

Definicja fizyczna śpiewu

Profesjonalny głos śpiewaczy to złożony aerodynamiczny proces, zdeterminowany koniecznością uzyskania maksymalnego poziomu wyjściowego głosu poprzez odpowiednią koordynację oddychania, fonacji i kształtowania charakterystyki rezonansowej traktu głosowego

Muzyczna definicja śpiewu:

Narząd śpiewu jest instrumentem muzycznym
(instrument dęty o podwójnym ograniczonym stroiku-*Drobner*)

Źródło dźwięku – Struny głosowe

Generator – Strumień powietrza

Amplifikator – Rezonatory nadające nośność i brzmienie

Część tego instrumentu ma budowę daną przez naturę, budowę niezmienną, ale na wiele jego parametrów wokalista może i powinien mieć wpływ, tak aby móc zagrać na głosie jak wirtuoz na instrumencie solowym



Sopran jest najwyższy z głosów, jego skala obejmuje od $h - c^1$ do $(a^2) c^3 - f^3$. Dostrzeżenie zróżnicowania między głosami żeńskimi (zwłaszcza sopranami) przypadło na drugą połowę wieku XVIII. W zależności od barwy głosu, charakteru i elementów techniki wokalne rozróżniamy:

- ⊗ **sopran koloraturowy** – głos o dużej lekkości i ruchliwości oraz największej skali. Ukształtowany został na gruncie muzyki operowej początku XIX stulecia (przede wszystkim w dziełach Donizettiego, Belliniego i Rossiniego);
- ⊗ **sopran liryczny** – głos o jasnym zabarwieniu, silny, posiadający możliwości liryczne;
- ⊗ **sopran dramatyczny** – głos o dużej sile brzmienia, niezwykle nośny, posiadający ciemną barwę przy typowo sopranowej skali. Jego charakter kształtował się w związku z budową obszernych wnętrz teatrów operowych i sal koncertowych, zwiększaniem składu orkiestry oraz z wymagającymi dużego wolumenu dramatycznymi partiami w operach Verdiego i Wagnera („sopran wagnerowski”).

Mezzosopran – głos o skali od g do a^2 . Charakteryzuje się ciemną barwą. Oznaczenie *mezzosoprano* istniało już w początkach XVII wieku (u Viadany). Mezzosopran w odróżnieniu od sopranu i altu postrzegany był zawsze w wymiarze fizjologicznym (nie formalno-technicznym) jako zróżnicowanie rejestru sopranowego, a później jako głos pośredni między sopranem i altem (niski sopran / wysoki alt).

Kontralt (alt^{53}) – najniższy głos żeński o bardzo ciemnej barwie przypominającej brzmienie tenorowe. Skala głosu od e do g^2 .

b) głosy męskie

Podobnie jak w głosach żeńskich, tu także rozróżniamy trzy główne rodzaje: tenor, baryton i bas, oraz kilka ich odmian.

⁵³ Określenie *alt* odnosi się do głosów chóralnych, w głosach solowych jest to *kontralt*. W Anglii terminem *alt* określa się często głos chłopięcy, zaś głos żeński terminem *kontralt*.

Tenor – najwyższy głos męski o skali od h do c^2 . Do połowy XVII wieku dominował wśród głosów męskich (do połowy XIX wieku ceniona była zwłaszcza liryczna jakość jego wysokiego rejestru, aż do falsetu). Podobnie jak sopran posiada odmiany:

- ⊗ **tenor liryczny** – głos lekki, ruchliwy o skali od c do c^2 ;
- ⊗ **tenor bohaterski** – głos o ciemniejszym zabarwieniu, dużej nośności, głos o dużych możliwościach dramatycznych. Ukształtowany w drugiej połowie XIX stulecia zwłaszcza na gruncie partii wagnerowskich (*Heldentenor*) i verdiowskich (*tenore di forza*).

Baryton – głos o skali od G do a^1 . Posiada ciemną barwę, znaczną siłę brzmienia i duży blask. Ma podobne odmiany jak tenor (liryczny i bohaterski). Jest głosem o znacznych możliwościach wyrazowych.

Bas – najniższy głos o bardzo ciemnej barwie i dużej nośności. Skala od F (C) do e^1 . Określenie *contratenor bassus* pojawia się w połowie XV wieku jako głos w konstrukcji polifonicznej podtrzymujący jej strukturę harmoniczną. W dziejach basu jako głosu solowego znacząco stały dualizm między stosowaniem go w partiach komicznych (u Mozarta, Paisiella, Rossiniego czy Donizettiego) i poważnych, dramatycznych (np. role Plutona, Charona, Seneki u Monteverdiego czy Tezeusza u Rameau). Występuje w odmianach:

- ⊗ **bas-baryton** – głos o skali zbliżonej do barytonu, ale o ciemnej, basowej barwie;
- ⊗ **basso cantante** (bas śpiewny) – głos o miękkim i ciepłym brzmieniu;
- ⊗ **basso buffo** (bas komiczny) – głos predestynowany do wykonywania ról charakterystycznych w operach komicznych, odznacza się dużą ruchliwością;
- ⊗ **basso profondo** (bas głęboki) – głos, którego skala sięga w dół do B kontra i niżej, posiada znaczną siłę brzmienia.

We współczesnej praktyce wokalne obserwować można renesans wysokich głosów męskich. Spośród spotykanych określeń tych rodzajów głosów najczęstsze to **kontratenor**. Pojawia

Teorie powstawania głosu

Do wytworzenia mowy i śpiewu potrzebne jest współdziałanie następujących elementów:

- mechanizmu drgającego powodującego rytmiczne otwieranie się i zamykanie głośni
- podgłośnieniowego ciśnienia wydechowego wytwarzającego podmuch o wysokim ciśnieniu
- przestrzeni rezonansowej klatki piersiowej oraz gardła, jamy ustnej i nosowej, które to nadają dźwiękowi barwę

TEORIA MIOELASTYCZNA

W głosie ludzkim struny głosowe wprawiane są w ruch przez ciśnienie podgłośniowe.

Powietrze przechodząc przez zwarte struny pociera je i w ten sposób wprowadza w drgania o określonej częstotliwości.

-> Kluczowe miejsce w tworzeniu głosu przypisane jest mięśniom oddechowym i krtaniowym.

TEORIA KIONICZNA (1950 Raoul Husson)

Mówi o neurofizjologicznej istocie zjawiska drgania strun głosowych. Husson uważał że drgania strun głosowych

Nie zależą od fali wydychanego powietrza ale od pracy kory mózgowej. Drgania strun głosowych wywołane są

Przez impulsy nerwowe wysyłane przez ośrodkowy układ nerwowy. Impuls nerwowy dochodzący do krtania powoduje

Skórcz, który otwiera szparę głośni, rozkurcz powoduje natomiast jej zamknięcie, a częstotliwość drgań strun głosowych odpowiada częstotliwości impulsów nerwowych. Powietrze wydechowe stanowi jedynie ośrodek rozchodzenia się fali.

Argumenty:

- zarówno ludzie jak i zwierzęta posiadają podobnie zbudowaną krtani, a tylko ludzie wykształcili mowę
- pacjentowi wszczepiono rurkę którą powietrze omijało krtani, w tej samej chwili dźwięk ustał, a drgania strun głosowych trwały aż do chwili zakończenia wydechu

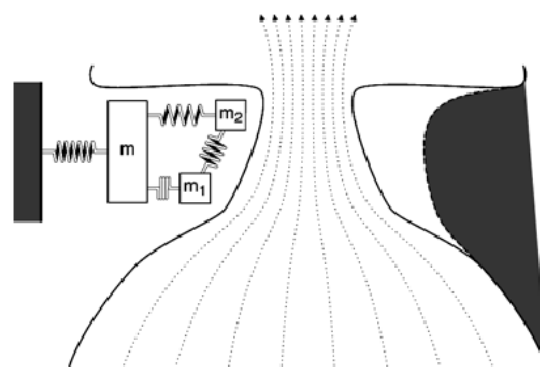
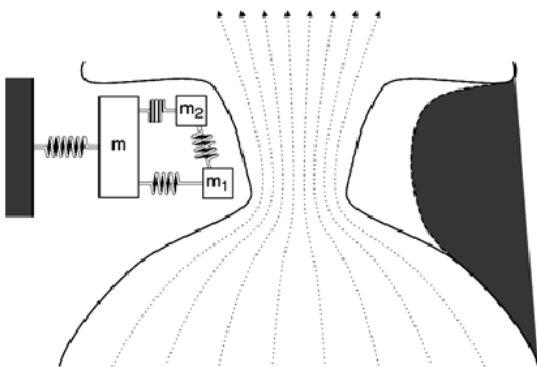
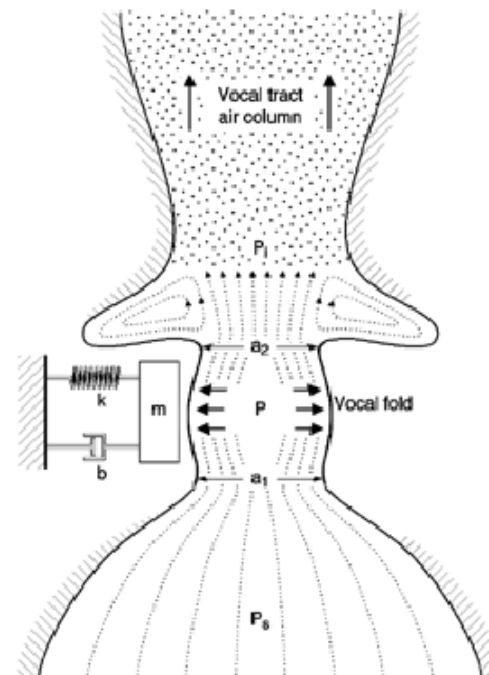
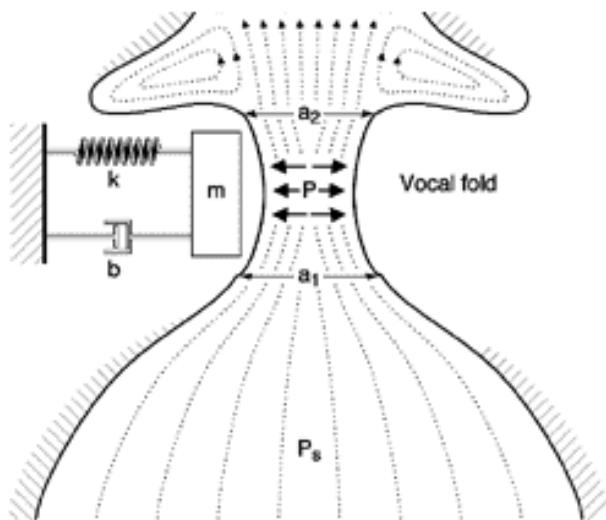
(1953 Laget) Wykazano, że czynność więzadeł głosowych może powstać dzięki impulsom przekazywanym przez nerwy krtaniowe bez udziału prądu powietrza.

TEORIA AERODYNAMICZNA (współczesna)

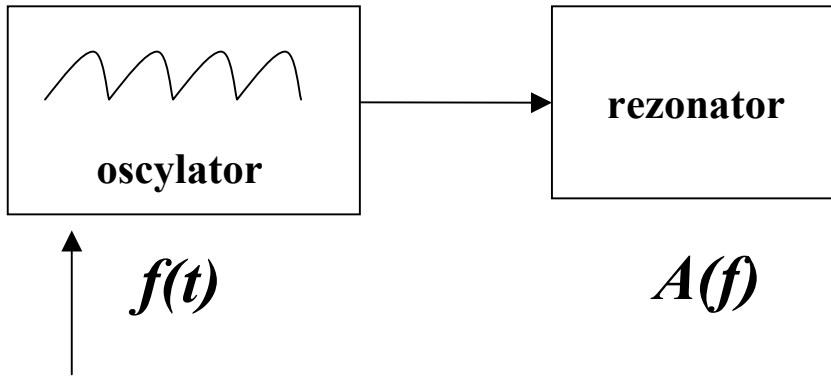
Argumentem podważającym teorię Hussona było eksperymentalne uzyskanie tonu podstawowego z krtani wyciętej ze zwłok.

Ciśnienie podgłośnieniowe w sposób bierny otwiera i zamyka głośnię i jednocześnie podrażnia zakończenia nerwowe, które przenoszą bodźce do mózgu. Ośrodkowy układ nerwowy wysyła impulsy do nerwów krtaniowych, które pozwalają koordynować pracę krtani. Drgania strun głosowych są konsekwencją współzawodnictwa między ciśnieniem podgłośniowym (rozsuwającym struny) a sterowanym przez układ nerwowy skurczem mięśni. Napierający słup powietrza dzielony jest przez drgające struny głosowe na serię rytmicznych podmuchów

Modelowanie oscylacji strun głosowych



model traktu głosowego:

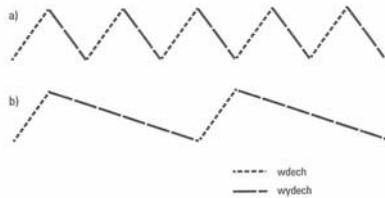


Pobudzenie – (ciśnienie progowe fonacji)

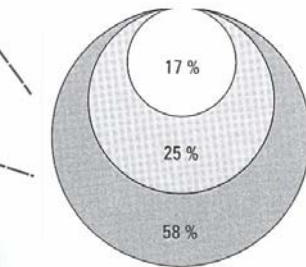
Strumień powietrza niezbędny do mówienia i śpiewania generowany jest przez ciśnienie wywierane na płucach przez przeponę (ang. *diaphragm*) i mięśnie brzuszne (ang. *abdominal muscles*)

Objętość płuc dorosłego człowieka wynosi **6-7 litrów**, jednak tylko ok. **4-5 litrów** może być używanych przy śpiewaniu. **2 litry** są zawsze obecne w płucach i stanowią tzw. residualną objętość(ok. 2 litry). Pozostała objętość jest objętością oddechową (ang. *tidal volume*). Przy oddychaniu używamy tylko **15%** tej objętości ale przy wysiłkach takich jak sport lub śpiewanie możliwe jest używanie pełnej objętości oddechowej.

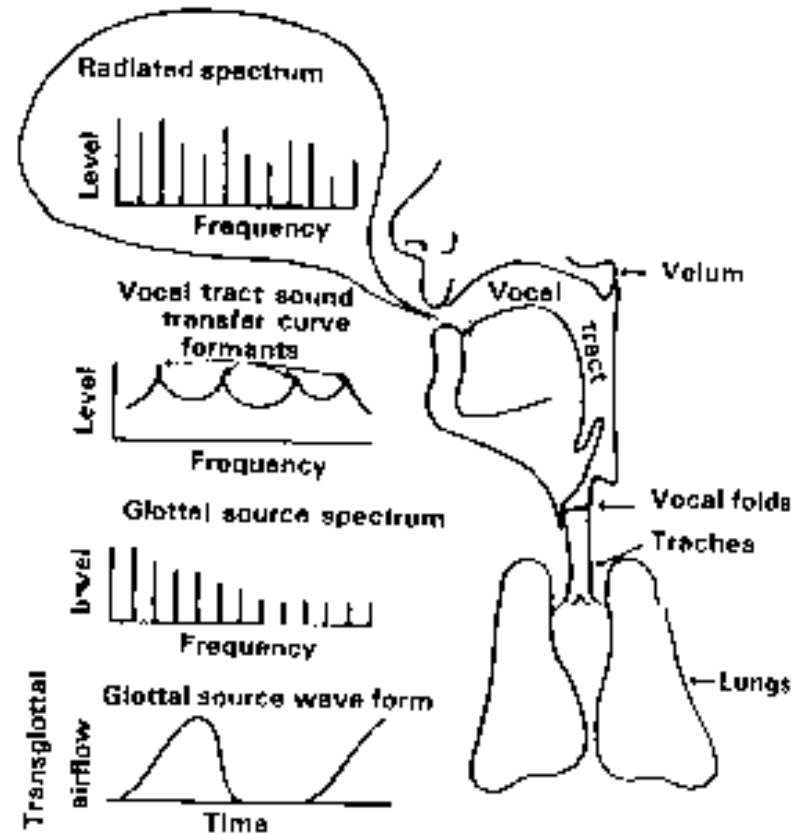
Rys. 13. Fazy wdechu i wydechu w oddychaniu:
a) spoczynkowym,
b) dynamicznym



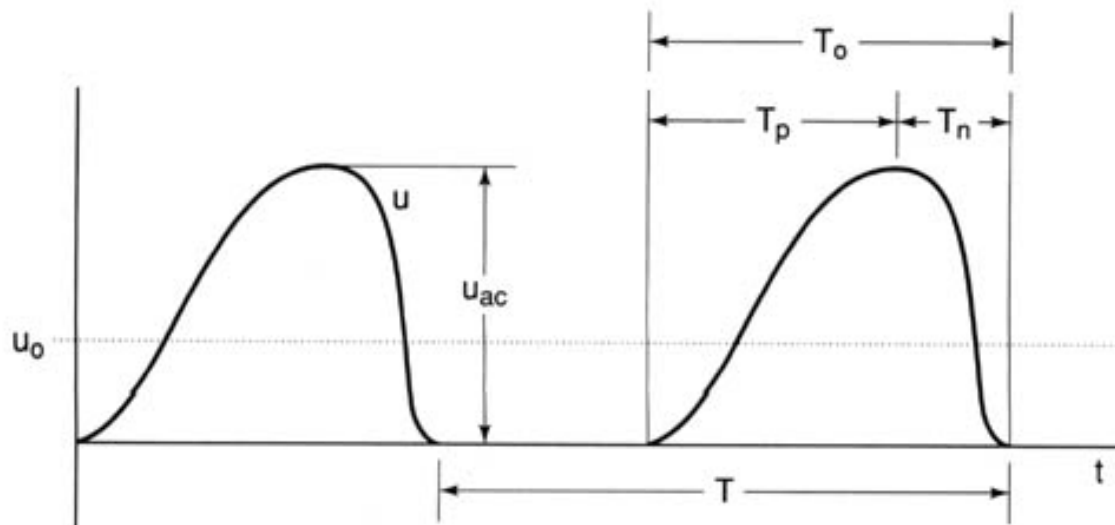
--- wdech
— wydech



□ powietrze zalegające
 ◐ powietrze zapasowe
 ◑ powietrze biorące udział w wymianie gazowej



Parametry tonu krtaniowego



T_p przedział czasu kiedy ciśnienie rośnie (p – ang. *positive*)

T_n przedział czasu kiedy ciśnienie spada. (n – ang. *negative*)

T_o przedział czasu kiedy krtań jest otwarta – powietrze przepływa przez krtań

T długość trwania cyklu (wartość odpowiedzialna za częst. tonu krtaniowego)

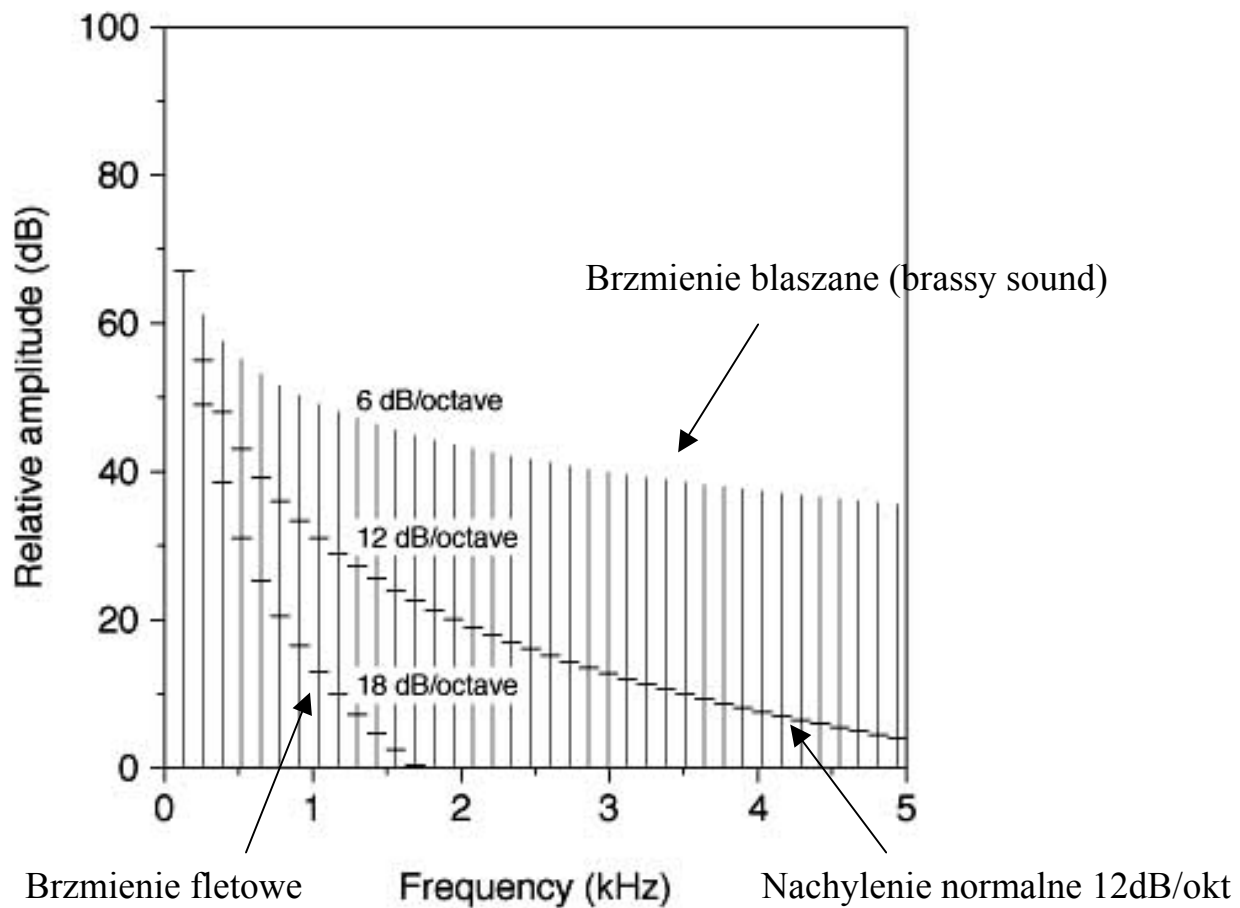
u_o średni poziom ciśnienia

u_{ac} maksymalny poziom ciśnienia

Wsp. wypełnienia $Q_o = T_o / T$

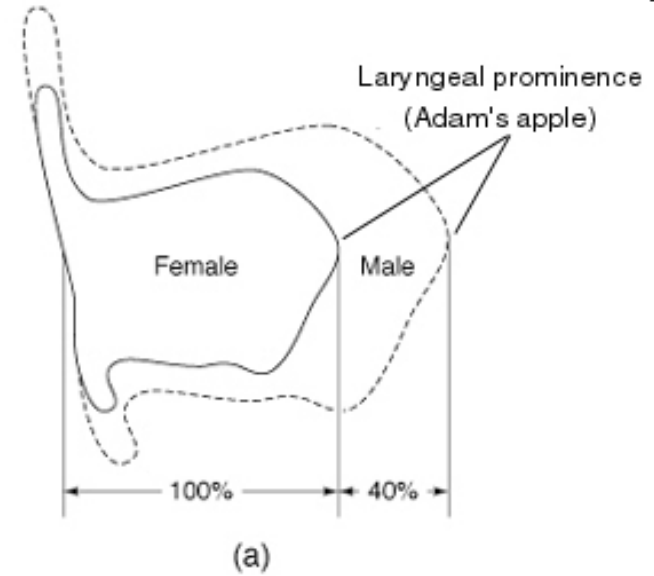
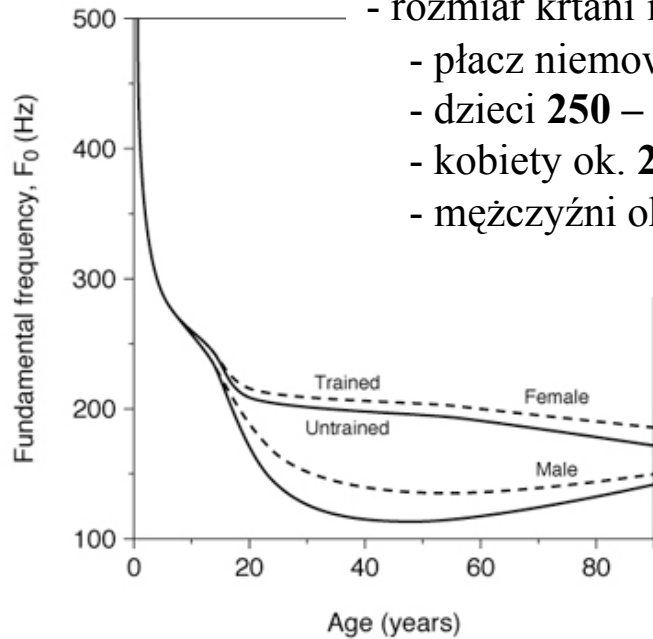
Wsp. skosu
(skewing quotient) $Q_s = T_p / T_n$

Widmo tonu krtaniowego



Czynniki wpływające na częstotliwość tonu krtaniowego

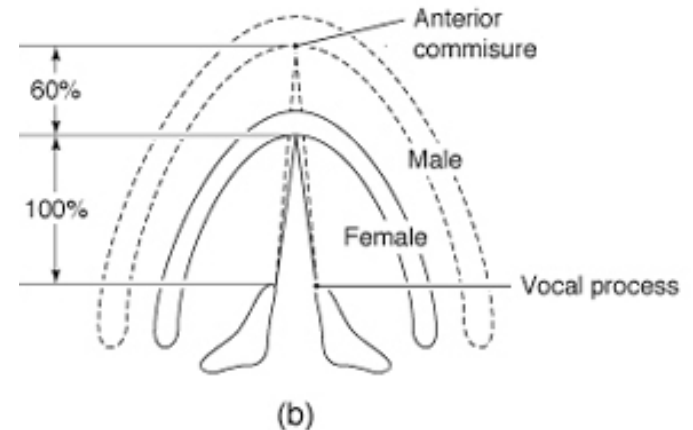
- rozmiar krtani i strun głosowych:
- płacz niemowlaka $f_{TK} \approx 500 \text{ Hz}$
- dzieci **250 – 400 Hz**
- kobiety ok. **200 Hz**
- mężczyźni ok. **150 Hz**



- parametry pracy strun głosowych:

$$F_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

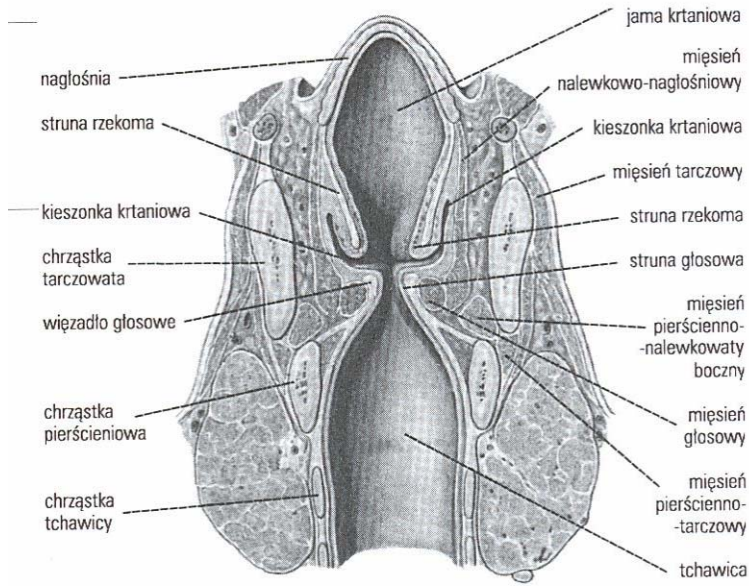
Labels in the diagram:
 - F_0 : Fundamental frequency
 - L : Length of vocal folds
 - σ : Longitudinal stress
 - ρ : Tissue density



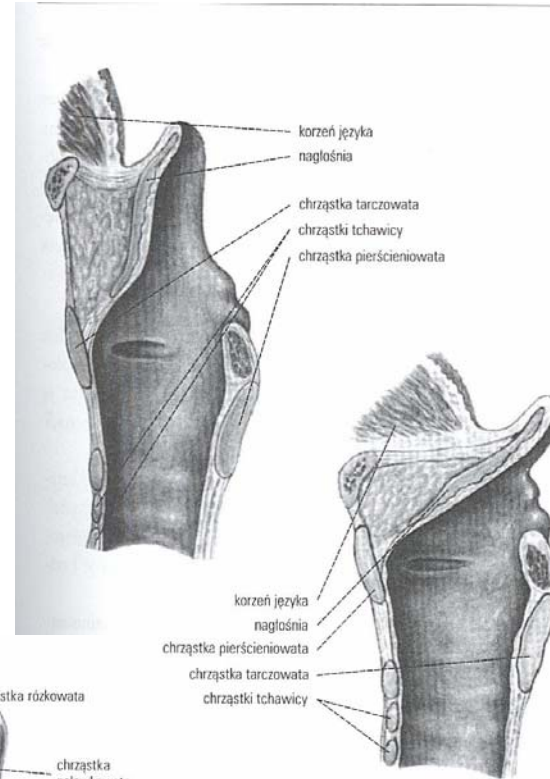
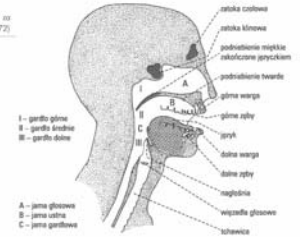
Różnice w rozmiarach krtani mężczyzn i kobiet

Krtań - budowa

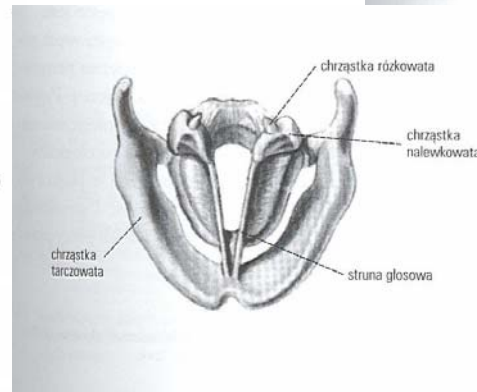
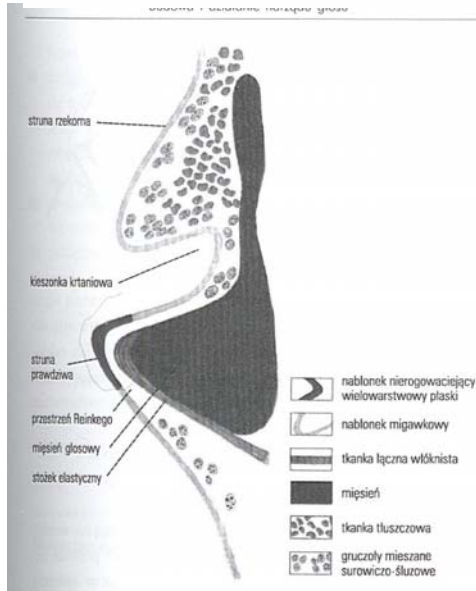
GEOS LUDZKI I JEGO DZIAŁANIE



Rys. 21
Rozmaitości
człowieka (cyt. za
Sobotta 1972)

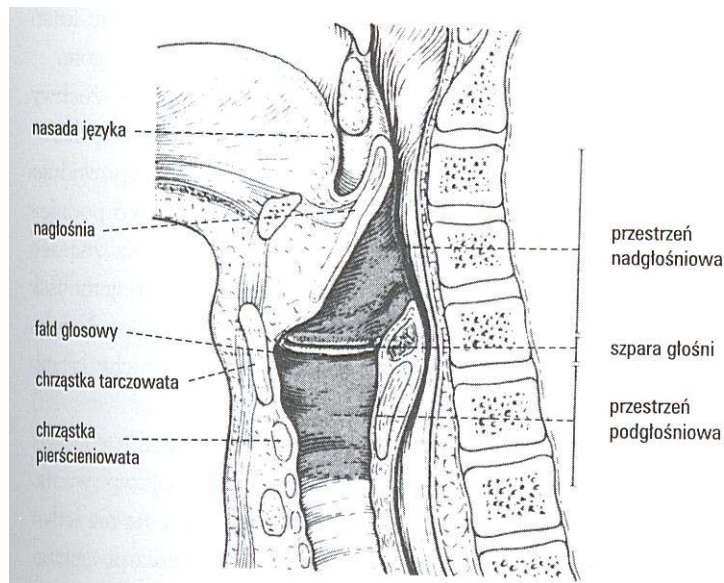
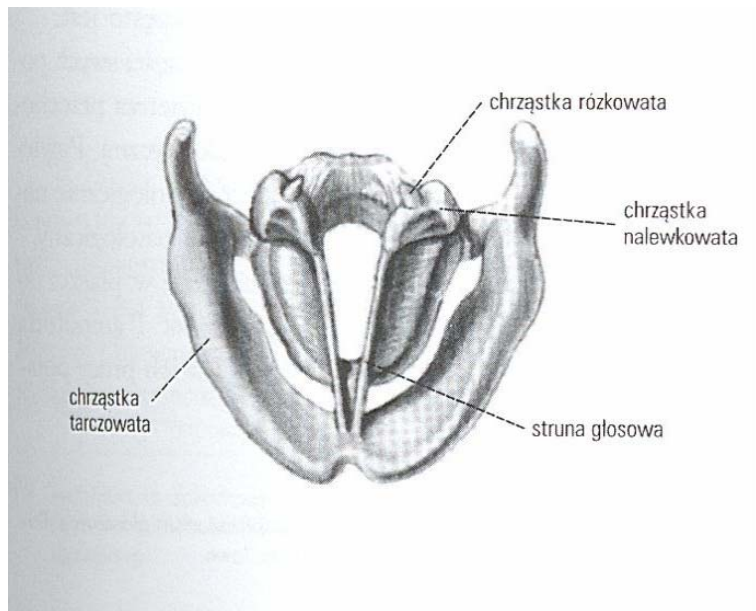


Rys. 6. Krtań
- przekrój
w płaszczyźnie
pośrodkowej:
a) ustawienie
nagłośni w pozycji
oddechowej,
b) ustawienie
nagłośni
w momencie
polykania (cyt. za
Sobotta 1997)



Zwarcie strun (addukcja) (nastawienie głosowe) może być trojakiemu rodzaju:

- nastawienie miękkie – struny zblizają się do siebie i drgają w sposób swobodny.
Jest to fizjologicznie najbardziej poprawny układ strun
- nastawienie twarde – struny zbyt mocno napierają na siebie, przez co drgania są utrudnione
Stan ten pojawia się podczas twardego atakowania dźwięku (głosy amatorskie) lub w stanach osłabienia narządu głosowego.
- nastawienie chuchające – struny głosowe na części swojej powierzchni nie stykają się za sobą, a część powietrza przechodzi swobodnie nie zmieniając się na falę akustyczną i dołącza do dźwięku jako szum -> Objaw patologiczny - bezgłos

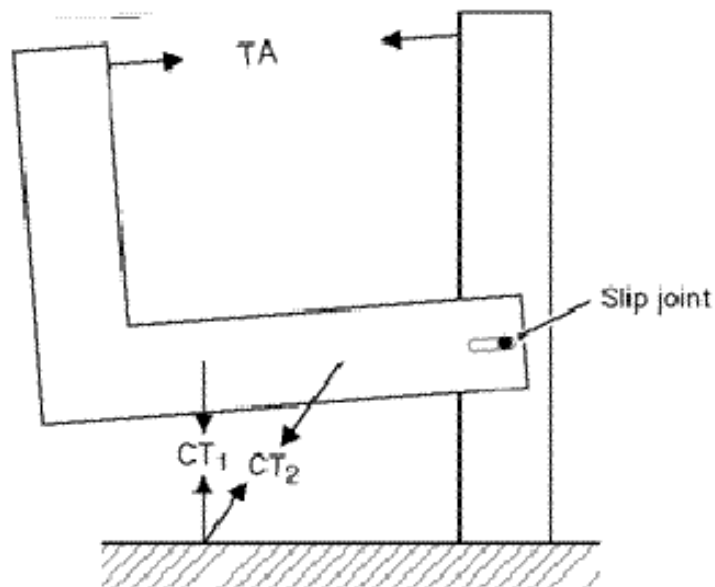


Rys. 12. Jama krtani (cyt. za Boenninghaus 1997)

Funkcje krtani – oddechowa, obronna, fonacyjna

Metoda kontroli częstotliwości tonu krtaniowego

- zmiana długości strun głosowych
- zmiana napięcia strun głosowych



$$F_0 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho}}$$

Fundamental frequency

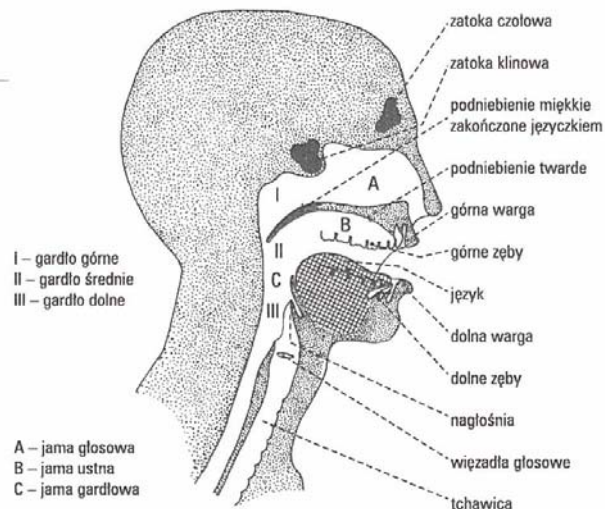
Length of vocal folds

Longitudinal stress

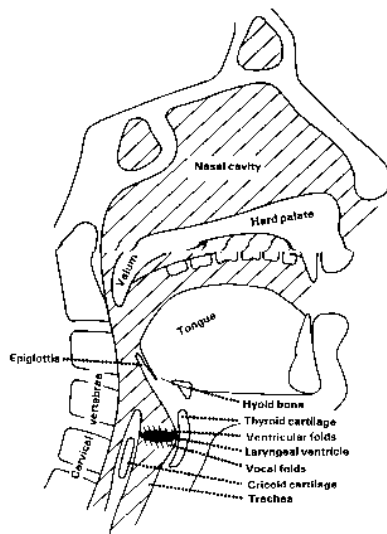
Tissue density

Rezonatory traktu głosowego

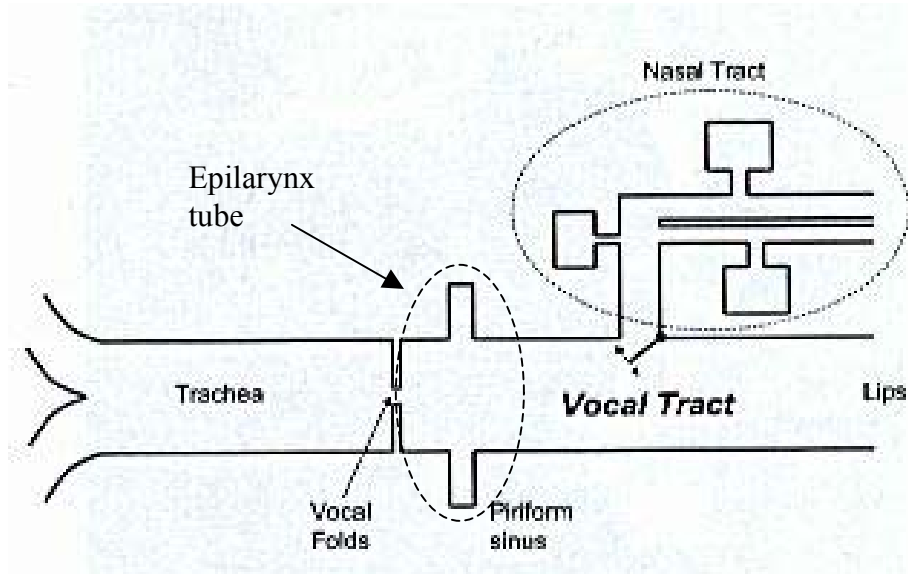
Rys. 21.
Rezonatory
człowieka (cyt. za
Sobierajska 1972)



Fizjologia narządu mowy i śpiewu:



Schemat zastępczy traktu głosowego:



Rezonatory – amplifikatorami dźwięku

Resonare (łac) – „odbrzmiewać”. Jeśli fala dźwiękowa na swojej drodze napotka ciało sprężyste to pod wpływem jej impulsów zostanie ono wprowadzone w drgania o tej samej częstotliwości.

W akustyce istnieją dwa rodzaj rezonansu ze względu na właściwości ciał rezonujących:

REZONANS WYMUSZONY – amplifikator nie posiada konkretnej częstotliwości swoich drgań (drgań własnych)

i przyjmuje drgania źródła dźwięku -> współbrzmienie

-> drgające chrząstki -> tarczowate, nalewkowate, pierścieniowate i nagłośnia

-> kości mostka, obojczyka i żeber

REZONANS SWOBODNY – amplifikator posiada z natury określoną częstotliwość drgań i zaczyna drgać pod wpływem fali tylko wtedy gdy ta ma taką samą częstotliwość

-> komory rezonansowe

a) rezonatory dolne (piersiowe)

- jama podgłośniowa, tchawica oskrzela, klatka piersiowa (150-400 Hz)

b) rezonatory górne (rezonatory głowowe – nasada)

- mają duże możliwości przestrajania kształtu

(jedynie zatoki przynosowe i jama nosowa mają trwały kształt)

Kolejne rezonatory górne:

Krtań – rura zamknięta z jednej strony przez zwarte struny głosowe. Istnieją kieszonki krtaniowe, małe rezonatory, które są ruchome i zmieniając kształt w znaczący sposób wpływają na barwę dźwięku. Ruchy krtani zmieniają barwę dźwięku, przez zmianę rezonansu i silny wpływ na proporcje i pojemność innych rezonatorów.

Gardło – 13-15 cm długości, szerokość w okolicy kości gnykowej jest największa (4-5 cm).

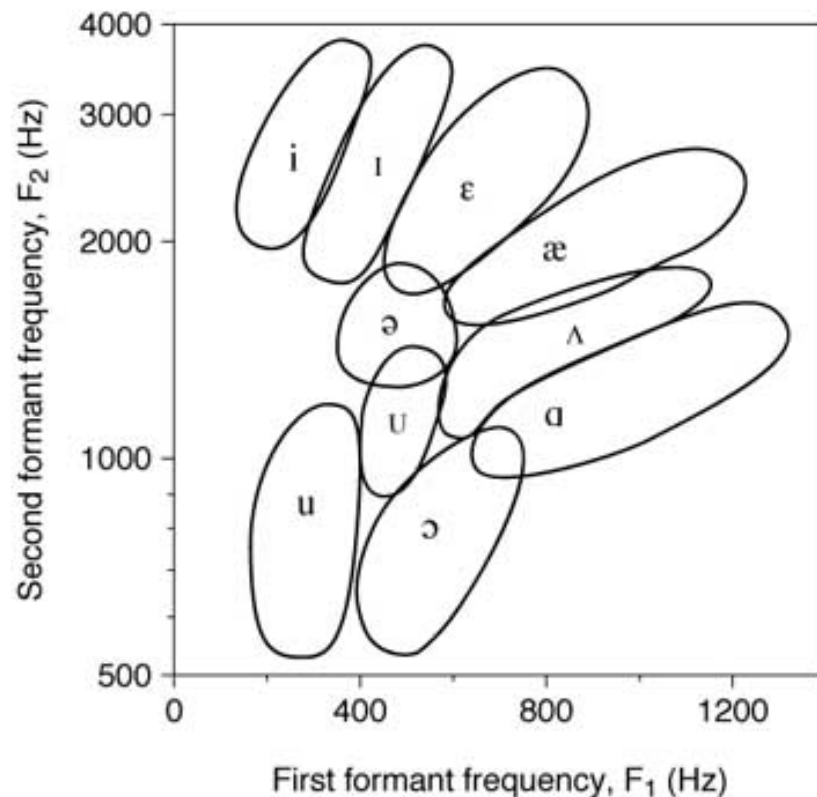
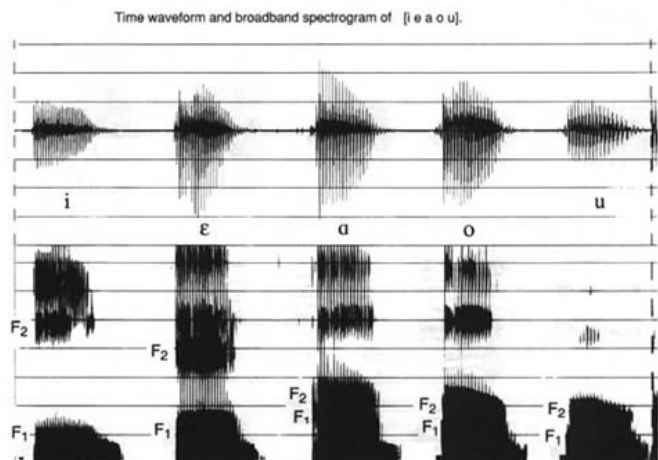
W czasie fonacji niezwykle ważne jest zamknięcie przewodu nosowego

Jama głosowa – jej parametry wpływają na dwa pierwsze formanty -> tworzą samogłoski

Jama nosowa – ma parametry uwarunkowane anatomicznie -> zatoki -> małe komory -> rezonans 3000-5000 Hz

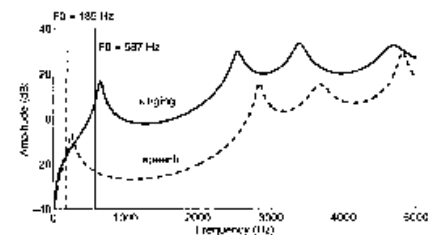
Formanty

1) Formanty niskie odpowiedzialne za artykulację głosek

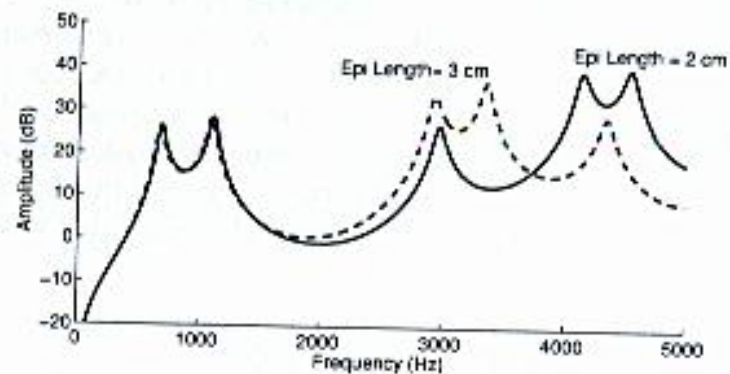
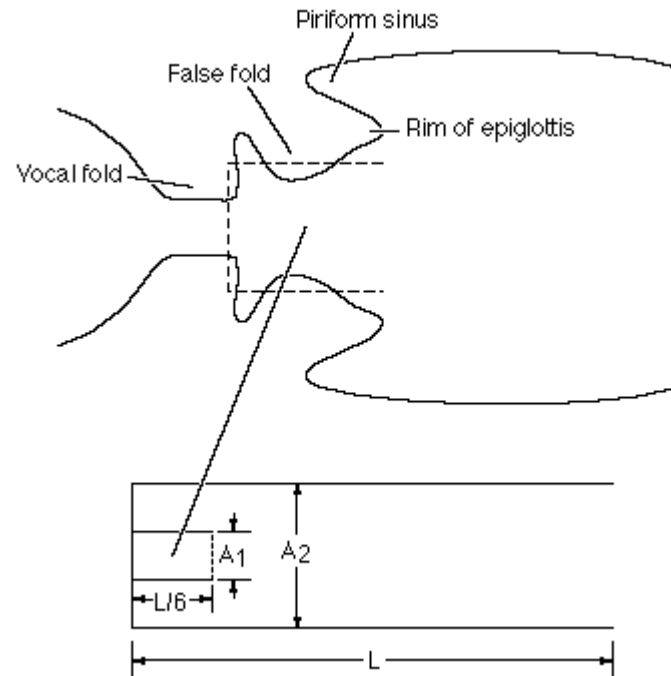
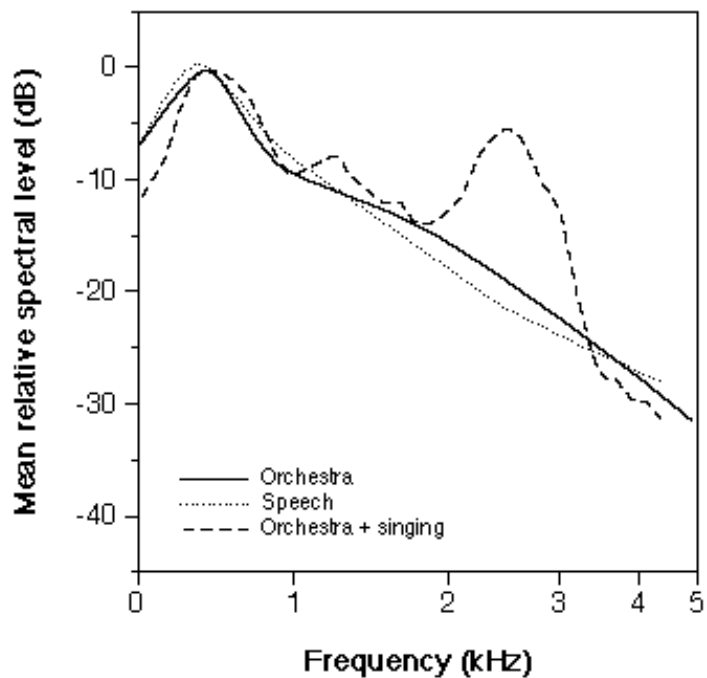


Zależność rodzaju samogłoski od wartości formantów F_1 i F_2

- F_1 i F_2 maleją wraz ze zwiększeniem długości przewodu głosowego (cechy osobnicze)
- F_1 i F_2 maleją gdy zaokrąglamy usta a rosną gdy je rozszerzamy
- zawężenie ust obniża F_1 a zwiększa F_2
- zawężenie ust zwiększa F_1 , obniża F_2
- dla wysokich dźwięków cz. formantu nie może być mniejsz niż częstotliwość podstawowa dźwięku



2) Formanty wysokie odpowiedzialne za barwę

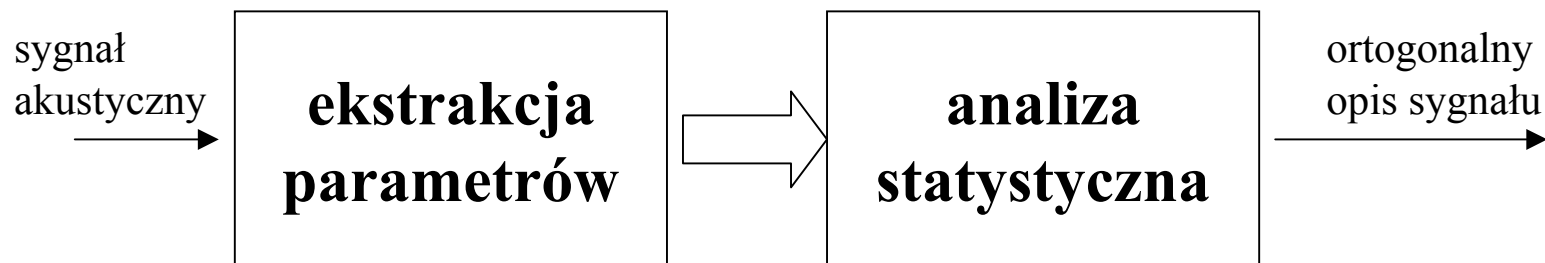


zmienność w zależności od pojemności rezonatora nadkrtaniowego

Przykładowe właściwości formantu śpiewaczego

- Mniejszy rozrzut w amplitudzie formantu śpiewanego dla głosów męskich (przykładowo: ± 4 dB dla różnych śpiewaków, $+16$ dB dla różnych samogłosek, $9-14$ dB dla różnych częstotliwości podstawowych) niż dla żeńskich (przykładowo: $+24$ dB dla różnych śpiewaczek, $+23$ dB dla różnych rodzajów śpiewu, 30 dB dla różnych głośności). Ogólnie można stwierdzić że dla mężczyzn wielkości formantów są mniej zmienne niż dla kobiet.
- Zależność wielkości formantu od rodzaju śpiewanej samogłoski (najmniejszy dla samogłoski „u”)
- Zmniejszanie się amplitudy formantu przy wzroście częstotliwości fonacji; właściwość ta może być wytłumaczona jako efekt istnienia charakterystyk częstotliwościowych generatora krtaniowego
- Małe zróżnicowanie wielkości formantu dla niskich częstotliwości fonacji (220 i 392 Hz)
- Zależność wielkości formantu od poziomu dźwięku w dB nie zawsze jest liniowa (szczególnie dla głoski „y”). Od pewnej głośności amplituda zaczyna rosnąć szybciej niż wzrost poziomu dźwięku w dB.
- Głosy altowe dla tych samych wartości poziomu dźwięku mają najwyższy poziom formantu śpiewaczego, większy nawet w porównaniu z głosami męskimi, podczas gdy głosy sopranowe i mezzosopranowe mają formant średnio o 20 dB mniejszy niż alt. Świadczy to o tym, że formant śpiewaczy jest cechą śpiewu ale nie zawsze jego najbardziej charakterystycznym elementem.

Opracowywanie i optymalizacja wektora opisu głosu śpiewaczego:



Ekstrakcja parametrów:



Metody rozróżniania śpiewaków szkolonych od amatorów

```
graph TD; A[Metody rozróżniania śpiewaków szkolonych od amatorów] --> B[Parametry dynamiczne]; A --> C[Parametry statyczne]; A --> D[Parametry OFF-line];
```

Parametry dynamiczne

- sposób wibracji
- sposób modulacji amplitudy
- minimalizacja zmienności brzmieniowej
- stabilność częstotliwości fonacji dla różnych częstotliwości dźwięku
- umiejętność szybkiej zmiany częstotliwości

Parametry statyczne

- amplituda formantu śpiewaczego
- stosunek energii harmonicznego do szumu
- badanie rozkładu częstotliwościowej prążków w widmie

Parametry OFF-line

- dolny i górny limit częstotliwości podstawowej
- zakres dynamiczny dźwięku
- badanie stabilności częstotliwości formantów wyższych
- badanie „pamięci mięśniowej” - czyli automatycznego systemu sensorowego umożliwiającego szybkie ustawienie napięcia mięśni krtani bez odsłuchu śpiewanego dźwięku

Metody dyskryminacji mowy i śpiewu:

- detekcja „formantu śpiewaczego” - analiza formantowości
(pozycja i wartość formantu F3 (2500 - 3000 Hz))

- analiza dźwięczności

$$p = \frac{\text{liczba_segmentow_dzwiecznych}}{\text{liczba_segmentow}}$$

- analiza zmienności momentów widmowych w czasie

- analiza zmienności częstotliwości podstawowej tonu krtaniowego

- analiza modulacji częstotliwości (analiza vibrato)