

M. Valeria Schmidt Goffi Gomez (M. Валерия Шмидт Гоффи Гомес)
Клиника медицинского факультета Университета Сан-Паулу

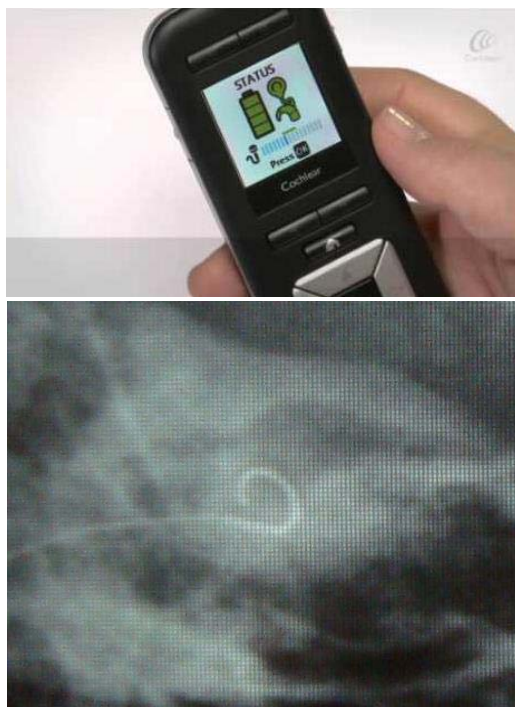
**Кохлеарные импланты: программирование,
основанное на психоакустических и
электрофизиологических измерениях**





Технология КИ обеспечивает доступ к звукам детям с тяжелой и глубокой тугоухостью, однако для надлежащего развития слуховых навыков необходимо гарантировать слышимость всех звуков

Кохлеарный имплант



Верификация и наблюдение

Внешние компоненты

Внутренние компоненты

Верификация и валидация

Программирование

Развитие слуха и речи

Ключевые этапы (Amy Robbins)

Отслеживание динамики слухового развития у детей с КИ

Примечание: отмечены только те навыки, которые относятся исключительно к сфере слуха. "Спонтанный" означает отсутствие дополнительного стимула или пребывание вне контролируемой звуковой среды.


 Период после имплантации, в течение которого должен выработаться соответствующий навык

Таблица 1 Группа 1 Дети, прооперированные в возрасте **не старше 4 лет**

| Навык | 1 мес. | 3 мес. | 6 мес. | 9 мес. | 12 мес. |
|--|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1. Постоянное использование КИ | | | | | |
| 2. Изменение спонтанной вокализации при использовании КИ | | | | | |
| 3. Спонтанный отклик на имя не менее, чем в 25% случаев | | | | | |
| 4. Спонтанный отклик на имя не менее, чем в 50% случаев | | | | | |
| 5. Спонтанное внимание к некоторым звукам | | | | | |

Цели программирования

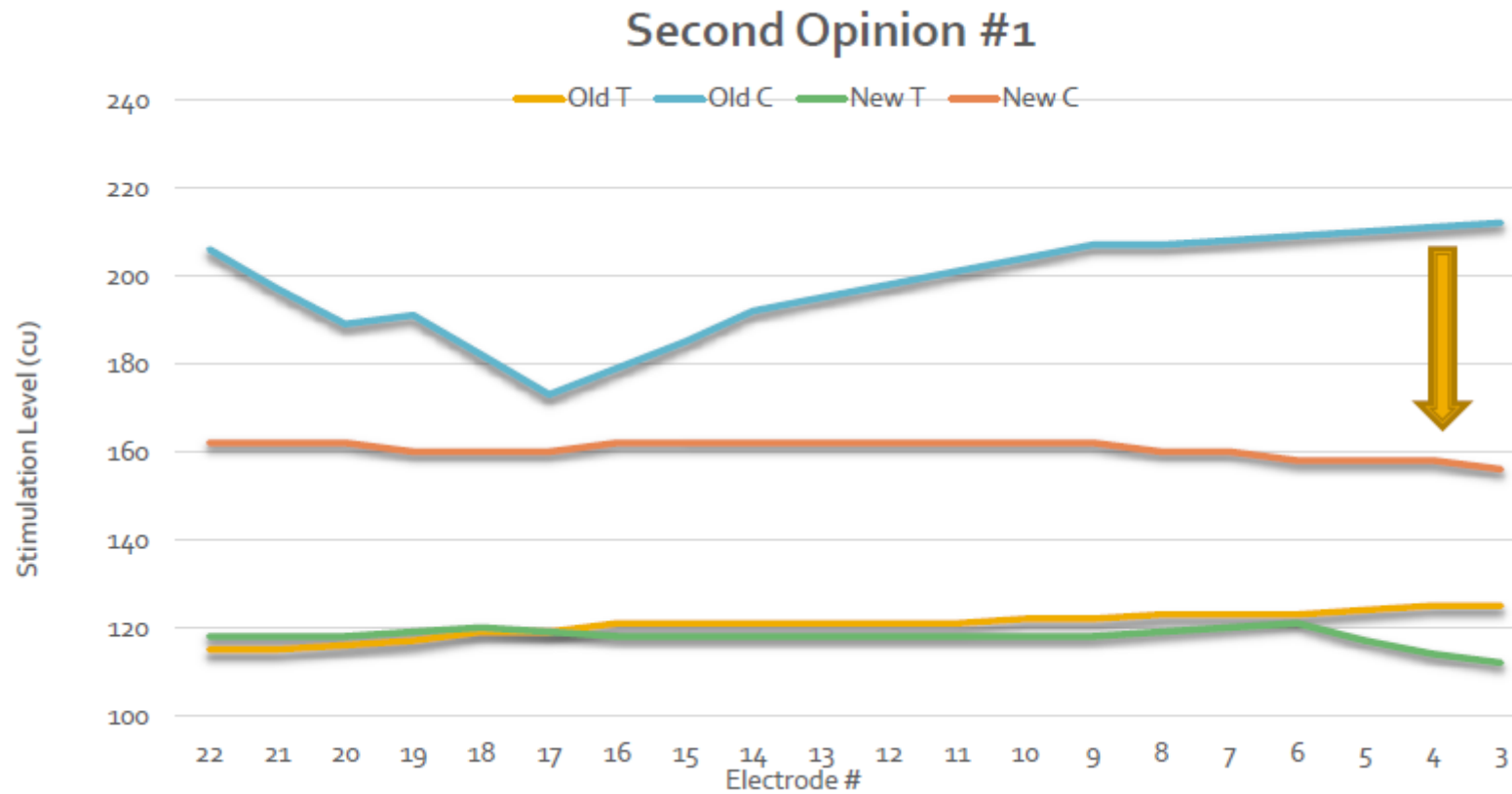
- **Слышимость**
 - Уровни стимуляции (т.е. сила электрического тока) должны быть достаточными для возникновения звукового ощущения
- **Качество**
 - Параметры стимуляции должны обеспечивать возможность оценки:
 - Амплитуды
 - Частоты
 - Длительности (временное разрешение)

Программирование/Картирование

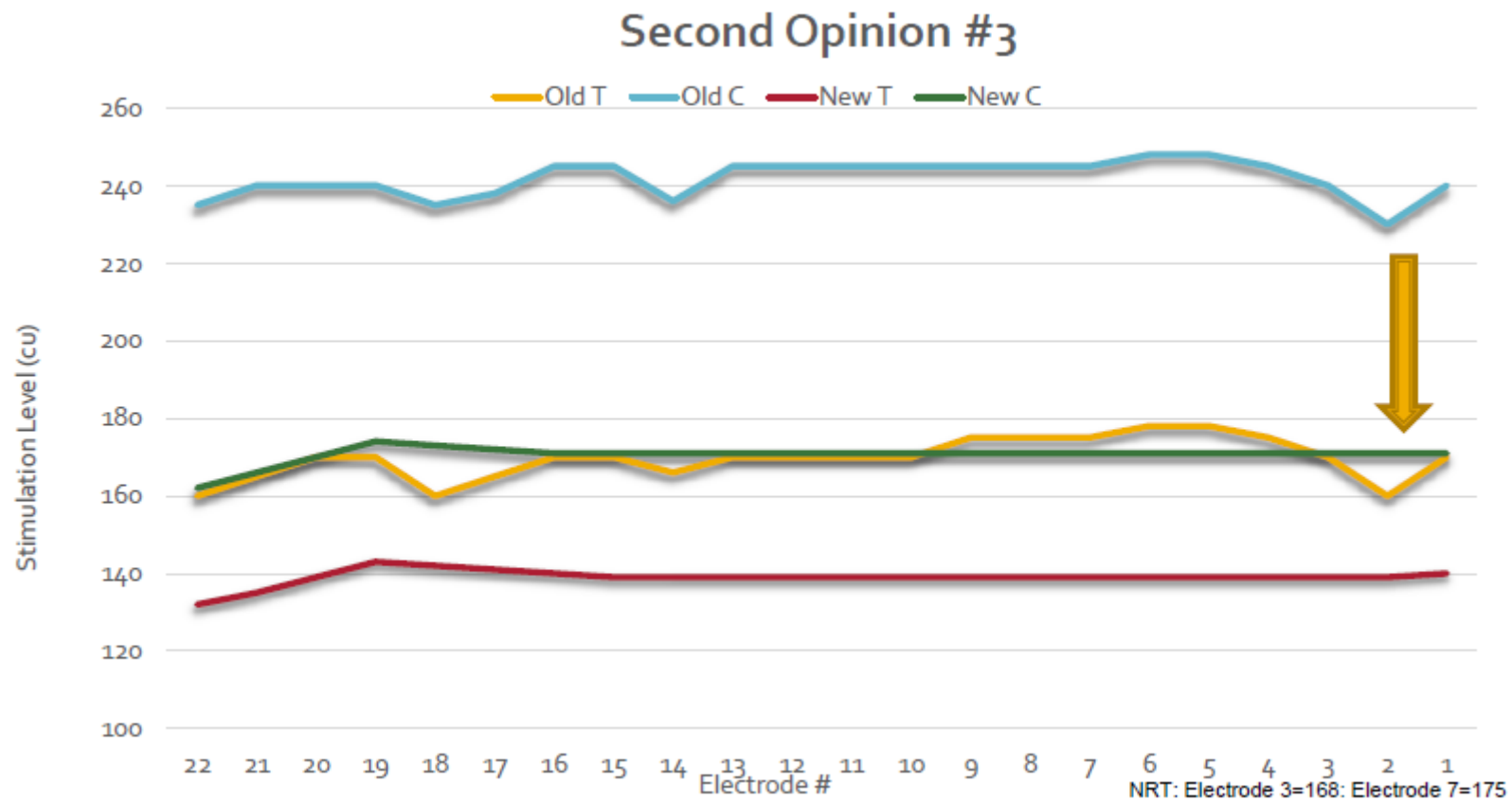
- Уровень стимуляции – для каждого электрода/канала необходимо найти силу тока, вызывающую:
 - Минимальное слуховое ощущение (T, THR)
 - и
 - Комфортное ощущение (C, MC, M)



Избыточная стимуляция (J. Mertes, 2005)



Избыточная стимуляция (J. Mertes, 2005)



Минимальные уровни, необходимые для достижения аудиометрических порогов

N = 11 детей (возраст от 7 до
17 лет)

Пороги в свободном поле при
уровнях T чуть ниже "тихо, но
слышно" и при уровнях T,
составляющих 10% от
уровней M

(Baudhuin et al. 2012.
Optimization of Programming
Parameters in Children with AB
CI)

Baudhuin et al.

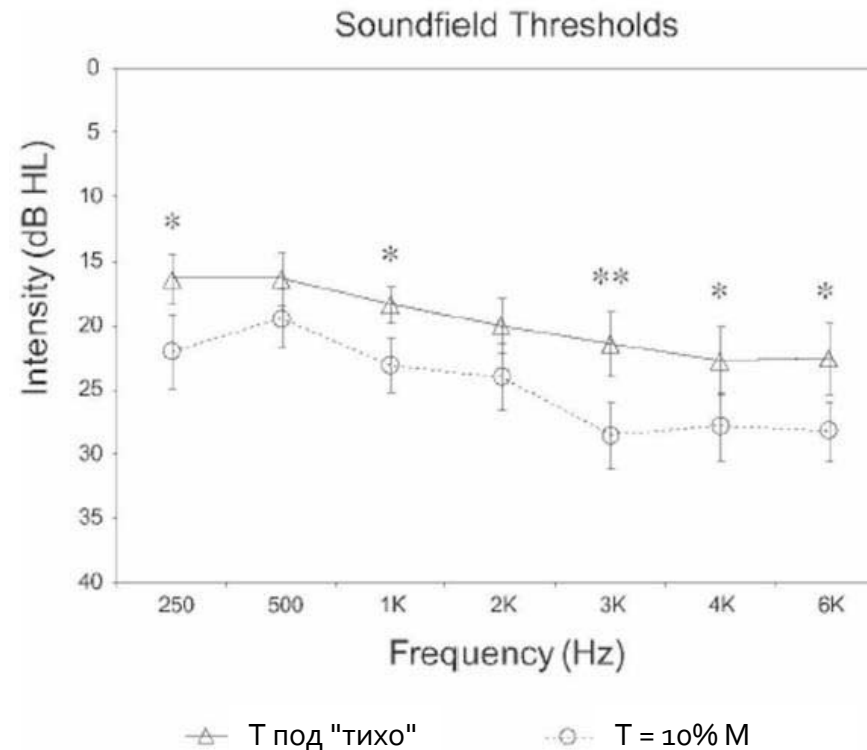


Figure 1.

Group mean FM-tone soundfield thresholds in dB HL from 250–6000 Hz for two T-level settings (Ts below soft and Ts at 10% of Ms). Error bars represent ± 1 SE of the mean. Asterisks denote significant threshold differences when Ts were set at 10 below soft compared to Ts at 10% of Ms for a given frequency (* $p \leq 0.05$ and ** $p \leq 0.01$).

Недостаточные максимальные уровни ухудшают аудиометрические пороги и разборчивость речи в тишине

N = 12 взрослых
CI 24 RE
MO = исходная карта
МС- = экспериментальная карта (на 10 единиц тока ниже исходного уровня С)

Vasconcelos et al. (2015) (в печати)

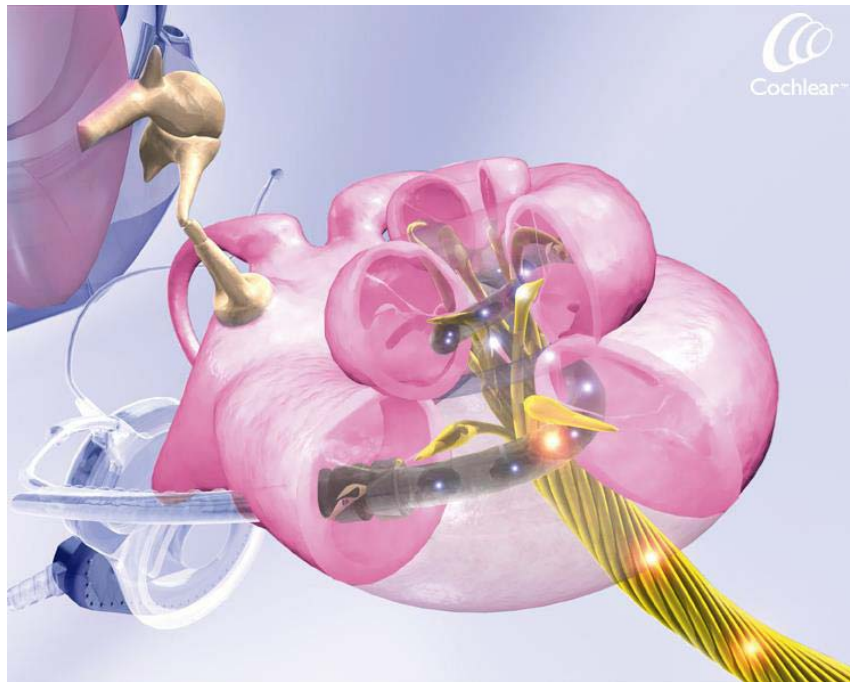


Средние тональные пороги в свободном поле

Разборчивость речи (65 дБ ПС) в тишине

Какие факторы влияют на уровень стимуляции на каждом электроде?

Почему не существует "идеального", или ЦЕЛЕВОГО уровня стимуляции?



Физические и электрические аспекты

- Расстояние от электрода до модиолуса
- Фиброзная ткань (рубец) вокруг электрода
- Сопротивление электрода (электрическое)

Периферические и центральные

физиологические аспекты

- Количество "выживших" нервных волокон
- Слуховой опыт

Программирование, основанное на поведенческих реакциях

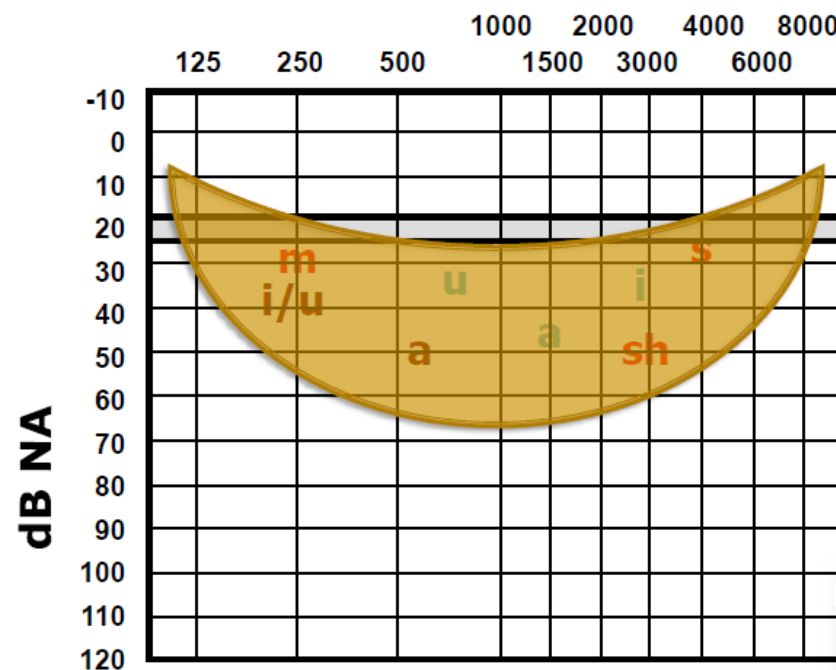
- Ожидаемые поведенческие реакции (Firszt, Reeder, 2005):
 - дети смотрят на родителей
 - изменение активности ребенка
 - дети указывают на ухо
 - поиск источника звука
 - поиск "безопасного места"

Как верифицировать и оптимизировать настройку речевого процессора?

Для верификации и валидации могут быть использованы объективные данные, но очень важны показатели разборчивости речи в тишине и шуме (Baudhuin и соавт., 2012).

Валидация

- Валидация в основном базируется на поведенческих тестах:
 - Тональная аудиометрия в свободном поле
 - Обнаружение звуков Ling (Ling Sounds)
 - Тесты восприятия речи (или анкеты)
 - Информация, полученная в сотрудничестве со специалистами по реабилитации



Верификация и валидация



Психоакустические показатели

Otocube



- Аудиометрия
- Обнаружение и/или различение фонем
- Шкала громкости и тональности
- Распознавание речи в тишине и шуме



result

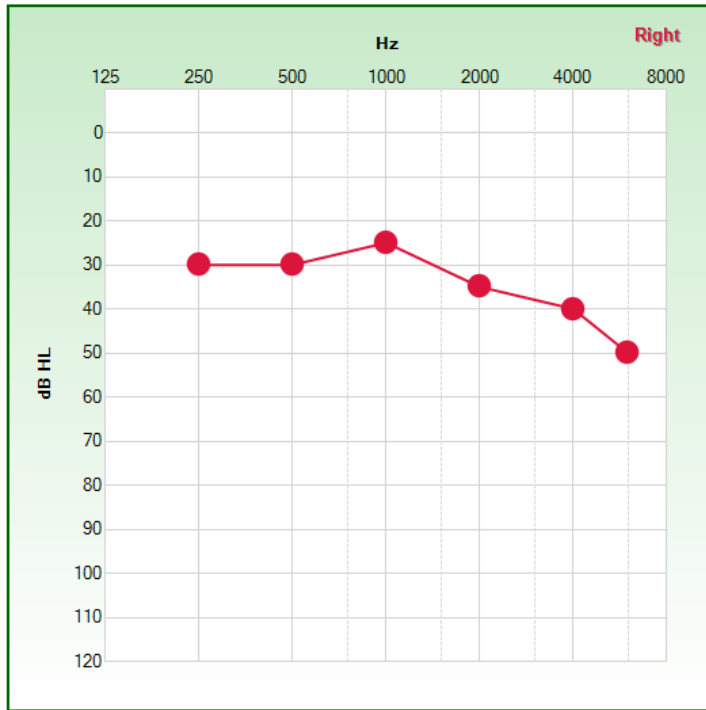


AZEVEDO CRUZ Beatriz (*19/04/1990)

Audiometry

Operator: N/A

AZEVEDO CRUZ Beatriz (*1



s

com mapa 62

result



FELISBERTO Antonio (*10/04/1934)

Harmonic Complexes

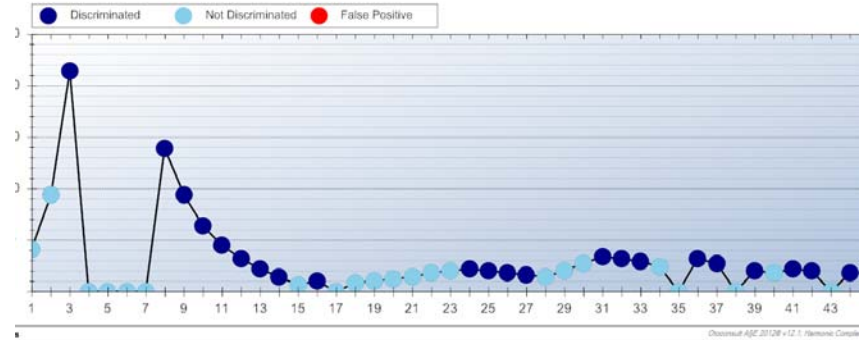
Operator: N/A

10/02/201

Score

20 H

Discrimination Result



Test Result

Output



ANTONIO Claudio (*20/03/1954)

Phoneme Detection

Operator: N/A

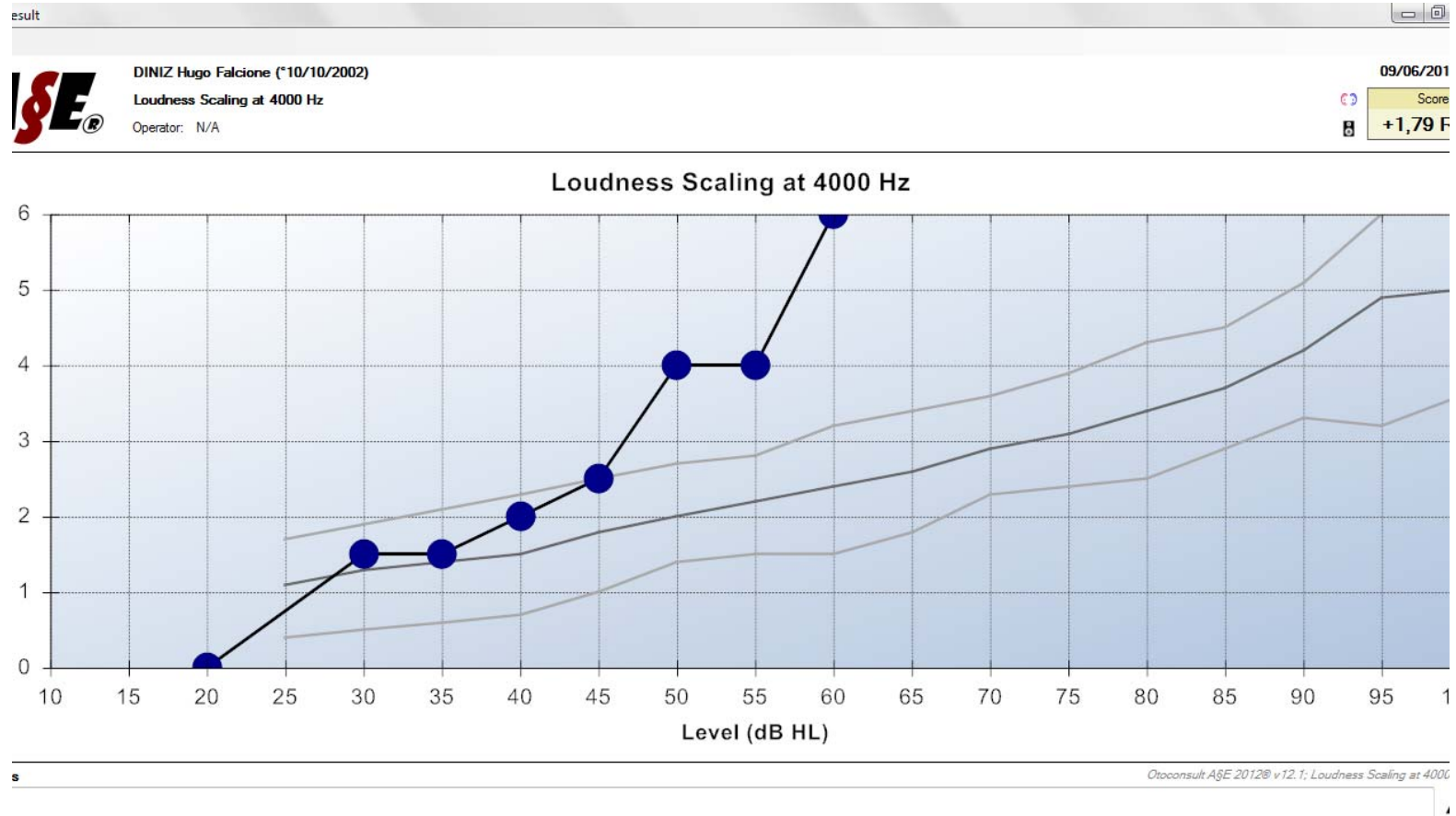
| | |
|---|----|
| a | 50 |
| t | 50 |
| i | 50 |
| p | 50 |
| k | 50 |
| s | 50 |
| f | 50 |
| d | 50 |
| r | 50 |
| j | 50 |
| o | 50 |
| b | 50 |
| z | 50 |
| m | 50 |
| v | 50 |

Remarks

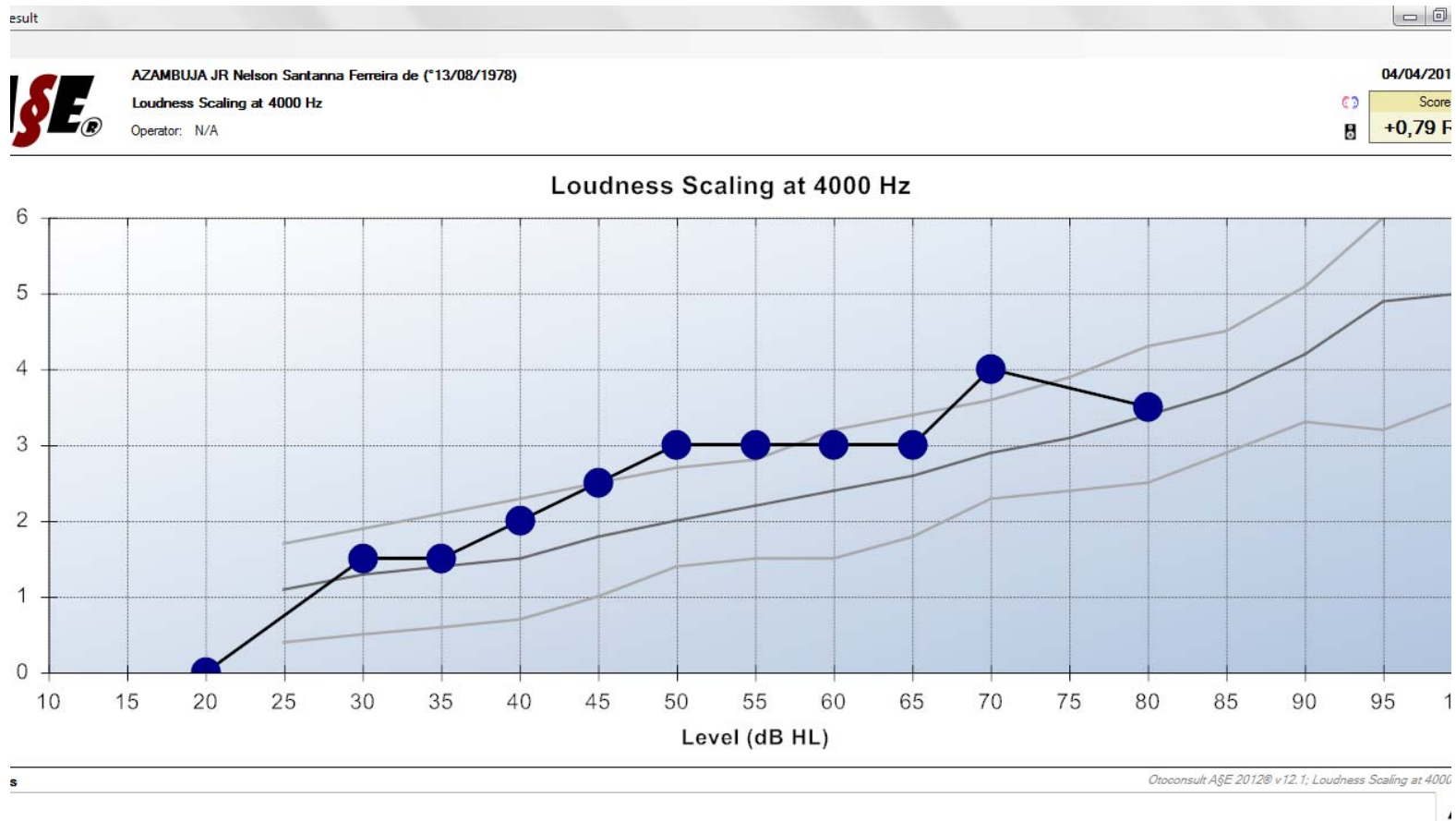
/b/ = rrbeco rrbeco/m/ = ppp/ll/ = ppp/ll/ = eee/ll/ = ppp/ll/ = sh sh/ll/ = ???/ll/ = sh sh sh

Observação ASE 2012B + 12.1. P/6

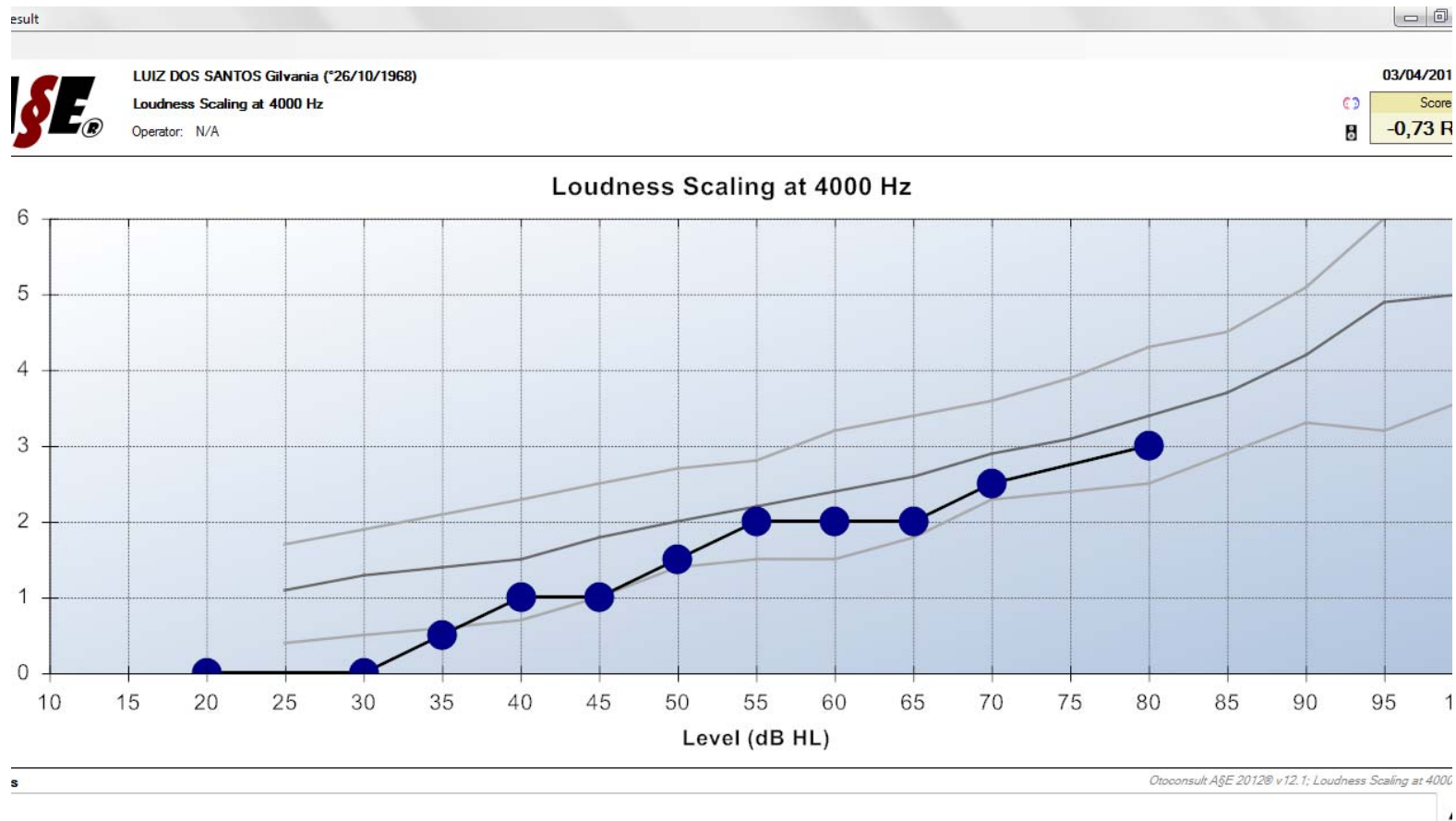
Категоризация громкости



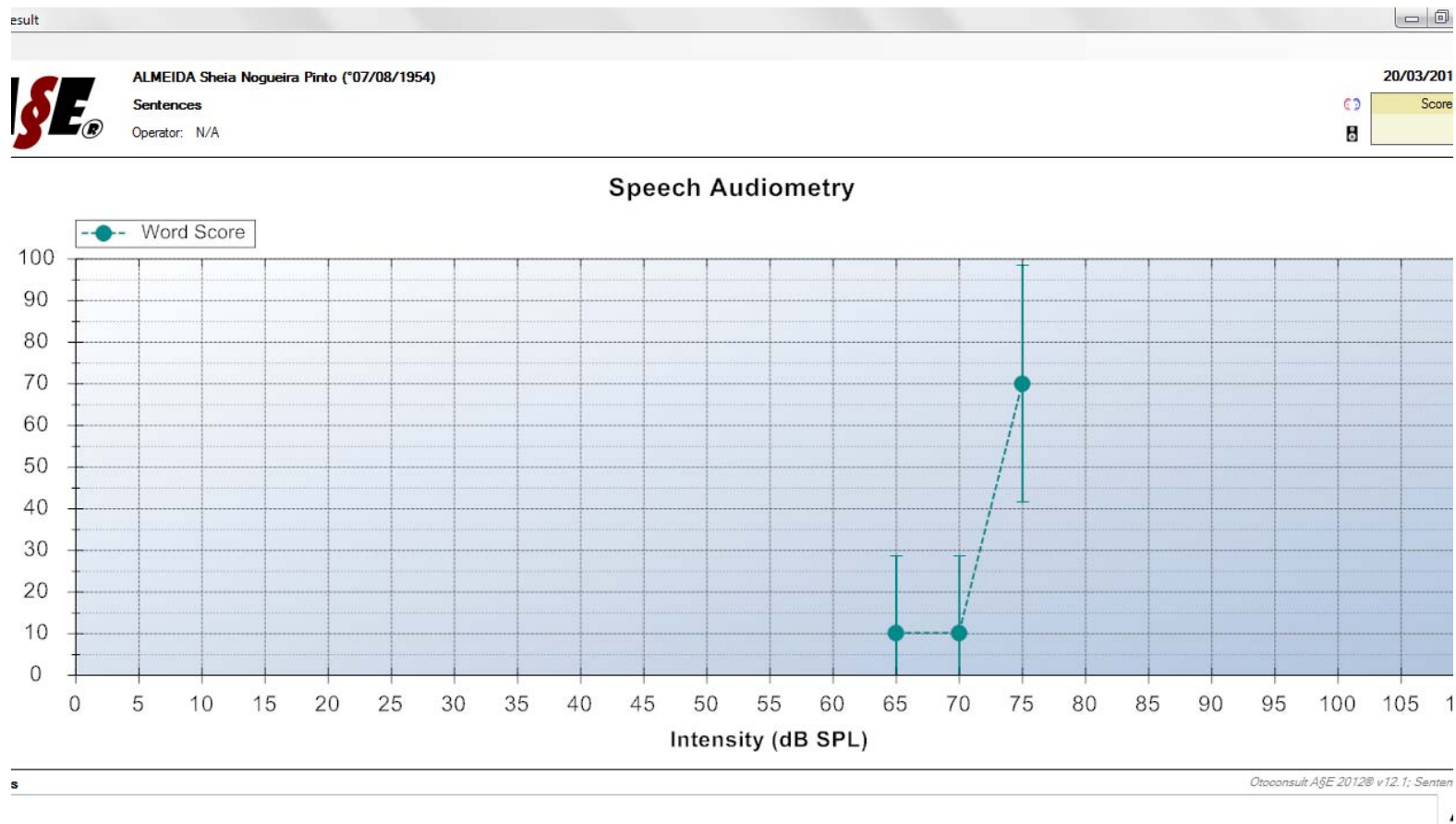
Категоризация громкости



Категоризация громкости



Речевая аудиометрия



ASE 2012

Patient Environment Help

Classics

Phoneme Detection
a a a a a

Phoneme Discr
u -

Prosody

Sentence Intonation

Low-Pass Filtered

Synthetics

Harmonic Complexes

Harmonic Int

Loudness Scaling

Loudness Scaling

Frequency Select...

Clinical

Audiometry

My Tests

Disc Spe Har

Disc Spe Har

Morissopoulos

Phoneme Discrimination

Background Stimulus

Score the patient's results.

| | | | |
|---|---|---|---|
| a | r | a | r |
| u | m | u | m |
| i | v | i | v |
| o | z | o | z |
| ε | f | ε | f |
| y | s | y | s |
| e | ʃ | e | ʃ |

Score:

| | |
|-------|--------------------------|
| a - r | <input type="checkbox"/> |
| u - f | <input type="checkbox"/> |
| u - a | <input type="checkbox"/> |
| u - i | <input type="checkbox"/> |
| i - a | <input type="checkbox"/> |
| o - a | <input type="checkbox"/> |
| i - e | <input type="checkbox"/> |
| m - z | <input type="checkbox"/> |
| s - ʃ | <input type="checkbox"/> |
| ε - a | <input type="checkbox"/> |
| u - o | <input type="checkbox"/> |
| o - a | <input type="checkbox"/> |
| a - o | <input type="checkbox"/> |
| o - e | <input type="checkbox"/> |
| e - i | <input type="checkbox"/> |
| z - s | <input type="checkbox"/> |
| v - z | <input type="checkbox"/> |
| e - u | <input type="checkbox"/> |
| u - y | <input type="checkbox"/> |
| y - i | <input type="checkbox"/> |

Test

Start

Correct

Wrong

Undo

STOP Stop

Do not score and continue

Remarks:

Save & Quit

Intensity (dB HL): 70

Interval (msec): 850

Stimulus Launch: 3

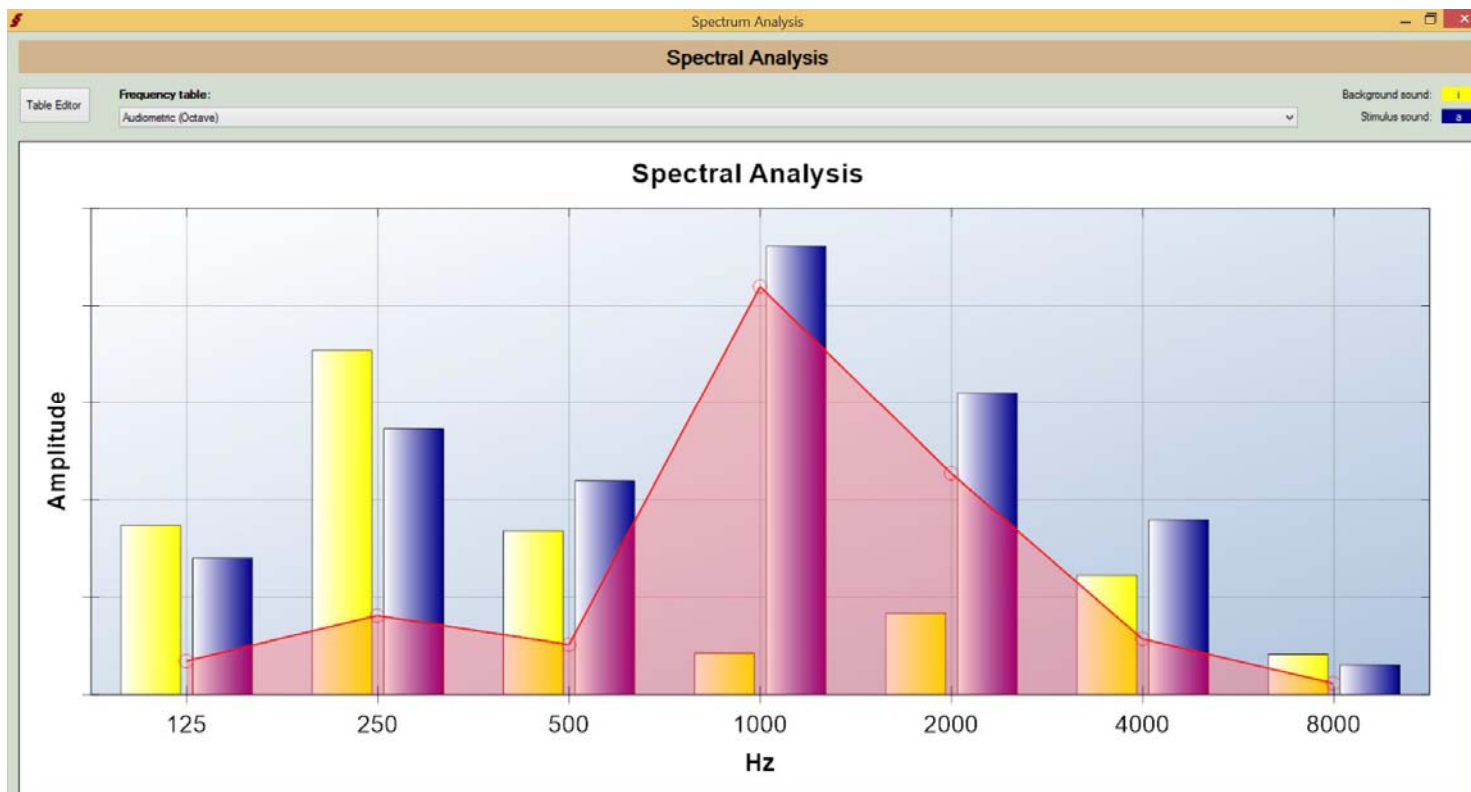
Ext. Range

ly established.

Connected

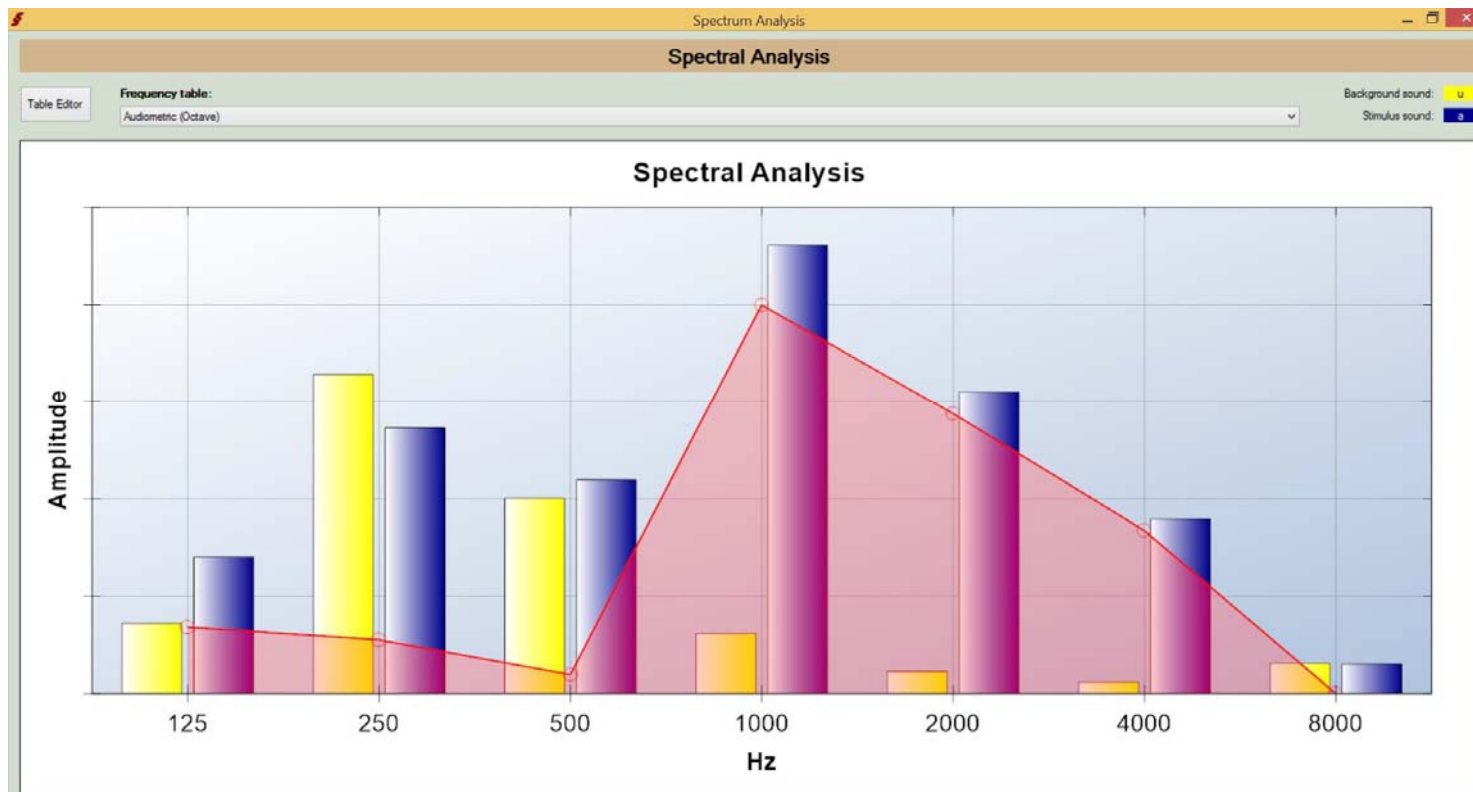
l x a

Спектральный анализ



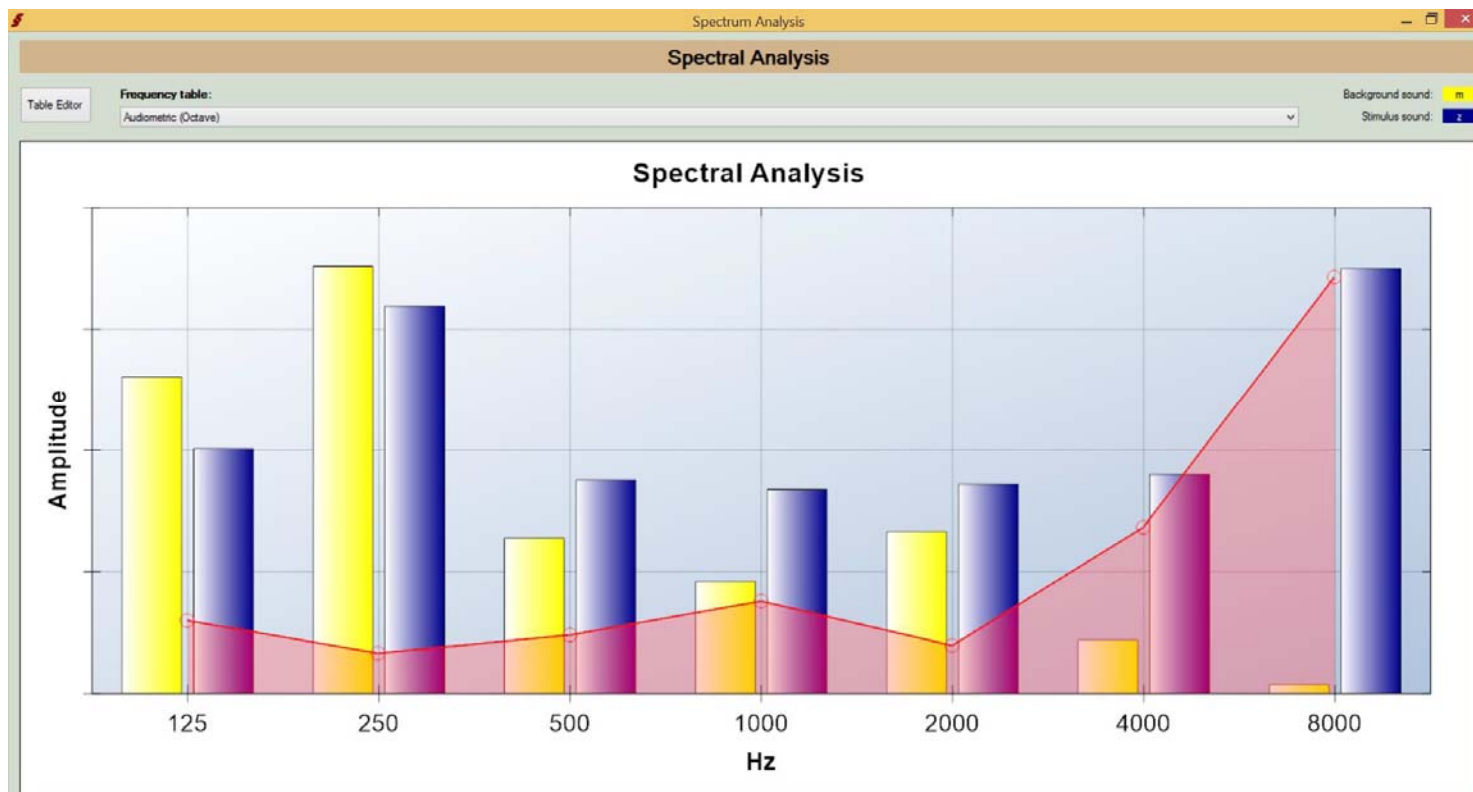
Уха

Спектральный анализ



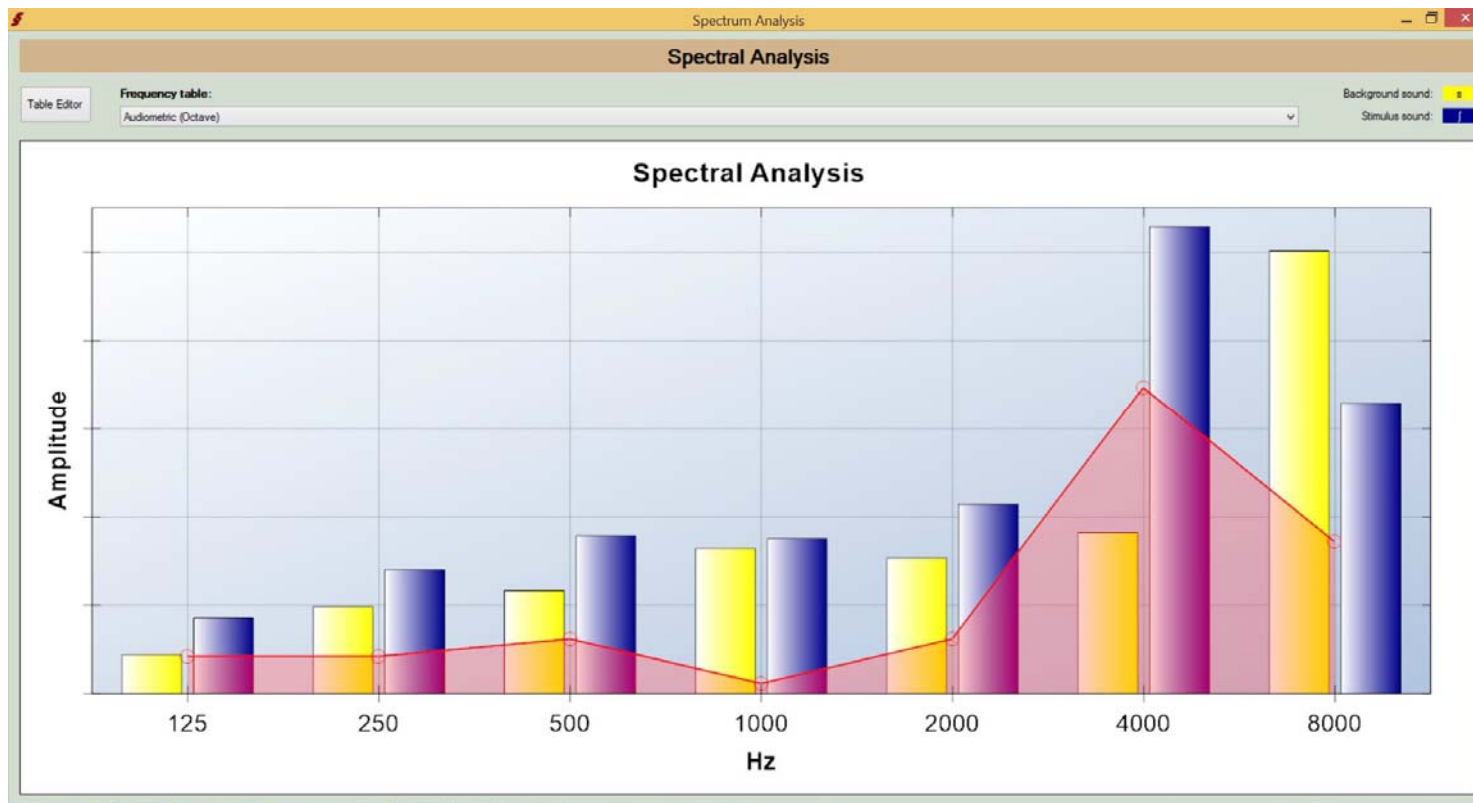
M x z

Спектральный анализ



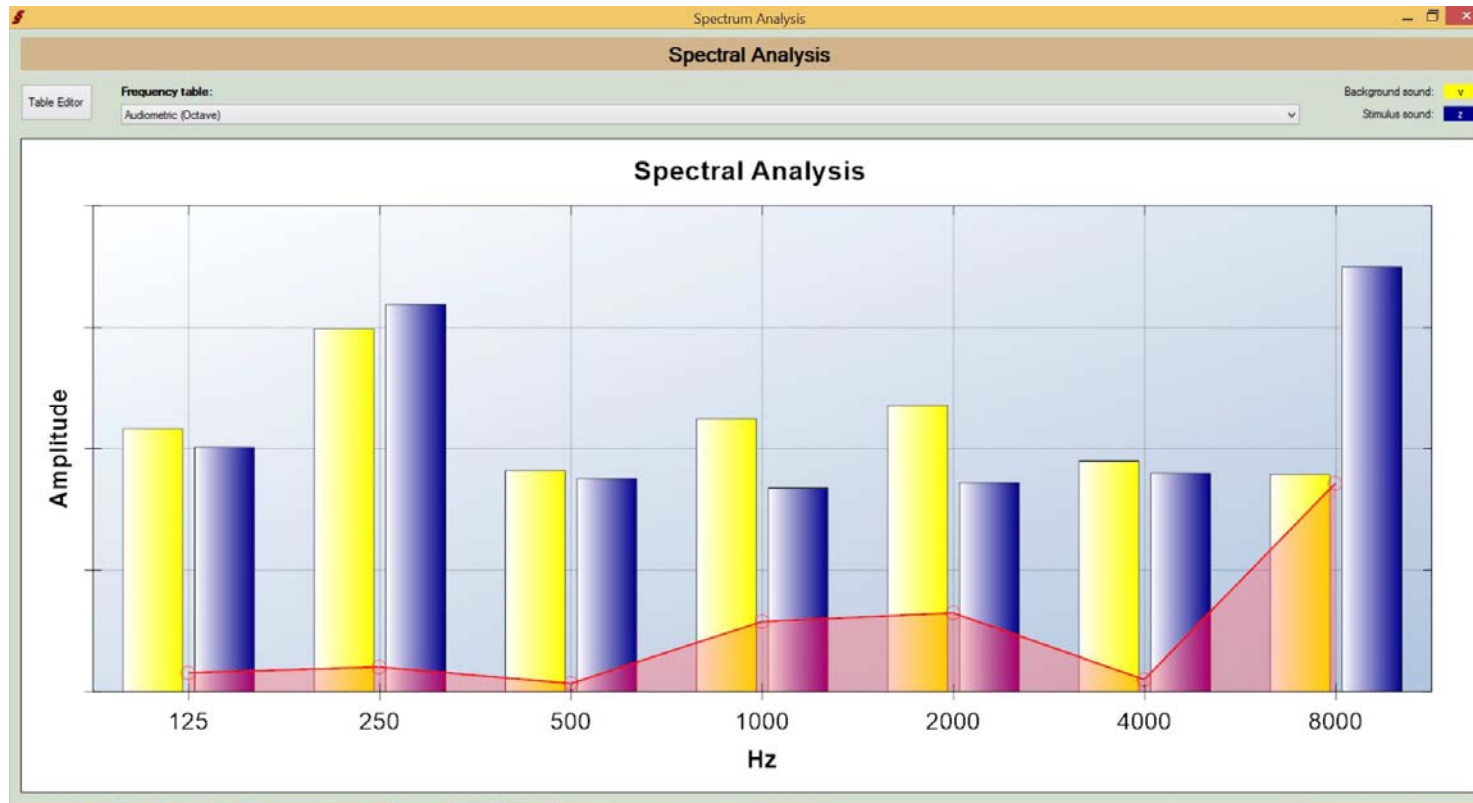
S x sh

Спектральный анализ



V x Z

Спектральный анализ



Ономатопея

Onomatopoeia f-s-j


Click on the sound that the listener perceived or cancel if the listener fails to identify the sound.



f



s



j

Score:

| score | f | s | j | ? |
|-------|---|---|---|---|
| stim | | | | |
| f | ■ | | | |
| s | | ■ | | |
| j | | | ■ | |

Remarks:

Test Progress: 0%

Buttons: Start, Stop, Cancel, Undo, Repeat (2), Save & Quit

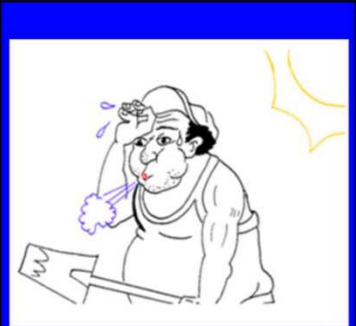
Intensity (dB HL): 70
Presentations: 4

Windows taskbar with icons for Internet Explorer, File Explorer, Word, Excel, PowerPoint, and other applications. System tray shows date 19/08/2015 and time 10:01.


Ономатопея

Onomatopoeia f-s-j


Click on the sound that the listener perceived or cancel if the listener fails to identify the sound.



f



s



j

Score: 0%

| score \ stim | f | s | j | ? |
|--------------|---|---|---|---|
| f | | | | 2 |
| s | | | | 1 |
| j | | | | 1 |

Test Progress: 33%

Buttons: Start, Stop, Cancel, Undo, Repeat (2), Save & Quit

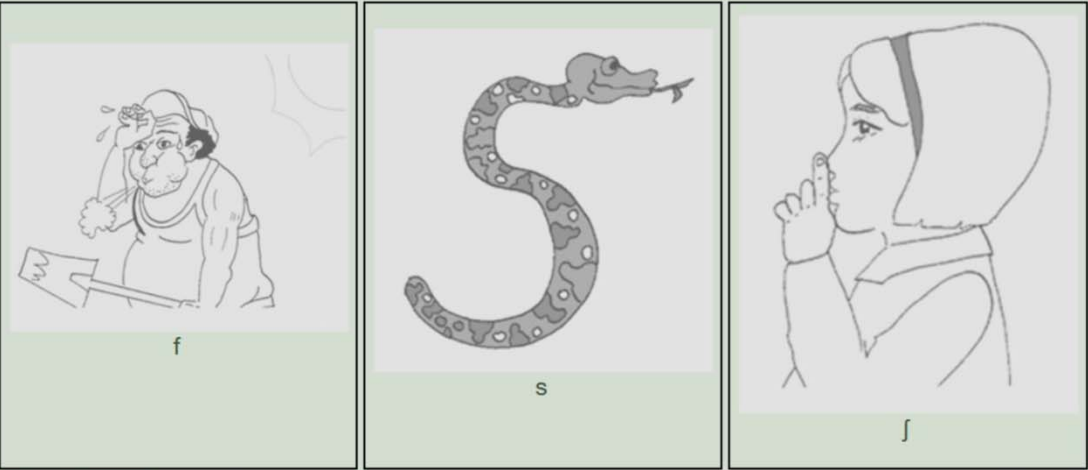
Settings: Intensity (dB HL): 70, Presentations: 4, Ext. Range

Remarks:

Ономатопея

Onomatopoeia f-s-j

Finished. Leave this module by clicking the 'Save & Quit' button.



f s j

Score: 83%

| score | f | s | j | ? |
|-------|---|---|---|---|
| f | 4 | | | |
| s | 1 | 2 | 1 | |
| j | | | 4 | |

Score: 10/12 Sign. lvl: 7,2 Intensity: 70 dB HL*

Remarks:

Save & Quit

Test Progress: 100%

FOX

Vaerenberg et al. (2010). Fitting to Outcomes eXperts

- Программа FOX может манипулировать различными программируемыми переменными:
 - Уровни T
 - Уровни C (или M)
 - Ширина импульса
 - Прирост (амплитуда?)
 - Фильтры
распределения частот
 - Отключение
электродов
 - Стратегия стимуляции

Объективные тесты

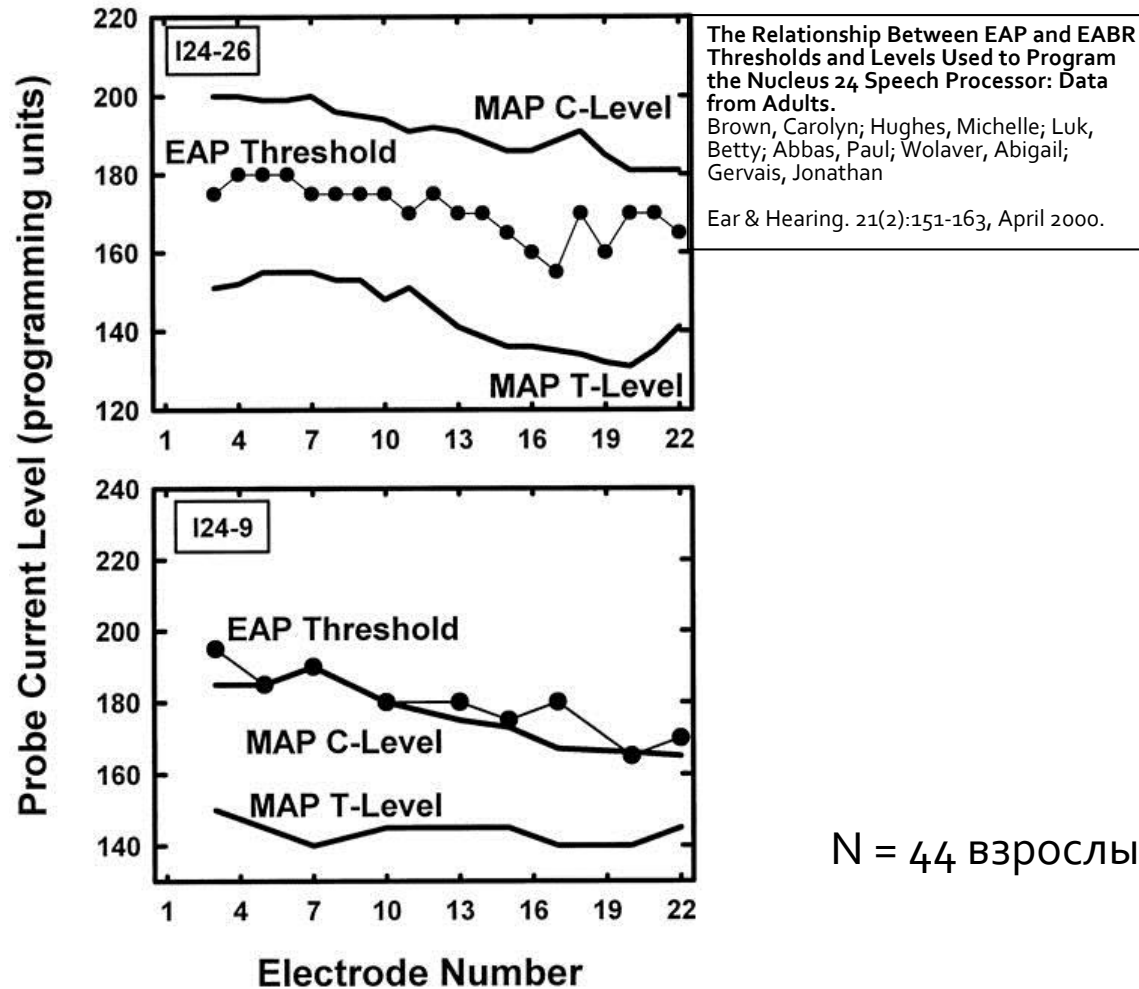
Слуховой нерв отвечает за передачу информации в
высшие слуховые центры (SNAC)

Потенциалы
действия (ЕСАР)
генерируются
специфическими
популяциями
нейронов

www.cochlear.com

A 3D anatomical diagram of the human ear and auditory nerve. The diagram shows the ear canal, eardrum, ossicles (malleus, incus, stapes), cochlea, and the auditory nerve. The nerve is depicted as a bundle of fibers extending from the cochlea towards the brain. The diagram is rendered in a semi-transparent style, showing internal structures. The URL www.cochlear.com is visible in the bottom left corner of the diagram area.

Brown и соавт. (2000)



Каждый график содержит данные разных пациентов и иллюстрирует связь между параметрами карты (MAP) и порогами электрического потенциала действия (EAP). Верхняя и нижняя сплошные линии соответствуют уровням C (комфорт) и T (порог). Черными кружками обозначены пороги EAP.

N = 44 взрослых пользователя КИ

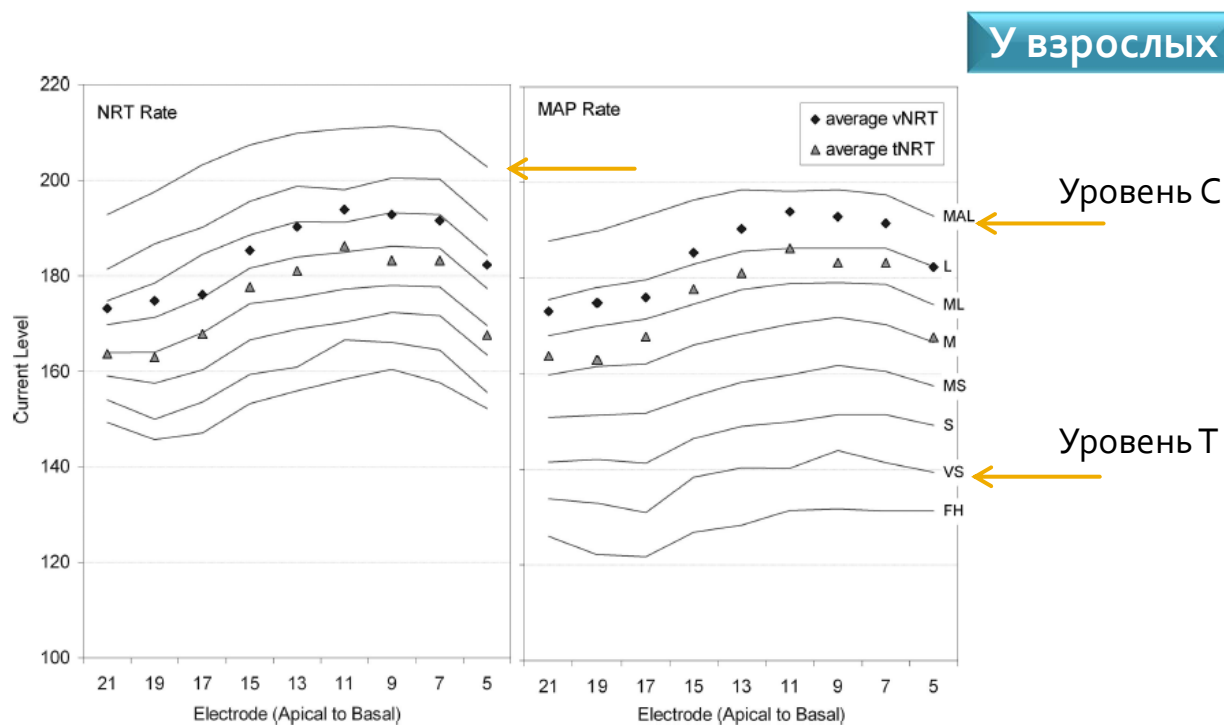
Potts и соавт. (2007)

Зависимость средних значений tNRT от уровней стимуляции на частоте 80 Гц (скорость NRT) и скорости карты (~900 Гц)

Связь между порогамии телеметрии нейронного ответа (NRT), уровнями Т (порог) и С (комфорт) и субъективно ощущаемой громкостью у 12 взрослых пользователей кохлеарных имплантов Nucleus 24

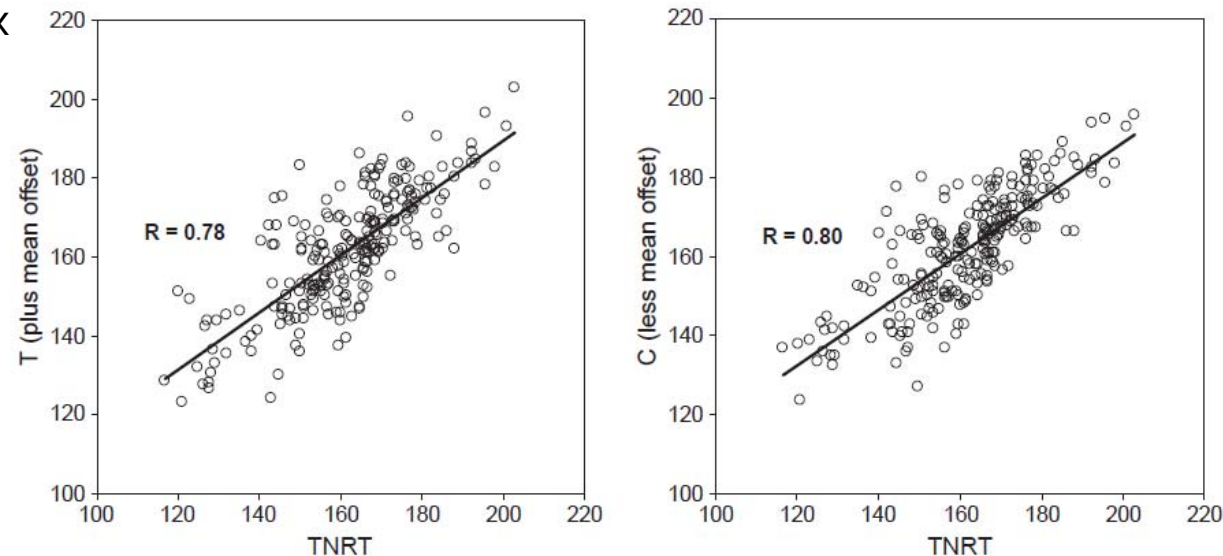
Категории громкости:

- первый услышанный звук (FH)
- очень тихо (VS)
- тихо (S)
- средне-тихо (MS)
- средне (M)
- средне-громко (ML)
- громко (L)
- максимальная приемлемая громкость (MAL)



Программирование речевого процессора и свойства слухового нерва

N = 17 взрослых

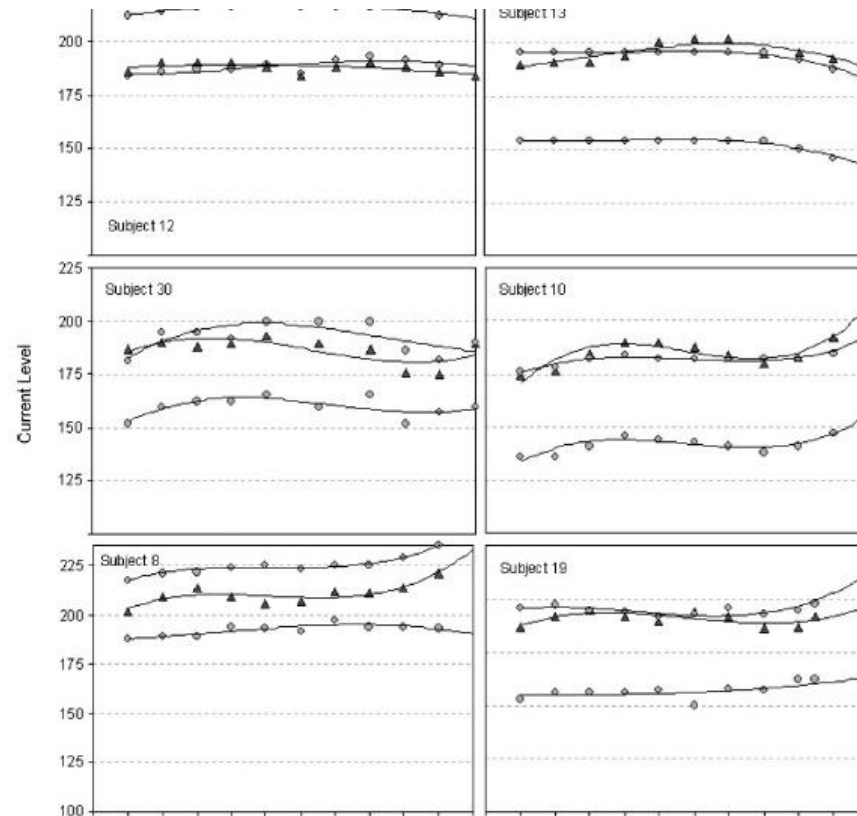


Корреляция между исходными TNRT (неусеченные AGF) и скорректированными по сдвигу уровнями Т (слева) и С (справа)

Lai et al. 2009. NRT profiles with the Nucleus Research Platform 8 system. International Journal of Audiology 2009; 48:645-654

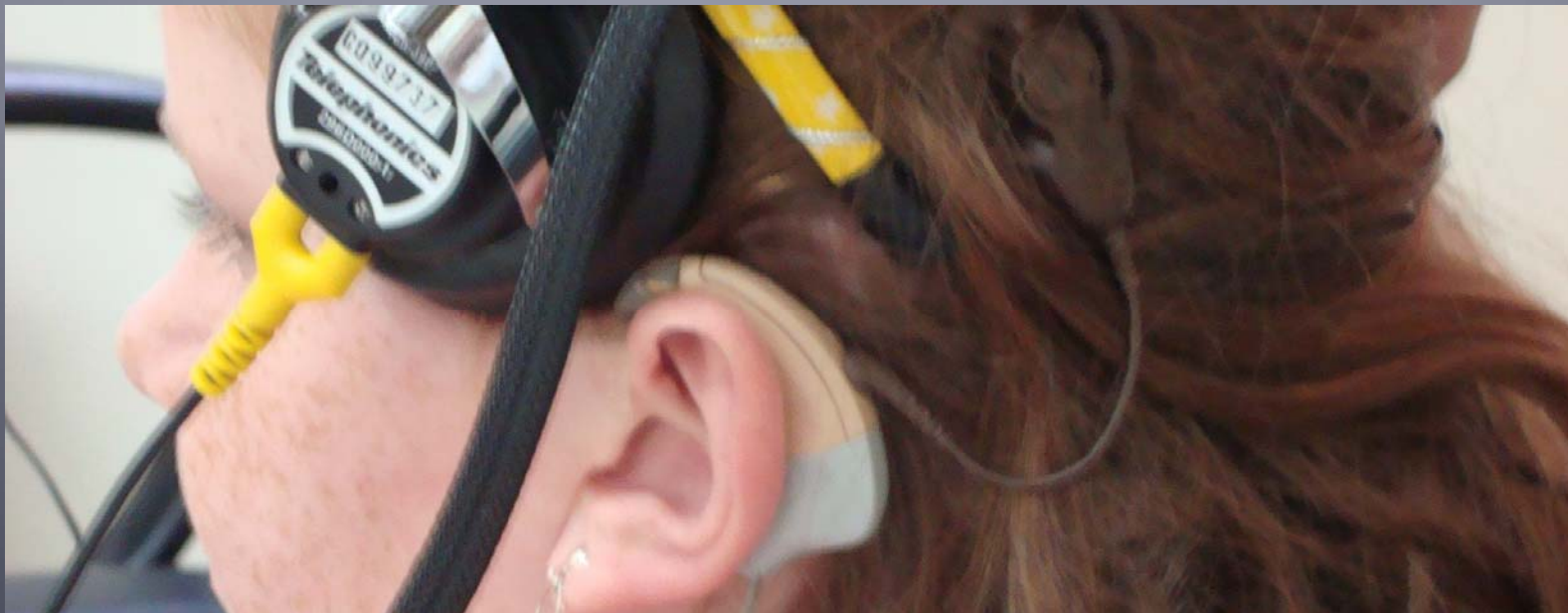
Holstad и соавт. (2009)
N = 41 ребенок
NRT имеется у 87%
детей

Holstad и соавт. (2009) обнаружили низкую корреляцию между порогами электрофизиологических реакций и минимальными и максимальными уровнями тока у детей. Они установили, что пороги нейронных ответов находились в пределах динамического диапазона (между T и C). Однако настройка карты исключительно по порогам нейронных реакций может привести к дисбалансу громкости и дискомфорту. Настройка, выполненная на основании нейронных реакций, обеспечивает достаточную слышимость, но должна быть скорректирована на основании поведенческих реакций.

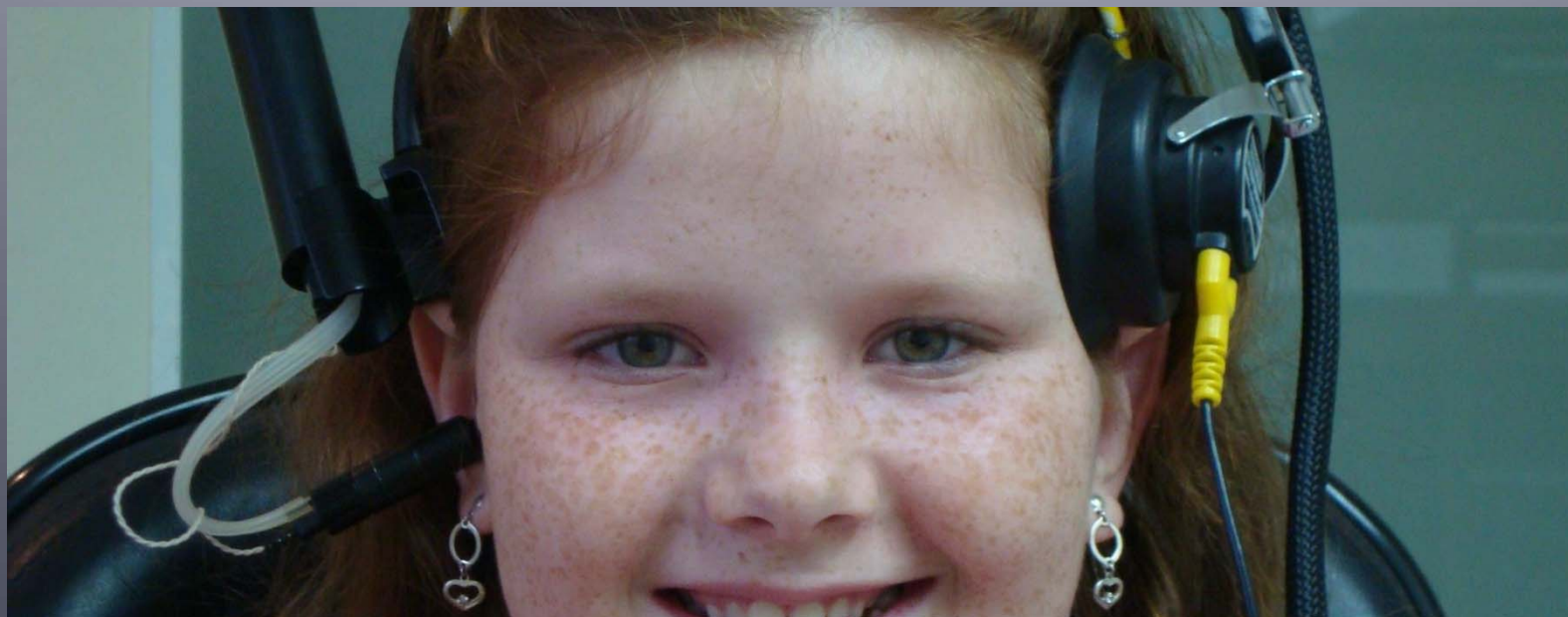


Профили vNRT и уровней T и C для разных электродов у 6 пациентов. Для привязки номера электрода к vNRT, и уровням T и C каждого пациента использовались полиномы третьего порядка.

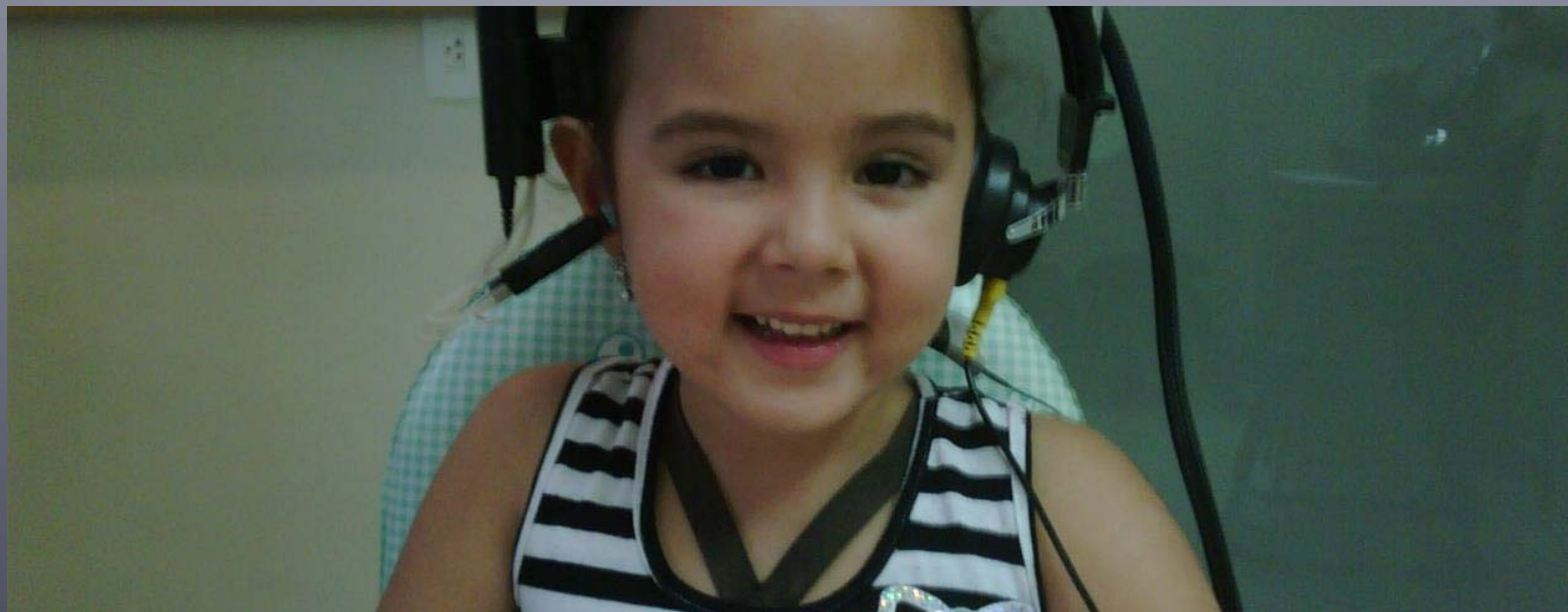
Электрически вызванный стапедиальный рефлекс



Электрически вызванный стапедиальный рефлекс

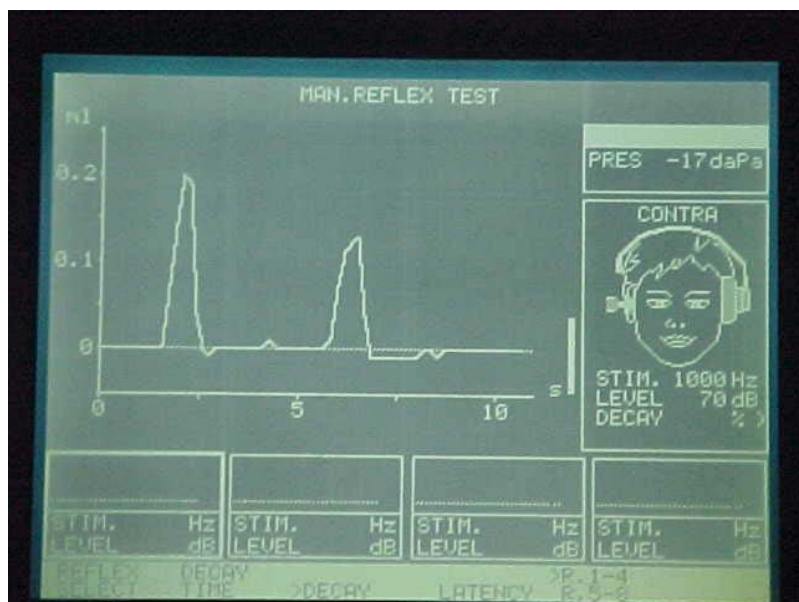


Электрически вызванный стапедиальный рефлекс



Электрически вызванный стапедиальный рефлекс

Клиническое применение



Регистрируется в 77% ушей

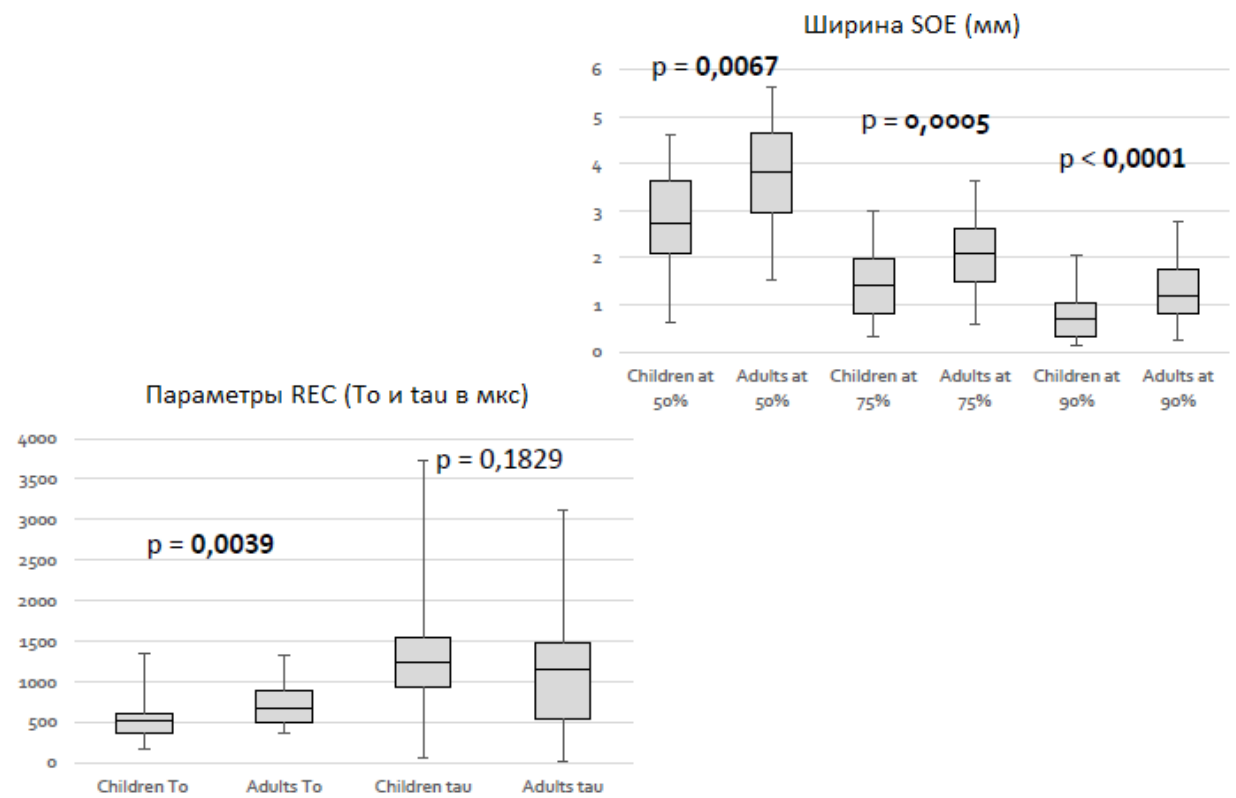
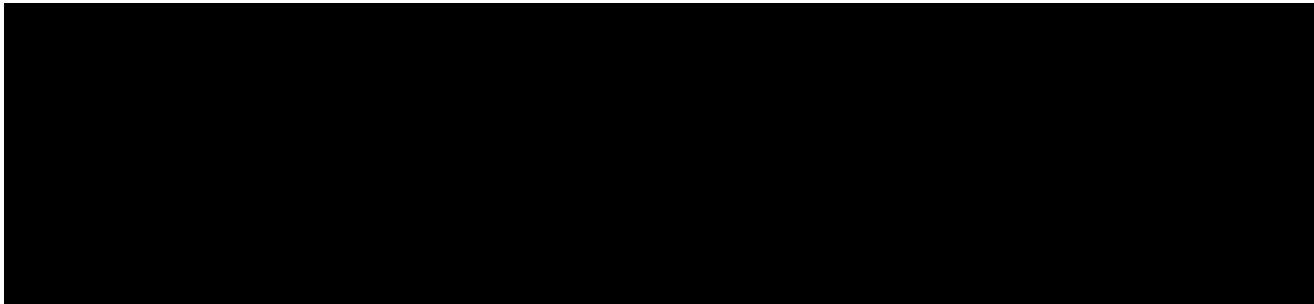
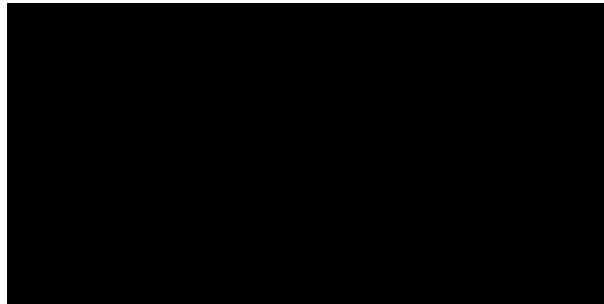


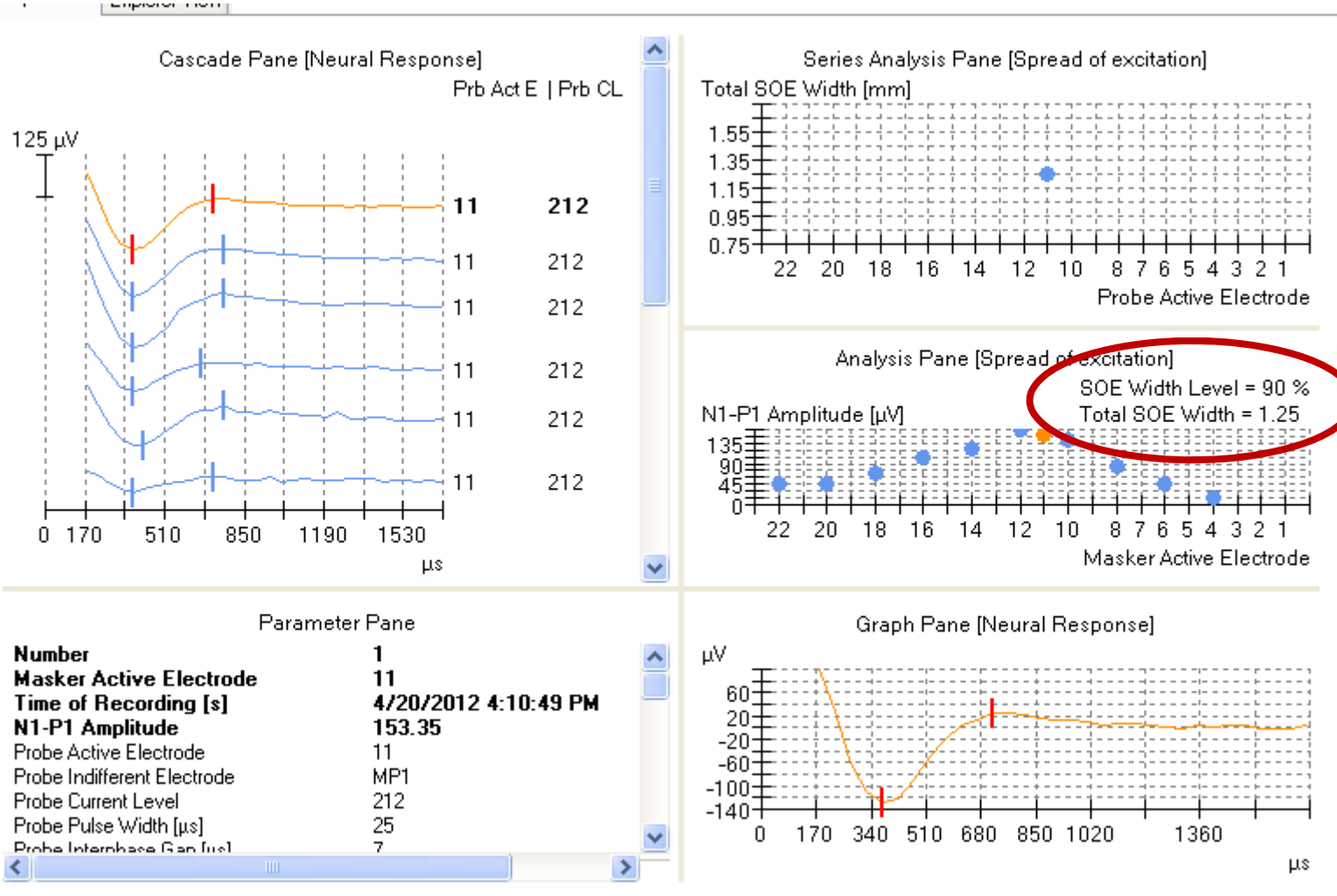
Модель, учитывающая не только порог нейронной реакции, но и физические и физиологические характеристики улитки и нерва

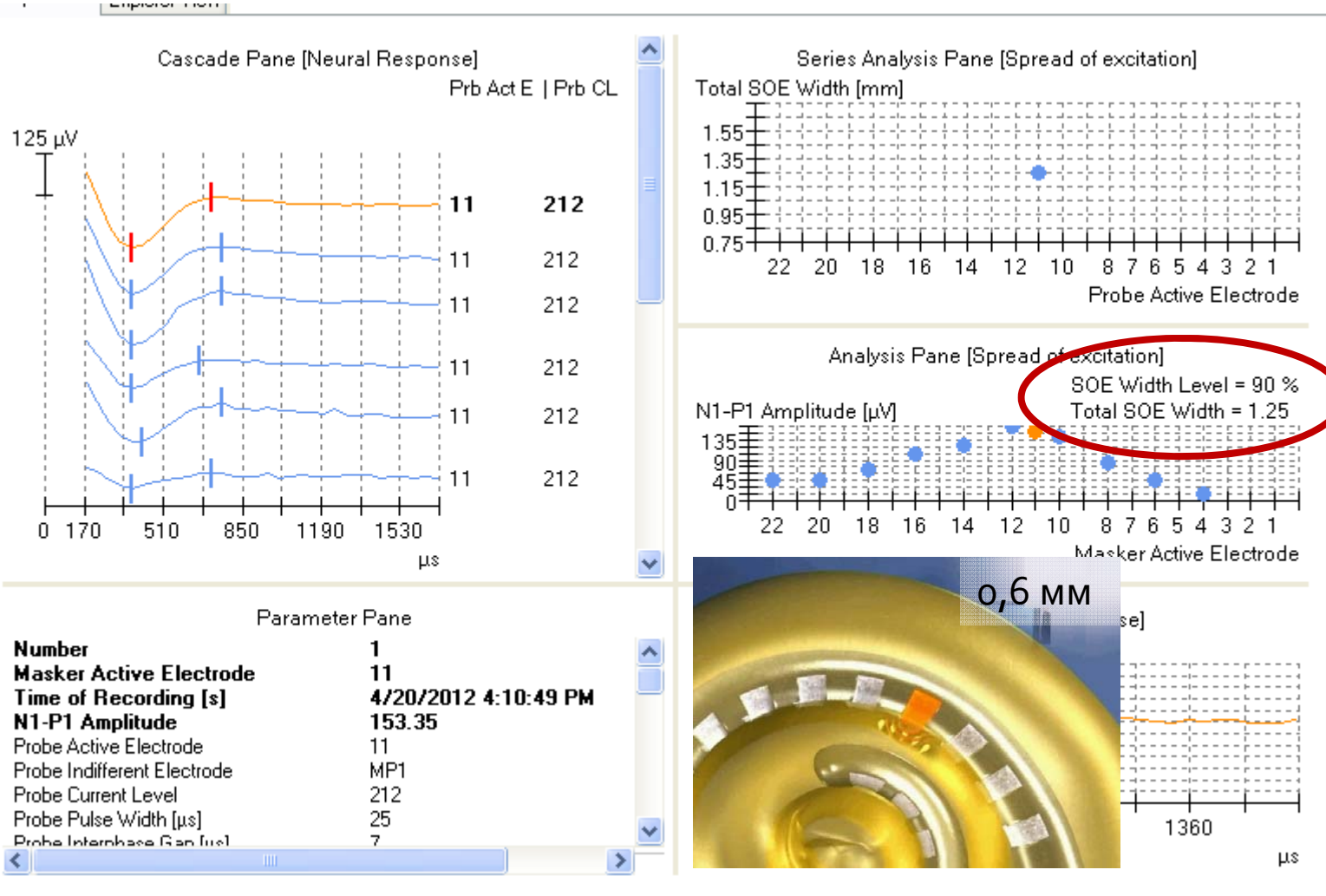
- Предполагается, что связь между минимальными и максимальными уровнями стимуляции и порогами нейронной реакции различна у разных пациентов и на разных электродах и определяется следующими факторами:
 - Время реакции (Botros, Psarros, 2010)
 - Распространение нейронного возбуждения (Goffi-Gomez et al., 2015)
 - Амплитуда реакции

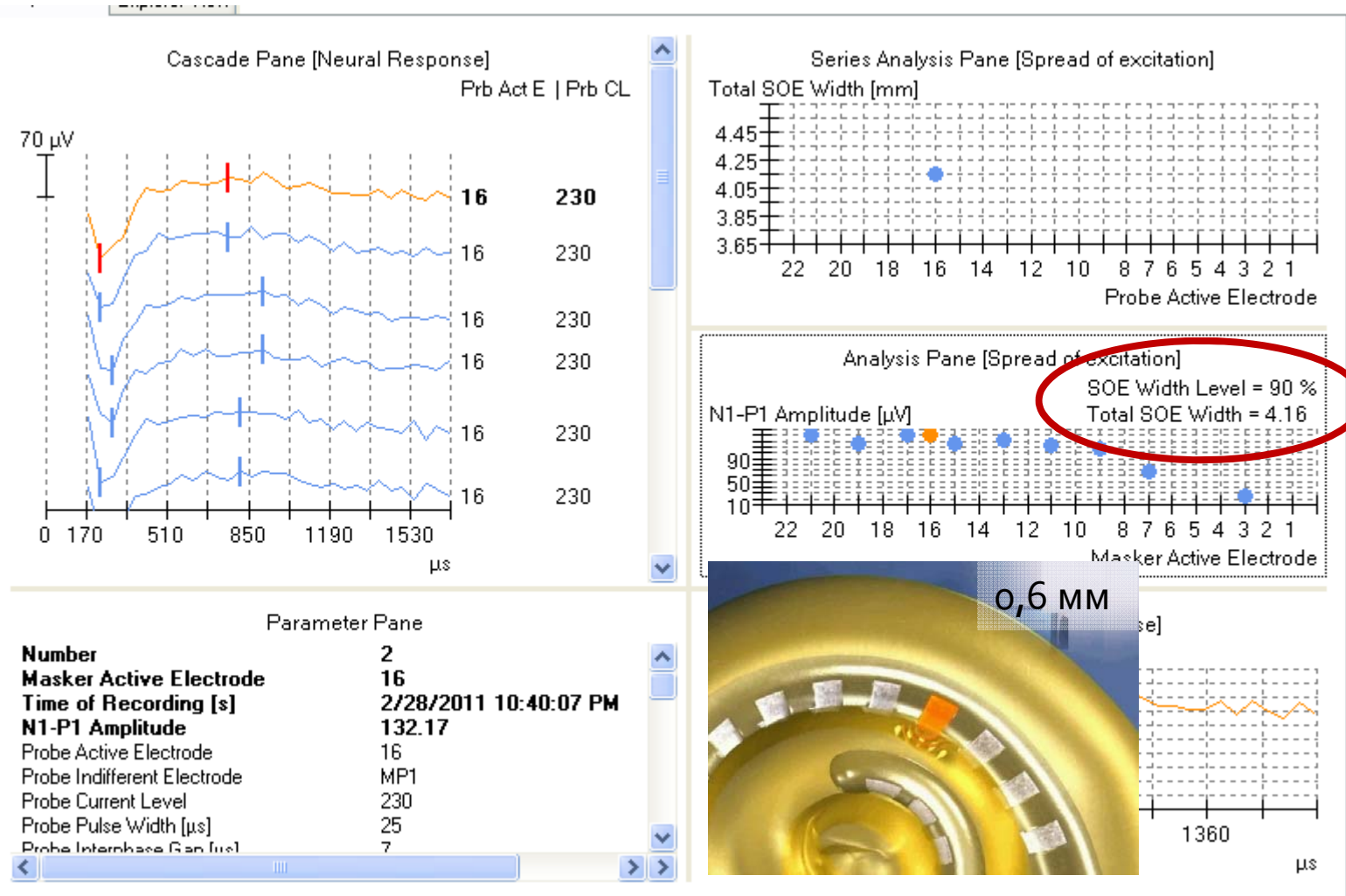
В дополнение к основным процессам, участвующим в формировании ощущения громкости

Распространение нейронного возбуждения





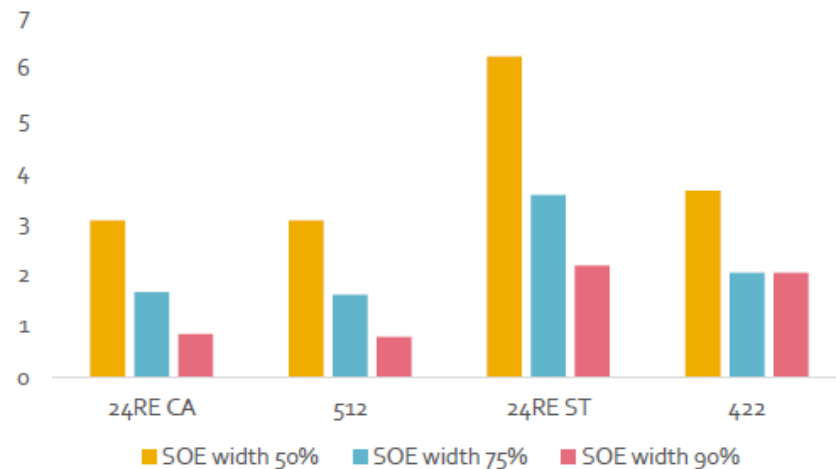




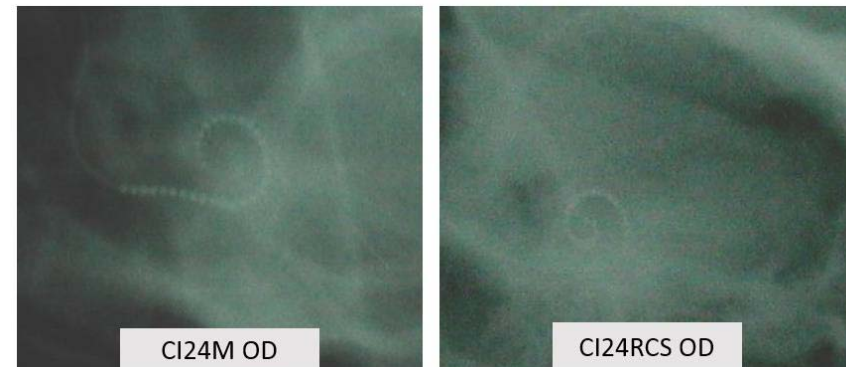
Зависимость ширины SOE от типа электродного массива (прямой или перимодиолярный)

SOE и массивы электродов (дети)

Перимодиолярные массивы
(расстояние между электродами
~0,68 мм)

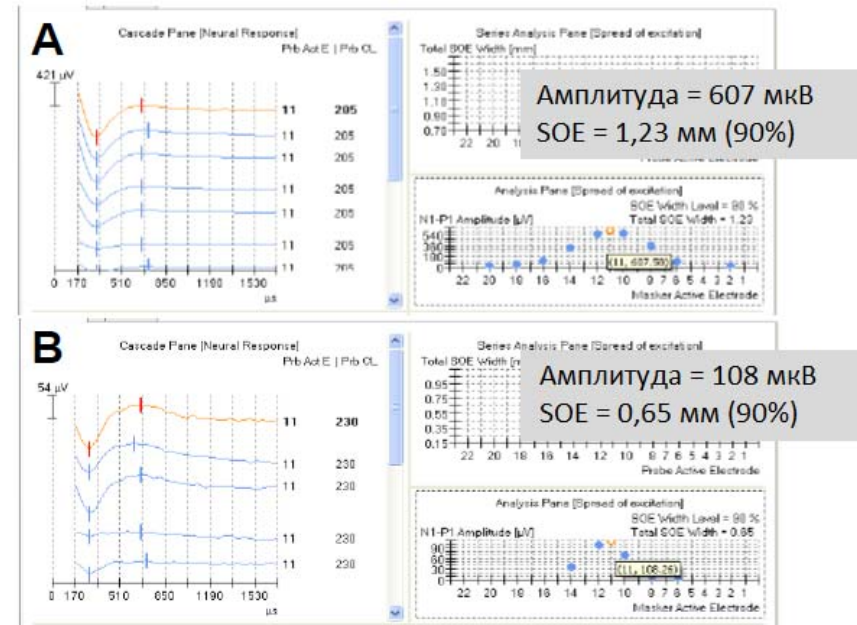


$p < 0,001$

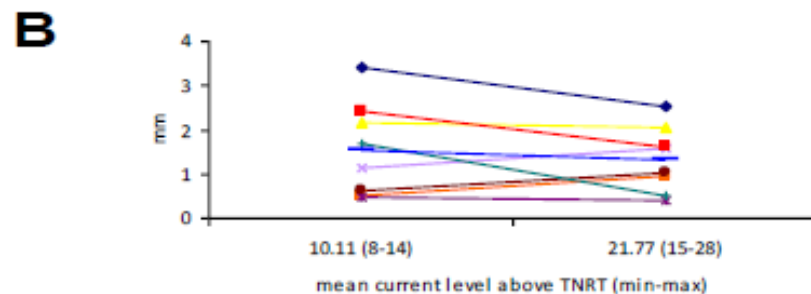
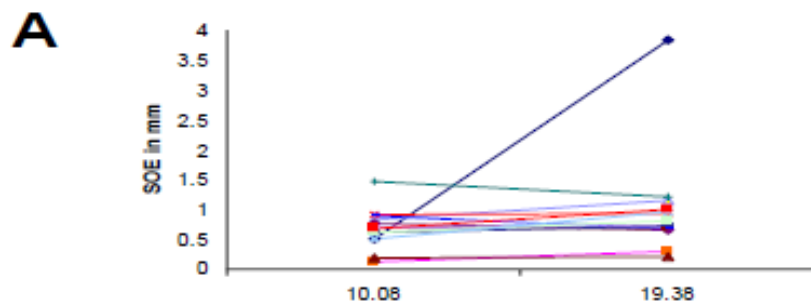


SOE и интенсивность стимула

- SOE прямо пропорционально интенсивности стимула (Hughes, Stille, 2010)
- Однако, НЕ У ВСЕХ пациентов отмечается увеличение дисперсии при повышении тока.



Дети



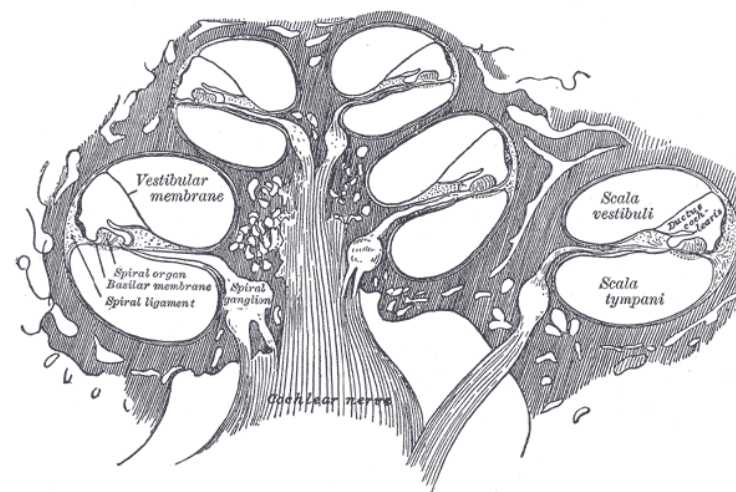
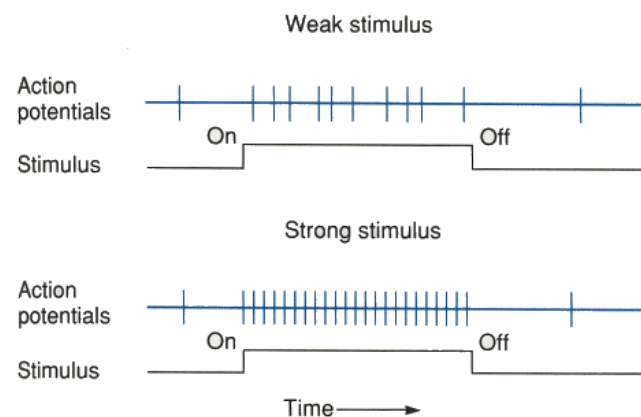
Взрослые

SOE при силе тока на 10 и на 20 единиц выше tNRT

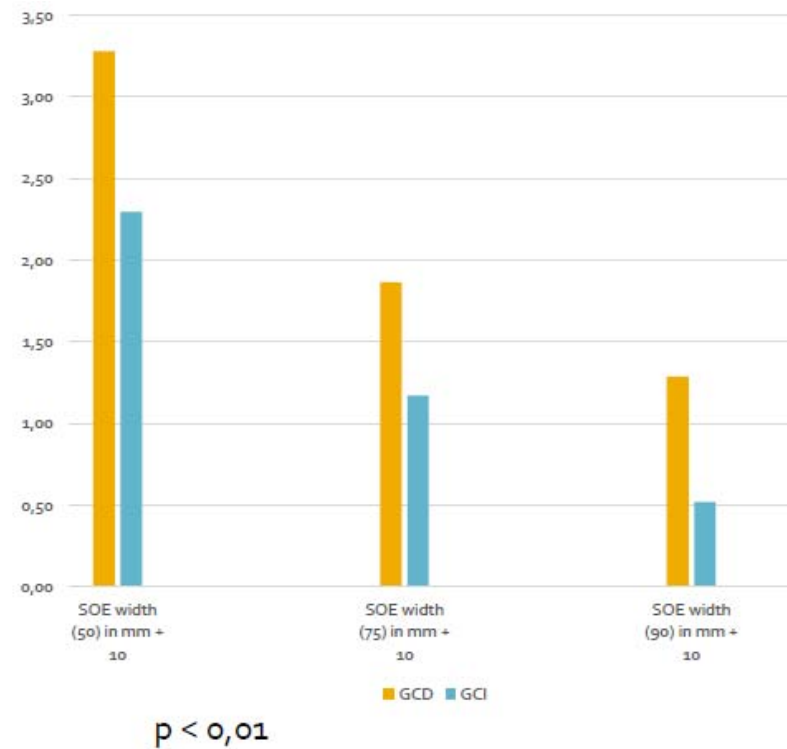
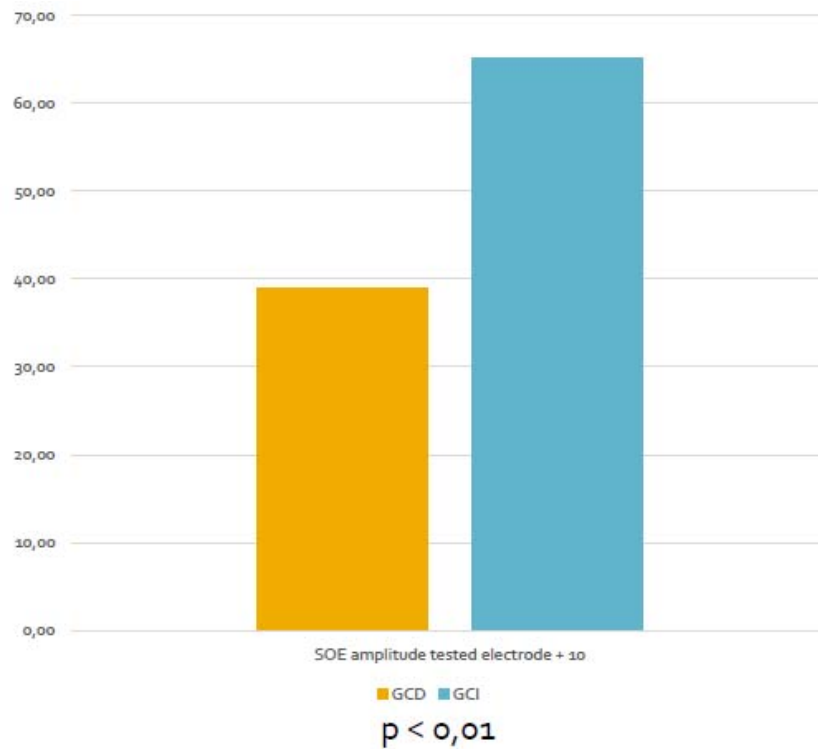
- У некоторых пациентов повышение силы тока играет положительную роль (уменьшение дисперсии)
- У других повышение силы тока сказывается негативно (увеличение дисперсии)

Громкость, сохранность нейронных элементов, амплитуда

- На периферическом уровне слуховой системы громкость пропорциональна числу задействованных ганглиозных клеток и частоте разряда волокон (Botros, Psarros, 2010)
- Амплитуда нейронной реакции также отражает число задействованных волокон



Сравнение детей с увеличением и уменьшением SOE при повышении силы тока



Громкость, сохранность нейронных элементов, амплитуда

- Изучив корреляцию у 57 детей, мы пришли к выводу, что у детей с увеличением и уменьшением SOE, связанным с повышением силы тока, амплитуда статистически различается.
- У детей с уменьшением SOE амплитуда ниже, чем у детей с увеличением SOE, что свидетельствует о худшем состоянии слухового нерва.
- Эти индивидуальные различия необходимо учитывать для оптимизации программирования, особенно у детей, у которых отсутствует достоверная поведенческая реакция.

Выводы

- Верификация оборудования → поиск и устранение неисправностей
- Проверка имплантируемой части → сопротивление
- Верификация уровней стимуляции → NRT, REC и SOE
- Верификация уровней обнаружения звуков → аудиометрия
- Валидация качества при изменении любого из параметров... → информация, поступающая от специалистов по реабилитации, родителей, педагогов...

Благодарность



**Paola Samuel, Ana Tereza Magalhães, Ana Cristina Hoshino,
Bruna Lins, Raquel Lopes Fontenelle и Claudia Colalto**

valeria.goffi@hc.fm.usp.br

Спасибо!