



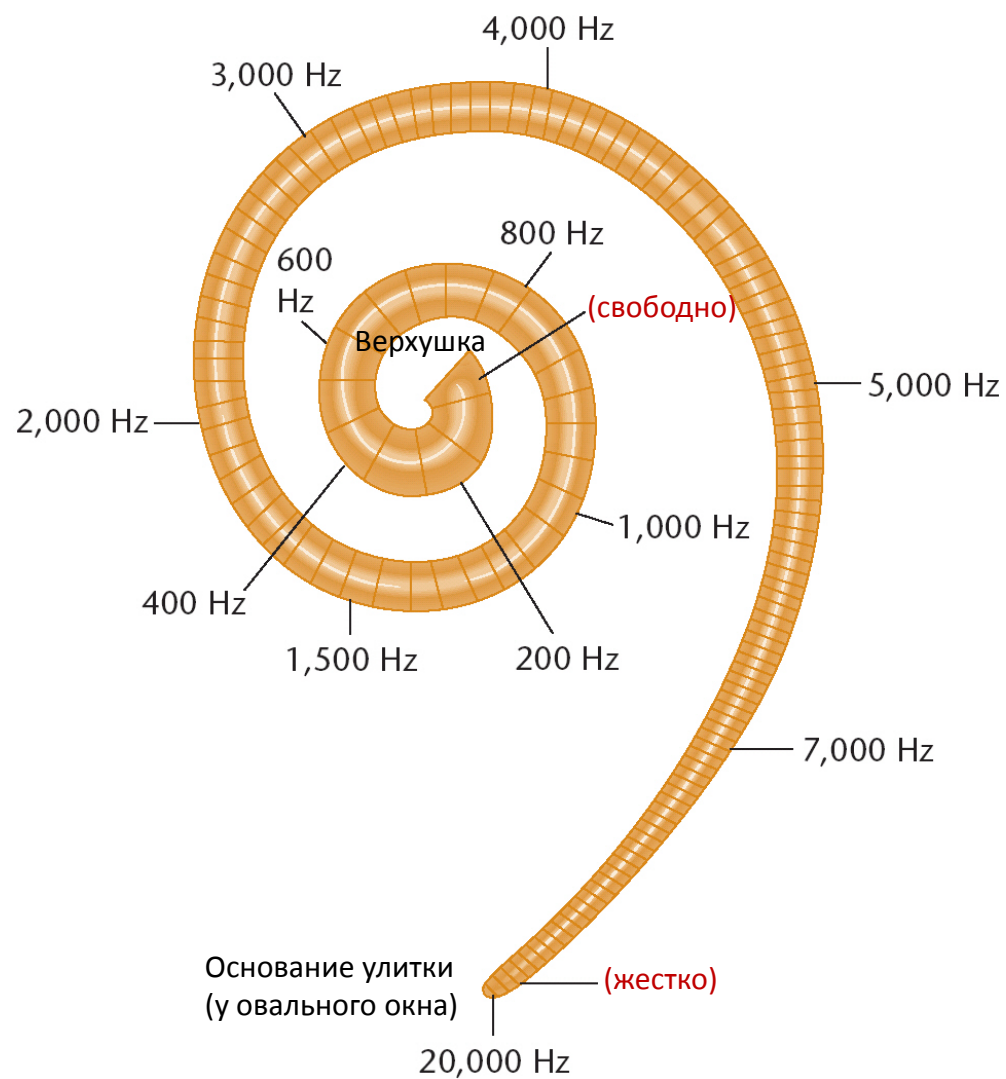
Низкочастотная стимуляция при кохлеарной имплантации: Проблемы и возможности

Abhi Kulkarni, PhD

Advanced Bionics



КИ: спектральный охват



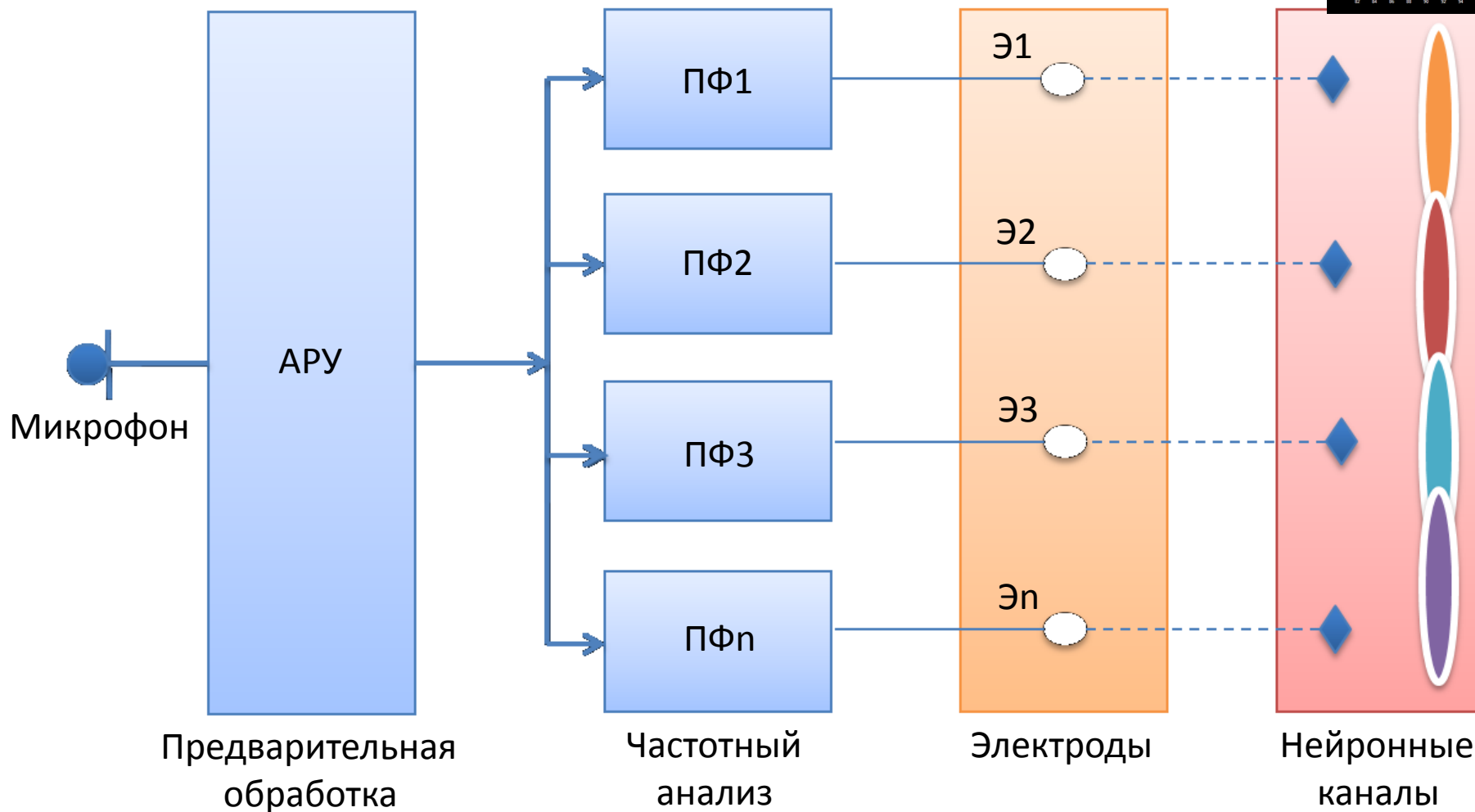
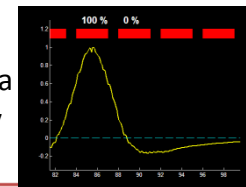


Современная схема кодирования звука

АРУ = автоматическая регулировка усиления (компрессия)
ПФ = полосовой фильтр
Э = электрод

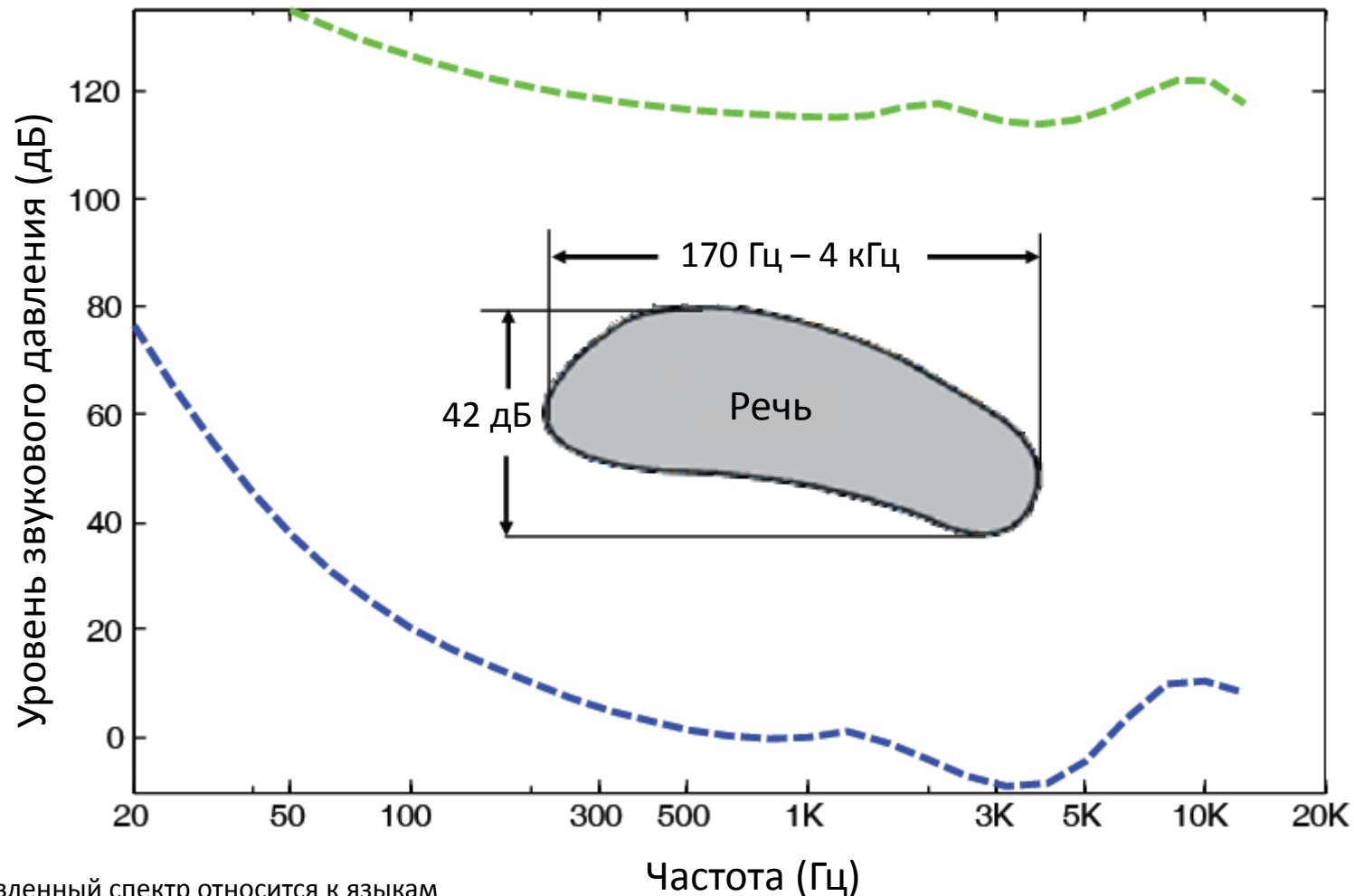
звук

Возможна одновременная активация двух электродов с созданием "виртуального" участка стимуляции в любой точке между ними





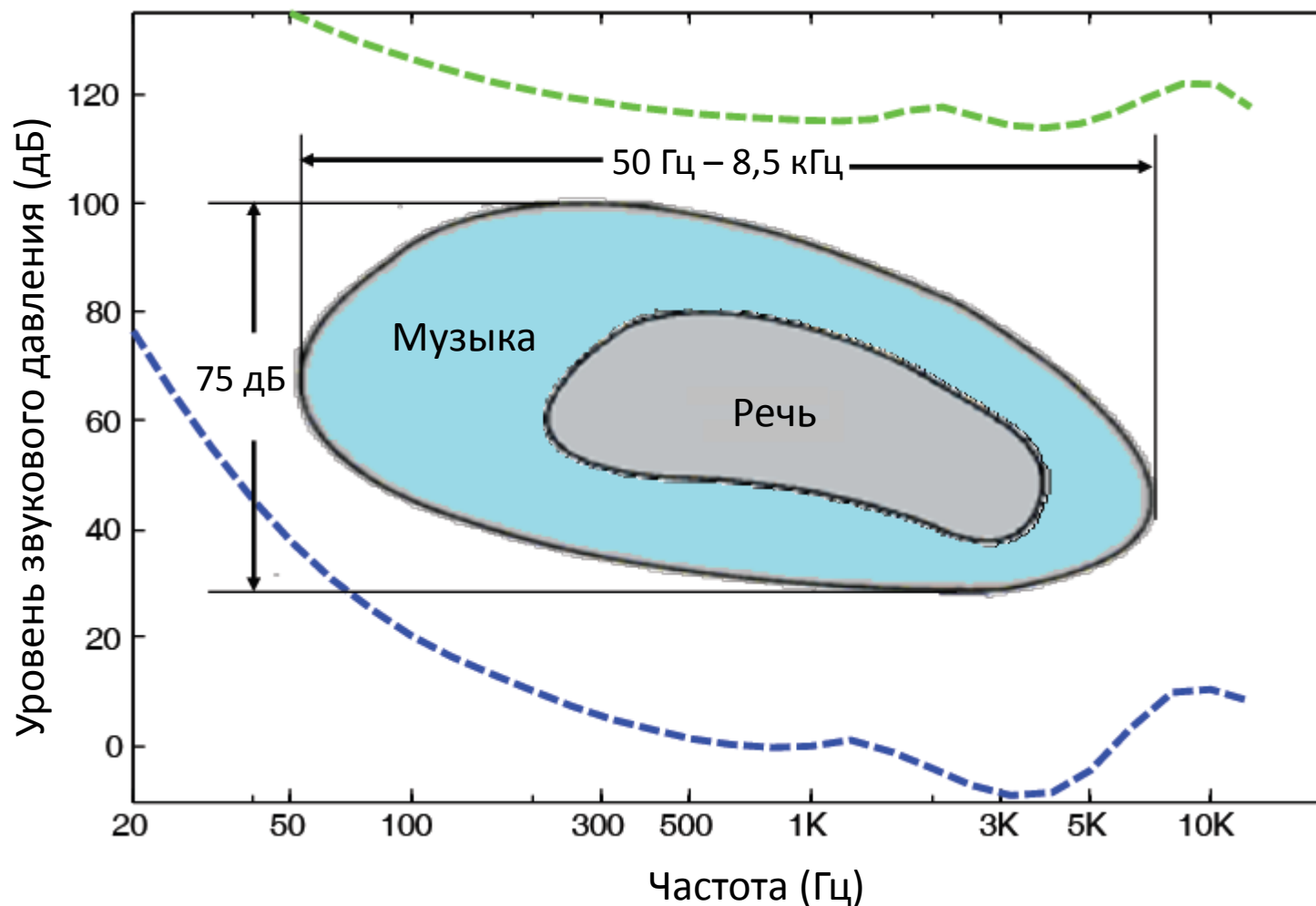
Спектральный состав акустических сигналов



Представленный спектр относится к языкам германской группы

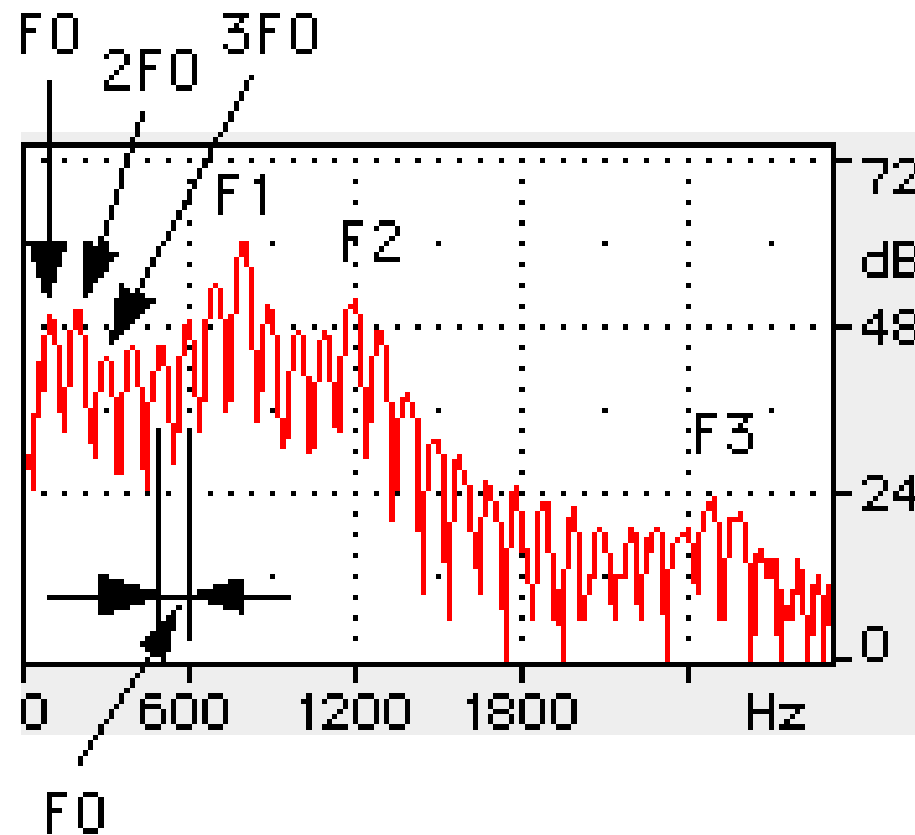


Спектральный состав акустических сигналов





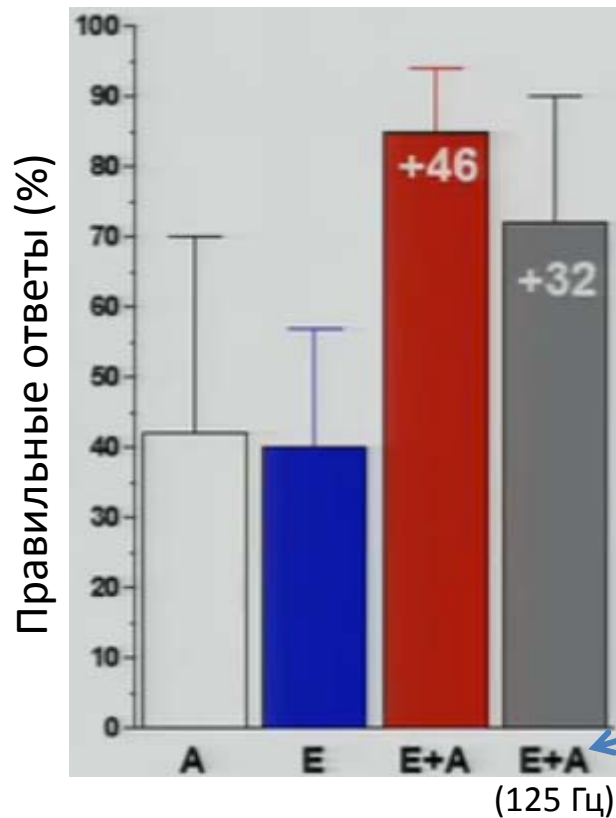
Частоты формант в речевых сигналах





Значение низких частот: преимущества электроакустической стимуляции

Фразовый тест AzBio (SNR +10 дБ)



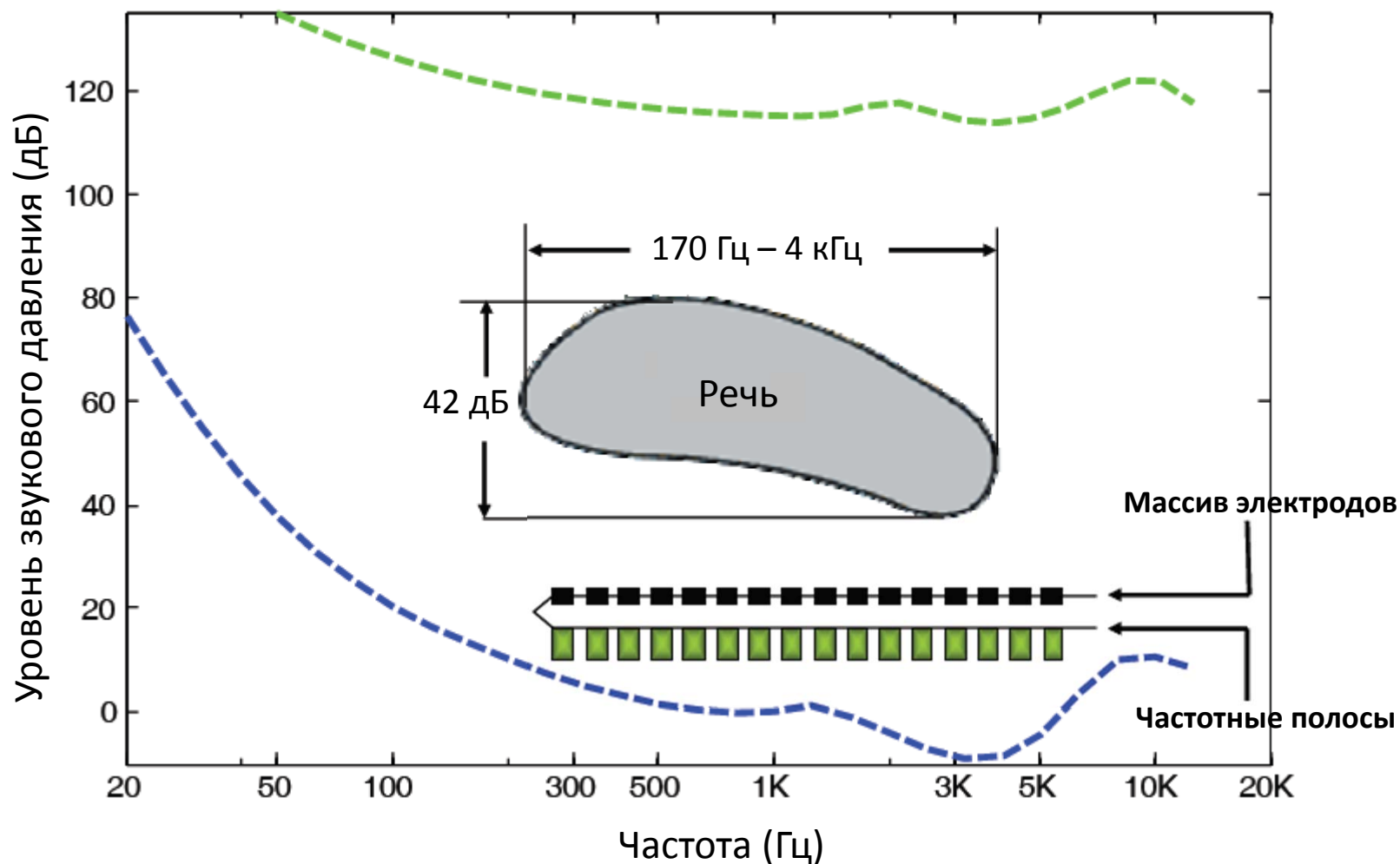
Вместо полноценного акустического сигнала подавали тон частотой 125 Гц, модулированный по амплитуде в соответствии с общим уровнем низкочастотной энергии

A = акустическая стимуляция
E = электрическая стимуляция
E+A = электроакустическая стимуляция

Zhang, Dorman, Spahr (2010)

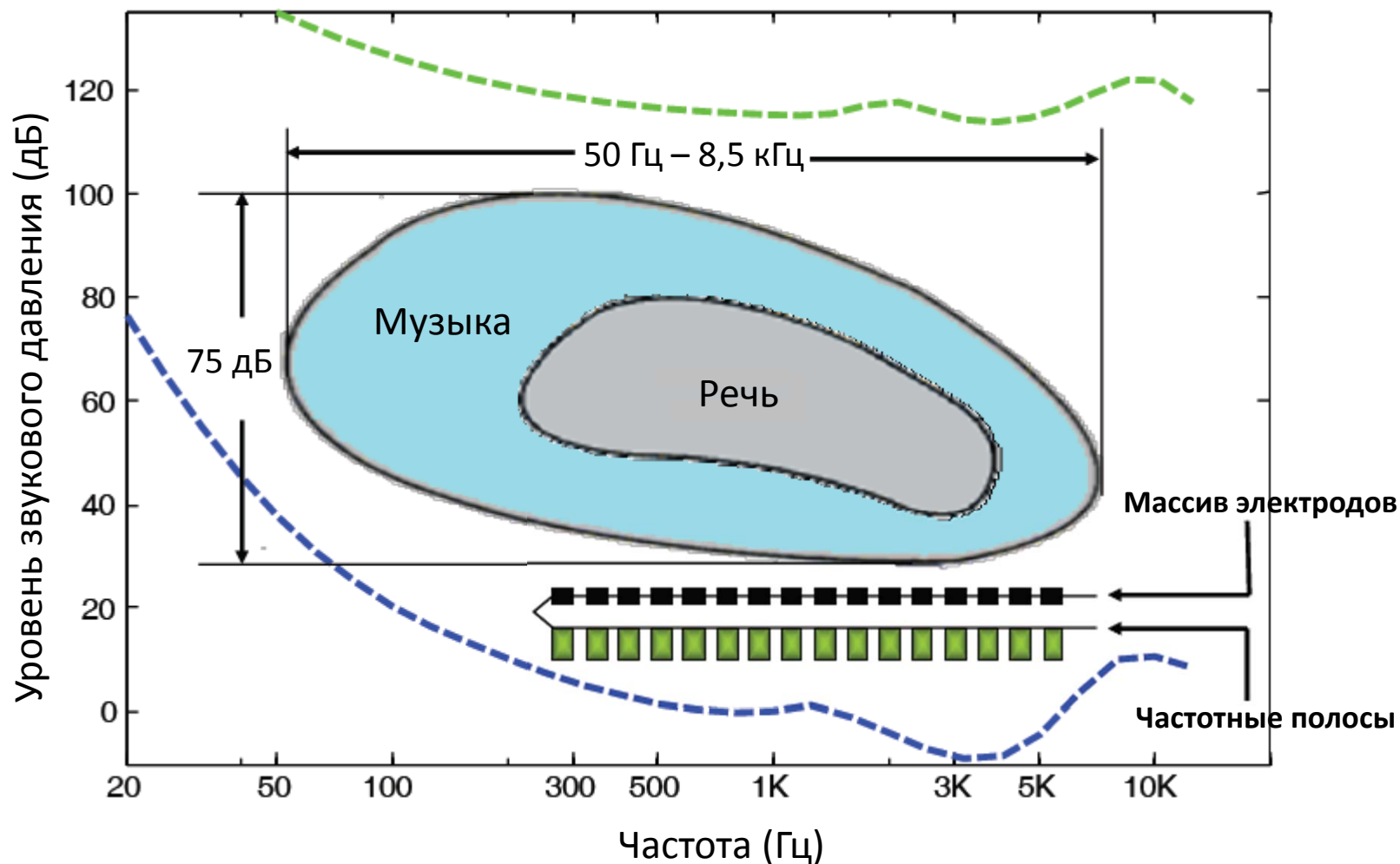


Спектральное представление в КИ



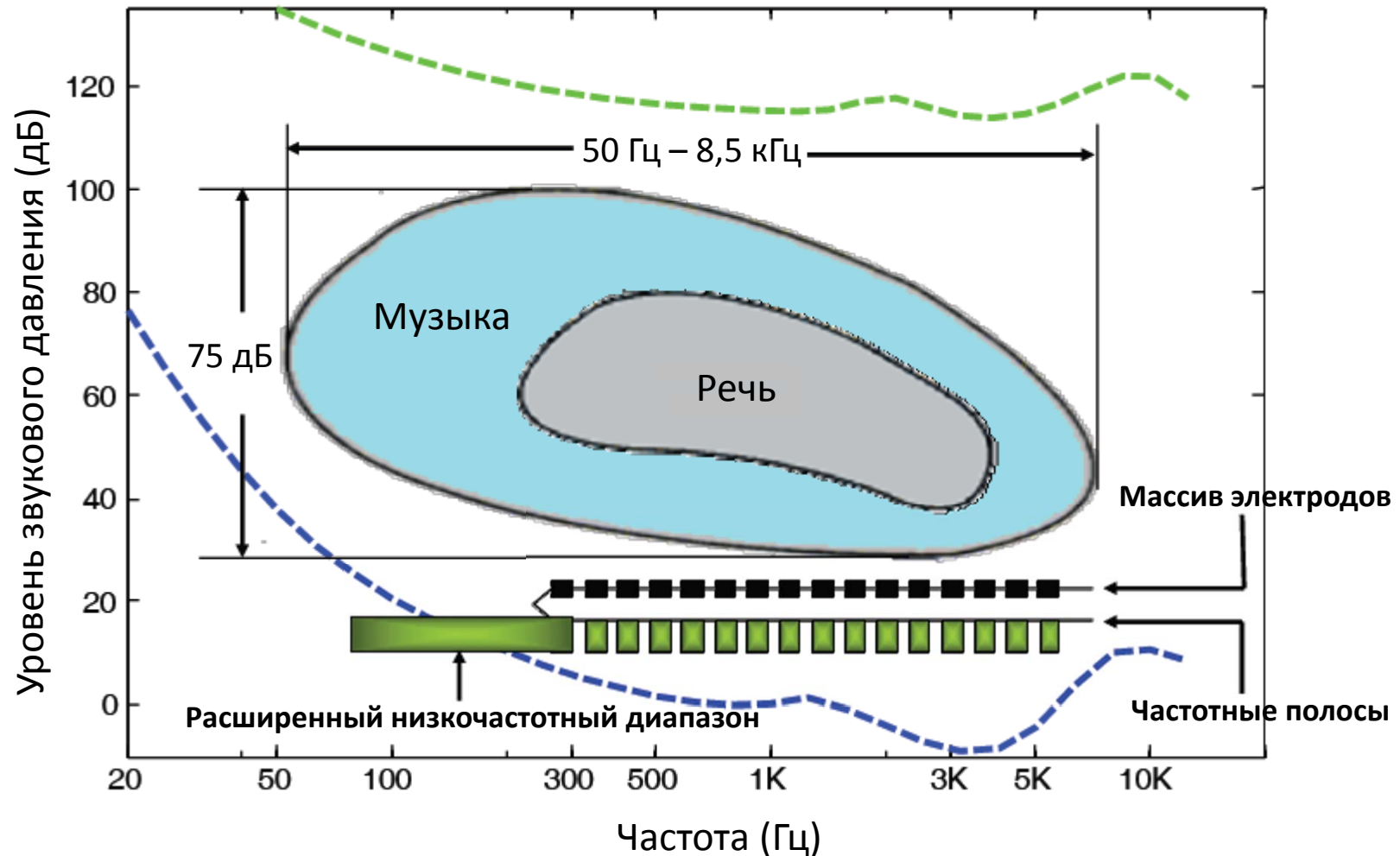


Спектральное представление в КИ





Спектральное представление в КИ





Промежуточные выводы

- Доступ к низким частотам обеспечивает значительные преимущества пользователям КМ
- Обработка сигнала – не проблема!
- Проблема состоит в преодолении ограничений передачи низкочастотной информации от электрода к нерву



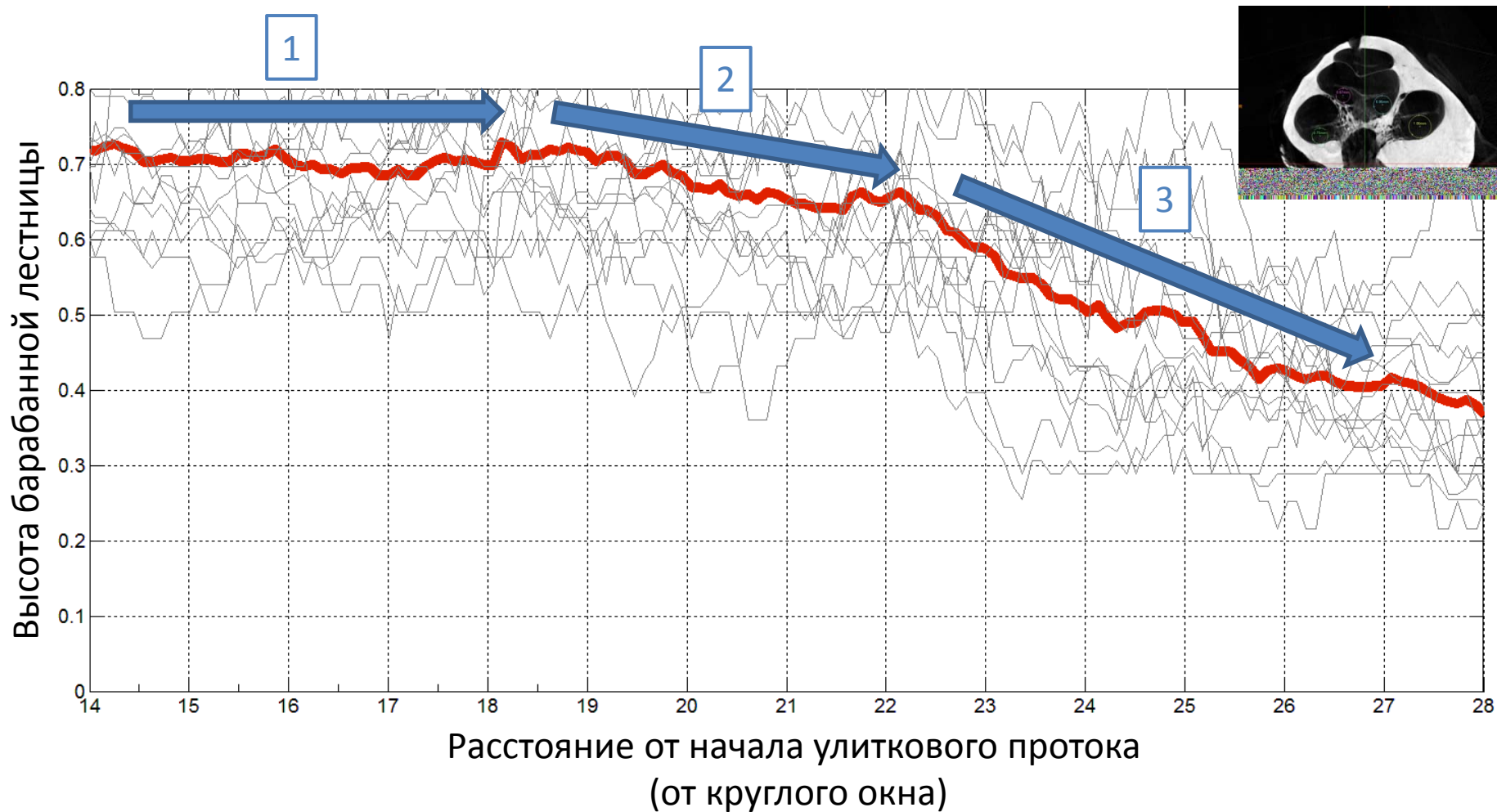
Низкочастотная стимуляция: Почему бы не вводить электрод глубже в улитку?

1. Анатомия улитки

Сужающийся улитковый проток – более глубокое введение электрода может привести к травме улитки



Анатомия улитки: геометрические параметры





Низкочастотная стимуляция: Почему бы не вводить электрод глубже в улитку?

1. Анатомия улитки

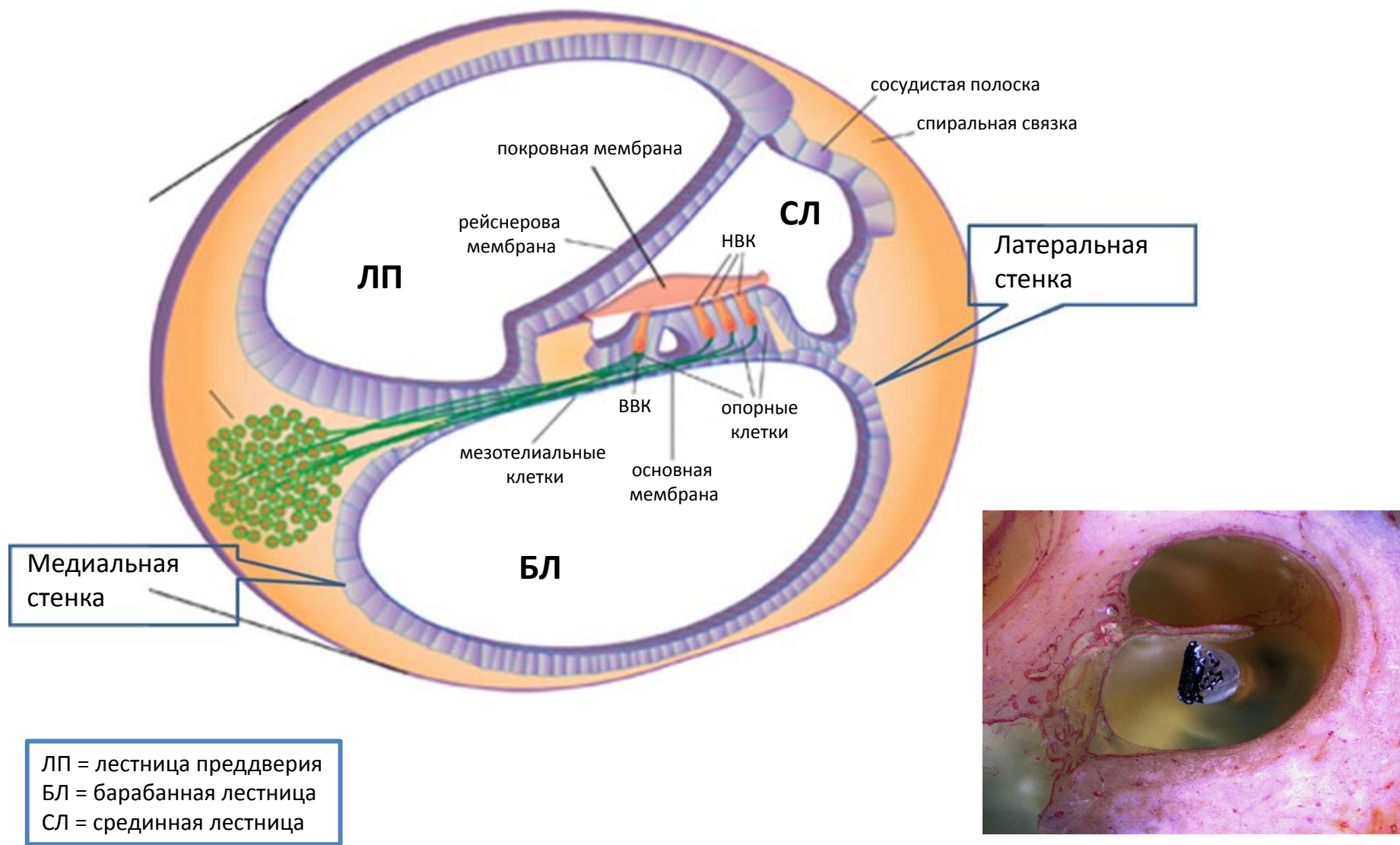
Сужающийся улитковый проток – более глубокое введение электрода может привести к травме улитки

2. Физиология улитки

Сжатое нейронное представительство – нейроны спирального ганглия в верхушке улитки расположены очень тесно, поэтому глубоко введенные электроды утрачивают свою избирательность



Анатомия улитки





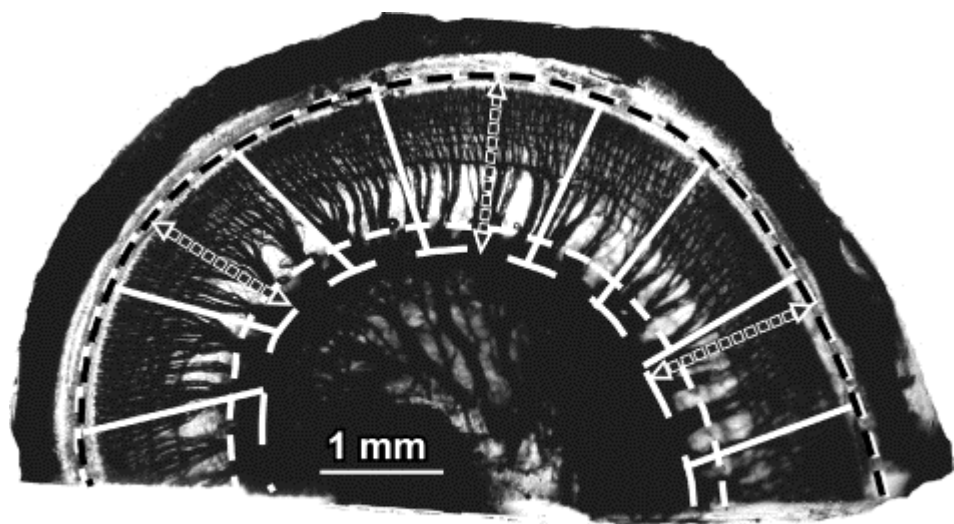
JARO 8: 220-233 (2007)
DOI: 10.1007/s10162-007-0076-9

JARO
Journal of the Association for Research in Otolaryngology

Частотная карта спирального ганглия улитки
человека: значение для кохlearной имплантации

Frequency Map for the Human Cochlear Spiral Ganglion: Implications for Cochlear Implants

OLGA STAKHOVSKAYA, DIVYA SRIDHAR, BEN H. BONHAM, AND PATRICIA A. LEAKE



OC: 6.34-16.77 mm



SG: 3.73-9.84 mm



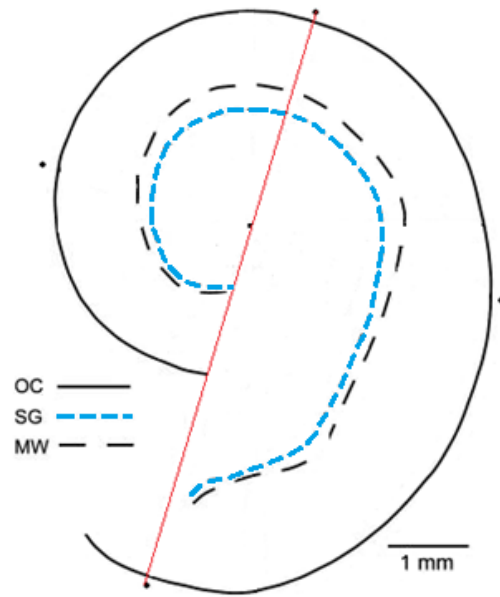
MW: 3.89-10.67 mm



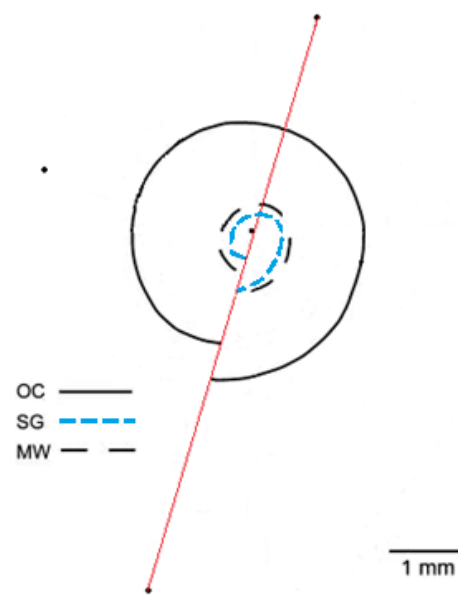
OC = кортиев орган
SG = спиральный ганглий
MW = стенка модиолуса



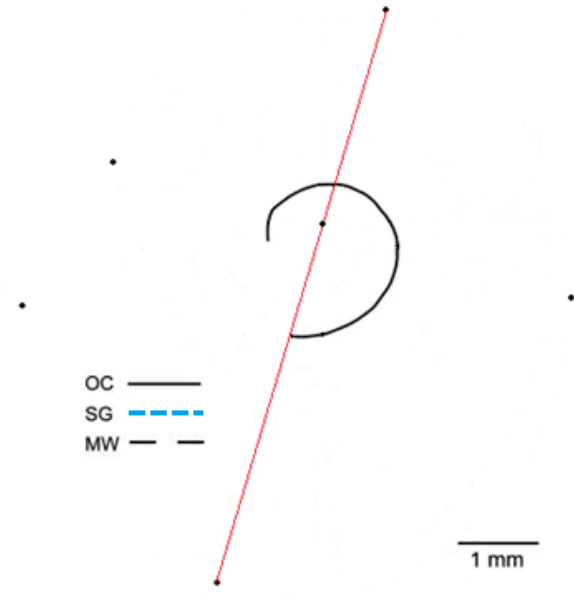
Распределение целевых нейронов достигает насыщения в вершшке улитки



1-й завиток



2-й завиток

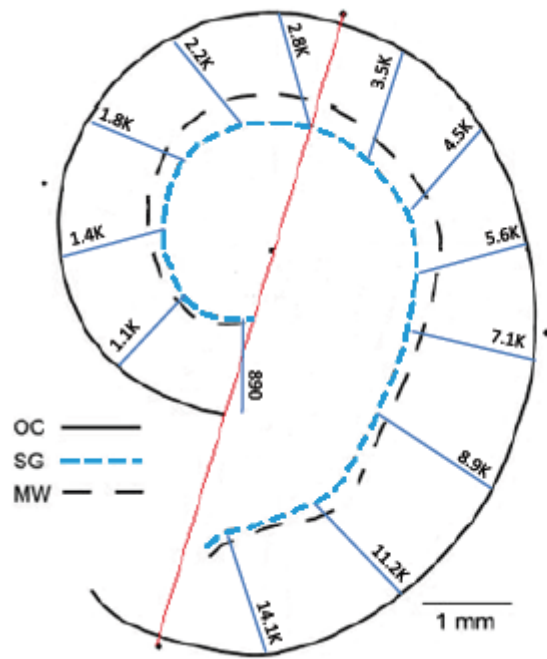


3-й завиток

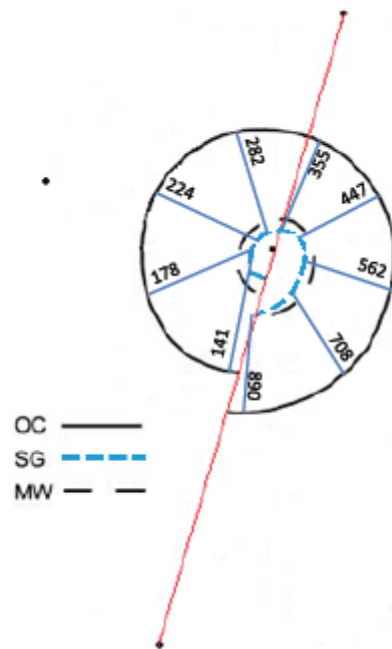
OC = кортиев орган
SG = спиральный ганглий
MW = стенка модиолуса



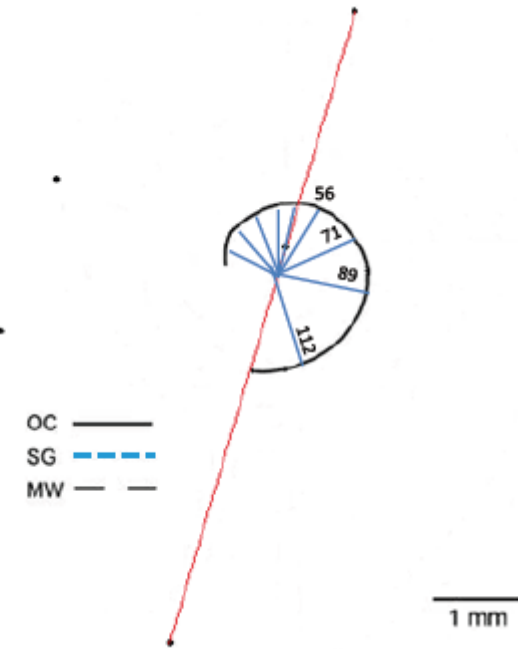
Влияние нейронной организации на распределение частот



1-й завиток



2-й завиток



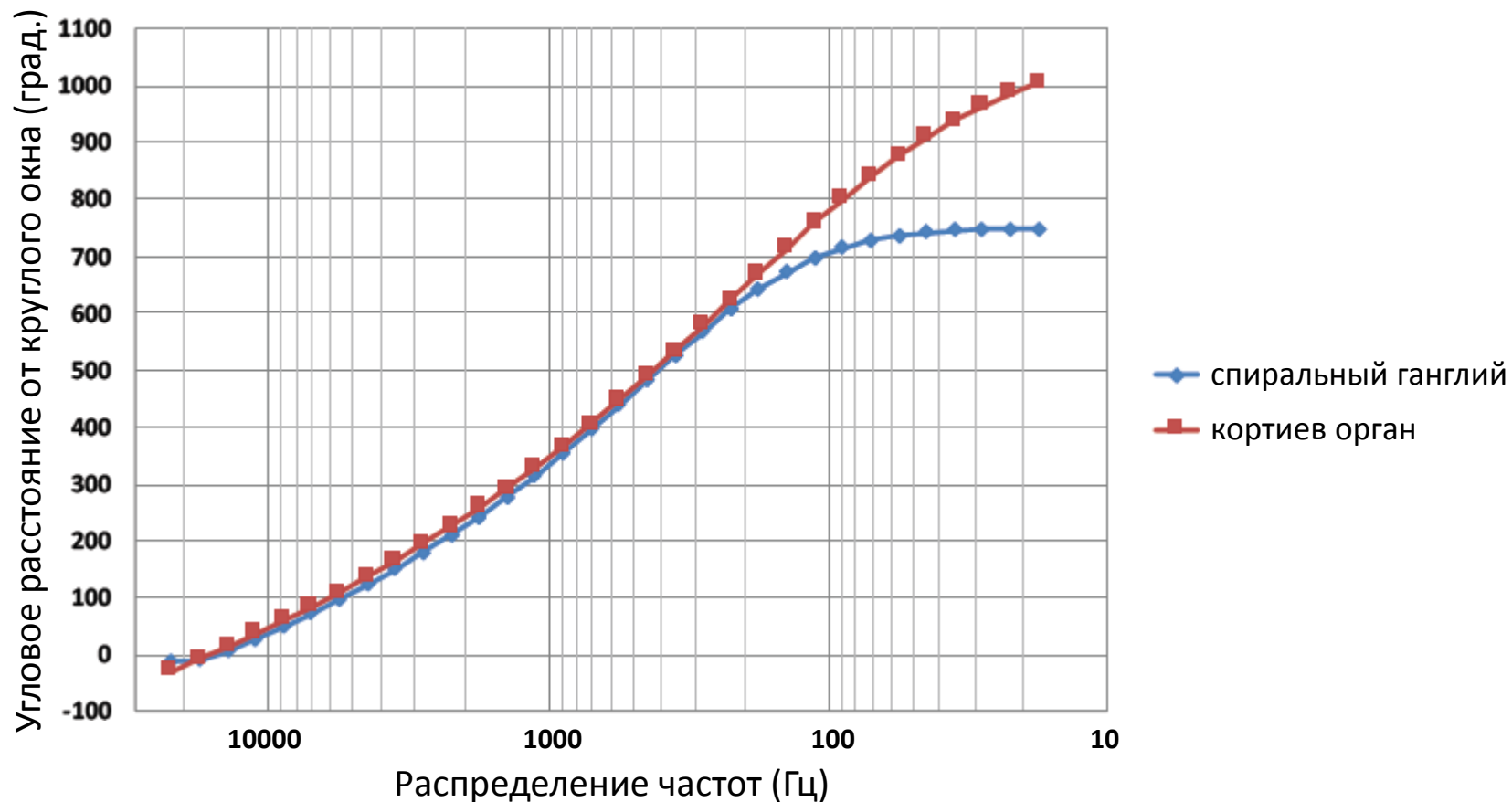
3-й завиток

OC = кортиев орган
SG = спиральный ганглий
MW = стенка модиолуса

По мере приближения к вершине происходит все большая конвергенция сигналов от кортиева органа, поступающих к нейронам спирального ганглия: клеток спирального ганглия становится меньше, а клетки кортиева органа распределены равномерно по всей длине улитки

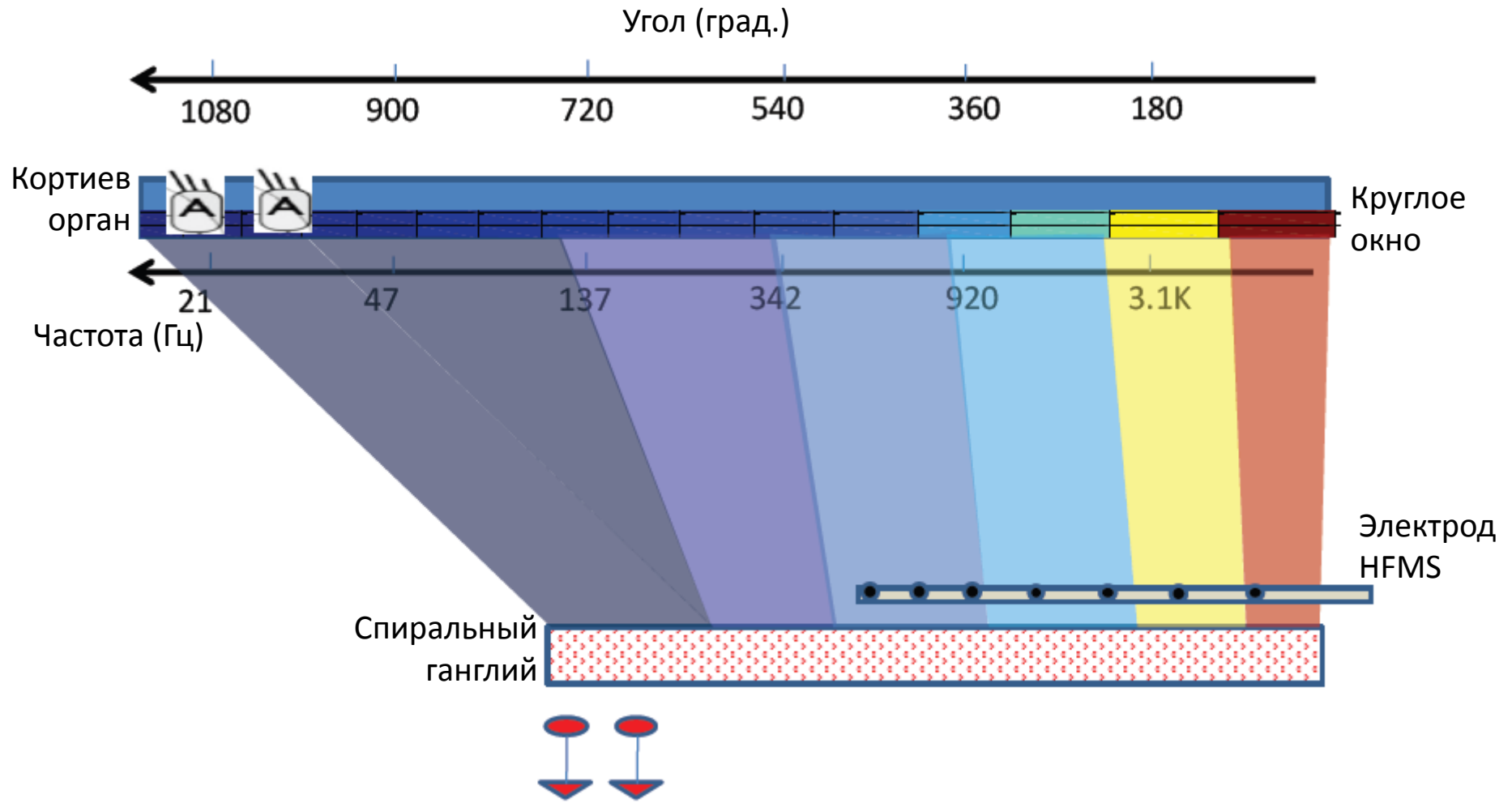


Связь частоты Гринвуда с угловым расстоянием



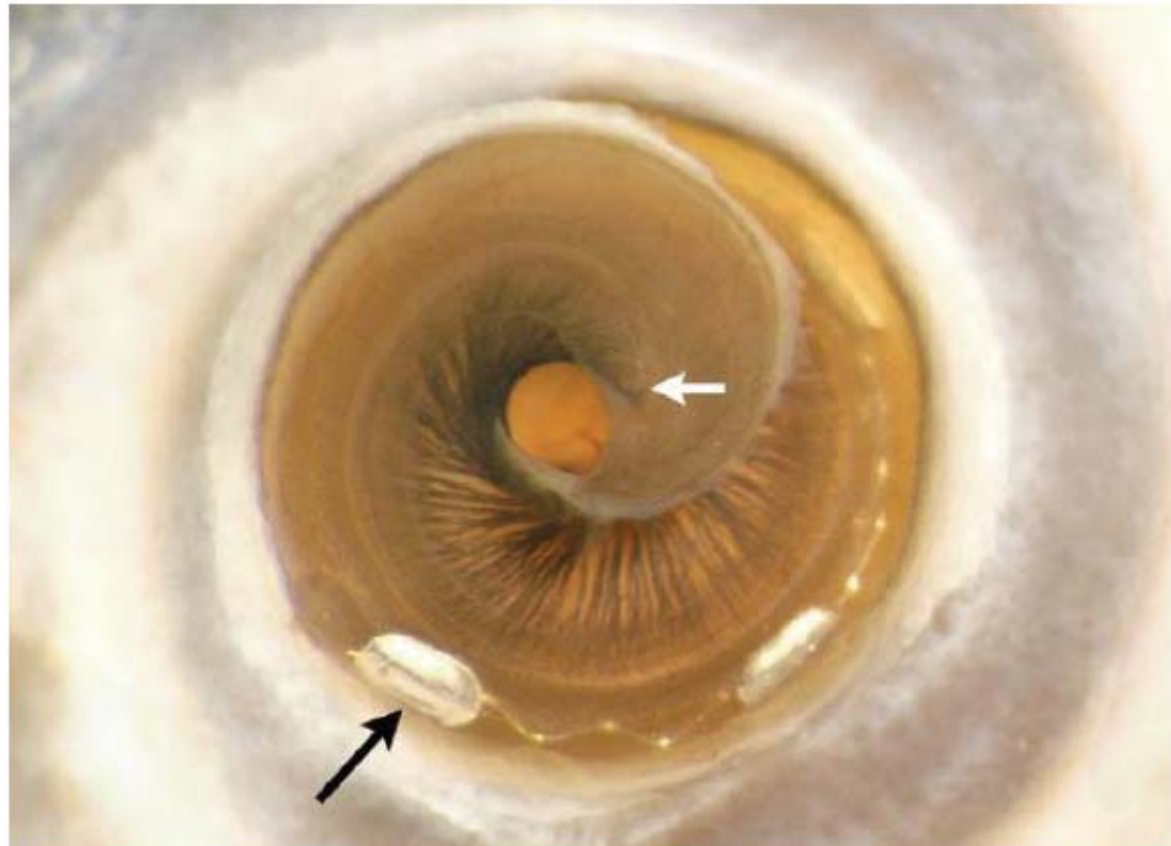


Распределение целевых нейронов в улитке





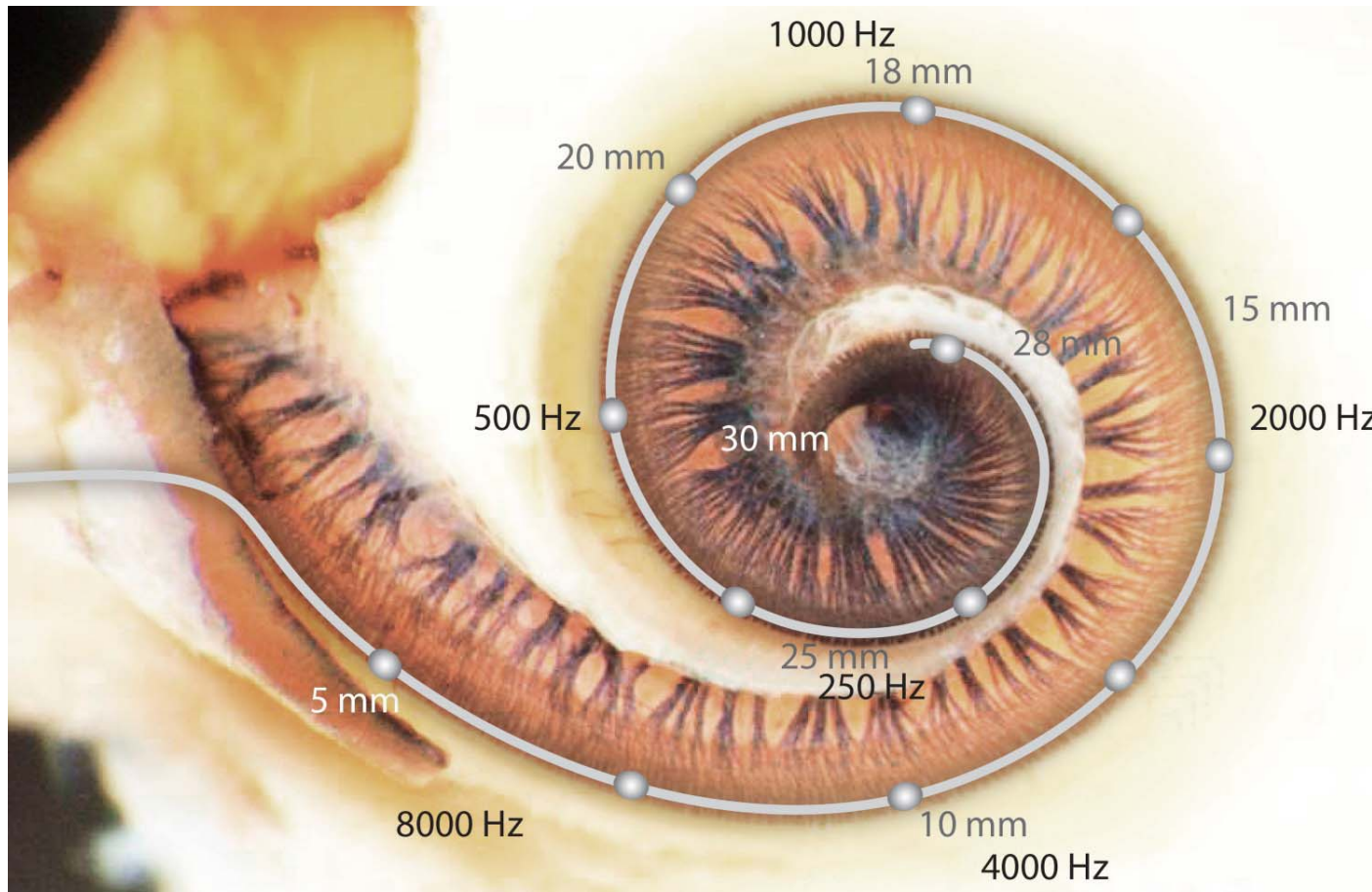
Нейронная организация в вершшке улитки



Предоставлено Gary Wright (UTSW)



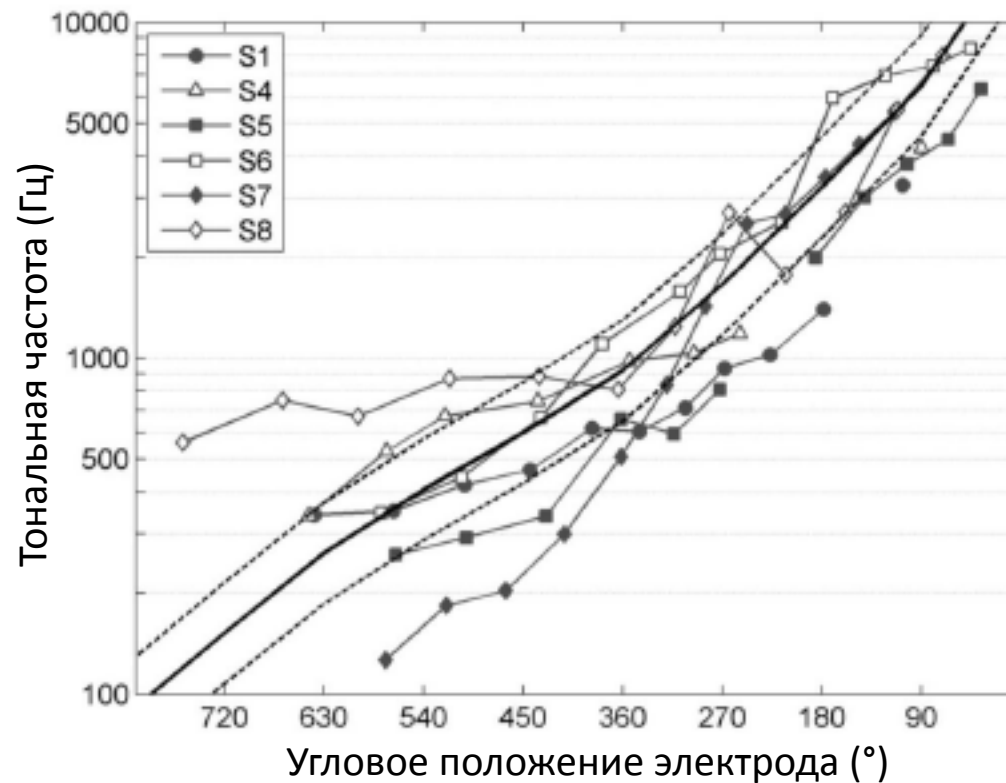
Спектральный охват глубоко введенных электродов – неэффективен!



Источник: medel.com



Тонотопика КИ: насыщение в области $\sim 300-500$ Гц



Все пациенты имели нормальный слух в одном ухе и КИ – в другом ухе. Сопоставляли ощущение тональности одного и того же сигнала в здоровом ухе и в ухе с КИ.

Schatzer u соавт., 2013



Ошибки распознавания тона при глубоком введении электродов

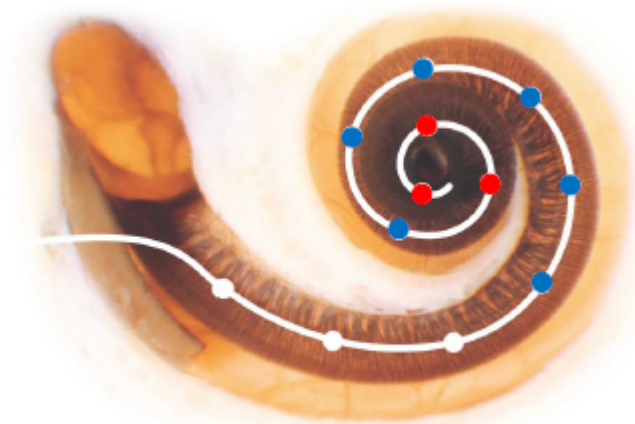
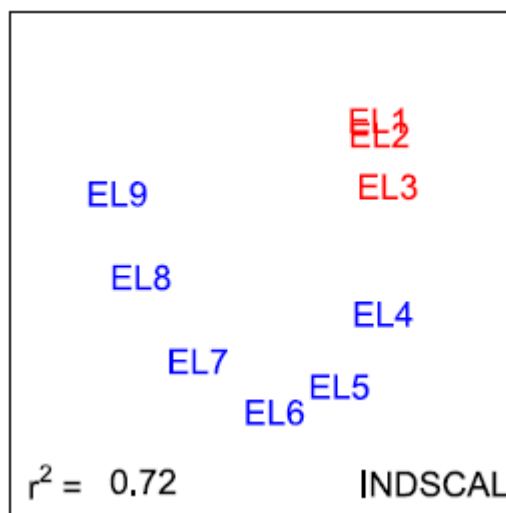
Многомерная категоризация
звука (MDS)

Испытуемые

14 пользователей глубоких
(31,5 мм) электродов MED-EL

Стимулы

Пакет из 9 импульсов,
подаваемый на отдельный
электрод

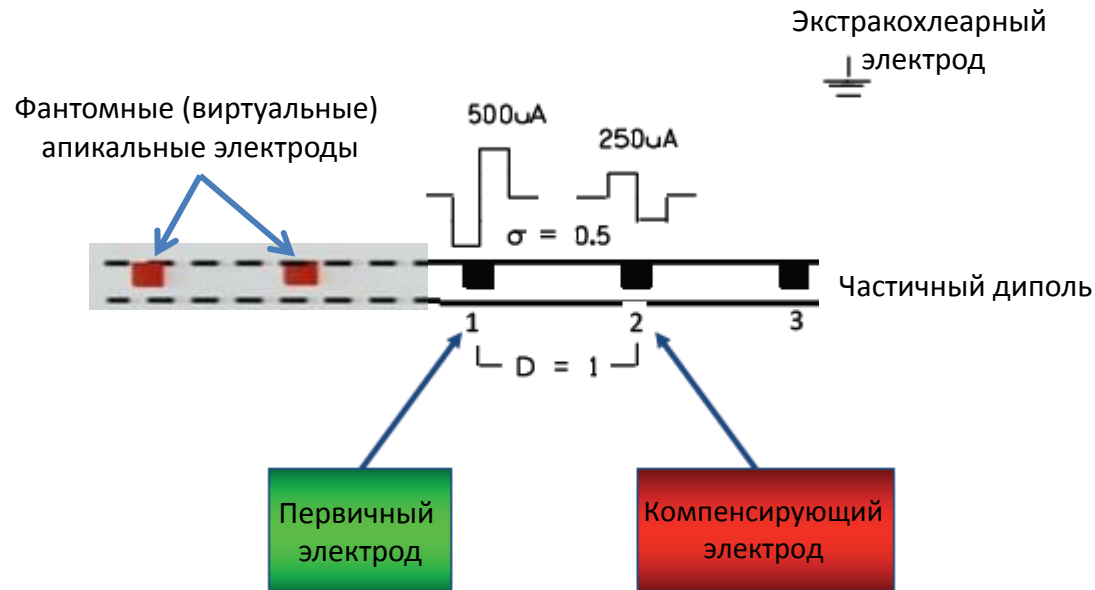


Условное пространственное изображение воспринимаемой тональности сигналов при стимуляции каждого отдельного электрода. Ощущения при стимуляции 1-го и 2-го электродов практически сливаются.

- Тонотопическое кодирование сохраняется дальше 1,25 витка
- У вершины различение тонов ухудшается



Можно ли добиться более эффективной апикальной стимуляции с помощью "стандартных" электродов??



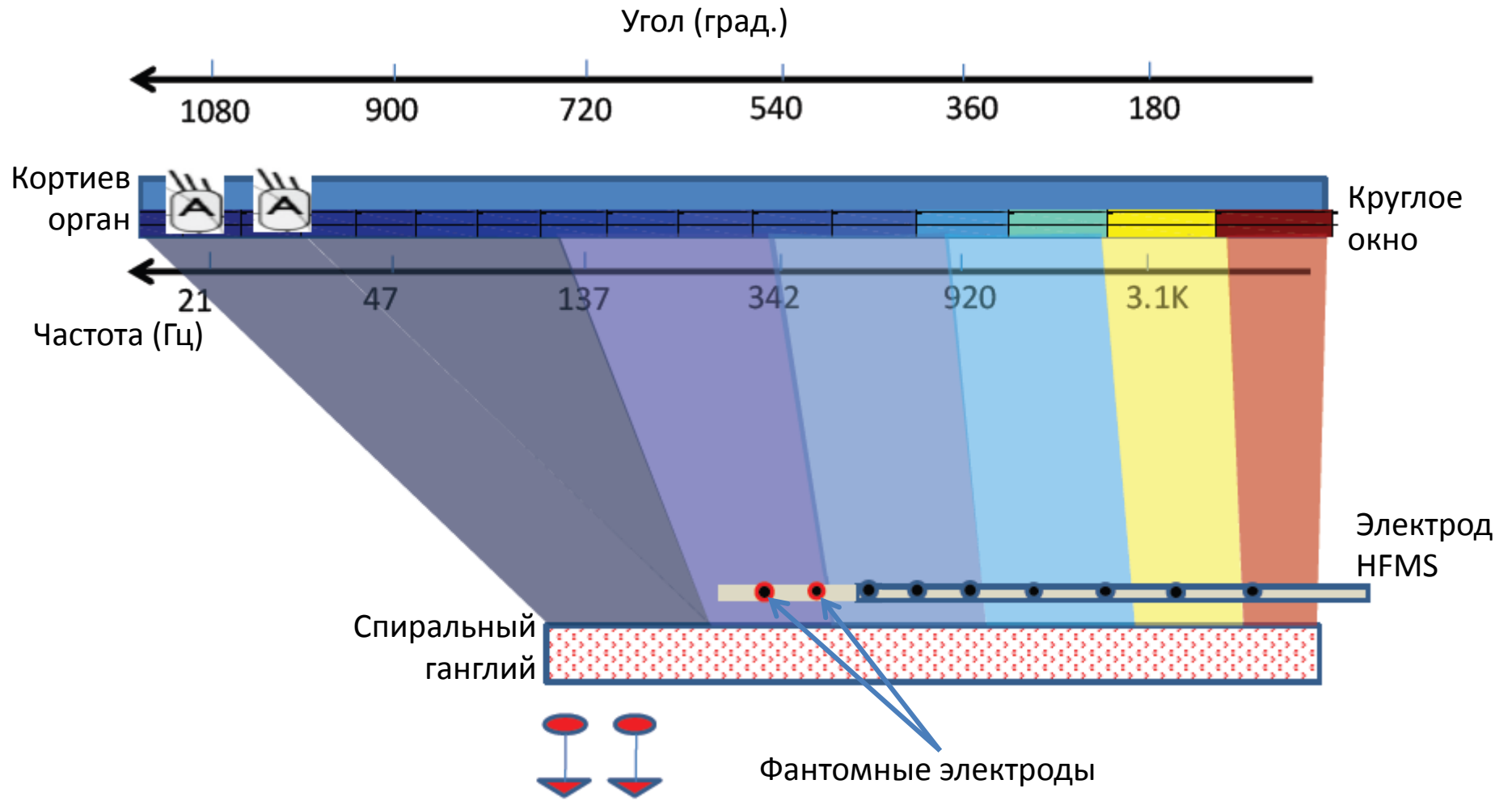
За счет использования компенсирующего интракохлеарного электрода вместо заземляющего экстракохлеарного электрода создаются апикальные виртуальные, или фантомные, электроды

- Сдвиг тональности в апикальную сторону:
 - В среднем: на 1 электрод (1 мм)
 - Разброс: от 0,5 до 3 электродов

Litvak, Saoji (2010)
Macherey, Carlyon (2011)

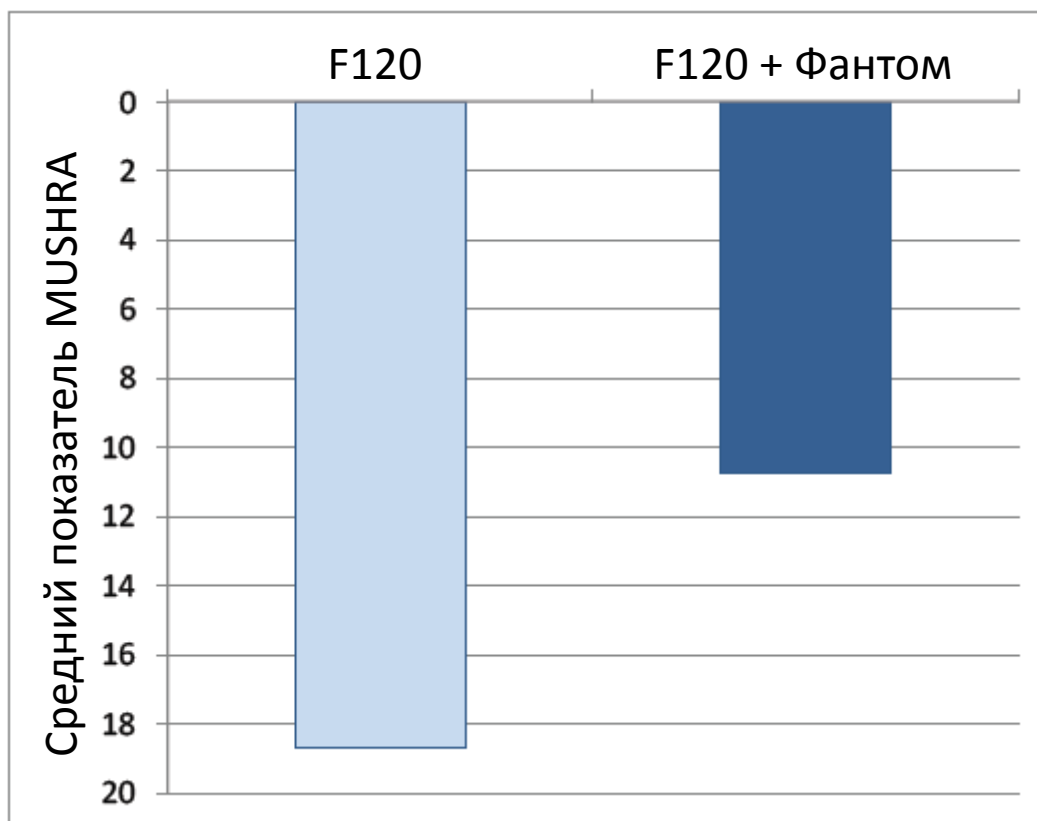


Распределение целевых нейронов в улитке



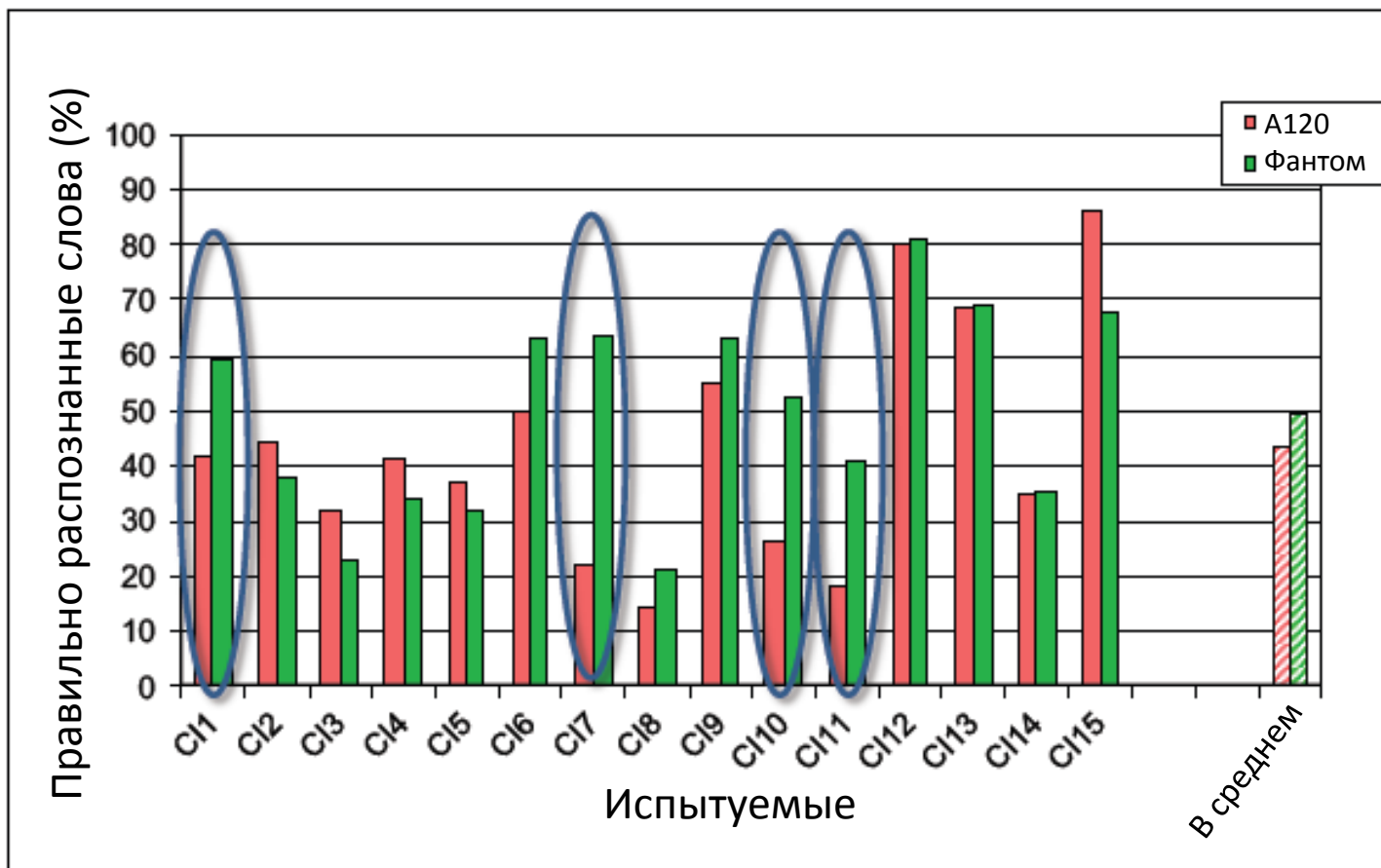


Оценка фантомных электродов: тест MUSHRA





Результаты исследования разборчивости речи в шуме





Весьма положительные субъективные отзывы

- Общее звучание
 - "Появились звуки, которых не хватало"
- Музыка
 - "Полнее", "глубже", "богаче"
- Голос собеседника
 - "Более естественный"
- Собственная речь
 - "Меньше усилий при разговоре"
 - Более естественное звучание
- Исследование разборчивости речи продолжается
- Создаются стратегии, предназначенные для использования у носителей тоновых языков