancji Y_a ucha środkowego wynika z następującej zależności – wzór [7]:

$$ER = |R|^2 = \left| \frac{Z_a - Z_c}{Z_a + Z_c} \right|^2 = \left| \frac{Y_c - Y_a}{Y_a + Y_c} \right|^2 \quad [7]$$

Charakterystyczną i najistotniejszą wartością ocenianą w szerokopasmowej immitancji akustycznej jest szerokopasmowa absorbanca. Stanowi ona dopełnienie refleksyjności do jedności – wzór [8]:

$$EA = 1 - ER \quad [8]$$

Wyraża ona zdolność układu przewodzącego do pochłaniania energii a tym samym odzwierciedla pośrednio stan ucha środkowego. Maksymalna wartość absorbanca równa 1 (100%) oznacza całkowite pochłonięcie energii akustycznej natomiast zupełne jej odbicie wskazuje absorbanca o wartości 0 (0%). (87,88). Przykładowy graficzny zapis absorbanca w funkcji częstotliwości w ciśnieniu otoczenia i ciśnieniu szczytowym przedstawiono na rysunku 3.



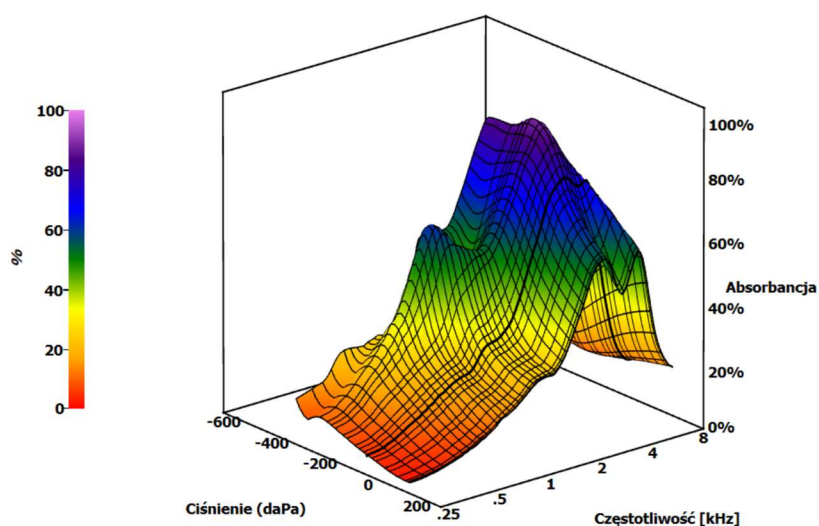
Rysunek 3. Przykładowy graficzny zapis absorbanca w funkcji częstotliwości w ciśnieniu otoczenia (krzywa czerwona) i ciśnieniu szczytowym (krzywa szara)

Źródło: opracowanie własne.

Dla uproszczenia pominięto szczegółowe objaśnienia aspektu zmiany ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym zewnętrznym podczas przeprowadzanego badania oraz

zespolony charakter admitancji i impedancji. Obie kwestie co do zasady są identyczne jak w tympanometrii niskoczęstotliwościowej a szczegółowa ich charakterystyka jest szeroko dostępna w podręcznikach audiologicznych i licznych monografiach poświęconych temu tematowi.

Podczas wykonywania szerokopasmowej immitancji akustycznej operuje się zmianą zarówno ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym zewnętrznym jak i częstotliwości sygnału testowego. Uzyskać w ten sposób można wartości absorpcji w funkcji częstotliwości przy stałym ciśnieniu oraz w funkcji ciśnienia na danej częstotliwości. Zazwyczaj jednak dokonuje się serii szybko następujących po sobie pojedynczych pomiarów absorpcji w liczbie od 100 do 200 w szerokim zakresie częstotliwości 200-8000 Hz przy jednoczesnej powolnej zmianie ciśnienia. Wynik tak przeprowadzonego badania można przedstawić w postaci trójwymiarowego wykresu. Osi rzędnych, odciętych i kota przyporządkowane są kolejno absorpcja [%], ciśnienie [daPa] oraz częstotliwość [Hz]. Zmienna zależna – absorpcja – prezentowana jest w formie barwnego spektrum (89). Przykład graficznego, trójwymiarowego zapisu pomiaru szerokopasmowej immitancji akustycznej przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Graficzny, trójwymiarowy zapis pomiaru szerokopasmowej immitancji akustycznej
Źródło: opracowanie własne.

System przetwarzania cyfrowego do analizy wyników pozwala na wyszczególnienie wykresów dwuwymiarowych osobno dla absorpcji w funkcji ciśnienia dla danej częstotliwości lub w funkcji częstotliwości dla danego ciśnienia. Dodatkowo można uzyskać wykresy uśrednionej absorpcji w przedziałach częstotliwości (86). Doświadczalnie

ustalono, że w celu uzyskania optymalnie dokładnych wyników badań można u dzieci poniżej 6 miesiąca życia zastosować uśrednienie absorbancji dla zakresu częstotliwości zawartego pomiędzy 800-2000 Hz natomiast dla dzieci starszych i dorosłych pomiędzy 375-2000 Hz. Zabieg uśrednienia absorbancji w przedziałach częstotliwości ma na celu zredukowanie liczby artefaktów w uzyskanych odczytach wynikających z wpływu czynników środowiska takich jak hałas czy ruchy pacjenta (90). Dodatkowo podczas wykonywania badania wyznaczana jest częstotliwość rezonansowa układu przewodzącego HR. Uzyskany tympanogram dla tej częstotliwości uważany jest za dokładniej odzwierciedlający stan ucha środkowego od tympanogramów SLFT-226 Hz (91).

Na podstawie doświadczeń ustalono, że wartość kliniczną mają pomiary absorbancji w ciśnieniu otoczenia względnie określanym jako 0 daPa oraz w warunkach wcześniej oznaczonego ciśnienia szczytowego danego ucha środkowego. Obecnie stosowane urządzenia badawcze mają standardowo możliwość uzyskania takich warunków pomiarowych. Na uwagę zasługuje również możliwość wykonania absorbancji bez indukowania zmiany ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Umożliwia to atraumatyczne i nieinwazyjne przeprowadzenie oceny stanu ucha środkowego u pacjentów w trakcie lub bezpośrednio po zabiegach otocirurgicznych oraz przy obecności drenu lub perforacji błony bębenkowej (86).

Wykonując tympanometrię szerokoczęstotliwościową można określić również wartości parametrów dostępnych standardowo w SLFT-226 Hz takich jak: szerokość lub gradient tympanogramu, objętość przewodu słuchowego zewnętrznego, podatność dla częstotliwości 226-1000 Hz oraz ciśnienie szczytowe ucha środkowego. Pozwala to na wyznaczenie klasycznych tympanogramów.

Metody pomiaru WBT i SLFT-226 Hz są różne natomiast wyniki oznaczeń tych samych parametrów są zgodne ale jedynie w przedziale od 225 Hz do około 1 kHz. Powyżej tej częstotliwości otrzymane parametry immitancji klasycznych tympanometrii znacząco tracą na dokładności. Wynika to z różnic uzyskanych impedancji na sondzie pomiarowej i błonie bębenkowej zależnych od długości przewodu słuchowego zewnętrznego i wynikającego z tego przesunięcia w fazie wartości współczynnika odbicia. Szerokopasmowa immitancja akustyczna nie posiada tej wady, ponieważ jak już wspomniano, jest metodą, w której mierzone jest wypadkowe ciśnienie akustyczne niezależne od długości przewodu. Z tego powodu można dokonywać oceny stanu ucha środkowego na częstotliwościach niedostępnych badaniem SLFT-226 Hz (83).

W celu uniknięcia nieporozumień w nazewnictwie należy wyraźnie podkreślić, że w konsensusie przyjętym przez komitet ekspertów w Eriksholm Research Center opublikowanym w 2013r. zarekomendowano zamiast terminu transmitancja używanie nazw absorbanca gdy jej wielkość podawana jest w wartościach liczbowych od 0 do 1 (także w procentach 0%-100%) oraz poziom absorbancji gdy wyrażany jest w skali decybelowej. Ponadto zalecono aby dla wszystkich miar dotyczących zarówno szerokopasmowej immitancji (impedancja i admitancja) jak i szerokopasmowej reflektancji (absorbancja i reflektancja) stosować wspólną ogólną nazwę szerokopasmowa immitancja akustyczna (92).

Z tych powodów w tej pracy badawczej zastosowano nazwy: szerokopasmowa tympanometria w odniesieniu do ogólnego typu metody pomiarowej, szerokopasmowa immitancja akustyczna w odniesieniu do ogólnie mierzonych parametrów szerokopasmowej tympanometrii oraz szerokopasmowa absorbanca w odniesieniu do mierzonej wielkości charakteryzującej właściwości ucha środkowego. Terminy „szerokopasmowa” i „szerokoczęstotliwościowa” jako człony nazw określających tę samą cechę badania stosowano zamiennie.

Możliwość uzyskania wartości absorbancji na szerokim przedziale częstotliwości pozwala zakładać, że w ocenie stanu ucha środkowego WBI ma przewagę diagnostyczną nad klasyczną jednotonową tympanometrią niskoczęstotliwościową. Choć publikacji potwierdzających to przypuszczenie przybywa jednak jest ich nadal niewystarczająca liczba. Wady i zalety WBT oraz sposoby i zakres jej zastosowania nie zostały jeszcze w pełni poznane. Dlatego też dodatkowe zalecenie zawarte w wyżej wymienionym konsensusie z 2013 r. dotyczące konieczności prowadzenia dalszych badań w tym zakresie nadal jest aktualne.

W tym eksperymencie medycznym oceniającym szerokopasmową immitancję akustyczną analizie poddano wartości szerokopasmowej absorbancji wyznaczonych w ciśnieniu otoczenia w zakresie częstotliwości od 220 Hz do 8000 Hz uzyskanych podczas wykonywania szerokopasmowej tympanometrii.

3. CEL PRACY

Cel główny pracy:

Porównanie wartości diagnostycznej absorbancji szerokopasmowej i jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz jako badań oceniających stan ucha środkowego w odniesieniu do pomiarów otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka u dzieci w wieku 3 do 7 lat.

Cele pośrednie umożliwiające realizację celu głównego:

Porównanie za pomocą współczynników korelacji Pearsona zależności pomiędzy maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka a wynikami pomiarów poszczególnych parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz szerokopasmowej absorbancji.

Porównanie możliwości różnicowania wyniku REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w zastosowanym wariancie przesiewowym za pomocą absorbancji szerokopasmowej oraz parametrów mierzonych w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz.

Porównanie wartości wybranych miar jakości testu dla parametrów obu metod tympanometrycznych oraz opracowanych na ich podstawie modeli logistycznych w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyników typu REFER w zastosowanych wariantach przesiewowym i szczegółowym otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka.

4. MATERIAŁ I METODY

4.1. Materiał osobowy, kryteria włączenia i wyłączenia

Prośba o wyrażenie zgody na włączenie do eksperymentu medycznego została przedstawiona rodzicom 300 dzieci w przedziale wiekowym od 3 do 7 lat konsultowanych laryngologicznie przez Autora pracy w trzech poradniach laryngologicznych na terenie Wrocławia. Badania otoskopowe i audiologiczne przeprowadzono w Katedrze i Zakładzie Patofizjologii Uniwersytetu Medycznego im. Piastów Śląskich we Wrocławiu.

4.2. Zastosowane kryteria włączenia i wyłączenia z eksperymentu medycznego

Kryteria włączenia:

- dziecko między 3 a 7 rokiem życia
- pisemne wyrażenie zgody opiekuna prawnego dziecka na udział w eksperymencie medycznym
- dziecko niespełniające żadnego z kryteriów wyłączenia

Kryteria wyłączenia:

- podejrzenie lub rozpoznanie niedosłuchu na poziomie narządu spiralnego,
- podejrzenie lub rozpoznanie niedosłuchu typu odbiorczego,
- ustne lub pisemne wycofanie zgody opiekuna prawnego na kontynuację udziału w eksperymencie medycznym,
- częściowa lub całkowita niedrożność przewodu słuchowego zewnętrznego bez względu na przyczynę,
- wrodzone lub nabyte wady ucha zewnętrznego i/lub środkowego i/lub wewnętrznego*,
- wrodzone wady twarzoczaszki*,
- przebyte operacje ucha środkowego*,
- drenaż jamy bębnekowej*,
- perforacja błony bębnekowej*,

- podwójny szczyt krzywej tympanometrycznej w badaniu SLFT-226 Hz*.

* Zastosowanie oznaczonych kryteriów wyłączenia nie wynikały z przyczyn koncepcyjnych lub problemów technicznych. Zbyt mała liczba dzieci z wyżej wymienionymi schorzeniami uniemożliwiła stworzenie oddzielnych, wystarczająco licznych, reprezentatywnych grup badawczych mogących zostać poddanych analizie statystycznej.

Obecność dowolnego kryterium wyłączenia dotyczącego jednego ucha nie dyskwalifikowało z badania ucha przeciwnego.

4.3. Zastosowane urządzenia i metody pomiarowe

4.3.1. Otoskopia

Badania otoskopowe przeprowadzono u każdego dziecka przed testami audiometrycznymi. W pierwszej kolejności wykonano tradycyjne wziernikowanie uszu nieuzbrojonym okiem w świetle lampy czołowej a następnie otoskopem firmy Welch Allyn MacroView z płynną regulacją powiększenia obrazu do 4,2 x. Oceniane były drożność kanału słuchowego zewnętrznego oraz ciągłość błony bębenkowej jako konieczne warunki do prawidłowego przeprowadzenia i interpretacji dalszych testów.

4.3.2. Jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz

Wyznaczane parametry:

- podatność ucha środkowego wyrażona w ml dla maksymalnego ciśnienia szczytowego,
- ciśnienie szczytowe ucha środkowego wyrażone w daPa dla maksymalnej podatności,
- szerokość krzywej tympanometrycznej wyrażony wartością ciśnienia w daPa na ½ wysokości maksymalnej impedancji krzywej tympanometrycznej,
- zakres pomiaru objętości kanału słuchowego zewnętrznego: 0,1 do 8,0 ml.

Warunki pomiarowe:

Właściwości tonu:

- ton czysty,
- częstotliwość 226 Hz,

- poziom głośności 69 dB z funkcją automatyczną regulacją wzmocnienia – stały, bezpieczny poziom głośności niezależny od objętości przewodu słuchowego zewnętrznego.

Ciśnienie powietrza:

- zakres wymuszonej zmiany ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym zewnętrznym: -600 daPa do 300 daPa,
- ciśnienie początkowe: 200 daPa,
- prędkość zmiany ciśnienia: automatyczna z prędkością minimalną w szczycie zgodności – standard ustawień urządzenia przez producenta.

4.3.3. Szerokopasmowa tympanometria

Wyznaczane parametry:

- pomiary dokonywane w ciśnieniu otoczenia,
- absorbcja wyrażana w wartościach od 0 do 1 w funkcji częstotliwości w przedziale 226 Hz do 8000 kHz.

Warunki pomiarowe:

Właściwości tonu:

- ton o typie trzasku,
- częstotliwości tonów – szerokie pasmo tonów od 226 Hz do 8000 Hz (łącznie 107 tonów).

Ciśnienie powietrza:

- zakres wymuszonej zmiany ciśnienia powietrza w przewodzie słuchowym zewnętrznym: -600 daPa do 300 daPa,
- ciśnienie początkowe: 200 daPa,
- prędkość zmiany ciśnienia: automatyczna z prędkością minimalną w szczycie zgodności – standard ustawień urządzenia przez producenta.

Badanie oceniające funkcjonowanie narządu spiralnego.

4.3.4. Otoemisja akustyczna produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka

Wyznaczane parametry:

Stosunek uzyskanego sygnału do szumu SNR na częstotliwościach: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10 kHz mierzonych w kolejności malejącej.

Warunki pomiarowe:

- poziom bodźców L1/L2: 65/55 dB SPL,
- stosunek częstotliwości bodźców f_2/f_1 : 1.22,
- minimalna wiarygodność pomiaru DPOAE: 98%,
- pomiary rejestrowane na częstotliwościach: 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10 kHz w kolejności malejącej,
- czas podawania bodźca dla pojedynczej częstotliwości: 4 sekundy,
- czas trwania pomiaru dla wszystkich częstotliwości: do osiągnięcia założonej wartości stosunku sygnału do szumu SNR na wszystkich badanych częstotliwościach ale nie dłużej niż 30 sekund.

4.3.5. Urządzenie Titan

Wszystkie testy audiometryczne przeprowadzono za pomocą urządzenia wielofunkcyjnego Titan (Interacoustics, Middelfart, Denmark, rysunek 5). Umożliwia ono wykonywanie jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz, szerokopasmowej immitancji akustycznej oraz otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w rozszerzonej wersji klinicznej. Model ten współpracuje z oprogramowaniem komputerowym OtoAccess 1.5 pozwalającym na archiwizowanie i analizę badań oraz modulem badawczym służącym do szczegółowego, numerycznego zapisu wyników szerokopasmowej absorbancji.



Rysunek 5. Urządzenie wielofunkcyjne Titan firmy Interacoustics
Źródło: www.interacoustics.com.

Zastosowano dedykowany do urządzenia Titan zestaw silikonowych, różnowymiarowych, jednorazowych wkładek wewnątrzprzewodowych, dobieranych indywidualnie w zależności od średnicy wejścia do kanału słuchowego zewnętrznego badanego dziecka.

Kalibracja urządzenia pomiarowego wykonywana była każdego dnia przed rozpoczęciem badań według protokołu zawartego w instrukcji obsługi. Podczas całego procesu badawczego nie zarejestrowano rozkalibrowania lub awarii urządzenia w żadnym z modułów.

4.4. Metody i narzędzia statystyczne

Analizę statystyczną przeprowadzono z wykorzystaniem programu STATISTICA v. 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, Ca, USA) i arkusza kalkulacyjnego EXCEL.

Zgodność rozkładu parametrów ilościowych (wiek, MEP, MEC, itp.) z rozkładem normalnym sprawdzono testem Shapiro-Wilka. Jako krytyczny poziom istotności przyjęto $p < 0,05$.

Istotność różnic wartości przeciętnych parametrów o rozkładzie odbiegającym istotnie od normalnego lub o niejednorodnych wariancjach w dwóch grupach sprawdzono korzystając z testu U Manna-Whitneya.

Hipotezy o braku współzależności cech jakościowych testowano za pomocą testu chi-kwadrat Pearsona. Za istotną korelację między zmiennymi przyjmowano wynik testu: $p < 0,05$.

Do określenia siły i kierunku korelacji liniowych między dwiema zmiennymi ciągłymi wykorzystano analizę regresji opartą na współczynniku korelacji liniowej r Pearsona. Do oszacowania wartości współczynników regresji zastosowano metodę najmniejszych kwadratów.

Do oceny siły korelacji użyto skali według J. Guilforda:

$|r| = 0$ brak korelacji

$0,0 < |r| \leq 0,1$ korelacja nikła

$0,1 < |r| \leq 0,3$ korelacja słaba

$0,3 < |r| \leq 0,5$ korelacja przeciętna

$0,5 < |r| \leq 0,7$ korelacja wysoka

$0,7 < |r| \leq 0,9$ korelacja bardzo wysoka

$0,9 < |r| \leq 1,0$ korelacja niemal pełna

$|r| = 1$ korelacja pełna (korelacja w pełni liniowa)

Całkowity zakres par czułości i swoistości jako dychotomicznego podziału zmiennych ciągłych przedstawiono w postaci krzywych ROC. Ocenę dokładności diagnostycznej testu wyrażono jedną liczbą – wielkością pola pod krzywą ROC- AUC (area under the curve).

W analizie krzywych ROC jako kryterium wyboru optymalnego punktu odcięcia przyjęto wskaźnik Youdena: $J = (\text{czułość} + \text{swoistość} - 1)$.

W odniesieniu do uzyskanego wyniku typu REFER dla DPOAE w zastosowanych wariantach przesiewowym i szczegółowym dla jednego wybranego punktu odcięcia (cut-off) na krzywej ROC dla poszczególnych zmiennych obu testów tympanometrycznych a także dla opracowanych modeli logistycznych obliczono i porównano następujące parametry:

- wskaźniki trafności testu: czułość (Sens.), swoistość (Spec.) oraz pole pod krzywą ROC- AUC (area under the curve),
- wskaźnik wiarygodności testu dodatniego (LR+),
- wartość predykcyjną wyniku dodatniego (PPV),
- iloraz szans (OR, odds ratio).

Dla uproszczenia w tekście zastosowano także ogólną nazwę „miary jakości testu” określającą łącznie wszystkie wymienione wyżej wskaźniki.

Dla wszystkich parametrów mierzalnych danych testów audiometrycznych obliczono wartości średnie (M), odchylenia standardowe (SD), mediany (Me), kwartyle dolny (Q1) i górny (Q3) oraz wartości ekstremalne: najmniejszą (Min) i największą (Max).

Dla zmiennych jakościowych (klasyczna ocena grupowa A, A+, B, C1 oraz C2 dla SLFT-226 Hz) obliczono licznosci (n) i odsetek (%) i zebrano je w tabelach krzyżowych (wielodzielczych).

Do opisu zależności między wartościami zmiennych objaśniających (wynikami badań SLFT-226 Hz i WBA) a prawdopodobieństwem uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE wykorzystano regresję logistyczną. Wartości współczynników regresji logistycznej oszacowano metodą największej wiarygodności wykorzystując metodę eliminacji wstecznej.

4.5. Metodologia

Realizując cele pośrednie oraz cel główny wykonano przedstawione poniżej analizy.

Określono charakter powiązań pomiarów między poszczególnymi rodzajami tympanometrii a DPOAE dokonano przez ocenę uzyskanych wartości współczynników korelacji Pearsona osobno dla parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz absorbancją szerokopasmową w odniesieniu do maksymalnych wartości SNR dla DPOAE.

Przeprowadzono ocenę możliwości obu rodzaju tympanometrii do różnicowania wyników REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka. W tym celu porównano wartości median i rozstępów kwartylowych poszczególnych parametrów mierzonych w SLFT-226 Hz oraz absorbancji szerokopasmowej w odniesieniu do wyników REFER oraz PASS dla DPOAE.

Obie metody tympanometryczne oceniono pod względem możliwości oszacowania na ich podstawie prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariacie szczegółowym i przesiewowym. W tym celu obliczono wartości następujących parametrów trafności i wiarygodności testu: czułość (Sens.), swoistość (Spec.), wartość predykcyjną wyniku dodatniego (PPV), wskaźnik wiarygodności testu dodatniego (LR+) oraz iloraz szans (OR) z 95% zakresem ufności. Oceniono również dokładność prognoz badań za pomocą wartości pola AUC pod krzywą ROC. Dla wariantu przesiewowego

DPOAE określono wszystkie z wymienianych miar natomiast dla wariantu szczegółowego DPOAE ze względu na dużą liczbę badanych pasm DPOAE ograniczono analizę do czułości i swoistości testu wraz z polem pod wykresem krzywej ROC.

Opracowano modele logistyczne oparte na optymalnych wybranych parametrach dla obu metod tympanometrycznych służące do szacowania uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym i dla nich również obliczono wybrane parametry trafności i wiarygodności testów.

Analiz dokonano w odniesieniu do wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym i szczegółowym. Warunki uzyskania wyniku typu REFER przedstawiono poniżej. Wynik określony jako typ PASS dla DPOAE to każdy wynik inny niż wynik typu REFER. Wynik typu PASS uważany jest za prawidłowy.

Wariant przesiewowy

Warunkiem uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym była obecność $SNR < 8$ dB na jednej lub więcej z czterech badanych pasm 2,3,4,5 kHz. W odniesieniu do tego wyniku przeanalizowano parametry trafności i wiarygodności testu dla MEP, MEC, TW, oraz grup A, A+, B, C1 i C2 w klasycznej ocenie SLFT-226 Hz jak również WBA mierzona w badaniu WBT.

Wariant szczegółowy

Warunkiem uzyskania wyniku typ REFER dla DPOAE w wariancie szczegółowym była obecność $SNR < 6$ dB. Na każdym badanym paśmie DPOAE 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 8; 9; 10 kHz przeanalizowano parametry trafności i wiarygodności testu dla MEP, MEC i TW mierzonych w SLFT-226 Hz oraz częstotliwości absorbancji szerokopasmowej wybranej na podstawie optymalnego punktu odcięcia krzywej ROC.

Potwierdzenie braku niedosłuchu na poziomie narządu spiralnego uzyskano na podstawie otrzymania prawidłowego pierwszorazowego lub kontrolnego wyniku badania DPOAE. Kontrolne badanie otoemisji akustycznej wykonywano po 14 dniach od uzyskania pierwszorazowego nieprawidłowego wyniku. Ryzyko, że w tym okresie pojawił się i ustąpił niedosłuch typu odbiorczego jest niewielkie i można je pominąć. Dzieci, u których w badaniach kontrolnych powtórzył się wynik typu REFER dla DPOAE traktowano jako pacjentów z podejrzeniem niedosłuchu ślimakowego czyli spełniających pierwsze z ustalonych kryteriów wyłączenia z eksperymentu medycznego.

Na przeprowadzenie projektu badawczego uzyskano zgodę komisji bioetycznej nr KB – 762/2018.

5. WYNIKI

Korzystając z przedstawionych wcześniej narzędzi i metod statystycznych przeprowadzono obliczenia oraz analizy porównawcze uzyskanych pomiarów, których wyniki zaprezentowano poniżej.

5.1. Statystyka ogólna badanej grupy pacjentów

W wyniku zastosowanych kryteriów włączenia i wyłączenia z eksperymentu medycznego ostatecznie ocenie statystycznej poddano wyniki badań audiometrycznych 281 dzieci w wieku 3 do 7 lat (543 uszu). Podstawowe statystyki opisowe cech charakteryzujących badaną grupę zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe cech charakteryzujących badaną grupę dzieci

Parametr	N = 543
Wiek (rok życia)	
<i>M</i> ± <i>SD</i>	4,7 ± 1,4
<i>Me</i> [<i>Q1</i> ; <i>Q3</i>]	4 [3; 6]
<i>Min</i> – <i>Max</i>	3 – 7
Liczba uszu	
dziewczynek, <i>n</i> (%)	219 (41,1%)
chłopców, <i>n</i> (%)	324 (58,9%)
Liczba uszu	
lewych, <i>n</i> (%)	269 (49,5%)
prawych, <i>n</i> (%)	274 (50,5%)

N - liczebność, % - proporcja, *M* - średnia arytmetyczna, *SD* - odchylenie standardowe, *Me* - mediana (50%), *Q1* - kwartył dolny (25%), *Q3* - kwartył górny (75%), *Min* - wartość najmniejsza, *Max* - wartość największa

Źródło: opracowanie własne.

Wśród badanych dzieci stwierdzono większą liczbę chłopców niż dziewczynek. Nie zauważono istotnej różnicy w liczbie uszu prawych i lewych.

5.2. Korelacje pomiędzy wynikami pomiarów zastosowanych rodzajów badań tympanometrycznych a maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka

5.2.1. Korelacje pomiędzy wynikami pomiarów wybranych parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz a maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka

Oceniano korelacje pomiędzy wynikami pomiarów parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz takich jak ciśnienie szczytowe ucha środkowego, impedancja ucha środkowego oraz szerokość krzywej tympanometrycznej a maksymalną wartość stosunku sygnału do szumu uzyskanych dla wszystkich badanych uszu na zastosowanych 10 pasmach testowych otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona r zamieszczono w tabeli 2.

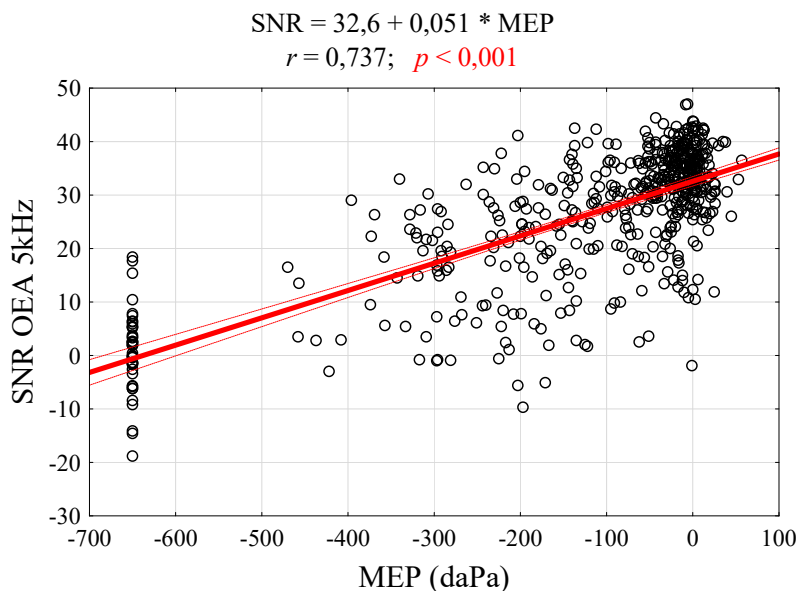
Tabela 2. Wartości współczynników korelacji Pearsona między wynikami pomiarów SNR dla DPOAE i parametrami mierzonymi w SLFT-226 Hz

Pasma (kHz)	MEP (daPa)	MEC (ml)	TW (daPa)
0,5	0,243	0,084	-0,143
1,0	0,560	0,223	-0,417
2,0	0,696	0,298	-0,612
3,0	0,672	0,341	-0,643
4,0	0,703	0,327	-0,647
5,0	0,737	0,339	-0,677
6,0	0,694	0,390	-0,693
8,0	0,495	0,317	-0,525
9,0	0,455	0,278	-0,485
10,0	0,372	0,214	-0,377

Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie wartości współczynników korelacji były różne od zera przy poziomie istotności statystycznej $p < 0,001$. W każdym przypadku dla ciśnienia szczytowego i impedancji ucha środkowego miały kierunek dodatni natomiast dla szerokości krzywej tympanometrycznej ujemny. Najsilniejszą korelację pomiędzy wartością SNR a MEP odnotowano przy częstotliwości 5,0 kHz DPOAE – wartość współczynnika korelacji wyniosła 0,737. Diagram korelacyjny między ciśnieniem szczytowym ucha środkowego

a maksymalną wartością SNR otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przy częstotliwości 5 kHz oraz wartość współczynnika korelacji Pearsona i równanie prostej regresji zaprezentowano na rysunku 6.



Rysunek 6. Diagram korelacyjny między ciśnieniem szczytowym ucha środkowego a maksymalną wartością SNR otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przy częstotliwości 5 kHz oraz wartość współczynnika korelacji Pearsona i równanie prostej regresji
 Źródło: opracowanie własne.

Najsilniejszą korelację pomiędzy wartością SNR a impedancją ucha środkowego jak również szerokością krzywej tympanometrycznej odnotowano przy częstotliwości 6,0 kHz dla DPOAE. Zgodnie ze skalą Guilforda siłę korelacji na pasmach testowych 2,3,4,5 i 6 kHz DPOAE zakwalifikowano jako bardzo wysoką lub wysoką dla MEP i TW natomiast słabą i przeciętną dla MEC na wszystkich pasmach testowych DPOAE.

5.2.2. Korelacje pomiędzy wynikami pomiarów szerokopasmowej absorpcji a maksymalnymi wartościami stosunku sygnału do szumu uzyskanymi w otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka

Oceniono korelacje pomiędzy uzyskanymi wartościami szerokopasmowej absorpcji na wszystkich 107 badanych częstotliwościach a wartością maksymalną stosunku sygnału do szumu na zastosowanych 10 częstotliwościach testowych otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka dla wszystkich badanych uszu. Wartości współczynników korelacji liniowej Pearsona r zamieszczono w tabelach 3-15.

Tabela 3. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasmo (kHz)	WBA 226 Hz	WBA 257 Hz	WBA 281 Hz	WBA 297 Hz	WBA 324 Hz	WBA 343 Hz	WBA 364 Hz	WBA 386 Hz
0,5	0,240	0,239	0,237	0,236	0,236	0,234	0,230	0,228
1,0	0,419	0,420	0,419	0,415	0,411	0,408	0,405	0,404
2,0	0,319	0,321	0,319	0,315	0,310	0,304	0,299	0,296
3,0	0,310	0,311	0,309	0,307	0,304	0,299	0,297	0,297
4,0	0,299	0,299	0,297	0,293	0,288	0,282	0,279	0,277
5,0	0,321	0,318	0,313	0,307	0,300	0,292	0,286	0,282
6,0	0,256	0,255	0,252	0,247	0,241	0,234	0,229	0,226
8,0	0,199	0,196	0,190	0,183	0,176	0,170	0,166	0,162
9,0	0,193	0,189	0,184	0,176	0,170	0,163	0,159	0,157
10,0	0,218	0,214	0,207	0,199	0,192	0,185	0,180	0,177

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasmo (kHz)	WBA 408 Hz	WBA 433 Hz	WBA 458 Hz	WBA 472 Hz	WBA 500 Hz	WBA 515 Hz	WBA 545 Hz	WBA 561 Hz	WBA 578 Hz
0,5	0,227	0,229	0,234	0,240	0,246	0,253	0,259	0,267	0,273
1,0	0,404	0,407	0,412	0,419	0,427	0,436	0,447	0,458	0,468
2,0	0,295	0,296	0,298	0,302	0,308	0,316	0,323	0,332	0,342
3,0	0,297	0,297	0,299	0,303	0,310	0,318	0,327	0,335	0,345
4,0	0,277	0,278	0,281	0,287	0,295	0,304	0,312	0,322	0,333
5,0	0,282	0,283	0,286	0,293	0,301	0,310	0,319	0,328	0,338
6,0	0,225	0,225	0,227	0,231	0,236	0,242	0,248	0,255	0,263
8,0	0,160	0,160	0,160	0,162	0,164	0,167	0,168	0,171	0,176
9,0	0,155	0,155	0,156	0,159	0,161	0,164	0,166	0,169	0,174
10,0	0,175	0,174	0,174	0,177	0,180	0,184	0,187	0,191	0,197

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasmo (kHz)	WBT 595 Hz	WBT 630 Hz	WBT 648 Hz	WBT 667 Hz	WBT 687 Hz	WBT 707 Hz	WBT 728 Hz	WBT 749 Hz	WBT 771 Hz
0,5	0,277	0,283	0,290	0,300	0,309	0,316	0,322	0,326	0,330
1,0	0,477	0,487	0,497	0,509	0,522	0,534	0,545	0,554	0,562
2,0	0,352	0,362	0,372	0,384	0,396	0,408	0,419	0,431	0,442
3,0	0,354	0,363	0,372	0,382	0,392	0,401	0,410	0,418	0,427
4,0	0,344	0,355	0,365	0,375	0,385	0,396	0,406	0,415	0,423
5,0	0,348	0,359	0,369	0,378	0,388	0,398	0,409	0,419	0,429
6,0	0,273	0,282	0,292	0,301	0,310	0,319	0,330	0,341	0,351
8,0	0,182	0,188	0,194	0,199	0,204	0,210	0,218	0,226	0,235
9,0	0,180	0,187	0,193	0,198	0,204	0,211	0,218	0,226	0,234
10,0	0,203	0,209	0,214	0,219	0,224	0,229	0,235	0,242	0,249

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBT 794 Hz	WBT 817 Hz	WBT 841 Hz	WBT 866 Hz	WBT 891 Hz	WBT 917 Hz	WBT 944 Hz	WBT 972 Hz	WBT 1000 Hz
0,5	0,333	0,336	0,338	0,340	0,342	0,345	0,348	0,350	0,351
1,0	0,570	0,577	0,583	0,590	0,598	0,607	0,615	0,623	0,628
2,0	0,452	0,461	0,470	0,479	0,489	0,500	0,511	0,522	0,533
3,0	0,435	0,442	0,449	0,456	0,463	0,471	0,478	0,485	0,490
4,0	0,431	0,438	0,445	0,452	0,460	0,469	0,477	0,485	0,492
5,0	0,439	0,447	0,455	0,463	0,472	0,482	0,492	0,501	0,509
6,0	0,361	0,369	0,376	0,383	0,391	0,399	0,408	0,417	0,425
8,0	0,242	0,248	0,253	0,257	0,261	0,266	0,272	0,278	0,285
9,0	0,240	0,245	0,249	0,251	0,253	0,256	0,260	0,264	0,269
10,0	0,255	0,260	0,263	0,264	0,265	0,266	0,266	0,267	0,268

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 7. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA – Częstotliwość (Hz)								
	1029	1059	1091	1122	1155	1189	1224	1260	1297
0,5	0,350	0,348	0,346	0,342	0,338	0,333	0,328	0,322	0,316
1,0	0,631	0,632	0,632	0,632	0,631	0,629	0,627	0,623	0,619
2,0	0,542	0,551	0,560	0,568	0,577	0,586	0,593	0,599	0,604
3,0	0,494	0,498	0,502	0,506	0,511	0,515	0,519	0,523	0,527
4,0	0,498	0,503	0,508	0,513	0,518	0,522	0,526	0,530	0,534
5,0	0,515	0,521	0,527	0,532	0,538	0,543	0,547	0,551	0,554
6,0	0,432	0,440	0,448	0,457	0,465	0,473	0,480	0,486	0,491
8,0	0,291	0,298	0,305	0,314	0,323	0,332	0,340	0,346	0,350
9,0	0,273	0,278	0,284	0,291	0,298	0,304	0,309	0,313	0,315
10,0	0,270	0,272	0,276	0,280	0,284	0,287	0,289	0,290	0,289

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 8. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA – Częstotliwość (Hz)								
	1335	1374	1414	1456	1498	1542	1587	1634	1682
0,5	0,310	0,303	0,297	0,291	0,285	0,278	0,271	0,262	0,254
1,0	0,615	0,611	0,606	0,600	0,592	0,584	0,575	0,565	0,554
2,0	0,609	0,612	0,616	0,617	0,618	0,618	0,617	0,615	0,611
3,0	0,531	0,536	0,540	0,543	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554
4,0	0,538	0,541	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,546	0,546
5,0	0,557	0,560	0,561	0,562	0,562	0,562	0,560	0,558	0,555
6,0	0,496	0,500	0,503	0,505	0,506	0,506	0,506	0,506	0,506
8,0	0,353	0,356	0,358	0,359	0,360	0,361	0,362	0,363	0,365
9,0	0,317	0,318	0,318	0,317	0,315	0,312	0,311	0,310	0,311
10,0	0,288	0,286	0,284	0,283	0,281	0,280	0,279	0,280	0,280

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 9. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA – Częstotliwość (Hz)								
	1731	1782	1834	1888	1943	2000	2059	2119	2181
0,5	0,245	0,237	0,231	0,226	0,221	0,217	0,211	0,206	0,199
1,0	0,542	0,530	0,516	0,503	0,487	0,471	0,455	0,440	0,426
2,0	0,606	0,600	0,593	0,586	0,578	0,569	0,559	0,551	0,544
3,0	0,556	0,557	0,559	0,561	0,563	0,565	0,567	0,571	0,577
4,0	0,544	0,543	0,542	0,543	0,543	0,544	0,546	0,549	0,553
5,0	0,551	0,546	0,541	0,536	0,531	0,526	0,522	0,518	0,517
6,0	0,505	0,503	0,502	0,501	0,499	0,497	0,494	0,493	0,494
8,0	0,366	0,367	0,367	0,367	0,365	0,362	0,359	0,356	0,354
9,0	0,312	0,313	0,314	0,314	0,313	0,311	0,308	0,306	0,305
10,0	0,280	0,280	0,280	0,278	0,276	0,272	0,269	0,266	0,264

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 10. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA – Częstotliwość (Hz)								
	2245	2311	2378	2448	2520	2594	2670	2748	2828
0,5	0,193	0,186	0,180	0,174	0,170	0,167	0,165	0,164	0,163
1,0	0,415	0,408	0,403	0,401	0,402	0,403	0,404	0,405	0,406
2,0	0,540	0,538	0,538	0,539	0,541	0,545	0,550	0,556	0,562
3,0	0,584	0,592	0,600	0,605	0,609	0,610	0,610	0,608	0,607
4,0	0,559	0,567	0,575	0,583	0,590	0,598	0,607	0,617	0,630
5,0	0,518	0,522	0,527	0,533	0,540	0,549	0,560	0,575	0,591
6,0	0,498	0,502	0,508	0,514	0,522	0,530	0,542	0,556	0,571
8,0	0,353	0,353	0,353	0,354	0,356	0,361	0,370	0,382	0,396
9,0	0,305	0,308	0,311	0,316	0,322	0,330	0,339	0,352	0,367
10,0	0,264	0,263	0,263	0,263	0,263	0,263	0,266	0,272	0,281

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 11. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA – Częstotliwość (Hz)								
	2911	2997	3084	3175	3268	3364	3462	3564	3668
0,5	0,163	0,165	0,167	0,168	0,169	0,168	0,167	0,166	0,166
1,0	0,406	0,406	0,406	0,406	0,407	0,408	0,410	0,411	0,412
2,0	0,568	0,572	0,574	0,575	0,575	0,574	0,571	0,567	0,563
3,0	0,605	0,603	0,601	0,600	0,600	0,599	0,597	0,593	0,588
4,0	0,642	0,655	0,667	0,678	0,689	0,698	0,703	0,704	0,703
5,0	0,609	0,626	0,642	0,658	0,674	0,690	0,704	0,713	0,720
6,0	0,588	0,604	0,620	0,636	0,652	0,668	0,682	0,693	0,703
8,0	0,413	0,431	0,448	0,466	0,484	0,502	0,518	0,532	0,545
9,0	0,384	0,403	0,421	0,439	0,457	0,475	0,491	0,505	0,518
10,0	0,292	0,304	0,318	0,331	0,345	0,360	0,374	0,385	0,395

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 12. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA - Częstotliwość (Hz)								
	3776	3886	4000	4117	4238	4362	4490	4621	4757
0,5	0,167	0,168	0,168	0,167	0,163	0,157	0,149	0,139	0,127
1,0	0,414	0,416	0,417	0,416	0,411	0,401	0,388	0,371	0,350
2,0	0,561	0,560	0,559	0,557	0,551	0,542	0,528	0,510	0,488
3,0	0,582	0,577	0,572	0,565	0,556	0,544	0,527	0,507	0,483
4,0	0,700	0,697	0,692	0,684	0,673	0,658	0,639	0,616	0,589
5,0	0,725	0,728	0,727	0,724	0,716	0,703	0,684	0,661	0,634
6,0	0,711	0,717	0,722	0,724	0,724	0,720	0,714	0,704	0,690
8,0	0,556	0,568	0,580	0,592	0,606	0,620	0,634	0,647	0,655
9,0	0,530	0,541	0,552	0,563	0,575	0,589	0,602	0,614	0,622
10,0	0,405	0,414	0,423	0,431	0,439	0,447	0,455	0,461	0,465

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 13. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

Pasma (kHz)	WBA - Częstotliwość (Hz)								
	4896	5040	5187	5339	5496	5657	5823	5993	6169
0,5	0,112	0,095	0,078	0,060	0,042	0,027	0,014	0,004	-0,003
1,0	0,325	0,296	0,266	0,237	0,209	0,186	0,165	0,147	0,131
2,0	0,461	0,429	0,396	0,363	0,331	0,301	0,272	0,244	0,219
3,0	0,454	0,422	0,389	0,357	0,328	0,301	0,275	0,252	0,231
4,0	0,558	0,523	0,488	0,453	0,420	0,389	0,360	0,334	0,311
5,0	0,602	0,567	0,530	0,495	0,462	0,431	0,402	0,376	0,352
6,0	0,672	0,649	0,625	0,599	0,573	0,547	0,521	0,495	0,471
8,0	0,658	0,656	0,649	0,641	0,630	0,617	0,600	0,582	0,562
9,0	0,627	0,627	0,624	0,619	0,612	0,602	0,589	0,573	0,556
10,0	0,466	0,463	0,459	0,454	0,448	0,441	0,432	0,422	0,412

Źródło: opracowanie własne.

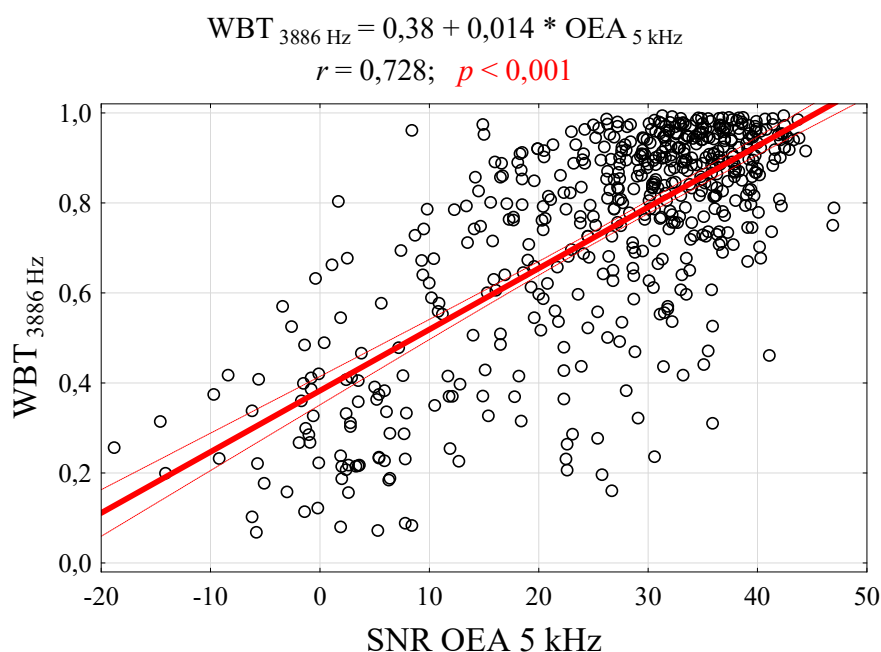
Tabela 14. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych

DPOA E (kHz)	WBA - Częstotliwość (Hz)								
	6350	6556	6727	6924	7127	7336	7551	7772	8000
0,5	-0,007	-0,008	-0,007	-0,003	0,003	0,012	0,024	0,033	0,039
1,0	0,118	0,106	0,097	0,091	0,089	0,093	0,099	0,106	0,111
2,0	0,197	0,176	0,159	0,145	0,137	0,134	0,135	0,136	0,137
3,0	0,212	0,196	0,182	0,172	0,166	0,164	0,165	0,166	0,167
4,0	0,291	0,274	0,259	0,248	0,242	0,240	0,241	0,242	0,243
5,0	0,331	0,312	0,296	0,283	0,276	0,275	0,277	0,280	0,282
6,0	0,448	0,425	0,404	0,385	0,370	0,361	0,355	0,350	0,347
8,0	0,542	0,521	0,500	0,480	0,463	0,449	0,438	0,429	0,422
9,0	0,539	0,522	0,505	0,488	0,473	0,461	0,450	0,441	0,435
10,0	0,403	0,394	0,386	0,380	0,375	0,372	0,369	0,367	0,364

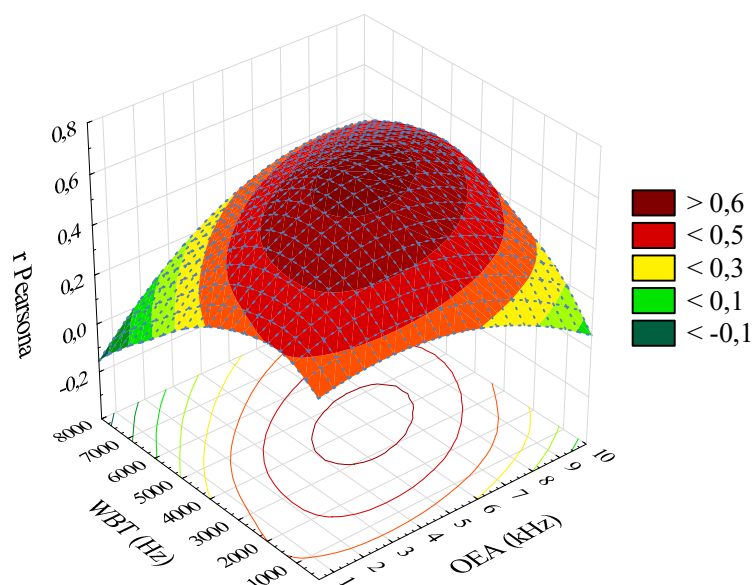
Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie wartości współczynników korelacji były różne od zera przy poziomie istotności statystycznej $p < 0,001$ i w zdecydowanej większości miały kierunek dodatni.

Najwyższe wartości współczynnika korelacji Pearsona określane jako wysokie rejestrowano w przedziale częstotliwości absorbcji szerokopasmowej od około 3 kHz do 5 kHz dla następujących pasm testowych DPOAE: 4, 5, 6, 8 kHz. Maksymalną wartość współczynnika korelacji wynoszącą $r = 0,728$ stwierdzono na częstotliwości absorbcji 3886 Hz. Była ona powiązana z pasmem testowym 5 kHz dla DPOAE. Diagram korelacyjny między ciśnieniem szczytowym ucha środkowego a maksymalną wartością SNR otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przy częstotliwości 5 kHz oraz wartość współczynnika korelacji Pearsona z równaniem prostej regresji przedstawiono na rysunku 7. Graficzną prezentację rozkładu wartości współczynnika korelacji Pearsona w funkcji częstotliwości absorbcji i pasm testowych DPOAE zobrazowano na rysunku 8.



Rysunek 7. Diagram korelacyjny między ciśnieniem szczytowym ucha środkowego (MEP) a maksymalną wartością SNR otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przy częstotliwości 5 kHz oraz wartość współczynnika korelacji Pearsona i równanie prostej regresji
Źródło: opracowanie własne.



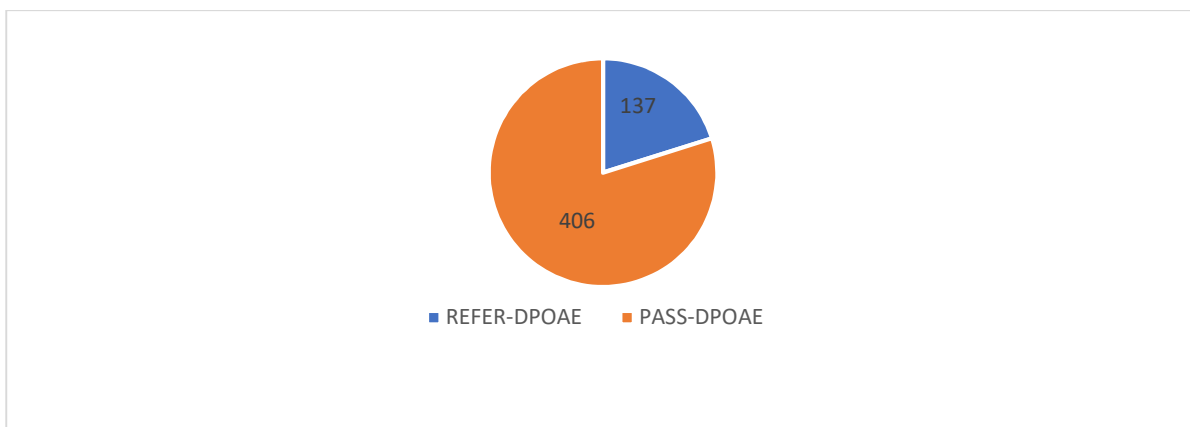
Rysunek 8. Współczynniki korelacji liniowej r w funkcji częstotliwości WBT i OAE
 Źródło: opracowanie własne.

Wartości współczynnika korelacji $r < 0,08$ określane jako nikłe i w niektórych przypadkach dodatkowo o kierunku ujemnym odnotowano wyłącznie w przedziale częstotliwości absorbcyjności 5178-8000 Hz dla pasma testowego DPOAE wynoszącego 0,5 kHz. Dane te ze względu na niewielką ich liczbę ($n=16$) stanowiącą zaledwie 0,149% całości uzyskanych wyników ($n=1070$) można pominąć.

5.3. Określenie możliwości różnicowania wyników REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w wariancie przesiewowym za pomocą absorbcyjności szerokopasmowej oraz jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz

Przeprowadzono ocenę możliwości obu rodzaju tympanometrii do różnicowania wyników REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka. W tym celu określono wartości median i rozstępów kwartylowych poszczególnych parametrów mierzonych w SLFT-226 Hz oraz WBA w odniesieniu do wyników REFER oraz PASS dla DPOAE.

W badanej grupie 281 dzieci (543 uszu) w wieku 3-7 lat, liczba uszu spełniających warunki wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wyniosła 137 (25,2%). Graficznie strukturę badanych pacjentów pod względem wyniku otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przedstawia rysunek 9.



Rysunek 9. Liczba uszu z wynikiem typu REFER i PASS dla DPOAE w wariancie przesiewowym w badanej grupie pacjentów
 Źródło: opracowanie własne.

Podstawowe statystyki uzyskanych wyników dotyczących poszczególnych mierzonych parametrów oraz grup klasycznej oceny jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz przedstawiono w tabeli 15.

Tabela 15. Podstawowe statystyki uzyskanych wyników dotyczących poszczególnych mierzonych parametrów oraz grup klasycznej oceny jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz

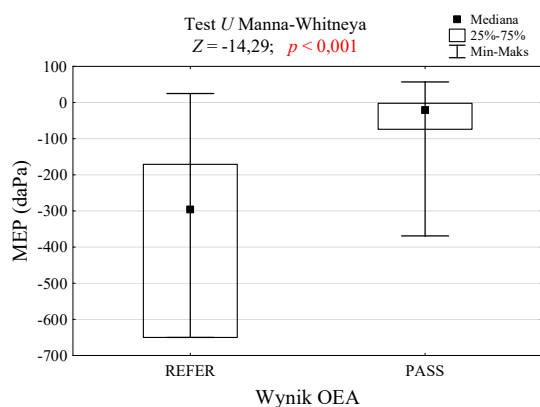
Parametr	Wszystkie uszy <i>N</i> = 543	Wynik DPOAE		Wynik testu <i>p</i>
		refer <i>N</i> = 137	pass <i>N</i> = 406	
MEP (daPa)				
<i>M</i> ± <i>SD</i>	-126,6 ± 184,6	-350,0 ± 227,0	-51,4 ± 76,3	<0,001
<i>Me</i> [<i>Q</i> 1; <i>Q</i> 3]	-43 [-182; -7]	-296 [-650; -171]	-21 [-74; -2]	
<i>Min</i> - <i>Max</i>	<-600 - 57	<-600 - 25	-369 - 57	
MEC (ml)				
<i>M</i> ± <i>SD</i>	0,51 ± 0,29	0,33 ± 0,32	0,58 ± 0,25	<0,001
<i>Me</i> [<i>Q</i> 1; <i>Q</i> 3]	0,49 [0,34; 0,67]	0,27 [0,00; 0,52]	0,53 [0,40; 0,71]	
<i>Min</i> - <i>Max</i>	0,00 - 2,37	0,00 - 1,34	0,16 - 2,37	
TW (daPa)				
<i>M</i> ± <i>SD</i>	177,3 ± 141,7	333,8 ± 205,8	124,4 ± 39,5	<0,001
<i>Me</i> [<i>Q</i> 1; <i>Q</i> 3]	125 [106; 160]	306 [129; 600]	119 [102; 140]	
<i>Min</i> - <i>Max</i>	32 - >600	66 - >600	32 - 375	
Klasyczna ocena SLFT-226 Hz				
A, <i>n</i> (%)	306 56,4%	17 12,4%	289 71,2%	<0,001
A ⁺ , <i>n</i> (%)	41 7,6%	1 0,7%	40 9,8%	
B, <i>n</i> (%)	43 7,9%	43 31,4%	0 0,0%	
C1, <i>n</i> (%)	74 13,6%	24 17,5%	50 12,3%	
C2, <i>n</i> (%)	79 14,5%	52 38,0%	27 6,7%	

n - liczebność, % - proporcja, *M* - średnia arytmetyczna, *SD* - odchylenie standardowe, *Me* - mediana (50%), *Q*1 - kwartył dolny (25%), *Q*3 - kwartył górny (75%), *Min* - wartość najmniejsza, *Max* - wartość największa, *p* – poziom istotności testu

Źródło: opracowanie własne.

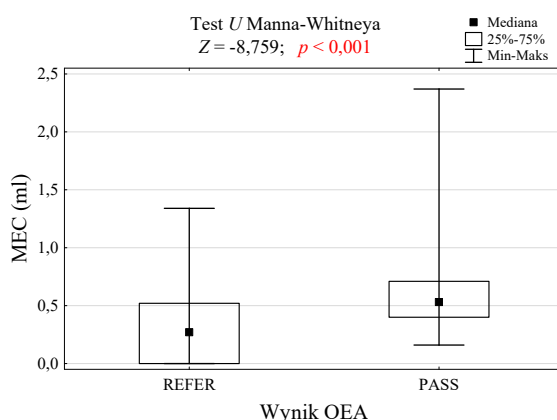
Na podstawie danych zawartych w tabeli 15 można stwierdzić, że w grupie uszu klasy A udział uszu z wynikiem DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym był istotnie mniejszy niż z wynikiem DPOAE-PASS (8,0% vs. 65,8%; $p < 0,001$), podobnie w klasie A⁺ (0,7% vs. 9,8%; $p < 0,001$). W grupie uszu klasy B udział uszu DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym był istotnie większy niż uszu DPOAE-PASS (31,4% vs. 0,0%; $p < 0,001$), podobnie w grupie uszu klasy C2 (38,0% vs. 6,7%; $p < 0,001$). W grupach uszu klasy C1 udział procentowy uszu z wynikami PASS i REFER był zbliżony.

Skonfrontowano poszczególne wartości pomiarów MEP, MEC i TW z uzyskanymi wynikami DPOAE-REFER i DPOAE-PASS w wariancie przesiewowym. Istotność różnic wartości dla ocenianych parametrów w dwóch grupach wyników DPOAE sprawdzono korzystając z testu U Manna-Whitney. Graficznie obliczone mediany (Me) z kwartylami dolnymi i górnymi przedstawiono na rysunkach 10-12.



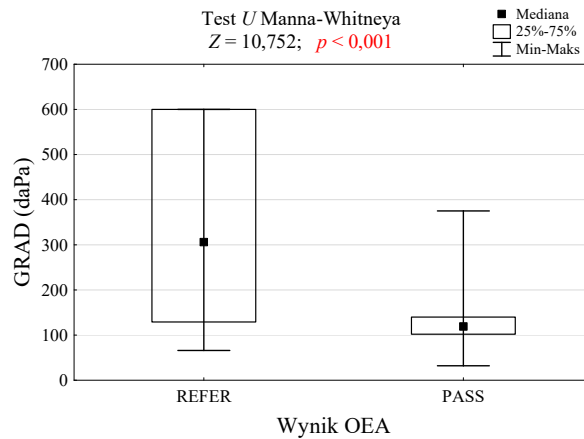
Rysunek 10. Wyniki pomiaru ciśnienia szczytowego ucha środkowego MEP w badaniu SLFT-226 Hz w grupach uszu różniących się oceną w badaniu przesiewowym DPOAE i wynik testu istotności

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 11. Wyniki pomiaru podatności ucha środkowego MEC w badaniu SLFT-226 Hz w grupach uszu różniących się oceną w badaniu przesiewowym DPOAE i wynik testu istotności

Źródło: opracowanie własne.

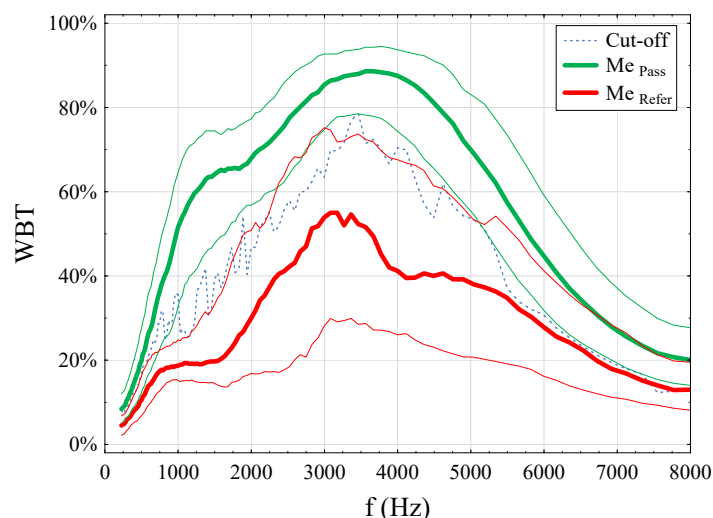


Rysunek 12. Wyniki pomiaru szerokości tympanogramu w badaniu SLFT-226 Hz w grupach uszu różniących się oceną w badaniu przesiewowym DPOAE i wynik testu istotności
 Źródło: opracowanie własne.

Analizując dane zaprezentowane na rysunkach 10-12 stwierdzono:

- mediana poziomu ciśnienia szczytowego ucha środkowego (MEP) w grupie uszu z wynikiem DPOAE-REFER w wariacie przesiewowym był istotnie niższy niż w grupie DPOAE-PASS (-296 vs. -21 daPa; $p < 0,001$),
- mediana podatności ucha środkowego (MEC) w grupie uszu z wynikiem DPOAE-REFER w wariacie przesiewowym była niższa (0,33 vs. 0,58 ml; $p < 0,001$) jednak ich różnica choć istotna statystycznie nie była duża,
- mediana szerokości tympanogramu w grupie uszu z wynikiem DPOAE-REFER w wariacie przesiewowym był istotnie wyższy (306 vs. 119 daPa; $p < 0,001$).

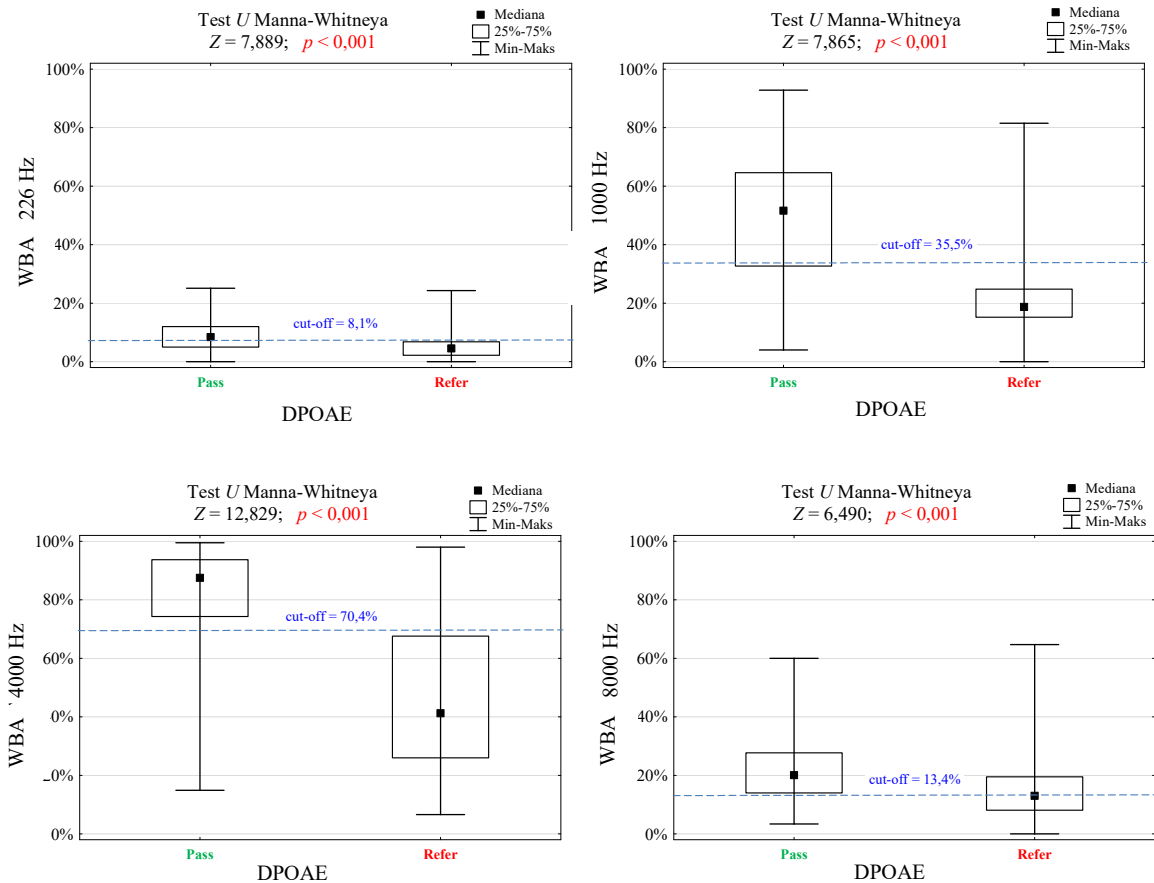
Porównano wartości absorbcji dla uszu z wynikiem PASS i REFER dla DPOAE w wariacie przesiewowym. Na rycinie 13 zaprezentowano mediany (Me) i rozstępy kwartyłowe (Q1-Q3) absorbcji szerokopasmowej zmierzonej w przedziale pasmowym od 226 do 8000 Hz w grupach uszu różniących się wynikiem badania DPOAE.



Rysunek 13. Mediany (Me) i rozstępy kwartylowe ($Q1$ - $Q3$) absorpcji szerokopasmowej zmierzonej w paśmie od 226 do 8000 Hz w grupach uszu różniących się wynikiem w badaniu DPOAE w wariancie przesiewowym
 Źródło: opracowanie własne.

Oceniając dane przedstawione na rysunku 13 zauważyć można w zakresie częstotliwości od około 550 Hz do około 5000 Hz wyraźną dysproporcję w wartościach median szerokopasmowej absorpcji dla uszu z wynikiem REFER vs PASS. Wartości median dla wyników REFER mają wyraźnie niższe wartości. Dodatkowo widoczna jest różnica przebiegu kwartyłu górnego $Q3$ dla wyników REFER i kwartyłu dolnego $Q2$ dla wyniku PASS w omawianym zakresie częstotliwości. Jedynym wyjątkiem jest nieznaczne nachodzenie na siebie obu wymienionych granic kwartyli w przedziale pasmowym 2200 Hz – 3000 Hz.

Na rycinie 14 zaprezentowano mediany (Me) i rozstępy kwartylowe ($Q1$ - $Q3$) WBA w grupach uszu różniących się wynikiem badania DPOAE w wariancie przesiewowym dla wybranych czterech częstotliwości: skrajnej początkowej 226 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz oraz skrajnej końcowej 8000 Hz.



Rysunek 14. Mediany (Me) i rozstępy kwartyłowe (Q1-Q3) WBA oraz wyniki testu istotności w grupach uszu różniących się wynikiem badania DPOAE w wariancie przesiewowym na częstotliwościach 226 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz i 8000 Hz szerokopasmowej absorbcyjności
 Źródło: opracowanie własne.

Dane zawarte na rysunku 14 obrazują szczegółowo tendencję zmian wartości absorbcyjności różnicującej wynik REFER vs. PASS dla DPOAE w zależności od częstotliwości z zakresu 226-8000 Hz. Na częstotliwościach skrajnych mediany są porównywalne a przedziały kwartyłowe nachodzą na siebie. Na częstotliwościach 1000 Hz i 4000 Hz mediany dla wyników REFER i PASS są wyraźnie różne a granice przedziałów kwartyłowych są od siebie oddalone.

5.4. Analiza porównawcza wybranych miar jakości testu dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz absorbancji szerokopasmowej w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w zastosowanych wariantach szczegółowym i przesiewowym

5.4.1. Analiza porównawcza wybranych miar jakości testu dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz absorbancji szerokopasmowej w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariacie szczegółowym.

W celu oceny wartości diagnostycznej obu rodzajów tympanometrii w szacowaniu uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariacie szczegółowym obliczono i porównano podstawowe wartości miar jakości testu:

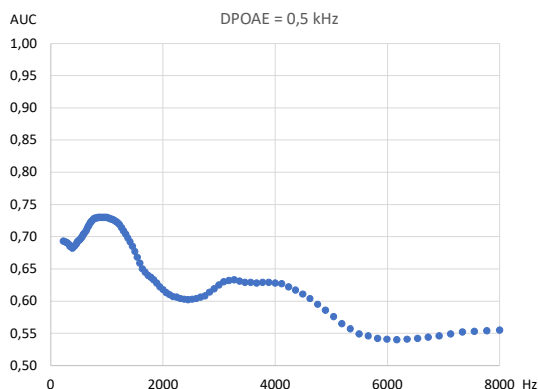
- wskaźniki trafności testu: czułość (Sens.), swoistość (Spec.),
- pole pod wykresem krzywej ROC (AUC-ROC).

Wyznaczone one zostały dla optymalnego punktu „cut-off” krzywych ROC opartych na uzyskanych wynikach pomiarów MEP, MEC i TW (mierzonych w badaniu SLFT-226 Hz) i absorbancji szerokopasmowej (mierzonej w badaniu WBT) kolejno dla wszystkich dziesięciu pasmach pomiarowych DPOAE. Warunki uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariacie diagnostycznym zaprezentowano w rozdziale „Metodologia”. Uzyskane wartości poszczególnych miar jakości testu przedstawiono w tabelach 16-25 dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz oraz dla szerokopasmowej absorbancji. Wartość pola pod krzywą ROC dla wybranego punktu odcięcia wyrażonego wartością absorbancji w zależności od częstotliwości WBA dla poszczególnych pasm pomiarowych DPOAE przedstawiono na rysunkach 15-24.

Tabela 16. Wyniki analizy krzywych ROC dla parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wersji diagnostycznej. Pasma DPOAE = 0,5 kHz

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -56 daPa	0,789	0,551	0,743
MEC	< 0,34 ml	0,789	0,278	0,576
TW	≥ 133 daPa	0,473	0,752	0,633
WBA 944 Hz	< 46,2%	0,722	0,678	0,730

Źródło: opracowanie własne.



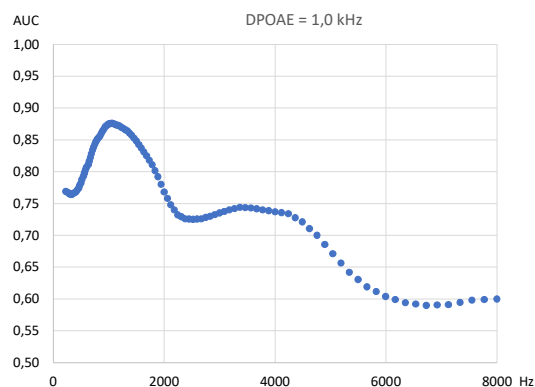
Rysunek 15. Wartość pola pod krzywą ROC dla wybranego punktu odcięcia w zależności od częstotliwości WBA (pasmo DPOAE = 0,5 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 17. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 1,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -64 daPa	0,828	0,855	0,885
MEC	< 0,32 ml	0,892	0,420	0,638
TW	≥ 167 daPa	0,485	0,927	0,719
WBR 1029 Hz	< 38,1%	0,808	0,855	0,876

Źródło: opracowanie własne.



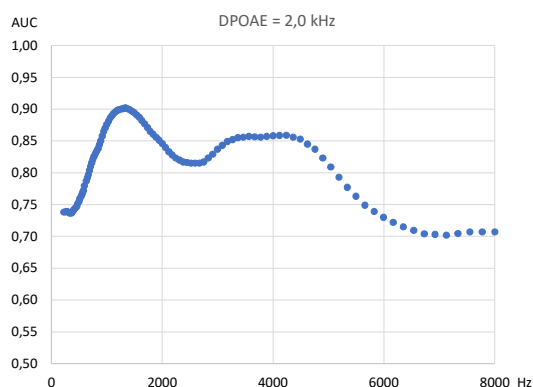
Rysunek 16. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 1,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 18. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 2,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -121 daPa	0,806	0,899	0,927
MEC	< 0,31 ml	0,899	0,651	0,803
TW	≥ 182 daPa	0,716	0,922	0,858
WBT 1335 Hz	< 26,9%	0,878	0,798	0,902

Źródło: opracowanie własne.



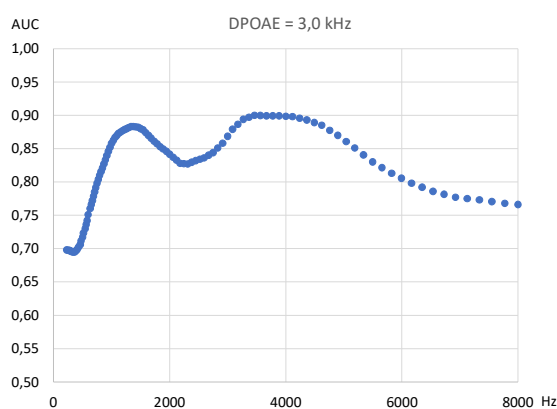
Rysunek 17. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 2,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 19. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 3,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -121 daPa	0,773	0,929	0,918
MEC	< 0,31 ml	0,885	0,738	0,851
TW	≥ 223 daPa	0,798	0,952	0,901
WBT 3462 Hz	< 61,0%	0,887	0,774	0,900

Źródło: opracowanie własne.



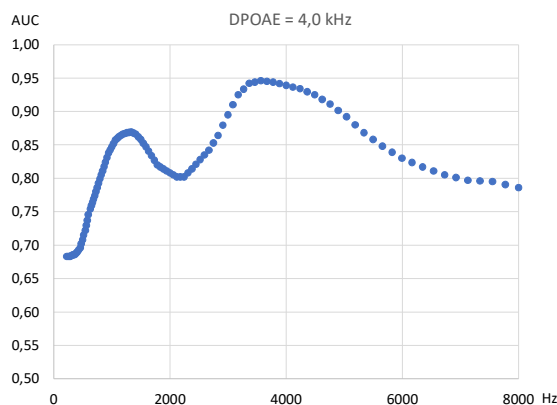
Rysunek 18. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 3,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 20. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 4,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -165 daPa	0,808	0,898	0,919
MEC	< 0,23 ml	0,931	0,729	0,874
TW	≥ 240 daPa	0,814	0,928	0,901
WBT 3564 Hz	< 66,0%	0,838	0,966	0,946

Źródło: opracowanie własne.



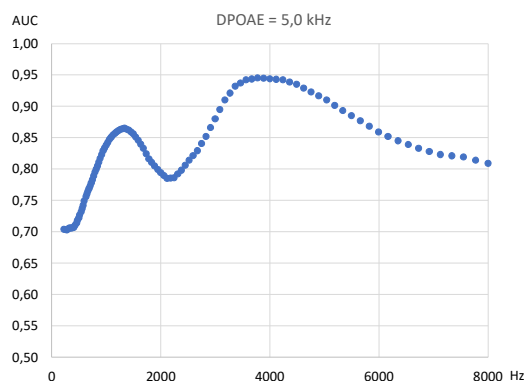
Rysunek 19. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 4,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 21. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 5,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -165 daPa	0,813	0,903	0,926
MEC	< 0,26 ml	0,911	0,758	0,884
TW	≥ 216 daPa	0,839	0,915	0,920
WBT 3886 Hz	< 58,6%	0,863	0,935	0,945

Źródło: opracowanie własne.



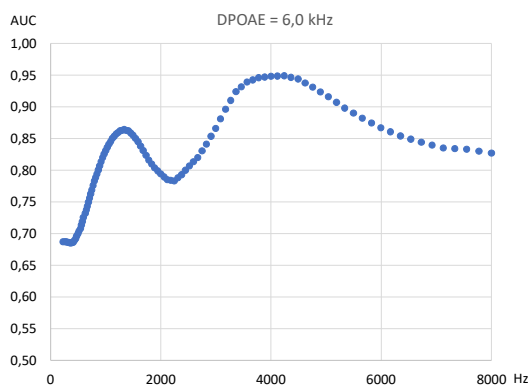
Rysunek 20. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 5,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 22. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 6,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -121 daPa	0,757	0,957	0,925
MEC	< 0,23 ml	0,941	0,700	0,879
TW	≥ 216 daPa	0,843	0,928	0,924
WBT 4117 Hz	< 59,8%	0,849	0,957	0,949

Źródło: opracowanie własne.



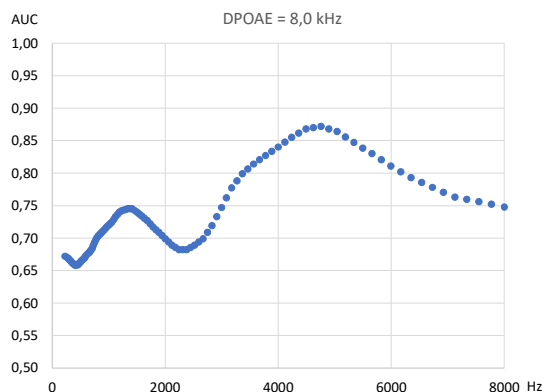
Rysunek 21. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 6,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 23. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 8,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -165 daPa	0,834	0,623	0,775
MEC	< 0,35 ml	0,848	0,598	0,765
TW	≥ 216 daPa	0,623	0,895	0,792
WBT 4621 Hz	< 60,0%	0,800	0,828	0,873

Źródło: opracowanie własne.



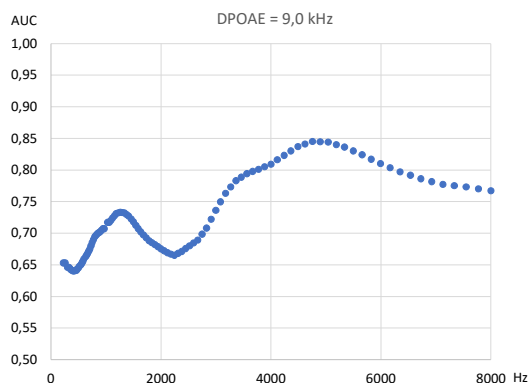
Rysunek 22. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 8,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 24. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 9,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -121 daPa	0,787	0,633	0,773
MEC	< 0,34 ml	0,862	0,487	0,711
TW	≥ 190 daPa	0,538	0,943	0,771
WBT 4896 Hz	< 57,5%	0,790	0,785	0,846

Źródło: opracowanie własne.



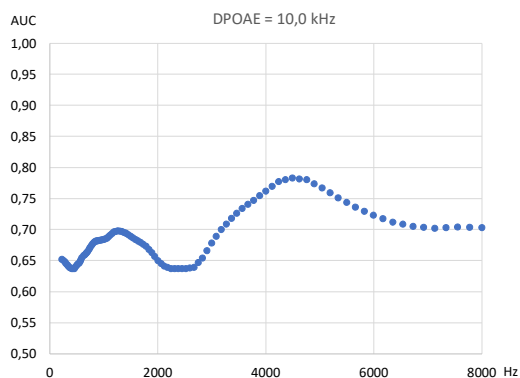
Rysunek 23. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 9,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 25. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 10,0 kHz)

Parametr	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC
MEP	< -108 daPa	0,785	0,577	0,719
MEC	< 0,44 ml	0,691	0,568	0,656
TW	≥ 192 daPa	0,418	0,955	0,707
WBT 4621 Hz	< 61,4%	0,812	0,648	0,784

Źródło: opracowanie własne.



Rysunek 24. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 10,0 kHz)

Źródło: opracowanie własne.

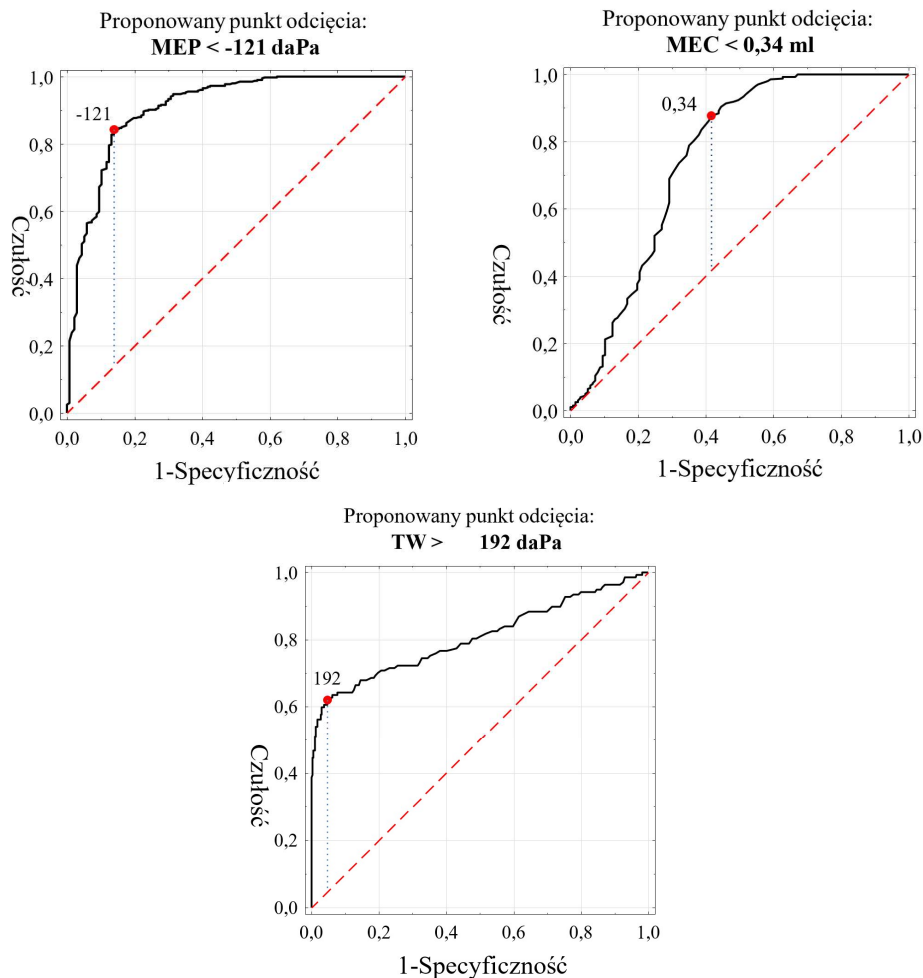
Wybierając do porównań zaprezentowane w tabelach 16-25 i rycinach 15-24 najwyższe wartości czułości testu oraz pola pod krzywą ROC uzyskanych dla MEC, MEP lub TW i absorbancji szerokopasmowej zauważyć można, że są one zbliżone. Arytmetyczne różnice między mini nie osiągają 0,1 maksymalnej możliwej do uzyskania wartości wymienionych miar jakości testu na każdej badanej częstotliwości DPOAE. Natomiast specyficzność testu dla szerokości tympanogramu na częstotliwościach 2,3,9 i 10 kHz DPOAE ma istotnie wyższe wartości niż dla pozostałych parametrów tympanometrycznych. Jedynie na częstotliwościach 4, 5 i 6 kHz DPOAE dorównują im wartości uzyskane dla absorbancji szerokopasmowej. Dodatkowo wykazano, że wyznaczone optymalne punkty odcięcia związane były z wartościami absorbancji szerokopasmowej na częstotliwościach każdorazowo niższych od 5 kHz. Same natomiast wartości absorbancji szerokopasmowej, poniżej których osiągnięto optymalne wartości parametrów trafności i jakości testu aż na siedmiu z dziesięciu pasmach testowych DPOAE (od 3 do 10 kHz) wynosiły około 60%.

5.4.2. Analiza porównawcza wybranych parametrów trafności i dokładności testu dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej oraz szerokopasmowej absorbancji akustycznej w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym.

W celu oceny wartości diagnostycznej parametrów MEP, MEC i TW mierzonych badaniem SLFT-226 Hz w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym obliczono wartości następujących miar jakości testu:

- czułość (Sens.),
- swoistość (Spec.),
- pole pod wykresem krzywej ROC (AUC-ROC),
- wskaźnik wiarygodności testu dodatniego (LR+),
- wskaźnik wartości predykcyjnej wyniku dodatniego (PPV).

Wyznaczone one zostały dla optymalnych punktów „cut-off” krzywych ROC opartych na uzyskanych wynikach pomiarów MEP, MEC i TW. Warunki uzyskania wyniku typu REFER-DPOAE w wariancie przesiewowym zaprezentowano w rozdziale „Metodologia”. Krzywe ROC dla poszczególnych parametrów SLFT-226 Hz zaprezentowano zbiorczo na rysunku 25.



Rysunek 25. Krzywe ROC do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym dla parametrów mierzonych w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz (MEP, MEC i TW)

Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wartości poszczególnych miar jakości testu wraz z punktami odcięcia „cut-off” krzywych ROC dla parametrów ilościowych MEP, MEC i TW jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz przedstawiono w tabeli 26.

Tabela 26. Wartości wybranych miar jakości testu wyznaczone dla parametrów ilościowych MEP, MEC i TW mierzonych w SLFT-226 Hz w odniesieniu do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym

Parametr SLFT-226 Hz	Cut-off	Sens.	Spec.	AUC	LR(+)	PPV
MEP	< -121 daPa	0,842	0,861	0,908	6,1	0,947
MEC	< 0,34 ml	0,877	0,584	0,750	2,1	0,862
TW	≥ 192 daPa	0,62	0,953	0,807	13,2	0,817

Źródło: opracowanie własne.

Analogiczne obliczenia przeprowadzono dla wyników klasycznej oceny jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz. Wyniki zostały

zaprezentowane w tabeli 27. Miało to na celu określenie istotności grup klasyfikacyjnych do opracowania modelu logistycznego zaprezentowanego w dalszej części pracy.

Tabela 27. Wartości miar jakości testu wyznaczone dla parametrów jakościowych – grup tradycyjnej klasyfikacji SLFT-226 Hz w odniesieniu do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym

Ocena jakościowa SLFT-226 Hz	p	Sens.	Spec.	PPV	LR(+)
A	<0,001	0,92	0,658	0,699	2,69
A+	<0,001	0,271	0,976	0,981	11,11
B	<0,001	0,818	0,977	0,991	36,51
C1	<0,001	0,324	0,759	0,821	1,35
C2	<0,001	0,658	0,817	0,934	3,59

Źródło: opracowanie własne.

W celu oceny wartości diagnostycznej absorbancji szerokopasmowej mierzonej w ciśnieniu otoczenia na 107 częstotliwościach w zakresie od 226 Hz do 8000 Hz w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym obliczono wartości następujących miar jakości testu:

- czułość (Sens.),
- swoistość (Spec.)
- pole pod wykresem krzywej ROC (AUC-ROC) – zaprezentowano tylko dla wybranych wyróżniających się częstotliwości WBA
- wskaźniki wiarygodności testu dodatniego (LR+)
- wskaźniki wartości predykcyjnej wyniku dodatniego (PPV)

Wyznaczone one zostały dla optymalnego punktu „cut-off” krzywych ROC opartych na uzyskanych wynikach pomiarów absorbancji szerokopasmowej. Warunki uzyskania wyniku typu REFER-DPOAE w wariancie przesiewowym zaprezentowano w rozdziale „Metodologia”. Uzyskane wartości miar jakości testu w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wyznaczonych dla szerokopasmowej absorbancji w przedziale częstotliwości 226-8000 Hz przedstawiono w tabeli 28.

Tabela 28. Wartości miar jakości testu w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wyznaczonych dla szerokopasmowej absorbancji w przedziale częstotliwości 226-8000 Hz

Częstotliwość absorbancji szerokopasmowej	Wartość absorbancji dla punktu Cut-off	Sens.	Spec.	LR(+)	PPV
226 Hz	< 8,1%	0,539	0,861	3,89	0,920
257 Hz	< 7,2%	0,635	0,774	2,81	0,893
281 Hz	< 8,2%	0,616	0,796	3,01	0,899

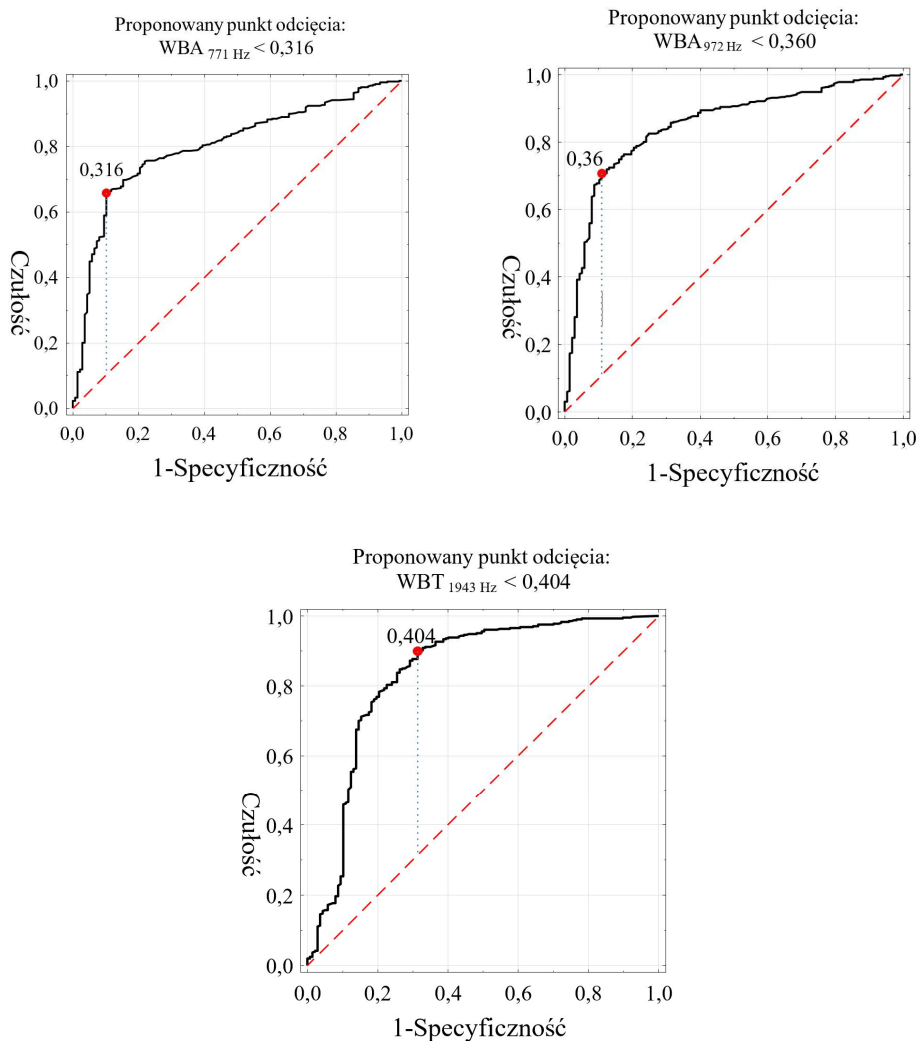
Częstotliwość absorbancji szerokopasmowej	Wartość absorbancji dla punktu Cut-off	Sens.	Spec.	LR(+)	PPV
297 Hz	< 8,3%	0,643	0,774	2,84	0,894
324 Hz	< 9,3%	0,623	0,796	3,05	0,900
343 Hz	< 10,0%	0,628	0,788	2,97	0,898
364 Hz	< 11,2%	0,606	0,803	3,07	0,901
386 Hz	< 12,1%	0,603	0,803	3,06	0,901
408 Hz	< 11,9%	0,660	0,745	2,58	0,884
433 Hz	< 13,1%	0,650	0,759	2,70	0,889
459 Hz	< 14,2%	0,645	0,766	2,76	0,891
472 Hz	< 15,1%	0,650	0,759	2,70	0,889
500 Hz	< 16,8%	0,631	0,781	2,88	0,895
515 Hz	< 18,2%	0,621	0,803	3,15	0,903
545 Hz	< 19,1%	0,628	0,81	3,31	0,907
561 Hz	< 19,4%	0,658	0,781	3,00	0,899
578 Hz	< 19,8%	0,680	0,766	2,91	0,896
595 Hz	< 21,0%	0,677	0,781	3,09	0,902
630 Hz	< 22,5%	0,670	0,796	3,28	0,907
648 Hz	< 23,8%	0,670	0,818	3,67	0,916
667 Hz	< 24,9%	0,667	0,832	3,98	0,922
687 Hz	< 24,3%	0,690	0,825	3,94	0,921
707 Hz	< 24,8%	0,692	0,825	3,95	0,921
728 Hz	< 28,6%	0,658	0,869	5,01	0,937
749 Hz	< 28,7%	0,672	0,869	5,12	0,938
771 Hz	< 31,6%	0,658	0,898	6,44	0,950
794 Hz	< 31,7%	0,670	0,891	6,12	0,948
817 Hz	< 25,4%	0,751	0,810	3,96	0,921
841 Hz	< 24,8%	0,759	0,810	4,00	0,922
866 Hz	< 29,4%	0,712	0,861	5,13	0,938
891 Hz	< 28,4%	0,736	0,854	5,04	0,937
917 Hz	< 29,0%	0,741	0,854	5,08	0,938
944 Hz	< 34,2%	0,709	0,883	6,07	0,947
972 Hz	< 36,0%	0,707	0,891	6,46	0,950
1000 Hz	< 35,5%	0,727	0,876	5,86	0,946
1029 Hz	< 26,2%	0,818	0,788	3,86	0,920
1059 Hz	< 27,4%	0,815	0,796	3,99	0,922
1091 Hz	< 27,0%	0,830	0,781	3,79	0,918
1122 Hz	< 25,5%	0,867	0,752	3,49	0,912
1155 Hz	< 25,8%	0,874	0,752	3,52	0,913
1189 Hz	< 27,1%	0,867	0,759	3,600	0,914
1224 Hz	< 28,7%	0,865	0,766	3,70	0,916
1260 Hz	< 36,6%	0,798	0,832	4,75	0,934
1297 Hz	< 37,5%	0,805	0,832	4,80	0,934
1335 Hz	< 39,6%	0,800	0,832	4,77	0,934
1374 Hz	< 41,8%	0,798	0,832	4,75	0,934
1414 Hz	< 31,1%	0,879	0,752	3,54	0,913

Częstotliwość absorpcji szerokopasmowej	Wartość absorpcji dla punktu Cut-off	Sens.	Spec.	LR(+)	PPV
1456 Hz	< 31,9%	0,882	0,752	3,55	0,913
1498 Hz	< 39,2%	0,840	0,788	3,97	0,922
1542 Hz	< 40,7%	0,837	0,796	4,10	0,924
1587 Hz	< 37,2%	0,860	0,774	3,8	0,918
1634 Hz	< 39,6%	0,852	0,781	3,89	0,920
1682 Hz	< 43,3%	0,833	0,796	4,07	0,923
1731 Hz	< 46,7%	0,818	0,803	4,15	0,925
1782 Hz	< 40,8%	0,879	0,723	3,17	0,904
1834 Hz	< 41,6%	0,879	0,715	3,09	0,902
1888 Hz	< 54,1%	0,778	0,818	4,27	0,927
1943 Hz	< 40,4%	0,899	0,686	2,86	0,895
2000 Hz	< 46,8%	0,869	0,715	3,05	0,901
2059 Hz	< 46,8%	0,879	0,708	3,01	0,899
2119 Hz	< 51,5%	0,837	0,752	3,37	0,909
2181 Hz	< 53,1%	0,820	0,759	3,41	0,910
2245 Hz	< 55,1%	0,813	0,759	3,37	0,909
2311 Hz	< 50,4%	0,877	0,672	2,67	0,888
2378 Hz	< 51,8%	0,879	0,65	2,51	0,881
2448 Hz	< 55,7%	0,845	0,679	2,63	0,886
2520 Hz	< 57,9%	0,840	0,686	2,68	0,888
2594 Hz	< 55,5%	0,884	0,628	2,38	0,876
2670 Hz	< 60,0%	0,865	0,657	2,52	0,882
2748 Hz	< 60,1%	0,882	0,657	2,57	0,884
2828 Hz	< 62,4%	0,879	0,679	2,74	0,890
2911 Hz	< 65,6%	0,874	0,686	2,79	0,892
2997 Hz	< 63,4%	0,894	0,664	2,66	0,888
3084 Hz	< 69,8%	0,855	0,715	3,00	0,899
3175 Hz	< 69,7%	0,852	0,723	3,07	0,901
3268 Hz	< 71,6%	0,842	0,745	3,3	0,907
3364 Hz	< 76,9%	0,773	0,810	4,08	0,924
3462 Hz	< 78,6%	0,749	0,832	4,46	0,930
3564 Hz	< 71,4%	0,842	0,730	3,12	0,902
3668 Hz	< 72,4%	0,815	0,766	3,49	0,912
3776 Hz	< 70,1%	0,842	0,752	3,39	0,910
3886 Hz	< 66,5%	0,867	0,730	3,21	0,905
4000 Hz	< 70,4%	0,820	0,781	3,75	0,917
4117 Hz	< 69,9%	0,796	0,796	3,89	0,920
4238 Hz	< 63,0%	0,845	0,737	3,22	0,905
4362 Hz	< 57,1%	0,879	0,686	2,80	0,893
4490 Hz	< 53,7%	0,889	0,679	2,77	0,891
4621 Hz	< 61,9%	0,768	0,781	3,51	0,912
4757 Hz	< 56,5%	0,810	0,737	3,08	0,901
4896 Hz	< 54,3%	0,800	0,737	3,05	0,900
5040 Hz	< 53,4%	0,771	0,752	3,11	0,902

Częstotliwość absorbancji szerokopasmowej	Wartość absorbancji dla punktu Cut-off	Sens.	Spec.	LR(+)	PPV
5187 Hz	< 51,2%	0,749	0,73	2,77	0,891
5339 Hz	< 45,7%	0,773	0,657	2,25	0,870
5496 Hz	< 37,1%	0,850	0,562	1,94	0,852
5657 Hz	< 33,9%	0,852	0,547	1,88	0,848
5823 Hz	< 32,1%	0,820	0,555	1,84	0,845
5993 Hz	< 30,8%	0,776	0,591	1,90	0,849
6169 Hz	< 27,6%	0,781	0,569	1,81	0,843
6350 Hz	< 25,3%	0,778	0,569	1,81	0,843
6536 Hz	< 23,2%	0,776	0,562	1,77	0,840
6727 Hz	< 21,2%	0,778	0,547	1,72	0,836
6924 Hz	< 19,4%	0,768	0,555	1,73	0,836
7127 Hz	< 17,9%	0,759	0,555	1,70	0,835
7336 Hz	< 16,7%	0,756	0,562	1,73	0,837
7551 Hz	< 12,3%	0,860	0,460	1,59	0,825
7772 Hz	< 12,7%	0,825	0,496	1,64	0,829
8000 Hz	< 13,4%	0,793	0,526	1,67	0,832

Źródło: opracowanie własne.

Dla częstotliwości wyróżniających się pod względem uzyskanych wartości przedstawiono na rysunku 26 wykresy krzywych ROC wraz z wartością pola AUC-ROC, proponowanym punktem odcięcia „cut-off” oraz pozostałymi oznaczonymi parametrami miar jakości testu.



Rysunek 26. Krzywe ROC do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym dla wyników pomiarów szerokopasmowej absorbancji wyróżniających się częstotliwości 771 Hz, 972 Hz i 1943 Hz

Źródło: opracowanie własne.

Analizując uzyskane wartości miar jakości testu zaprezentowanych w tabeli 28 i rysunku 26 stwierdzono:

- największą czułość o wartości 89,9% zarejestrowano na częstotliwości 1943 Hz,
- największą swoistość o wartości 89,8% zarejestrowano na częstotliwości 771 Hz,
- największą wartość współczynnika wiarygodności dodatniej testu $LR(+)$ = 6,46 zarejestrowano dla absorbancji przy częstotliwości 972 Hz,
- największą wartością predykcyjną wyniku dodatniego PPV = 95,0% zarejestrowano na częstotliwościach 771 i 972 Hz,

- największą progową wartość absorbancji w pomiarach szerokopasmowych wynoszącą 78,9% zarejestrowano na częstotliwości 3462 Hz.

5.5. Analiza porównawcza modeli logistycznych wyznaczonych do szacowania uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wariancie przesiewowym dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej i szerokopasmowej absorbancji

5.5.1. Model logistyczny dla SLFT-226 Hz

Opracowano model logistyczny oceny prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wersji przesiewowej. Do tego celu wykorzystano zarówno wybrane zmienne ilościowe jak i zmienne jakościowe istotne w analizie jednoczynnikowej jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz (tabela 27). Niezbędne dla opracowania modelu logistycznego wyniki regresji logistycznej jedno- i wieloczynnikowej prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym szacowanego na podstawie parametrów SLFT-226 Hz zamieszczono w tabeli 29.

Tabela 29. Wyniki regresji logistycznej jedno- i wieloczynnikowej prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym szacowanego na podstawie parametrów SLFT-226 Hz

SLFT-226 Hz	Regresja jednoczynnikowa		Regresja wieloczynnikowa		
	b	p	beta	p	OR (95% CI)
MEP (daPa)	-0,014	<0,001	-0,009	<0,001	0,99 (0,99-1,00)
MEC (ml)	-4,022	<0,001	0,188	0,756	-
TW (daPa)	0,016	<0,001	0,007	0,001	1,01 (1,00-1,01)
Klasyczna ocena gr A	-3,091	<0,001	-1,028	0,016	0,36 (0,16-0,83)
Klasyczna ocena gr A ⁺ ,	-2,699	0,008	-1,423	0,205	-
Klasyczna ocena gr C2	2,150	<0,001	0,090	0,865	-

Źródło: opracowanie własne.

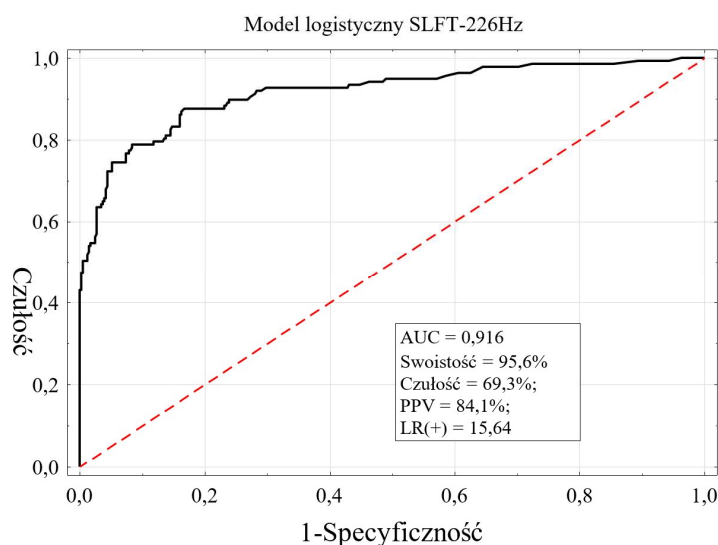
Należy zaznaczyć, że wszystkie przypadki uszu z wynikiem typ B uzyskały wynik typu REFER dla DPOAE natomiast z wynikiem typu C1 charakteryzowały się podobnym udziałem wyników REFER i PASS i z tego powodu nie włączono ich do modelu logistycznego.

Niezależnymi czynnikami wpływającymi na prawdopodobieństwo uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym okazały się: brak uzyskania wyniku tympanometrii typ A, wartość MEP oraz wartość TW. Model logistyczny

pozwalający oszacować prawdopodobieństwo REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym na podstawie trzech wyników analizy SLFT-226 Hz przyjmuje postać:

$$\text{Logit } P\{Y = \text{"refer"}|1\} = -3,25 - 1,028 * \text{klasyczna ocean A} - 0,009 * \text{MEP} + 0,007 * \text{TW}$$

Krzywą ROC zaprezentowanego wyżej modelu logistycznego wraz z wartościami pola powierzchni pod krzywą (AUC), czułością, swoistością, wartością predykcyjną wyniku dodatniego oraz wskaźnikiem wiarygodności testu dodatniego przedstawiono na rysunku 27.



Rysunek 27. Krzywa ROC modelu logistycznego opartego na wybranych wynikach badań jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz opracowanego do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wraz z wartościami pola powierzchni pod krzywą (AUC), czułością, swoistością, wartością predykcyjną wyniku dodatniego oraz wskaźnikiem wiarygodności testu dodatniego
Źródło: opracowanie własne.

Obliczono ponad to wartość ilorazu szans (OR) z 95% zakresem ufności dla opracowanego modelu logistycznego (Tabela 30). Uzyskano wynik wynoszący 47,1 (95% CI = 26,0-85,4).

Tabela 30. Wartość ilorazu szans z 95% zakresem ufności dla modelu logistycznego opartego na wybranych parametrach SLFT-226 Hz

Model logistyczny	DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym		p	OR (95% CI)
	Tak N = 137	Nie N = 406		
SLFT-226 Hz(3 parametry)				
Tak	94 (68,6%)	18 (4,4%)	<0,001	47,1 (26,0-85,4)
Nie	43 (31,4%)	388 (95,6%)		

Źródło: opracowanie własne.

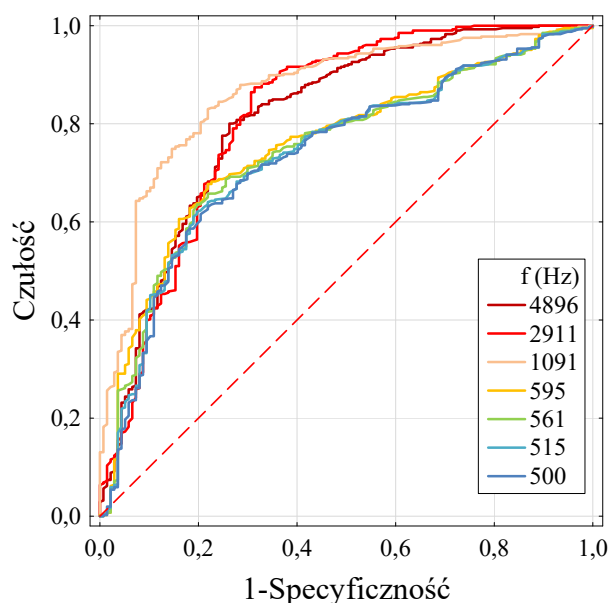
Oceniając dane zawarte na rysunku 27 i w tabeli 30 można stwierdzić, że opracowany model logistyczny charakteryzuje się wysokimi wartościami miar jakości testu w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym.

5.5.2. Model logistyczny dla szerokopasmowej absorbcji

Na podstawie uzyskanych wyników analizy statystycznej wyselekcjonowano optymalne częstotliwości dla absorbcji szerokopasmowej, które posłużyły do opracowania modelu logistycznego pozwalającego oszacować prawdopodobieństwo uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym. Przyjmuje on postać:

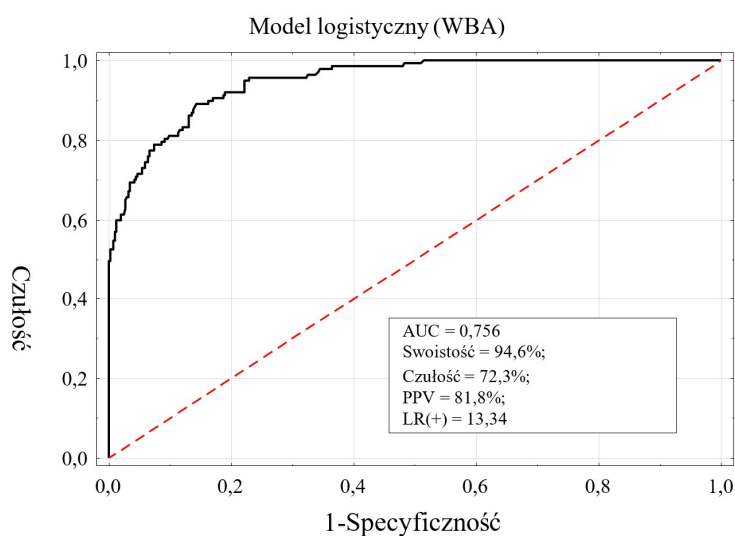
$$\text{Logit } P\{Y = \text{„refer”}|1\} = 7,55 + 262,4 * \text{WBT}_{500 \text{ Hz}} - 425,0 * \text{WBT}_{515 \text{ Hz}} + 254,5 * \text{WBT}_{561 \text{ Hz}} - 85,9 * \text{WBT}_{595 \text{ Hz}} - 7,6 * \text{WBT}_{1091 \text{ Hz}} - 3,8 * \text{WBT}_{2911 \text{ Hz}} - 5,8 * \text{WBT}_{4896 \text{ Hz}}$$

Model oparty jest na uzyskanych wartościach absorbcji szerokopasmowej jedynie 7 (500, 515, 561, 595, 1091, 2911 i 4896 Hz) ze 107 mierzonych częstotliwości. Zbiorcze przedstawienie krzywych ROC dla wyszczególnionych częstotliwości zaprezentowano na rysunku 28.



Rysunek 28. Krzywe ROC dla szerokopasmowej absorbcji mierzonej na częstotliwościach 500, 515, 561, 595, 1091, 2911 i 4896 Hz wykorzystanych do opracowania modelu logistycznego Źródło: opracowanie własne
Źródło: opracowanie własne.

Krzywą ROC modelu logistycznego opartego na zaprezentowanych wyżej częstotliwościach opracowanego do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wraz z wartościami pola powierzchni pod krzywą (AUC), czułością, swoistością, wartością predykcijną wyniku dodatniego oraz wskaźnikiem wiarygodności testu dodatniego przedstawiono na rysunku 29.



Rysunek 29. Krzywa ROC modelu logistycznego opartego na wybranych częstotliwościach szerokopasmowej absorbancji opracowanego do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wraz z wartościami pola powierzchni pod krzywą (AUC), czułością, swoistością, wartością predykcijną wyniku dodatniego oraz wskaźnikiem wiarygodności testu dodatniego

Źródło: opracowanie własne.

Obliczono również wartości ilorazu szans z 95% zakresem ufności dla opracowanego modelu logistycznego (Tabela 31). Uzyskano wynik wynoszący 56,6 (95% CI =13,3-240,8).

Tabela 31. Wartość ilorazu szans z 95% zakresem ufności dla modelu logistycznego opartego na wartościach absorbancji na wyselekcjonowanych częstotliwości pomiarowych

Model logistyczny	DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym		p	OR (95% CI)
	Tak N = 137	Nie N = 406		
WBT (wartość absorbancji na 7 częstotliwościach)				
Tak	30 (21,9%)	2 (0,5%)	<0,001	56,6 (13,3-240,8)
Nie	107 (78,1%)	404 (99,5%)		

Źródło: opracowanie własne.

Oceniając dane zawarte na rysunki 29 i w tabeli 31 można stwierdzić, że opracowany model logistyczny charakteryzuje się wysokimi wartościami miar jakości testu w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym.

5.5.3. Porównanie wartości diagnostycznej modeli logistycznych WBA i SLFT-226 Hz

Uzyskane wartości miar jakości testów SLFT-226 Hz i WBA opartych na opracowywanych modelach logistycznych służących do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym przedstawiono zbiorczo w tabeli 32.

Tabela 32. Uzyskane wartości miar jakości testów dla modeli logistycznych SLFT-226 Hz i WBA

Model logistyczny	Czułość	Swoistość	PPV	LR(+)	OR (95% CI)	AUC
SLFT-226 Hz	69,3%	95,6%	84,1	15,6	47,1 (26,0-85,4)	0,916
WBA	72,3%	94,6	81,8	13,34	56,6 (13,3-240,8)	0,756

Źródło: opracowanie własne.

Oceniając dane zawarte w tabeli 32 można zauważyć, że wyniki swoistości, wskaźnika wiarygodności testu dodatniego, wskaźnika wartości predykcyjnej wyniku dodatniego oraz pola pod krzywą ROC (AUC) wykazują większe wartości dla modelu logistycznego jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz. Jedynie czułość i iloraz szans przedstawiają lepsze wyniki dla modelu logistycznego szerokopasmowej absorbancji. Jednak pomimo obecności różnic nie stwierdzono wyraźnych odmienności pomiędzy uzyskanymi wartościami miar jakości testów dla modeli logistycznych analizowanych rodzajów tympanometrii.

6. DYSKUSJA

6.1. Grupa wiekowa pacjentów poddanych eksperymentowi medycznemu

W dostępnej literaturze o tematyce audiologicznej można znaleźć publikacje dotyczące badań audiometrycznych u dzieci w wieku 3-7 lat (93, 94) lub w zbliżonym przedziale wiekowym (75,95). Jest to wyrazem potrzeby prowadzenia nieustannych analiz testów słuchowych u przedszkolaków i dzieci wczesnoszkolnych. Istnieje jednak bardzo wiele doniesień, w których zastosowane przedziały wiekowe są szerokie, niekiedy nawet obejmujące dzieci i osoby dorosłe (96–98). Prawdopodobnie wynika to z dostępu do różnorodnego wiekowo profilu pacjentów w poszczególnych ośrodkach prowadzących badania oraz chęci uogólnienia i zuniwersalizowania wyników analiz niezależnie od wieku badanych osób. Jednak brak jasno określonych, ujednoliconych i stosowanych powszechnie przedziałów wiekowych oraz często niewystarczająco jasno wyjaśniony wybór analizowanej grupy ogranicza lub nawet uniemożliwia przeprowadzenie rzetelnych porównań pomiędzy wynikami uzyskanymi przez poszczególnych autorów. Dotyczy to szczególnie badań prowadzonych wśród tak zróżnicowanej rozwojowo grupy pacjentów jakimi są dzieci. Wyjątkiem są pacjenci do pierwszego roku życia, u których powszechnie stosowany jest wyraźny podział na noworodki i niemowlęta czasem uszczegółowiony dodatkowo o dzieci do szóstego miesiąca życia. W badaniach dotyczących tympanometrii wynika to głównie ze specyficznej budowy przewodu słuchowego zewnętrznego mającego wpływ na przeprowadzane badania audiometryczne. Należy dokładać wszelkich starań aby osiągnąć podobne standardy odnośnie każdej grupy wiekowej małych pacjentów. Z tego powodu we wstępie tej pracy ściśle sprecyzowano przedział wiekowy i merytorycznie wyjaśniono jego wybór. Pozwoli to na wykorzystanie zgromadzonych wyników przez innych badaczy. Ułatwi także ich zastosowanie w planowanych dalszych eksperymentach medycznych autora.

Ogólna analiza statystyczna badanej w tym eksperymencie medycznym grupy dzieci wykazuje większą liczbę chłopców niż dziewczynek co jest zgodne z strukturą demograficzną ludności Polski w tym przedziale wiekowym (99). Jednak odnotowany udział procentowy pacjentów płci męskiej jest znacznie wyższy. Wymaga to potwierdzenia dodatkowymi badaniami oraz przeprowadzenia analizy pod względem ustalenia

potencjalnych przyczyn częstszego występowania schorzeń otologicznych u dzieci płci męskiej w wieku 3-7 lat.

6.2. Zastosowane kryteria uzyskania poszczególnych wariantów wyniku REFER dla DPOAE

Test szczegółowy

Niemal nieograniczona dowolność w wyborze rodzaju badanych częstotliwości, ich liczby oraz wartości progów SNR dostępna jest w urządzeniach diagnostycznych. Korzystając z możliwości aparatu Titan przeprowadzono pomiary dla następujących pasm: 0,5;1;2;3;4;5;6;8;9 i 10 kHz. Zastosowano tu łagodniejsze niż w przypadku testu przesiewowego kryterium dla wyniku REFER to jest $SNR < 6$ dB na danym paśmie. Próg SNR został wybrany jako orientacyjna średnia ze stosowanego w różnych pracach badawczych przedziału SNR od 3 do 10 dB.

Test przesiewowy DPOAE

Obecnie nie ma obowiązującego jednolitego schematu przeprowadzenia screeningowych pomiarów DPOAE. Ogólne zalecenia zawarte w powszechnie dostępnych protokołach towarzystw audiologicznych lub otorynolaryngologicznych różnią się w poszczególnych państwach. Wykorzystywane są różne częstotliwości w zależności od wieku badanego pacjenta, celu przeprowadzania badania czy możliwości technicznych danego urządzenia. Na podstawie doświadczeń ustalono zakresy częstotliwości najlepiej sprawdzających się w badaniach przesiewowych DPOAE. Mieszczą się one w przedziale między 1 a 6 kHz. Zwykle stosuje się 4 częstotliwości z założeniem wyniku PASS przy prawidłowej rejestracji odpowiedzi ze ślimaka na trzech z nich. Jeśli stosuje się większą ilość pasm testowych do wyników PASS zwykle zalicza się testy, w których w co najmniej 70% liczby badanych częstotliwości uzyskany zostanie zakładany próg SNR. Próg ten zwykle przyjmuje całkowite wartości z przedziału od 3 do nawet ponad 10 dB (100).

W celu zminimalizowania ryzyka uzyskania fałszywie prawidłowych wyników pomiarów DPOAE w oparciu o informacje przedstawione powyżej w tym eksperymencie medycznym zastosowano test przesiewowy, w którym wybrano częstotliwości 2,3,4 i 5 kHz oraz ustalono surowe kryterium, w którym uzyskanie wartości $SNR < 8$ dB na jednej lub więcej z czterech badanych pasm uznano za wynik REFER.

Dla obu wariantów DPOAE wartości f_1 i f_2 , proporcje między nimi jak i pozostałe kryteria pomiarowe zastosowano standardowe, proponowane przez producenta urządzenia Titan. Wprowadzanie w nich zmian i określanie wpływu na wyniki DPOAE oraz na korelację między absorbancją a także zmiennymi uzyskiwanymi w SLFT-226 Hz choć technicznie możliwe nie stanowiły przedmiotu tego badania.

Zastosowane protokoły pomiarowe dla DPOAE pozwoliły ocenić wartość predykcyjną absorbancji szerokopasmowej oraz parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz w odniesieniu do testu przesiewowego – czteroczęstotliwościowego oraz dla testu szczegółowego na dziesięciu pojedynczych zastosowanych pasmach DPOAE. Zgromadzone na podstawie przeprowadzonych badań wyniki ze względu na różne zastosowane kryteria wyniku REFER dla DPOAE mają wartość poznawczą jak również mogą mieć znaczenie kliniczne.

6.3. Parametry mierzone w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz

W celu określenia korelacji pomiarów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz z pomiarami DPOAE oraz wyznaczenia miar jakości testu zastosowano poszczególne wartości MEP, MEC i TW. Do części analiz włączono także klasyczną ocenę tympanometrii niskoczęstotliwościowej bazującą na przyporządkowaniu do grup: A, A+, B, C1 i C2 zależnych od rozpatrywanych łącznie wyników MEP i MEC. Wykorzystano kryteria zaproponowane przez Zielhuisa i wsp. (40) z modyfikacją dotyczącą rozszerzenia granic wywoływanego sztucznie ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym do dolnej granicy wynoszącej -600 daPa oraz dodania grupy A+. Miało to na celu uzyskanie maksymalnej liczby przypadków z oznaczalnym ciśnieniem w uchu środkowym. Umożliwiło to wyznaczenie wartości MEP, MEC i TW u pacjentów, u których po zastosowaniu standardowo wykorzystywanej przez większość badaczy dolnej granicy ciśnień wynoszącej -300 lub -400 daPa byłoby nieosiągalne. Zastosowane kryteria włączenia do poszczególnych grup klasycznej klasyfikacji jakościowej wyników jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz przedstawiono w tabeli 33. Na podstawie uzyskanych pomiarów opracowano także model logistyczny do oceny prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wariacie przesiewowym oparty na wynikach MEP, TW i braku przynależności do grupy A w zaprezentowanej klasycznej klasyfikacji SLFT-226 Hz.

Tabela 33. Zastosowane kryteria włączenia do poszczególnych grup klasycznej klasyfikacji jakościowej wyników jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz według Zielhuisa i wsp. W modyfikacji własnej Autora

	MEC (ml)	MEP (daPa)
A	$0,15 \leq A$	$-100 \leq A \leq 10$
A+	$0,15 \leq A+$	$A+ > 10$
B	$0,15 > B$	$-600 \leq B < 10$
C1	$0,15 < C1$	$-200 \leq C1 < -100$
C2	$0,15 < C2$	$-600 \leq C1 < -200$

Źródło: opracowanie własne.

Zastosowanie uzyskanych wartości liczbowych MEP, MEC i TW umożliwia przeprowadzenie obiektywnych analiz. Ich wartości są jednoznacznie ustalone pomiarem i nie wymagają wstępnych interpretacji czy grupowania. Wykorzystywane są przez niektórych badaczy pojedynczo lub łącznie w różnych wariantach zwykle w postaci sparowanej (94, 101). Inaczej jest z klasyczną interpretacją SFLT-226 Hz. Kryteria przyporządkowania wyników badań do wyodrębnionych grup lub wręcz samo ustalenie ich rodzajów różni się u poszczególnych autorów (36–40). Jak już wspomniano w tej pracy również wprowadzono własną modyfikację dotyczącą zakresu zmienianego ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym i włączenia grupy A+. Dominujących sposobów grupowania nie ma na szczęście wiele. Wprowadza to jednak ewidentny, trudny do oszacowania element niepewności w porównywaniu między sobą wyników analiz poszczególnych badaczy. Dodatkowo grupy określone są przedziałami wartości MEP i MEC. Z tego powodu w jednym zbiorze znaleźć się mogą wartości danego parametru znacznie różniące się między sobą. To czyni z klasycznego sposobu oceny SLTF-226 Hz metodę zarówno subiektywną jak i jakościową. Zdaniem Autora z tych właśnie powodów należy ją zastąpić poszczególnymi wartościami MEP, MEC czy TW. W tej pracy badawczej zdecydowano się włączyć także klasyczną ocenę SLTF-226 Hz do analiz z powodu powszechnego jej zastosowania klinicznego. Ograniczono się w tej kwestii jednak jedynie do opracowania modelu logistycznego dla SLTF-226 Hz.

Na podstawie przeprowadzonych analiz statystycznych stwierdzono, że w porównaniu do klasycznego grupowania wyników SLTF-226 Hz pojedyncze jej parametry są bardziej przydatne i wystarczające w określaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wariancie przesiewowym od klasycznego podziału wyników. Wyjątkami mogą wydawać się grupy A i B klasycznej oceny SLTF-226 Hz. Brak przynależności do pierwszej z nich okazał się istotny do opracowania wspomnianego wcześniej modelu logistycznego dla SLTF-226 Hz. Przynależność do grupy B wiązała się

każdorzazowo z otrzymaniem wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym i z powodu nadmiarowości danych grupa ta w modelu logistycznym nie została uwzględniona. Stąd też oba uzyskane wyniki badania tympanometrycznego są ważne z punktu widzenia klinicznego. Jednak należy zaznaczyć, że grupa B w istocie opisana jest jedną zmienną MEC. Kryterium ciśnienia jest nieistotne. Natomiast, choć przynależność do grupy A wymaga wyniku pomiaru jednocześnie dla MEC i MEP, to o braku przynależności do niej decyduje odmiennosc tylko w MEP. Tak więc brak przynależności do A można zastąpić jedną zmienną. Wydaje się, że można tu zastosować parametr ilościowy jakim jest uzyskanie wartości MEP innego niż kwalifikującego do grupy A. Powyższe rozważania sugerują możliwość zastosowania w analizach wyników badań pojedynczych parametrów MEC, MEP lub TW zamiast poszczególnych grup jakościowej klasycznej oceny SFLT-226 Hz. Przypuszczalnie mogłoby to dodatkowo polepszyć właściwości predykcyjne modelu logistycznego dla tego rodzaju tympanometrii. Jednak potwierdzenie tego założenia wymaga dodatkowych eksperymentów i obliczeń. Będą one przedmiotem kolejnych prac badawczych Autora. Należy także podkreślić, że zastosowanie parametru braku przynależności do grupy A jako istotnego czynnika w modelu logistycznym oznacza, że tylko nieprawidłowe wyniki tympanometrii a tym samym zaburzenia stanu ucha środkowego mają znaczenie w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE.

Mierzona w tej pracy badawczej szerokość tympanogramu nie znalazła jeszcze powszechnego, samodzielnego lub łącznego z klasycznym sposobem oceny SLFT-226 Hz zastosowania w diagnostyce audiologicznej (86). Pominięcie w analizie TW, czynnika standardowo obecnie mierzonego przez dostępne urządzenia, jest historycznie uzasadnione, ponieważ nie był on szczegółowo analizowany przez wspomnianych na początku pracy pionierów tympanometrii. Jednak z punktu widzenia poznawczego i badawczego brak każdorzazowego włączenia oceny szerokości tympanogramu ogranicza znacznie wartość diagnostyczną SLFT-226 Hz. Za przykład mogą posłużyć wyniki analiz niniejszego eksperymentu medycznego, w którym wartość TW okazała się istotnym samodzielnym czynnikiem prognostycznym dla wyników DPOAE a przez to istotną składową modelu logistycznego dla SLFT-226 Hz. Co ciekawe TW charakteryzuje się także lepszymi wartościami wskaźnika korelacji Pearsona od MEC i zbliżonymi do MEP. Być może jest to efekt zastosowania niższej od standardowej wartości ujemnego granicznego ciśnienia wewnątrzprzewodowego o czym wspomniano już wcześniej. Należy dokładniej określić

znaczenie TW jako samodzielnego parametru w szerokich granicach ujemnego ciśnienia w odniesieniu do wyników DPOAE jak i patologii ucha środkowego.

6.4. Sposób oceny wyników pomiarów szerokopasmowej absorbancji akustycznej

Precyzyjna i jednoznaczna metoda oceny pomiarów absorbancji ucha środkowego nie została dotychczas ustalona. Firma Interacustics, producent zastosowanego urządzenia Titan, proponuje interpretację opartą na porównywaniu uzyskanych wyników do wartości referencyjnych dla wybranych grup wiekowych oraz wzorców krzywych charakterystycznych dla poszczególnych patologii ucha środkowego (86). Dane normatywne zapisane są w programie archiwizującym dołączonym do urządzenia Titan. Jednak taka forma analizy ma charakter tylko orientacyjny. Nie umożliwia dokładnego skonfrontowania uzyskanych wyników z wartościami odniesienia. Nie są też uzgodnione konkretne zasady i kryteria jakimi należy się kierować korzystając z tej metody. Ocena taka zależna jest od wiedzy i doświadczenia klinicysty. Stwarza to ryzyko powstania różnic w interpretacji jednego wyniku w zależności od badającej osoby. Ogranicza to także możliwość dokonywania obiektywnych porównań zarówno względem tego samego, jak i innych rodzajów testów audiometrycznych. W tym kontekście tympanometrię szerokopasmową, z założenia metodę badawczą obiektywną i ilościową, należy niestety traktować jako subiektywną i jakościową. Pozbawia to pomiaru absorbancji ucha środkowego ogromnego potencjału diagnostycznego.

W celu pełnego wykorzystania możliwości szerokopasmowej tympanometrii podejmowane są próby zastosowania zobiektywizowanych i precyzyjnych metod jej analizy. E. Niemczyk i wsp. u pacjentów z potwierdzoną śródoperacyjnie otosklerozą, na podstawie odczytów absorbancji dla wybranych częstotliwości określonych przebiegiem wykresu na $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ wysokości maksymalnej wartości absorbancji wyznaczyła pięć rodzajów kształtów wykresów mogących wystąpić u pacjentów z unieruchomionym łańcuchem kosteczek słuchowych (102). Mimo, że bardziej skonkretyzowana jest to jednak nadal metoda orientacyjna. Nie zostały tu bowiem uwzględnione wszystkie dostępne w WBA częstotliwości jak również nadal opiera się na kształcie wykresu. Jednak jest ona dokładniejsza i warto kontynuować badania nad tym sposobem analizy wyników szerokopasmowej absorbancji akustycznej. Bardzo obiecujące natomiast wydają się próby interpretacji uwzględniające jedynie wartości absorbancji na wybranych częstotliwościach.

J. Liang i wsp. analizując wartość AUROC dla absorbancji określił przedział pasmowy mający wartość predykcyjną dla obecności wysiękowego zapalenia ucha u dzieci w wieku 3-7 lat (93). Interesujących obserwacji dokonał S. Callaham i wsp., który ustalił wartości absorbancji na 11 częstotliwościach odpowiadających rodzajowi rozpoznanego śródoperacyjnie płynu w uchu środkowym (surowiczy, śluzowy, ropny) (103). Dostępne są też publikacje traktujące o właściwościach predykcyjnych szerokopasmowej absorbancji akustycznej w odniesieniu do prawdopodobieństwa wystąpienia przewodzeniowego niedosłuchu. Wyniki zawarte w tych artykułach przytoczono w dalszej części pracy. Uzyskane w nich wybrane parametry trafności i wiarygodności testu wyliczone zostały na podstawie uzyskanych wartości absorbancji szerokopasmowej lub jej matematycznych przekształceń. Te metody oceny obiektywizują sposób interpretacji testu. Czynią go jednocześnie uniwersalnym narzędziem wygodnym do porównań. Dają możliwość pełnego wykorzystania zalet szerokopasmowej absorbancji akustycznej i nadają jej charakteru badania w pełni obiektywnego i ilościowego. Z tych powodów także w tej pracy badawczej bazowano jedynie na uzyskanych wartościach pomiarów nie sugerując się kształtami uzyskanych krzywych szerokopasmowej absorbancji.

6.5. Ocena korelacji

Analiza porównawcza korelacji pomiędzy uzyskanymi wynikami WBA a DPOAE oraz SLFT-226 Hz a DPOAE wykazała, że współczynniki korelacji Pearsona dla każdej pary badań były większe od zera, miały nieprzypadkowy charakter ze współczynnikiem istotności $p < 0,001$ oraz cechowały się wartościami porównywalnie zależnymi od pasm pomiarowych DPOAE. Ciekawą jest obserwacja, że największe wartości współczynnika korelacji dla absorbancji szerokopasmowej odnotowano dla pasma testowego 5 kHz DPOAE. Podobnie maksymalne wartości współczynnika korelacji dla wszystkich trzech parametrów mierzonych w SLFT-226 Hz przypadają na te samo i sąsiednie pasmo testowe 5 i 6 kHz DPOAE. Minimalne natomiast wartości tego parametru dla obu rodzajów tympanometrii rejestrowano na pasmach 0,5 i 10 kHz DPOAE. Niskie wartości współczynników korelacji na granicach zakresu pasm testowych DPOAE zarówno dla WBT i SLFT226 Hz przypuszczalnie wynikają z niedoskonałości aparatury pomiarowej sygnałów otoemisji, która traci swoją dokładność detekcyjną na częstotliwościach zbliżonych do 500 Hz i powyżej 8000 Hz (63). Dodatkowo należy podkreślić, że zarówno dla szerokopasmowej absorbancji jak i szczytowego ciśnienia ucha środkowego największe

wartości współczynnika korelacji miały zbliżone wartości odpowiednio 0,728 i 0,737. Wartości odnotowania są wysoka i bardzo wysoka siła korelacji dla TW i MEP mierzonych w SLFT-226 Hz niemal na wszystkich pasmach testowych DPOAE oraz wyraźnie widoczny regularny charakter zależności współczynnika korelacji w funkcji absorbancji szerokopasmowej zaprezentowanej na rysunku 8.

Podkreślenia wymaga fakt, że badania zostały przeprowadzone na jednorodnej, ściśle określonej grupie pacjentów, jednocześnie i tym samym urządzeniem. Choć technicznie metody pomiaru były odmienne to przedmiot badania dla obu rodzajów tympanometrii był ten sam - stan ucha środkowego i pośrednio jego właściwości mechanoakustyczne. Z eksperymentu medycznego wykluczono dzieci z podejrzeniem zaburzeń słuchu na poziomie narządu spiralnego co wyeliminowało wyniki DPOAE typu REFER zależne od patologii ślimaka. Ponadto podczas wykonywania pomiarów nie odnotowano obecności czynników środowiskowych takich jak wyraźne różnice ciśnienia atmosferycznego, zakłócenia akustyczne z otoczenia czy awarii aparatu mogących mieć wpływ na wyniki badań. Dodatkowo empirycznie i doświadczalnie zauważalny i w dużej mierze udokumentowany jest związek pomiędzy stanem ucha środkowego a wynikami DPOAE. Z wymienionych wyżej powodów w tym eksperymencie medycznym należy traktować pomiary tympanometryczne jako odzwierciedlenie stanu ucha środkowego i jedyne go czynnika mającego potwierdzony wpływ na wyniki DPOAE. Tym samym zostały tu spełnione wszystkie podstawowe i konieczne warunki do przeprowadzenia prawidłowej analizy zależności wyników badań za pomocą korelacji (104). Dlatego też uzyskane wartości wskaźnika korelacji Pearsona świadczą o faktycznej sile zależności między wynikami obu rodzajów tympanometrii i otoemisji akustycznych produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka. Należy tutaj także wyraźnie zaznaczyć, że korelacje były oceniane w odniesieniu do maksymalnych wartości stosunku sygnału do szumu a nie do wybranych kryteriów uzyskania wyniku REFER lub PASS w DPOAE. Nadaje to tym analizom wymiar uniwersalny.

Obserwacje zaprezentowane powyżej mają znaczenie poznawcze. Na ich podstawie obiektywnie stwierdzić można, że istnieje podobna, silna zależność pomiędzy wynikami obu metod tympanometrycznych a wartościami uzyskanych pomiarów otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka. Sugeruje to zbliżone możliwości diagnostyczne SLFT-226 Hz jak i WBA w ocenie stanu ucha środkowego. Nie jest jednak możliwe określenie na podstawie porównań samych tylko korelacji, który test tympanometryczny posiada lepszą wartość diagnostyczną w zastosowaniu klinicznym.

Należy jednak przypuszczać, że pod tym względem obie metody pomiarowe są do siebie podobne.

W dostępnej literaturze nie znaleziono publikacji traktujących o korelacji wyników pomiarów WBA i SLFT-226 Hz z DPOAE lub o zbliżonej tematyce w dowolnej grupie wiekowej pacjentów, które mogłyby posłużyć jako materiał porównawczy. Przypuszczalnie wynika to ze słabej dostępności do aparatury badawczej z możliwością cyfrowej i częściowo zautomatyzowanej rejestracji danych WBA jaką wykorzystano w tym eksperymencie medycznym. Tradycyjny sposób gromadzenia i analizy uzyskanych wyników absorbancji ze względu na konieczność ręcznego wpisywania bardzo dużej liczby pomiarów wynoszącą ponad 100 dla jednego badania jest czasochłonny i w praktyce niemożliwy do zrealizowania.

Zaprezentowane wyżej wyniki dowodzą obecności silnego, liniowego związku pomiędzy obiema rodzajami tympanometrii i DPOAE. Nie budzi to jednak zaskoczenia, ponieważ oba testy tympanometrycznej, choć odmienne w sposobie pomiaru, zostały zaprojektowane w celu obiektywnej oceny stanu ucha środkowego a DPOAE jest od niego zależna. Zastanawiającym jest natomiast to, że porównanie uzyskanych współczynników korelacji Pearsona, sugeruje zbliżoną wartość diagnostyczną absorbancji szerokopasmowej i jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz w szacowaniu uzyskania wyniku DPOAE a przez to także w ocenie stanu ucha środkowego. Jest to sprzeczne z naturalnie i intuicyjnie nasuwającym się przypuszczeniem, że to nowy sposób badania powinien charakteryzować się lepszymi parametrami diagnostycznymi. Ponadto w dostępnej literaturze tematu, której omówienie zawarto w dalszej części pracy, każdorazowo prezentowane są wnioski mówiące o przewadze tympanometrii szerokopasmowej nad tympanometriami nisko i wysokoczęstotliwościowymi w zastosowaniu badawczym i klinicznym. W celu potwierdzenia lub wykluczenia obecności niezgodności pomiędzy uzyskanymi w analizie korelacji obserwacjami a zawartymi w nadmienionych publikacjach wnioskami wprowadzono kolejny element eksperymentu medycznego. Polegał on na określeniu i porównaniu możliwości różnicowania wyników REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka za pomocą absorbancji szerokopasmowej oraz parametrów mierzonych w SLFT-226 Hz.

6.6. Możliwości jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i absorbancji szerokopasmowej w różnicowaniu wyników DPOAE w wariancie przesiewowym

Analizując łącznie wartości median (Me) i rozstępów kwartylowych (Q1-Q3) stwierdzić można, że dla jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz parametry MEP i TW dobrze dyskryminują wynik typu REFER i PASS dla DPOAE w wariancie przesiewowym. Wynika to z zarejestrowanych dla tych parametrów wyraźnych różnic w wartości median oraz niepokrywające się przedziały rozstępów kwartylowych. Natomiast MEC pod tym względem wypada zdecydowanie gorzej – wartości median dla wyników PASS i REFER są zbliżone a rozstępy kwartyłowe częściowo się pokrywają. Absorbancja szerokopasmowa także dobrze różnicuje wyniki DPOAE. Dotyczy to pomiarów absorbancji na częstotliwościach w zakresie od około 550 Hz do około 5000 Hz. Na tych pasmach zaobserwowano wyraźne różnice median oraz brak pokrywania się rozstępów kwartylowych dla wyników typu REFER i PASS dla DPOAE.

Do analiz wybrano zastosowany wariant przesiewowy otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, ponieważ może on mieć zastosowanie kliniczne i przez to jest interesujący z punktu widzenia praktycznego. Zdecydowano się jedynie na szacunkową ocenę możliwości różnicowania wyników DPOAE za pomocą testów tympanometrycznych. Szczegółowa analiza dotycząca tych kwestii jakkolwiek możliwa do przeprowadzenia za pomocą odpowiednich narzędzi statystycznych jest pracochłonna ze względu choćby na dużą liczbę zmiennych uzyskanych pomiarami szerokopasmowej absorbancji. Wprawdzie dostarczyłyby ona dokładnych danych jednak nie jest to w tym projekcie wymagane. Pod tym względem do realizacji założonych celów niniejszego eksperymentu medycznego wystarczające są jedynie orientacyjne wyniki. Pozwoliły one ustalić, że wybrane parametry obu rodzajów tympanometrii dobrze różnicują wyniki REFER i PASS dla DPOAE. Umożliwiły też określenie przedziału częstotliwości szerokopasmowej absorbancji (550 Hz do około 5000 Hz) i parametrów mierzonych w SLFT-226 Hz (MEP i TW) istotnych w dalszych analizach i być może kluczowych w zastosowaniu klinicznym.

W dostępnej literaturze nie znaleziono publikacji o podobnej lub zbliżonej tematyce mogących stanowić materiał porównawczy.

Jak już wspomniano przedstawione wyżej obserwacje świadczą o dobrych właściwościach obu metod tympanometrycznych w różnicowaniu wyników DPOAE. Mają

one jednak tylko charakter orientacyjny. W celu przeprowadzenia obiektywnego porównania pomiędzy wartością diagnostyczną jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz a szerokopasmową absorbancją w szacowaniu wyników DPOAE i pośrednio oceny stanu ucha środkowego porównano dla obu badań wybrane parametry miar jakości testu.

6.7. Ocena wartości prognostycznej zastosowanych metod tympanometrycznych w uzyskaniu wyniku typu REFER otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka

W dostępnej literaturze tematu nie znaleziono publikacji szczegółowo porównujących wartość prognostyczną parametrów mierzonych w szerokopasmowej tympanometrii i jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz względem uzyskania wyniku REFER otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka a artykułów o podobnej tematyce jest niewiele. Analizując wnioski w nich przedstawione można zauważyć, że niemal zawsze stwierdzano większą skuteczność szerokopasmowej immitancji akustycznej nad tympanometrią nisko i wysokoczęstotliwościową w szacowaniu obecności niedosłuchu przewodzeniowego lub wyniku DPOAE. Aithal i wsp. badając 293 uszu noworodków stwierdził, że WBA mierzona w ciśnieniu otoczenia jest lepsza w określeniu stanu układu przewodzącego ucha środkowego w porównaniu do dwóch zestawów badań łączących odpowiednio HFT + TEOAE + DPOAE oraz ABR + TEOAE + DPOAE jak i względem osobno zastosowanego każdego z testów. Dodatkowo zauważył, że najwyższe wartości AUC-ROC przyporządkowane były częstotliwościom od 1 do 4 kHz szerokopasmowej absorbancji względem wszystkich porównywanych badań (105). Keefe i wsp. po przebadaniu 60 uszu w szerokim przedziale wiekowym od 10 do 55 lat stwierdzili przewagę WBI nad MEC mierzonego w SLFT-226 Hz w określaniu obecności przewodzeniowego niedosłuchu (106). W swojej późniejszej publikacji potwierdził wcześniejsze obserwacje przeprowadzając badania na 78 uszu u dzieci w wieku 3-8 lat (107). Analizując badania szerokopasmowej reflektancji u dzieci rasy chińskiej i kaukaskiej w wieku 5-7 lat Beers i wsp. doszedł do wniosku mówiącym o jej lepszym znaczeniu prognostycznym w rozpoznawaniu wysiękowego zapalenia ucha środkowego i pośrednio w detekcji niedosłuchu przewodzeniowego w porównaniu do jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz (94). Sanford i wsp. oceniając 455 uszu u niemowląt ustalił, że szerokopasmowa

absorbancja lepiej różnicuje wyniki typu PASS i REFER dla DPOAE w badaniach przesiewowych niż HFT-1kHz (90). Podobne obserwacje opisała Hunter L. i wsp. mierząc szerokopasmową reflektancję w przedziale częstotliwości 200 – 6000 Hz u 324 noworodków (100). Natomiast Piskorski i wsp. przebadali 161 uszu u dzieci w wieku 2-10 lat dokonując pomiarów MEC i GRAD dla LFT-226 Hz oraz szerokopasmowej reflektancji w przedziale pasm 0,5-8 kHz. Na ich podstawie stwierdził, że WBR i SLFT-226 Hz powinny być stosowane łącznie w celu zwiększenia rozpoznawalności przewodzeniowego niedosłuchu potwierdzanego obecnością rezerwy ślimakowej w audiometrii tonalnej (101). Zbliżonych obserwacji dokonał Prieve i wsp. analizując wyniki badań 84 uszu u niemowląt. Doszedł on do wniosku, że szerokopasmowa reflektancja oraz jednotonowe tympanometrie wysokoczęstotliwościowe 678 Hz i 1 kHz są porównywalne w szacowaniu obecności niedosłuchu przewodzeniowego jednak już SLFT-226 Hz jest zdecydowanie gorsza (108). Jednak w tym przypadku analizy dotyczące wyników uzyskanych w SLFT-226 Hz należy pominąć, gdyż do badań słuchu dzieci poniżej 6 miesiąca życia nie powinno stosować się tego rodzaju tympanometrii (30) (35).

Uzyskane w tym eksperymencie medycznym wyniki a tym samym i wnioski nie są zgodne z tymi, które zostały zaprezentowane w powyżej cytowanych publikacjach. Nie stwierdzono przewagi WBA nad SLFT-226 Hz w szacowaniu uzyskania wyników typu REFER dla DPOAE zależnych od stanu ucha środkowego. W wariancie szczegółowym można zauważyć lepsze wartości niemal wszystkich zastosowanych wskaźników miar jakości testu dla SLFT-226 Hz. Jednak nie są one wyraźnie większe od wartości uzyskanych dla WBA. Podobnych obserwacji dokonano dla wariantu przesiewowego gdzie dodatkowo poza czułością, specyficznością i polem pod wykresem krzywej ROC (AUC-ROC) włączono do analiz wskaźnik wiarygodności testu dodatniego i wskaźnik wartości predykcyjnej wyniku dodatniego. Również dla opracowanych modeli logistycznych wyznaczone parametry miar jakości testu miały zbliżone wartości. Na podstawie przeprowadzonych w tym eksperymencie medycznym badań nie można zatem stwierdzić przewagi diagnostycznej żadnej z metod tympanometrycznych w szacowaniu uzyskania wyników typu REFER dla DPOAE a tym samym także pośrednio w ocenie stanu ucha środkowego.

6.8. Korzyści z zastosowania modeli logistycznych

Opracowane modele logistyczne są bardzo pomocne w interpretacji uzyskiwanych wyników. Upraszczają i przyspieszają ich ocenę. Tworząc je wykorzystuje się ograniczoną ilość najistotniejszych parametrów z punktu widzenia uzyskania poszukiwanego wyniku. Znajduje to zastosowanie zwłaszcza dla takich badań jak szerokopasmowa absorbancja gdzie analizie należy poddać ponad sto wartości w szerokiej rozpiętości częstotliwościowej. Opracowany w tym eksperymencie medycznym model logistyczny dla WBA zredukowany jest tylko do wyników pomiarów na siedmiu ze 107 częstotliwości a dla SLFT -226 Hz do 3 parametrów. Proste ich przeredagowanie do arkusza kalkulacyjnego umożliwia stworzenie nieskomplikowanych aplikacji. Wprowadzenie wybranych wartości, w tym przypadku parametrów tympanometrycznych, automatycznie oblicza prawdopodobieństwo uzyskania interesującego nas wyniku DPOAE. Od zakończenia prac nad tym eksperymencie medycznym modele logistyczne dla WBA i SLFT- 226 Hz w formie zaproponowanej powyżej są testowane przez Autora w praktyce klinicznej.

6.9. Obserwacje dotyczące analizy szerokopasmowej absorbancji

Najistotniejszym zakresem częstotliwości dla absorbancji szerokopasmowej jest przedział pasm pomiędzy około 550 a około 5000 Hz. Dla częstotliwości zawartych w tych granicach oznaczono najlepsze wartości wszystkich parametrów trafności i wiarygodności testów oraz największą progową wartość absorbancji. Jak wspomiano wcześniej najlepsze właściwości różnicujące wyniki DPOAE ma absorbancja także w zbliżonym przedziale od 1 kHz do około 5 kHz. Dodatkowo optymalne punkty odcięcia w analizie odnoszącej się do wyników DPOAE w wariancie szczegółowym nigdy nie były przyporządkowane do częstotliwości większej niż 5 kHz. Ponadto wszystkich 7 optymalnych częstotliwości wytypowanych do zastosowania w modelu logistycznym nie wybiegały poza ten zakres. Pasma poniżej i powyżej tych granic przypuszczalnie nie mają istotnego znaczenia. Być może nie wymagają one pomiarów w zastosowaniu klinicznym. Pominięcie ich w testach nie skróci wprawdzie już i tak niedługiego czasu jaki należy poświęcić na wykonanie szerokopasmowej absorbancji ale może uprościć ocenę jej wyników.

6.10. Zastosowane wskaźniki miar jakości testu

Znaczenie zastosowanych wskaźników trafności i wiarygodności testów jest dostępne w bogatej literaturze statystycznej i nie będzie tu szerzej omawiane. Na uwagę zasługuje jednak fakt, że czułość, LR+ oraz PPV są parametrami oceniającymi przydatność danej metody diagnostycznej w badaniach przesiewowych (109,110) i dlatego zdecydowano się na ich użycie w tym eksperymencie medycznym. Ponadto LR+ uważany jest za precyzyjny parametr do porównywania klinicznego znaczenia badań (109). Wysokie i porównywalne ich wartości dla obu tympanometrii przemawiają za możliwością zastosowania dowolnej z nich jako testu oceniającego stan ucha środkowego przed wykonaniem DPOAE u dzieci w wieku 3-7 lat.

6.11. Analiza przypuszczalnych przyczyn różnic pomiędzy uzyskanymi a dostępnymi w literaturze tematami wynikami

W tym i w przytoczonych badaniach korzystano z urządzeń do wykonywania szerokopasmowej tympanometrii różnych producentów. Jednak parametry i sama istota pomiarów jest dla każdego aparatu taka sama. Shahnaz, N i wsp. analizując publikacje dotyczące tego tematu nie znalazł odmienności w wynikach zależnych od zastosowanego systemu pomiarowego (111). Oceniane parametry WBT również były odmienne. Stosowano ogólnie rozumianą impedancję lub reflektancję. Należy jednak pamiętać, że są one proporcjonalne i między sobą porównywalne więc nie wpływają na odmienności w wynikach. Również nieistotnymi wydają się różnice w zastosowanych przedziałach mierzonych częstotliwości (granica dolna 250 lub 226 Hz; granica górna 6 kHz, 8 kHz lub ponad 10 kHz). Są one niewielkie w niskich częstotliwościach i nie mają znaczenia zwłaszcza, że w większości publikacji jak również w tej pracy badawczej istotne w analizach częstotliwości szerokopasmowej tympanometrii rejestrowano w przedziale między 500 Hz a 5 kHz. Dodatkowo zastosowany w większości z cytowanych publikacji sposób oceny WBT oparty na wartościach liczbowych a nie na kształcie krzywej tympanometrycznej ujednolicił i uszczegółowił wyniki a tym samym zobiektywizował wartość porównań między nimi. W tym eksperymencie medycznym również zastosowano taki sposób analizy parametrów szerokopasmowej absorbancji. Stąd nie należy w tej materii upatrywać przyczyn odstępstw pomiędzy wnioskami tego i przytaczanych wyników badań.

W zaprezentowanych publikacjach zastosowane badania w stosunku do których odnoszono i porównywano wzajemnie wyniki WBT i tympanometrii jednotonowych były niejednolite. Wykorzystywano do tego celu obecność rezerwy ślimakowej zarejestrowanej w audiometrii tonalnej, wyniki badania różnych rodzajów otoemisji akustycznej czy ABR. Stosowano także zestawy badań wykorzystujące ABR, TEOAE, HFT, DPOAE w rozmaitych kombinacjach. Jednak pomimo tych różnic wnioski dotyczące wartości predykcyjnej dla WBT były podobne. Z tych powodów zastosowanie w tym eksperymencie medycznym odmiennych od standardowych wariantów DPOAE nie należy traktować jako przyczynę różnic w otrzymanych wynikach.

W zaprezentowanych artykułach przedziały wiekowe badanych pacjentów były odmienne. Oceniano wyniki testów audiologicznych osobno dla noworodków lub wspólnie dla noworodków i niemowląt czy dzieci przedszkolnych, wczesnoszkolnych oraz szkolnych. W jednej pracy badawczej dodatkowo zostały włączone także osoby dorosłe. Choć dla poszczególnych publikacji rozpiętość wiekowa zwykle była wąska i ograniczona, to w zestawieniu łącznym jest ona szeroka, obejmująca pacjentów od urodzenia do ponadpięćdziesięcioletnich. Dodatkowo należy zaznaczyć, że zastosowane przedziały wiekowe należy uznać za ustalone przypadkowo, ponieważ nie miały one merytorycznie uzasadnionych granic. Jedynie noworodki stanowiły jednorodną grupę rozwojową a przez to także badawczą. Pomimo tej różnorodności badanych pacjentów wnioski ze wszystkich zacytowanych artykułów były podobne. Zastosowana w tym eksperymencie medycznym ujednolicona pod względem rozwojowym grupa dzieci w wieku 3 do 7 lat mieści się w tym ogólnym szerokim zakresie wiekowym. Z tych powodów zastanawiającym jest brak zgodności wyników tej pracy badawczej z zawartymi w przytoczonych publikacjach. Jednak należy podkreślić, że dzieci przedszkolne i wczesnoszkolne to specyficzna grupa pacjentów. Cechuje się ona obecnością charakterystycznych czynników rozwojowych wpływających na mechanoakustyczne właściwości ucha środkowego. Swoją jednorodnością i wyjątkowością pod tym względem dorównuje noworodkom. Wyodrębnienie osobno grupy wiekowej dzieci w wieku 3 do 7 lat może zatem stanowić przyczynę różnic w wynikach tego eksperymentu medycznego i zacytowanych prac badawczych.

Zastosowanie różnych grup wiekowych wymuszało na autorach zacytowanych publikacji użycie odpowiednich rodzajów jednotonowych tympanometrii. Zgodnie z ogólnie przyjętymi standardami noworodki i niemowlęta do 6 miesiąca życia badano jednotonową tympanometrią wysokoczęstotliwościową-1kHz rzadziej 678 Hz natomiast dzieci przedszkolne, szkolne i dorosłych testowano jednotonową tympanometrią

niskoczęstotliwościową 226 Hz. Ponadto analizowano odmienne parametry jednotonowych tympanometrii. Najczęściej oceniano MEC. Niekiedy dołączano także wyniki wyliczeń TW lub GRAD. Wyjątkowo opierano się na prostym podziale wyników na prawidłowe i nieprawidłowe w zależności od wartości MEC i TW lub szczegółowo wyliczanych niestandardowych parametrach tympanometrycznych. W niniejszej pracy zastosowano natomiast MEC, MEP, TW oraz klasyczny sposób klasyfikacji wyniku tympanometrii według Zielhuisa i wsp. we wspomnianej wcześniej modyfikacji dotyczącej wartości granicznej zmienianego ciśnienia w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Interesującym jest, że w tym eksperymencie medycznym zarówno wartości współczynnika korelacji Pearsona jak i wartości wskaźników trafności i wiarygodności testu dla MEC okazały się być dużo gorsze niż dla MEP i TW mierzonych w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz. Z tych też powodów MEC wydaje się być złym parametrem do oceny trafności i wiarygodności testu i nie wykorzystano go do wyznaczenia modelu logistycznego służącego do szacowania prawdopodobieństwa wyniku typu REFER dla DPOAE. Zdecydowanie lepsze rezultaty w tym zakresie prezentują MEP i TW. MEC w cytowanych publikacjach był podstawowym ocenianym parametrem jednotonowych tympanometrii. Dodatkowo autorzy przytoczonych badań dla tympanometrii jednotonowych stosowali różne granice ujemnych ciśnień kontrolowalnie uzyskiwanych w przewodzie słuchowym zewnętrznym. Wynosiły one -300 lub niekiedy -400 daPa. W tym eksperymencie medycznym limit ten ustalono na -600 daPa. Wpłynęło to na zwiększenie liczby przypadków z oznaczalnymi ujemnymi wartościami ciśnienia w uchu środkowym. Umożliwiło to także wyznaczenie wartości szerokości tympanogramów niemożliwych do określenia dla wyższych granic ujemnego ciśnienia. Zwiększyło to grupę przypadków mogących zostać poddanych ocenie statystycznej opartej na uzyskanych wartościach omawianych parametrów. Wszystkie powyższe kwestie mogły znacząco wpłynąć na różnice w wynikach tej i cytowanych prac badawczych.

Niemal we wszystkich zaprezentowanych publikacjach do porównań wykorzystano jedynie wartość pola pod wykresem krzywej ROC i konieczne do jej wyznaczenia czułość i specyficzność danego badania. Jedynie Prieve i wsp. zastosowali wskaźniki wiarygodności testów dodatnie i ujemne (108). W niniejszej pracy badawczej poza wymienionymi parametrami wyznaczono dodatkowo wartość predycyjną wyniku dodatniego (PPV) oraz iloraz szans (OR) z 95% zakresem ufności dla opracowywanych modeli logistycznych. Pozwoliło to na przeprowadzenie bardziej szczegółowych niż w zacytowanych publikacjach analiz dotyczących porównania wartości diagnostycznych WBA i SLFT-226 Hz

w szacowaniu wyniku DPOAE. Może to mieć wpływ na różnice w wynikach pomiędzy tym a cytowanymi badaniami.

Niewielka liczba publikacji odzwierciedla potrzebę zintensyfikowania prowadzenia badań nad tympanometrią szerokopasmową oraz jej wykorzystaniem w audiologii i otorynolaryngologii. Można przypuszczać, iż w niedalekiej przyszłości prac dotyczących tego tematu znacząco przybędzie, ponieważ dostępność do nowoczesnej aparatury pomiarowej jest coraz powszechniejsza. W celu uzyskania dokładniejszych i bardziej miarodajnych porównań między wynikami uzyskanymi przez poszczególnych autorów należy podjąć próby ujednoczenia i powszechnego zastosowania jednorodnych grup wiekowych, zwłaszcza wśród dzieci. Dodatkowo powinno się porównywać ze sobą badania z zastosowaniem tych samych lub możliwie zbliżonych parametrów pomiarowych dla każdego z rodzajów tympanometrii z wykorzystaniem jednolitych narzędzi statystycznych.

W dostępnej literaturze nie znaleziono publikacji analizujących jednocześnie takiej liczby rodzajów miar jakości testu zwłaszcza w odniesieniu do opracowanych modeli logistycznych dla szerokopasmowej absorbancji i jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz w odniesieniu do wyników otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w żadnej grupie wiekowej.

6.12. Podsumowanie

Zbliżone wartości wskaźników korelacji Pearsona pomiędzy maksymalnymi wartościami SNR w DPOAE a parametrami obu metod tympanometrycznych przemawiają za ich podobieństwem w ocenie właściwości mechanoakustycznych układu przewodzącego i stanu ucha środkowego. O tym samym świadczy przeprowadzone porównanie możliwości różnicowania wyniku REFER i PASS otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka w wariancie przesiewowym za pomocą szerokopasmowej absorbancji i wybranych parametrów SLFT-226 Hz. Analiza oparta na zastosowanych miarach jakości testu zwłaszcza dla opracowanych modeli logistycznych pozwala wysunąć wniosek, że zarówno tympanometria szerokopasmowa jak i jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz mają zbliżoną, dobrą wartość prognostyczną w ocenie prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w zastosowanych wariantach przesiewowym i szczegółowym. Na podstawie wszystkich przeprowadzonych badań można stwierdzić, że obie metody tympanometryczne podobnie oceniają stan ucha środkowego. Mogą być zatem zamiennie stosowane w praktyce klinicznej. Dotyczy to

zwłaszcza ich wykorzystania jako testów poprzedzających wykonanie otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, ponieważ z porównywalną skutecznością pozwalają zidentyfikować wyniki typu REFER zależne od właściwości mechanoakustycznych układu przewodzącego ucha.

Na podstawie analizy wyników zaprezentowanych publikacji jak i tej pracy badawczej można stwierdzić, że sposób oceny szerokopasmowej absorbancji oraz parametrów jednotonowych tympanometrii oparty jedynie na uzyskanych wartościach liczbowych (ocena ilościowa) z pominięciem oceny kształtu wykresów krzywych tympanometrycznych i absorbancji (ocena jakościowa) pozwala na przeprowadzenie dokładnych analiz statystycznych oraz obiektywnych i ujednoliconych porównań. Ponadto zauważalna jest zgodność co do zakresu częstotliwości zawierającego się między 500 Hz a około 5000 Hz wystarczającego do uzyskania pomiarów szerokopasmowej absorbancji umożliwiających ocenę stanu ucha środkowego. Natomiast zastosowanie niejednorodnych grup wiekowych, wykorzystanie jako narzędzi statystycznych odmiennych wskaźników trafności i wiarygodności testów, dowolność w wyborze analizowanych parametrów jednotonowych tympanometrii z różnymi granicami ujemnych ciśnień stosowanych w przewodzie słuchowym zewnętrznym mogą być przyczyną odmierności pomiędzy wynikami tej i cytowanych prac badawczych.

7. WNIOSKI

1. Zastosowanie oceny ilościowej wykorzystującej wartości liczbowe pomiarów parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i szerokopasmowej absorbancji uszczegóławia oraz ujednotolica analizę wyników obu metod diagnostycznych jednocześnie umożliwiając przeprowadzenie obiektywnych porównań między nimi.
2. Szczególnie istotne częstotliwości szerokopasmowej absorbancji z punktu widzenia oceny stanu ucha środkowego u dzieci w wieku 3 do 7 lat zawarte są w przedziale od 500 Hz do 5000 Hz.

Wnioski szczegółowe

- Najwyższe wartości współczynnika korelacji Pearsona pomiędzy szerokopasmową absorbancją a maksymalnymi wartościami SNR dla DPOAE występują w przedziale częstotliwości WBA pomiędzy 3000 Hz do 5000 Hz.
 - Największe różnice median i rozstępów kwartylowych wartości absorbancji szerokopasmowej w odniesieniu do wyniku typu REFER i PASS dla DPOAE zawarte są w przedziale częstotliwości WBA między 500 Hz a 5000 Hz.
 - Optymalne częstotliwości wyznaczone dla modelu logistycznego szerokopasmowej absorbancji to 500, 515, 561, 595, 1091, 2911 i 4896Hz.
 - Najlepsze wartości miar jakości testu dla absorbancji szerokopasmowej w szacowaniu uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym zanotowano na częstotliwościach 771, 927, 1943 i 3462 Hz.
3. Szerokopasmowa absorbancja i jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz podobnie oceniają stan ucha środkowego, mogą być zamiennie stosowane w praktyce klinicznej jako testy poprzedzające wykonanie otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka.

Wnioski szczegółowe:

- Wartości współczynników korelacji Pearsona wykazują zbliżoną charakterystykę i siłę zależności dla obu par badań: WBA i maksymalnego SNR dla DPOAE oraz SLFT226 i maksymalnego SNR dla DPOAE.

- Wyraźne różnice w medianach i rozstępach kwartylowych dla wartości szerokopasmowej absorbancji na częstotliwościach pomiędzy 500 Hz a 5000 Hz oraz wybranych parametrach SLFT-226 Hz świadczą o dobrych właściwościach obu metod tympanometrycznych w różnicowaniu wyników REFER i PASS dla DPOAE.
- Zastosowane miary jakości testów obu badanych metod tympanometrycznych oraz wyznaczonych dla nich modeli logistycznych mają zbliżone wartości w szacowaniu wyników REFER otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka.

8. OGRANICZENIA EKSPERYMENTU MEDYCZNEGO

Ograniczeniem tego badania był brak możliwości wyselekcjonowania wystarczająco licznych, reprezentatywnych grup pacjentów z drenażem usznym, perforacjami błon bębenkowych, wrodzonymi wadami twarzoczaszki lub innymi zmianami mogącymi wpływać na stan ucha środkowego. Z tego powodu nie można uogólnić zaprezentowanych wniosków na całą istotną klinicznie populację dzieci w zastosowanej grupie wiekowej.

Przystępując do badań planowano porównanie ilościowe uzyskanych pomiarów szerokopasmowej absorbancji z danymi odniesienia przypisanymi stanom patologicznym i fizjologii ucha środkowego. Standardowo są one dostarczane wraz z każdą wersją oprogramowania archiwizującego urządzenia Titan jednak tylko jako wykresy, czyli w formie jakościowej. Niestety z powodów technicznych i prawnych firma Interacustics produkująca wyżej wymieniony aparat nie mogła udostępnić numerycznego zapisu krzywych porównawczych i wycofała się z wcześniejszych ustaleń dotyczących przekazania tych danych. Uniemożliwiło to realizację tego elementu eksperymentu medycznego mogącego mieć znaczący wpływ na wykorzystanie kliniczne szerokoczęstotliwościowej tympanometrii. Jest to kolejne ograniczenie tego badania. Należy jednak podkreślić, że zgromadzona w tej pracy badawczej bogata baza pomiarów szerokopasmowej absorbancji nadal stanowi podstawę do przeprowadzenia takich analiz po wyeliminowaniu wcześniej przedstawionych przeciwności.

Wykorzystanie urządzenia pomiarowego jednego producenta jest kolejnym ograniczeniem. Choć nie stwierdzono rozkalibrowania aparatu Titan podczas przeprowadzania badań zastosowanie na tej samej grupie pacjentów co najmniej dwóch tympanometrów różnych firm mogłoby ułatwić natychmiastowe wykrycie błędu pomiaru wynikającego z wady urządzenia. Dodatkowo umożliwiłoby to określenie ewentualnego wpływu konstrukcji urządzenia na wynik badania. Nie należy jednak spodziewać się istotnych odstępstw w pomiarach dokonanych różnymi aparatami. Wszak sam sposób detekcji poszczególnych parametrów danych rodzajów tympanometrii jest identyczny. Ewentualne różnice przypuszczalnie zostałyby wygenerowane jedynie przez odmienności w jakości zastosowanych podzespołów mechanicznych i elektronicznych. Należy także pamiętać, że codzienna kalibracja użytego w tym eksperymencie medycznym aparatu Titan

znacznie redukuje możliwość niezauważenia awarii a przez to redukuje potrzebę zastosowania dodatkowego tympanometru jako urządzenia porównawczego. Z tych powodów zastosowanie tylko jednego aparatu traktować należy jako mało istotne ograniczenie.

9. PLANOWANE UZUPEŁNIENIA I NOWE KIERUNKI BADAŃ

Uzupełnienia i nowe kierunki badań determinowane są potrzebą wyeliminowania zaprezentowanych ograniczeń tego eksperymentu medycznego jak i rozwinięciem oraz sprawdzeniem w praktyce klinicznej wyciągniętych wniosków. Z tych powodów planowane są następujące badania:

- przeprowadzenie podobnie zaprojektowanego eksperymentu medycznego z udziałem dorosłych i dzieci w skonkretyzowanych grupach wiekowych,
- przeprowadzenie podobnie zaprojektowanego eksperymentu medycznego z udziałem dzieci z drenażem usznym, perforacjami błon bębenkowych, wrodzonymi wadami twarzoczaszki lub innymi zmianami mogącymi wpływać na stan ucha środkowego,
- przeprowadzenie podobnie zaprojektowanego eksperymentu medycznego z udziałem dzieci w wieku 3-7 lat z rozpoznanymi zaburzeniami na poziomie narządu spiralnego i porównanie wyników z zawartymi w tej pracy badawczej; pozwoli to na potwierdzenie już posiadanych lub uzyskanie nowych informacji dotyczących właściwości zarówno narządu spiralnego jak i układu przewodzącego ucha środkowego,
- ocena zastosowania w praktyce klinicznej aplikacji na komputer osobisty wykorzystującej utworzone modele logitowe do szacowania uzyskania wyników typu REFER dla DPOAE,
- ocena stanu ucha środkowego na podstawie wartości absorbancji jedynie na wybranych częstotliwościach,
- ocena stanu ucha środkowego na podstawie wartości pojedynczych parametrów SLFT-226 Hz ze szczególnym uwzględnieniem szerokości tympanogramu,
- porównanie uzyskanych pomiarów szerokopasmowej absorbancji z danymi normatywnymi dostarczanymi wraz z oprogramowaniem archiwizującym urządzenia Titan.

10. STRESZCZENIE

WSTĘP. Dzieci między 3 a 7 rokiem życia, ze względów rozwojowych często narażone są na schorzenia jamy bębenkowej. Z tego powodu u pacjentów w tym przedziale wiekowym ocena stanu ucha środkowego jest szczególnie istotna. Najczęściej w tym celu stosuje się testy tympanometryczne. Do tej grupy badań zaliczana jest niedawno wprowadzona szerokopasmowa tympanometria (WBT). Ze względu na zastosowanie metod pomiarowych pozwalających wyznaczyć szerokopasmową absorbancję (WBA) wiązane są z nią duże nadzieje w dziedzinie diagnostyki audiologicznej i otorynolaryngologicznej. Jak dotąd jednak nie została określona w sposób wystarczający jej skuteczność w zastosowaniu klinicznym.

CEL PRACY. Porównanie wartości diagnostycznej absorbancji szerokopasmowej oraz jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz (SLFT-226Hz) jako badań oceniających stan ucha środkowego w odniesieniu do pomiarów otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (DPOAE) u dzieci w wieku 3 do 7 lat.

MATERIAŁ I METODA. Analizie poddano wyniki badań tympanometrycznych i DPOAE 281 dzieci (543 uszu) w wieku 3 do 7 lat. Zastosowano oceny ilościowe wartości parametrów SLFT-226 Hz, WBA oraz DPOAE. Wyjątek stanowiło użycie klasycznej metody oceny wyników SLFT-226 Hz do ustalenia parametrów modelu logistycznego. Za pomocą wyznaczonych wartości współczynników korelacji Pearsona dla par badań DPOAE i WBT oraz DPOAE i SLFT-226 Hz porównano siłę zależności pomiędzy DPOAE a każdą z zastosowanych metod tympanometrycznych. Wyznaczenie median i rozstępów kwartylowych dla pomiarów parametrów SLFT-226 Hz i WBA w odniesieniu do wyników REFER i PASS umożliwiło określenie możliwości różnicowania wyników DPOAE dla obu rodzajów tympanometrii. Natomiast zestawienie wartości wskaźników miar jakości testów dla wybranych zmiennych obu rodzajów tympanometrii jak i opracowanych modeli logistycznych pozwoliło obiektywnie porównać użyteczność SLFT-226 Hz i WBA w szacowaniu uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w badanej grupie wiekowej.

WYNIKI. Na podstawie otrzymanych wartości współczynników korelacji Pearsona stwierdzono porównywalnie wysoką i bardzo wysoką siłę korelacji pomiędzy parami badań SLFT-226 Hz a DPOAE oraz WBA a DPOAE. Najwyższe wartości współczynnika korelacji

rejestrowano dla WBA w przedziale częstotliwości od około 3 kHz do 5 kHz natomiast dla SLFT-226 Hz stwierdzono je dla parametrów ciśnienia szczytowego ucha środkowego (MEP) i szerokości tympanogramu (TW). Parametrami dobrze dyskryminującymi wynik typu REFER i PASS dla DPOAE w wariancie przesiewowym dla SLFT-226 Hz okazały się MEP i TW natomiast dla WBA pomiary na częstotliwościach w zakresie od 550 do 5000 Hz. Najlepsze wartości miar jakości testu w szacowaniu uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym dla absorbancji szerokopasmowej zanotowano na częstotliwościach 771, 927, 1943 i 3462 Hz natomiast dla SLFT-226 Hz stwierdzono dla MEP i TW. Optymalne częstotliwości wyznaczone dla modelu logistycznego szerokopasmowej absorbancji to 500, 515, 561, 595, 1091, 2911 i 4896 Hz. Nie stwierdzono istotnych różnic wartości miar jakości testu dla wybranych parametrów obu rodzajów tympanometrii i ich modeli logistycznych w szacowaniu uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym i szczegółowym.

WNIOSKI

1. Zastosowanie oceny ilościowej wykorzystującej wartości liczbowe pomiarów wybranych parametrów jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz i szerokopasmowej absorbancji uszczegóławia oraz ujednocila analizę wyników obu metod diagnostycznych jednocześnie umożliwiając przeprowadzenie obiektywnych porównań między nimi.
2. Szczególnie istotne częstotliwości szerokopasmowej absorbancji z punktu widzenia oceny stanu ucha środkowego u dzieci w wieku 3 do 7 lat zawarte są w przedziale od 500 Hz do 5000 Hz.
3. Szerokopasmowa absorbancja i jednotonowa tympanometria niskoczęstotliwościowa 226 Hz podobnie oceniają stan ucha środkowego, mogą być zamiennie stosowane w praktyce klinicznej jako testy poprzedzające wykonanie otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka.

11. SUMMARY

INTRODUCTION: Children between 3 and 7 years of age are often exposed to diseases of the tympanic cavity due to developmental reasons. For this reason, in patients in this age range, the evaluation of the condition of the middle ear is particularly important. Most often, various tympanometry tests are used for this purpose. This group of tests includes the recently introduced wideband tympanometry (WBT). Due to the use of measurement methods to determine wideband absorbance (WBA), high hopes are associated with it in the field of audiological and otorhinolaryngological diagnostics. So far, however, its effectiveness in clinical use has not been sufficiently established.

OBJECTIVES: Comparison of the diagnostic value of wideband absorbance and one-tone low-frequency tympanometry 226 Hz (SLFT-226Hz) as examinations assessing the condition of the middle ear in relation to distortion product otoacoustic emission (DPOAE) in children aged 3 to 7 years.

MATERIAL AND METHOD: The results of tympanometry and DPOAE were analyzed in 281 children (543 ears) aged 3 to 7 years. Quantitative assessments of the SLFT-226 Hz, WBA and DPOAE parameters were used. The exception was the use of the classic SLFT-226 Hz method of evaluating the results to determine the parameters of the logistic model. Using the determined values of Pearson's correlation coefficients for pairs of DPOAE and WBT tests as well as DPOAE and SLFT-226 Hz, the strength of the relationship between DPOAE and each of the tympanometry methods was compared. The determination of medians and quartile ranges for the measurements of the SLFT-226 Hz and WBA parameters in relation to the REFER and PASS results made it possible to determine the possibility of differentiating the DPOAE results for both types of tympanometry. On the other hand, the comparison of test quality indicators for selected variables of both types of tympanometry and developed logistic models allowed for an objective comparison of the usefulness of SLFT-226 Hz and WBA in estimating the REFER type result for DPOAE in the examined age group.

RESULTS: On the basis of the obtained values of Pearson's correlation coefficients, comparably high and very high correlation strengths were found between the pairs of tests SLFT-226 Hz and DPOAE and WBA and DPOAE. The highest values of the correlation

coefficient were recorded for WBA in the frequency range from about 3 kHz to 5 kHz for SLFT-226 Hz, they were found for middle ear pressure (MEP) and tympanogram width (TW) parameters. Parameters well discriminating REFER and PASS results for DPOAE in the screening variant MEP and TW turned out to be MEP and TW for SLFT-226 Hz, and measurements at frequencies in the range from about 550 to about 5000 Hz for WBA. The best values for test quality measures in estimating the REFER score for DPOAE in the screening variant for wideband absorbance recorded at frequencies 771, 927, 1943 and 3462 Hz, while for SLFT-226 Hz were found for MEP and TW. The optimal frequencies determined for the logistic model of wideband absorbance are 500, 515, 561, 595, 1091, 2911 and 4896 Hz. There were no significant differences in the values of the test quality measures for the selected parameters of both types of tympanometry and their logistic models in estimating the achievement of the REFER type result for DPOAE in the screening and detailed variants.

CONCLUSIONS:

1. Application of quantitative assessment using numerical values of measurements of selected parameters of one-tone low-frequency tympanometry 226 Hz and wideband absorbance makes the analysis of the results of both diagnostic methods more detailed and unified, while enabling objective comparisons between them.
2. Particularly important wideband absorbance frequencies from the point of view of assessing the condition of the middle ear in children between the ages of 3 and 7 are in the range from 500 Hz to about 5000 Hz.
3. Wideband absorbance and one-tone low-frequency tympanometry 226Hz similarly assess the condition of the middle ear, they can be used interchangeably in clinical practice as tests preceding distortion product otoacoustic emission of the cochlea.

12. LITERATURA

1. Prasad, A., Hasan, S. M. A., Gartia, M. R. (2020) Optical Identification of Middle Ear Infection, *Molecules (Basel, Switzerland)* Epub 2020. DOI: 10.3390/molecules25092239.
2. Gryczyńska, D. (op. 2007) Otorynolaryngologia dziecięca, medica press; we współpr. z Servier, Bielsko-Biała, [Warszawa].
3. Cohen, O., Betito, H. R., Adi, M., Shapira-Galitz, Y., Halperin, D., Lahav, Y., Warman, M. (2020) Development of the nasopharynx: A radiological study of children, *Clinical anatomy (New York, N.Y.)* 33, 1019–1024.
4. Arora, M. M. L., Sain, U., Sodhi, J. S. (1973) Mastoid pneumatization in children— A roentgenographic planimetric study, *Ind. J. Otol.* 25, 87–90.
5. Eby, T. L., Nadol, J. B. (1986) Postnatal growth of the human temporal bone. Implications for cochlear implants in children, *The Annals of otology, rhinology, and laryngology* 95, 356–364.
6. Cinamon, U. (2009) The growth rate and size of the mastoid air cell system and mastoid bone: a review and reference, *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 266, 781–786.
7. Magnuson, B. (2003) Functions of the mastoid cell system: auto-regulation of temperature and gas pressure, *The Journal of laryngology and otology* 117, 99–103.
8. Sadé, J. (1992) The correlation of middle ear aeration with mastoid pneumatization. The mastoid as a pressure buffer, *European archives of oto-rhino-laryngology : official journal of the European Federation of Oto-Rhino-Laryngological Societies (EUFOS) : affiliated with the German Society for Oto-Rhino-Laryngology - Head and Neck Surgery* 249, 301–304.
9. Holborow, C. (1970) Eustachian tubal function. Changes in anatomy and function with age and the relationship of these changes to aural pathology, *Archives of otolaryngology (Chicago, Ill. : 1960)* 92, 624–626.

10. Bylander, A., Tjernström, O. (1983) Changes in Eustachian tube function with age in children with normal ears. A longitudinal study, *Acta oto-laryngologica* 96, 467–477.
11. Doyle, W. J., Swarts, J. D. (2010) Eustachian tube-tensor veli palatini muscle-cranial base relationships in children and adults: an osteological study, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 74, 986–990.
12. Orita, Y., Sando, I., Hirsch, B. E., Miura, M., Hasebe, S., Balaban, C. D. (2002) Postnatal development of the eustachian tube glands, *The Laryngoscope* 112, 1647–1652.
13. Hassmann-Poznańska, E. Anatomy and Physiology Of Eustachian Tube, *Magazyn Otorinolaryngologiczny* 2012, 8–14.
14. Takasaki, K., Sando, I., Balaban, C. D., Miura, M. (2002) Functional anatomy of the tensor veli palatini muscle and Ostmann's fatty tissue, *The Annals of otology, rhinology, and laryngology* 111, 1045–1049.
15. Bylander, A., Ivarsson, A., Tjernström, O. (1981) Eustachian tube function in normal children and adults, *Acta oto-laryngologica* 92, 481–491.
16. Balkany, T. J., Berman, S. A., Simmons, M. A., Jafek, B. W. (1978) Middle ear effusions in neonates, *The Laryngoscope* 88, 398–405.
17. Himelfarb, M. Z., Popelka, G. R., Shanon, E. (1979) Tympanometry in normal neonates, *Journal of speech and hearing research* 22, 179–191.
18. Aithal, S., Kei, J., Driscoll, C. (2014) Wideband absorbance in young infants (0-6 months): a cross-sectional study, *Journal of the American Academy of Audiology* 25, 471–481.
19. Czech D. (2011) Incidence of articulatory disorders in children with recurrent upper respiratory tract infections, *Otorinolaryngologia* 10(3), 116–120.
20. Sabo, M., Winston, R., Macias, J. (2000) Comparison of pure tone and transient otoacoustic emissions screening in a grade school population, *American Journal of Otolaryngology* 21, 88–91.
21. Skarzynski, H., Kochanek, K., Senderski, A., Skarzynski, P. H., Ludwikowski, M., Kopaczewski, M., Bruski, L. (2010) Organization of the hearing screening examinations in Polish schools in rural areas and small towns, *Cochlear implants international* 11 Suppl 1, 143–147.
22. Allen, R. L., Stuart, A., Everett, D., Elangovan, S. (2004) Preschool Hearing Screening, *Am J Audiol* 13, 29–38.

23. Obrębowski A. (2005;) Dziecko niedosłyszające w praktyce lekarza rodzinnego, *Fam Med Prim Care Rev*, 3: 736–740.
24. Skarżyński, H., Piotrowska, A. (2012) Screening for pre-school and school-age hearing problems: European Consensus Statement, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 76, 120–121.
25. Skarżyński, H., Piotrowska, A. (2012) Prevention of communication disorders--screening pre-school and school-age children for problems with hearing, vision and speech: European Consensus Statement, *Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research* 18, SR17-21.
26. Dille, M., Glatke, T. J., Earl, B. R. (2007) Comparison of transient evoked otoacoustic emissions and distortion product otoacoustic emissions when screening hearing in preschool children in a community setting, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 71, 1789–1795.
27. Taylor, C. L., Brooks, R. P. (2000) Screening for Hearing Loss and Middle-Ear Disorders in Children Using TEOAEs, *Am J Audiol* 9, 50–55.
28. Piłka, E. (2012) Evaluation of the feasibility of using otoacoustic emissions in hearing screening in 6-13 year-old schoolchildren, *Otorinolaryngologia* 2012, 11(1), 7-12.
29. G.R. Licameli, D. T. Otorinolaryngologia dziecięca – diagnostyka i leczenie,
30. Mariola Śliwińska-Kowalska (2005) Audiologia kliniczna.
31. West, W. (1923) Measurements of the acoustical impedances of human ears, *Post Office Elect. Eng.* 21.
32. Metz O. (1947) The Acoustic Impedance Measured on Normal and Pathological Ears: Orientating Studies on the Applicability of Impedance Measurement in Otological Diagnosis, *JAMA* 135, 257.
33. FELDMAN, A. S. (1963) Impedance measurements at the eardrum as an aid to diagnosis, *Journal of speech and hearing research* 6, 315–327.
34. (2016) Nowe metody audiometrii impedancyjnej. Część I. Tympanometria wieloczęstotliwościowa-wielokomponentowa, *Nowa Audiofonologia* 5, 9–21.
35. Van Camp, K. J., Margolis, R. H., Wilson, R. H., Creten, W. L., Shanks, J. E. Ed. (1986) Principles of tympanometry. 24th ed.
36. Alaerts, J., Luts, H., Wouters, J. (2007) Evaluation of middle ear function in young children: clinical guidelines for the use of 226- and 1,000- Hz tympanometry, *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society*,

- American Neurotology Society [and] European Academy of Otology and Neurotology* 28, 727–732.
37. (2008) An extension of the Jerger classification of tympanograms for ventilation tube patency--specification and evaluation of equivalent ear-canal volume criteria, *Ear and hearing* 29, 894–906.
 38. Baldwin, M. (2006) Choice of probe tone and classification of trace patterns in tympanometry undertaken in early infancy, *International journal of audiology* 45, 417–427.
 39. Harris, P. K., Hutchinson, K. M., Moravec, J. (2005) The Use of Tympanometry and Pneumatic Otoscopy for Predicting Middle Ear Disease, *Am J Audiol* 14, 3–13.
 40. Zielhuis, G. A., Rach, G. H., van den Broek, P. (1990) The occurrence of otitis media with effusion in Dutch pre-school children, *Clinical otolaryngology and allied sciences* 15, 147–153.
 41. Jerger, J. (1970) Clinical experience with impedance audiometry, *Archives of otolaryngology (Chicago, Ill. : 1960)* 92, 311–324.
 42. Lidén, G. (1969) The scope and application of current audiometric tests, *The Journal of laryngology and otology* 83, 507–520.
 43. <https://www.interacoustics.com/academy> Quick Guide Introduction to tympanometry.
 44. Palmu, A., Puhakka, H., Rahko, T., Takala, A. K. (1999) Diagnostic value of tympanometry in infants in clinical practice, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 49, 207–213.
 45. (2001) Screening for otitis media with effusion: recommendation statement from the Canadian Task Force on Preventive Health Care, *CMAJ : Canadian Medical Association journal = journal de l'Association medicale canadienne* 165, 1092–1093.
 46. Anwar, K., Khan, S., Rehman, H. U., Javaid, M., Shahabi, I. (2016) Otitis media with effusion: Accuracy of tympanometry in detecting fluid in the middle ears of children at myringotomies, *Pakistan journal of medical sciences* 32, 466–470.
 47. Fiellau-Nikolajsen, M. (1980) Tympanometry and middle ear effusion: A cohort-study in three-year-old children, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 2, 39–49.
 48. Mills, R. P. (1987) Persistent middle ear effusions in children with recurrent acute otitis media, *Clinical otolaryngology and allied sciences* 12, 97–101.

49. Toner, J. G., Mains, B. (1990) Pneumatic otoscopy and tympanometry in the detection of middle ear effusion, *Clinical otolaryngology and allied sciences* 15, 121–123.
50. Watters, G. W., Jones, J. E., Freeland, A. P. (1997) The predictive value of tympanometry in the diagnosis of middle ear effusion, *Clinical otolaryngology and allied sciences* 22, 343–345.
51. Szucs, E., Diependaele, R., Clement, P. A. (1995) The accuracy of tympanometry assessed by its sensitivity and specificity, *Acta oto-rhino-laryngologica Belgica* 49, 287–292.
52. Silman, S., Silverman, C. A., Arick, D. S. (1992) Acoustic-immittance screening for detection of middle-ear effusion in children, *Journal of the American Academy of Audiology* 3, 262–268.
53. Gold, T., Gray, J. (1948) Hearing. II. The physical basis of the action of the cochlea, *Proc. R. Soc. B.* 135, 492–498.
54. Gold, T., Pumphrey, R. J., Gray, J. (1948) Hearing. I. The cochlea as a frequency analyzer, *Proc. R. Soc. B.* 135, 462–491.
55. Kemp, D. T. (1978) Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system, *The Journal of the Acoustical Society of America* 64, 1386–1391.
56. Bonfils, P. (1989) Spontaneous otoacoustic emissions: clinical interest, *The Laryngoscope* 99, 752–756.
57. Kok, M. R., van Zanten, G. A., Brocaar, M. P. (1993) Aspects of spontaneous otoacoustic emissions in healthy newborns, *Hearing Research* 69, 115–123.
58. Morlet, T., Collet, L., Duclaux, R., Lapillonne, A., Salle, B., Putet, G., Morgon, A. (1995) Spontaneous and evoked otoacoustic emissions in pre-term and full-term neonates: is there a clinical application?, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 33, 207–211.
59. Ellison, J. C., Keefe, D. H. (2005) Audiometric predictions using stimulus-frequency otoacoustic emissions and middle ear measurements, *Ear and hearing* 26, 487–503.
60. Liu, Y., Xu, R., Gong, Q. (2021) Maximising the ability of stimulus-frequency otoacoustic emissions to predict hearing status and thresholds using machine-learning models, *International journal of audiology* 60, 263–273.
61. Reyes, S., Ding, D., Sun, W., Salvi, R. (2001) Effect of inner and outer hair cell lesions on electrically evoked otoacoustic emissions, *Hearing Research* 158, 139–150.

62. Zou, Y., Zheng, J., Nuttall, A. L., Ren, T. (2003) The sources of electrically evoked otoacoustic emissions, *Hearing Research* 180, 91–100.
63. Interacustics DPOAE vs. TEOAE.
64. Smurzyński Jacek Podstawy badań otoemisji akustycznej, *Audiofonologia* 1996, 5–19.
65. Zebian, M., Schirkonyer, V., Hensel, J., Vollbort, S., Fedtke, T., Janssen, T. (2013) Distortion product otoacoustic emissions upon ear canal pressurization, *The Journal of the Acoustical Society of America* 133, EL331-7.
66. Interacustics Otoacoustic Emissions (OAEs): An Introduction.
67. Hauser, R., Probst, R., Harris, F. P. (1993) Effects of atmospheric pressure variation on spontaneous, transiently evoked, and distortion product otoacoustic emissions in normal human ears, *Hearing Research* 69, 133–145.
68. Osterhammel, P. A., Nielsen, L. H., Rasmussen, A. N. (1993) Distortion product otoacoustic emissions. The influence of the middle ear transmission, *Scandinavian audiology* 22, 111–116.
69. Sun, X.-M. (2012) Ear canal pressure variations versus negative middle ear pressure: comparison using distortion product otoacoustic emission measurement in humans, *Ear and hearing* 33, 69–78.
70. Thompson, S., Henin, S., Long, G. R. (2015) Negative Middle Ear Pressure and Composite and Component Distortion Product Otoacoustic Emissions, *Ear and hearing* 36, 695–704.
71. Sun, X.-M., Shaver, M. D. (2009) Effects of negative middle ear pressure on distortion product otoacoustic emissions and application of a compensation procedure in humans, *Ear and hearing* 30, 191–202.
72. Akdogan, O., Ozkan, S. (2006) Otoacoustic emissions in children with otitis media with effusion, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 70, 1941–1944.
73. Saleem, Y., Ramachandran, S., Ramamurthy, L., Kay, N. J. (2007) Role of otoacoustic emission in children with middle-ear effusion and grommets, *The Journal of laryngology and otology* 121, 943–946.
74. Topolska, M. M., Hassman, E., Baczek, M. (2000) The effects of chronic otitis media with effusion on the measurement of distortion products of otoacoustic emissions: presurgical and postsurgical examination, *Clinical otolaryngology and allied sciences* 25, 315–320.

75. Tas, A., Yagiz, R., Uzun, C., Adali, M. K., Koten, M., Tas, M., Karasalihoglu, A. R. (2004) Effect of middle ear effusion on distortion product otoacoustic emission, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 68, 437–440.
76. Yeo, S. W., Park, S.-N., Park, Y. S., Suh, B. D. (2002) Effect of middle-ear effusion on otoacoustic emissions, *The Journal of laryngology and otology* 116, 794–799.
77. Ueda, H., Nakata, S., Hoshino, M. (1998) Effects of effusion in the middle ear and perforation of the tympanic membrane on otoacoustic emissions in guinea pigs, *Hearing Research* 122, 41–46.
78. Thakur, J. S., Chauhan, I., Mohindroo, N. K., Sharma, D. R., Azad, R. K., Vasanthalakshmi, M. S. (2013) Otoacoustic Emissions in Otitis Media with Effusion: Do They Carry any Clinical Significance?, *Indian journal of otolaryngology and head and neck surgery : official publication of the Association of Otolaryngologists of India* 65, 29–33.
79. Møller, A. R. (1963) Transfer Function of the Middle Ear, *The Journal of the Acoustical Society of America* 35, 1526–1534.
80. Guinan, J. J., Peake, W. T. (1967) Middle-ear characteristics of anesthetized cats, *The Journal of the Acoustical Society of America* 41, 1237–1261.
81. Hudde, H. (1983) Measurement of the eardrum impedance of human ears, *The Journal of the Acoustical Society of America* 73, 242–247.
82. Rabinowitz, W. M. (1981) Measurement of the acoustic input immittance of the human ear, *The Journal of the Acoustical Society of America* 70, 1025–1035.
83. Śliwa, L., Kochanek, K., Jędrzejczak, W. W., Mrugała, K., Skarżyński, H. (2020) Measurement of Wideband Absorbance as a Test for Otosclerosis, *Journal of clinical medicine* Epub 2020. DOI: 10.3390/jcm9061908.
84. Keefe, D. H., Bulen, J. C., Arehart, K. H., Burns, E. M. (1993) Ear-canal impedance and reflection coefficient in human infants and adults, *The Journal of the Acoustical Society of America* 94, 2617–2638.
85. (2016) Nowe metody audiometrii impedancyjnej. Część II. Szerokopasmowa tympanometria reflektancyjna, *Nowa Audiofonologia* 5, 11–23.
86. <https://www.interacoustics.com/academy>.
87. Rosowski, J. J., Stenfelt, S., Lilly, D. (2013) An overview of wideband immittance measurements techniques and terminology: you say absorbance, I say reflectance, *Ear and hearing* 34 Suppl 1, 9S-16S.

88. Withnell, R. H., Jeng, P. S., Waldvogel, K., Morgenstein, K., Allen, J. B. (2009) An in situ calibration for hearing thresholds, *The Journal of the Acoustical Society of America* 125, 1605–1611.
89. Liu, Y.-W., Sanford, C. A., Ellison, J. C., Fitzpatrick, D. F., Gorga, M. P., Keefe, D. H. (2008) Wideband absorbance tympanometry using pressure sweeps: system development and results on adults with normal hearing, *The Journal of the Acoustical Society of America* 124, 3708–3719.
90. Sanford, C. A., Keefe, D. H., Liu, Y.-W., Fitzpatrick, D., McCreery, R. W., Lewis, D. E., Gorga, M. P. (2009) Sound-conduction effects on distortion-product otoacoustic emission screening outcomes in newborn infants: test performance of wideband acoustic transfer functions and 1- kHz tympanometry, *Ear and hearing* 30, 635–652.
91. Valvik, B. R., Johnsen, M., Laukli, E. (1994) Multifrequency tympanometry. Preliminary experiences with a commercially available middle-ear analyzer, *Audiology : official organ of the International Society of Audiology* 33, 245–253.
92. Feeney, M. P., Hunter, L. L., Kei, J., Lilly, D. J., Margolis, R. H., Nakajima, H. H., Neely, S. T., Prieve, B. A., Rosowski, J. J., Sanford, C. A., Schairer, K. S., Shahnaz, N., Stenfelt, S., Voss, S. E. (2013) Consensus statement: Eriksholm workshop on wideband absorbance measures of the middle ear, *Ear and hearing* 34 Suppl 1, 78S–79S.
93. Liang, J., Xiao, L., Sun, X. Y., Zou, B. (2021) Characteristics of the wideband absorbance of acoustic energy in children (3-7 years old) with otitis media with effusion, *International journal of pediatric otorhinolaryngology* 140, 110496.
94. Beers, A. N., Shahnaz, N., Westerberg, B. D., Kozak, F. K. (2010) Wideband reflectance in normal Caucasian and Chinese school-aged children and in children with otitis media with effusion, *Ear and hearing* 31, 221–233.
95. Ellison, J. C., Gorga, M., Cohn, E., Fitzpatrick, D., Sanford, C. A., Keefe, D. H. (2012) Wideband acoustic transfer functions predict middle-ear effusion, *The Laryngoscope* 122, 887–894.
96. Pan, J. L., Yang, J. (2018) The clinical value of wideband tympanometry in the diagnosis of otitis media with effusion, *Lin chuang er bi yan hou tou jing wai ke za zhi = Journal of clinical otorhinolaryngology, head, and neck surgery* 32, 1309–1315.

97. Grais, E. M., Wang, X., Wang, J., Zhao, F., Jiang, W., Cai, Y., Zhang, L., Lin, Q., Yang, H. (2021) Analysing wideband absorbance immittance in normal and ears with otitis media with effusion using machine learning, *Scientific reports* 11, 10643.
98. Kaya, Ş., Çiçek Çınar, B., Özbal Batuk, M., Özgen, B., Sennaroğlu, G., Genç, G. A., Sennaroğlu, L. (2020) Wideband tympanometry findings in inner ear malformations, *Auris, nasus, larynx* 47, 220–226.
99. Ministerstwo Edukacji i Nauki, Zintegrowana Platforma Edukacyjna Biologiczna Biologiczna struktura ludności Polski. <https://zpe.gov.pl/a/biologiczna-struktura-ludnosci-polski/DoyDpyCa6>.
100. Hunter, L. L., Feeney, M. P., Lapsley Miller, J. A., Jeng, P. S., Bohning, S. (2010) Wideband reflectance in newborns: normative regions and relationship to hearing-screening results, *Ear and hearing* 31, 599–610.
101. Piskorski, P., Keefe, D. H., Simmons, J. L., Gorga, M. P. (1999) Prediction of conductive hearing loss based on acoustic ear-canal response using a multivariate clinical decision theory, *The Journal of the Acoustical Society of America* 105, 1749–1764.
102. Niemczyk, E., Lachowska, M., Tataj, E., Kurczak, K., Niemczyk, K. (2019) Wideband tympanometry and absorbance measurements in otosclerotic ears, *The Laryngoscope* 129, E365-E376.
103. Callahan, S., Newby, M., Saoji, A. A., Ramadan, J., Carr, M. M. (2021) Assessment of Pediatric Middle Ear Effusions With Wideband Tympanometry, *Otolaryngology-head and neck surgery : official journal of American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery* 165, 465–469.
104. Guzik, B. (2008) Empiryczne szacowanie zależności ekonomicznych, *Roczniki Ekonomiczne Kujawsko-Pomorskiej Szkoły Wyższej w Bydgoszczy*, 51–72.
105. Aithal, S., Kei, J., Driscoll, C., Khan, A., Swanston, A. (2015) Wideband Absorbance Outcomes in Newborns: A Comparison With High-Frequency Tympanometry, Automated Brainstem Response, and Transient Evoked and Distortion Product Otoacoustic Emissions, *Ear and hearing* 36, e237-50.
106. Keefe, D. H., Simmons, J. L. (2003) Energy transmittance predicts conductive hearing loss in older children and adults, *The Journal of the Acoustical Society of America* 114, 3217–3238.

107. Keefe, D. H., Sanford, C. A., Ellison, J. C., Fitzpatrick, D. F., Gorga, M. P. (2012) Wideband aural acoustic absorbance predicts conductive hearing loss in children, *International journal of audiology* 51, 880–891.
108. Prieve, B. A., Vander Werff, K. R., Preston, J. L., Georgantas, L. (2013) Identification of conductive hearing loss in young infants using tympanometry and wideband reflectance, *Ear and hearing* 34, 168–178.
109. (op. 2008) Podstawy EBM czyli Medycyny opartej na danych naukowych. Dla lekarzy i studentów medycyny, Medycyna Praktyczna, Kraków.
110. Ocena nowych metodologii badań przesiewowych, *Ginekologia po Dyplomie NR 05 (WRZESIEN) / 2010*.
111. Shahnaz, N., Feeney, M. P., Schairer, K. S. (2013) Wideband acoustic immittance normative data: ethnicity, gender, aging, and instrumentation, *Ear and hearing* 34 Suppl 1, 27S-35S.

13. SPIS RYSUNKÓW

Rysunek 1. Graficzna prezentacja krzywej tympanometrycznej typu A wraz z numerycznym, ilościowym zapisem wartości parametrów charakterystycznych dla SLFT-226 Hz	19
Rysunek 2. Przykładowy DP-Gram u dziecka bez zaburzeń w narządzie spiralnym ..	22
Rysunek 3. Przykładowy graficzny zapis absorbancji w funkcji częstotliwości w ciśnieniu otoczenia (krzywa czerwona) i ciśnieniu szczytowym (krzywa szara).....	26
Rysunek 4. Graficzny, trójwymiarowy zapis pomiaru szerokopasmowej immitancji akustycznej	27
Rysunek 5. Urządzenie wielofunkcyjne Titan firmy Interacoustics.....	35
Rysunek 6. Diagram korelacyjny między ciśnieniem szczytowym ucha środkowego a maksymalną wartością SNR otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przy częstotliwości 5 kHz oraz wartość współczynnika korelacji Pearsona i równanie prostej regresji	41
Rysunek 7. Diagram korelacyjny między ciśnieniem szczytowym ucha środkowego (MEP) a maksymalną wartością SNR otoemisji akustycznej produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka przy częstotliwości 5 kHz oraz wartość współczynnika korelacji Pearsona i równanie prostej regresji	46
Rysunek 8. Współczynniki korelacji liniowej r w funkcji częstotliwości WBT i OAE	47
Rysunek 9. Liczba uszu z wynikiem typu REFER i PASS dla DPOAE w wariancie przesiewowym w badanej grupie pacjentów	48
Rysunek 10. Wyniki pomiaru ciśnienia szczytowego ucha środkowego MEP w badaniu SLFT-226 Hz w grupach uszu różniących się oceną w badaniu przesiewowym DPOAE i wynik testu istotności.....	49
Rysunek 11. Wyniki pomiaru podatności ucha środkowego MEC w badaniu SLFT-226 Hz w grupach uszu różniących się oceną w badaniu przesiewowym DPOAE i wynik testu istotności	49

Rysunek 12. Wyniki pomiaru szerokości tympanogramu w badaniu SLFT-226 Hz w grupach uszu różniących się oceną w badaniu przesiewowym DPOAE i wynik testu istotności	50
Rysunek 13. Mediany (Me) i rozstępy kwartyłowe (Q1-Q3) absorbancji szerokopasmowej zmierzonej w paśmie od 226 do 8000 Hz w grupach uszu różniących się wynikiem w badaniu DPOAE w wariancie przesiewowym.....	51
Rysunek 14. Mediany (Me) i rozstępy kwartyłowe (Q1-Q3) WBA oraz wyniki testu istotności w grupach uszu różniących się wynikiem badania DPOAE w wariancie przesiewowym na częstotliwościach 226 Hz, 1000 Hz, 4000 Hz i 8000 Hz szerokopasmowej absorbancji	52
Rysunek 15. Wartość pola pod krzywą ROC dla wybranego punktu odcięcia w zależności od częstotliwości WBA (pasmo DPOAE = 0,5 kHz)	54
Rysunek 16. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 1,0 kHz).....	54
Rysunek 17. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 2,0 kHz).....	55
Rysunek 18. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 3,0 kHz).....	55
Rysunek 19. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 4,0 kHz).....	56
Rysunek 20. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 5,0 kHz).....	56
Rysunek 21. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 6,0 kHz).....	57
Rysunek 22. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 8,0 kHz).....	57
Rysunek 23. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 9,0 kHz).....	58
Rysunek 24. Wartość pola pod krzywą ROC w zależności od częstotliwości WBA (SNR<6 dB; DPOAE = 10,0 kHz).....	58
Rysunek 25. Krzywe ROC do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym dla parametrów mierzonych w jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz (MEP, MEC i TW).....	60

- Rysunek 26. Krzywe ROC do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku DPOAE-REFER w wariancie przesiewowym dla wyników pomiarów szerokopasmowej absorbancji wyróżniających się częstotliwości 771 Hz, 972 Hz i 1943 Hz65
- Rysunek 27. Krzywa ROC modelu logistycznego opartego na wybranych wynikach badań jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz opracowanego do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wraz z wartościami pola powierzchni pod krzywą (AUC), czułością, swoistością, wartością predykcijną wyniku dodatniego oraz wskaźnikiem wiarygodności testu dodatniego67
- Rysunek 28. Krzywe ROC dla szerokopasmowej absorbancji mierzonej na częstotliwościach 500, 515, 561, 595, 1091, 2911 i 4896 Hz wykorzystanych do opracowania modelu logistycznego Źródło: opracowanie własne68
- Rysunek 29. Krzywa ROC modelu logistycznego opartego na wybranych częstotliwościach szerokopasmowej absorbancji opracowanego do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wraz z wartościami pola powierzchni pod krzywą (AUC), czułością, swoistością, wartością predykcijną wyniku dodatniego oraz wskaźnikiem wiarygodności testu dodatniego69

14. SPIS TABEL

Tabela 1. Podstawowe statystyki opisowe cech charakteryzujących badaną grupę dzieci.....	39
Tabela 2. Wartości współczynników korelacji Pearsona między wynikami pomiarów SNR dla DPOAE i parametrami mierzonymi w SLFT-226 Hz	40
Tabela 3. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	42
Tabela 4. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	42
Tabela 5. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	42
Tabela 6. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	43
Tabela 7. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	43
Tabela 8. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	43
Tabela 9. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	44
Tabela 10. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	44

Tabela 11. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	44
Tabela 12. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	45
Tabela 13. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	45
Tabela 14. Wartości współczynników korelacji Pearsona między maksymalną wartością SNR dla DPOAE i wartością szerokopasmowej absorbancji na wszystkich częstotliwościach testowych	45
Tabela 15. Podstawowe statystyki uzyskanych wyników dotyczących poszczególnych mierzonych parametrów oraz grup klasycznej oceny jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226 Hz.	48
Tabela 16. Wyniki analizy krzywych ROC dla parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wersji diagnostycznej. Pasma DPOAE = 0,5 kHz.....	54
Tabela 17. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 1,0 kHz)	54
Tabela 18. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 2,0 kHz)	55
Tabela 19. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 3,0 kHz)	55
Tabela 20. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 4,0 kHz)	56
Tabela 21. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 5,0 kHz)	56

Tabela 22. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 6,0 kHz)	57
Tabela 23. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 8,0 kHz)	57
Tabela 24. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 9,0 kHz)	58
Tabela 25. Wyniki analizy krzywych ROC dla wybranych parametrów SLFT-226 Hz i WBA do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER-DPOAE w wersji diagnostycznej. (DPOAE = 10,0 kHz)	58
Tabela 26. Wartości wybranych miar jakości testu wyznaczone dla parametrów ilościowych MEP, MEC i TW mierzonych w SLFT-226 Hz w odniesieniu do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym.....	60
Tabela 27. Wartości miar jakości testu wyznaczone dla parametrów jakościowych – grup tradycyjnej klasyfikacji SLFT-226 Hz w odniesieniu do szacowania prawdopodobieństwa uzyskania wyniku REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym	61
Tabela 28. Wartości miar jakości testu w szacowaniu prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym wyznaczonych dla szerokopasmowej absorbcji w przedziale częstotliwości 226-8000 Hz .	61
Tabela 29. Wyniki regresji logistycznej jedno- i wieloczynnikowej prawdopodobieństwa uzyskania wyniku typu REFER dla DPOAE w wariancie przesiewowym szacowanego na podstawie parametrów SLFT-226 Hz	66
Tabela 30. Wartość ilorazu szans z 95% zakresem ufności dla modelu logistycznego opartego na wybranych parametrach SLFT-226 Hz.....	67
Tabela 31. Wartość ilorazu szans z 95% zakresem ufności dla modelu logistycznego opartego na wartościach absorbcji na wyselekcjonowanych częstotliwości pomiarowych	69
Tabela 32. Uzyskane wartości miar jakości testów dla modeli logistycznych SLFT-226 Hz i WBA	70

Tabela 33. Zastosowane kryteria włączenia do poszczególnych grup klasycznej klasyfikacji jakościowej wyników jednotonowej tympanometrii niskoczęstotliwościowej 226hz według Zielhuis'a i wsp. w modyfikacji własnej Autora	74
---	----