

Hearing4all*: от эмпирических исследований к современной прецизионной аудиологии

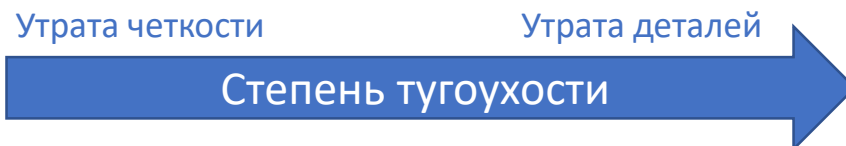
Проф., д-р естеств. наук, д-р. мед.
Биргер Коллмайер (Birger Kollmeier)

Кластер передового опыта Hearing4All,
кафедра медицинской физики
Ольденбургского университета
D-26129, Ольденбург, Германия



*Слух для всех

Проблемы общения с точки зрения пациентов



Проблемы общения: устройства





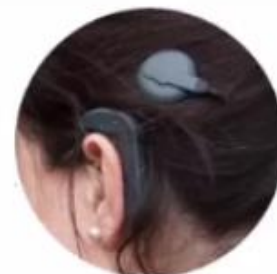
Кластер передового опыта Hearing4all и Auditory Valley



Ольденбург



Ганновер

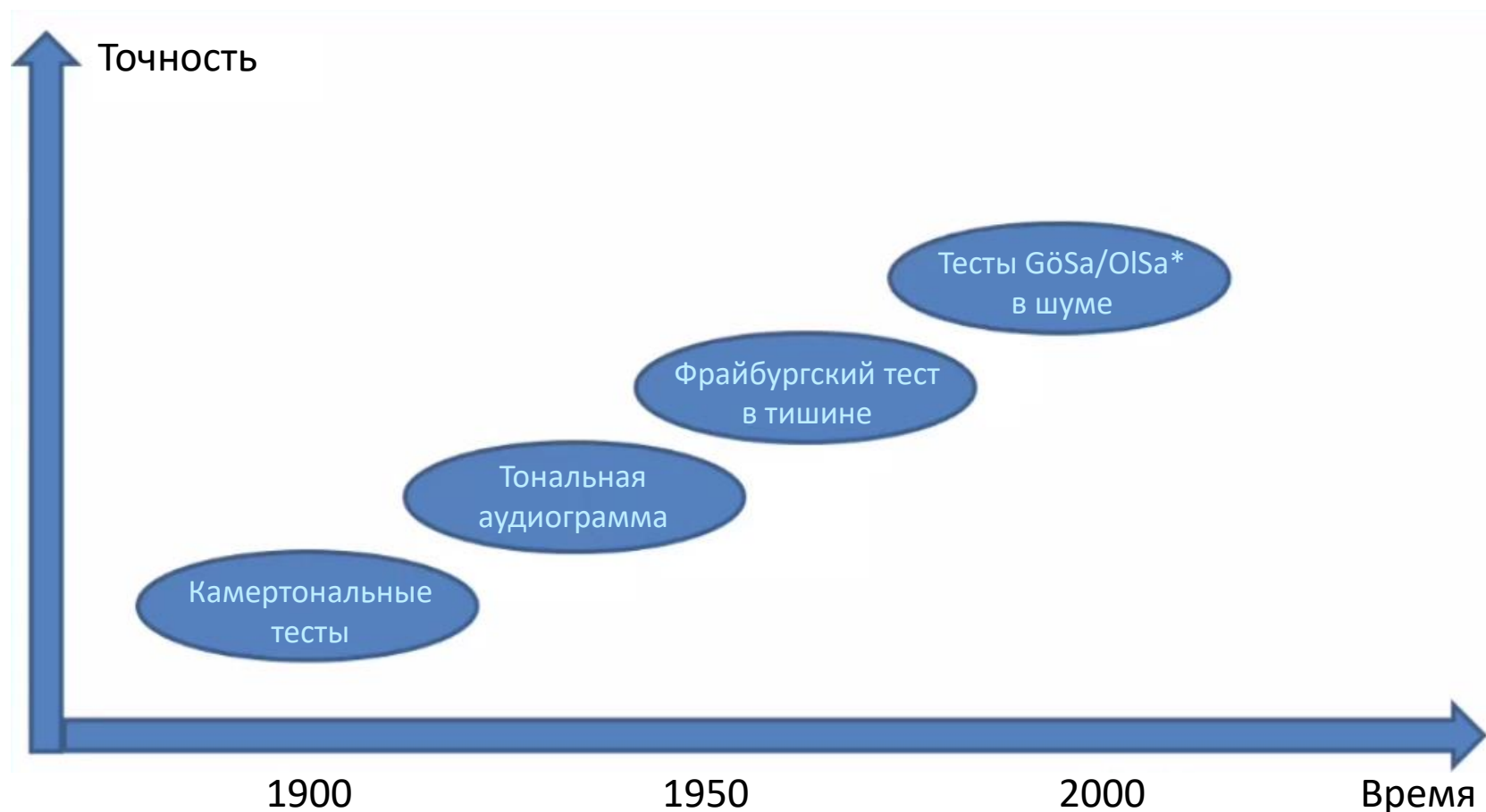


Кластер передового опыта Hearing4all: пути к прецизионной аудиологии

- Точная аудиограмма, точные тесты разборчивости речи
 - необходима высокая эффективность и достоверность тестов!
 - выявление факторов, обуславливающих межиндивидуальные различия
- Точное понимание причин для выявления проблем
 - свободно доступные модели слуха, FAD^E* в качестве "рабочей лошадки"
 - компоненты аттенюации и надпорогового искажения
- Точное прогнозирование преимуществ слухового аппарата или кохлеарного импланта
 - расхождение между прогнозируемыми и достигнутыми преимуществами
 - разработка инновационных устройств коррекции нарушений слуха в будущем

*Протокол экспериментов в области слухового распознавания

Диагностика в реабилитационной аудиологии



GöSa = Гёттингенский фразовый тест; OISa = Ольденбургский фразовый тест

Принцип матричного теста: многоязычность и небольшой словарный запас

Имя	Глагол	Числительное	Прилагательное	Существительное
Peter	got	three	large	desks.
Kathy	sees	nine	small	chairs.
Lucy	bought	five	old	shoes.
Alan	gives	eight	dark	toys.
Rachel	sold	four	thin	spoons.
Barry	likes	six	green	mugs.
Steven	has	two	cheap	ships.
Thomas	kept	ten	pink	rings.
Hannah	wins	twelve	red	tins.
Nina	wants	some	big	beds.



Каждая фраза теста состоит из 5 слов. Последовательность всегда одна и та же: имя, глагол, числительное, прилагательное, существительное (по 10 вариантов каждой части речи). Слова можно выбирать вручную или автоматически в случайном порядке. В данном случае "набрана" фраза: "Томас продал шесть темных стульев". Вероятность угадывания следующего слова сведена к минимуму.

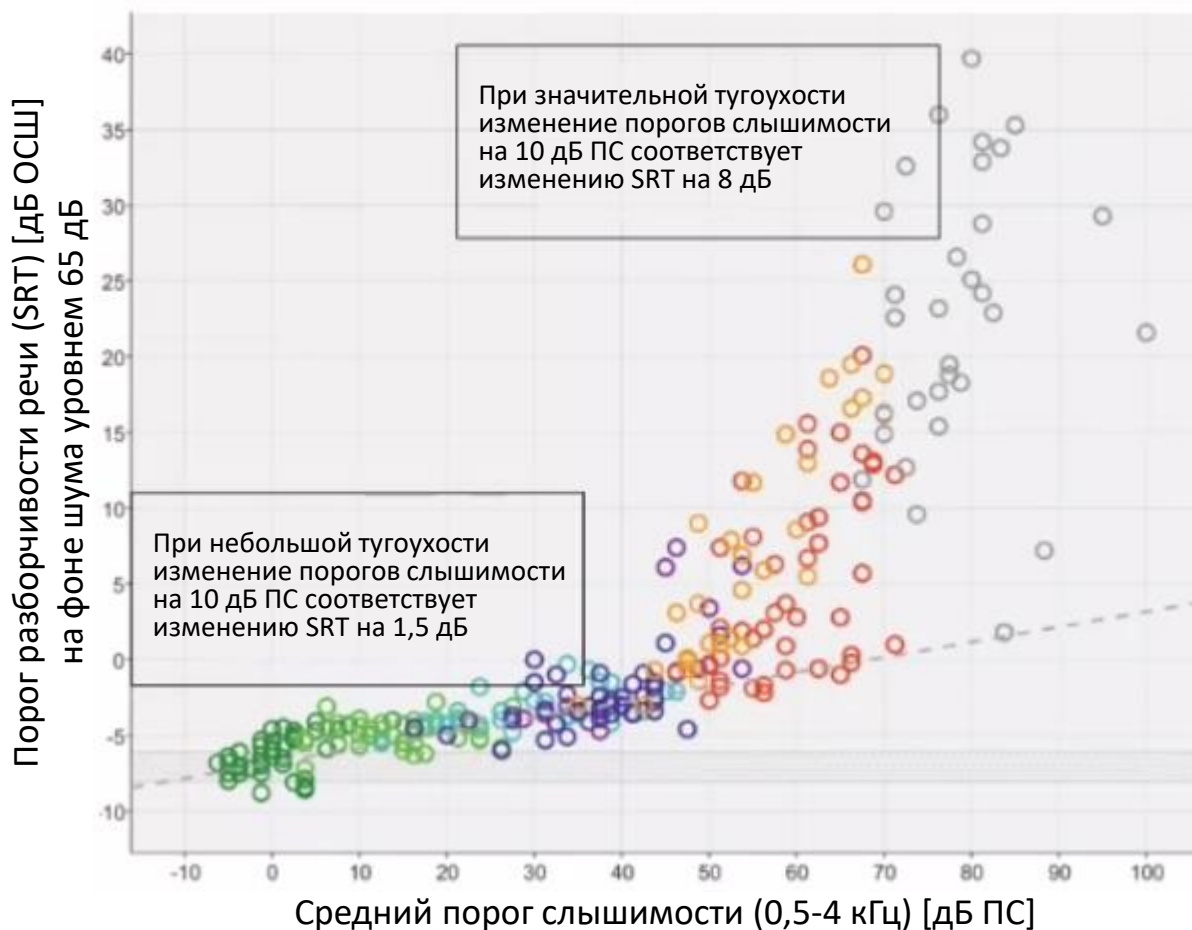
Результаты матричного теста OLSA на немецком языке

Немецкий матричный тест (OLSA):
N = 158 (Wardenga с соавт., 2012)

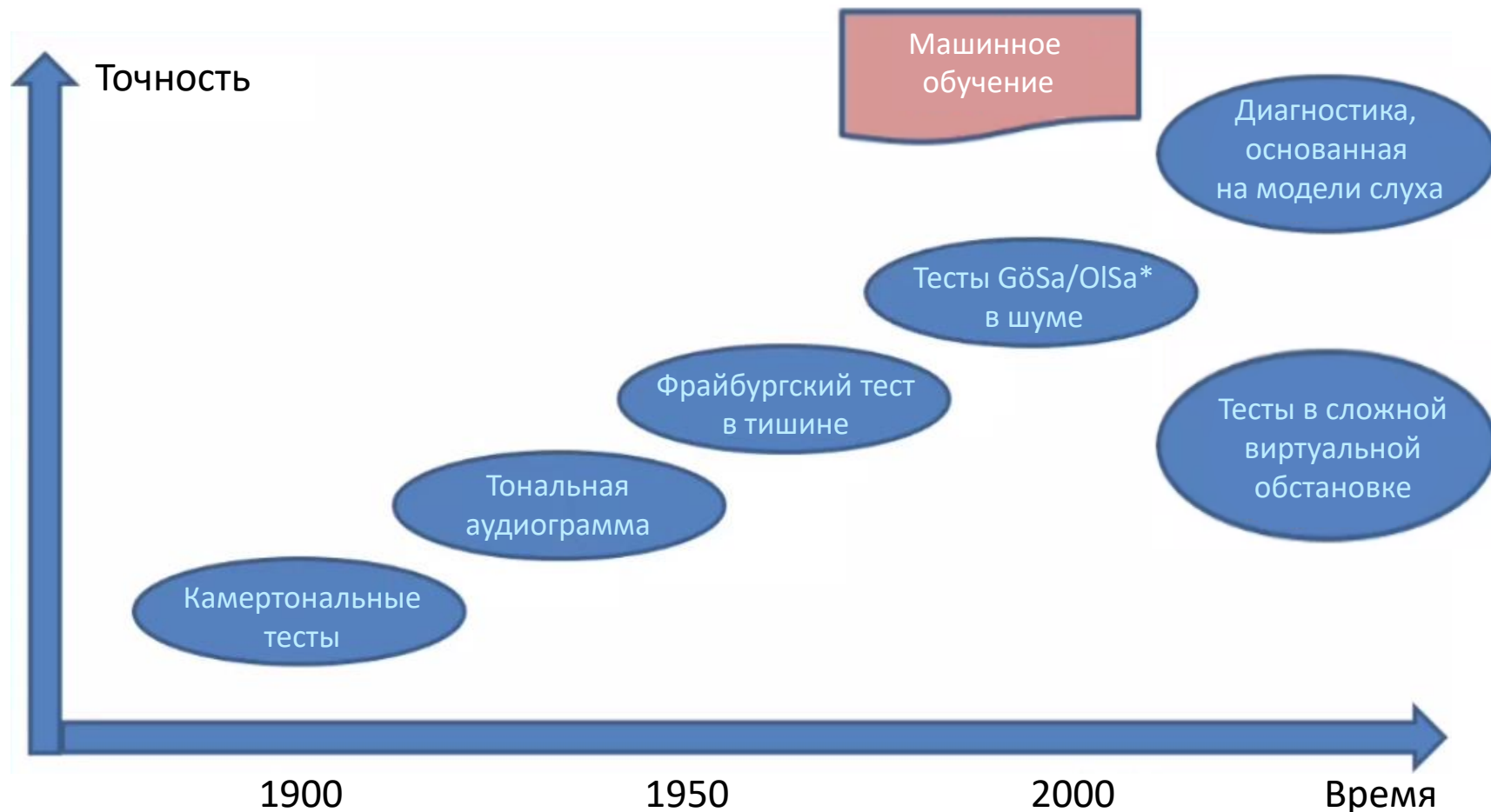
Вариант аудиограммы:

- нормальный слух
- высокочастотный зубец
- круто нисходящая тугоухость
- плавное высокочастотное снижение
- низкочастотная тугоухость
- умеренная нисходящая тугоухость
- умеренная тугоухость на всех частотах
- тяжелая тугоухость

→ Повышение SRT (*и большой разброс результатов!*) по мере повышения средних порогов слышимости



Диагностика в реабилитационной аудиологии



Кластер передового опыта Hearing4all: пути к прецизионной аудиологии

- Точная аудиограмма, точные тесты разборчивости речи
 - необходима высокая эффективность и достоверность тестов!
 - выявление факторов, обуславливающих межиндивидуальные различия
- Точное понимание причин для выявления проблем
 - доступные модели слуха, FADE* в качестве "рабочей лошадки"
 - аттенюация и компонент надпорогового искажения
- Точное прогнозирование преимуществ слухового аппарата или кохлеарного импланта
 - расхождение между прогнозируемыми и достигнутыми преимуществами
 - разработка инновационных устройств коррекции нарушений слуха в будущем

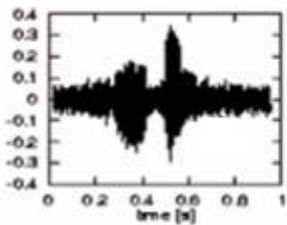
Прогнозирование "человеческой" разборчивости речи на основании машинной разборчивости речи



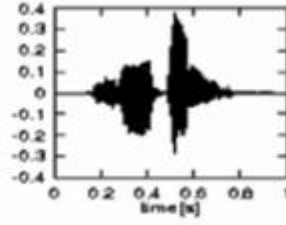
Д-р Марк Р. Шедлер



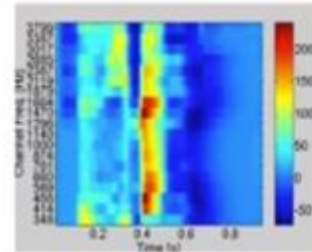
Д-р Бернд Майер



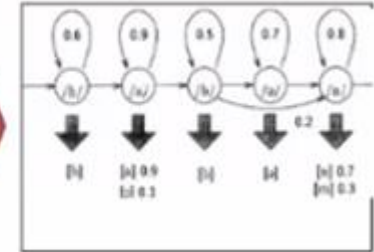
Сигнал во времени



Предварительная обработка



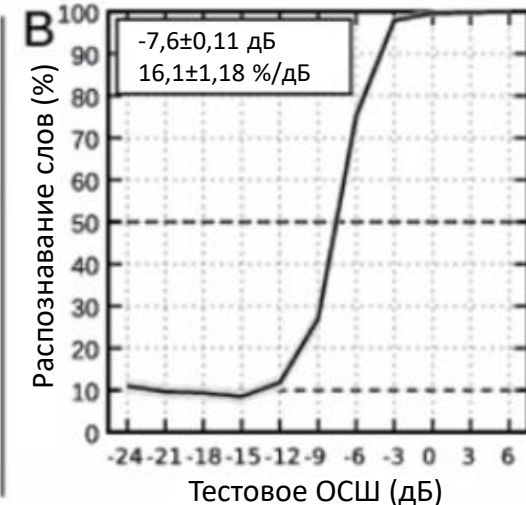
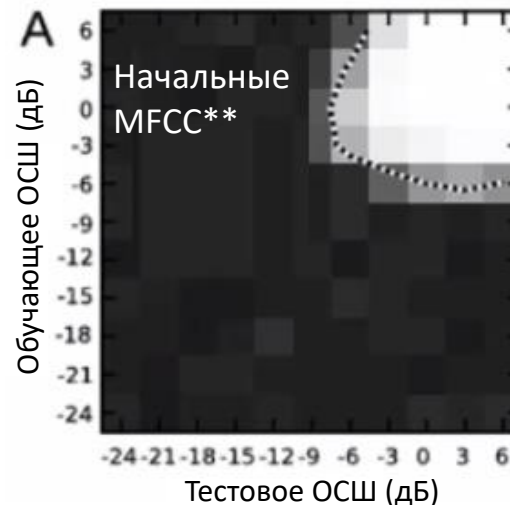
Извлечение признаков



Классификация (HMM, DNN)*

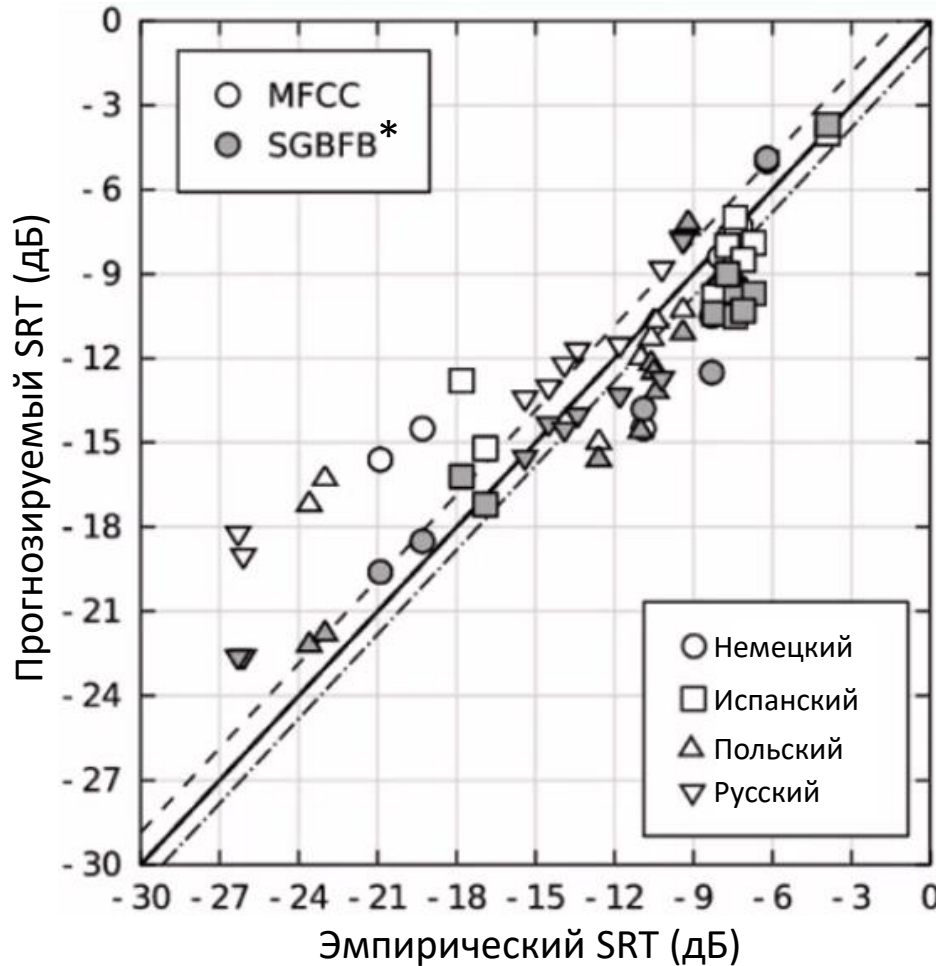
- Машинное обучение распознаванию речи с использованием матричного теста при различных значениях ОСШ
- Выбор обучающего ОСШ с самым низким прогнозируемым порогом разборчивости речи

FADE: протокол экспериментов в области слухового распознавания



*HMM = скрытая марковская модель; DNN = глубокая нейронная сеть; **MFCC = мел-частотные кепстральные коэффициенты

Прогнозирование результатов многоязычного речевого теста с разными типами шума

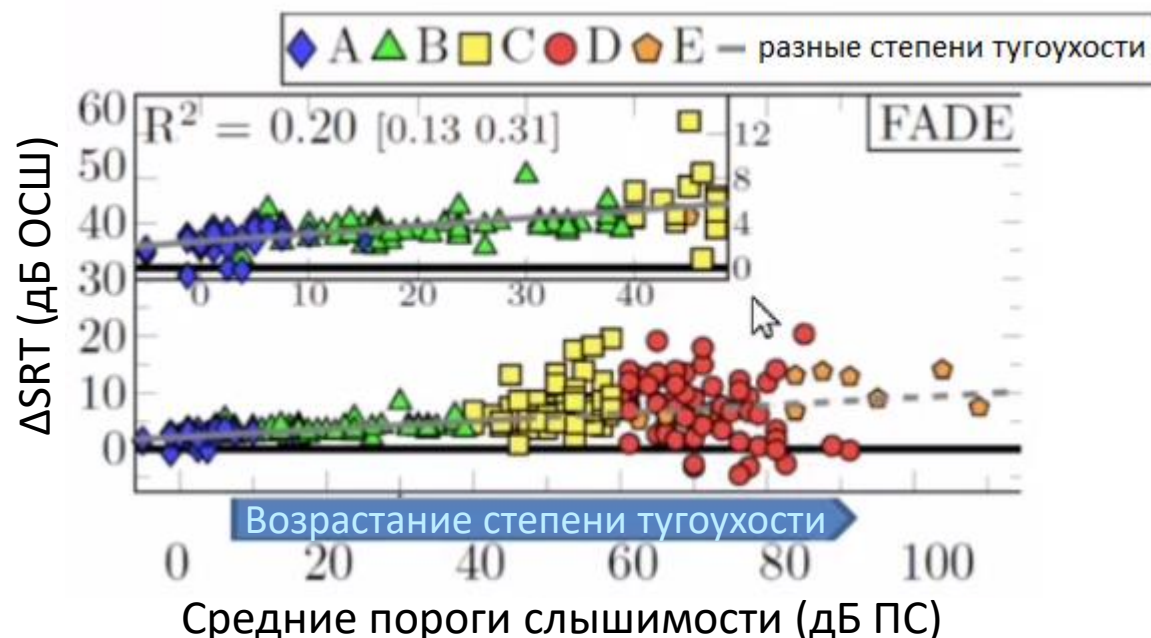


- Корреляция между измеренным и спрогнозированным порогом разборчивости речи:
0,77 (Польский, MFCC)
0,95 (Русский, SGFB)

→ Объективная оценка разборчивости речи у нормальнослышащих испытуемых зависит от языка, говорящего и типа шума

Прогнозирование порога разборчивости речи (SRT) у 315 пациентов с возрастающей степенью тугоухости

Расхождение между фактическими и спрогнозированными данными



- Данные Wardenga с соавт. (2015)
- Непрерывный шум уровнем 65 дБ УЗД
- Прогнозирование SRT на основании аудиограммы с использованием FADE недооценивает эффект степени тугоухости

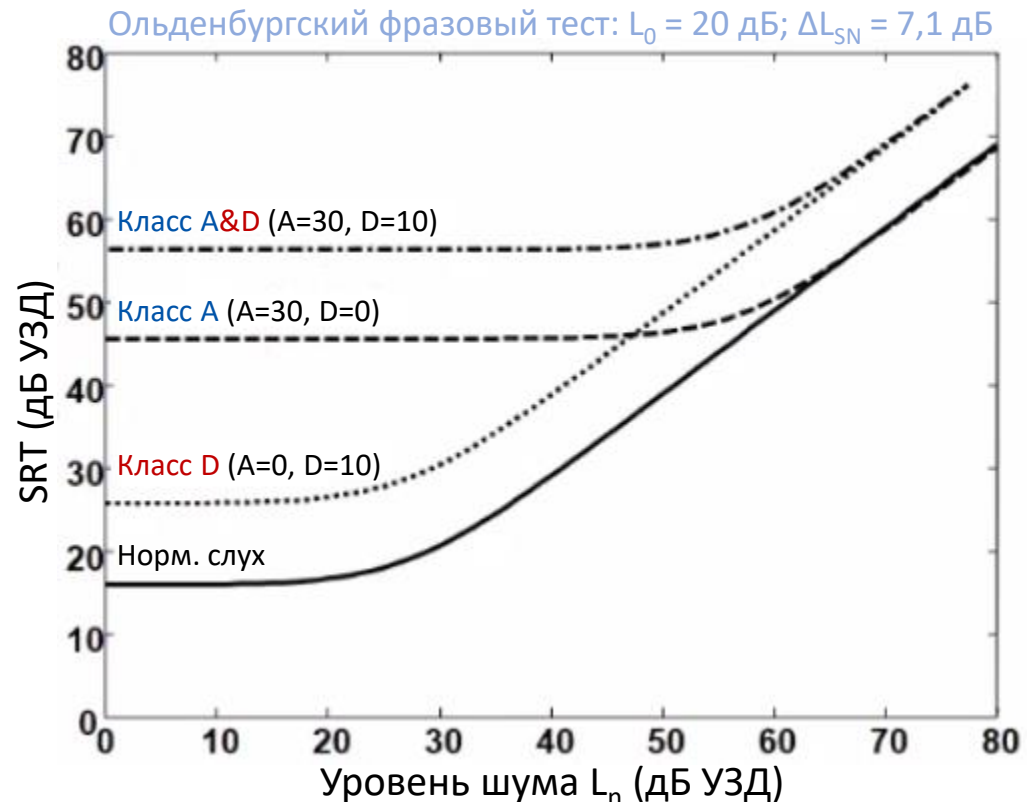
→ Надпороговый дефицит слуха!

Модель распознавания речи в шуме (Plomp, 1978, JASA No 63)

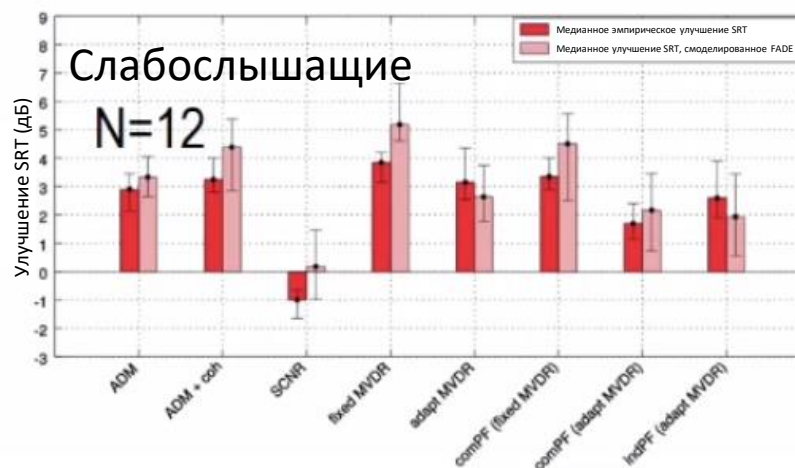
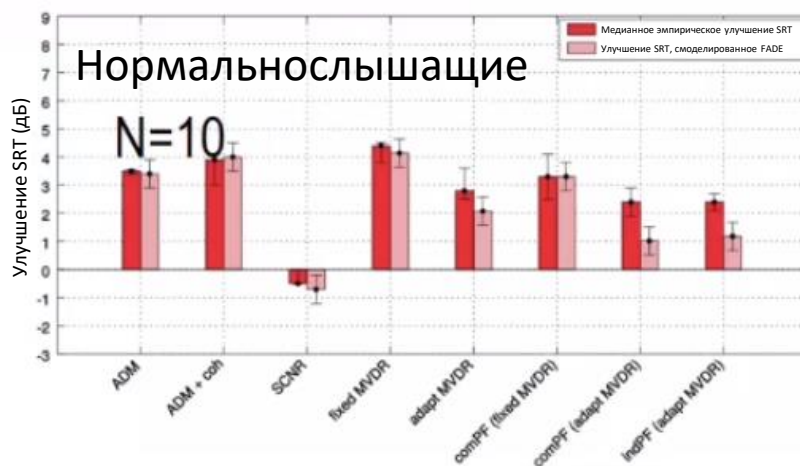
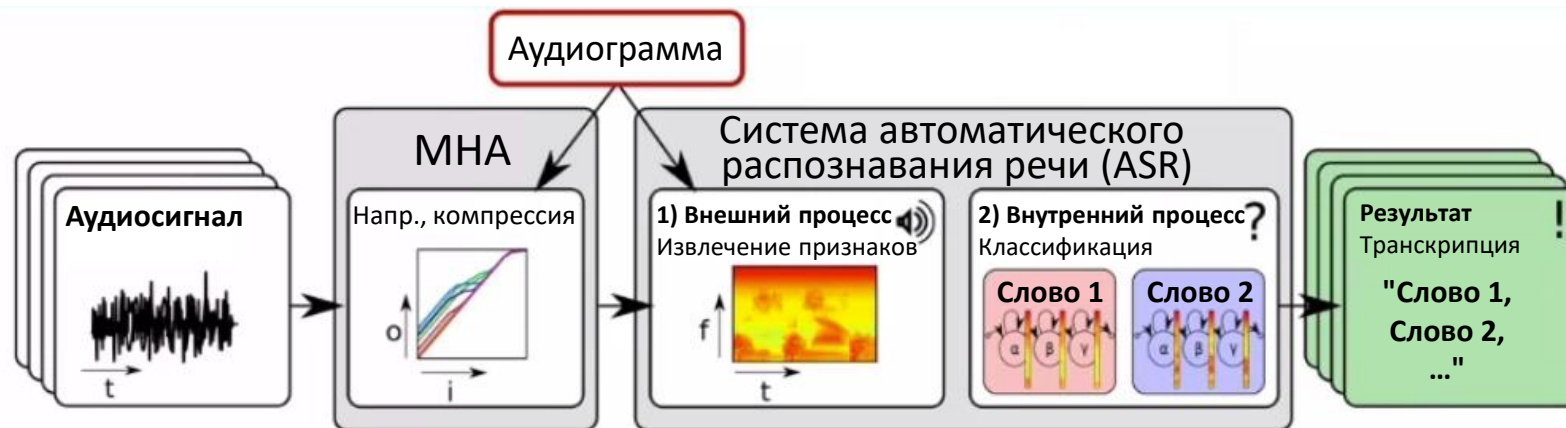
- Связь между уровнем шума L_n и SRT_n [дБ УЗД]
- Описывает нарушение восприятия речи, обусловленное компонентом аттенюации (A) и компонентом искажения (D):

$$SRT_{A+D}(L_n) = 10\log(10^{(L_0+A+D)/10} + 10^{(L_n-\Delta L_{SN}+D)/10})$$

- Атенюация (A) = сдвиг порогов слышимости в тишине
 - Компенсация: повышение уровня сигналов
- Искажение (D) = проявляется в тишине и шуме
 - Компенсация (частичная): повышение ОСШ
→ Моделируется в F (FADE?) как мультипликативный шум (уровень неопределенности U)



Прогнозирование эффективности слухового аппарата с помощью мастер-аппарата (МНА) и FADE



Точное прогнозирование SRT (порога разборчивости речи)



Д-р Марк Р. Шедлер Д-р Анна Варцибок

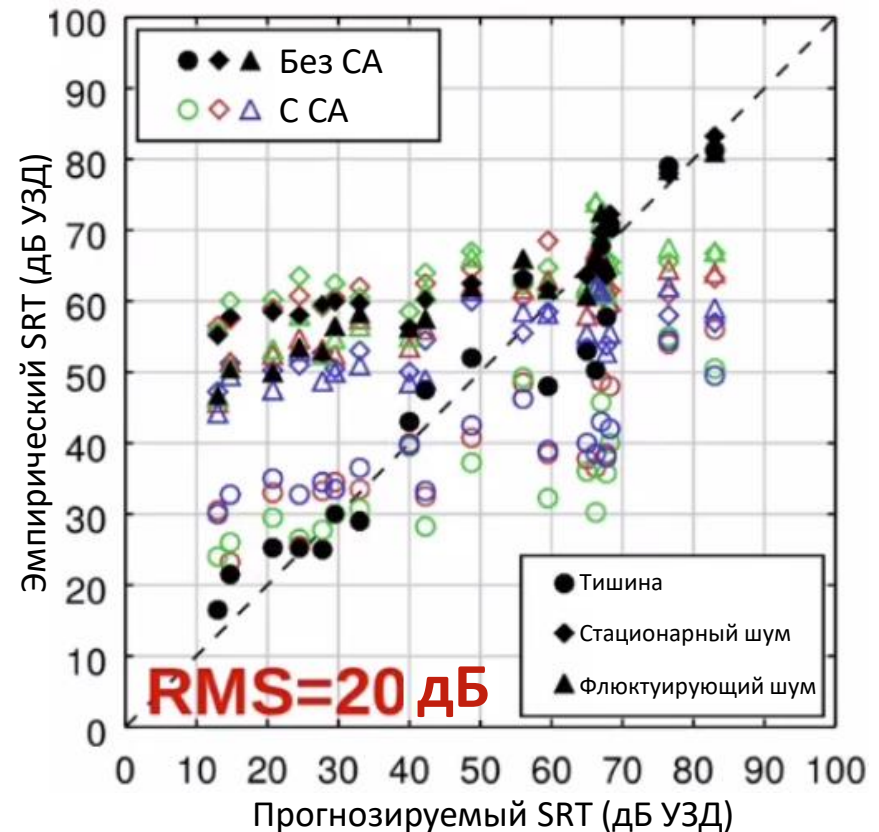
- Индивидуальное прогнозирование
- Нормальнослышащие и слабослышащие испытуемые
- В тишине и на фоне флюктуирующего шума
- Со слуховыми аппаратами и без них

Ошибка прогноза (RMS):

Прогноз, основанный на порогах слышимости → 20 дБ

Прогноз системы FADE (на основании аудиограммы): → 8 дБ

Прогноз системы FADE (на основании прецизионной аудиологии: точная аудиограмма + психоакустические показатели) → <5 дБ



Точное прогнозирование SRT (порога разборчивости речи)



Д-р Марк Р. Шедлер Д-р Анна Варцибок

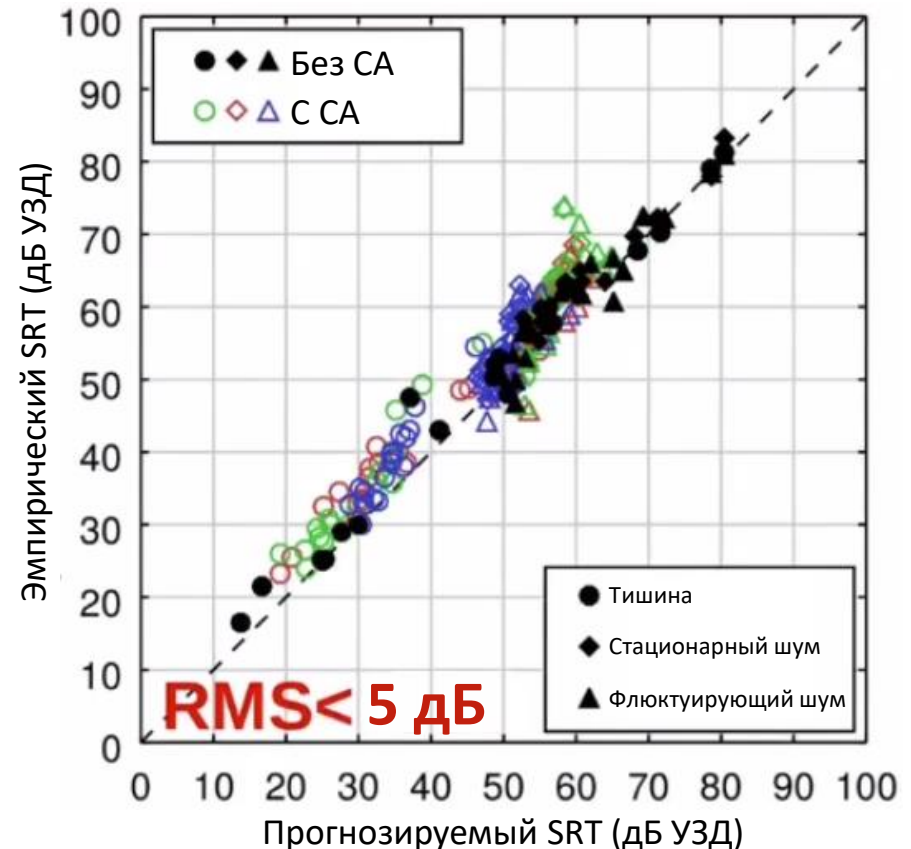
- Индивидуальное прогнозирование
- Нормальнослышащие и слабослышащие испытуемые
- В тишине и на фоне флюктуирующего шума
- Со слуховыми аппаратами и без них

Ошибка прогноза (RMS):

Прогноз, основанный на порогах слышимости → 20 дБ

Прогноз системы FADE (на основании аудиограммы): → 8 дБ

Прогноз системы FADE (на основании прецизионной аудиологии: точная аудиограмма + психоакустические показатели) → <5 дБ



Точное прогнозирование SRT (порога разборчивости речи)



Д-р Марк Р. Шедлер Д-р Анна Варцибок

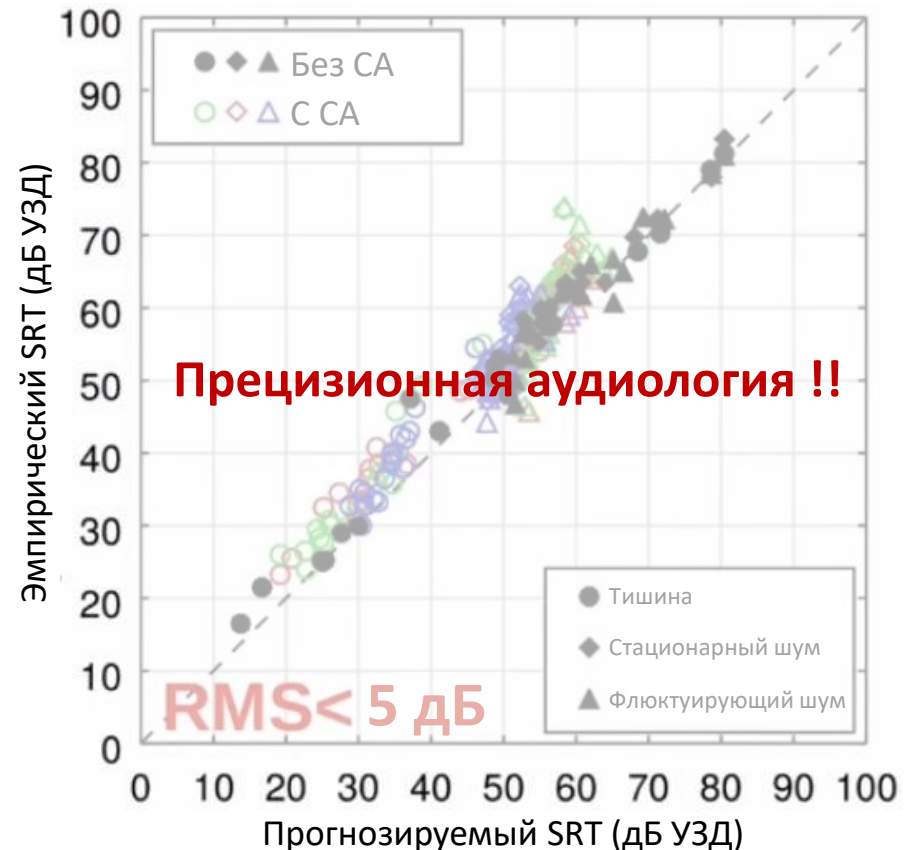
- Индивидуальное прогнозирование
- Нормальнослышащие и слабослышащие испытуемые
- В тишине и на фоне флюктуирующего шума
- Со слуховыми аппаратами и без них

Ошибка прогноза (RMS):

Прогноз, основанный на порогах слышимости → 20 дБ

Прогноз системы FADE (на основании аудиограммы): → 8 дБ

Прогноз системы FADE (на основании прецизионной аудиологии: точная аудиограмма + психоакустические показатели) → <5 дБ



Перспектива: прецизионная аудиология с использованием openMHA.org



*МНА = мастер-аппарат

Перцептивные факторы и основанные на них стратегии работы слуховых аппаратов

Фактор	Перцептивные последствия	Реабилитационная стратегия	Технические проблемы
Компонент аттенуации	Утрата чувствительности; повышение порогов слышимости	Улучшение слышимости: a) Частотно-специфичное усиление b) Частотная компрессия	Подавление обратной связи; акустические искажения
Компонент искажения	a) Утрата чувствительности; уменьшение динамического диапазона ("рекруитмент") b) Ухудшение частотной избирательности c) Повышение чувствительности к фоновому шуму	a) Автоматическая регулировка усиления (AGC), многополосная динамическая компрессия b) Спектральное подчеркивание c) Шумоподавление (см. также "Невральный компонент")	a) Характеристики компрессии, временные константы, сопряжение частотных полос b) Устранение артефактов c) Оценка/классификация речевых и шумовых сигналов
Невральный компонент	a) Повышение чувствительности к фоновому шуму ("эффект коктейльной вечеринки") b) Нарушение бинауральных функций	a) Монауральное шумоподавление b) Направленные микрофоны c) Формирование луча направленности d) Бинауральное шумоподавление	a) Ошибка оценки и устранение артефактов b) Снижение граничной частоты c) Характеристики луча направленности d) Устранение ошибок оценки; межухная передача сигнала

Кластер передового опыта Hearing4all: пути к прецизионной аудиологии

- Точная аудиограмма, точные тесты разборчивости речи
 - необходима высокая эффективность и достоверность тестов!
 - выявление факторов, обуславливающих межиндивидуальные различия
- Точное понимание причин для выявления проблем
 - свободно доступные модели слуха, FAD_E в качестве "рабочей лошадки"
 - компоненты аттенюации и надпорогового искажения
- Точное прогнозирование преимуществ слухового аппарата или кохлеарного импланта
 - расхождение между прогнозируемыми и достигнутыми преимуществами
 - разработка инновационных устройств коррекции нарушений слуха в будущем



Кластер передового опыта Hearing4all: пути к прецизионной аудиологии



- Точная аудиограмма, точные тесты разборчивости речи
 - необходима высокая эффективность и достоверность тестов!
 - выявление факторов, обуславливающих межиндивидуальные различия
- Точное понимание причин для выявления проблем
 - свободно доступные модели слуха, FADDE в качестве "рабочей лошадки"
 - компоненты аттенуации и надпорогового искажения
- Точное прогнозирование преимуществ слухового аппарата или кохлеарного импланта
 - расхождение между прогнозируемыми и достигнутыми преимуществами
 - разработка инновационных устройств коррекции нарушений слуха в будущем