

УДК 616.283.1-089.843:616.28-009
<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-64-69>

Возможности применения трехфазной стимуляции у пациентов с кохлеарными имплантами

**А. В. Пашков^{1,2}, И. В. Наумова¹, К. И. Воеводина², Д. С. Клячко³,
 М. Т. Фатахова¹, Д. Д. Каляпин³**

¹ Научно-исследовательский институт педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН, Москва, 119333, Россия

² Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, 121359, Россия

³ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи, Санкт-Петербург, 190013, Россия

Possibilities of triphasic stimulation in patients with cochlear implants

**A. V. Pashkov^{1,2}, I. V. Naumova¹, K. I. Voevodina², D. S. Klyachko³,
 M. T. Fatakhova¹, D. D. Kalyapin³**

¹ Research Institute of Pediatrics and Children's Health, Central Clinical Hospital, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119333, Russia

² Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation, Moscow, 121359, Russia

³ Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech, Saint Petersburg, 190013, Russia

Представлено обоснование применения трехфазной стимуляции для программирования процессора системы кохлеарной имплантации (КИ) у пациентов с глухотой. Для изучения возможностей применения нового типа стимуляции выбраны пациенты с глухотой после операции кохлеарной имплантации, у которых в послеоперационном периоде выявлены признаки стимуляции лицевого нерва (СЛН). Всем испытуемым в процессор КИ ранее были установлены индивидуальные карты прослушивания на основе традиционной двухфазной стимуляции. Использование трехфазной стимуляции для предотвращения явлений СЛН обусловлено геометрией импульса электрического тока, которая позволяет уменьшить проникающую способность заряда в тканях и исключить воздействие на лицевой нерв, не прибегая к снижению уровней стимуляции, необходимых для создания динамического диапазона звуковосприятия. Приведены сравнительные данные параметров настройки и результаты аудиологического тестирования у 21 пациента с явлениями СЛН при использовании традиционного (двухфазного) и трехфазного электрического импульса в алгоритме стимуляции системы КИ. Установлено положительное влияние трехфазной стимуляции в сочетании с увеличением уровней максимального комфорта стимуляции на результаты сурдопедагогического тестирования или речевой аудиометрии. Результаты исследования показали достоверное увеличение показателей звуковосприятия при переходе на трехфазный алгоритм стимуляции.

Ключевые слова: кохлеарная имплантация, слухоречевая реабилитация, сенсоневральная тугоухость, настройка процессора КИ.

Для цитирования: Пашков А. В., Наумова И. В., Воеводина К. И., Клячко Д. С., Фатахова М. Т., Каляпин Д. Д. Возможности применения трехфазной стимуляции у пациентов с кохлеарными имплантами. *Российская оториноларингология*. 2021;20(6):64–69. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-64-69>

The rationale for the use of three-phase stimulation for programming the processor of the cochlear implantation system (CI) in patients with deafness is presented. To study the possibilities of using a new type of stimulation, we selected patients with deafness after cochlear implantation, in whom signs of facial nerve stimulation (FNS) were established in the postoperative period. All subjects were previously installed in the CI processor with individual listening maps based on traditional biphasic stimulation. The use of three-phase stimulation to

prevent SOS phenomena is caused by the geometry of the electric current pulse, which allows to reduce the penetrating power of the charge in the tissues and eliminate the effect on the facial nerve, without resorting to reducing the levels of stimulation necessary to create a dynamic range of sound perception. Comparative data of the parameters and the results of audiological testing in 21 patients with symptoms of SLE with traditional (two-phase) and three-phase electrical impulses in the stimulation algorithm of the CI system are presented. The positive effect of three-phase stimulation has been established. The results of the study show a significant increase in sound perception indicators when switching to a three-phase stimulation algorithm.

Keywords: cochlear implantation, hearing and speech rehabilitation, sensorineural hearing loss, cochlear implantation processor tuning.

For citation: Pashkov A. V., Naumova I. V., Voevodina K. I., Klyachko D. S., Fatakhova M. T., Kalyapin D. D. Possibilities of triphasic stimulation in patients with cochlear implants. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2021;20(6):64-69. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-6-64-69>

Введение

Стимуляция лицевого нерва (СЛН) – одно из возможных осложнений кохлеарной имплантации (КИ). По данным литературы, такое состояние возникает у 1–15% пациентов в послеоперационном периоде [1, 2]. Возможны различные проявления данного состояния, начиная от легкой стимуляции мышц областей глаз, рта, носогубной области или лба, вплоть до тотальной стимуляции всей мимической мускулатуры лица в сочетании с болевыми ощущениями [3].

СЛН может появиться сразу после активации процессора КИ или в отдаленном периоде; описан пример манифестации через 10 лет после подключения. Первичные признаки могут быть неочевидны и нарастать с течением времени по мере изменения параметров настройки процессора и возникновения у пациента соответствующих жалоб или клинических признаков [4]. Зависимость от субъективных ощущений первичных проявлений СЛН обуславливает особое внимание к возникновению данного состояния у детей младшего возраста и лиц с сочетанной неврологической патологией.

Причинами возникновения СЛН могут являться: анатомически близкое расположение лицевого нерва к наружной стенке улитки, использование чрезмерно высоких уровней стимуляции в картах настройки в сочетании с гипоплазией слуховых нервов или после длительного периода глухоты, а также снижение импедансных характеристик костной ткани при отосклерозе, перенесенном менингите или переломе височной кости [5–7].

В процессе настройки процессора КИ с использованием традиционных двухфазных импульсов существует несколько вариантов устранения клинических проявлений СЛН, таких как отключение электродов, вызывающих это явление или снижение уровней стимуляции на каналах системы (так называемого максимального уровня комфортной стимуляции – MCL). Эти решения негативно сказываются на качестве воспринимаемой звуковой и речевой информации и ограничивают исполь-

зование КИ. Для решения данной проблемы было предложено использовать трехфазную стимуляцию для устранения СЛН без потерь для качества воспринимаемой информации [4, 8].

Двухфазная парадигма стимуляции, широко применяемая в настройке КИ, подразумевает использование стимулов, состоящих из двух противоположных полярностей с одинаковой продолжительностью и амплитудой – одной отрицательной (катодной) и одной положительной (анодной) [4]. Трехфазный стимул содержит две фазы одинаковой полярности (катодная с одинаковой длительностью и амплитудой) и одну фазу с противоположной полярностью (анодная имеет удвоенную продолжительность и такую же амплитуду). Анодная полярность расположена между катодных фаз, в результате чего возникает сбалансированный заряд [4]. Существует предположение, что трехфазная стимуляция имеет меньшую проникающую способность заряда в ткани и, таким образом, способно предотвратить СЛН, несмотря на сравнительно более высокие уровни стимуляции, необходимые для достижения создания максимальных уровней стимуляции, определяющих динамический диапазон звуковосприятия по сравнению с двухфазной стимуляцией [4].

Пациенты и методы исследования

Проведен анализ 21 наблюдения ($n = 21$) пациентов – пользователей системы КИ производства Med-El (Австрия), в возрасте от 3 до 12 лет ($Me = 6 \pm 1,98$), с клиническими проявлениями СЛН (сокращение одной и более мимических мышц лица), находящихся на лечении в НИИ педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН и Санкт-Петербургском НИИ уха, горла, носа и речи Минздрава России. Система КИ, установленная всем исследуемым, позволяла осуществить выбор типа стимуляции двухфазными или трехфазными электрическими импульсами. Возраст установки системы КИ колебался от 6 до 75 месяцев ($Me = 10 \pm 16,34$). Все пациенты имели полное введение электродной решетки в улитку, а все электроды импланта были активированы.

Во всех наблюдениях потенциал действия слухового нерва (ЕСАР) был зарегистрирован на каждом канале системы. Всем пациентам регулярно проводили курсы слухоречевой реабилитации. Критериями исключения из исследования послужили: наличие у пациента сочетанной неврологической патологии, а также врожденных аномалий развития улитки височной кости.

Изначально всем пациентам настройку речевого процессора проводили с использованием стимуляции двухфазными импульсами. Во всех случаях возникали различные явления СЛН разной степени тяжести, проявлявшиеся как в процессе коррекции настроек, так и при последующем сурдопедагогическом тестировании. Длительность пользования системой КИ с данным типом стимуляции находилась в пределах от 1 до 112 месяцев ($Me = 36 \pm 21,02$). Изначально купирование неприятных для пациента ощущений, вызванных СЛН, проводили путем снижения уровней MCL в сочетании с коррекцией усиления микрофона. При тестировании сурдопедагогом результаты оценки слухового восприятия у всех наблюдаемых были признаны неудовлетворительными.

Результаты и обсуждение

В исследуемой группе пациентов отмечался стойкий регресс показателей слухоречевой реабилитации, даже у пациентов с достаточным развитием речевых навыков, проявлявшийся в ухудшении разборчивости речи, нарушении дифференциации звонких и глухих фонем, а также акустических стимулов среднечастотного и низкочастотного спектра, в связи с чем было принято решение применить стимуляцию трехфазными импульсами. Уже через час после коррекции настроек РП во время сурдопедагогического тести-

рования пациенты демонстрировали улучшение слухового восприятия. После 48 часов использования программы, основанной на применении стимуляции трехфазными импульсами, у всех тестируемых отмечались хорошие результаты разборчивости речи и дифференциации фонем всего речевого спектра (таблица).

Оценка шепотной речи, проводимая через 48 часов после смены парадигмы стимуляции, также показала значительное улучшение результатов в большинстве наблюдений (рис. 1).

В процессе наблюдения было проведено изучение значений порогов возникновения ЕСАР, сравнение значений максимально комфортных уровней (MCL) при применении стимуляции двухфазными импульсами в начальном периоде реабилитации со значениями MCL на текущий момент времени. Анализ данных показал повышение MCL на всех каналах электродной решетки при использовании стимуляции трехфазными импульсами (рис. 2).

Статистический анализ проводили с помощью программы IBM © Статистический пакет социальных наук (SPSS Statistics New Seas Subscription) © версия 25.0.0. Проверку выборок на нормальность распределения проводили с помощью теста Шапиро – Уилка $p \text{ value} \geq 0,05$, для проверки различий между выборками использовали непараметрический статистический критерий – парный W-критерий знаковых рангов Уилкоксона. Для проверки гипотезы о разности средних использовали однофакторный дисперсный анализ для сравнения средних.

Использование трехфазной стимуляции положительно сказывается на реабилитации пациентов после КИ, имеющих проявления стимуляции слухового нерва за счет сравнительно большего динамического диапазона звуковосприятия.

Т а б л и ц а
Оценка слухоречевого восприятия в зависимости от используемого типа стимуляции (n = 21)

Assessment of speech perception for different types of stimulation (n = 21)

Разборчивость речи	Biphas	Triphas	
		Через 1 час после настройки	Через 48 часов после настройки
Снижена в шуме	15	11	–
Снижена в тишине	6	10	–
Не снижена	–	–	21
Наличие дискомфорта	16	–	–
Нарушение дифференциации:			
глухих и звонких фонем	17	3	1
низкочастотных фонем (БДГ)	14	–	–
среднечастотных фонем (ПТК)	21	–	–
высокочастотных фонем (ФХЦЩ)	6	–	–

Rossiiskaya otorinolaringologiya

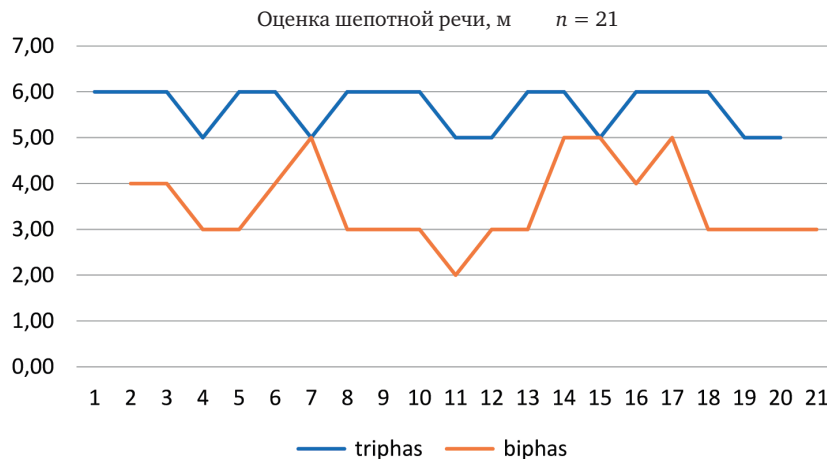


Рис. 1. Сравнение данных акуметрии при разных типах стимуляции
 Fig. 1. Comparison of acumeny data for different types of stimulation

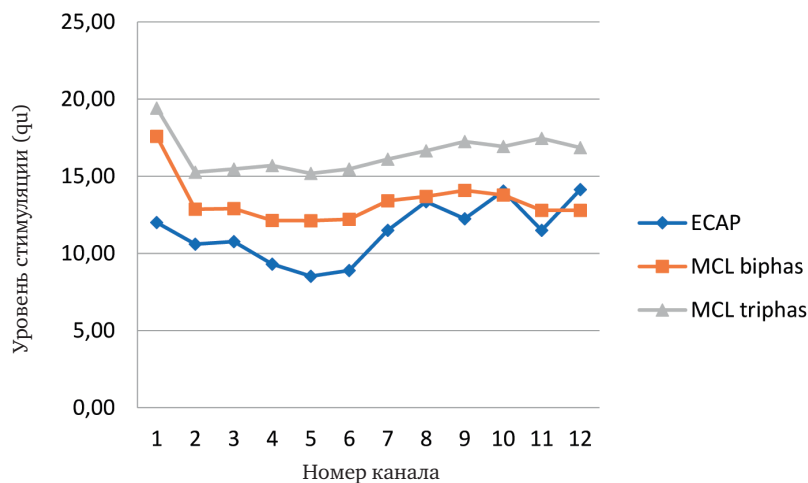


Рис. 2. Средние значения ECAP и MCL при разных типах стимуляции
 Fig. 2. Average values of ECAP and MCL for different types of stimulation

Взаимосвязь значений MCL как при двухфазной, так и при трехфазной стимуляции со значениями порогов регистрации ECAP была статистически значимой, что говорит о потенциале данного решения вне зависимости от выбранного типа стимуляции, поскольку пороги ECAP коррелируют с MCL [9]. Увеличение значений MCL, необходимое для создания эффективного динамического диапазона, при трехфазной стимуляции способно предотвратить возникновение проявлений СЛН, что ранее было показано [8] в исследовании с применением электромиографии у пациентов в условиях общей анестезии. В нашем исследовании показано положительное влияние трехфазной стимуляции с одновременным увеличением MCL уровней на результаты сурдологического тестирования или речевой аудиометрии (у двух пациентов с развитыми речевыми навыками). Трехфазные импульсы уменьшают проявления СЛН, распределяя заряд между двумя отрицательными фазами одинаковой длительности и одной положительной фазой с удвоенной длительно-

стью. Результаты сурдологического тестирования и речевой аудиометрии (у детей с развитыми речевыми навыками) показали достоверное увеличение показателей звуковосприятия при переходе на трехфазный алгоритм стимуляции.

Выводы

Применение трехфазной стимуляции КИ является перспективным инструментом, предотвращающим стимуляцию лицевого нерва после кохлеарной имплантации при сохранении эффективного динамического диапазона и, следовательно, сравнительно большим потенциалом звуковосприятия по сравнению с традиционным алгоритмом двухфазной стимуляции. В случае возникновения клинических проявлений СЛН рекомендовано применять трехфазный тип стимуляции для создания карт прослушивания пациентам с КИ.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Halawani R., Aldhafeeri A., Alajlan S., Alzhrani F. Complications of post-cochlear implantation in 1027 adults and children. *Ann Saudi Med.* 2019 Mar-Apr;39(2):77-81. doi: 10.5144/0256-4947.2019.77. PMID: 30955015; PMCID: PMC6464671.
2. Alzhrani F., Halawani R., Basodan S., Hudeib R. Investigating Facial Nerve Stimulation After Cochlear Implantation in Adult and Pediatric Recipients. *Laryngoscope.* 2021 Feb;131(2):374-379. <https://doi.org/10.1002/lary.28632>. Epub 2020 Mar 28. PMID: 32222081.
3. Kelsall D. C., Shallop J. K., Brammeier T. G., Prenger E. C. Facial nerve stimulation after Nucleus 22-channel cochlear implantation. *Am J Otol.* 1997 May;18(3):336-41. PMID: 9149828.
4. Braun K., Walker K., Sürth W., Löwenheim H., Tropitzsch A. Triphasic Pulses in Cochlear Implant Patients With Facial Nerve Stimulation. *Otol Neurotol.* 2019 Dec;40(10):1268-1277. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002398>. PMID: 31469792.
5. Ahn J. H., Oh S. H., Chung J. W., Lee K. S. Facial nerve stimulation after cochlear implantation according to types of Nucleus 24-channel electrode arrays. *Acta Otolaryngol.* 2009 Jun;129(6):588-91. <https://doi.org/10.1080/00016480802325965>. PMID: 18720074.
6. Espahbodi M., Sweeney A. D., Lennon K. J., Wanna G. B. Facial nerve stimulation associated with cochlear implant use following temporal bone fractures. *Am J Otolaryngol.* 2015 Jul-Aug;36(4):578-82. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2015.04.003>. Epub 2015 Apr 15. PMID: 25929977.
7. Кузовков В. Е., Клячко Д. С., Сугарова С. Б., Лиленко А. С., Костевич И. В., Несипбаева А. А. Роль этиологического фактора в реабилитации пациентов после кохлеарной имплантации. *Российская оториноларингология.* 2018;3(94):60–65. [Kuzovkov V. E., Klyachko D. S., Sugarova S. B., Lilenko A. S., Kostevich I. V., Nesipbayeva A. A. The role of the etiological factor in the rehabilitation of patients after cochlear implantation. *Rossiiskaya otorinolaringologiya.* 2018;3(94):60-65.] <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2018-3-60-65>
8. Bahmer A., Baumann U. The Underlying Mechanism of Preventing Facial Nerve Stimulation by Triphasic Pulse Stimulation in Cochlear Implant Users Assessed With Objective Measure. *Otol Neurotol.* 2016 Oct;37(9):1231-7. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001156>. PMID: 27636387.
9. 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 [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(95):99-120] <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2018-4-99-120>

Информация об авторах

Пашков Александр Владимирович – доктор медицинских наук, руководитель отдела оториноларингологии и сурдологии, Научно-исследовательский институт педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН (119333, Россия, Москва, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1); профессор кафедры оториноларингологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации (121359, Россия, Москва, ул. Маршала Тимошенко д. 19, с. 1А); e-mail: avpashkov.mail@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3197-2879>

Наумова Ирина Витальевна – кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела оториноларингологии и сурдологии, Научно-исследовательский институт педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН (119333, Москва, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1); e-mail: irinanaumova22@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-4878>

Воеводина Ксения Игоревна – ординатор кафедры оториноларингологии, Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации (121359, Россия, Москва, ул. Маршала Тимошенко д. 19, с. 1А); e-mail: ksvoko@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0249-1662>

✉ **Клячко Дмитрий Семенович** – кандидат медицинских наук, старший 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: rip.tor@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-8053>

Фатахова Мадина Тажиidinовна – младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт педиатрии и охраны здоровья детей ЦКБ РАН (119333, Россия, Москва, ул. Фотиевой, д. 10, стр. 1); e-mail: fatahova.madina@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3025-8355>

Каляпин Денис Дмитриевич – младший 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: kalyapin92@gmail.com, Orcid: 0000-0002-2768-6036

Information about authors

Aleksandr V. Pashkov – MD, Head of the Otorhinology and Audiology Department, Research Institute of Pediatrics and Child Health of the Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences (building 1, 10, Fotievoy st., Moscow, Russia, 119333); professor of the Department of Otorhinology, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation (1A, 19, st. Marshal Timoshenko, Moscow, Russia, 121359); e-mail: avpashkov.mail@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3197-2879>

Irina V. Naumova – MD Candidate, Leading Researcher of the Otorhinology and Audiology Department, Research Institute of Pediatrics and Child Health of the Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences (building 1, 10, Fotievoy st., Moscow, Russia, 119333); e-mail: irinanaumova22@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0559-4878>

Ksenia I. Voevodina – Resident of the Department of Otorhinolaryngology, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of the Russian Federation (1A, 19, st. Marshal Timoshenko, Moscow, Russia, 121359); e-mail: ksuvoko@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0249-1662>

✉ **Dmitrii S. Klyachko** – MD Candidate, 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: rip.tor@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-8053>

Madina T. Fatakhova – Junior Researcher of the Otorhinolaryngology and Audiology Department, Research Institute of Pediatrics and Child Health of the Central Clinical Hospital of the Russian Academy of Sciences (building 1, 10, Fotievoy st., Moscow, Russia, 119333); e-mail: fatahova.madina@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3025-8355>

Denis D. Kalyapin – Junior 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: kalyapin92@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2768-6036>