

Agnieszka Jędrusik¹, Krzysztof Kochanek^{1,2}, Henryk Skarżyński^{1,2},
Grzegorz Janczewski¹, Danuta Ircha³, Ewa Orkan-Lęcka¹,
Adam Pilka^{1,2}

¹ Katedra i Klinika Otolaryngologii AM, Warszawa

² Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa

³ Laboratorium Fizyki Medycznej, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Zgodność nachylenia audiogramu i DP-gramu w wysokoczęstotliwościowych ubytkach słuchu typu ślimakowego

Correspondence between Audiometric and DPOAE Patterns in High Frequency Cochlear Hearing Loss

Słowa kluczowe: otoemisje produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, funkcje ślimaka, ubytek słuchu typu ślimakowego.

Key words: distortion product otoacoustic emissions, cochlear function, cochlear hearing loss.

Streszczenie

Uszkodzenie funkcji ślimaka prowadzi do powstania niedosłuchu typu zmysłowo-nerwowego i towarzyszy mu z reguły zmniejszenie amplitudy bądź zanik sygnału otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (DPOAEs – ang. *distortion product otoacoustic emissions*). Zmniejszenie amplitudy sygnału dotyczy zwykle tych częstotliwości, dla których w audiometrii tonalnej obserwuje się podwyższenie progu słyszenia.

Celem niniejszej pracy jest ocena korelacji pomiędzy kształtem audiogramu i DP-gramu w grupie osób z ubytkiem słuchu typu ślimakowego w zakresie wysokich częstotliwości. DPOAEs mierzono przy zastosowaniu tonów pierwotnych o intensywnościach $L_1 = L_2 = 70$ dB SPL. Procedura badania obejmowała rejestrację amplitudy sygnału DPOAE dla częstotliwości określonej zależnością $2f_1 - f_2$ w funkcji częstotliwości f_2 , przy czym wartości częstotliwości f_2 wynosiły odpowiednio 1, 2, 4 i 6 kHz, a iloraz częstotliwości f_2/f_1 wynosił 1,22. Badanie progu słyszenia wykonywano w zakresie częstotliwości od 0,25 do 8 kHz ze skokiem 5 dB. Ubytek słuchu określano jako wysokoczęstotliwościowy, jeśli próg słyszenia dla częstotliwości poniżej 2 kHz był nie większy niż 20 dB HL, próg słyszenia dla 4 kHz przekraczał 20 dB HL, a dla częstotliwości 6 i 8 kHz próg słyszenia był większy niż dla 4 kHz.

W analizie nachylenia krzywej audiogramu i DP-gramu zastosowano metodę oceny największej wiarygodności. Zależność między nachyleniem krzywych oraz progu słyszenia i amplitudy DPOAE określono za pomocą współczynnika korelacji liniowej.

Summary

DPOAE levels are affected by processes that alter the cochlea and subsequently produce sensorineural hearing loss. The changes are confined only to those frequencies where there is hearing loss. Nevertheless, from many studies it has become apparent that DPOAE testing cannot replace pure-tone audiogram. The aim of the study was to assess the correspondence of audiometric and DPOAE patterns in the group with high-frequency cochlear hearing loss.

The DPOAEs were measured with the stimulus levels $L_1 = L_2 = 70$ dB SPL and f_2/f_1 ratio at 1.22 and with the f_2 frequency set at 1, 2, 4 and 6 kHz. Conventional pure-tone audiometry was performed at 0.25 – 8 kHz with 5-dB step. The high-frequency hearing loss was defined as follow: the pure – tone threshold below 2 kHz was lower than 20 dB HL, at 4 kHz was higher than 20 dB HL and pure – tone threshold at 6 and 8 kHz was higher than at 4 kHz.

The slopes of pure tone audiogram and DP-gram were calculated using maximum likelihood estimation. Correspondence between slopes and pure tone thresholds and DPOAE level was determined by correlation coefficient.

Otoemisje produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka (DPOAEs – ang. *distortion product otoacoustic emissions*) powstają w prawidłowo funkcjonującym ślimaku jako produkt uboczny aktywnych procesów związanych z komórkami słuchowymi zewnętrznymi. Uszkodzenie funkcji ślimaka prowadzi do powstania niedosłuchu typu zmysłowo-nerwowego. Liczne badania wykazują, że w uszkodzeniach słuchu, w których próg słyszenia przekracza 40-50 dB HL, obserwuje się zmniejszenie amplitudy bądź zanik sygnału otoemisji [Collet (i in.) 1989; Gorga (i in.) 1997; Probst, Jędrusik 1998; Probst (i in.) 1987]. Wielu autorów opisuje zastosowanie kliniczne DPOAEs podkreślając ich znaczenie jako obiektywnej metody oceny funkcji ślimaka [Gorga (i in.) 1993; 1997; Kim (i in.) 1996; Lonsbury-Martin, Martin 1990; Lonsbury-Martin (i in.) 1993; Martin (i in.) 1990; Nelson, Kimberley 1992; Stover, Gorga 1995]. Od lat próbuje się znaleźć odpowiedź na pytanie, czy na podstawie DPOAEs można różnicować uszy normalnie słyszące i te z ubytkiem słuchu typu ślimakowego. Badania koncentrują się wokół zagadnienia znalezienia korelacji pomiędzy progiem słyszenia a określonym parametrem odpowiedzi otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, w tym najczęściej amplitudą sygnału [Gaskill, Brown 1990; Gorga (i in.) 1993; Kim (i in.) 1996; Probst, Hauser 1990; Smurzyński, Kim 1992]. Prace wielu autorów wykazały, że korelacja ta jest wyższa dla częstotliwości średnich i wyższych [Gorga (i in.) 1993; 1997; Stover (i in.) 1996]. Jednakże związek ten nie jest tak bezpośredni, jak można oczekiwać, ponadto istnieją za-

sadnicze różnice między tymi badaniami. DPOAEs nie mogą być stosowane jako narzędzie pozwalające na precyzyjne określenie czułości słuchu [Avan (i in.) 1993; Kimberley, Nelson 1989; Harris, Probst 1991; Probst, Jędrusik 1998].

W codziennej praktyce klinicznej w indywidualnych przypadkach obserwuje się zgodność kształtu audiogramu u osób ze ślimakowymi ubytkami słuchu średniego stopnia w zakresie wysokich częstotliwości a kształtem DP-gramu, czyli wykresu amplitudy DPOAE w funkcji częstotliwości f_2 . Powstaje zatem pytanie, czy pomimo niezbyt zadowalającej z klinicznego punktu widzenia korelacji między progiem słyszenia a amplitudą sygnału można znaleźć zgodność między nachyleniem audiogramu i DP-gramu.

Celem niniejszej pracy jest ocena zgodności pomiędzy kształtem audiogramu i DP-gramu w grupie osób z ubytkiem słuchu typu ślimakowego. W pierwszym etapie wybrano populację osób z podwyższeniem progu słyszenia dla wysokich częstotliwości. W analizie nachylenia krzywej audiogramu i DP-gramu zastosowano metodę oceny największej wiarygodności. Zależność między progiem słyszenia i amplitudą DPOAE oraz nachyleniem krzywych określono za pomocą współczynnika korelacji liniowej.

I. MATERIAŁ

W badaniach uczestniczyły osoby o słuchu normalnym oraz pacjenci z zaburzeniami słuchu typu ślimakowego w zakresie wysokich częstotliwości. Analizie poddano 67 uszu normalnie słyszących (21 kobiet i 15 mężczyzn; zakres wieku 16-30 lat, średnia wieku 24,1) oraz 184 uszu z ubytkiem słuchu typu ślimakowego w zakresie wysokich częstotliwości (45 kobiet, 46 mężczyzn; zakres wieku 15-77, średnia wieku 48,1). U osób normalnie słyszących wartości progu słyszenia nie przekraczały 20 dB HL w zakresie 250-8000 Hz, a ocena funkcji ucha środkowego przeprowadzana badaniem otoskopowym i audiometrią impedancyjną nie wykazała odchyżeń od normy. Wywiady w kierunku zaburzeń słuchu i chorób ucha były negatywne.

W grupie chorych ubytek słuchu określano jako wysokoczęstotliwościowy, jeśli próg słyszenia dla częstotliwości poniżej 2 kHz był nie większy niż 20 dB HL, próg słyszenia dla 4 kHz przekraczał 20 dB HL, a dla częstotliwości 6 i 8 kHz próg słyszenia był większy niż dla 4 kHz.

II. PROCEDURA I METODA

U każdej osoby wykonano badanie otoskopowe, audiometrię impedancyjną przy użyciu urządzenia ZODIAC 901 firmy Madsen, Electronics. Badanie progu słyszenia oraz lokalizacyjne próby nadprogowe (próba SISI, próba Fowlera) przeprowadzono w kabinie audiometrycznej za pomocą audiometru Midimate 622 firmy Madsen, Electronics w zakresie częstotliwości 250-8000 Hz ze skokiem 5 dB.

Sygnał otoemisji akustycznych rejestrowano za pomocą urządzenia ILO 92, wersja 5,6 firmy Otodynamics, Ltd. Procedura DPOAEs obejmowała rejestrację sygnału otoemisji produktu zniekształceń nieliniowych ślimaka dla częstotliwości określonej zależnością $2f_1 - f_2$ w funkcji częstotliwości f_2 , przy czym wartości częstotliwości f_2 wynosiły odpowiednio 1, 2, 4, i 6 kHz, a iloraz częstotliwości f_2/f_1 wynosił 1,22. Badanie przeprowadzano z zastosowaniem intensywności tonów pierwotnych L_1 i L_2 wynoszącej 70 dB SPL. Codziennie kalibrowano sondę pomiarową. Badania otoemisji akustycznych wykonywano w warunkach gabinetu audiologicznego.

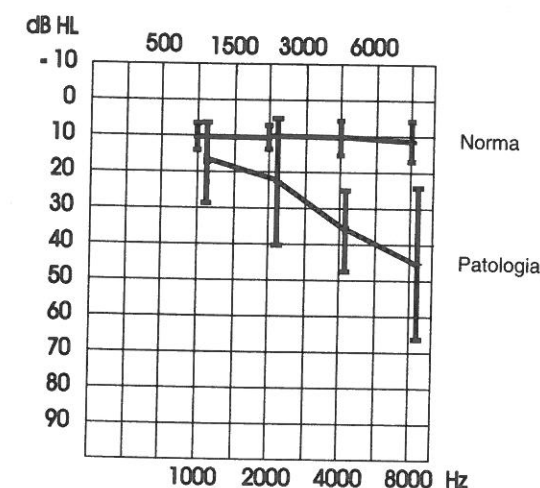
W analizie nachylenia krzywej audiogramu i DP-gramu zastosowano metodę oceny największej wiarygodności (ang. *maximum likelihood estimation*). Zależność między nachyleniem krzywych oraz progu słyszenia i amplitudy DPOAE określono za pomocą współczynnika korelacji liniowej.

III. WYNIKI

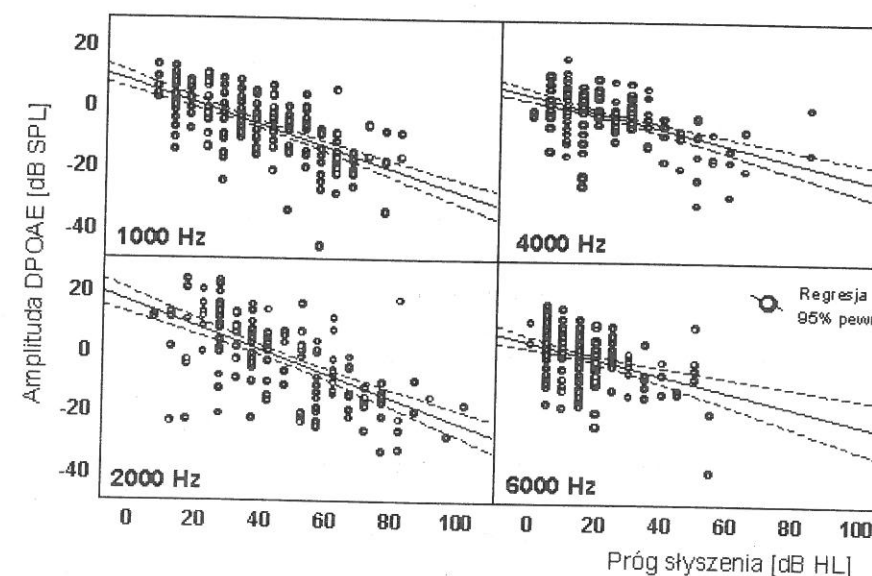
Na ryc. 1 przedstawiono średnie audiogramy wraz z odchyleniem standardowym w obu grupach osób. Wśród chorych z niedosłuchem dominował ubytek słuchu w zakresie częstotliwości powyżej 2 kHz, a największe odchylenie standardowe wartości progu słyszenia obserwowano dla częstotliwości 2 i 8 kHz. Próg słyszenia dla tych częstotliwości wahał się od 5 do 85 dB HL.

Na ryc. 2 ilustrowano zależność między progiem słyszenia wyznaczonym w audiometrii tonalnej a amplitudą DPOAE. Przedstawiono wykresy rozkładów wartości progu słyszenia i amplitudy DPOAE w obu grupach osób dla częstotliwości 1, 2, 4 i 6 kHz.

W tab. 1 zestawiono wartości współczynnika korelacji progu słyszenia i amplitudy sygnału otoemisji dla poszczególnych częstotliwości. Wartość współczynnika korelacji zmieniała się w całym zakresie częstotliwości i nie przekraczała 0,7. Dla częstotliwości niższych stwierdzono mniejszą korelację pomiędzy badanymi wartościami w porównaniu do częstotliwości wyższych.



Ryc. 1. Średnie wartości i odchylenie standardowe progu słyszenia w obu grupach osób, normalnie słyszających (■) i chorych ze ślimakowych ubytkiem słuchu (●)



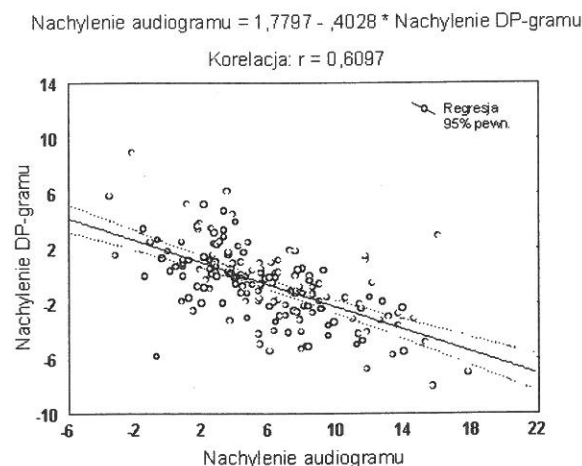
Ryc. 2. Wykresy rozkładów wartości progu słyszenia i amplitudy DPOAE w obu grupach osób

Tab.1. Współczynnik korelacji progu słyszenia i amplitudy DPOAE dla poszczególnych częstotliwości

Częstotliwość f_2	Współczynnik korelacji
1000 Hz	0,37
2000 Hz	0,52
4000 Hz	0,66
6000 Hz	0,62

Dla 1 kHz współczynnik korelacji był najmniejszy i wynosił 0,37, natomiast dla 4 kHz osiągnął najwyższą wartość, równą 0,66. W odniesieniu do częstotliwości 4 i 6 kHz można powiedzieć, że wyraźniej zaznacza się tendencja, iż podwyższeniu progu słyszenia towarzyszy zmniejszenie amplitudy DPOAE.

Na podstawie wartości progu słyszenia i amplitudy DPOAE dla częstotliwości 1, 2, 4 i 6 kHz określono odpowiednio kształt audiogramu i DP-gramu. Nachylenie tych krzywych wyliczono metodą oceny maksymalnej wiarygodności.



Ryc. 3. Wykres rozrzutu i współczynnik korelacji nachylenia krzywej audiogramu i DP-gramu

Na rys. 3 przedstawiono wykres rozkładu nachylenia krzywej audiogramu i DP-gramu w całej badanej grupie osób. Porównanie konfiguracji obu krzywych pozwala na ogólne stwierdzenie istnienia pewnej zależności. W grupie osób o słuchu normalnym DP-gram przyjmował kształt płaski, natomiast w wysokoczęstotliwościowych ubytkach słuchu obserwowano, że amplituda DPOAE w zakresie wyższych częstotliwości zmniejszała się bądź zanikała i DP-gram podobnie jak audiogram miał kształt opadający. Korelacja obu krzywych oceniana w całym materiale – zarówno osób normalnie słyszących, jak i chorych z wysokoczęstotliwościowym ubytkiem słuchu – była wysoka, a jej współczynnik wynosił 0,61. Można zatem powiedzieć, że choć nie stwierdzono dla wszystkich częstotliwości wysokiej korelacji progu słyszenia i amplitudy DPOAE, to obserwowano podobieństwo krzywych audiogramu i DP-gramu w grupie osób o słuchu normalnym oraz w grupie chorych z uszkodzeniem słuchu w zakresie wysokich częstotliwości.

IV. Dyskusja

Klasyczna audiometria tonalna badająca czułość słuchu w odniesieniu do poszczególnych częstotliwości w zakresie słyszalnym dla ucha ludzkiego ma swoje zasadnicze znaczenie dla rozpoznawania i leczenia zaburzeń słuchu. Wiele wskazuje na to, że otoemisje produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka wywoływane przez parę bodźców o zbliżonej częstotliwości mogą być obiektywnym narzędziem diagnostycznym, dostarczającym nieosiągalnych w inny sposób informacji na temat funkcji ślimaka.

Zasadniczym celem niniejszej pracy było określenie zależności między kształtem audiogramu i DP-gramu. Ponadto oceniono korelację między progiem słyszenia a amplitudą DPOAE dla częstotliwości 1, 2, 4 i 6 kHz. Dla osiągnięcia tego celu analizie poddano wyniki badań przeprowadzonych w grupie osób o słuchu normalnym oraz chorych ze ślimakowym ubytkiem słuchu w zakresie wysokich częstotliwości. Korelacja progu słyszenia i amplitudy DPOAE zmieniała się w zależności od częstotliwości i była najwyższa dla 4 kHz, przy czym współczynnik korelacji nie przekraczał $r = 0,7$. Autorzy prac poświęconych określeniu związku między audiometrią tonalną a DPOAEs wykazali wyższą korelację między progiem słyszenia a poziomem sygnału DPOAE dla częstotliwości wyższych [Gaskill, Brown 1990; Gorga (i in.) 1993; Kim (i in.) 1996; Kimberley (i in.) 1994; Martin (i in.) 1990; Probst, Harris 1990; Smurzyński (i in.) 1990; Stover (i in.) 1996]. Wśród czynników wpływających na amplitudę DPOAE wymienia się współistnienie otoemisji spontanicznych (SOAEs – ang. *spontaneous otoacoustic emissions*) o częstotliwości odpowiadającej f_2 , zwiększających amplitudę DPOAEs [Moulin (i in.) 1993; Ozturan, Oysu 1999; Prievé (i in.) 1997], dyskretną zmianę ciśnienia powietrza panującego w uchu środkowym [Owens (i in.) 1992], występowanie zmian o typie presbycusis [Arnold (i in.) 1999; Bonfils (i in.) 1988; Collet (i in.) 1990; Lonsbury-Martin (i in.) 1991; 1997; Kimberley (i in.) 1994; Stover, Norton 1993; Strouse, Ochs, Hall 1996] i uszkodzenie słuchu w zakresie bardzo wysokich częstotliwości [Arnold (i in.) 1999].

Dorn ze współpracownikami (1999) podobnie badała związek między progiem słyszenia a amplitudą DPOAE. Ich wyniki wskazują, że wpływ na amplitudę DPOAE ma wartość progu słyszenia dla częstotliwości leżących od strony zakrętu podstawnego w stosunku do f_2 i w rejonie tej częstotliwości. Wpływ ten może być związany ze zmianą transmisji tonów pierwotnych przez ucho środkowe do ślimaka oraz sygnału DPOAE do przewodu słuchowego zewnętrznego, do której dochodzi w wyniku uszkodzenia rejonu ślimaka leżącego od strony zakrętu podstawnego w stosunku do miejsca odpowiadającego częstotliwości f_2 . Alternatywnym wytłumaczeniem tej obserwacji może być

hipoteza istnienia rozmieszczonych na długości przedziału ślimaka różnych źródeł generacji DPOAE. Wyniki pracy Dorn i współpracowników nie pozwoliły na potwierdzenie tych hipotez. Istnieje jednak wiele nieodpartych dowodów na istnienie dwóch osobnych źródeł powstawania DPOAE o częstotliwości $2f_1-f_2$ u królików [Whitehead 1992a; 1992b; Lonsbury-Martin (i in.) 1993], wskazujących na możliwość rozdzielenia regionów, z których pochodzą rejestrowane w przewodzie słuchowych zewnętrznym sygnały $2f_1-f_2$. Obserwacje te mogą mieć znaczenie dla interpretacji klinicznej otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka, ponieważ wiele wskazuje, iż wpływ na amplitudę sygnału DPOAE ma nie tylko stan ślimaka w rejonie częstotliwości odpowiadającej f_2 . Zatem trudno oczekiwać wysokiej korelacji pomiędzy progiem słyszenia a amplitudą DPOAE.

Ocena nachylenia krzywej audiometrycznej oraz DP-gramu, czyli wykresu amplitudy DPOAE w funkcji częstotliwości f_2 , przeprowadzona w niniejszej pracy wykazała ich wysoką korelację, wynoszącą 0,61. Najbardziej porównywalne opisy dotyczące DPOAEs w grupie osób normalnie słyszących i chorych z niedosłuchem pochodzą z prac Lonsbury-Martin i współpracowników [Lonsbury-Martin, Martin 1990; Martin (i in.) 1990]. Analizując poszczególne przypadki, wykazali oni także wysoką korelację między kształtem DP-gramu a konfiguracją ubytku słuchu. Harris (1990) badała 20 osób normalnie słyszących oraz 20 chorych ze zmysłowo-nerwowym uszkodzeniem słuchu w zakresie wysokich częstotliwości. Pomimo znacznego stopnia nakładania się rozkładów obu grup również obserwowano podobieństwo kształtu krzywej audiometrycznej i DP-gramu. Podobnie Smurzyński i in. (1990) oraz Spektor i in. (1991) wykazali, że wzorzec DP-gramu odzwierciedla konfigurację ubytku słuchu. Probst i Hauser (1990) podkreślają jednak, że to podobieństwo nie pozwala na wyciągnięcie wniosku o możliwości zastąpienia audiometrii tonalnej przez DPOAEs w ocenie czułości słuchu. W odróżnieniu od audiometrii tonalnej, w której badana jest czułość słuchu, otoemisje akustyczne dostarczają informacji na temat funkcji ślimaka. Z tych powodów nie można spodziewać się bezpośredniej zależności między progiem słyszenia a amplitudą otoemisji. W audiometrii tonalnej bada się zjawisko progowe, dlatego niektórzy badacze doszukują się większego związku pomiędzy progiem słyszenia i progiem detekcji DPOAE niż amplitudą sygnału powstającego przy zastosowaniu bodźców ponadprogowych [Harris 1990; Stover (i in.) 1993].

Należy podkreślić, że wciąż brak jest zgodności co do sposobu definiowania kształtu DP-gramu, zastosowania poziomu pobudzenia tonów pierwotnych oraz metody statystycznej pozwalającej na jak najbardziej efektywną analizę porównawczą krzywej audiogramu i DP-gramu.

V. WNIOSKI

Pomimo wysokiej korelacji między kształtem audiogramu i DP-gramu stwierdzonej w niniejszej pracy rejestracje otoemisji produktów zniekształceń nieliniowych ślimaka nie pozwoliły na precyzyjne odzwierciedlenie konfiguracji ubytku słuchu. Istnieje konieczność dalszego poszukiwania takich parametrów otoemisji, procedury stymulacji oraz metod oceny sygnału DPOAE, które umożliwiłyby właściwe definiowanie kształtu DP-gramu i porównywanie go z krzywą audiometryczną. Należy podkreślić, że pomimo wspomnianych rozbieżności DPOAEs dostarczają unikalnych informacji na temat funkcji ślimaka i stanowią cenne uzupełnienie audiometrii tonalnej w ocenie ślimakowych ubytków słuchu średniego stopnia.

Bibliografia

- Avan P., Bonfils P., Loth D., Teyssou M., Menguy C. (1993): Exploration of cochlear function by otoacoustic emissions: Relationship to pure tone audiometry. W: J. H. J. Allum, D. J. Allum-Mecklenburg, F. P. Harris, R. Probst (red.). Progress in brain research (Vol. 97) Amsterdam: Elsevier Science, 67-75.
- Arnold D. J., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K. (1999): High-frequency hearing influences lower-frequency distortion product otoacoustic emissions. „Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.” 125, 215-222.
- Bonfils P., Uziel A. (1989): Clinical applications of evoked otoacoustic emissions: Results in normally hearing and hearing impaired subjects. „Ann. of Otorhinolaryngol.” 98, 326-331.
- Collet L., Gartner M., Moulin A., Kauffmann I., Distant F., Morgon A. (1989): Evoked otoacoustic emissions and sensorineural hearing loss. „Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg.” 115, 1060-1062.
- Collet L., Moulin A., Gartner M., Morgan A. (1990): Age-related changes in evoked otoacoustic emissions. „Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.” 99, 993-997.
- Dorn P. A., Piskorski P., Gorga M. P., Neely S. T., Keefe D. H. (1999): Predicting audiometric status from distortion product otoacoustic emissions using multivariate analyses. „Ear Hear.” 20, 149-163.
- Gaskill S. A., Brown A. M. (1990): The behaviour of the acoustic distortion product, $2f_1-f_2$ from the human ear and its relation to auditory sensitivity. „J. Acoust. Soc. Am.” 88, 821-839.
- Gorga M. P., Neely S. T., Bergman B., Beauchaine K. L., Kaminski J. R., Peters J., Jesteadt W. (1993): Otoacoustic emissions from normal-hearing and hearing-impaired subjects: Distortion product responses. „J. Acoust. Soc. Am.” 93, 2050-2060.
- Gorga M. P., Neely S. T., Ohlrich B., Hoover B., Redner J., Peters J. (1997): From Laboratory to Clinic: A Large Scale Study of Distortion Product Otoacoustic Emissions in Ears with Normal Hearing and Ears with Hearing Loss. „Ear Hear.” 18, 440-455.
- Harris F. P. (1990): Distortion-product otoacoustic emissions in humans with high frequency sensorineural hearing loss. „J. Speech. Hear. Res.” 33, 594-600.

- Harris F. P., Probst R. (1991): Reporting click-evoked and distortion-product otoacoustic emissions results with respect to the pure-tone audiogram. „*Ear Hear.*” 12, 1069-1076.
- Jędrusik A., Smurzynski J., Probst R., Janczewski G., Kochanek K., Żygierewicz J. (1998): Użyteczność kliniczna szybkiego testu DPOAEs w badaniach przesiewowych funkcji ślimaka u osób dorosłych (Wyniki wstępne). „*Audiofonologia*” XIII, 29-40.
- Kimberley B. P., Hernadi I., Lee A. M., Brown D. K. (1994): Predicting pure tone thresholds in normal and hearing-impaired ears with distortion product otoacoustic emissions and age. „*Ear Hear.*” 15, 199-209.
- Kimberley B. P., Nelson D. A. (1989): Distortion product emissions and sensorineural hearing loss. „*J. Otolaryngol.*” 18, 365-369.
- Kim D. O., Paparello J., Jung M. D., Smurzynski J., Sun X. (1996): Distortion product otoacoustic emission test of sensorineural hearing loss: performance regarding sensitivity, specificity and receiver operating characteristics. „*Acta. Otolaryngol.*” (Stockh.) 116, 3-11.
- Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K. (1990): The clinical utility of distortion-product otoacoustic emissions. „*Ear Hear.*” 11, 144-154.
- Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K., Whitehead M. L. (1997): Distortion product otoacoustic emissions. W: M. S. Robinette, T. J. Glatke (red.), *Otoacoustic Emissions Clinical Applications*. (Thieme, New York), 83-109.
- Lonsbury-Martin B. L., Cutle W. M., Martin G. K. (1991): Evidence for the influence of ageing on distortion-product otoacoustic emissions in humans. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 89, 1749-1759.
- Lonsbury-Martin B. L., McCoy M. J., Whitehead M. L., Martin G. K. (1993): Clinical testing of distortion-product otoacoustic emissions. „*Ear Hear.*” 14, 11-22.
- Martin G. K., Ohlms L. A., Franklin D. J., Harris F. P., Lonsbury-Martin B. L. (1990): Distortion-product emissions in humans. III. Influence of sensorineural hearing loss. „*Ann. Otol. Rhinol. Laryngol.*” 99 (Suppl. 147), 29-44.
- Moulin A., Collet L., Veuillet E., Morgon A. (1993): Interrelations between transiently evoked otoacoustic emissions, spontaneous otoacoustic emissions and acoustic distortion products in normally hearing subjects. „*Hear. Res.*” 65, 216-233.
- Owens J. J., McCoy M. J., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K. (1992): Influence of otitis media on evoked otoacoustic emissions in children. „*Sem. Hear.*” 13, 53-64.
- Ozturan O., Oysu C. (1999): Influence of spontaneous otoacoustic emissions on distortion product otoacoustic emission amplitudes. „*Hear. Res.*” 127, 129-136.
- Prieve B. A., Kemp D. T., Schulte L. E., Fitzgerald T. S. (1997): Basic characteristics of distortion products otoacoustic emissions in infants and children. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 102, 2871-2879.
- Probst R., Hauser R. (1990): Distortion product otoacoustic emissions in normal hearing and hearing-impaired ears. „*Am. J. Otol.*” 11, 236-243.
- Probst R., Jędrusik A. (1998): Zastosowanie kliniczne otoemisji akustycznych. „*Audiofonologia*” XIII, 9-18.
- Probst R., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K., Coats A. C. (1987): Otoacoustic emissions in ears with hearing loss. „*Am. J. Otolaryngol.*” 8, 73-81.
- Smurzyński J., Kim D. O. (1992): Distortion-product and click-evoked otoacoustic emissions of normally-hearing adults. „*Hear. Res.*” 58, 227-240.
- Smurzynski J., Leonard G., Kim D. O., Lafreniere D. C., Jung M. D. (1990): Distortion product otoacoustic emissions in normal and impaired adult ears. „*Arch. Otol. Head Neck Surg.*” 116, 1309-1316.
- Spector Z., Leonard G., Kim D. O., Jung M. D., Smurzynski J. (1991): Otoacoustic emissions in normal and hearing-impaired children and normal adults. „*Laryngoscope*” 101, 965-976.

- Strouse A. L., Ochs M. T., Hall J. W. (1996): Evidence against the influence of aging on distortion-product otoacoustic emissions. „*J. Am. Acad. Audiol.*” 7, 339-345.
- Stover L., Gorga M. P., Neely S. T., Montoya D. (1996): Towards optimizing the clinical utility of distortion product otoacoustic emission measurements. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 100, 956-967.
- Stover L. J., Gorga M. P. (1995): Otoacoustic emissions in clinical practice. „*Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.*” 3, 351-356.
- Stover L., Gorga M. P., Neely S. T. (1996): Toward optimizing the clinical utility of distortion product otoacoustic emission measurements. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 100, 956-967.
- Stover L., Norton S. J. (1993): The effects of ageing on otoacoustic emissions. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 94, 2670-2681.
- Whitehead M. L., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K. (1992 a): Evidence for two discrete sources of $2f_2-f_1$ distortion-product otoacoustic emission in rabbit: I. Differential dependence on stimulus parameters. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 91, 1587-1607.
- Whitehead M. L., Lonsbury-Martin B. L., Martin G. K. (1992 b): Evidence for two discrete sources of $2f_2-f_1$ distortion-product otoacoustic emission in rabbit: I. Differential physiological vulnerability. „*J. Acoust. Soc. Am.*” 92, 2662-2682.