

Metody badania narządu głosu

Methods of voice organ examination

ANTONI PRUSZEWICZ

Katedra i Klinika Foniatrii i Audiologii Akademii Medycznej im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, kierownik Katedry i Kliniki
prof. dr hab. med. Andrzej Obrębowski

Profesor Antoni Pruszewicz, emerytowany profesor zwyczajny, jest twórcą pierwszej w Polsce Katedry i Kliniki Foniatrii i Audiologii, którą kierował w latach 1982–2001. Jest doktorem *honoris causa* Uniwersytetu w Turynie; honorowym członkiem towarzystw naukowych otorynolaryngologicznych i foniatrycznych w Polsce, Niemczech, Czechosłowacji i na Węgrzech; członkiem komitetów redakcyjnych *Folia Phoniatica* (Zurich) i *Folia Phoniatica Latina* (Padua); byłym prorektorem i rektorem Akademii Medycznej w Poznaniu; członkiem z wyboru władz wielu towarzystw naukowych krajowych i zagranicznych (PTORLCHGS, PTF, IFOS, EUFOS) – jako przewodniczący *Committee on Phoniatics and Voice Care* IFOS wprowadził problematykę zaburzeń komunikacyjnych do naczelnych zadań i misji tej organizacji. Był także przewodniczącym i członkiem Komisji Narządów Zmysłów PAN w latach 1983–1998; jest twórcą poznańskiej szkoły foniatorów i audiologów – wyszkolił w tej dziedzinie przeszło 50 specjalistów; jest autorem ponad 300 publikacji, w tym ok. 100 w czasopismach zagranicznych oraz 3 książek, w tym 2 podręczników z zakresu foniatrii i audiologii.

Główne kierunki badawcze koncentrują się na zagadnieniach jak najszerzej pojętej problematyki patofizjologii procesu komunikatywnego, w tym szczególnie zaburzeń głosu (po operacjach krtani z powodu zmian nowotworowych, w schorzeniach endokrynologicznych, po urazach zawodowych, w niedosłuchach, rozszczepach podniebienia, wczesnej diagnostyce zmian organicznych), zaburzeń mowy (opóźniony rozwój, jąkanie, stany po laryngektomii) oraz zaburzeń słuchu (topodiagnostyka, metody elektrofizjologiczne badań, wszczepy ślimakowe, protezy słuchowe zakotwiczone).

Streszczenie

We wprowadzeniu przedstawiono rolę i znaczenie problematyki patofizjologii narządu głosu w wymianie informacji i komunikacji międzyludzkiej. Zapobieganie, diagnostyka i postępowanie terapeutyczne w zaburzeniach komunikacji stały się wyzwaniem dla otorynolaryngologii i specjalizacji pochodnych (foniatrii i audiologii) w XXI w. W zakresie metodyki badań głosu omówiono „state of the art” w tym zakresie, zwracając szczególną uwagę na zastosowanie kliniczne omawianych metod. Podzielono je na metody stosowane w rutynowych badaniach oraz metody uzupełniające, wskazane w wybranych przypadkach oraz metody stosowane rzadko w praktyce klinicznej, a najczęściej w eksperymencie klinicznym i w badaniach doświadczalnych. Wspomniano o nich, ponieważ w niedalekiej przyszłości mogą znaleźć zastosowanie w praktyce klinicznej.

Specjalną uwagę zwrócono na możliwości poszerzenia badań stroboskopowych krtani poprzez wprowadzenie do tego badania parametrów ilościowych w odniesieniu do pomiarów powierzchni głośni oraz długości i szerokości oraz symetrii fałdów głosowych. Podniesiono również wzrastającą rolę w diagnostyce zaburzeń głosu badań akustycznych, pozwalających na istotne uzupełnienie ich obrazu klinicznego i zastosowanie w badaniach skryningowych głosu, mogących znaleźć przydatność we wczesnym wykrywaniu zmian organicznych w krtani. Współcześnie dąży się do stworzenia kompleksowego modelu badań głosu, składającego się nie tylko z badań klinicznych foniatrycznych i akustycznych, ale również danych z wywiadu oraz samooceny osób z zaburzeniami głosu. Standaryzacja metod kompleksowych pozwoliłaby na wprowadzenie kompatybilności wyników badań przeprowadzanych w różnych ośrodkach zajmujących się patofizjologią głosu.

Słowa kluczowe: głos, metody badań, rutynowe, wybrane.



Abstract

In the introduction the importance and the role have been presented of the pathophysiology of the voice organ in human communication and the exchange of information. Prophylactics and prevention, diagnostics and the course of treatment in communication disorders have been a challenge for otolaryngology and derived specializations (phoniatrics and audiology) in the 21st century. As far as the methodology of voice organ examination is concerned the „state of the art” has been described. Special attention has been paid to the clinical use of the methods mentioned. The methods have been divided into those employed in routine examinations, complementary ones recommended in selected cases, and methods seldom used in clinical practice, which are most frequently employed in clinical and laboratory experiments. The latter were mentioned due to their possible use in clinical practice in the near future. Emphasis has been placed on the development of larynx stroboscopic examination, to which the examination has been introduced of quantitative parameters referred to the measurements of glottis space and the lengths, widths and symmetry of the vocal folds. The increasing role of the acoustic examinations in the diagnostics of voice disorders has been stressed, which supplement the clinical picture and are used in voice screening examinations that may be employed in the early diagnosis of organic changes in the larynx. Nowadays a complex model of voice organ examination is preferred, which combines clinical phoniatric and acoustic examinations, as well as the data from history and self-evaluation of the individuals with voice disorders. The standardization of complex methods would lead to the compatibility of examination results received in different medical centers dealing with voice pathophysiology.

Key words: voice, methods of examination, routine, selected.

(*Postępy w chirurgii głowy i szyi 2002; 2:3–25*)

Wstęp

Najbardziej złożoną i najważniejszą strukturą krtań jest *czterowymiarowa struktura fałdów głosowych*, utworzona przez trzy wymiary przestrzenne – długość, szerokość i wysokość oraz czwarty wymiar, którym jest wymiar *drgający* [Abitbol]. Czynność fonacyjna krtań jest więc wielowymiarowa i nie można jej zdefiniować przy pomocy jednego tylko pomiaru czy parametru i, jako cecha osobnicza, zależy od wielu właściwości, takich jak osobowość i stan emocjonalny badanego, specyfika kulturowa czy cechy charakterystyczne języka ojczystego. Jakość głosu ludzkiego zależy też od wielu innych czynników, jak aktualna temperatura ciała, stan wypoczynku i stopnia uwodnienia organizmu, a nawet czasu, jaki upłynął od ostatniego posiłku. Dlatego głos człowieka, jako bardzo złożone zjawisko, wymaga dla przeprowadzenia jego oceny wieloparametrowej charakterystyki (ryc. 1.).

Głos jako nośnik mowy artykułowanej jest istotną częścią procesu komunikacyjnego i wymiany informacji (ryc. 2.). Na początku wieku XX odsetek zawodów wymagających sprawnej wymiany informacji wynosił ok. 10%, a sprawności manualnej – 90%. Pod koniec ubiegłego wieku stosunek ten zupełnie się zmienił. Obecnie w prawie 90% zawodów wymaga się umiejętnej wymiany informacji, której przekaznikiem jest głos

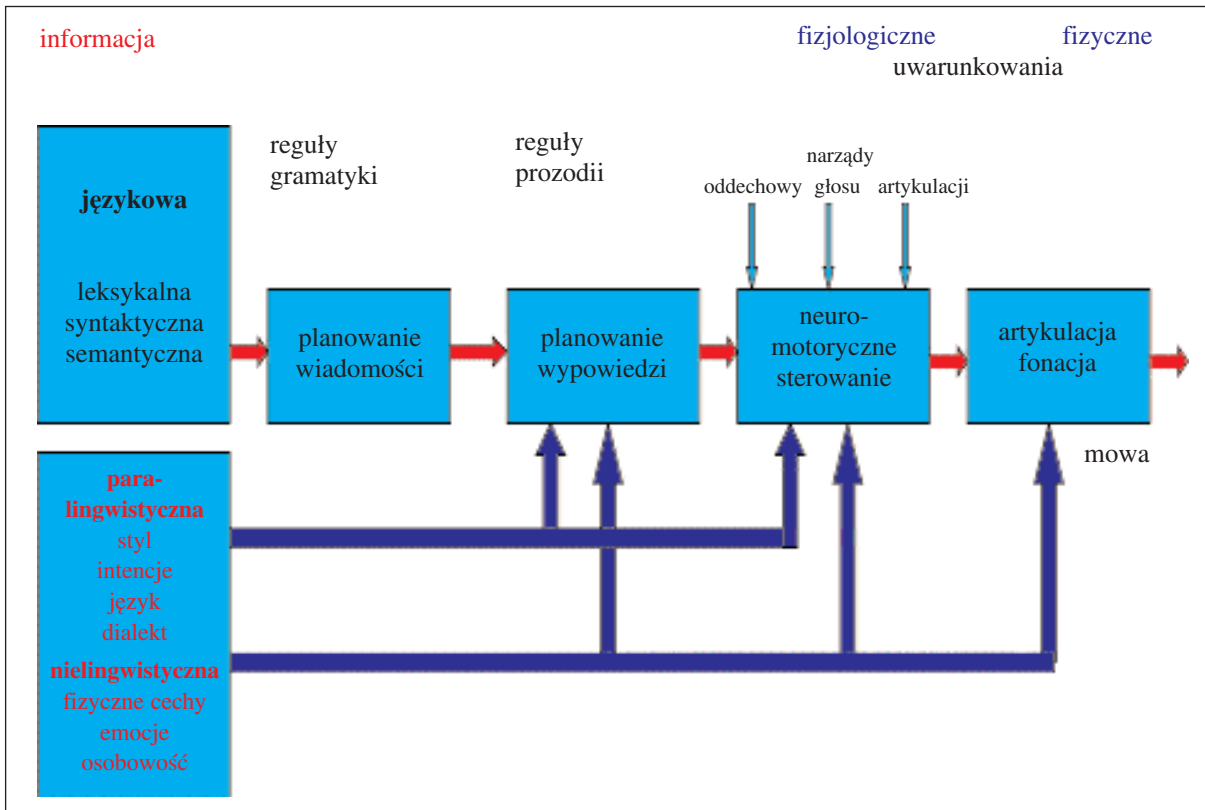
i mowa artykułowana, dlatego w roku 2000 do misji i głównych zadań w działalności Międzynarodowej Federacji Towarzystw Otolaryngologicznych wprowadzono problematykę zaburzeń procesu komunikacyjnego, w tym również głosu.

Wprowadzenie

Badanie narządu głosu rozpoczyna zebranie dokładnych wywiadów, dotyczących schorzeń głosu, słuchu i mowy oraz badanie otolaryngologiczne. Wywiady w chorobach narządu głosu powinny być bardzo skrupulatne i zawierać dane dotyczące ciąży, porodu, rozwoju motoryki narządów mowy, rozwoju głosu i mowy, środowiska domowego, szkolnego i pracy, poziomu intelektu oraz przebytych i współistniejących chorób innych narządów i występujących w rodzinie.

W czasie zbierania wywiadu niezwykle ważne jest wysłuchanie opinii chorego o zgłaszanych przez niego dolegliwościach ze strony narządu głosu i objawach towarzyszących zaburzeniom głosu (samoocena głosu). Niektórzy autorzy, szczególnie w zawodach o szczególnych wymaganiach w odniesieniu do jakości głosu, polecają bardzo szczegółowe przeprowadzanie wywiadów za pomocą ankiet, składających się nieraz z kilkudziesięciu do kilkuset pytań [Sataloff].



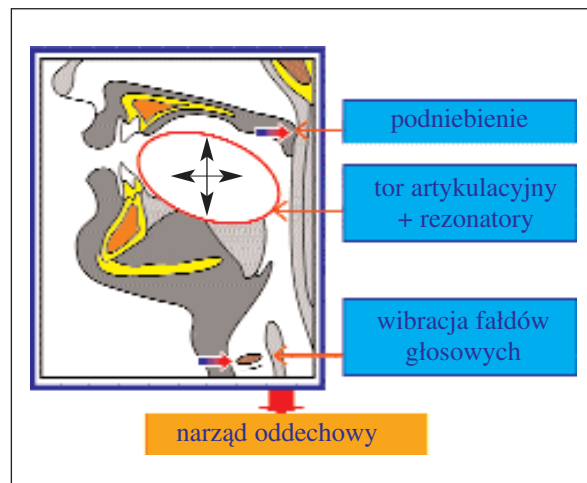


Ryc. 1. Źródła zmienności głosu i mowy [wg G. Demenka]

Wywiad powinien być tak przeprowadzony, aby wzbudził zaufanie chorego. Jest to niezmiernie ważne, ponieważ w chorobach foniatrycznych chodzi o wyjaśnienie wielu spraw dotyczących osobowości chorego, jego życia osobistego, intymnego i zawodowego, bez których niejednokrotnie właściwe ukierunkowanie badań i rozpoznanie nie są możliwe. W wywiadach można posługiwać się odpowiednimi zestawami pytań, z uwzględnieniem poszczególnych grup chorób; nie powinno to jednak prowadzić do sformalizowanego zbierania wywiadu, wzbudzenia tym nieufności chorego lecz umożliwić porównanie i ocenę zebranych danych u poszczególnych chorych w różnych schorzeniach. Pozwala to na niepominięcie wielu istotnych szczegółów z wywiadu, a zarazem na formułowanie bardziej adekwatnych spostrzeżeń i wniosków.

Rutynowe metody badania narządu głosu

Współcześnie stosowana metodyka badania głosu powinna sprostać następującym celom: 1) umożliwić diagnostykę etiologiczną schorzenia, 2) określić stopień i rozległość zmian w narządzie głosu, 3) ocenić jakość tworzonego głosu, 4) pozwolić na ustalenie rokowania,



Ryc. 2. Narząd głosu [wg G. Demenka]

5) umożliwić monitorowanie stwierdzonych odchyień w czynności narządu głosu w sensie regresji, progresji lub stabilizacji stwierdzonych zmian [Hirano, 1989].

Badanie głosu poprzedza zawsze dokładne obejrzenie krtani i ocena jej struktur anatomicznych i czynności. Wykonuje się to za pomocą laryngoskopii pośredniej bez lub z powiększeniem bądź z zastosowaniem laryngoskopii lupowej, która oprócz po-



większenia ułatwia obejrzenie krtani w przypadkach opadniętej nagłośni lub wysoko ustawionej nasady języka. W tych sytuacjach obejrzenie wnętrza krtani ułatwia również tonacja inspiracyjna samogłoski *e*. Przy nadmiernych odruchach gardłowych należy wykonać znieczulenie powierzchniowe, ponieważ odruchy gardłowe poprzez hiperfunkcjonalne objawy mogą modyfikować charakter fonacji. Uzupełnieniem laryngoskopii pośredniej jest fiberoskopia krtani, w której poprzez fiberoskop wprowadzony przez nos i nosogardziel można obserwować funkcję krtani w sposób jak najbardziej fizjologiczny, bez wyciągniętego języka i lusterka w gardle [Abitbol]. W wybranych przypadkach w celach diagnostycznych, szczególnie u małych dzieci, wykonuje się laryngoskopię czy mikrolaryngoskopię bezpośrednią, która w zasadzie zarezerwowana jest dla zabiegów wewnątrzkrtańowych. Zalety i ograniczenia optyki sztywnej i elastycznej przedstawiono w tab. 1.

W czasie laryngoskopii należy zwracać szczególną uwagę na następujące cechy krtani [Arendt]:

- a) barwę, kształt i powierzchnię fałdów głosowych i fałdów przedsionka,
- b) czy zwanie fałdów głosowych jest pełne, czy pozostaje szpara,
- c) czy wilgotność błony śluzowej krtani jest prawidłowa,
- d) czy istnieją cechy hiperfunkcji (sfinkterowate zwanie wejścia do krtani, zwanie fałdów przedsionka pełne lub tendencja do ich zwierania),
- e) czy istnieje różnica poziomów między fałdami głosowymi.

Subiektywna ocena głosu

Badanie głosu rozpoczyna się od określenia jego charakteru (czysty i dźwięczny, matowy, obłożony,

ochrypły, zupełny bezgłos). Istnieje obecnie kilkadziesiąt przymiotników określających głos dysfoniczny, wymienione wyżej są najczęściej używane.

Percepcyjna ocena głosu jest bardzo ważnym elementem badania foniatrycznego. Wśród specjalistów zajmujących się tym zagadnieniem istnieją tendencje do stworzenia uniwersalnej skali oceny percepcyjnej głosu. Należy wymienić tutaj następujące propozycje: a) skalę GRBAS Japońskiego Towarzystwa Logopedów i Foniatorów (1981), b) skalę Unii Europejskiej Foniatorów [UEP, 1983], c) schemat analizy profilu głosu oparty na ocenie fonetycznej [Laver, 1986], d) system Buffalo oceniający profil głosowy [Wilson, 1987], e) sztokholmską propozycję oceny głosu wg Hammerberg (1992).

Najczęściej stosowaną w praktyce foniatrycznej w wielu krajach jest skala GRBAS. Opisuje ona percepcyjnie zaburzenia głosu przy zastosowaniu następujących pięciu parametrów: G (*grade of hoarseness*) – stopień chrypki, R (*roughness*) – szorstkość głosu wynikająca z nieregularności drgań fałdów głosowych, B (*breathiness*) – głos chuchający, będący wynikiem wydobywania się powietrza podczas fonacji przez niezamkniętą głośnię, A (*asthenic*) – głos słaby, asteniczny oraz S (*strained*) – głos napięty, hiperfunkcjonalny. Składająca się z pięciu parametrów skala GRBAS ma cztery stopnie nasilenia zaburzeń: 0 – głos normalny, fizjologiczny; 1 – lekka zmiana; 2 – mierna zmiana; 3 – zmiana ciężka, bardzo nasiloną.

Zgłaszane przez chorych dolegliwości niejednokrotnie nie są zgodne z wynikami badań laryngologicznych i foniatrycznych, szczególnie przeprowadzanych przy zastosowaniu nowoczesnych technik badania czynności głośni, i wtedy niezbędna jest kompleksowa ocena głosu, możliwa przy zastosowa-

Tab. 1. Zalety i ograniczenia optyki sztywnej i elastycznej w badaniu narządu głosu [modyfikacja własna wg Garcii-Tapii i Verlhusta]

Metoda badania cechy	Optyka sztywna (laryngoskop)	Optyka elastyczna (fiberoskop)
droga wprowadzenia	jama ustna	nos, nosogardziel
znieczulenie	miejscowe gardła i krtani oraz premedykacja lub ogólne	miejscowe tylko nosa i nosogardła
jakość obrazu	bardzo dobra	dostateczna
powiększenie	wyraźne, znaczne	mniej
oddychanie	dobrze	dobrze
fonacja	tylko samogłoski	w czasie śpiewu i mowy
obraz stroboskopowy	bardzo dobry	dobry
przedmiot oceny	dynamika fałdów głosowych	dynamika gardła i krtani
zabiegi operacyjne	pełny zakres endolaryngealnych	ekstirpacyjne, drobne



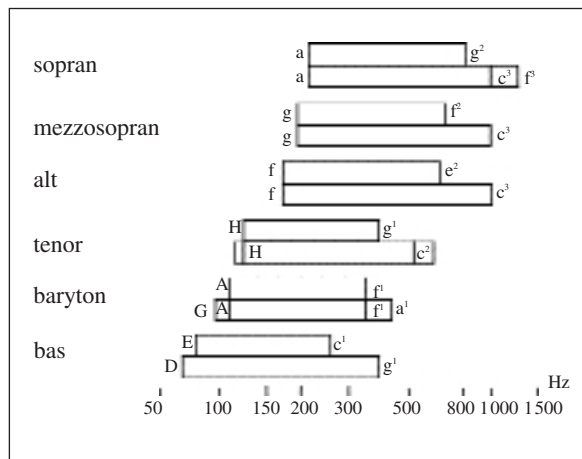
niu tak subiektywnych, jak i obiektywnych metod. Dla usystematyzowania wyników badań, uzyskanych dzięki tym badaniom, proponuje się utworzenie standardowych skal oceny funkcji głosowej. Należy wymienić tutaj niektóre z tych prób: *Dysphonia Severity Index* [Van de Heyning, Belgia], *Voice Quality Index* [Dejonckere, Holandia], *Hoarsness Diagram* [Kruse, Niemcy].

Ustala się czy głos tworzony jest swobodnie, czy też w sposób party, z nadmiernym napięciem mięśni krtani i szyi oraz poszerzeniem żył szyi. Objawy te świadczą o wadliwym, z nadmiernym wysiłkiem tworzeniu głosu. Należy też zwrócić uwagę na to, czy wysokość tworzonego przez krtani tonu utrzymuje się na tym samym poziomie przez cały okres tonacji. Jeżeli nie, to głos ma charakter falujący.

Istotne jest również ustalenie średniego położenia i zakresu głosu, zwanego też zakresem częstotliwości podstawowej w tonacji (*fundamental frequency range in phonation – FFR*). Średnie położenie głosu określa tę wysokość dźwięku, w której zakresie głos w czasie mowy porusza się i nieznacznie odchyła się ku górze lub dołowi od 4 do 8 półtonów. Znajduje się ono najczęściej w obrębie 1/3 dolnej części zakresu głosu i wynosi u mężczyzn od *a* do *e*, u dzieci i kobiet od *a* do *e*¹. Średnie położenie głosu dla mężczyzn wynosi 128 Hz (*c*), dla kobiet 256 Hz (*c*¹); przeciętny zakres głosu wynosi od 1,5 do 2 oktaw; u śpiewaków głos może obejmować nawet zakres do 3,5 oktawy, rzadko powyżej 4 oktaw. Zakresy przeciętnych głosów męskich (bas, baryton, tenor) i kobiecych (alt, mezzosopran, sopran) zostały przedstawione na ryc. 3. oraz w tab. 2. [Frank i in.], natomiast na ryc. 4. przedstawiono częstotliwość występowania tych zakresów.

Wadliwe zaszeregowanie głosu do odpowiedniej jakości, niezgodne z warunkami anatomiczno-fizjologicznymi narządu głosowego (zakres głosu, długość i szerokość fałdów głosowych, długość i przekrój tchawicy, kształt podniebienia) może być jedną z przyczyn niepełnej wartości głosu śpiewaczego lub jego zaburzeń. Średnie położenie i zakres głosu można określać za pomocą instrumentów muzycznych lub elektronicznych częstotłociomierzy.

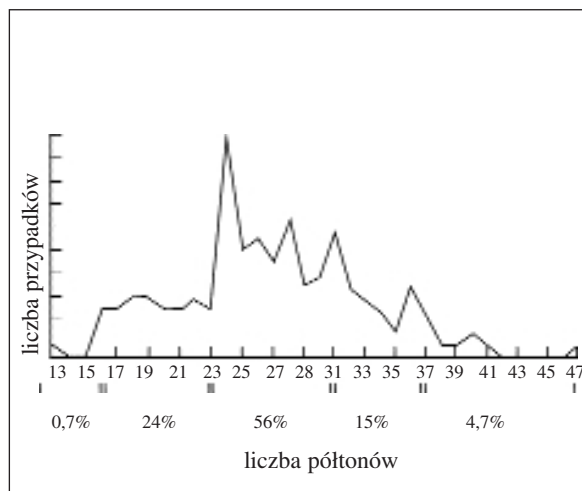
Z kolei określa się czas fonacji, polecając badanemu fonować samogłoskę, najczęściej *o* lub *a* podczas jednego pełnego wydechu. Średnią czasu fonacji oblicza się po kilku próbach, opieranie się tylko na jednym badaniu może doprowadzić do błędnych ustaleń. U ludzi ze sprawnym narządem głosowym czas fonacji wynosi 20–25 s, u śpiewaków nawet 40–60 s. Wartość poniżej 10 s świadczy o znacznej patologii. Podczas fonacji można też osłuchiwać krtani fonendoskopem w celu stwierdzenia, czy całe powietrze zgromadzone pod ci-



Ryc. 3. Przeciętny zakres głosu (górne prostokąty) i zakresy głosu u śpiewaków (dolne prostokąty) [wg Franka i in.]

Tab. 2. Wartości *Fo* średniego, minimalnego i maksymalnego w Hz wg Abitbola

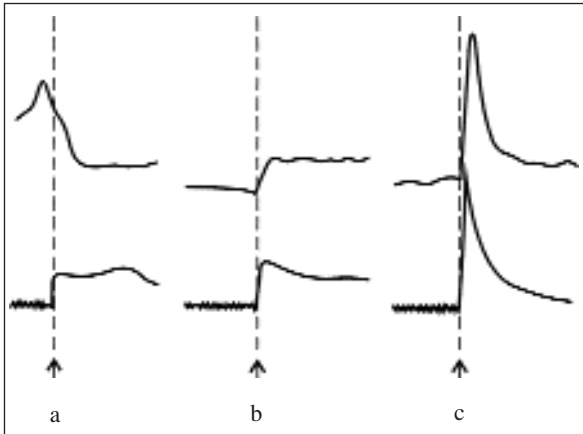
	Fo średnie	Fo min.	Fo maks.
mężczyźni	120	80	200
kobiety	220	150	350
dzieci	300	200	500



Ryc. 4. Częstotliwość występowania zakresów głosu u studentów [wg Schillinga]. Widoczne są 2 wartości maksymalne: I – przy 24 i 2 – przy 28 do 31 tonów

śnieniem w okolicy podgłośniowej jest zużywane na tworzenie dźwięku krtaniowego. Jeżeli tak nie jest, słyszy się szum wydobywającego się między fałdami głosowymi powietrza, tzw. powietrza fałszywego, które nie bierze udziału w tworzeniu tonu krtaniowego. Ucisk płytek chrząstki tarczowatej podczas fonacji powinien powodować podwyższenie, a ucisk wcięcia





Ryc. 5. Nastawienie głosowe: a – chuchające, b – miękkie, c – twarde. Górna krzywa przedstawia szybkość strumienia powietrza, dolna natężenie głosu, strzałka wskazuje na początek fonacji

chrząstki tarczowatej ku tyłowi i dołowi obniżenie tonu krtaniowego; nazywa się to zdolnością kompensacyjną krtani. Ważne jest też ustalenie, czy rozwój krtani jest proporcjonalny do wieku i płci, czy chrząstki krtaniowe nie są zbyt wielkie lub nadmiernie zwapniałe, czy nie stwierdza się w krtani pewnych wrodzonych anomalii, jak skrzyżowanie nalewek, asymetria krtani itp., które mogą być podłożem niewydolności głosowej.

Określa się również nastawienie głosowe, tj. sposób przejścia fałdów głosowych z ustawienia oddechowego do fonacji. Może być ono miękkie (fizjologiczne),

twarde (zbyt silne zwanie fałdów głosowych) lub chuchające, w którym stwierdza się szczelinę w tylnym odcinku głośni, a część powietrza jest zamieniana na szmer (ryc. 5.).

Kolejnym parametrem oceniającym wydolność narządu głosowego jest badanie maksymalnego natężenia głosu oraz zdolności zwiększenia tego natężenia, zwanego też dynamiczną modulacją. Maksymalne natężenie można określać szacunkowo, subiektywnie oceniając jako małe, znaczne i duże lub za pomocą mikrofonu ustawionego w stałej odległości od ust i miernika poziomu natężenia. Wartości maksymalnego natężenia dla szeptu, mowy normalnej (potocznej) i krzyku, przy odległości mikrofonu od ust 30 cm, wynoszą odpowiednio 50, 65, 80 dB (ryc. 6.).

Zdolność zwiększania natężenia głosu w różnych postaciach jego zaburzeń jest znacznie ograniczona, co umożliwia określenie stopnia tych zaburzeń. Przydatny też jest pomiar zakresu natężenia tonacji (*intensity range of phonation* – IR), tj. zakres natężenia między najmniejszym i maksymalnym.

W ocenie głosu należy również określić rejestry fizjologiczne i muzyczne głosu, tj. następujące po sobie i podporządkowane wzajemnie dźwięki głosu, charakteryzujące się indywidualną barwą, zależną od skali i tonów harmoniczných. Rozróżnia się następujące rejestry głosowe: 1) w męskich głosach – głowowy, środkowy, piersiowy (fizjologiczne) i bas bardzo niski (*Stroh bass, vocal fry*) jako rejestr muzyczny; 2) w ko-

KLINIKA FONOATRII I AUKIOLOGII
 Katedra Chorób Uszu, Nosu, Gardła i Krtani AM
 ul. Przybyszewskiego 49, 60-355 Poznań
 tel. 67 68 11 100, fax 67 68 11 148

Badanie natężenia głosu

Nazwisko i imię _____ wiek _____

Data badania _____

szepci	mowa normalna	krzyk
Norma		
50 dB	65 dB	80 dB

podpis badającego: _____

Ryc. 6. Badanie natężenia głosu



biecych i dziecięcych głosach – w sopranach – rejestr gwizdkowy jako muzyczny i głowowy, środkowy oraz piersiowy jako fizjologiczne, w mezzosopranach – fizjologiczne rejestry to głowowy, środkowy i piersiowy. Obszary w śpiewaniu skali głosowej w górę i w dół, w obrębie których rejestry nakładają się nazywa się amfoterycznymi. W badaniu foniatrycznym niezwykle ważne jest badanie przejścia jednego rejestru w drugi, czy odbywa się to przejście płynnie, czy występują załamania bądź różnice w postaci niepewnego prowadzenia tonu ze słyszalnym *tremolo*. Zaburzenia przejścia jednego rejestru w drugi są podłożem wielu zaburzeń w głosie śpiewaczym.

Uzupełniające metody badania narządu głosu

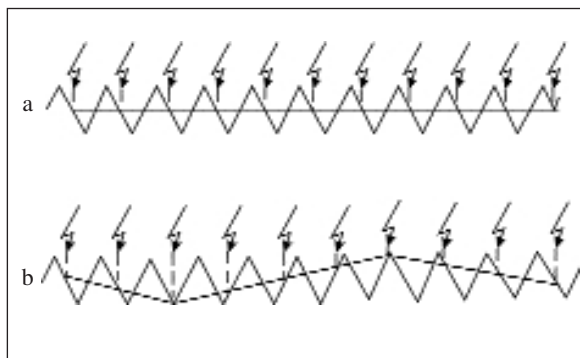
Do uzupełniających badań foniatrycznych narządu głosu należą:

- 1) stroboskopia, która od niedawna stała się właściwie metodą rutynową;
- 2) szybki film;
- 3) glottografia;
- 4) metody fotoelektryczne;
- 5) laryngofotokymografia;
- 6) badanie elektromiograficzne;
- 7) pole głosowe;
- 8) holografia;
- 9) pomiar ciśnienia podgłośniaowego;
- 10) pneumotochografia;
- 11) spirometria i spirografia;
- 12) aspekty aerodynamiczne czynności krtani;
- 13) metody kompleksowe.

Stroboskopia

Oko ludzkie jest niewrażliwe na bodźce częstsze niż 5 na s, tj. trwające krócej niż 1/5 s i dlatego podczas rutynowej laryngoskopii nie można zaobserwować drgań fałdów głosowych. W celu obejrzenia poszczególnych drgań fałdów głosowych należy oświetlić krtani światłem przerywanym. Jeżeli liczba drgań światła równa się liczbie drgań fałdów głosowych, otrzymuje się obraz stojący, fałdy wydają się być nieruchome podczas oglądania. Jeżeli częstość drgań światła jest większa od częstości drgań fałdów głosowych, to obserwuje się przebieg drgania fałdu głosowego w tempie zwolnionym. Optymalne warunki uzyskuje się wtedy, gdy różnice między drganiem światła i drganiem fałdów głosowych wynoszą 1 Hz. Im ta różnica jest większa, tym fałdy drgają szybciej (ryc. 7.).

Zasady stroboskopii opracowali w 1833 r. jednocześnie Plateau w Brukseli i Stampfer w Wiedniu, a zastosowali stroboskop w badaniach krtani Doepler

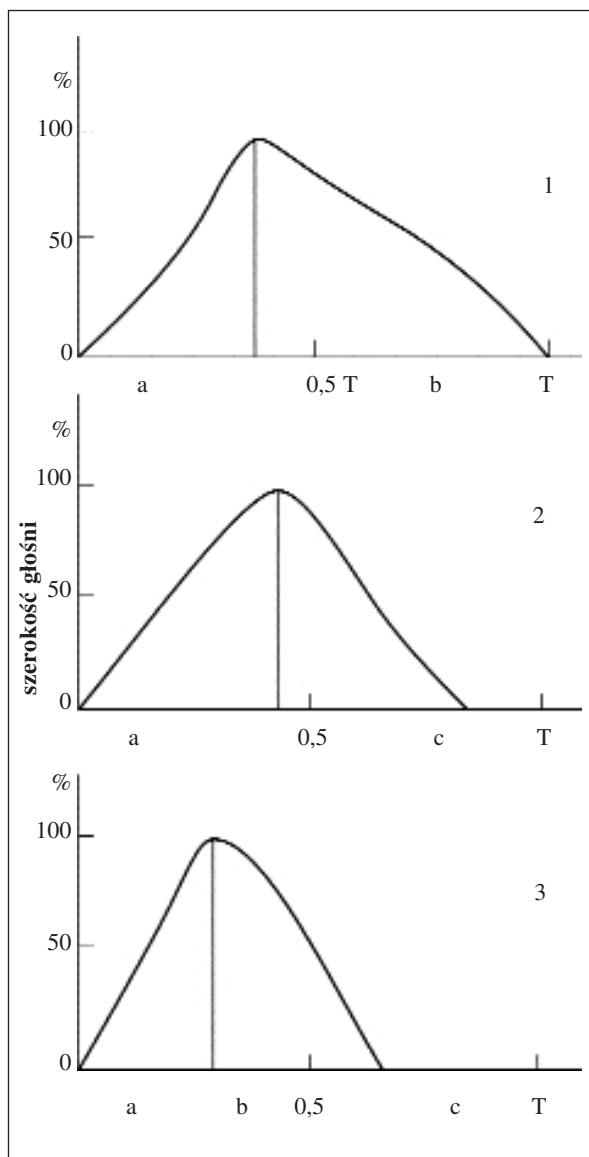


Ryc. 7. Schemat obrazu stroboskopowego: a – stojący; częstotliwość drgań lampy taka sama jak fałdów głosowych; b – poruszony; częstotliwość drgań lampy mniejsza niż fałdów głosowych

w 1866 r. oraz Oertel, Czermak i Türk w 1878 r. i późniejszych latach. W pierwszych stroboskopach światło było przerywane mechanicznie. Mimo wielu usterek takich stroboskopów liczne obserwacje wykonane za ich pomocą okazały się słuszne [Dahlmann, Flatau, Loebell, Weiss, Wethlo]. Zasady stroboskopu elektrycznego, powszechnie obecnie stosowanego podali w 1931 r. Clary, Guilett i Bertrand, używając do oświetlenia światła przerywanego z lampy neonowej; Luchsinger używał lampy rtęciowej pod dużym ciśnieniem, pobudzonej przez generator tonów. Najczęściej stosuje się lampy ksenonowe [Beck, Schönhärl], dające oświetlenie 2,8 mln luksów z odległości 1 m, jako maksymalne krótkotrwałe oświetlenie i jasność przeciętną, która odpowiada żarówce 60 W, co z odległości 1 m odpowiada 200 luksom. Badanie stroboskopowe przeprowadza się w dwojaki sposób: 1) za pomocą generatora ustala się ton, który naśladuje osoba badana. Badanie tym sposobem można przeprowadzać u osób muzycznych i szkolonych głosowo, które potrafią naśladować dokładnie wysokość tonu generatora i utrzymywać go na tej wysokości przez pewien czas, 2) używając mikrofonu czy laryngofonu, które zakłada się na krtani osoby badanej. W tym przypadku ton krtaniowy, poprzez odpowiednie urządzenie steruje częstością przerywań światła i otrzymuje się wtedy w zasadzie obraz stojący (ryc. 7.). Badanie przeprowadza się w całym zakresie głosu i przy określonym natężeniu głosu. W czasie badania zwraca się uwagę na:

- 1) *regularność drgań fałdów głosowych*, tj. czy drgania obu fałdów są jednakowe i jednoczesne, regularne lub nieregularne;
- 2) *amplitudę drgań* (normalną, zmniejszoną lub zwiększoną);
- 3) *unieruchomienie jednego z fałdów*. Unieruchomienie to może być całkowite i widoczne też w laryngoskopii lub fonacyjnie, zauważalne tylko podczas stroboskopii. Takie fonacyjne unieruchomienie całego lub części fałdu głosowego jest bardzo ważne





Ryc. 8. Zachowanie się fazy otwarcia i zamknięcia głośni w zależności od natężenia głosu; a – faza otwierania, b – faza zamykania, c – faza zamknięcia, T – czas jednego drgania, 1 – natężenie głosu małe, 2 – natężenie głosu średnie, 3 – natężenie głosu duże

w wykrywaniu wczesnych stanów nowotworowych [Damste, Schönharl, Pruszewicz i in.]. Całkowite unieruchomienie fałdu głosowego z zachowaniem drgań fonacyjnych świadczy o zmianach w stawie pierścienno-nalewkowym;

- 4) *przesunięcie brzeżne fałdów głosowych* (wzmoczone, zmniejszone lub brak) – fala śluzówkowa (ang. *mucosal wave*). Jest ono wyrazem przemieszczenia się błony śluzowej w stosunku do poruszającego się w czasie fonacji mięśnia głosowego. W zmniejszonej amplitudzie drgań przemieszczenie brzeżne jest małe i na odwrót – w zwiększonej amplitudzie jest większe. Jest ono czułym wskaźnikiem głębiej

sięgających zmian nowotworowych, zapalnych i bliznowatych; brakuje go w porażeniach nerwu zwrotnego;

- 5) *zamknięcie głośni* (stosunki między fazą otwierania, zamykania i zamknięcia). Na ryc. 8. przedstawiono wg Timckego zachowanie się fazy otwierania (*a*), zamykania (*b*) i zamknięcia (*c*), w zależności od natężenia głosu. Faza otwierania rośnie z częstotliwością podstawową głosu:

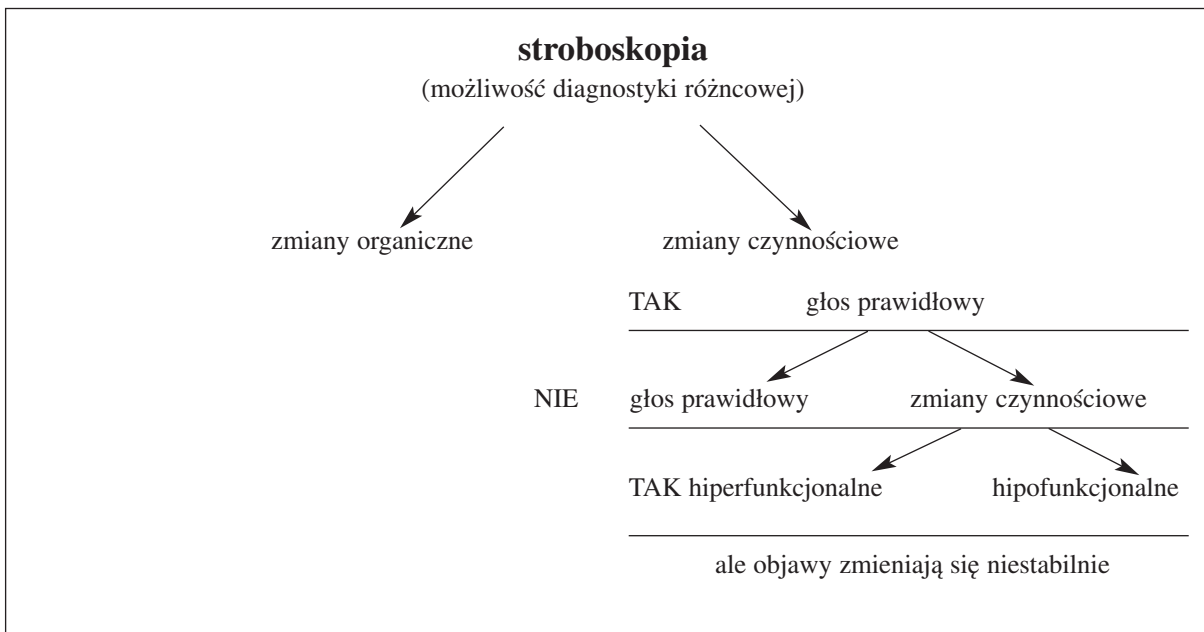
$$\text{faza otwierania} = \frac{\text{czas otwierania głośni}}{\text{czas trwania całego cyklu drgania}}$$

- 6) *występujące w sposób periodyczny wahania częstotliwości* w obrazie ruchomym zależne od nieutrzymywania tej samej wysokości;
- 7) *ruchy w obrazie stojącym* (symptom nieostrości).

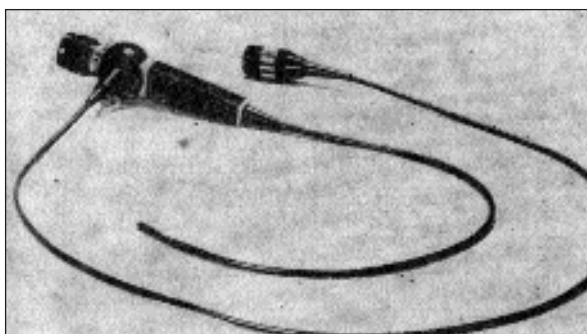
Stroboskopia jest przede wszystkim metodą jakościową pomiaru przebiegu drgań fałdów głosowych, umożliwia rozgraniczenia zmian czynnościowych i organicznych, w tych pierwszych – zmian hiperfunkcjonalnych od hipofunkcjonalnych, nie jest jednak przydatna w różnicowaniu zmian czynnościowych i obrazów spotykanych w warunkach fizjologicznych (ryc. 9.). Jej przydatność wiąże się szczególnie z wykrywaniem wczesnych zmian nowotworowych i oceną wyników czynnościowych w zabiegach fonochirurgicznych. Badanie stroboskopowe należy w zasadzie wykonywać w znieczuleniu powierzchniowym, aby uniknąć objawów hiperfunkcjonalnych, występujących przy nadmiernych odruchach i napięciu gardła oraz podniebienia. Aby ocenić dynamikę zmian w obrazie stroboskopowym, należy kolejne badania wykonywać w tym samym rejestrze, przy tej samej wysokości i natężeniu głosu.

W ostatnich latach znacznie ulepszono technikę badania stroboskopowego, przede wszystkim dzięki wprowadzeniu laryngomikrostroboskopii i telemikrostroboskopii. Połączenie stroboskopii z mikroskopem udoskonało znacznie precyzję oglądanego obrazu fałdów głosowych w czasie drgań oraz umożliwiło wykonywanie zabiegów mikrochirurgicznych pod kontrolą światła stroboskopowego, co ochrania fałdy głosowe nawet przed minimalną traumatyzacją [Pascher i in., Seidner i in., Wendler i in.]. Dołączenie do tych technik monitorowania telewizyjnego umożliwiło doskonałe demonstrowanie w celach dydaktycznych badania mikrostroboskopowego i zabiegów operacyjnych oraz obliczanie, po założeniu odpowiedniej siatki na ekran telewizyjny, długości, szerokości i zakresu ruchu fałdów głosowych (ryc. 10.) oraz pomiary szerokości i powierzchni głośni (stroboglottometria), co ma też pewną przydatność do oceny wyników operacji poszerzających głośnię w obu stronnych porażeniach nerwów zwrotnych.

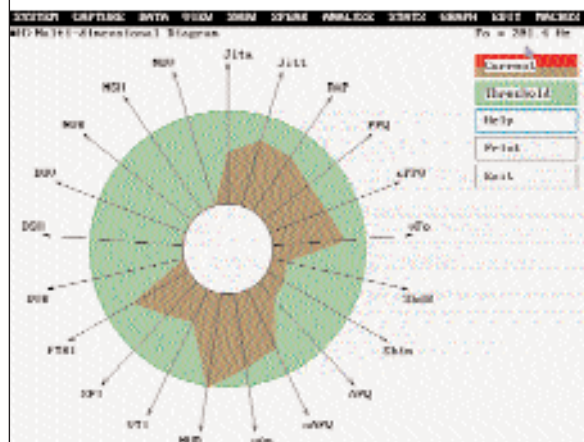




Ryc. 9. Stroboskopia – możliwości diagnostyki różnicowej

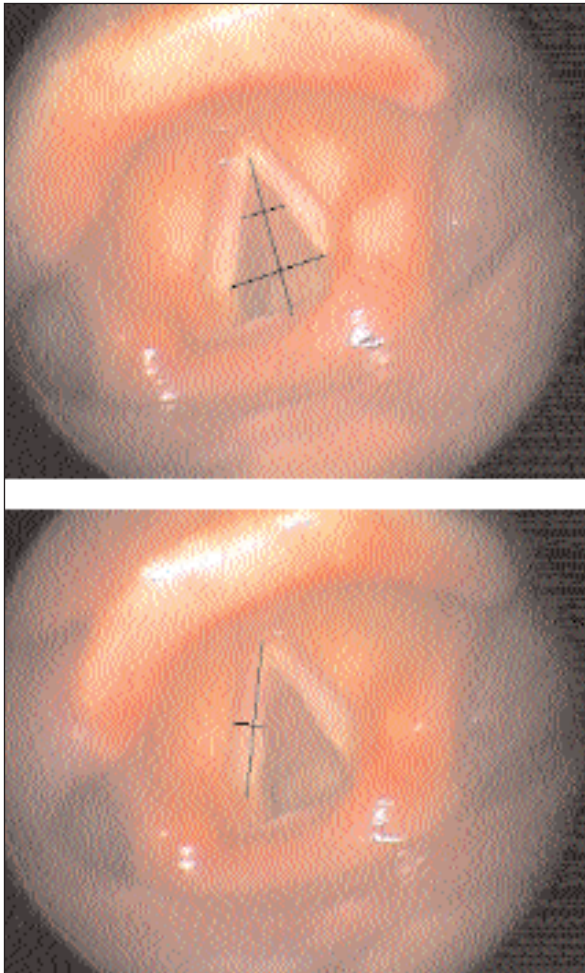


Ryc. 10. Zestaw do telemikrostroboskopii [wg Wendlera i in.], laryngofiberoskop firmy Olympus, zestaw aparatury do stroboskopii lupowej

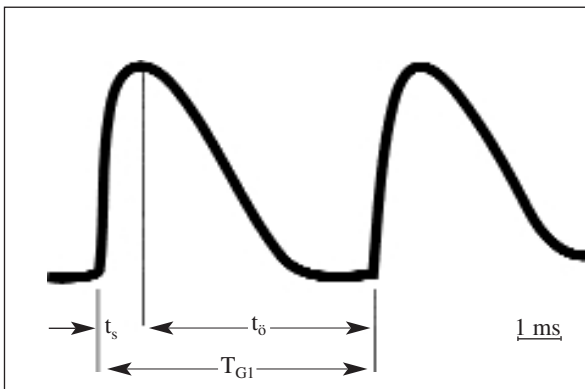


Ryc. 11. Obraz wideoendoskopowy prawidłowej głośnia oraz zapis parametrów analizy MDVP u osoby z głosem normalnym [wg B. Woźnicy]





Ryc. 12. Ocena ilościowa niektórych pomiarów stroboskopowych



Ryc. 13. Parametry elektrogloktogramu: t_s – czas zamykania, t_o – czas otwierania głośni, T_{GI} – czas pełnego drgania fałdów głosowych [wg Reinscha i Gobscha]

Dalszym udoskonaleniem metody stroboskopowej jest wykonywanie tego badania poprzez elastyczny laryngofiberoskop [Williams i in.] wprowadzany poprzez nos na wysokość wejścia do krtani (ryc. 10.) lub za pomocą techniki stroboskopii lupowej (ryc.

10., 11.). Szczególnie ten ostatni sposób jest bardzo prosty i należy przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości stanie się on powszechny. Kittel ulepszył tę metodę otrzymując kolorowe obrazy stroboskopowe oraz stosując odpowiednią skalę na okularze. Dzięki temu mógł oceniać amplitudę drgań fałdów głosowych również ilościowo. Fiberostroboskopia pozwala na ocenę fałdów głosowych nie tylko w czasie fonacji samogłosek, ale również w czasie mowy ciągłej: unika się również niefizjologicznego dla tonacji wyciągania języka i wprowadzania do gardła lusterka. Obrazy otrzymane w tej metodzie są jednak gorsze od obrazów otrzymywanych w stroboskopii lupowej. Ostatnim osiągnięciem w stroboskopii jest wideostroboskopia, umożliwiającą rejestrację obrazu drgań fałdów głosowych na taśmie wideo. Metoda ta umożliwi dokładniejszą diagnostykę, doskonałą dokumentację, ocenę dynamiki zmian w obrębie fałdów głosowych po leczeniu foniatrycznym i zabiegach fonochirurgicznych, ma też zastosowanie w rehabilitacji zaburzeń głosu w oparciu o metodę *bio-feedback*.

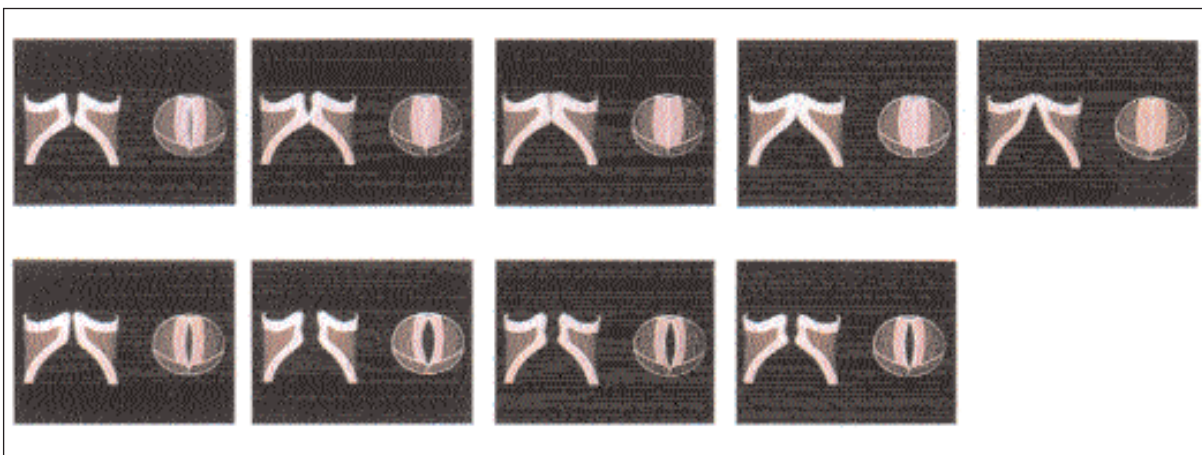
Ostatnio w następstwie udoskonalania technik wideolaryngostroboskopowych i opracowaniu specjalnych programów komputerowych pojawiła się możliwość oceny ilościowej niektórych pomiarów stroboskopowych. Dotyczy to w szczególności następujących wartości: długości i szerokości fałdów głosowych oraz powierzchni głośni w czasie fonacji i oddychania, tak w części międzybłoniastej, jak i międzyczręstnej (ryc. 12.).

Glottografia

Aparatura do tego badania składa się z generatora prądów o wysokiej częstotliwości (200 kHz) i przyrządu pomiarowego rejestrującego zmiany oporu w następstwie ruchów fałdów głosowych w polu tych prądów; wyniki tych badań w postaci glottogramu przedstawiono na ryc. 13. i 14.

Glottogram wykazuje nie tylko ruchy fałdów głosowych, ale również zmiany w przekroju poprzecznym całego światła krtani, zależne od wielkości krtani i masy drgających mięśni; w tym aspekcie glottografia ma przewagę nad stroboskopią, która ocenia tylko powierzchnię, a nie całą masę drgających fałdów głosowych. Wadą tej metody jest brak wykazywania różnic w drganiach lewego i prawego fałdu głosowego. Glottografia jest metodą nieinwazyjną, jej wyniki są bardziej przydatne jako uzupełnienie wyników badań stroboskopowych, brakuje również standaryzacji wyników pomiarów uzyskiwanych tą metodą.





Ryc. 14. Obrazy krtani odpowiadające poszczególnym parametrom elektrolottogramu

Metody fotoelektryczne

Polegają one na zastosowaniu komórki fotoelektrycznej, w której przepływ prądu zależy od przerywania strumienia światła przez poruszające się fałdy głosowe [Sonesson, Pawłowski]. Uzupełnieniem ich jest metoda z zastosowaniem ultradźwięków [Hertz i in., Klajman i in.].

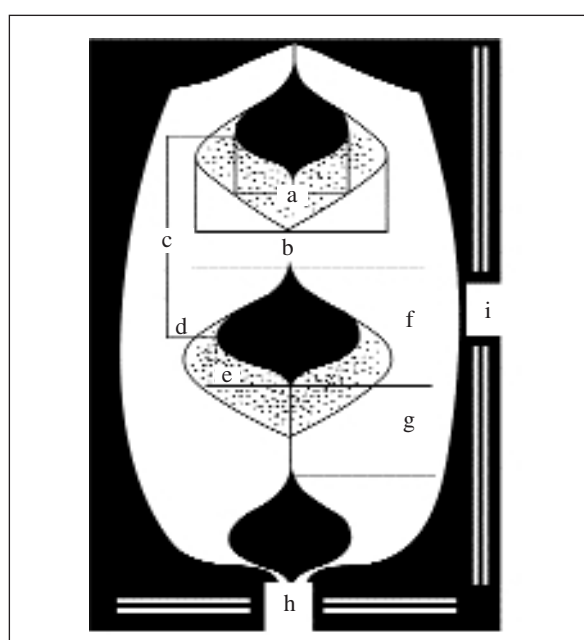
Laryngofotokimografia [Gall i in.]

Metoda ta polega na fotografowaniu krtani za pomocą specjalnej kamery z migawką szczelinową. Schematyczny laryngofotokimogram wraz z parametrami, które można określić w tym badaniu, przedstawiono na ryc. 15.

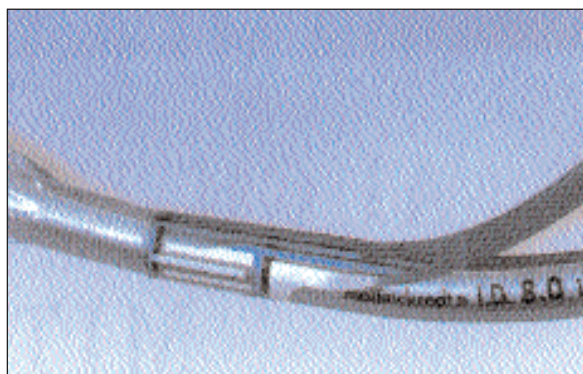
Metoda ta została ostatnio udoskonalona przez jej autora (Gall) poprzez zmianę migawki szczelinowej na paskową oraz przez Grossa, który połączył tę metodę (przez ulepszenie migawki i sposobu rejestracji) z laryngoskopią lupową. Umożliwia ona ocenę drgań nie tylko górnej powierzchni fałdów głosowych (jak w metodzie Galla), ale również ich masy. Laryngofotokimografia uzupełnia badanie stroboskopowe, umożliwiając ocenę drgań fałdów głosowych przy bardzo krótkim czasie fonacji i drganiach nieperiodycznych.

Elektromiografia

Badanie to ma na celu: 1) ocenę stanu czynnościowego nerwu krtaniowego górnego i dolnego oraz mięśni krtaniowych właściwych, zewnętrznych oraz oddechowych, 2) określenie prognozy przebiegu schorzenia nerwów lub mięśni krtaniowych, 3) ocenę dynamiki przebiegu schorzenia, 4) określenie miejsca uszkodzenia nerwów krtaniowych. W badaniach EMG najczęściej ocenia się następujące mięśnie krtaniowe: głosowy, pier-

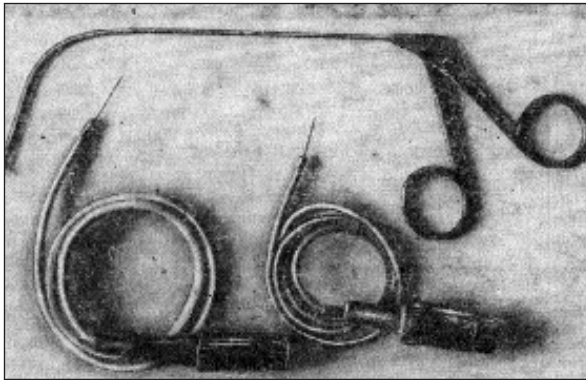


Ryc. 15. Laryngofotokimogram [wg Galla i in.]; a – amplituda drgania fałdów głosowych, b – amplituda górnego brzegu fałdu głosowego, c – długość pojedynczego drgania, d – faza otwierania głośni, e – faza zamykania głośni, f – faza otwarcia głośni, g – faza zamknięcia głośni, h – odległość między fałdami przedsionka, i – długość głośni



Ryc. 15a. Samoprzylepna elektroda EMG umocowana na rurce intubacyjnej





Ryc. 16. Bipolarne elektrody i sztanca do ich umieszczania w krtani [wg Thumfarta]

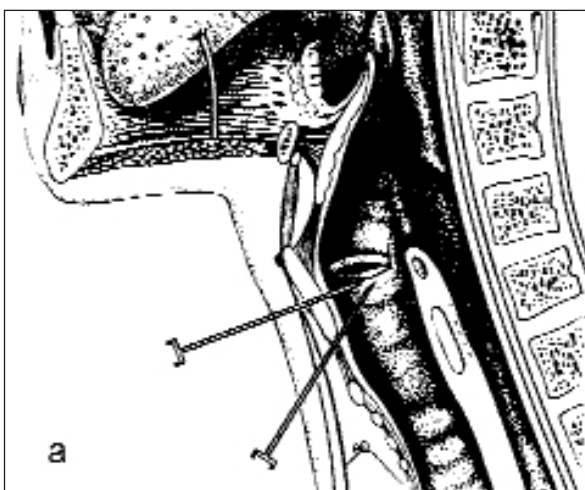
ścienneo-tarczowy, pierścienneo-nalewkowy tylny, pierścienneo-nalewkowy boczny i międzynałwkowy. Badanie wykonuje się w znieczuleniu miejscowym, powierzchniowym, neuroleptoanalgezji lub w uśpieniu ogólnym dotchawiczym, stosując elektrody płytkowe na skórę lub samoprzylepne mocowane na tubusie dotchawiczym (ryc. 15a.), przylegające w czasie znieczulenia ogólnego do fałdów głosowych lub elektrody igłowe (mono- i bipolarne) (ryc. 16.) i drutowe haczykowe (*hook wire*), wprowadzane do odpowiednich mięśni bezpośrednio przez więzadło stożkowe na ślepo [Hirano] (ryc. 17.) lub pod kontrolą laryngoskopii pośredniej lub lupowej.

Elektrody igłowe i drutowe wprowadza się do mięśni też pośrednio, przez jamę nosową lub ustną, posługując się odpowiednimi aplikatorami lub sztancami krtaniowymi w laryngoskopii pośredniej, albo – najwygodniej – używając laryngoskopu lupowego; rzadziej czynność tę wykonuje się w laryngoskopii bezpośredniej. Podczas badania w warunkach fizjologicznych spotyka się następujące potencjały: normalne potencjały czynnościowe oraz przechodzenie od

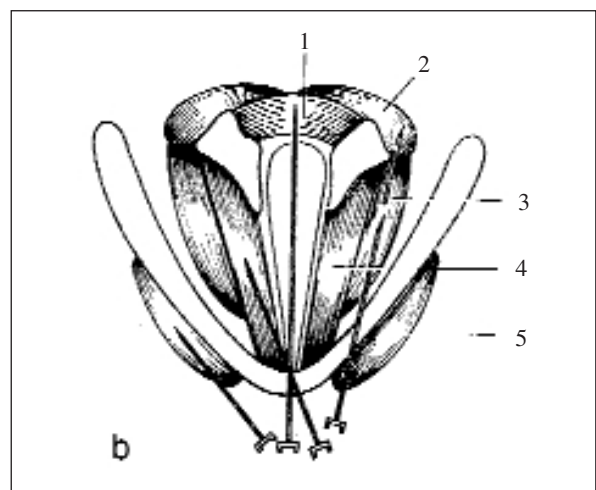
czynności spoczynkowej do zapisów interferencyjnych w czasie tonacji. W mięśniach właściwych krtani potencjały jednostki ruchowej są dwu- lub trójfazowe o amplitudzie 100–300 μV i czasie trwania 3–6 ms. U człowieka zdrowego czynność elektryczna mięśni krtani istnieje nawet w czasie spokojnego oddechu i usiłowania całkowitego odprężenia. Wyładowania częstotliwościowe pojedynczej jednostki ruchowej w spoczynku wynoszą w mięśniach pierścienneo-tarczowym i głosowym 12/s, na krótko przed tonacją i przez okres fonacji 15–20/s [Faaborg-Andersen]. Wzrost aktywności elektrycznej poprzedza fonację o 100–200 ms. W stanach patologicznych, w zależności od stopnia uszkodzenia nerwów obserwuje się potencjały fibrylacyjne, ostre pozytywne fale lub potencjały wielofazowe. W zapisie EMG ocenia się najmniejsze i największe amplitudy, częstotliwość wyładowań i czas trwania czynności elektrycznej badanych mięśni. Rejestrację potencjałów czynnościowych przeprowadza się w czasie spoczynku, czynności spontanicznej i dowolnej, bez lub z zastosowaniem stymulacji ponadprogowej, która ma szczególne znaczenie przy ocenie ilościowej uszkodzonego nerwu, co z kolei ma istotne znaczenie przy określaniu prognozy powrotu funkcji uszkodzonego nerwu [elektro-neuronografia Satoh, Thumfart]. Miejsca stymulacji (cyfry rzymskie w kółkach) przedstawiono na ryc. 18.

W badaniu tym otrzymuje się dwie odpowiedzi: pierwszą jako wyraz pośredniego skurczu mięśnia (elektromiogram) i drugą jako następstwo czynności oddechowej wywołane przez afferentne pobudzenie nerwów krtaniowych (ryc. 19.).

Badanie to jest analogiczne do rejestracji potencjałów złożonych nerwu twarzonego (*compound action potentials*, CAP) wprowadzonej przez Esslena w 1973 r.



Ryc. 17. Umieszczenie elektrod EMG w mięśniach wewnętrznych krtani z dostępu przez chrząstkę tarczową i więzadło pierścienneo-tarczowe [wg Hirano i Ohala, zmodyfikowane]; 1 – *m. interarytenoid*, 2 – *m. cricoaryten post.*, 3 – *m. cricoaryten lat.*, 4 – *m. vocalis*, 5 – *m. cricothyrenoid*

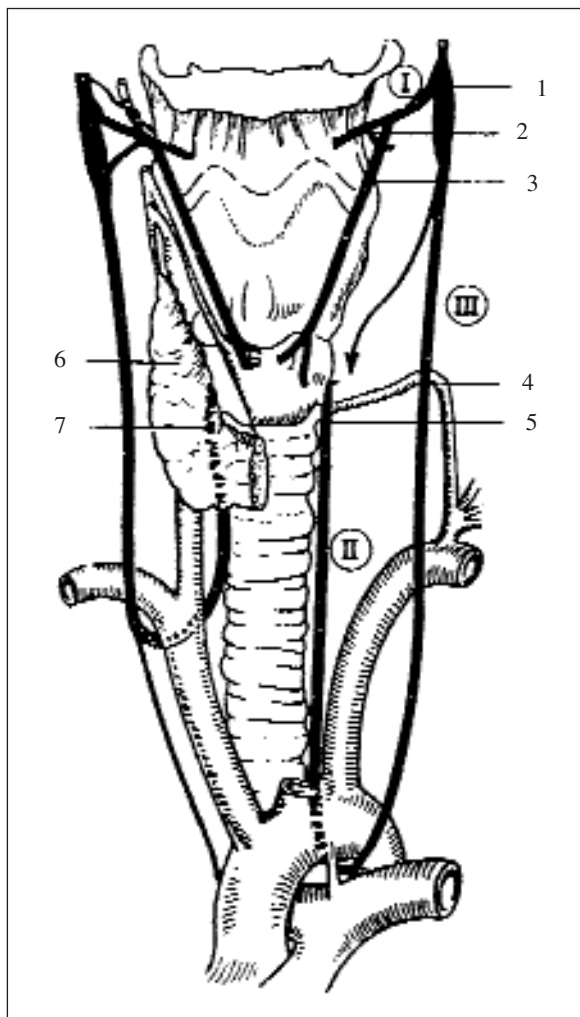


i ma istotne znaczenie przy ustalaniu wskazań do operacji poszerzających głośnię. Ocena zapisów EMG (lampa oscyloskopowa, odpowiedni papier rejestracyjny) jest najczęściej semi-obiektywna, bezpośrednia, stosuje się też pamięć taśmową i dyskową oraz uśrednianie wyników korzystając z technik komputerowych.

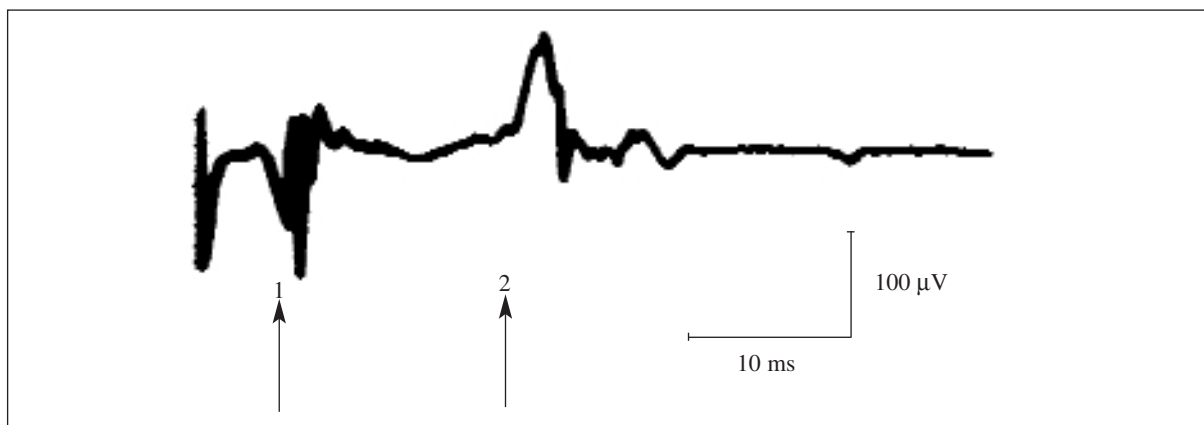
Znaczenie zastosowania EMG w ocenie narządu głosu należy upatrywać w szczególnej przydatności tego badania w diagnostyce różnicowej, dotyczącej różnicowania następujących schorzeń: 1) porażenie nerwu zwrotnego i ankyloza stawu pierścienno-nalewkowego, 2) ustalenie miejsca uszkodzenia nerwu – topodiagnostyka (n. zwrotny, n. krtaniowy górny, n. X, porażenia ośrodkowe), 3) zmiany miogenne i neurogenne, czynnościowe i organiczne, 4) stopień porażenia nerwu (częściowy, całkowity), 5) ustalenie rokowania, które zależy od stopnia porażenia nerwu i charakteru reinerwacji. Przydatność EMG jest też znaczna w ocenie dynamiki zmian chorobowych, w ilustracji i dokumentacji badań. Badanie to wykazuje jednak też pewne niedogodności, które powodują, że EMG nie jest metodą rutynową w badaniu narządu głosu i winna być zarezerwowana do wybranych przypadków i badań naukowych. Do niedogodności tych należy zaliczyć: czasochłonność badań, inwazyjność badania dla chorych – problemy z umiejscowieniem elektrod, sumowanie się w zapisach potencjałów z sąsiadujących mięśni oraz rozbieżności w interpretacji wyników [Schultz-Coulon].

Pole głosowe

Badanie to jest graficznym przedstawieniem zależności poszczególnych tonów zakresu głosu od minimalnego i maksymalnego natężenia, z jakim są one tworzone. Badanie wykonuje się podczas śpiewania samogłosek, najczęściej *a*, *u*, *i*, z zastosowaniem pisaka

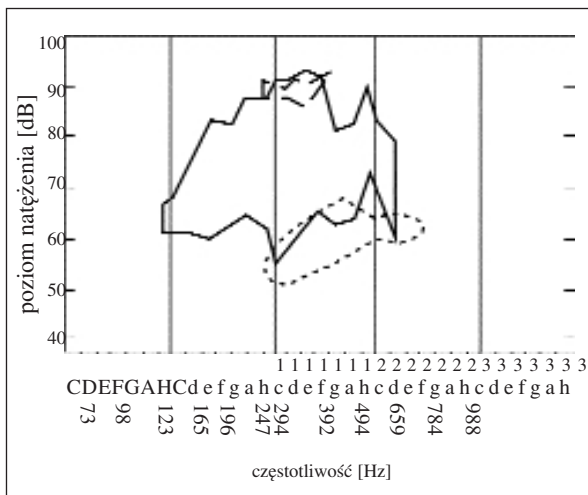


Ryc. 18. Przebieg nerwów krtaniowych dolnych (zwrotnych) prawego i lewego; I – nerw krtaniowy górny lewy, III – nerw krtaniowy dolny lewy, część zstępująca i (II) część wstępująca: 1 – nerw X, 2 – nerw krtaniowy górny, gałązka wewnętrzna, 3 – nerw krtaniowy górny, gałązka zewnętrzna, 4 – tętnica tarczowa dolna lewa, 5 – część wstępująca lewego nerwu zwrotnego, 6 – gruczoł tarczowy, płąt prawy, 7 – część wstępująca prawego nerwu zwrotnego

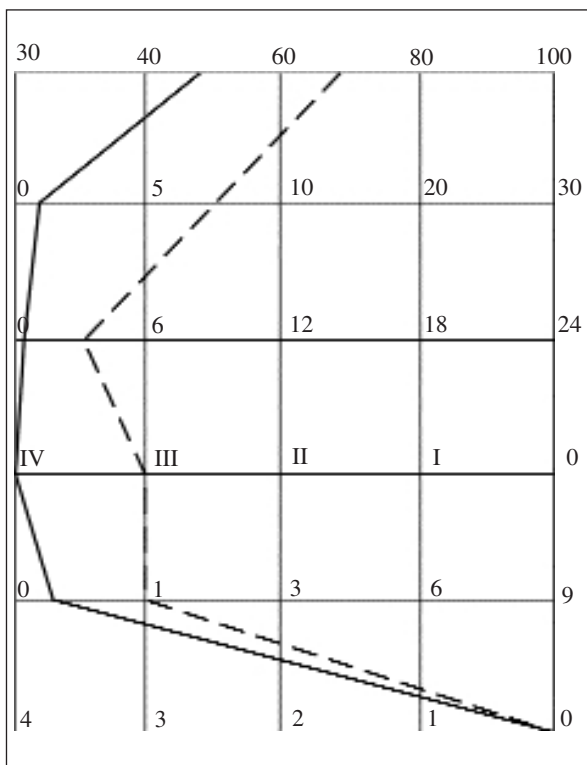


Ryc. 19. Stymulacje ponadprogowe, elektroneuronografia m. pierścienno-tarczowego po stymulacji n. krtaniowego górnego (1 – odpowiedź pierwsza po 4-6 ms, 2 – odpowiedź druga po 16-18 ms) [wg Thumfarta]





Ryc. 20. Pole głosowe [wg Grossa]; 1 – linia ciągła: pole głosowe w nieszkolonym normalnym głosie, zakres głosu i jego dynamika normalne. Przy g1 przejście z rejestru piersiowego do głowowego przy ograniczeniu dynamiki, 2 – linia kropka-kropka: dysfonia hipofunkcyjna z mniejszą dynamiką i o maksymalnym natężeniu 70 dB, 3 – linia przerywana: dysfonia spastyczna przy krańcowym ograniczeniu zakresu i dynamiki głosu



Ryc. 21. Fonogram wg Perelló i Tosi przedstawiający cechy zaburzenia głosu o typie hipofunkcyjnym przed (linia ciągła) i po leczeniu (linia przerywana). Od góry do dołu; maksymalne natężenie głosu z odległości 3 m (dB), czas fonacji (s), zakres głosu w tonach, natężenie chrypki w stopniach wg Yanagihara, czas przed wystąpieniem objawów zmęczenia w godz., różnice między maksymalnymi objętościami wydechowymi przy otwartym i zamkniętym nosie

X-Y. Ocena pola głosowego umożliwia ilustrację i obiektywizację różnic jakościowych głosów normalnych, fizjologicznych oraz zaburzonej czynności głosowej

wej w stanach patologicznych. Badanie to można łączyć z analizą spektralną lub pomiarem przepływu powietrza podczas tonacji, co pozwala na uzyskanie dodatkowych informacji dotyczących sprawności narządu głosowego. Na ryc. 20. przedstawiono przykład pola głosowego dla głosu fizjologicznego i pewnych zaburzeń głosu.

Do opisu i oceny pola głosowego można stosować również techniki komputerowe, umożliwiające automatyzację i uproszczenie tego badania. Pole głosowe pozwala, poza oceną zależności wysokości głosu od jego natężenia, również na śledzenie wzajemnego stosunku rejestrów głosowych, obserwację dynamiki zmian w narządzie głosowym w trakcie leczenia i po jego zakończeniu, jest przydatne w badaniach orzecznich i oceniających przydatność do zawodów wymagających sprawnego narządu głosowego, jest też pomocne w szkoleniu wokalistycznym [Damsté, Seidner i Schutte].

Wymienione techniki badania pola głosowego są ograniczone tylko do śpiewania lub tonacji samogłosek izolowanych. W 1985 r. Sonninen i in. wprowadzili do badań wydolności narządu głosowego technikę komputerowego pola głosowego w mowie, umożliwiającą opisanie w czasie rzeczywistym stosunku częstotliwości podstawowej (F_0) do poziomu ciśnienia dźwięku (SPL), to jest F_0/SPL w próbie mowy ciągłej o czasie trwania minimum 40 s. Analiza dotyczy każdego cyklu po kolei w analizowanej próbie mowy. Badanie to pozwala również na obliczenie średniej arytmetycznej i odchylenia standardowego F_0 i A_0 w analizowanej liczbie cykli.

Wydolność i sprawność narządu głosowego w postaci zapisu graficznego przedstawia na ryc. 21., tzw. odeogram wg Perelló i Tosi (1974), na którym uwzględniono następujące parametry: 1) natężenie głosu w dB, 2) czas fonacji, 3) zakres głosu, 4) nasilenie chrypki oceniane subiektywnie lub sonograficznie, 5) czas przed wystąpieniem objawów zmęczenia w godz., 6) różnice objętości powietrza przy maksymalnym wydechu przy otwartym i zamkniętym nosie.

Do metod badania narządu głosowego stosowanych nie w sposób rutynowy, w przypadkach wybranych oraz w badaniach klinicznych naukowych należą opisane niżej.

Metody akustyczne

Do lat 70. ubiegłego wieku były stosowane przede wszystkim do analizy i oceny głosów fizjologicznych. Wprowadzenie technik komputerowych spowodowało szersze zastosowanie metod akustycznych



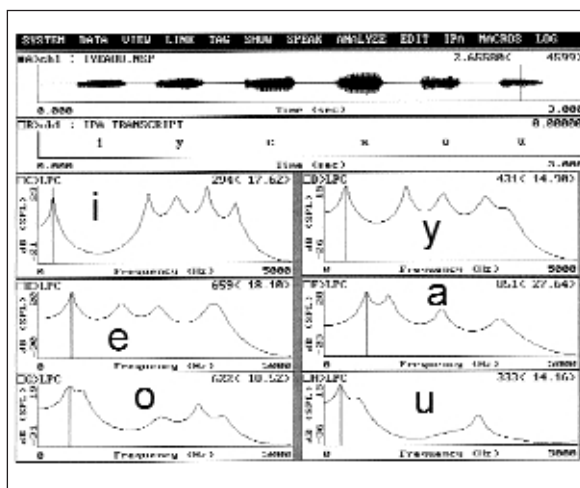
nych w ocenie głosów patologicznych. Obecnie metody te stanowią integralną część badań poszerzonych i kompleksowych narządu głosu. Do najczęściej stosowanych metod akustycznych w ocenie głosu należą:

- a) analiza przebiegu czasowego amplitudy (przebieg czasowy) i ocena widm samogłoskowych (zmiany energii w funkcji częstotliwościowej – analiza widmowa) (ryc. 22.),
- b) analiza trójwymiarowa spektrograficzna, gdzie na osi odciętych (X) zaznaczony jest czas, na osi rzędnych (Y) częstotliwość, a wartość amplitudy wyraża kolor albo zaczerwienie zapisu (ryc. 23.); pochodnymi ww. metod są stosowane w wybranych przypadkach: analiza długoterminowa – LTAS – *long term analysis spectrum*, bądź krótkoterminowa – FFT – *fast Fourier transformation*;

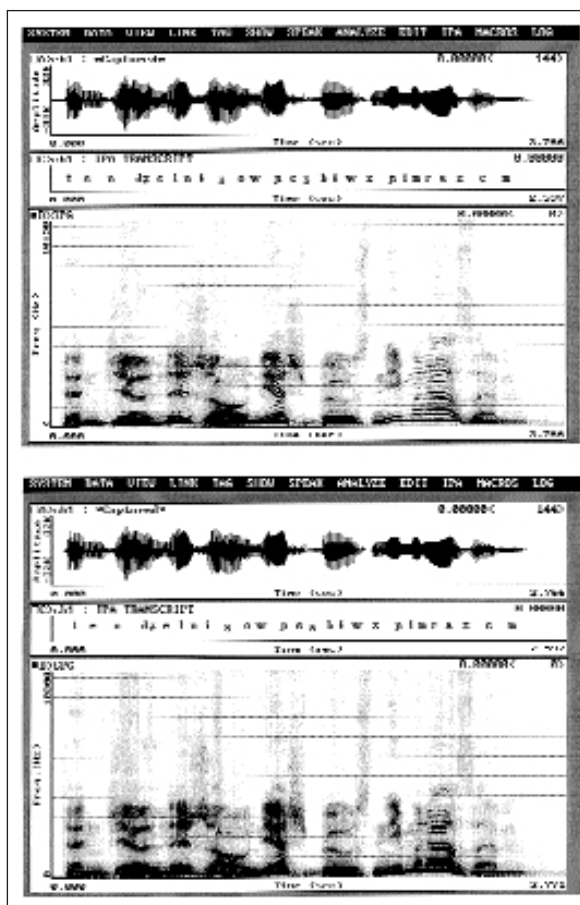
- c) wieloparametrowa ocena całego kanału głosowego przy zastosowaniu specjalnych programów komputerowych: MDVP – *Multi Dimensional Voice Program* i CSL – *Computerized Speech Laboratory*. Nagrań głosu do tych badań dokonuje się poprzez mikrofon lub laryngofon, posługując się specjalnymi testami fonetycznymi lub izolowanymi samogłoskami bez lub po obciążeniu narządu głosu. Stosując tę technikę analizy głosu można dokonać oceny krótko- i długoterminowej oraz przebiegu zmian ciśnienia akustycznego w funkcji czasu w paśmie częstotliwości 0–20 kHz. Dalszymi opcjami tej techniki są: 1) zapis przebiegów czasowych analizowanego głosu; 2) analiza sonograficzna i spektrograficzna; 3) analiza tonu krtaniowego; 4) analiza formantowa; 5) analiza intonograficzna; 6) analiza częstotliwościowa; 7) analiza zmian częstotliwości F_0 amplitudy i stosunku sygnału użytecznego do szumu; 8) analiza wieloparametrowa (ryc. 24.–27.). Stosując powyższą metodę można analizować 33 parametry, spośród których 17 ocenia się najczęściej grupując je w następujące zespoły: a) parametry oceniające względną zmianę częstotliwości (*jitter*); b) parametry oceniające względną zmianę amplitudy (*shimmer*); c) parametry względnych pomiarów hałasu; d) parametry pomiarów drżenia (modulacji) głosu; e) parametry oceny przerw w fonacji; f) parametry względnych pomiarów komponentów subharmonicznych; g) komponenty względnych pomiarów nieregularności fonacji.

Metody radiologiczne

Są wartościowymi badaniami uzupełniającymi, a nieraz decydującymi w diagnostyce zaburzeń głosu.

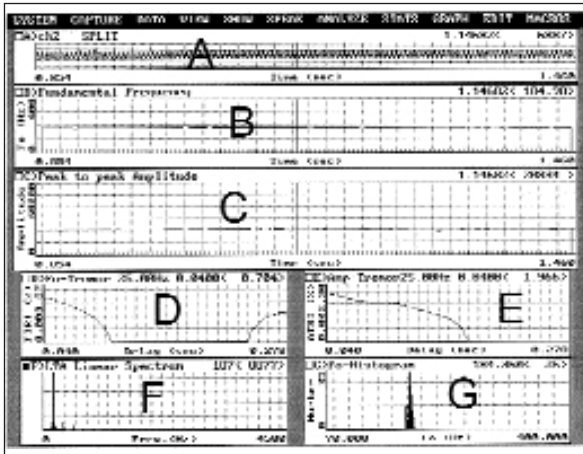


Ryc. 22. Przykład wypowiadanych w krótkim ciągu czasowym (3 s) samogłosek i, y, e, a, o, u przez 40-letniego mężczyznę. Część górna to przebiegi czasowe samogłosek, część dolna ryciny to ich widma częstotliwościowe. Wyraźnie widoczne w różnych miejscach pojawiające się formanty F1, F2, F3, F4 – kreską zaznaczono F1. W prawym górnym narożniku każdego okna wyświetlona jest częstotliwość w Hz i amplituda pierwszego formantu w dB SPL [wg P. Świdzińskiego]

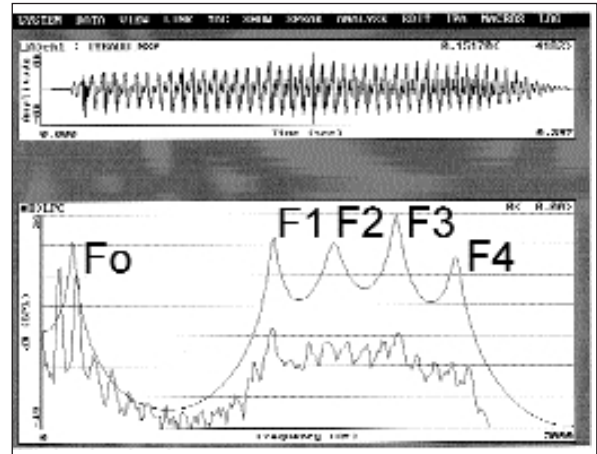


Ryc. 23. Analiza czasowa i spektrograficzna zdania: *Ten dzielny żołnierz był z nim razem*, z transkrypcją fonetyczną wykonana: z zastosowaniem filtra pasmowego o szerokości 73 Hz oraz (w dolnej części) filtra o szerokości 148 Hz u 20-letniej kobiety z prawidłową emisją głosu

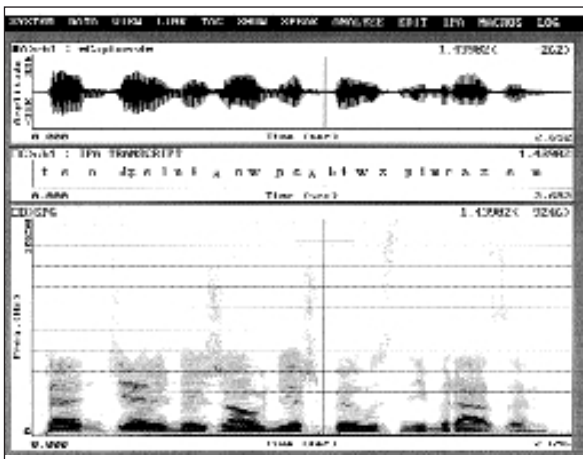




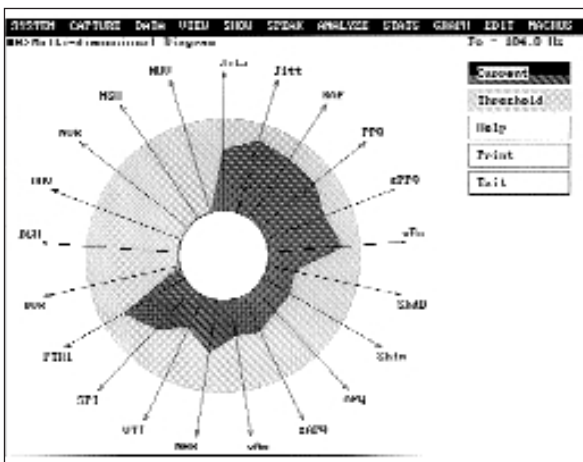
Ryc. 24. Przykład analizy tonu krztaniowego w programie MDVP: okno A – zapis czasowy wycinka samogłoski a, B – przebieg częstotliwości, C – amplitudy, D – modulacja częstotliwości, E – modulacji amplitudy, F – spektrum liniowe, G – histogram Fo [84]



Ryc. 25. Zapis czasowy (część górna) i przebieg częstotliwościowy z obwiednią widma (część dolna) samogłoski a wypowiedzianej w izolacji rejestrowany u osoby z prawidłową emisją głosu. Widoczne Fo i cztery formanty samogłoskowe [84]



Ryc. 26. Zapis czasowy (część górna) i spektrograficzny (część dolna) zdania *Ten dzielnik żołnierzy był z nim razem*, wykonany u osoby z prawidłową emisją głosu [84]



Ryc. 27. Zapis parametrów analizy MDVP u osoby z prawidłową emisją głosu [84]

Zdjęcia przeglądowe krtni przednio-tylne i boczne stosuje się obecnie rzadko, przede wszystkim w celu uwidocznienia położenia krtni w stosunku do kręgosłupa i określenia kalcyfikacji chrząstek krztaniowych. Do najczęściej stosowanych w praktyce klinicznej należą badania wymienione poniżej:

- 1) rutynowa klasyczna tomografia fonacyjna krtni w rzucie przednio-tylnym, w której wyróżnia się następujące warstwy: *przedgłośniową* (przednią), w której uwidocznione są chrząstki, *kieszonkową* – przechodzącą przez środek głośni, obrazującą najlepiej fałdy głosowe prawdziwe i rzekome i zachyłki gruszkowate oraz warstwę *tylną*, tzw. przejściową, i *nalewkową*, w której zaznaczony jest przedsionek krtni. W tomogramach krtni ocenia się obrysy jej jam powietrznych (głębokość i symetrię kieszonki krztaniowych i zachyłki gruszkowate), kształt, powierzchnię i zwanie fałdów głosowych prawdziwych (określając wielkość szpary głośni w czasie fonacji) i rzekomych (zwracając uwagę na to, czy dochodzi do ich zbliżenia lub zwanie w czasie fonacji), wysklepienie okolicy podgłośniowej oraz stan uwapnienia chrząstek krztaniowych (ryc. 28., 29.);
- 2) laryngografia – technika z użyciem środka cieniującego oraz laryngotomografia, gdy po podaniu środka cieniującego wykonuje się rutynową tomografię. Metody te pozwalają na uchwycenie niewielkich zmian organicznych i czynnościowych;
- 3) laryngotomografia komputerowa – pozwala na uzyskanie warstw poprzecznych, dostarczających dodatkowych informacji diagnostycznych, które pozwalają na ocenę rusztowania chrząstki i tkanek miękkich



kich krtani. Posługując się specjalną techniką 3D (trójwymiarową) można otrzymać przestrzenne obrazy krtani;

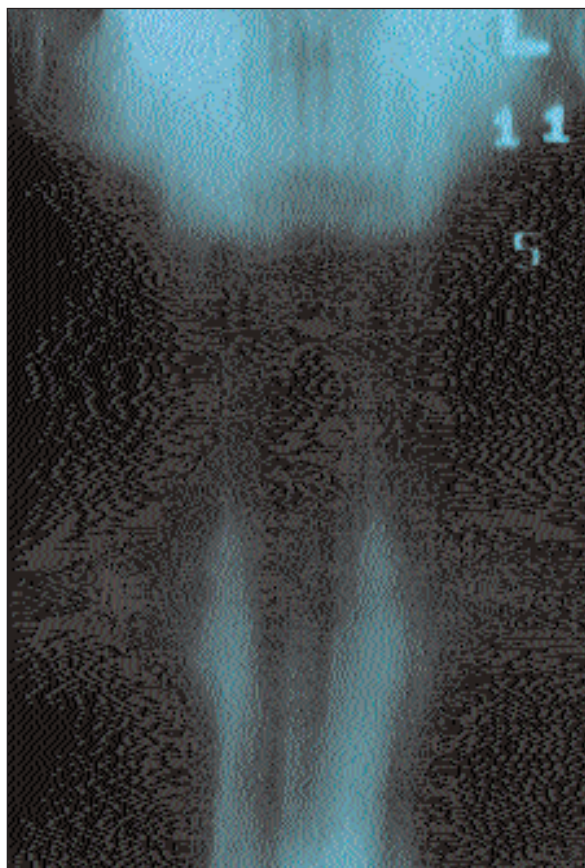
- 4) laryngotomografia rezonansu magnetycznego, pozwalająca na wybór przekrojów krtani; zastąpiła częściowo klasyczną laryngotomografię kontrastową i znalazła zastosowanie nie tylko w wybranych przypadkach schorzeń krtani, ale również w ocenie jam rezonancyjnych ponadkrtaniowych (jama ustna, gardło, język, podniebienie);
- 5) ultrasonografia w module B – pozwala na uzyskanie za pomocą specjalnych sond w płaszczyźnie poziomej i pionowej odpowiednich przekrojów krtani, uwidaczniających fałdy głosowe prawdziwe i rzekome [Kaneko T. i in., 1988] (ryc. 30.).

Metody stosowane w eksperymencie klinicznym i badaniach doświadczalnych

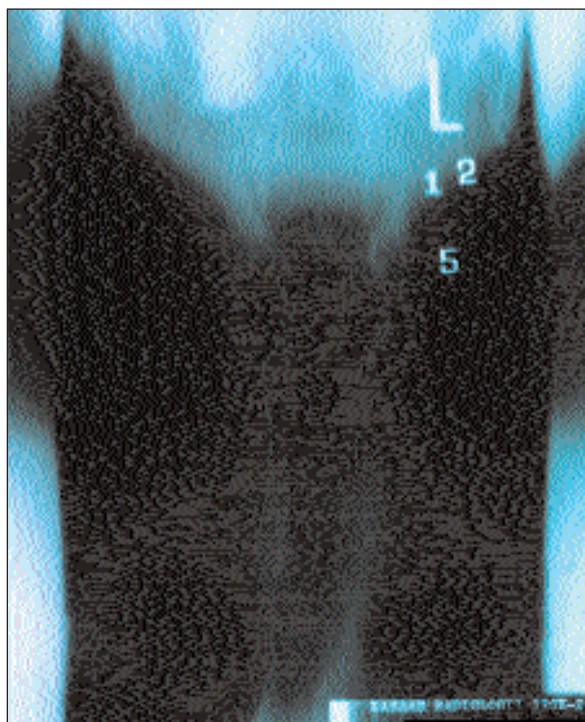
Szybki film. Metoda ta została wprowadzona w roku 1940 przez Farnswortha. Przy szybkości fotografowania 4 tys. klatek filmowych/s i wyświetlaniu w filmie 16 obrazów/s, przy drganiu fałdów głosowych 250 Hz, cały przebieg jednego drgania trwa 1 s. Obecnie używa się aparatury, pozwalającej fotografować z szybkością kilkunastu lub kilkudziesięciu tysięcy klatek na 1 s [v. d. Berg, Rubin, Ledden]. Urządzenia takie są bardzo kosztowne i w zasadzie używane tylko w badaniach doświadczalnych. Tańsze i prostsze jest fotografowanie ruchów fałdów głosowych przy użyciu zwykłej kamery filmowej sprzężonej z błyskami lampy stroboskopowej [Smith].

Holografia. Jest trójwymiarową optyczną techniką badania drgań powierzchni ciała (skóra głowy, klatki piersiowej), podniebienia i fałdów głosowych w czasie tonacji z zastosowaniem promieniowania lasera rubinowego. Trójwymiarowy obraz powstaje w następstwie interferencji światła laserowego odbitego od powierzchni drgającej oraz biegnącego bezpośrednio od źródła promieniowania. Na ryc. 31. przedstawiono oscylogram fonacji samogłoski o wg Pawłowskiego.

Krtaniowe wywołane odpowiedzi z pnia mózgu (*Laryngeal Evoked Brain Stem Response LBR*). W badaniach o charakterze eksperymentu klinicznego znajdują zastosowanie w diagnostyce neurolaryngologicznej. Składa się na nie ocena odruchu krtaniowego, który składa się z gałęzi wewnętrznej nerwu krtaniowego górnego, ośrodków krtaniowych w pniu mózgu oraz nerwu zwrotnego i krtaniowego górnego. Stymulując

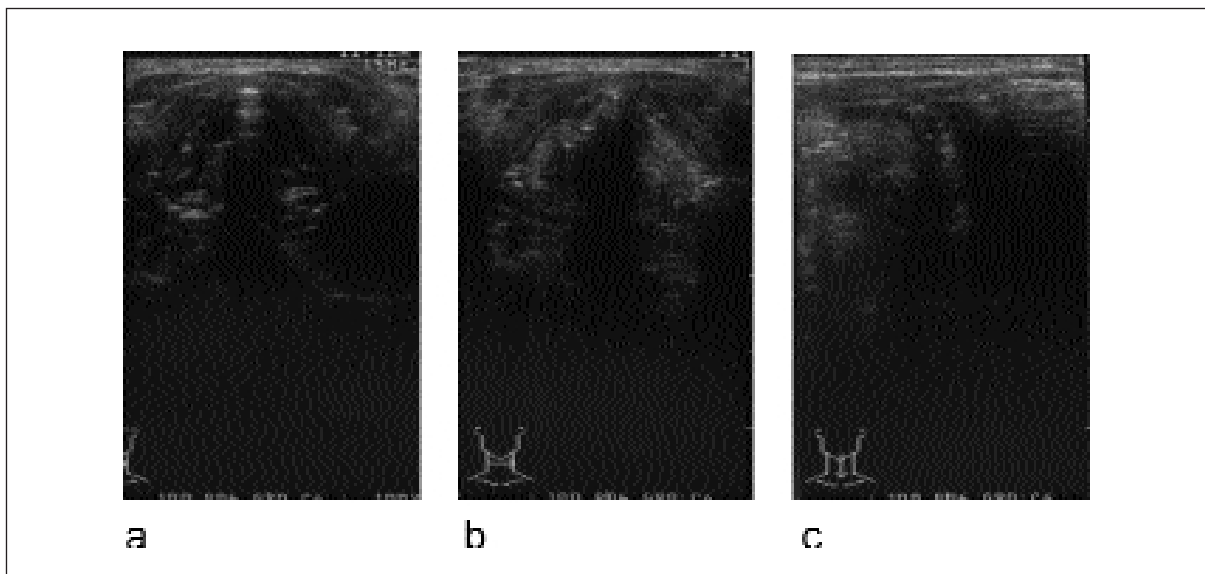


Ryc. 28. Laryngotomogram krtani – niedomykalność głośni

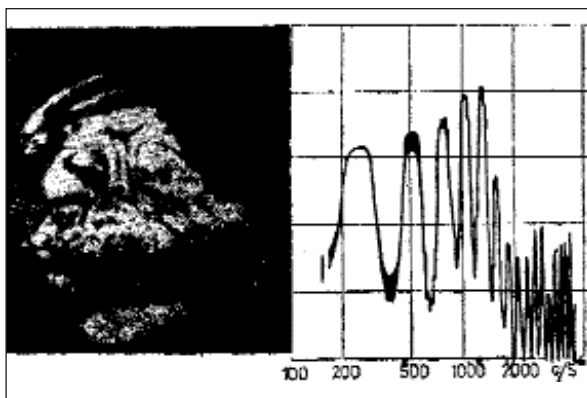


Ryc. 29. Laryngotomogram krtani – niedomykalność głośni z widocznymi ogniskami zwapnienia w chrząstkach nalewkowatych i płytkach chrząstki tarczowatej

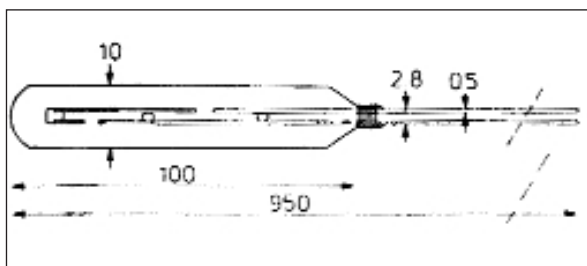




Ryc. 30. USG krtani: a) obraz fałdów głosowych; b) obraz fałdów przedsionka w płaszczyźnie poprzecznej; c) obraz fałdów głosowych w płaszczyźnie strzałkowej [wg Kordylewskiej]



Ryc. 31. Interferogram drgania podniebienia miękkiego i oscylogram głoski a o $F_0 = 268$ Hz [wg Pawłowskiego]



Ryc. 32. Kateter z balonem do notowania zmian ciśnienia w przełyku podczas tonacji, rozmiary są podane w mm

ten nerw za pomocą impulsów elektrycznych po jednej stronie otrzymuje się jedno- i obustronną odpowiedź. Wyróżnia się odpowiedź R-1 (18 ms) ipsilateralną i R-2 bilateralną po 66–70 ms, co wskazuje na to, że R-2 jest odpowiedzią polisymptomatyczną bilateralną.

Pomiar ciśnienia podgłośnia. Pomiar tego parametru czynności głosowej jest bardzo istotny, ponieważ tonacja jest wynikiem wzajemnego oddziaływania na siebie oporu, jaki stawia głośnia i ciśnienia podgłośnia. Istnieją metody bezpośrednie i pośrednie pomiaru ciśnienia podgłośnia. Do metod bezpośrednich należy pomiar poprzez punkcję tchawicy lub okolicy podgłośnia przez *lig. conicum* oraz za pomocą odpowiednich przetworników, wprowadzanych w laryngoskopii pośredniej w znieczuleniu miejscowym poprzez głośnieć do okolicy podgłośnia. Obydwie metody dają bardzo miarodajne wyniki, jednak ze względu na dość znaczną inwazyjność i niewygodę w czasie fonacji nie są stosowane rutynowo w badaniach klinicznych. Częściej stosuje się metodę pośredniego pomiaru ciśnienia podgłośnia poprzez pomiar ciśnienia w przełyku za pomocą odpowiednich sond z balonikami lub przetwornikami objętościowymi (ryc. 32.).

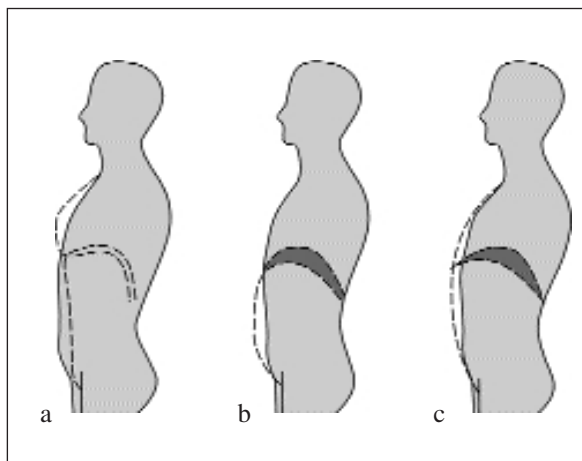
Wyniki otrzymane metodami bezpośrednimi i pośrednio z pomiarów w przełyku niewiele różnią się między sobą, ich wartości w czasie fonacji wahają się od 0,3 do 2,3 kPa, tj. od 3 do 23 cm H₂O. Do metod pośrednich zalicza się też technikę pletyzmografii całego ciała – *body plethysmography*, w której w czasie fonacji ciśnienie śródpiersiowe jest odniesione do ciśnienia podgłośnia.

Badanie narządu oddechowego

W czasie spoczynku wdech jest nieco krótszy od wydechu, stosunek wdechu do wydechu wynosi 1:1,1 do 1:1,5. Podczas mowy faza wydechowa znacznie się wydłuża i ww. stosunek równa się 1:6 do 1:7. Oddech



podczas śpiewu charakteryzuje się skróconą i przyspieszoną fazą wdechową i bardzo wydłużoną, zwolnioną i pogłębioną fazą wydechową. Uzyskuje się to poprzez podparcie oddechowe (*appoggio*), tj. przez świadome zwolnienie i pogłębienie fazy wydechowej za pomocą kontrolowanego napięcia mięśni wdechowych i wydechowych [Mitrinowicz-Modrzejewska]. Rozróżnia się podparcie oddechowe piersiowe i przeponowe. Podparcie oddechowe może służyć jako wokalistyczna metoda rehabilitacji niektórych zaburzeń głosu i mowy. Podczas mowy i śpiewu tor oddechowy winien być żebrowo-przeponowy. W tym torze oddychanie brzuszne i piersiowe uzupełniają się najkorzystniej, by przy najmniejszym zużyciu energii otrzymać najlepszy rezultat głosowy (ryc. 33.).



Ryc. 33. Typy oddychania w czasie fonacji: a – żebrowo-obojczykowy, b – brzuszny, c – żebrowo-brzuszny

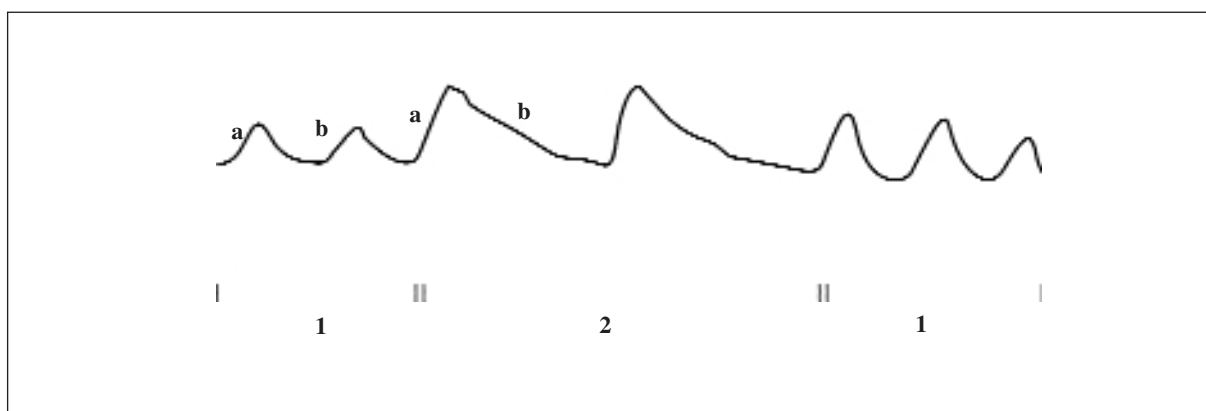
Badanie narządu oddechowego rozpoczyna się od obserwacji toru oddechowego (żebrowo-obojczykowy, żebrowo-przeponowy, mieszany). Niekiedy badanie to uzupełnia się obserwacją ruchów przepony podczas swobodnego oddechu, mowy i śpiewu w obrazie radiograficznym, przy czym zwraca się uwagę na symetrię i zakres ruchów przepony, na sposób poruszania się przepony podczas wydechu w czasie fonacji (ruchy symetryczne, jednostajne, schodkowane, zbyt szybkie). Często stosowanym badaniem narządu oddechowego jest pneumografia, polegająca na rejestracji ruchów oddechowych klatki piersiowej i powłok brzusznych (ryc. 34.).

Podczas mowy obserwuje się na pneumogramie pewien asynchronizm między krzywą piersiową brzuszną. Faza wydechowa brzuszna zaczyna się wcześniej, krzywa brzuszna opada wtedy, gdy piersiowa jeszcze się wznosi. Oddech podczas mowy i śpiewu podlega kontroli ośrodkowego układu nerwowego i mają na niego wpływ bodźce psychiczne.

Do rzadziej stosowanych metod należą: spirometria i spirografia, pneumotachometria (pomiar ilości

wydechanego powietrza podczas tonacji w czasie 1 s), volumetria oddechowa (pomiar całkowitego zużycia powietrza podczas fonacji). Z nowszych metod badania narządu oddechowego należy wymieść elektromiografię i chronoksymetrię mięśni oddechowych, radiokimografię przepony i badania wentylacji pęcherzykowej płuc, pęcherzykowego zużycia i ciśnienia tlenu.

Pneumotachografia. Metoda ta ma zastosowanie w badaniu narządu głosu poprzez pomiar szybkości przepływu strumienia powietrza w czasie fonacji, którego dokonuje się, mierząc różnice ciśnień między dwoma punktami przewodu pomiarowego. Różnice te są proporcjonalne do szybkości przepływu strumienia powietrza. Pneumotachograf składa się z przewodu pomiarowego, umieszczonego w masce obejmującej nos i usta, przetwornika ciśnienia i urządzenia rejestrującego. Przetwornik ciśnieniowy powoduje przepływ prądu proporcjonalny do szybkości przepływu powietrza, poprzez całkowanie tej wartości można otrzymać objętość przepływającego po-



Ryc. 34. Pneumogram w czasie oddychania w spoczynku (1) i mowy (2): a – wdech, b – wydech



wietrza w jednostce czasu. Objętości te w czasie spokojnego oddychania wynoszą od 0,2 do 0,5 l/s, w czasie fonacji z natężeniem ok. 80 dB wynosi od 0,2 do 0,3 l/s. Wzrost natężenia głosu powoduje zwiększone wartości zarówno średniego przepływu powietrza, jak i ciśnienia podgłośniaowego.

Pneumotachografia ma pewne wady: zakładanie maski przy tym pomiarze stwarza nienaturalne warunki fonacji i artykulacji, uzyskiwane wyniki badań nie pozwalają na jednoznaczne odróżnienie wartości fizjologicznych od patologicznych, niemniej jednak wartości szybkości przepływu strumienia powietrza w czasie tonacji są przydatne w obliczaniu niektórych wskaźników aerodynamicznych funkcji krtani.

Spirometria i spirografia. Badania te mają w ocenie narządu głosowego wartość drugorzędą, oceniają one przede wszystkim funkcję płuc i mają zasadnicze znaczenie w diagnostyce chorób układu oddechowego, w tym również w określaniu roli krtani w utrudnieniu oddychania (zmiany zwięzające szerokość głośni). Pomiar pojemności życiowej płuc odgrywa też drugorzędą rolę w czasie tonacji, powietrze wydychane w czasie fonacji odpowiada od 70–80 do 100% (u śpiewaków) tej pojemności, niemniej jednak wartość ta, obliczona za pomocą precyzyjnej aparatury, stanowi pewien wskaźnik w ocenie przydatności do pracy wymagającej sprawnego narządu głosowego. Niektóre wskaźniki obliczane z zastosowaniem wartości statycznych i dynamicznych uzyskanych w badaniach naukowych dotyczą określenia procesów aerodynamicznych zachodzących w krtani i obliczania, tzw. wskaźników aerodynamicznych czynności krtani.

Czynniki określające aerodynamiczne aspekty czynności krtani

- ▶ **Wskaźnik zużycia powietrza** (Sawashima) lub współczynnik fonacji (*Phonation Quotient, PQ*) (Hirano i in.) wyraża się stosunkiem pojemności życiowej (VC) do maksymalnego czasu fonacji (MPT):

$$PQ = \frac{VC}{MPT}$$

Prawidłowe wartości u mężczyzn wynoszą 145 cm³/s, u kobiet – 135 cm³/s.

- ▶ **Pojemność fonacyjna (PV)** jest określana jako ilość powietrza wydychanego podczas maksymalnego czasu fonacji. Dla pojemności życiowych od 3 tys. do 6 tys. cm³ istnieje liniowa zależność między pojemnością fonacyjną a pojemnością życiową i wyraża się wzorem:

$$PV = 0,86 \times VC - 891$$

Stosunek wartości PV do VC w warunkach fizjologicznych wynosi przeciętnie u mężczyzn 67 i u kobiet 59. Zależność pojemności fonacyjnej od średniej wartości przepływu powietrza (*mean flow rate, MFR*) i maksymalnego czasu fonacji (*maximal phonation time, MPT*) wyraża równanie:

$$PV = MFR \times MPT$$

- ▶ **Średni przepływ powietrza w czasie fonacji (MFR)** wyraża równanie:

$$MFR = \frac{PV}{MPT} \text{ l/s}$$

Równanie to ma zastosowanie przede wszystkim do średnich i górnych zakresów głosu, ponieważ krtań wykazuje większą stabilność w czasie tworzenia tych tonów aniżeli niskich. U zdrowych osobników wartości MFR w czasie maksymalnej tonacji wahają się przy średnim natężeniu głosu ok. 0,15 l/s, w patologicznych głosach mogą przybierać wartości 0,020–1 l/s. Można przyjąć, że niskie wartości MFR a małe objętości fonacyjne (PV) są charakterystyczne dla nienormalnie wysokiego napięcia struktur krtaniowych, natomiast wysokie wartości tych wskaźników – dla odwrotnej sytuacji w krtani. Płynność tych wskaźników może wskazywać na niestabilizowane warunki wytwarzania głosu.

- ▶ **Wskaźnik szybkości głosowej (vocal velocity index – VVI)** jest stosunkiem średniego przepływu powietrza (MFR) do pojemności życiowej płuc (VC).

$$VVI = \frac{MFR}{VC}$$

Wskaźnik ten został wprowadzony przez Koike i Hirano i jego wartości zależą od płci. Wartości fizjologiczne wahają się od 14,5 do 45,0 a w warunkach patologicznych od 7,6 do 243,3. Wskaźnik ten zależy przede wszystkim od wartości średniego przepływu powietrza i istnieje odwrotna proporcjonalność między tym wskaźnikiem i sposobem fonacji. Chorzy z bardzo dużymi wartościami VVI prezentują hipofunkcyjny sposób fonacji i odwrotnie, chorzy z niskimi wartościami tego wskaźnika reprezentują hiperfunkcyjny sposób fonacji.

- ▶ **Wskaźnik wydolności głosowej – (vocal efficiency index – VEI)** wg Isshiki z fizjologicznego punktu widzenia jest to stosunek natężenia głosu do energii zużytej na fonację w jednostce czasu. Z technicznego punktu widzenia wskaźnik ten można określić jako stosunek natężenia głosu do podgłośniaowego ciśnienia powietrza pomnożonego przez przepływ powietrza. Głośnia funkcjonuje jako przetwornik prze-



plywu powietrza z prądu stałego (DC) na zmienny (AC), tworząc pierwotny ton krtańowy. Stosunek AC/DC wskazuje jak skutecznie krtań pracuje jako generator tonu podstawowego [Isshiki]. Wskaźnik ten wynosi zawsze mniej niż 0,5 przy pełnym zamknięciu głośni.

Kompleksowe metody badania czynności narządu głosowego. Oprócz metod stosowanych przy obliczaniu wskaźników określających aerodynamiczne aspekty czynności krtań stosuje się również łączenie innych metod badania głosu w pewne zestawy, mające zapewnić optymalne określenie sprawności narządu głosowego w określonych warunkach. Należy wymienić tutaj: 1) łączenie metod pneumotachograficznych ze spirometrycznymi oraz pomiarem napięcia głosu i dokładnością fonacji [Stuerzbacher i in., Seidner i in.]; 2) pomiary wydolności wytwarzania głosu wprowadzone przez Schutte w 1980 r., łączące pomiary tachopneumograficzne z pomiarami napięcia głosu i pośrednio mierzonego w przetyku ciśnienia podgłośniowego; 3) metodę *voxmonitor*, zastosowaną przez Siegerta i in. w 1981 r., polegającą na jednoczesnym pomiarze częstotliwości podstawowej, ciśnienia podgłośniowego mierzonego w przetyku i napięcia głosu.

Ostatnio wprowadza się do badań narządu głosu tzw. kompleksowe metody badania, w których w czasie tworzenia się głosu wykonuje się pomiary: pneumograficzne, ciśnienia w przetyku, tachopneumograficzne i glottograficzne, badanie EMG oraz rejestrację głosu. Badanie takie umożliwia niewątpliwie wielostronną ocenę narządu głosowego, powoduje jednak z drugiej strony nadmierne obciążenie osoby badanej, co nie pozostaje na pewno bez ujemnego wpływu na przebieg fonacji.

Wszystkie ww. metody dokonują oceny narządu głosu w nienaturalnych warunkach fonacji, są mniej lub więcej inwazyjne dla badanego i nie pozwalają na jednoznaczne odróżnienie wartości fizjologicznych od patologicznych, dlatego mają ograniczone zastosowanie w rutynowych badaniach klinicznych narządu głosowego i powinny być w zasadzie zarezerwowane dla przypadków wybranych oraz badań naukowych.

Piśmiennictwo

- Aronson AE. Clinical voice disorders. 2 ed. Thieme, New York 1985.
- Barth V. Die Lupenstroboskopie. HNO 1977; 25: 35.
- Biesalski P, Pruszczyk A. Phoniatics aspects of diagnostics and therapy of communication disorders in children with hearing impairment. I EUFOS Congr. Paris 1988; 26: 299 Contribut. of UEP, 48-58.
- Bless DM, Baken RJ. Assessment of voice. J Voice 1992; 6: 95-97.
- Bough D, Heuer RJ, Sataloff RT, Hills JR, Cater JR. Intrasubject variability of objective voice measures. J Voice 1996; 10: 166-174.
- Böhme G. Stimm-Sprach und Sprachstörungen. Fischer, Stuttgart 1974.
- De Bodt MS, Van de Heyning PH, Wuyts FL, Lambrechts L. The perceptual evaluation of voice disorders. Acta Oto-Rhino-Laryngol (Belg.) 1996; 50: 283-291.
- Dejonckere PH, Crevier L, Elbaz E, Marraco M, Remacle M, Woissard V. Clinical implementation of a multidimensional basic protocol for assessing functional results of voice therapy. Proc. of 4th EUFOS Congress; Berlin 2000: 561-565.
- Dejonckere PH, Crevier L, Elbaz L, Marraco M, Millet B, Remacle M, Woissard V. Quantitative rating of videolaryngostroboscopy: a reliability study. Rev Laryngol Otol Rhinol 1998; 119: 259-260.
- Dejonckere PH, Lebacqz J. Plasticity of voice quality: a prognostic factor for outcome of voice therapy. J Voice 2001; 15: 251-256.
- Demenko G. Analiza cech suprasegmentalnych języka polskiego na potrzeby technologii mowy. Praca habilitacyjna. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 1999.
- Demenko G, Pruszczyk A, Wika T. Analiza periodyczności parametru Fo u osób z zaburzeniami słuchu i mowy. IPPT PAN 1989; 22: 1-47.
- Domański R, Furman W. Rola laryngografii w badaniach porażenia fałdów głosowych. Otolaryngol Pol 1968; 22: 319.
- Donat-Jasiak T, Pruszczyk A, Niedbala B. Przyczynek do ciągłej rejestracji zmian ciśnienia w przetyku w czasie mowy u chorych po laryngotomii. Otolaryngol Pol 1968; 22: 759.
- Frank F, Sparber M. Stimmfänge bei Erwachsenen aus neuer Sicht. Folia Phoniater 1970; 22: 403.
- Frank F, Sparber M. Stimmfänge bei Kindern aus neuer Sicht. Folia Phoniater 1970; 22: 397.
- Gall V. Fotokymografische Befunde bei funktionellen Dysphonien, Kehlkopfentzündungen und Stimmlippenentzündungen. Folia Phoniater 1978; 30: 28-35.
- Gall V, Hanson J. Bestimmung physikalischer Parameter der Stimmlippen schwingungen mit Hilfe der Laryngophotokymografie. Folia Phoniater 1973; 25: 450-458.
- Giovanni A, Revis J, Triglia JM. Objective aerodynamic and acoustic measurement of voice improvement after phonosurgery. Laryngoscope 1999; 109: 656-660.
- Gross M. Endoskopische Larynx-Fotokymografie. Renate Gross Verlag, Bingen, Germany 1988.
- Gross M. Larynxfotokymographie. Sprache, Stimme, Gehör 1985; 9: 112-118.
- Gubrynowicz R, Mikiel W, Żarnecki P. Akustyczna metoda oceny stanu źródła krtańowego w przypadkach zmian patologicznych fałdów głosowych. Arch Akust 1980; 15: 3-30.
- Habermann G. Stimme und Sprache. Thieme, Stuttgart 1986.
- Hammarberg B. Voice research and clinical needs. Folia Phoniater Logop 2000; 52: 93-102.
- Hirano M. Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its variations. Folia Phoniater 1974; 26: 89.
- Hirano M. Objective evaluation of the human voice: clinical aspects. Folia Phoniater 1989; 41: 89-144.
- Hirano M, Bless D. Videostroboscopic examination of the larynx. Singular Publishing Group Inc.; San Diego, California 1993.
- Hirano M, Ohala J. Use of hooked wire electrodes for electromyography of the intrinsic laryngeal muscles. J. Speech Hear Res 1969; 12: 262.
- Hirose H, Guy T. Laryngeal control in vocal attack. An electromyographic study. Folia Phoniater 1973; 25: 203-213.
- Isshiki N. Vocal efficiency index. In: Vocal fold physiology. Ed. K. N. Stevens, M. Hirano, Univ. Tokyo Press, Tokyo 1981, 193.
- Isshiki N, Yanagihara N, Morimoto M. Approach to the objective diagnosis of hoarseness. Folia Phoniater 1966; 18: 393-400.
- Iwata S, Leden H. v. Clinical evaluation of vocal velocity index in laryngeal disease. Ann Otol Rhinol Laryngol 1970; 79: 259.
- Jassem W. Podstawy fonetyki akustycznej. PWN, Warszawa 1973.
- Kacprowski J. Obiektywne metody akustyczne w diagnostyce narządu głosu. Arch Akust 1979; 14: 287-304.
- Kaneko T, Numata T, Suzuki H, et al. Newly developed ultrasound la-



- ryngographic equipment and its clinical application. *Vocal Fold Physiology*, 2nd vol. Ed. O. Fujimura. Raven Press, New York 1988, 271-278.
36. Kasuya H, Ogawa S, Mashima K, Ebihara S. Normalized noise energy as an acoustic measure to evaluate pathologic voice. *IASA* 1986; 80: 1329-1334.
 37. Kittel G. Lupen-Mikro-TV-Farbstroboskopie mit Amplitudenbestimmungsmöglichkeiten. *HNO* 1978; 26: 94-98.
 38. Kittel G, Moser M. Objektivierung Stimmunreinheiten mittels Computer. *Sprache, Stimme, Gehör* 1982; 6: 114-120.
 39. Kitzing P. Phoniatric aspects of microlaryngoscopy. *Acta Phoniatr Lat* 1987; 9: 31.
 40. Kitzing P. Stroboscopy a pertinent laryngological examination. *J Otolaryngol* 1985; 14: 151-160.
 41. Klingholz F, Arndt HJ. Die akustische Analyse des primären Kehlkopfnes. *Sprache-Stimme-Gehör* 1988; 12: 1-4.
 42. Kordylewska M, Szmaja Z, Kruk-Zagajewska A. Trudności diagnostyczne w ocenie ultrasonograficznej tkanek u osób w starszym wieku. *Otolaryngol Pol* 1977; 51, supl. 24: 232-233.
 43. Kotby MN, Titze IR, Saleh MM, Berry DA. Fundamental frequency stability in functional dysphonia. *Acta Otolaryngol (Stockh.)* 1993; 113: 439-444.
 44. Laver J. The phonetic description of voice quality. *British Library Catalogue in Publication Data*, Cambridge University Press 1980.
 45. Leden Hv, Moore P, Timcke R. Laryngeal vibrations: measurements of the glottic wave. *Arch Otolaryngol* 1960; 71: 16-21.
 46. Loebell E. Direkte subglottische Luftdruckmessung. In: *Vox Humana. Papers on speech research*. VOL. 5. Univ. Yvääkylä, Yvääkylä 1982.
 47. Luchsinger R, Arnold GE. *Voice-speech-language, clinical communication: its physiology and pathology*. Wadsworth, Belmont 1965.
 48. Maniecka-Aleksandrowicz B. Badania tonu podstawowego w diagnostyce i rehabilitacji porażeni krtani po operacjach tarczycy. *Rozprawa habilitacyjna*. AM Warszawa 1990.
 49. Mitrzynowicz-Modrzejewska A. *Fizjologia i patologia głosu*. PWN, Warszawa 1958.
 50. Morsomme D, Jamart J, Wery C, Giovanni A, Remacle M. Comparison between the GIRBAS scale and the acoustic and aerodynamic measures provided by EVA for the assessment of dysphonia following unilateral vocal fold paralysis. *Folia Phoniatr Logop* 2001; 53: 317-325.
 51. Niedzielska G, Pruszewicz A. Acoustic and morphological lesions of the larynx in alcoholics. *Voice Update*. Elsevier Science B. V. 1996; 357-362.
 52. Niedzielska G, Pruszewicz A, Świdziński P. Acoustic evaluation of voice in individuals with alcohol addiction. *Folia Phoniatr Logop* 1994; 46: 115-122.
 53. Obrębowski A. Badania kliniczne i elektroakustyczne nad egzogenną wurylizacją narządu głosu. *Rozprawa habilitacyjna*. Poznań 1982.
 54. Obrębowski A, Pruszewicz A, Hojan B. Badania akustyczne głosu zwirilizowanego i ich przydatność w rehabilitacji foniatrycznej. *Otolaryngol Pol* 1983; 37: 327-329.
 55. Pahn J, et al. Elektromyografische Untersuchungen zum Symptom des Randregisters bei Larynxparesen. *Folia Phoniatr* 1985; 3: 259.
 56. Pascher W, Homoth R, Kruse G. Verbesserung der visuellen Diagnostik in der Laryngologie und Phoniatrie. *HNO* 1971; 19: 373-375.
 57. Perelló J, Tosi O. Phonogram. *Folia Phoniatr* 1974; 26: 289-291.
 58. Pruszewicz A. *Foniatria kliniczna*. PZWL, Warszawa 1992.
 59. Pruszewicz A i wsp. Komputerowe pole głosowe dla mowy w warunkach fizjologicznych i w niektórych stanach patologicznych. *Otolaryngol Pol* 1988; 42: 193-199.
 60. Pruszewicz A i wsp. Przydatność stroboskopii konwencjonalnej i lupowej w diagnostyce raka krtani. W: *XXXII Zjazd Polskiego Towarzystwa Otolaryngologicznego, Łódź 24-26 IX 1983*. Red. M. Gryczyński (i in.). Supl. do *Otolaryngol. Pol* 1984, PZWL, Warszawa 1984; 88-91.
 61. Pruszewicz A, Kruk-Zagajewska A. Zaburzenia foniatryczne u chorych po resekcjach języka z powodu nowotworów złośliwych. *Otolaryngol Pol* 1977; 31: 281-290.
 62. Pruszewicz A, Obrębowski A, Grądzki J. Anwendung der Kontrastlarynxtomographie in der Stimmpathologie. *Sprache, Stimme, Gehör* 1981; 5: 46-50.
 63. Pruszewicz A, Obrębowski A, Jassem W, Kubzdela H. Ausgeprägte akustische Merkmale wirilisierten Mädchensstimmen. *Folia Phoniatr* 1973; 25: 331-341.
 64. Pruszewicz A, Obrębowski A, Świdziński P, Demenko G, Wika T, Wojciechowska A. Usefulness of acoustic studies of the differential diagnosis of organic and functional dysphonia. *Acta Otolaryngol (Stockh.)* 1991; 111: 414-419.
 65. Pruszewicz A, Świdziński P, Obrębowski A, Świdziński W. Acoustic analysis of functional voice disorders. XXth Congress UEP, Budapest, November 1997.
 66. Rasinger GA et al. Die flexible Videoendostroboskopie: Erste Ergebnisse optischer Bio-Feedback-Mechanismen in der phoniatische Therapie. *Sprache, Stimme, Gehör* 1985; 9: 114.
 67. Remacle M. The contribution of videostroboscopy in daily ENT practice. *Acta Oto-Rhino-Laryngolog (Belg.)* 1996; 50: 265-281.
 68. Sataloff RT. *Professional voice*. Singular Group, San Diego 1997.
 69. Schilling R. *Stimmuntersuchungen an Studenten der Universität Freiburg*. *Br Z Laryngol* 1931; 21: 529-538.
 70. Schönharl E. *Die Stroboskopie in der praktischen Laryngologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1960.
 71. Schultz-Coulon HJ. Die Diagnostik der gestörten Stimm-Hören mit dem Hörgerät. *Sprache, Stimme, Gehör* 1978; 2: 61-79.
 72. Schultz-Coulon HJ, Klingholz F. Objektive und semiobjektive Untersuchungsmethoden der Stimme. *Proceeding XV UEP Congress, Erlangen* 1988; 1-90.
 73. Schutte AK, van den Berg JW. Genaue Messung des subglottischen druches mittels einer indirekten Methode. *Acta Phoniatr Lat* 1987; 9: 217-225.
 74. Schutte HM, Svec JG, Sram F. First results of clinical application of videokymography. *Laryngoscope* 1998; 108: 1206-1210.
 75. Sedlačková E. *Analysi acoustique de la voix de nouveau nés*. *Folia Phoniatr* 1964; 16: 44-50.
 76. Seidner W, Schutte HK. Empfehlungen der UEP: Standardisierung Stimmfeldmessung/Phonetographie. *HNO Praxis* 1981; 6: 305-311.
 77. Seidner W, Wendler J, Halbedl G. Mikrostroboskopie. *Folia Phoniatr* 1972; 24: 81-88.
 78. Siegert C, et al. Weiterführende Ergebnisse zum Leistungsverhalten des Stimmorgans. *HNO Praxis* 1981; 6: 181-184.
 79. Sonninen A et al. Computer voice field descriptions of speech audiometry word lists. *Liber Amicorum*. Ed. L. van Gelder (et al.). Drukkerij Elinkwijk. Utrecht 1987; 45-57.
 80. Sopko J. Zur Objektivierung der Stimmlippenschwingungen Mittel synchroner elektroglottographischer und stroboskopischer Untersuchung. *Sprache, Stimme, Gehör* 1986; 10: 83-90.
 81. Sram F, Syka J. Firing pattern of motor units in the vocal muscle during phonation. *Acta Otolaryngol (Stockh.)* 1976; 84: 132-141.
 82. Stasney CR. *Atlas of dynamic laryngeal pathology*. Singular Publishing Group Inc., San Diego, London 1996.
 83. Szyfter W, Pruszewicz A, Woźnica B, Świdziński P, Szymiec E, Karlik M. The acoustic analysis of voice in patients with multi-channel cochlear implant. *Rev Laryngol Otol Rhinol* 1996; 117: 225-227.
 84. Świdziński P. Przydatność analizy akustycznej w diagnostyce zaburzeń głosu. *Rozprawa habilitacyjna*. AM Poznań 1998.
 85. Świdziński P, Pruszewicz A, Obrębowski A, Wika T, Demenko G. Akustyczne badania różnicowe w schorzeniach nowotworowych głośni. *Otolaryngol Pol* 1997; 51, supl. 28: 137-141.
 86. Titze IR. Current topics in voice production mechanism. *Acta Otolaryngol* 1993; 113: 421-427.
 87. Van de Heyning PH, Remacle M, Van Cauwenberge P. Functional assessment of voice disorders. *Acta Oto-Rhino-Laryngol (Belg.)* 1996; 50: 249-251.



88. Wendler J, et al. Tele-Mikrostroboskopie. *Folia Phoniatr* 1973; 25: 281-290.
89. Wendler J, Koeppen K, Fischer S. The validity of stroboscopic data in terms of qualitative measurement. In: *Proceedings of International Conference on Voice*, Kurume 1986. Ed. M. Hirano, S. H. Hibi, vol. 1., Kurume 1986; 36.
90. Wendler J, Seidner W, Kittel G, Eysholdt U. *Lehrbuch der Phoniatrie u. Paedaudiologie*. Thieme, Stuttgart-New York 1996.
91. Wendler J, Seidner W, Rose A, Simin B, Ulbrich H. Zur praktischer Nomenklatur der funktionellen Dysphonien. *Folia Phoniatr* 1973; 25: 30-38.
92. Williams GT, Farquharson LM, Anthony J. Fiberoptic laryngoscopy in the assesment of laryngeal disorders. *J Laryngol (Lond.)* 1975; 89: 299.
93. Wiskirska-Woźnica B. *Kompleksowa ocena głosu w schorzeniach organicznych i czynnościowych krtani*. Praca habilitacyjna. Poznań 2002.
94. Wolf SR. Elektrodenapplikator fuer die endolaryngeale Kehlkopfmographie im Lokalanaesthesie. *Laryngo-Rhino-Otol* 1995; 74: 460-462.
95. Woo P. Quantification of videostroboscopic findings – measurements of the normal glottal cycle. *Laryngoscope* 1996; 106, Suppl. 79: 1-27.
96. Woźnica B, Pruszewicz A, Obrębowski A, Świdziński P. Complex voice assessment after microsurgery of vocal fold. *Aktuelle phoniatisch-paedoaudiologische Aspekte 2000/2001*; Band 8, Median Verlag: 65-67.
97. Yanagihara N. Significance of harmonic changes and noise components in hoarseness. *Speech Hear Res* 1967; 10: 531-541.

