

ФЕНОМЕН УСКОРЕННОГО НАРАСТАНИЯ ГРОМКОСТИ У ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ПАЦИЕНТОВ

С.М. Петров

Медицинский центр ООО «Велес», г. Санкт-Петербург, Россия

ACCELERATED LOUDNESS INCREASE PHENOMENON (RECRUITMENT) IN COCHLEAR IMPLANTED PATIENTS

S.M. Petrov

Medical Center "Veles", St. Petersburg, Russia

Сведения об авторе:

Петров Сергей Михайлович – к.м.н., ст.н.с. (SPIN-код: 5354-7710; AuthorID: 86973). Место работы и должность: врач Медицинского центра ООО «Велес». Адрес: Россия, 192212, г. Санкт-Петербург, ул. Турку, 5/13. Электронная почта: senn2001@mail.ru

Принимая во внимание стратегию обработки интенсивности звука в кохлеарном импланте научный и практический интерес представляет изучение у имплантированных пациентов восприятие интенсивности стимулов с точки зрения оценки их громкости. Ещё на начальном этапе работы по теме кохлеарной имплантации (КИ) у нас возникло предположение, что после операции кохлеарной имплантации у таких пациентов возможно наличие феномена ускоренного нарастания громкости (ФУНГ). С учётом результатов впервые в мире проведённого исследования стапедиального рефлекса на звуковые стимулы у испытуемых после КИ, мы рассмотрели результаты рефлексометрии у пациентов с сенсоневральной тугоухостью периферического типа первой степени, полученные при аналогичных условиях стимуляции-регистрации. В обеих группах пациентов наблюдается сходная картина результатов, что служит указанием на наличие ФУНГа у КИ-пациентов. Механизм ФУНГа, предложенный нами ранее у больных сенсоневральной тугоухостью периферического типа, обсуждается в данной работе при рассмотрении результатов КИ пациентов.

Ключевые слова: кохлеарный имплант, сенсоневральная тугоухость, стапедиальный рефлекс, звуковые стимулы, громкость, воотию, ФУНГ

Принимая во внимание стратегию обработки интенсивности звука в кохлеарном импланте научный и практический интерес представляет изучение у имплантированных пациентов восприятие интенсивности стимулов с точки зрения оценки их громкости. Ещё на начальном этапе работы по теме кохлеарной имплантации (КИ) у нас возникло предположение, что после операции КИ у таких пациентов возможно наличие феномена ускоренного нарастания громкости (ФУНГ) – рекруитмента. Это связано с тем, что кандидаты на операцию КИ – это пациенты с высокой степенью сенсоневральной тугоухости (СНТ), выявить ФУНГ, у которых психоакустическими методами невозможно. Но после операции КИ они начинают слышать пороговые звуки на уровне 40 дБ УЗД, а звуки с УЗД 106 дБ на пороговом уровне дискомфорта. С учётом результатов впервые в мире проведённого

исследования стапедиального рефлекса на звуковые стимулы у испытуемых после операции КИ [1] мы рассмотрели результаты, полученные у пациентов с СНТ периферического типа первой степени при аналогичных условиях стимуляции-регистрации.

Для более прозрачного рассмотрения предлагаемой темы необходимо определить некоторые опорные точки, опираясь на которые мы будем строить наше изложение. В последующем обсуждении мы будем опираться на результаты регистрации стапедиального рефлекса у КИ пациентов на акустические стимулы частотой 1123 Гц, представленные нами ранее [1].

1123 Гц – это центральная частота шестого канала кохлеарного импланта, выбранная для данной статьи из тех соображений, что в норме в области этой частоты интенсивность сигнала, измеренная в дБ УЗД, количественно равна громкости, выражен-

ной в фонах [2, 3], что упрощает понимание материала.

Несколько слов об обработке уровней интенсивности акустических стимулов в кохлеарном импланте. Все импланты обрабатывают звуковой сигнал в определённом диапазоне интенсивности. Этот динамический диапазон звука имеет нижнюю и верхнюю границы. Нижний предел – это триггерный уровень срабатывания процессора. Уровень триггера – это УЗД входного сигнала, при котором вырабатывается электрический стимул с амплитудой, записанной в программе процессора как пороговый уровень. У большинства имплантов триггерный уровень расположен в области 40 дБ SPL. Верхние пределы у разных фирм разные (до 118 дБ УЗД у Neuro). У Med-El он равен 106 дБ УЗД, то есть имплант фирмы Med-El обрабатывает входной сигнал в диапазоне 40-106 дБ УЗД.

Рассмотрим идеальный случай. Примем, что при оптимальной настройке процессора при входном сигнале 40 дБ УЗД пациент воспринимает звук на пороге слышимости. При входном сигнале с уровнем интенсивности 106 дБ УЗД пациент воспринимает звук на пороге дискомфорта с уровнем громкости, равном 106 фонов. Таким образом обрабатываемый динамический диапазон входного акустического сигнала составляет 66 дБ, а диапазон восприятия по громкости от 0 фонов (порог слышимости) до 106 фонов (порог дискомфорта). То есть динамический диапазон входного сигнала, равный 66 дБ преобразуется в динамический диапазон восприятия, равный 106 фонам. Уже это служит указанием на наличие ФУНГа у имплантированных пациентов.

Итак, какие параметры стимуляции, характеристики восприятия звукового сигнала и результаты регистрации стапедиального рефлекса мы имеем у КИ-пациента? Для наглядности в таблице 1 приведены резуль-

таты регистрации стапедиального рефлекса у КИ пациентов на тональный стимул частотой 1123 Гц, полученные нами ранее [1].

Что мы имеем?

– при входном сигнале с УЗД 40 дБ пациент слышит звук пороговой интенсивности и, следовательно, потеря слуха у него составляет 40 дБ;

– электрический максимально комфортный уровень (МКУ) установлен так, что при входном сигнале с УЗД 106 дБ пациент слышит громкие звуки на пороговом уровне дискомфорта с уровнем громкости 106 фонов;

– индивидуальные значения УЗД, при которых регистрируются пороговые рефлексы находятся в пределах 81-97 дБ УЗД. Эти результаты совпадают с результатами, полученными у испытуемых с нормальным слухом [4, 5];

– как видно по нарастанию амплитуды рефлекса, с увеличением интенсивности стимулов [1] громкость входных стимулов линейно увеличивается от пороговых уровней рефлекса до интенсивности 106 дБ УЗД, как это наблюдается в норме и у больных СНТ [6, 7];

– относительный порог стапедиального рефлекса, то есть величина превышения порогового уровня стапедиального рефлекса над порогом слышимости у КИ-пациентов (40 дБ УЗД) находится в пределах от 41,8 до 50,7 дБ. Аналогичные результаты имеются у больных СНТ периферического типа [8].

Из приведенного сравнения результатов имплантированных пациентов и пациентов с СНТ периферического типа первой степени, следует, что при аналогичной совокупности величин порогов слышимости, порогов дискомфорта и параметров стимуляции у больных этих двух групп имеется большое сходство результатов регистрации стапедиального рефлекса.

Таблица 1

Частота стимуляции (Гц), диапазон пороговых УЗД рефлекса (дБ), средний пороговый уровень (дБ УЗД) и относительный порог рефлекса (дБ)

| Частота, Гц | Диапазон пороговых УЗД рефлекса, дБ | Среднее значение пороговых УЗД рефлекса, дБ | Относительный порог рефлекса, дБ |
|-------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| 1123 | 81-97 | 88,4±5,4 | 41,8 - 50,7 |

Такие результаты рефлексометрии у пациентов с СНТ свидетельствуют о наличии у них феномена ускоренного нарастания громкости (ФУНГ) [9], суть которого заключается в том, что у пациентов с односторонней СНТ при равных изменениях уровня интенсивности стимуляции увеличение громкости на стороне поражения происходит быстрее, чем на стороне с нормальным слухом. У имплантированных пациентов так же 66 дБ интенсивности звука распределяются в 106 фонов по громкости, относительные пороги рефлекса одинаковы в двух группах испытуемых и с учётом того, что потери слуха у имплантированных пациентов и больных СНТ имеют одну природу мы можем сделать вывод, что у пациентов после операции КИ, так же как у больных СНТ, имеется феномен ускоренного нарастания громкости.

Ранее мы предложили объяснение механизма ФУНГа у больных СНТ с периферическим поражением звуковоспринимающего аппарата [2]. Мы предположили, что механизм этого феномена объясняется процессами, протекающими в волокнах слухового нерва. Медиаторы от внутренних волосковых клеток изменяют проницаемость мембраны волокон слухового нерва вследствие чего возникает возбуждающий постсинаптический потенциал, который инициирует возникновение потенциалов действия в волокне слухового нерва, далее поступающих в ЦНС. Динамический диапазон одиночных волокон слухового нерва составляет 20-50 дБ по звуку [10, 11], а передача всего слышимого диапазона звукового давления объясняется тем, что по мере увеличения интенсивности звукового сигнала в передачу информации подключаются волокна со всё более высокими порогами срабатывания [2].

Поскольку у КИ-пациентов восприятие звука начинается непосредственно с волокон слухового нерва, в качестве запускающих стимулов выступают электрические импульсы от электродов имплантата, которые также изменяют потенциал покоя дендритов волокон слухового нерва, что инициирует возникновение информативных спайков.

Динамический диапазон единичного волокна по току достигает 10 дБ [12, 13]. У больных СНТ при увеличении интенсивности стимуляции увеличивается ВПСП и в пе-

редачу информации подключаются все более высокопороговые волокна [14]. Аналогичную картину можно предположить у имплантированных пациентов – при увеличении амплитуды импульсов с электродов имплантата в работу также включаются все более высокопороговые волокна, что обеспечивает весь динамический диапазон восприятия тока имплантированными пациентами – до 20 дБ. Таким образом можно объяснить механизм ФУНГа у КИ-пациентов, который проявляется у них после операции. Эти рассуждения приложимы к любому диапазону частот, только использовать их следует с учётом соотношения уровней интенсивности и громкости в данной полосе частот, то есть дБ и фонов, которое различается в разных зонах спектра.

Как известно, в норме индивидуальные пороговые значения рефлекса на звук располагаются в определённом диапазоне интенсивности [4, 5]. Но у испытуемых с нормальным слухом громкость определяется по реальной интенсивности, то есть 106 дБ УЗД в области частот 1000 Гц равны 106 фоном. Иначе обстоит дело у КИ-пациентов – они сами определяют для себя максимальную амплитуду электрических стимулов в каждом канале, при которой они слышат максимально комфортный по громкости звук, то есть эти сигналы они воотию (на собственном ухе – ото) оценивают как свой пороговый уровень дискомфорта. Сигнал такой амплитуды вырабатывается при УЗД входного сигнала 106 дБ. Поскольку пороговый уровень дискомфорта – это субъективная категория [15], то пациенты устанавливают громкость на пороге дискомфорта по собственному усмотрению, и не обязательно на уровне громкости 106 фонов, а может быть ниже или выше.

Естественно, что пороговые уровни рефлекса на звук тоже изменятся. Если пациент установит МКУ по току так, что при входном сигнале 106 дБ УЗД он будет слышать, например, 116 фонов, то пороговый УЗД рефлекса на звук будет ниже по сравнению с описанным нами идеальным пациентом. Если пациент установит МКУ по току так, что при входном сигнале 106 дБ УЗД он будет слышать, например, 96 фонов, то порог рефлекса на звук будет выше по сравнению с

описанным нами идеальным пациентом. При условии нормального состояния среднего уха и рефлекторной дуги пороговый УЗД стапедального рефлекса на звук у КИ-пациентов зависит от положения значения порогового уровня рефлекса данного индивида в границах нормального диапазона пороговых УЗД рефлекса – от минимального – 70 дБ УЗД, до максимального – 100 дБ УЗД [4] и от субъективно установленного в канале максимально-го значения тока, который он по громкости воотию оценивает как МКУ.

На основании представленных результатов можно рассмотреть программы, используемые пациентом в качестве повседневных – рабочих, – выбранных в соответствии с нашей инструкцией [16]. Как правило, при создании конфигурации (4 программы, записанные в процессоре) первая программа создаётся в области пороговых значений стапедального рефлекса. Наше исследование рефлекса на звуковые стимулы проводилось на выбранной родителями рабочей программе – второй, третьей или четвёртой. Выбор программы демонстрирует разные превышения МЭУ над пороговыми уровнями рефлекса. Следует отметить, что при категориальном шкалировании громкости (КШГ) воотию [17] разные испытуемые давали оценку громкости уровней тока в районе порога рефлекса как «громко» или «хорошо». По рефлексам на звук можно объяснить выбор ребёнком рабочей программы. Если порог рефлекса низок по УЗД и оценка громкости при КШГ «хорошо», то они выбирают рабочей программой третью или четвёртую. А если порог рефлекса по УЗД высок и оценка громкости при КШГ «громко», то программу 1-2. Следовательно, нельзя забывать о субъективной установке уровня тока, который они воотию оценивают по громкости как порог дискомфорта. Этот вопрос требует дополнительного исследования.

В качестве иллюстрации рассмотрим минимальные и максимальные значения пороговых УЗД рефлекса. Пороговая величина 73 дБ УЗД может быть получена по двум причинам: либо это минимальное значение в диапазоне нормальных пороговых величин рефлекса (70-100 УЗД), либо МКУ громкости установлен при громкости более 106 фонов. Возможно и совместное влияние этих двух

причин. При рассмотрении порога при 97 дБ УЗД также можно предположить, что это либо нормальный верхний предел диапазона пороговых значений рефлекса, либо в данном канале МКУ громкости установлен при громкости менее 106 фонов. Идеально было бы провести тест Фаулера у КИ-пациентов с нормальным слухом на одной стороне и имплантом на другой, но, к сожалению, у нас нет пока такой возможности.

Если взглянуть на все наши результаты регистрации порогов рефлекса у КИ-пациентов, то из 24 регистраций только в двух случаях пороговые уровни рефлекса (97 и 101 дБ УЗД) близки к максимально комфортным УЗД (106 дБ УЗД), в остальных ниже, причём у разных пациентов на разные величины тока, иногда значительно ниже. Эти результаты ещё раз подтверждают положение, что пороговые уровни рефлекса нельзя использовать как МКУ громкости оптимальной – рабочей – программы.

Аналогичная картина: 1) разброса пороговых УЗД рефлекса; 2) меньших, чем в норме, относительных порогов рефлекса и 3) линейного увеличения амплитуды рефлексов от пороговых величин до максимальных при 106 УЗД наблюдается и в НЧ и ВЧ каналах. Следовательно, ФУНГ там тоже имеется, но следует помнить, что соотношение УЗД в дБ и уровней громкости в фонах отличается от средних частот.

На основании обсуждения результатов проведённого исследования стапедального рефлекса на акустические стимулы у имплантированных пациентов [1] можно сделать вывод о наличии у них феномена ускоренного нарастания громкости. Пороговый УЗД стапедального рефлекса на звук и степень рекруитмента зависят от УЗД, который пациент субъективно воотию оценивает как максимальный комфортный уровень громкости звука.

Выводы

1. После операции кохлеарной имплантации у пациентов обнаруживается ФУНГ, механизм которого заложен в дендритах волокон слухового нерва.

2. Весь диапазон восприятия тока от порога слышимости до порога дискомфорта (до 20 дБ) обеспечивают волокна слухового нерва с разными порогами срабатывания.

3. Одним из факторов, определяющим величину порогового УЗД стапедального рефлекса на звук у КИ-пациентов, является

субъективно установленный в канале максимальный уровень тока, который пациент во-отною оценивает как МКУ громкости звука.

Литература:

1. Петров С.М. Стапедальный рефлекс на акустические стимулы у имплантированных пациентов. *Chronos*. 2022; 9 (71): 10-15.
2. Петров С.М. Нарушение восприятия интенсивности стимулов при периферическом поражении звуковоспринимающего аппарата. *Физиология человека*. 1995; 21 (4): 167-170.
3. Fletcher H., Munson W.A. Loudness, its definition, measurement and calculation. *Journal of the Acoustical Society of America*. 1933; 5: 82-108.
4. Лопотко А.И. Некоторые характеристики акустического мышечного рефлекса в норме и при патологии органа слуха. *Журнал ушных, носовых и горловых болезней*. 1977; 2: 39-41.
5. Гельфанд С.А. Слух: введение в физиологическую и психологическую акустику. М: Медицина, 1984. 350 с.
6. Silman S., Popelka G. R., Gelfand S. Effect of sensorineural hearing loss on acoustic stapedius reflex growth functions. *JASA*. 1978; 64 (5): 1406-1411.
7. Кочкин Р.В. Импедансная аудиометрия. 2006. 48 с.
8. Альтман Я.А., Таварткиладзе Г.А. Руководство по аудиологии. М: ДМК-Пресс, 2003. 360 с.
9. Благовещенская Н.С. Феномен ускоренного нарастания громкости и критический анализ трактовки его возникновения. *Вестник оториноларингологии*. 1985: 1: 21-24.
10. Sachs M.B., Abbas P.J. Rate versus level functions for auditory-nerve fibers in cats: tone burst stimuli. *J. Acoust. Soc. Amer.*, 1974; 56: 1835-1847.
11. Smith R.L., Brachman M.L. Operating range and maximum response of the single auditory nerve fibers. *Brain Res.* 1980; 184 (5): 499-505.
12. Kiang N.Y.S., Moxon E.C. Physiological consideration in artificial stimulation of the inner ear. *Annals Otol.* 1972; 81 (5): 715-730.
13. Shepherd R K, Javel E. Electrical stimulation of the auditory nerve. I. Correlation of physiological responses with cochlear status. *Hear Res.* 1997: 108 (1-2): 112-144.
14. Katsuki Y., Suga N., Kanno Y. Neural mechanism of the peripheral and central auditory system in monkeys. *JASA*. 1962; 34 (8-2): 1396-1410.
15. Knobel K.A.B., Sanchez T.G. Loudness discomfort level in normal hearing individuals. *Pro Fono*. 2006; 18 (1): 31-40.
16. Петров С.М., Цюк А.А. Памятка по кохlearной имплантации для аудиологов и родителей имплантированных пациентов 2021. ISBN-13: 978-620-3-30704-7
17. Петров С.М. Способ шкалирования громкости для настройки кохlearных имплантов и слуховых аппаратов. *Школа Науки*. 2021; 10 (47): 24-27.

ACCELERATED LOUDNESS INCREASE PHENOMENON (RECRUITMENT) IN COCHLEAR IMPLANTED PATIENTS

S.M. Petrov

Medical Center "Veles", St. Petersburg, Russia; senn2001@mail.ru

Abstract:

Taking into account the strategy of processing sound intensity in a cochlear implant, it is of scientific and practical interest to study the perception of the intensity of stimuli in implanted patients from the point of view of assessing their loudness. Even at the initial stage of work on the topic of cochlear implantation (CI), we had an assumption that after CI surgery, such patients may have the phenomenon of accelerated loudness increase - recruitment. Taking into account the results of the world's first study of the stapedial reflex to sound stimuli in subjects after CI, we examined the results of patients with peripheral sensorineural hearing loss (SNHL) of the first degree obtained under similar conditions of stimulation-registration. In both groups of patients, a similar pattern of results is observed, which serves as an indication of the presence of a recruitment in CI patients. The recruitment mechanism, proposed by us earlier in patients with (SNHL) of peripheral type is discussed in this paper when considering the results of CI patients.

Keywords: cochlear implant, sensorineural hearing loss, stapedial reflex, sound stimuli, loudness, recruitment

Финансирование: Данное исследование не имело финансовой поддержки.
Financing: The study was performed without external funding.

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

Статья поступила / Article received: 11.03.2023. Принята к публикации / Accepted for publication: 16.04.2023.

Для цитирования: Петров С.М. Феномен ускоренного нарастания громкости у имплантированных пациентов. *Академический журнал Западной Сибири*. 2023; 19 (2): 36-40. DOI: 10.32878/sibir.23-19-02(99)-36-40

For citation: Petrov S.M. Accelerated loudness increase phenomenon (recruitment) in cochlear implanted patients. *Academic Journal of West Siberia*. 2023; 19 (2): 36-40. (In Russ) DOI: 10.32878/sibir.23-19-02(99)-36-40