

УДК 616.28-089.24

ПСИХОАКУСТИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ КОХЛЕАРНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

© 2020 г. М. В. Гойхбург^{1,*}, В. В. Бахшиян^{1,2}, В. В. Жеренкова¹, Т. И. Чугунова¹, Г. А. Таварткиладзе^{1,2}

¹ ФГБУ «Российский научно-клинический центр аудиологии и слухопротезирования» ФМБА России
117513 Москва, Ленинский пр-т, д. 123, Россия

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования»
Министерства здравоохранения России 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Россия

*E-mail: mgoykhburg@mail.ru

Поступила в редакцию 06.09.2019 г.

После доработки 15.10.2019 г.

Принята к публикации 22.01.2020 г.

С целью определения возможности применения психоакустических и электрофизиологических методов исследования для оценки результатов слухоречевой реабилитации пациентов после проведенной кохлеарной имплантации (КИ) в исследовании проводилась речевая аудиометрия в свободном звуковом поле в шуме с использованием русскоязычной версии международного фразового теста RUMatrix. Оценивалась частотная разрешающая способность слуха при помощи теста, основанного на спектрально-временной гребенчатой модуляции (SMRT), а также определялось распространение электрического возбуждения в улитке методом регистрации телеметрии нервного ответа (SOE). В исследовании принимали участие 15 нормально слышащих испытуемых из контрольной группы и 20 пациентов с диагнозом: двусторонняя сенсоневральная глухота, состояние после КИ. В результате проведенных исследований выявлена корреляция между разборчивостью речи в шуме и частотно-временной разрешающей способностью слуха. Полученные данные доказывают возможность использования методов исследования частотно-временной разрешающей способности слуха для оценки результатов реабилитации пациентов после КИ.

Ключевые слова: кохлеарная имплантация, слухоречевая реабилитация, речевая аудиометрия в свободном звуковом поле, частотная разрешающая способность слуха, RUMatrix-тест, SMRT-тест, распространение электрического возбуждения в улитке

DOI: 10.31857/S0235009220020031

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время результаты слухоречевой реабилитации пациентов с диагнозом: двусторонняя сенсоневральная глухота, состояние после кохлеарной имплантации (КИ), значительно превзошли все ожидания, которые предполагались при создании данного метода реабилитации, как у взрослых, так и у детей.

Изначально системы КИ не обеспечивали разборчивого восприятия речи и позиционировались в качестве устройства, помогающего улучшить разборчивость речи постлингвально оглохшим пациентам при считывании с губ (Bilger, Black, 1977). Сегодня же пользователи КИ способны вести нормальный диалог в условиях спокойной акустической обстановки и даже общаться по телефону. В настоящее время предполагаемые преимущества, которые возможно получить после проведения КИ у пациентов с тяжелой по-

терей слуха, оправдывают мировую тенденцию проведения КИ пациентам с хорошим остаточным слухом (Vermeire et al., 2008; Dorman, Gifford, 2010; Turner et al., 2010).

Значительные положительные результаты слухоречевой реабилитации пациентов после КИ частично объясняются достижениями в современных стратегиях кодирования речи. Одним из первых в этой области был переход от аналоговых стратегий к цифровым с непрерывной чередующейся стимуляцией, разработанной в работе (Wilson et al., 1991). Также необходимо отметить переход от алгоритма выделения признаков, таких как F0/F2, F0/F1/F2 и MPEAK, к закодированной спектральной информации без выделения признаков, такой как в речевых процессорах Spectral Maxima и Spectral Peak (McDermott et al., 1992; McKay et al., 1992). Более поздние достижения в стратегиях кодирования речи включают появление виртуальных каналов (Buechner et al.,

2008); передачу информации о тонкой временной структуре акустического сигнала (Arnoldner et al., 2007); совершенствование алгоритмов отбора пиков (Nogueira et al., 2005); уменьшение распространения электрического возбуждения при текущей фокусировке (Landsberger et al., 2012; Srinivasan et al., 2013; Bierer, Litvak, 2016).

Однако несмотря на развитие технологий в новых поколениях систем КИ, разборчивость речи пациентов после КИ значительно ухудшается в тяжелой акустической ситуации. Ухудшение частотной разрешающей способности слуха (ЧРС), распространение электрического возбуждения в улитке, ограниченное число спектральных каналов и другие факторы частично объясняют различия в разборчивости речи в шуме между пользователями КИ и нормально слышащими испытуемыми. В связи с этим большое количество исследований проводилось для определения ЧРС у пациентов после КИ тестами с использованием стимулов гребенчатого спектра (Anderson et al., 2011; Drennan et al., 2016; Gifford et al., 2014; Saoji et al., 2009; Won et al., 2007). Гребенчатый спектр состоит из гребней, в которых чередуются максимумы и минимумы спектральной плотности. При этом единицей измерения ЧРС является максимальная плотность гребней, при которой слушатель еще способен различить сигналы с разным гребенчатым рисунком спектра (Нечаев, Сысуева, 2015).

Исследования выявили значительную корреляцию ЧРС у пользователей КИ с разборчивостью речи в тишине (Anderson et al., 2011; Drennan et al., 2016; Gifford et al., 2014; Saoji et al., 2009; Won et al., 2007; Anderson et al., 2012), что позволяет использовать методы исследования ЧРС для оценки слухоречевой реабилитации пациентов после КИ независимо от уровня речевого развития испытуемого. Необходимо отметить, что в исследованиях с участием нормально слышащих детей, проведенных в работе (Eisenberg et al., 2000), были выявлены следующие результаты: дети в возрасте от 10 до 12 лет имели схожие данные по разборчивости речи и по результатам измерения ЧРС со взрослыми нормально слышащими испытуемыми, в то время как у детей в возрасте от 5 до 7 лет результаты были хуже. В то же время при проведении исследований по выявлению корреляции разборчивости речи в шуме и ЧРС у пациентов с КИ были получены противоречивые данные. Так, некоторые исследователи сообщают о выявлении статистически значимой корреляции ЧРС и разборчивости речи в шуме (Won et al., 2007; 2011), а другие – об ее отсутствии (Anderson et al., 2011).

Цель настоящей работы – оценить корреляцию разборчивости речи в шуме с ЧРС и распро-

странением электрического возбуждения в улитке у пациентов после КИ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании принимали участие 20 пациентов с диагнозом: двусторонняя сенсоневральная глухота, состояние после КИ. Десять детей и десять взрослых в возрасте от 10 до 56 лет с опытом использования системы КИ от 3 до 16 лет, из них два пациента после билатеральной КИ. По этиологии пациентов распределяли следующим образом: шесть пациентов с наследственной глухотой (четверо из них с глухотой, обусловленной мутацией в гене *GJB2*); трое – после перенесенного менингита; один – с глухотой, обусловленной отосклерозом; один – после перенесенной закрытой черепно-мозговой травмы; у остальных этиология глухоты неизвестна. Все испытуемые использовали системы КИ производства “Sochear Ltd” (Австралия) и стратегию кодирования речевой информации ACE. В табл. 1 представлены данные пациентов, принимавших участие в исследовании.

В контрольную группу были включены 15 нормально слышащих испытуемых в возрасте от 20 до 47 лет, для которых русский язык является родным. По данным тональной пороговой аудиометрии (ТПА), пороги слуха у всех испытуемых были ниже 15 дБ нПС в диапазоне частот от 250 до 8000 Гц; у всех испытуемых определялись тимпанограммы типа “А” и нормальные пороги регистрации акустического рефлекса стременной мышцы.

Методы исследования. Для оценки разборчивости речи в шуме проводили речевую аудиометрию с использованием русскоязычной версии международного фразового теста RUMatrix; для оценки ЧРС – тест, основанный на спектрально-временной гребенчатой модуляции (Spectral-temporally modulated test – SMRT), также проводили тональную пороговую аудиометрию, а у пациентов после КИ дополнительно измерение распространения электрического возбуждения в улитке методом регистрации телеметрии нервного ответа (SOE).

Все исследования проводили в звукоизолированной камере.

Для проведения речевой аудиометрии RUMatrix использовали персональный компьютер (ПК) с установленным программным обеспечением “Oldenburg Measurement Application” (HörTech GmbH, Ольденбург, www.hoertech.de), цифровой аудиометр, (Auritec, Гамбург, Германия). Для испытуемых из контрольной группы применяли наушники Sennheiser HDA200, откалиброванные для свободного звукового поля (ISO389-8 2004). Для пациентов после КИ исследование проводи-

Таблица 1. Данные пациентов после КИ, принявших участие в исследовании

№	Пациент	Возраст	Пол	Сторона КИ	Возраст проведения КИ	Срок глухоты	Опыт использования системы КИ	Этиология	Модель КИ	Модель речевого процессора
1	ba20020531	15	м	Правая	4	4	9	Неизвестная	CI 24 М	CP 810
2	ta07022000	17	ж	Левая	1	1	16	Неизвестная	CI 24 М	CP 910
3	ai01062008	10	м	Левая	3	3	7	Спх+	CI 512 (CA)	CP 810
4	mi10022004	13	м	Правая	4	4	11	Неизвестная	CI 24 М	CP 910
5	pp30032006	11	ж	Правая	1	1	9	Неизвестная	CI 24 RE(CA)	CP 910
6	am25122008	10	м	Левая	3.5	3.5	6.5	Спх+	CI 24 RE(CA)	CP 910
7	ms18092002	15	м	Правая	5	5	9	Спх+	CI 24 R (ST)	CP 910
8	pm14092007	10	ж	Правая	4	4	6	Неизвестная	CI 24 RE(CA)	CP 910
9	ge10022002	15	м	Правая	3.5	3.5	11	Неизвестная	CI 24 RE (CS)	CP 810
10	mv23082001	16	м	Правая	9	1	6	Спх+	CI512 (CA)	CP 810
11	ta07022000	17	ж	Правая	7	1	7	Неизвестная	CI 24 RE(CA)	CP 810
12	na22011982	36	ж	Правая	32	3	3	Наследственная	CI 24 RE(CA)	CP 810
13	aa24101995	22	м	Правая	10	3	10	Неизвестная	CI 24 М	CP 910
14	va06042003	14	ж	Правая	9	1	5	Менингит	CI 24 RE(CA)	CP 910
15	ba18121999	18	м	Правая	13	3	5	Неизвестная	CI 24 RE(CA)	CP 910
16	fa30071990	27	м	Правая	16	2	11	Менингит	CI 24 М	CP 910
17	lv24011961	56	м	Правая	50	3	6	Отосклероз	CI 24 RE(ST)	CP 810
18	lv24011961	56	м	Левая	50	3	6	Отосклероз	CI 24 RE(ST)	CP 810
19	pe20041982	35	м	Правая	28	0,5	7	ЗЧМТ	CI 24 RE(CA)	CP 810
20	ae20112000	17	м	Правая	11	5	6	Наследственная	CI 512 (CA)	CP 910
21	ae20112000	17	м	Левая	14	5	3	Наследственная	CI 24 RE(CA)	CP 910
22	sd29032004	13	ж	Правая	4	1	9	Менингит	CI 24 R (ST)	CP 910

ли в свободном звуковом поле с использованием звуковой колонки SP 90 (Interacoustics, Дания). При проведении тестирования треки предъявлялись в случайном порядке, каждый из треков состоял из 20 фраз по пять слов, а именно: женское или мужское имя; глагол; числительное; прилагатель-

ное; существительное. Речевой материал RUMatrix представлен именами собственными, глаголами, числительными, прилагательными и существительными. Каждая группа состояла из десяти слов, произносилась женским голосом диктора, для которого русский язык является родным. При

этом испытуемый должен был повторить услышанное им предложение, в то время как исследователь отмечал на экране только правильно названные слова в предложении (Бобошко, 2012; Гойхбург и др., 2016; Warzybok et al., 2015). Уровень шума был постоянным и соответствовал 65 дБ относительно уровня звукового давления (УЗД), соотношение сигнал/шум изменялось автоматически за счет изменения уровня подачи сигнала, а именно, речевого материала. Для проведения оценки результатов тестирования уровень соотношения сигнал/шум в дБ (SNR), при котором разборчивость речи составляла 50%, динамически изменялся в зависимости от ответов испытуемого (Бобошко, 2012; Гойхбург и др., 2016; Warzybok et al., 2015).

SMRT-тест выполняли с использованием ПК с установленным программным обеспечением “Spectral-temporally modulated test” (Aronoff, Landsberger, 2013). Для испытуемых из контрольной группы исследование проводили с наушниками Sennheiser HDA200, откалиброванными для свободного звукового поля (ISO389-8 2004), а для пациентов после КИ – в свободном звуковом поле с использованием звуковой колонки SP 90 (Interacoustics, Дания). Средний уровень звука при тестировании в свободном звуковом поле составлял 65 дБ УЗД. SMRT-тест являлся адаптивным тестом, при котором плотность гребенчатого спектра целевого сигнала изменялась до тех пор, пока испытуемый не сможет различить эталонный и целевой сигналы. Каждый стимул для SMRT составлял 500 мс с началом в 100 мс и смещенной линейной функцией нарастания, с частотой дискретизации 44.1 кГц. Стимулы генерируются с использованием негармонического тонального комплекса с 202 равными амплитудно-частотными составляющими чистого тона, расположенными через каждые 1/33.333 октавы от 100 до 6400 Гц. Для определения порога ЧРС использовали метод трехальтернативного принудительного выбора. Два сигнала состояли из эталонного стимула с референтным значением количества гребней на октаву (RPO) – 20, целевой же стимул имел первоначальное значение 0.5 RPO, который далее адаптивно модифицировался по схеме 1-вверх/1-вниз с размером шага 0.2 RPO. При этом задачей испытуемого было найти сигнал, который отличался от двух других. Тест завершался после получения десяти точек перегиба (переход от увеличения плотности гребней к уменьшению, и обратно), за пороговое значение теста принимали среднее значение шести последних точек перегиба (Aronoff, Landsberger, 2013).

Для имитации электрического слуха у испытуемых из контрольной группы речевой материал и сигналы SMRT-теста были преобразованы с использованием вокодера (Williges et al., 2015), в котором применялись параметры стимуляции на

основании стратегии кодирования речевой информации ACE и физиологически обоснованные особенности, такие как положение электродов (адаптированные к системам КИ “Cochlear” с перимодиолярными электродными решетками, и пространственное распространение электрического возбуждения в улитке). В качестве моделей исследования были использованы три пространственные конфигурации распространения электрического возбуждения в улитке: 1 мм, 3.6 мм и 7 мм.

Исследование контрольной группы. С целью оценки слуха у испытуемых из контрольной группы проведен осмотр ЛОР-органов, импедансометрия, ТПА. Для выполнения ТПА использовали двухканальный клинический аудиометр AC-40 (Interacoustics, Дания) с наушниками TDH39, для импедансометрии – импедансометр TITAN (Interacoustics, Дания).

Все испытуемые были исследованы согласно следующему протоколу:

SMRT-тест:

- Тренировочный тест состоял из четырех исследований: оригинальная версия теста; тесты с использованием вокодера 1 мм, 3.6 мм, 7 мм.
- Тестирование, состоящее также из четырех исследований: оригинальная версия теста; тесты с использованием вокодера 1 мм, 3.6 мм, 7 мм.
- Повторное тестирование: оригинальная версия теста; тесты с использованием вокодера 1 мм, 3.6 мм, 7 мм.

Все тесты проводили в случайном порядке.

RUMatrix-тест:

- Тренировочный тест состоял из трех исследований: дважды треки оригинальной версии теста в адаптивном режиме в закрытом выборе; трек с использованием вокодера 3.6 мм в адаптивном режиме в закрытом выборе.
- Тестирование: трек оригинальной версии теста в адаптивном режиме; треки с использованием вокодера 1 мм, 3.6 мм, 7 мм в адаптивном режиме.
- Повторное тестирование: трек оригинальной версии теста в адаптивном режиме; треки с использованием вокодера 1 мм, 3.6 мм, 7 мм в адаптивном режиме.

Все треки подавали в случайном порядке.

Исследование пациентов после КИ. Пациентам после КИ проводили ТПА в свободном звуковом поле на аудиометре AC-40 (Interacoustics, Дания), звуковую колонку располагали на расстоянии 1 м от головы испытуемого, исследование проводили по стандартному протоколу.

Для измерения SOE у пациентов после КИ использовали метод регистрации телеметрии нервного ответа с использованием программного

обеспечения “CustomSound EP” версии 5.1 (Cochlear Ltd), установленным на ПК, речевой процессор, POD. Проводили регистрацию SOE на 11-м электроде со следующими параметрами: ширина импульса (PW) 25 мкс, интенсивность стимула – 210–220 CL, усиление (Gain) и задержка (Delay) подбирались индивидуально.

Далее проводили исследование с использованием SMRT- и RUMatrix-тестов в свободном звуковом поле. Сигналы SMRT-теста, а также речевой материал и шум подавались с одной звуковой колонки, расположенной напротив испытуемого на расстоянии 1 м на уровне головы в звукоизолированной камере.

Протокол исследования был следующим:

SMRT-тест:

- Тренировочное исследование: дважды проводили оригинальную версию SMRT-теста.
- Тестовое исследование: оригинальная версия SMRT-теста.

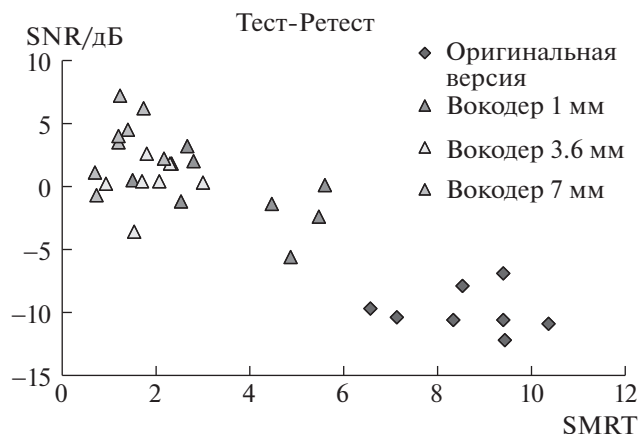
RUMatrix-тест:

- Тренировочное тестирование: треки в тишине и в адаптивном режиме.
- Тестовое исследование: трек в адаптивном режиме.
- Повторный тест: трек в адаптивном режиме.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований контрольной группы был выявлен высокий коэффициент корреляции результатов речевой аудиометрии с использованием RUMatrix-теста с вокодером теста/повторного теста $R^2 = 0.79$. Среднее значение SNR при исследовании в оригинальной версии теста составило -10.01 дБ, в то время как при тестировании с использованием вокодера 1 мм этот показатель был равен 0.45 дБ, повторного теста с вокодером 1 мм: -0.78 дБ. SNR теста с вокодером 3.6 мм составил 0.95 дБ; повторного теста -0.26 . Среднее значение SNR теста с вокодером 7 мм – 3.82 дБ, повторного теста – 3.08 дБ.

По данным SMRT-теста в контрольной группе среднее значение теста в оригинальной версии составило 8.82 ± 1.41 RPO. При тестировании с вокодером 1 мм среднее значение количества гребней на октаву равнялось 3.03 ± 1.83 RPO, повторного теста – 4.35 ± 2.17 RPO. Согласно результатам, полученным при исследовании с вокодером 3.6 мм, среднее значение теста составило 1.84 ± 0.72 RPO, повторного теста – 2.05 ± 0.85 RPO. Результаты исследования с вокодером 7 мм были следующими: среднее значение теста – 1.33 ± 0.75 RPO, повторного теста – 1.43 ± 0.65 RPO. Был выявлен высокий коэффициент корреляции теста/повторного теста $R^2 = 0.85$.



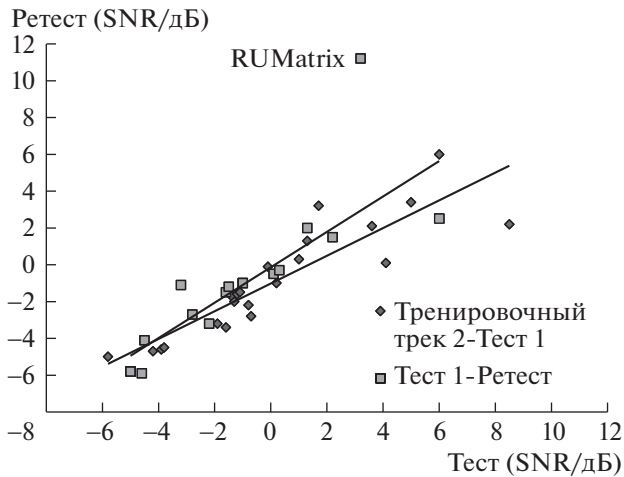


Рис. 3. Корреляция между основным и повторным тестированием при проведении RUMatrix-теста в группе пациентов после КИ.

зультаты исследований RUMatrix-теста. Был выявлен высокий коэффициент корреляции между основным тестированием и повторным $R^2 = 0.82$ (рис. 3).

- При проведении оценки ЧРС пользователей КИ по данным SMRT-теста среднее значение равнялось 2.39 ± 1.45 RPO. На рис. 4 представлены данные, полученные в результате исследований. Была выявлена достоверная корреляция между тестовым и повторным исследованиями, $R^2 = 0.59$ (рис. 5).

Также необходимо отметить, что группа имплантированных пациентов была разделена на две подгруппы в зависимости от возраста возникновения глухоты: подгруппа прелингвально оглохших пациентов и подгруппа постлингвально оглохших пациентов. В прелингвальную груп-

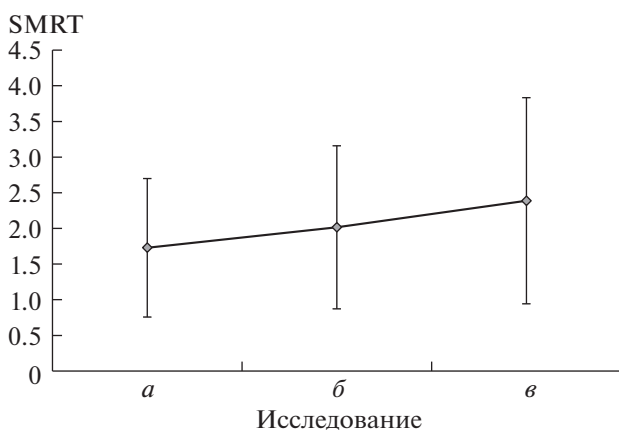


Рис. 4. Результаты SMRT-теста в группе пациентов после КИ.
а – первый тренировочный трек; б – второй тренировочный трек; в – тест.

пу было включено девять пациентов, в постлингвальную – 11.

Результаты SMRT-теста имели достоверную корреляцию с результатами RUMatrix-теста в постлингвальной группе ($R^2 = 0.55$), однако корреляции в прелингвальной группе выявлено не было ($R^2 = 0.03$) (рис. 6). В прелингвальной группе разборчивость речи в шуме зависела от срока глухоты (рис. 7).

При регистрации SOE среднее значение составило 4.77 ± 1.42 мкс. В группе постлингвально оглохших пациентов, проимплантированных имплантами с прямой электродной решеткой, была выявлена достоверная корреляция между разборчивостью речи в шуме и распространением электрического возбуждения в улитке, а также между ЧРС и распространением электрического возбуждения в улитке. У остальных пациентов, включенных в исследование, такой корреляции выявлено не было. Однако необходимо отметить, что в группе постлингвально оглохших пациентов результаты SMRT-теста были хуже у испытуемых с большим распространением SOE.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В исследованиях, проведенных в работе (Eisenberg et al., 2000), было доказано, что результаты исследования ЧРС у детей с нормальным слухом в возрасте от 10 лет соответствуют результатам, полученным у взрослых нормально слышащих испытуемых, в связи с чем в наше исследование были включены дети после КИ в возрасте от 10 лет. Также необходимо отметить, что при проведении апробации RUMatrix-теста в

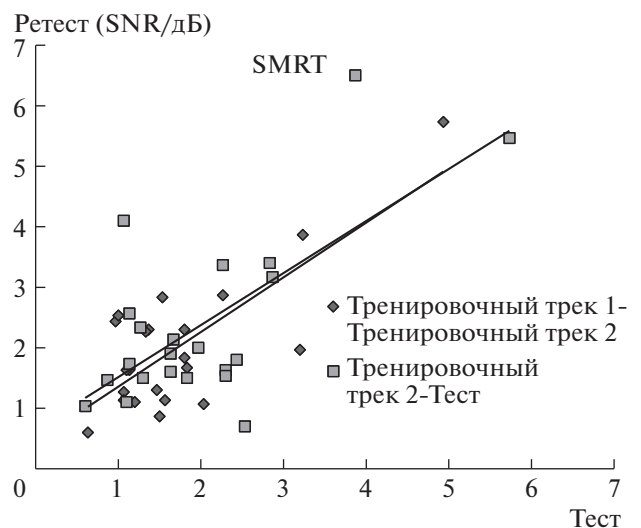


Рис. 5. Корреляция между основным тестированием и повторным при проведении SMRT-теста в группе пациентов после КИ.

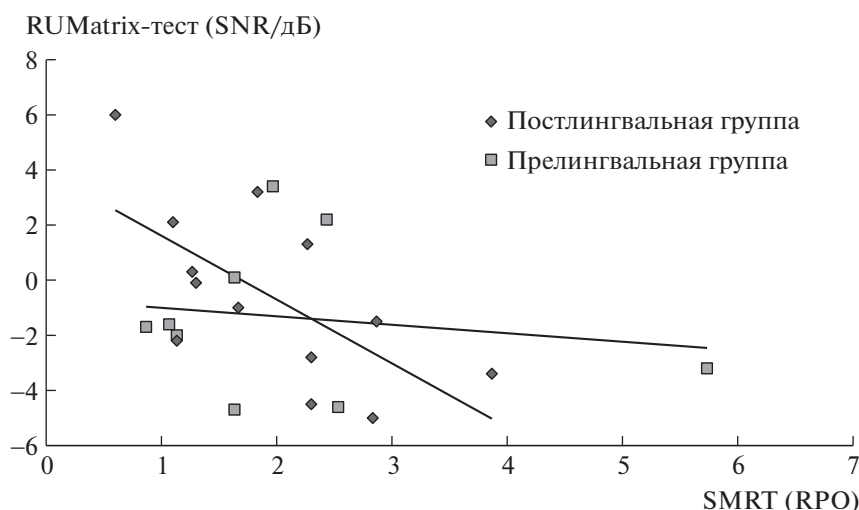


Рис. 6. Корреляция между RUMatrix- и SMRT-тестами в группе пациентов после КИ.

группе нормально слышащих испытуемых (Warzybok et al., 2015), а также при исследовании с участием пользователей КИ (Гойхбург и др., 2016), было доказано, что выполнение двух тренировочных тестов достаточно для получения достоверных результатов. В связи с чем всем испытуемым было предложено пройти по два тренировочных теста во время речевой аудиометрии. Также в ходе исследования был выявлен высокий коэффициент корреляции между вторым тренировочным тестированием и тестом при проведении SMRT-теста, что доказывает возможность использования двух тренировочных тестов для получения достоверных результатов.

Результаты исследования контрольной группы и группы испытуемых после КИ показали наличие достоверной корреляции между тестом и повторным тестом при использовании как RUMatrix, так и SMRT, что свидетельствует о том, что проведение двух тренировочных тестов достаточно для получения достоверных результатов. В контрольной группе было выявлено ухудшение разборчивости речи в шуме и ЧРС в зависимости от используемого вокодером типа конфигурации пространственного распространения электрического возбуждения в улитке, что соответствует данным, полученным в работе (Landsberger et al., 2018). В группе имплантированных пациентов такая закономерность, а именно ухудшение разборчивости речи в шуме и ЧРС при расширении распространения электрического возбуждения в улитке, была выявлена только в подгруппе постлингвально оглохших пациентов, проимплантированных имплантами с прямой электродной решеткой. Вероятно, это связано с тем, что после введения прямой электродной решетки, она располагается у латеральной стенки барабанной лестницы, а значит, и дальше от клеток спирального ганглия,

которые необходимо стимулировать системой КИ (Таварткиладзе, 2013). В связи с этим расширение SOE у этих пациентов ведет к ухудшению как разборчивости речи в шуме, так и уменьшению баллов SMRT-теста. В то же время у пациентов, использующих импланты с перимодилярной электродной решеткой, которая после введения в улитку располагается у медиальной стенки барабанной лестницы в непосредственной близости от клеток-мишеней (Таварткиладзе, 2013), расширение SOE не влияло на разборчивость речи в шуме и ЧРС слуха пациентов.

В группе постлингвально оглохших пациентов выявлена корреляция разборчивости речи в шуме и ЧРС, однако, такой корреляции в группе прелингвально глухих пациентов выявлено не было. Полученные результаты соответствуют результа-

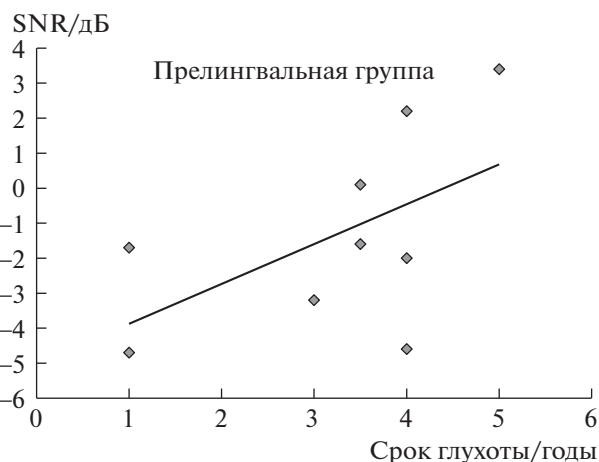


Рис. 7. Корреляция между разборчивостью речи в шуме и сроком глухоты в прелингвальной группе пациентов после КИ.

там, опубликованным ранее. При этом среднее значение результатов SMRT-теста группы постлингвально оглохших пациентов было выше, чем в группе прелингвально оглохших пациентов. Вероятно, это связано с тем, что постлингвально оглохшие пользователи КИ имеют систему слухового анализатора, сформированную под воздействием нормального акустического сигнала, в то время как у пациентов из прелингвальной группы она формировалась только под воздействием разреженного сигнала, возникающего после прохождения акустического стимула через систему фильтров КИ, в связи с чем для прелингвально глухих пользователей КИ сложнее проходить исследования по оценке ЧРС слуха.

Согласно результатам исследования, проведенным в работе (Landsberger et al., 2018), была выявлена корреляция SMRT-баллов с возрастом нормально слышащих испытуемых при обследовании с использованием вокодера, что предполагает улучшение разборчивости речи и спектральной разрешающей способности в зависимости от опыта использования системы КИ, однако, в группе прелингвально оглохших пациентов такой взаимосвязи выявлено не было. В нашем исследовании, в группе прелингвально оглохших пациентов после КИ, была выявлена зависимость между сроком глухоты и разборчивостью речи в шуме, а именно, чем раньше была проведена операция КИ, тем лучше были результаты RUMatrix-теста.

ВЫВОДЫ

В группе постлингвально оглохших пациентов основные психофизические показатели коррелируют с разборчивостью речи в шуме.

В группе прелингвально оглохших пациентов результаты зависели от срока глухоты, а именно от возраста, в котором была проведена КИ, но не от распространения электрического возбуждения в улитке.

При проведении SMRT-теста проведение двух тренировочных тестов достаточно для получения достоверных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобошко М.Ю. *Речевая аудиометрия*. Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГМУ, 2012. 63 с.
- Гойхбург М.В., Бахшиян В.В., Петрова И.П., Важыбок А., Кольмейер Б., Таварткиладзе Г.А. Русскоязычная версия матричного фразового теста RUMatrix в свободном звуковом поле у пациентов после кохлеарной имплантации. *Вестник оториноларингологии*. 2016. № 6. С. 42–46. <https://doi.org/10.17116/otorino201681642-46>
- Нечаев Д.И., Сысуева Е.В. Частотная избирательность слуха. *Сенсорные системы*. 2015. Т. 29. № 3. С. 181–200.
- Таварткиладзе Г.А. *Руководство по клинической аудиологии*. М.: Изд-во Медицина, 2013. 676 с.
- Anderson E.S., Nelson D.A., Kreft H., Nelson P.B., Oxenham A.J. Comparing spatial tuning curves, spectral ripple discrimination, and speech perception in cochlear implant users. *J. Acoust. Soc. Am.* 2011. V. 130 (1). P. 364–375. <https://doi.org/10.1121/1.3589255>
- Anderson E.S., Oxenham A.J., Nelson P.B., Nelson D.A. Assessing the role of spectral and intensity cues in spectral ripple detection and discrimination in cochlear implant users. *J. Acoust. Soc. Am.* 2012. V. 132 (6). P. 3925–3934. <https://doi.org/10.1121/1.4763999>
- Aronoff J.M., Landsberger D.M. The development of a modified spectral ripple test. *J. Acoust. Soc. Am.* 2013. V. 134 (2). EL217–EL222. <https://doi.org/10.1121/1.4813802>
- Arnoldner C., Riss D., Brunner M., et al. Speech and music perception with the new fine structure speech coding strategy: Preliminary results. *Acta. Otolaryngol.* 2007. V. 127. P. 1298–1303. <https://doi.org/10.1080/00016480701275261>
- Bierer J.A., Litvak L. Reducing channel interaction through cochlear implant programming may improve speech perception: Current focusing and channel deactivation. *Trends. Hear.* 2016. V. 17. P. 20. <https://doi.org/10.1177/2331216516653389>
- Bilger R.C., Black F.O. Auditory prostheses in perspective. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.* 1977. V. 86. Pt 2. P. 3–10.
- Buechner A., Brendel M., Krüeger B., et al. Current steering and results from novel speech coding strategies. *Otol. Neurotol.* 2008. V. 29 (2). P. 203–207. <https://doi.org/10.1097/mao.0b013e318163746>
- Dorman M.F., Gifford R.H. Combining acoustic and electric stimulation in the service of speech recognition. *Int. J. Audiol.* 2010. V. 49 (12). P. 912–9. <https://doi.org/10.3109/14992027.2010.509113>
- Drennan W.R., Won J.H., Timme A.O., Rubinstein J.T. Nonlinguistic outcome measures in adult cochlear implant users over the first year of implantation. *Ear. Hearing.* 2016. V. 37 (3). P. 354–364. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000000>
- Eisenberg L.S., Shannon R.V., Martinez A.S. Speech recognition with reduced spectral cues as a function of age. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000. V. 107 (5 Pt 1). P. 2704–2710.
- Gifford R.H., Hedley-Williams A., Spahr A.J. Clinical assessment of spectral modulation detection for adult cochlear implant recipients: A non-language based measure of performance outcomes. *Int. J. Audiol.* 2014. V. 53 (3). P. 159–164. <https://doi.org/10.3109/14992027.2013.851800>
- Landsberger D.M., Padilla M., Srinivasan A.G. Reducing current spread using current focusing in cochlear implant users. *Hear. Res.* 2012. V. 284 (1–2). P. 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2011.12.009>
- Landsberger D.M., Padilla M., Martinez A.S., Eisenberg L.S. Spectral-temporal modulated ripple discrimination by

- children with cochlear implants. *Ear. Hear.* 2018. V. 39(1). P. 60–68.
<https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000463>
- McDermott H.J., McKay C.M., Vandali A.E. A new portable sound processor for the University of Melbourne/Nucleus Limited multielectrode cochlear implant. *J. Acoust. Soc. Am.* 1992. V. 91. P. 3367–3371.
- McKay C.M., McDermott H.J., Vandali A.E. A comparison of speech perception of cochlear implantees using the spectral maxima sound processor (SMSPP) and the MSP (MULTIPEAK) processor. *Acta. Otolaryngol.* 1992. V. 112. P. 752–761.
- Nogueira W., Büchner A., Lenarz T. A psychoacoustic “NofM”-type speech coding strategy for cochlear implants. *EURASIP. J. Adv. Signal. Process.* 2005. P. 1–16.
- Saoji A.A., Litvak L., Spahr A.J., Eddins D.A. Spectral modulation detection and vowel and consonant identifications in cochlear implant listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 2009. V. 126 (3). P. 955–958.
<https://doi.org/10.1121/1.3179670>
- Srinivasan A.G., Padilla M., Shannon R.V. Improving speech perception in noise with current focusing in cochlear implant users. *Hear. Res.* 2013. V. 299. P. 29–36.
<https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.02.004>
- Turner C.W., Gantz B.J., Karsten S. Impact of hair cell preservation in cochlear implantation: Combined electric and acoustic hearing. *Otol. Neurotol.* 2010. V. 31. P. 1227–1232.
<https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181f24005>
- Vermeire K., Anderson I., Flynn M. The influence of different speech processor and hearing aid settings on speech perception outcomes in electric acoustic stimulation patients. *Ear. Hear.* 2008. V. 29. P. 76–86.
- Warzybok A., Zokoll M., Wardenga N., Ozimek E., Boboshko M., Kollmeier B. Development of the Russian matrix sentence test. *Int. J. Audiol.* 2015. V. 52 (S2). P. 35–43.
<https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1020969>
- Williges B., Dietz M., Hohmann V., Jurgens T. Spatial release from masking in simulated cochlear implant users with and without access to low-frequency acoustic hearing. *Trends. Hear.* 2015. V. 19. P. 1–14.
<https://doi.org/10.1177/2331216515616940>
- Wilson B.S., Finley C.C., Lawson D.T. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature.* 1991. V. 352. P. 236–238.
<https://doi.org/10.1038/352236a0>
- Won J.H., Drennan W.R., Rubinstein J.T. Spectral-ripple resolution correlates with speech reception in noise in cochlear implant users. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2007. V. 8 (3). P. 384–392.
<https://doi.org/10.1007/s10162-007-0085-8>
- Won J.H., Clinard C.G., Kwon S., Dasika V.K., Nie K., Drennan W.R., Tremblay K.L., Rubinstein J.T. Relationship between behavioral and physiological spectral-ripple discrimination. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2011. V. 12 (3). P. 375–393.
<https://doi.org/10.1007/s10162-011-0257-4>

Psychoacoustic and electrophysiological parameters in patients after cochlear implantation

M. V. Goykhburg^{a, #}, V. V. Bakhshinyan^{a, b}, V. V. Zherenkova^a, T. I. Chugunova^a, and G. A. Tavartkiladze^{a, b}

^a National Research Centre for Audiology and Hearing Rehabilitation 117513 Moscow, Leninskiy pr., 123, Russia

^b Russian Medical Academy Continuous Professional Education 125993 Moscow, Barrikadnaya str., 2/1, b.1, Russia

[#]E-mail: mgoykhburg@mail.ru

To assess the results of rehabilitation of patients after cochlear implantation (CI) the following examinations were performed: free field speech audiometry in noise using the Russian-language version of the international phrasal test RUMatrix; spectral temporally modulated ripple test (SMRT); registration spread of electrical excitation (SOE). The research was conducted on 15 normally hearing native Russian speaking participants together with 20 cochlear implanted patients. The study shows that there is a correlation between speech intelligibility in noise and spectral hearing resolution. Therefore, SMRT could be recommended for the assessment of CI patients' rehabilitation regardless of their level of speech development.

Key words: cochlear implantation, free field speech audiometry, spectral hearing resolution, RUMatrix test, SMRT, spread of electrical excitation (SOE)

REFERENCES

- Boboshko M.Yu. *Rechevaya audiometriya. Uchebnoe posobie. [Speech audiometry. Tutorial]*. SPb: Izd-vo SPbGMU, 2012. 63 p. (in Russian).
- Goykhburg M.V., Bakhshinyan V.V., Petrova I.P., Warzybok A., Kollmeier B., Tavartkiladze G.A. Russkoyazychnaya versiya matriksnogo frazovogo testa RUMatrix v svobodnom zvukovom pole u pacientov posle kohlearnoj implantacii. [The Russian-language version of the matrix test (RUMatrix) in free field in patients after cochlear implantation in the long term]. *Vestn Otorinolaringol.* 2016. V. 81 (6). P. 42–46.
<https://doi.org/10.17116/otorino201681642-46> (in Russian).
- Nechaev D.I., Sysueva E.V. Chastotnaya izbiratel'nost' slухa. [Frequency selectivity of hearing]. *Sensornye Sistemy [Sensory Systems]*. 2015. V. 29 (3). P. 181–200 (in Russian).
- Tavartkiladze G.A. *Rukovodstvo po klinicheskoy audiologii. [Handbook on clinical Audiology]*. M.: Meditsina; 2013. 676 p. (in Russian).

- Anderson E.S., Nelson D.A., Kreft H., Nelson P.B., Oxenham A.J. Comparing spatial tuning curves, spectral ripple discrimination, and speech perception in cochlear implant users. *J. Acoust. Soc. Am.* 2011. V. 130 (1). P. 364–375. DOI:10.1121/1.3589255
- Anderson E.S., Oxenham A.J., Nelson P.B., Nelson D.A. Assessing the role of spectral and intensity cues in spectral ripple detection and discrimination in cochlear implant users. *J. Acoust. Soc. Am.* 2012. V. 132 (6). P. 3925–3934. <https://doi.org/10.1121/1.4763999>
- Aronoff J.M., Landsberger D.M. The development of a modified spectral ripple test. *J. Acoust. Soc. Am.* 2013. V. 134(2). EL217–EL222. <https://doi.org/10.1121/1.4813802>
- Arnoldner C., Riss D., Brunner M. Speech and music perception with the new fine structure speech coding strategy: Preliminary results. *Acta. Otolaryngol.* 2007. V. 127. P. 1298–1303. <https://doi.org/10.1080/00016480701275261>
- Bierer J.A., Litvak L. Reducing channel interaction through cochlear implant programming may improve speech perception: Current focusing and channel deactivation. *Trends Hear.* 2016. V. 17. P. 20. <https://doi.org/10.1177/2331216516653389>
- Bilger R.C., Black F.O. Auditory prostheses in perspective. *Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. Suppl.* 1977. V. 86. Pt 2. P. 3–10.
- Buechner A., Brendel M., Krüger B. Current steering and results from novel speech coding strategies. *Otol. Neurotol.* 2008. V. 29 (2). P. 203–207. <https://doi.org/10.1097/mao.0b013e318163746>
- Dorman M.F., Gifford R.H. Combining acoustic and electric stimulation in the service of speech recognition. *Int. J. Audiol.* 2010. V. 49 (12). P. 912–9. <https://doi.org/10.3109/14992027.2010.509113>
- Drennan W.R., Won J.H., Timme A.O., Rubinstein J.T. Nonlinguistic outcome measures in adult cochlear implant users over the first year of implantation. *Ear. Hearing.* 2016. V. 37 (3). P. 354–364. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000261>
- Eisenberg L.S., Shannon R.V., Martinez A.S. Speech recognition with reduced spectral cues as a function of age. *J. Acoust. Soc. Am.* 2000. V. 107 (5 Pt 1). P. 2704–2710.
- Gifford R.H., Hedley-Williams A., Spahr A.J. Clinical assessment of spectral modulation detection for adult cochlear implant recipients: A non-language based measure of performance outcomes. *Int. J. Audiol.* 2014. V. 53 (3). P. 159–164. <https://doi.org/10.3109/14992027.2013.851800>
- Landsberger D.M., Padilla M., Srinivasan A.G. Reducing current spread using current focusing in cochlear implant users. *Hear. Res.* 2012. V. 284 (1–2). P. 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2011.12.009>
- Landsberger D.M., Padilla M., Martinez A.S., Eisenberg L.S. Spectral-temporal modulated ripple discrimination by children with cochlear implants. *Ear. Hear.* 2018. V. 39 (1). P. 60–68. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000463>
- McDermott H.J., McKay C.M., Vandali A.E. A new portable sound processor for the University of Melbourne/Nucleus Limited multielectrode cochlear implant. *J. Acoust. Soc. Am.* 1992. V. 91. P. 3367–3371.
- McKay C.M., McDermott H.J., Vandali A.E. A comparison of speech perception of cochlear implantees using the Spectral Maxima Sound Processor (SMSP) and the MSP (MULTIPEAK) processor. *Acta. Otolaryngol.* 1992. V. 112. P. 752–761.
- Nogueira W., Büchner A., Lenarz T. A psychoacoustic “NofM”-type speech coding strategy for cochlear implants. *EURASIP J. Adv. Signal. Process.* 2005. P. 1–16.
- Saoji A.A., Litvak L., Spahr A.J., Eddins D.A. Spectral modulation detection and vowel and consonant identifications in cochlear implant listeners. *J. Acoust. Soc. Am.* 2009. V. 126 (3). P. 955–958. <https://doi.org/10.1121/1.3179670>
- Srinivasan A.G., Padilla M., Shannon R.V. Improving speech perception in noise with current focusing in cochlear implant users. *Hear. Res.* 2013. V. 299. P. 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.02.004>
- Turner C.W., Gantz B.J., Karsten S. Impact of hair cell preservation in cochlear implantation: Combined electric and acoustic hearing. *Otol. Neurotol.* 2010. V. 31. P. 1227–1232. <https://doi.org/10.1097/MAO.0b013e3181f24005>
- Vermeire K., Anderson I., Flynn M. The influence of different speech processor and hearing aid settings on speech perception outcomes in electric acoustic stimulation patients. *Ear. Hear.* 2008. V. 29. P. 76–86.
- Warzybok A., Zokoll M., Wardenga N., Ozimek E., Boboshko M., Kollmeier B. Development of the Russian matrix sentence test. *Int. J. Audiol.* 2015. V. 52 (S2). P. 35–43. <https://doi.org/10.3109/14992027.2015.1020969>
- Williges B., Dietz M., Hohmann V., Jurgens T. Spatial release from masking in simulated cochlear implant users with and without access to low-frequency acoustic hearing. *Trends. Hear.* 2015. V. 19. P. 1–14. <https://doi.org/10.1177/2331216515616940>
- Wilson B.S., Finley C.C., Lawson D.T. Better speech recognition with cochlear implants. *Nature.* 1991. V. 352. P. 236–238. <https://doi.org/10.1038/352236a0>
- Won J.H., Drennan W.R., Rubinstein J.T. Spectral-ripple resolution correlates with speech reception in noise in cochlear implant users. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2007. V. 8 (3). P. 384–392. <https://doi.org/10.1007/s10162-007-0085-8>
- Won J.H., Clinard C.G., Kwon S., Dasika V.K., Nie K., Drennan W.R., Tremblay K.L., Rubinstein J.T. Relationship between behavioral and physiological spectral-ripple discrimination. *J. Assoc. Res. Otolaryngol.* 2011. V. 12 (3). P. 375–393. <https://doi.org/10.1007/s10162-011-0257-4>