

*Dariusz Komar*

**Badanie skuteczności stosowania systemu CROS  
u pacjentów z jednostronną głuchotą odbiorczą**

Effectiveness of CROS system  
in patients with unilateral sensorineural deafness

Rozprawa doktorska

Katedra i Klinika Foniatrii i Audiologii  
Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego  
w Poznaniu

Promotor: dr hab. med. Alicja Sekula

Poznań 2011

## SPIS TREŚCI

Wykaz skrótów używanych w pracy .....	4
1. Wprowadzenie.....	6
2. Wstęp .....	7
2.1. Fizjologiczne słyszenie .....	7
2.2. Słyszenie binauralne. Lokalizacja źródła dźwięku .....	8
2.3. Definicja jednostronnej głuchoty (JG).....	10
2.4. Wykrywanie jednostronnej głuchoty .....	10
2.5. Skutki jednostronnej głuchoty odbiorczej .....	11
2.5.1. Efekt akustycznego cienia głowy (Head Shadow Effect).....	12
2.5.2. Utrudnione rozumienie w szumie .....	14
2.5.3. Problem w lokalizowaniu źródła dźwięku.....	15
2.6. Konsekwencje jednostronnej głuchoty .....	15
2.7. Możliwości rehabilitacji pacjentów z jednostronną głuchotą .....	16
2.7.1. System CROS .....	16
2.7.1.1. Rys historyczny .....	16
2.7.1.2. Rodzaje systemu CROS .....	19
2.7.1.3. Sposób działania.....	21
2.7.2. CROS działający przy wykorzystaniu przewodnictwa kostnego.....	23
2.7.2.1. BAHA CROS .....	23
2.7.2.2. Transcranial CROS .....	24
2.7.3. Implant ślimakowy. Stymulacja bimodalna .....	25
3. Cele pracy .....	26
4. Materiał badań.....	27
5. Metodyka badań.....	29
5.1. Ukierunkowany wywiad .....	29
5.2. Badanie audiologiczne słuchu .....	30
5.2.1. Próba stroikowa Webera .....	30
5.2.2. Audiometria tonalna .....	30
5.2.3. Audiometria mowy.....	31
5.2.4. Audiometria impedancyjna.....	31
5.2.5. Badania obiektywne słuchu.....	32
5.3. Dopasowanie systemu CROS .....	33

5.4.	Badania korzyści z systemu CROS.....	35
5.4.1.	Audiometria tonalna w swobodnym polu akustycznym przed i po zastosowaniu systemu CROS.....	36
5.4.2.	Akumetryczne badanie szeptem.....	37
5.4.3.	Audiometria mowy w wolnym polu akustycznym przed i po zastosowaniu systemu CROS.....	37
5.4.4.	Subiektywna ocena skuteczności APHAB CROS oraz SOS CROS .....	38
5.5.	Metodyka oceny statystycznej wyników badań.....	41
6.	Wyniki.....	42
6.1.	Dane z wywiadu.....	42
6.2.	Wyniki badań audiologicznych .....	45
6.2.1.	Próby stroikowe.....	45
6.2.2.	Audiometria tonalna .....	46
6.2.3.	Audiometria mowy.....	47
6.2.4.	Audiometria impedancyjna.....	47
6.2.5.	Otoemisja akustyczna .....	47
6.2.6.	Odpowiedzi elektryczne z pnia mózgu.....	47
6.3.	Wyniki badań korzyści z systemu CROS .....	48
6.3.1.	Wyniki audiometrii tonalnej w wolnym polu przed i po zastosowaniu systemu CROS.....	48
6.3.2.	Wyniki rozumienia mowy w szumie z różnych azymutów .....	50
6.3.3.	Wyniki rozumienia szeptu „ad concham” po stronie głuchej.....	52
6.3.4.	Wyniki ABHAB CROS i SOS CROS.....	53
6.4.	Analiza statystyczna wyników.....	54
7.	Dyskusja.....	57
8.	Wnioski.....	65
9.	Streszczenie.....	66
10.	Summary .....	69
11.	Piśmiennictwo .....	72
12.	Spis rycin i tabel .....	76
	Aneks.....	78

## WYKAZ SKRÓTÓW UŻYWANYCH W PRACY

ABR	Auditory Brainstem Response – słuchowe odpowiedzi z pnia mózgu
AGCo	Automatic Gain Control output – automatyczna regulacja wzmocnienia na wyjściu
APHAB	Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit – kwestionariusz korzyści z aparatu słuchowego
BAHA	Bone Anchored Hearing Aid – aparat słuchowy zakotwiczony w kości
BTE	Behind the Ear – aparat słuchowy zauszny
CIC	Completely In the Canal – aparat słuchowy wewnątrzprzewodowy
CR	Compression Ratio – współczynnik kompresji w aparacie słuchowym
CROS	Contralateral Routing of Offside Signal – przekierowanie sygnału z przeciwległej strony
DAI	Direct Audio Input – bezpośrednie wejście audio w aparatach słuchowych
dB (A)	jednostka poziomu ciśnienia akustycznego ważona krzywą korekcyjną A
dB HL	jednostka oceniająca wielkość utraty słuchu (Hearing Loss)
DP filtr	filtr dolnoprzepustowy
DPOAE	Distortion Product Otoacoustic Emissions – otoemisje akustyczne zniekształceń nieliniowych
FF	Free Field – wolne pole akustyczne
FM	Frequency Modulation – system bezprzewodowej komunikacji
HTL	Hearing Threshold Level – poziom progu słyszenia
IG	Insertion Gain – wzmocnienie skuteczne
ILD	Interaural Level Difference – międzyuszna różnica poziomów natężenia dźwięku
ITD	Interaural Time Difference – międzyuszna różnica czasu dobiegania dźwięku
ITE	In the Ear – aparat słuchowy wewnątrzuszny
JG	jednostronna głuchota
LDL	Loudness Discomfort Level – poziom niekomfortowej głośności
MCL	Most Comfortable Level – najbardziej komfortowy poziom
MNR	Microphone Noise Reduction – układ redukcji szumu mikrofonu
MPO	Maximum Power Output – maksymalny poziom wyjściowy w aparacie słuchowym
NAL	National Acoustic Laboratories – metoda obliczania wzmocnienia w aparatach słuchowych
NOAH	oprogramowanie do gromadzenia wyników badań słuchu oraz ustawień parametrów aparatów słuchowych

PTA	Pure Tone Audiometry – audiometria tonalna
SD	Speech Discrimination – stopień rozumienia mowy
SNR	Signal to Noise Ratio – stosunek sygnału do szumu
SMS	Speech Management System – system „zarządzania” sygnałem mowy
SOS	Ankieta subiektywnej oceny skuteczności systemu CROS
SPD	Speech Pattern Detection – system wyróżniania sygnału mowy na tle szumu
SPL	Sound Pressure Level – poziom ciśnienia akustycznego
SSD	Single Sided Deafness – jednostronna głuchota
SSQ	Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale – kwestionariusz komfortu słyszenia
SRT	Speech Reception Threshold – próg rozumienia mowy
TEOAE	Transient-Evoked Otoacoustic Emission – otoemisje akustyczne wywołane trzaskiem
UD	Unilateral Deafness – jednostronna głuchota
VC	Volume Control – potencjometr głośności
WN	White Noise – szum szerokopasmowy nazywany białym

## 1. WPROWADZENIE

Słuch jest jednym z pięciu zmysłów człowieka, a jego najważniejszą rolą jest odbiór mowy oraz innych akustycznych sygnałów informacyjnych, w tym sygnałów ostrzegawczych. Nie bez przyczyny posiadamy dwoje uszu. Dzięki temu potrafimy lepiej rozumieć mowę na tle sygnałów zakłócających oraz wiemy skąd dźwięk dobiega. To ułatwia nam orientację przestrzenną. Rozwój w dziedzinie audiologii i protetyki słuchu umożliwia dziś skuteczną pomoc, w przypadku niemal każdej wady słuchu, począwszy od niewielkich uszkodzeń, po całkowity zanik słyszenia. Rozwój komputerów, układów elektronicznych w aparatach słuchowych, stworzenie implantów ślimakowych, a nawet implantów wprowadzanych chirurgicznie do pnia mózgu i śródmózgowia, pokazuje ogromne potencjalne możliwości, jakie rozwój technologii otwiera przed dzisiejszymi urządzeniami rehabilitacyjnymi, stosowanymi w różnych patologich słuchu. Dostępność do tego sprzętu również zwiększa się z roku na rok. Wiemy o ubytkach słuchu coraz więcej, a jednocześnie dostrzegamy coraz to nowe potrzeby, dzięki większemu doświadczeniu i dużej dostępności specjalistycznych badań audiologicznych. W krajach rozwiniętych rzeczą naturalną jest poprawa komfortu życia i nawet najmniejsze niedobory słuchu są już korygowane. Tak się dzieje i w Polsce. Jednostronna głuchota jest jednak wyjątkiem od tej reguły, prawdopodobnie ze względu na dotychczasowe płytkie traktowanie tej patologii w rehabilitacji słuchu lub zbyt małe możliwości pomocy pacjentom cierpiącym na ten rodzaj dolegliwości. Oczywiście wielu pacjentów z tą wadą funkcjonuje bez urządzeń wspomagających, ale dlaczego nie polepszyć im jakości życia i zapewnić komfort komunikatywny. Jesteśmy zbudowani symetrycznie i wiele części naszego ciała występuje w parach. Człowiek bez ręki, nogi czy oka staje się kaleką z niepełnosprawnością mocno widoczną, powodującą określone konsekwencje. Jednostronną głuchotę należy bardzo dokładnie i wielowymiarowo zbadać by móc określić wynikającą z niej dysfunkcję.

Coraz częściej w dzisiejszych czasach odnotowuje się problemy słuchowe, występujące bez dającej się wyraźnie określić przyczyny. Szumy uszne (*tinnitus*), jak i skutki nagłej głuchoty idiopatycznej, to bez wątpliwości problemy ujawniające się w cywilizowanym społeczeństwie i pacjenci z tymi dolegliwościami pojawiają się u specjalistów coraz częściej. Podobnie pacjenci z jednostronną głuchotą zgłaszają specjalistom swoje dolegliwości i szukają, czasami bezskutecznie, pomocy w rozwiązaniu ich problemów słuchowych.

## 2. WSTĘP

### 2.1. Fizjologiczne słyszenie

Aby zrozumieć zjawiska, które zachodzą w przypadku jednostronnej głuchoty, należy przybliżyć proces fizjologicznego słyszenia. Słyszenie to zjawisko zmysłowe powstające w korze mózgowej, którego bodźcem jest fala akustyczna, a receptory zlokalizowane są w uchu wewnętrznym. Uszy kojarzą się zazwyczaj z tym, co jest umiejscowione na zewnątrz, czyli z małżowinami usznymi. Jednak słuch jest w rzeczywistości skomplikowanym systemem receptorycznym odbierającym dźwięki. Układ słuchowy jest tylko swoistym odbiornikiem, który służy do przyjęcia pewnej dawki informacji, interpretowanej w mózgu. Słyszeć, to korzystać z tej informacji, dlatego można by powiedzieć, że tak naprawdę słyszymy mózgiem a nie uchem.

Proces powstawania wrażenia słuchowego jest następujący. Fala akustyczna natrafia na stworzoną do „zbierania” dźwięków małżowinę uszną, połączoną z przewodem słuchowym zewnętrznym, zakończonym błoną bębenkową. Wymienione elementy tworzą ucho zewnętrzne. Błona bębenkowa wprawiana jest w drgania, które dzięki połączeniu z nią pierwszej kosteczki słuchowej w uchu środkowym przenoszone są dalej na cały łańcuch kosteczek. Strzemiączko, połączone z okienkiem owalnym ślimaka (ucho wewnętrzne), wprawia w ruch drgający płyny tam się znajdujące. Ruchy płynów poruszają z kolei komórki słuchowe – rzęski – zanurzone w tzw. błonie pokrywającej (*membrana tectoria*), które falę mechaniczną zamieniają w impuls elektryczny. Każde miejsce błony podstawnej odpowiedzialne jest za słyszenie dźwięków o innej częstotliwości i ułożone tonotopowo. Przekazanie impulsów elektrycznych zachodzi przez nerw słuchowy, a miejsce, do którego impulsy te docierają to płat skroniowy kory mózgowej. Tu powstaje wrażenie słyszenia, interpretacja, a także zapamiętywanie dyskretnych różnic pomiędzy poszczególnymi dźwiękami [16, 22, 44, 53, 55, 59, 76].

Wszystkie ww. elementy tworzą trzy podstawowe części ucha: ucho zewnętrzne (małżowina i przewód słuchowy zewnętrzny), ucho środkowe (błona bębenkowa i układ kosteczek słuchowych) oraz ucho wewnętrzne, czyli ślimak. Złe funkcjonowanie któregoś z tych elementów wpływa znacząco na działanie całości. Problem jest tym większy, im jest zlokalizowany głębiej, bliżej mózgu.

Główna funkcja małżowiny to skupianie dźwięku, ale przypisuje jej się również wpływ na barwę dźwięku. Utrata małżowiny powoduje niewielki, 10 dB ubytek słuchu. Przewód słuchowy zewnętrzny fizycznie przypomina rezonator o pewnej częstotliwości drgań własnych. Od objętości przewodu słuchowego zewnętrznego zależy częstotliwość drgań własnych. Częstotliwość ta jest tak różna osobniczo, jak linie papilarne. Największe

różnice występują pomiędzy małymi dziećmi a dorosłymi, z racji różnych rozmiarów przewodów słuchowych zewnętrznych. Dla przykładu rezonans u dzieci może przypadać dla częstotliwości 5 kHz, a średnio u osoby dorosłej częstotliwość rezonansowa wynosi około 3,5 kHz [59, 76]. Rezonansowi przewodu słuchowego zewnętrznego przypisuje się wzmacnianie o 10–15 dB. Funkcją błony bębenkowej jest przetwarzanie sygnału akustycznego na mechaniczny, ale chroni ona również ucho środkowe przed czynnikami zewnętrznymi. Uszkodzenie mechaniczne błony bębenkowej może spowodować ubytek lekkiego stopnia. Kosteczki pełnią funkcję transformatora dopasowującego siłę działania na okienko owalne ślimaka. Następuje tu zamiana ośrodka propagacji fali dźwiękowej ze stałego (kość) na płynny (perylimfa i endolimfa), dlatego taka transformacja jest konieczna. Zadaniem receptora jest zamiana fali akustycznej na impulsy elektryczne. Impuls elektryczny biegnie nerwem słuchowym do mózgu. Droga słuchowa przenosi informacje do ośrodkowego układu nerwowego, który opracowuje je i koreluje ze wzorem impulsów z przeciwnego ucha. Uszkodzenie ślimaka lub nerwu słuchowego może powodować całkowitą i nieodwracalną głuchotę. [11, 44, 59, 76].

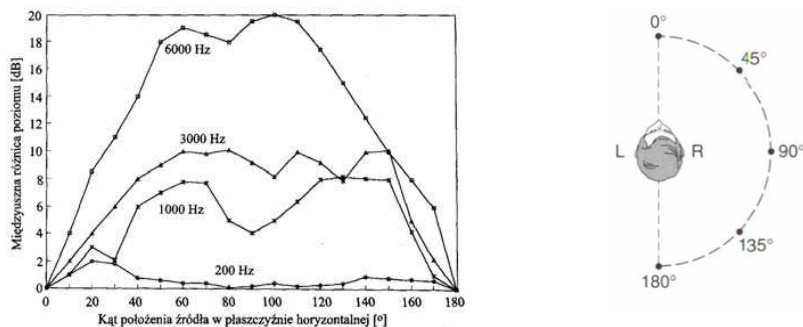
## **2.2. Słyszenie binauralne. Lokalizacja źródła dźwięku**

Słyszenie obuuszne, inaczej nazywane binauralnym, jest naturalną funkcją zdrowego układu słuchowego i wynika z faktu posiadania przez człowieka dwojga uszu. Lokalizacja ich po przeciwległych stronach głowy nie jest przypadkowa i pozwala na odbiór dźwięków z wszystkich stron. Usytuowanie na głowie oraz budowa małżowin usznych umożliwia lepsze zbieranie dźwięków dobiegających z przodu, co sprawia, że w naturalny sposób zwracamy się twarzą do osób, z którymi rozmawiamy.

Obuuszne słyszenie umożliwia człowiekowi rozróżnianie kierunku dobiegania dźwięku. To właśnie zjawiska związane ze słyszeniem binauralnym wpływają na lokalizację źródła dźwięku: międzyuszna różnica poziomów natężenia (Interaural Level Difference, ILD), międzyuszna różnica czasu (Interaural Time Difference, ITD) [11, 27, 53, 57, 59].

Międzyuszna różnica poziomów natężenia głośności wynika z faktu, że głowa jest przeszkodą na drodze propagacji fal dźwiękowych. Poziomy docierającego dźwięku różnią się w istotny sposób dla obojga uszu. Wielkość różnicy poziomów zależy od długości fali akustycznej, a tym samym od jej częstotliwości. Dźwięki o długości fali większej od przeszkody, jaką jest głowa, uginają się na niej i do obu uszu docierają z taką samą intensywnością. Jeśli jednak długość fali jest mniejsza od rozmiaru głowy, zjawisko ugięcia nie zachodzi i dźwięk taki ulega częściowemu lub nawet całkowitemu odbiciu, przez co powstaje międzyuszna różnica poziomów o wartości do 20 dB.

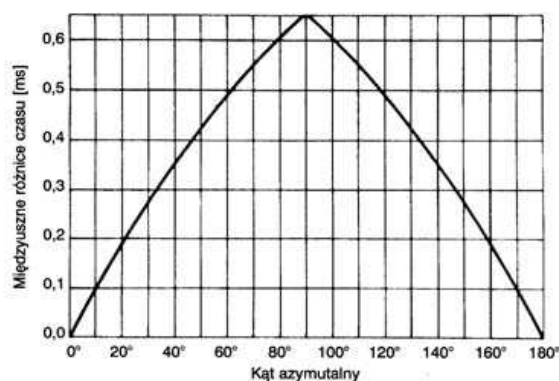




**Ryc. 1.** Zależność międzyusznnej różnicy poziomu ciśnienia akustycznego od kąta azymutalnego źródła, dla częstotliwości 200, 1000, 3000 i 6000 Hz (wg Feddersona i in.).

Mówiąc inaczej, to ucho które jest bliżej źródła dźwięku odbiera sygnał akustyczny głośniejszy niż ucho drugie. Ta niewielka czasami różnica jest precyzyjnie interpretowana w korze mózgowej i wiemy skąd dźwięk dociera. Jednak interauralna różnica intensywności nie występuje dla dźwięków o niskich częstotliwościach. Kierunek dobiegania fal akustycznych, uginających się na głowie różnicowany jest w inny sposób.

Kolejne zjawisko wynikające z dwuosznego słyszenia nazywa się binauralną różnicą czasu ITD oraz binauralną różnicą faz. Powstaje ono na skutek różnicy dróg, jaką musi pokonać fala akustyczna od źródła do obojga uszu. Kiedy źródło dźwięku znajduje się w osi głowy słuchacza, międzyusznna różnica czasu jest równa zero a gdy źródło znajduje się naprzeciw jednego lub drugiego ucha różnica ta jest największa i może wynosić nawet 0,7 ms (przy promieniu głowy ok. 10 cm). [19, 57, 59]



**Ryc. 2.** Zależność interauralnej różnicy czasu od kąta azymutalnego wg Moore'a 1999.

Dźwięki o niskich częstotliwościach lokalizujemy dzięki binauralnej różnicy czasu, a dźwięki o częstotliwościach powyżej 1500 Hz – dzięki zjawisku binauralnej różnicy intensywności.

Binauralne słyszenie to również docieranie większej dawki informacji do kory mózgowej, a zjawisko to nazywamy binauralną redundancją. Informacja docierająca z jednej strony jest porównywana przez mózg z informacją ze strony drugiej. Ta

dokładniejsza analiza pomaga i przyspiesza proces interpretacji w korze mózgowej [11, 16, 22, 41].

Słyszenie dwójkiem uszu zwiększa również efektywnie głośność odbieranych dźwięków. Zjawisko to nazywane jest binauralną sumacją głośności (binaural loudness summation). W okolicy progu słuchu głośność odczuwana w obu uszach jest o 3 dB większa w porównaniu z odczuciem dla jednego ucha, a w okolicy poziomu komfortu (Most Comfortable Level, MCL) różnica dochodzi do 5–6 dB [11, 16, 27, 66, 76]. Zasada ta potwierdza się także w przypadku protezowania symetrycznych niedosłuchów dwoma aparatami, gdzie w porównaniu z dopasowaniem jednego aparatu wzmocnienie może być o 6 dB mniejsze dla uzyskania tego samego odczucia głośności [27, 67, 68, 76]. Źródła podają również zwiększenie binauralnego odczucia dyskomfortu akustycznego LDL do 5 dB w porównaniu z odczuciem w jednym uchu [15, 27, 41, 67, 76].

Kolejną korzyść z faktu posiadania dwóch uszu to umiejętność kierunkowej podzielności uwagi, nazywanej w literaturze „Squelch Effect” lub „Cocktail Party Phenomenon”. Zjawisko polega na umiejętności skupienia uwagi słuchowej na jednym z wielu dochodzących do słuchacza źródeł dźwięku oraz ignorowaniu pozostałych. Dzięki temu możliwy jest wybór jednego „kanału informacyjnego”. Czyli można np. śledzić mowę tylko jednej osoby, będąc w dużej grupie rozmówców [9, 41, 76], jak również lepiej rozumieć mowę w obecności szumu zakłócającego.

### **2.3. Definicja jednostronnej głuchoty (JG)**

Jednostronna głuchota odbiorcza (Unilateral Deafness, UD; Single Sided Deafness, SSD) to całkowity brak zdolności odbierania dźwięków jednym uchem, przy normie słuchowej drugiego ucha [22, 60, 64]. Nie zaprotezowanie ucha uszkodzonego krótko po wystąpieniu głuchoty jednostronnej uważa się za możliwą przyczynę deprivacji słuchowej [6, 16, 20].

Wiele lat jednostronne upośledzenie słuchu było niedoceniane, uważane często za niewymagające postępowania terapeutycznego. Zalecano pacjentom jedynie szczególną profilaktykę słuchu i ochronę zdrowego ucha przed hałasem, lekami ototoksycznymi, urazami mechanicznymi itp. Obecne czasy stawiają jednak większe wymagania przed medycyną, a świadomość pacjentów oraz chęć poprawy komfortu życia są coraz większe.

### **2.4. Wykrywanie jednostronnej głuchoty**

Jednostronne zaburzenia słuchu występują u 0,04–3,4% noworodków oraz 0,1–5% całej populacji dziecięcej [49, 60, 62]. Są to jednak dane odnoszące się do wszystkich wad jednostronnych słuchu.

Jednostronna głuchota stanowi problem rozpoznawczy, szczególnie gdy powstała we wczesnym dzieciństwie. Przy funkcjonującym w Polsce programie przesiewowych badań słuchu wykrycie wrodzonej wady jednostronnej jest łatwe. Dotąd pacjenci zgłaszający się celem uzyskania pomocy słuchowej, to chorzy z nabytymi w wyniku określonych schorzeń głuchotami. Najstarsze dzieci zbadane w PPBSN w Polsce mają dopiero 8 lat (skryninig powszechny rozpoczął się w 2003 roku). Natomiast świnka, guz nerwu VIII, nagła głuchota o nieznannej etiologii oraz zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych to najczęstsze przyczyny jednostronnej wady słuchu [6, 7, 22, 42, 45, 48, 60, 64, 76]. Rozpoznanie JG u dziecka zachodzi często przypadkowo, podczas zabawy w „głuchy telefon” lub przy pierwszym przyłożeniu słuchawki telefonu do ucha głuchego. Jednostronna głuchota nie daje również wyraźnego deficytu w procesie komunikatywnym i w zasadzie rodzice postrzegają swoje dziecko jako normalnie słyszące [48, 64, 76].

Czas wykrycia jednostronnej głuchoty zależy głównie od wieku pacjenta, w którym JG wystąpi. Do 2. roku życia wykrywa się ok. 15% jednostronnych głuchot, w wieku 5–10 lat ok. 50%, a u 3,3% wykrywa się dopiero w wieku 11–13 lat [6, 7, 48, 76].

W przypadku osób dorosłych wykrycie nabytej JG następuje zazwyczaj w momencie wystąpienia, ponieważ stanowi ona duży dyskomfort dla samego pacjenta. Zdarzają się jednak wyjątki, gdzie złe rozpoznanie (korek woszczynowy, zatkanie trąbki Eustachiusza, stan zapalny ucha środkowego lub rozpoznanie głębokiego niedosłuchu mieszanego) opóźnia wykrycie JG [22, 26, 48].

## **2.5. Skutki jednostronnej głuchoty odbiorczej**

Tylko w bardzo określonych, specyficznych sytuacjach można dostrzec problemy wynikające z jednostronnej wady słuchu. Sami pacjenci nie potrafią sprecyzować swoich dolegliwości podając bardzo często, że słyszą „raz lepiej, raz gorzej”, w zależności od tego, w jakiej sytuacji się znajdują. Również osoby obserwujące pacjentów z jednostronną głuchotą lub z nimi przebywające, bez specjalistycznej wiedzy nie rozumieją ich problemu.

Najczęściej podawane problemy to:

- utrudnione rozumienie mowy na tle szumów zakłócających,
- zaburzony odbiór dźwięków po stronie nieczynnego ucha,
- problem w ocenie kierunku dobiegania dźwięku,
- brak przestrzennego słyszenia,
- osłabienie poziomu głośności odbieranych dźwięków [1, 2, 7, 23, 25, 26, 32, 47, 48, 50, 52, 56, 72, 76, 83, 85, 86].

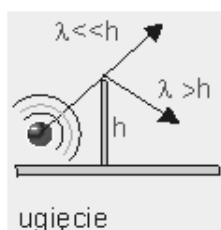
Okoliczności, w jakich występują problemy podawane są następujące:

- w miejscach publicznych trudności w porozumiewaniu się,
- problem rozumienia mowy na przyjęciach, zebraniach, zgromadzeniach,
- trudność podczas pieszego przemieszczania się w mieście (w hałasie),
- trudność w dyskusjach w większych grupach osób,
- problem podczas prowadzenia samochodu (lokalizowanie dźwięków ostrzegawczych oraz rozmowa z pasażerem),
- trudności komunikatywne w szkole, na uczelni,
- trudności w pracy, jeśli praca wymaga stałych rozmów z ludźmi [25, 48, 70, 80].

Jednostronna głuchota nie powoduje problemu, gdy pacjent funkcjonuje w cichym środowisku. Należy jednak pamiętać, że tło akustyczne jest stale obecne w naszym otoczeniu. Bezpośrednią przyczyną złego rozumienia w hałasie jest „niekorzystny” efekt akustycznego cienia głowy.

### 2.5.1. Efekt akustycznego cienia głowy (Head Shadow Effect)

„Niekorzystny” efekt akustycznego cienia głowy w przypadku jednostronnej głuchoty jest główną przyczyną utrudnionego rozumienia mowy w szumie. Zjawisko polega na tym, że głowa będąc przeszkodą akustyczną dla dźwięków, uniemożliwia ich odbiór zdrowym uchem. Zasada ugięcia fali akustycznej na przeszkodzie ( $h$ ) mówi, że jeśli długość fali dźwięku jest większa od rozmiaru przeszkody ( $\lambda > h$ ), fala padająca ulega ugięciu na przeszkodzie, w opisywanym przypadku na głowie. Jeśli jednak długość fali akustycznej jest dużo mniejsza od rozmiaru przeszkody ( $\lambda \ll h$ ) dźwięk ulega częściowemu lub całkowitemu odbiciu od przeszkody i nie dotrze na drugą stronę głowy, co w przypadku jednostronnej głuchoty dotyczy ucha zdrowego.



Ryc. 3. Graficzne zobrazowanie zjawiska ugięcia dźwięku.

Gdy  $\lambda > h$  następuje ugięcie fali i dźwięk „omija” przeszkodę.

Gdy  $\lambda \ll h$  dźwięk odbija się od przeszkody i nie przechodzi na drugą stronę.

Korzystając z wzoru na długość fali:

$$\lambda = c \times T$$

wiedząc, że

$$T=1/f$$

oraz znając wielkość przeszkody (w przypadku głowy około 0,22 m) możemy obliczyć częstotliwość dźwięku, powyżej której fale ulegają częściowemu lub całkowitemu odbiciu

$$f = c / \lambda$$

$$f = 340 / 0,22 = 1545 \text{ Hz}$$

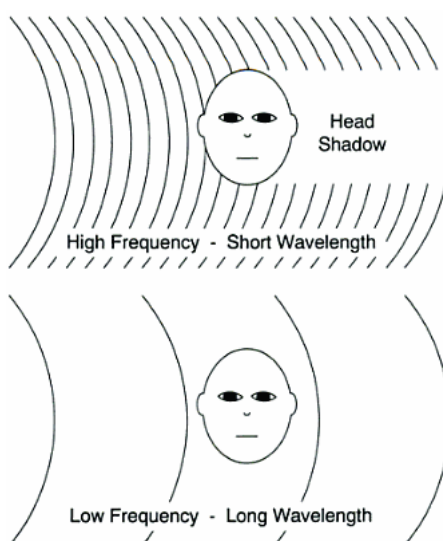
$\lambda$  – długość fali

c – prędkość dźwięku (340 m/s)

T – okres

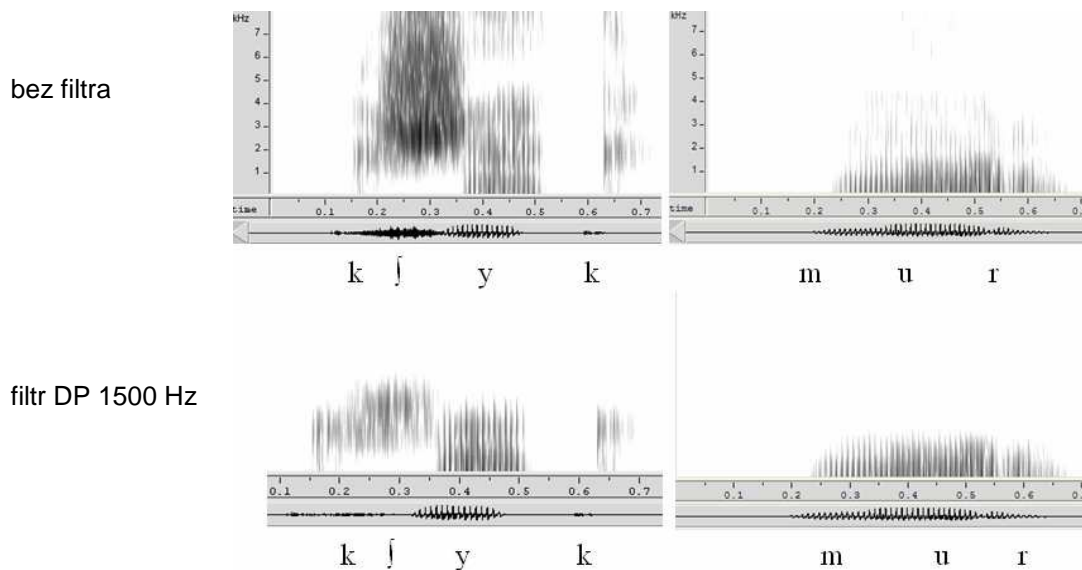
f – częstotliwość

Przy średniej wielkości głowy o średnicy ok. 22 cm akustyczny cień powstaje dla dźwięków o częstotliwości powyżej 1500 Hz. Dźwięki o niższych od 1500 Hz częstotliwościach uginają się na przeszkodzie docierając bez kłopotu do ucha zdrowego. Ma to ogromne znaczenie w rozumieniu mowy w hałasie po stronie uszkodzonego ucha.



**Ryc. 4.** Graficzne przedstawienie zjawiska akustycznego cienia głowy. Na górnej rycinie widzimy wysokie częstotliwości o krótkich długościach fali) i schematycznie przedstawiony cień głowy. Dolny rysunek pokazuje jak niskie częstotliwości o długich falach “omijają” przeszkodę bez strat (Essentials of Audiology, Stanley A. Gelfand).

Dla zobrazowania wpływu zjawiska akustycznego cienia głowy na sygnał mowy wykonano spektrogramy słów „krzyk” i „mur” przy pomocy programu WaveSurfer 1.6.0 stosując filtr dolnoprzepustowy z częstotliwością odcięcia 1500 Hz. Jest to symulacja cienia głowy, w dużym uproszczeniu wyjaśniająca graficznie zjawisko. Ta symulacja wyjaśnia dlaczego pewne słowa docierają do zdrowego ucha bez utrudnień a inne ulegają zniekształceniu.



**Ryc. 5.** Spektrogramy słów „krzyk” i „mur” oraz tych samych słów poddanych obróbce filtrem dolno-przepustowym DP 1500 Hz.

Widzimy, że słowo „mur” dotrze pomimo wycięcia częstotliwości powyżej 1500 Hz i nie zostanie zmienione. Słowa o większej ilości formantów wysokoczęstotliwościowych, w przedstawionym przypadku słowo „krzyk”, będą mocno zniekształcone [84], a przy współistniejącym szumie otoczenia mogą być całkowicie nieczytelne.

### 2.5.2. Utrudnione rozumienie w szumie

Wartość akustycznego cienia głowy dla częstotliwości powyżej 1500 Hz, czyli dla bardzo istotnego dla rozumienia mowy pasma, wynosi od 5 do 20 dB. Przyjmując, że rozumienie w szumie przy 6 dB SNR (Signal to Noise Ratio) [34, 57] jest prawidłowe, to przy występującym cieniu głowy, w przypadku jednostronnej głuchoty, stosunek ten maleje do 0 dB SNR, a nawet dla pewnych pasm częstotliwości przyjmuje wartość ujemną. Rozumienie mowy o średnim poziomie natężenia, przy 0 dB SNR, pogarsza się o przynajmniej 50% [38, 39, 54]. Inaczej mówiąc, przy sygnale mowy docierającym ze strony niesłyszącego ucha, ucho zdrowe będzie potrzebować wyższego stosunku SNR, aby prawidłowo rozumieć mowę. Ten przykład tłumaczy problem rozumienia mowy w szumie, występujący u pacjentów z jednostronną głuchotą.

Pacjenci dotknięci tym problemem mają duże kłopoty z rozumieniem przy stole, w samochodzie, autobusie, w ławce szkolnej i wszędzie tam, gdzie w otaczającym ich szumie, towarzyszy im sygnał mowy będący w bezpośredniej bliskości z uchem niesłyszącym.

### 2.5.3. Problem w lokalizowaniu źródła dźwięku

W przypadku jednostronnej głuchoty mamy do czynienia z ograniczoną, a nawet całkowitą utratą zdolności lokalizowania źródła dźwięków [1, 6, 15, 19].

Jak wcześniej wspomniano, międzyuszną różnicą intensywności oraz międzyuszną różnicą czasu w docieraniu dźwięku są cechami słyszenia dwuusznego. Nie do końca jednak źródła wykluczają możliwości lokalizowania dźwięku u pacjentów z jednostronną głuchotą, w szczególności jeśli jest ona wrodzona i od urodzenia dziecko uczy się rozróżniać kierunek docierania dźwięku jednym uchem. Teoria różnicy barwy dźwięku [56, 62, 63, 65] pozwala przypuszczać, że osoba z jednostronną głuchotą może w sposób wyuczony lokalizować źródło dźwięku w przypadku znanej barwy analizowanego dźwięku, np. głosu matki. Barwa znanego dźwięku będzie inna, gdy dotrze po stronie słyszającej i inna, gdy dobiega ze strony niesłyszającego ucha. W ten sposób pacjent może wychwytywać różnicę, charakterystyczną dla odbioru dźwięku po stronie głuchej oraz różnicować ją, konfrontując z sytuacją, gdy dźwięk dobiega bezpośrednio do zdrowego ucha.

### 2.6. Konsekwencje jednostronnej głuchoty

Poza skutkami audiologicznymi należy podkreślić, jakie konsekwencje może wywołać nier rehabilitowana jednostronna głuchota. Wśród wielu konsekwencji można wymienić:

- trudności w koncentracji uwagi słuchowej i utrudnienia w opanowaniu materiału szkolnego, szczególnie w zakresie języków obcych, nauk ścisłych. Od 22–35% dzieci z jednostronną wadą słuchu powtarza klasy, a 12–41% potrzebuje dodatkowego wsparcia edukacyjnego [6, 22, 48, 52],
- wady artykulacyjne, tzw. seplenienie boczne (*sigmatismus lateralis*) spowodowane brakiem kontrolowania słuchowego artykulacji po stronie niesłyszającej [48, 52],
- stres i niepewność w obecności szumu prowadzące do unikania takich sytuacji, a nawet społecznego wyobcowania [22, 48, 52],
- przekrzywianie głowy (ucha zdrowego) w kierunku źródła dźwięku, co w konsekwencji może prowadzić do niesymetrycznego ułożenia odcinka szyjnego kręgosłupa i jego skrzywień [48, 52],
- brak możliwości wykonywania pewnych zawodów: kierowca, taksówkarz, nauczyciel, itp. [48, 52].

## **2.7. Możliwości rehabilitacji pacjentów z jednostronną głuchotą**

W literaturze można odnaleźć kilka sposobów na rehabilitację pacjentów z jednostronną głuchotą. Najczęściej wymieniane to:

- system CROS (Contralateral Routing of Offside Signal) czyli system przekierowania sygnału dźwięku z ucha głuchego do zdrowego [3, 7, 10, 12, 14, 17, 18, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 47, 48, 54, 56, 58, 63, 69, 72, 74, 75, 76, 77, 85, 86],
- transcranial CROS (system CROS realizowany drogą kostną poprzez czaszkę [20, 30, 32, 39, 56, 77, 81],
- BAHA (Bone Anchored Hearing Aid) kostny aparat słuchowy zakotwiczony operacyjnie [2, 4, 38, 39, 40, 47, 56, 78, 82, 83],
- oraz nieliczne jeszcze doniesienia z ostatnich lat dotyczące stosowania implantu ślimakowego [79, 80].

### **2.7.1. System CROS**

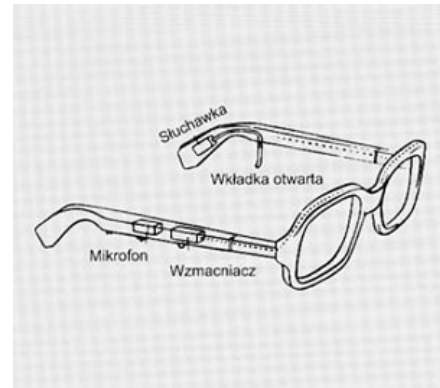
#### **2.7.1.1. Rys historyczny**

Pierwsze doniesienia w literaturze na temat systemu CROS można znaleźć w latach sześćdziesiątych XX wieku, w pracach autorstwa Harford E. i Barry J. [5, 9, 10, 11]. Początkowo stosowane urządzenia CROS były oparte na prostych, analogowych, zausznych aparatach słuchowych, połączonych ze sobą grubym przewodem elektrycznym, który stosowało się również w aparatach pudełkowych (Ryc. 6). W pewnych typach aparatów przewód elektryczny, by go zamaskować, montowano w oprawkach okularów i nazywano wersją okularową (Ryc. 7). Było to również możliwe ze względu na dużą grubość oprawek okularów, w których przewód taki się mieścił. Ze względu na duże szумы własne, brak pełnej kontroli nad wzmocnieniem i poziomem wyjściowym oraz ze względów estetycznych takie aparaty CROS były źle akceptowane przez pacjentów. Pierwsze wkładki, które stosowano na ucho zdrowe nie były wystarczająco otwarte i poza akustycznym izolowaniem zdrowego ucha na dźwięki z zewnątrz, powodowały efekt okluzji, czyli odczucie zatkania i słyszenia własnego głosu z echem.





**Ryc. 6.** System CROS w wersji przewodowej (materiał firmy WIDEX).

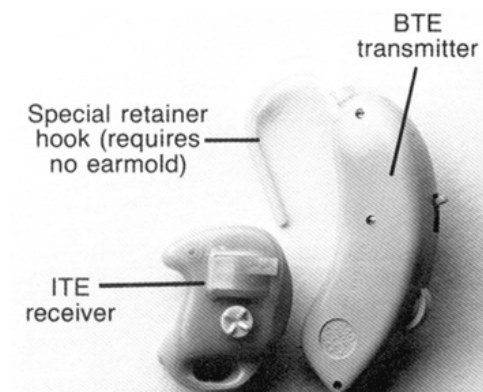


**Ryc. 7.** Okularowy system CROS.

Następna generacja systemu CROS to urządzenie przewodowe, programowane ze wzmacniaczem analogowym. Funkcjonalność tych urządzeń wzrosła ze względu na możliwość programowania parametrów akustycznych, ale nadal mikrofon był łączony kablem, z noszonym na drugim uchu wzmacniaczem, co stanowiło dla dużej części pacjentów barierę estetyczną. Pojawiła się również wersja z pilotem do sterowania parametrami urządzenia oraz z mikrofonem kierunkowym (Ryc. 8).



**Ryc. 8.** Programowalny cyfrowo i sterowane pilotem przewodowy system CROS (materiały firmy PHONAK).



**Ryc. 9.** Urządzenie bezprzewodowe (AM) TELEX II z zausznym nadajnikiem oraz wewnętrznym odbiornikiem.

Pod koniec lat 90-tych pojawiło się również pierwsze urządzenie bezprzewodowe oparte na komunikacji radiowej AM (amplitude modulation). Dodatkowo odbiornik ze słuchawką zakładane na zdrowym uchu były dostępne w wersji wewnętrznej, tzw. full concha, z dość dużą wentylacją (Ryc. 9).

Generacja najnowsza, dostępna na rynku pomocy słuchowych od 2005 roku, to cyfrowe, bezprzewodowe systemy CROS. Komunikacja mikrofonu ze wzmacniaczem odbywa się na drodze radiowej FM (frequency modulation), dzięki czemu urządzenie nie posiada przewodu elektrycznego. Fakt ten zachęcił zarówno pacjentów, jak i specjalistów, do sprawdzenia skuteczności urządzenia, głównie z powodów estetycznych.



**Ryc. 10.** Bezprzewodowy system CROS - PHONAK CROSLink.

Jednym z takich urządzeń jest system firmy Phonak (Ryc. 10.), który oferuje bezprzewodową komunikację wykorzystując mikrofon zintegrowany w jednej obudowie z nadajnikiem (FM transmitter) oraz odbiornik, który dołączany jest przez adapter „audioShoe” do dowolnego aparatu, posiadającego wejścia audio (DAI). Urządzenie jest stosunkowo duże bez możliwości zastosowania wężyków do otwartego protezowania (open fit), przez to wymaga stosowania wkładek indywidualnych typu CROS.



**Ryc. 11.** Bezprzewodowy system CROS „WiFi Mic” (materiały firmy Unitron).

Wprowadzony później system CROS WiFi Mic firmy Unitron (Ryc. 11) to zintegrowany mikrofon z nadajnikiem oraz specjalny odbiornik wpinany bezpośrednio do wejścia audio aparatu słuchowego. Podobnie jak w firmie Phonak, WiFi Mic nie posiada opcji użycia dźwiękowodu typu „open fit”.



**Ryc. 12.** Bezprzewodowy system (materiały firmy Interton).



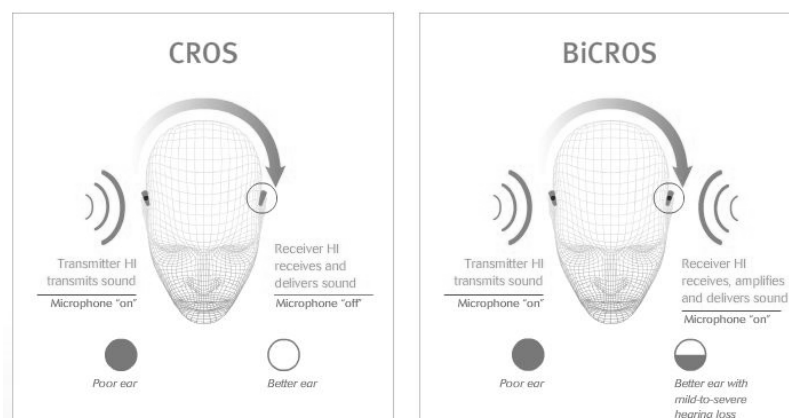
**Ryc. 13.** Bezprzewodowy system BiCROS w wersji wewnętrznej typu „concha” (materiały firmy Unitron).

Urządzenie „multiCROS” RELAY firmy Interton jest najwyższej generacji, najmniejszym i uniwersalnym systemem CROS/BiCROS z całkowicie zintegrowanymi w obudowach nadajnikiem i odbiornikiem FM, nie wymagającymi stosowania żadnych adapterów (Ryc. 12). Ze względu na możliwość zastosowania wersji otwartej „open fit” jest bardziej dyskretny i nie zatka uszu. Założenie klasycznych rożków pozwala na stosowanie wkładek indywidualnych. RELAY można programować zarówno jako urządzenie CROS, jak i BiCROS. Wersja wewnętrzna możliwa jest do zastosowania tylko w opcji BiCROS (Ryc. 13), opisanej poniżej.

#### **2.7.1.2. Rodzaje systemu CROS**

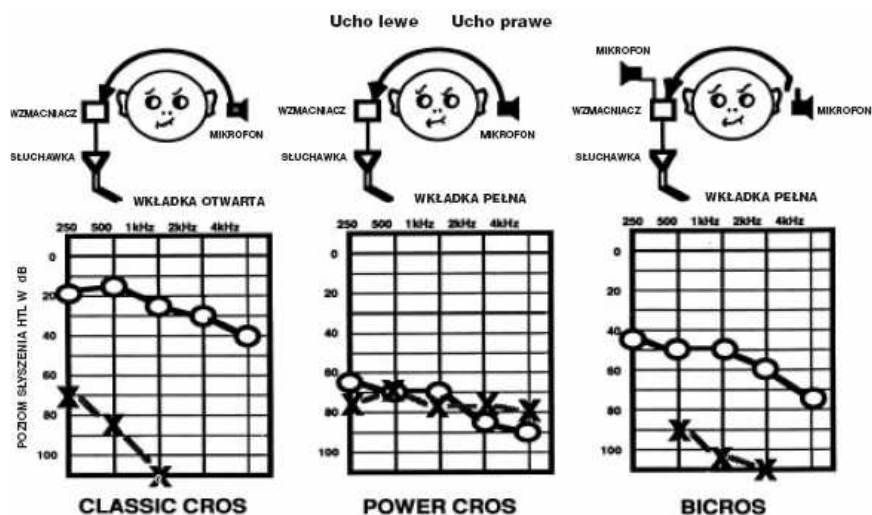
Wyróżniamy następujące rodzaje systemu CROS:

- a) klasyczny CROS – stosowany w przypadku głuchoty jednostronnej i zdrowego drugiego ucha, gdzie mikrofon zakładany jest po stronie uszkodzonego ucha, a wzmacniacz i słuchawka zakładane na ucho zdrowe,
- b) BiCROS – stosowany, gdy jednostronnej głuchocie towarzyszy dodatkowo niedosłuch drugiego ucha wymagający wzmocnienia. Jest to aparat słuchowy założony na ucho z niedosłuchem, z dodatkowym mikrofonem założonym na głuchym uchu [30, 35, 36, 61, 86]. W tym przypadku dźwięki zbierane są dwoma mikrofonami z prawej i lewej strony i przekazywane do lepiej słyszącego ucha po wcześniejszym wzmocnieniu dźwięku zgodnie z wielkością niedosłuchu lepszego ucha.



**Ryc. 14.** Różnica między CROS a BiCROS (materiały firmy Unitron).

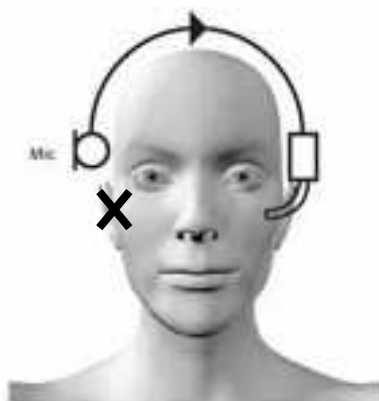
- c) multiCROS – uniwersalny, cyfrowy system zawierający dwa mikrofony na każdym z uszu, który umożliwia dowolne skonfigurowanie działania mikrofonów przez protetyka słuchu lub nawet przez pacjenta udostępniane w formie dwóch programów. Urządzenie przez to może funkcjonować jako CROS, BiCROS, jak również jako niezależny klasyczny aparat słuchowy,
- d) POWER CROS – tak nazywano sposób zaopatrzenia pacjentów w aparat słuchowy, który stosowało się na głęboki niedosłuch obuuszny lub resztki słuchowe wtedy, gdy były szczególne trudności ze sprzężeniem zwrotnym aparatu słuchowego [76, 86]. Mikrofon w obudowie aparatu słuchowego zakładało się na jedno ucho i łączyło przewodem elektrycznym z wzmacniaczem i słuchawką, które umieszczone były na uchu drugim. Działanie polegało na wzmacnianiu jednego ucha (z lepszym rozumieniem mowy), a przez oddalenie mikrofonu od słuchawki uzyskiwało się możliwość użycia bardzo dużego wzmocnienia bez obawy o akustyczne sprzężenie zwrotne aparatu. Urządzenie to w sensie idei CROS było jego przeciwieństwem, bo pozostawiało jedno ucho ze wszystkimi objawami jednostronnej głuchoty. Likwidowało jedynie sprzężenie zwrotne dając pacjentom możliwość funkcjonowania w aparacie. Urządzenia tego obecnie nie stosuje się ze względu na zaawansowaną technologię antysprzężeniową w aparatach słuchowych oraz pojawienie się implantów ślimakowych stosowanych w tego typu przypadkach.



Ryc. 15. Rodzaje systemów CROS (WIDEXPress).

### 2.7.1.3. Sposób działania

Nazwa CROS pochodzi od skrótu Contralateral Routing of Signal lub z innych źródeł Contralateral Routing of Offside Signal opisuje sposób działania tego urządzenia. „Kontralateralne” przeniesienie sygnałów na przeciwległą stronę oznacza, że system CROS ma za zadanie przesłać sygnał dźwiękowy ze strony ucha niesłyszącego do drugiego, zdrowego ucha. Przeniesienie dźwięku odbywa się zawsze jednokierunkowo, tj. ze strony ucha głuchego do ucha słyszącego.



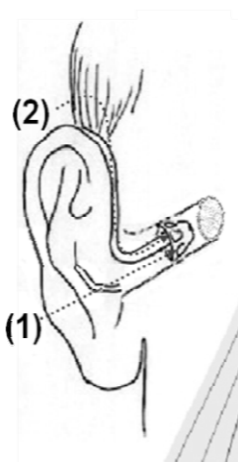
Ryc. 16. Schemat działania systemu CROS (źródło – [www.singlesideddeafness.com](http://www.singlesideddeafness.com)).

System CROS zbudowany jest z mikrofonu zakładanego zazwyczaj w formie obudowy aparatu zausznego na ucho niesłyszące, który ma za zadanie odebrać wszystkie dźwięki właśnie z tej strony. Na uchu zdrowym znajduje się odbiornik wraz ze słuchawką, który wprowadza dźwięki odebrane ze strony ucha niesłyszącego do zdrowego ucha (Ryc. 16). Na uchu zdrowym urządzenie zakładane jest tak, aby nie

utrudniało odbioru dźwięków tym uchem. Dźwięki lewej i prawej strony dobiegają do słyszającego ucha. Do wprowadzenia sygnału do ucha, by nie powodować okluzji, stosuje się dźwiękowody (wężyki) „open fit” lub inaczej „thin tube”. Wężyk taki jest w zasadzie niewidoczny, a jego średnica 0,9–1,3 mm pozwala na przeniesienie dźwięków o częstotliwościach powyżej 1500 Hz.



**Ryc. 17.** Dźwiękowód typu „open fit” (z materiałów Audifon).



**Ryc. 18.** Schemat przedstawiający sposób docierania dźwięku do zdrowego ucha naturalnie (1) i przez CROS (2) (z materiałów Beltone).

Do słyszającego ucha docierają dźwięki pochodzące ze strony słyszącej (1) oraz ze strony ucha niesłyszającego (2).

Drugim sposobem doprowadzenia dźwięku do ucha zdrowego jest zastosowanie indywidualnej wkładki otwartej znanej też pod nazwą wkładki CROS. Wykonuje się ją na podstawie pobranej formy ucha pacjenta, tak zwanego wycisku i jest stosowana głównie u dzieci z powodu bardziej stabilnego utrzymywania się w uchu.



**Ryc. 19.** Indywidualna wkładka uszna typu CROS (źródło laboratorium Otoria).

Poniższy rysunek przedstawia schemat działania oraz zdjęcia poszczególnych elementów całego systemu CROS w wersji bezprzewodowej z zastosowaniem wkładek otwartych.

ucho zdrowe

ucho uszkodzone

### bezprzewodowy system CROS



Ryc. 20. Schemat przedstawiający działanie CROS.

## 2.7.2. CROS działający przy wykorzystaniu przewodnictwa kostnego

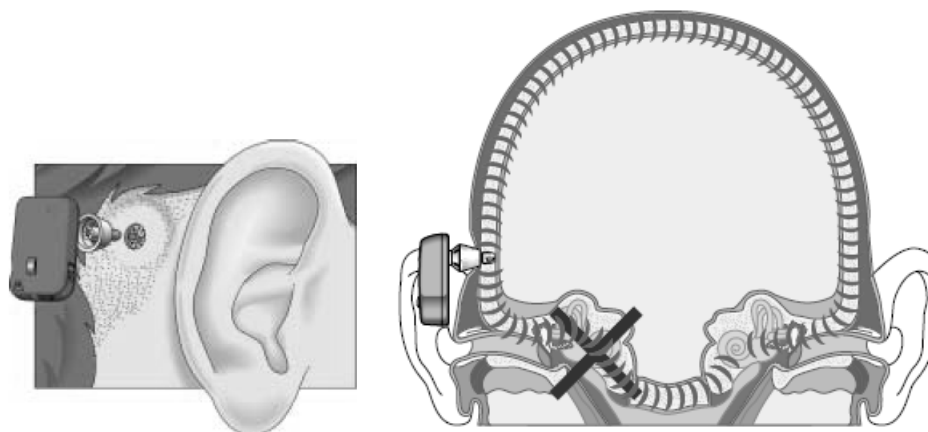
### 2.7.2.1 BAHA CROS

W 70 latach wykonywano próby z kostnym okularowym aparatem zakładanym na ucho głuche po to by po przeniesieniu dźwięku przez czaszkę dostarczyć go do zdrowego ucha [6].



Ryc. 21. Kostny aparat okularowy (z materiałów Viennatone).

Były to początki obecnie bardzo popularnego BAHA CROS. Nazwa BAHA pochodzi od skrótu Bone Anchored Hearing Aid i oznacza aparat słuchowy zakotwiczony w kości. Już podczas badania przewodnictwa kostnego ucha uszkodzonego w audiometrii tonalnej bez maskowania możemy przekonać się, że pacjent z jednostronną głuchotą odbiera dźwięk po stronie zdrowego ucha. Oznacza to, że dźwięk przenosi się na drugą stronę głowy przez drganie czaszki. Urządzenie BAHA wszczepia się operacyjnie na wyrostku sutkowatym kości skroniowej, po stronie ucha niesłyszącego.



**Ryc. 22.** BAHA CROS (materiały firmy Cochlear).

### 2.7.2.2. Transcranial CROS

W literaturze [20, 30, 32, 39, 56, 77, 81] można znaleźć również informacje o protezowaniu CROS w wersji „transcranial”. Nazwy „transcranial CROS” używano w odniesieniu do aparatu słuchowego na przewodnictwo powietrzne, najczęściej w formie aparatu wewnątrzkanałowego (wewnątrzprzewodowego) CIC – Completely In the Canal z bardzo dużym wzmocnieniem i dużym poziomem wyjściowym, zakładanego na ucho niesłyszące. Aparat wykonywany był tak, aby sięgał jak najgłębiej, w celu przeniesienia drgania akustycznego na część kostną przewodu słuchowego zewnętrznego. Dźwięk podobnie jak w aparatach kostnych przenosi się wtedy przez czaszkę, dając wrażenie słyszenia w zdrowym uchu. Bardzo duży poziom natężenia powodował u wielu pacjentów dyskomfort akustyczny oraz częsty efekt akustycznego sprzężenia zwrotnego. Ze względu na niezadowalające efekty oraz brak komfortu akustycznego podczas noszenia aparatu, urządzenie „transcranial CROS” było w większości przypadków odrzucane.



**Ryc. 23.** Aparat wewnątrzprzewodowy (kanałowy) CIC z materiałów firmy WIDEX.



### **2.7.3. Implant ślimakowy. Stymulacja bimodalna**

W ostatnich latach 2008–2011 pojawiły doniesienia naukowe o bimodalnej stymulacji stosowanej w przypadku jednostronnej głuchoty, czyli wszczepiania implantu ślimakowego w uchu niesłyszącym, wtedy gdy głuchocie współtowarzyszy szum uszny (tinnitus) [79, 80]. Opisywane przypadki są w fazie badań wstępnych i brakuje jednoznacznych kryteriów, według których miałyby odbywać się kwalifikacja do tego typu postępowania.

### 3. CELE PRACY

Celem pracy jest zbadanie akustycznej skuteczności<sup>1</sup> systemu CROS (Contralateral Routing of Signals) u pacjentów z jednostronną głuchotą odbiorczą w zależności od zlokalizowania źródła sygnału akustycznego, wybranych parametrów charakterystyki bodźca oraz sygnału maskującego.

Hipotezy:

- 1.1. Czy system CROS zlikwiduje „niekorzystny” efekt akustycznego cienia głowy u pacjentów z jednostronną głuchotą?
- 1.2. Czy przeniesienie sygnału mowy ze strony ucha niesłyszającego do słyszającego pozwoli na rozumienie mowy ze strony „głuchej” w szumie, w takim samym stopniu jak ze strony słyszającej?
- 1.3. Czy zastosowanie systemu CROS ułatwi słyszenie szeptu po stronie ucha uszkodzonego?

Celem pracy jest zbadanie, czy stosowane systemy CROS są dobrze akceptowane przez pacjentów i w jaki sposób poprawiają komfort życia u pacjentów z jednostronną głuchotą odbiorczą.

Hipotezy:

- 2.1. Czy słyszenie w systemie CROS umożliwi pacjentom z jednostronną głuchotą słyszenie przestrzenne – „pseudostereofoniczne”, słyszenie dookoła głowy?
- 2.2. Czy pacjenci w wieku szkolnym z jednostronną głuchotą po zastosowaniu systemu CROS wykazują poprawę w edukacji szkolnej?

Celem pracy jest stworzenie procedury i standardu dopasowania systemu CROS oraz opracowanie zestawu badań do oceny jego skuteczności.

Hipotezy:

- 3.1. W jaki sposób dokonywać akustycznego pomiaru efektu protezowania jednostronnej głuchoty?
- 3.2. Czy do subiektywnej oceny komfortu używania systemu CROS należy użyć specjalnie stworzonych ankiet?

---

<sup>1</sup> Akustyczna skuteczność systemu CROS: obniżenie parametrów akustycznego cienia głowy oraz poprawa rozumienia mowy w szumie po stronie ucha niesłyszającego.

#### 4. MATERIAŁ BADAŃ

Podmiotem badań było 42 pacjentów z jednostronną głuchotą odbiorczą i zdrowym drugim uchem w wieku od 9 do 51 roku życia, zdiagnozowanych w Klinice Foniatrii i Audiologii Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu oraz w Niepublicznym Zakładzie Opieki Zdrowotnej Centrum Terapii Słuchu w Poznaniu. Pacjenci byli skierowani do protezowania słuchu oraz na rehabilitację. Średni wiek pacjentów wyniósł 16,7 lat. Grupa liczyła 20 (48%) kobiet oraz 22 (52%) mężczyzn. W przypadku 24 pacjentów (57%) uszkodzenie dotyczyło prawego ucha, a u 18 pacjentów (43%) lewego. Średni próg słuchu dla ucha głuchego, jako średnia z częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz wyniósł 110 dB HL, przy czym w przypadku całkowitego braku reakcji w badaniu audiometrycznym, do obliczenia średniej, przyjęto maksymalną wartość dostępną w audiometrze, na którym wykonywano badania. Średni próg dla ucha zdrowego, jako średnia z częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz, wyniósł 3,6 dB HL, przy czym jeśli wartość proggu była wartością ujemną (np. -5 dB HL), przyjmowano wartość 0.

Kryterium doboru grupy badawczej było następujące:

- jednostronna głuchota z średnim proggiem słuchu w audiometrii tonalnej dla częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz większym niż 100 dB HL (PTA>100dB HL),
- stopień dyskryminacji mowy ucha uszkodzonego nie przekraczający 10%,
- brak dokuczliwości szumu usznego w uchu uszkodzonym,
- słyszenie w uchu zdrowym z średnim proggiem słuchu w audiometrii tonalnej (500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz) mniejszym niż 15 dB HL (PTA<15 dB HL),
- stopień dyskryminacji mowy zdrowego ucha SD = 100%.

**Tabela 1.** Liczbowy rozkład chorych w dekadach

Dekada wieku	N	%
do 10 r.ż.	5	9,5
od 11 do 20 r.ż.	26	69
od 21 do 30 r.ż.	6	9,5
od 31 do 40 r.ż.	2	4,8
od 41 do 50 r.ż.	2	4,8
pow. 50 r.ż.	1	2,4
Razem	42	100

Grupę kontrolną stanowiło 10 pacjentów dorosłych z jednostronną głuchotą odbiorczą (średni próg słuchu 113,3 dB HL) i normą słuchową drugiego ucha (średni próg słuchu 13,5 dB HL) w wieku od 18 do 45 lat (średnia 25,4 lat), którzy nie stosowali dotychczas aparatu słuchowego lub systemu CROS.

Wszystkie badania wykonano samodzielnie w Niepublicznym Zakładzie Opieki Zdrowotnej Centrum Terapii Słuchu w Poznaniu pod opieką promotora.

## 5. METODYKA BADAŃ

### 5.1. Ukierunkowany wywiad

Pierwszą czynnością, jaką wykonano, był ukierunkowany wywiad z pacjentem. Dla potrzeb tej pracy opracowano ankietę zawierającą pytania dotyczące domniemanej przyczyny jednostronnej głuchoty, czasu jej wystąpienia, czasu i okoliczności wykrycia, jak również dokuczliwości problemu JG i dotychczas stosowanych metod rehabilitacji.

KARTA WYWIADU	
Imię i nazwisko: .....	
Data urodzenia: .....	
1. Przyczyna JG	
a) świnka	
b) odra	
c) zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych	
d) uraz głowy	
e) nagła głuchota nieznanego pochodzenia	
f) ospa wietrzna	
g) czynniki genetyczne	
h) inne: .....	
i) nieznaną	
2. Czas wystąpienia JG:	
a) od urodzenia	
b) 0–5 r.ż.	
c) 5–10 r.ż.	
d) 10–20 r.ż.	
e) powyżej 20 r.ż.	
f) nie wiem	
3. Czas wykrycia JG	
a) zaraz po wystąpieniu	
b) do 5 lat po wystąpieniu	
c) do 10 lat po wystąpieniu	
d) pow. 10 lat od wystąpienia	
4. Czas trwania JG: .....	
5. Okoliczności wykrycia: .....	
6. Wymień, w jakich sytuacjach/miejscach zauważasz największy problem ze słyszeniem: .....	
7. W których sytuacjach masz kłopoty w rozumieniu innych osób?	
a) w ciszy	
b) gdy są odwrócone	
c) gdy mówi kilka osób	
d) gdy rozmówca mówi po stronie nieczynnego ucha w ciszy	
e) gdy rozmówca mówi po stronie nieczynnego ucha w hałasie	
f) zawsze	
g) nie mam kłopotu	
h) nie wiem	
8. Czy w uchu głuchym są odczuwalne szумы?	
9. Czy przekręcasz głowę w celu nastawienia zdrowego ucha w kierunku mowy?	
10. Czy były próby dopasowania aparatu słuchowego na uszkodzone ucho?	
11. Czy był kiedyś stosowany system CROS? Jeśli tak, to jaki?	

## 5.2. Badanie audiologiczne słuchu

Badania audiologiczne słuchu wykonano przed podjęciem czynności rehabilitacyjnych. Zastosowano następujący zestaw badań audiologicznych słuchu:

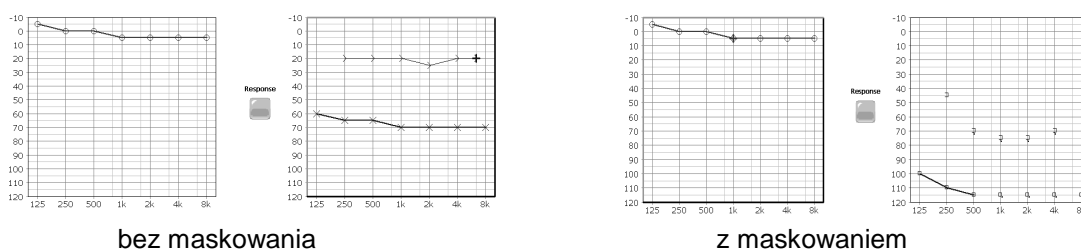
### 5.2.1. Próba stroikowa Webera

W przypadku symetrii słyszenia pacjent słyszy dźwięk „w głowie”, co oznacza, że dźwięk dociera do obu uszu jednakowo. Przy niedosłuchu odbiorczym jednostronnym badany słyszy dźwięk w uchu zdrowym. Dlatego w przypadku jednostronnej głuchoty próba Webera powinna dać wynik „lateralizacji do ucha zdrowego”.

U wszystkich pacjentów wykonano próbę Webera stroikiem firmy Rister 512 Hz

### 5.2.2. Audiometria tonalna

Badanie wykonano audiometrem Madsen Midimate 622. Prezentując pacjentowi przez słuchawki tony czyste zbadano próg słuchu przewodnictwa powietrznego dla częstotliwości 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz oraz 8 kHz. W pierwszej kolejności badano ucho zdrowe. Podczas badania ucha uszkodzonego, kontrlateralnie maskowano szumem tercjowym, by nie dochodziło do przesłyszenia poprzez czaszkę. Praktyka pokazała, że maskowanie to powinno wynosić nawet do 70 dB HL (ryc. 24). Potwierdzeniem tej wartości efektywnego maskowania jest fakt, że przy jednostronnej głuchocie krzywa cieniowa wynosi dla całego pasma ok. 60 dB HL a dodanie 10 dB jako regułę Mitkiewicz-Szreniawskiej [59] daje właśnie wartość 70 dB HL. Najwięcej błędów podczas tego badania można popełnić stosując niewystarczające maskowanie (ryc. 24). Dla zobrazowania jak sygnał maskujący wpływa na wynik badania przedstawiono przykłady: wynik bez maskowania i z maskowaniem. Dodatkowo zauważono podczas badania niektórych pacjentów, że próg słuchu uszkodzonego ucha był tożsamy z progiem bólu. Dźwięk prezentowany nie był słyszalny a jedynie wywoływał ból ucha.



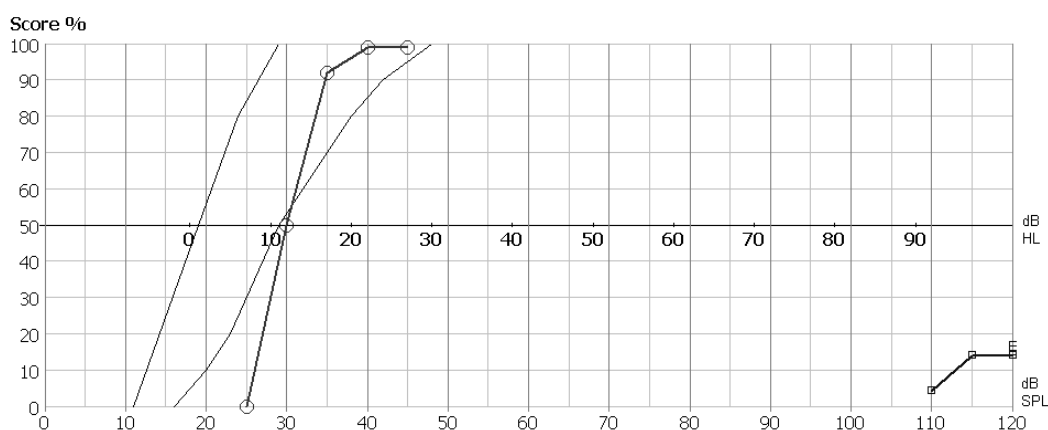
**Ryc. 24.** Wynik badania audiometrią tonalną bez maskowania (lewa strona) oraz wynik badania z efektywnym maskowaniem (strona prawa) (wydruk z oprogramowania NOAH).

Powyższa rycina pokazuje jak duży wpływ na wynik badania może mieć skuteczne maskowanie. Po lewej stronie przedstawiony jest przykład wyniku otrzymanego w badaniu

bez maskowania ucha zdrowego, gdzie ucho głuche jest błędnie ocenione jako posiadające mieszany niedosłuch z progiem słuchu około 70 dB HL. Prawa strona tej ryciny przedstawia wynik badania z maskowaniem słyszającego ucha na poziomie 70 dB HL. Próg słuchu ucha uszkodzonego to resztkowa słuchowa w przewodnictwie powietrznym i brakiem odpowiedzi w badaniu przewodnictwa kostnego.

### 5.2.3. Audiometria mowy

Wykorzystano testy jednosylabowe (Pruszewicz, Demenko, Richter, Wika) w pierwszej kolejności na uchu zdrowym, a następnie maskując ucho zdrowe zbadano rozumienie ucha uszkodzonego. Po stronie niesłyszającej wykorzystywano maksymalny dostępny poziom wyjściowy sięgający 120 dB SPL. Badanie audiometrią mowy ucha uszkodzonego wymagało, podobnie jak w przypadku audiometrii tonalnej, dużego poziomu maskowania ucha zdrowego szumem szerokopasmowym ok. 70 dB SPL.



**Ryc. 25.** Przykładowy wynik badania audiometrią mowy u pacjentów z jednostronną głuchotą. (wydruk z oprogramowania NOAH).

### 5.2.4. Audiometria impedancyjna

Wykonano badanie tympanometryczne przy użyciu mostka impedancyjnego Madsen Zodiac 901 oraz zbadano odruch z mięśnia strzemiączkowego dla częstotliwości 500 Hz, 1 kHz, 2kHz, 4kHz w obu uszach.

Opisywane przypadki jednostronnej głuchoty i normy słuchowej drugiego ucha powinny mieć wynik prawidłowy, tympanogram typu A. Druga część badania to rejestracja odruchów strzemiączkowych powstających po pobudzeniu receptora dużym poziomem dźwięku. W zdrowym uchu odruchy te powinny być zarejestrowane, zaś w uszkodzonym nie występują.

### 5.2.5. Badania obiektywne słuchu

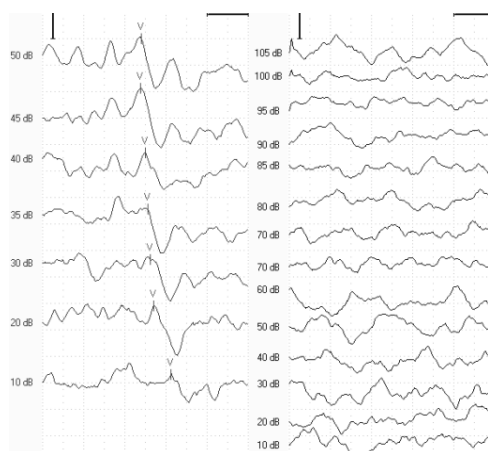
Dla potwierdzenia wyników metodami badań subiektywnych słuchu wykonano badania obiektywne: otoemisję akustyczną oraz ABR.

#### TEOAE i DPOAE

W prawym i lewym uchu wykonano badania emisji otoakustycznej wywołanej trzaskiem TEOAE oraz produktów zniekształceń nieliniowych DPOAE. Do badania wykorzystano urządzenie Biologic Scout Sport. Wiedząc, że rejestracja emisji otoakustycznej świadczy o aktywności ślimaka badanie potwierdza, czy ucho jest zdrowe czy uszkodzone. W zdrowym uchu otrzymujemy wynik pozytywny, a w uchu głuchym negatywny.

#### ABR – odpowiedzi elektryczne z pnia mózgu

Na urządzeniach Racia Alvar Centor C oraz GN Otometrics Chartr EP zbadano odpowiedzi elektryczne z pnia mózgu ABR. Sygnałem bodźcującym był trzask obejmujący zakres częstotliwości 2–4 kHz.



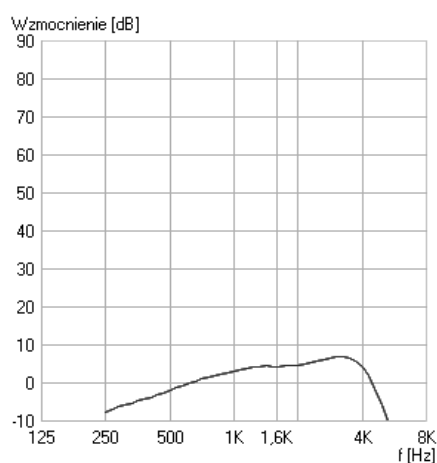
**Ryc. 26.** Przykładowy wynik badania ABR. Zapis po stronie lewej (ucho prawe) przedstawia prawidłowy wynik badania z progiem słuchu 10 dB HL, zapis po stronie prawej (ucho lewe) obrazuje brak odpowiedzi elektrycznej z pnia mózgu przy prezentacji bodźca do ucha uszkodzonego.

Badanie ABR pozwala na ilościowe ustalenie progu słuchu w sposób obiektywny, niezależny od odczucia pacjenta. Wynik dla ucha prawidłowo słyszącego powinien mieścić się w zakresie normy, a dla ucha niesłyszącego potwierdzać całkowitą głuchotę – brak rejestracji odpowiedzi elektrycznych z pnia mózgu. Wyniki tych dwóch badań obiektywnych pozwalają również wykluczyć głuchotę czynnościową psychogenną – pseudohypoacusis [22, 64].



### 5.3. Dopasowanie systemu CROS

Przy dopasowaniu systemu CROS kierowano się głównie odczuciami pacjenta. Po wielu próbach zaproponowano następujące opcje urządzenia. U wszystkich pacjentów zastosowano cyfrowy, bezprzewodowy system CROS w wersji zausznej. W urządzeniu tym wykorzystuje się transmisję z modulacją częstotliwości FM (frequency modulation) o mocy transmisji 0,001 mW i częstotliwości 405 MHz. Dystans transmisji urządzenia to 30 cm i powyżej tej wartości system przestaje działać. CROS ten posiada certyfikat EC (Declaration of Conformity) kwalifikujący go do urządzeń medycznych – aparatów słuchowych. U dorosłych użyto wkładki otwarte z wężykami „thin tube” o średnicy 0,9 mm i nasadkami otwartymi „dome” w rozmiarach 5 lub 7 mm. U dzieci wykonano wkładki indywidualne akrylowe twarde w wersji „CROS” z dźwiękowodem standard o średnicy 2 mm lub z cienkim wężykiem (thin tube) o średnicy 0,9 mm. Do programu NOAH wprowadzono audiogram i stosując software CompuFit wersja 4.4. zaprogramowano urządzenie podłączając moduł sterujący (zakładany na zdrowe ucho) do programatora HiPro tak, aby audiogram był odczytany przez program z ucha zdrowego. Na podstawie audiogramu zdrowego ucha, przy użyciu program CompuFit ustawiono wzmocnienie wg metody dopasowania NAL<sup>2</sup>, według zaleceń producenta (Ryc. 27).



**Ryc. 27.** Charakterystyka wzmocnienia użytego w systemie CROS (wydruk z oprogramowania CompuFit 4.4.).

W opcjach urządzenia wybrano wersję CROS (dostępne to CROS, BiCROS, Ipsilateral). Mikrofony ustawiono na odbiór wszechkierunkowy (Omnidirectional). U dzieci zablokowano w programie wszelkie możliwe zewnętrzne regulacje: potencjometr głośności VC (volume control) oraz przełącznik programów (programowo ograniczono dostęp tylko do jednego programu). U niektórych dorosłych ustawiono rezerwę regulacji głośności na

<sup>2</sup> NAL – jedna z metod obliczania wzmocnienia w aparatach słuchowych

$\pm 3$  dB, aby o maksymalnie taką wartość mogli zmieniać ustawienie. Dla bezpieczeństwa ucha zdrowego maksymalny poziom wyjściowy aparatu (MPO/AGCo<sup>3</sup>) ograniczono do wartości 98 dB SPL<sup>4</sup>. Wartość ta nie ogranicza jednocześnie dynamiki sygnału mowy. Włączono system wykrywania mowy/redukcji szumu SMS (Speech Management System)/SPD (Speech Pattern Detection) po to by ograniczyć w aparacie wzmocnienie do samego sygnału mowy, nie zwiększając przy tym wzmocnienia szumu. Zastosowano we wszystkich kanałach (pasmach częstotliwości) tryb liniowy – CR (Compression Ratio) = 1:1 (Ryc. 28). Wyłączono bramki szumu MNR (Microphone Noise Reduction) dla nieograniczonego odbioru szeptu. Kryterium ustawienia tych parametrów był brak słyszenia przez pacjentów szumu urządzenia. Nie aktywowano systemu redukcji sprzężenia zwrotnego, by w żaden sposób nie zniekształcać sygnału. Dodatkowo po ustawieniu wszelkich parametrów akustycznych włączono w aparacie funkcję Data Logging, która pozwala na analizę czasu noszenia i przerw w używaniu urządzenia.

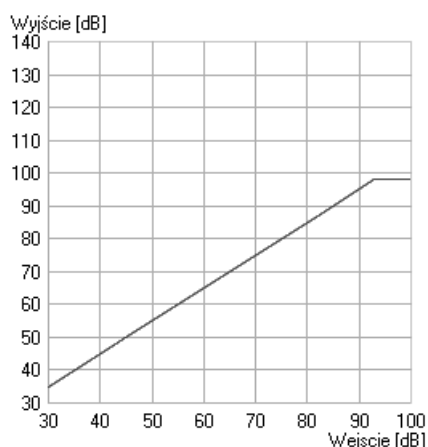
**Tabela 2.** Ustawienia parametrów technicznych systemu CROS

	Dorośli	Dzieci
Rodzaj wkładki	nasadka uniwersalna otwarta	indywidualna typu CROS
Rodzaj dźwiękowodu	0,9 mm	2 mm lub 0,9 mm
Metoda dopasowania	NAL	NAL
Współczynnik kompresji CR	1:1 (tryb liniowy)	1:1 (tryb liniowy)
Mikrofon	wszechkierunkowy (omni)	wszechkierunkowy (omni)
System redukcji szumu (SMS)	włączony (on)	włączony (on)
Potencjometr głośności (VC)	włączony (on) +/-3dB	wyłączony (off)
MPO (AGCo)	98 dB SPL	98 dB SPL

<sup>3</sup> AGCo (Automatic Gain Control) – system kompresji wyjściowej ograniczającej poziom dźwięku w aparacie słuchowym do określonej wartości.

<sup>4</sup> dB SPL – jednostka wyrażająca wartość poziomu ciśnienia akustycznego (Sound Pressure Level)

Głównym zadaniem systemu CROS jest jak najwierniejsze przeniesienie dźwięków, w taki sposób, aby nie zmieniać sygnału pochodzącego ze strony ucha uszkodzonego. Dlatego też ustawiono tryb liniowy, oddający najbliższy naturalnemu odbiór przez urządzenie (Ryc. 28). Wartość wzmocnienia jest taka sama bez względu na sygnał wejściowy, przez co sygnał na wyjściu, poza minimalnym zwiększeniem jego wartości, jest pod względem dynamicznym zbliżony do sygnału wejściowego.



**Ryc. 28.** Wykres przedstawia charakterystykę dynamiczną aparatu słuchowego (wejścia/wyjścia) dla częstotliwości 2500 Hz, na którym widoczny jest liniowy tryb wzmocnienia aparatu, wartość wzmocnienia 5 dB oraz włączony system kompresji wyjściowej (AGCo) przy wartości 98 dB SPL. (wydruk z programu CompuFit 4.4.).

Po dopasowaniu wstępnym pacjenci zgłaszali się co najmniej 5 razy do kontroli, w miesięcznych odstępach czasu, w celu ustawienia ewentualnych poprawek, wyjaśnienia obsługi oraz omówienia w jakich sytuacjach mogą spodziewać się poprawy, a w jakich nie. Po co najmniej sześciu miesiącach regularnego noszenia przystąpiono do szczegółowych badań skuteczności CROS.

#### 5.4. Badania korzyści z systemu CROS

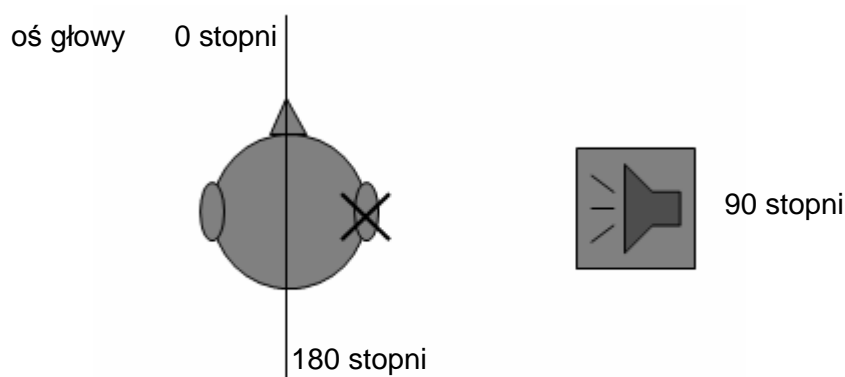
Wszystkie badania akustycznej skuteczności systemu CROS wykonano w wolnym polu słuchowym [8] lub, według innych źródeł, w polu akustycznym [57] – FF (Free Field), zgodnie z polską normą PN-EN ISO 8253-2 dla tonów oraz PN-EN ISO 8253-3 dla sygnału mowy. Akustyczna skuteczność systemu CROS zbadana została za pomocą audiometrii tonalnej w wolnym polu słuchowym oraz testów rozumienia mowy w szumie. Subiektywną korzyść z zastosowania systemu CROS oceniono za pomocą ankiet.

#### 5.4.1. Audiometria tonalna w swobodnym polu akustycznym przed i po zastosowaniu systemu CROS

W swobodnym polu akustycznym z odległości 1 metra od głowy wykonano audiometrię tonalną. Do audiometru Madsen Midimate 622 podłączone były głośniki Martin Audio oraz wzmacniacz do pola swobodnego Madsen PA 210. Przed badaniem w miejscu głowy badanego wykonano pomiary kalibracyjne sonometrem Svan 955. Zbadano próg słuchu wykorzystując jeden głośnik i przesuując pacjenta na krzesło obrotowym najpierw z głośnikiem po stronie ucha słyszającego (azymut  $\pm 90$  stopni), a następnie po stronie ucha uszkodzonego (azymut  $\pm 90$  stopni). Dla celów pomiarowych wyznaczono oś głowy, jako prostą w płaszczyźnie horyzontalnej, łączącą azymut 0 stopni i 180 stopni (Ryc. 29). Pierwszy etap badania to zmierzenie progu słuchu po stronie zdrowej, drugi etap to zbadanie progu słuchu po stronie uszkodzonej z i bez systemu CROS (Ryc. 29).

Parametry akustycznego cienia głowy obliczono odejmując wartość progu słuchu uzyskanego po stronie zdrowej od wartości progu słuchu badanego ze strony ucha uszkodzonego dla częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz oraz 6000 Hz, tonu modulowanego (Warble Tone). Tonu modulowanego używano ze względu na dużą ilość dzieci w grupie badanej. Po założeniu systemu CROS wykonano badanie progu po stronie uszkodzonej sprawdzając czy cień głowy został zlikwidowany.

Cień głowy =  $HTL^5_{\text{po stronie słyszającego ucha}} - HTL_{\text{po stronie ucha uszkodzonego}}$



Ryc. 29. Schemat stanowiska badania akustycznego cienia głowy.

Na grupie kontrolnej zbadano rozumienie średniego poziomu mowy tj. 65 dB SPL w ciszy z różnych azymutów (+90 stopni, +45 stopni, 0 stopni, -45 stopni, -90 stopni)

<sup>5</sup> HTL – Hearing Threshold Level – poziom progu słuchu

stosując test jednosylabowy Pruszevicza i wsp. Te same badania powtórzono z prezentacją szumu z przodu w osi głowy.

Wyniki badań w ciszy bez względu na azymut, z którego prezentowano testy zarówno przy poziomie 65 dB SPL, jak i przy badaniu szeptem wykazały 100% rozumienie mowy. Ze względu na brak różnic w wynikach badań w szumie ze strony ucha zdrowego – 90 stopni i 45 stopni (stopniów dyskryminacji mowy 100%) reszcie grupy wykonano badania w osi głowy oraz po stronie ucha uszkodzonego.

#### **5.4.2. Akumetryczne badanie szeptem**

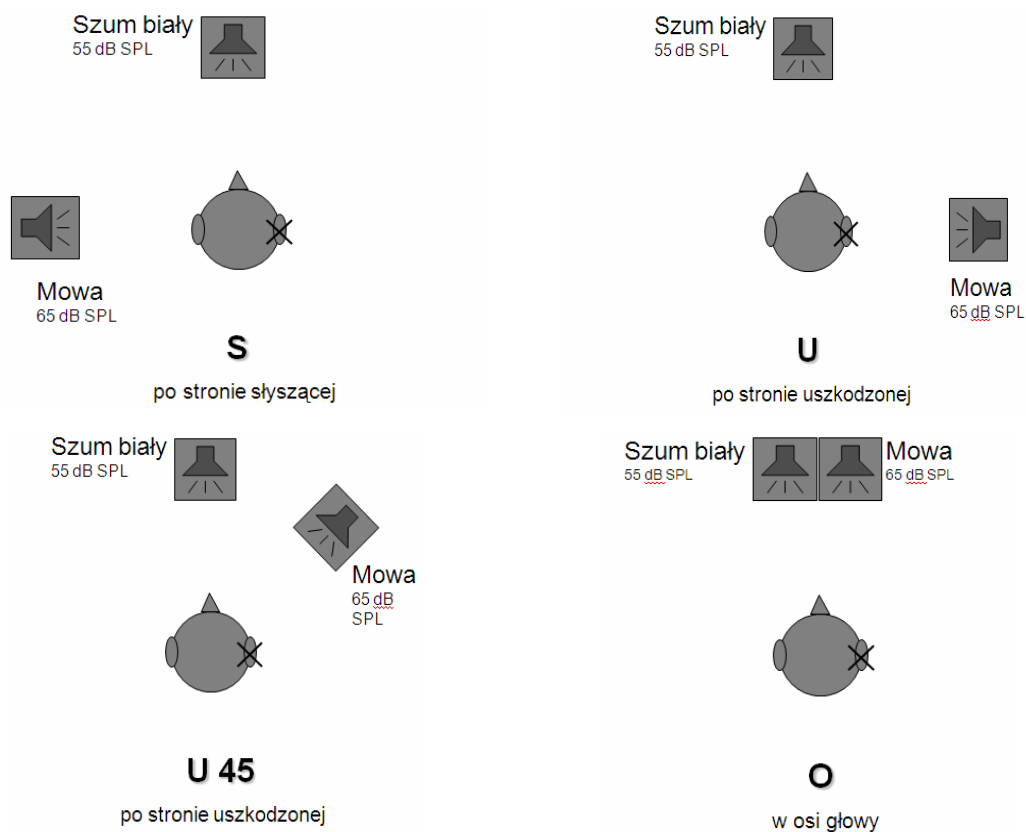
W obecności szumu szerokopasmowego (WN – white noise) 55 dB SPL prezentowanego z audiometru Madsen Midimate 622 przy użyciu głośnika Audio Martin umieszczonego z przodu, w osi głowy w odległości 1 m zbadano akumetrycznie rozumienie szeptu bezpośrednio przy uchu – *ad cocham*. Badanie wykonano po stronie ucha słyszającego i po stronie ucha uszkodzonego bez, a następnie z założonym systemem CROS. Do testu wykorzystano listy liczbowe Iwankiewicza.

#### **5.4.3. Audiometria mowy w wolnym polu akustycznym przed i po zastosowaniu systemu CROS**

W swobodnym polu akustycznym wykonano test rozumienia wyrazów jednosylabowych (Pruszevicz i wsp.) w obecności szumu zakłócającego. Szum biały (WN) generowany był z audiometru Midimate 622 firmy Madsen przez głośnik Audio Martin, który ustawiono z przodu, w osi głowy badanego w odległości 1 m od badanego tak, aby docierał jednakowo głośno do jednego i drugiego ucha. Szum prezentowano na poziomie 55 dB SPL. Sygnał mowy prezentowano na poziomie 65 dB SPL odległości 1 metra od głowy przez drugi głośnik Audio Martin z czterech kierunków o azymutach (Ryc. 31):

- S** – po stronie ucha słyszającego azymut 270 stopni (zdrowe lewe) lub 90 stopni (zdrowe prawe)
- U** – po stronie ucha uszkodzonego azymut 90 stopni (uszkodzone prawe) lub 270 stopni (uszkodzone lewe)
- U45** – 45 stopni od osi głowy po stronie ucha uszkodzonego
- O** – 0 stopni (z przodu, w osi głowy)

Badania wykonano bez systemu CROS a następnie z założonym urządzeniem. Sygnał mowy prezentowano na poziomie 65 dB SPL, przyjmując ten poziom za średnią wartość sygnału mowy dla języka polskiego.



**Ryc. 30.** Schematy konfiguracji stanowiska badań do oceny rozumienia mowy w szumie z różnych azymutów.

#### 5.4.4. Subiektywna ocena skuteczności APHAB CROS oraz SOS CROS

Odczucie pacjenta z zastosowanego urządzenia wspomagającego słyszenie nie da się ocenić jedną kategorią: dobrze – źle. Dlatego do oceny odczuć pacjenta stosuje się najczęściej skrócony kwestionariusz korzyści z aparatu słuchowego (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit). Dostępne gotowe kwestionariusze [13] są stworzone do oceny dopasowania aparatów słuchowych a nie urządzenia CROS. Dlatego na potrzeby tej pracy stworzono mocno zmodyfikowaną wersję APHAB (CROS). Biorąc pod uwagę najczęściej pojawiające się problemy u pacjentów z jednostronną głuchotą utworzono kategorie APHAB CROS oraz sformułowano odpowiednie do tych kategorii pytania.

Problem: **Rozumienie w hałasie** – pytanie: Czy swobodnie rozumiesz mowę w szkole, samochodzie, na przyjęciu, na ulicy w hałasie? Odpowiedź negująca problem (Zawsze 1%, Nigdy 99%)

Problem: **Komfort w hałasie** – pytanie: Czy przeszkadza Tobie hałas na ulicy, w samochodzie, tramwaju itp.? Odpowiedź potwierdzająca problem (Zawsze 99%, Nigdy 1%)

Problem: **Słyszenie i rozumienie szeptu po stronie niesłyszącej** – pytanie: Czy słyszysz i rozumiesz szept po stronie uszkodzonego ucha? Odpowiedź negująca problem (Zawsze 1%, Nigdy 99%)

Problem: **Kierowanie ucha zdrowego w stronę źródła mowy** – pytanie: Czy kierujesz ucho zdrowe w stronę źródła mowy. Odpowiedź potwierdzająca problem (Zawsze 99%, Nigdy 1%)

Problem: **Zdolność rozpoznawania kierunku dobiegania dźwięku** – pytanie: Czy potrafisz oceniać z jakiej strony dobiega dźwięk? Odpowiedź negująca problem (Zawsze 1%, Nigdy 99%)

Pytania zadano przed zaopatrzeniem pacjentów w system CROS oraz po okresie sześciu miesięcy od jego zastosowania. Odpowiedzi na pytania są uszeregowane w skali 7-stopniowej jak w klasycznym kwestionariuszu APHAB od A do G. W zależności od tego czy odpowiedź potwierdza problem, czy też mu zaprzecza, odpowiedziom przypisuje się wynik w procentach. Sposób przypisania wartości procentowej danej odpowiedzi ilustruje tabela 3.

**Tabela 3.** Wartości procentowe odpowiedzi w APHAB CROS

Odpowiedź	Odpowiedź potwierdzająca problem	Odpowiedź negująca problem
A. Zawsze	99%	1%
B. Prawie zawsze	87%	12%
C. Na ogół	75%	25%
D. Pół na pół	50%	50%
E. Sporadycznie	25%	75%
F. Rzadko	12%	87%
G. Nigdy	1%	99%

Biorąc pod uwagę objawy i skutki jednostronnej głuchoty oraz aspekty związane z używaniem aparatu wspomagającego słyszenie stworzono ankietę własną złożoną z pytań i odpowiedzi i nazwano ją SOS CROS – Subiektywną Oceną Skuteczności systemu CROS. Ankietę przedstawia poniższa tabela 4. Pytania uzupełniono komentarzem dla dzieci w celu łatwiejszego zrozumienia treści. Pytania były zadawane osobno rodzicom i dzieciom by zweryfikować właściwą odpowiedź. Parametr czasu użytkowania był dodatkowo sprawdzany w pamięci aparatu tzw. Data Logging, który dostarcza precyzyjnych informacji, jaki jest średni czas noszenia w ciągu dnia oraz czy i jak długie przerwy występowały pomiędzy wyłączeniem a włączeniem.

**Tabela 4.** Pytania i odpowiedzi oraz punktacja w SOS CROS

<b>Pytanie:</b>	<b>Odpowiedź:</b>				
<b>Częstość używania:</b> Jak często zakładasz system CROS?	Raz w miesiącu	Raz w tygodniu	Kilka razy w tygodniu	Prawie codziennie	Codziennie
<b>Czas noszenia:</b> Jak długo nosisz CROS w ciągu dnia?	<2 h	2-4 h	4-6 h	6-8 h	Cały dzień
<b>Rozumienie mowy w hałasie:</b> Jak rozumiesz osoby w samochodzie, na przyjęciu, na ulicy w hałasie?	Źle	Słabo	Pół na pół	Dobrze	Bardzo dobrze
<b>Słyszenie szeptu po stronie niesłyszającej:</b> Jak słyszysz i rozumiesz szept po stronie uszkodzonego ucha?	Źle	Słabo	Pół na pół	Dobrze	Bardzo dobrze
<b>Przestrzenność dźwięków:</b> Jak oceniasz postrzeganie dźwięków dochodzących z różnych stron?	Źle	Słabo	Pół na pół	Dobrze	Bardzo dobrze
<b>Lokalizacja źródła dźwięku:</b> Jak potrafisz ocenić kierunek dochodzenia dźwięku?	Źle	Słabo	Pół na pół	Dobrze	Bardzo dobrze
<b>Komfort używania:</b> Jak oceniasz komfort stosowania systemu CROS?	Źle	Słabo	Pół na pół	Dobrze	Bardzo dobrze
<b>Obserwacje szkolne i logopedyczne.</b> Jak CROS pomaga Tobie w szkole i na zajęciach u logopedy?	Źle	Słabo	Pół na pół	Dobrze	Bardzo dobrze
<b>Ocena w skali 5-punktowej:</b>	1	2	3	4	5

Modyfikacja pytań dla dzieci:

**Rozumienie mowy w hałasie.** Jak słyszysz mamę, jeśli jedziesz samochodem/autobusem/tramwajem i mama siedzi ze strony ucha niesłyszającego?

**Rozumienie szeptu po stronie niesłyszającej.** Jak słyszysz i rozumiesz mamę, gdy mówi do Ciebie cichutko do ucha niesłyszającego?

**Przestrzenność dźwięków.** Jak słyszysz dźwięki, jeśli dochodzą z różnych stron, np. z przodu, z tyłu z boku itp.



**Lokalizacja źródła dźwięku.** Jak potrafisz ocenić czy ktoś do Ciebie mówi z kuchni czy z łazienki lub z salonu, jeśli ich nie widzisz lub jeśli zamkniesz oczy? Czy słyszysz gdzie dzwoni telefon komórkowy, czy potrafisz go odszukać?

**Komfort używania.** Jak się czujesz z aparatem CROS? Czy coś Tobie przeszkadza jak go nosisz? Czy noszenie jest wygodne?

**Obserwacje szkolne i logopedyczne.** Jak CROS pomaga Tobie w szkole, na zajęciach u logopedy?

### **5.5. Metodyka oceny statystycznej wyników badań**

Ocenę statystyczną wszystkich wyników badań wykonano za pomocą oprogramowania Microsoft Excel 2007 oraz Statistica 9. Użyto testu kolejności par Wilcoxon, który należy do grupy testów nieparametrycznych, wykonywanych dla zmiennych, mających rozkład normalny. Wykonano analizę zmiennych zależnych, czyli dla tej samej grupy otrzymano dwa wyniki – przed i po zastosowaniu systemu CROS.

## 6. WYNIKI

### 6.1. Dane z wywiadu

**Tabela 5.** Prawdopodobna przyczyna jednostronnej głuchoty

Przyczyna	N	%
Świnka	27	64
Zapalenie opon mózgowo-rdzeniowych	2	4,7
Uraz głowy	2	4,7
Nagła głuchota idiopatyczna	7	16,7
Guz nerwu VIII	1	2,4
Nieznana	3	7,2
<b>Suma</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

Tabela 5 pokazuje, że najczęstszą przyczyną jednostronnej głuchoty, podawaną w wywiadzie, bo aż w 27 przypadkach (64,3% badanych) była świnka. W 2 przypadkach (4,7%) jednostronna głuchota powstała na skutek przebytego zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych, 7 pacjentów (16,6%) jako przyczynę podało nagłą głuchotę idiopatyczną, 2 (4,7%) pacjentów głuchotę jednostronną nabyło w wyniku ciężkiego urazu głowy, 1 pacjenta (2,4%) przyczyną całkowitej głuchoty był guz nerwu VIII a u 3 (7,2) przyczyna nie jest znana.

**Tabela 6.** Prawdopodobny czas wystąpienia jednostronnej głuchoty

Czas wystąpienia	N	%
Od urodzenia	0	0
0–5 lat	15	35,7
6–10 lat	12	28,7
11–20 lat	2	4,7
> 20 lat	8	19
Nieznany	5	1,9
<b>Suma</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

Z tabeli 6 wynika, że u żadnego z pacjentów nie potwierdzono głuchoty wrodzonej, choć nie da się jej wykluczyć ze względu na fakt, że 5 osób nie określiło czasu wystąpienia JG. Najwięcej przypadków JG dla grupy badanej wystąpiło w dzieciństwie do 10 r.ż., bo aż u 27 osób, co stanowi 64% badanych, z czego 15 osób (35,7%) podało przedział do 5 r.ż., a 12 osób (28,7%) okres od 5 do 10 r.ż. Wiążąc okres wystąpienia z prawdopodobną przyczyną JG większość przypadków dotyczy pacjentów po przebytej

śwince. U 2 osób (4,7%) JG wystąpiła w wieku między 10 a 20. r.ż., a 8 (19%) powyżej 20 lat i były to w większości przypadki nagłej głuchoty.

**Tabela 7.** Czas wykrycia jednostronnej głuchoty

Czas wykrycia	N	%
0–5 lat	2	9,5
6–10 lat	28	61,9
11–20 lat	3	7,2
> 20 lat	9	21,4
<b>Suma</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

Czas wykrycia jednostronnej głuchoty, jak pokazuje tabela 7, jest związany z czasem wystąpienia i przyczyną jej wystąpienia. Tylko u 2 pacjentów (4,7%) wykryto JG w wieku do 5 r.ż. i byli to pacjenci po śwince, którym lekarz pediatra zalecił badania słuchu, można więc powiedzieć, że głuchota została wykryta od razu. Zdecydowana większość, bo 28 osób (66, 7%), miało wykrytą JG między 5 a 10 r.ż. Wśród tych pacjentów powodem JG była świnka (23 osoby), 1 przypadek nagłej głuchoty, 1 pacjent po zapaleniu opon mózgowo-rdzeniowych oraz 3 osoby z nieznaną przyczyną JG. U 3 pacjentów (7,2%) głuchotę jednego ucha wykryto i zdiagnozowano między 10–20 r.ż., gdzie u 1 osoby problem wykryto pół roku po przebyciu zapalenia opon mózgowo-rdzeniowych, a u 2 osób wykrycie nastąpiło bardzo późno, mianowicie 7–10 lat po przypuszczalnym wystąpieniu. U 9 pacjentów (21,4%) JG wystąpiła w wieku powyżej 20 r.ż. Pacjenci swoją dolegliwość zauważyli od razu jednak dokładne zdiagnozowanie JG nastąpiło 2–3 lata po wystąpieniu. Przyczyną JG w tej grupie pacjentów była nagła głuchota (7 osób) oraz uraz głowy (2 osoby).

**Tabela 8.** Czas trwania jednostronnej głuchoty

Czas trwania	N	%
0–5 lat	16	38,2
5–10 lat	15	35,7
10–15 lat	9	21,4
> 15 lat	2	4,7
<b>Suma</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

Pod pojęciem czasu trwania JG wyszacowano okres od momentu wystąpienia JG do czasu podjęcia czynności rehabilitacyjnych.

W tabeli 8 widzimy, że 16 osób (38,2%) z grupy badanej zgłosiło się od specjalisty audiologa do protezowania słuchu w okresie do 5 lat od wystąpienia głuchoty

jednostronnej. Wśród tych pacjentów są osoby w wieku 11-20 lat, którzy przebyli świnkę mając 7–9 lat i ze względu na zauważony problem w szkole szybko trafili do specjalisty (10 pacjentów), 1 osoba po zapaleniu opon mózgowo-rdzeniowych, 2 osoby po urazie głowy i 3 pacjentów z nagłą głuchotą oraz 1 osoba po guzie VIII nerwu czaszkowego. 35,7% pacjentów, czyli 15 osób, to spora grupa, u której rehabilitację za pomocą systemu CROS podjęto dopiero po prawie 10 latach od pojawienia się problemu.

Przyczyną tak późnego postępowania protetycznego były: nieprawidłowa diagnoza, związana z podejrzeniem niedosłuchu przewodzeniowego, wynikającego z niedomaskowania w audiometrii tonalnej, w tym próby protezowania ucha głuchego, brak decyzji specjalisty o protezowaniu oraz niechęć do proponowanych pomocy słuchowych (urządzenia duże, z kablem z tyłu głowy). Aż 9 osób (21,4%) trafiło do rehabilitacji po prawie 15 latach od wystąpienia problemu, a 2 osoby (4,7%) jeszcze później i powód był podobny jak w grupie z przedziału do 10 lat.

**Tabela 9.** Okoliczności wykrycia jednostronnej głuchoty

<b>Okoliczności wykrycia</b>	<b>N</b>	<b>%</b>
Odczucie pacjenta	13	31
Sugestia rodziców	11	26,2
Zalecenie lekarza	6	14,3
Zalecenie nauczyciela	3	7,2
Zalecenie logopedy	5	11,9
Badanie przesiewowe w szkole	4	9,4
<b>Suma</b>	<b>42</b>	<b>100</b>

Okoliczności wykrycia są zależne od czasu wystąpienia JG. U dzieci zazwyczaj pierwsze objawy zauważono po przyłożeniu telefonu do ucha niesłyszącego, w zabawie w głuchy telefon lub rozmowie w samochodzie, gdy rodzic siedział obok dziecka po stronie niesłyszącego ucha. Stan ten przed wykryciem może u dziecka trwać długo, gdyż dziecko zazwyczaj samo nie zgłasza rodzicom tego problemu. Biorąc aparat telefoniczny, odruchowo przykładła go do zdrowego ucha. W samochodzie również siedzi zazwyczaj w jednym miejscu i jeśli siedzi głuchym uchem przy drzwiach, JG nie zostanie zauważona. W wieku szkolnym nauczyciel zazwyczaj zgłasza rodzicom potrzebę zbadania słuchu u dziecka, jeśli dostrzega problemy w komunikatywności dziecka. U wszystkich pacjentów zauważono zjawisko „nastawiania głowy” w stronę dobiegającego dźwięku.

U 13 osób (31%) spośród badanych nosiło wcześniej aparat słuchowy na uchu głuchym. Powodem decyzji lekarza o protezowaniu ucha uszkodzonego była w większości przypadków nieprawidłowa diagnoza w audiometrii tonalnej i niepotwierdzenie

wyniku inną metodą. Ucho uszkodzone przez brak efektywnego maskowania wykazywało głęboki niedosłuch a nie całkowitą głuchotę. Kilku pacjentów stwierdziło, że aparat częściowo pomagał, ale nie mieli właściwego komfortu stosowania. Przyczyną odrzucenia aparatu słuchowego noszonego na chorym uchu były: ból głowy, ból ucha, słyszenie nieprzyjemnego szumu, uczucie zatkanego ucha, zawroty głowy, „brzmienie mikrofonowe”, brak oczekiwanych korzyści z urządzenia. Stymulacja ucha głuchego mogła u pacjentów wywoływać dyskomfort przy dużym poziomie wyjściowym aparatu oraz ucisk szczelnie dobranej wkładki indywidualnej. Podczas badań audiometrią tonalną można zauważyć, że próg słuchu jest u wielu pacjentów jednocześnie progiem dyskomfortu, co oznacza, że dynamika słyszenia tego ucha jest bliska zeru. To tłumaczy brak akceptacji urządzenia.

U 4 pacjentów, czyli niecałe 10% z grupy badanej, używało wcześniej starszego typu system CROS. Były to 3 urządzenia analogowe, przewodowe oraz 1 z przeprowadzonym przewodem w oprawce okularów. Żaden z pacjentów nie akceptował swoich dotychczas posiadanych urządzeń ze względu na stronę estetyczną, ale również akustyczną. Pacjenci odczuwali szum w zdrowym uchu, nadmierna głośność, brak możliwości stosowania w hałasie.

## **6.2. Wyniki badań audiologicznych**

W ocenie wyników kierowano się zasadą skrzyżowanego zestawu badań Jergera „cross check principle”. Zasada ta mówi, że wynik badania uzyskany w jednej z metod należy potwierdzić wynikiem innej metody [43, 48, 60]. Czyli, jeśli w badaniu audiometrią tonalną uzyskujemy w zakresie częstotliwości 2–4 kHz próg słuchu na poziomie 100 dB HL, to w badaniu obiektywnym ABR powinniśmy uzyskać taki sam wynik. Jednocześnie w tym uchu nie rejestrujemy otoemisji akustycznej.

### **6.2.1. Próby stroikowe**

Próba Webera wykonana u 38 pacjentów dała wynik lateralizacji do ucha zdrowego. Pozostałych 4 pacjentów nie potrafiło określić, w którym uchu słyszeli stroik. W próbie Rinnego u żadnego z pacjentów nie stwierdzono obecności komponentu przewodzeniowego.

## 6.2.2. Audiometria tonalna

**Tabela 10.** Wyniki audiometrii tonalnej w słuchawkach dla całej grupy

lp	HTL ucha zdrowego (dB HL)			HTL ucha uszkodzonego (dB HL)		
	500Hz	1kHz	2kHz	500Hz	1kHz	2kHz
1	5	5	10	95	105	<125
2	5	5	5	95	115	<125
3	0	5	5	<120	<125	<125
4	0	5	5	100	115	<125
5	5	5	10	90	110	<125
6	5	0	5	85	<125	<125
7	0	5	5	90	110	<125
8	-5	5	15	105	115	115
9	0	5	5	90	110	115
10	5	5	5	100	<125	<125
11	0	5	5	85	110	115
12	5	5	10	110	<125	<125
13	10	5	15	95	115	110
14	0	5	10	100	115	110
15	5	5	5	90	110	<125
16	5	-5	5	100	<125	<125
17	15	10	10	90	<125	<125
18	10	5	20	100	120	<125
19	5	10	10	110	<125	<125
20	5	10	5	<120	<125	<125
21	5	5	5	85	<125	<125
22	5	10	5	90	115	115
23	0	5	10	95	115	115
24	0	0	5	105	115	<125
25	10	5	0	100	110	100
26	5	5	10	105	<125	<125
27	5	5	10	90	120	<125
28	0	5	0	90	115	115
29	0	5	-5	100	115	120
30	5	0	5	95	<125	<125
31	0	10	5	100	<125	<125
32	0	0	5	85	115	115
33	0	5	10	95	110	115
34	5	5	5	105	115	<125
35	0	5	20	110	<125	<125
36	5	5	10	100	110	<125
37	0	-5	5	95	110	105
38	5	5	5	100	<125	<125
39	5	5	5	85	105	<125
40	5	0	5	90	115	115
41	5	5	0	100	<125	<125
42	5	5	5	95	115	<125
<b>średnia</b>	<b>3,7</b>	<b>4,8</b>	<b>7</b>	<b>97,3</b>	<b>115,8</b>	<b>119</b>
<b>PTA</b>	<b>5,2</b>			<b>110,7</b>		

Tabela 10 zawiera zbiorcze wyniki audiometrii tonalnej grupy badanej. Średni próg słuchu PTA (Pure Tone Audiometry) dla ucha uszkodzonego z częstotliwości 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz dla przewodnictwa powietrznego wyniósł 110,7 dB HL, przy czym w

przypadku całkowitego braku reakcji w badaniu audiometrycznym do obliczenia średniej przyjęto wartość maksymalną dla audiometru, na którym wykonywano badania. Średni próg dla ucha zdrowego, jako średnia z tych samych częstotliwości, co w uchu uszkodzonym wyniósł 5,2 dB HL, przy czym jeśli wartość progu była wartością ujemną (np. -5 dB HL) dla uśrednienia przyjmowano wartość 0. Przewodnictwo kostne ucha zdrowego pokrywało się z progiem przewodnictwa powietrznego z tolerancją do 5 dB, a dla ucha uszkodzonego nie zarejestrowano progu kostnego, a wydolność audiometru, na którym próg badano wynosiła 70 dB HL dla 500 Hz oraz 80 dB HL dla 1000 i 2000 Hz. 6 pacjentów reagowało na 500 Hz, co z pewnością było jedynie reakcją na odczuwaną wibrację, a nie wrażeniem słyszenia.

### **6.2.3. Audiometria mowy**

Średni stopień rozumienia mowy w słuchawkach dla ucha uszkodzonego wyniósł dla całej grupy 7, 4%, przy maksymalnej wartości poziomu dostępnego w audiometrze (ok. 120 dB SPL) z maskowaniem szumem białym (WN) drugiego ucha na poziomie 70 dB SPL, dla ucha zdrowego 100% rozumienia przy średnim poziomie prezentacji ok. 40 dB SPL. Wielu z pacjentów podczas badania uszkodzonego ucha rezygnowała z prób powtarzania słów zgłaszając dyskomfort akustyczny oraz twierdząc, że nic nie rozumieją.

### **6.2.4. Audiometria impedancyjna**

U wszystkich pacjentów zarówno w uchu zdrowym, jak i uszkodzonym, uzyskano wynik tympanometrii typu A, świadczący o prawidłowym funkcjonowaniu ucha środkowego. Oznacza to, że u żadnego z pacjentów nie wykryto komponentu przewodzeniowego niedosłuchu i ucho środkowe funkcjonuje poprawnie.

### **6.2.5. Otoemisja akustyczna**

Badanie otoemisji akustycznej DPOAE ucha zdrowego dało u 42 pacjentów wynik prawidłowy: Pass. W uchu uszkodzonym wszyscy pacjenci mieli wynik: Refer, co oznacza brak rejestracji emisji otoakustycznej.

### **6.2.6. Odpowiedź elektryczna z pnia mózgu**

Prawidłowy wynik badania ABR (rejestracja fali V do 30 dB HL) dla ucha zdrowego zarejestrowano u 40 pacjentów (u dwojga dzieci zapis nieczytelny ze względu na niespokojny stan podczas badania). W uchu uszkodzonym wyniki potwierdziły stan słuchu z badań audiometrią tonalną, gdzie u większości (38 pacjentów) nie zarejestrowano

żadnej odpowiedzi na bodziec akustyczny a u reszty fala V zauważalna była w granicach 105 dB HL z latencją ok. 4,6 ms.

Te wyniki można podsumować stwierdzeniem, że w postawieniu diagnozy jednostronnej głuchoty spełniono zasadę Jergera cross check principle.

### 6.3. Wyniki badań korzyści z systemu CROS

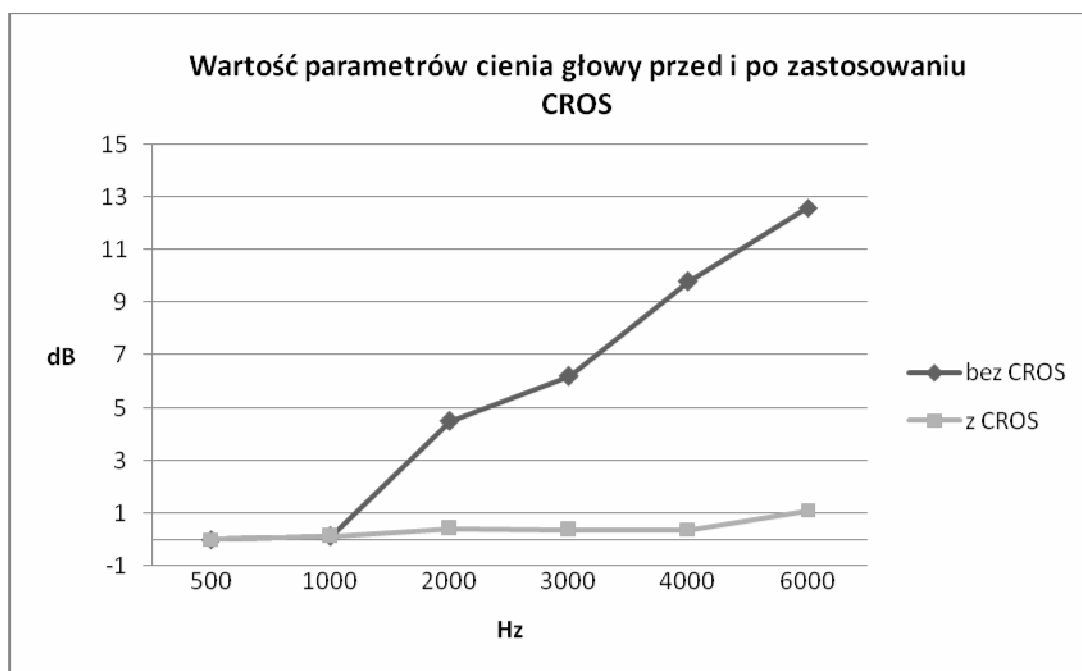
#### 6.3.1. Wyniki audiometrii tonalnej w wolnym polu przed i po zastosowaniu systemu CROS

Tabela 11. Wyniki badania parametrów cienia głowy przed i po zastosowaniu systemu CROS

	bez CROS (dB)						z CROS (dB)					
	500 Hz	1kHz	2kHz	3kHz	4kHz	6kHz	500 Hz	1kHz	2kHz	3kHz	4kHz	6kHz
1	0	0	5	5	10	10	0	0	0	5	0	0
2	0	0	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0
3	0	5	5	5	10	15	0	5	0	0	0	5
4	0	0	5	5	5	10	0	0	0	0	0	5
5	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	5
6	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
7	0	0	5	5	5	15	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	5	5	10	0	0	5	0	0	0
9	0	0	0	5	5	10	0	0	0	0	0	0
10	0	0	5	5	5	10	0	0	0	5	0	5
11	0	0	5	10	10	15	0	0	0	0	0	0
12	0	0	5	5	5	10	0	0	0	0	0	0
13	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	5
14	0	0	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0
15	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	5	10	10	10	0	0	0	0	0	0
17	0	0	5	10	15	15	0	0	0	0	5	0
18	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
19	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
20	0	0	5	5	10	10	0	0	0	5	0	5
21	0	0	5	10	15	15	0	0	0	5	5	0
22	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
23	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
24	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
25	0	0	5	10	10	15	0	0	0	0	0	0
26	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	5
27	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
28	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
29	0	0	5	5	15	15	0	0	0	0	0	0
30	0	0	5	10	15	15	0	0	0	0	0	0
31	0	0	5	5	10	15	0	0	5	0	5	0
32	0	0	0	10	10	15	0	0	0	0	0	0
33	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
34	0	0	5	5	10	15	0	0	0	0	0	0
35	0	0	5	10	10	15	0	0	0	0	0	5
36	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
37	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
38	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
39	0	0	5	5	10	10	0	0	5	0	0	0
40	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	5	10	15	0	0	0	0	0	0
42	0	0	5	5	10	10	0	0	0	0	0	5
Śr.	0	0,12	4,52	6,19	9,76	12,6	0	0,12	0,36	0,48	0,36	1,07



Tabela 11 przedstawia wyniki parametrów cienia głowy, jako różnicę, pomiędzy wartością progu słuchu badanego po stronie uszkodzonej a progiem badanym po stronie zdrowej. Zaznaczona szarym kolorem część tabeli przedstawia parametry cienia głowy bez systemu CROS, czyli efekt akustyczny jednostronnej głuchoty. Część biała tabeli przedstawia wartości zerowe parametrów efektu cienia głowy w systemie CROS, świadczące o likwidacji efektu.



**Ryc. 31.** Wykres przedstawiający parametry cienia głowy w zależności od częstotliwości dźwięku bez i z systemem CROS.

Wyniki ilustrowane ryciną 31 przedstawiają średnią dla grupy parametry akustycznego cienia głowy bez systemu CROS oraz efekt zlikwidowania zjawiska „head shadow” po założeniu CROS, w zależności od częstotliwości sygnału. Ciemniejsza linia pokazuje parametry cienia głowy, gdy dźwięk pada po stronie uszkodzonego ucha. Potwierdza się reguła, że dla dźwięków o częstotliwości 500 i 1000 Hz głowa nie stanowi przeszkody, ponieważ dźwięki te docierają do zdrowego ucha bez strat. Jednak już dla 2000 Hz, częstotliwości bardzo istotnej dla rozumienia mowy, wartość jest bliska 5 dB i dla kolejno wyższych częstotliwości rośnie do nawet kilkunastu decybeli (6 kHz). Dla częstotliwości wyższych od 6 kHz nie badano tego zjawiska z powodu ograniczonego pasma przenoszenia aparatów słuchowych, sięgającego maksymalnie 6,5 kHz, jak również ograniczenia pasma w audiometrze do 8 kHz. Jasna linia (ryc. 31) przedstawia wynik po zastosowaniu systemu CROS. Stwierdzono, że cień głowy jest praktycznie całkowicie zniesiony, gdyż jego średnia wartość jest bliska wartości 0. Świadczy to o

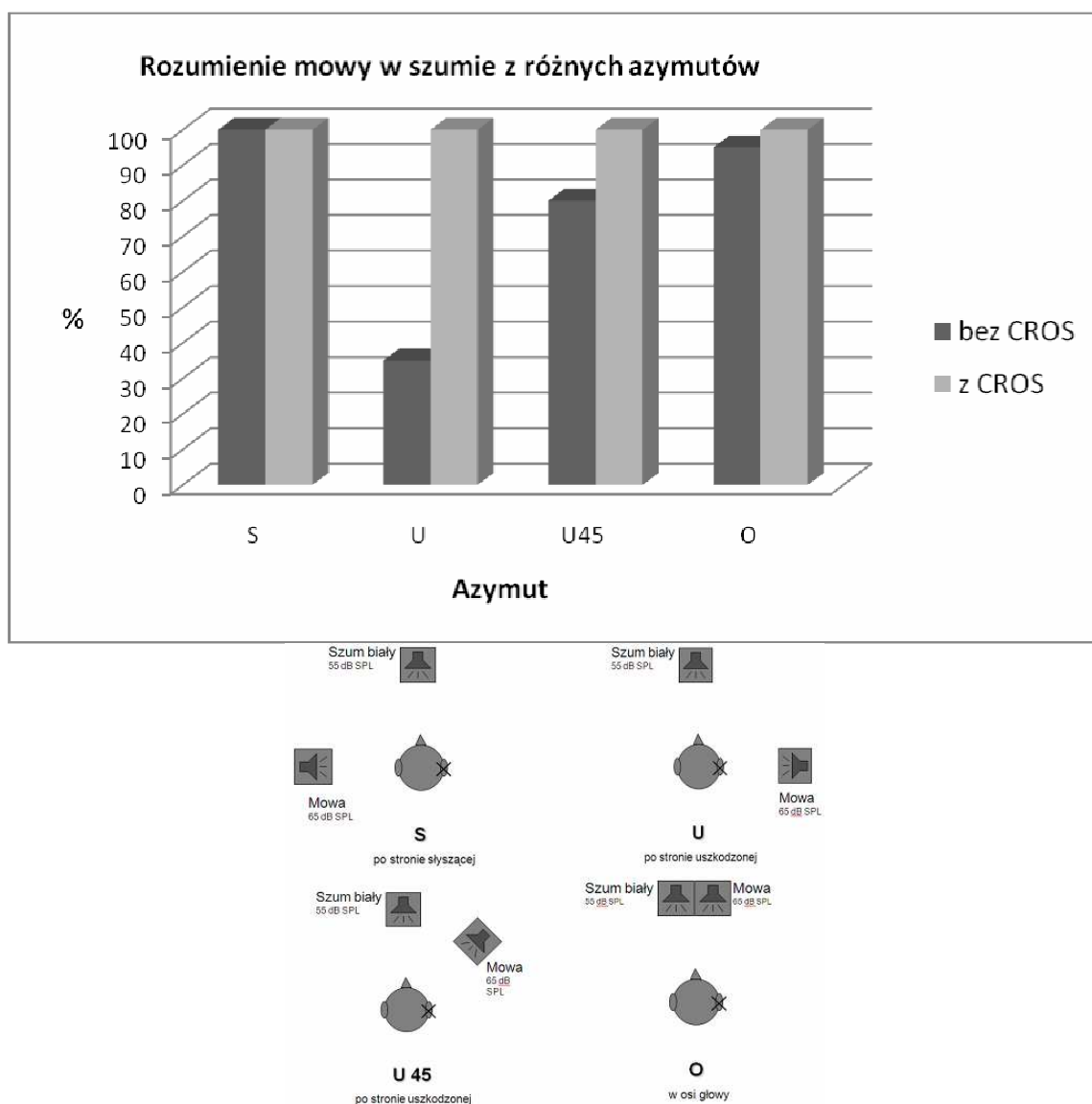
zamierzonym efekcie przeniesienia każdej z badanych częstotliwości ze strony ucha uszkodzonego do zdrowego.

### 6.3.2. Wyniki rozumienia mowy w szumie z różnych azymutów

**Tabela 12.** Wyniki badania rozumienia mowy w szumie przy wartości SNR równej 10 dB bez systemu CROS i po jego zastosowaniu

Lp	% rozumienia bez CROS			% rozumienia z CROS		
	U w szumie	U45 w szumie	O w szumie	U w szumie	U45 w szumie	O w szumie
1	15	70	95	100	100	100
2	20	80	95	100	100	100
3	20	75	100	100	100	100
4	30	70	95	100	100	100
5	40	70	95	100	100	95
6	40	75	95	95	100	100
7	35	75	95	100	100	100
8	35	80	95	100	100	100
9	35	90	95	100	100	100
10	20	70	100	100	100	100
11	25	75	100	95	100	100
12	35	80	100	100	100	100
13	40	80	90	100	100	100
14	35	70	90	100	100	100
15	35	85	95	100	100	100
16	40	90	95	100	100	100
17	25	80	95	100	100	100
18	25	80	95	100	100	100
19	40	85	95	100	100	95
20	40	90	100	100	100	100
21	45	75	90	100	100	100
22	30	70	90	100	100	100
23	25	80	90	95	100	100
24	30	85	95	100	100	100
25	30	85	95	100	100	100
26	35	75	90	100	100	100
27	35	75	90	100	95	95
28	35	80	95	100	100	100
29	40	85	90	100	100	100
30	30	85	90	100	100	100
31	35	85	90	100	100	100
32	35	80	95	100	100	100
33	40	80	95	100	100	100
34	25	85	95	100	95	100
35	25	85	95	95	100	95
36	30	80	95	100	100	100
37	30	75	95	95	100	100
38	25	80	95	100	95	100
39	25	85	100	95	100	100
40	25	85	100	100	100	95
41	25	90	90	100	100	100
42	35	85	100	100	100	100
<b>Śr.</b>	<b>31,4</b>	<b>80</b>	<b>94,6</b>	<b>99,3</b>	<b>99,6</b>	<b>99,4</b>

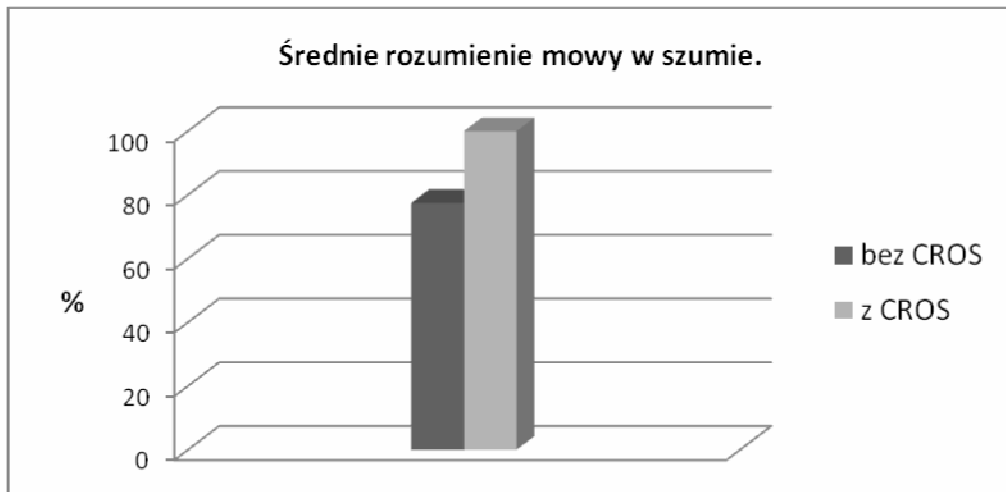
Tabela 12 przedstawia wyniki badań rozumienia mowy w szumie badanego z różnych azymutów. Szare pole ilustruje wyniki przed zastosowaniem systemu CROS, a jasna część tabeli to dane po zaopatrzeniu pacjentów w urządzenie wspomagające słyszenie.



**Ryc. 32.** Wykres stopnia rozumienia mowy w szumie badanego z czterech azymutów: S – po stronie ucha słyszącego, U – po stronie ucha uszkodzonego, U45 – po stronie ucha uszkodzonego w azymucie 45 stopni, O – z przodu (w osi głowy) bez systemu CROS oraz po zaopatrzeniu w CROS.

Na ryc. 32. oraz w tabeli nr 12 przedstawiono wyniki badań rozumienia mowy w szumie z różnych azymutów. Badanie po stronie ucha zdrowego (azymut S) daje wynik 100% rozumienia mowy, bez względu na to czy jest stosowany CROS czy też nie (słupki jasny i ciemny praktycznie pokrywają się). Podobnie jest w przypadku badania pacjentów z jednostronną głuchotą z przodu, w osi głowy (azymut O). W tych azymutach nie ujawnia się cień głowy. Największe różnice, a tym samym najskuteczniejsze działanie systemu CROS można dostrzec w wynikach badań rozumienia mowy przy azymucie 90 stopni, po

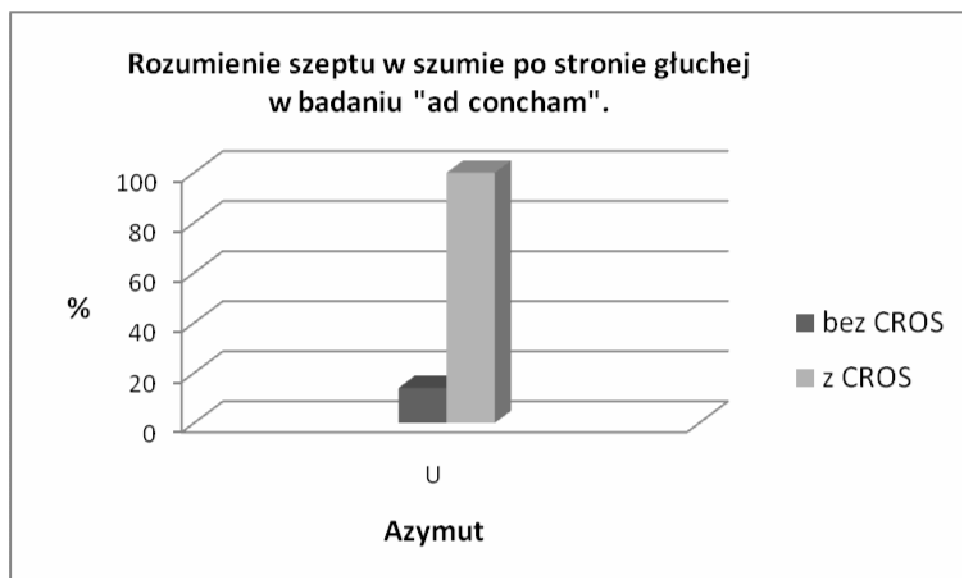
stronie ucha uszkodzonego (azymut U), gdzie zysk wynosi 67%. Mniejsza różnica występuje w badaniach z azymutu 45 stopni w kierunku uszkodzonego ucha (U45) i wynosi 20%.



Ryc. 33. Wykres średniego rozumienia mowy w szumie.

Rycina 33 przedstawia wartości średniego rozumienia mowy w szumie. Jest to średnia ze wszystkich badanych azymutów. Dla badań bez systemu CROS oraz dla grupy kontrolnej otrzymano wynik 77,5%. Średnie rozumienie mowy w badaniu z różnych kierunków szumie, po zastosowaniu systemu CROS, wyniosło 100%. Wynik ten oznacza 22,5% zysku w rozumieniu mowy w szumie z różnych azymutów.

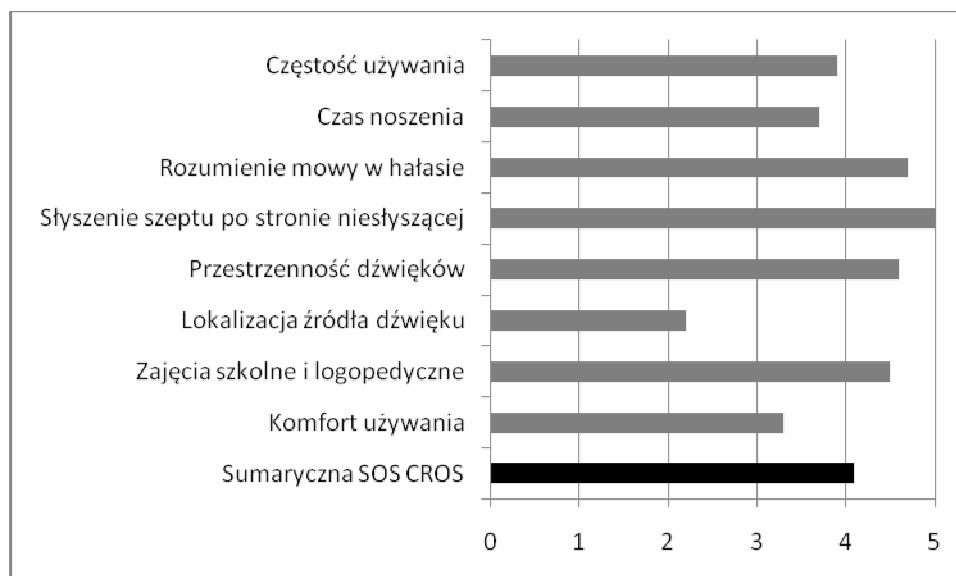
### 6.3.3 Wyniki rozumienia szeptu „ad cocham” po stronie głuchej



Ryc. 34. Wykres rozumienia szeptu „ad cocham” badanego w szumie 55 dB SPL po stronie niesłyszającej przed (ciemny słupek) i po zaopatrzeniu w aparat CROS.

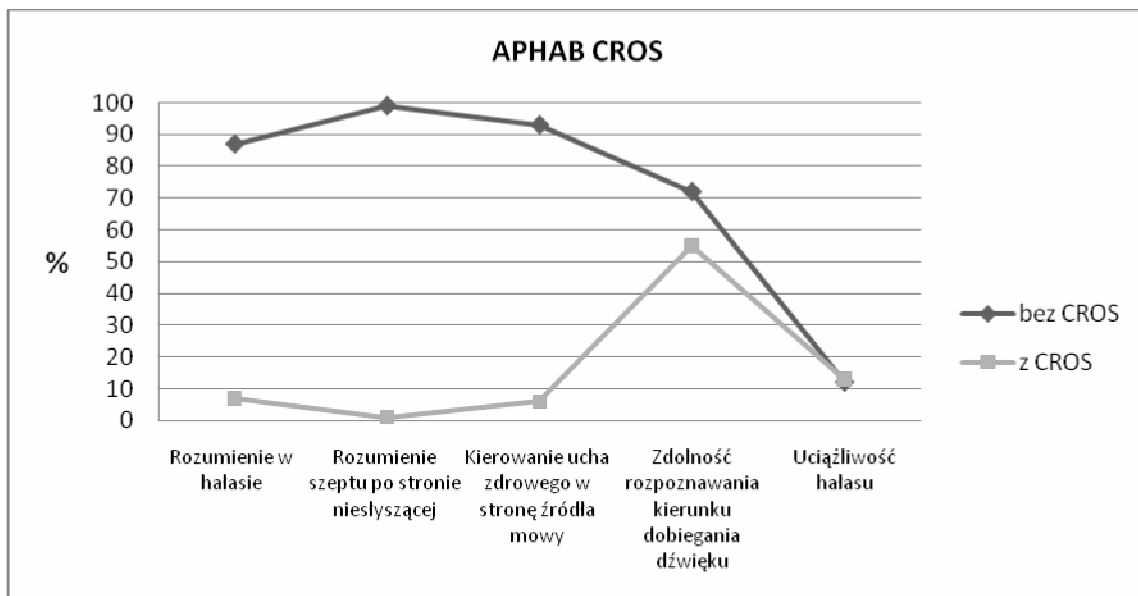
Rycina 34 obrazuje wynik badania rozumienia szeptu badanego *ad cocham*, w szumie i wynosi 14% dla grupy kontrolnej oraz grupy badanej przed zastosowaniem systemu CROS. U wszystkich pacjentów uzyskano 100% rozumienia szeptu (jasny słupek, rycina 35) po stronie uszkodzonej (azymut U) w badaniu akumetrycznym, po zastosowaniu systemu CROS. Zysk z urządzenia jest więc w tym przypadku bardzo duży i wynosi aż 86%.

#### 6.3.4 Wyniki ABHAB CROS i SOS CROS



Ryc. 35. Wykres przedstawiający wyniki subiektywnej oceny skuteczności – SOS CROS.

Wyniki subiektywnej oceny skuteczności CROS są następujące: pacjenci używają CROS „prawie codziennie” (SOS CROS = 3,9), przez około 6–8 godzin dziennie (SOS CROS = 3,7), rozumienie w hałasie oceniają bardzo dobrze (SOS CROS = 4,7). Podobnie rozumienie szeptu po stronie niesłyszającej pacjenci ocenili bardzo dobrze (SOS CROS = 5). Wyniki ankietowe dotyczące przestrzenności dźwięków wynoszą między „dobrze” a „bardzo dobrze” (SOS CROS = 4,6) Subiektywną poprawę w zajęciach szkolnych i ćwiczeniach u logopedy badana grupa oceniła między 4 a 5 w skali od 1 do 5 (SOS CROS = 4,5). Najsłabsze wyniki w ocenie pacjentów otrzymano w ocenie lokalizacji źródła dźwięku i jest to wynik 2,2. Komfort używania został oceniony między „pół na pół” a „dobrze” (SOS CROS = 3,3). Największy wpływ na złe wyniki komfortu używania miało duże zużycie baterii w systemie bezprzewodowym. Żywotność baterii zarówno w nadajniku, jak i odbiorniku wyniosła niecałe 6 dni. Dodatkowo pacjenci zwracali uwagę na fakt noszenia dwóch „aparatów słuchowych”, które są trochę widoczne. Sumaryczny wynik SOS CROS dla wszystkich kategorii zmierzony jako średnia arytmetyczna wynosi 4,1, co w ocenie opisowej oznacza „dobrze”.



**Ryc. 36.** Wykres przedstawiający wyniki APHAB CROS. Ciemna linia przedstawia sytuację przed zastosowaniem aparatu, a jasna linia po zaopatrzeniu w środek pomocniczy.

Rycina 36 przedstawia wyniki subiektywnej oceny skuteczności systemu CROS u pacjentów z JG na podstawie kwestionariusza APHAB CROS. Widzimy, że po założeniu urządzenia w istotny sposób poprawia się rozumienie mowy w hałasie (zysk 80%) oraz rozumienie szeptu po stronie niesłyszącej (zysk 98%). Odruch kierowania ucha do źródła dźwięku po zaopatrzeniu pacjentów w CROS zdecydowanie zanika (zysk wynosi 87%). Wynik zdolności rozpoznawania kierunku dobiegania dźwięku po zastosowaniu środka pomocniczego nieznacznie się różni od wyniku uzyskanego bez CROS (subiektywna poprawa). Odczucie uciążliwości hałasu zarówno w urządzeniu jak i bez niego jest takie samo. Oznacza to, że system CROS nie wprowadza do zdrowego ucha nadmiernej głośności i nie zwiększa odbioru hałasu.

#### 6.4. Analiza statystyczna wyników

Do analizy statystycznej wybrano test kolejności par Wilcoxona. Test ten stosuje się w sytuacji, gdy dokonujemy pomiarów badanej zmiennej dwukrotnie w różnych warunkach. W tym przypadku przed i po zastosowaniu systemu wspomagającego słyszenie.

Dla celów analizy zadano pytanie: czy wartość cienia głowy, po zastosowaniu systemu CROS, różni się statystycznie od wartości badanej bez CROS?

Analizę przedstawiają tabele 13 i 14.

**Tabela 13.** Analiza statystyczna wyników parametrów akustycznego cienia głowy bez i z CROS w zależności od częstotliwości dźwięku

	N ważnych	Średnia	Mediana	Min.	Maks.	Odch.Std.
bez CROS 500 Hz	42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
bez CROS 1kHz	42	0,1	0,0	0,0	5,0	0,8
bez CROS 2kHz	42	4,5	5,0	0,0	5,0	1,5
bez CROS 3kHz	42	6,2	5,0	5,0	10,0	2,2
bez CROS 4kHz	42	9,8	10,0	5,0	15,0	2,5
bez CROS 6kHz	42	12,6	15,0	10,0	15,0	2,5
z CROS 500 Hz	42	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
z CROS 1kHz	42	0,1	0,0	0,0	5,0	0,8
z CROS 2kHz	42	0,4	0,0	0,0	5,0	1,3
z CROS 3kHz	42	0,5	0,0	0,0	5,0	1,5
z CROS 4kHz	42	0,4	0,0	0,0	5,0	1,3
z CROS 6kHz	42	1,1	0,0	0,0	5,0	2,1

**Tabela 14.** Test kolejności par Wilcoxon dla parametrów cienia głowy przed i po zastosowaniu systemu CROS. Wyniki są istotne z  $p < 0,05$

	N ważnych	T	Z	poziom p
bez CROS 500 Hz & z CROS 500 Hz	42	0,0		
bez CROS 1kHz & z CROS 1kHz	42	0,0		
bez CROS 2kHz & z CROS 2kHz	42	19,0	5,0	0,000001
bez CROS 3kHz & z CROS 3kHz	42	0,0	5,4	0,000000
bez CROS 4kHz & z CROS 4kHz	42	0,0	5,6	0,000000
bez CROS 6kHz & z CROS 6kHz	42	0,0	5,6	0,000000

Parametry cienia głowy istotnie różnią się po zastosowaniu systemu CROS w stosunku do stanu przed założeniem CROS dla częstotliwości 2, 3, 4 i 6 kHz z  $p < 0,05$ .

W celu zbadania statystycznej istotności wyników badań rozumienia w szumie zadano pytanie: czy rozumienie po zastosowaniu urządzenia CROS różni się statystycznie od rozumienia uzyskanego przed zaprotezowaniem pacjenta?

Analizę przedstawiają tabele 15 i 16.

**Tabela 15.** Analiza statystyczna wyników rozumienia mowy w szumie z i bez CROS w zależności od lokalizacji sygnału mowy

	N ważnych	Średnia	Mediana	Min.	Mak.	Odch.Std.
bez CROS S	42	98,2	100,0	95,0	100,0	2,4
bez CROS U	42	33,0	35,0	15,0	45,0	12,7
bez CROS U45	42	80,0	80,0	70,0	90,0	6,0
bez CROS 0	42	94,6	95,0	90,0	100,0	3,4
z CROS S	42	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0
z CROS U	42	99,3	100,0	95,0	100,0	1,8
z CROS U45	42	99,6	100,0	95,0	100,0	1,3
z CROS 0	42	99,4	100,0	95,0	100,0	1,6

**Tabela 16.** Test kolejności par Wilcoxona dla wyników rozumienia mowy w szumie z i bez CROS

	N ważnych	T	Z	poziom p
bez CROS S & z CROS S	42	0,0	3,4	0,00
bez CROS U & z CROS U	42	0,0	5,6	0,00
bez CROS U45 & z CROS U45	42	0,0	5,6	0,00
bez CROS 0 & z CROS 0	42	11,5	4,7	0,00

Rozumienie w szumie po założeniu systemu CROS w każdym z azymutów istotnie różni się od rozumienia bez urządzenia wspomagającego z  $p=0$ .



## 7. DYSKUSJA

W pracy poddano analizie wyselekcjonowaną grupę pacjentów, jednorodną akustycznie, z głuchotą jednostronną oraz normą słuchową drugiego ucha, z progiem słyszenia poniżej 15 dB HL i dyskryminacją mowy 100%. Była to duża grupa badawcza, dobrana według spójnych kryteriów audiologicznych. W literaturze badane grupy są zwykle mniej liczne, a kryteria doboru grupy nie zawsze precyzyjnie określone. Hol [39] badał 20 pacjentów ze średnim progiem słuchu dla zdrowego ucha w audiometrii tonalnej mniejszym niż 20 dB HL, jednak przed protezowaniem nie wykonuje badań rozumienia mowy. Podobnie Valente [77] jako kryterium przyjął poziom progę słyszenia ucha zdrowego mniejszy niż 15 dB HL, badając nieliczną grupę 9 osób. W innej publikacji Wazen [81] przebadał 12 pacjentów, z średnim progiem słyszenia ucha lepszego do 25 dB HL w zakresie częstotliwości od 250 do 4000 herców oraz średnim progiem słuchu dla uszkodzonego ucha obliczonego z 3 częstotliwości 500, 1000, 2000 Hz wynoszącym 101,46 dB HL. W pracy Zagólskiego [85] przebadano 35 dzieci w wieku 6–17 lat, nie podano średniego progę słuchu i stopnia rozumienia mowy. Praca Niparko z 2003 [56] roku określa kryteria, takie jak: stopień dyskryminacji mowy ucha zdrowego powyżej 80% przy średnim progu słuchu PTA (Pure Tone Audiometry) mniejszym niż 25 dB HL. Dane dotyczące uszkodzonego ucha: średni próg słuchu PTA większy niż 90 dB HL oraz stopień dyskryminacji mowy SD mniejszy od 20%.

Polemiki naukowej wymaga sposób przeprowadzenia badań. Rozumienie mowy w dostępnych pozycjach literaturowych badane jest w bardzo różny sposób. Na przykład Zagólski [85] badał pacjentów szeptem w ciszy z odległości 6 metrów, co w przypadku jednostronnej głuchoty nie uwzględnia akustycznego cienia głowy i przez to nie daje różnicowania w wynikach badania efektu zastosowania systemu CROS.

Wyniki własne rozumienia mowy w ciszy, wykonane na grupie kontrolnej, bez założonego urządzenia CROS, pokazują, że pacjenci z jednostronną głuchotą w warunkach laboratoryjnej ciszy nie mają żadnego problemu z rozumieniem mowy o średnim poziomie 65 dB SPL. Grupa kontrolna osiągnęła 100% wynik rozumienia wyrazów jednosylabowych nawet po stronie uszkodzonego ucha. Wyliczono, że wartość cienia głowy wynosi dla częstotliwości powyżej 1500 Hz od 10 do 15 dB. Zmniejszenie sygnału mowy o taką wartość, czyli do poziomu 50–55 dB SPL nie pogorszy rozumienia mowy i pozwoli na 100% jej dyskryminacji. Po włączeniu szumu o poziomie 55 dB SPL, prezentowanego z przodu (w celu równomiernego docierania dźwięków do prawej i lewej małżowiny), wyniki diametralnie zmieniają się z 100% na 31%. Jednocześnie wynik badania w szumie przy prezentacji sygnału mowy z przodu i po stronie zdrowej bez systemu CROS oznacza, że szum o poziomie 55 dB SPL nie zakłóca rozumienia mowy

zdrowym uchem. W azymucie 45 stopni po stronie uszkodzonego ucha (azymut U45) widzimy już wpływ „niekorzystnego” cienia głowy, czyli pogorszenie rozumienia mowy z 100% do 80%. Badania należy więc przeprowadzać w azymutach, w których występuje cień głowy. Markides [51] i Loterman [49] u pacjentów z jednostronną głuchotą badali SRT – próg rozumienia mowy (identyfikacja 50% jednostek słownych) – przy różnych wartościach SNR. Ta metoda nie pozwala stwierdzić pełnego (100%) rozumienia mowy w szumie. Hol [39] badał rozumienie mowy z azymutów +90 i -90 stopni i do tego modelu zbliżona jest metodyka mojej pracy. Niparko [56] badał rozumienie mowy w szumie przy stałym SNR +10 dB i średnim poziomie mowy 65 dB (A) bez prezentowania sygnału mowy z różnych kierunków. Już w 1974 Navarro [54] badał rozumienie po stronie ucha uszkodzonego i dostrzegł istotny zysk w rozumieniu mowy w szumie po zaopatrzeniu w aparat CROS. W obecnej pracy stworzono taki schemat badania rozumienia mowy, gdzie w identycznych warunkach akustycznych porównuje się rozumienie ze strony zdrowej i strony uszkodzonej. Taki jest bowiem cel zastosowania systemu CROS, aby po głuchej stronie uzyskać słyszenie zbliżone do normy, czyli jak w uchu słyszącym.

Poza akustycznym badaniem skuteczności systemu CROS, autorzy podobnych prac, oceniali efekty protezowania za pomocą kwestionariusza lub ankiety. Pacjenci odpowiadali na szereg pytań dotyczących ich problemów oraz ich rozwiązania, po zastosowaniu urządzenia wspomagającego. Gotowe ankiety, takie jak kwestionariusz korzyści z aparatu słuchowego APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit), nie są ukierunkowanym narzędziem do oceny skuteczności systemu CROS. Wynika to głównie ze specyfiki problemu cienia głowy, jaki powstaje w jednostronnej głuchocie, czy też każdej asymetrii słuchowej. Klasyczny APHAB jest przeznaczony do oceny protezowania obuusznych niedosłuchów. Hol [38], Wazen [81] oraz Niparko [56] w swoich pracach stosowali APHAB, inni np. Subramaniam [71] stosowali GBI (Glasgow Benefit Inventory) lub SSQ (Speech Spatial and Qualities), bazujących na badaniu poprawy komfortu życia QoL (Quality of Life). Ankiety poszerzone o własne pytania proponowali Wazen [81], Valente [77], Tringali [73], Zagólski [85]. Hol w 2010 roku [40] stwierdza, że APHAB i SSQ nie są właściwe do oceny skuteczności CROS i wskazuje na konieczność stworzenia specjalnej ankiety własnej, co potwierdza brak ankiety ukierunkowanej na ocenę skuteczności CROS.

Ankieta użyta w tej pracy powstała na bazie najczęściej pojawiających się problemów podawanych przez badanych pacjentów. Pytania jakie pojawiają się w klasycznych ankietach, jak rozumienie mowy z radia czy telewizora czy słyszenie w ciszy, nie znajdują uzasadnienia w sytuacji, gdy jedno ucho słyszy prawidłowo, a drugie jest głuche. W żadnej z prac dotyczących jednostronnej głuchoty nie znalazłem pytań dotyczących poprawy w zajęciach szkolnych, czy logopedycznych. W grupie badanej

rodzice sami zgłaszali taką poprawę u swoich dzieci. Jednocześnie logopedzi u pacjentów jednoznacznie wskazywali na postęp w wynikach rehabilitacji mowy, w szczególności w seplenieniu bocznym.

Zaopatrzenie pacjenta w system CROS pozwala zlikwidować tzw. „martwy kąt” (ang. dead angle), inaczej cień głowy (ang. head shadow), co stwierdzają we wnioskach swoich prac Harford [28], Bergomi [7], Gelfand [23], Zagólski [85] i inni. Brak jest w literaturze opracowań modelu fizycznego zmierzenia tego zjawiska. W tej pracy próbowano zilustrować efekt akustycznego cienia głowy za pomocą audiometrii tonalnej w wolnym polu.

Wszystkie prace w ocenie skuteczności urządzenia CROS [3, 7, 10, 12, 14, 18, 20, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 33, 47, 48, 54, 56, 69, 72, 74, 75, 76, 77, 85, 86] podkreślają jego szczególną rolę w poprawie rozumienia mowy w szumie, wskazując ten parametr za najważniejszy aspekt w rehabilitacji osób z jednostronną głuchotą. Stworzony w tej pracy model badania rozumienia mowy w szumie jednoznacznie ilustruje zysk ze stosowania systemu CROS. Na podkreślenie zasługuje fakt, że prezentacja sygnału mowy pod kątem 90 stopni, po stronie ucha uszkodzonego, najmocniej różnicuje wyniki badań z urządzeniem w porównaniu do wyników bez urządzenia. Niezbadanie pacjenta z tego azymutu nie uwypukli największego problemu pacjentów z JG.

Badania lokalizacji źródła dźwięku, które przeprowadzili Hol [40], Markides [51], Tringali [73], Niparko [56], Wazen [83] u pacjentów z jednostronną głuchotą przekonują o braku poprawy w ocenie kierunku dobiegania dźwięku po zastosowaniu pomocy słuchowej. Hol w swojej najnowszej pracy z 2010 roku [40] zauważa nawet, że kilku pacjentów w grupie badanej przez niego, ma lepsze wyniki lokalizacji bez urządzenia. Takie doniesienia literaturowe przekonują o braku efektywności systemu CROS w lokalizacji źródła dźwięku. Opierając się na tych doniesieniach celowo nie podjęto badań tego zjawiska. W ocenie subiektywnej, na podstawie kwestionariuszy, lokalizacja źródła dźwięku pozornie poprawia się [39, 63, 83, 85]. Zagólski [85] w literaturze polskiej opisuje, że 80% badanych dzieci w wieku 6–17 lat zadeklarowało poprawę zdolności lokalizacji źródła dźwięku. Niparko [56] wskazuje na aspekt odczucia pseudo-stereofonicznego słyszenia, wiążącego się ze słyszeniem „dokoła głowy” jednym uchem, ale bez poprawy lokalizacji źródła dźwięku. Po zastosowaniu CROS pacjent słyszy przestrzenie, ale nie potrafi określić, z jakiej strony „tej przestrzeni” dźwięk dobiega. Dlatego należałoby podzielić tę kategorię na pytanie o postrzeganie dobiegających dźwięków z różnych stron (pseudostereofoniczne słyszenie) i odrębnie o umiejętność oceny, z której strony dźwięk dobiega. Dziecko zaś należy zapytać, np. czy „z zamkniętymi oczami” potrafi powiedzieć skąd wołają go: mama, tata czy rodzeństwo lub koledzy. W latach dziewięćdziesiątych bardzo wiele ulotek reklamujących urządzenie CROS umieszczało informację o

polepszaniu lokalizacji źródła dźwięku, wprowadzając specjalistów i pacjentów w błąd i do dzisiaj wielu protetyków słuchu Polsce obiecuje poprawę w słyszeniu kierunkowym z systemem CROS.

Od lat sześćdziesiątych prace badające stosowanie systemu CROS dowodzą skuteczności tego urządzenia, choć chęć noszenia przez pacjentów na stałe jest rzadko opisywana. Gelfand [23] w 1979 roku podaje, że 58% badanych przez niego pacjentów z jednostronną głuchotą opowiedziało się za noszeniem urządzenia. Podobnie inni autorzy podają, że większość badanych pacjentów zdecydowała się nosić system CROS, ale nie przez cały dzień. Zagólski podkreśla akceptację urządzenia przez dzieci w szkole [85], ale tylko 30% badanych nosiło CROS cały dzień. Źródła podają, że w cichym otoczeniu system CROS był lepiej akceptowany aniżeli w hałasie [23, 29, 49, 85]. Ericson [18] w 1988 roku podkreśla aspekt akustycznego i otoplastycznego dopasowania CROS i jego wpływu na akceptację urządzenia. Starszego typu urządzenia CROS były w wielu przypadkach źle akceptowane przez pacjentów i często krytykowane. Wprowadzały niepotrzebnie dodatkowy szum do zdrowego ucha, co stwarzało dyskomfort u pacjentów, szczególnie podczas przebywania w głośnym otoczeniu [23, 29, 49, 85]. Fakt ten może być spowodowany nie tylko ustawieniem stosowanych urządzeń czy zaawansowania technicznego, ale również z brakiem standardu w ustawianiu parametrów w urządzeniach CROS.

W literaturze brakuje danych dotyczących ustawień akustycznych, czy metody dopasowania systemu CROS. Pacjenci często określali słyszenie w uchu zdrowym jako „metaliczne”, „blaszane”, „niemiłe”, „mikrofonowe”, czy z dużym echem. Takie odczucia akustyczne w mojej opinii mogą świadczyć o stosowaniu zbyt dużego wzmocnienia w dopasowanych aparatach. Na przykład Valente [77] podaje stosowane wzmocnienie wielkości 26 dB, co w przypadku jednostronnej głuchoty i zdrowego drugiego ucha jest zdecydowanie zbyt dużym poziomem stymulacji. U Hol [40] w pracy 2010 roku znajdziemy informację, że wzmocnienie w aparacie ustawiono stosując płaską charakterystykę przeniesienia i ustawienia urządzeń według zaleceń producenta. Jednak sięgając do szczegółowych danych technicznych stosowanych urządzeń, ani wymieniany Widex B2 ani Philips P60PP nie mają nawet wzmianki o konfiguracji ustawień CROS. Zbyt duże wzmocnienie, szczególnie niskich częstotliwości w urządzeniach starszego typu, może być powodem powstawania w zdrowym uchu efektu pogłosu – opóźnienia pomiędzy sygnałem wchodzącym naturalnie do ucha zdrowego oraz sygnału docierającego przez CROS. Badania Stone [70] z 2008 roku, dotyczące protezowania otwartego (ang. open fitting) potwierdzają, że opóźnienie między sygnałem akustycznym, bezpośrednio docierającym do ucha, a sygnałem przetworzonym przez aparat słuchowy może być słyszalne i źle akceptowane, jeśli sygnał zawiera pasmo poniżej 1000 Hz, a

szybkość przetwarzania aparatu słuchowego jest większa niż 5–6 ms. Stosowanie wkładek CROS z dźwiękowodem 2 mm oraz używanie starszych typów aparatów dają duże prawdopodobieństwo powstania odczucia „podwójnego dźwięku”, inaczej nazywanego „pogłosem w aparacie”, co potwierdza poza Stone [70] również Kim [46].

Badania Harforda i innych [28, 29, 30, 31, 32] wykazały, że jeśli w uchu lepszym istniał choć niewielki niedosłuch, akceptacja urządzenia stawała się lepsza. To tylko może potwierdzać, że stosowane wzmocnienie u pacjentów z normą słuchową zdrowszego ucha było nadmierne. U pacjentów z niedosłuchem lepszego ucha szum przestawał być słyszalny z powodu podwyższonego progu słyszenia, przez co i akceptacja się zwiększała. Stosowane w tej pracy wzmocnienie obliczone na podstawie audiogramu zdrowego ucha, według metody NAL, wydaje się być bardzo bezpiecznym poziomem stymulacji. Można by zastosować nawet zerowe wzmocnienie, bo przecież chodzi jedynie o przeniesienie dźwięków z jednej strony głowy na drugą, jednak działanie urządzenia wymaga pewnej czułości minimalnej, tak jak w każdym urządzeniu elektronicznym audio. Sięgając do danych technicznych producenta zaleca się w stosowanym urządzeniu ustawienie wzmocnienia na poziomie 5–10 dB, co jest zgodne ze średnim wzmocnieniem użytym w badaniach (5–7 dB). Ostatecznie przy ustawieniu aparatu kierowano się odczuciem pacjenta, który określał czy słyszy szum po włączeniu urządzenia czy nie, i tak długo zmieniano parametry aż pacjent odczuwał pełen komfort akustyczny. Kolejnym powodem braku całkowitej akceptacji aparatów CROS starszej generacji mógł być brak dostępnych systemów elektronicznie „czyszczących” dźwięk z szumów tła. W literaturze nie ma informacji o używaniu takiej funkcji w aparatach CROS. Obecnie, w dobie bardzo rozwiniętej techniki przetwarzania dźwięku za pomocą układów cyfrowych stosowanych w nowoczesnych systemach CROS używa się układów elektronicznego wyróżniania mowy, bazującego na rozpoznaniu widma sygnału (SMS – Speech Management System, SPD – Speech Pattern Detection itp.) oraz systemów redukcji szumu (Silencer, Microphone Noise Reduction). Użycie układów poprawiających stosunek sygnału do szumu (SNR) jest z pewnością wskazane w stosowanych urządzeniach do rehabilitacji jednostronnej głuchoty.

Żadna z prac w zebranej literaturze nie opisuje rodzaju, czy trybu ustawienia mikrofonów w używanym systemie. Na podstawie wyników badań rozumienia w szumie z różnych kierunków można wyciągnąć wnioski, że sygnał mowy docierający z przodu, bez względu na posiadanie lub nie urządzenia wspomagającego, dociera bez utrudnień. Największe różnice w rozumieniu bez i z systemem CROS występują po stronie niesłyszącego ucha w azymucie 90 stopni. Dlatego włączenie kierunkowości mikrofonów w CROS jest bezużyteczne, a wręcz niewskazane. Może to utrudnić odbiór dźwięków docierających z boku, czyli po stronie niesłyszącego ucha, tam gdzie jest jego czułość

najbardziej pożądana. W sugerowanych ustawieniach oprogramowania firmy Cochlear dla procesora BAHA BP100 przy opcji SSD (Single Sided Deafnes) przeznaczonej dla jednostronnej głuchoty, pojawia się funkcja kierunkowości mikrofonów do przodu, co jak już wcześniej opisano, będzie tylko utrudniało odbiór dźwięków z boku – po stronie głuchej.

Informacje w literaturze na temat stosowanych wkładek usznych są znikome. Odnotowano przypadki, gdzie pacjenci na zdrowym uchu mieli stosowaną niemalże pełną wkładkę, jak np. w wewnątrzusznym odbiorniku Telex [77], czy przewodową wersję wewnątrzusznego systemu CROS z wentylacją [72], która zapewne utrudniała pacjentom dodatkowo słyszenie zdrowym uchem. W przypadku protezowania jednostronnej głuchoty zatkanie zdrowego ucha może powodować odwrotny skutek terapeutyczny niż zamierzony. Hol [39] również wskazuje na częste stosowanie wkładek o małej wentylacji, które to wkładki były przez pacjentów oceniane, jako zatykające uszy. Użyte w pracy wkładki otwarte z cienkim dźwiękowodem gwarantują odpowiednie otwarcie ucha, nie utrudniające naturalnego odbioru dźwięków uchem zdrowym [46, 76].

W ostatnich latach ukazało się bardzo wiele prac na temat systemu BAHA stosowanego w przypadku jednostronnej głuchoty [2, 4, 38, 39, 40, 47, 56, 78, 82, 83]. Prace te udowadniają większą skuteczność stosowania i lepszą akceptację BAHA CROS w stosunku do klasycznego systemu CROS. Jednak porównanie klasy stosowanych urządzeń można poddać wątpliwości. Publikacja z 2010 roku [38] porównuje urządzenia transcranial CROS, klasyczny CROS oraz najnowszy BAHA CROS. Transcranial CROS realizowany był za pomocą analogowego aparatu słuchowego w wersji wewnątrzusznej Philips P60PP, który od 2001 roku nie jest już produkowany, wprowadzonego na rynek w latach 90-tych. Podobnie Widex B2, wymieniony w tej pracy, jest urządzeniem bardzo starym. BAHA stosowany przez pacjentów w pracy Niparko to najnowszy procesor dźwięku BP100 z systemami automatyki najwyższej klasy, przewyższający technologicznie wymienione aparaty słuchowe o co najmniej 20 lat. Najprawdopodobniej autorzy pracy porównali urządzenia CROS dopasowane pacjentom ponad 10 lat temu, z których mogli być rzeczywiście niezadowoleni. Dlatego też można poddać wątpliwości metodykę porównania tych urządzeń w ocenie skuteczności sposobu i rodzaju protezowania jednostronnej głuchoty.

W stosowaniu BAHA konieczna jest interwencja chirurgiczna, wymagająca znieczulenia ogólnego. Wskazuje się również możliwości powikłań pooperacyjnych, jakimi są:

- utrata implantu,
- zmiany skórne wokół zaczeput,
- przerost tkanek kostnych wokół implantu [4, 38, 47, 56, 59, 78, 82, 81].

Na uwagę zasługuje również fakt, że w BAHA CROS nie ma możliwości działania jak BiCROS, co jest możliwe w przypadku nowoczesnego, uniwersalnego systemu multiCROS. Biorąc pod uwagę ryzyko pogorszenia się słuchu po stronie słyszającej, bardzo drogie urządzenie BAHA, może nie spełniać swojej funkcji już po krótkim czasie, pomimo spełniania jej w dniu wszczepienia implantu. Odbieranie dźwięków drogą kostną ze strony niesłyszającej do ucha z niedosłuchem może stać się niemożliwe. Również miejsce zamontowania implantu BAHA nie jest najkorzystniejsze w przypadku odbierania dźwięków ze strony ucha niesłyszającego. Mianowicie cień głowy ma najwyższą wartość przy azymucie około 90 stopni. Skuteczność urządzenia założonego pod kątem około 120 stopni po stronie głuchej ucha będzie pewnie mniejsza od systemu CROS, umiejscowionego na małżowinie usznej, czyli dokładnie w azymucie 90 stopni. Program do ustawień parametrów w BAHA podpowiada technikowi zastosowanie kierunkowości mikrofonów, co jak już zostało wcześniej opisane, może jedynie pogorszyć skuteczność urządzenia pod kątem likwidowania „niekorzystnego” cienia głowy. Nasuwa się wniosek, że system CROS warto wypróbować u pacjentów w trakcie kwalifikacji do implantu kostnego, przed wypróbowaniem BAHA na elastycznej opasce oraz podjęciem decyzji o wszczepieniu implantu kostnego. Słowo implant działa bardzo przyciągająco, ale zastosowanie BAHA bez uzasadnionej pewności o jego skuteczności może przez pacjentów być bardzo negatywnie oceniane. Inwazyjność zastosowania, jego koszt i ewentualne skutki uboczne mogą u pacjentów, oczekujących pełnego zadowolenia powodować frustrację. Urządzenie CROS można używać czasowo, w sytuacjach, w których występują zauważalne problemy słuchowe, np. w szkole, a w innych sytuacjach aparat zdejmować.

Metoda leczenia jednostronnej głuchoty za pomocą wszczepienia implantu ślimakowego wydaje się być metodą bardzo kontrowersyjną z uwagi na fakt ogromnej różnicy w odbiorze dźwięków w sposób naturalny uchem zdrowym a odbiorem przez implant ślimakowy, po stronie uszkodzonej, czyli bezpośredniej zamiany fali dźwiękowej w impuls elektryczny. Prace na ten temat podkreślają rolę implantu ślimakowego w zlikwidowaniu dokuczliwości szumu usznego w uchu niesłyszającym, jednak nie udowadniają akceptacji urządzenia, czy też poprawy w rozumieniu mowy w szumie. Na uwagę zasługuje fakt, że 42 pacjentów opisywanych w tej pracy jako swój główny problem podało brak rozumienia mowy w hałasie a nie odczucie dokuczliwości szumu usznego (tinnitus).

W niniejszej pracy udowodniono, że stosowanie systemu CROS w przypadku całkowitej głuchoty jednostronnej i zdrowego drugiego ucha daje oczekiwane efekty. Dopasowanie urządzenia oraz jego ustawienie wymagają jednak odpowiedniego doświadczenia, wiedzy na temat jednostronnej głuchoty oraz takich narzędzi, jak

posiadanie kabiny bezdechowej i odpowiednio skonfigurowanego stanowiska do badań. Standardowe parametry proponowane przez programy do ustawień nie posiadają właściwych algorytmów, a stanowiska badań do klasycznych aparatów słuchowych są całkowicie odmienne.

Praca dowodzi, że pacjenci bez ingerencji operacyjnej, w prosty sposób, przez zastosowanie aparatu CROS, mogą być rehabilitowani i mają dobre i natychmiastowe efekty terapii, jak również dobrze akceptują urządzenie. Odpowiednie wyjaśnienie pacjentom, jakie korzyści płyną z używania systemu CROS, a jakie nie (np. brak lokalizacji źródła dźwięku) pozwala im dostrzec odpowiednio zyski i pracować nad jak najlepszym wykorzystaniem urządzenia. Sami młodszy pacjenci oraz ich rodzice domagają się odpowiedniego pokierowania postępowaniem terapeutycznym.

Z grupy badanej 41 pacjentów zgłasza się regularnie na wizyty kontrolne przynajmniej raz na 3 miesiące i stale używa systemu CROS. Tylko jeden pacjent z tej grupy zrezygnował z urządzenia ze względów estetycznych.

Innowacyjność pracy polega na stworzeniu standardu dopasowania systemu CROS oraz procedury zbadania jego skuteczności za pomocą metody akustycznej oraz oceny subiektywnej poprawy słyszenia, dostosowanych do potrzeb charakterystycznych dla jednostronnej głuchoty. Metoda akustyczna badania rozumienia mowy została już zaaplikowana jako polski standard oceny skuteczności aparatu BAHA, stosowanego w jednostronnej głuchocie u pacjentów dorosłych (BAHA Forum).



## 8. WNIOSKI

1. Dowiedziono, że system CROS jest skutecznym sposobem protezowania słuchu u pacjentów z jednostronną głuchotą. Akustyczna skuteczność systemu CROS wyraża się przez:
  - zlikwidowanie „niekorzystnego” efektu cienia głowy
  - uzyskanie rozumienia mowy po stronie niesłyszącej w obecności zakłócającego szumu na poziomie ucha zdrowego
  - uzyskanie rozumienia szeptu ze strony głuchej
2. Udowodniono, że system CROS jest dobrze akceptowany przez pacjentów i chętnie używany. Stwierdzono poprawę komfortu życia wyrażoną przez:
  - regularne, codzienne stosowanie
  - uzyskanie pseudo-przestrzennego słyszenia
  - uzyskanie subiektywnej poprawy w nauce oraz rehabilitacji logopedycznej
  - zlikwidowanie odruchu ustawiania zdrowego ucha w kierunku sygnału mowy
3. Stwierdzono, że opracowana procedura dopasowania systemu CROS wymaga zastosowania standardu, uwzględniającego następujące parametry:
  - wzmocnienie urządzenia obliczone na podstawie audiogramu kontrlateralnego ucha z zastosowaniem metody NAL
  - zastosowanie wkładek otwartych
4. Dowiedziono, że zastosowana procedura zbadania skuteczności urządzenia CROS powinna uwzględniać stanowisko do badań rozumienia mowy, z azymutów 90 i 45 stopni po stronie głuchej, w obecności szumu.
5. Stwierdzono, że stworzona ankieta subiektywnej oceny skuteczności SOS CROS oraz kwestionariusz APHAB CROS rzetelnie przedstawiają odczucia pacjenta z urządzenia.

## 9. STRESZCZENIE

Słuch jest jednym z pięciu zmysłów człowieka, a jego najważniejszą rolą jest odbiór mowy oraz innych akustycznych sygnałów informacyjnych w tym sygnałów ostrzegawczych. Dzięki rozwojowi w dziedzinie audiologii i protetyki słuchu możliwa jest dziś skuteczna pomoc w przypadku niemalże każdej wady słuchu. Słyszenie obuuszne, inaczej nazywane binauralnym, jest naturalną funkcją zdrowego układu słuchowego. Binauralne słyszenie to również docieranie większej dawki informacji do kory mózgowej a zjawisko to nazywamy binauralną redundancją. Dźwięki lokalizujemy dzięki binauralnej różnicy czasu oraz binauralnej różnicy intensywności. Słyszenie dwójgiem uszu zwiększa również efektywnie głośność odbieranych dźwięków.

Jednostronna głuchota (JG) odbiorcza (Unilateral Deafness – UD, Single Sided Deafness – SSD) to jest jednostronny całkowity brak zdolności odbierania dźwięków, przy normie słuchowej drugiego ucha.

Jednostronne zaburzenia słuchu występują u 0,04–3,4% noworodków oraz 0,1–5% całej populacji dziecięcej. Najczęstsze jej objawy to: utrudnione rozumienie mowy na tle szumów zakłócających, zaburzony odbiór dźwięków po stronie nieczynnego ucha, problem w ocenie kierunku dobiegania dźwięku, brak przestrzennego słyszenia, zmniejszenie natężenia odbieranych dźwięków. Należy pamiętać, że tło akustyczne, zwane potocznie hałasem, stale obecne w naszym otoczeniu. Bezpośrednią przyczyną złego rozumienia w hałasie jest „niekorzystny” efekt akustycznego cienia głowy. Zjawisko polega na tym, że głowa będąc przeszkodą akustyczną dla dźwięków, uniemożliwia ich odbiór uchem zdrowym. Urządzeniem, które może skutecznie rozwiązać większość problemów pacjentów z jednostronną głuchotą, jest system CROS. Nazwa CROS pochodzi od skrótu Contraleateral Routing of Signals lub z innych źródeł Contralateral Routing of Offside Signal i opisuje sposób działania tego urządzenia. „Kontralateralne” przeniesienie sygnałów na przeciwległą stronę oznacza, że system CROS ma za zadanie przesłać sygnał dźwiękowy ze strony ucha niesłyszącego do drugiego, zdrowego ucha.

Celem pracy było zbadanie akustycznej skuteczności systemu CROS u pacjentów z jednostronną głuchotą odbiorczą w zależności od lokalizacji źródła sygnału akustycznego. W pracy zadano sobie pytania: 1) czy system CROS zlikwiduje „niekorzystny” efekt akustycznego cienia głowy u pacjentów z jednostronną głuchotą? 2) czy przeniesienie wysokoczęstotliwościowych formantów sygnału mowy ze strony ucha niesłyszącego do słyszącego pozwoli na rozumienie mowy ze strony „głuchej” w szumie?

Ponadto celem pracy było stworzenie standardu i procedury dopasowania systemu CROS oraz określenie zestawu badań do oceny jego skuteczności.

Podmiotem badań było 42 pacjentów z jednostronną głuchotą odbiorczą i zdrowym drugim uchem w wieku od 9 do 46 roku życia zdiagnozowanych w Klinice Foniatrii i Audiologii Uniwersytetu Medycznego w Poznaniu, jak i w Poradni Przyklinicznej oraz w NZOZ Centrum Terapii Słuchu w Poznaniu skierowanych do rehabilitacji i protezowania słuchu.

Średni wiek pacjentów wyniósł 16,7 lat. Grupa liczyła 20 (48%) kobiet oraz 22 (52%) mężczyzn. W przypadku 24 pacjentów (57%) uszkodzenie dotyczyło prawego ucha, a u 18 pacjentów (43%) lewego. Średni próg słuchu, dla ucha głuchego, jako średnia 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz wyniósł 110 dB.

Metodyka badań obejmowała: ukierunkowany wywiad z pacjentem, badania audiologiczne słuchu, dopasowanie systemu CROS oraz badania korzyści z zastosowanego urządzenia.

U wszystkich pacjentów zastosowano cyfrowy, bezprzewodowy system CROS w wersji zausznej. CROS ten posiada certyfikat EC (Declaration of Conformity) kwalifikujący go do urządzeń medycznych – aparatów słuchowych. Na podstawie audiogramu zdrowego ucha, przy użyciu programu CompuFit ustawiono wzmocnienie wg metody dopasowania NAL. U wszystkich pacjentów użyto wkładek otwartych. Korzyści akustyczne z systemu CROS zbadano w wolnym polu słuchowym. Wykonano audiometrię tonalną przy użyciu audiometru Madsen Midimate 622. W wolnym polu słuchowym wykonano audiometrię mowy w szumie z różnych azymutów przed i po zastosowaniu systemu CROS. Subiektywną ocenę skuteczności dokonano używając zmodyfikowanych, dla potrzeb pracy kwestionariuszy APHAB (Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit) CROS oraz ankietę własną SOS (subiektywna ocena skuteczności) CROS.

Ocenę statystyczną wszystkich wyników badań wykonano za pomocą oprogramowania Microsoft Excel 2007 oraz Statistica 9.

Wyniki badań zysku w audiometrii tonalnej w wolnym polu słuchowym wykazały, że dla dźwięków o częstotliwości 500 i 1000 Hz głowa nie stanowi przeszkody i dźwięki te docierają do zdrowego ucha bez strat. Jednak już dla częstotliwości 2000, 3000, 4000 i 6000 Hz cień głowy bez systemu CROS wynosi 5–15 dB. Po zastosowaniu systemu CROS cień głowy jest praktycznie całkowicie zniesiony i średnia wartość jest bliska wartości 0. Świadczy to o zamierzonym efekcie przeniesienia każdej z badanych częstotliwości ze strony ucha uszkodzonego do zdrowego.

Badanie skuteczności akustycznej CROS po stronie ucha uszkodzonego (azymut U), daje 67% zysk w rozumieniu mowy w szumie. Sumaryczny wynik subiektywnej oceny skuteczności SOS CROS dla wszystkich kategorii zmierzony jako średnia arytmetyczna wynosi 4,1, co w ocenie opisowej oznacza „dobrze”. Na podstawie kwestionariusza APHAB CROS stwierdzono, że po zastosowaniu urządzenia w istotny sposób poprawia

się rozumienie mowy w hałasie (zysk 80%) oraz rozumienie szeptu po stronie niesłyszącej (zysk 98%). Odruch kierowania ucha do źródła dźwięku po zaopatrzeniu pacjentów w CROS zdecydowanie zanika (zysk wynosi 87%).

W pracy dowiedziono, że system CROS jest skutecznym sposobem protezowania słuchu u pacjentów z jednostronną głuchotą przez zlikwidowanie „niekorzystnego” efektu cienia głowy u pacjentów z jednostronną głuchotą. Uzyskano rozumienie mowy o średnim poziomie natężenia po stronie niesłyszącej w obecności zakłócającego szumu w 100% oraz rozumienie szeptu po stronie niesłyszącego ucha. Udowodniono, że system CROS jest dobrze akceptowany przez pacjentów i chętnie używany. Stwierdzono poprawę komfortu życia wyrażoną przez: regularne, codzienne stosowanie, polepszenie słyszalności dźwięków dobiegających ze strony głuchego ucha, uzyskanie pseudo-przestrzennego słyszenia, uzyskanie subiektywnej poprawy w nauce oraz rehabilitacji logopedycznej, zlikwidowanie odruchu ustawiania zdrowego ucha w kierunku sygnału mowy. Utworzono procedurę dopasowania systemu CROS wymagającą zastosowania standardu uwzględniającego wzmocnienie urządzenia obliczone na podstawie audiogramu kontralateralnego ucha z zastosowaniem metody NAL, zastosowanie wkładek otwartych. Stworzono ankietę subiektywnej oceny skuteczności systemu CROS (SOS CROS) oraz kwestionariusz APHAB CROS, które uwzględniają specyficzne pytania, charakteryzujące problem jednostronnej głuchoty.

W pracy udowodniono, że stosowanie systemu CROS w przypadku całkowitej głuchoty jednostronnej i zdrowego drugiego ucha znosi cień głowy. W pracy dowiedziono, że pacjenci w prosty sposób, bez ingerencji operacyjnej, mogą być efektywnie rehabilitowani z użyciem systemu CROS.

## 10. SUMMARY

Hearing is one of the five human senses and its most important role is to hear the speech and other acoustic information signals, including warning signals. Today, advanced audiology and hearing implantation allows physicians to effectively help patients in nearly all hearing defects. Binaural hearing is the natural function of a healthy hearing system. The cerebral cortex of people able to hear with both ears receives more information; this phenomenon is called binaural redundancy – sounds are localized thanks to the binaural difference of time and binaural difference in intensity. Binaural hearing also effectively increases the loudness of the sounds which we hear.

Unilateral Deafness (UD, Single Sided Deafness –SSD) denotes complete unilateral lack of the ability to receive sounds when the other ear is fully capable of hearing.

Unilateral hearing impairment is present in 0.04–3.4% of newborns and 0.1–5% of the total population of children. Most frequent symptoms include: impaired understanding of speech in the presence of interference noise, impaired reception of sounds by the inactive ear, problems with identifying the direction of a sound, lack of spatial hearing, and reduced intensity of sounds. It must be remembered that the background noise, commonly called noise, is always present around us. The “unfavourable” effect of the acoustic (head) shadow is the direct reason for bad understanding in the presence of noise. Acoustic shadow is a region of reduced amplitude of a sound because it is obstructed by the head and sounds cannot be received by the healthy ear. CROS is an aid which can effectively solve most of the problems experienced by patients suffering from unilateral deafness. CROS stands for Contralateral Routing of Signals or Contralateral Routing of Offside Signal. Contralateral routing of signals to the other side means that CROS sends the sound signal from the deaf ear to the other, healthy ear.

This dissertation aimed at testing the acoustic effectiveness of CROS in patients with unilateral deafness, depending of the location of the acoustic signal source. Two other aims included creating a CROS fitting standard and procedure as well as defining the set of tests to evaluate its effectiveness.

42 patients with diagnosed unilateral deafness aged 9–46 years were investigated. They were patients of the Department of Phoniatics and Audiology, Poznań University of Medical Sciences, and the Hearing Therapy Centre in Poznań referred for hearing rehabilitation and implantation.

The average age of the patients was 16.7 years. The group included 20 women (48%) and 22 men (52%). In 24 patients (57%) the right ear was impaired and in 18 patients (43%) the left ear was impaired. The average hearing threshold for the deaf ear, as a mean value of 500 Hz, 1000 Hz and 2000 Hz, was 110 dB.

The methodology included a focused interview with the patient, audiological hearing tests, CROS aid fitting and testing the benefits of the system after putting it into the practice.

A digital, wireless BTE CROS system was used with all the patients. CROS is an EC certified hearing aid. Based on the audiogram of a healthy ear, using CompuFit software, amplification according to the NAL fitting method was set. Acoustic benefits of using CROS were checked in a free hearing field test. Tonal audiometry was performed using Madsen Midimate 622 audiometer. Speech audiometry was made in the free hearing field in the noise coming from different azimuths before and after the implantation of the CROS aid. A subjective effectiveness assessment was made using Abbreviated Profile of Hearing Aid Benefit (APHAB) questionnaires, slightly modified for the purposes of this dissertation (CROS APHAB), and the author designed subjective effectiveness assessment questionnaires (CROS SOS).

A statistical analysis of the results was made with the help of Microsoft Excel 2007 spreadsheet and the Statistica 9 package.

Hearing gain tests in tonal audiometry in a free hearing field revealed that the acoustic shadow without CROS, depending on the sound frequency, was 5–15 dB. When CROS was implanted, the acoustic shadow was practically completely eliminated and the mean value was close to 0. This indicates the intended transfer effect from the impaired ear to the healthy ear for each of the frequencies tested.

CROS acoustic effectiveness tested on the impaired ear side produced a gain of 67% with respect to speech intelligibility in the presence of noise. The total result of the CROS SOS subjective effectiveness assessment for all the categories measured as an arithmetic mean was 4.1, which is a “good” result. Based on the CROS APHAB questionnaire it was found that after the aid implantation speech intelligibility in the presence of noise as well as intelligibility of whisper on the side of the impaired (deaf) ear were significantly improved (a gain of 80% and 98%, respectively). The reflex of directing the ear to the sound source after the patients were implanted with CROS disappeared very significantly (the gain was 87%).

It was proved in the dissertation that the CROS aid is an effective way of hearing aid application in patients with unilateral deafness because it helps to eliminate the “unfavourable” effect of the acoustic shadow in patients with unilateral deafness. 100% speech intelligibility with an average intensity level on the deaf side in the presence of the interference noise and intelligibility of whisper on the deaf ear side were obtained. It was proved that CROS is well accepted by the patients and freely used by them. The comfort of the patients’ life was significantly improved – patients who used the aid regularly and everyday reported improved hearing of sounds coming from the deaf ear, pseudo-spatial

hearing, subjectively felt that their results at school and during speech therapy have improved. They also reported elimination of the reflex of positioning the healthy ear in the direction of the speech signal. A CROS aid fitting procedure was developed – it requires the use of the standard which takes into account the amplification of the aid calculated on the basis of the audiogram of contralateral ear, using the NAL method, and application of open inserts. A questionnaire of CROS subjective assessment of effectiveness (CROS SOS) and CROS APHAB questionnaire were developed, both containing specific questions describing the problem of unilateral deafness.

It was proved in the dissertation that the application of CROS aid in the case of complete unilateral deafness and the healthy other ear eliminates the acoustic head shadow. It was also proved in the dissertation that patients can, in a simple way, without any operation, be effectively rehabilitated with the help of the CROS aid.

## 11. PIŚMIENICTWO

1. Abel S., Lam K.: Impact of unilateral hearing loss on sound localization. *App. Acous.* 2008; 69:804-811.
2. Agarwal N., Marzo S., Raffin M., Leonetti J.: Single-sided deafness patient satisfaction with the BAHA. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2007; 137, Suppl. P92-P93.
3. Aufricht H.: A follow-up study of the CROS hearing aid. *J Speech Hear Disord* 1972; 37:113-17.
4. Berenholz L., Burkey J., Lippy W.: Use of a bone-anchored hearing aid for functional single-sided deafness. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2007; 137: 522-523.
5. Bess F.H., Tharpe A.M.: An introduction to unilateral sensorineural hearing loss in children. *Ear Hear.* 1986; 7:3-13.
6. Bess F.H.: The unilaterally hearing-impaired child: A final comment. *Ear Hear.* 1986; 7:52-54.
7. Bergomi A.: On the subject of CROS (contralateral routing of signal). Study and production trasosseous CROS. *Arch. Ital. Otol. Rinol. Laringol. Patol. Cervicofac.* 1970; 3:156-9.
8. Bilińska B.: Wprowadzenie audiometrii impedancyjnej do badań diagnostycznych w wolnym polu słuchowym. Rozprawa doktorska. Uniwersytet Medyczny w Poznaniu, 2009.
9. Bronhorst A.W.: The cocktail party phenomenon: A review of research on speech intelligibility in multiple-talker conditions. *Acta Acoust.* 2000; 86:117-128.
10. Borg E., Ahlsen L., Palmqvist A.: Ear insert designed to optimize CROS fittings shows promise. *Hear. J.* 2006; 59(5):32,34,35,38,39,40.
11. Ching T.Y., van Wanrooy E., Hill M., Dillon H.: Binaural redundancy and inter-aural time difference cues for patients wearing a cochlear implant and a hearing aid in opposite ears. *Int. J. Audiol.* 2005; 44(9):513-21.
12. Carvier W.M.: An unusual application of a CROS Hearing Aid. *Laryngoscope* 1976; 86(11):1712-1713.
13. Cox R.M., Alexander G.C.: Abbreviated profile of hearing aid benefit. *Ear Hear.* 1995; 16(2):176-86.
14. Courtois J., Hartvig J.: CROS fitting of hearing aids. *Scand. Audiol.* 1976; 5:137.
15. Christen R.: Binaural summation at the most comfortable loudness level (MCL). *Aust. J. Audiol.* 1980; 2(2):92-98.
16. Dillon H.: Hearing Aids. Thieme, New York 2001.
17. Dodds E., Harford E.: Modified earpieces and CROS for high frequency hearing losses. *J. Speech Hear. Res.* 1968; 11(1):204-18.
18. Ericson H., Svard I., Hogset O., Devert G., Ekström L.: Contralateral routing of signals in unilateral hearing impairment. A better method of fittings. *Scand. Audiol.* 1988; 17(2):111-116.
19. Fedderson W.E., Sandel T.T., Teas D.C., Jeffress L.A.: Localization of high frequency tones. *J. Acoust. Soc. Am.* 1957; 5:82-108.
20. Fowler E.P.: Bilateral hearing aids for monaural total deafness. A suggestion for better hearing. *Arch. Otolaryngol.* 1960; 72:41-2.
21. Gatehouse S., Noble W.: The Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale (SSQ). *Int. J. Audiol.* 2004; 43(2):85-99.
22. Gelfand S.A.: Essentials of Audiology. Thieme, 2009.
23. Gelfand S.A.: Usage of CROS hearing aids by unilaterally deaf patients. *Arch. Otolaryngol.* 1979; 105(6):328-32.



24. Gefland S.A., Silman S.: Usage of CROS and IROS hearing aids by patients with bilateral high-frequency hearing loss. *Ear Hear.* 1982; 3(1):24-29.
25. Giolas T.G., Wark D.J.: Communication problems associated with unilateral hearing loss. *J. Speech Hear. Dis.* 1967; 32:336-43.
26. Green D.S., Yanagisawa E., Smith H.W.: CROS hearing aids: A breakthrough for the unilaterally deaf patient and for others with special hearing problems. *Conn. Med.* 1967; 31:855-8.
27. Haggard M., Hall J.: Form of binaural summation and the implications of individual variability for binaural hearing aids. *Scand. Audiol. Suppl.*, 1982; 15:47-63.
28. Harford E., Barry J.: A rehabilitative approach to the problem of unilateral hearing impairment: the Contralateral Routing of Signals (CROS). *J. Occup. Med.* 1966; 8(2):92.
29. Harford E., Dodds E.: The clinical application of CROS. A hearing aid for unilateral deafness. *Arch. Otolaryngol.* 1966; 83(5):455-64.
30. Harford E.: Bilateral CROS. Two sided listening with one hearing aid. *Arch. Otolaryngol.* 1966; 84:426-432.
31. Harford E., Dodds E.: Versions of the CROS hearing aid. *Arch. Otolaryngol.* 1974; 100:50-57.
32. Harford E., Musket C.: Binaural hearing with one hearing aid. *J. Speech Hear. Dis.* 1964; 29:133-146.
33. Hayes D., Pumford J., Dorscher M.: Advantages of DSP instruments for wireless CROS fittings. *Hear. J.* 2005; 58(3):44-46.
34. Hällgren M., Larsby B., Lyxell B., Arlinger S.: Speech understanding in quiet and noise, with and without hearing aids. *Int. J. Audiol.* 2005; 44(10):574-83.
35. Hill S.L.3rd, Marcus A., Digges E.N., Gillman N., Silverstein H.: Assessment of patient satisfaction with various configurations of digital CROS and BiCROS hearing aids. *Ear Nose Throat J.* 2006; 85(7):427-30, 442.
36. Hojan E.: Akustyka aparatów słuchowych. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1997.
37. Hojan E. Dopasowanie aparatów słuchowych. Mediton, Łódź 2009.
38. Hol M.K., Bosman A.J., Snik A.F., Mylanus E.A., Cremers C.W.: Bone-anchored hearing aid in unilateral inner ear deafness: a study of 20 patients. *Audiol. Neurootol.* 2004; 9(5):274-81.
39. Hol M.K., Kunst S.J., Snik A.F., Cremers C.W.: Pilot study on the effectiveness of the conventional CROS, the transcranial CROS and the BAHA transcranial CROS in adults with unilateral inner ear deafness. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2010; 267(6):889-96.
40. Hol M.K., Kunst S.J., Snik A.F., Bosman A.J., Mylanus E.A., Cremers C.W.: Bone-anchored hearing aids in patients with acquired and congenital unilateral inner ear deafness (Baha CROS): clinical evaluation of 56 cases. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 2010; 119(7):447-54.
41. Hawkins D.B., Prosek R.A., Walden B.E., Montgomery A.A.: Binaural loudness summation in the hearing impaired. *J. Speech Hear. Res.* 1987; 30(1):37-43.
42. Janaszek-Seydlitz W., Bucholc B., Gorska P., Ślusarczyk J.: Mumps in Poland since 1990 to 2003; epidemiology and antibody prevalence. *Vaccine* 2005; 23(21): 2711-2716.
43. Jerger J.F., Hayes D.: The cross-check principle in pediatric audiometry. *Arch. Otol.* 1976; 102:614-620.
44. Jorasz U.: Wykłady z psychoakustyki. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1998 .
45. Kawashima Y., Kazushige M., Tsutomu S. et. al.: Epidemiological study of mumps deafness in Japan. *Auris Nasus Larynx* 2005; 32(2):125-128.
46. Kim H.H., Barrs D.M.: Hearing aids: A review of what's new. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2006; 134(6):1043-1050.
47. Lin L.M., Bowditch S., Anderson M.J., May B., Cox K.M., Niparko J.K.: Amplification in the

- rehabilitation of unilateral deafness: speech in noise and directional hearing effects with bone-anchored hearing and contralateral routing of signal amplification. *Otol. Neurotol.* 2006; 27(2):172-82.
48. Lieu J.E.: Speech-language and educational consequences of unilateral hearing loss in children. *Arch. Otolaryngol. Head. Neck. Surg.* 2004; 130(5):524-30.
  49. Lotterman S.H., Kasten R.N.: Examination of the CROS type hearing aid. *J. Speech Hear. Res.* 1971; 14:416-20.
  50. Lundborg T., Sward D., Lindstrom B.: Experience with classic CROS hearing aids in unilateral deafness. *Scan. Audiol.* 1976; 5(1):17-23.
  51. Markides A.: The CROS hearing aid system. *Br. J. Audiol.* 1979; 13(2):63-72.
  52. Martínez-Cruz C.F., Poblano A., Conde-Reyes M.P. : Cognitive performance of school children with unilateral sensorineural hearing loss. *Arch. Med. Res.* 2009; 40(5):374-9.
  53. Moore B.C.J.: Wprowadzenie do psychologii słyszenia. PWN, Warszawa-Poznań 1999.
  54. Navarro M.R., Vogelson D.O.: An objective assessment of a CROS hearing aid. *Arch. Otolaryngol.* 1974; 100(1):58-9.
  55. Niewiarowicz M., Stieler O., Komar D.: Application of sentence tests in the investigation of speech intelligibility in quiet and noise in adult CI recipients supported with a hearing aid. *Arch. Acous.* 2008; 3(4):475-482.
  56. Niparko J.K., Cox K.M., Lustig L.R.: Comparison of the bone anchored hearing aid implantable hearing device with contralateral routing of offside signal amplification in the rehabilitation of unilateral deafness. *Otol. Neurotol.* 2003; 24(1):73-8.
  57. Ozimek E.: Dźwięk i jego percepcja. Aspekty fizyczne i psychoakustyczne. PWN, 2002.
  58. Pietruski J.: System C.R.O.S. w protetyce audiologicznej. *Otolaryngol. Pol.* 1972; 26(6):743-748.
  59. Pruszewicz A., Obrębowski A. (red.): Audiologia kliniczna. Zarys. Wyd. 4. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Medycznego im. Karola Marcinkowskiego, Poznań 2010.
  60. Pruszewicz A., Obrębowski A., Woźnica B., Sekula A., Świdziński P., Karlik M.: Audiological assessment of unilateral deafness. *Scand. Audiol. Suppl.* 2001; 52:32-5.
  61. Pumfort J.: Benefits of probe-mic measures with CROS/BiCROS fittings. *Hear. J.* 2005; 58(10):34,36,38,40.
  62. Reroń E., Modrzejewski M., Zajdel K., Muszyński P.: Analysis of aetiological factors in unilateral sudden hearing loss. *New Medicine.* 1999; 99:61-63.
  63. Rintelmann W., Harford E., Burchfield S.: A special case of auditory localization. CROS for blind persons with unilateral hearing loss. *Arch. Otolaryngol.* 1970; 91(3):284-8.
  64. Roeser R.J., Valente M., Hosford-Dunn H.: Audiology: Diagnosis. Thieme, New York, 2007.
  65. Slattery W.H., Middlebrooks J.C.: Monaural sound localization: acute versus chronic unilateral impairment. *Hear Res.* 1994; 75(1-2):38-46.
  66. Schleich P., Nopp P., D'Haese P.: Head shadow, squelch, and summation effects in bilateral users of the MED-EL COMBI 40/40+ cochlear implant. *Ear Hear.* 2004; 25(3):197-204.
  67. Schultz-Coulon H.-J.: Sprachaudiometrie mit Sätzen und Gerauschen. *Laryng. Rhinol.* 1974; 53:734-749.
  68. Sekula A., Stieler O., Komar D.: Ocena wyników monauralnego i binauralnego dopasowania aparatów słuchowych u pacjentów dorosłych. *Biuletyn PSPS* 2007; 28(11):15-16.
  69. Shapiro I.: Children's use of CROS hearing aids. *Arch. Otolaryngol.* 1977; 103(12):712-6.
  70. Stone M.A., Moore B.C., Meisenbacher K., Derleth R.P.: Tolerable hearing aid delays. V. Estimation of limits for open canal fittings. *Ear Hear.* 2008; 29(4):601-17.
  71. Subramaniam K., Eikelboom R.H., Eager K.M., Atlas M.D.: Unilateral profound hearing loss

- and the effect on quality of life after cerebellopontine angle surgery. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2005; 133:339-346.
72. Śpiewak P., Śpiewak B., Polak-Pietrzykowska Z.: Zastosowanie systemów CROS w rehabilitacji jednostronnej głuchoty. Doświadczenia własne. *Otorynolaryngologia* 2009; 8 (supl.): 39.
  73. Tringali S., Grayeli A.B., Bouccara D., Sterkers O., Chardon S., Martin C., Dubreuil C.: A survey of satisfaction and use among patients fitted with a BAHA. *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* 2008; 65(12):1461-4.
  74. Updike C.D.. Comparison of FM auditory trainers, CROS aids, and personal amplification in unilaterally hearing impaired children. *J. Am. Acad. Audiol.* 1994; 5(3):204-9.
  75. Upfold L.J.: The evaluation of CROS aids with the unilateral listener. *Scand. Audiol.* 1980; 9(2):85-8.
  76. Valente M.: Strategies for selecting and verifying hearing aid fittings. 2<sup>nd</sup> Ed. Thieme 2002.
  77. Valente M., Potts L.G., Valente M., Goebel J.: Wireless CROS versus transcranial CROS for unilateral hearing loss. *Am. J. Audiol.* 1995; 4(1): 52-59.
  78. Vaneecloo F.M., Ruzza I., Hanson J.N., Gerard T., Dehaussy J., Cory M., Arrouet C., Vincent C.: The monaural pseudo-stereophonic hearing aid (BAHA) in unilateral total deafness: a study of 29 patients. *Rev. Laryngol. Otol. Rhinol. (Bord).* 2001; 122(5):343-50.
  79. Van de Heyning P., Vermeire K., Deibl M., Nopp P., Anderson I., De Ridder D.: Incapacitating, unilateral tinnitus in single sided deafness treated by cochlear implantation. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.* 2008; 117(9):645-52.
  80. Vermeire K., Van de Heyning P.: Binaural hearing after cochlear implantation in subjects with unilateral sensorineural deafness and tinnitus. *Audiol. Neurotol.* 2009;14:163-171.
  81. Wazen J., Spitzer J., Ghossaini S., Fayad J., Niparko J., Cox K., Brackmann D., Soli Z.: Transcranial contralateral cochlear stimulation in unilateral deafness. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2003; 129: 248-254.
  82. Wazen J.J., Spitzer J.B., Ghossaini S.N.: Results of the bone-anchored hearing aid (BAHA®) for unilateral hearing loss. *Laryngoscope* 2001; 111:955-8.
  83. Wazen J.J., Ghossaini S.N., Spitzer J.B., Kuller M.: Localization by unilateral BAHA users. *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 2005; 132(6):928-32.
  84. Wojnowski W., Obrębowski A., Pruszewicz A., Demenko G., Wiskirska-Woźnica B., Wika T., Komar D.: Testy utrudnione w audiometrii mowy dla języka polskiego. *Otolaryngol. Pol.* 2006, 60:385-390.
  85. Zagólski O., Smarzyńska A.: Protezowanie jednostronnej całkowitej głuchoty u dzieci w systemie CROS. *Otorynolaryngologia* 2004; 3(2): 81-84.
  86. Protezowanie słuchu w systemie CROS. Widex-press 3/2001, 5-6

## 12. SPIS RYCIN I TABEL

### SPIS RYCIN

- Ryc. 1. Zależność międzyusznej różnicy poziomu ciśnienia akustycznego od kąta azymutalnego źródła, dla częstotliwości 200, 1000, 3000 i 6000 Hz (wg Feddersona i in.).
- Ryc. 2. Zależność interauralnej różnicy czasu od kąta azymutalnego wg Moore'a 1999.
- Ryc. 3. Graficzne zobrazowanie zjawiska ugięcia dźwięku.
- Ryc. 4. Graficzne przedstawienie zjawiska akustycznego cienia głowy. Na górnej rycinie widzimy wysokie częstotliwości o krótkich długościach fali) i schematycznie przedstawiony cień głowy. Dolny rysunek pokazuje jak niskie częstotliwości o długich falach "omijają" przeszkodę bez strat (Essentials of Audiology, Stanley A. Gelfand).
- Ryc. 5. Spektrogramy słów „krzyk” i „mur” oraz tych samych słów poddanych obróbce filtrem dolnoprzepustowym DP 1500 Hz.
- Ryc. 6. System CROS w wersji przewodowej (materiał firmy WIDEX).
- Ryc. 7. Okularowy system CROS.
- Ryc. 8. Programowalny cyfrowo i sterowane pilotem przewodowy system CROS (materiały firmy PHONAK).
- Ryc. 9. Urządzenie bezprzewodowe (AM) TELEX II z zausznym nadajnikiem oraz wewnętrznym odbiornikiem.
- Ryc. 10. Bezprzewodowy system CROS - PHONAK CROSLink.
- Ryc. 11. Bezprzewodowy system CROS „WiFi Mic” (materiały firmy Unitron).
- Ryc. 12. Bezprzewodowy system (materiały firmy Interton).
- Ryc. 13. Bezprzewodowy system BiCROS w wersji wewnętrznej typu „concha” (materiały firmy Unitron).
- Ryc. 14. Różnica między CROS a BiCROS (materiały firmy Unitron).
- Ryc. 15. Rodzaje systemów CROS (WIDEXPress).
- Ryc. 16. Schemat działania systemu CROS (źródło – [www.singlesideddeafness.com](http://www.singlesideddeafness.com)).
- Ryc. 17. Dźwiękówód typu „open fit” (z materiałów Audifon).
- Ryc. 18. Schemat przedstawiający sposób docierania dźwięku do zdrowego ucha naturalnie (1) i przez CROS (2) (z materiałów Beltone).
- Ryc. 19. Indywidualna wkładka uszna typu CROS (źródło laboratorium Otoria).
- Ryc. 20. Schemat przedstawiający działanie CROS
- Ryc. 21. Kostny aparat okularowy (z materiałów Viennatone).
- Ryc. 22. BAHA CROS (materiały firmy Cochlear).
- Ryc. 23. Aparat wewnątrzprzewodowy (kanałowy) CIC z materiałów firmy WIDEX.
- Ryc. 24. Wynik badania audiometrią tonalną bez maskowania (lewa strona) oraz wynik badania z efektywnym maskowaniem (strona prawa) (wydruk z oprogramowania NOAH).
- Ryc. 25. Przykładowy wynik badania audiometrią mowy u pacjentów z jednostronną głuchotą. (wydruk z oprogramowania NOAH).
- Ryc. 26. Przykładowy wynik badania ABR. Zapis po stronie lewej (ucho prawe) przedstawia prawidłowy wynik badania z progiem słuchu 10 dB HL, zapis po stronie prawej (ucho lewe) obrazuje brak odpowiedzi elektrycznej z pnia mózgu przy prezentacji bodźca do ucha uszkodzonego.
- Ryc. 27. Charakterystyka wzmocnienia użytego w systemie CROS (wydruk z oprogramowania CompuFit 4.4.).

Ryc. 28. Wykres przedstawia charakterystykę dynamiczną aparatu słuchowego (wejścia/wyjścia), na którym widoczny jest liniowy tryb wzmocnienia aparatu, wartość wzmocnienia 5 dB oraz włączony system kompresji wyjściowej (AGCo) przy wartości 98 dB SPL. (wydruk z programu CompuFit 4.4.).

Ryc. 29. Schemat stanowiska badania akustycznego cienia głowy.

Ryc. 30. Schematy konfiguracji stanowiska badań do oceny rozumienia mowy w szumie z różnych azymutów.

Ryc. 31. Wykres przedstawiający cień głowy w zależności od częstotliwości dźwięku bez i z systemem CROS.

Ryc. 32. Wykres stopnia rozumienia mowy w szumie badanego z czterech azymutów: S – po stronie ucha słyszącego, U – po stronie ucha uszkodzonego, U45 – po stronie ucha uszkodzonego w azymucie 45 stopni, O – z przodu (w osi głowy) bez systemu CROS oraz po zaopatrzeniu w CROS.

Ryc. 33. Wykres średniego rozumienia mowy w szumie.

Ryc. 34. Wykres rozumienia szeptu „ad cocham” badanego w szumie 55 dB SPL po stronie niesłyszającej przed (ciemny słupek) i po zaopatrzeniu w aparat CROS.

Ryc. 35. Wykres przedstawiający wyniki subiektywnej oceny skuteczności – SOS CROS.

Ryc. 36. Wykres przedstawiający wyniki APHAB CROS. Ciemna linia przedstawia sytuację przed zastosowaniem aparatu, a jasna linia po zaopatrzeniu w środek pomocniczy.

## **SPIS TABEL**

Tabela 1. Liczbowy rozkład chorych w dekadach

Tabela 2. Ustawienia parametrów technicznych systemu CROS

Tabela 3. Wartości procentowe odpowiedzi w APHAB CROS

Tabela 4. Pytania i odpowiedzi oraz punktacja w SOS CROS

Tabela 5. Prawdopodobna przyczyna jednostronnej głuchoty

Tabela 6. Prawdopodobny czas wystąpienia jednostronnej głuchoty

Tabela 7. Czas wykrycia jednostronnej głuchoty

Tabela 8. Czas trwania jednostronnej głuchoty

Tabela 9. Okoliczności wykrycia jednostronnej głuchoty

Tabela 10. Wyniki audiometrii tonalnej w słuchawkach dla całej grupy

Tabela 11. Wyniki badania cienia głowy przed i po zastosowaniu systemu CROS

Tabela 12. Wyniki badania rozumienia mowy w szumie przy wartości SNR równej 10 dB bez systemu CROS i po jego zastosowaniu

Tabela 13. Analiza statystyczna wyników wartość akustycznego cienia głowy bez i z CROS w zależności od częstotliwości dźwięku

Tabela 14. Test kolejności par Wilcoxon dla wartości cienia głowy przed i po zastosowaniu systemu CROS. Wyniki są istotne z  $p < 0,05$

Tabela 15. Analiza statystyczna wyników rozumienia mowy w szumie z i bez CROS w zależności od lokalizacji sygnału mowy

Tabela 16. Test kolejności par Wilcoxon dla wyników rozumienia mowy w szumie z i bez CROS

# **ANEKS**

## Indeks chorych

Inicjały pacjenta	Data urodzenia	Ucho głuche
B.P.	17.02.99	prawe
K.B.	02.03.96	lewe
E.C.	05.05.00	lewe
C.K.	27.11.95	prawe
M.D.	13.12.99	prawe
D.A.	17.07.98	prawe
D.R.	12.08.99	lewe
A.D.	19.01.93	lewe
J.E.	23.02.90	prawe
A.F.	01.06.00	prawe
J.F.	11.10.98	prawe
N.G.	22.07.97	lewe
S.G.	26.06.94	lewe
G.A.	21.04.84	prawe
A.G.	15.09.01	prawe
B.G.	16.11.01	lewe
P.G.	30.07.02	prawe
M.G.	29.05.98	lewe
D.H.	17.09.86	prawe
K.J.	24.10.97	prawe
M.J.	30.09.92	prawe
G.K.	28.02.92	lewe
K.K.	31.01.91	lewe
A.K.	07.08.90	lewe
W.K.	12.04.96	prawe
H.K.	16.03.98	prawe
I.K.	23.05.99	lewe
A.D.	14.12.97	lewe
J.E.	13.09.75	prawe
M.N.	07.06.83	prawe
T.O.	02.04.88	lewe
G.K.	01.08.83	lewe
K.K.	14.02.44	prawe
M.B.	28.11.87	prawe
T.J.	18.08.53	prawe
S.L.	20.05.77	prawe
L.L.	03.01.97	lewe
T.O.	11.07.80	lewe
A.A.	30.09.54	prawe
A.L.	16.02.97	lewe
G.C.	03.03.96	prawe
U.P.	09.07.89	prawe