УДК 616.28-008.14-053.2-08-039.76:615.838
<https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-5-83-91>

Гидровибрационная стимуляция в реабилитации детей с тугоухостью высокой степени

Г. Ш. Туфатулин^{1,2}, И. В. Королева^{1,3}, Ю. К. Янов², С. А. Артюшкин², А. Е. Черняховский⁴

¹ Детский городской сурдологический центр,
Санкт-Петербург, 194356, Россия

² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова,
Санкт-Петербург, 191015, Россия

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

⁴ Концерн «Океанприбор»,
Санкт-Петербург, 197376, Россия

Hydrovibrotactile stimulation in rehabilitation of deaf children

G. Sh. Tufatulin^{1,2}, I. V. Koroleva^{1,3}, Yu. K. Yanov², S. A. Artyushkin², A. E. Chernyakhovskii⁴

¹ Center of the Pediatric Audiology,
Saint Petersburg, 194356, Russia

² Mechnikov North-Western State Medical University,
Saint Petersburg, 191015 Russia

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

⁴ Concern „Okeanpribor“,
Saint Petersburg, 197376, Russia

Исследовались особенности восприятия глухими пациентами акустико-вибрационных сигналов, распространяемых в водной среде, и возможности использования гидровибрационной стимуляции при реабилитации глухих детей. В первой части исследования участвовали 2 взрослых и 3 ребенка старшего возраста с врожденной глухотой, использующие кохлеарные импланты (КИ) с раннего возраста. Обследуемым, находящимся в небольшом бассейне без КИ, с помощью подводных динамиков предъявлялись тональные (от 100 до 4000 Гц) и естественные (звучания гудка, дудки, марша) сигналы. Показано, что глухие взрослые и дети старшего возраста способны воспринимать акустико-вибрационные стимулы, распространяемые в воде, которые они воспринимают как вибрационные ощущения. Наибольшая вибротактильная чувствительность приходится на стимулы в диапазоне 100–400 Гц, стимулы частотой 1000–4000 Гц не вызывали ощущений. Во второй части исследования участвовали 30 детей раннего возраста с хронической двусторонней сенсоневральной тугоухостью глубокой степени или глухотой, не имевших опыта использования слуховых аппаратов или КИ. У 15 детей экспериментальной группы на тестовые сигналы возникали типичные ориентировочные реакции, в то время как вне воды на акустический компонент этих сигналов такие реакции отсутствовали. Занятия с использованием распространяемых в воде акустико-вибрационных стимулов, проводимые перед слухопротезированием, ускорили формирование у детей ориентировочной и устойчивой условно-рефлекторной двигательных реакций на звук в слуховых аппаратах и КИ, в том числе на околороговые стимулы, по сравнению с детьми контрольной группы, получавшими только традиционные занятия с сурдопедагогом. Это позволило значительно быстрее точно настроить слуховые аппараты/процессор КИ и создать условия для спонтанного развития слуховых навыков в ежедневных ситуациях у детей экспериментальной группы. **Ключевые слова:** нейросенсорная тугоухость и глухота, реабилитация глухих детей, вибротактильная стимуляция, гидровибрационная стимуляция, настройка слуховых аппаратов, кохлеарные импланты.

Для цитирования: Туфатулин Г. Ш., Королева И. В., Янов Ю. К., Артюшкин С. А., Черняховский А. Е. Гидровибрационная стимуляция в реабилитации детей с тугоухостью высокой степени. *Российская оториноларингология*. 2020;19(5):83–91. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-5-83-91>

Goals of the study were investigation the perception of vibro-acoustic signals, spreading in water, by deaf patients and the possibility of use hydrovibrotactile stimulation for habilitation of deaf children. In the first part of study 5 experienced cochlear implants (CI) users were involved – 2 adults and 3 children with congenital deafness. Participants were presented modulated tones (100-4000 Hz) and natural sounds (horn, pipe, march melody) though underwater loudspeakers in small swimming pool. Each participant was sitting in the swimming pool without CI during the stimulation. It was shown that deaf subjects are able to detect vibro-acoustic signals, spreading in water, which they feel as a vibrotactile sense. The most vibrotactile sensitivity was between 100 and 400 Hz, while stimuli between 1000 Hz and 4000 Hz didn't evoke any sensation. In the second part of the study 30 early aged children with severe or profound sensorineural hearing loss without hearing aids or CI experience were participated. It was observed typical oriented behavioral reactions in response to test stimuli in water in 15 children from the experimental group, but there weren't reactions to the acoustic component of stimuli on air (out of water). Hydrovibrotactile stimulation sessions prior amplification and CI processor fitting accelerated the development of oriented and stable condition motor reflex reactions to sounds in children with hearing aids and CI, including even near-threshold stimuli, in comparison with control group children, who got only traditional lessons with speech-language therapist. As a result, an adequate fitting of hearing aids or CI processor and spontaneous development of hearing behavior in everyday situations were achieved significantly faster.

Keywords: sensorineural hearing loss, deafness, habilitation of deaf children, vibrotactile stimulation, hydrovibrotactile stimulation, fitting of hearing aids and cochlear implants.

For citation: Tufatulin G. Sh., Koroleva I. V., Yanov Yu. K., Artyushkin S. A., Chernyakhovskii A. E. Hydrovibrotactile stimulation in rehabilitation of deaf children. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2020;19(5):83–91. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2020-5-83-91>

Введение

Возможности применения вибростимуляции для передачи речевой информации глухим пациентам начали исследоваться в 60-х годах XX века [1, 2]. Вибростимуляторы, располагавшиеся на различных участках тела, передавали информацию о частотных и временных характеристиках речи, заменяя утраченные слуховые ощущения стимуляцией тактильных рецепторов. Продemonстрировано повышение разборчивости речи при чтении с губ у глухих пациентов благодаря одновременному использованию многоканальных вибростимуляторов [3, 4]. С помощью метода функциональной магнитно-резонансной томографии показано, что у глухих пациентов вибротактильная стимуляция вызывает активизацию слуховой коры в отличие от лиц с нормальным слухом [5].

Вибротактильная стимуляция является важным элементом верботонального метода обучения речи глухих детей, разработанного в 60-х годах прошлого века Р. Guberina [6]. С помощью вибрационной стимуляции у глухих детей развивали остаточный слух в низкочастотном диапазоне, а также вызывали вокализации и формировали естественное звучание голоса у маленьких детей, используя для этого специальный вибростол, снабженный микрофоном и частотным преобразователем. Такое виброоборудование до сих пор применяется в центрах реабилитации детей с нарушением слуха, работающих по верботональному методу [7]. Был положительный опыт использования вибрирующей платформы для обучения глухих танцам и восприятию ритмичной музыки [8].

Распространение сверхмощных слуховых аппаратов (СА) и кохлеарных имплантов (КИ) значительно снизило актуальность развития вибростимуляторов как устройств передачи речевых сигналов у глухих людей [9, 10]. Однако вибросигнализация продолжает активно использоваться в различных вспомогательных технических устройствах для лиц с нарушением слуха – вибробудильниках, виброчасах, вибрзвонках и др. Более того, вибросигнализация стала неотъемлемой частью устройств для людей с нормальным слухом, и ярким примером таких устройств являются мобильные телефоны.

В настоящее время общепризнана необходимость раннего выявления нарушений слуха и слухопротезирования детей с тугоухостью [11–15]. Определение степени тугоухости, получение точной аудиограммы, адекватная настройка СА, оценка эффективности слухопротезирования и принятие решения о необходимости проведения кохлеарной имплантации у детей раннего возраста, особенно детей с сопутствующими неврологическими расстройствами, в ряде случаев представляют трудности и занимают много времени, несмотря на внедрение объективных методов оценки слуха [11–13]. Поэтому крайне важны сурдопедагогические занятия с ребенком до слухопротезирования, включающие в том числе развитие остаточного слуха, формирование у ребенка поведенческих реакций на доступные его восприятию громкие звуки, обучение родителей наблюдению реакций ребенка на звуки в домашних условиях [15].

Можно предположить, что использование вибростимуляции может помочь быстрее сформировать у ребенка со значительным снижением

слуха поведенческие реакции на звуки в низкочастотном диапазоне. Поскольку показана зависимость степени активации коры головного мозга от площади кожи, на которую оказывается вибрационное воздействие [16], то для увеличения площади воздействия, а также для стимуляции остаточного слуха в низкочастотном диапазоне целесообразно применение акустико-вибрационных сигналов, распространяемых в водной среде, в которой находится ребенок.

Цель исследования

Выявление особенностей восприятия глухими пациентами акустико-вибрационных сигналов, распространяемых в водной среде, и исследование возможности использования гидровибрационной стимуляции при реабилитации глухих детей.

Пациенты и методы исследования

Обследуемые. В исследовании принимали участие 35 пациентов. В первой части исследования участвовали 5 человек: 2 взрослых мужчин (20 и 25 лет) и 3 ребенка (2 мальчика и 1 девочка, возраст – 7, 10 и 9 лет соответственно). Все испытуемые имели двустороннюю хроническую сенсоневральную глухоту, перенесли кохлеарную имплантацию в возрасте от 1 до 4 лет и постоянно использовали 1 или 2 КИ. По данным тональной пороговой аудиометрии без КИ у них отсутствовала слуховая чувствительность на всех частотах до 120 дБ нПС. Испытуемые использовали для коммуникации только устную речь. Критерием включения пациентов в исследование служило отсутствие дополнительных нарушений со стороны других органов и систем.

Во второй части исследования участвовали 30 детей в возрасте от 4 месяцев до 3 лет с хронической двусторонней сенсоневральной тугоухостью III, IV степени или глухотой различного генеза, не имевших опыта использования СА или КИ. В экспериментальную группу входили 15 детей, с которыми перед слухопротезированием проводился курс акустико-вибрационной стимуляции в воде, дополнительно к занятиям с сурдопедагогом. 15 детей контрольной группы получали только традиционные занятия с сурдопедагогом. Две группы по основным характеристикам детей, входящих в них (средний возраст, пол, степень снижения слуха, метод слухопротезирования), были выравнены. Впоследствии 18 детям была проведена коррекция слуха с помощью СА, 12 детям – методом кохлеарной имплантации.

Методика. Исследование проводилось на базе СПб ГКУЗ «Детский городской сурдологический центр». Измерения проводились в бассейне размерами 2,1×2,35 м, глубиной 0,6 м, объемом 2,3 м³, площадь зеркала воды – 5,21 м². Бассейн был заполнен водопроводной водой, очищенной

с помощью шунгитного фильтра, температура воды составляла 32 °С, дезинфекция проводилась методом хлорирования (содержание свободного хлора – 0,2 мг/л, pH = 7,2). Замена воды между за мерами не производилась (во время эксперимента рециркуляционная схема была отключена).

В первой части исследования анализировались особенности восприятия глухими пациентами, находящимися в водной среде, акустико-вибрационных стимулов, создаваемых подводными динамиками [17]. В качестве стимулов использовались частотно-модулированные тоны частотой 100, 200, 300, 400, 500, 600, 1000, 2000, 4000 Гц, а также натуральные звуки – гудок паровоза, звучание дудки и мелодия марша. Стимулы генерировались с помощью компьютера и акустической системы и передавались в воде с помощью двух подводных динамиков (пьезокерамических электроакустических преобразователей пластинчатого типа «Дельфин», АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, Россия) (рис. 1). Динамики создавали в воде звуковое давление, приводящее к вибрации. Перед проведением исследования каждому обследуемому с включенным КИ давалась инструкция сообщать о появлении каких-либо ощущений (слуховых и тактильных), изменении их характера, возникновении дискомфорта, а также максимально полно описывать свои ощущения. Обследуемый без КИ в плавках и резиновой шапочке сидел в центре бассейна, заполненного водой, при этом его голова оставалась на поверхности, руки не касались стенок бассейна. Динамики располагались справа и слева на расстоянии 1 метра от обследуемого на глубине 22 см (32 см от дна бассейна). Стимулы предъявлялись последовательно с постепенным увеличением амплитуды. При этом фиксировались следующие показатели:

- порог вибротактильных ощущений (ПВО), характеризующийся появлением у пациента первого ощущения вибрации;
- уровень комфортного восприятия (УКВ), который характеризовался отчетливым ощущением вибрации в отдельных частях тела или по всему телу без дискомфорта;
- порог дискомфорта (ПД) – появление неприятных ощущений при стимуляции;
- словесное описание обследуемым своих ощущений.

Уровень звукового давления (дБ, УЗД) стимулов, соответствующих ПВО, УКВ и ПД, для каждого обследуемого оценивался с помощью гидрофона измерительного 1П1 (АО «Концерн «Океанприбор», Санкт-Петербург, Россия), помещенного в ту же точку, где ранее располагались обследуемые. На рис. 2 представлены осциллограммы и спектрограммы стимулов, записанные гидрофоном в воде.

Рис. 1. Схема установки для исследования восприятия глухими пациентами, находящимися в водной среде, акустико-вибрационных стимулов, создаваемых подводными динамиками.

Fig. 1. Scheme of hydrovibrotactile stimulation of deaf patients in water.

Рис. 2. Примеры осциллограмм (верхний график) и спектрограмм (нижний график) стимулов, используемых в исследовании, записанные гидрофоном в бассейне:

1 – стимул 200 Гц; 2 – стимул 600 Гц.

Fig. 2. Examples of oscillograms (top) and spectrograms (bottom) of stimuli registered by hydrophone in swimming pull:

1 – 200 Hz stimulus; 2 – 600 Hz stimulus.

Во второй части исследования изучались возможности применения акустико-вибрационных стимулов, распространяемых в воде, для формирования ориентировочных и условно-рефлекторной двигательных реакций у детей раннего возраста с тяжелой тугоухостью и глухотой до слухопротезирования. Занятия по формированию реакций на акустико-вибрационные сигналы в водной среде проводились с детьми экспериментальной группы после диагностики тугоухости перед слухопротезированием.

Стимуляция осуществлялась теми же стимулами и в тех же условиях, что и в первой части исследования. Первоначально у ребенка формировали реакцию на широкополосные стимулы надпорогового уровня – гудок паровоза, звучание

дудки, мелодию марша. После этого формировали двигательные реакции на частотно-модулированные тоны в диапазоне 100–600 Гц. Уровень стимулов подбирали на основании значений ПВО, УКВ и ПД, полученных на первом этапе. Сначала предъявляли стимул, амплитуда которого соответствовала среднему УКВ для данного стимула, достигая появления ориентировочной реакции, и постепенно понижали его до уровня ПВО. Стимулы дискомфортного уровня в данной части исследования не использовались.

Во время процедуры в бассейне с ребенком находился специалист по адаптивной физкультуре. Врач-сурдолог включал и выключал акустико-вибрационный сигнал, а сурдопедагог наблюдал за поведенческими реакциями ребенка (замирание,

активизация движений, поворот головы/глаз, вокализации и др.). Реакции ребенка, а также особенности реакции на включение/выключение акустико-вибрационного сигнала, его продолжительность, интенсивность, ритм стимуляции фиксировали в протоколе. У детей старше 1,5 лет формировали условно-рефлекторную двигательную реакцию на стимуляцию в форме бросания мячика. Курс обучения включал 7–12 занятий продолжительностью 20–40 минут в зависимости от возраста ребенка и завершался перед первой настройкой СА/подключением процессора КИ.

После слухопротезирования/кохлеарной имплантации у детей экспериментальной и контрольной групп оценивали количество занятий, необходимых для формирования устойчивой условно-рефлекторной двигательной реакции на звук в СА или КИ, количество настроечных сессий, необходимых для точной настройки СА/процессора КИ, длительность периода возникновения у ребенка интереса к окружающим звукам, голосу человека, своему голосу, способности идентифицировать звуки, окружающие его в ежедневных ситуациях.

При обработке данных оценивали среднее арифметическое значение и стандартное отклонение измеряемых показателей. Для оценки достоверности различий использовали критерий

Манна–Уитни, за уровень достоверности принимали $p < 0,05$.

Результаты исследования

В табл. 1 представлены субъективные ощущения, описываемые глухими пациентами при предъявлении различных акустико-вибрационных стимулов, распространяемых в воде. Как видно, у глухих пациентов ощущения возникают на большинство стимулов, за исключением тональных стимулов в диапазоне 1000–4000 Гц. Как правило, у обследованных возникали тактильные ощущения в виде вибрации и толчков в разных частях тела – руки, живот, ягодицы. Причем они были в определенной степени дифференцированными: на стимулы низкого уровня ощущения возникали в области рук, на более сильные стимулы – в области живота и ягодиц. Дискомфортные ощущения связывались с ощущениями вибрации всего тела, особенно в области живота и внутри тела. При высоких уровнях стимуляции низкочастотными тонами, звучаниями гудка паровоза и мелодией марша, в которой хорошо выражено звучание ударных инструментов, часть пациентов отмечали ощущения толчков в ухе, сходное со слуховым восприятием звучания барабана.

Следует отметить, что нормально слышащие люди (специалисты), находящиеся в помещении

Таблица 1

Субъективные ощущения глухих пациентов при восприятии акустико-вибрационных стимулов в воде

Table 1

Subjective assessment of sensations of deaf patients during acoustic-vibrotactile stimulation in water

Стимул	Субъективные ощущения на различных уровнях стимуляции
100 Гц	Пороговый уровень – вибрация воды в области рук. Высокий уровень – «слышу барабан» – ощущение толчков в барабанную перепонку, живот, вибрация воды. Максимальный уровень – физический дискомфорт, сильная вибрация внутри тела
200 Гц	Пороговый уровень – движение воды вокруг рук, ягодиц. Высокий уровень – вибрация всего тела, особенно в области живота
300 Гц	Вибрация всего тела, особенно в области живота и ягодиц
400 Гц	Пороговый уровень – ощущение толчков, колебания воды. Высокий уровень – толчки в барабанную перепонку, в живот, ягодицы. Приятные ощущения, напоминающие массаж
500 Гц	Пороговый и средний уровень – движение воды у ног. Высокий уровень – толчки в барабанную перепонку (чувство, похожее на слуховое). Максимальный уровень – физический дискомфорт
600 Гц	Высокий уровень – ощущение толчков воды в ногах, животе, ягодицах. Максимальный уровень – физический дискомфорт
1000, 2000, 4000 Гц	Как правило, нет ощущений, включая максимальный уровень
Гудок паровоза	Пороговый уровень – ощущение вибрации воды при включении, затем ощущение пропадает. Средний и высокий уровни – толчки в барабанную перепонку, ягодицы. Максимальный уровень – физический дискомфорт
Звучание дудки	Пороговый уровень – ощущение «неспокойной воды». Средний уровень – вибрация всего тела, особенно ягодиц. Максимальный уровень – физический дискомфорт
Мелодия марша	Пороговый уровень – вибрация воды. Средний уровень – толчки в барабанную перепонку. Максимальный уровень – вибрация всего тела

Таблица 2

Средние значения порогов вибротактильных ощущений, уровней комфортного восприятия и порогов дискомфорта у детей и взрослых при восприятии акустико-вибрационных стимулов, распространяемых в воде

Table 2

Mean thresholds, comfort and discomfort levels of acoustic-vibrotactile stimuli, spreading in water, for deaf children and adults

Стимул	Порог вибротактильных ощущений (дБ УЗД)		Уровень комфортного восприятия (дБ УЗД)		Порог дискомфорта (дБ УЗД)	
	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые	Дети	Взрослые
100 Гц	108,3 (1,2)	108,7 (3,8)	113,3 (1,5)	115 (5,1)	132,5 (1,4)	133,8 (1,3)
200 Гц	99,5 (0,5)	99,7 (1,9)	107,3 (2,4)	107,1 (5,9)	нет	нет
300 Гц	107,7 (1,7)	107,6 (3)	112,1 (1,9)	111,8 (3)	нет	нет
400 Гц	109,2 (3,3)	109,9 (10,1)	125,7 (0,6)	126 (0)	нет	нет
500 Гц	116,9 (1,6)	117,6 (0)	126,7 (0,5)	127,3 (1,6)	нет	134,9
600 Гц	114,8 (2,2)	115,6 (3,6)	127,2 (1,2)	127 (1,8)	134,1	135,9
1000 Гц	нет	нет	нет	нет	нет	нет
2000 Гц	нет	137,9	нет	нет	нет	нет
4000 Гц	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Гудок паровоза	121 (0,7)	120,2 (0)	129,3 (0,7)	129,4 (1)	136,8 (0,8)	137 (1,1)
Звучание дудки	120,2 (1,3)	119,7 (2,5)	125,2 (0,7)	125,1 (0)	132,8 (0,7)	133,2 (0)
Мелодия марша	142 (1,0)	139,6 (10,9)	145 (3,6)	147,2 (2,1)	нет	нет

Примечание: в скобках указано стандартное отклонение, «нет» – ощущения отсутствуют на стимулы всех уровней, включая максимально возможную интенсивность.

с бассейном, воспринимали стимулы соответственно, как громкие звуки разной частоты, гудки, марш. Тон 4000 Гц на максимальном уровне вызывал дискомфортное слуховое ощущение. Вибрационные ощущения отсутствовали.

В табл. 2 представлены значения ПВО, УКВ и ПД на акустико-вибрационные стимулы, распространяемые в воде, у обследуемых в первой части исследования.

В табл. 2 видно, что наиболее низкие пороги вибротактильных ощущений наблюдались для низкочастотных тонов в диапазоне 100–400 Гц. На тональные стимулы в диапазоне 1000–4000 Гц тактильные ощущения у обследуемых обычно не возникали. Пороги возникновения вибротактильных ощущений на натуральные широкополосные сигналы были значительно выше. Порог дискомфорта достигался на тоны 100, 500 и 600 Гц, гудок, звучание дудки. При этом ПД на тональные и натуральные стимулы достоверно не различались ($p > 0,05$). Достоверных различий в значениях оцениваемых показателей вибротактильных ощущений между испытуемыми (в том числе между взрослыми и детьми не было ($p > 0,05$)).

При проведении обучающих занятий по формированию реакции на акустико-вибрационные стимулы, распространяемые в воде, было установлено, что маленькие дети со значительной степенью тугоухости и глухотой, не имеющие слухового опыта, проявляют выраженный и ста-

бильный интерес к этим стимулам. При предъявлении этих стимулов у них наблюдаются типичные ориентировочные реакции, наблюдаемые у детей с сохранным слухом на звуковые стимулы: замирание, активизация движений, вокализации, движения подпрыгивания в ритм стимулов (на звук марша). Поведенческие реакции могли проявляться не только на начало звучания, но и на выключение сигнала. В то же время реакции на эти стимулы (их акустический компонент) вне воды отсутствовали.

Устойчивые поведенческие реакции на акустико-вибрационные стимулы, распространяемые в воде, формируются у детей за короткий период: у 4 детей для формирования ориентировочной и условно-рефлекторной двигательной реакции потребовалось 7 занятий, у 2 детей – 9 занятий, у 5 детей – 10 занятий, у 4 детей – 12 занятий.

У детей, прошедших курс акустико-вибрационной стимуляции, после слухопротезирования/включения процессора КИ быстрее формировалась условно-рефлекторная двигательная реакция на звук в СА/КИ по сравнению с детьми контрольной группы. Оптимальная настройка СА/процессора КИ у детей экспериментальной группы, основанная на поведенческих реакциях, достигалась в среднем за 3 настроечные сессии. У детей контрольной группы требовалось 5–6 настроечных сессий. При этом в ряде случаев

настроить СА/КИ по поведенческим реакциям не удавалось и настройка производилась по данным объективных методов. У детей экспериментальной группы после первичной настройки СА/процессора КИ быстрее развивались реакции непроизвольного и произвольного внимания и интереса к окружающим звукам, голосу человека, своему голосу, умение узнавать отдельные бытовые звуки в ежедневных ситуациях по сравнению с детьми контрольной группы (соответственно, через 2–5 дней, в среднем после 2 занятий с сурдопедагогом и через 2–3 недели, после 4–5 занятий).

Обсуждение результатов

Полученные результаты свидетельствуют о том, что глухие пациенты способны воспринимать акустико-вибрационные стимулы, распространяемые в воде. При этом они воспринимают их, как правило, как вибрационные ощущения. Наибольшая вибротактильная чувствительность приходится на стимулы в диапазоне 100–400 Гц, стимулы частотой 1000–4000 Гц не вызывали ощущений. Сложные по спектру натуральные стимулы (гудок паровоза, звучание дудки, марш) также вызывали вибротактильные ощущения у обследуемых, поскольку в их спектре содержится низкочастотный компонент. Следует отметить узкий динамический диапазон (разница между ПД и ПВО) воспринимаемых акустико-вибрационных стимулов, распространяемых в воде. В среднем он составлял от 12,6 до 25,1 дБ, в то время как динамический диапазон слуха при норме слуха составляет 100–110 дБ.

При анализе субъективных ощущений пациентов обращает внимание возникновение чувства «толчков и вибрации барабанной перепонки». Ощущения возникали вследствие распространения волны вибрации по всем тканям тела, а поскольку барабанная перепонка имеет незначительную массу и обладает способностью к колебаниям, то ее движения ощущались отчетливее всего. Пациенты отмечали сходство этих ощущений со слуховыми на основании опыта использования КИ.

Полученные данные о вибротактильных ощущениях глухих пациентов, имеющих слуховой опыт благодаря использованию КИ, на распространяемые в воде акустико-вибрационные стимулы позволяли рассчитывать на возможность применения гидровибрационной стимуляции в реабилитации глухих детей до слухопротезирования.

Это было подтверждено во 2-й части исследования с участием детей раннего возраста с глубокой тугоухостью и глухотой. Оказалось, что у детей на эти сигналы быстро возникают типичные ориентировочные реакции, в то время как вне воды на акустический компонент этих сигналов такие реакции отсутствовали. Обучающие занятия с использованием распространяемых в воде акустико-вибрационных стимулов, проводимые перед слухопротезированием ребенка, ускорили формирование ориентировочной и устойчивой условно-рефлекторной двигательных реакций на звук в СА/КИ, в том числе даже на околопороговые стимулы. Занятия в бассейне, необычность и разнообразие акустико-вибрационных сигналов, распространяемых в воде, ритмическая стимуляция вызывали у ребенка положительные эмоции на протяжении всего курса, что способствовало длительному сохранению внимания ребенка к стимулам и повышало результативность занятий. Предшествующая слухопротезированию акустико-вибрационная стимуляция в условиях водной среды ускорила у глухих детей в СА/КИ развитие интереса к окружающим звукам, голосу человека, своему голосу, способности идентифицировать окружающие звуки в ежедневных ситуациях. Быстрое развитие «слухового поведения» ребенка в СА/КИ позволило сократить длительность и повысить качество настройки этих устройств, поскольку сформированные у ребенка ориентировочные и условно-рефлекторные двигательные реакции на акустико-вибрационные сигналы быстро переносятся на звуковые сигналы, подаваемые при проверке настройки СА/процессора КИ, а также на электрические стимулы при настройке процессора КИ.

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования акустико-вибрационных сигналов, распространяемых в воде, для формирования у детей с выраженной степенью тугоухости и глухотой ориентировочных и условно-рефлекторных двигательных реакций на стимулы на этапе, предшествующем слухопротезированию ребенка. Эти реакции быстро переносятся на звуковые сигналы, подаваемые при настройке СА/процессора КИ, что позволяет значительно быстрее точно настроить ребенку СА/процессор КИ и создать условия для спонтанного развития слуховых навыков ребенка в ежедневных ситуациях.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Nober E. H. Vibrotactile sensitivity of deaf children to high intensity sound. *Laryngoscope*. 1967 Dec;77(12):2128–46. <https://doi.org/10.1288/00005537-196712000-00005>

2. Kringlebotn M. Experiments with some visual and vibrotactile aids for the deaf. *Am Ann Deaf*. 1968 Mar;113(2):311–7.
3. Osberger M. J., Robbins A. M., Todd S. L., Brown C. J. Initial findings with a wearable multichannel vibrotactile aid. *Am. J. Otol*. 1991;12 Suppl:179–182.
4. Friel-Patti S., Roeser R. J. Evaluating changes in the communication skills of deaf children using vibrotactile stimulation. *Ear Hear*. 1983 Jan-Feb;4(1):31–40. <https://doi.org/10.1097/00003446-198301000-00007>
5. Auer E. T. Jr., Bernstein L. E., Sungkarat W., Singh M. Vibrotactile activation of the auditory cortices in deaf versus hearing adults. *Neuroreport*. 2007 May 7;18(7):645–8. <https://doi.org/10.1097/wnr.0b013e3280d943b9>
6. Cuberina. P. La methode audi~visuelle structuro-globale. *Revue de Phonetique Appliquee*. 1965. 1:35–64.
7. Руленкова Л. И. Как научить глухого ребенка говорить на основе верботонального метода. М.: Парадигма, 2010. [Rulenkova L. I. *Kak nauchit' glukhogo rebenka govorit' na osnove verbotonal'nogo metoda*. Moscow: Paradigma, 2010 (in Russ.)]
8. Tranchant P., Shiell M. M., Giordano M., Nadeau A., Peretz I., Zatorre R. J. Feeling the Beat: Bouncing Synchronization to Vibrotactile Music in Hearing and Early Deaf People. *Front Neurosci*. 2017 Sep 12;11:507. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00507>
9. Geers A. E., Moog J. S. (1994). Effectiveness of cochlear implants and tactile aids for deaf children: The sensory aids study at Central Institute for the Deaf. *Volta Review*, 95, 1–231.
10. Miyamoto R. T., Osberger M. J., Robbins A. J., Renshaw J., Myres W. A., Kessler K., Pope M. L. Comparison of sensory aids in deaf children. *Annals of Otolaryngology, Rhinology, and Laryngology*. 1989;142:2–7. <https://doi.org/10.1177/00034894890980s801>
11. Тавартиладзе Г. А., Гвелесиани Т. Г., Цыганкова Е. Р. Раннее выявление и коррекция нарушений слуха у детей первых лет жизни. Методическая разработка. М., 2011 [Tavartkiladze G. A., Gvelesiani T. G., Tsygankova E. R. *Ranee vyavlenie i korrektsiya narushenii slukha u detei pervykh let zhizni. Metodicheskaya razrabotka*. Moscow, 2011 (in Russ.)]
12. Королева И. В. Диагностика нарушений слуха у детей раннего возраста. *Consilium Medicum. Педиатрия*. 2014;4:31–36. [Koroleva I. V. Diagnostics of hearing disorders in early aged children. *Consilium Medicum. Pediatrics*. 2014;4:31–36 (in Russ.)]
13. Арефьева Н. А., Савельева Е. Е. Объективная диагностика частотных порогов слуха у детей раннего возраста. *Российская оториноларингология*. 2016;6(85):17–26. [Aref'eva N. A., Sav'el'eva E. E. Objective diagnostics of hearing frequency thresholds in infants. *Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2016;6(85):17–26 (in Russ.)]. <https://doi.org/10.18692/1810-4800-2016-6-17-26>
14. Ясинская А. А., Тавартиладзе Г. А. Эффективность аудиологического скрининга у новорожденных, основанного на использовании автоматизированной регистрации задержанной вызванной отоакустической эмиссии и стационарных слуховых вызванных потенциалов. *Российская оториноларингология*. 2008;S1:421–426. [Yasinskaya A. A., Tavartkiladze G. A. *Effektivnost' audiologicheskogo skrininga u novorozhdennykh, osnovannogo na ispol'zovanii avtomatizirovannoi registratsii zaderzhannoi vyzvannoi otoakusticheskoi emissii i statsionarnykh sluhovykh vyzvannykh potentsialov. Rossiiskaya otorinolaringologiya*. 2008;S1:421–426 (in Russ.)]
15. Королева И. В. Современные методы и подходы к реабилитации детей с нарушениями слуха. *Consilium Medicum. Педиатрия*. 2015;1:42–46. [Koroleva I. V. Modern methods and approaches in habilitation of children with hearing disorders. *Consilium Medicum. Pediatrics*. 2015;1:42–46 (in Russ.)]
16. Novich S. D., Eagleman D. M. Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin's achievable throughput. *Exp Brain Res*. 2015. Oct;233(10):2777–88. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4346-1>
17. Шатохин А. В., Полканов К. И., Селезнев И. А., Жуков В. Б. Система специализации и повышения квалификации инженерно-технических кадров АО «Концерн «Океанприбор». *Морской сборник*. 2016;2030(5):67–69. [Shatokhin A. V., Polkanov K. I., Seleznev I. A., Zhukov V. B. *Sistema spetsializatsii i povysheniya kvalifikatsii inzhenerno-tehnicheskikh kadrov AO "Kontsern "Okeanpribor". Morskoi sbornik*. 2016;2030(5):67–69 (in Russ.)]

Информация об авторах

✉ **Туфатулин Газиз Шарифович** – кандидат медицинских наук, главный врач, Детский городской сурдологический центр (194356, Россия, Санкт-Петербург, ул. Есенина, д. 26, корп. 4); тел.: 8 (981) 745-35-55, e-mail: dr.tufatulin@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6809-7764>

Королева Инна Васильевна – доктор психологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи (190013, Россия, Санкт-Петербург, Бронницкая ул., д. 9); тел.: +7 (911) 999-16-60, e-mail: prof.inna.koroleva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8909-4602>,

Артюшкин Сергей Анатольевич – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой оториноларингологии, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Россия, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41); e-mail: sergei.artushkin@szgmu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

Янов Юрий Константинович – доктор медицинских наук, профессор, академик РАН, Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова (191015, Россия, Санкт-Петербург, Кирочная ул., д. 41); e-mail: 9153864@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

Черняховский Анатолий Ефимович – ведущий инженер НИС-241, АО «Концерн «Океанприбор» (197376, Россия, Санкт-Петербург, Чкаловский пр., д. 46); e-mail: mail@oceanpribor.ru

Information about authors

✉ **Gaziz Sh. Tufatulin** – PhD (Medicine), Head of Center of Pediatric Audiology (26/4, Esenina str., St. Petersburg, 194356, Russia); phone 8 (981) 745-35-55, e-mail: dr.tufatulin@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6809-7764>

Inna V. Koroleva – PhD (Psychology), Professor, Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (9, Bronnitskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); phone +7 (911) 999-16-60, e-mail: prof.inna.koroleva@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8909-4602>

Sergei A. Artyushkin – MD, Professor, Head of the Chair of Otorhinolaryngology, Mechnikov North-Western State Medical University (41, Kirochnaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); e-mail: sergei.arttyushkin@szgmu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4482-6157>

Yurii K. Yanov – MD, Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Mechnikov North-Western State Medical University (41, Kirochnaya str., St. Petersburg, 190013, Russia); e-mail: 9153864@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9195-128X>

Anatolii E. Chernyakhovskii – Leading Engineer NIS-241, Concern “Okeanpribor” (46, Chkalovskiy prospekt, St. Petersburg, 197376, Russia); e-mail: mail@oceanpribor.ru