

Технология понижения частоты, или разговор о слышимости (и частотном диапазоне)

PAMELA SOUZA

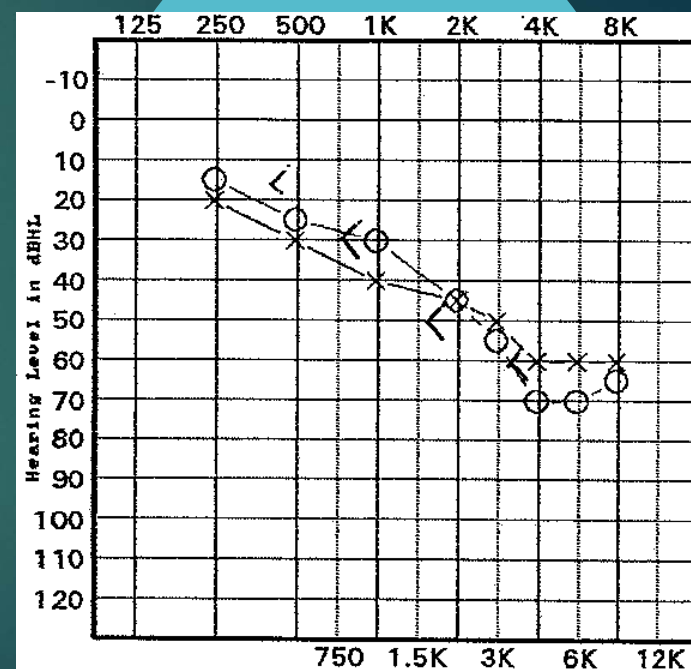
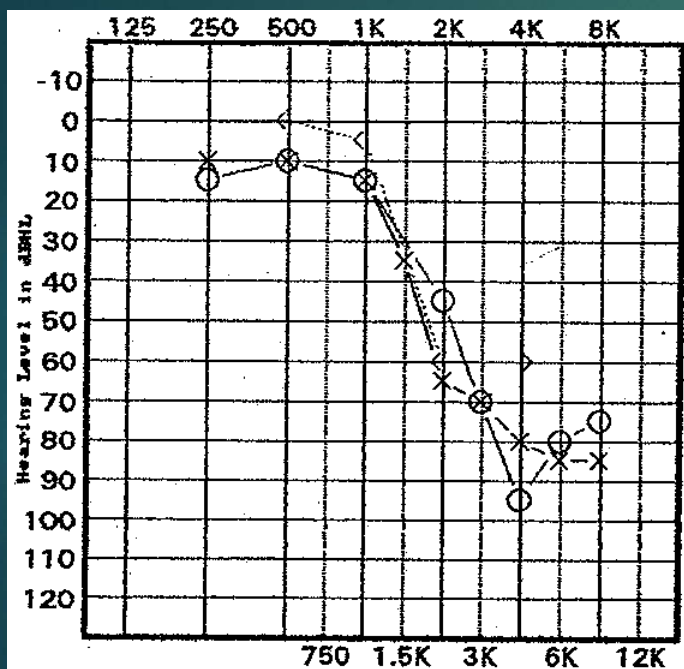
СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭВАНСТОН, ИЛЛИНОЙС

Благодарность

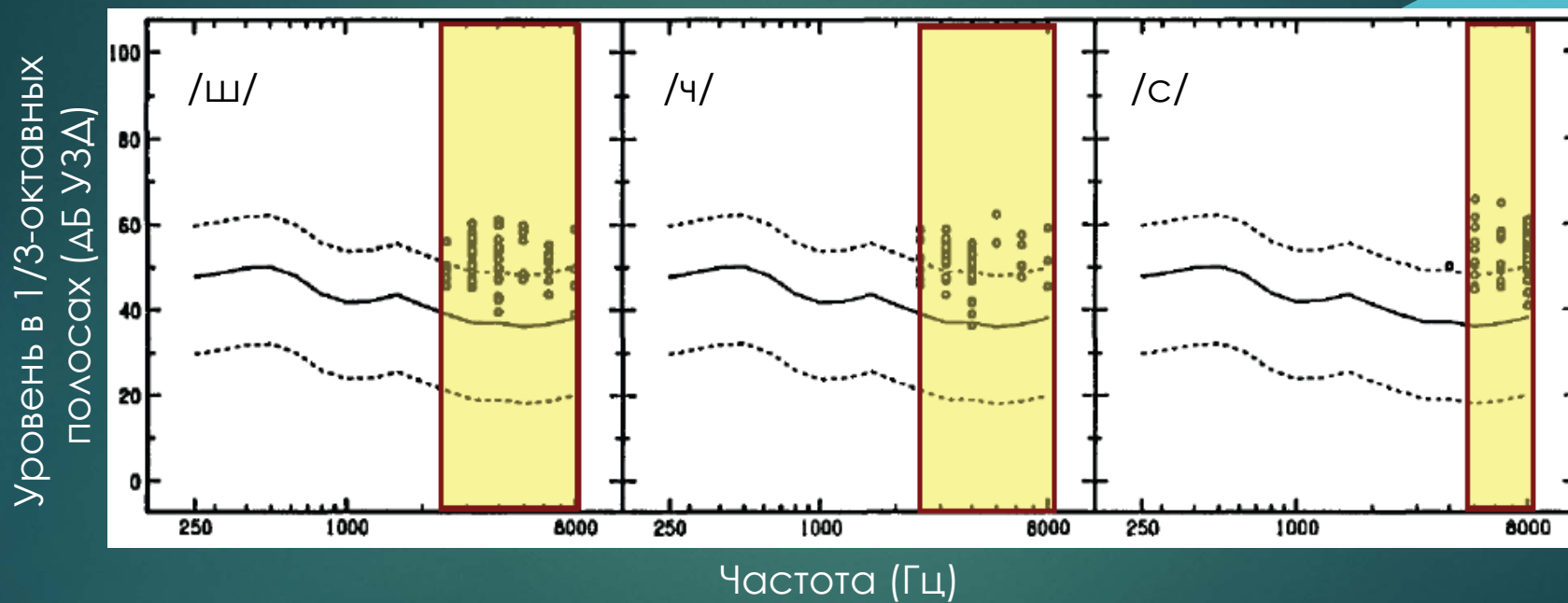
- ▶ Kathryn Arehart
 - ▶ Университет Колорадо
- ▶ Laura Mathews, Arianna Mihalakakos, Tim Schoof и Jing Shen
- ▶ Marc Brennan и Ryan McCreery
 - ▶ Национальный исследовательский госпиталь Бойз-Таун
- ▶ При поддержке Национальных институтов глухоты и коммуникационных расстройств

Понижение частоты: клиническая интуиция



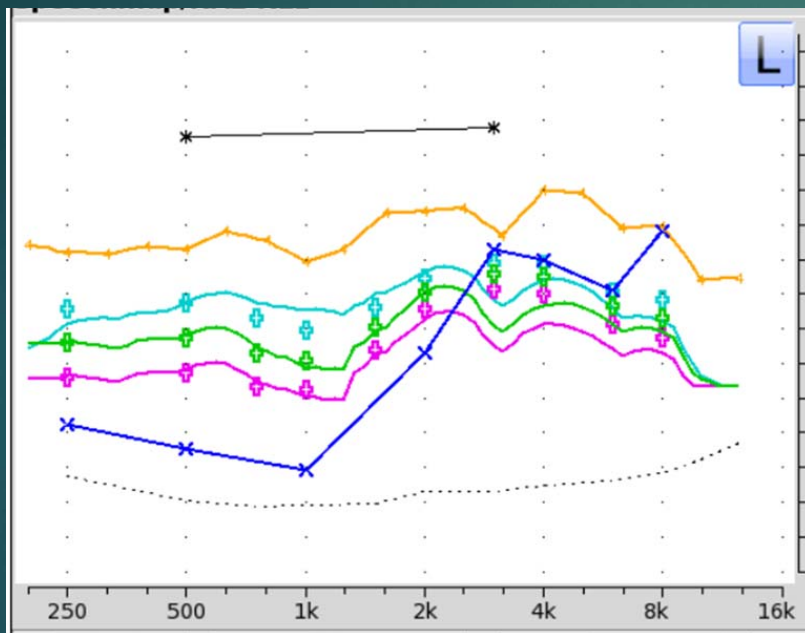
Воспользуетесь ли вы понижением частоты?

Проблема 1: высокочастотная речь



Приведены данные для голоса взрослой женщины

Проблема 2: усиление и слышимость



- ▶ Даже при правильном подборе слухового аппарата и хорошем соответствии целевым значениям NAL-NL2, часть высокочастотной информации остается неслышимой
- ▶ Возможности слухового аппарата не позволяют усилению превысить расчетные значения
- ▶ Высокочастотные звуки могут быть недоступны пользователю, например, из-за нарушения частотного разрешения

Возможное решение: понижение частоты

- ▶ Перемещение высокочастотной (неслышимой) информации в более низкочастотный диапазон (где у пользователя лучше пороги слышимости)
- ▶ Частотная **компрессия** уменьшает частотный диапазон выше некоторой граничной частоты
- ▶ Частотная **транспозиция** сохраняет разнесение частот и перемещает информацию в более низкочастотный диапазон (с наложением)

В основном, данные, полученные для взрослых

Некоторые примеры

- ▶ Phonak SoundRecover
- ▶ Widex Audibility Extender
- ▶ Starkey SpectralIQ
- ▶ Oticon Speech Rescue
- ▶ Siemens micon FCo



Что хотят знать специалисты?

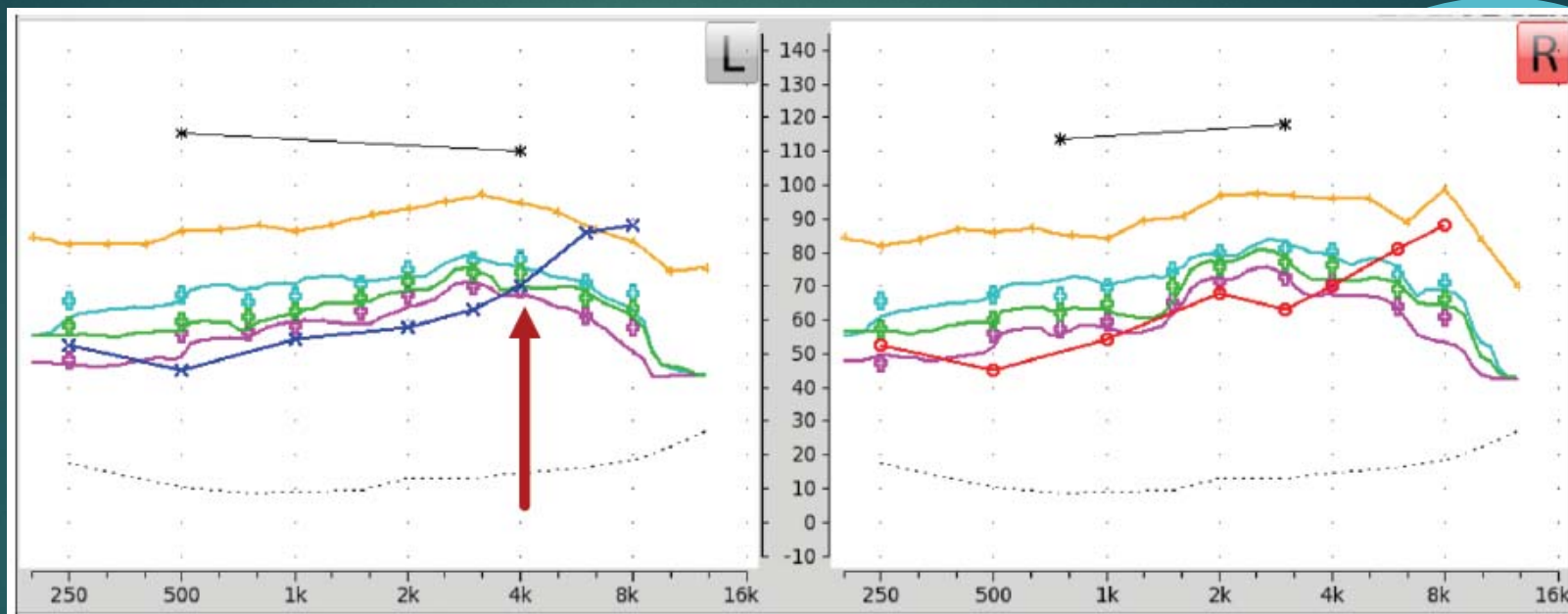
- ▶ Кто является кандидатом на понижение частоты?
- ▶ Как нужно настраивать параметры понижения частоты?
- ▶ Каковы ожидаемые преимущества понижения частоты?
- ▶ Нужен ли пользователям технологии понижения частоты период адаптации?

Кто является кандидатом на понижение частоты?

- ▶ Вначале определите **слышимый диапазон частот** без частотной компрессии (по возможности, в реальном ухе)
- ▶ Определите, обеспечивает ли усиление без частотной компрессии адекватный диапазон слышимых частот
 - ▶ Потребности пользователя (например, вопросник COSI)*
- ▶ Наличие частотной компрессии в предлагаемых слуховых аппаратах

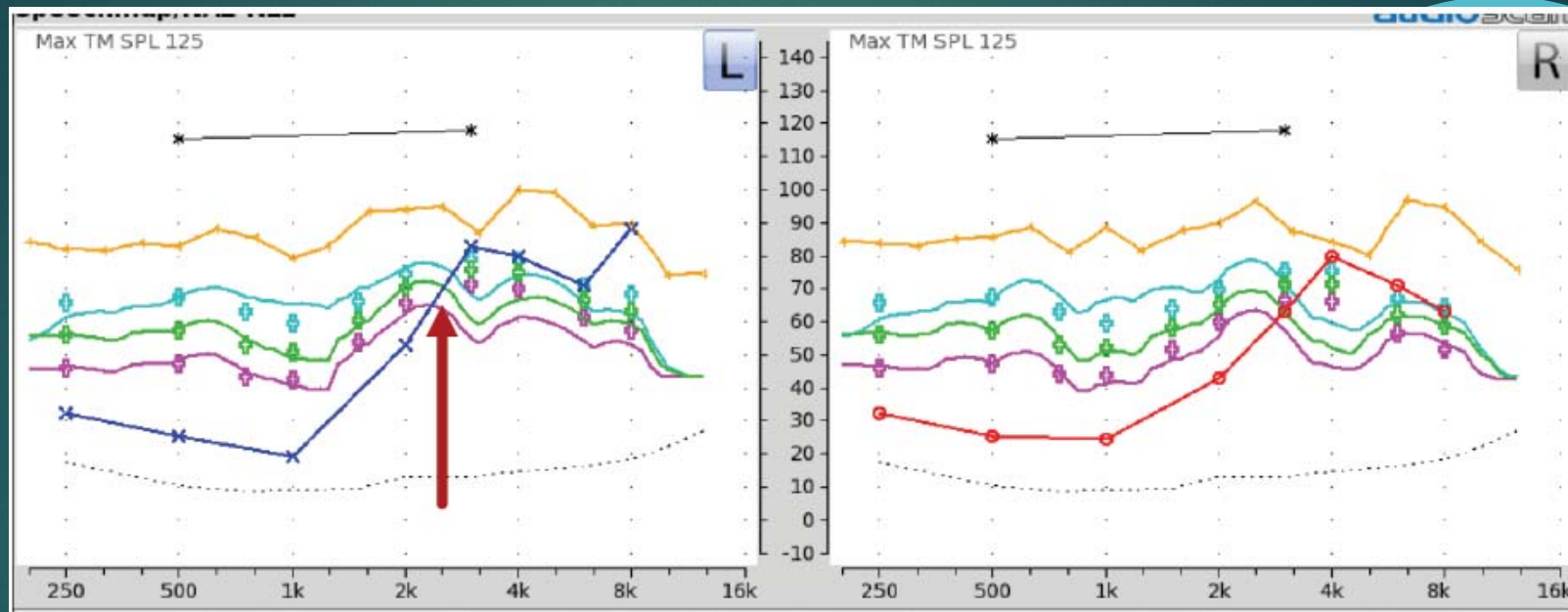
*Некоторых пользователей вполне удовлетворяет верхняя граница частотного диапазона 3-4 кГц

Пример: верхняя граница слышимого диапазона частот ≤ 4 кГц



В ряде случаев этого вполне достаточно

Пример: верхняя граница слышимого диапазона частот $\leq 2,5$ кГц



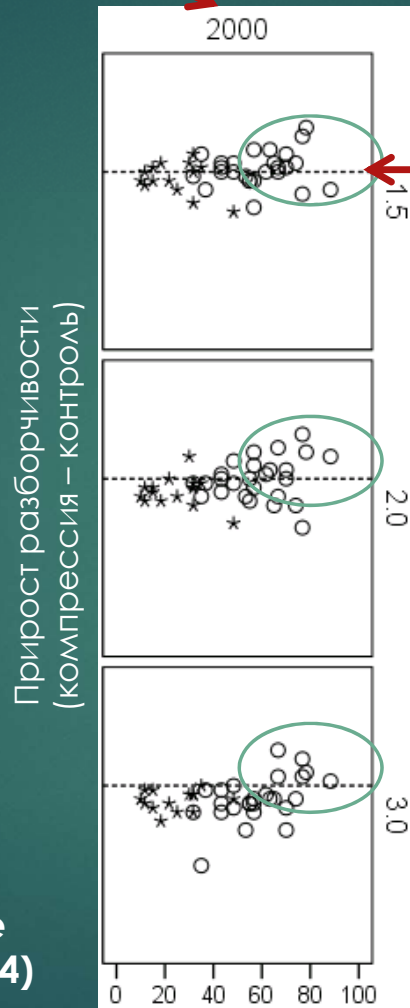
В этом случае диапазон частот явно недостаточен

Частотная компрессия эффективна, если она расширяет диапазон слышимых частот

При имитации частотной компрессии пользователи с большей высокочастотной тугоухостью (и более узким диапазоном слышимых частот) лучше разбирали фразовую речь

Souza и соавт. (2013); аналогичные результаты у Hopkins и соавт. (2014) для высокочастотных согласных

граничная частота

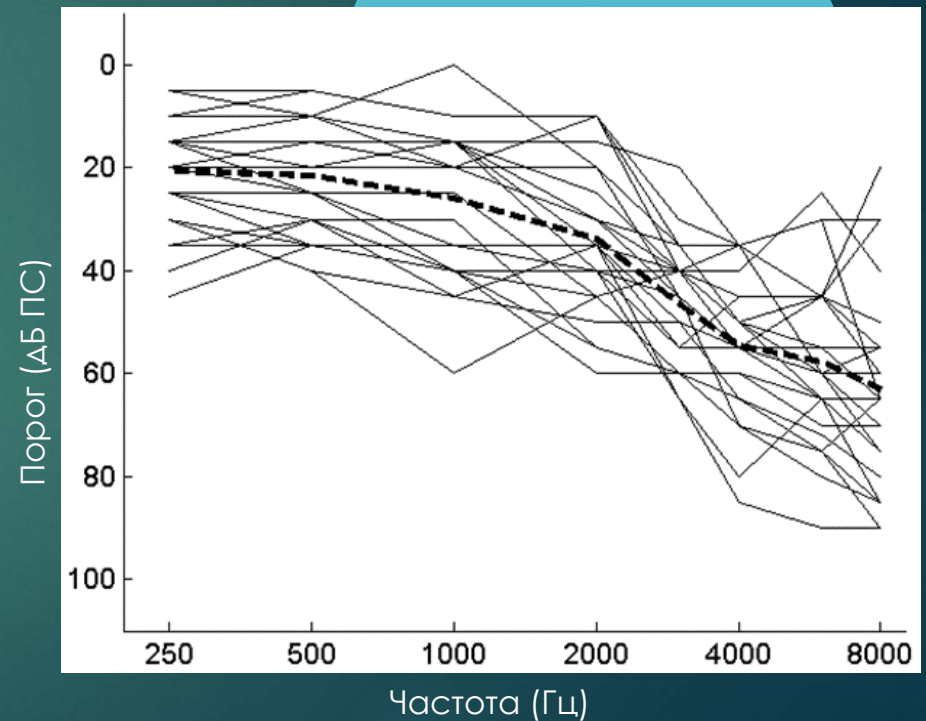


Прирост разборчивости (компрессия - контроль)

Коэффициент компрессии

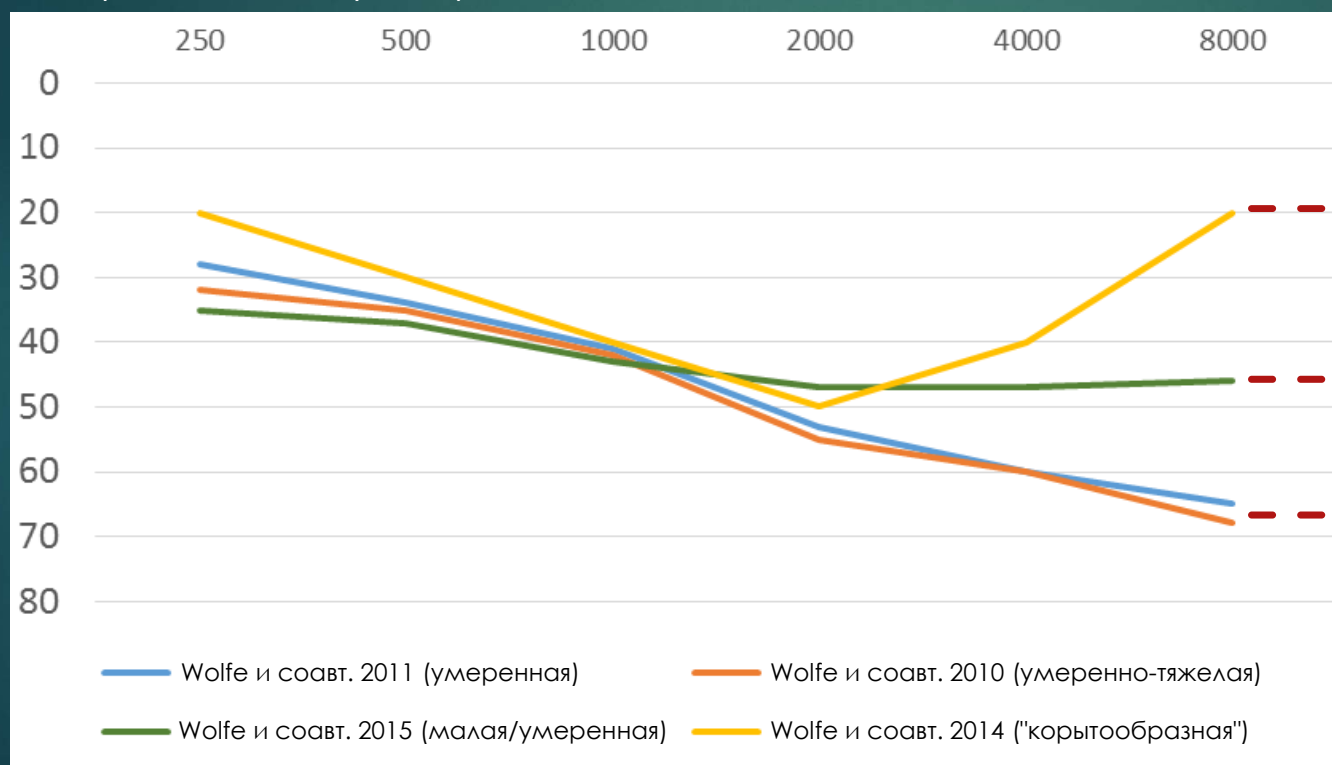
Ср. высокочастотный порог слышимости (4, 6, 8 кГц)

"Нулевая линия" = отсутствие прироста разборчивости при использовании частотной компрессии
Положительные значения = прирост разборчивости
Отрицательные значения = ухудшение разборчивости



Частотная компрессия эффективна, если ее использование улучшает диапазон слышимых частот

Усредненные аудиограммы детей, обследованных Wolfe и соавт.



Частотная компрессия неэффективна

Частотная компрессия неэффективна

Частотная компрессия эффективна

Wolfe и соавт. (2010, 2011, 2014, 2015)

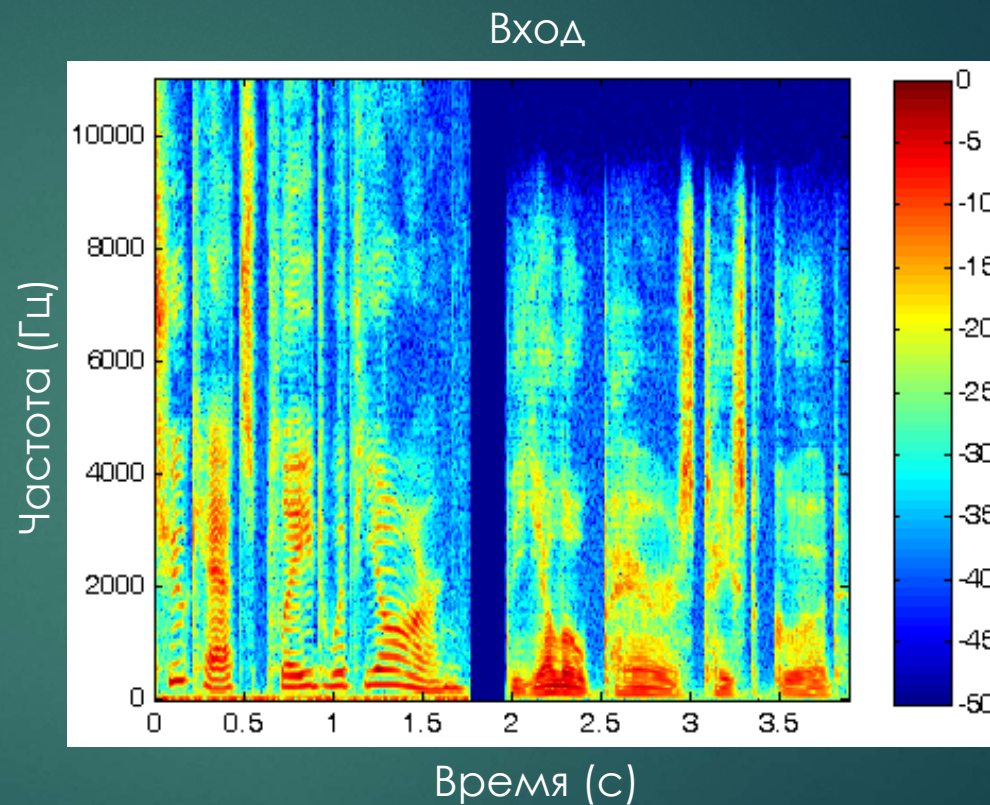
Кто является кандидатом на понижение частоты? Дополнительные соображения

- ▶ Вначале определите слышимый диапазон частот без частотной компрессии (по возможности, в реальном ухе)
- ▶ Определите, обеспечивает ли усиление без частотной компрессии адекватный диапазон слышимых частот
- ▶ Дополнительные соображения
 - ▶ Способность использовать сжатую спектральную информацию
 - ▶ Рабочая память может повлиять на эффективность расширения слышимого частотного диапазона, если при этом изменяются речевые сигналы
 - ▶ Возможны проблемы при общении на неродном языке

Kates, Arehart, Souza (2013)

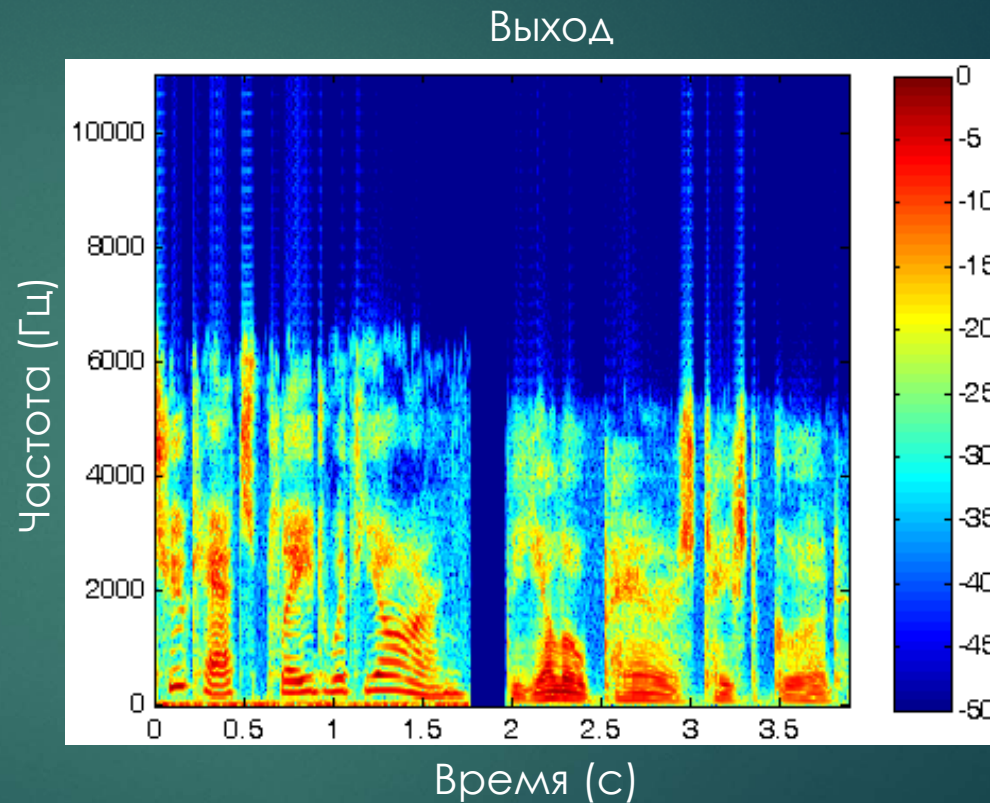
Способность использовать спектральную информацию

В речи, не подвергшейся частотной компрессии, слушатели могут использовать интервал между формантами и общую форму спектра для различения фонем



Способность использовать спектральную информацию

При частотной компрессии спектральная детализация уменьшается. Это может отрицательно сказаться на слушателях с плохим частотным разрешением (нам нужны дополнительные данные для подтверждения этого предположения)



Когнитивные способности и частотная компрессия

- ▶ В двух работах продемонстрировано снижение эффективности частотной компрессии при уменьшении объема рабочей памяти
 - ▶ Имитация, без привыкания
 - ▶ 30 испытуемых
 - ▶ Объем рабочей памяти оценивали на основании теста с запоминанием прочитанного
 - ▶ Граничная частота 1000-2000 Гц, коэффициент компрессии 1,5:1-3:1
- ▶ В одной работе не найдено связи между частотной компрессией и рабочей памятью
 - ▶ 12 испытуемых
 - ▶ Опыт использования частотной компрессии – 6 недель
 - ▶ Граничная частота 2000-3700 Гц, коэффициент компрессии 1,8:1-2,6:1

Arehart и соавт. (2013); Souza и соавт. (2015); Ellis, Munro (2015)

Чистое преимущество частотной компрессии

- ▶ Улучшение слышимости высокочастотной речевой информации...
- ▶ ...ведущее к повышению разборчивости речи
- ▶ Но: сопровождается нарушением акустических параметров (частотных спектров)



Что хотят знать специалисты?

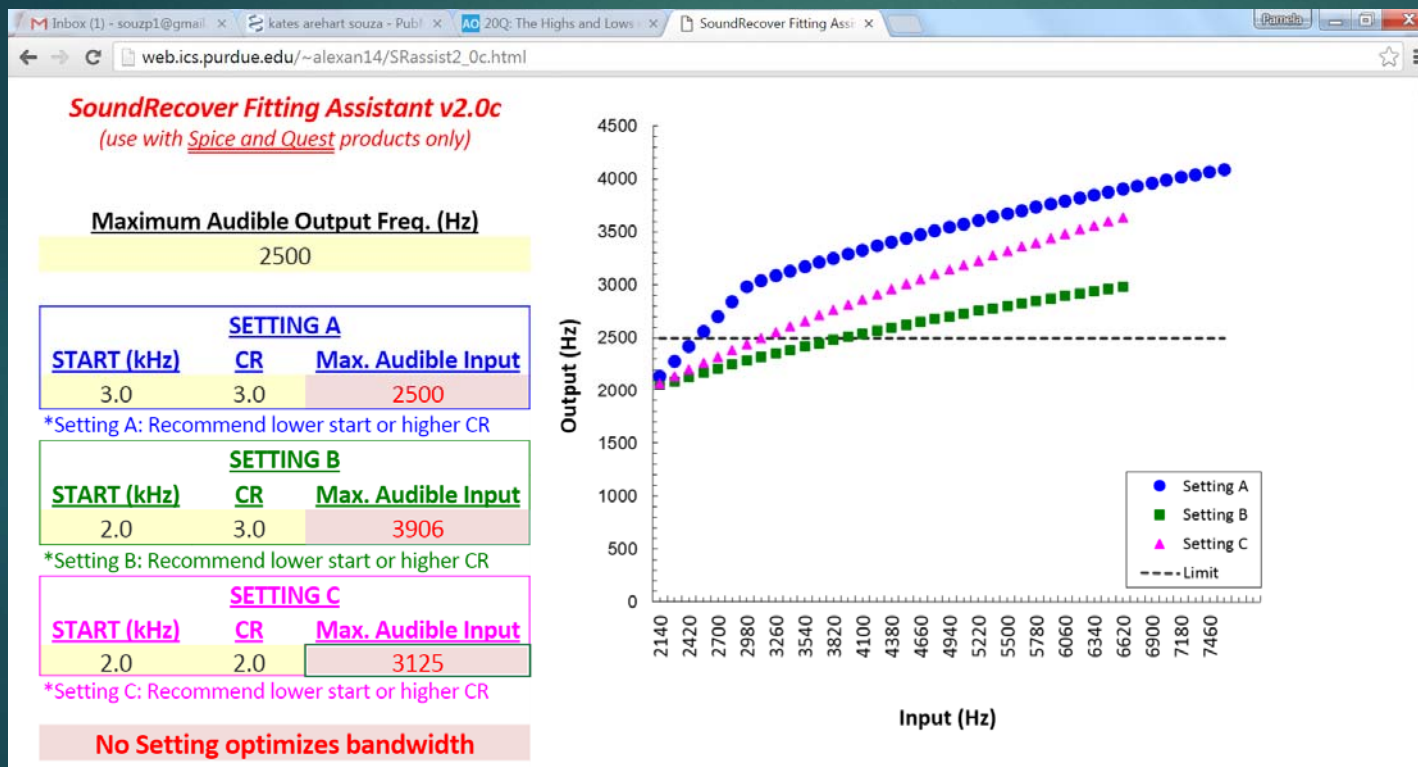
- ▶ Кто является кандидатом на понижение частоты?
- ▶ Как нужно настраивать параметры понижения частоты?
- ▶ Каковы ожидаемые преимущества понижения частоты?
- ▶ Нужен ли пользователям технологии понижения частоты период адаптации?

Предотвращение искажений/размытия сигнала

- ▶ Для улучшения слышимости и расширения воспринимаемого диапазона частот следует применять менее агрессивные параметры частотной компрессии (контроль в реальном ухе)
- ▶ Слишком низкая граничная частота ухудшает качество звука в большей степени, чем высокий коэффициент компрессии
- ▶ Если пользователь отказывается от частотной компрессии из-за качества звучания, попробуйте не отключать компрессию, а изменить ее настройку

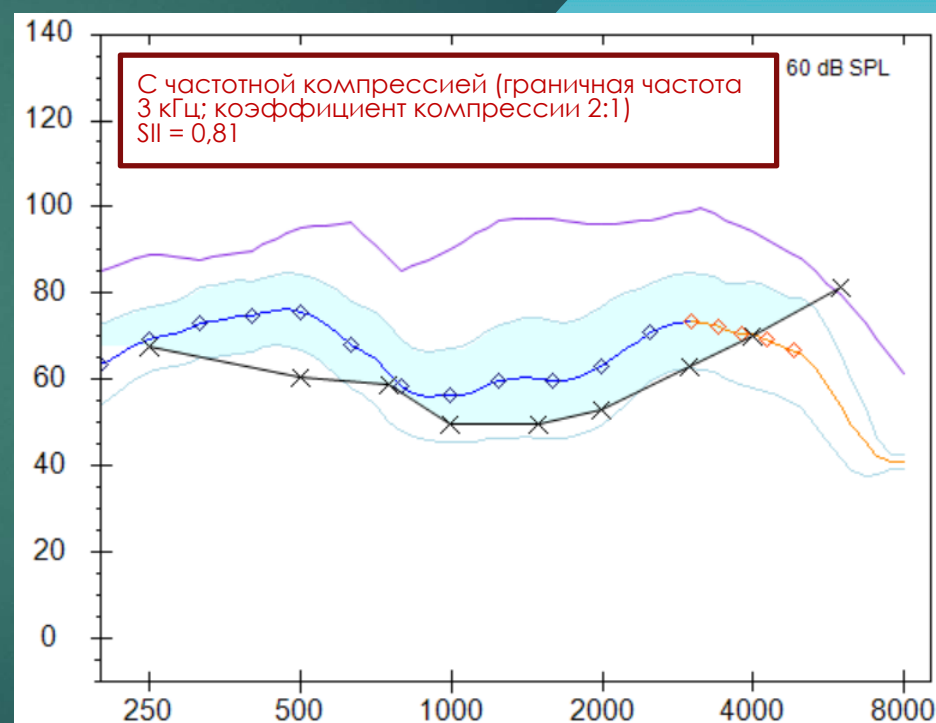
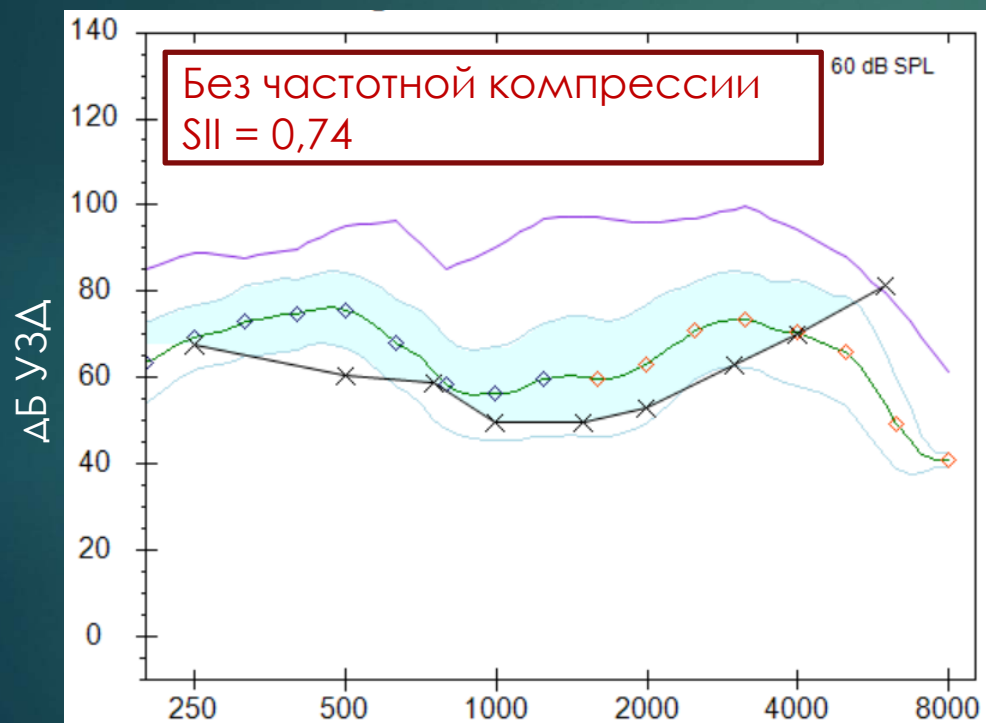
Alexander (2013); Parsa и соавт. (2013); Souza и соавт. (2013)

Средства настройки частотной компрессии: FLassist



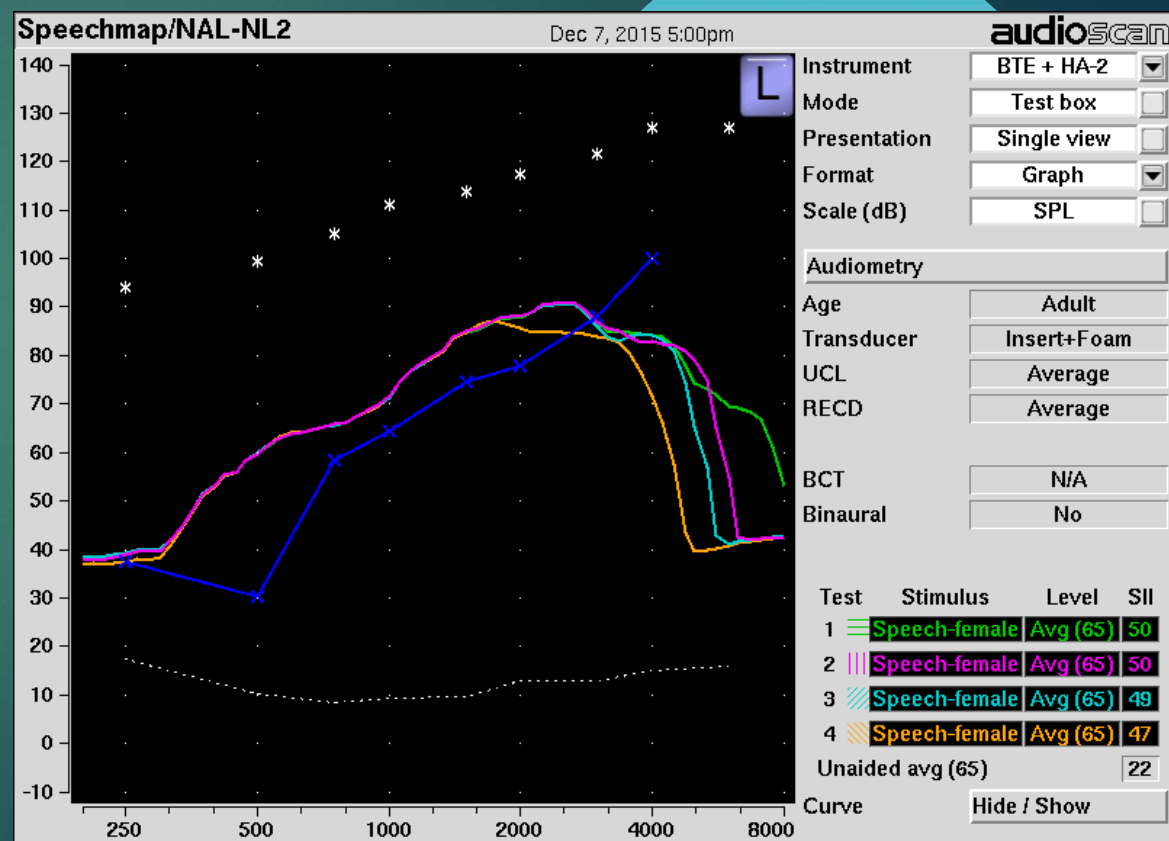
Наглядно демонстрирует соотношение между входной (Input) и выходной (Output) частотой при различных вариантах настройки граничной частоты (START) и коэффициента компрессии (CR)

Средства настройки частотной компрессии: SHARP (ситуационный профиль характеристики СА)



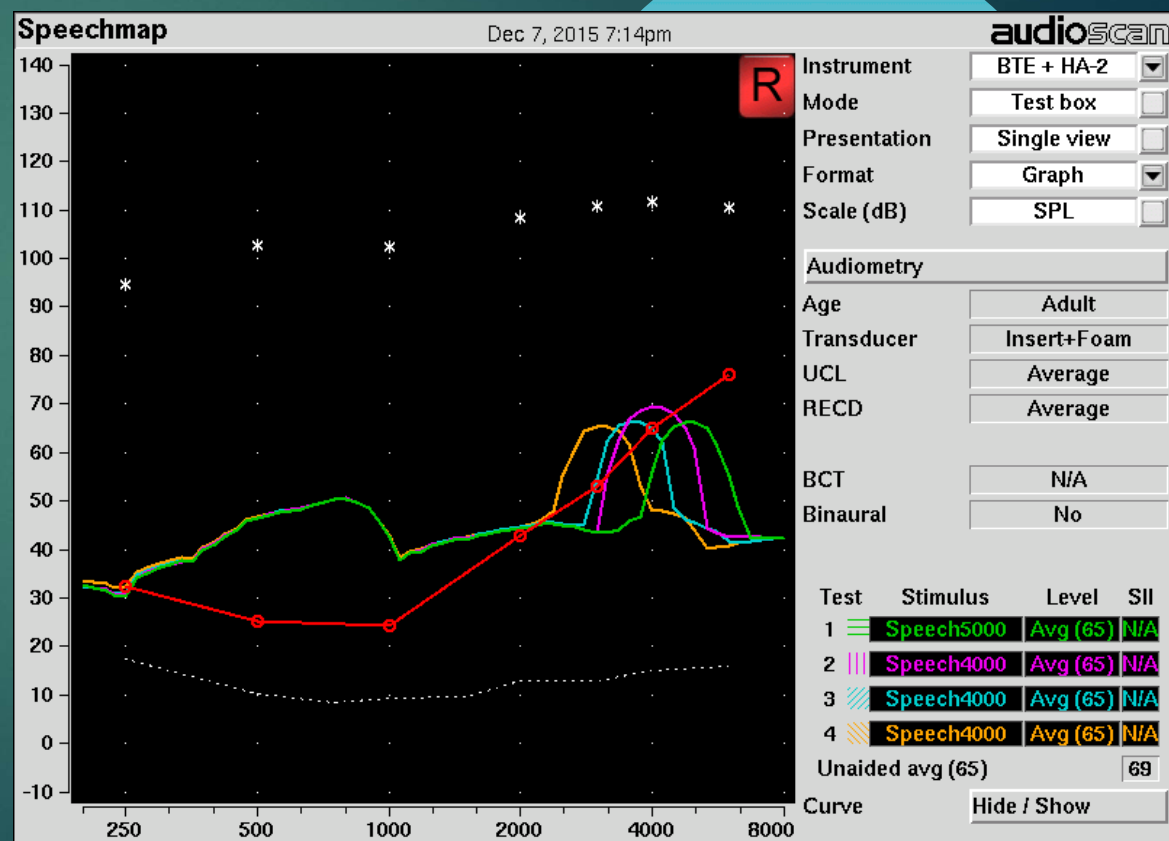
Средства верификации: реальное ухо?

- ▶ Традиционные измерения в реальном ухе могут не обнаружить улучшение слышимости высоких частот



Средства верификации: высокочастотная речь

- ▶ Опция высокочастотной речи в приборе Verifit
- ▶ Справа налево:
 - ▶ Без частотной компрессии
 - ▶ Граничная частота 4500 Гц
 - ▶ Граничная частота 3300 Гц
 - ▶ Граничная частота 2500 Гц



Что хотят знать специалисты?

- ▶ Кто является кандидатом на понижение частоты?
- ▶ Как нужно настраивать параметры понижения частоты?
- ▶ Каковы ожидаемые преимущества понижения частоты?
- ▶ Нужен ли пользователям технологии понижения частоты период адаптации?

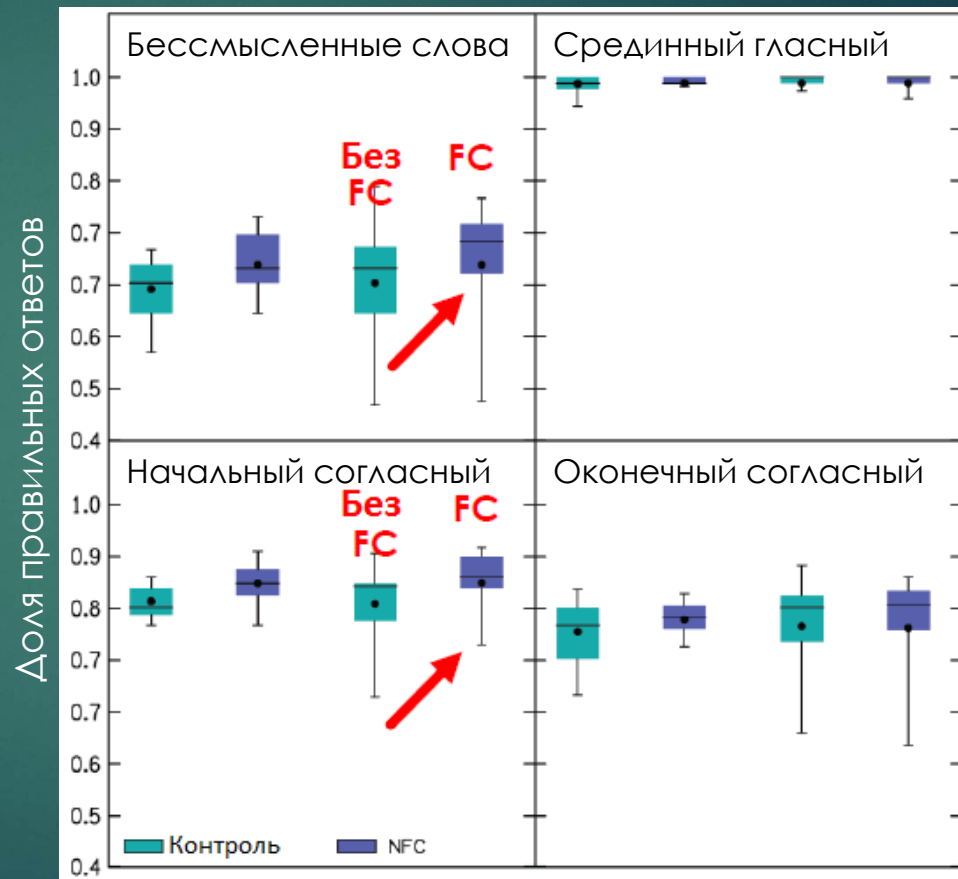
Сравнение результатов, полученных с частотной компрессией и без нее

Небольшое повышение процента правильно распознанных фрикативных и аффрикативных звуков или бессмысленных слов, в состав которых входят эти звуки

Пояснения к рисунку:

FC = частотная компрессия
NFC = нелинейная частотная компрессия

В данном случае термины FC и NFC используются в качестве синонимов



Ожидаемая эффективность частотной компрессии

- ▶ Лучшее обнаружение высокочастотных фонем (особенно фрикативных и аффрикативных)
- ▶ Лучшее восприятие множественного числа (в англ. языке множественное число образуется звуком /с/ в конце слова)
- ▶ Согласно имеющимся данным, разборчивость фразовой речи улучшается минимально или вовсе не улучшается (по крайней мере, у взрослых). Это может объясняться тем, что у большинства обследованных взрослых тугоухость была приобретенной, поэтому они хорошо используют контекстную информацию, например, не слышат звук /с/ в конце слова, но знают, что по контексту оно должно быть во множественном числе.
- ▶ Снижение слухового напряжения пока не доказано

Что хотят знать специалисты?

- ▶ Кто является кандидатом на понижение частоты?
- ▶ Как нужно настраивать параметры понижения частоты?
- ▶ Каковы ожидаемые преимущества понижения частоты?
- ▶ Нужен ли пользователям технологии понижения частоты период адаптации?

Нужен ли период адаптации?

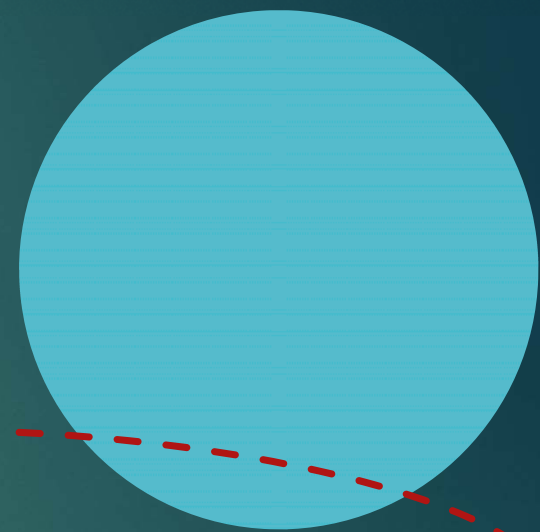
Слышимость



Предпочтение



Адаптация



Мифы и факты

Мифы

- ▶ Частотная компрессия эффективна у всех пользователей
- ▶ Все пользователи жалуются на то, что частотная компрессия ухудшает качество звука
- ▶ Для проявления положительного эффекта необходим длительный период привыкания

Факты

- ▶ Эффективность частотной компрессии, вероятно, зависит от расширения диапазона слышимых звуков
- ▶ Приемлемое качество звучания при правильном выборе параметров частотной компрессии (особенно при высоких граничных частотах)
- ▶ В ряде работ продемонстрирован положительный эффект адаптации, однако неясно, связан ли он с привыканием к частотной компрессии или с привыканием к слуховому аппарату как таковому (отсутствие рандомизированных контролируемых исследований)

Выводы: прошлое (исследования)

- ▶ Если частотная компрессия расширяет диапазон слышимых звуков, она также улучшает восприятие высокочастотных фонем (/с/, /ш/)
- ▶ Незначительное улучшение разборчивости фразовой речи у взрослых с приобретенной тугоухостью
- ▶ Агрессивная частотная компрессия (граничная частота ниже 2 кГц или высокий коэффициент компрессии) может привести к нежелательному качеству звучания или искажениям, особенно отрицательно сказывающимся на пользователях с уменьшенным объемом рабочей памяти

Выводы: настоящее (практика)

- ▶ Отбор кандидатов на применение частотной компрессии путем определения диапазона слышимых звуков
- ▶ Цель – минимальная частотная компрессия, необходимая для расширения диапазона слышимых звуков
- ▶ Сохранение качества звучания в большей степени зависит от граничной частоты, чем от коэффициента компрессии

Выводы: будущее (??)

- ▶ Согласованное мнение об эффективности частотной компрессии (применение и удовлетворенность)
- ▶ Проведение двойных слепых рандомизированных контролируемых исследований для изучения эффекта привыкания
- ▶ Дополнительное изучение индивидуальных особенностей (например, спектрального разрешения и рабочей памяти), способных оказывать влияние на эффективность частотной компрессии
- ▶ Желательно разработать встроенные средства (например, основанные на измерениях в реальном ухе), способствующие нахождению "оптимального диапазона" частотной компрессии

Ресурсы

- ▶ Программа FLassist на странице TinyURL.com/FLassist
- ▶ Программа SHARP на странице <http://audres.org/rc/sharp/>
- ▶ Обзорные статьи
 - ▶ Simpson (2009) Trends in Amplification
 - ▶ McCreery и соавт. (2012) American Journal of Audiology
 - ▶ Alexander (2013) Seminars in Hearing и Audiology Online 20Q