

MECHANISMUS TVORBY A OVLÁDÁNÍ ZVUKU U PTÁKŮ A SAVCŮ



JAN ŠVEC

Katedra experimentální fyziky, Př.F., UP v Olomouci

Spolupráce:

CHRISTIAN T. HERBST,
Dept. Cognitive Biology, University of Vienna



Studium hlasu a řeči

Propojuje informace z různých vědních oborů, mezi nimiž jsou

Fyzika, akustika (vznik, vyzařování a šíření zvuku a jeho vlastnosti ...)

**Biologie (věda zkoumající život, živé organismy a tkáně,..., kognitivní
biologie – komunikace zvířat)**

**Lékařské obory (foniatrie, otorinolaryngologie; anatomie, fyziologie,
histologie, neurologie, patologie hlasového orgánu, ...)**

Pedagogické obory (hlasová pedagogika, logopedie)

Filozofické obory (fonetika, lingvistika - tvorba hlásek a řeči)

**ANATOMIE A FYZIOLOGIE
HLASOVÉHO A ŘEČOVÉHO
ÚSTROJÍ**

ZÁKLADNÍ ČÁSTI DÝCHACÍHO SYSTÉMU V OBLASTI HLAVY, KRKU A HRUDNÍKU

Produkce lidského
hlasu = fonace /
Production of human
voice = phonation

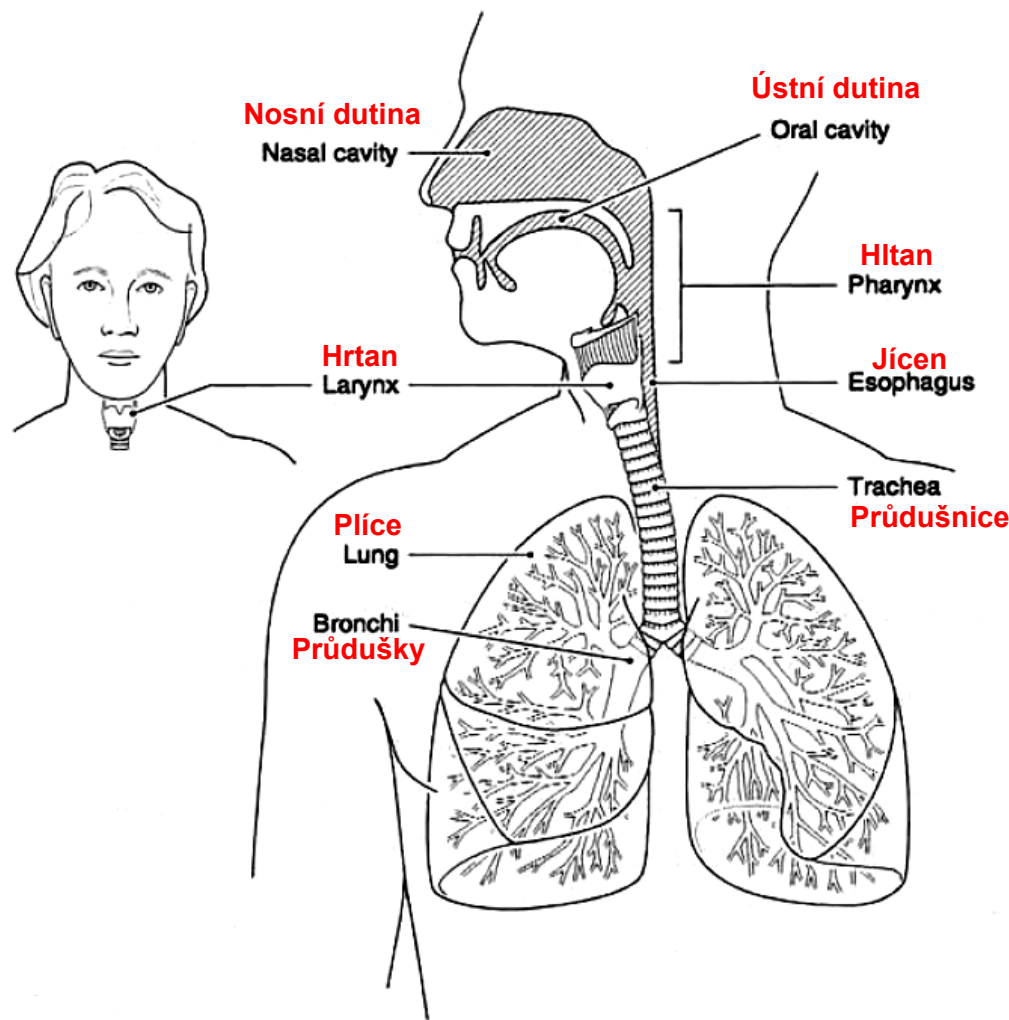
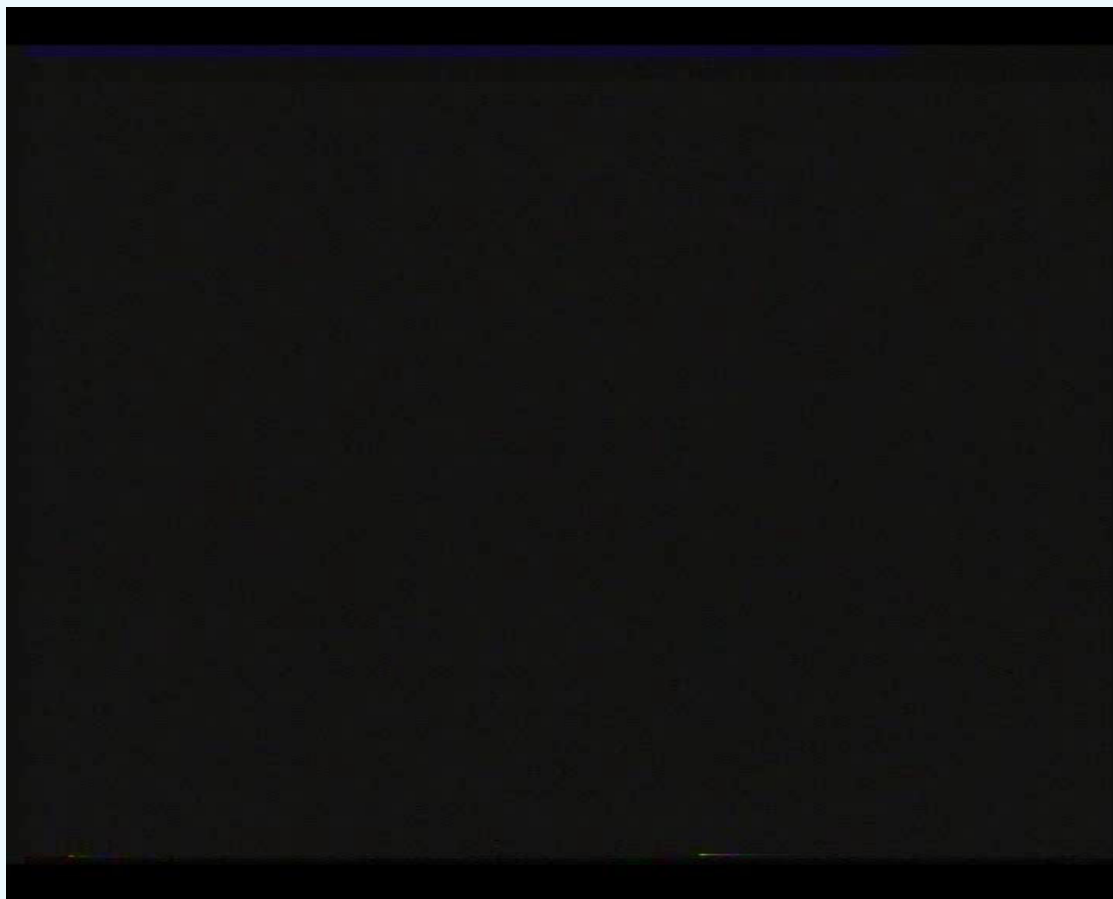


FIGURE 1.1. Basic components of the airway system in the head, neck, and chest.

Zdroj: I. R. Titze . Principles of voice production (second printing), Iowa City, IA: National Center for Voice and Speech, 2000.

ČLOVĚK: PRODUKCE ŘEČI



Samohlásky /a/,
/i/, /u/,
rentgenová
kinematorafie

A.-M. Laukkanen, E. Vilkman, and R. Takalo. X-ray video - vowels /a/, /i/, /u/. 1996.

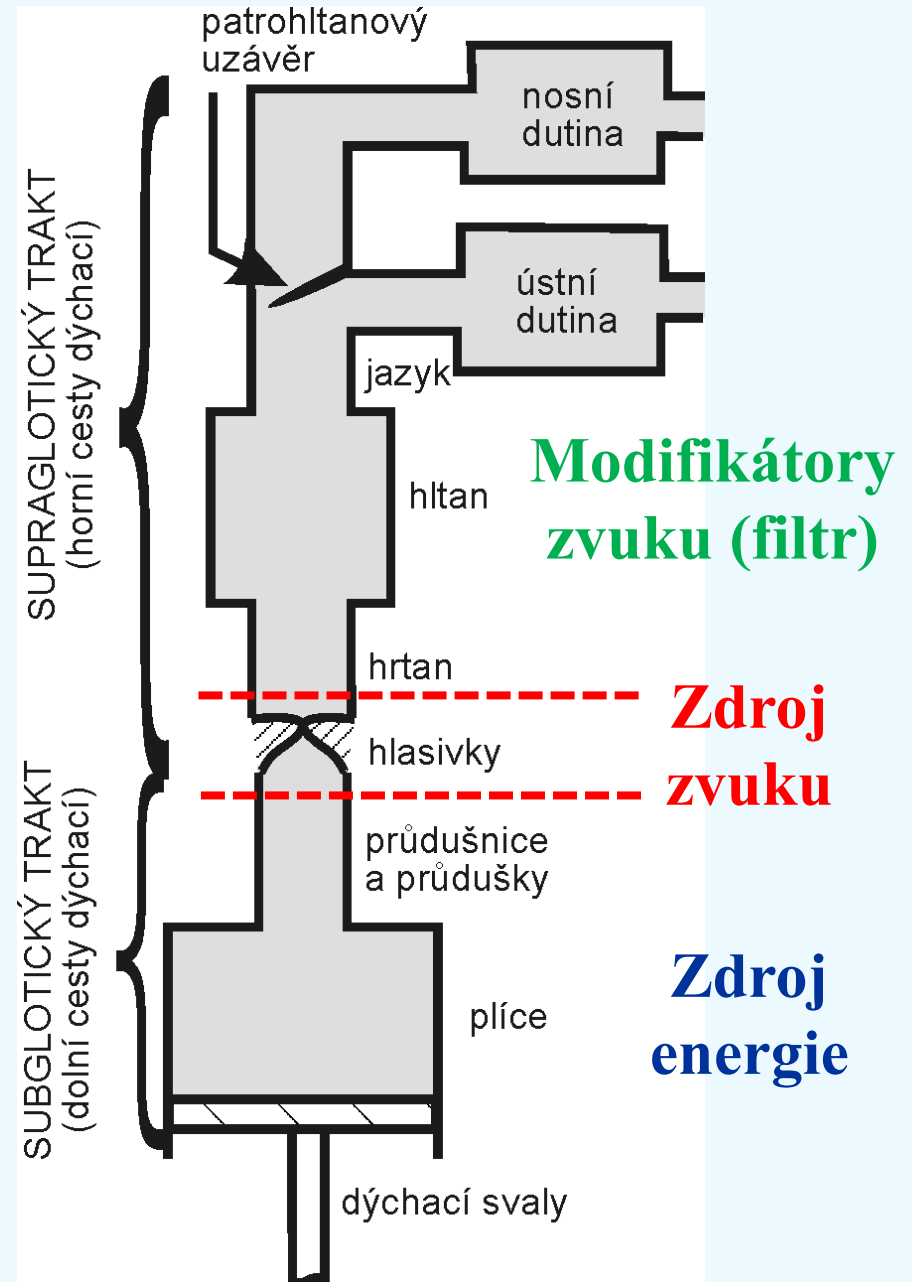
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.



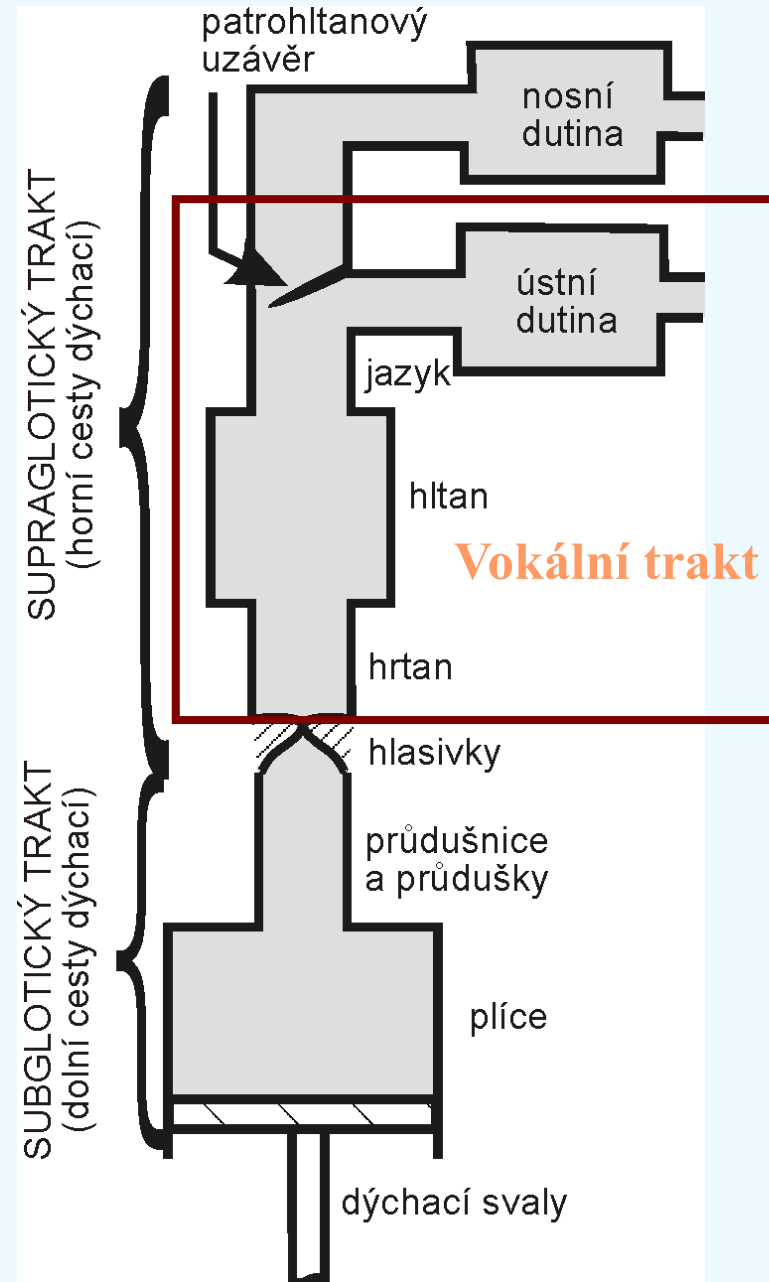
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.



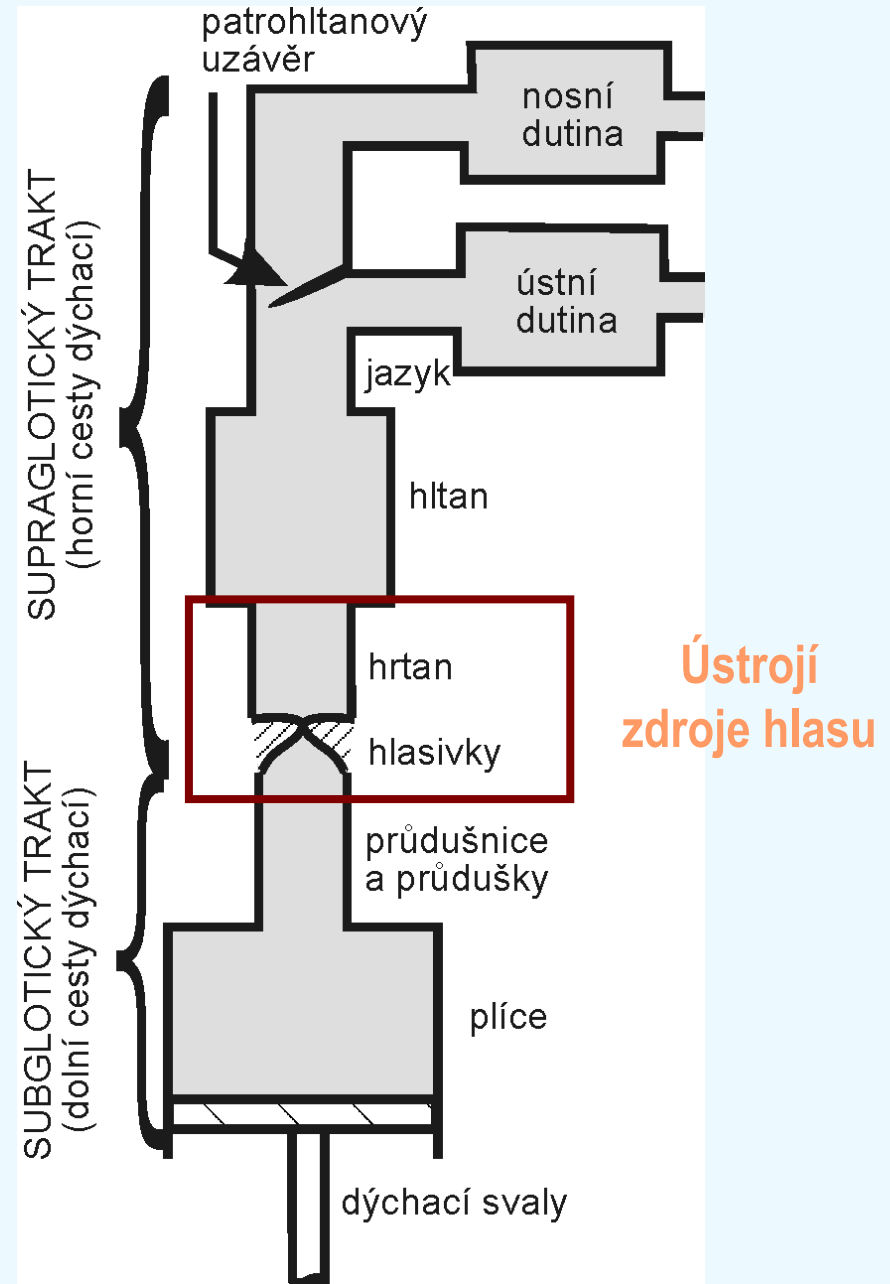
Glottis = hlasivková štěrbina
Supra = nad
Sub = pod
Subglottický = podhlasivkový
Supraglottický = nadhlasivkový

FYZIKÁLNĚ- AKUSTICKÉ SCHÉMA HLASOVÉHO SYSTÉMU

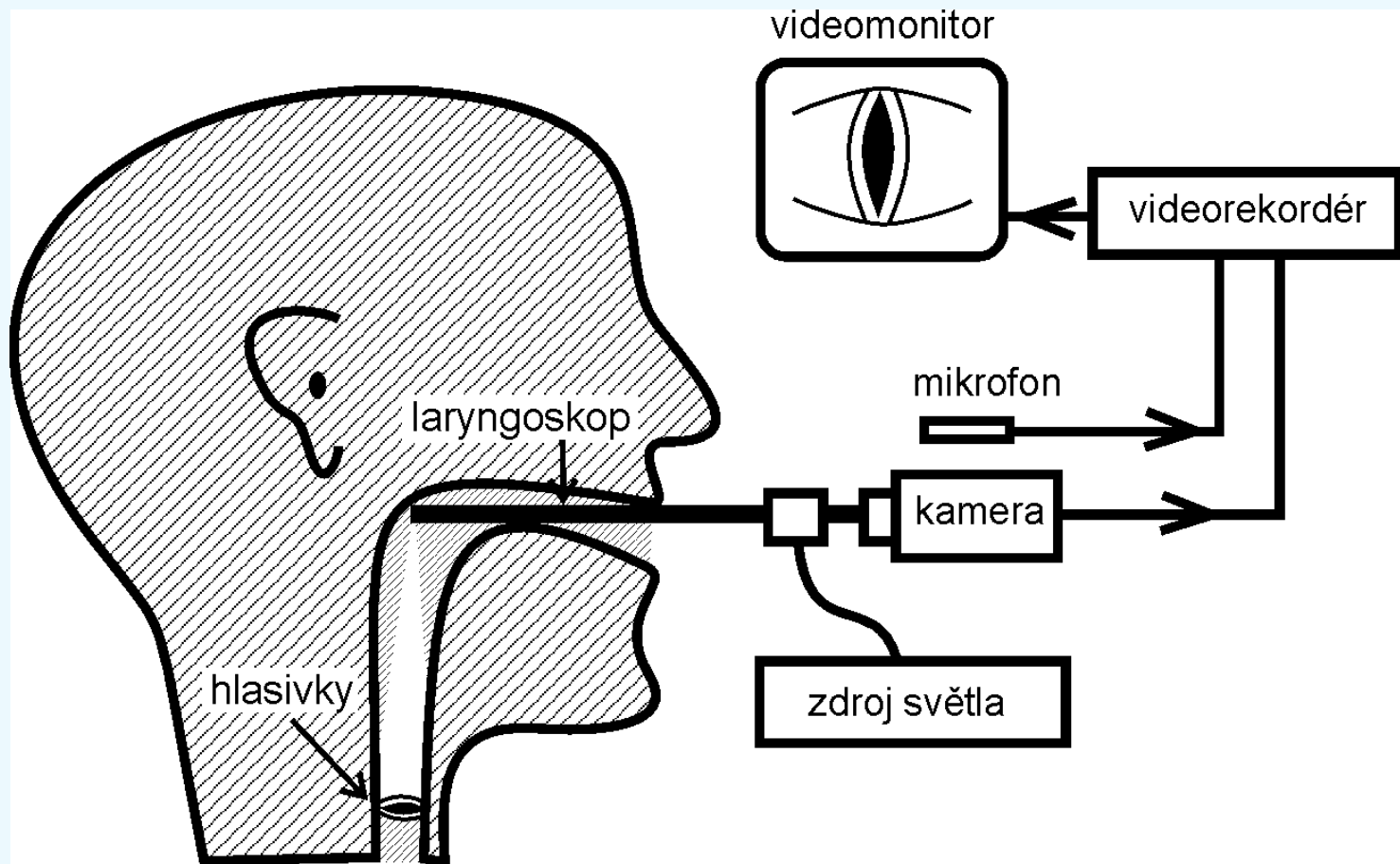
Flanagan (1965)

Flanagan JL. Speech analysis, synthesis and perception. New York: Academic Press, 1965.

Švec J. Studium mechanicko-akustických vlastností lidského hlasu. (Dizertační práce). Olomouc: Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta, Katedra experimentální fyziky, 1996.



Laryngoskopie - vizualizace vnitřního hrtanu



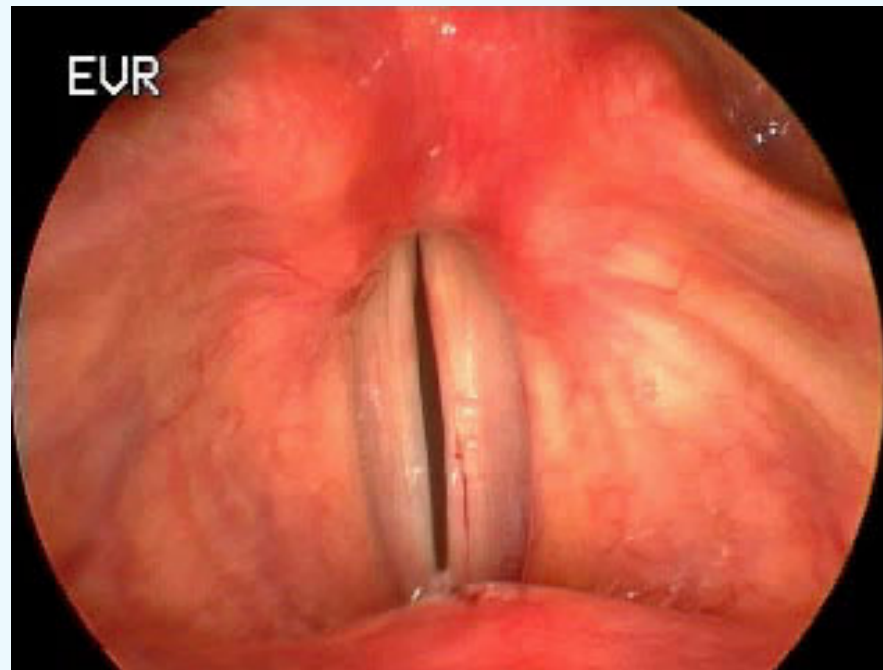
Vizualizace vnitřního hrtanu: laryngoskopie

Visualization of the inside of the larynx: laryngoscopy



DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

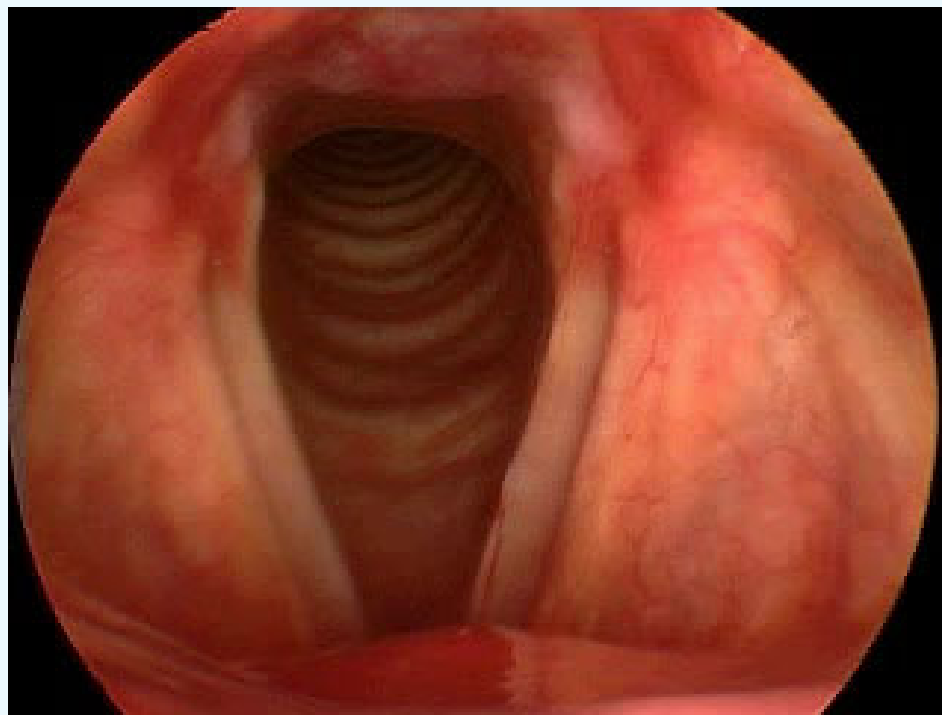
laryngoskopie / laryngoscopy



Fonace a nádech / Phonation and inhalation

DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

laryngoskopie / laryngoscopy



Změna výšky hlasu / Change of voice pitch

Recording made by the National Center for Voice and Speech, Denver, CO, USA

cca 1960



AKUSTIKA HLASU: TEORIE ZDROJE A FILTRU

Gunnar Fant, Švédsko (1960)

2005



Gunnar M. Fant. *Acoustic theory of speech production*, the Hague: Mouton, 1960.

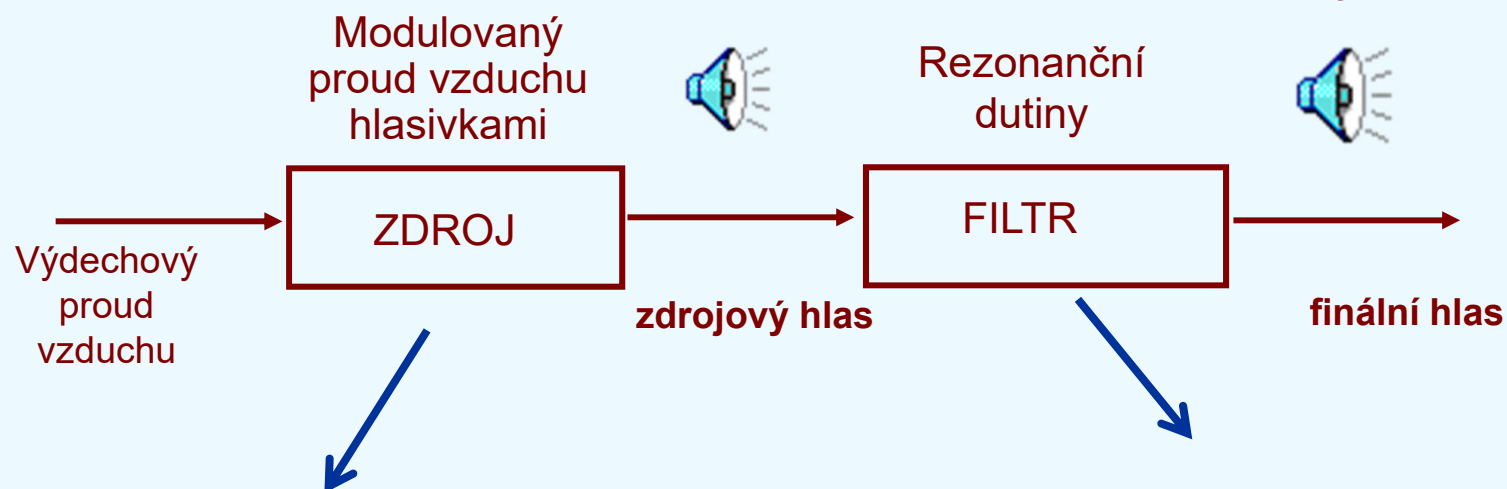
Hlas – zvuk tvořený vlivem kmitání hlasivek, který je dále upraven rezonancemi v dutinách vokálního traktu

Tato teorie úspěšně vysvětluje kromě tvorby hlasu člověka i produkci zvuků zvířat. Umožňuje uměle vytvořit zvuky různých zvířat.

TEORIE ZDROJE A FILTRU



Simulace hlasu: Brad H. Story,
Univ. of Arizona, USA



- Frekvence (výška tónu)
- Základní intenzita (hlasitost)
- Délka fonace
- Primární kvalita hlasu (dyšnost, hrubost, chraplavost,...)
- Primární barva hlasu

- Samohlásky + souhlásky
- Konečná intenzita (hlasitost)
- Konečná kvalita hlasu (konečná barva, „rezonance“, pěvecký formant,...)

CO JE TO HLAS?

Specifický akustický signál (zvuk), t.j., rychlé změny tlaku vzduchu, které se šíří formou vlnění

Sledování: mikrofon + osciloskop (PC)

DEMONSTRACE

hlas

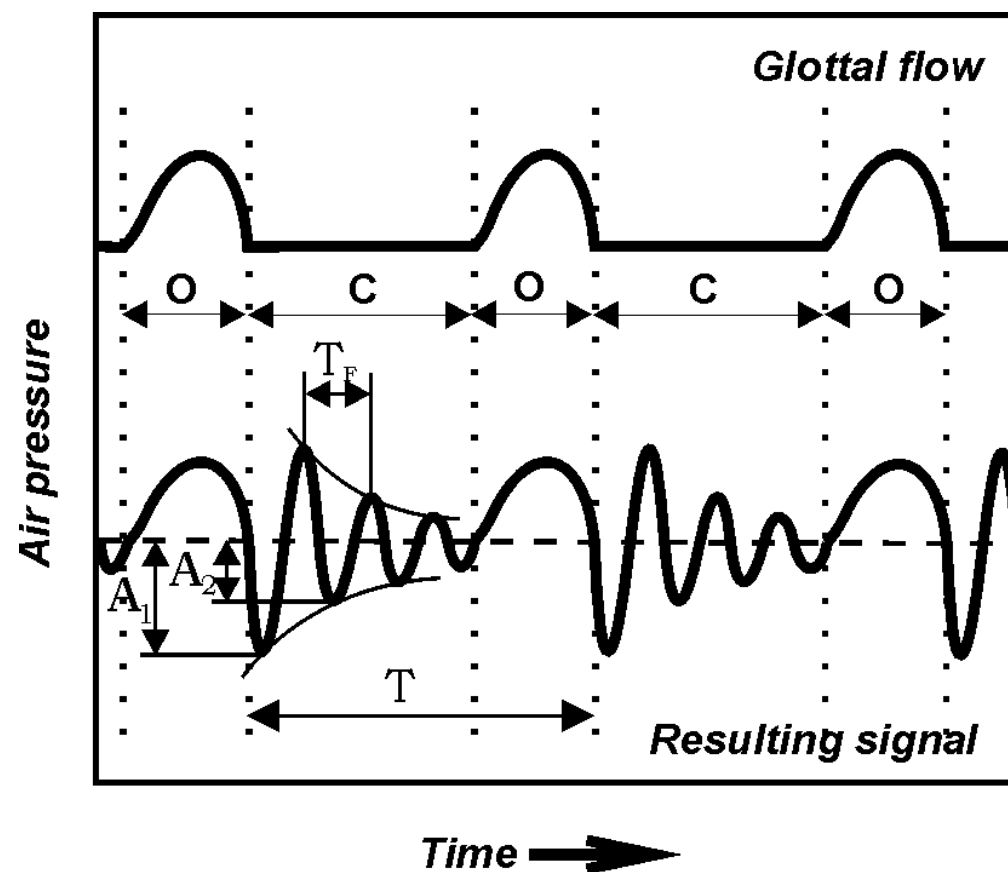
VOCE VISTA

(speciální software pro sledování hlasu)



D.G. Miller

Dva stupně tvoření lidského hlasu (teorie zdroje a filtru)



Prvotní signál

*Finální signál =
prvotní signál
upravený vlivem
rezonancí v
dutinách
vokálního traktu*

DEMONSTRACE

hlas, samohlásky

VOCE VISTA

(speciální software pro sledování hlasu)



D.G. Miller

FREKVENČNÍ SPEKTRUM HLASU A ŘEČI

UCHO FUNGUJE JAKO FREKVENČNÍ
ANALYZÁTOR

Průběh změn tlaku vzduchu při hlasu lze
alternativně zobrazit ve formě frekvenčního spektra

DEMONSTRACE

frekvenční spektrum hlasu

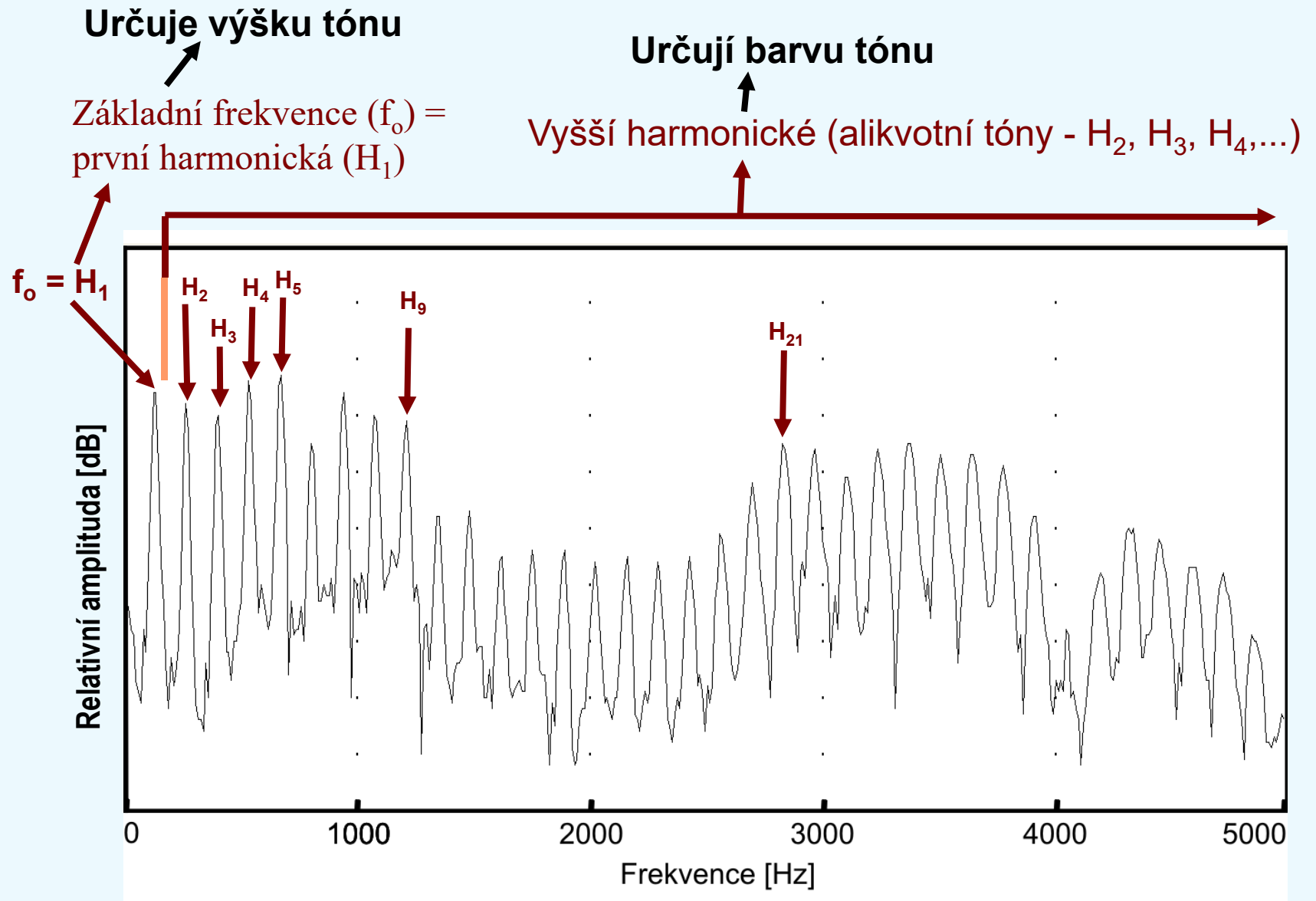
VOCE VISTA

(shareware)



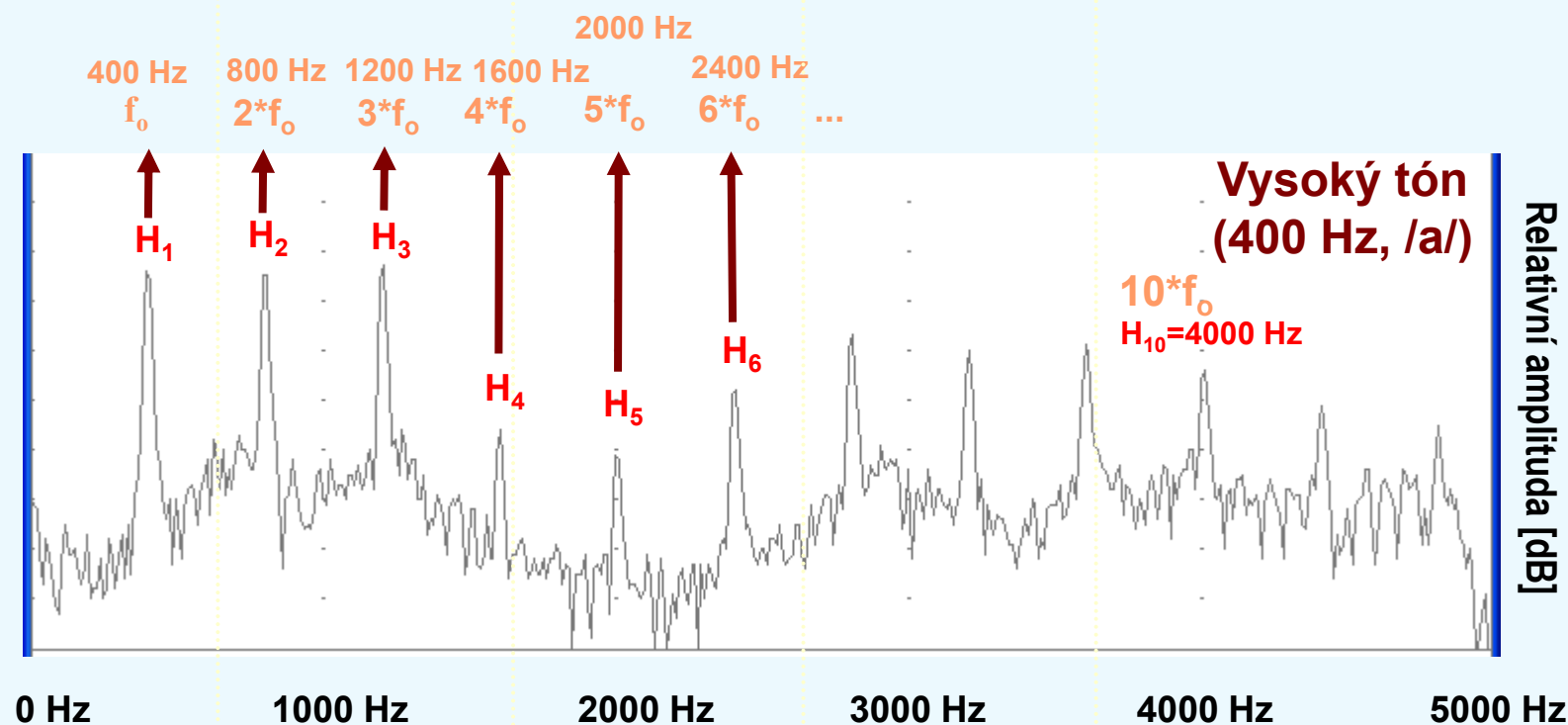
D.G. Miller

Frekvenční spektrum hlasu

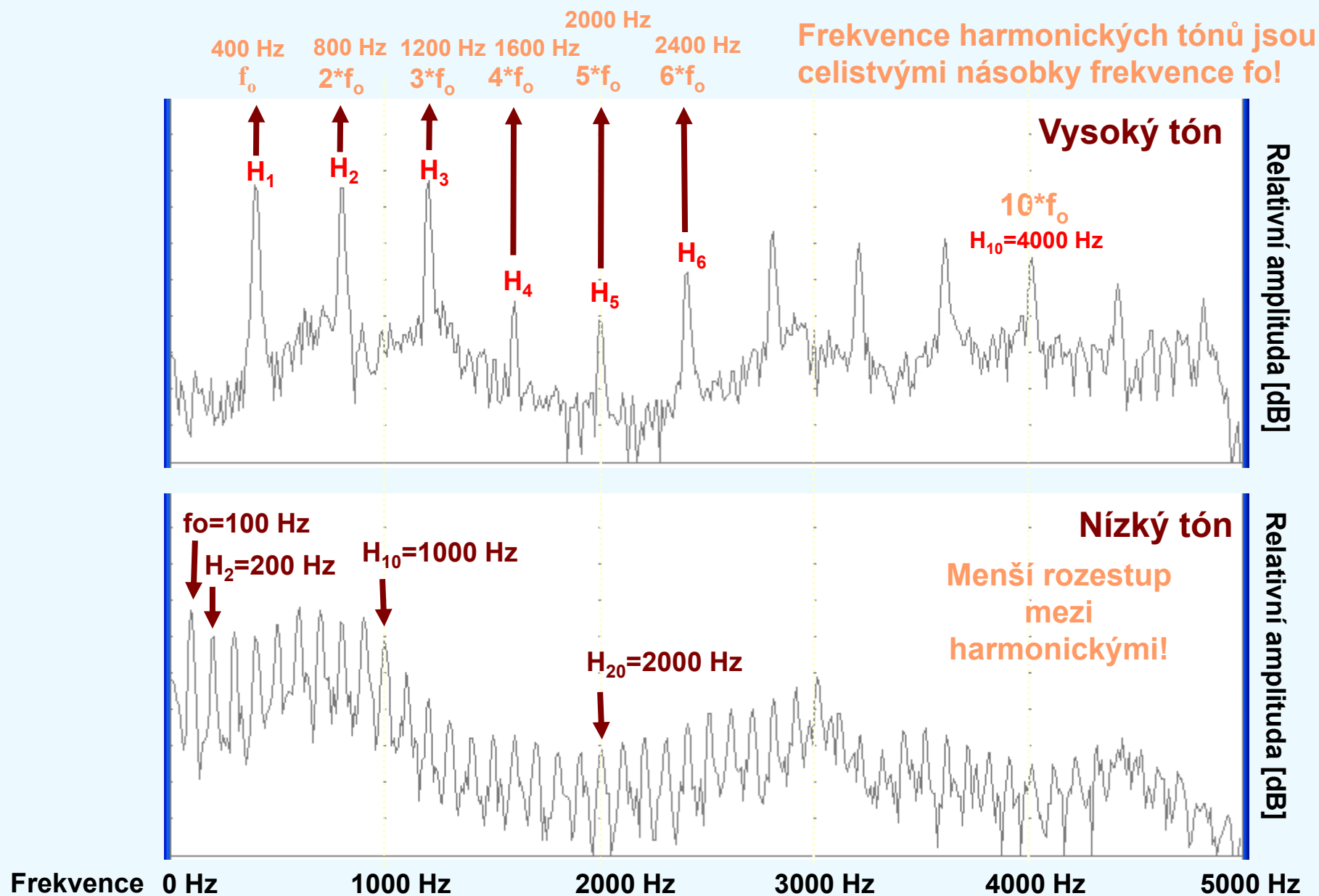


Frekvenční spektrum hlasu: harmonické frekvence

Frekvence harmonických tónů jsou celistvými násobky frekvence f_0 !



Frekvenční spektrum hlasu: různá výška tónu



DEMONSTRACE

frekvenční spektrum hlasu

základní frekvence a barva tónu

VOCE VISTA

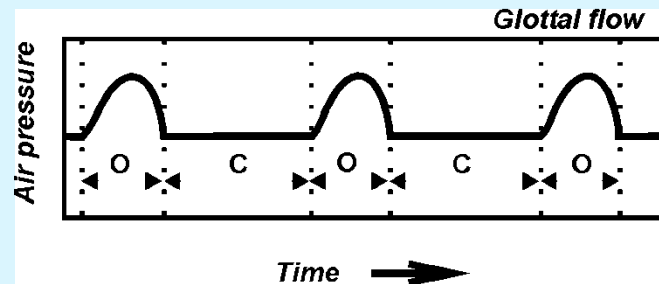
(shareware)



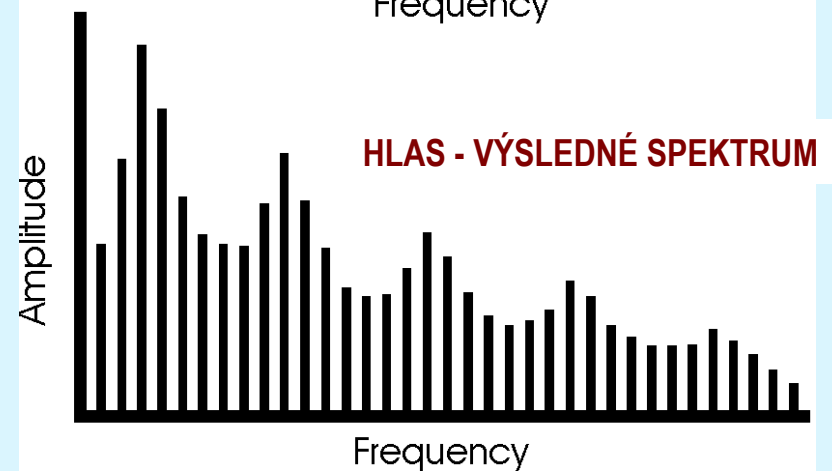
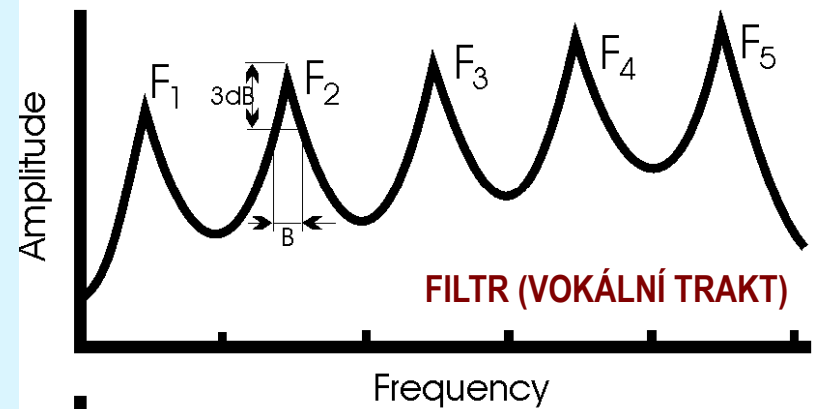
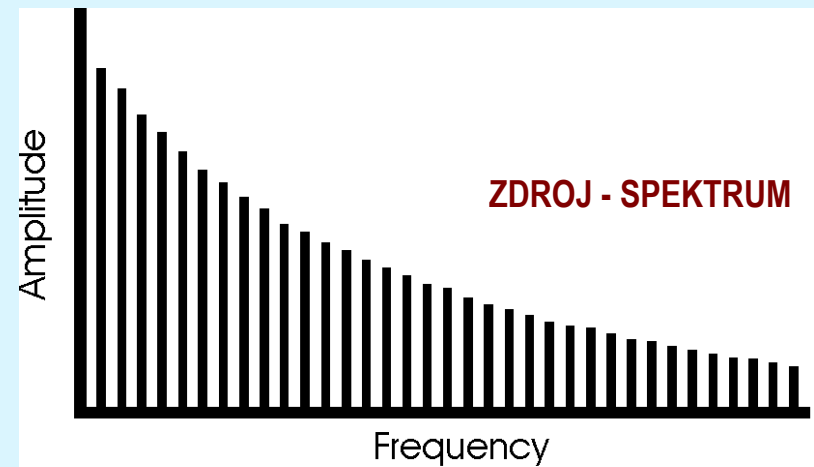
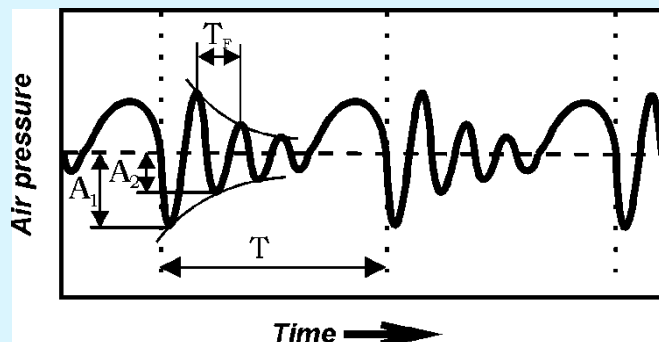
D.G. Miller

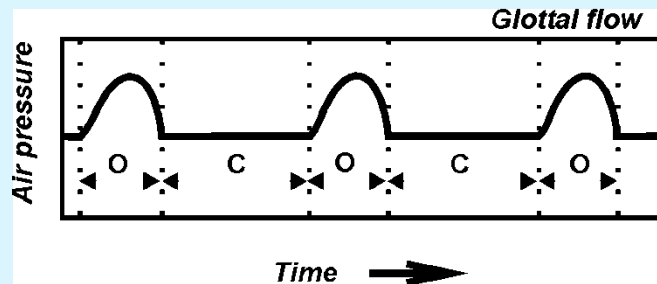
JAK VZNIKÁ FREKVENČNÍ SPEKTRUM HLASU?

TEORIE ZDROJE A FILTRU



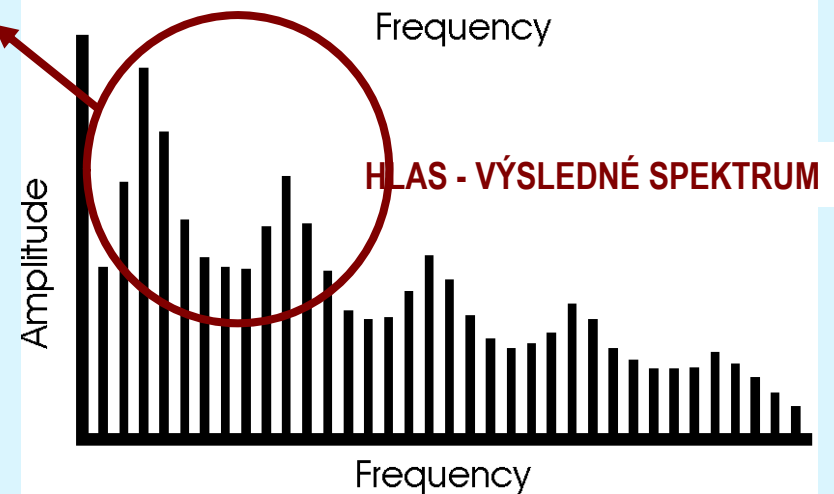
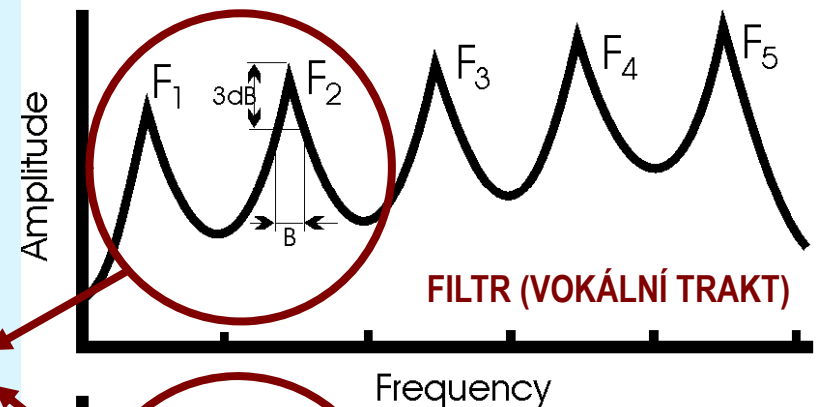
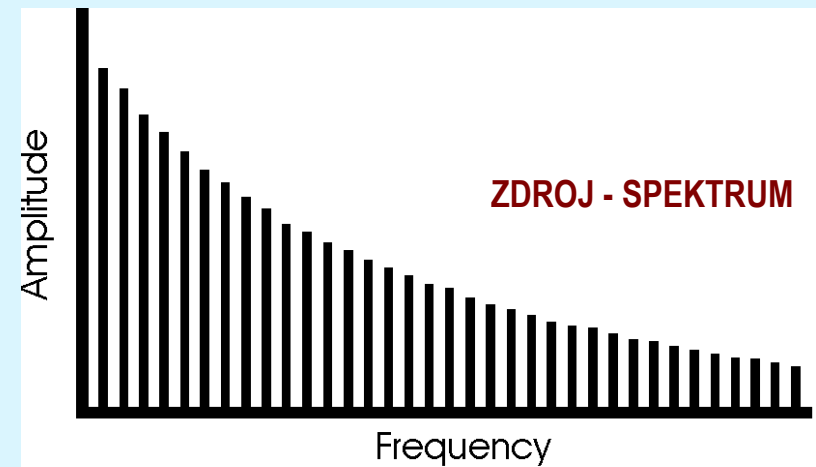
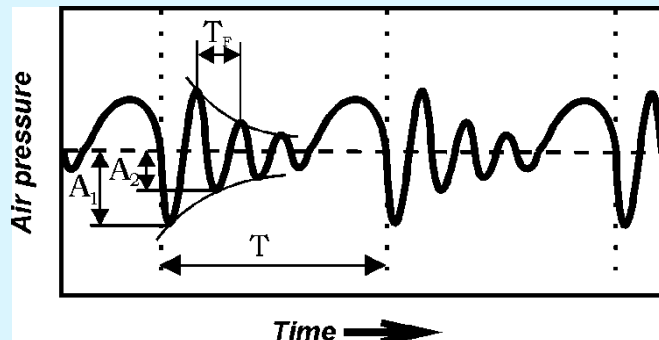
TEORIE ZDROJE A FILTRU





TEORIE ZDROJE A FILTRU

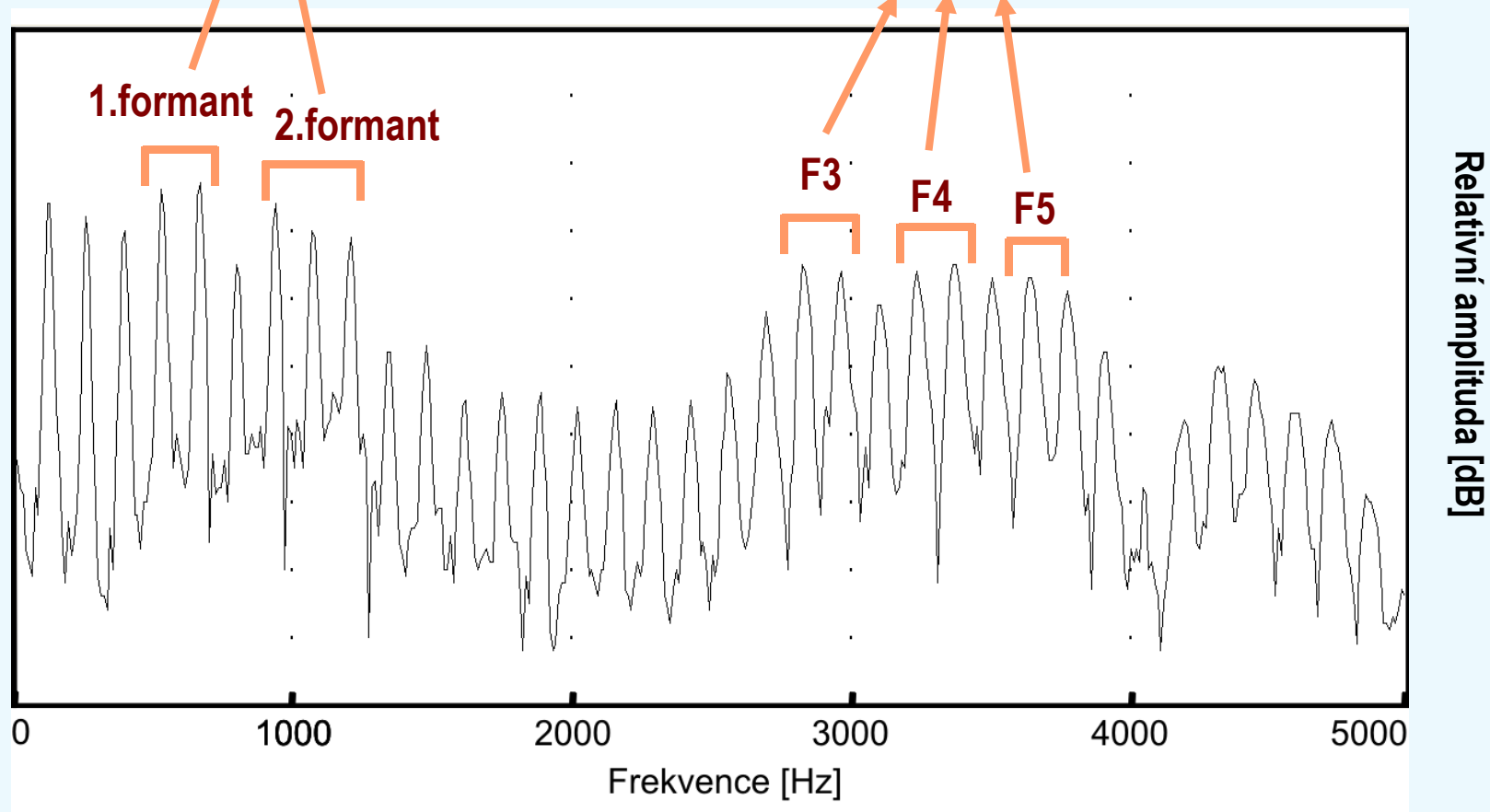
SAMO- HLÁSKY



Frekvenční spektrum hlasu - formanty

Určují
samohlásku

Vyšší formanty:
podílejí se na individuální
barvě hlasu



DEMONSTRACE

frekvenční spektrum hlasu – formanty a samohlásky

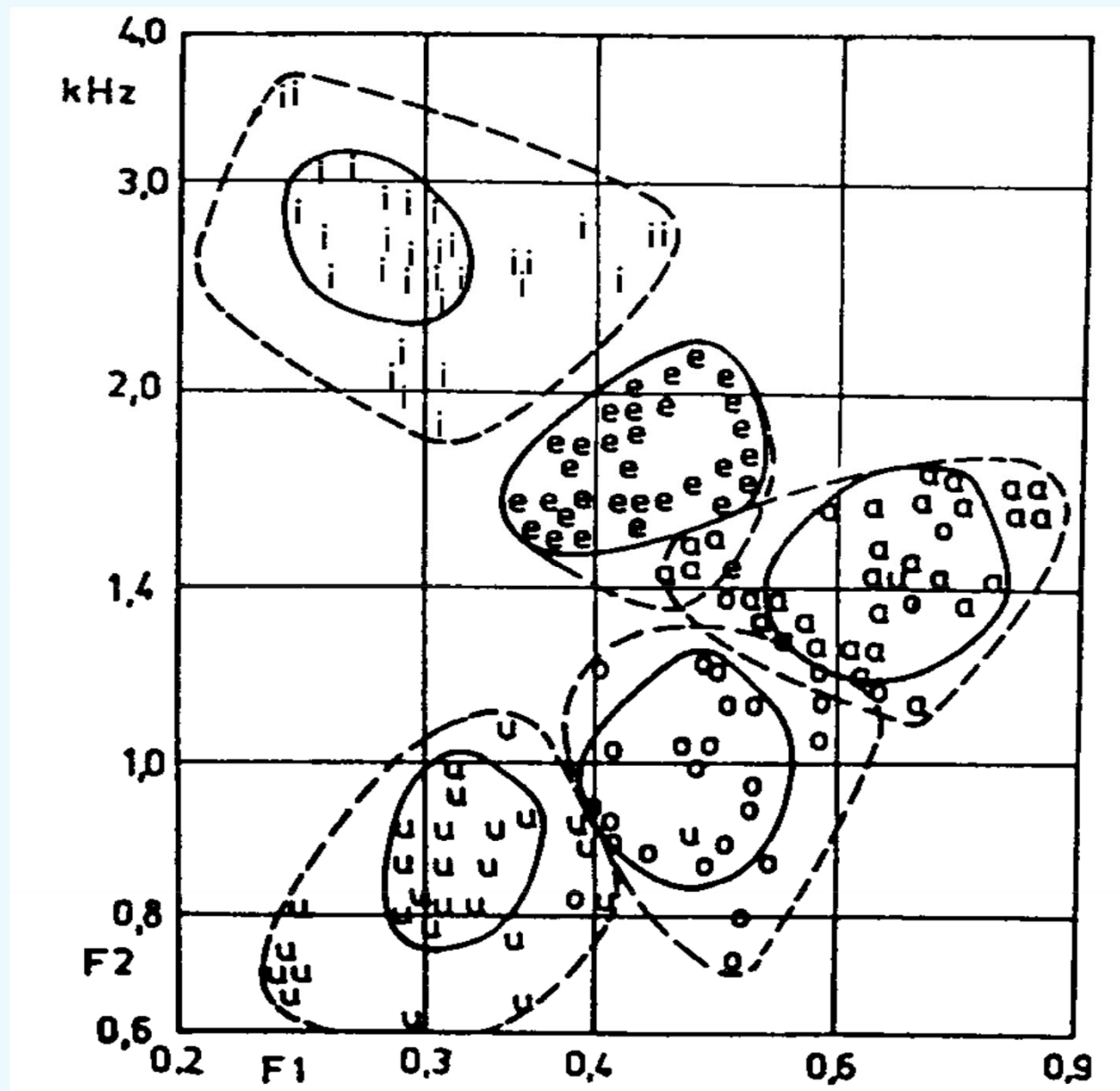
VOCE VISTA

(software)



D.G. Miller

**Formantový
graf:
1. a 2. formant u
českých
samohlásek**



Merhaut (1972) Základy fyziologické akustiky a teorie přirozených akustických signálů. Praha: ČVUT.

F₁ [kHz]

THE JOURNAL OF
THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA

VOLUME 24, NUMBER 2

MARCH, 1952

1. a 2. FORMANT U ANGLICKÝCH SAMOHLÁSEK

Angličtina používá více
samohlásek než čeština.

Control Methods Used in a Study of the Vowels

GORDON E. PETERSON AND HAROLD L. BARNEY
Bell Telephone Laboratories, Inc., Murray Hill, New Jersey

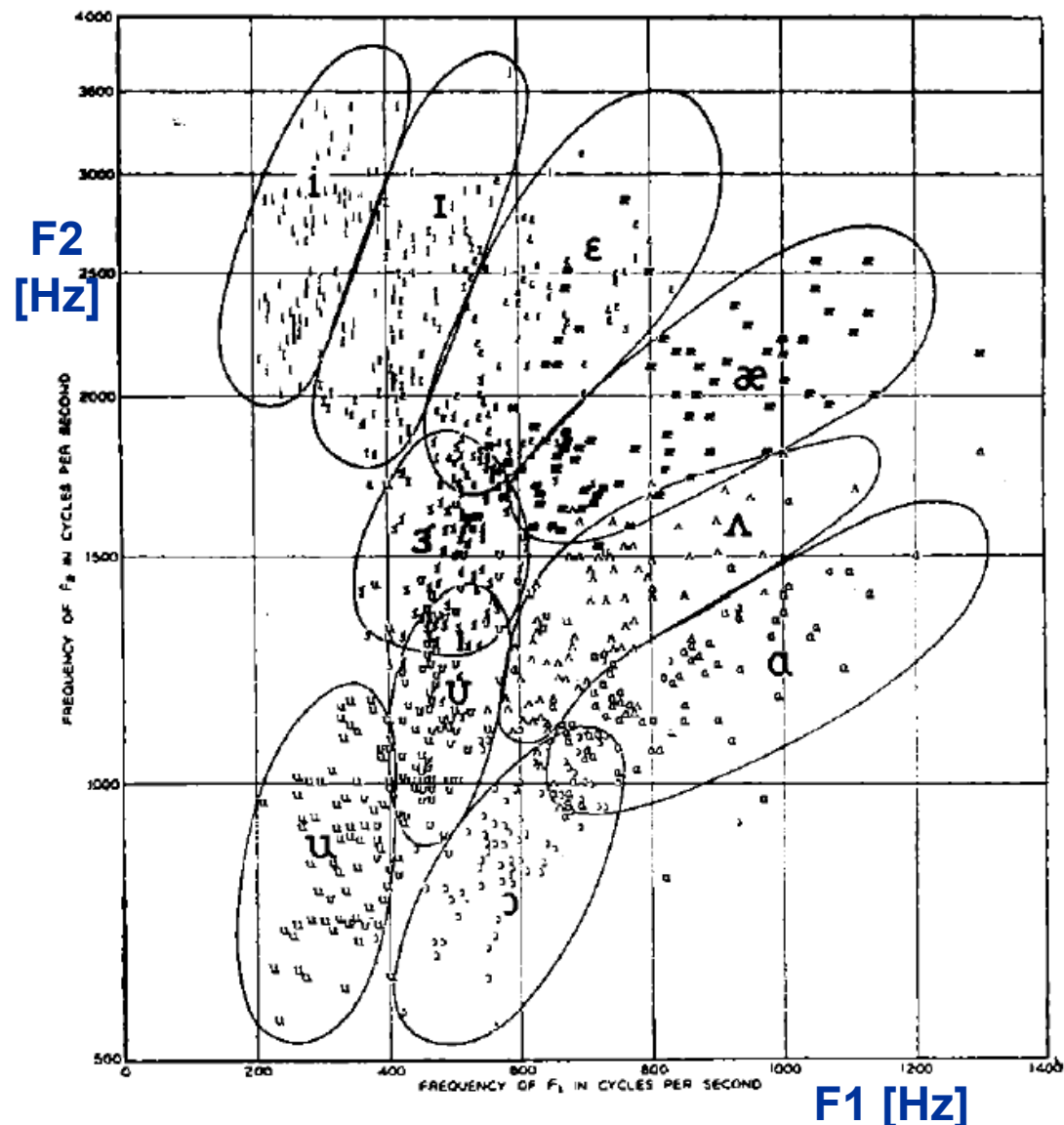
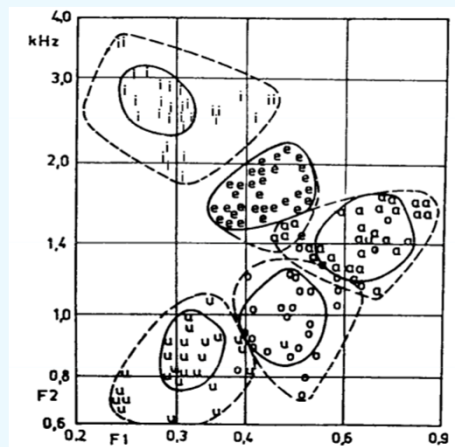


FIG. 8. Frequency of second formant *versus* frequency of first formant for ten vowels by 76 speakers.

TVAR VOKÁLNÍHO TRAKTU U ČESKÝCH SAMOHLÁSEK

Obrázky z magnetické rezonance - Dedouch, Švec, Horáček, Kršek, Havlík & Vokřál (2003)



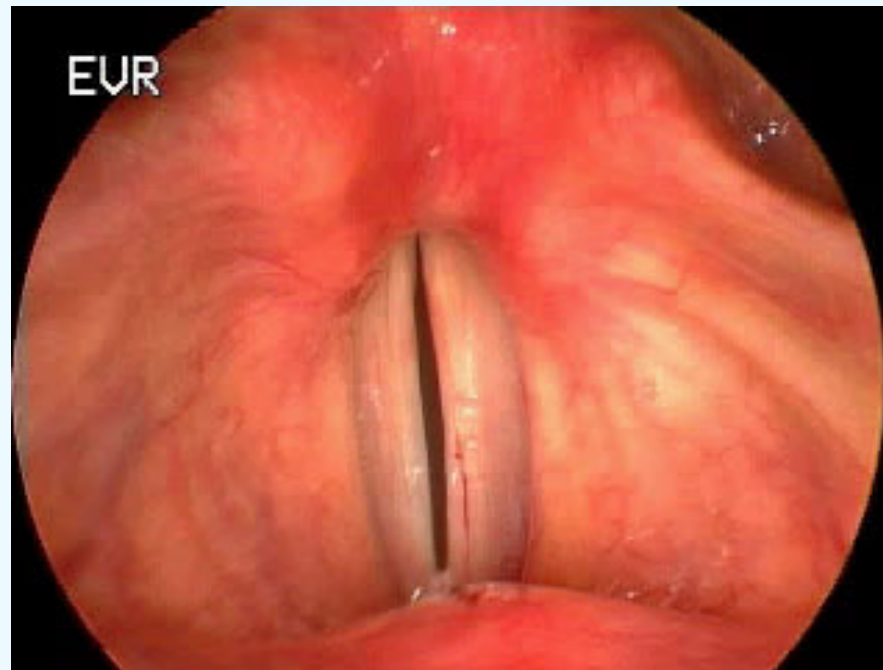
Dedouch K, Švec JG, Horáček J, Kršek P, Havlík R a Vokřál J. Akustická analýza mužského vokálního traktu pro české samohlásky. In: Sborník. 1. česko-slovenský foniatrický kongres a XIV. celostátní foniatrické dny Evy Sedláčkové, Brno, 11.-13. září 2003, Brno: Audio-Fon Centr, 2003.

TVORBA ZVUKU U ZVÍŘAT

Jak vypadají a fungují hlasivky u různých zvířat
(savců a ptáků) ?

DEMONSTRACE / DEMONSTRATION

laryngoskopie / laryngoscopy



Fonace a nádech / Phonation and inhalation

KMITÁNÍ HLASIVEK

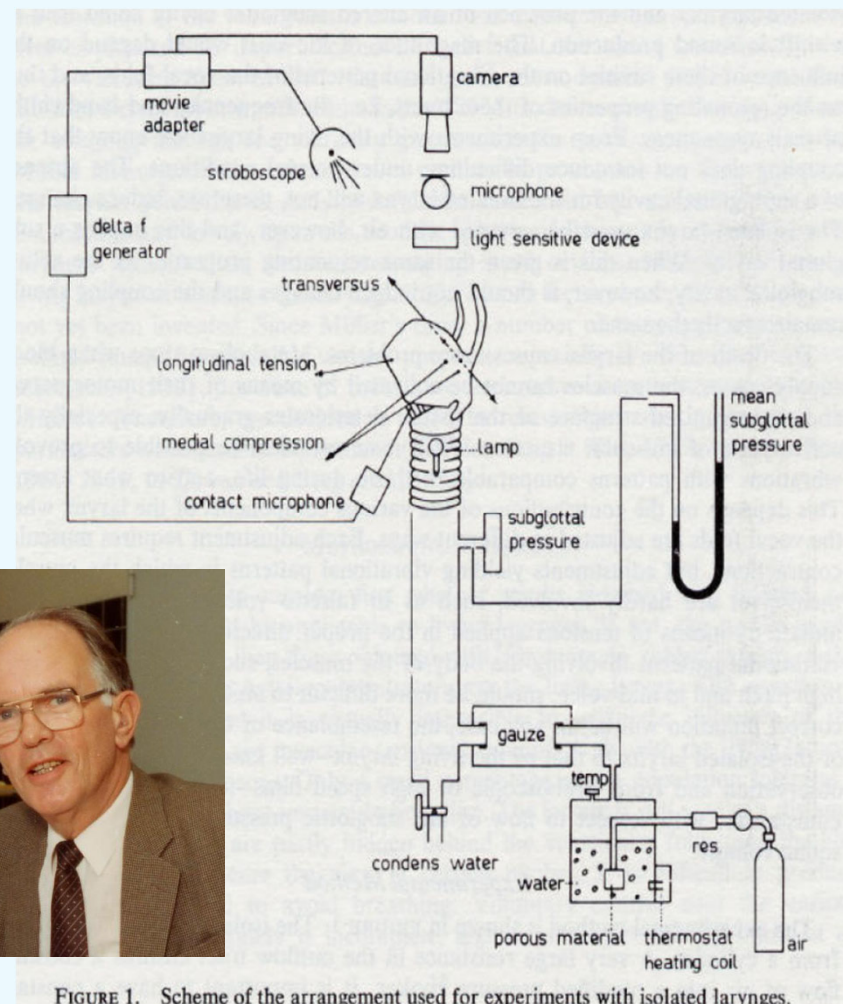
Studováno na preparátech hrtanů u člověka a různých savců

PREPARÁTY HRTANU:

(A Ferrein 1741-46, J. Müller 1837-9, L. Réthi 1896,
M. Sovák 1945, Jw. van den Berg 1959-68, T.
Baer 1975, N. Isshiki 1978-82, a další)

Nejfyziologičtější fyzické modely
hlasivek, umožňující nejpřesněji
studovat chování hlasivek.

Umožňují sledování chování hlasivek
za stabilních podmínek



Jw. van den Berg, NL, 1959

FIGURE 1. Scheme of the arrangement used for experiments with isolated larynges.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



C. Herbst, Ph.D.
UP Olomouc
and University
of Vienna

KMITÁNÍ HLASIVEK

Studováno na preparátech hrtanů u člověka a různých savců

Ukazuje se, že kmitání hlasivek je u savců podobné a řídí se tzv.
myoelastickou aerodynamickou teorií (MEAD)

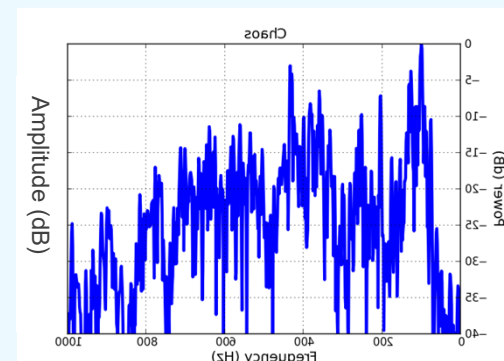
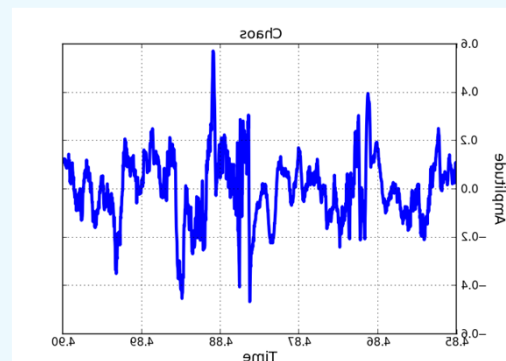
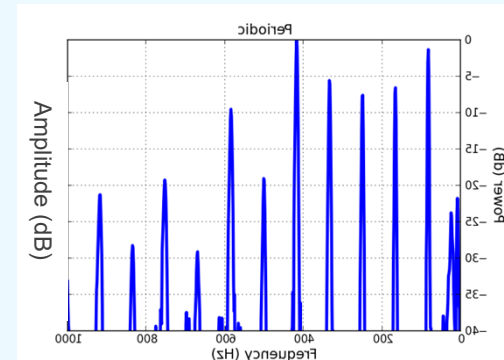
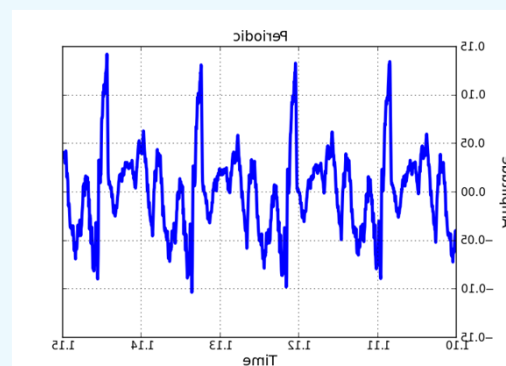
Kmitání hlasivek jelena při pozvolném napínání hlasivek



Pravidelné



Nepravidelné





evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ



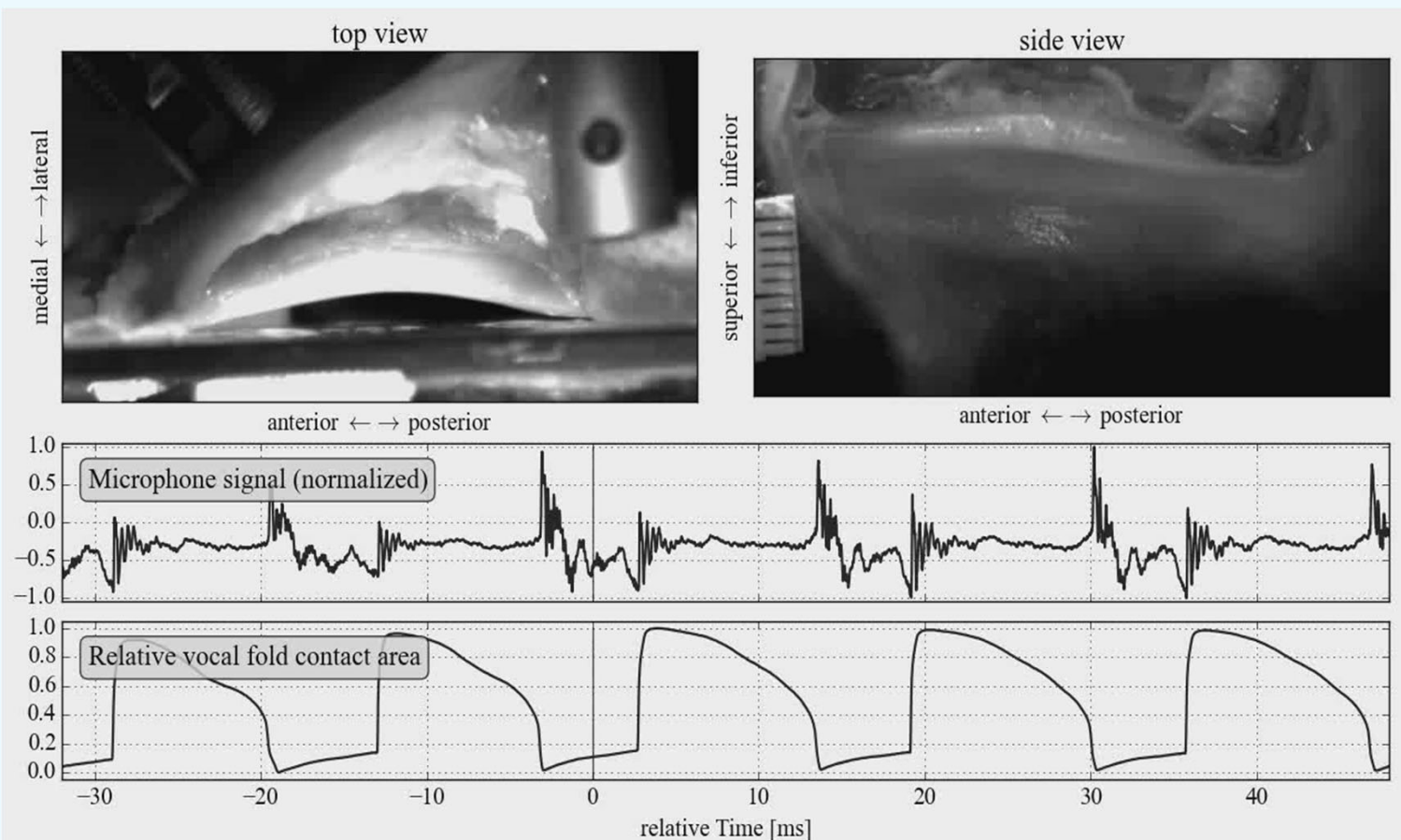
C. Herbst, Ph.D.
UP Olomouc
and University
of Vienna

KMITÁNÍ HLASIVEK

Studováno na preparátech hrtanů u člověka a různých savců

Ukazuje se, že kmitání hlasivek je u savců podobné a řídí se tzv.
myoelastickou aerodynamickou teorií (MEAD)

Sledování kmitání jedné hlasivky jelena ($f_0 \sim 100$ Hz) zeshora a z boku:



PROČ KMITAJÍ HLASIVKY? ZÁKLADNÍ TEORIE:

MYOELASTICKO-AERODYNAMICKÁ TEORIE – **MEAD** (van den Berg 1958, Titze, 1980, 2006)

Hlasivky jsou rozkmitávány pasivně proudem vzduchu. Frekvence kmitání je určena elastickými vlastnostmi hlasivek (podobně jako u kmitání struny).
Současná univerzální teorie.

TEORIE AKTIVNÍ PERIODICKÉ KONTRAKCE SVALŮ
(NEUROCHRONAXNÍ TEORIE- Husson 1955-57)

Kmity hlasivek vznikají díky aktivní kontrakci svalů (active muscle control, AMC) řízených nervovými impulsy, které určují frekvenci kmitání.

Vzduch je pouze médium umožňující šíření zvuku.

Teorie byla pro člověka vyvrácena van den Bergem – kontrakce svalů slouží jen pro dynamické nastavení polohy a napětí hlasivek.

Ukazuje se ale, že tato teorie může být platná pro speciální druhy zvuků – předení u koček (**Sissom et al, J. Zoology, 1991**).



Frekvence nervových impulsů je omezena fyziologickými možnostmi nervů – maximální frekvence jsou většinou nižší než 50 Hz



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE
DO ROZVOJE
VZDĚLÁVÁNÍ

KMITÁNÍ HLASIVEK

Jedním z nejzákladnějších parametrů kmitání hlasivek je základní frekvence f_0 , která určuje výšku tónu.

Podle MEAD f_0 primárně závisí na délce hlasivek – čím delší, tím je frekvence kmitání nižší a tón hlubší. (Analogie struny).

Délka hlasivek při dýchání je různá u mužů a žen, poměr délek je přibližně 16 : 10 mm. To zapříčiňuje vyšší průměrnou frekvenci hlasu u žen.

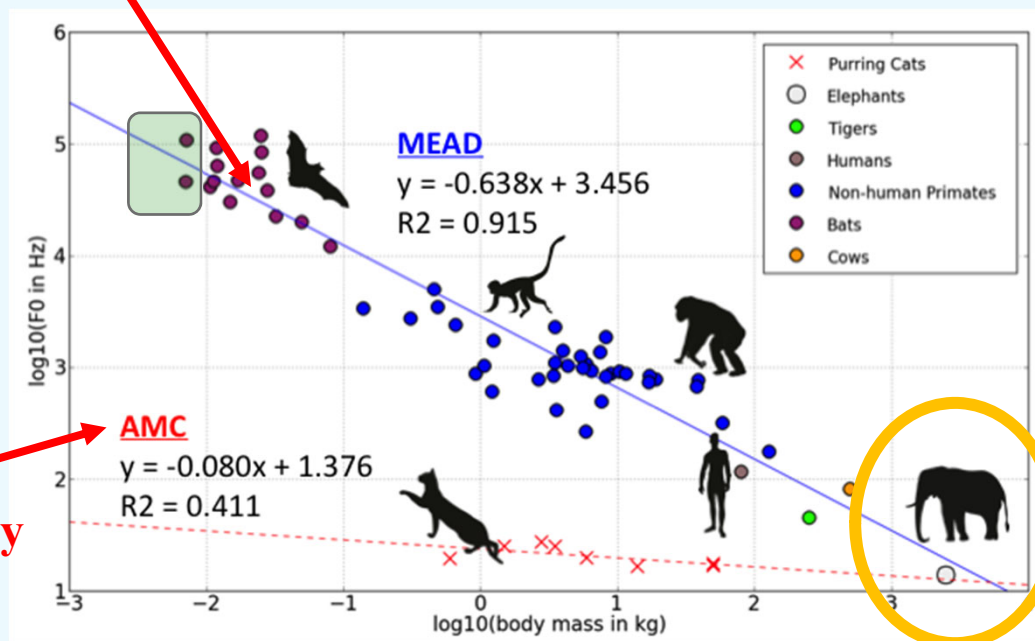
U zvířat souvisí průměrná f_0 s velikostí zvířete, což souhlasí s MEAD.

Základní frekvence f_0 vs. hmotnost u savců

MEAD lze aplikovat na většinu savců

Rozsah f_0 a hmotnosti > 4 řády velikosti

hvízdání... ?



**MEAD
nebo
AMC?**

f_0 určena nervovými impulsy

“předení”

(AMC = active muscle cntraction)

Herbst et al., Science, 2012



VOKALIZACE SLONA

(může používat infrazvuk)



C. Herbst, Ph.D.
UP Olomouc and University of Vienna



***Loxodonta
africana***

fo někdy nižší
než mez
slyšitelnosti
(< 20 Hz)

Komunikace na
dlouhé
vzdálenosti

KMITÁNÍ HLASIVEK SLONA

Studováno na preparátu hrtanu

Délka hlasivek – přes 10 cm

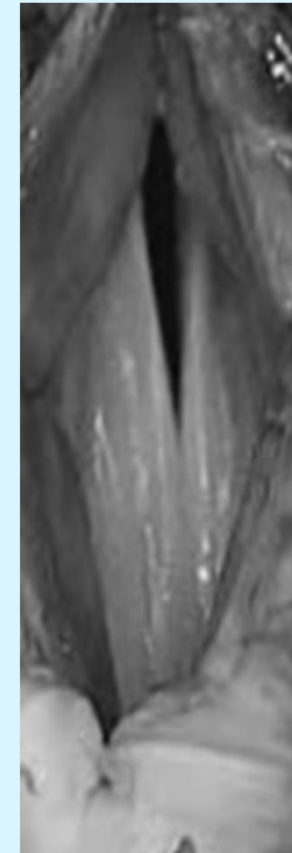
Rozsah $f_0 = 5 - 60$ Hz

Nervové impulsy (AMC) nejsou nutné
pro vznik hlasu u slona - hlasivky
kmitají spontánně při průchodu
vzduchu na frekvencích v rozmezí
 $5 - 60$ Hz



C. Herbst, Ph.D.
UP Olomouc
and University
of Vienna

Kmity jsou v souladu s MEAD



Herbst et al., Science, 2012

TVORBA ZVUKU U PTÁKŮ

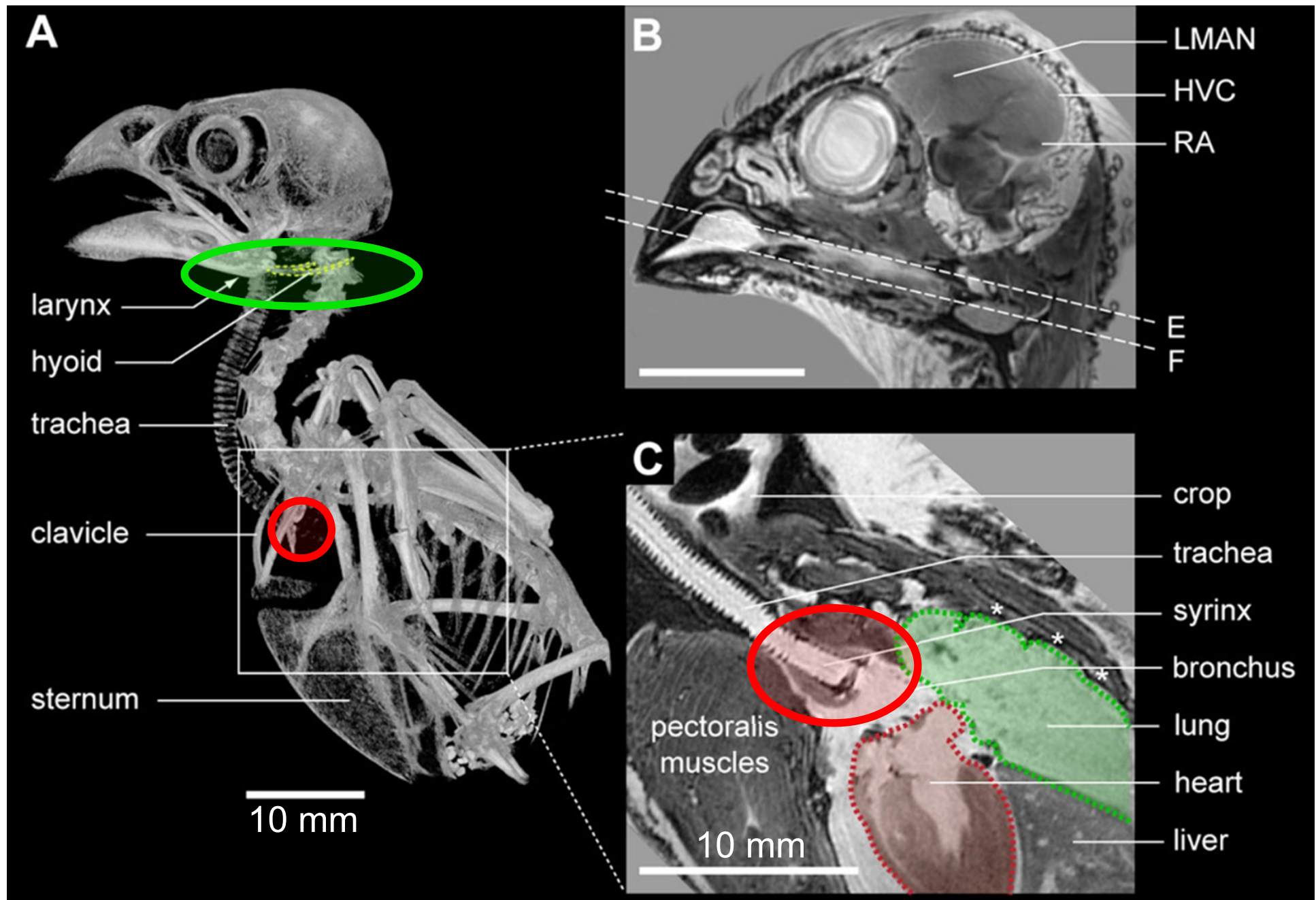
Jak ptáci tvoří zvuk?

Jedná se o stejný mechanismus jako u savců – tvorbu zvuku pomocí hlasivek v souladu s MEAD?

Nebo jde o jiný mechanismus – tzv. „hvízdání/ pískání“ ?

Jaký orgán je zde zodpovědný za vznik zvuku?

U ptáků to není hrtan (larynx) ale syrinx



Kostrá zebřičky: Düring et al, 2003, BMC Biology

SYRINX

Orgán pro vznik zvuku u ptáků

Umístěn tam, kde se průdušnice rozvětňuje -

- anatomicky výrazně níže než u savců.

Někteří ptáci mají dvoje hlasivky – v každé větvi jedny!

Značná rozmanitost struktury syringu: orgány zdroje zvuku u ptáků

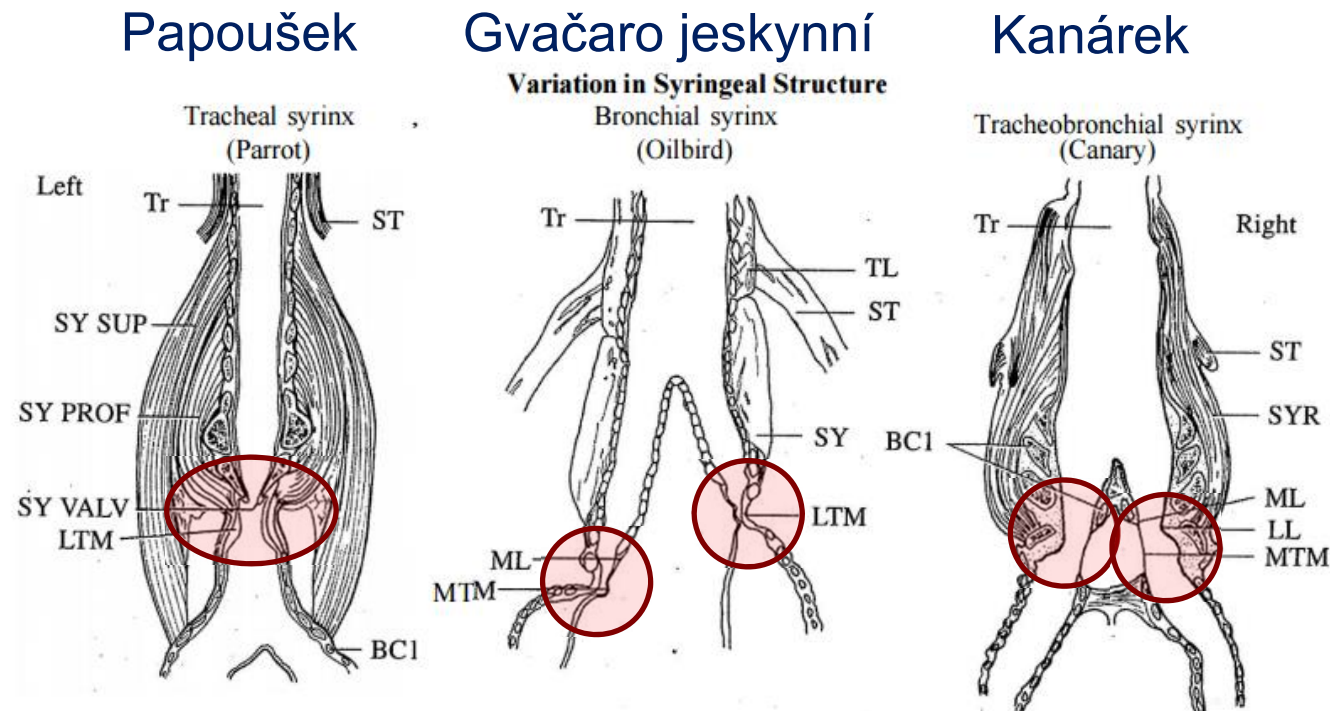
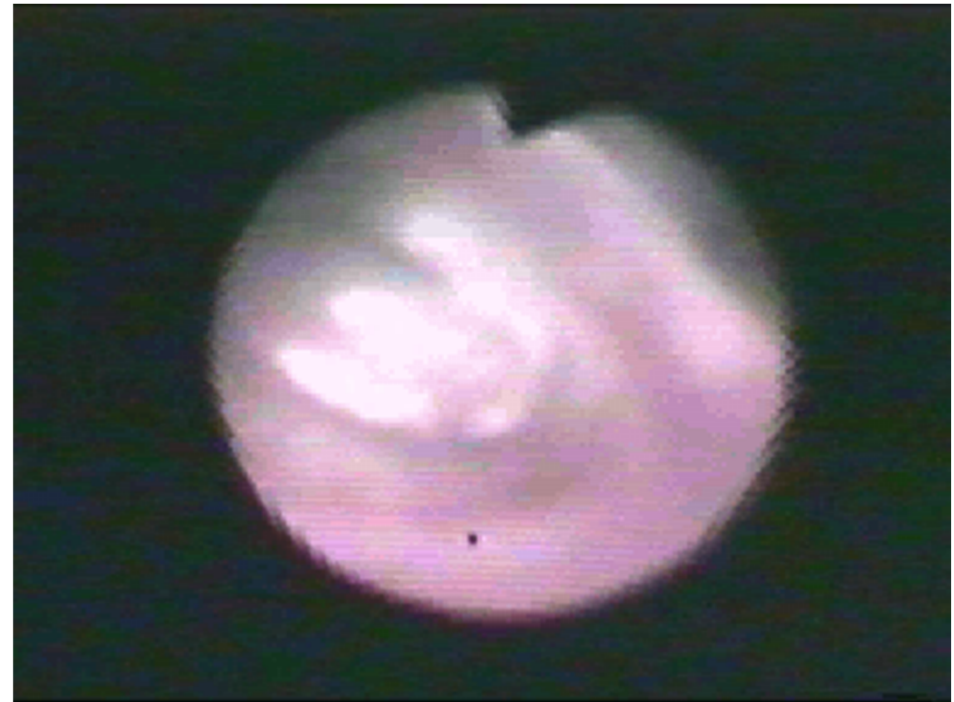


Figure 9.1 Examples of variation in syringeal anatomy. The tracheal parrot syrinx has two syringeal muscles and a pair of lateral tympaniform membranes. The bronchial syrinx of the oilbird has one pair of syringeal muscles and a pair of medial and lateral tympaniform membranes in each bronchus. Songbirds have several pairs of syringeal muscles in their tracheobronchial syrinx. Tr, trachea; ST, sternotrachealis muscle; SY SUP, superficial syringeal muscle; SY PROF, deep syringeal muscle; SY VALV, pneumatic valve; LTM, lateral tympaniform membrane; MTM, medial tympaniform membrane; BCI, first bronchial cartilage; SY, syringeal muscle; ML, medial labium; LL, lateral labium; SYR, muscles of syrinx. (Oilbird modified after Suthers & Hector 1985; parrot and canary modified after King 1989).

Laryngoskopie vrány: Pozorování *in situ*

- Goller & Larsen
(PNAS, 1997)
- první ptačí endoskopie
- vrána - *Corvus brachyrhynchus*,
Cardinalis cardinalis,
Toxostoma rufum
- video 30 fps



TVORBA ZVUKU U PTÁKŮ

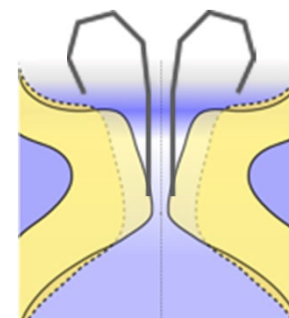
Jak ptáci tvoří zvuk?

Jedná se o stejný mechanismus jako u savců – tvorbu zvuku pomocí hlasivek v souladu s MEAD?

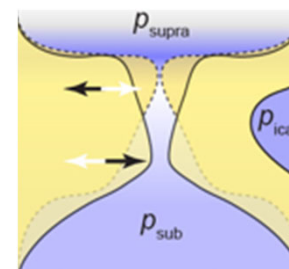
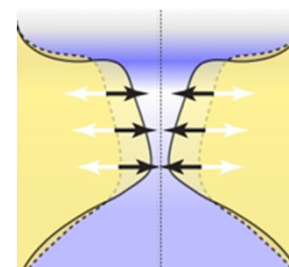
Nebo jde o jiný mechanismus – tzv. „hvízdání/ pískání“ ?

Možné mechanismy tvorby zvuku

- **Hvízdání/pískání**: pouze aerodynamický děj,
bez kmitavého pohybu tkání
fo určena rezonancí dutin vokálního traktu



- **MEAD**: kmitání hlasivek speciálním způsobem -
translační pohyb (VC 1), a zpoždění pohybu
horních okrajů labií vůči spodním - slizniční vlna
(VC 2)
*fo určena hlasivkami, vokální trakt není nutný
pro kmity, konvergentní /divergentní glottis*



Předpokládáno u ptačích modelů, bez přímého důkazu

(eg Amador et al. 2013, Elemans et al 2008, Mindlin & Laje 2005)

SLIZNIČNÍ VLNY NA HLASIVKÁCH

Vlny se šíří od spodního okraje
hlasivek směrem nahoru po obvodu
hlasivek

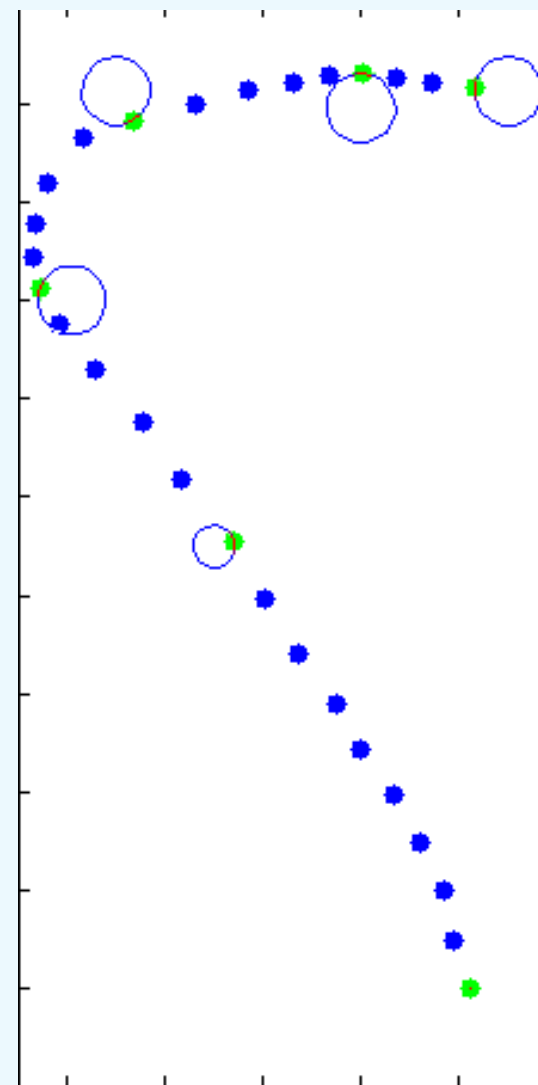
(Rethi, 1896; Farnsworth, 1940; Smith, 1954;
Moore & von Leden, 1958; Perello, 1964;
Hiroto, 1968; Hirano, 1974; Baer, 1975;
Matsushita, 1975; Saito, 1981; Yumoto
1989-98, Berry et al 2001, Döllinger et al
2004, Boessendecker et al 2007)



David A. Berry

ILUSTRACE

vytvořena přibližně
na základě trajektorií
změřených Berry, et al (2001)

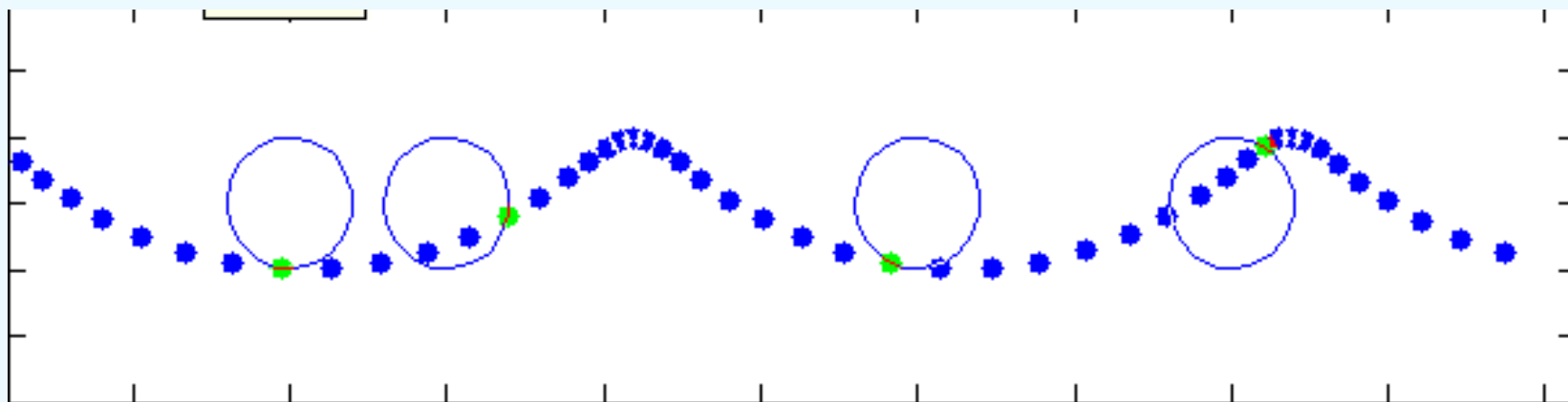


ANALOGIE MEZI SLIZNIČNÍMI VLNAMI A VLNAMI NA VODĚ

R. S. McGowan (1990). Haskins Laboratories Status Report on Speech Research 101/102: 243-249.

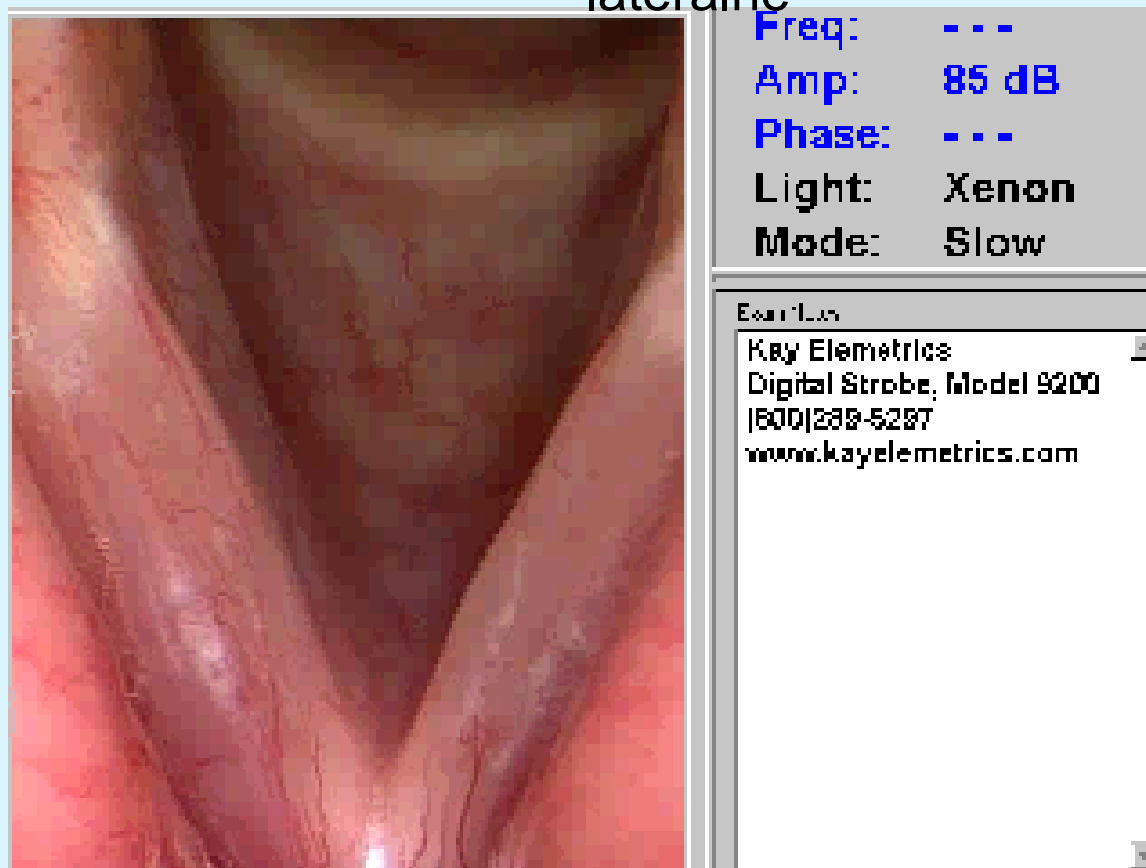
Epitel + Reinkeův prostor (povrchová vrstva laminy propria) $\leftrightarrow$ podobnost s vodní hladinou a vodou

Eliptické trajektorie + fázové rozdíly $\rightarrow$ postupná vlna



SLIZNIČNÍ VLNY V LARYNGOSTROBOSKOPII U ČLOVĚKA

Pohled shora - všimni si vertikálních rozdílů v pohybech
hlasivek a šíření slizničních vln po horním povrchu
laterálně



Kay Elemetrics Demo examples on Stroboscope

TVORBA ZVUKU U PTÁKŮ

Hledání přímého důkazu pro MEAD u ptáků pomocí experimentální biologie.

Rozkmitání hlasivek u preparátů syringu

Hledání přítomnosti slizničních vln na hlasivkách ptáků



fully perfused → muscle control
redundant motor control

ARTICLE

Received 24 Mar 2015 | Accepted 22 Oct 2015 | Published 27 Nov 2015

DOI: 10.1038/ncomms9978

OPEN

Universal mechanisms of sound production and control in birds and mammals

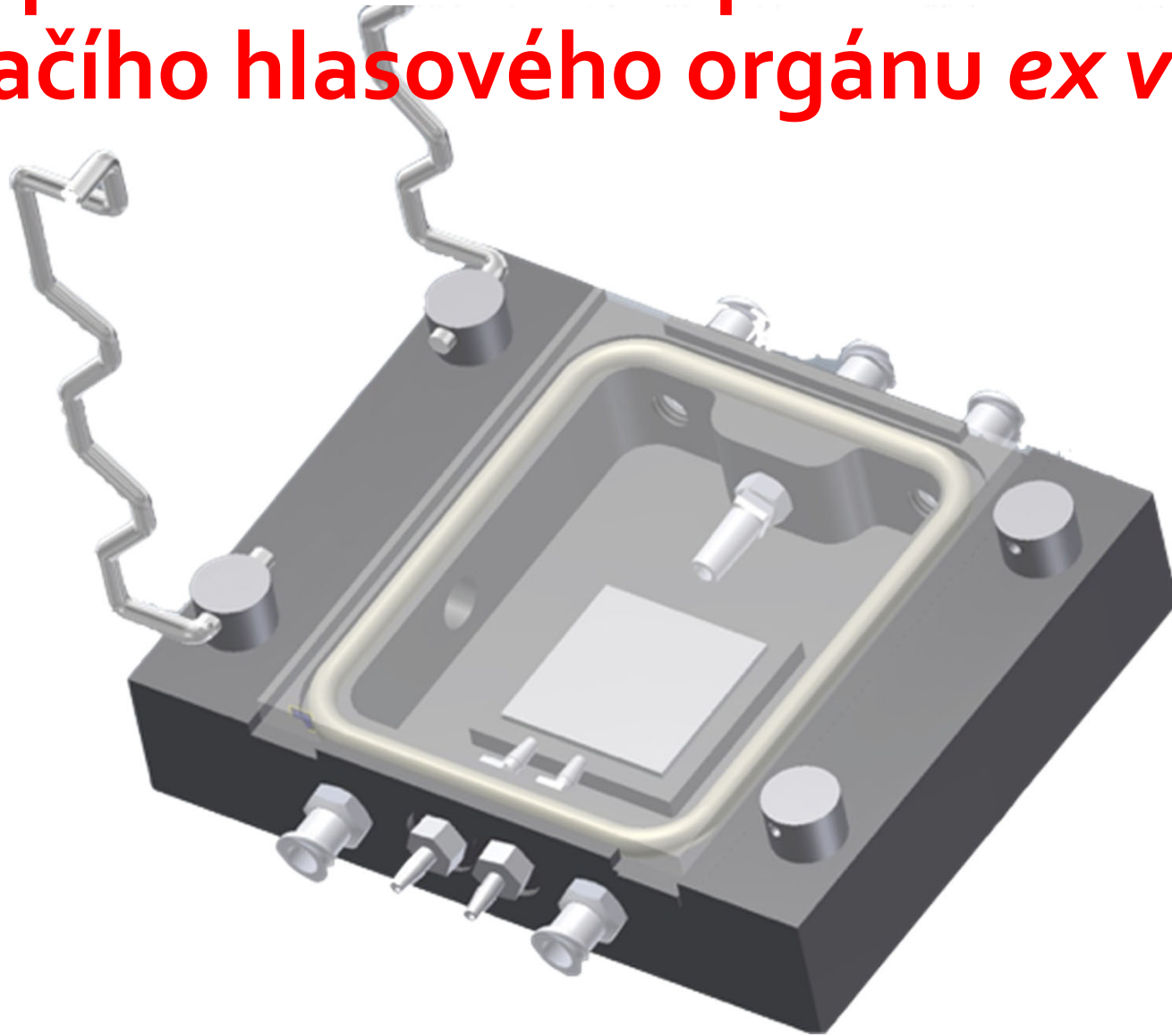
C.P.H. Elemans^{1,2,3}, J.H. Rasmussen^{1,*}, C.T. Herbst^{4,*}, D.N. Düring^{1,*}, S.A. Zollinger⁵, H. Brumm⁵, K. Srivastava^{6,7}, N. Svane¹, M. Ding⁸, O.N. Larsen¹, S.J. Sober⁶ & J.G. Švec⁴

As animals vocalize, their vocal organ transforms motor commands into vocalizations for social communication. In birds, the physical mechanisms by which vocalizations are produced and controlled remain unresolved because of the extreme difficulty in obtaining *in vivo* measurements. Here, we introduce an *ex vivo* preparation of the avian vocal organ that allows simultaneous high-speed imaging, muscle stimulation and kinematic and acoustic analyses to reveal the mechanisms of vocal production in birds across a wide range of taxa. Remarkably, we show that all species tested employ the myoelastic-aerodynamic (MEAD) mechanism, the same mechanism used to produce human speech. Furthermore, we show substantial redundancy in the control of key vocal parameters *ex vivo*, suggesting that *in vivo* vocalizations may also not be specified by unique motor commands. We propose that such motor redundancy can aid vocal learning and is common to MEAD sound production across birds and mammals, including humans.

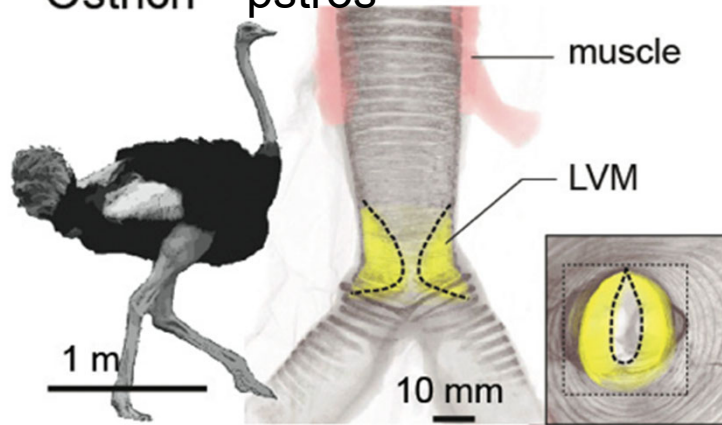
Coen P.H. Elemans
Sound & Behavior Group
University of Southern Denmark



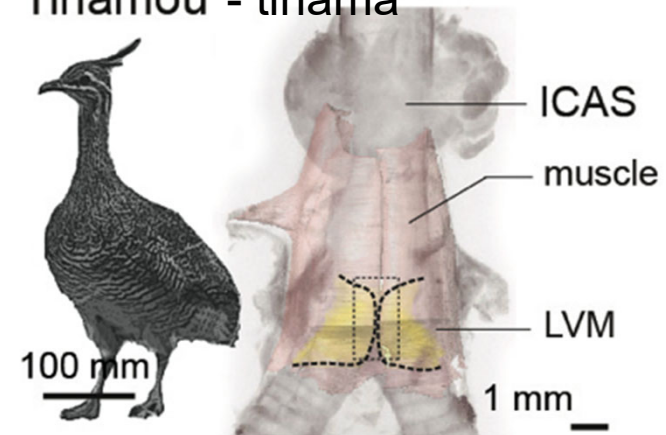
Speciální zařízení pro studium ptačího hlasového orgánu *ex vivo*



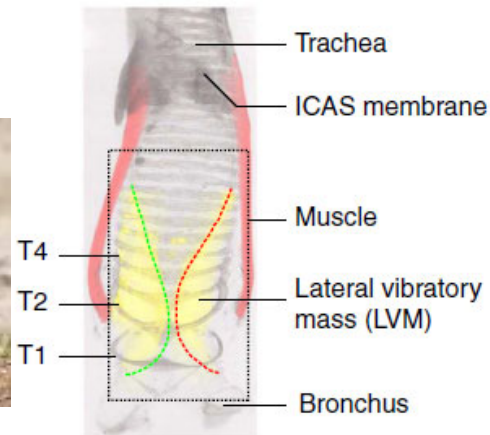
Ostrich - pštros



Tinamou - tinama

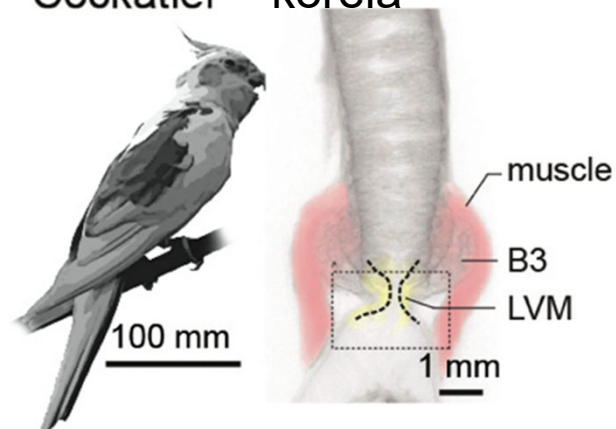


Rock pigeon – holub skalní

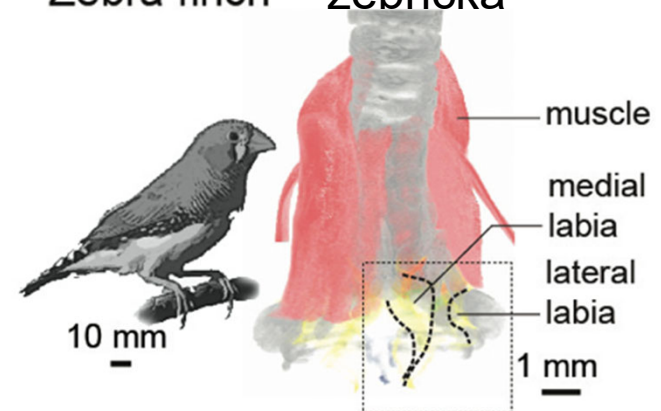


Studování ptáci

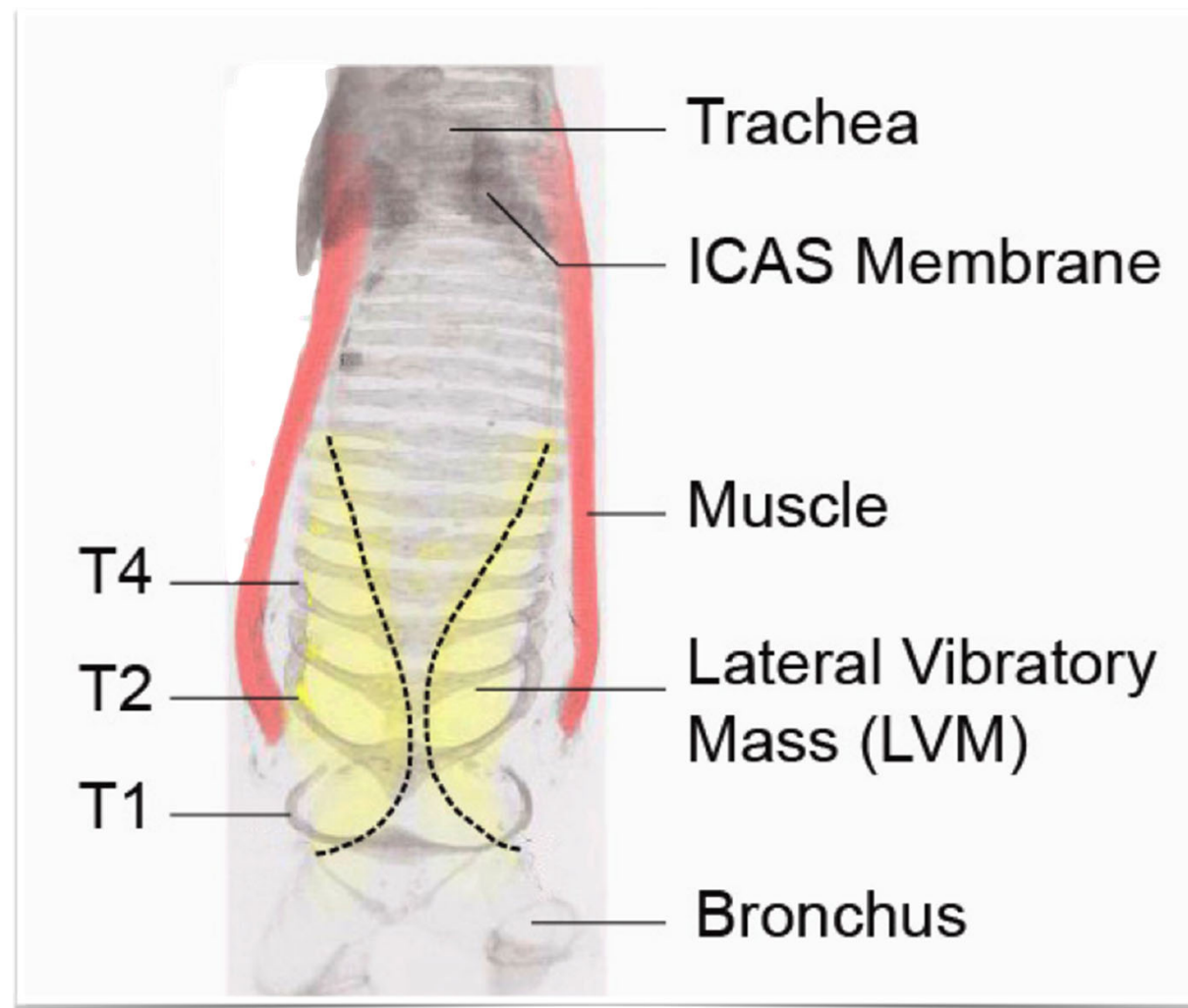
Cockatiel - korela



Zebra finch - zebříčka



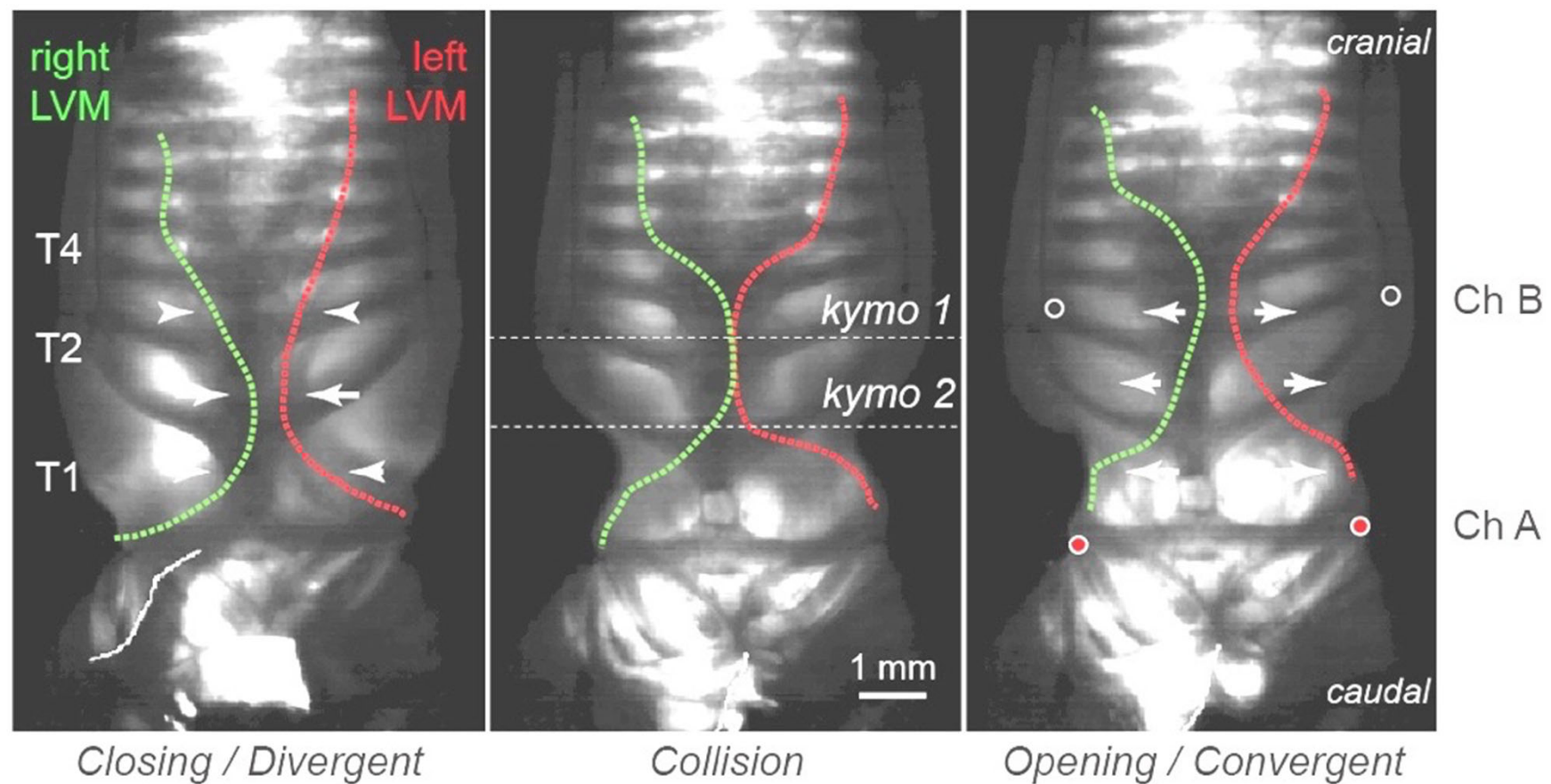
Výsledky: Holub skalní

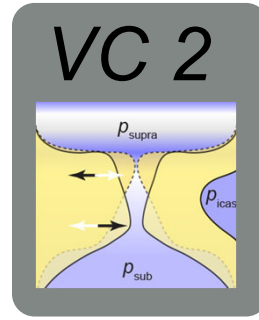
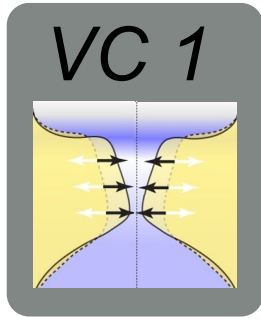


Vysokorychlostní video: osvětlený a prosvícený syrinx holuba



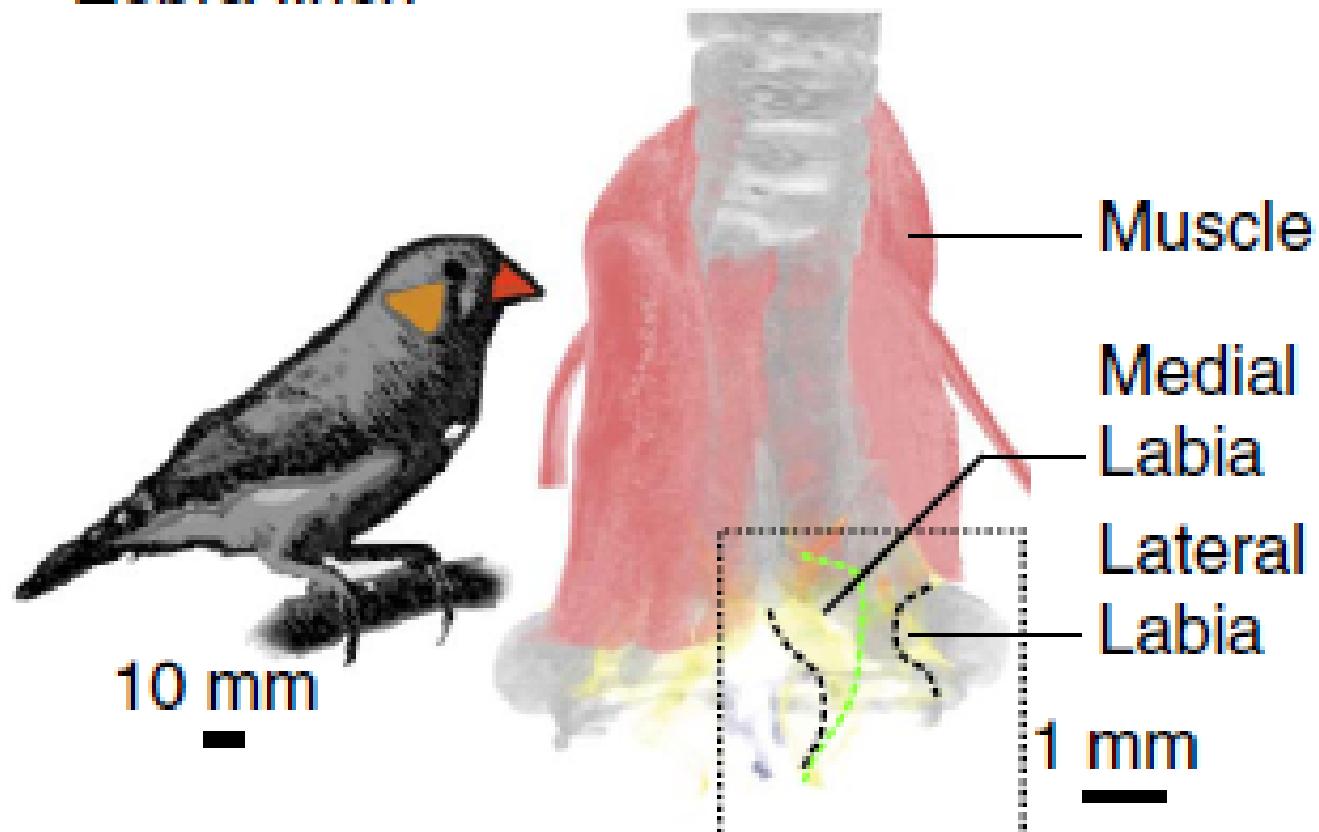
Results: Rock Pigeon





Výsledky: Zebříčka

Zebra finch



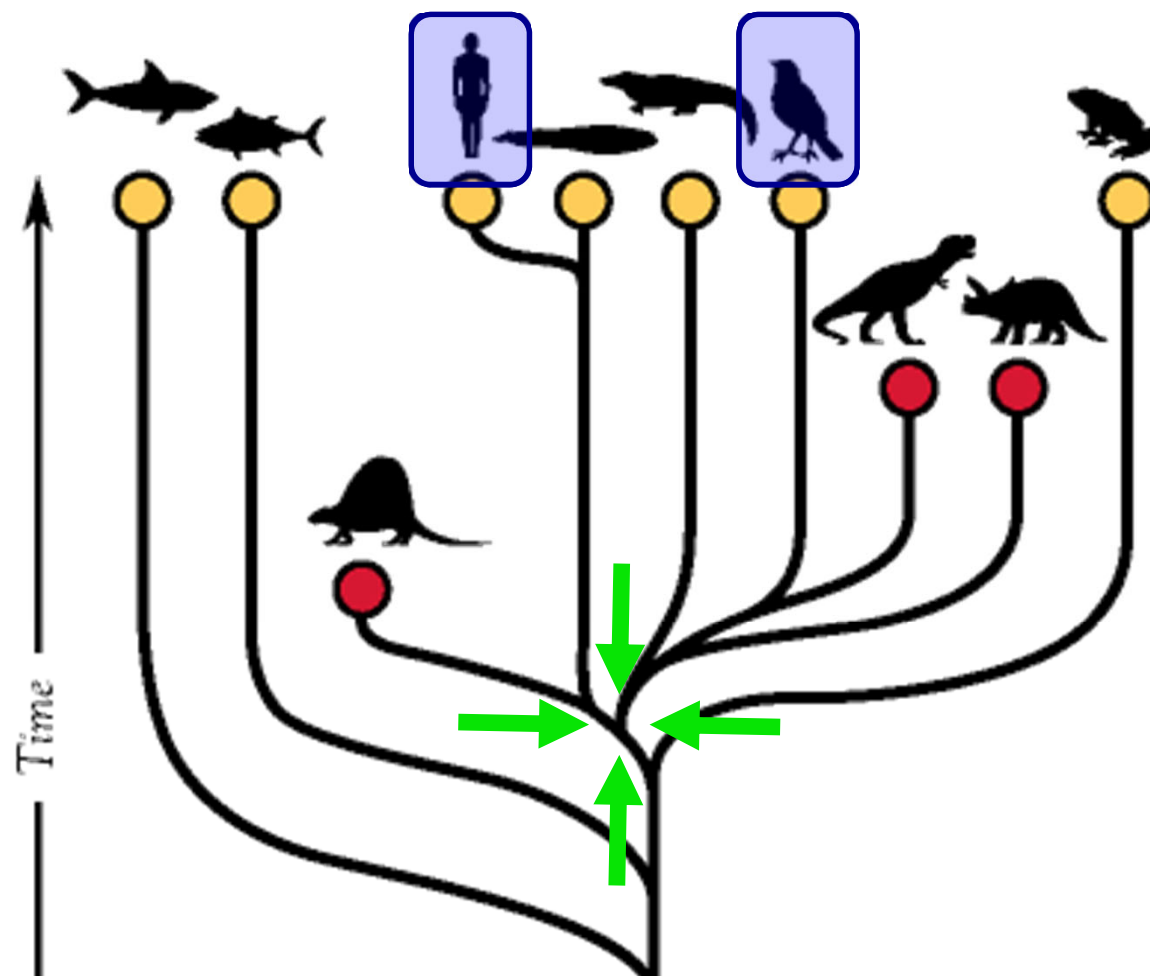
Vysokorychlostní video: prosvícený syrinx zebříčky



C. Elemans a kol.: Shrnutí

- První přímý důkaz: ptáci používají MEAD
- Savci i ptáci používají stejný mechanismus produkce zvuku
- Studium zvuku zvířat lze použít pro pochopení tvorby hlasu a řeči člověka





**Podobný fyzikální mechanismus
... ale různý hlasový orgán**

Fig. 1. Phylogenetic tree of the vertebrates. The tree is based on the data from Carlson, 1995. The tree is modified from Carlson, 1995.

JAK SE VYVINULA ŘEČ U ČLOVĚKA?

Dvě teorie:

1) Unikátnost vokálního traktu člověka
(vokální trakt = dutiny horních dýchacích cest mezi hlasivkami a rty)

2) Specifický vývoj mozku

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

Teorie č. 1)

Unikátnost vokálního traktu člověka

(vokální trakt = dutiny horních dýchacích cest mezi hlasivkami a rty)

P. Lieberman (1969): Teorie sestoupení hrtanu – snížení hrtanu u člověka umožnilo větší modifikovatelnost vokálního traktu pomocí jazyka, a tím umožnilo produkci různých hlásek. Tato schopnost odlišuje člověka od opic.

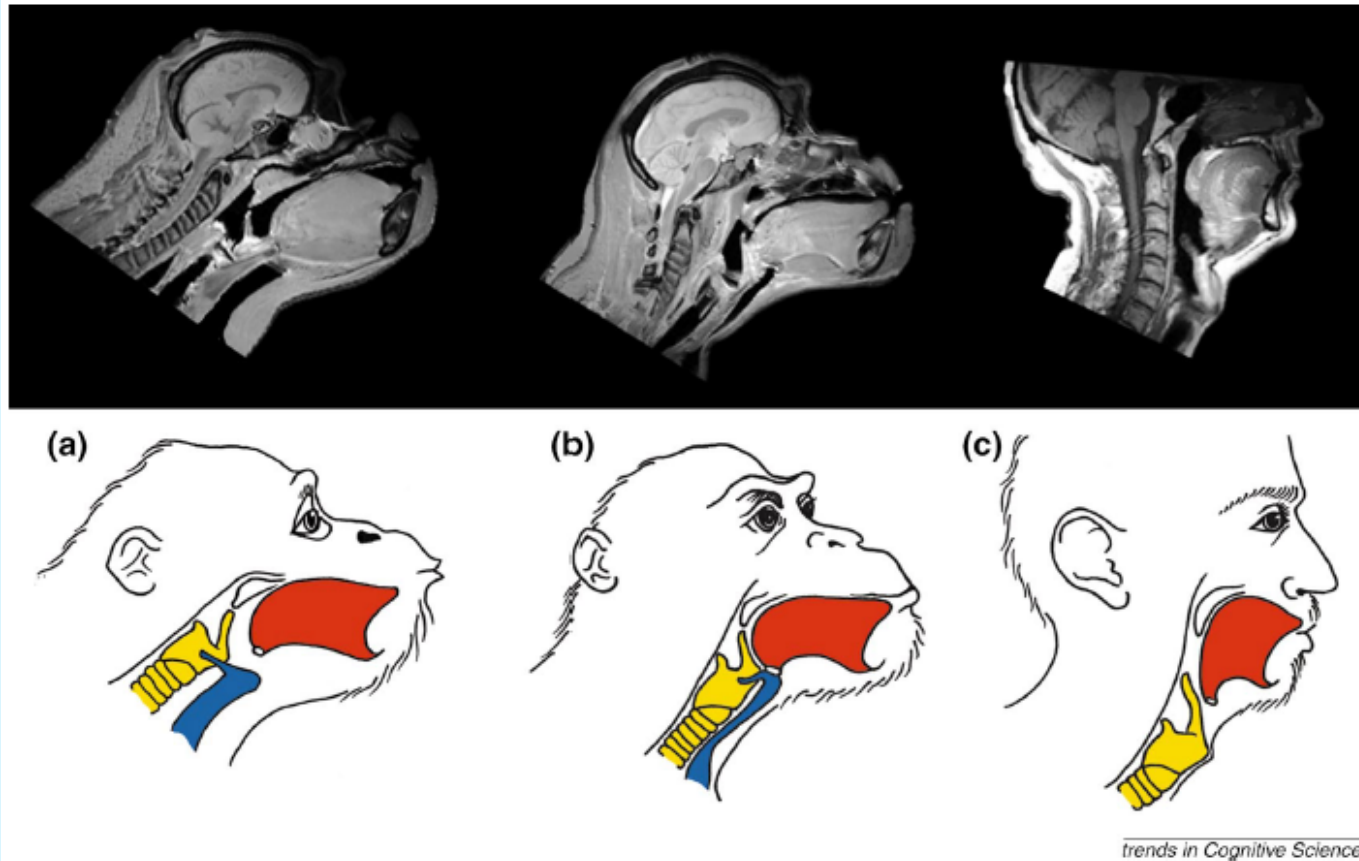
ČLOVĚK: PRODUKCE ŘEČI



Samohlásky /a/,
/i/, /u/,
rentgenová
kinematorafie

A.-M. Laukkanen, E. Vilkman, and R. Takalo. X-ray video - vowels /a/, /i/, /u/. 1996.

POROVNÁNÍ ANATOMIE HLASOVÝCH ORGÁNŮ ORANGUTANA, ŠIMPANZE A ČLOVĚKA



Červená – jazyk, žlutá – hrtan a průdušnice, modrá - vzdušné vaky (pouze u opic). Všimněte si sníženého hrtanu u člověka (c) a s tím související změnu tvaru jazyka oproti orangutanovi (a) a šimpanzovi (b). Tyto rozdíly umožňují produkci daleko větší homnožství zvuků u člověka, které jsou považovány za důležité pro vývoj řeči

W. T. Fitch. The evolution of speech: a comparative review. *Trends Cogn.Sci.* 4 (7, Jul):258-267, 2000.

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

Teorie č. 1)

Unikátnost vokálního traktu člověka

(vokální trakt = dutiny horních dýchacích cest mezi hlasivkami a rty)

P. Lieberman (1969): Teorie sestoupení hrtanu – snížení hrtanu u člověka umožnilo větší modifikovatelnost vokálního traktu, a tím umožnilo produkci různých hlásek. Tato schopnost odlišuje člověka od opic.

Problém 1: Nedávno zjištěno, že sestoupení hrtanu není jedinečné pro člověka. Sestup hrtanu objeven i u šimpanzů (Nishimura a kol. 2003, 2006). Dynamické snížení hrtanu při produkci zvuku se vyskytuje i u dalších savců (Fitch & Reby 2001).

ČLOVĚK vs OPICE:

samohlásky - akustické rozdíly

Formanty ve zvucích šimpanze

(a)
vs. formanty člověka

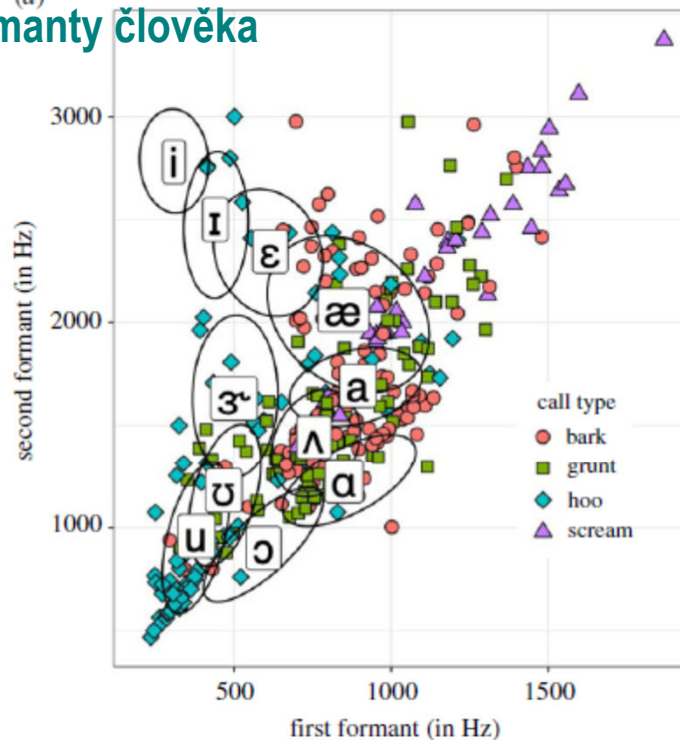


Figure 3. (a) Formant plot of current dataset (14 female/10 male chimpanzees) with superimposed human vowels (ellipses) (taken from [40]). Although there is more correlation between F1 and F2 than in humans, chimpanzee vocalizations similar to human [u], [ε] and [a] are emitted with F1 and F2 values commensurate with similar sounding human vowels. (b) Formant plot comparing our chimpanzee vocalizations with other primate species, with data drawn from other studies: 15 baboons [4] and one rhesus macaque [6]: interpret with caution due to expected species differences in vocal tract length and the selection of only some calls per repertoire.

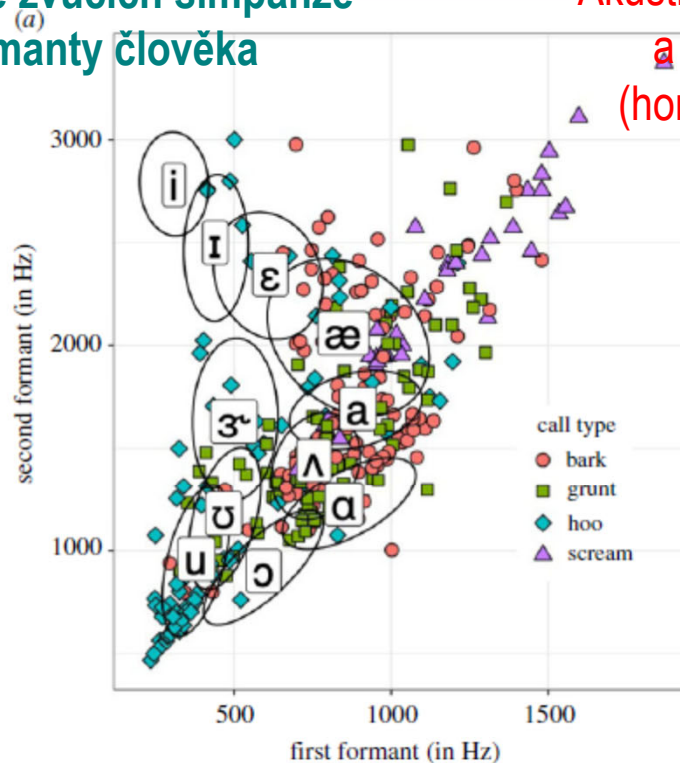
**Šimpanz má schopnost
tvořit samohlásky jako
člověk, ale přesto
nemluví!**

Grawunder, S., Uomini, N., Samuni, L., Bortolato, T., Girard-Buttoz, C., Wittig, R. M., & Crockford, C. (2022). Chimpanzee vowel-like sounds and voice quality suggest formant space expansion through the hominoid lineage. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377(1841). doi:10.1098/rstb.2020.0455

ČLOVĚK vs OPICE:

samohlásky - akustické rozdíly

Formanty ve zvucích šimpanze
vs. formanty člověka



Akustické dovednosti se rozšiřují s evolucí hominoidů: makak a pavián (opice kočodanovité) vs. šimpanz a člověk (hominidé, lidoopi). ALE NEVEDE TO K ROZVOJI ŘEČI.

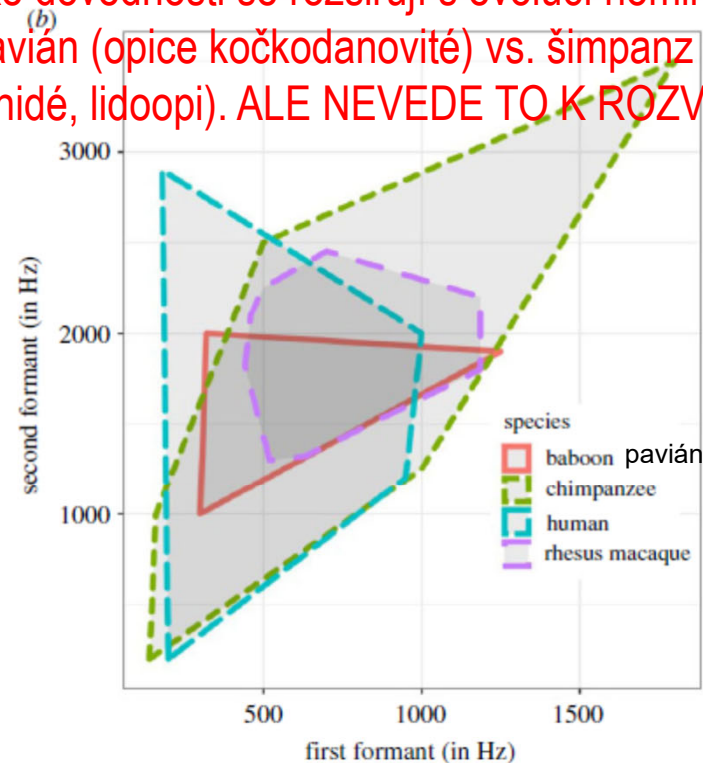


Figure 3. (a) Formant plot of current dataset (14 female/10 male chimpanzees) with superimposed human vowels (ellipses) (taken from [40]). Although there is more correlation between F1 and F2 than in humans, chimpanzee vocalizations similar to human [u], [ε] and [a] are emitted with F1 and F2 values commensurate with similar sounding human vowels. (b) Formant plot comparing our chimpanzee vocalizations with other primate species, with data drawn from other studies: 15 baboons [4] and one rhesus macaque [6]: interpret with caution due to expected species differences in vocal tract length and the selection of only some calls per repertoire.

Grawunder, S., Uomini, N., Samuni, L., Bortolato, T., Girard-Buttoz, C., Wittig, R. M., & Crockford, C. (2022). Chimpanzee vowel-like sounds and voice quality suggest formant space expansion through the hominoid lineage. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 377(1841). doi:10.1098/rstb.2020.0455

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

Teorie č. 1)

Unikátnost vokálního traktu člověka

(vokální trakt = dutiny horních dýchacích cest mezi hlasivkami a rty)

~~P. Lieberman (1969): Teorie sestoupení hrtanu – snížení hrtanu u člověka umožnilo větší modifikovatelnost vokálního traktu, a tím umožnilo produkci různých hlásek. Tato schopnost odlišuje člověka od opic.~~

Problém 2: Jak to, že jsou schopni mluvit ptáci, z nichž někteří mají úplně jiný tvar hlasového ústrojí ?

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

Dvě teorie:

1) Unikátnost vokálního traktu člověka

(vokální trakt = dutiny horních dýchacích cest mezi hlasivkami a rty)

2) Specifický vývoj mozku

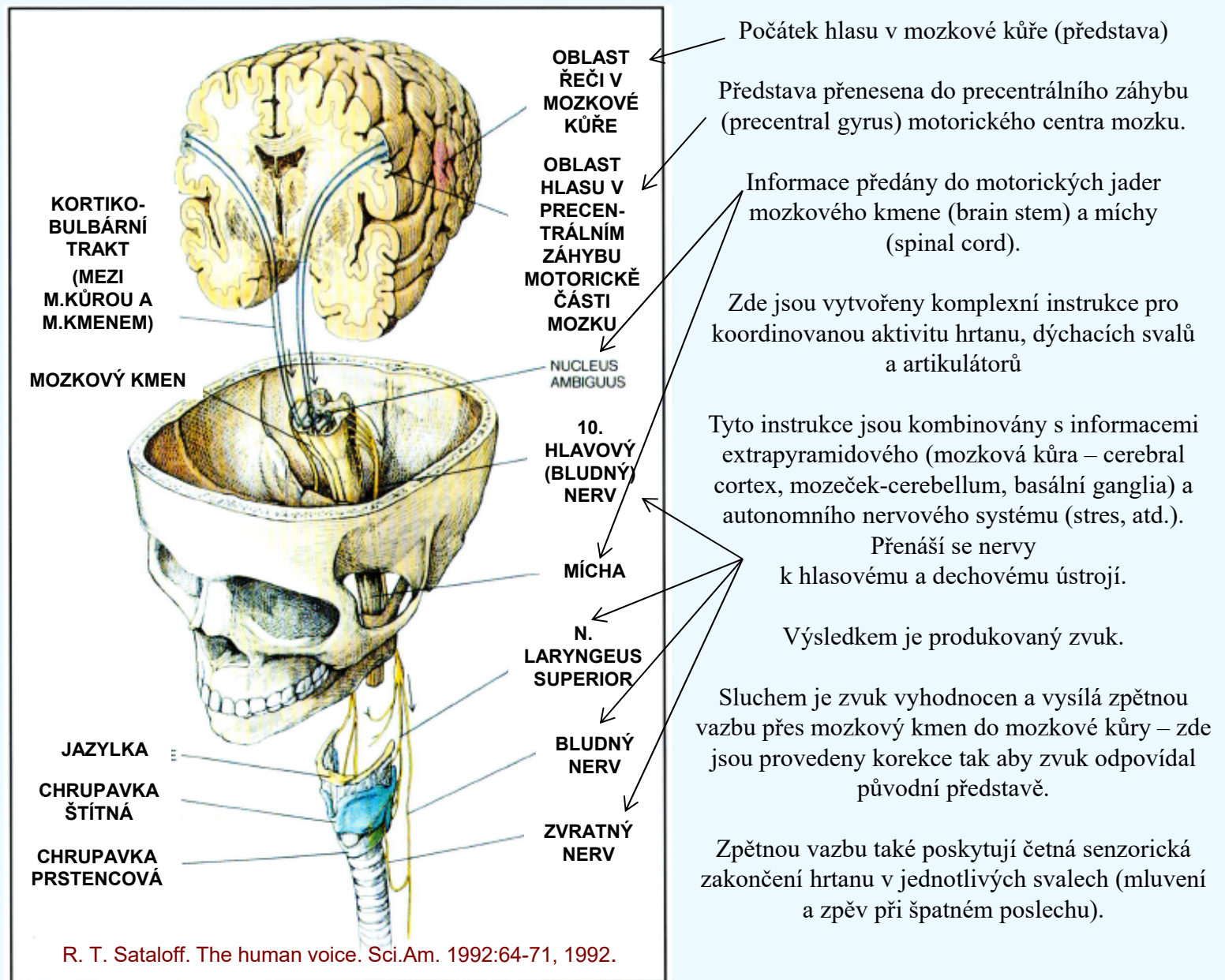
VÝVOJ ŘEČI

**Teorie č. 2)
Specifický vývoj mozku**

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

**Jak funguje lidský mozek při tvorbě
hlasu a řeči?**

KONTROLNÍ SYSTÉM PRO TVORBU HLASU U ČLOVĚKA



FUNKČNÍ MAGNETICKÁ REZONANCE: Zobrazení aktivních částí mozku při fonaci

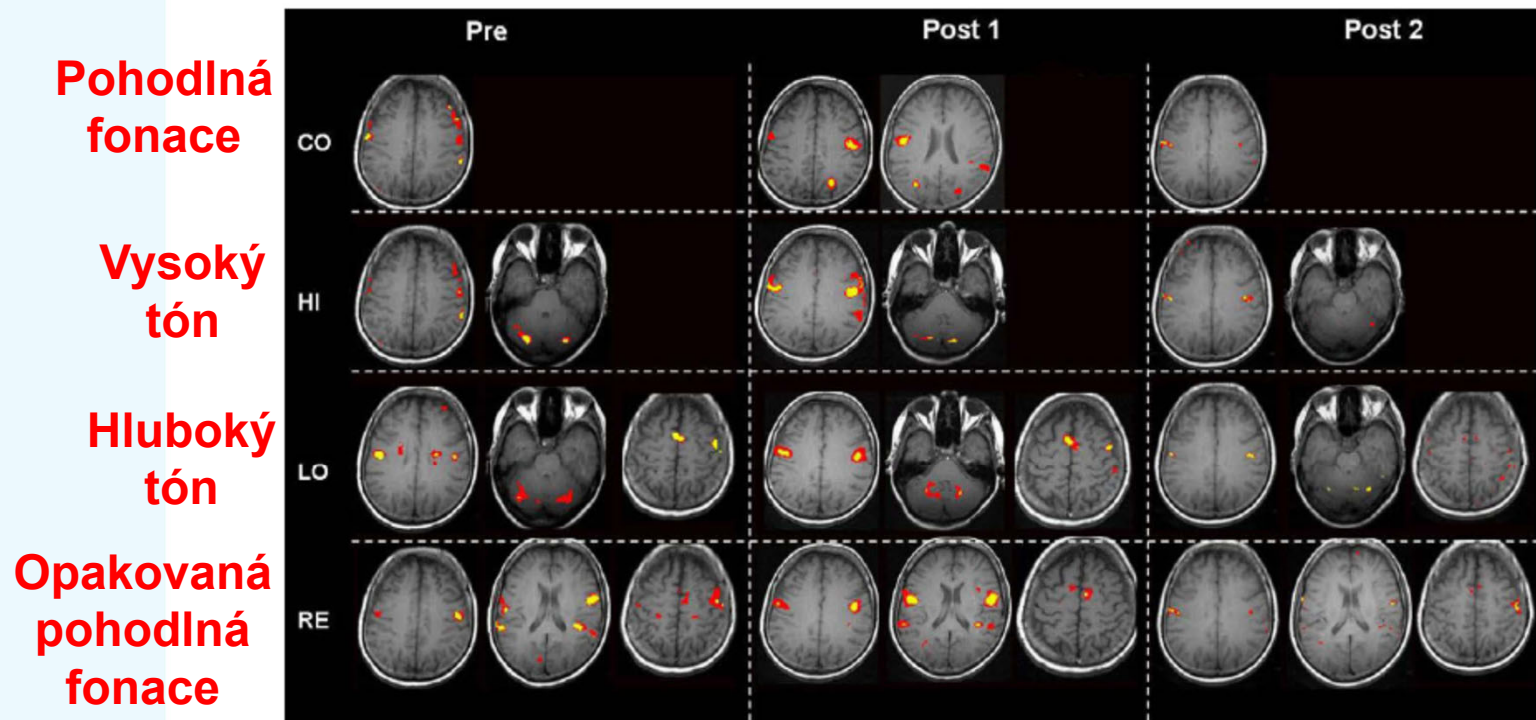


FIGURE 2. Network of activations was shown in the patient. Areas of activation during voice production at comfortable pitch (CO), high pitch (HI), low pitch (LO), and repeated vocalization (at comfortable pitch (RE)) are displayed. Scans are statistical parametric maps that show brain activations presurgery (left), 1-month postsurgery (center), and 6 months postsurgery (right). Red blobs indicate $P < 0.005$ corrected, $R^2 > 0.3$; yellow blobs indicate $P < 0.001$, $R^2 > 0.4$. Regions of activation displayed in this figure include: (A) comfortable pitch: precentral gyrus and inferior parietal lobe, (B) high pitch: precentral gyrus, inferior parietal lobe, and cerebellum, (C) low pitch: precentral gyrus, cerebellum, and supplementary motor area, and (D) repetition of sound: precentral gyrus, superior temporal gyrus, and supplementary motor area.

Galgano JF et al. Correlation between Functional MRI And Voice Improvement Following Type I Thyroplasty in Unilateral Vocal Fold Paralysis-A Case Study. *J.Voice* 23 (5):639-645, 2009. (Fig.2)

NEUROPROTÉZA:

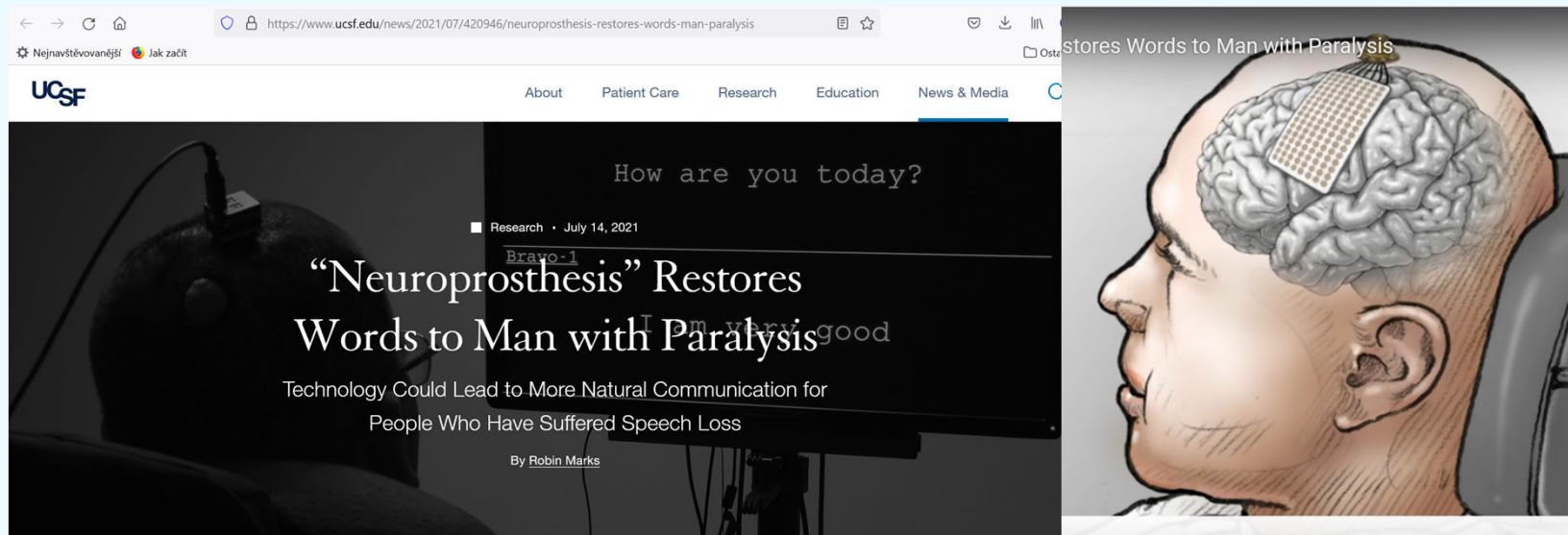
Převádění myšlenek na řeč

Vývoj implantátu pro tvorbu slov z myšlenek

Detektor zaznamenává aktivitu v motorické části mozku, kde vznikají nervové impulzy ovládající vokální trakt

Zaznamenané elektrické signály se analyzují v počítači

Výpočetní algoritmus z nich rozpoznává slova v myšlenkách ochrnutého pacienta



Marks, R., & Chang, E. (2021). “Neuroprosthesis” Restores Words to Man with Paralysis. Retrieved from <https://www.ucsf.edu/news/2021/07/420946/neuroprosthesis-restores-words-man-paralysis>

https://www.youtube.com/watch?v=_GMcf1fXdW8

NEUROPROTÉZA:

Převádění myšlenek na řeč



Marks, R., & Chang, E. (2021). "Neuroprosthesis" Restores Words to Man with Paralysis. Retrieved from <https://www.ucsf.edu/news/2021/07/420946/neuroprosthesis-restores-words-man-paralysis>

https://www.youtube.com/watch?v=_GMcf1fXdW8

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

Teorie č. 2) Specifický vývoj mozku

Darwin (1871),

Kuypers/Jürgens (90. léta 20.stol.) – hypotéza přímého nervového spojení mezi motorickým kortexem v mozkové kůře (centrum řídící vědomé pohyby) a motoneurony svalů řečových orgánů – není u orangutanů, je u ptáků. Toto mozkové spojení umožňuje imitaci zvuků. Musí být ale spojeno i s „vokální pamětí“ (schopnost pamatovat si zvuky).

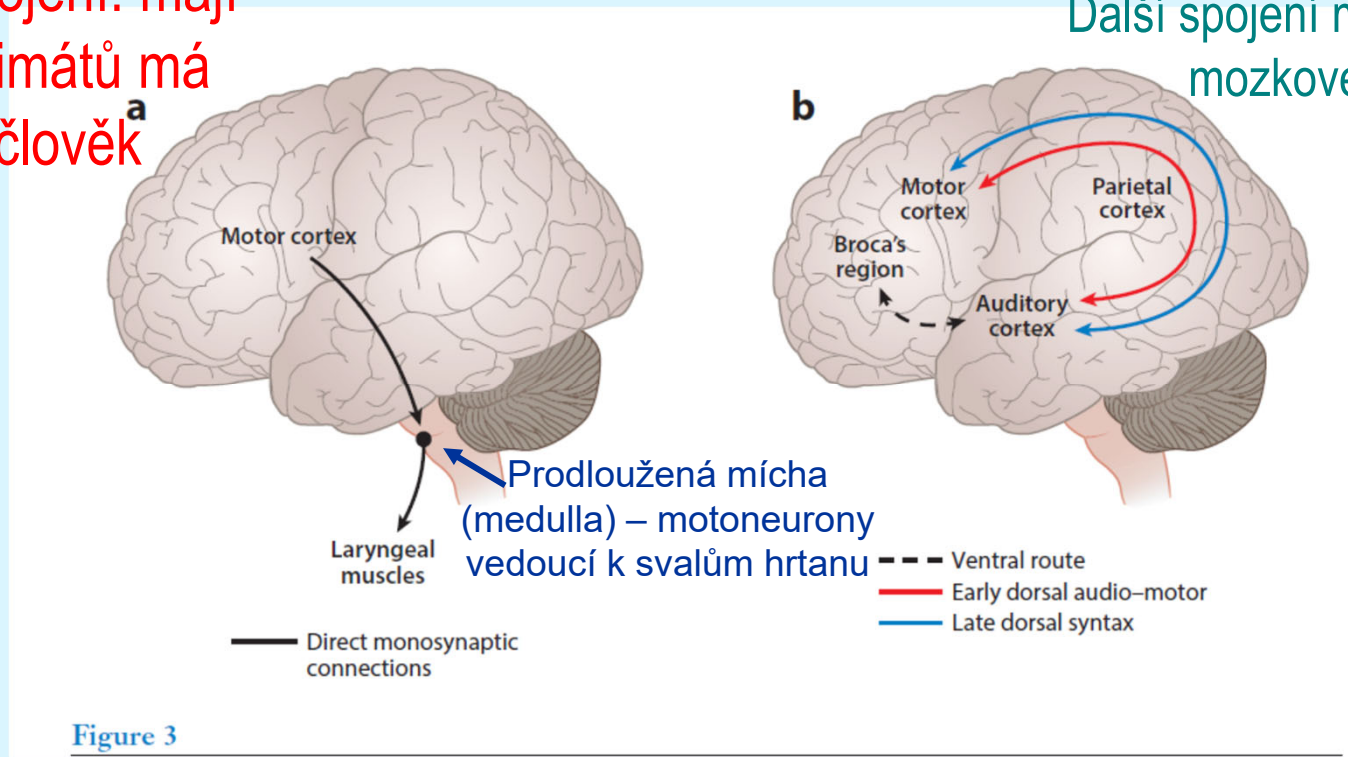
Výzkum v této oblasti není ukončen.

VÝVOJ ŘEČI U ČLOVĚKA

Přímé
(monosynaptické)
nervové spojení: mají
ptáci, z primátů má
pouze člověk

Teorie č. 2) Specifický vývoj mozku

Další spojení mezi centry v
mozkové kůře



Fitch, W. T. (2018). The biology and evolution of speech: A comparative analysis. Annual Review of Linguistics, 4, 255-279.

VÝVOJ ŘEČI

Teorie č. 2) Specifický vývoj mozku

V poslední době probíhá hledání živočichů, kteří mají schopnost imitovat lidskou řeč.

Doposud identifikováni:

Ptáci

Ralls et al. (1985) – mluvící tuleň

Nový objev: Mluvící slon

MLUVÍCÍ TULEŇ

W. T. Fitch, Univerzita ve Vídni



W. T. Fitch & Sprouts

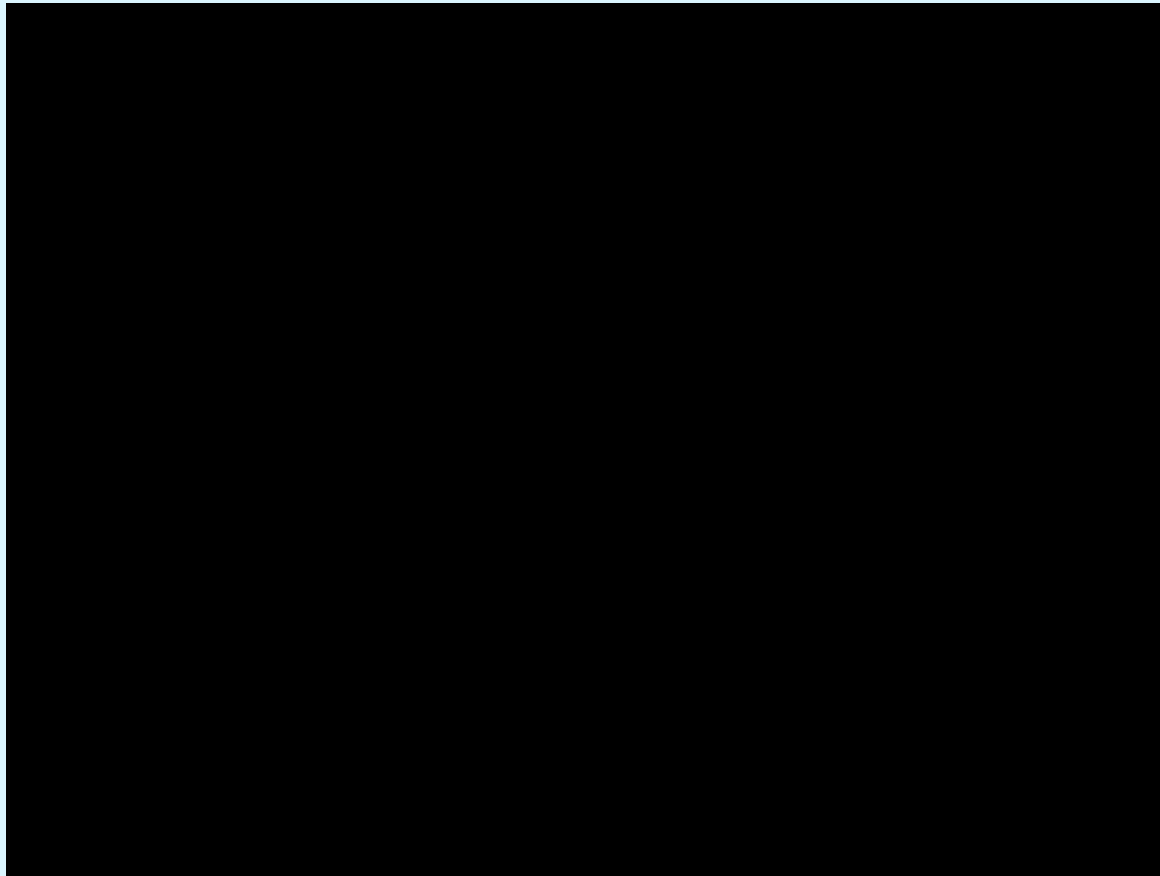
Hoover



Sprouts

MLUVÍCÍ TULEŇ

W. T. Fitch, Univerzita ve Vídni



Sprouts

MLUVÍCÍ SLON

Slon jménem Kosik - ZOO v Jižní Koreji.
Umí vyslovovat nejméně 7 korejských slov.
Používá chobot pro vytváření hlásek

2012



<https://www.youtube.com/watch?v=vLUz7E5gU2c>

VÝVOJ ŘEČI

Teorie č. 2) Specifický vývoj mozku

Studium zvířat, které umí imitovat lidskou řeč
umožňuje lépe pochopit podstatu fungování
mozku pro tvorbu zvuku, hlasu a řeči

PROČ PTÁCI MLUVÍ JAKO LIDÉ?

Why parrots can talk like humans



2019 <https://www.youtube.com/watch?v=dBGw7uXc0eo>

Děkuji za pozornost