

<https://doi.org/10.34883/PI.2022.12.3.017>
УДК 615.837:616.28-008.12-08:621.395.721.5



Хоров О.Г.¹ ✉, Бондарчук Ю.М.¹, Урбанович А.И.², Кадан А.М.³

¹ Гродненский государственный медицинский университет, Гродно, Беларусь

² IT-компания «Экспозит», Гродно, Беларусь

³ Гродненский государственный университет имени Янки Купалы, Гродно, Беларусь

Акустические и визуальные стимуляции с применением мобильного приложения Tinnitus в лечении субъективного шума в ушах: медико-техническое обоснование

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Хоров О.Г. – написание и редактирование статьи, утверждение рукописи для публикации; Бондарчук Ю.М. – написание статьи, сбор и анализ литературных данных, сбор материала, обработка, концепция и дизайн исследования; Урбанович А.И., Кадан А.М. – техническая реализация идеи, техническое описание.

Финансирование: исследование проведено при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ).

Подана: 08.08.2022

Принята: 12.09.2022

Контакты: khorov@mail.ru

Резюме

Цель. Дать медико-техническую характеристику и оценку разработанного нами мобильного приложения Tinnitus с применением акустических и визуальных стимуляций в лечении пациентов с шумом в ушах (субъективным).

Материалы и методы. В исследовании использовали разработанное и зарегистрированное нами мобильное приложение Tinnitus, которое состоит из двух блоков: диагностика и лечение. Из блока диагностики использовали: опросник Tinnitus Handicap Inventory для динамической оценки результатов лечения; психоакустическую шумометрию для оценки уровня тиннитуса. На основании полученных результатов осуществляется лечение в виде автоматического индивидуализированного подбора для пациента мультимедийного комплекса визуальных стимуляций для дополнительного отвлекающего момента и различных вариантов акустических стимуляций для маскировки тиннитуса. Блок лечения состоит из акустических стимуляций «аудио» и визуальных стимуляций «игра»/«галерея». В статье представлены результаты лечения 100 пациентов с диагнозом: Н93.1 Шум в ушах (субъективный) с различной сопутствующей патологией.

Результаты. Нами представлены медико-техническая характеристика и обоснование мобильного приложения Tinnitus. Данный метод показал свою эффективность в лечении субъективного шума в ушах любой этиологии в виде подавления у $26,0 \pm 4,4\%$ пациентов и уменьшения выраженности тиннитуса у $57,0 \pm 4,9\%$ пациентов. Кроме того, дополнительное использование визуальных стимуляций усилило эффективность акустических стимулов в подавлении тиннитуса.

Выводы. Представленный метод – неинвазивный, индивидуальный, комплексный, простой, удобен в использовании, безопасный. Кроме того, от правильности

выполнения диагностического этапа (психоакустической шумометрии) зависит последующая эффективность лечения в виде применения комплекса (акустических и визуальных стимуляций), что подтверждает индивидуальный, комплексный подход в данном методе для достижения положительного результата в борьбе с субъективным шумом в ушах у пациентов.

Ключевые слова: субъективный шум в ушах, TRT-терапия, медико-техническое обоснование, мобильное приложение Tinnitus, психоакустическая шумометрия, лечение тиннитуса, акустические и визуальные стимуляции

Khorov O.¹ ✉, Bondarchuk Yu.¹, Urbanovich A.², Kadan A.³

¹ Grodno State Medical University, Grodno, Belarus

² IT-company "Exposit", Grodno, Belarus

³ Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus

Acoustic and Visual Stimulation with the Mobile Application "Tinnitus" Intended for the Treatment of Subjective Noise in Ears: Medical and Technical Justification

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Khorov O. – editing and writing the article, approval of the manuscript for publication; Bondarchuk Yu. – writing the article, collecting and analyzing literature data, collection of material, processing, research concept and design; Urbanovich A., Kadan A. – technical implementation of the concept, technical description.

Funding: the study was supported by the Belarusian Republican Foundation of Fundamental Research (BRFFR).

Submitted: 08.08.2022

Accepted: 12.09.2022

Contacts: khorov@mail.ru

Abstract

Purpose. To present a medical and technical description and evaluation of the "Tinnitus" mobile application developed by us with acoustic and visual stimulations for the treatment of patients suffering from subjective noise in ears.

Materials and methods. The study included the usage of the "Tinnitus" mobile application developed and registered by us. The application consists of two modules – diagnosis and treatment ones. The diagnostic module is based on the Tinnitus Handicap Inventory presentation for dynamic evaluation of treatment's results; psychoacoustic noise logging for evaluation of tinnitus degree. Based on the results obtained, treatment is carried out in the form of automatic selection of a multimedia complex of visual stimulations adapted to the patient for additional distraction of attention and various options for acoustic stimulation to mask tinnitus. The treatment module consists of acoustic stimulation (audio) and visual stimulation (game/gallery). The article presents the results of the treatment of 100 patients diagnosed with: H93.1 Subjective noise in ears with other co-morbidity.

Results. We present the medical and technical description and justification of the Tinnitus mobile application. This method showed its effectiveness in the treatment of subjective tinnitus of any etiology in the form of relief in $26.0 \pm 4.4\%$ patients and a decrease in the

severity of tinnitus in $57.0 \pm 4.9\%$ patients. Moreover, the additional use of visual stimuli enhanced the effectiveness of acoustic stimuli in suppressing tinnitus.

Conclusions. The method presented by us is non-invasive, individual, comprehensive, simple, easy to use, and safe. Moreover, the correctness of the diagnostic stage (psychoacoustic noise logging) defines further effectiveness of treatment consisting of several methods (acoustic and visual stimulation) which confirms individuality and comprehensibility of the proposed approach of this method for achieving positive result in the treatment of subjective ears noise.

Keywords: subjective tinnitus, TRT-therapy, medical and technical justification, mobile app Tinnitus, psychoacoustic noise level, treatment of tinnitus, acoustic and visual stimulation

■ ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач врача-оториноларинголога, врача-сурдолога или врача-аудиолога является подбор для пациента с тиннитусом наиболее рационального и оптимального комплекса лечебных мероприятий.

Особенностью значительного числа современных методов лечения субъективного шума в ушах (СУШ) является их направленность на облегчение состояния пациента и улучшение качества его жизни, а не на избавление от шума в короткие сроки, что в некоторой степени обусловлено отсутствием убедительных данных об этиопатогенезе и, соответственно, неопределенностью патофизиологии данного состояния [1–5].

При анализе современных методов лечения СУШ было выявлено, что на 2022 год не во всех странах Европы имеются клинические рекомендации по данной патологии [6].

Значительной группой консервативных методов лечения СУШ является звуковая терапия – вид терапии, которая представляет собой специальную звуковую стимуляцию с музыкальной модуляцией, соответствующей частоте СУШ. Предполагается, что в рамках звуковой терапии наблюдается снижение активности области мозга, которая непосредственно связана с СУШ, за счет усиления торможения [7].

На основании исследований [2, 7–12] были выявлены следующие виды звуковой терапии: маскирующая терапия (полная, частичная); Tinnitus Retraining Therapy – TRT-терапия (стандартная, Neuromonic Tinnitus Therapy (NTT)); коррекция при помощи слуховых аппаратов.

В рамках маскирующей терапии применяются устройства, посредством которых осуществляется имитация звуков воды, дождя, водопада, ветра, белого шума и т. д. Данные звуки являются тиннитус-маскерами. Предполагается, что данные звуки маскируют шум за счет подавления активности нейронов, ответственных за формирование шума, ввиду чего у пациента снижается уровень тревожности, связанный с СУШ [12, 13].

На современном этапе одним из наиболее распространенных методов лечения СУШ является метод TRT-терапии. Данный метод включает в себя два компонента: маскирующую терапию (маскировка шума на уровне, совпадающем по интенсивности с СУШ, немного ниже или выше его) [3], а также консультирование и обучение

пациента с тиннитусом [14]. Целью применения данного метода является превратить СУШ в привычный и незначительный для пациента.

В качестве одного из перспективных направлений применения методов звуковой терапии выделяют разработку различных мобильных приложений. Изучение данного направления проведено в исследовании [15–17], было осуществлено сравнение возможностей различных мобильных приложений, и выделена перспективность использования данных технологий как с точки зрения стоимости, так и с точки зрения клинических результатов.

Кроме того, учитывая клинические рекомендации ААО-HNS [18], этап лечения тиннитуса включает в себя: обучение пациентов тактикам лечения; при документально подтвержденной потере слуха и постоянном тиннитусе рекомендовано применение слухового аппарата; рекомендованы звуковая терапия, когнитивно-поведенческая терапия.

Таким образом, на современном этапе актуальным и по-прежнему не решенным вопросом в области болезней уха, горла и носа, так же как и во многих других специальностях, остается один вопрос – совершенствование методов лечения тиннитуса, которое должно основываться на принципах индивидуального, комплексного подхода как к проведению обследования у пациентов, так и к формированию лечения.

В настоящее время в Республике Беларусь не существует новых, современных, передовых, эффективных методов лечения СУШ, которые бы применялись в государственных и частных учреждениях здравоохранения.

Для решения данной проблемы нами в рамках гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (БРФФИ) «Наука М – 2020» в рамках темы «Визуальные и акустические стимуляции индивидуализированного мультимедийного комплекса в разном диапазоне звуковых частот в условиях субъективного тиннитуса» было разработано и зарегистрировано мобильное приложение Tinnitus, направленное на диагностику и лечение шума в ушах (субъективного) [19].

Наш метод основан на TRT-терапии, или терапии-переобучения, которая была введена в 1993 году (Jastreboff P.J., Hazell J.W.) [10, 20], но с нашей модификацией [19], где консультирование пациента и физические упражнения заменили визуальными (зрительными) стимуляциями в виде мини-игры, картинного ряда, как слайд-шоу, с целью дополнительного отвлечения, расслабления, которое подается одновременно с различными вариантами акустических стимуляций.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дать медико-техническую характеристику и оценку разработанного нами мобильного приложения Tinnitus с применением акустических и визуальных стимуляций в лечении пациентов с шумом в ушах (субъективным).

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование было одобрено этическим комитетом Гродненского государственного медицинского университета в рамках гранта БРФФИ. Перед применением мобильного приложения Tinnitus все пациенты заполняли информированное согласие на участие в исследовании.

Техническая характеристика мобильного приложения Tinnitus

На начальном этапе разработки мобильного приложения Tinnitus был выбран фреймворк Flutter (Dart), который является молодым бесплатным фреймворком и имеет следующие преимущества: прост в применении; позволяет писать и применять код для Android, iOS, а также подключать C++ библиотеки и др. [3, 19, 21], но для реализации наших планов по проекту его оказалось недостаточно.

Главной и основной частью мобильного приложения является генерация звука, который имеет определенные частоты, громкость и восприимчивость, при помощи синусоидальной звуковой волны [19, 21].

В рамках исследования проводилось изменение громкости звука на частотах. Выбрали метод воспроизведения аудиофайла пациентом с измененным уровнем звука (дБ) на определенных частотах, в зависимости от результатов ПАШ, которые пациент проходит для идентификации того, как приблизительно может выглядеть звуковая волна его шума [19].

Базовой возможностью изменения уровня звука по частотам является телефонный эквалайзер. Данная возможность позволяет усиливать или уменьшать звук на заданных частотах [19].

Эквалайзер – граф с ползунками, позволяющий задать увеличение/уменьшение амплитуды громкости звука (дБ) по определенным частотам [19].

Исследование показало, что работа эквалайзера с его возможностями зависит от смартфона, на котором работает мобильное приложение. Как правило, эквалайзер состоит из 5 частот (Гц) – 60, 230, 910, 4000, 14 000 – и может менять уровень звука в пределах +/-15 дБ. Существуют устройства, которые могут влиять и на более широкий частотный спектр [19].

В конечном итоге исследование показало, что единственный способ получить желаемый результат – это написание реализации для изменения побитового представления аудиофайла, что невозможно, используя ни один из нативных инструментов (iOS/Android), а тем более используя Flutter [19].

В первую очередь было необходимо аудиофайл привести к виду Frequency/dB, так как только по представленным параметрам можно провести изменение. С данной целью использовалось быстрое преобразование Фурье (БПФ/FFT) – важный метод измерений звука и акустики в науке. Он позволяет преобразовывать сигнал в отдельные спектральные компоненты и предоставляет частотную информацию о сигнале. БПФ – оптимальный алгоритм для реализации «дискретного преобразования Фурье» (ДПФ). Сигнал дискретизируется за период времени и делится на его частотные составляющие. Компоненты представляют собой одиночные синусоидальные колебания на разных частотах, каждая со своей амплитудой и фазой [19].

Следующим этапом на представленном аудиофайле изменяли амплитуду волны для достижения необходимого в дБ значения звука на необходимой частоте. Применяли данный алгоритм на всем наборе частот, полученных из ПАШ, и проводили обратное преобразование в аудиопоток для подачи в аудиоплеер [19].

Далее функционал профилактики реализовывали на Unity модуле. Учитывая возможности движка Unity как в области работы с аудио, так и визуализации, модуль, который ранее использовался только для визуальной стимуляции, теперь будет отвечать за всю профилактическую систему и любые ее дальнейшие улучшения.

Благодаря широким возможностям работы с аудио был внедрен функционал удаления участка частотного спектра, окружающего частотную область тиннитуса. Помимо этого, было решено внедрить расширенный эквалайзер, который пациент в ручном режиме смог бы при необходимости дополнительно настроить. Расширенный эквалайзер позволяет добавить большое количество изменений на конкретные частоты с желаемым размером октавы и усилением, в отличие от представленного выше стандартного эквалайзера, который не имеет представленных возможностей [19].

Для возможности работы в медицинских учреждениях на сервере важной частью является безопасность пользовательских данных, для этого проводилась работа по хранению всех данных в формате HL7 FHIR [19].

Fast Healthcare Interoperability Resources (FHIR) – это стандарт, описывающий форматы и элементы данных (известные как «ресурсы») и интерфейс прикладного программирования (API), для обмена электронными медицинскими картами (EHR). Стандарт был создан организацией по стандартизации здравоохранения Health Level Seven International (HL7) [19].

Необходимость использования данного стандарта определена положением о профиле по разработке, обеспечению функционирования и информационному взаимодействию централизованной информационной системы здравоохранения, медицинских информационных систем организаций здравоохранения и других информационных систем здравоохранения, утвержденным приказом Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 октября 2018 г. № 1001 [19].

Представленная техническая характеристика мобильного приложения Tinnitus позволила: создать электронный опросник с автоматической выдачей результатов; обеспечить прохождение тональной аудиометрии (по воздушной проводимости) от 125 до 12 000 Гц с выдачей результатов; ПАШ с выдачей результатов; выполнение калибровки наушников с использованием мобильных устройств вне зависимости от модели и качества наушников; генерацию звука с возможностью изменения частоты, громкости и восприимчивости при помощи синусоидальной звуковой волны, что представляло акустическую стимуляцию, а также создание различных вариантов визуальных стимуляций (картинный ряд, мини-игра); сохранять полученные данные в рамках устройства и передавать на электронную почту как пациента, так и медицинского работника.

Применение в медицинской практике мобильного приложения Tinnitus

В исследовании с целью лечения приняло участие 100 пациентов с диагнозом: Н93.1 Шум в ушах (субъективный) с различной сопутствующей патологией, с различными степенями снижения слуха (от нормы до тяжелой). Все пациенты были дообследованы согласно разработанному алгоритму диагностики СУШ, а также прошли этап диагностики с применением мобильного приложения Tinnitus [19].

Пациенты проходили обследование и лечение на базе поликлиники УЗ «Гродненская университетская клиника» с января 2021 года по май 2022 года.

Для применения метода акустических и визуальных стимуляций с использованием мобильного приложения Tinnitus, направленного на лечение СУШ у пациентов, необходимо иметь следующее: смартфон, планшет или иные мобильные устройства на операционных системах iOS или Android с установленным мобильным приложением

Tinnitus, которое размещено в Apple Store, Google Play; полноразмерные звуковые наушники для представленных выше устройств.

Мобильное приложение Tinnitus включает в себя: блок диагностики – анкета ТНН (Tinnitus Handicap Inventory) с нашей адаптированной русской версией; тональную аудиометрию (по воздушной проводимости) от 125 до 12 000 Гц; психоакустическую шумометрию (ПАШ).

После прохождения этапа ПАШ выбираем для пациента раздел «Лечение», где:

1. Для старта терапии на экране устройства следует выбрать опцию «Аудио» (рис. 1), в которой выбираем звук из предложенных вариантов в виде: стимуляций в разном диапазоне звуковых частот, коротких тонов с более высокой и более низкой по отношению к тиннитусу частотой, музыкальной стимуляции с удаленным участком частотного спектра, который окружает частотную область тиннитуса и др. [19].
2. На экране устройства нажимаем кнопку «Настройки», далее выбираем Frequency (данные с ПАШ переводятся автоматически с установленными параметрами в настройки). Кроме того, возможно все показатели дополнительно поменять вручную от 125 до 12 000 Гц, выбрав функцию Equalizer (рис. 2).
3. Нажимаем на экране кнопку «X», выбираем на устройстве дополнительную опцию «Игра»/«Галерея», то есть в мобильном приложении Tinnitus пациент одновременно использует опцию «Аудио» и опцию «Игра»/«Галерея».

Опция «Игра»: на экране устройства параллельно со звуками включается поле с наборомдвигающихся объектов. В игровой манере пациент следит за объектами и формирует из фигур числовой ряд от наименьшего значения к наибольшему (рис. 3).

Опция «Галерея», где пациент просматривает картинный ряд в виде слайд-шоу, представлена на рис. 4.

Показания к применению метода: диагноз – шум в ушах (субъективный) (H93.1); симптом СУШ при различных заболеваниях; СУШ как диагноз/симптом должен быть длительностью более 3 месяцев.



Рис. 1. Блок «Лечение» мобильного приложения Tinnitus
Fig. 1. Block "Treatment" of the mobile application Tinnitus



Рис. 2. Настройки мобильного приложения Tinnitus
Fig. 2. Tinnitus mobile app settings

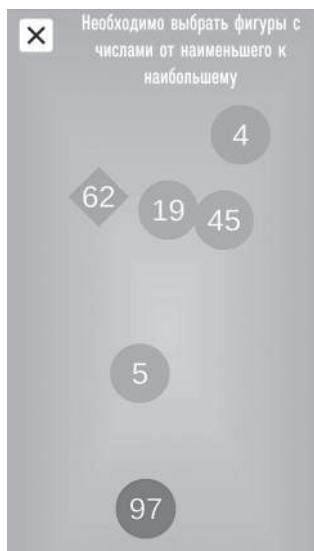


Рис. 3. Опция «Игра»
Fig. 3. Game option



Рис. 4. Опция «Галерея»
Fig. 4. Gallery option

Противопоказания к применению метода: двухсторонняя глухота; СУШ как диагноз/симптом длительностью менее 3 месяцев; серная пробка в наружном слуховом проходе; хронические заболевания наружного, среднего уха в стадии обострения; острые воспалительные заболевания наружного, среднего или внутреннего уха; состояние после оперативного лечения (стапедопластика, тимпанопластика всех типов, радикальная операция или КИ на ухо) сроком до 1 месяца; органическая патология нервной системы (перенесенные ишемические и геморрагические инсульты, опухоли, последствия черепно-мозговых травм тяжелой степени) сроком до 6 месяцев; психические расстройства; острые инфекционные заболевания.

Осложнения при выполнении вышеуказанного метода исключены.

Статистическая обработка результатов выполнялась с использованием табличного редактора Microsoft Excel и программного обеспечения STATISTICA for Windows, версия 10,0 (StatSoft, Inc.), достоверность показателей и различий рассматриваемых выборок производилась при уровне значимости $p < 0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Метод с применением мобильного приложения Tinnitus с медицинской стороны состоит из двух блоков, так как во введении отмечалась значимость индивидуально-комплексного подхода в борьбе с тиннитусом.

Первый блок – диагностика [3, 19] – представлен следующими этапами:

1. Прохождение русскоязычной, адаптированной версии опросника THI, состоящего из 25 вопросов с автоматической выдачей результатов, что позволит субъективно оценить степень влияния СУШ на пациента и позволяет специалистам оценить результаты в динамике.

Использован опросник THI на основании исследований [19, 22, 23] как один из популярных для объективизации жалоб пациента.

2. Тональная аудиометрия (по воздушной проводимости) от 125 до 12 000 Гц позволяет выявить снижение слуха у пациентов, а также дополнительно можно ее применить в скрининге слуха у детей и взрослых.

Диапазон частот от 125 до 12 000 Гц взят на основе исследования [24], где отмечено, что тугоухость возникает на высоких частотах [24, 25], и рекомендовано [24] проводить диагностическое исследование до 12 000 Гц, что позволяет выявить тугоухость на раннем этапе, а также скрытую потерю слуха или факторы риска, способствующие развитию тугоухости в диапазоне от 10 000 до 12 000 Гц.

3. ПАШ [26] позволяет определить уровень СУШ у пациентов и более досконально подобрать последующие акустические стимулы с целью лечения. При правильном выполнении в последующем может снижать риск неэффективной терапии.

Второй блок – лечение [19] – представлен следующими этапами:

1. Индивидуальный подбор акустических стимулов в диапазоне частот от 125 до 12 000 Гц (в виде коротких тонов с более высокой и более низкой по отношению к тиннитусу частотой) и музыкальной стимуляции с удаленным участком частотного спектра, который окружает частотную область тиннитуса.
2. Визуальные стимуляции в виде картинного ряда, как слайд-шоу, мини-игр, где пациенту предстоит в правильном порядке нажать на фигуры с соответствующими цифрами. Фигуры, как и цифры, различной формы, размера, а также цвета, все это подбирается случайным образом.

Таким образом, все вышеперечисленное в комплексе при соблюдении технологии индивидуального проведения диагностического, лечебного этапа позволяет «замаскировать» тиннитус в виде подавления или уменьшения выраженности тиннитуса у пациентов.

При маскирующей терапии СУШ исчезает, когда подаваемый звук используется на 10 дБ выше громкости тиннитуса, учитывая исследования [23]. Громкость на заданных частотах не превышает 85 дБ согласно рекомендациям ВОЗ о безопасном прослушивании [27].

Длительность применения акустических стимуляций согласно исследованиям [28] составляет 12 часов в день; исследованиям [23] – 20–30 минут 4–6 раз в день. Учитывая данные [23, 28] и наш опыт, было взято среднее значение 45 минут 3 раза в сутки.

Результаты эффективности лечения оценивали в динамике через 1 неделю, 1, 3 и 6 месяцев [29], затем каждые 6 месяцев, основываясь на оценках субъективной тяжести СУШ у пациентов.

Таким образом, выше представленный метод показал свою эффективность в лечении субъективного тиннитуса любой этиологии в виде подавления у $26,0 \pm 4,4\%$ пациентов и уменьшения выраженности тиннитуса у $57,0 \pm 4,9\%$ пациентов, что улучшило качество жизни. Дополнительное применение визуальных стимуляций усилило эффективность акустических стимулов в подавлении СУШ.

■ ВЫВОДЫ

1. Представленный метод является видеоизмененной TRT-терапией. Метод эффективный, неинвазивный, простой, удобен в использовании, безопасный.
2. Метод состоит из двух блоков: диагностического и лечебного. От правильного выполнения диагностического этапа зависит последующая эффективность лечения, что подтверждает индивидуальный, комплексный подход в данном методе.
3. С медицинской точки зрения применение индивидуальных комплексов (акустических и визуальных стимуляций) в мобильном приложении Tinnitus показало положительный эффект в виде подавления и уменьшения выраженности СУШ у пациентов в $83,0 \pm 3,8\%$ случаев.
4. Современные мобильные устройства в виде смартфонов, планшетов и других устройств можно эффективно применять для лечения СУШ как медицинскими специалистами в практическом здравоохранении (государственном, частном), так и пациентами самостоятельно.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Petrova L., Khammuda Z. *Peculiarities of tinnitus in various pathologies*. Art of Medicine. 2007;1:59–64. (in Russian)
2. Lopatko A., Prichodko E., Melnik A. *Ushnye shumy*. Leningrad: Medicina; 2006. (in Russian)
3. Bondarchuk Y., Khorov O., Urbanovich A. The diagnosis of subjective tinnitus and early hearing loss in patients using mobile app for smartphone. *BSMU at the forefront of medical science and practice*. 2020;10:71–76.
4. Kunelskaya N. Features of the complex diagnosis of subjective ear noise. *Russian otorhinolaryngology*. 2020;4(107):60–65. (in Russian)
5. Levine S.B., Snow J.B. Pulsatile tinnitus. *Laryngoscope*. 1987;97:401–406.
6. Cima R.F., Kikidis D., Mazurek B. Tinnitus healthcare: a survey revealing extensive variation in opinion and practices across Europe. *BMJ Open*. 2020;10(1):e029346. doi: 10.1136/bmjopen-2019-029346
7. Okamoto H., Stracke H., Stoll W. Listening to tailor-made notched music reduces tinnitus loudness and tinnitus-related auditory cortex activity. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2010;107(3):1207–1210. doi: 10.1073/pnas.0911268107
8. Herraiz C., Diges I., Cobo P. Auditory discrimination training for tinnitus treatment: the effect of different paradigms. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2010;267(7):1067–1074. doi: 10.1007/s00405-009-1182-6
9. Hoare D.J., Kowalkowski V.L., Hall D.A. Effects of frequency discrimination training on tinnitus: results from two randomised controlled trials. *J Assoc Res Otolaryngol*. 2012;13(4):543–559. doi: 10.1007/s10162-012-0323-6
10. Jastreboff P.J., Jastreboff M.M. Tinnitus Retraining Therapy (TRT) as a method for treatment of tinnitus and hyperacusis patients. *J Am Acad Audiol*. 2000;11(3):162–177.
11. López González M.A., López Fernández R. Terapia sonora secuencial en acúfenos [Sequential sound therapy in tinnitus]. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2004;55(1):2–8. doi: 10.1016/s0001-6519(04)78475-7 (in Spanish)
12. Schechter M.A., Henry J.A. Assessment and treatment of tinnitus patients using a «masking approach». *J Am Acad Audiol*. 2002;13(10):545–558.
13. Folmer R.L. *Tinnitus sound therapy*. Tinnitus treatment. New York: Thieme. 2006;176–186.
14. Kolesnikov V., Anokhin E., Lapin M. Subjective tinnitus. *Chief Physician*. 2017;2(2):22–24. (in Russian)
15. Levine S.B., Snow J.B. Pulsatile tinnitus. *Laryngoscope*. 1987;97:401–406.
16. Sereda M., Smith S., Newton K. Mobile Apps for Management of Tinnitus: Users' Survey, Quality Assessment, and Content Analysis. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2019;7(1):e10353. doi: 10.2196/10353
17. Casale M., Costantino A., Rinaldi V. Mobile applications in otolaryngology for patients: An update. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*. 2018;3(6):434–438. doi: 10.1002/lto2.201
18. Tunkel D.E., Bauer C.A., Sun G.H. Clinical practice guideline: tinnitus. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2014;151(2 Suppl):1–40. doi: 10.1177/0194599814545325
19. Bondarchuk Yu., Urbanovich A. *Visual and acoustic stimulation of an individualized multimedia complex in a different range of sound frequencies in conditions of subjective tinnitus: research report (conclusive)*. Grodno state med. un-t. Grodno, 2022;94. № 20201300.
20. Jastreboff P.J., Hazell J.W. A neurophysiological approach to tinnitus: clinical implications. *Br J Audiol*. 1993;27(1):7–17. doi: 10.3109/03005369309077884
21. Urbanovich A., Kadan A., Zaikova S. Cross-platform application for the diagnosis and prevention of tinnitus. *Science and Innovation Journal*. 2022;6(232):80–83. (in Russian)
22. Pchelenok E., Gunenkov A., Kosyakov S. Tinnitus. State of the art. Literature review. *Folia Otorhinolaryngologiae et Pathologiae Respiratoriae*. 2021;27(3):4–14. doi: 10.33848/foliorl23103825-2021-27-3-4-13 (in Russian)
23. Cai Y., Zhou Qu., Yang X. Logistic regression analysis of factors influencing the effectiveness of effective sound-masking therapy in patients with tinnitus. *BMJ Open*. 2017;7:e018050. doi: 10.1136/bmjopen-2017-018050
24. Vladimirova T., Aizenshtadt L. Mobile solutions in hearing assessment. *Bulletin of Otorhinolaryngology*. 2021;86(2):4–9. doi: 10.17116/otorino2021860214 (in Russian)
25. Shore S.E., Roberts L.E., Langguth B. Maladaptive plasticity in tinnitus—triggers, mechanisms and treatment. *Nature reviews. Neurology*. 2016;12(3):150–160. doi: 10.1038/nrneurol.2016.12
26. Fournier P., Cuvillier A.F., Gallego S. A New Method for Assessing Masking and Residual Inhibition of Tinnitus. *Trends in Hearing*. 2018;22:2331216518769996. doi: 10.1177/2331216518769996
27. Available at: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/177884/WHO_NMH_NVI_15_2_rus.pdf (accessed 28.08.2022).
28. Tyler R.S., Perreau A., Powers T. Tinnitus Sound Therapy Trial Shows Effectiveness for Those with Tinnitus. *J Am Acad Audiol*. 2020;31(1):6–16. doi: 10.3766/jaaa.18027
29. Seydel C., Haupt H., Szczepek A.J. Long-term improvement in tinnitus after modified tinnitus retraining therapy enhanced by a variety of psychological approaches. *Audiol Neurotol*. 2010;15(2):69–80. doi: 10.1159/000231632