

Przydatność badania ruchomości okienka okrągłego za pomocą Laser Doppler Vibrometer w ocenie rekonstrukcji łańcucha kosteczek słuchowych w tympanoplastykach typu zamkniętego

Round window's movability measurements with helping of LDV in evaluation of ossicular chain functioning

Jacek Sokołowski, Kazimierz Niemczyk, Robert Bartoszewicz, Krzysztof Morawski, Antoni Bruzgielewicz, Barbara Rygalska

SUMMARY

Round window's movability measurements with helping of LDV in evaluation of ossicular chain functioning.

Aim of study: Quantitative evaluation of round window movability in normal conditions and after malleus stapes assembly reconstruction were aims of the study.

Methods and materials: In the experiment there were taken 10 non-frozen temporal bones harvested within 48 hours. Temporal bones specimens were prepared like in closed technique with antromastoidectomy and large posterior tympanotomy. Hearing system before and after MSA reconstruction were evaluated by measurement of round window movement. Measurements were performed at four frequencies: 1000 Hz, 2000 Hz, 4000 Hz, 8000 Hz.

Results: In the normal ossicular chain the biggest movability were stated at frequency of 1 kHz. After reconstruction at all frequencies measurements were significantly worse. In reconstructed ears the highest movabilities were stated at frequencies 2000 Hz and 4000 Hz.

Conclusions: Round window movability could be measured by Laser Doppler Vibrometry in posterior tympanotomy approach. Before reconstruction the biggest movability were evaluated at 1000 Hz and after MSA at 2000 Hz

Hasła indeksowe: Laser Doppler Vibrometer, laser, tympanoplastyka typu zamkniętego, ruchomość łańcucha kosteczek słuchowych

Key words: Laser Doppler Vibrometer, ossicular chain, tympanoplasty

©by Polskie Towarzystwo Otolaryngologów – Chirurgów Głowy i Szyi

Otrzymano/Received:

15.04.2010

Zaakceptowano do druku/Accepted:

21.04.2010

Katedra i Klinika Otolaryngologii Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Kierownik: K. Niemczyk

Wkład pracy autorów/Authors contribution:

Według kolejności

Konflikt interesu/Conflicts of interest:

Autorzy pracy nie zgłaszają konfliktu interesów.

Adres do korespondencji/

Address for correspondence:

imię i nazwisko: Jacek Sokołowski

adres pocztowy:

Katedra i Klinika Laryngologii WUM

ul. Banacha 1 a

02-097 Warszawa

tel. 604 517 618

e-mail jacsokolowski@gmail.com

Otolaryngol Pol 2010;
64 (7): 77-80

Wstęp

Procesy mechaniczne zachodzące w uchu środkowym człowieka nie mogą być do chwili obecnej w pełni ocenione za pomocą metody nieinwazyjnej. Z tego względu od dawna badania tego typu przeprowadzano na preparatach kości skroniowych.

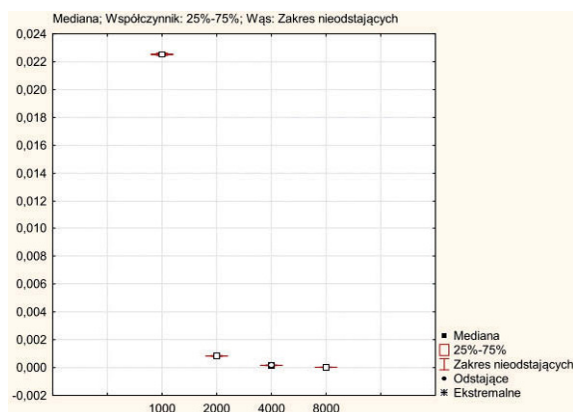
W latach trzydziestych XX wieku Bekesy (1936) badał między innymi ruchomość łańcucha kosteczek słuchowych za pomocą urządzenia opartego na bazie elastyczności włosa [1]. Za nim pomiary kontynuowali Kringlebotn i Gundersen – 1985; Vlaming i Feenstra – 1986; Gyo – 1987, Nishihara – 1993, Kurokawa i Goode – 1995; Merchant – 1996 [1-6]. Metody dotykowe zaczęto zastępować metodami bezkontaktowymi (pomiary za pomocą szybkoklatkowych zdjęć wideo [4], metody wykorzystujące przesunięcie dopplerowskie fali lasera – Laser Doppler Vibrometry (LDV)).

Rosowski (1990) i Goode (1993) wykazali brak statystycznie istotnej różnicy w pomiarze impedancji akustycznej i ruchomości pępka błony bębenkowej

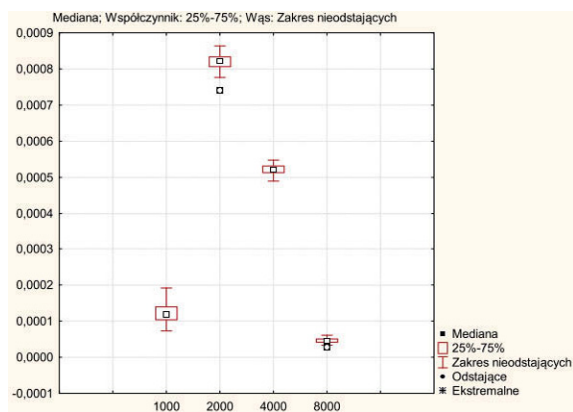
między grupą badanych pacjentów a preparatami kości skroniowych [7]. Dlatego możliwe jest przeprowadzanie wiarygodnych badań dotyczących fizjologii i patologii narządu słuchu na modelu kości skroniowych.

Znajomość zasad fizjologii ucha środkowego i rekonstrukcji łańcucha kosteczek słuchowych jest niezbędnym elementem uzyskania dobrego efektu leczenia chirurgicznego przewlekłego zapalenia ucha środkowego. Celem pierwszorzędowym leczenia operacyjnego jest usunięcie zmian zapalnych. Celem drugorzędowym jest poprawa słuchu.

W trakcie tympanoplastyki chirurg ocenia stan układu przenoszącego drgania na podstawie strzemiączka. W tym celu obserwowane są miejsca leżące najbliżej ślimaka (suprastruktura bądź płytka strzemiączka, okienko okrągłe). Analiza wibracji pierwszej i drugiej grupy punktów pomiarowych daje ogólną informację o ruchomości łańcucha kosteczek słuchowych oraz pozwala na umiejscowienie i ewentualną



Ryc. 1. Wykres prędkości wychyleń okienka okrągłego w zależności od częstotliwości dźwięku w prawidłowym uchu. Oś pozioma wyznacza częstotliwości (1, 2, 4, 8 kHz). Oś pionowa wyznacza prędkość w jednostkach 10 mm/s. Prędkość jest wprost proporcjonalna do wychYLENIA. Największe wartości obserwujemy na częstotliwości 1000 Hz (średnia – 0,022528, odch. stand. – 0,000004, min. – 0,022443, maks. – 0,022622). Przy 8000 Hz średnia arytmetyczna wynosi 0,000016 i stanowi 0,071% średniej z 1000 Hz.



Ryc. 2. Wykres prędkości wychyleń okienka okrągłego w zależności od częstotliwości dźwięku w uchu po rekonstrukcji MSA. Oś pozioma wyznacza częstotliwości (1, 2, 4, 8 kHz). Oś pionowa wyznacza prędkość w jednostkach 10 mm/s. Prędkość jest wprost proporcjonalna do wychYLENIA. Największe wartości obserwujemy na częstotliwości 2000 Hz (średnia – 0,00082, odch. stand. – 0,000021, min. – 0,00074, maks. – 0,000864). Przy 8000 Hz średnia arytmetyczna wynosi 0,000046 i stanowi 5,61% średniej z 2000 Hz. W dalszym ciągu zachowana jest tendencja do skuteczniejszego przewodzenia fali dźwiękowej o niskich częstotliwościach w płynach ucha wewnętrznego. Po rekonstrukcji typu MSA prędkość na niższych częstotliwościach jest 27,5 razy mniejsza niż przed rekonstrukcją. Na 8000 Hz stosunek ten wynosi 2,88.

rekonstrukcję miejsc zniszczonych chorobą. Ta subiektywna ocena pozwala najczęściej na stwierdzenie, czy ruchomość jest wystarczająca bądź niewystarczająca. Nie istnieje w chwili obecnej ilościowa, powtarzalna metoda stopniująca wychYLENIA łańcucha

kosteczek słuchowych i okienka okrągłego dla celów śródoperacyjnych.

Celem pracy była ilościowa ocena ruchomości okienka okrągłego przed i po rekonstrukcji łańcucha kosteczek słuchowych i ich przydatność w ocenie zmian ruchomości układu przewodzącego ucha środkowego.

Materiały i metody

Badanie przeprowadzono na 10 kościach skroniowych pobranych do 48 godzin po zgonie i przechowywanych w roztworze soli. Wszystkie preparaty posiadały niezmienioną błonę, nieuszkodzony łańcuch kosteczek słuchowych i przewód słuchowy zewnętrzny.

Sześć kości skroniowych pochodziło od mężczyzn, a cztery od kobiet. Średni wiek wynosił 69,7 lat (kobiety 69,3, mężczyźni 65,0). Zakres wieku wynosił 51-84 lata.

Przygotowanie kości skroniowych do badań było wykonane jak w typowym dostępie chirurgicznym w tympanoplastyce typu zamkniętego. Wykonywano antromastoidektomię z szeroką tympanotomią tylną. Mięsień strzemiączkowy, nerw twarzowy i struna bębenkowa były zachowywane. W przewodzie słuchowym zewnętrznym umieszczono słuchawkę ER-2 generującą sygnał sinusoidalny o częstotliwości 1, 2, 4, 8 kHz. Badanie ruchomości okienka okrągłego przeprowadzono na okienku okrągłym, na które naniesiono element odblaskowy o wadze ok. 0,02-0,03 mg.

Następnie przeprowadzono rekonstrukcję układu przewodzącego ucha środkowego techniką MSA [7] (malleus-stapes assembly), po której ponownie zmierzono wychYLENIE punktu pomiarowego. W tej metodzie rekonstrukcji łańcucha kosteczek słuchowych odpowiednio przygotowaną protezkę umieszcza się między rękojeścią młoteczka a główką strzemiączka. We wszystkich przypadkach rekonstrukcji technika była identyczna.

W pomiarach zastosowano urządzenie Laser Doppler Vibrometer (LDV). Pomiar drgań wykonywano przy pomocy metody LDV wykorzystującej efekt Dopplera. Zjawisko to polega na powstawaniu różnicy częstotliwości fali wysyłanej i odbieranej w poruszającym się względem siebie układzie źródło-obszernik.

W przypadku naszego doświadczenia nieruchomym źródłem fali oraz jej odbiornikiem jest główka OVF 505 (Polytec). Długość fali wytworzonej przez laser helowo-neonowy wynosi 633 nm. Średnica plamki pomiarowej zależy od odległości od źródła i dla 1 metra wynosi ok. 112 μ m [7]. Punkt pomiarowy (okienko okrągłe) jest wprowadzony w drgania za pomocą fali akustycznej z włożonych do przewodu słuchowego zewnętrznego słuchawek ER2. Promień światła wytworzony przez główkę odbija się od mierzonego punktu, zmieniając swoją częstotliwość.

Kontroler OVF 5000 wraz z dekoderni prędkości i przesunięcia zajmuje się zmianą sygnału wejściowego (zmienna częstotliwościowa) na sygnał wyjściowy (zmienna prędkości lub przesunięcia) oraz redukcją zakłóceń za pomocą filtrów przepustowych. Analizator SCADAS razem ze słuchawkami ER2 (Etymotic Research) umożliwia generowanie fali akustycznej o zadanych parametrach we współpracy z oprogramowaniem Test Xpress.

Pomiar wartości prędkości jest wprost proporcjonalny do wychylenia, stąd zachowano w pracy jednostki wartości uzyskiwanych przy użyciu dekodera prędkości – cm/s.

W pojedynczym pomiarze wykonano w ciągu 2 sekund 100 zliczeń prędkości mierzonego punktu pobudzanego dźwiękiem o zadanej częstotliwości. Oscylacje prędkości wokół punktu symetrii miały charakter normalny.

Analizy statystyczne wykonano w programie Statistica 8.0, stosując statystyki podstawowe i test kolejności par Wilcoxon.

Wyniki

Największą wartość wychyleń okienka okrągłego przy prawidłowym łańcuchu kosteczek słuchowych uzyskano dla częstotliwości 1000 Hz. Średnio było to 0,0022528 cm/s (SD – 0,00004) (Ryc. 1). Na pozostałych częstotliwościach (2 kHz, 4 kHz, 8 kHz) wychylenia były znacznie mniejsze i wynosiły odpowiednio 0,000830 cm/s, 0,000158 cm/s, 0,000016 cm/s.

Po rekonstrukcji za pomocą MSA uzyskano wartości prędkości wychyleń znacznie mniejsze statystycznie na wszystkich częstotliwościach ($p < 0,05$) (Ryc. 2)

Inaczej niż w przypadkach prawidłowego łańcucha kosteczek słuchowych, największe wartości prędkości wychyleń okienka okrągłego były stwierdzone przy częstotliwościach stymulacji 2000 Hz (śr. 0,000820 cm/s, SD – 0,000021).

Nieco niższe wartości prędkości wychyleń uzyskano przy częstotliwości stymulacji 4000 Hz (śr. 0,000522 cm/s, SD – 0,000012).

Najmniejsze wartości prędkości wychyleń stwierdzono przy częstotliwości 1000 Hz (śr. 0,000122 cm/s, SD – 0,000027) i 8000 Hz (śr. 0,000046 cm/s, SD – 0,000007).

Stwierdzono istotne różnice statystyczne ($p < 0,05$, test kolejności par Wilcoxon) między wartościami prędkości wychyleń uzyskanymi przed i po rekonstrukcji łańcucha kosteczek słuchowych. Na wszystkich częstotliwościach prędkości wychyleń po rekonstrukcji MSA były mniejsze.

Maksymalne wartości prędkości wychyleń zarejestrowane dla częstotliwości wynosiły 1000 Hz przed rekonstrukcją i 2000 Hz po rekonstrukcji MSA.

Omówienie

Celem tympanoplastyki jest usunięcie choroby, a następnie możliwie najefektywniejsze odtworzenie układu przewodzącego dźwięk. Z tego powodu śródoperacyjna ocena ruchomości okienka okrągłego i łańcucha kosteczek słuchowych jest niezwykle istotnym elementem zabiegów w otolaryngologii. Zmiana natężenia odbitego od okienka okrągłego światła w trakcie wzbudzenia łańcucha kosteczek słuchowych świadczy o ruchach okienka okrągłego będących konsekwencją powstania fali mechanicznej w płynach ślimaka.

W tympanoplastyce typu zamkniętego z prawidłowo przeprowadzoną antromastoidektomią, tympanotomią tylną i zachowaną tylną ścianą przewodu słuchowego nie zawsze jest możliwe bezpośrednie uwidocznienie okienka okrągłego. Laser Doppler Vibrometer wymaga stworzenia warunków w których padający/odbity promień mierzący skierowany jest bezpośrednio na obserwowany punkt. Możliwym rozwiązaniem w tych przypadkach jest sfrezowanie wargi ograniczającej wejście do okienka okrągłego. Po zastosowaniu tego rozwiązania pomiary były możliwe we wszystkich przypadkach.

Stenfelt i Hato [9] w swoich doświadczeniach mierzyli wychylenia okienka okrągłego za pomocą LDV po uprzednim nałożeniu wokoło blaszek odbłaskowych. Ich wyniki potwierdzają największe wychylenia okienka okrągłego w zdrowym preparacie kości skroniowych na częstotliwości 1000 Hz.

Jednocześnie stwierdziliśmy, że po rekonstrukcji łańcucha kosteczek słuchowych prędkość mierzona na okienku okrągłym zmniejsza się ok. 30 razy na niskich częstotliwościach i do 4 razy na wysokich. Największe wartości mierzono na częstotliwości 2000 Hz.

Takie wyniki sugerują, że należy uzyskać korelację między pomiarami śródoperacyjnymi a wynikami słuchowymi. Jest to oczywiście możliwe tylko przy zaadaptowaniu naszej metody do warunków bloku operacyjnego.

Zastosowana procedura badawcza umożliwia taką aplikację. Będzie można stwierdzić, jak zmniejszona ruchomość okienka okrągłego przekłada się na wyniki audiologiczne.

Wnioski

1. Ruchomość okienka okrągłego może być mierzona za pomocą LDV z dostępu przez wyrostek sutkowy i tympanotomię tylną.

2. W prawidłowych warunkach największa ruchomość okienka okrągłego jest stwierdzana przy częstotliwościach stymulacji 1000 Hz.

3. Rekonstrukcja MSA z autogennej kości nie pozwala uzyskać podobnej ruchomości okienka okrągłego na żadnej z mierzonych częstotliwości.

4. Po rekonstrukcji MSA z autogennej kości największą ruchomość okienka okrągłego uzyskano na częstotliwości 2 kHz i 4 kHz.

PIŚMIENNICTWO

1. Heiland KE, Goode RL, Asai M, Huber AM. A human temporal bone study of stapes footplate movement. *Am J Otol.* 1999; 20(1): 81-6.
2. McElveen JT Jr, Feghali JG, Barrs DM, Shelton C, Green JD Jr, Horn KL, McKenna MJ, Thedinger BS, Wilson DF, Chen DA. Ossiculoplasty with polymaleinate ionomeric prosthesis. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 1995; 113(4): 420-6.
3. Vlaming MS, Feenstra L. Studies on the mechanics of the normal human middle ear. *Clin Otolaryngol Allied Sci.* 1986; 11(5): 353-63.
4. Gyo K, Aritomo H, Goode RL. Measurement of the ossicular vibration ratio in human temporal bones by use of a video measuring system. *Acta Otolaryngol.* 1987;103(12): 87-95.
5. Goode RL, Killion M, Nakamura K, Nishihara S. New knowledge about the function of the human middle ear: development of an improved analog model. *Am J Otol.* 1994; 15(2): 145-54.
6. Goode RL, Ball G, Nishihara S, Nakamura K. Laser Doppler vibrometer (LDV) – a new clinical tool for the otologist. *Am J Otol.* 1996; 17(6): 813-22.
7. Goode RL, Ball G, Nishihara S. Measurement of umbo vibration in human subjects – method and possible clinical applications. *Am J Otol.* 1993; 14(3): 247-51.
8. Sokółowski J, Niemczyk K, Bartoszewicz R, Morawski K, Bruzgielewicz A. Method of ossicular chain valuation. Experimental measurement and clinical application. *Otolaryngol Pol.* 2009; 63(5): 432-6.
9. Stenfelt S, Hato N, Goode RL. Round window membrane motion with air conduction and bone conduction stimulation. *Hear Res.* 2004; 198(1-2): 10-24.