



© 2005 H. Kyohit Luferman



ЗВУКИ ЖИВОТНЫХ И РЕЧЬ ЧЕЛОВЕКА - ЧТО НАС РАЗЪЕДИНЯЕТ

Володин Илья Александрович
МФК, биофак МГУ
25 марта 2020 г.



Эволюция языка и Эволюция речи

Язык ↔ Речь

Язык — это система символов, применяющаяся для обозначения предметов и понятий и оперирования ими

Язык жестов, язык программирования, язык танца

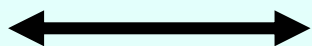
Речь (речевой язык) — специфическое голосовое средство, используемое людьми для передачи языка

**Эволюция языка и эволюция речи
может изучаться отдельно**



Эволюция языка

Язык
человека



Звуковая коммуникация
животных

Отличия **речевого языка** человека от прочих языков (в том числе и от коммуникативных систем животных)

1. Произвольность.

Условное соответствие знака (слова) смыслу



Собака, dog, chiene, hund, perro, ава

*"Что в имени? Ведь роза пахнет розой,
Хоть розой назови ее, хоть нет." (В. Шекспир)*

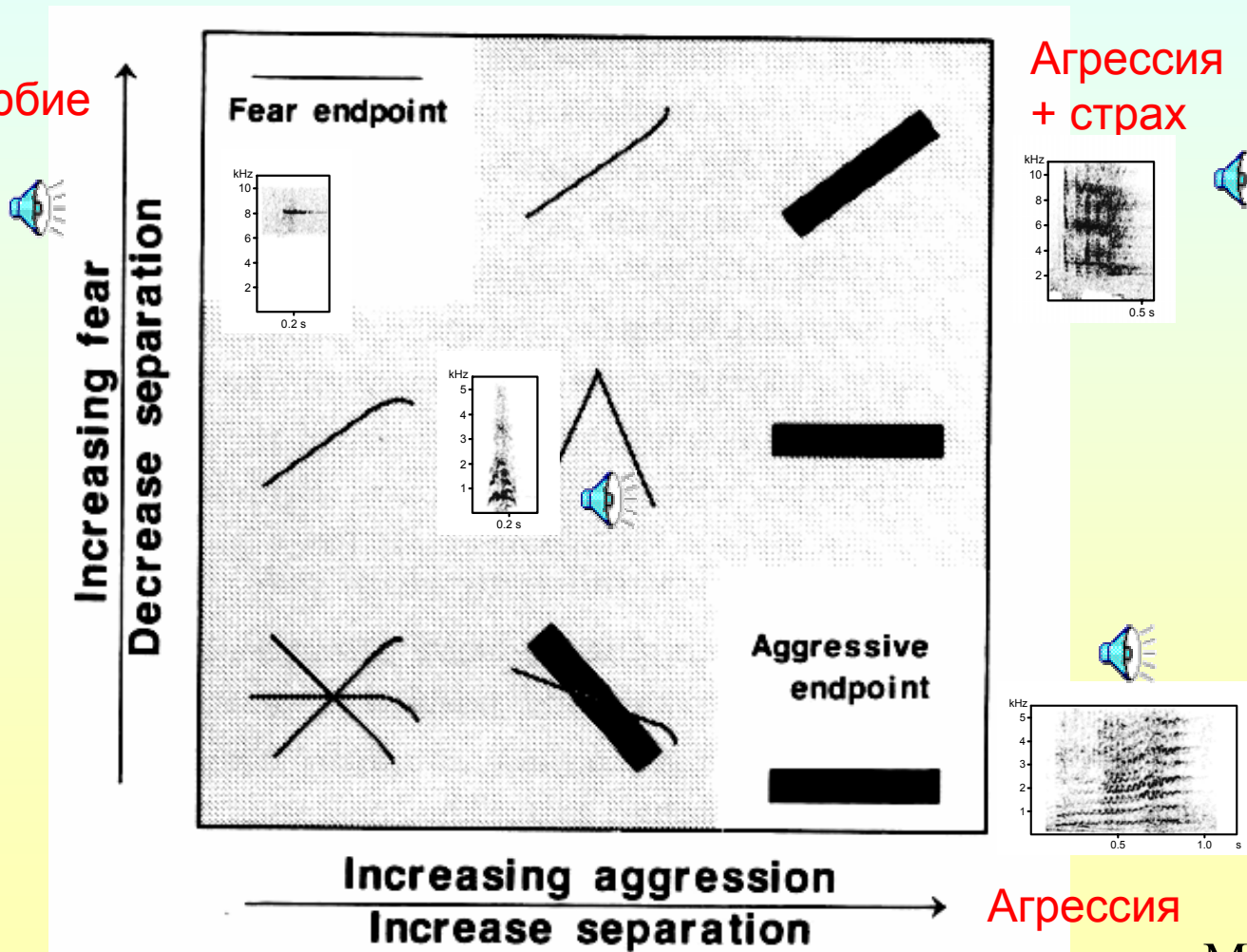


Эволюция языка, животные

Мотивационно-структурные правила Мортон

Постулируют жесткую связь между структурой и функцией звука

Страх.
дружелюбие



Агрессия

Morton, 1977

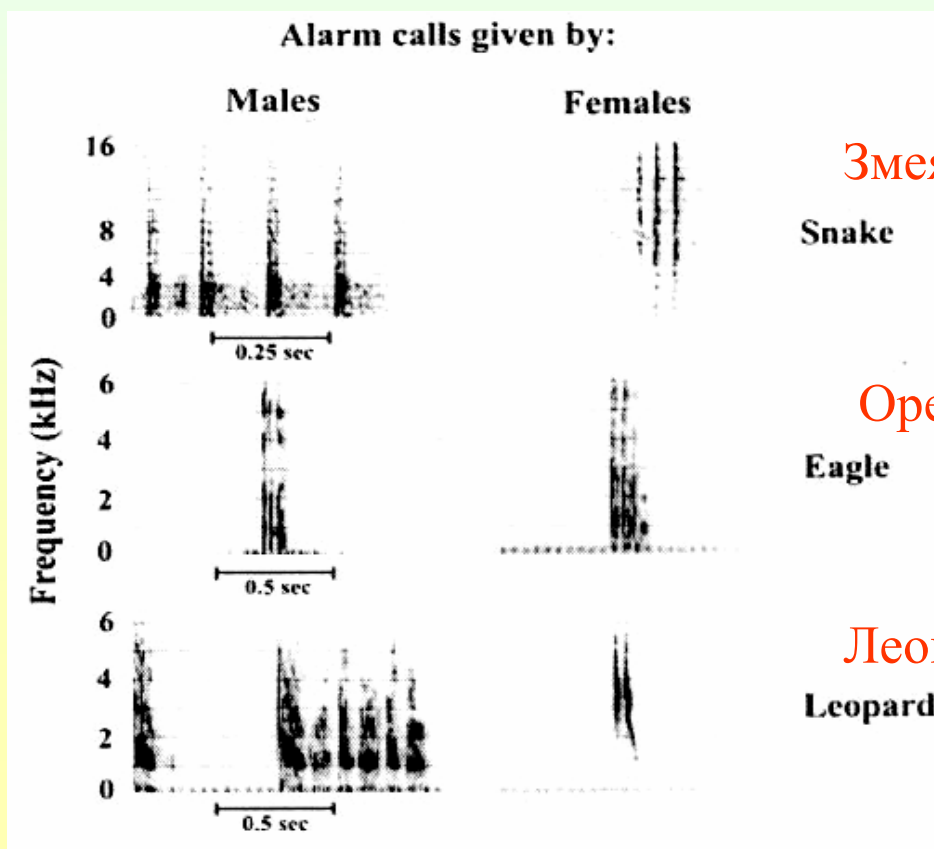


Но! Эволюция языка, животные

Референтность криков тревоги – произвольность?

Звук = сигнал. Связь звуков с определенными объектами и (или) событиями.

Структура звука не важна и не связана с передаваемой информацией, т.е. произвольна по отношению к функции.



Змея

Snake

Зеленая мартышка
(*Cercopithecus aethiops*)

Орел

Eagle

Леопард

Leopard

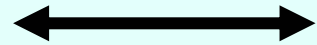


Seyfarth, Cheney, Marler, 1980



Эволюция языка

Язык
человека



Звуковая коммуникация
животных

Отличия речевого языка человека от прочих языков (в том числе и от коммуникативных систем животных)

2. Речевой язык — **дискретная комбинаторная система.**

Речь "бесконечным образом использует конечные средства" (В. фон Гумбольдт)

Дискретность — всегда целое число дискретных элементов

Комбинаторность — используется для создания более сложных структур со свойствами, отличными от свойств составляющих их элементов.



Эволюция языка

Язык
человека



Звуковая коммуникация
животных

Дискретные комбинаторные системы

Свойства целого не определяются свойствами составляющих его элементов, а зависят и от способа их комбинирования

Неограниченное число комбинаций дискретных слов

Ты пошел \neq Пошел ты

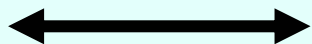
Дискретность — каждое предложение состоит из целого числа слов

Он поглядел на небо - луна еще не взошла и звезды ярко сияли
в черной пустоте , их блеск отражался в черной воде пруда,
которая подергивалась рябью из-за легких порывов ветра, дующего с полей,
наполненного ароматами луговых трав, их запах напомнил ему детство,
бабушкину дачу, на которую его отправляли бесконечно занятые родители,
ночные купания, бег босиком по свежескошенной траве , дачных друзей,



Эволюция языка

Язык
человека



Звуковая коммуникация
животных

Дискретные комбинаторные системы

Свойства целого не определяются свойствами составляющих его элементов, а зависят и от способа их комбинирования

1. Письменный язык. 33 буквы - бесконечное число слов.
2. ДНК. 4 вида нуклеотидов – 64 кодона – бесконечное число нуклеотидных последовательностей
3. Арифметика. 10 арабских цифр – бесконечное число чисел

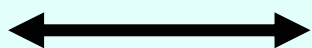
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

2 4 7 1 0 2 9 0 5 7 3 4 8 1 6 6 5 2 8 9 6 7 0 4 1 0 3 2 6 3



Эволюция языка

Язык
человека



Звуковая коммуникация
животных

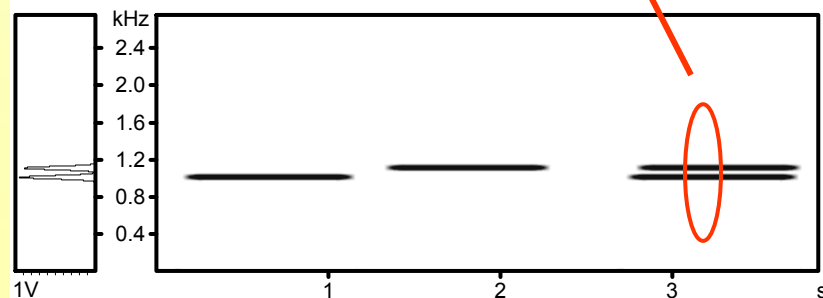
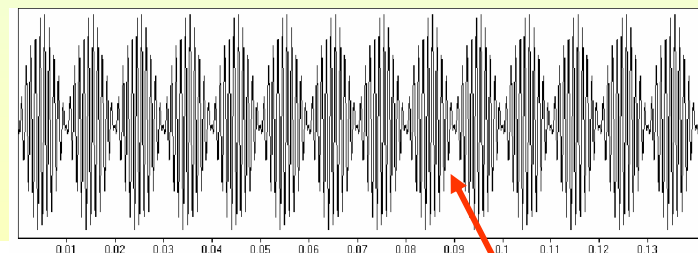
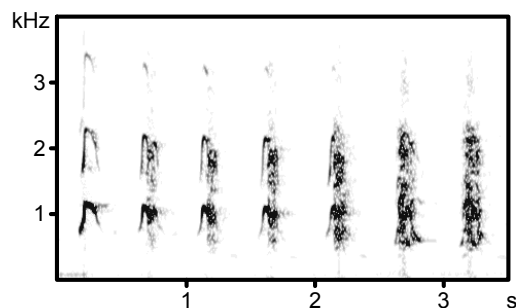
Дискретные комбинаторные системы

Свойства целого не определяются свойствами составляющих его элементов, т.е. общее не равно сумме частных

Контаминирующие системы

Свойства целого определяются свойствами составляющих его элементов, т.е. общее равно сумме частных

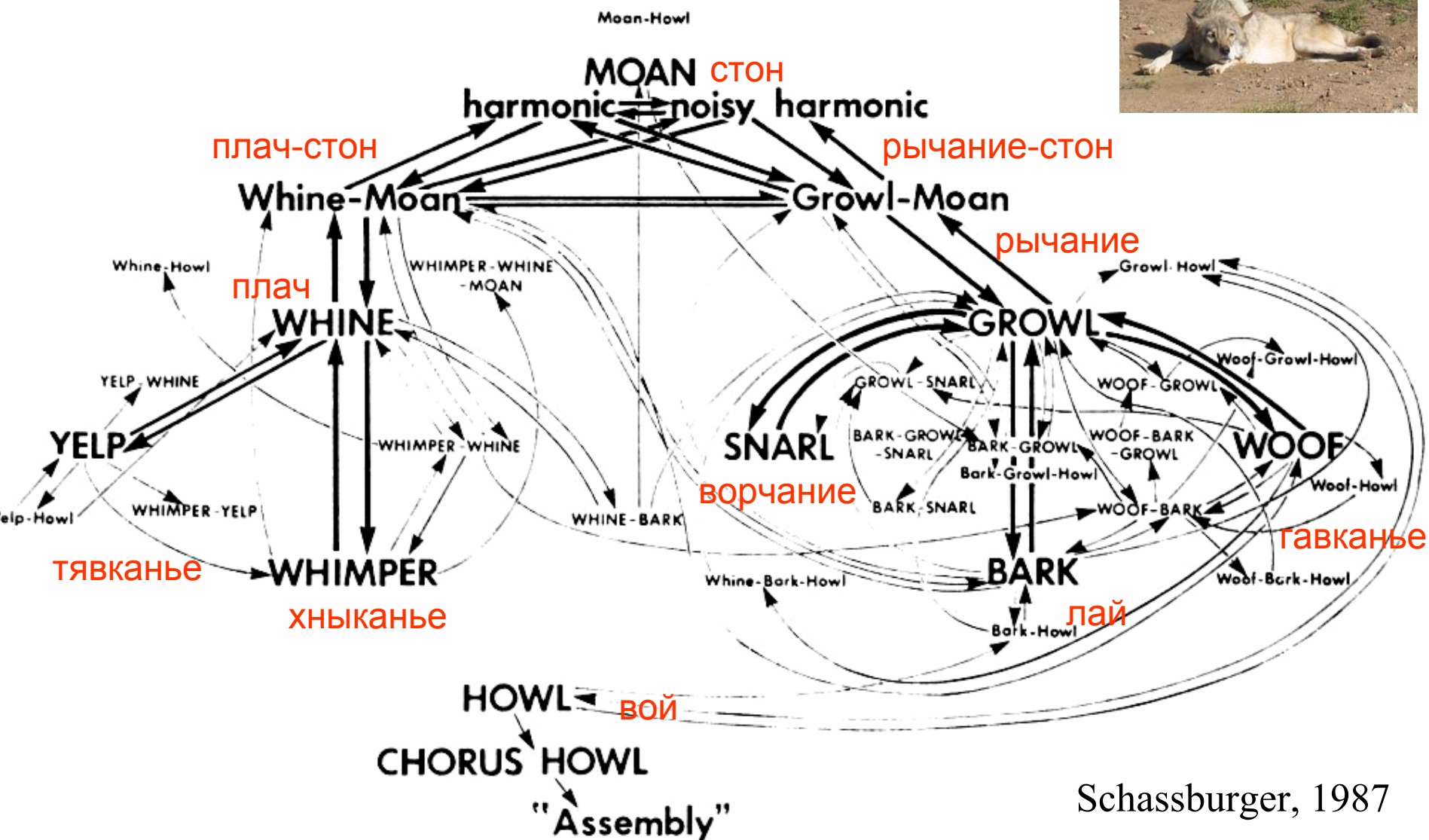
Цвет, Минералы, Звук





Эволюция языка, животные

Контаминирующая система – вокальный репертуар серого волка

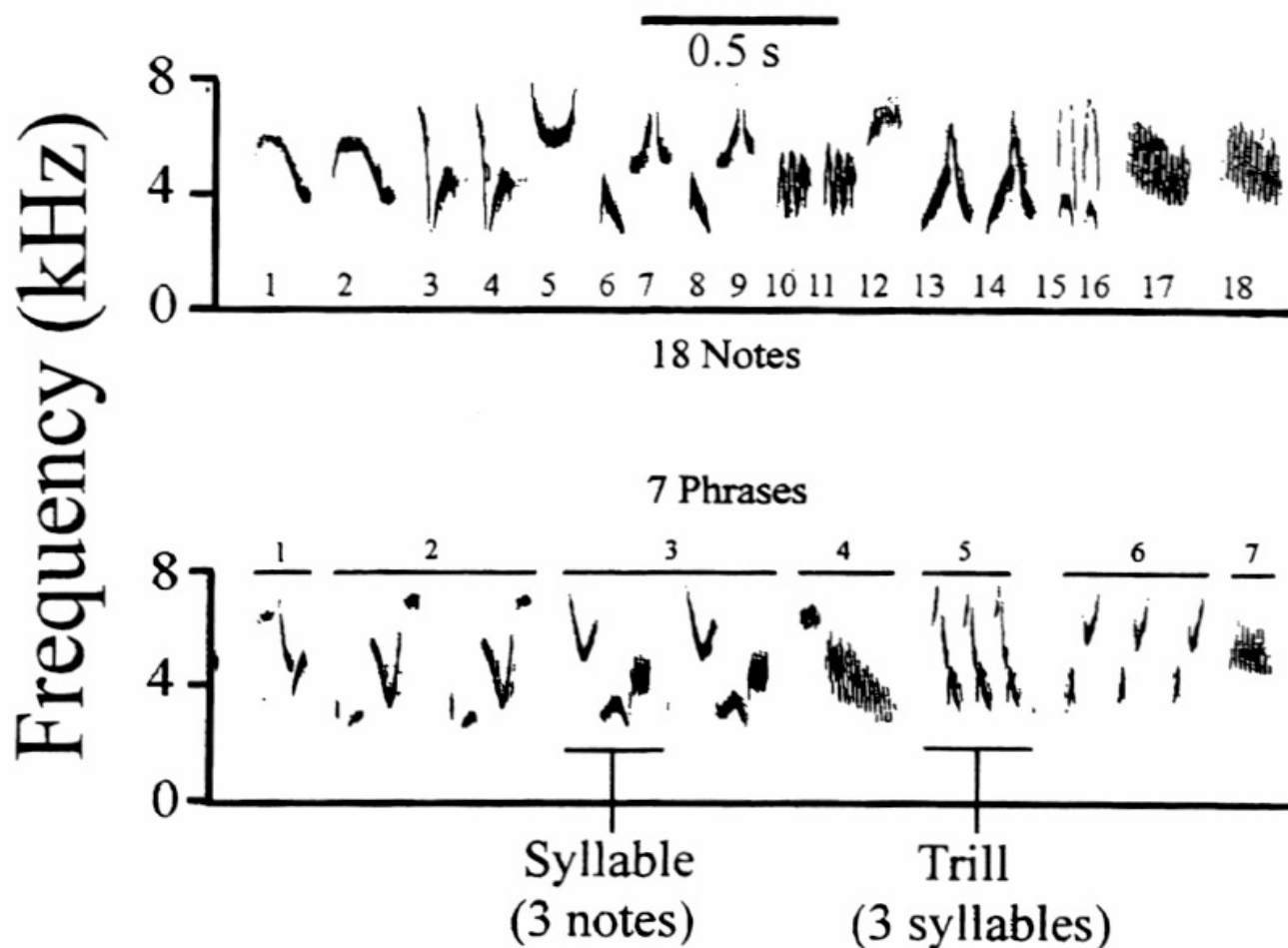




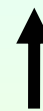
Но!

Эволюция языка, животные

Песня певчих птиц как дискретная комбинаторная система



Песня



Фраза



Силлабла
(слог)



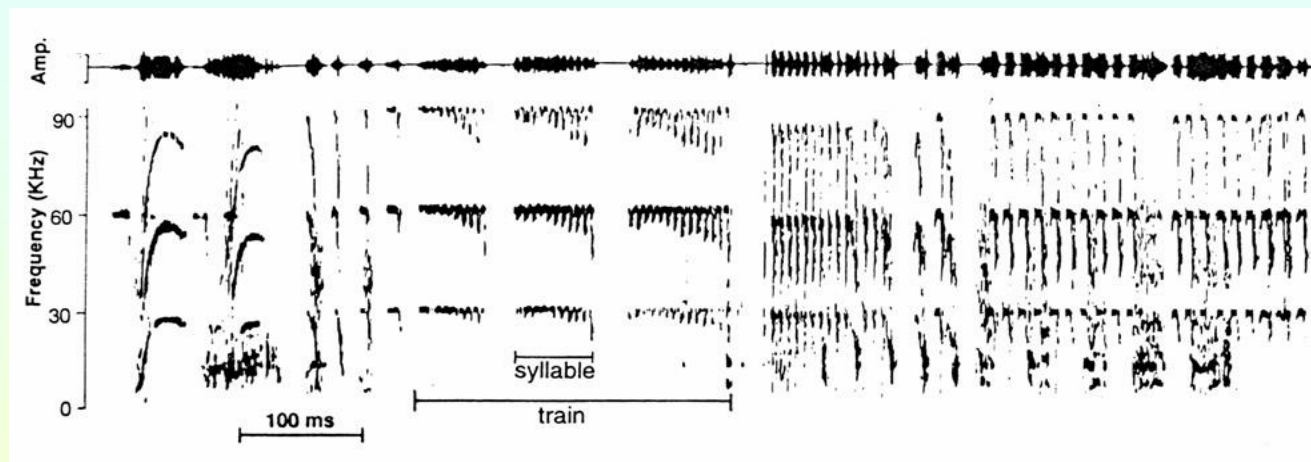
Нота

Baker, 2000



Но! Эволюция языка, животные

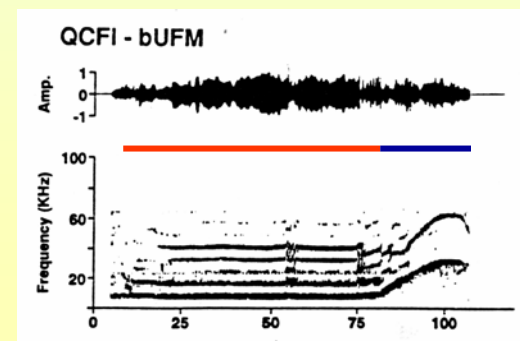
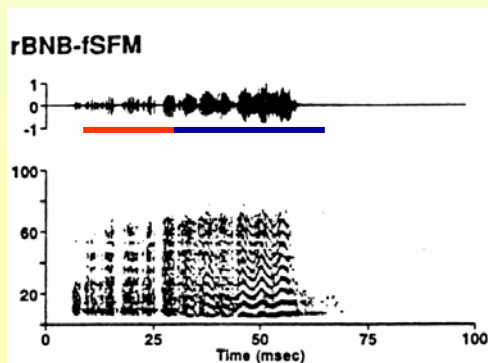
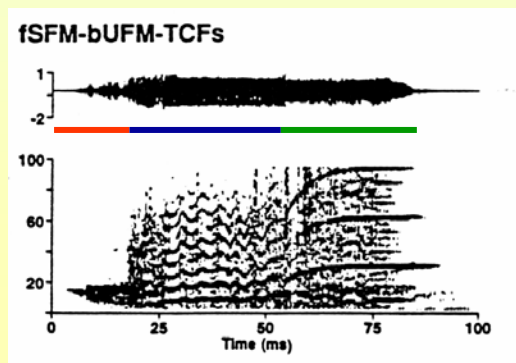
Коммуникативные звуки летучих мышей как дискретная комбинаторная система



Листонос Парнелла
Pteronotus parnelli



Реальные крики - комбинации простых слогов



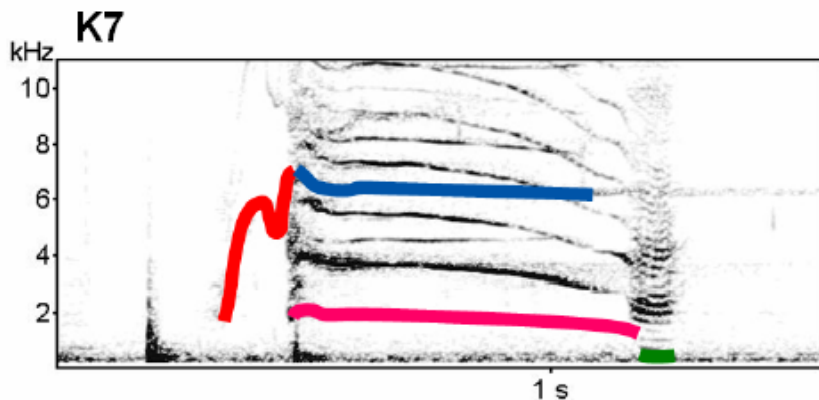
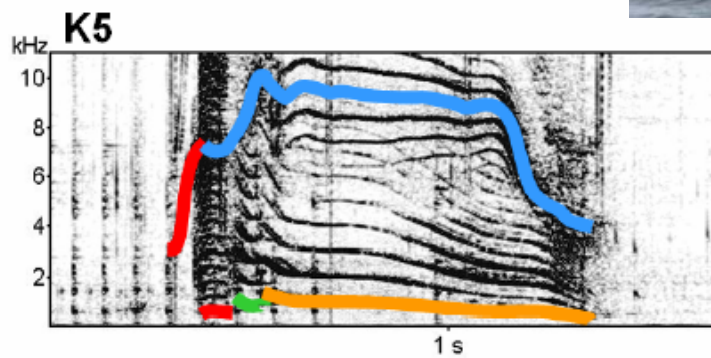
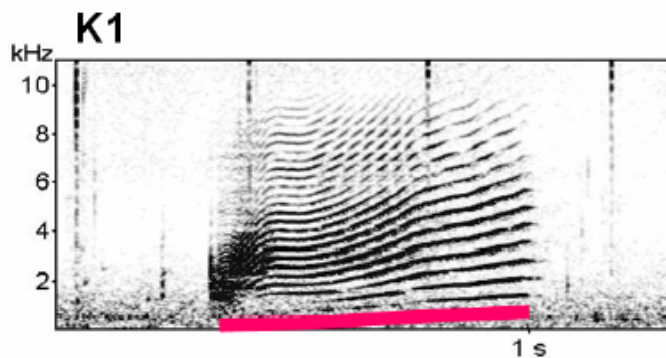
Kanwal et al., 1994



Но! Эволюция языка, животные

Коммуникативные звуки косаток как дискретная комбинаторная система

Orcinus orca



Разные слоги
показаны
контурами
разного цвета

Песня (рассказ)



Фраза

(предложение)



Слог (слово)



Нота (буква)

Реальные крики - комбинации простых слогов

Филатова, 2014



Эволюция языка или Эволюция речи

Эволюция языка

Сравнение **речевого языка** человека и прочих языков (в том числе и коммуникативных систем животных)

Отсутствие четких гомологий речевому языку в коммуникативных системах других животных

Эволюция речи

Сравнение акустики, анатомии и нервного контроля при продукции звуков речи человеком и коммуникативных звуков другими млекопитающими



Эволюция речи

Ключевые преадаптации, необходимые для развития речи человека

1. Особое строение вокальной системы — постоянно опущенная гортань
2. Способность к вокальному научению (имитации).
3. Нервный контроль вокализаций из коры больших полушарий, а не из лимбической системы мозга.

Длительное давление отбора для их формирования



Эволюция речи

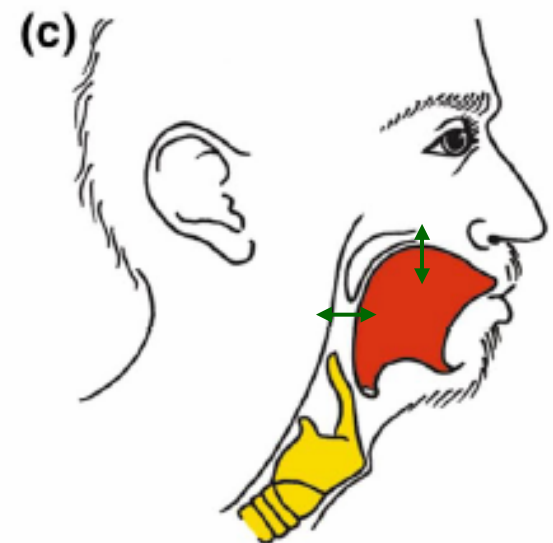
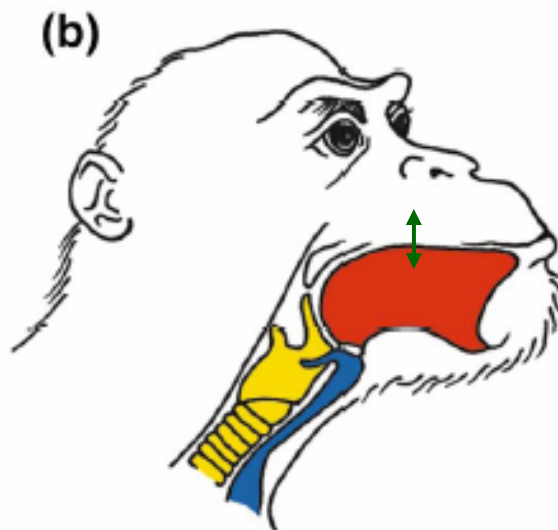
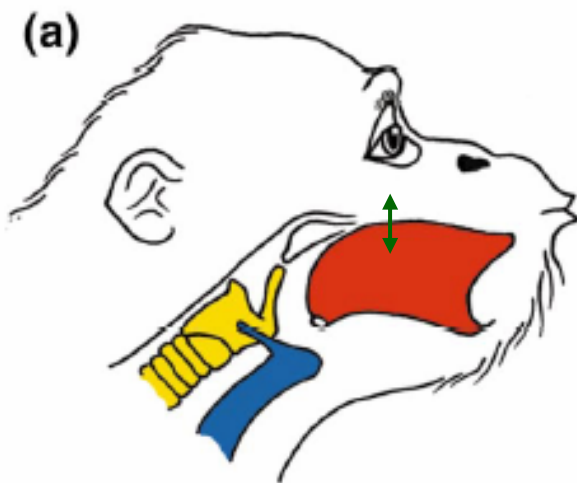
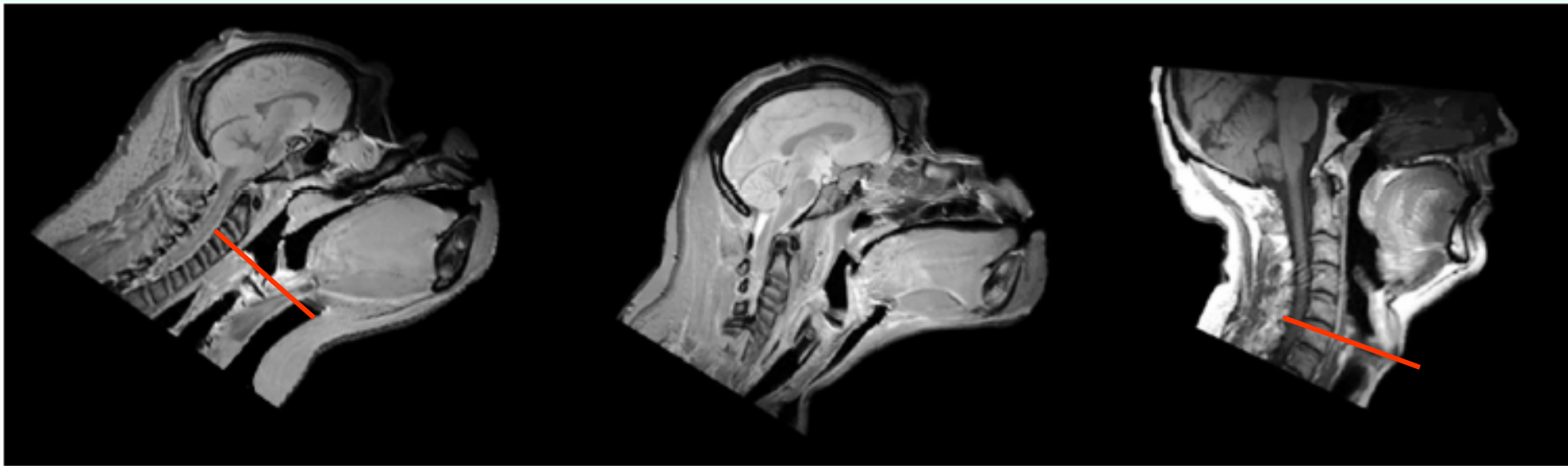
Ключевые преадаптации, необходимые для развития речи человека

1. Особое строение вокальной системы — постоянно опущенная гортань
2. Способность к вокальному научению (имитации).
3. Нервный контроль вокализаций из коры больших полушарий, а не из лимбической системы мозга.



Особенности морфологии вокального аппарата

Постоянно опущенная гортань человека



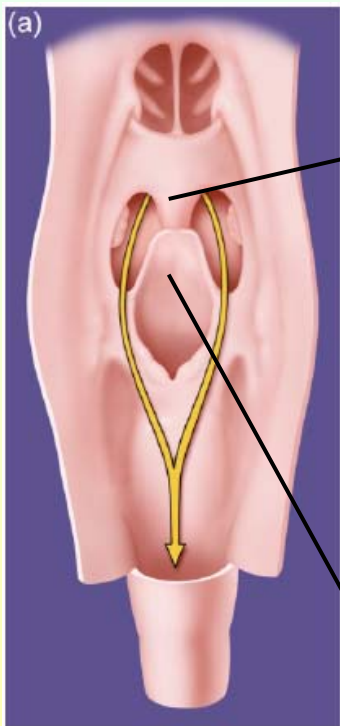
Fitch, 2000



Особенности морфологии вокального аппарата

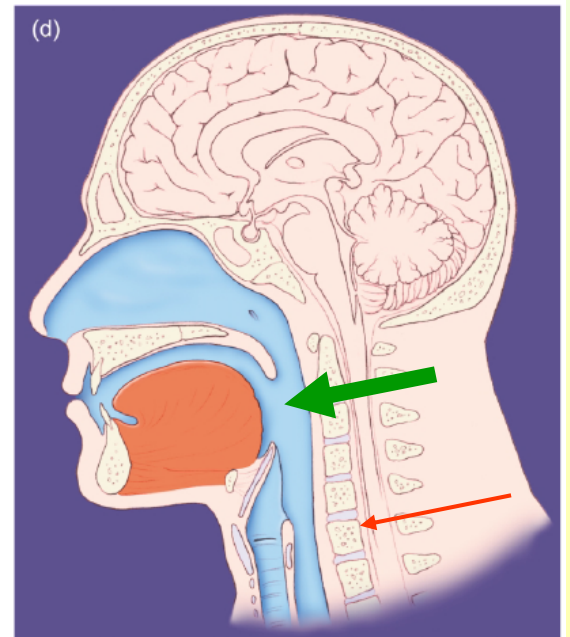
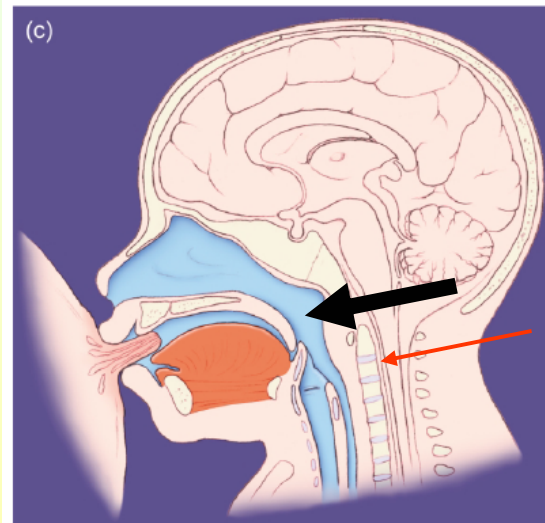
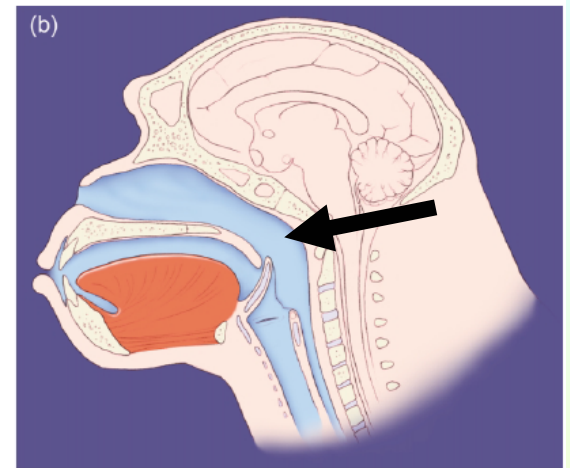
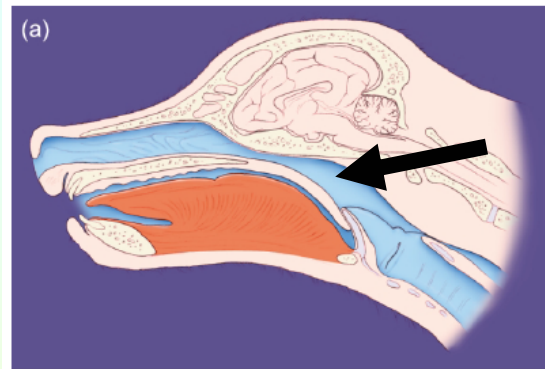
Постоянно опущенная гортань человека

Назо-
фарингеальный
канал



Парус
(velum)

надгортанник
(эпиглотис)

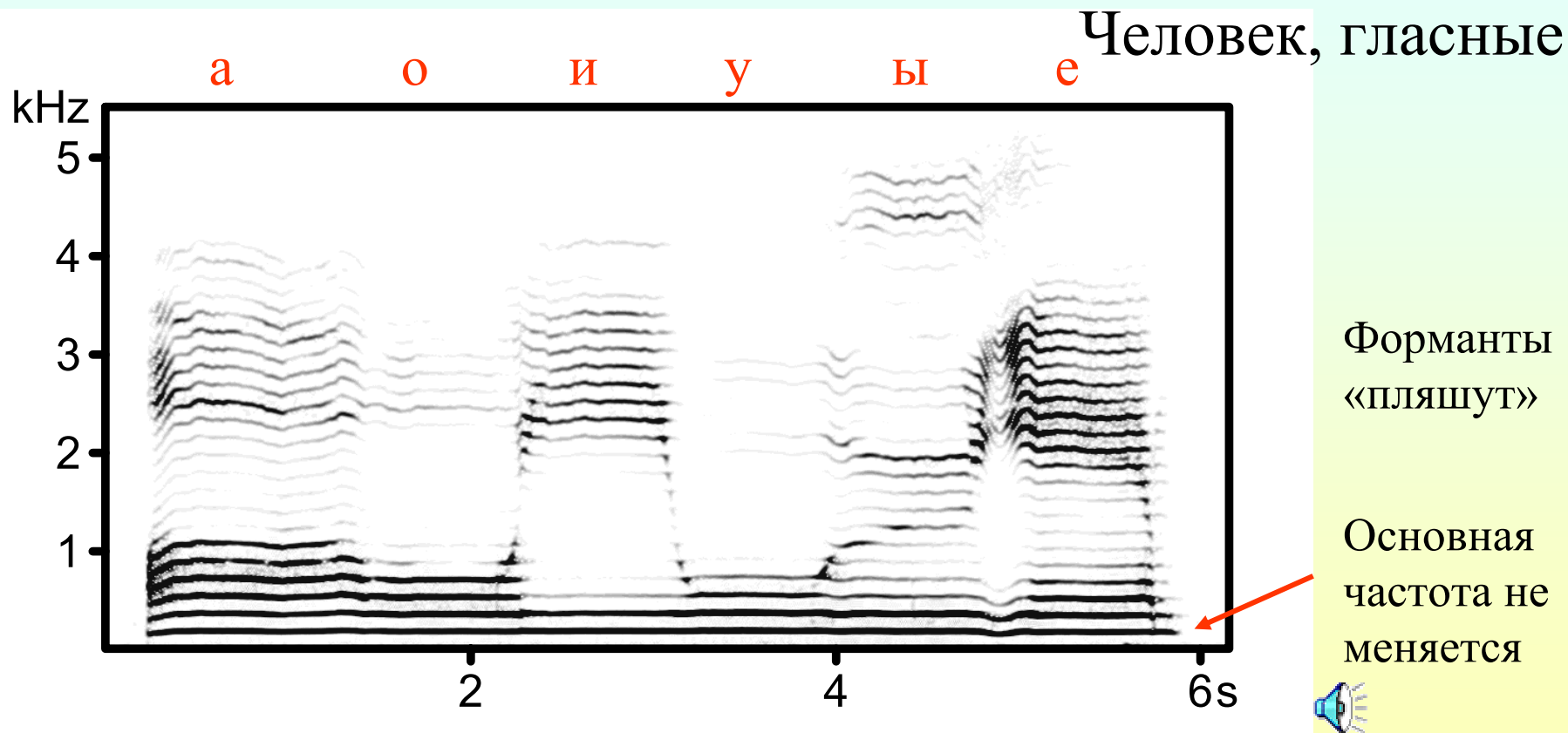


Davidson, 2003



Особенности морфологии вокального аппарата

Влияние изменения длины и конфигурации вокального тракта



Движения языка позволяют десятикратно изменять диаметр человеческого вокального тракта - **артикуляция**

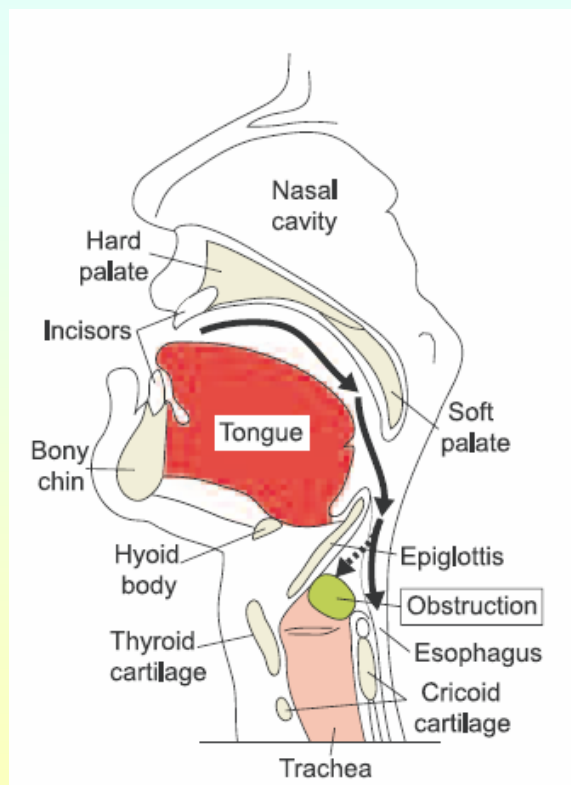


Способность к произношению дискретных звуков «и», «у», «а»



Особенности морфологии вокального аппарата

Постоянно опущенная гортань человека



Lieberman, McCarthy, 2007

Плата:

- Попадание предмета в дыхательное горло – 6-я по частоте причина смерти от несчастных случаев в США.
- Смерть от удушья – у мужчин в 3 раза чаще, чем у женщин (Baker et al., 1992).



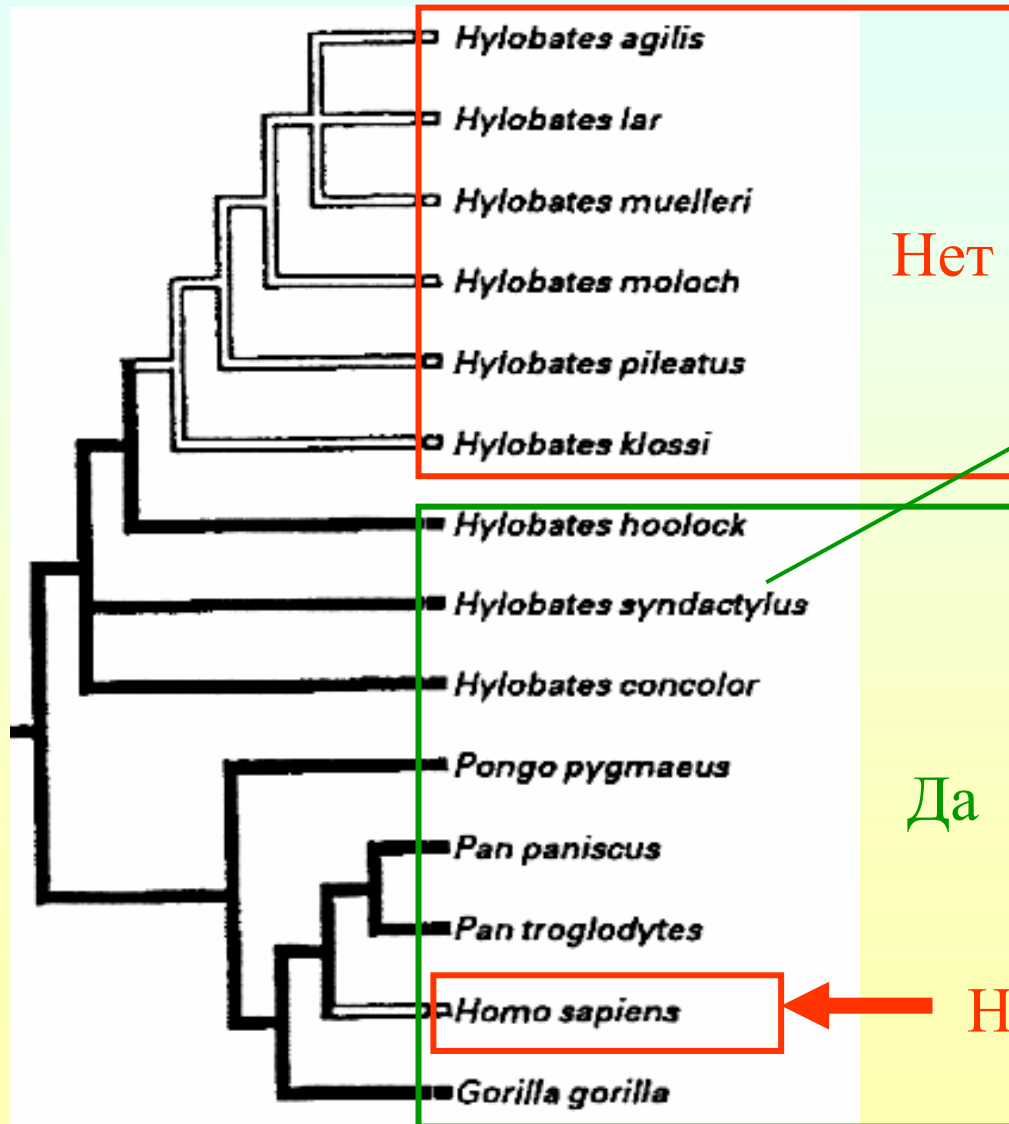
Способности к речи у мужчин больше, чем у женщин?

Эволюционные преимущества должны перевешивать это очевидное снижение выживаемости.



Особенности морфологии вокального аппарата

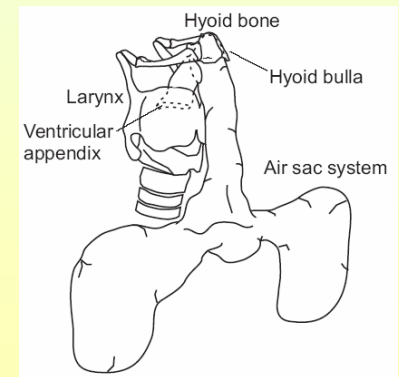
Воздушные мешки у человекообразных приматов



Сиаманг



Воздушные мешки шимпанзе

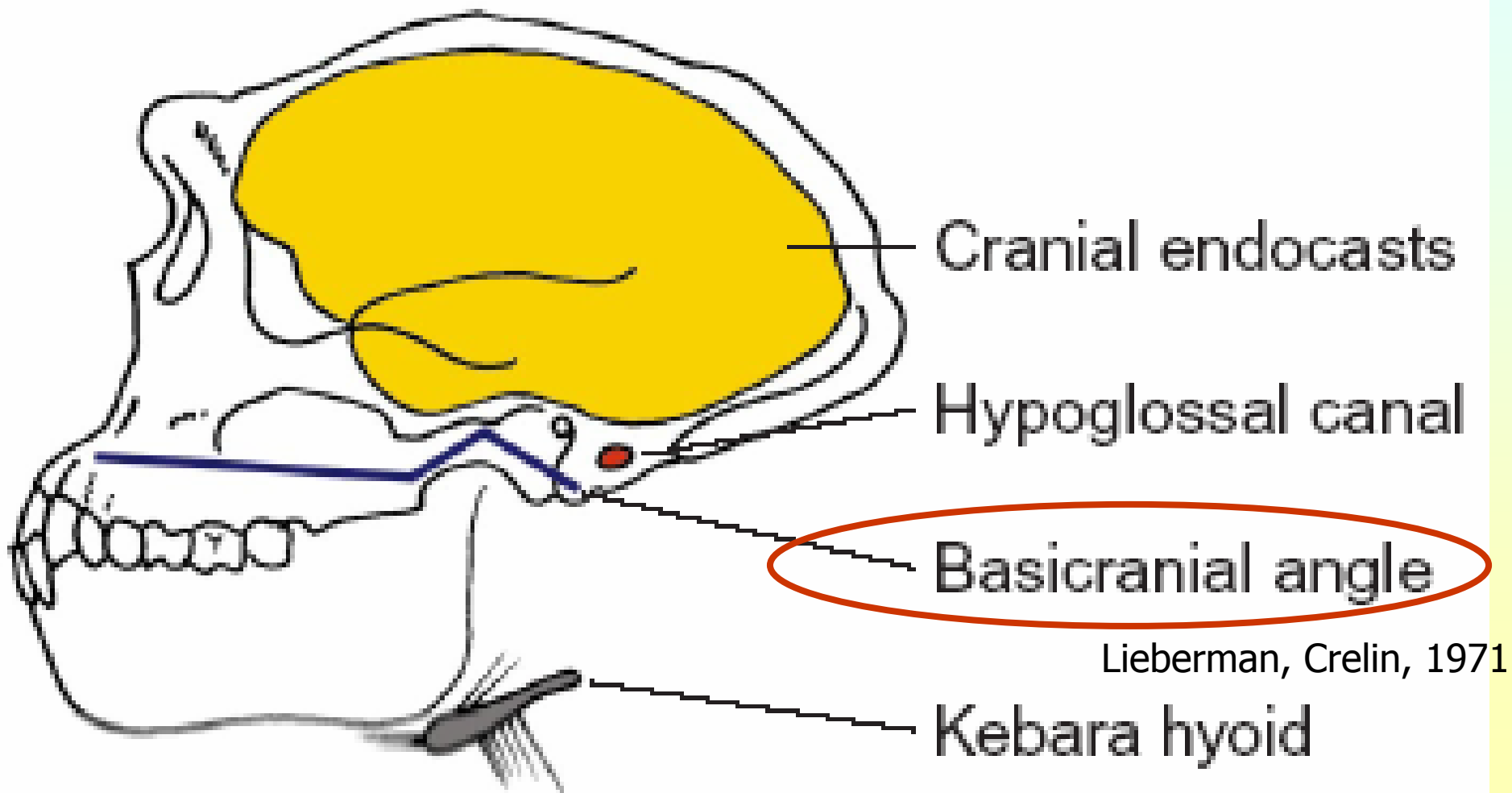


Hewitt et al., 2002
de Boer, 2012



Когда произошло опускание гортани

Палеонтологические данные по опусканию гортани



Lieberman, Crelin, 1971

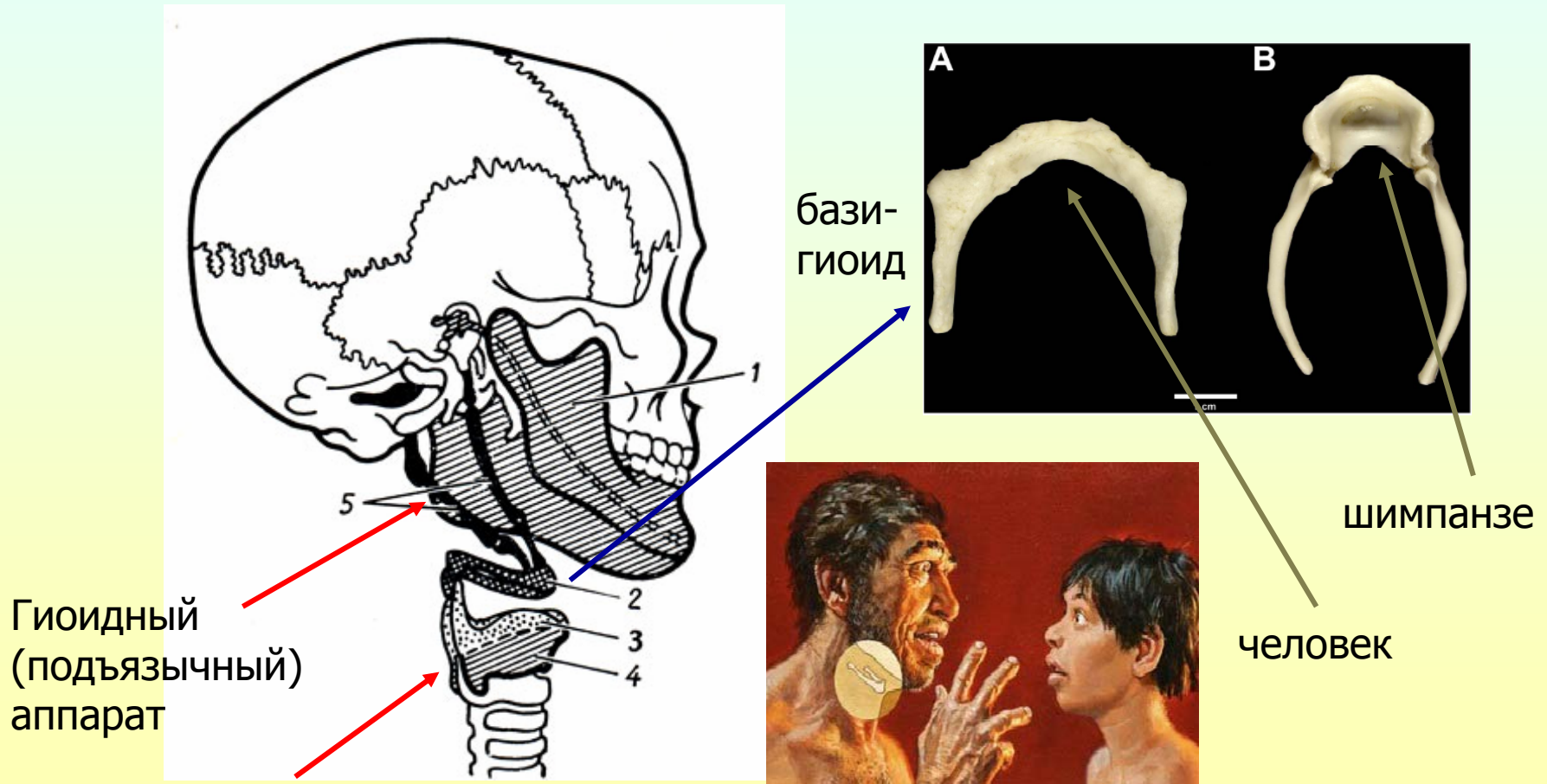
Fitch, 2000



Когда произошло опускание гортани

Палеонтологические данные по опусканию гортани

Гиоидный аппарат сапиенса и неандертальца



гортань

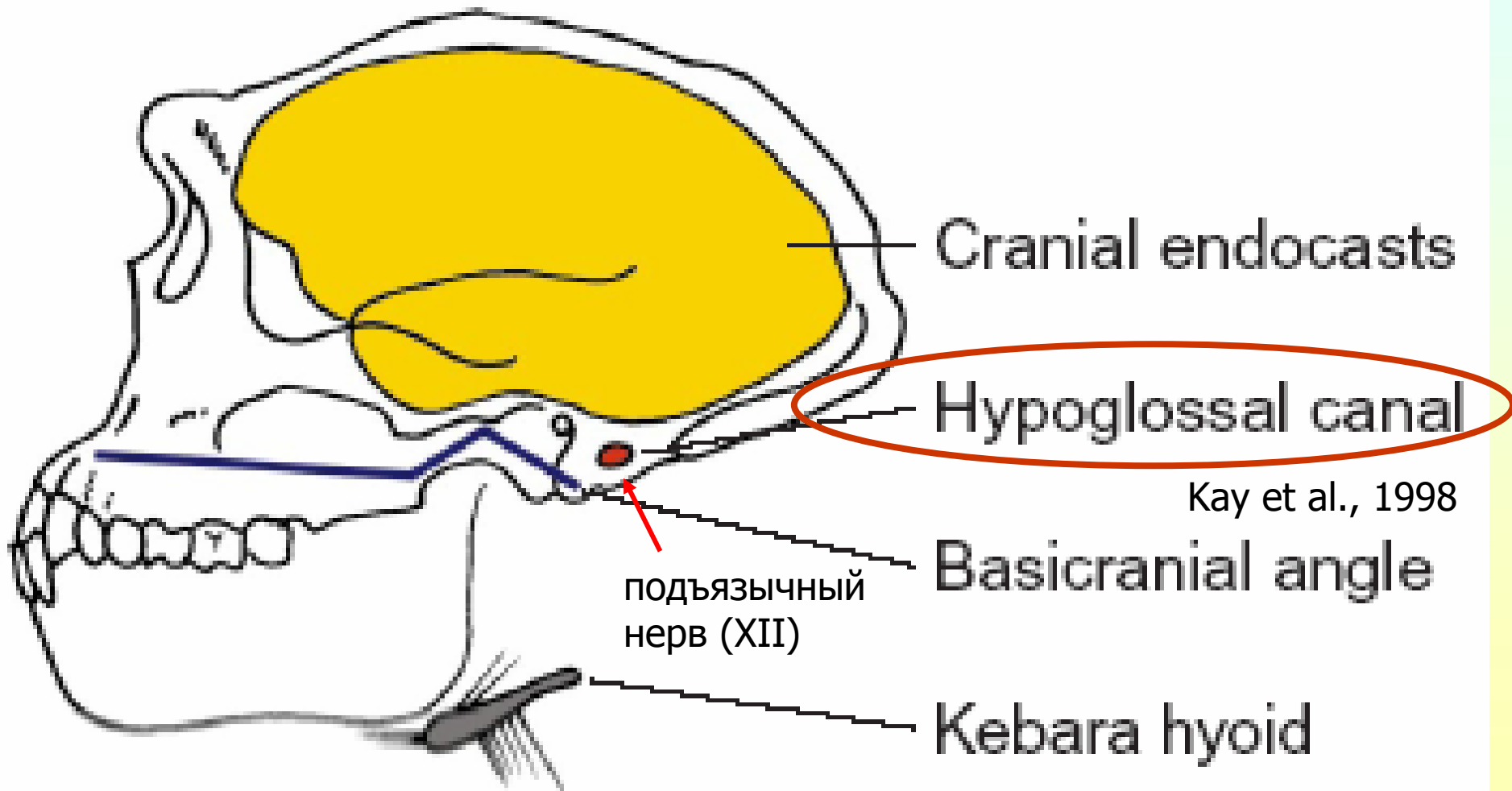
Arensburg et al., 1990

D'Anastasio et al., 2013



Когда произошло опускание гортани

Палеонтологические данные по опусканию гортани



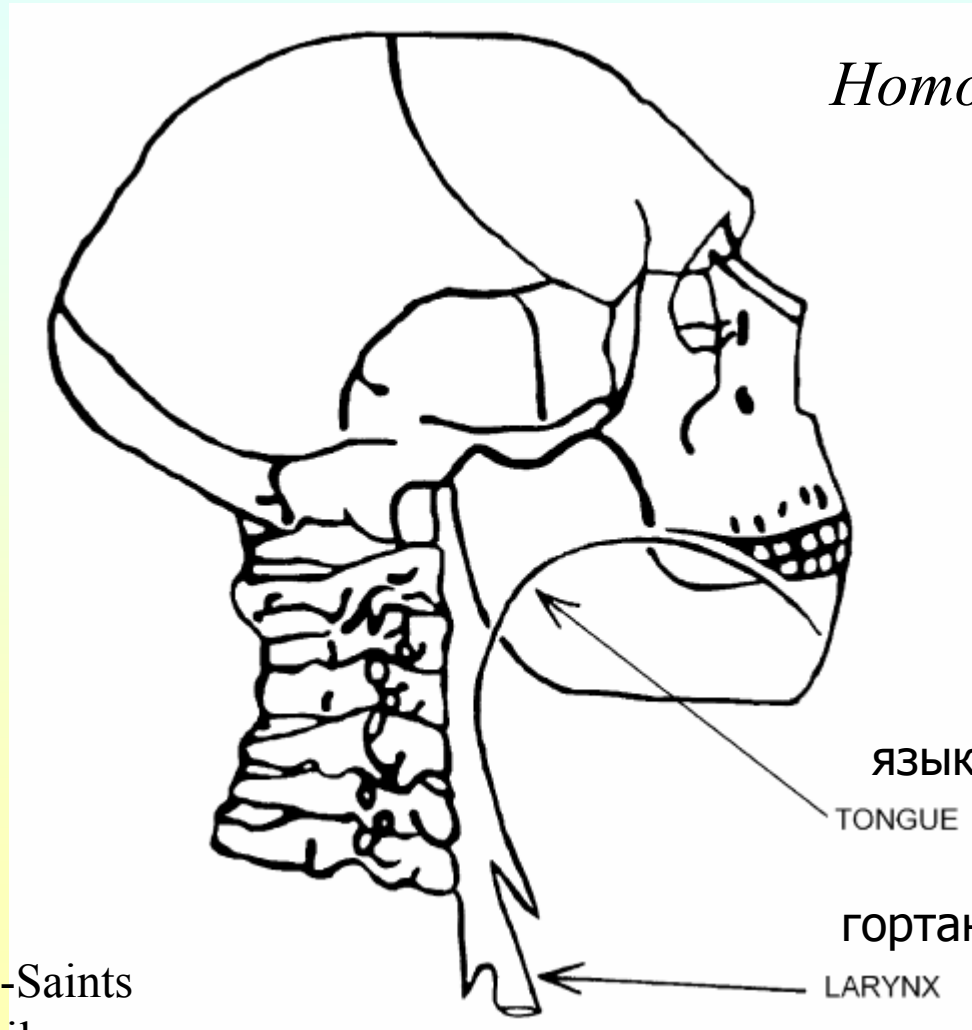
Kay et al., 1998

Fitch, 2000



Когда произошло опускание гортани

Палеонтологические данные по опусканию гортани



Homo neanderthalensis

ЯЗЫК

TONGUE

гортань

LARYNX

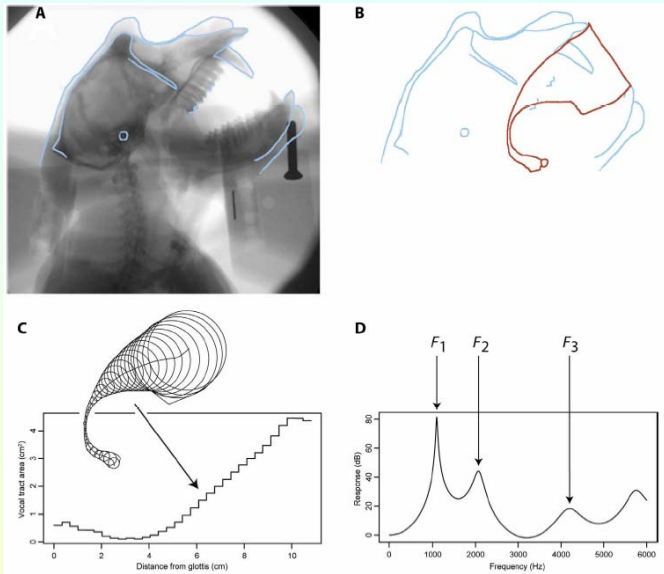
La Chapelle-aux-Saints
Neanderthal fossil

Lieberman, 2007



Когда произошло опускание гортани

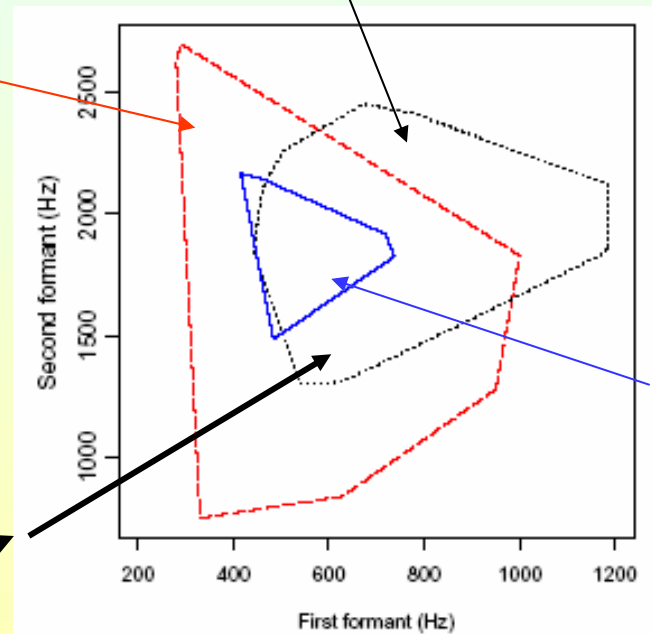
Оценка фонетических способностей обезьян



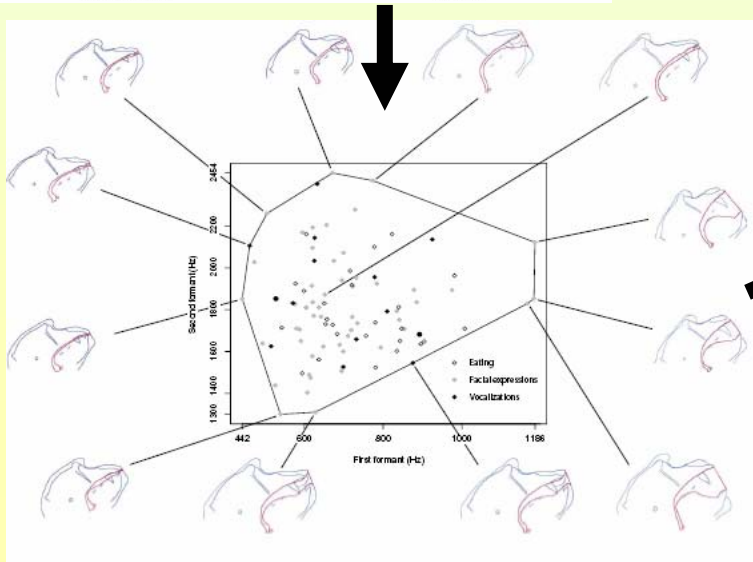
Macaca fascicularis
Макак-крабодед



Человек



Приматы,
старые
работы



Fitch et al., 2017



Когда произошло опускание гортани

Палеонтологические данные по опусканию гортани

Не дают четкого ответа на сроки возникновения речи.

Однако не менее важно, чем на вопрос **КОГДА** ответить на вопрос **ПОЧЕМУ** произошли изменения, вызвавшие возникновение речи. Какова была движущая сила, приведшая к этим изменениям?

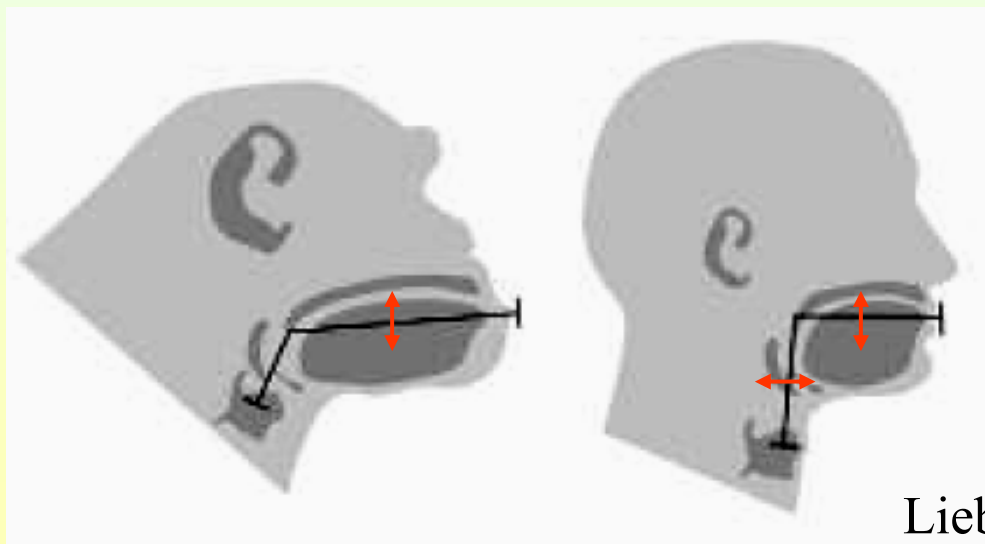
Этот вопрос может быть адресован видам животных, которые ныне живы и способны вокализировать.

Классический сравнительный подход — поиск конвергентного сходства и функциональное объяснение наблюдаемых особенностей.



К чему приводит опускание гортани

Постоянно опущенная гортань человека –
Г-образно изогнутый вокальный тракт;
подвижность языка в двух плоскостях;
легкость изменения конфигурации вокального тракта,
изменчивость звуков на основе изменения **формант**



Lieberman, McCarthy, 2007

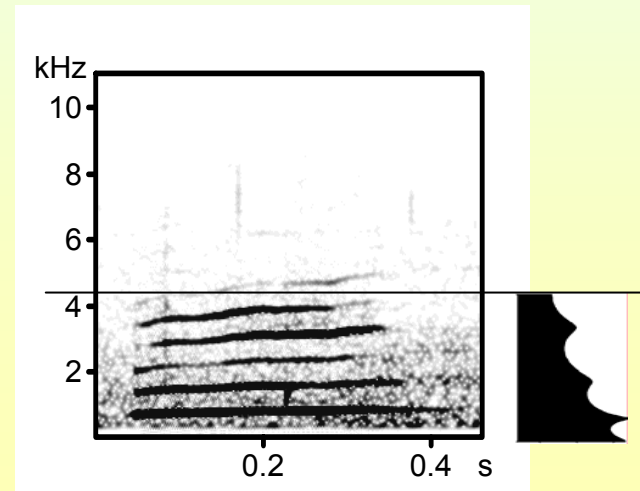
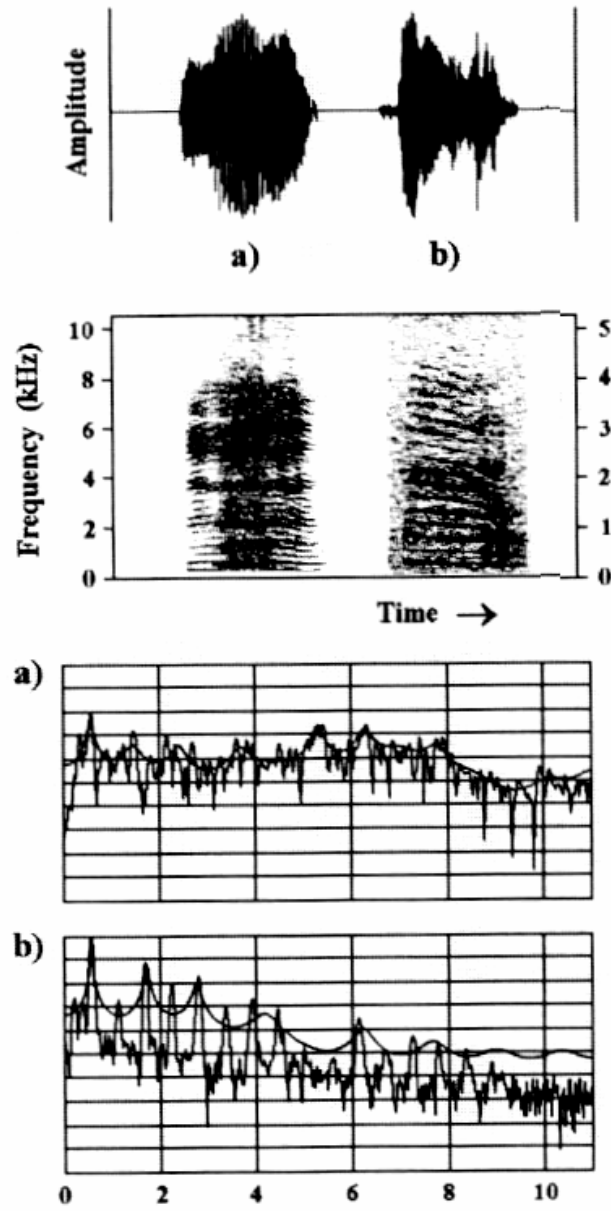
Какова роль формант в коммуникации животных?



Животные – роль опускания гортани

1. Формантная структура как маркер индивидуальности

Крики куу макак-резусов



Owren, Rendall, 1997

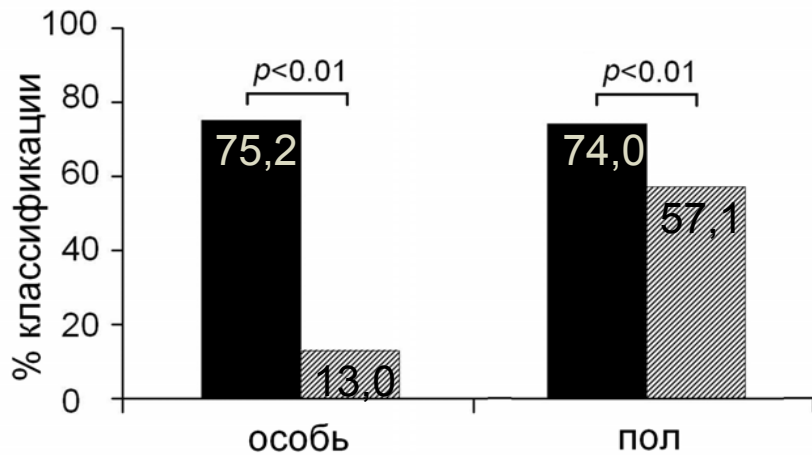
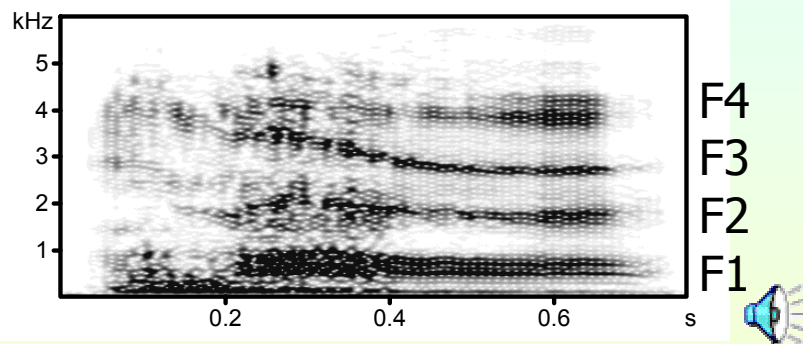


Животные – роль опускания гортани

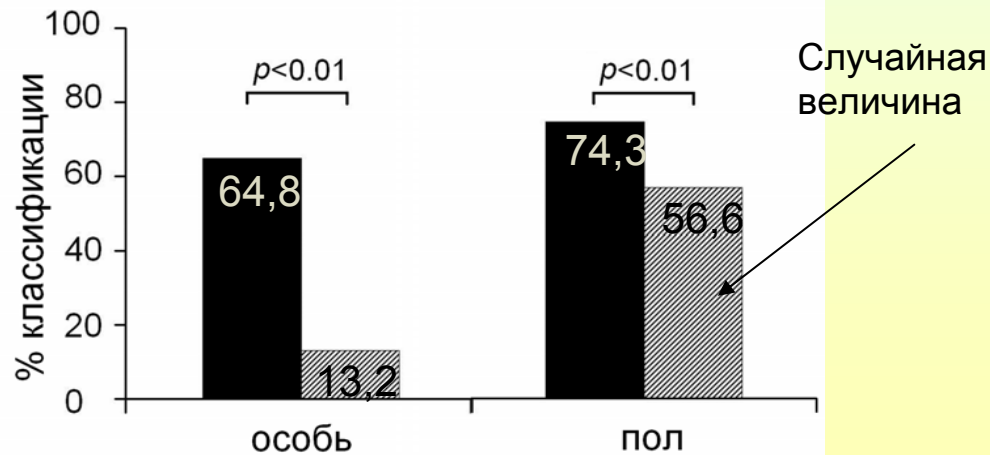
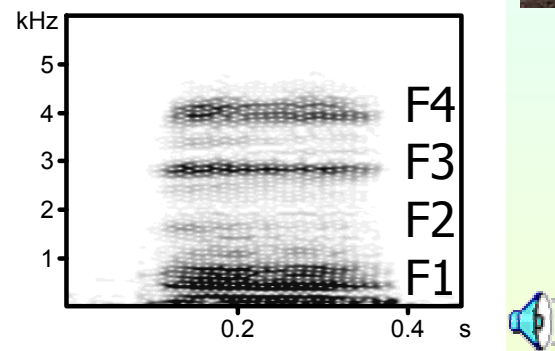
Джейран, детеныши.

Индивидуальные особенности в звуках

Ротовые звуки



Носовые звуки



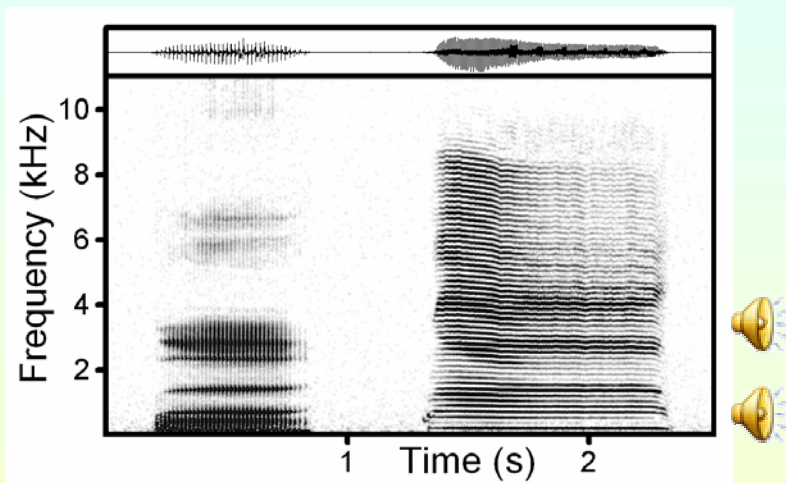
Индивидуальность: джейраны, сайгаки, благородные олени, домашние козы, домашний скот, макаки, павианы

Volodin et al., 2011

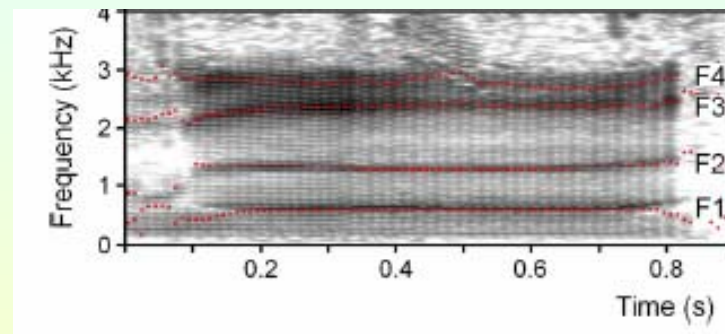


Животные – роль опускания гортани

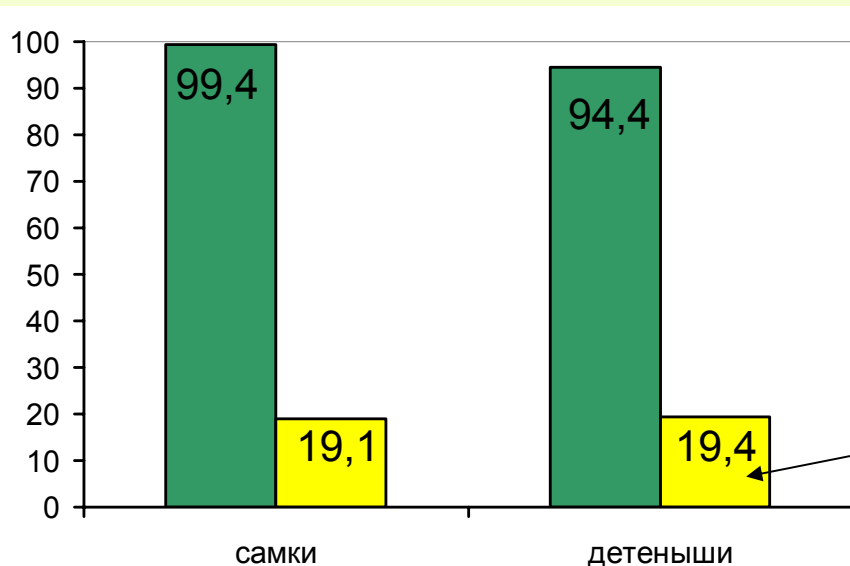
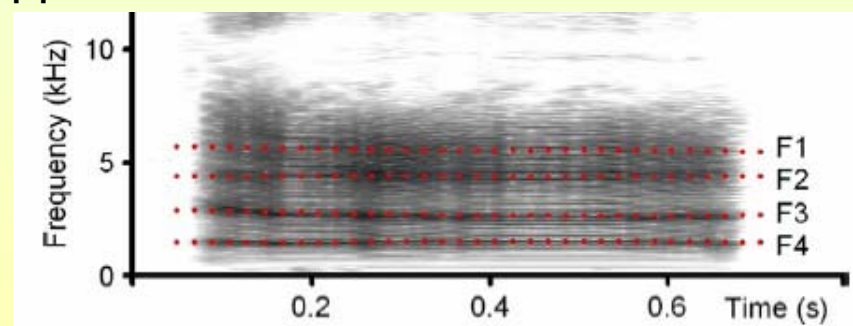
Сайгак, взрослые самки и детеныши.
Индивидуальные особенности в звуках



Взрослые самки



Детеныши



Случайная величина

19,1

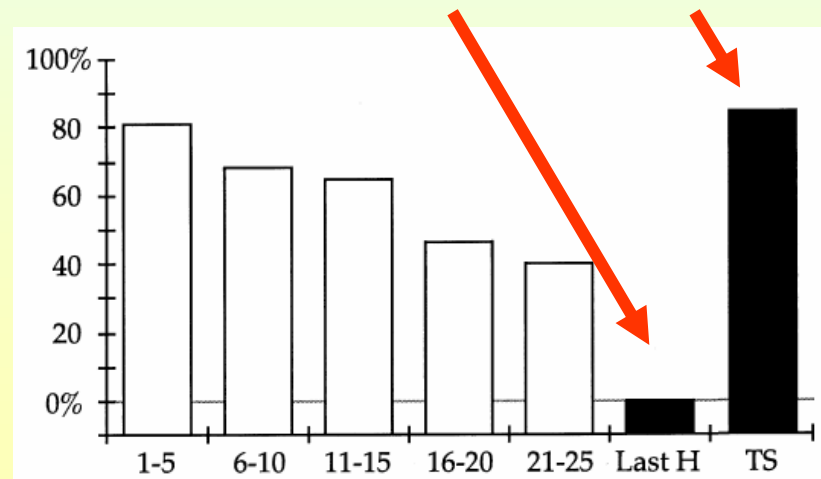
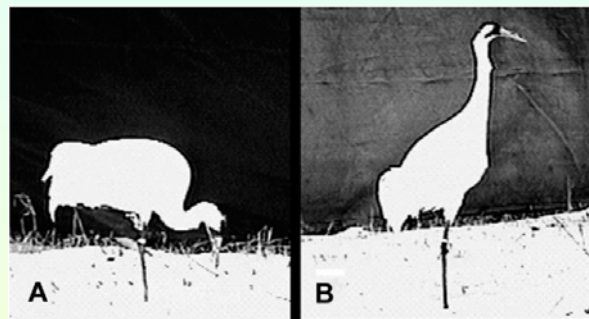
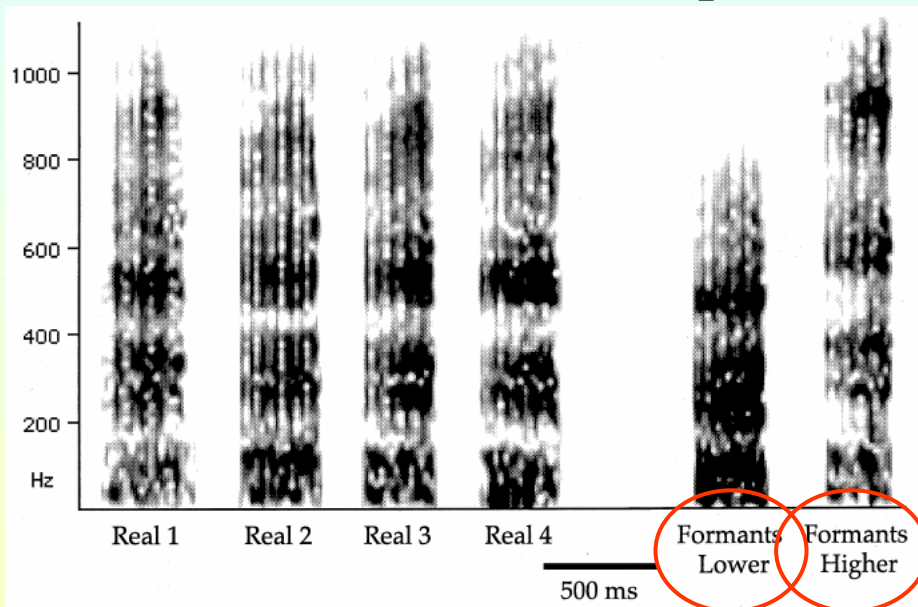
Sibiryakova et al., 2017



Животные – роль опускания гортани

Формантная структура как маркер индивидуальности

Американский журавль



Fitch, Kelley, 2000

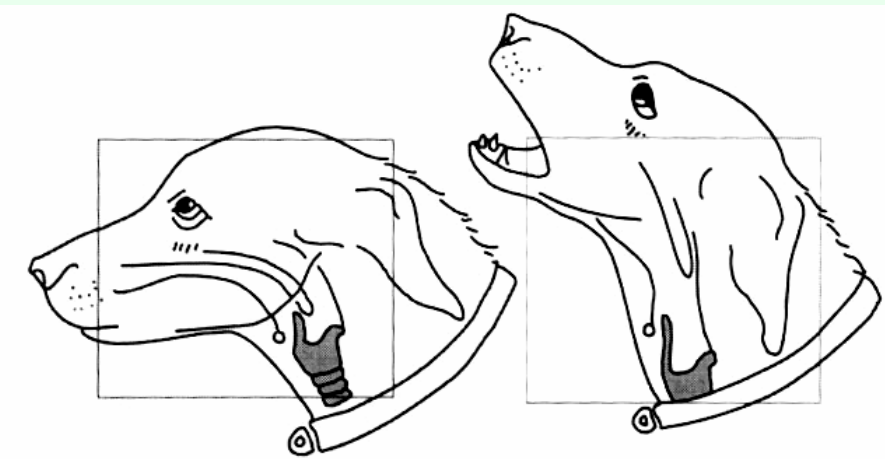
Различают форманты: домашние собаки, макаки, благородные олени, лани, попугаи, журавли.



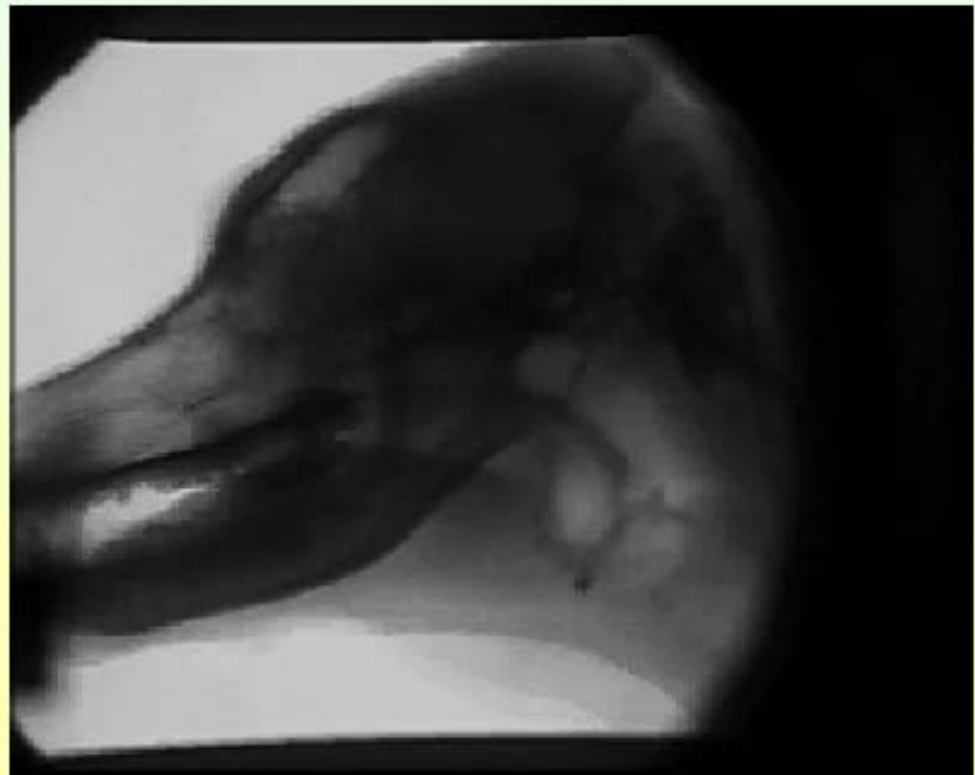
Животные – роль опускания гортани

2. Продукция громких звуков

Динамическое опускание ларинкса собаки при лае



Fitch, 2005





Животные — роль опускания гортани

Продукция громких звуков
Специальная «вокальная поза»





Животные – роль опускания гортани

3. Формантные частоты как индикаторы размера тела

Изменение формантных частот
в зависимости от размера тела

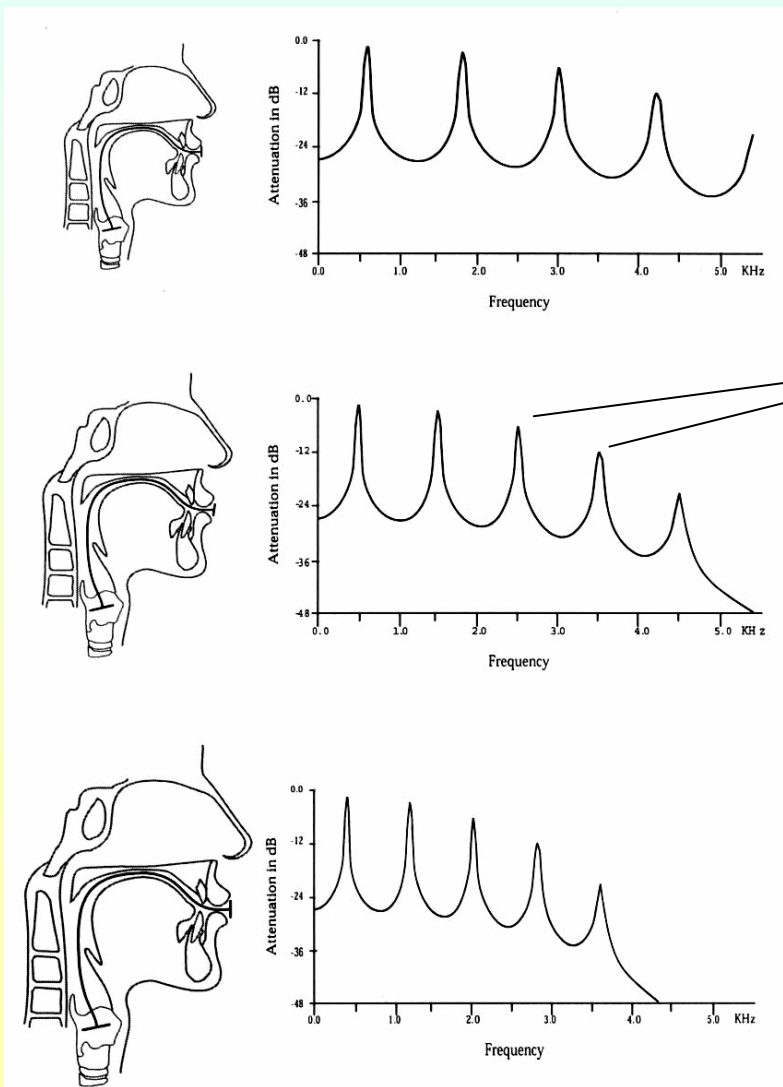
Формантная дисперсия
обратно пропорциональна
длине вокального тракта
 $DF = C/2L$

C – скорость звука;

L – длина вокального тракта

Благородный олень, лань, большая
панда, гвереца, домашняя собака,
южный морской слон, японский
макак, джейран, человек

Fitch, 1994



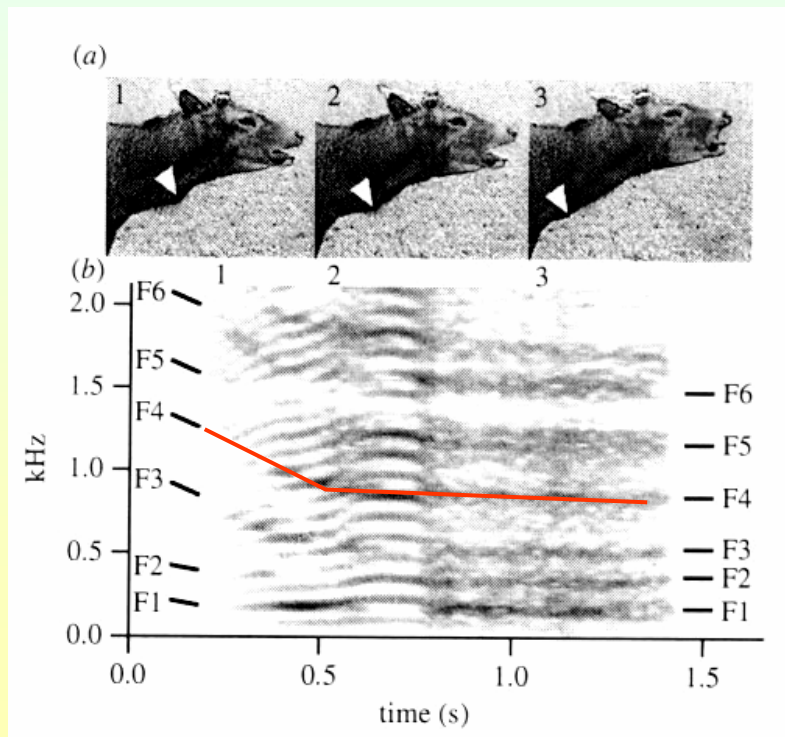


Животные – роль опускания гортани

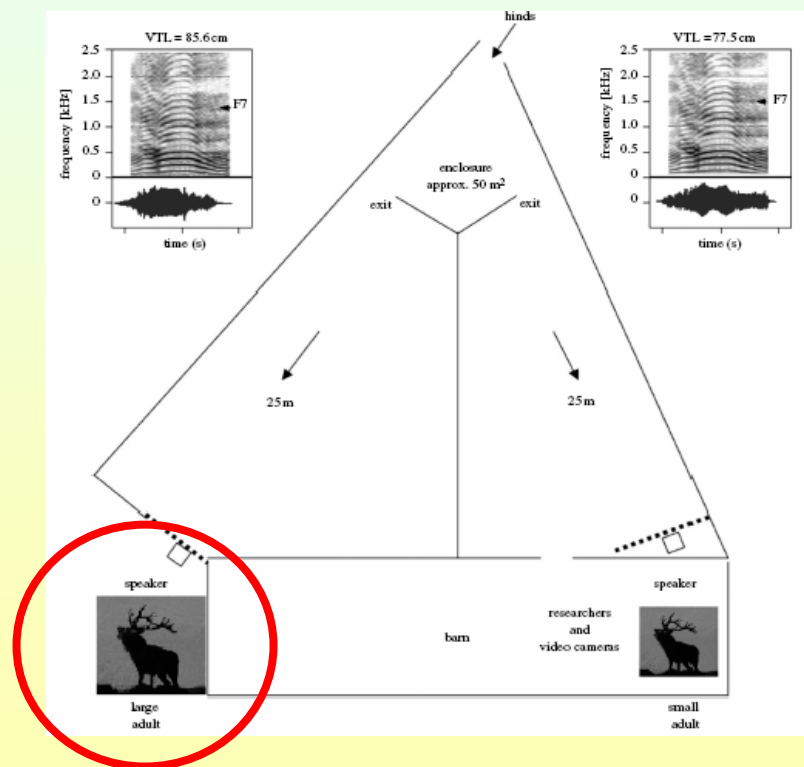
Опускание частоты формант во время рева у благородного оленя – преувеличение размера

Снижение формант во время рева

Самки предпочитают крики самцов с более низкими формантами



Fitch, Reby, 2001



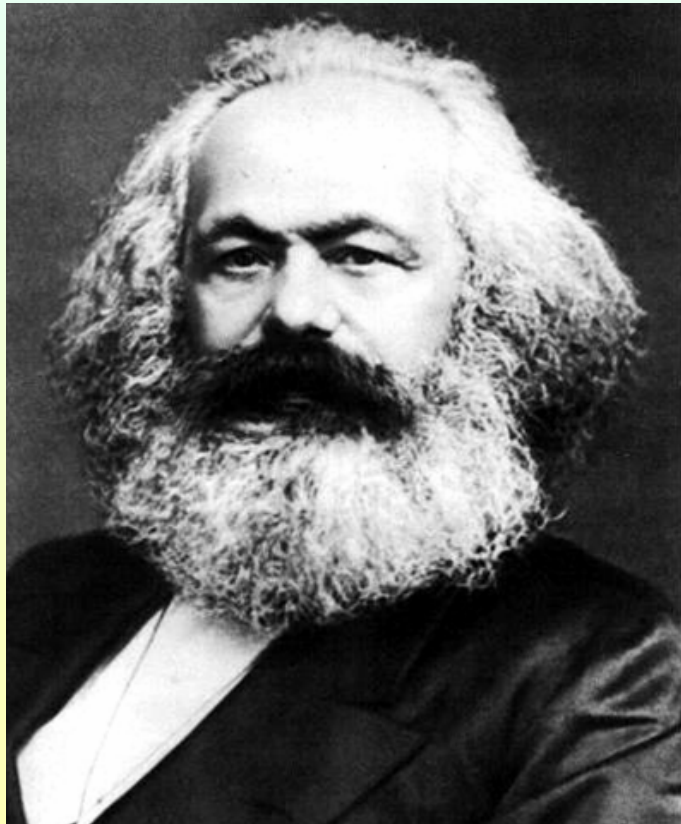
Charlton et al., 2007



Животные – роль опускания гортани

Преувеличение размера

Визуальное



Вокальное

Изменение формантных частот
для преувеличения размера



Эта гипотеза носит общий характер и не уникальна для человека



Особенности морфологии вокального аппарата

Первичные функции опускания гортани

1. Усложнение формантной структуры звуков (вероятно, с целью индивидуального различия)
2. Издавание более громких звуков (вокальная поза)
3. Вокальное преувеличение размеров тела за счет удлинения вокального тракта

Джейран как аналог человека

Опускание гортани не является индикатором наличия речи!





Эволюция речи

Ключевые преадаптации, необходимые для развития речи человека

1. Особое строение вокальной системы — постоянно опущенная гортань
2. Способность к вокальному научению (имитации).
3. Нервный контроль вокализаций из коры больших полушарий, а не из лимбической системы мозга.



Способность к выучиванию новых звуков

Способны:

Певчие птицы

Попугаи

Колибри

Туканы?



Зубатые и усатые киты

Обыкновенные и ушастые тюлени

Летучие мыши

Слоны?

ЧЕЛОВЕК

Ребенок и щенок



Не способны:

Все остальные,
в том числе и все
высшие приматы

Сивуч





Способность к выучиванию новых звуков

Обыкновенный тюлень *Phoca vitulina*

Способны:

Певчие птицы

Попугаи

Колибри

Туканы?



Hoover (1971-1985)

Зубатые и усатые киты

Обыкновенные и ушастые тюлени

Летучие мыши

Слоны?

ЧЕЛОВЕК



“Hey, hey you, get out there”



Способность к выучиванию новых звуков

Человек

1. Период научения речи имеет четкие границы. Если пропущены – речь никогда не разовьется (дети-Маугли).

2. Обучение речи очень эффективно – ребенок выучивает по несколько десятков слов в день!

Единственный период в жизни человека (до 3-4 лет), когда скорость образования новых нейронов головного мозга и связей между ними превышает скорость их отмирания.

3. Запоминание огромного числа слов и фонетических конструкций (60000 слов к 18 годам).

Возможность быстрого оперирования ими. Создание новых слов для обозначения новых предметов и понятий



Способность к выучиванию новых звуков

Певчие птицы

1. Период обучения песне имеет четкие границы. Стадия «подпесни» - стадия лепетания у детей?
2. Выучивание самцами новых типов песен каждую весну. В этот период стволовые клетки мигрируют к песенным центрам головного мозга и образуют новые связи. Период обучения новым песням совпадает с формированием новых нервных связей в головном мозге.

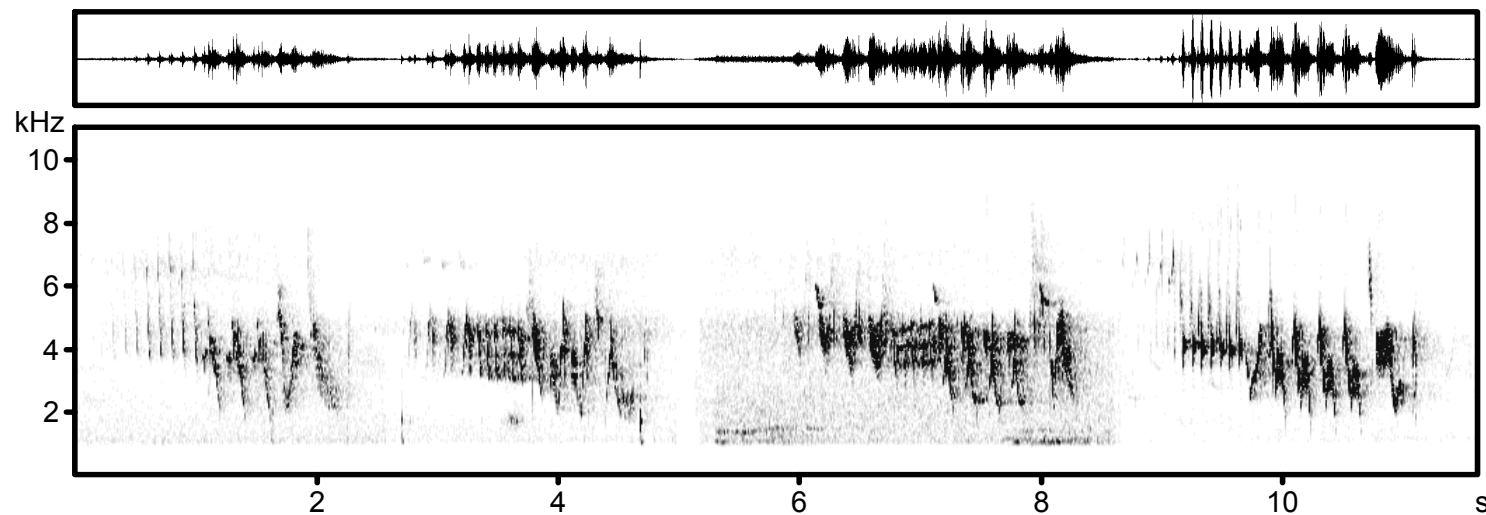
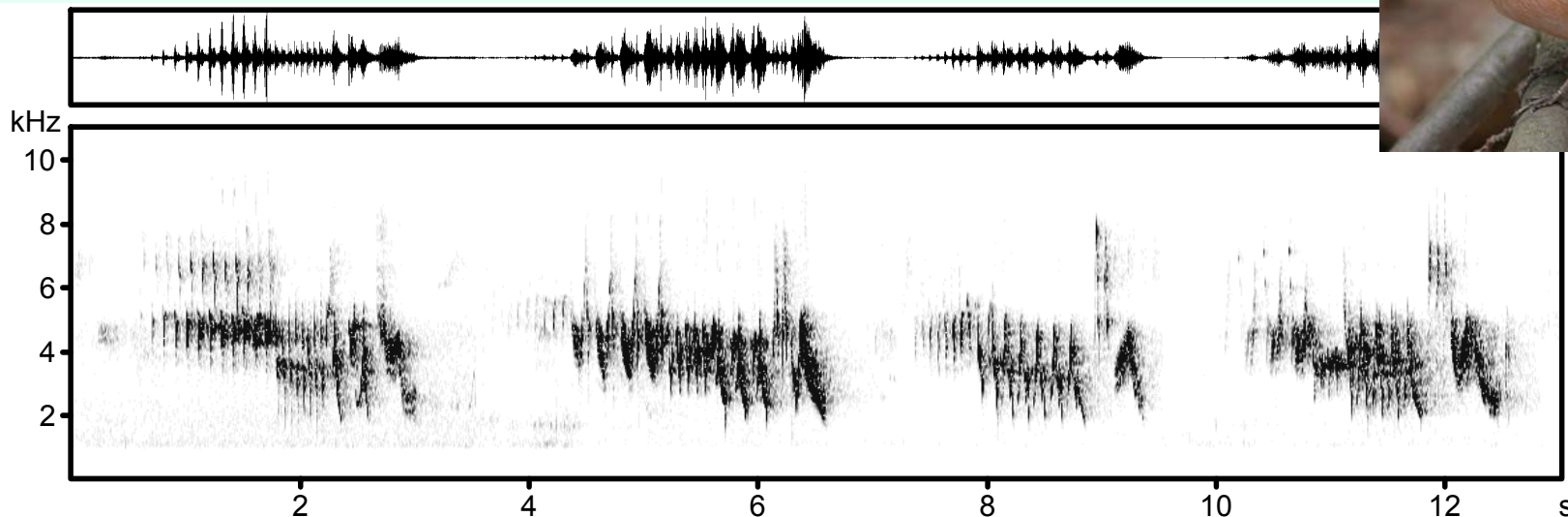
Какова роль вокального научения в коммуникации животных?



Животные - роль вокального научения

1. Связь сложности репертуара с возрастом самца

Зяблик



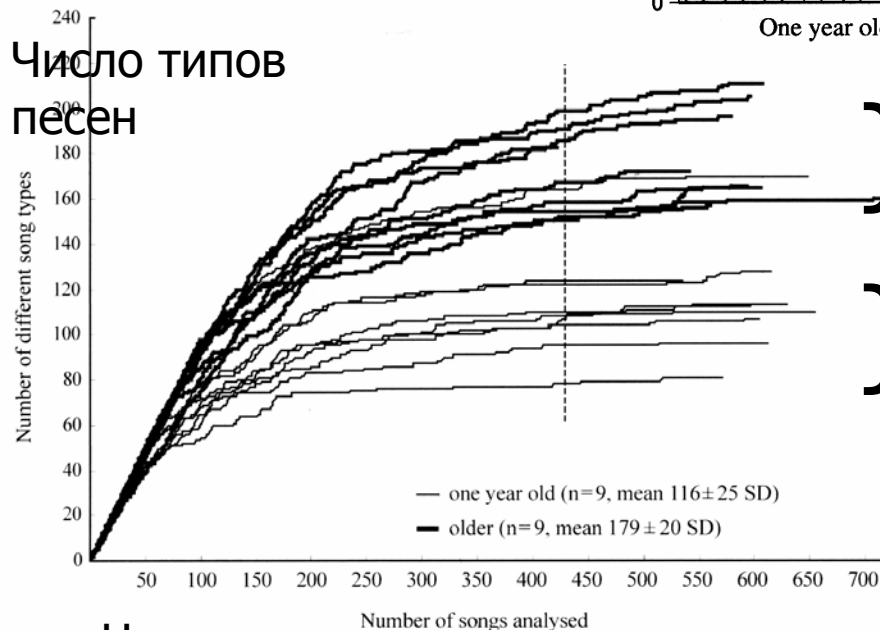
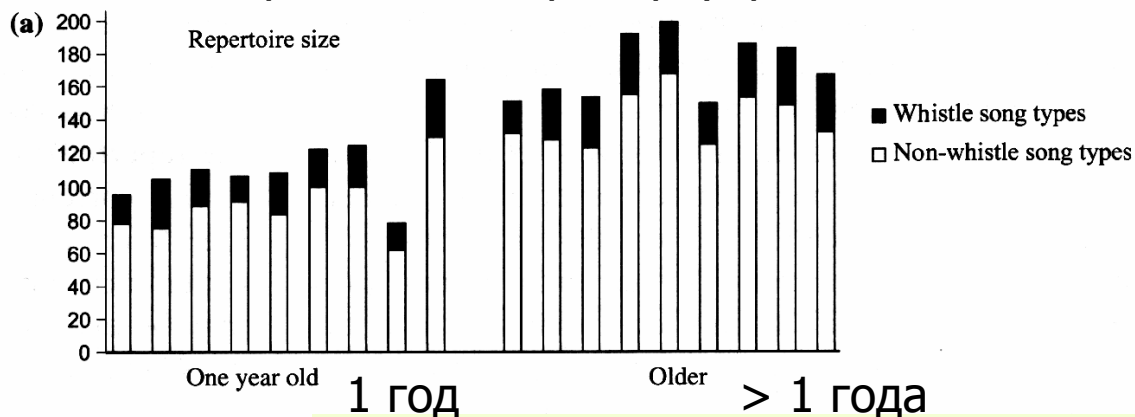


Животные - роль вокального научения

Связь сложности репертуара с возрастом самца

Западный соловей *Luscinia megarhynchos*

Размер песенного репертуара



> 1 года

1 год

Число типов песен
больше у более
взрослых самцов

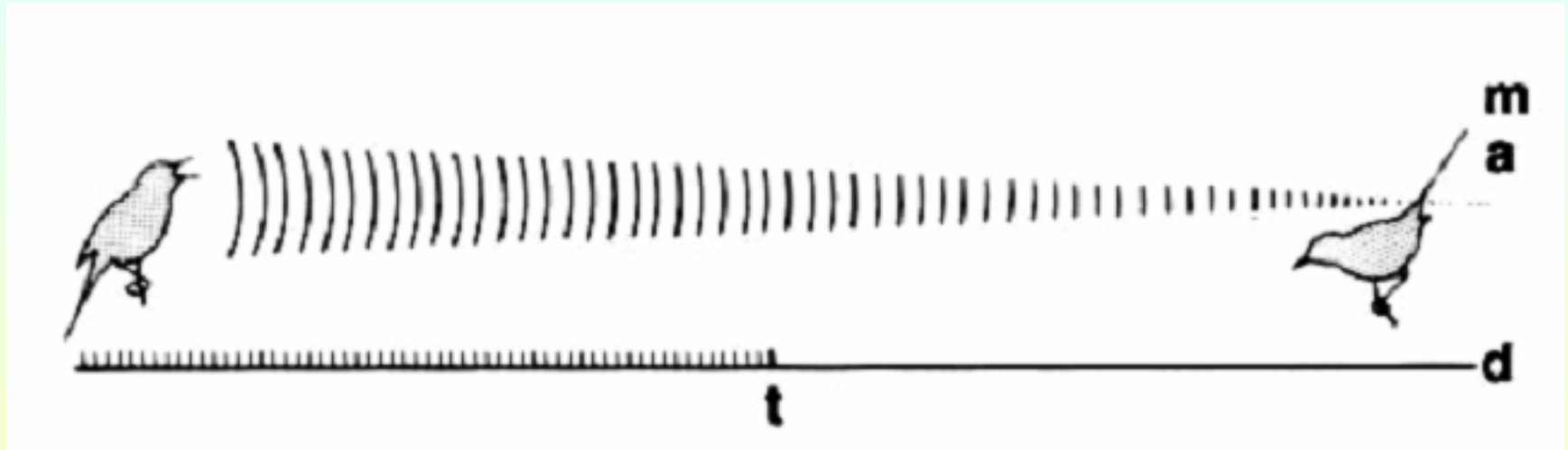
Kiefer et al., 2006

Число проанализированных песен



Животные - роль вокального научения

2. Повышение эффективности защиты территории

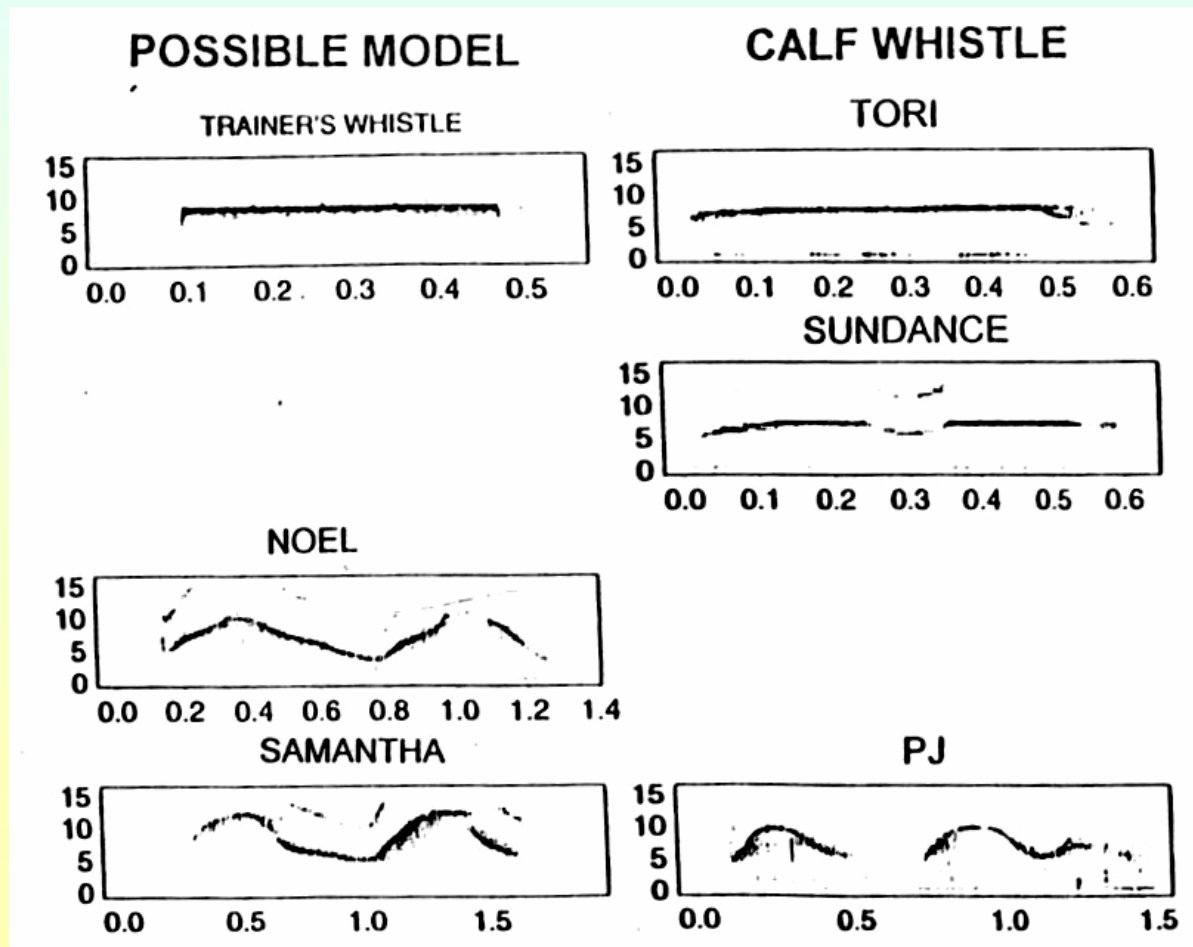


Птицы гораздо более точно оценивают дистанцию до поющего противника, если их память содержит образ этой песни.
(т.е. они сами поют эту песню).



Животные - роль вокального научения

3. Сигнатурные свисты афалин – индикаторы групповой принадлежности (родства)

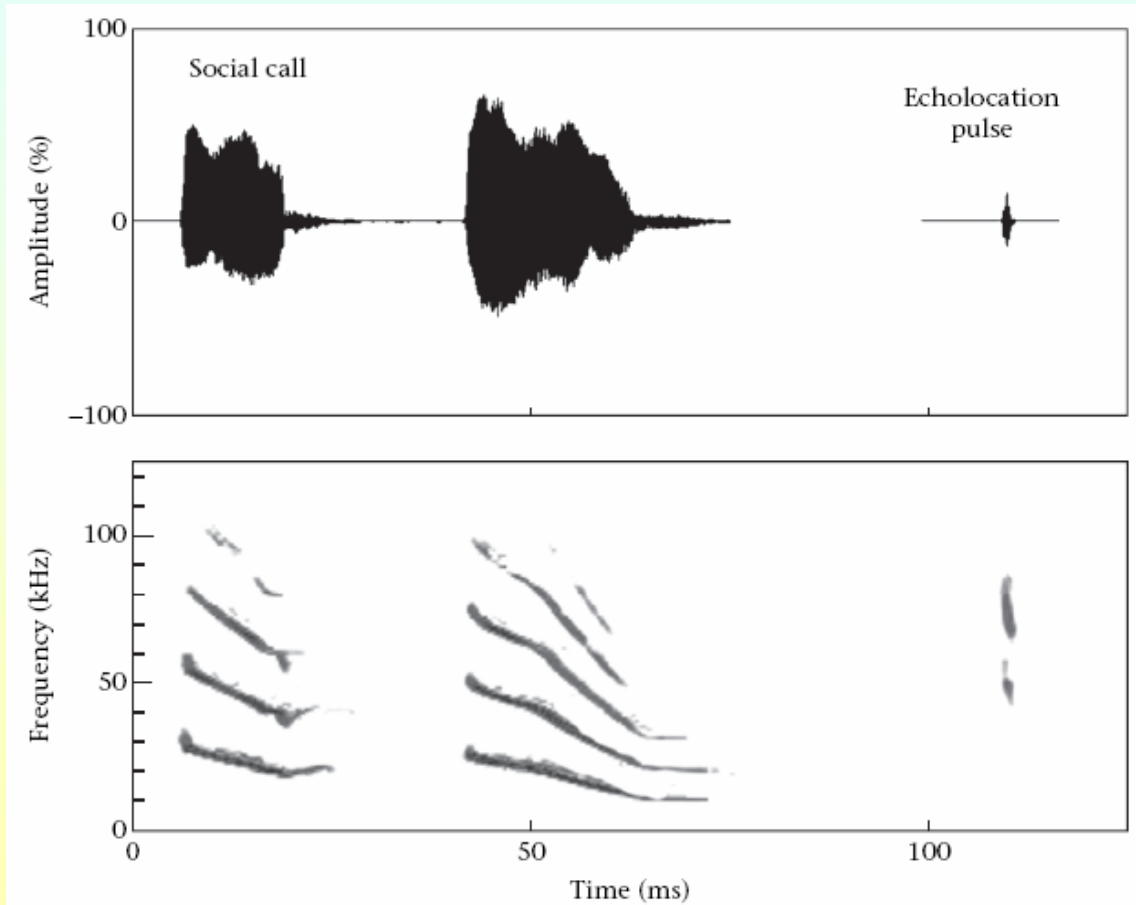


Аналог в речи
человека –
географические
акценты



Животные - роль вокального научения

Социальные крики летучих мышей – индикаторы группы



Обыкновенный вампир
Desmodus rotundus

Аналог в речи
человека –
ключевые слова
субкультур

Carter et al., 2008



Животные - роль вокального научения

Вокальные диалекты косаток – предотвращение инбридинга

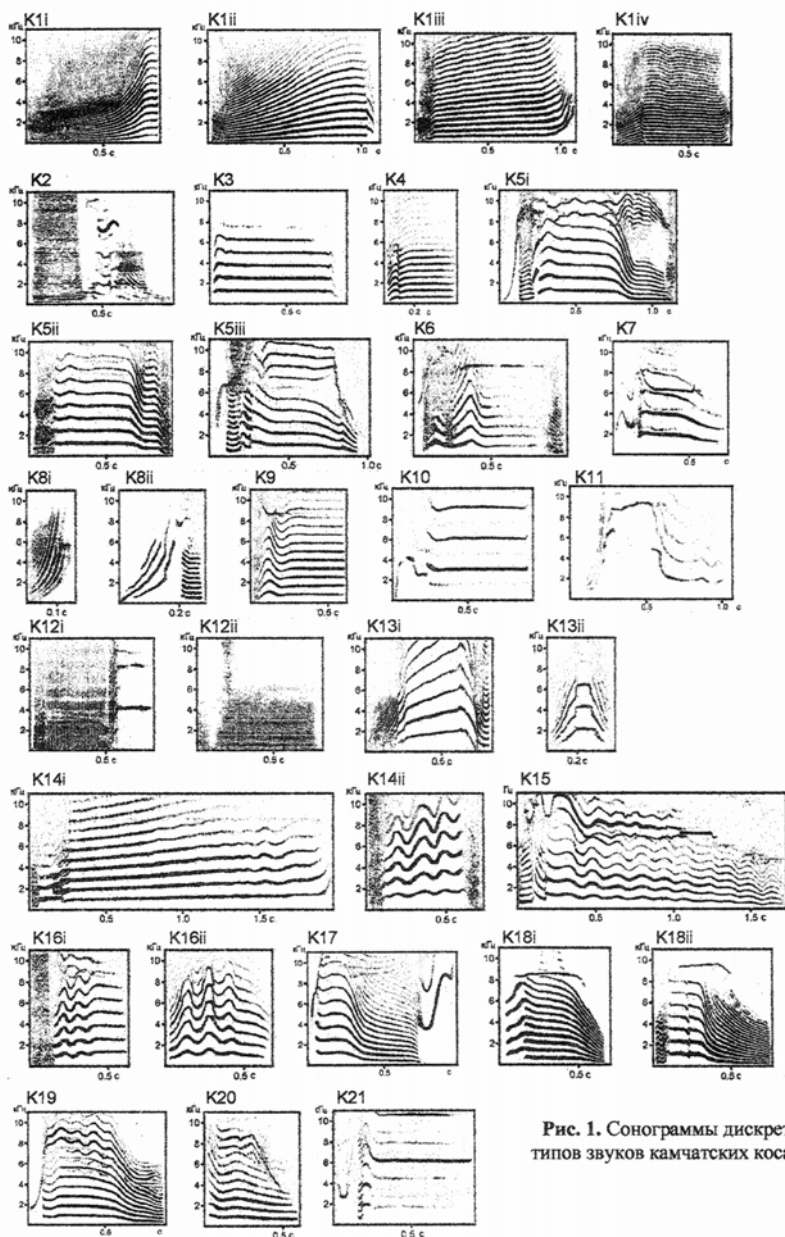
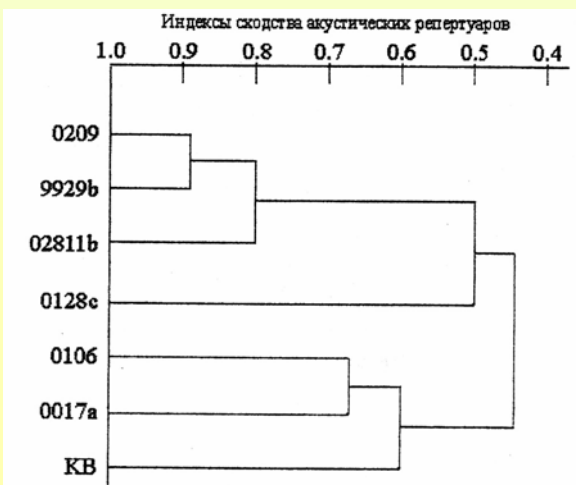


Рис. 1. Сонограммы дискретных типов звуков камчатских косаток.

Группа / Тип звука	0209	0128c	02811b	9929b	КВ	0106	0017a
K1i		+					
K1ii					+	+	+
K1iii	+		+	+			
K1iv					+		
K2						+	
K4					+	+	+
K5i	+	+	+	+	+	+	+
K5ii					+		+
K7	+	+	+	+	+	+	+
K8i					+		
K8ii					+		
K11			+				
K12i	+			+			
K12ii		+			+		+
K13i					+	+	
K14i					+		
K14ii	+	+					
K15							+
K17	+		+	+			
K18i						+	+
K18ii		+			+		



Филатова, 2004



Способность к вокальному научению

Первичные функции развития вокального научения

1. Оценка возраста (качества) партнера.
2. Точная оценка расстояния до певца, повышение эффективности защиты территории.
3. Вокальные ключи групповой принадлежности
 - а. Поддержание социальных связей в группе
 - б. Избегание инбридинга



Эволюция речи

Ключевые преадаптации, необходимые для развития речи человека

1. Особое строение вокальной системы — постоянно опущенная гортань
2. Способность к вокальному научению (имитации).
3. Нервный контроль вокализаций из коры больших полушарий, а не из лимбической системы мозга.



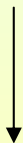
Нервный контроль вокализаций



Электрическая стимуляция вокальных зон
мозга беличьих саймири *Saimiri sciureus*

Вторичный вокальный субстрат

Временная задержка
Эмоция, потом звук



Мигдалина
Перегородка
Гипоталамус
Срединный таламус

Первичный вокальный субстрат

Звук сразу после стимула
Звук без эмоции



Передняя лимбическая кора
Центральное серое вещество



Нервный контроль вокализаций

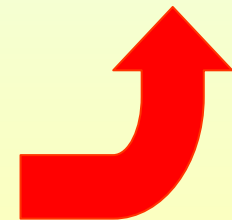
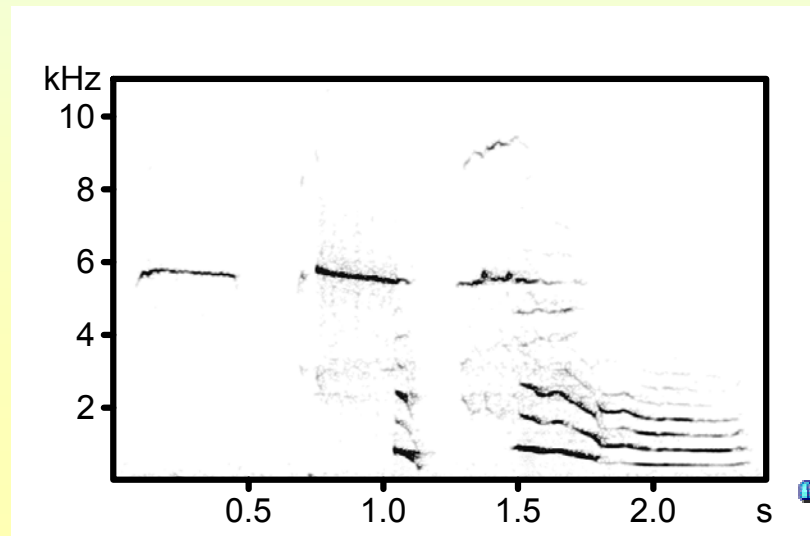
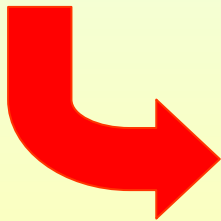
Смена эмоциональных звуков на выученные в онтогенезе

Вторичный вокальный субстрат

Временная задержка
Эмоция, потом звук

Первичный вокальный субстрат

Звук сразу после стимула
Звук без эмоции





Нервный контроль вокализаций

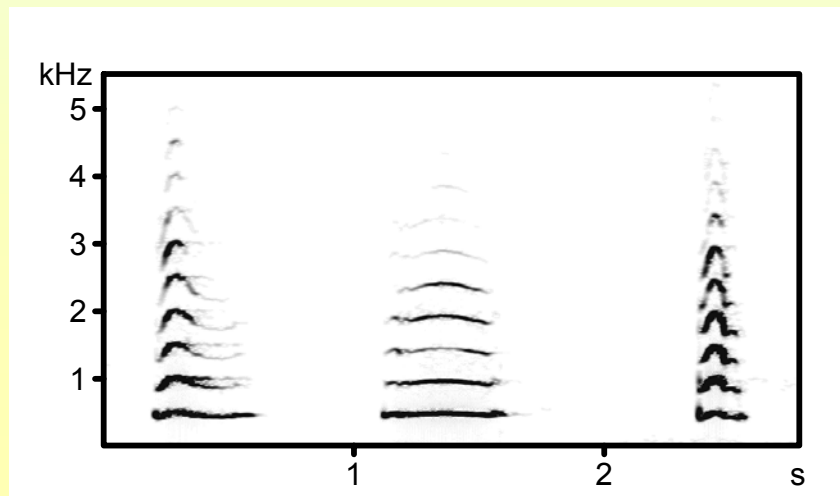
Смена эмоциональных звуков на выученные в онтогенезе

Домашние кошки. Мяуканья для управления своими хозяевами.
Использование – в несколько раз чаще, чем дикими кошками

Nicastro, 2004; McComb et al., 2009

Гепарды. Мяуканья для управления служителями в зоопарке.
83% мяуканий – при ожидании кормления или при
выпрашивании чего-либо у служителей

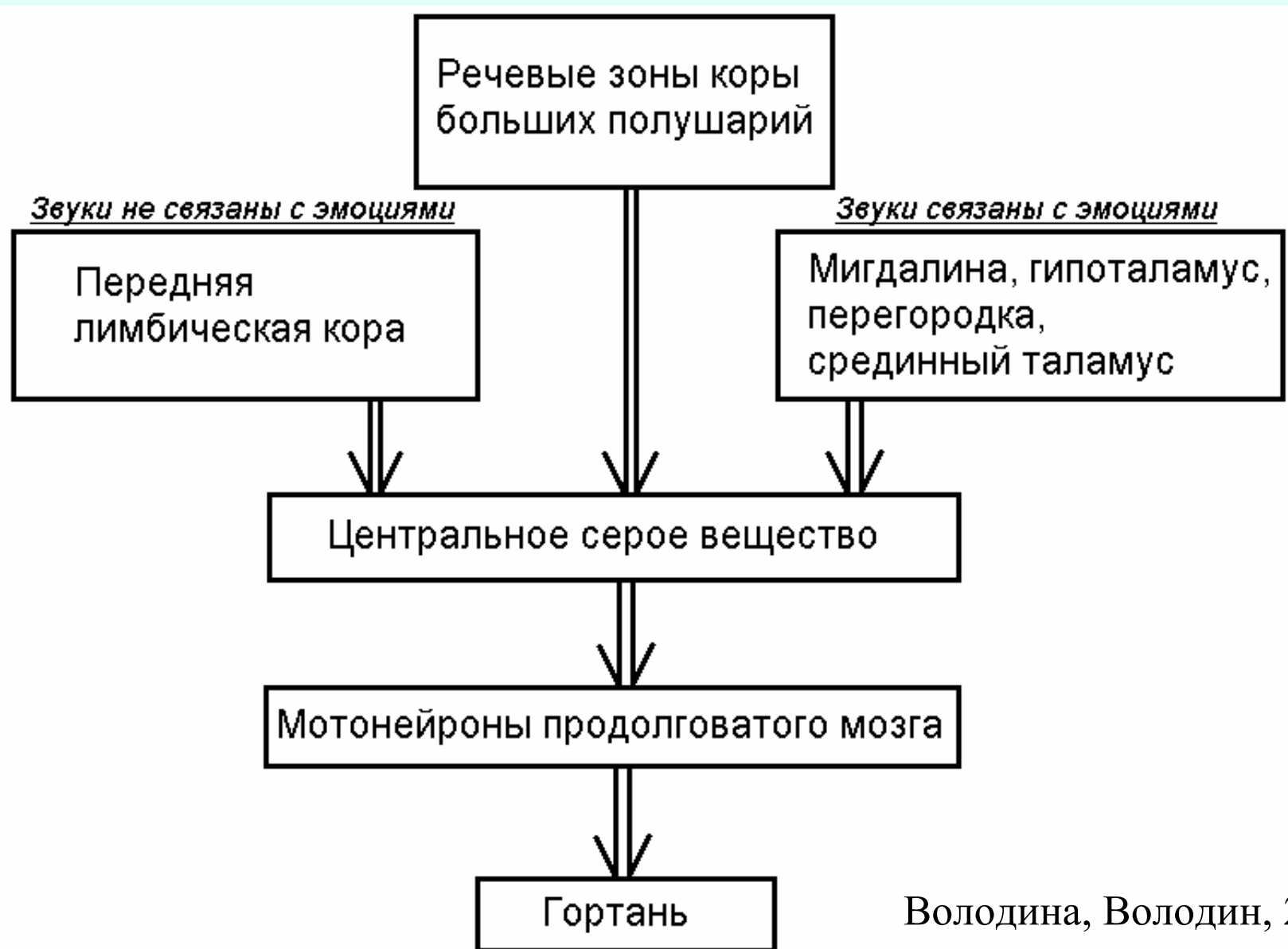
Smirnova et al., 2017





Нервный контроль вокализаций

Схема церебрального вокального контроля





Эволюция речи

Ключевые преадаптации, необходимые для развития речи человека

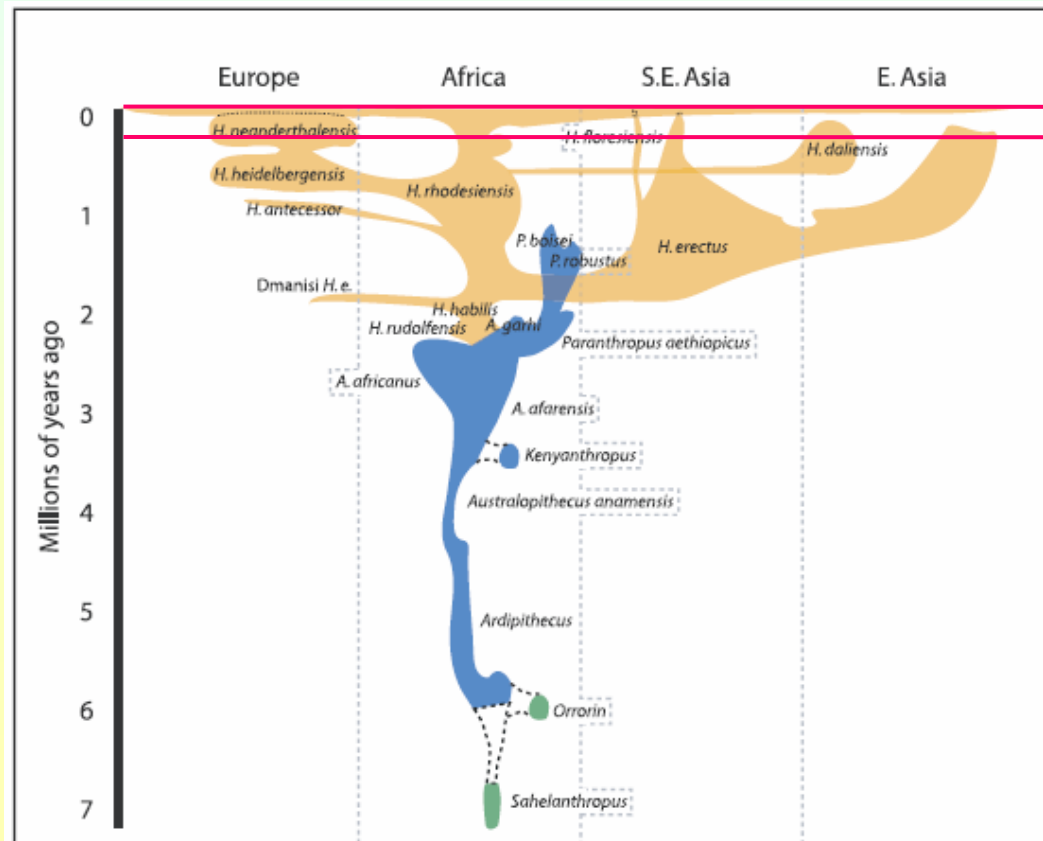
1. Особое строение вокальной системы – постоянно опущенная гортань
2. Способность к вокальному научению (имитации).
3. Нервный контроль из коры больших полушарий, а не из лимбической системы продолговатого мозга.

Необходимо сочетание всех этих трех особенностей у человека для появления речи



Речевой язык как видовой признак человека

1. 800 народов. Все – с речевым языком, ни одного без него.
2. Способности к речевому языку – в голове (в ЦНС), а не в гортани.



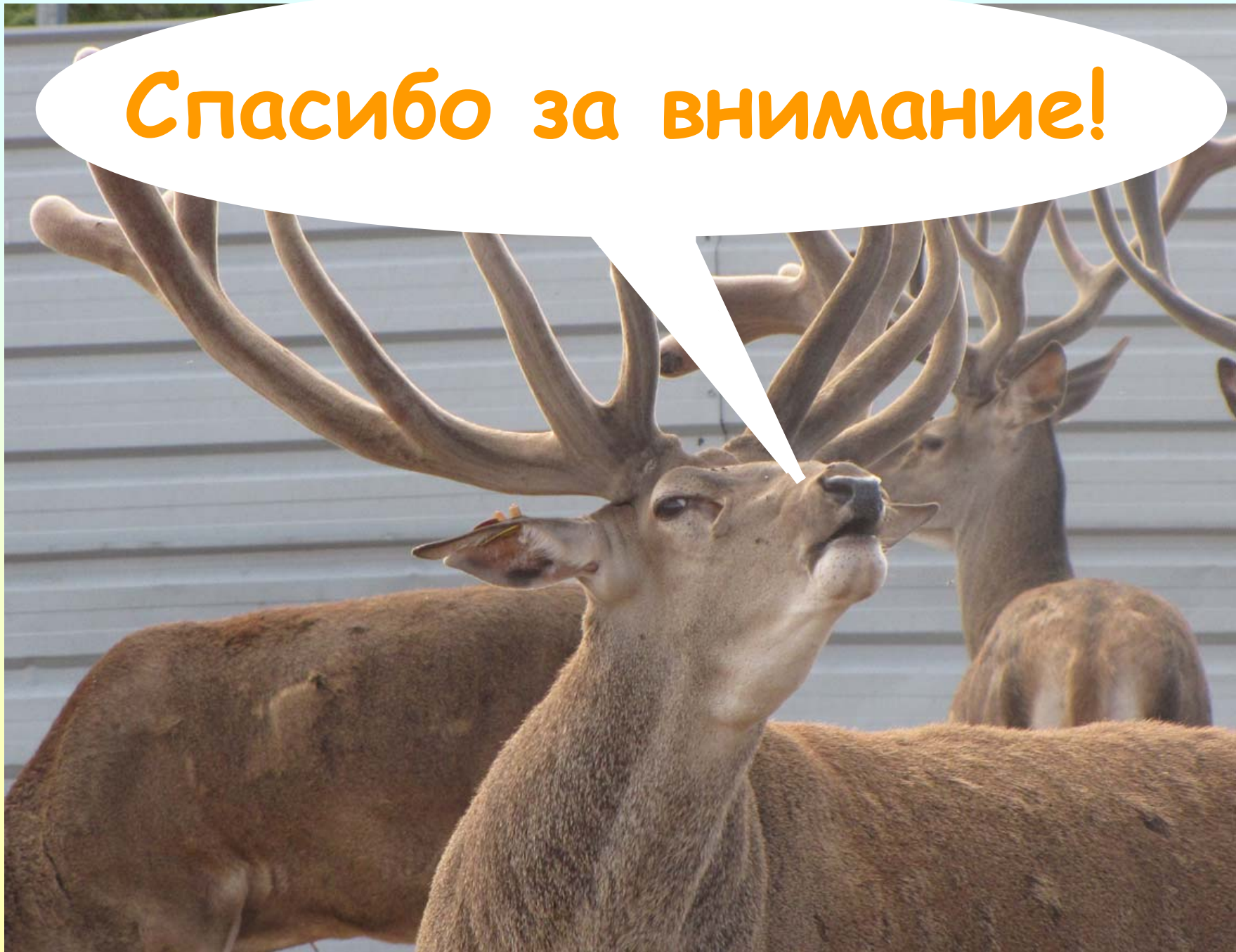


Два уровня звуковой коммуникации у человека

Базовый - общий для нас и других млекопитающих. Передача и считывание эмоционального возбуждения. Врожденные реакции на звуки определенной структуры (эффект акустической дубинки) и выученные реакции на индивидуальные особенности голоса в зависимости от предыдущего опыта общения (друг и враг).

Надстройка - речевой язык, передача и расшифровка семантических понятий высокой степени сложности, передача детальной информации. Только у людей.

Спасибо за внимание!



Вопросы, пожалуйста!



Илья Александрович Володин
volodinsvoc@mail.ru

Сайт нашей научной группы
<http://www.bioacoustica.org/>