

Регистрация стационарных слуховых потенциалов у пациентов с кохлеарными имплантами

А.В. Пашков^{1,2*}, И.В. Наумова¹, И.В. Зеленкова¹, Ю.Ю. Русецкий², К.И. Воеводина²

¹Научно-исследовательский институт педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН, Москва,

²ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» УД Президента РФ, Москва

Auditory steady-state responses in CI users

A.V. Pashkov^{1,2*}, I.V. Naumova¹, I.V. Zelenkova¹, Yu.Yu. Rusetsky², K.I. Voevodina²

¹The Research Institute of Pediatrics and Children's Health of the Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,

²Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russia

E-mail: avpashkov.mail@gmail.com

Аннотация

Авторами был разработан способ настройки процессора системы кохлеарной имплантации на акустические стимулы, который позволяет объективно определить пороги звуковосприятия, что является одним из критериев эффективности настройки.

Цель исследования: выявление корреляции между поведенческими порогами (тональная аудиометрия в свободном звуковом поле) и порогами регистрации стационарных слуховых потенциалов мозга на акустическую стимуляцию у пациентов с глухотой после операции кохлеарной имплантации. **Материалы и методы.** Проведено сравнение поведенческих порогов звуковосприятия в свободном звуковом поле с порогами регистрации стационарных слуховых потенциалов у 53 пациентов.

Результаты. Выявлена корреляция значений психофизических (субъективных) и электрофизиологических (объективных) порогов звуковосприятия на основных речевых частотах. **Выводы.** Применение метода регистрации стационарных слуховых потенциалов на акустические стимулы у пациентов с КИ (кохлеарной имплантацией) позволяет рекомендовать данную методику для практического здравоохранения.

Ключевые слова: глухота, кохлеарная имплантация, диагностика слуха.

Abstract

The authors developed a method for tuning the processor of the cochlear implantation system to acoustic stimuli, which allows to objectively determine the thresholds of sound perception, which is one of the criteria for tuning efficiency. **Purpose:** to identify the correlation between behavioral thresholds (pure tone audiometry in a free field) and steady-state response thresholds on acoustic stimulation in patients with deafness after cochlear implantation. **Material and methods:** behavioral hearing thresholds and steady-state thresholds on acoustic stimuli was compared in 53 patients. **Results:** the correlation of the values of psychophysical (subjective) and electrophysiological (objective) thresholds of sound perception at the basic speech frequencies was revealed. **Conclusion:** the application of the method of recording steady-state evoked potentials to acoustic stimuli in patients with CI makes it possible to recommend this technique for practice.

Key words: deafness, cochlear implantation, hearing diagnostics.

Ссылка для цитирования: Пашков А.В., Наумова И.В., Зеленкова И.В., Русецкий Ю.Ю., Воеводина К.И. Регистрация стационарных слуховых потенциалов у пациентов с кохлеарными имплантами. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2021; 2: 24-28.

Настройка процессора системы кохлеарной имплантации с формированием программы восприятия звуковой информации у пациентов, перенесших операцию кохлеарной имплантации (КИ), очень важен для качественной реабилитации и развития навыков звуковосприятия и речи в послеоперационном периоде. В связи с расширением показаний для проведения кохлеарной имплантации пациентам с глухотой, количество пользователей КИ увеличивается, в том числе за счет маленьких

детей, начиная с 6-месячного возраста, и лиц с сочетанной неврологической патологией. Пациенты вышеуказанных групп, как правило, не способны дать надежной поведенческой обратной связи, в связи с чем необходимы внедрение в широкую практику существующих тестов и разработка новых технологий объективной (т.е. не зависящей от ответной реакции пациента) оценки уровней электростимуляции слухового нерва у пациентов с КИ [1, 2].

Наиболее часто встречающимися техниками объективной оценки уровней электростимуляции слухового нерва кохлеарным имплантатом являются регистрация электрически вызванного стапедиального рефлекса (ESRT) и регистрация потенциала действия (ПД) слухового нерва (eCAP). В первом случае индикатором правильной электростимуляции слухового нерва является непроизвольное сокращение стремянной мышцы в ответ на стимулицию (регистрируют посредством акустического импедансометра) [3]. Электрически вызванный ПД слухового нерва (Evoked Compound Action Potentials – eCAP) является синхронизированным ответом, формируемым группой электрически активных нервных волокон слухового нерва (СВ). В настоящее время современные кохлеарные имплантаты имеют модуль телеметрии, который может позволить выполнить «ближнепольную» (через катушку системы КИ) регистрацию eCAP с использованием интракохлеарных электродов. По сравнению с иными электрофизиологическими измерениями eCAP имеет несколько преимуществ, которые делают его полезным для аудиологов и специалистов, исследующих слуховую функцию. Во-первых, измерение eCAP у пациентов с кохлеарной имплантацией не требует дополнительного оборудования и внешнего регистрирующего электрода; исследование проводят с помощью программатуры системы кохлеарной имплантации. Во-вторых, реальный итог исследования не зависит от общего состояния пациента, что является достаточно важным преимуществом для работы с детьми. Кроме того, полученные нами данные отличаются стабильностью у пациентов с кохлеарными имплантатами и поэтому могут служить надежным указателем изменений. Электрические стимулы, которые подаются от КИ, воспринимаются и кодируются слуховым нервом, а затем передаются на более высокие слуховые нейронные структуры. Теоретически способность СВ правильно кодировать и обрабатывать электрические стимулы должна быть важной для результатов кохлеарной имплантации. Как показывают некоторые исследования, физиологический статус (т.е. количество и чувствительность нейронов) слухового нерва может имезнанчить важное для результатов КИ, поскольку eCAP позволяет оценить данные параметры слухового нерва. Функция телеметрии стала материально доступной для записи eCAP в 1998 г., когда производитель систем КИ Cochlear (Австралия) использовал телеметрию с использованием двусторонней линии передачи данных в кохлеарном имплантате Nucleus CI24 (Neural Response Telemetry - NRT). В 2001 г. производитель Advanced Bionics (США) включил возможность телеметрии в свои устройства (Neural

Response Imaging - NRI). Модуль телеметрии от производителя систем КИ MED-EL (Австрия) (Auditory Response Telemetry - ART) начали широко применять в 2007 г. С 2020 г. в РФ зарегистрирована система КИ от производителя Oticon – Neuro 2, которая также оснащена технической возможностью регистрации eCAP.

Возможной альтернативой объективно регистрировать пороги восприятия звуков на различных речевых частотах (500 – 4000 Гц) может являться метод регистрации стационарных слуховых потенциалов на акустические стимулы, подаваемые через акустические громкоговорители к активированному процессору КИ [4]. Тест регистрации стационарных слуховых потенциалов (Auditory Steady State Response - ASSR) используют для регистрации частотно-специфических порогов слуха, как правило, у детей раннего возраста [5, 6]. Ответ ASSR (на предъявляемые акустические стимулы) представляет собой синхронизированный по фазе, происходящий из разных областей слухового пути (в зависимости от частоты модуляции) продукт общей нейронной активности. У субъектов с нормальным слухом синхронизированная активность, отраженная на ASSR, до частот модуляции 80-120 Гц преимущественно происходит из верхней части ствола мозга, тогда как синхронизированная активность с частотами модуляции в диапазоне 30-60 Гц возникает как из кортикальной, так и из подкорковой областей [7]. Синхронизированная активность с частотами модуляции <20 Гц происходит преимущественно из слуховой коры. Частота модуляции, используемая для получения порогов ASSR, имеет большое значение. У нормально слышащих неспящих взрослых большинство регистрируемых ответов вызываются частотами модуляции около 40 Гц. Предполагается, что 40 Гц ASSR является результатом наложения (суперпозиции) переходных среднелатентных ответов и происходит от нескольких генераторов. Источником ответа 40 Гц являются области слуховой коры, таламуса и ствола мозга. Однако амплитуда ответа 40 Гц ASSR уменьшается во время анестезии и сна и отсутствует у детей первого десятилетия жизни из-за незрелости. Поэтому в клинической практике у детей применяют ASSR, которые генерируются стволом мозга (80-100 Гц), поскольку они не связаны с созреванием или состоянием возбуждения [7].

Целью нашей работы было определение корреляции порогов регистрации стационарных слуховых потенциалов у пациентов с кохлеарными имплантатами на акустическую стимуляцию и поведенческих порогов звуковосприятия в свободном звуковом поле.

Материалы и методы

В настоящее исследование были включены 53 субъекта ($n=53$) с двусторонней сенсоневральной глухотой ($n=74$ уха), из них 30 мальчиков ($n=30$), 23 девочки ($n=23$), находящихся под наблюдением в Научно-исследовательском институте педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН. Возраст исследуемых составлял от 6 до 16 лет ($Me=12.5$). Всем детям ранее была проведена кохлеарная имплантация (двусторонняя последовательная – 15 пациентам, односторонняя – 38 пациентам). Опыт пользования системой кохлеарной имплантации составлял более года у всех испытуемых. Участие в исследовании предполагало обязательное наличие подписанныго информированного согласия от законных представителей всех испытуемых.

Оценку взаимосвязи между поведенческими и электрофизиологическими (объективными) порогами проводили путем сравнения результатов тональной пороговой аудиометрии и ответов, полученных при регистрации ASSR, на акустическую стимуляцию в свободном звуковом поле.

Для определения поведенческих порогов всем испытуемым проводили тональную пороговую аудиометрию с речевым процессором в свободном звуковом поле с помощью клинического аудиометра Interacoustics AC40 на частотах 500, 1000, 2000, 4000 Гц. Акустическую стимуляцию предъявляли в стандартном режиме, с применением громкоговорителя SP-90 (входная мощность 40 – 80 Вт), частотный диапазон 125 – 8000 Гц, максимальный уровень звукового давления до 100 дБ, расположенного под углом 45° на расстоянии 1 м от микрофона речевого процессора. Уровень фонового шума не превышал 60 дБ.

Регистрацию ASSR осуществляли с помощью системы регистрации слуховых вызванных потенциалов Нейро-Аудио (производитель – Нейро-софт, Россия). Применяемый метод – мультичастотная регистрация ASSR (число записывающих каналов 2). В качестве типа стимула использовали частотно-специфический Chirp - стимул. Частотная модуляция 90 Гц, глубина частотной модуляции 20%, амплитудной – 100%. Фильтр ЭЭГ-активности 10 – 300 Гц. Монтаж электродов проводили по традиционной схеме: заземляющий электрод – нижняя область лба, центральный – на границе волосистой части лба по средней линии, отрицательные электроды – на сосцевидных отростках. Подачу стимула осуществляли в свободном звуковом поле. Источником звуковой стимуляции являлась мультимедийная акустическая система 2.0 SVEN® SPS-608 (выходная мощность 6 Вт, частотный диапазон 75 – 20 000 Гц, максимальный уровень звукового давления до 100 дБ),

расположенная на расстоянии 1 м от микрофона речевого процессора. Исследование проводил один исследователь в одних и тех же акустических условиях на одном и том же оборудовании. Для регистрации ответов ASSR с подачей стимула в свободном звуковом поле была проведена модификация используемого оборудования, изменен вход для громкоговорителя – он был калиброван с помощью программного обеспечения, входящего в стандартную модификацию системы регистрации вызванных потенциалов Нейро-Аудио. Во время регистрации стационарных слуховых потенциалов с речевым процессором испытуемый находился в состоянии естественного сна или спокойного бодрствования. Начальный уровень стимуляции составлял 50 дБ над порогом слуха (нПс) на традиционных несущих частотах 500, 1000, 2000 и 4000 Гц.

Для статистического анализа использовалась программа IBM © Статистический пакет социальных наук (SPSS Statistics New Seas Subscription) © версия 25.0.0. Проводилось описательное исследование значений, полученных обоими методами. Для проверки гипотезы о принадлежности выборок нормальному распределению использовали вычисление критерия согласия Колмогорова–Смирнова, для уровня статистической значимости $p = 0.05$.

Для поиска корреляции между значениями, полученными с помощью тональной пороговой аудиометрии, и ответов, полученных при регистрации ASSR, применяли непараметрический тест ранговой корреляции Спирмена. Для проверки различий между выборками использовали критерий знаковых рангов Вилкоксона. Для установления тесноты корреляционной связи между показателями поведенческих порогов и порогов ASSR использовали вычисление коэффициента корреляции. Тесноту корреляции определяли по шкале Чеддока.

Результаты и обсуждение

В результате сравнения поведенческих порогов и физиологических ответов ASSR с речевым процессором на акустическую стимуляцию в свободном звуковом поле установлено наличие взаимосвязи на всех исследуемых частотах (см. таблицу).

Наиболее сильная линейная зависимость между величинами пороговых значений в свободном звуковом поле и пороговых значений ASSR выявлена на частотах 500 – 4000 Гц (рис. 1 – 4). На частотах 1000 – 2000 Гц и теснота корреляционной связи определена как средняя (см. рис. 2–3).

Установленная в результате проведенного исследования тесная корреляционная взаимосвязь между поведенческими порогами в свободном звуковом поле и пороговыми значениями ASSR у

Таблица

Теснота корреляции между значениями поведенческих порогов в свободном звуковом поле и порогами ASSR

Частота, Гц	$m \pm \sigma$ среднее значение порогов ASSR, дБ нПс	$m \pm \sigma$ среднее значение поведенческих порогов, дБ нПс	r коэффициент корреляции	Оценка тесноты корреляционной связи
500	42.0 ± 9.4	37.9 ± 5.8	0.7	Высокая
1000	43.3 ± 5.6	36.8 ± 5.1	0.5	Средняя
2000	33.5 ± 5.9	33.9 ± 5.9	0.6	Средняя
4000	37.7 ± 8.8	37.0 ± 5.4	0.9	Очень высокая

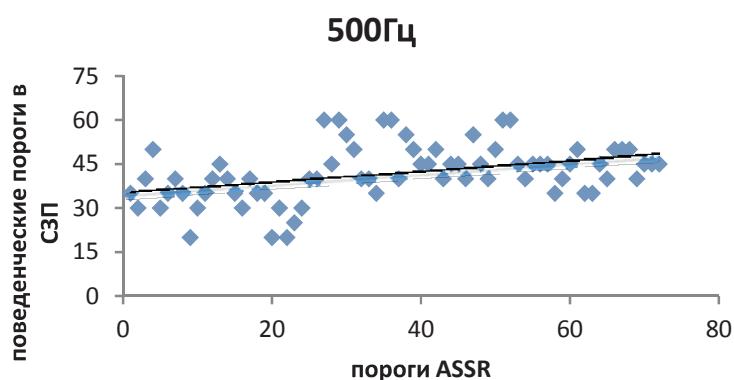


Рис. 1. Линейная функция для значений поведенческих порогов в свободном звуковом поле и порогов ASSR на частоте 500 Гц.

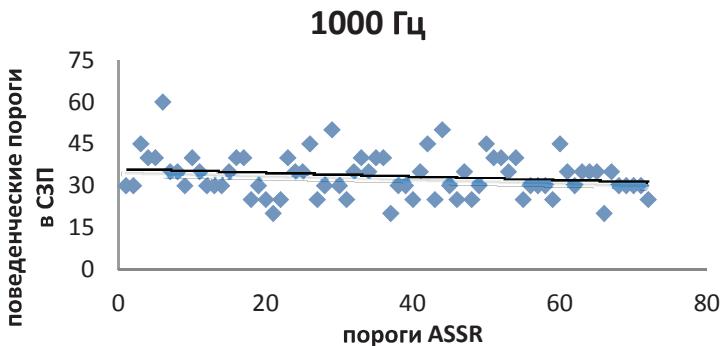


Рис. 2. Линейная функция для значений поведенческих порогов в свободном звуковом поле и порогов ASSR на частоте 1000 Гц.

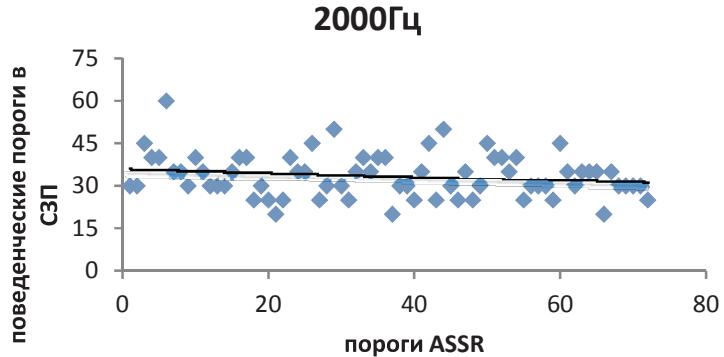


Рис. 3. Линейная функция для значений поведенческих порогов в свободном звуковом поле и порогов ASSR на частоте 2000 Гц.

пациентов — пользователей КИ позволяет считать исследование перспективным. Однако получен-

ные результаты являются предварительными. Для убедительного подтверждения гипотезы требуется

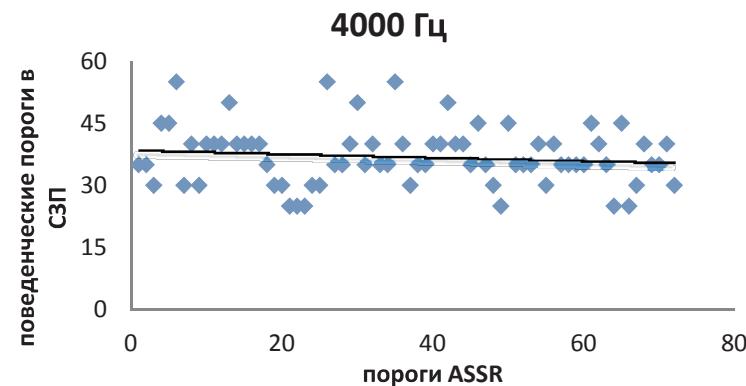


Рис. 4. Линейная функция для значений поведенческих порогов в свободном звуковом поле и порогов ASSR на частоте 4000 Гц.

продолжение исследования на большем числе испытуемых.

Заключение

Нами получены данные, показывающие возможность использования результатов регистрации ASSR на тональные стимулы в свободном звуковом поле у пациентов с кохлеарным имплантом как аналог тональной пороговой аудиометрии с КИ у пациентов младшего возраста, что может быть информативно в начальном периоде слухоречевой реабилитации или при неочевидных результатах. Также данное исследование может быть востребовано при проведении экспертизы, например, при потребности в объективной верификации порогов звуковосприятия. Уникальным свойством данного способа диагностики является возможность оценки целостности системы КИ, начиная с микрофона процессора (восприятие тональных сигналов), заканчивая структурами слухового анализатора, генерирующими стационарные слуховые потенциалы, т.е. мы можем видеть функционирование системы «процессор - имплант - слуховой нерв - генератор ответа ASSR (в зависимости от значений модуляции)».

По результатам данного исследования выявляется положительная корреляция порогов ASSR и порогов тональной аудиометрии на тональные стимулы в свободном звуковом поле. Наличие зарегистрированных ответов ASSR является критерием звуковосприятия через процессор КИ.

Поскольку в исследование были включены результаты, полученные у пациентов с удовлетворительными настройками процессора (подтвержденными результатами тональной аудиометрии), необходимы дальнейшие исследования по оценке чув-

ствительности метода к некорректным настройкам процессора (например, недостаточной электростимуляции), что может быть в перспективе использовано как один из индикаторов эффективности кохлеарной имплантации. 0.3766/jaaa.21.8.5

Литература

1. McKay C. M. et al. Can ECAP measures be used for totally objective programming of cochlear implants? //Journal of the Association for Research in Otolaryngology. – 2013. – V. 14. – №. 6. – P. 879-890. doi: 10.1007/s10162-013-0417-9.
2. Van Der Beek F. B., Briaire J. J., Frijns J. H. M. Population-based prediction of fitting levels for individual cochlear implant recipients//Audiology and Neurotology. – 2015. – V. 20. – №. 1. – P. 1-16. doi: 10.1159/000362779.
3. Даихес Н. А. и др. Модифицированный способ регистрации стапедиального рефлекса у имплантированных пациентов при настройке речевого процессора //Российская оториноларингология. – 2007. – V. 3. – P. 19-21. [Daikhes N.A. and others. Modified method for recording the stapedial reflex in implanted patients during fitting the speech processor //Russian otorhinolaryngology. – 2007. – V.3. – P.19-21. In Russian].
4. Пашков А. В. и др. Способ настройки речевого процессора системы кохлеарной имплантации. – 2018. [Pashkov A.V. et al. The method of fitting the speech processor of the cochlear implantation system. – 2018. In Russian].
5. Даихес Н. А. и др. Способ определения оптимальных параметров слухопротезирования. – 2011. [Daikhes N.A. et al. The method for determining the optimal parameters of hearing aid fitting. – 2011. In Russian].
6. Наумова И. В., Гадалева С. В., Пашков А. В. Стационарные слуховые потенциалы. Обзор литературы //Российская оториноларингология. – 2018. – №. 3. – P. 115-129. [Naumova I.V., Gadaleva S.V., Pashkov A.V. Auditory steady-state responses. Literature Review // Russian otorhinolaryngology. -2018. - №.3. - P. 115-129. In Russian].
7. Van Maanen A., Stapells D. R. Multiple-ASSR thresholds in infants and young children with hearing loss //Journal of the American Academy of Audiology. – 2010. – V. 21. – №. 8. – P. 535-545. doi: 0.3766/jaaa.21.8.5.