

## Patogeneza i przegląd najnowszych metod leczenia wrodzonej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego u dzieci

### Patogenesis and the latest therapeutic solutions for congenital atresia of the external auditory canal in children – a review

Wkład autorów:  
A Projekt badania  
B Gromadzenie danych  
C Analiza danych  
D Interpretacja danych  
E Przygotowanie pracy  
F Przegląd literatury  
G Gromadzenie funduszy

**Barbara Rusinowska**<sup>1A-F</sup>

Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Zakładzie Epidemiologii i Metodologii Badań Klinicznych, Lublin

#### Streszczenie

Wrodzona atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego to wrodzona anomalia często współwystępująca z mikrocją występująca z częstością 1:10 000 do 1:20 000 urodzeń. Wada ta przyczynia się do niedosłuchu typu przewodzeniowego u dzieci, powoduje opóźnienie rozwoju mowy, utrudnienie relacji społecznych i pogorszenie wyników w nauce. Pomocne w diagnostyce atrezji jest badanie ABR, które pozwala na wczesne wykrycie wady i zaplanowanie postępowania terapeutycznego. W leczeniu atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego odchodzi się od konwencjonalnej plastyki kanału z uwagi na wysoki odsetek pooperacyjnej restenozy w przypadku plastyki atrezji na rzecz innowacyjnych metod bez konieczności zachowania drożności kanału. Do alternatywnych sposobów leczenia wrodzonej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego zaliczyć można implanty słuchowe oparte na przewodnictwie kostnym ucha środkowego, wśród których wyróżnia się implanty zakotwiczone w kości i implanty przezskórne. Urządzenia te złożone są z wszczepionej części wewnętrznej i z części zewnętrznej (umieszczonej na skórze głowy). Mechanizm ich działania polega na odbiorze dźwięków ze środowiska przez zewnętrzną część urządzenia, które są następnie przekształcane w wibracje przekazywane przez kości czaszki do ucha wewnętrznego bez konieczności udziału ucha zewnętrznego i środkowego. Rozwój coraz nowszych technik operacyjnych pozwolił na zredukowanie powikłań po zabiegach wszczepiania implantów. W pracy przedstawiona zostanie patogeneza wrodzonej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego oraz najnowsze metody leczenia tego schorzenia z uwzględnieniem ich wad i zalet.

**Słowa kluczowe:** atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego • patogeneza • implanty słuchowe • przewodnictwo kostne • BAHA • Bonebridge

#### Abstract

Congenital atresia of the auditory canal is a congenital abnormality that often coexists with microtia and occurs at a frequency of 1:10 000 to 1:20 000 births. This defect contributes to conductive hearing loss in children causing delays in speech development, impaired social relationships and reduced learning outcomes. Auditory Brainstem Response (ABR) test is helpful in the diagnosis of atresia, as it allows for early detection of the hearing defect and planning the therapeutic procedure. In the treatment of atresia of the external auditory canal the conventional arthroplasty of the canal is abandoned due to the high percentage of postoperative restenosis in atresiaplasty in favor of innovative methods without the need to maintain the stenosis of the canal. Alternative methods of treating congenital atresia of the external auditory canal include bone conduction hearing implants – osseointegrated and based on bone conduction of the middle ear including bone anchored and percutaneous implants. These devices consist of an implanted inner part and an outer part (on the scalp). The mechanism of action is based on the perception of sounds from the environment by the external part of the device which are then transformed into vibrations transmitted through the bones of the skull to the inner ear without the need for the outer and middle ear. The development of newer and newer surgical techniques allowed to reduce complications after implantation procedures. Here we present the pathogenesis, the latest methods of treatment of congenital atresia of the external auditory canal and their advantages and disadvantages.

**Key words:** congenital aural atresia • pathogenesis • hearing implants • bone conduction • BAHA • Bonebridge

**Adres autora:** Barbara Rusinowska, Studenckie Koło Naukowe przy Katedrze i Zakładzie Epidemiologii i Metodologii Badań Klinicznych, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, ul. Radziwiłłowska 11, 20-080, Lublin; email: rusinowskabarbora4@gmail.com

## Wprowadzenie

Wrodzona atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego (ang. *external auditory canal atresia*, EACA) jest to rzadka wrodzona wada polegająca na niewykształceniu lub całkowitym braku przewodu słuchowego zewnętrznego. Znacznie częściej występuje jednostronnie (zwykle w uchu prawym), rzadziej obustronnie (1/3 przypadków) [1,2]. Często współwystępuje z mikrocją, czyli zaburzeniami w budowie małżowiny usznej bądź jej całkowitym niewykształceniem. Atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego z towarzyszącą mikrocją występuje z częstością 1:10 000 do 1:20 000 żywych urodzeń, w zdecydowanej większości u mężczyzn (w stosunku 2,5:1 do kobiet) z najwyższą częstością w Japonii i Indiach [3–5].

Z uwagi na rodzaj występujących zmian w przewodzie słuchowym zewnętrznym i towarzyszących strukturach atrezję możemy podzielić na częściową i całkowitą. W atrezji częściowej obecna jest część chrzęstno-włóknistego lub kostnego przewodu słuchowego zewnętrznego z towarzyszącym brakiem lub szczątkową błoną bębenkową; kosteczki słuchowe mogą być słabiej rozwinięte i niepołączone z błoną bębenkową. Atrezji częściowej towarzyszy ubytek słuchu typu przewodzeniowego w stopniu od umiarkowanego do średnio ciężkiego. Natomiast cechą atrezji całkowitej jest niewykształcenie przewodu słuchowego zewnętrznego – brak chrzęstno-kostnej i kostnej części przewodu słuchowego zewnętrznego; błona bębenkowa nie występuje, w pewnym stopniu niedorozwinięte jest też ucho środkowe. W atrezji całkowitej ubytek słuchu typu przewodzeniowego występuje w stopniu od średnio ciężkiego do ciężkiego [6].

W celu opisanego mikrocji, która często towarzyszy atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego, stosuje się różne klasyfikacje. Jedną z nich jest system klasyfikacji Weerda (zmodyfikowany przez Aguilara) wyróżniający trzy stopnie nasilenia anomalii [7]. Pierwszy stopień to prawidłowo wykształcona małżowina o normalnym kształcie, lecz mniejsza niż standardowo. W drugim stopniu obecna jest zniekształcona małżowina, ale pozwalająca na zidentyfikowanie poszczególnych struktur. Trzeci stopień to małżowina uszna szczątkowa lub całkowicie nieobecna (anotia) [7]. Nowsza klasyfikacja stworzona przez Nagata dzieli deformacje na pięć typów. Główne typy to typ płatkowy, w którym małżowina ma kształt kielbasy (odpowiednik trzeciego typu w klasyfikacji Weerda–Aguilara) oraz typ małżowinowy, w którym występuje niedorozwój płatka, skrawka, małżowiny, przewodu słuchowego zewnętrznego i wcięcia międzyskrawkowego. Istnieje jeszcze podział na małe i duże podtypy małżowinowe i rodzaj nietypowy, gdzie mieszczą się pozostałe anomalie niemające swojej kategorii. Mały typ małżowinowy zawiera małe wcięcie międzyskrawkowe. W dużym typie małżowinowym obecny jest płatek, skrawek, małżowina (może zawierać ujście słuchowe lub nie), wcięcie międzyskrawkowe, ale górny biegun małżowiny usznej może być w różnym stopniu zdeformowany [7,8].

## Patofizjologia, rozpoznanie i postępowanie kwalifikacyjne

Ucho zewnętrzne, w którego skład wchodzi małżowina uszna i przewód słuchowy zewnętrzny, oddzielony od ucha

środkowego błoną bębenkową, rozwija się z ektodermalnego uchyłka pomiędzy pierwszym (zuchwowym) a drugim (gnykowym) łukiem skrzelowym. W czwartym tygodniu rozwoju płodowego część przewodu słuchowego zewnętrznego zaczyna wychodzić z pierwszego rozszczepu/rowka gardła i migrować do endodermy worka gardłowego, do momentu przerwania ektodermy i endodermy przez mezoderme, co ostatecznie odpowiada za powstanie trzech warstw błony bębenkowej. W ósmym tygodniu małżowina jamista wnika do wewnątrz, tworząc zewnętrzną chrzęstno-włóknistą część przewodu słuchowego zewnętrznego. Prymitywny przewód słuchowy zewnętrzny tworzy się już w 21 tygodniu ciąży i rozwija się do 28 tygodnia ciąży. Wrodzona atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego jest spowodowana brakiem kanalizacji czopów nabłonkowych pierwszego rozszczepu skrzelowego, a często towarzyszące defekty kosteczek słuchowych występują ze względu na ich pochodzenie z pierwszej chrząstki skrzelowej.

Przewód słuchowy zewnętrzny jako integralna część ucha zewnętrznego odpowiada za kierowanie fal dźwiękowych do błony bębenkowej i ucha środkowego, dlatego element ten jest niezbędny do prawidłowego słyszenia. Nieprawidłowa kanalizacja powoduje, że dźwięk nie może dotrzeć do błony bębenkowej, co skutkuje głębokimi niedosłuchami typu przewodzeniowego u noworodków. Niedosłuch może być dodatkowo nasilony przez często współistniejące malformacje kosteczek słuchowych. Poza tym 11–47% pacjentów cierpi na niedosłuch odbiorczy w dotkniętym przez atrezję uchu [1,3,5,9].

Dokładna przyczyna braku kanalizacji przewodu słuchowego zewnętrznego nie jest do końca poznana. Sugerowano związek z: niską masą urodzeniową, zaawansowanym wiekiem matki, urazami wewnątrzmacicznymi, niedotlenieniem płodu, toksynami, przyjmowanymi lekami i substancjami chemicznymi w czasie ciąży (takimi jak np. pochodne witaminy A, alkohol, kokaina), cukrzycą ciążową oraz infekcjami. Atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego obserwowana jest często w przypadku zespołów genetycznych takich jak: zespół Goldenhara, zespół Treachera–Collinsa, zespół Crouzona, zespół Melnicka–Fraser’a, zespół DiGeorge’a, zespół CHARGE, zespół Pierre’a Robina i asocjacji VATER [1,3,10]. Feenstra i wsp. wykazali korelację między hemizygotycznością TSHZ1 oraz delecją w obrębie 18q a występowaniem wrodzonej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego [11].

Celem leczenia EACA jest osiągnięcie korzystnego prognozy słyszenia, który umożliwiłby prawidłowy rozwój językowy i poznawczy. Wśród celów chirurgicznych w leczeniu atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego za najważniejsze uznaje się przywrócenie prawidłowego mechanizmu przewodzenia dźwięku oraz stworzenie drożnego przewodu słuchowego zewnętrznego. Istotne w ocenie skuteczności zabiegu chirurgicznego jest zmniejszenie częstości występowania powojennych zwężeń kanału, co chroniłoby pacjenta przed koniecznością przeprowadzenia powtórnej operacji [12]. Jednak z uwagi na częstą restenozę przewodu słuchowego zewnętrznego w przypadku plastyki kanału, a także częste infekcje i ograniczone wyniki audiologiczne, nie jest to metoda zalecana. Obecnie odchodzi się od leczenia operacyjnego z uwagi na istnienie skuteczniejszych metod leczenia atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego [13].

Wczesne wykrycie wady słuchu jest bardzo istotne ze względu na wpływ niedosłuchu na opóźnienie rozwoju i problemy behawioralne u dziecka, stąd bardzo dużą rolę odgrywają badania czynnościowe słuchu. Zazwyczaj rozpoznawanie wrodzonych anomalii ucha stawiane jest tuż po urodzeniu, gdy przy badaniu obserwowane jest zniekształcenie małżowiny usznej bądź niedrożny kanał. W niektórych przypadkach, najczęściej z obecnością prawidłowo wykształconej małżowiny usznej bądź częściowo drożnego przewodu słuchowego zewnętrznego (stenoza), wada może być długo niewykrywalna lub wykryta dopiero podczas badań przesiewowych słuchu. W diagnostyce EACA zaleca się szczegółowe badanie audiologiczne, w tym badanie rejestracji słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu w odpowiedzi na bodźce słuchowe (ang. *auditory brainstem response*, ABR). Badanie to pozwala określić stopień ubytku słuchu i jego rodzaj oraz pomaga w wykrywaniu zmian nerwu przedsionkowo-ślimakowego i w pniu mózgu. Badanie ABR dla przewodnictwa kostnego powinno stanowić uzupełnienie standardowego ABR dla przewodnictwa powietrznego [10,14].

Przed zakwalifikowaniem pacjenta na zabieg przeprowadza się ocenę radiologiczną i audiologiczną. Metodą z wyboru w diagnostyce i ocenie klinicznej jest wysokorozdzielcza tomografia komputerowa (CT) kości skroniowej w celu określenia warunków anatomicznych. W celu kwalifikacji i przewidzenia wyniku dokonuje się także oceny za pomocą systemu Jahrsdoerfer – jest to dziesięciopunktowa skala, w której dwa punkty otrzymuje pacjent z obecnymi strzemiączkami, natomiast po jednym punkcie za obecność okienka owalnego, przestrzeń ucha środkowego, pozycję nerwu twarzowego, połączenie kosteczek słuchowych młoteczek-kowadełko, połączenie kowadełka i strzemiączka, pneumatyczność wyrostka sutkowatego, obecność okienka okrągłego i wygląd (obecność) ucha zewnętrznego. Pacjenci z punktacją 5 i poniżej nie są kwalifikowani do operacji. Ponadto wyniki audiometryczne powinny potwierdzać niedosłuch przewodzeniowy [14–16].

## Przegląd nowych metod leczenia

### Implanty słuchowe

Alternatywą leczenia chirurgicznego atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego mogą być urządzenia takie jak aparaty słuchowe oparte na przewodnictwie kostnym (osteozintegrowane) lub oparte na przewodnictwie kostnym ucha środkowego [14,17,18]. Według innego podziału wyróżnić można systemy implantów zakotwiczone w kości oraz przeszskórne implanty wykorzystujące przewodnictwo kostne [19]. Metody te mogą być stosowane u pacjentów z jednostronną lub obustronną atrezią w celu uniknięcia korekcji chirurgicznej lub u pacjentów, którzy w skali Jahrsdoerfera uzyskali 6 punktów lub mniej, ale u których ślimak działa prawidłowo i może podlegać stymulacji [14].

### Zintegrowane systemy oparte na przewodnictwie kostnym

Zintegrowane systemy oparte na przewodnictwie kostnym po raz pierwszy zostały wprowadzone w 1977 r. w Szwecji i od tego czasu są coraz bardziej doskonałe [20]. Osteozintegrowane aparaty słuchowe wykorzystujące

przewodnictwo kostne, do których można zaliczyć systemy Ponto, Baha Connect, Baha Attract, zostały zatwierdzone przez FDA dla dzieci w wieku 5 lat i powyżej [14]. Zintegrowane z kością implanty słuchowe są złożone z tytanowego elementu wszczepionego w korę wyrostka sutkowatego oraz z łącznika podlegającego regulacji w tytanowym elemencie. Mechanizm działania tego systemu polega na przekształcaniu energii dźwiękowej z otoczenia przez zewnętrzny procesor dźwięku połączony z zaczepem na energię mechaniczną w postaci wibracji, które z kolei stymulują korę kostną. Drgania przekazywane są przez kość czaszki do ucha wewnętrznego z pominięciem ucha zewnętrznego i środkowego [14,21–23].

System Ponto składa się z trzech części – zewnętrznego procesora dźwięku przymocowanego do zaczepu, który z kolei połączony jest z tytanowym implantem zamocowanym do kości czaszki. Wielkość implantu zależna jest od grubości kości skroniowej i może mieć 3 lub 4 mm długości [24]. System Baha Connect wykorzystuje penetrujący skórę łącznik tytanowy, natomiast Baha Attract – wszczepiony magnes, dzięki czemu skóra, która go pokrywa pozostaje nienaruszona [25]. Łącznik implantu Ponto pozwala na ustawienie go pod kątem, a także na programowanie funkcji, co odróżnia go od pierwotnego Baha [26].

Osteozintegrowane aparaty słuchowe znajdują swoje zastosowanie w niedosłuchu przewodzeniowym i niedosłuchu mieszanym (przewodzeniowo-odbiorczym) oraz u pacjentów z jednostronną głuchotą, którzy nie mogą korzystać z tradycyjnych aparatów słuchowych, a w szczególności znalazły zastosowanie u pacjentów pediatrycznych z wrodzoną atrezią przewodu słuchowego zewnętrznego, ponieważ pacjenci ci dysponują zwykle dobrą rezerwą ślimakową [22,27]. Operacja wszczepienia osteozintegrowanego aparatu słuchowego może przebiegać w jednym lub dwóch etapach, jednak obecnie dzięki rozwojowi technologii istnieje możliwość przeprowadzenia jej podczas jednego zabiegu. W metodzie dwuetapowej rozdzielano proces umieszczania implantu i mocowania łącznika w celu osteointegracji aparatu, co opóźniało proces rehabilitacji (średnio o 6–7 miesięcy) i wymagało dodatkowej interwencji anestetycznej [21,22].

Niepodważalną zaletą osteozintegrowanego implantu jest bezpieczeństwo metody z uwagi na brak możliwości nieodwracalnego uszkodzenia przewodu słuchowego zewnętrznego, ucha środkowego i wewnętrznego. Wśród powikłań można wskazać: przemieszczenie aparatu, zapalenia tkanek miękkich, przerosty zaczepu przez skórę, powstawanie bliznowców, ziarniny, niepowodzenie osteointegracji, jednak rozwój nowych technik chirurgicznych pozwolił na zmniejszenie częstości wymienionych powikłań [22,28].

W badaniach Oberlies i wsp. [29] zdecydowanie większą liczbę powikłań obserwowano w przypadku implantu Baha Connect niż przy zastosowaniu urządzenia Baha Attract. W ciągu roku 58,8% pacjentów z Baha Connect zgłaszało powikłania – w ich przypadku znacznie częściej były przerosty skóry, infekcje czy ekstruzja implantu niż przy Baha Attract, gdzie takich powikłań nie zgłaszano u żadnego z 24 pacjentów z tym implantem, natomiast

powikłania związane były głównie z magnezem (jego siłą oraz podrażnieniami i bólem wywołanym tym systemem). Ponadto żaden z pacjentów z implantem Baha Attract nie potrzebował operacji rewizyjnej, co było konieczne u 5 z 17 pacjentów z urządzeniem Baha Connect [29]. Strijbos i wsp. porównywali długoterminowe wyniki minimalnie inwazyjnej chirurgii Ponto (ang. *minimally invasive Ponto surgery*, MIPS) w stosunku do techniki nacięcia liniowego z zachowaniem tkanek miękkich do instalacji urządzeń opartych na przezskórnym przewodnictwie kostnym (ang. *linear incision technique with soft tissue preservation*, LITT-P). Badania przeprowadzone przez zespół nie wykazały znacznych różnic w bólu odczuwanym przez pacjentów po interwencji, natomiast utrata czucia do 3 miesięcy była istotnie mniejsza w przypadku MIPS (po 12 i 22 miesiącach bez znacznych różnic). Przewaga MIPS widoczna była także pod względem estetyki ocenianej przez pacjenta i chirurga po 3 miesiącach i po roku od operacji i obecności zwióznienia skóry w trakcie 22-miesięcznej obserwacji. Przerost tkanek miękkich występował rzadko, bez znacznej różnicy w obu grupach pacjentów. Dwaj pacjenci po LITT-P wymagali wymiany łącznika, natomiast dwóch pacjentów po MIPS i jeden po LITT-P wymagali operacji rewizyjnej. W grupie MIPS pięciu pacjentów utraciło implant (trzech – samoistnie – bez objawów bólu lub zapalenia, po jednym – w wyniku urazu i nawracającego zapalenia tkanek miękkich), a w przypadku pacjentów po LITT-P – jeden (nawracające zapalenie tkanek miękkich) [30].

Według Casanova i wsp. [22] na podstawie analizy i obserwacji ośmiorga pacjentów pediatrycznych z obustronną wrodzoną atrezią (EAC), którzy zgłosili się na oddział laryngologii i chirurgii głowy i szyi portugalskiego szpitala w latach 2003–2019, metoda ta powinna być rozważana jako leczenie pierwszego rzutu przy obustronnej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego ze względu na zadawalające rezultaty, wysoką skuteczność, znikome powikłania i zadowolenie pacjentów. W zależności od częstotliwości dźwięku obserwowano poprawę niedosłuchu o około 20–30 dB w porównaniu do niedosłuchu sprzed założenia implantu. Po operacji nie obserwowano bezpośrednich powikłań, natomiast w obserwacji długoterminowej stwierdzono jedynie pojedyncze przypadki epizodów zapalenia tkanek miękkich wokół zaczepek, które ustąpiły po podaniu antybiotyków. Jedna z pacjentek wymagała operacji rewizyjnej ze względu na przerost przez skórę łącznika po upływie dwóch lat od implantacji. Badanie pokazało również, że do prawidłowego wzmocnienia słuchu wystarcza tylko jeden implant, nawet przy obustronnym niedosłuchu, dzięki przekazywaniu wibracji dźwiękowych przez kość czaszki w bardzo zbliżonym stopniu do ślimaka ipsilateralnego i kontralateralnego [22].

#### Systemy oparte na przewodnictwie kostnym ucha środkowego

Do systemów opartych na przewodnictwie kostnym ucha środkowego można zaliczyć urządzenia Bonebridge i Cochlear Osia. System Osia został zatwierdzony przez FDA dla dzieci w wieku 12 lat i powyżej [14].

Bonebridge jest częściowo wszczepialnym systemem złożonym z zewnętrznego procesora dźwięku i wewnętrznego

implantu całkowicie umieszczonego pod skórą (pływającego przetwornika opartego na przewodnictwie kostnym). Przetwornik jest chirurgicznie wszczepiany w obszarze wyrostka sutkowego, dołu środkowego lub z dojscia retrosigmoidalnego. Procesor dźwięku utrzymuje się nad implantem dzięki przyciąganiu magnetycznemu. Mechanizm działania systemu Bonebridge polega na odbieraniu dźwięku przez zewnętrzny procesor i przetwarzaniu go na sygnał, który jest przekazywany przez skórę do wszczepionego implantu. Implant z kolei przetwarza otrzymany sygnał na drgania mechaniczne i przekazuje je przez kość skroniową do ucha wewnętrznego [31,32]. Wskazaniami do implantacji Bonebridge – według zaleceń producenta – są: niedosłuch przewodzeniowy lub mieszany (próg kostny  $\leq 45$  dB HL), jednostronna głuchota (SSD), nieskuteczna rehabilitacja po tympanoplastyce, po mastoidektomii, przy braku możliwości konwencjonalnej rehabilitacji po zapaleniu ucha środkowego i zewnętrznego oraz w przypadku wad wrodzonych ucha środkowego i zewnętrznego, w tym wrodzonej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego [33]. Pierwsze urządzenie Bonebridge wszczepiono w 2011 r., natomiast w 2014 r. system ten został zatwierdzony dla pacjentów w wieku powyżej 5 lat [34].

Wyróżnia się dwie generacje systemu Bonebridge: BCI 601 i BCI 602. Oba systemy różni głównie konstrukcja i grubość głowicy [34]. Gerdes i wsp. porównywali korzyści audiologiczne ze stosowania implantu BCI 601 i BCI 602 u 12 dzieci z niedosłuchem przewodzeniowym (10 osób) i z jednostronną głuchotą (2 osoby) – 5 otrzymało BCI 601, a 7 – BCI 602. Lepsze wyniki audiometrii tonalnej i wyższy próg rozpoznawania mowy (SRT 50) wykazano w przypadku systemu BCI 602 w porównaniu do BCI 601 [35].

Ngui i Tang [36] przeprowadzili badania audiologiczne u 6 dzieci z wrodzoną atrezią przewodu słuchowego zewnętrznego, z przewodzeniowym ubytkiem słuchu i wszczepionym implantem Bonebridge. Audiometrię przeprowadzono przed operacją i pół roku po przeprowadzonym zabiegu i oceniono zadowolenie pacjentów z implantu Bonebridge. Zabieg okazał się w pełni bezpieczny i skuteczny – nie zaobserwowano poważnych powikłań, natomiast średnie progi pola akustycznego poprawiły się o ponad 30 dB dla częstotliwości 0,5–4 kHz w porównaniu do progów sprzed operacji; ponad 90% pacjentów było zadowolonych z zabiegu [36].

Dużą zaletą systemu Bonebridge jest znikoma częstość występowania powikłań po operacji. Wśród rzadkich, lecz poważnych powikłań zabiegu implantacji Bonebridge można wyróżnić: uszkodzenie zatoki esowatej, opony twardej i rozedmę w okolicy implantu [13,37]. Sikolova i wsp. opisali przypadek rozedmy nad przetwornikiem implantu Bonebridge u 16-letniej dziewczyny z wrodzoną mikrocją i atrezią przewodu słuchowego zewnętrznego prawego około rok po zabiegu. Wykonano jednak operację rewizyjną i uszczelniono powstały otwór tłuszczem pochodzącym z płatki ucha i klejem fibrynowym, co okazało się skuteczne – implant działał sprawnie i powietrze się już nie gromadziło [37].

Istotnym aspektem systemu Bonebridge jest brak konieczności ponownych interwencji chirurgicznych, ponieważ

elektronika czy zasilanie, które mogą podlegać ewentualnej wymianie, znajdują się na zewnątrz (zewnątrzny procesor dźwięku), a sam system można z czasem wymienić na nowocześniejszą wersję. Ponadto technologia procesora pozwala na komputerowe dostosowanie parametrów do wyników badań audiologicznych i potrzeb pacjenta, co jest bardzo wygodne i umożliwia pacjentowi dobre rozumienie mowy oraz zapewnia wysoką jakość słyszanych dźwięków [38].

System Cochlear Osia – pierwszy aktywny implant oparty na przewodnictwie kostnym – zawiera zewnętrzny procesor dźwięku, który odbiera i przetwarza informacje na sygnał cyfrowy, oraz wewnętrzny implant. System Osia2 zawiera implant Osia OSI200, wszczepiany pod skórę za uchem, i implant BI300 wykorzystujący przewodnictwo kostne połączony z przetwornikiem. Wibracje dźwiękowe wysyłane przez przetwornik piezoelektryczny przekazywane są bezpośrednio do ucha wewnętrznego (z ominięciem ucha zewnętrznego i środkowego). Stała wydajność słyszenia warunkowana jest brakiem przemieszczania się przetwornika między wewnętrznymi elementami implantu. Implant ten wykorzystuje stymulację piezoelektryczną w odróżnieniu od pozostałych systemów przewodnictwa kostnego, które wykorzystują elektromagnetyczny przetwornik. Do wskazań stosowania tego urządzenia można zaliczyć: jednostronny i obustronny ubytek słuchu, ubytek słuchu mieszany i przewodzeniowy, a także jednostronną głuchotę [39–41].

Badania przeprowadzone przez Marszał i wsp. [41] wykazały wysoką skuteczność implantów Osia u pacjentów z mieszanym ubytkiem słuchu – poprawa wyników audiometrii tonalnej w stosunku do parametrów sprzed operacji (sprawdzana przed operacją i po 6, 9 i 12 miesiącach po zabiegu) widoczna była u wszystkich pacjentów, szczególnie przy dźwiękach o wysokiej częstotliwości. Zysk audiologiczny w audiometrii tonalnej wynosił 51, 48 i 52 dB i był wyższy od tych obserwowanych w przypadku urządzeń Baha Attract i Bonebridge. Zaobserwowano również znaczną poprawę rozumienia mowy w polu swobodnym (średnia poprawa o 85% i 76,2% odpowiednio dla 65 dB i 80 dB) – wyniki po 6 miesiącach od operacji były zdecydowanie lepsze niż przy implantach Baha Attract i Bonebridge. Wyniki porównywano także do efektów urządzenia Baha 5 Power – wyniki Osia były znacznie lepsze od wyników Baha 5 Power. Nie zauważono poważnych powikłań po wszczępieniu implantu – ból pooperacyjny i drętwienie operowanej okolicy szybko miały i nie były odczuwane przez pacjentów w badaniu przeprowadzonym w 6. miesiącu od zabiegu [41].

#### *System oparty na przewodnictwie kostnym Adhear (Medel)*

System Adhear, dopuszczony przez FDA w 2018 r., to jedyne urządzenie oparte na przewodnictwie kostnym, które nie podlega wszczępieniu, co jest zaletą, która odróżnia ten system od implantów o podobnym mechanizmie wymagających interwencji chirurgicznej [42,43]. Wskazania do zastosowania systemu Adhear obejmują niedosłuch przewodzeniowy (występujący m.in. w atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego) oraz głuchotę jednostronną. Urządzenie złożone jest z dwóch części – elementu

mocującego, który przyklejany jest za uchem (nad wyrostkiem sutkowatym) za pomocą kleju bądź specjalnej opaski na głowę, oraz procesora dźwięku zatrzaszkującego się na elemencie mocującym bez nacisku na skórę. Przetwornik zintegrowany z procesorem, zawierającym dwa mikrofony przetwarzające sygnał, przekształca dźwięk w wibracje mechaniczne. Następnie adapter adhezyjny odbiera powstałe wibracje i przekazuje je przez skórę do wyrostka sutkowatego. Dzięki mechanizmowi przewodnictwa kostnego dźwięk przekazywany jest do ucha wewnętrznego. Adaptacyjny system mikrofonów kierunkowych umożliwia eliminację sprzężeń zwrotnych i redukcję szumów w tle, dzięki czemu użytkownik systemu Adhear może skupić się na najważniejszych dźwiękach. Dodatkowo urządzenie posiada cztery programowalne funkcje pozwalające dostosować słyszenie do różnych warunków za pomocą przycisku procesora. Niewielki rozmiar Adhear (15×35 mm), dostępność neutralnych kolorów oraz lokalizacja tuż za uchem stanowią o estetycznym wyglądzie i umożliwiają dyskretne schowanie go w zależności od preferencji użytkownika [42,44].

W 2019 r. Skarżyński i wsp. [44] przeprowadzili badanie porównawcze wydajności audiologicznej urządzenia Adhear oraz konwencjonalnych metod leczenia ubytku słuchu typu przewodzeniowego (implantu pasywnego opartego na przewodnictwie kostnym i urządzenia na przewodnictwo kostne na miękkiej opasce). Pomiary prowadzono u 10 pacjentów w trzech sytuacjach – bez wspomaganie, z konwencjonalnymi implantami oraz z Adhear. Pacjentów podzielono na dwie grupy – 5 pacjentów miało wszczępiiony implant pasywny (Baha Attract z Baha4), natomiast pozostałych 5 otrzymało testowy procesor dźwięku Baha4 na opasce. Następnie badanie przeprowadzono z urządzeniem Adhear. Wyniki badania u pacjentów z pasywnym implantem i urządzeniem na miękkiej opasce wykazały podobną poprawę wyników audiologicznych jak w przypadku użycia urządzenia Adhear. Podobnie przy ocenie średnich progów wspomaganych w pomiarach pola dźwiękowego w rozumieniu mowy w ciszy i hałasie wyniki były porównywalne, zarówno przy pasywnym implancie na przewodnictwo kostne, jak i z Adhear. Na podstawie przeprowadzonych badań badacze doszli do wniosku, że nowatorski system Adhear może być cenną opcją leczenia u pacjentów, u których z różnych powodów przeciwwskazane jest wszczępienie implantu [44].

Zernotti i wsp. [45] przeprowadzili 12-miesięczne obserwacje u 15 pacjentów w wieku 5–16 lat z wrodzoną atrezią słuchu (w tym u 8 z obustronną atrezią), u których zdecydowano się na urządzenie Adhear. Wydajność systemu oceniano po 1 miesiącu, 6 i 12 miesiącach od założenia. Zaobserwowano: poprawę progów pola akustycznego (bez wspomaganie ze średniego PTA4 63,6 ± 3,4 dB HL do wspomaganego średniego PTA4 wynoszącego 29,3 ± 3,0 dB HL po 1 miesiącu), poprawę wyniku rozpoznawania słów – WRS (ang. *word recognition score*) (bez wspomaganie ze średnio 27,9 ± 15,9% do średniego WRS ze wspomaganie 91,3 ± 4,4% po 1 miesiącu; 92,0 ± 4,1% po 6 miesiącach oraz 92,7 ± 5,3% po 12 miesiącach stosowania urządzenia Adhear w porównaniu ze stanem bez wspomaganie) i poprawę rozumienia mowy w hałasie, która była stała w czasie. Średnia poprawa stosunku sygnału do szumu (SNR) + 5 dB wyniosła 58%, a 53% przy SNR + 0 dB. Nie

wykazano żadnych powikłań. Pacjenci zgłaszali dużą satysfakcję z użytkowania systemu, korzystanie z niego było kontynuowane przez wszystkich użytkowników po przeprowadzeniu badania. Naukowcy stwierdzili, że urządzenie Adhear sprawdza się u pacjentów z wrodzoną atrezją przewodu słuchowego i ma przewagę nad alternatywnym leczeniem chirurgicznym, które związane jest z możliwymi powikłaniami [45].

### *System implantów zakotwiczonych w kości w porównaniu do przeszłonnych implantów opartych na przewodnictwie kostnym*

Inny podział implantów słuchowych wyróżnia przeszłonkie implanty na przewodnictwo kostne, wśród których wymienia się Bonebridge (Med-El) i Baha Attract (Cochlear) oraz zakotwiczone w kości implanty słuchowe – Baha (Cochlear) i Ponto (Oticon) [19]. Badania Gerdes i wsp. [46] wykazały niewielką różnicę we wzmożeniu funkcjonalnym urządzeń Baha i Bonebridge u osób z niedosłuchem przewodzeniowym i mieszanym niepoddanych wcześniej stymulacji, z korzystniejszymi wynikami dla urządzenia Bonebridge – podobnie w przypadku oceny rozpoznawania słów (WRS) i progów odbioru mowy w hałasie (ang. *speech recognition threshold*, SRT) – lecz nie były to znaczące różnice. Zebrane dane pokazały, że oba rodzaje implantów – przeszłonkie i zakotwiczone w kości – z uwagi na bardzo zbliżoną skuteczność mogą być stosowane alternatywnie [46]. Rigato i wsp. [47] doszli do podobnych wniosków – wyniki audiologiczne użytkowników implantów Bonebridge i Baha były bardzo zbliżone (choć lepiej wypadało urządzenie Bonebridge). Rozwój technik chirurgicznych i nowych projektów zaczepów pozwolił na zminimalizowanie powikłań w przypadku urządzeń zakotwiczonych w kości (przerosty skóry wokół zaczepu, miejscowe zapalenia, utrata osteointegracji, wysunięcie lub obluźowanie wszczepionego urządzenia, wysokie prawdopodobieństwo infekcji bez stałej higieny), jednak nowsze urządzenia – przeszłonkie implanty – poza walorem estetycznym minimalizują liczbę powikłań, ponieważ implanty te nie przechodzą przez tkanki miękkie [15,47]. Według Sprinzi i wsp. [48] oprócz niskiego odsetka powikłań po implantacji Bonebridge (5,12%) istnieje niska prawdopodobieństwo konieczności operacji rewizyjnej (0,85%), natomiast w przypadku implantu Baha ryzyko powikłań

wynosi 24%, a ryzyko operacji rewizyjnej – 12%. Wadą systemu Bonebridge jest z kolei duży rozmiar implantu, co dodatkowo wymaga oceny radiologicznej kości skroniowej przed wykonaniem zabiegu w celu oceny możliwości umieszczenia stosunkowo dużego implantu Bonebridge [48].

### **Zastosowanie rurek z siatki tytanowej w rekonstrukcji kanału słuchowego zewnętrznego w przypadku wrodzonej atrezji ucha**

Chen i wsp. [2] przeprowadzili badania nad wpływem rurki tytanowej na rekonstrukcję przewodu słuchowego zewnętrznego u pacjentów z wrodzoną atrezją ucha oraz ocenili skuteczność tej metody w zapobieganiu zwężeniu lub zarośnięciu przewodu słuchowego zewnętrznego po rekonstrukcji. Nowatorski zabieg został wykonany u 16 pacjentów w wieku 3–17 lat (9 mężczyzn i 7 kobiet) w First People's Hospital w Foshan (Chiny). Po upływie roku tytanowa rurka została usunięta. Badacze obserwowali pacjentów z nowo utworzonym przewodem słuchowym zewnętrznym przez 2 lata i u żadnego z nich nie zaobserwowano infekcji ani też zwężenia kanału przewodu słuchowego zewnętrznego, co udowodniło bezpieczeństwo i skuteczność zastosowanej metody [2].

### **Wnioski**

Nowatorskie metody z zastosowaniem implantów na przewodnictwo kostne w leczeniu wrodzonej atrezji przewodu słuchowego zewnętrznego u dzieci pozwoliły na zminimalizowanie ryzyka powikłań i ryzyka restenozy przewodu słuchowego zewnętrznego, co występowało często w przypadku konwencjonalnej plastyki atrezji. Wśród użytkowników tych urządzeń poziom zadowolenia z ich użytkowania jest wysoki, a możliwości programowania pod potrzeby pacjenta urządzeń najnowszej generacji pozwalają na dobre rozumienie mowy, prawidłowy rozwój języka, a w efekcie – osiąganie podobnych rezultatów w nauce w porównaniu do słyszających rówieśników. Ciągłe udoskonalanie systemów implantów opartych na przewodnictwie kostnym i niski odsetek powikłań pozwala na wysoki standard życia pacjentów z niedosłuchem. Zalety te powinny skłaniać lekarzy do szerszego wyboru takiej metody leczenia.

### **Piśmiennictwo**

1. Shah KR, Shah KU. External auditory canal atresia, Medscape, 2021, <https://emedicine.medscape.com/article/993857-overview> [dostęp: 21.02.2022].
2. Chen J, Liang H, Wang Y, Yu Y. Applications of titanium mesh tubing in external ear canal reconstruction in congenital aural atresia. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2015; 272(4): 835–8.
3. Gautam R, Kumar J, Pradhan GS, Meher R, Arya S. Congenital aural atresia: what the radiologist needs to know? *Curr Probl Diagn Radiol*, 2021; 51(4): 599–616.
4. Kelley PE, Scholes MA. Microtia and congenital aural atresia. *Otolaryngol Clin North Am*, 2007; 40(1): 61–80, vi.
5. Shah K, Knight B, Shermetaro C. External ear aural atresia. *StatPearls* [Internet], 28.09.2021, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK563257/> [dostęp: 6.02.2022].
6. Zhang TY, Bulstrode N, Chang KW, Cho YS, Frenzel H, Jiang D i wsp. International consensus recommendations on microtia, aural atresia and functional ear reconstruction. *J Int Adv Otol*, 2019; 15(2): 204–8.
7. Anghinoni M, Bailleul C, Magri AS. Auricular reconstruction of congenital microtia: personal experience in 225 cases. *Acta Otorhinolaryngol Ital*, 2015; 35(3): 191–7.
8. Baluch N, Nagata S, Park C, Wilkes GH, Reinisch J, Kasrai L i wsp. Auricular reconstruction for microtia: a review of available methods. *Plast Surg (Oakv)*, 2014; 22(1): 39–43.
9. Graven SN, Browne JV. Auditory development in the fetus and infant. *Newborn Infant Nurs Rev*, 2008; 8(4): 187–93.
10. Chen W-X, Wang Y, Lu P, Huang Y, Xu Z-M. Air- and bone-conduction auditory brainstem response in children with congenital external auditory canal atresia. *J Arch Otolaryngol Rhinol*, 2015; 1: 34–36.

11. Feenstra I, Vissers LE, Pennings RJ, Nillessen W, Pfundt R, Kunst HP i wsp. Disruption of teashirt zinc finger homeobox 1 is associated with congenital aural atresia in humans. *Am J Hum Genet*, 2011; 89(6): 813–9.
12. Kesser BW. Aural atresia, Medscape, 2020, <https://emedicine.medscape.com/article/878218-overview> [dostęp: 22.02.2022].
13. Volgger V, Schießler IT, Müller J, Schrötlzmaier F, Pollotzek M, Hempel JM. Audiological results and subjective benefit of an active transcutaneous bone-conduction device in patients with congenital aural atresia. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021; 279(5): 2345–52.
14. Mrugalska-Handke K, Stefaniak A, Piłka A, Kochanek K, Skarżyński H. Porównanie progów i latencji fali V słuchowych potencjałów wywołanych pnia mózgu dla stymulacji powietrznej i kostnej u dzieci z niedosłuchem odbiorczym i przewodzeniowym, *Otorynolaryngologia*, 2012; 11(3): 115–22.
15. McKinnon BJ, Dumon T, Hagen R, Lesinskas E, Mlynski R, Profant M i wsp. Vibrant soundbridge in aural atresia: does severity matter? *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2014; 271(7): 1917–21.
16. Nguyen V, Paek G, Hu J, Smith L. Presurgical CT evaluation of congenital aural atresia. *Neurographics* 2011, 2015; 5: 231–7.
17. Auditory osseointegrated implants (AOI), UI Health [Internet], <https://hospital.uillinois.edu/primary-and-specialty-care/otolaryngology/audiology/services/auditory-osseointegrated-implants-aoi> [dostęp: 23.02.2022].
18. Poradnik laryngologii. Wrodzona atrezja przewodu słuchowego zewnętrznego, <https://poradniklaryngologii.pl/wrodzona-atrezja-przewodu-sluchowego-zewnetrznego/> [dostęp: 24.02.2022].
19. Fan X, Yang T, Niu X, Wang Y, Fan Y, Chen X. Long-term outcomes of bone conduction hearing implants in patients with bilateral microtia-atresia. *Otol Neurotol*, 2019; 40(8): 998–1005.
20. Oliveira AK, Ferro LP, da Silva JN, Okada DM. Results of the implantation of bone-anchored hearing aids in patients with Treacher-Collins syndrome. *Int Arch Otorhinolaryngol*, 2013; 17(2): 222–6.
21. Sanchez-Perez J, Riera March A. Osseointegrated bone-conducting hearing prostheses. StatPearls Publishing, styczeń 2022, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK564385/> [dostęp: 24.02.2022].
22. Casanova MJ, Ferraz SM, Coutinho MB, Magalhães A, Almeida E Sousa C. Hearing rehabilitation with osseointegrated hearing implant in bilateral congenital external auditory canal atresia. *Acta Otorrinolaringol Esp (Engl Ed)*, 2021; 72(5): 288–94.
23. Ellsperman SE, Nairn EM, Stucken EZ. Review of bone conduction hearing devices. *Audiol Res*, 2021; 11(2): 207–19.
24. Westbrook JL. The Ponto system and benefits of percutaneous BAHs, 7.09.2015, <https://www.audiologyonline.com/articles/ponto-system-and-benefits-percutaneous-15188> [dostęp: 12.04.2022].
25. Oberlies NR, Castaño JE, Freiser ME, McCoy JL, Shaffer AD, Jabbour N. Outcomes of BAHA connect vs BAHA attract in pediatric patients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2020; 135: 110125.
26. Hain TC. BAHA (bone anchored hearing aid) – BAHA, Ponto, Sophono, 5.03.2021, <https://dizziness-and-balance.com/disorders/hearing/hearing-aids/BAHA.htm> [dostęp: 12.04.2022].
27. Pfiffner F, Caversaccio MD, Kompis M. Comparisons of sound processors based on osseointegrated implants in patients with conductive or mixed hearing loss. *Otol Neurotol*, 2011; 32(5): 728–35.
28. Chu TSM, Mather M, Banerjee A. Complications of bone-conduction hearing implants (BCHI) implantation surgery. *Am J Otolaryngol*, 2020; 41(2): 102378.
29. Oberlies NR, Castaño JE, Freiser ME, McCoy JL, Shaffer AD, Jabbour N. Outcomes of BAHA connect vs BAHA attract in pediatric patients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*, 2020; 135: 110125.
30. Strijbos RM, Straatman LV, Calon TGA, Johansson ML, de Bruijn AJG, van den Berge H i wsp. Long-term outcomes of the minimally invasive Ponto surgery vs. linear incision technique with soft tissue preservation for installation of percutaneous bone conduction devices. *Front Neurol*, 2021; 12: 632987.
31. Carnevale C, Tomás-Barberán M, Til-Pérez G, Sarría-Echegaray P. The Bonebridge active bone conduction system: a fast and safe technique for a middle fossa approach. *J Laryngol Otol*, 2019; 133(4): 344–7.
32. Rohani SA, Bartling ML, Ladak HM, Agrawal SK. The Bonebridge active transcutaneous bone conduction implant: effects of location, lifts and screws on sound transmission. *J Otolaryngol Head Neck Surg*, 2020; 49(1): 58.
33. Seiwerth I, Fröhlich L, Schilde S, Götze G, Plontke SK, Rahne T. Clinical and functional results after implantation of the bonebridge, a semi-implantable, active transcutaneous bone conduction device, in children and adults. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2022; 279(1): 101–13.
34. Utrilla C, Gavilán J, García-Raya P, Calvino M, Lassaletta L. MRI after Bonebridge implantation: a comparison of two implant generations. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021; 278(9): 3203–9.
35. Šikolová S, Urik M, Hošnová D, Kruntorád V, Bartoš M, Motyka O, i wsp. Two Bonebridge bone conduction hearing implant generations: audiological benefit and quality of hearing in children. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 2021; 279(7): 3387–98.
36. Ngui LX, Tang IP. Bonebridge transcutaneous bone conduction implant in children with congenital aural atresia: surgical and audiological outcomes. *J Laryngol Otol*, 2018; 132(8): 693–7.
37. Šikolová S, Hošnová D, Perceová K, Bartoš M, Kruntorád V, Urik M. Retroauricular emphysema as a late complication after bonebridge implantation: case report. *Ear Nose Throat J*, 2021; 100(4): 233–6.
38. Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu. Pionierskie operacje w Kajetanach. *Medycyna Praktyczna*, 28.02.2020, <https://www.mp.pl/pacjent/otolaryngologia/aktualnosci/227644,pionierskie-operacje-w-kajetanach> [dostęp: 25.02.2022].
39. Cochlear. Osia Implant, <https://www.cochlear.com/us/en/home/products-and-accessories/cochlear-osia-system/osia-implants> [dostęp 11.04.2022].
40. Medicus. System Cochlear™ OSIA\*2. Pozyskano: <https://medicus.com.pl/implantmedicusclinic/system-cochlear-osia2/> [dostęp 11.04.2022].
41. Marszał J, Gibasiewicz R, Błaszczyk M, Gawłowska M, Gawęcki W. Piezoelectric bone conduction hearing implant Osia® – audiological and quality of life benefits. *Otolaryngol Pol*, 2021; 75(6): 11–22.
42. Medel. System oparty na przewodnictwie kostnym, <https://www.medel.com/pl/hearing-solutions/bone-conduction-system> [dostęp: 14.04.2022].

- 
43. Business Wire. Mel-El USA Receives FDA Clearance for ADHEAR, a revolutionary non-surgical bone conduction hearing solution, 1.05.2018, <https://www.businesswire.com/news/home/20180501005266/en/MED-EL-USA-Receives-FDA-Clearance-for-ADHEAR-a-Revolutionary-Non-Surgical-Bone-Conduction-Hearing-Solution> [dostęp: 14.04.2022].
  44. Skarzynski PH, Ratuszniak A, Osinska K, Koziel M, Krol B, Cywka KB i wsp. A comparative study of a novel adhesive bone conduction device and conventional treatment options for conductive hearing loss. *Otol Neurotol*, 2019; 40(7): 858–64.
  45. Zernotti ME, Alvarado E, Zernotti M, Claveria N, Di Gregorio MF. One-year follow-up in children with conductive hearing loss using ADHEAR. *Audiol Neurotol*, 2021; 26(6): 435–44.
  46. Gerdes T, Salcher RB, Schwab B, Lenarz T, Maier H. Comparison of audiological results between a transcutaneous and a percutaneous bone conduction instrument in conductive hearing loss. *Otol Neurotol*, 2016; 37(6): 685–91.
  47. Rigato C, Reinfeldt S, Håkansson B, Jansson KJ, Hol MK, Eeg-Olofsson M. Audiometric comparison between the first patients with the transcutaneous bone conduction implant and matched percutaneous bone anchored hearing device users. *Otol Neurotol*, 2016; 37(9): 1381–7.
  48. Alzhrani F. Objective and subjective results of the Bonebridge transcutaneous active direct-drive bone conduction hearing implant. *Saudi Med J*, 2019; 40(8): 797–801.