

УДК 616.283.1-089.843:612.858.8

<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-4-66-72>

Некоторые особенности регистрации потенциала действия слухового нерва у пациентов с кохлеарными имплантами

В. И. Пудов¹, Н. В. Пудов²

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха горла носа и речи, Санкт-Петербург, 190013, Россия

² Родительское объединение «Я слышу мир», Санкт-Петербург, 195299, Россия

Регистрация потенциала действия слухового нерва в настоящее время широко используется в клинической практике для объективной настройки параметров речевого процессора у пациентов с кохлеарными имплантами. По данным разных авторов, коэффициент корреляции между потенциалом действия слухового нерва и максимально комфортным уровнем варьирует в достаточно широких пределах, но тем не менее он хорошо определяет рельеф настроечной кривой. В настоящей статье рассмотрена зависимость этой корреляции от скорости роста амплитуды ответа потенциала слухового нерва. У пациентов с высокой скоростью роста амплитуды потенциала слухового нерва отмечается высокая корреляция ($R = 0,71$) этого порога с максимальным комфортным уровнем слухового восприятия, а у пациентов с низкой скоростью отмечается низкая корреляция ($R = 0,34$) этой зависимости. В последнем случае автоматический режим регистрации потенциала слухового нерва не достигает желаемого результата и требует использования режима зрительного анализа полученных результатов. В этом случае необходимо создавать несколько прогрессивных карт с последующей верификацией результатов по поведенческим реакциям пациента. В работе также представлены разнообразные варианты регистрации потенциала действия слухового нерва у особых групп пациентов с аномалией улитки и слухового нерва. **Ключевые слова:** кохлеарная имплантация, потенциал действия слухового нерва, функция роста амплитуды.

Для цитирования: Пудов В. И., Пудов Н. В. Некоторые особенности регистрации потенциала действия слухового нерва у пациентов с кохлеарными имплантами. *Российская оториноларингология*. 2022;21(4):66–72. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-4-66-72>

Some features of auditory nerve action potential recording in patients with cochlear implants

V. I. Pudov¹, N. V. Pudov²

¹ Saint Petersburg Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russia

² Parent Association „I hear the world“, Saint Petersburg, 195299, Russia

Recording of auditory nerve action potential is now widely used in clinical practice to objectively adjust speech processor parameters in patients with cochlear implants. According to some authors, the correlation coefficient between the potential of the auditory nerve and the most comfortable level varies within a fairly wide range, but nevertheless it well determines the relief of the tuning curve. This article discusses the relationship of this correlation to the rate of growth of the response amplitude of the auditory nerve potential. Patients with high growth rate of auditory nerve potential amplitude show high correlation ($R = 0,71$) of this threshold with maximum comfortable level of auditory perception, but patients with low speed show low correlation ($R = 0,34$) of this dependence. In the latter case, the automatic mode of recording the auditory nerve potential does not achieve the desired result and requires the use of the visual analysis mode of the obtained results. In this case, it is necessary to create several progressive maps with subsequent verification of the results on the patient's behavioral reactions. The paper also presents a variety of options for recording the effect potential of the auditory nerve in special groups of patients with an anomaly of the cochlear and auditory nerve. **Keywords:** cochlear implantation, auditory nerve action potential, amplitude growth function.

For citation: Pudov V. I., Pudov N. V. Some features of auditory nerve action potential recording in patients with cochlear implants. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2022;21(4):66-72. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2022-4-66-72>

Введение

Кохлеарная имплантация – единственный самый эффективный способ реабилитации глухих людей и прежде всего детей с тяжелой степенью потери слуха и полной глухотой, которым не помогают даже самые современные слуховые аппараты. В России в настоящее время более 12 000 пациентов используют системы кохлеарной имплантации. Однако результаты этого высокотехнологичного и весьма дорогостоящего метода варьируют в достаточно широких пределах от поразительно высоких до незначительного улучшения восприятия речи и зависят не только от тщательности проведения оперативного вмешательства по установке импланта пациенту, но и от адекватности настройки параметров речевого процессора и от организации процесса слухоречевой реабилитации.

Настройка параметров речевого процессора является важным элементом повышения эффективности слухоречевой реабилитации после кохлеарной имплантации как для детей, так и для взрослых. При этом от того, насколько правильно настроен речевой процессор, зависят слуховые способности пациента и, как следствие, качество слухового восприятия и эффективность развития речи. Чем точнее определены индивидуальные параметры речевого процессора, тем легче пациенту ориентироваться в окружающих звуках и тем быстрее протекает процесс слухоречевой реабилитации.

Параметры настройки речевого процессора для каждого пациента являются сугубо индивидуальными и зависят как от расположения электродов в улитке (разное расстояние от электрода до чувствительных нервных окончаний слухового нерва), так и от индивидуальной чувствительности этих нервных клеток вблизи от каждого отдельного электрода. Задача адекватной настройки параметров речевого процессора заключается в определении минимальных пороговых уровней и уровней максимальной комфортной громкости по значению электрического тока для стимуляции каждого из электродов. Значения этих двух уровней для каждого электрода определяют карту настройки речевого процессора. Если эти уровни определены правильно, то пациент будет комфортно слышать все окружающие звуки от самого тихого до самого громкого без напряжения и чувства дискомфорта.

Однако только у взрослых пациентов можно достигнуть хорошей настройки речевого процессора по субъективной оценке слухового восприятия минимальных и максимальных уровней электрической стимуляции. У детей младшего и среднего возраста настройка речевого процессора по субъективной оценке представляется весьма затруднительной. Поэтому у детей на-

стройка процессора проводится на основании регистрации объективных реакций на электрическую стимуляцию: регистрация стапедального рефлекса или потенциала действия слухового нерва. Наиболее простым и доступным является регистрация потенциала действия слухового нерва, которая заложена у большинства производителей кохлеарных имплантов – эта функция называется телеметрией нервного ответа (ART, NRT) [1–4, 12]. Сущность этого метода заключается в том, что на один электрод подается электрический стимул, а с соседнего электрода регистрируется потенциал действия слухового нерва. Зарегистрированный потенциал слухового нерва представляет двухфазный ответ, который состоит из одного отрицательного пика N1 и одного положительного пика P2 (иногда двух положительных пиков P1, P2). Латентный период пика N1 составляет 0,2–0,4 мс, P2 – 0,6–0,8 мс [5, 6].

При увеличении амплитуды стимула амплитуда ответа слухового нерва линейно возрастает (рис. 1). Следует особо отметить, что в современных кохлеарных имплантах осуществляется автоматическое вычисление функции регрессии, что позволяет автоматически вычислять порог ответа и использовать эти данные для программирования настроечных карт речевого процессора.

Возможность использования регистрации ответа слухового нерва для создания настроечных карт у пользователей кохлеарных имплантов была широко изучена в большом числе публикаций [7–9]. В целом результаты этих исследований показали, что порог ответа слухового нерва находится между субъективным порогом слухового восприятия (ПСВ) и максимально комфортным уровнем (МКУ) стимуляции. По данным разных авторов, коэффициент корреляции между порогом ответа слухового нерва и ПСВ варьирует от 0,5 до 0,9, а между порогом слухового нерва и МКУ – от 0,1 до 0,9. Тем не менее большинство исследователей сходятся в том, что пороги ответов слухового нерва хорошо определяют рельеф настроечной кривой [10, 11].

В нашей работе мы попытались оценить причину большого разброса у разных исследователей. При этом мы исходили из того, что по порогу ответа слухового нерва можно прогнозировать МКУ только с учетом функции роста нервного ответа.

Цель исследования

Определение взаимосвязи между электрически вызванным потенциалом действия слухового нерва и комфортным уровнем громкости.

Пациенты и методы исследования

В исследовании приняло участие 34 пациента, имплантированных кохлеарным имплантом Concerto с речевым процессором Opus-2. Возраст

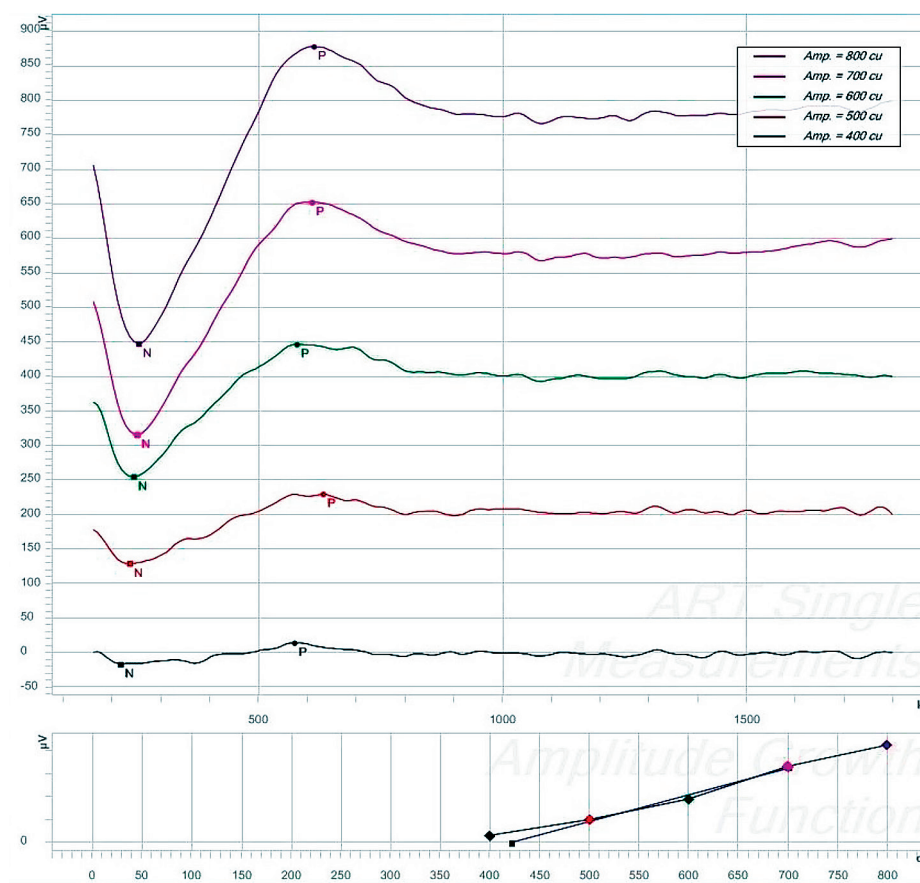


Рис. 1. Регистрация потенциала действия слухового нерва и функция роста амплитуды
Fig. 1. Acoustic nerve action potential recording and amplitude growth function

испытуемых составлял от 9 до 56 лет. Всем пациентам выполнена регистрация порога электрически вызванного потенциала действия в программе Maestro 9.0. Порог возникновения потенциала действия слухового нерва получен с помощью функции роста амплитуды и дальнейшей линейной аппроксимацией (рис. 1). Параметры стимуляции при проведении телеметрии нервного ответа: двухфазные импульсы с длительностью фазы 30 мкс и межфазовым интервалом 10 мс. Субъективное суждение об уровне максимально комфортной громкости было получено для каждого активного электрода с использованием метода категоризации громкости.

Результаты исследования представлены на рис. 2. Нами был проведен корреляционный анализ между полученным порогом потенциала действия слухового нерва и уровнем максимально комфортной громкости. Зависимость между этими величинами, строго говоря, является достаточно сложной, но с небольшими ограничениями по методу наименьших квадратов ее можно аппроксимировать линейной функцией

$$Y = 0,67X + 9,22,$$

где Y – уровень максимальной комфортной громкости в условных единицах (сг); X – порог потен-

циала действия слухового нерва в условных единицах (сг).

В наших исследованиях выявлена средняя корреляционная связь ($R = 0,52$) между этими параметрами. Относительно невысокую корреляцию можно объяснить только тем, что мы пытаемся прогнозировать значение максимально комфортной громкости по пороговому уровню стимуляции без учета функции роста громкости слухового восприятия. Условно мы разделили всех пациентов на две группы – с высокой (коэффициент наклона кривой $\geq 1,0$) и низкой (коэффициент наклона кривой $< 1,0$) скоростью роста амплитуды ПДСН. При этом мы исходили из того, что по порогу ответа слухового нерва можно прогнозировать МКУ только с учетом функции роста нервного ответа. Результаты этих исследований представлены на рис. 3. Аппроксимация результатов исследования при высокой скорости роста амплитуды может быть представлена зависимостью вида: $Y = 1,31X + 1,22$ с коэффициентом корреляции $R = 0,71$, а при низкой скорости роста амплитуды зависимостью вида $Y = 6,73X + 0,80$ с коэффициентом корреляции $R = 0,34$, где Y – уровень максимальной комфортной громкости в условных единицах (сг); X – порог потенциала действия слухового нерва в условных единицах (сг).

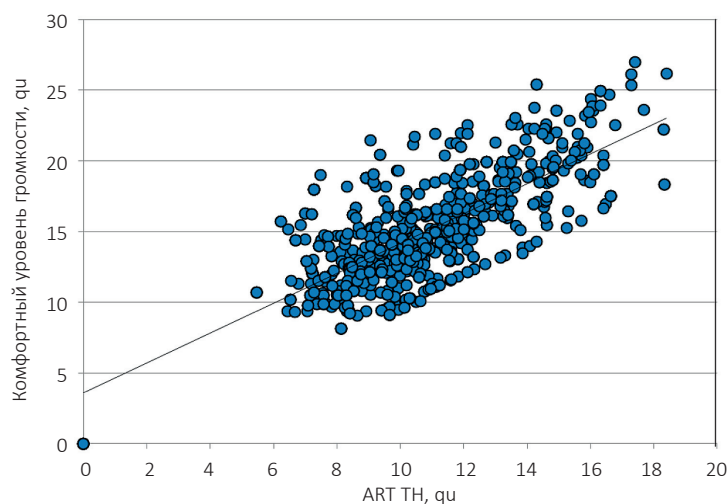


Рис. 2. Зависимость субъективного порога максимальной комфортной громкости от порога потенциала действия слухового нерва

Fig. 2. Dependence of the subjective threshold of maximum comfortable loudness on the threshold of the auditory nerve action potential

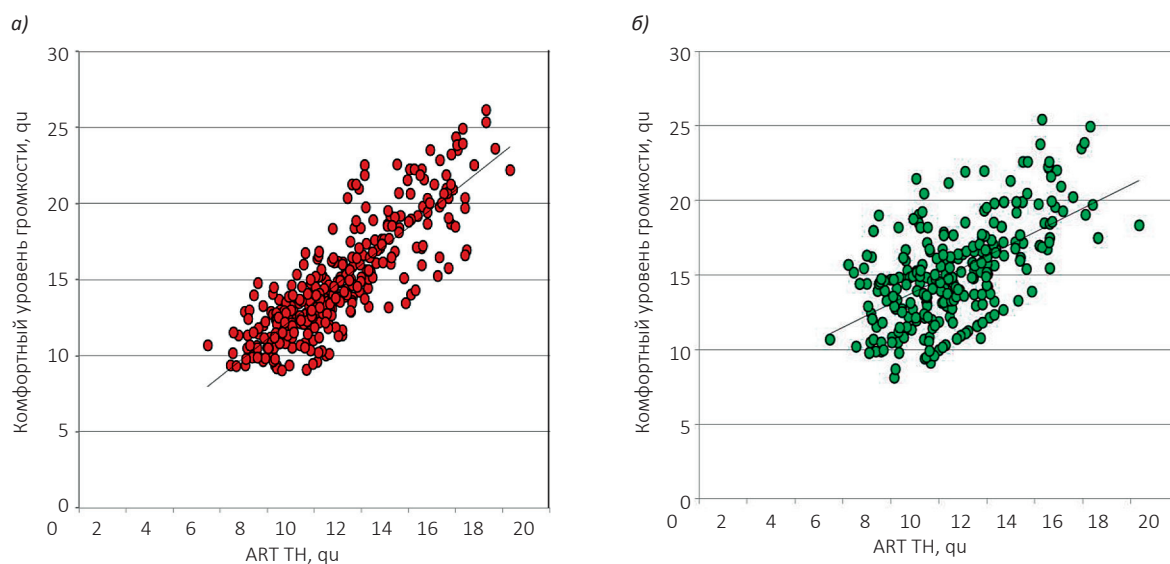


Рис. 3. Зависимость субъективного порога максимальной комфортной громкости от порога потенциала действия слухового нерва: а – при высокой скорости роста амплитуды; б – при низкой скорости роста амплитуды

Fig. 3. Dependence of the subjective threshold of maximum comfortable loudness on the threshold of the auditory nerve action potential: а – at a high rate of amplitude growth; б – at a low rate of amplitude growth

Следовательно, у пациентов с высокой скоростью роста амплитуды нервного ответа можно с высокой степенью достоверности использовать данные регистрации ПДСН для формирования настроечной карты речевого процессора. И таких пациентов большинство. А вот у пациентов с низкой скоростью роста амплитуды ПДСН нужно подходить осторожно к формированию настроечных карт речевого процессора. К тому же такие пациенты встречаются достаточно часто и составляют примерно 20% от общего числа всех пациентов. Эти пациенты представляют особую группу, как правило, это пациенты с аномалией улитки или слухового нерва и пациенты с ossification улитки после перенесенного менингита [12]. Как

правило, у этих пациентов не удастся зарегистрировать хорошие потенциалы слухового нерва и автоматическая аппроксимация функции роста амплитуды не позволяет правильно определить порог регистрации ПДСН. Одной из таких причин неудовлетворительной регистрации ответа слухового нерва может быть специфический эффект, возникающий при регистрации ПДСН, заложенный в алгоритме подавления артефакта стимула (более подробно с этим можно ознакомиться в литературе [3]).

У пациентов с низкой скоростью роста амплитуды ПДСН необходимо использовать ручной режим регистрации с использованием зрительного анализа полученных результатов. Основные

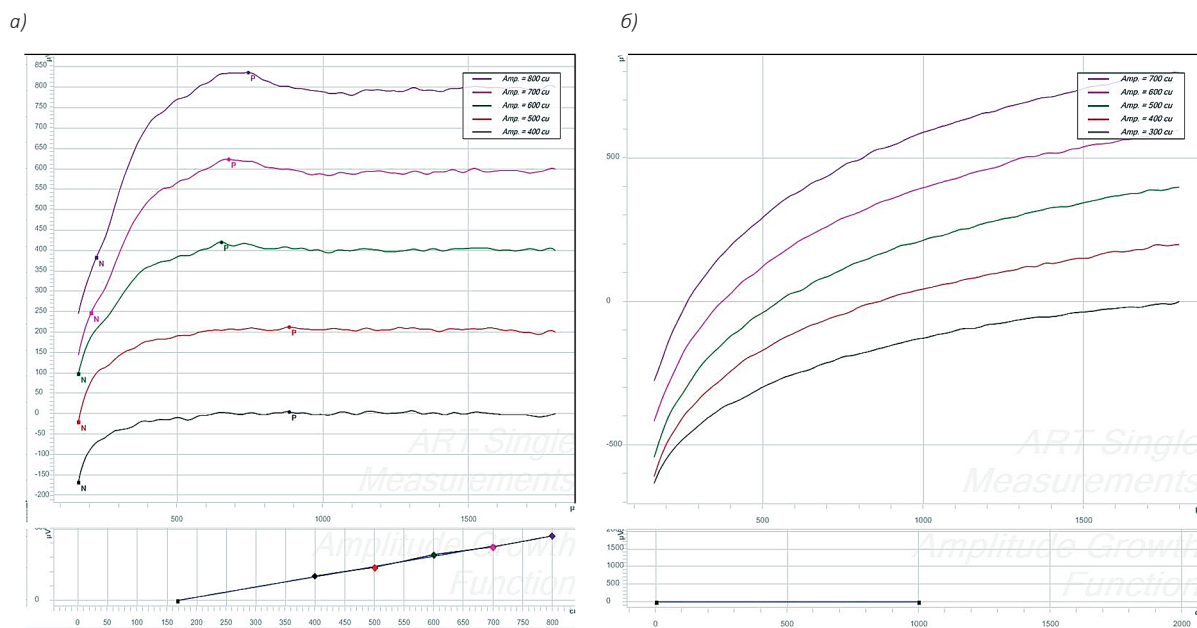


Рис. 4. Нестандартная регистрация потенциала действия слухового нерва при оссификации улитки
Fig. 4. Nonstandard recording of the acoustic nerve action potential during cochlear ossification

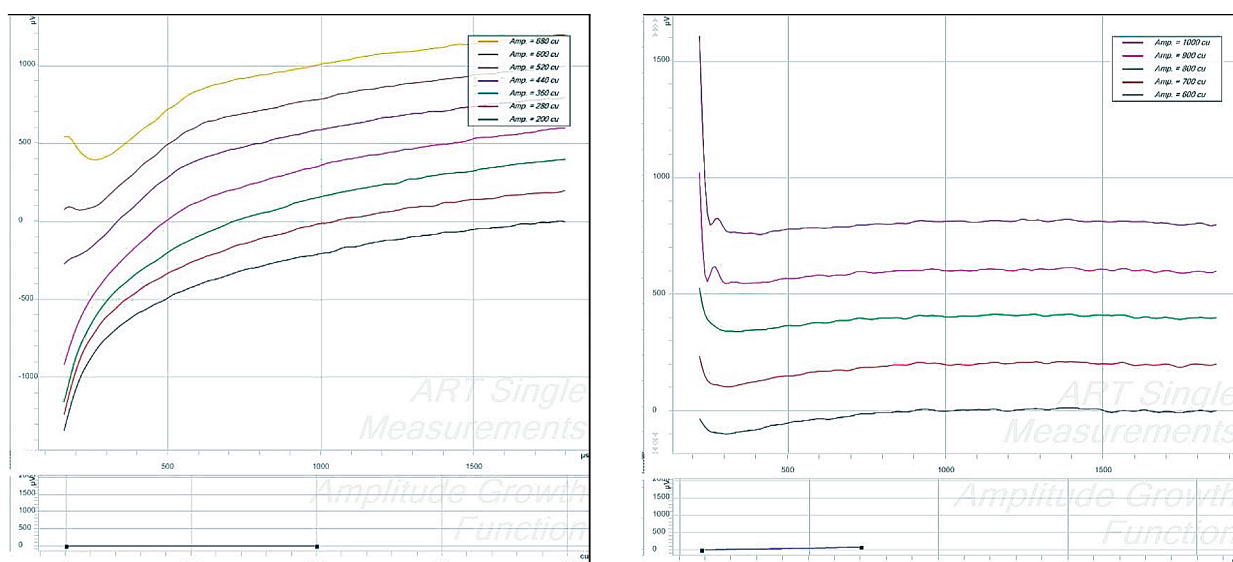


Рис. 5. Нестандартная регистрация потенциала действия слухового нерва при аномалии улитки
Fig. 5. Nonstandard registration of the action potential of the auditory nerve in cochlear anomalies

примеры регистрации ответа слухового нерва у особых групп пациентов представлены на рис. 4 и 5. Так, при оссификации улитки форма ответа ПДСН настолько искажена, что определение порога представляется весьма затруднительным (рис. 4, а) или даже совсем невозможным (рис. 4, б). В случае же аномалии улитки форма ответа слухового нерва представляется еще более необычной (рис. 5). Тем не менее, при достаточном опыте в ручном режиме можно проследить появление ответа ПДСН и использовать эти данные для построения предварительных настроечных карт речевого процессора. Учитывая не очень высокую достоверность определения

порогов ПДСН, у пациентов особых групп необходимо создавать несколько прогрессивных карт с последующей субъективной верификацией по поведенческим реакциям пациента [12].

Заключение

Регистрация порога электрически вызванного ответа слухового нерва (ПДСН) в большинстве случаев имеет достаточно высокую корреляцию ($R = 0,71$) с субъективным уровнем максимальной комфортной громкости и может с успехом использоваться для объективной настройки параметров речевого процессора, особенно у маленьких детей.

У пациентов особой группы, с аномалией улитки или слухового нерва и с оссификацией улитки после перенесенного менингита, как правило, не удастся зарегистрировать хорошие потенциалы слухового нерва и использовать эти данные построения настроечных карт речевого процессора. В этом случае необходимо использовать регистрацию ПДСН в ручном режиме с

последующим анализом и построением предварительных прогрессивных карт настройки речевого процессора. В совокупности с субъективной оценкой поведенческих реакций удастся оптимизировать подходящие параметры для настройки речевого процессора.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Gordon K. A., Papsin B. C., Harrison R. V. Toward a battery of behavioral and objective measures to achieve optimal cochlear implant stimulation levels in children. *Ear Hear.* 2004;25:447-463. <https://doi.org/10.1097/01.aud.0000146178.84065.b3>
2. Бахшинян В. В., Федосеев В. И., Таварткиладзе Г. А. Новые технологии интраоперационной регистрации электрически вызванного потенциала действия слухового нерва методом телеметрии нервного ответа. *Вестник оториноларингологии.* 2015;80(3):14–17. <https://doi.org/10.17116/otorino201580314-17>
Bakhshinyan V. V., Fedoseev V. I., Tavartkiladze G. A. The new technologies for the intraoperative registration of the electrically evoked compound action potentials of the acoustical nerve by means of the neural response telemetry method. *Vestnik otorinolaringologii.* 2015; 80(3):14-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/otorino201580314-17>
3. Клячко Д. С., Пашков А. В., Гадалева С. В., Наумова И. В. Электрически вызванный потенциал действия слухового нерва. Обзор литературы. *Российская оториноларингология.* 2018;4(95):99–120. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2018-4-99-120>
Klyachko D. S., Pashkov A. V., Gadaleva S. V., Naumova I. V. The electrically evoked compound action potential of the auditory nerve. Literature review. *Rossiiskaya otorinolaringologiya.* 2018;4:99-120. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2018-4-99-120>
4. Кузовков В. Е., Гауфман В. Е., Клячко Д. С., Пудов В. И. Использование порогов электрически вызванных коротколатентных слуховых потенциалов для настройки речевых процессоров у пациентов после кохлеарной имплантации. *Вестник оториноларингологии.* 2016; 81(3):35-38. <https://doi.org/10.17116/otorino201681335-38>
Kuzovkov V. E., Gaufman V. E., Klyachko D. S., Pudov V. I. The use of thresholds of electrically evoked short-latent auditory potentials for the adjustment of the speech processors in the patients undergoing cochlear implantation. *Vestnik otorinolaringologii.* 2016;81(3):35-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/otorino201681335-38>
5. Brown C. J., Abbas P. J., Gantz B. Electrically evoked whole nerve action potentials: data from human cochlear implant users. *J. Acoust. Soc. Am.* 1990;88(3):1385-1391. <https://doi.org/10.1121/1.399716>
6. Franck K. H., Norton S. J. Estimation of psychophysical levels using the electrically evoked compound action potential measured using the neural response telemetry capabilities of Cochlear Corporation's CI24M device. *Ear Hear.* 2001;22:289-299.
7. Hamad Al Muhaimed, Fatma A. Anazy, Osama Hamed O., Eba'a Shubair Correlation between NRT measurement level and behavioral levels in pediatrics cochlear implant patients. *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 2010; 74(4):356-360. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2009.12.017>
8. Almosnino G., Anne S., Seth R. Use of Neural Response Telemetry for Pediatric Cochlear Implants: Current Practice. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2018;127(6):367-372. <https://doi.org/10.1177/0003489418767692>
9. Клячко Д. С., Радионова Ю. О. Влияние оссификации улитки на параметры настройки речевых процессоров у пациентов с глухотой после перенесенного менингита. *Российская оториноларингология.* 2016;2(81):44–49. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2016-2-44-49>
Klyachko D. S., Radionova Y. O. The influence of cochlea ossification on the settings of speech processors in patients with post-meningitic deafness. *Rossiiskaya otorinolaringologiya.* 2016;2:44-49. (In Russ.) <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2016-2-44-49>
10. Кечиян Д. К., Бахшинян В. В., Таварткиладзе Г. А. Динамика порогов электрически вызванного потенциала действия слухового нерва у имплантированных детей. *Вестник оториноларингологии.* 2020;85(6):17–22. <https://doi.org/10.17116/otorino20208506117>
Kechiyan D. K., Bakhshinyan V. V., Tavartkiladze G. A. Dynamics of thresholds of electrically evoked auditory nerve action potential in implanted children. *Vestnik otorinolaringologii.* 2020;85(6):17-22. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/otorino20208506117>
11. McKay C. M., Chandan K., Akhoun I., Siciliano C., Kluk K. Can ECAP measures be used for totally objective programming of cochlear implants? *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2013;14(6):879-890. <https://doi.org/10.1007/s10162-013-0417-9>
12. Королева И. В., Пудов В. И., Клячко Д. С., Левин С. В., Левина Е. А., Кузовков В. Е., Зонтова О. В. Настройка процессора кохлеарного импланта у особых групп пациентов. СПб.: Полифорум Групп, 2019. 66 с.
Koroleva I. V., Pudov V. I., Klyachko D. S., Levin S. V., Levina E. A., Kuzovkov V. E., Zontova O. V. *Nastroika protsessora kokhlearnogo implanta u osobykh grupp patsientov.* Saint Petersburg: Poliforum Grupp, 2019. 66 p. (In Russ.)

Информация об авторах

✉ **Пудов Виктор Иванович** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник отдела диагностики и реабилитации нарушений слуха, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха горла носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); e-mail: v_pudov@mail.ru

Пудов Николай Викторович – координатор кохлеарной имплантации, Родительское объединение «Я слышу мир» (195299, Россия, Санкт-Петербург, Лужская ул., д. 4, к. 3, литер А); e-mail: npudov@yandex.ru

Information about authors

✉ **Viktor I. Pudov** – Candidate of Biological Sciences, Senior Research Associate of the Department of Diagnostics and Rehabilitation of Hearing Impairments, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., Saint Petersburg, Russia, 190013); e-mail: v_pudov@mail.ru

Nikolai V. Pudov – Cochlear Implant Coordinator, Parent Association „I hear the world“ (A, 4/3, Luzskaya str., Saint Petersburg, Russia, 195299); e-mail: npudov@ yandex.ru

Статья поступила 20.12.2021

Принята в печать 27.07.2022