

УДК 616.28-008.14  
DOI: 10.35693/2500-1388-2021-6-3-8-12

## Сравнение звуковосприятия при использовании стратегий кодирования звукового сигнала CIS и ACE системой кохлеарной имплантации

О.В. Колоколов<sup>2</sup>, А.О. Кузнецов<sup>1, 3</sup>, А.С. Мачалов<sup>1, 3</sup>, А.А. Григорьева<sup>2, 4</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства» (Москва, Россия)

<sup>2</sup>Астраханский филиал ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства» (Астрахань, Россия)

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава России (Москва, Россия)

<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет» Минздрава России (Астрахань, Россия)

### Аннотация

**Цель** – изучение влияния на звуковосприятие стратегий кодирования звука ACE и CIS у пациентов с системой кохлеарной имплантации Cochlear.

**Материал и методы.** В исследование были включены 50 пациентов, проходивших реабилитацию на базе Астраханского филиала ФГБУ НМИЦО ФМБА России в течение последних 5 лет (с 2014 по 2019 гг.). В группу обследуемых вошли дети старше 7 лет и взрослые, успехи в реабилитации которых позволяли выполнить полный набор тестов. Пациентам выполнялись тональная пороговая аудиометрия и речевая аудиометрия в свободном звуковом поле, полученные результаты вносились в специально созданные электронные таблицы в программе MS Excel и подвергались статистическому анализу.

**Результаты.** Выявлено отсутствие статистически значимых различий порогов слуха на тональной аудиометрии при использовании стратегий кодирования ACE и CIS, однако наблюдались отличия в восприятии речи в среднем на 4,2%. Пациенты, имевшие опыт использования слуховых аппаратов, отмечали улучшение разборчивости речи, показатели отличались в пределах 5%.

**Заключение.** Использование стратегии кодирования с более высокой разрешающей способностью позволяет значимо чаще улучшить разборчивость речи, а с более низким разрешением дает преимущество пациентам с опытом использования цифровых слуховых аппаратов.

**Ключевые слова:** кохлеарная имплантация, тугоухость, стратегии кодирования звукового сигнала.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

### Для цитирования:

Колоколов О.В., Кузнецов А.О., Мачалов А.С., Григорьева А.А. Сравнение звуковосприятия при использовании стратегий кодирования звукового сигнала CIS и ACE системой кохлеарной имплантации. *Наука и инновации в медицине*. 2021;6(3):8-12. doi: 10.35693/2500-1388-2021-6-3-8-12

### Сведения об авторах

**Колоколов О.В.** – соискатель на звание канд. мед. наук, заведующий поликлиническим отделением.

ORCID: 0000-0002-7155-9544

E-mail: surdologiya\_scco@mail.ru

**Кузнецов А.О.** – д-р мед. наук, главный врач; доцент кафедры оториноларингологии. ORCID: 0000-0001-6499-7506

E-mail: aokuznet@mail.ru

**Мачалов А.С.** – канд. мед. наук, начальник научно-клинического отдела аудиологии, слухопротезирования и слухоречевой реабилитации; врач сурдолог-оториноларинголог; доцент кафедры оториноларингологии факультета дополнительного профессионального образования.

ORCID: 0000-0002-5706-7893

E-mail: anton-machalov@mail.ru

**Григорьева А.А.** – д-р мед. наук, заместитель главного врача; доцент кафедры оториноларингологии и офтальмологии.

ORCID: 0000-0003-2994-2555

E-mail: agrigoryeva@mail.ru.

### Автор для переписки

**Колоколов Олег Владиславович**

Адрес: Астраханский филиал ФГБУ НМИЦО ФМБА России, ул. Татищева, 2, г. Астрахань, Россия, 414056.

E-mail: oleg\_kolokolov@mail.ru

KI – кохлеарная имплантация.

**Рукопись получена:** 28.05.2021

**Рецензия получена:** 08.06.2021

**Решение о публикации принято:** 26.06.2021

# Comparison of sound perception using CIS and ACE sound coding strategies in cochlear implants

Oleg V. Kolokolov<sup>2</sup>, Aleksandr O. Kuznetsov<sup>1,3</sup>, Anton S. Machalov<sup>1,3</sup>, Alla A. Grigoreva<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>The National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency (Moscow, Russia)

<sup>2</sup>The National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency (Astrakhan, Russia)

<sup>3</sup>Pirogov Russian National Research Medical University (Moscow, Russia)

<sup>4</sup>Astrakhan State Medical University (Astrakhan, Russia)

## Abstract

**Objectives** – to study the effect of ACE and CIS sound coding strategies on sound perception in patients with the cochlear implants system produced by Cochlear Limited.

**Material and methods.** The study included 50 patients taking the rehabilitation course in the Astrakhan branch of the National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico-Biological Agency over the past 5 years (from 2014 to 2019). The group of subjects included children over 7 years old and adults, whose success in rehabilitation made it possible to perform a full range of tests. The patients underwent tonal threshold audiometry and speech audiometry in a free sound field; the results obtained were registered in special MS Excel tables and further analysed using statistical methods.

**Results.** There were no statistically significant differences in hearing thresholds on tonal audiometry when using the coding strategies ACE and CIS, however, differences in speech perception were observed on average by 4.2%. The patients experienced in using hearing aids reported improved speech recognition, with scores varying within 5%.

**Conclusion.** Using a higher-resolution coding strategy can significantly improve speech recognition, while lower-resolution coding is beneficial for patients with digital hearing aid experience.

**Keywords:** cochlear implantation, hearing loss, audio coding strategies.

**Conflict of interest:** nothing to disclose.

## Citation

Kolokolov OV, Kuznetsov AO, Machalov AS, Grigoreva A.A. Comparison of sound perception using CIS and ACE sound coding strategies in cochlear implants. *Science and Innovations in Medicine*. 2021;6(3):8-12. doi: 10.35693/2500-1388-20201-6-3-8-12

## Information about authors

**Oleg V. Kolokolov** – external PhD student, Head of the polyclinic department. ORCID: 0000-0002-7155-9544  
E-mail: surdologiya\_scco@mail.ru

**Aleksandr O. Kuznetsov** – PhD, Chief Physician; Associate professor, Department of otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0001-6499-7506  
E-mail: aokuznet@mail.ru

**Anton S. Machalov** – PhD, Head of scientific-clinical Department of audiology, hearing aid and audio-verbal rehabilitation; physician-audiologist-otorhinolaryngologist; Associate professor of the Department of otorhinolaryngology, faculty of additional professional education. ORCID: 0000-0002-5706-7893  
E-mail: anton-machalov@mail.ru

**Alla A. Grigoreva** – PhD, deputy Chief Physician; Associate professor, Department of otorhinolaryngology and ophthalmology. ORCID: 0000-0003-2994-2555  
E-mail: agrigoryeva@mail.ru.

## Corresponding Author

**Oleg V. Kolokolov**

Address: Astrakhan branch of The National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medico- Biological Agency of Russia, 2 Tatishcheva st., Astrakhan, Russia, 414056.  
E-mail: oleg\_kolokolov@mail.ru

**Received:** 28.05.2021

**Revision Received:** 08.06.2021

**Accepted:** 26.06.2021

## ВВЕДЕНИЕ

История кодирования звукового сигнала посредством электрического импульса берет свое начало в 1957 году, когда André Djourno и Charles Eyriès впервые удалось стимулировать слуховой нерв с частотой переменного тока 100 Гц стимулами со скоростью 15–20 раз в минуту [1]. Дальнейшее развитие такой системы стимуляции привело к созданию кохлеарных имплантов и значительному усложнению алгоритма стимуляции, что позволило достичь больших успехов в реабилитации пациентов с глубокой потерей слуха. Базовой стратегией стимуляции слухового нерва для большинства систем кохлеарной имплантации (Cochlear, Advanced Bionics, Med El, Nurotron) стала стратегия CIS (Continuous Interleaved Sampling, непрерывная чередующаяся выборка), описанная Blake S. Wilson в 1991 году [2]. Данная стратегия позволила решить проблему взаимодействия каналов с использованием несинхронных импульсов с чередованием и увеличить скорость стимуляции на канал, что оказало значительное влияние на распознавание речи [3, 4]. С 2002 года компания Cochlear стала использовать стратегию ACE (Advanced Combination Encoder) в импланте Nucleus 24 и речевом процессоре Freedom. ACE сочетает в себе большее количество обработанных полос

более высокой скоростью стимуляции за счет наличия 22 электродов, что дает лучшее разрешение по частоте. В стратегии ACE канал генерируется одним имплантированным электродом, а исходный спектр воспроизводится 8–10 фиксированными каналами [5].

В настоящее время обе стратегии CIS и ACE актуальны, используются современными системами кохлеарной имплантации Cochlear, включающими в себя импланты серии CI24RE и речевые процессоры серии Nucleus CP810/910. Каждая стратегия имеет свои характеристики скорости стимуляции на канал, ширину и амплитуду стимула, что влияет на звуковосприятие. Системы кохлеарной имплантации Cochlear Corporation в настоящее время обладают набором стратегий кодирования звукового сигнала, включающий в себя такие, как CIS, SPEAK, ACE, MP3000.

В нашем исследовании внимание было уделено двум стратегиям – CIS и ACE. Обе стратегии базируются на принципах вокодера VODER (Voice Operating Demonstrator) Homer W. Dudley (Bell Laboratories), представленного в 1939 году на Всемирной выставке в Нью-Йорке и Сан-Франциско [6]. Преобразование звука обозначенными стратегиями по принципу вокодера и объясняет впечатления пациентов после кохлеарной имплантации, когда голос человека становился похожим

на голос робота. В стратегиях CIS и ACE сигнал преобразовывается в небольшое количество полос (16–22) через быстрое преобразование Фурье или через набор полосовых фильтров, огибающие сигнала (envelope) извлекаются из каждой полосы. Огибающие используются для модуляции бифазных импульсов, которые необходимы для стимуляции электродов. Количество огибающих и количество групп электродов, выбирающихся для стимуляции в каждом цикле, в CIS и ACE различается. В стратегии ACE только подмножество  $n$  ( $n = 8–10$ ) из 22 огибающих выбирается и используется для стимуляции в каждом цикле, при этом все 22 электродных участка используются для стимуляции. В стратегии CIS количество огибающих фиксировано (8–10) и только соответствующие электродные участки (8–10) используются для стимуляции. Однако скорость стимуляции на канал в данных стратегиях находится в одинаковых пределах: от 250 до 3500 стимулов на канал в секунду (pps). Влияние имеющихся отличий стратегии ACE были исследованы рядом иностранных авторов [7, 8], и они показали, что пользователи Nucleus-24M чаще предпочитали ACE, чем CIS, в том числе в различных акустических условиях или в связи с несколько более высокой разборчивостью речи [9]. Позднее внедрение новой системы Nucleus Freedom на базе импланта Nucleus CI24RE позволило увеличить общую частоту стимуляции до 32 kHz и частоту стимуляции на канал до 3500 pps [10]. Однако исследования показали, что высокие значения скорости стимуляции на канал (около 3500 pps), как правило, дают более низкие результаты, тем не менее разборчивость слов у пациентов, предпочитающих такую скорость стимуляции, была в среднем не хуже, чем у тех, кто предпочитает низкую скорость стимуляции [11].

Техническое совершенствование системы кохlearной имплантации на разных уровнях, включающей в себя речевой процессор и кохlearный имплант, а также принципов реабилитации, наличие особенностей звучания русского языка обусловило изучение влияния современных стратегий кодирования звука на его восприятие.

## ■ ЦЕЛЬ

Изучение влияния стратегий кодирования звука ACE и CIS у пациентов с системой кохlearной имплантации Cochlear на восприятие тонального сигнала и речи в свободном звуковом поле.

## ■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие пациенты с хронической двусторонней сенсоневральной тугоухостью IV степени или глухотой, перенесшие операцию кохlearной имплантации на одно ухо на базе Астраханского филиала ФГБУ НМИЦО ФМБА России в период с 2014 по 2019 годы, которым был имплантирован многоканальный кохlearный имплант (model CI24RE) и использован речевой процессор Nucleus CP810 или CP910. В исследование были включены пациенты с опытом использования системы кохlearной имплантации не менее 3 лет, причиной потери слуха которых

были не связаны с аномалиями развития внутреннего уха и облитерацией улитки после менингита. Допустимо использование слухового аппарата в течение 1 года и более. В группы вошли дети и взрослые.

*Критериями включения* стали: период тугоухости без средств реабилитации до 1 года, систематическое использование речевого процессора от 8 часов в день в течение последних 3 лет; регулярное посещение сурдолога для проведения настроечных сессий с частотой не менее 1 раза в год; уровень развития речи, допустимый для проведения речевых тестов (перед тестированием испытуемые были ознакомлены со списком слов). Дополнительные критерии для детей – регулярные занятия с сурдопедагогом в течение последних 3 лет, возраст от 7 лет. Для взрослых – возраст от 18 до 45 лет.

*Критериями невключения* стали: для детей возраст менее 7 лет, для взрослых пациентов возраст старше 45 лет, использование речевого процессора в течение дня менее 8 часов в день; посещение врача-сурдолога для контроля карт стимуляции менее 1 раза в год; низкий словарный запас, который не позволяет выполнить речевые тесты; наличие состояний, которые могли ограничивать законность информированного согласия или исказить интерпретацию результатов исследования (психические нарушения, значимое снижение интеллекта).

В группу обследуемых вошли пациенты с отчетливо фиксируемыми параметрами телеметрии нервного ответа по основным электродам (1, 6, 11, 16, 22) и межэлектродным сопротивлением, соответствующим допустимому диапазону (от 0.7 kΩ до 20 kΩ). При выявлении высокого сопротивления или неисправности одного из электродов импланта такие пациенты не были включены в группу обследуемых.

Коррекция программы стимуляции (MAP) проводилась посредством установки связи между речевым процессором и программным интерфейсом на компьютере посредством программатора. Вся получаемая информация функционирования системы КИ анализировалась посредством программы Cochlear Custom Sound 5.0 (Cochlear Ltd., Australia). Всем исследуемым проводились измерение межэлектродного сопротивления и телеметрия потенциала действия слухового нерва перед началом коррекции программы стимуляции. В алгоритм исследования входило изучение восприятия тонального сигнала и речи со стандартной стратегией стимуляции, установленной по умолчанию, и со стратегией стимуляции, установленной специалистом во время программирования речевого процессора в период реабилитации. Для оценки изменений восприятия звукового сигнала и речи использовалась стандартная методика проведения тональной пороговой аудиометрии и речевой аудиометрии в свободном звуковом поле, с использованием речевых таблиц Гринберга (для взрослых) и Ошеровича (для детей). Для проведения тестирования была использована комната, в которой через колонки (2 шт.) с использованием клинического аудиометра Interacoustics AC40 и подключенного к нему ноутбука воспроизводились тональный акустический сигнал и запись речевых таблиц, начитанных диктором.

Стратегия (strategy)	Частота тона (Tone frequency), Hz			
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
ACE	30	35	40	40
CIS	30	35	40	45

**Таблица 1.** Усредненные данные по тональной пороговой аудиометрии в свободном звуковом поле  
**Table 1.** Averaged tonal threshold audiometry data in a free sound field

Колонки были расположены по направлению к испытуемому под углом 45° на расстоянии 1 метра.

Пациенты были разделены на 2 группы. Основная группа – 25 человек со стратегией CIS. Контрольная группа – 25 человек со стратегией ACE. В каждой группе было 15 детей и 10 взрослых.

Преобладающий возраст детей был от 7 до 12 лет. В основной группе средний возраст детей составил 10,66±3,02 года; в контрольной группе 10,4±2,75 года. Возраст взрослых от 18 до 35 лет. Средний возраст в основной группе 30±6,6 года, в контрольной 31,6±6,92 года. Таким образом, статистически значимых различий в возрасте между группами не было.

Исследование проводилось через 2 месяца после смены установленной по умолчанию стратегии ACE на CIS. Полученные результаты тональной пороговой аудиометрии в свободном звуковом поле и измерения разборчивости речи вносились в электронные таблицы в программе MS Excel и подвергались статистическому анализу методом сравнения средних значений для каждого результата между группами с вычислением t-критерия Стьюдента (критическое значение  $p \leq 0,05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам проведения пороговой тональной аудиометрии в свободном звуковом поле для каждого пациента были получены кривые аудиограмм по основным речевым частотам (500, 1000, 2000, 4000 Гц). Полученные результаты порогов суммировались для каждой частоты. На основании полученных результатов была создана среднерезультатирующая аудиограмма для основной группы (CIS, 25 человек) и контрольной группы (ACE, 25 человек) пациентов (таблица 1). При сравнении порогов слуха для стратегии ACE и CIS с использованием формулы t-критерия Стьюдента для независимых выборок можно отметить отсутствие значимых различий ( $p > 0,05$ ). Восприятие тонального сигнала посредством данных стратегий не имеет существенных значений.

Стратегия (strategy)	Разборчивость (discrimination), %		
	Взрослые (adults)	Дети (children's)	Среднее значение (average)
ACE	71,25±10,0	64,11±11,4	66,4±11,57
CIS	68,12±8,9	59,68±9,65	62,2±10,29

**Таблица 2.** Разборчивость речи в свободном звуковом поле  
**Table 2.** Speech recognition in a free sound field

Процент разборчивости речи, вычисленный с использованием речевых таблиц Гринберга и Ошеровича, при проведении аудиометрии в свободном звуковом поле с использованием обозначенных стратегий кодирования показал наличие более выраженных отличий (таблица 2).

Пациенты из контрольной группы со стратегией ACE показали более высокий уровень разборчивости речи в сравнении с CIS спустя 2 месяца после коррекции на 4,2±1,28% (66,4±11,57% против 62,2±10,29%), при этом полученное различие было статистически значимым ( $p \leq 0,05$ ). Уровень разборчивости у детей со стратегией ACE был ниже взрослых в среднем на 7,14±1,4%. Различие между детьми и взрослыми в группе со стратегией CIS составило 8,44±0,75%, что несколько выше, чем в контрольной группе, однако статистически значимых различий в сравнении с группой с ACE не выявлено ( $p > 0,05$ ). Следует отметить, что снижение разборчивости речи у взрослых в среднем было меньше, чем у детей (3,13±1,1% против 4,43±1,75%). Среди обследуемых из основной группы у ряда пациентов был отмечен рост разборчивости речи при смене стратегии с ACE на CIS в пределах 5%, это касалось чаще взрослых пациентов и пациентов, имевших в своем опыте долгое время пользования слуховыми аппаратами (более 1 года).

## ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты нашего исследования подтвердили наличие статистически значимого преимущества стратегии ACE над CIS в создании алгоритма стимуляции слухового нерва, позволяющего пациентам эффективнее распознавать речь даже при использовании речевых таблиц на русском языке с его фонетическими особенностями в сравнении с результатами зарубежных авторов на немецком и английском языках [8, 9, 10]. Исследование показало отсутствие значимых различий в восприятии тонального сигнала для выбранных стратегий. Полученные данные впервые актуализированы на 2021 год и не имеют аналогов в русскоязычной научной литературе.

## ВЫВОДЫ

Использование современной стратегии кодирования звукового сигнала ACE в системе кохлеарной имплантации Cochlear дает несколько более высокие результаты в тестах разборчивости речи и сопоставимые результаты по данным пороговой тональной аудиометрии в сравнении со стратегией CIS. Подбор стратегии кодирования звукового сигнала требует индивидуального подхода и наблюдения за результатами в течение длительного времени врачом-сурдологом и сурдопедагогом. ■

**Конфликт интересов:** все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Djourno A, Eyries C, Vallancien B. De l'excitation électrique du nerf cochléaire chez l'homme, par induction à distance, à l'aide d'un micro-bobinage inclus à demeure. *C R Seances Soc Biol Fil.* 1957;151:423-425. (In French). [Djourno A, Eyries C, Vallancien B. Electric excitation of the cochlear nerve in man by induction at a distance with the aid of micro-coil included in the fixture. *C R Seances Soc Biol Fil.* 1957;151:423-425. PMID: 13479991]
2. Wilson BS, Finley CC, Lawson DT, et al. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature.* 1991;352:236-238. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1857418/> PMID: 1857418 <https://doi.org/10.1038/352236a0>
3. Moller AR. Cochlear and Brainstem Implants. *Advances in Otorhinolaryngology.* 2006;64:109-143. <https://doi.org/10.1159/000094648>
4. Kolokolov OV, Kuznecov AO, Machalov AS, Grigoreva AA. The history of the modernization of sound strategies of the system cochlear implantation. *Health and Education millennium.* 2018;20(12):82-86. (In Russ.). [Колоколов О.В., Кузнецов А.О., Мачалов А.С., Григорьева А.А. К вопросу истории модернизации стратегий кодирования звукового сигнала системами кохлеарной имплантации. *Здоровье и образование в XXI веке.* 2018;20(12):82-86]. <https://doi.org/10.26787/nydha-2226-7425-2018-20-12-82-86>
5. Vondrasek M, Sovka P, Tichy T. ACE Strategy with Virtual Channels. *Radioengineering.* 2008;17(4):55-61. [https://www.researchgate.net/publication/26571432\\_ACE\\_Strategy\\_with\\_Virtual\\_Channels](https://www.researchgate.net/publication/26571432_ACE_Strategy_with_Virtual_Channels)
6. Dudley H. Remaking speech. *Journal of the Acoustical Society of America.* 1940;11:169-177. <https://psycnet.apa.org/record/1940-04167-001>
7. Kim HN, Shim YJ, Chung MH, Lee YH. Benefit of ACE compared to CIS and SPEAK coding strategies. *Adv Otorhinolaryngol.* 2000;57:408-11. <https://doi.org/10.1159/000059211>
8. Kiefer J, Hohl S, Stürzebecher E, et al. Comparison of speech recognition with different speech coding strategies (SPEAK, CIS, and ACE) and their relationship to telemetric measures of compound action potentials in the nucleus CI 24M cochlear implant system. *Audiology.* 2001;40(1):32-42. <https://doi.org/10.3109/00206090109073098>
9. Skinner MW, Holden LK, Whitford LA, et al. Speech recognition with the nucleus 24 SPEAK, ACE, and CIS speech coding strategies in newly implanted adults. *Ear Hear.* 2002;23(3):207-23. <https://doi.org/10.1097/00003446-200206000-00005>
10. Weber BP, Lai WK, Dillier N. Performance and Preference for ACE Stimulation Rates Obtained with Nucleus RP 8 and Freedom System. *Ear and Hearing.* 2007;28(2):46S-48S. <https://doi.org/10.1097/aud.0b013e3180315442>
11. Battmer RD, Dillier N, Lai WK, et al. Speech perception performance as a function of stimulus pulse rate and processing strategy preference for the Cochlear™ Nucleus® CI24RE device: Relation to perceptual threshold and loudness comfort profiles. *International Journal of Audiology.* 2010;49(9):657-666. <https://doi.org/10.3109/14992021003801471>