

<https://doi.org/10.34883/PI.2025.15.2.028>



Кузьмин Д.М.¹, Пашинин А.Н.¹, Фионова Т.В.² ✉

¹ Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

² Национальный медицинский исследовательский центр оториноларингологии Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Камертональное исследование слуха при помощи мобильного приложения

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования – Кузьмин Д.М., Фионова Т.В.; обзор литературы, сбор материала, написание текста – Кузьмин Д.М., Фионова Т.В.; редактирование статьи – Пашинин А.Н.

Подана: 07.01.2025

Принята: 22.04.2025

Контакты: fionova-tatiana@mail.ru

Резюме

Введение. В настоящее время широкое распространение получают телемедицинские способы диагностики, лечения и мониторингирования здоровья пациентов. Мобильными устройствами владеет около 85% населения Земли, что позволяет активно развивать информационные технологии в сфере здравоохранения. Создаются различного рода мобильные приложения для поддержания здоровья людей. Учитывая растущее число пациентов со снижением слуха, целесообразно разрабатывать и использовать клинические приложения для оценки состояния слухового анализатора, что является достаточно удобным и экономически выгодным решением.

Цель. Оценка эффективности использования разработанного мобильного приложения для качественного (камертонального) определения состояния слуха у взрослого населения.

Материалы и методы. Были обследованы 65 (100%) человек, из которых 20 (30,7%) пациентов с клиническим диагнозом «хронический средний отит», 17 (26,2%) пациентов с отосклерозом и 8 (12,4%) человек с сенсоневральной тугоухостью. Контрольную группу здоровых людей с нормальным слухом составили 20 (30,7%) человек. Качественная оценка слуховой функции обследуемым пациентам выполнялась 2 сравниваемыми между собой методами: с использованием вибрации камертона и с помощью мобильного телефона через приложение EarsChek (свидетельство № 2016616082 от 06.06.2016). Классические камертональные тесты включали в себя 3 наиболее распространенные пробы: Вебера, Ринне и Желле. Всем обследуемым пациентам выполнялась тональная пороговая аудиометрия для оценки степени снижения слуха по воздушной и костной проводимости для выявления корреляции с результатами камертональных тестов.

Результаты. При выполнении тональной пороговой аудиометрии зарегистрирована кондуктивная потеря слуха у 82,1% пациентов с преимущественно двусторонним характером поражения – 70,8%. Доля пациентов с перцептивной тугоухостью составила 17,9%. При проведении проб Ринне и Желле с помощью камертона С128 Гц и вибрации мобильного телефона статистически значимых различий не выявлено.

При выполнении пробы Вебера выявлены различия результатов тестирования в 15% случаев, что связано с подачей катушкой мобильного устройства более высокой частоты.

Заключение. Использование вибрации мобильного телефона в приложении EarsChek позволяет применять его для камертонального исследования пациентов со снижением слуха.

Ключевые слова: камертон, смартфон, мобильная аудиометрия, количественная оценка слуха, качественная оценка слуха

Kuzmin D.¹, Paschinin A.¹, Fionova T.² ✉

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

² National Medical Research Center for Otorhinolaryngology of the Federal Medical-Biological Agency of Russia, Moscow, Russia

Tuning Fork Hearing Test Using a Mobile App

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: research concept and design – Kuzmin D., Fionova T.; literature review, material collection, text writing – Kuzmin D., Fionova T.; article editing – Paschinin A.

Submitted: 07.01.2025

Accepted: 22.04.2025

Contacts: fionova-tatiana@mail.ru

Abstract

Introduction. Currently, the telemedicine methods for diagnosis, treatment, and monitoring of patients' health are becoming widespread. Approximately 85% of the world's population owns mobile devices, which enables the active development of information technology in healthcare. Various types of mobile applications are being created to support people's health. Given the increasing number of patients with hearing loss, it is advisable to design and use clinical applications for assessing the condition of the auditory analyzer, which is a convenient and cost-effective solution.

Purpose. To evaluate the effectiveness of using our mobile application designed for qualitative (tuning fork) assessment of hearing status in adults.

Materials and methods. A total of 65 (100%) subjects were examined, of which 20 (30.7%) of patients had a clinical diagnosis of chronic otitis media, 17 (26.2%) patients had otosclerosis, and 8 (12.4%) individuals had sensorineural hearing loss. A control group of 20 (30.7%) healthy individuals with normal hearing was also included. A qualitative assessment of auditory function was performed using two comparison methods: using tuning fork vibration and mobile phone vibration via the EarsChek application (certificate No. 2016616082 dated June 6, 2016). The classic tuning fork tests included the three most common tests: Weber, Rinne, and Gelle. All examined patients underwent pure-tone threshold audiometry to assess the degree of hearing loss by air and bone conduction, aiming to identify any correlation with the tuning fork test results.

Results. Pure-tone threshold audiometry revealed conductive hearing loss in 82.1% of the patients, predominantly bilateral in nature (70.8%). The proportion of patients with perceptive hearing loss was 17.9%. No statistically significant differences were found in Rinne and Gelle tests performed with a C128 Hz tuning fork and mobile phone vibration. However, differences were observed in 15% of the Weber test results, due to the mobile device coil emitting a higher frequency.

Conclusion. The use of mobile phone vibration in the EarsChek application makes it suitable for tuning fork assessment of patients with hearing loss.

Keywords: tuning fork, smartphone, mobile audiometry, quantitative hearing assessment, qualitative hearing assessment

■ ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным зарубежного статистического центра, в 2024 г. число пользователей мобильными устройствами составило около 7 миллиардов человек [1]. Широкое распространение мобильных гаджетов привело к разработке большого количества приложений, которые нашли свое место и в медицине. Развитие мобильного здравоохранения способствует большему охвату населения, расширяя доступ к медицинским услугам, а также улучшает скорость оказания медицинской помощи [2]. Развитие информационно-коммуникационных технологий (IT) позволяет более качественно проводить телемедицинские консультации с возможностью применения и оценки некоторых субъективных и объективных методов обследования. Прогресс IT в медицину создает огромный потенциал для замены массивного и дорогостоящего медицинского оборудования на более компактные и дешевые мобильные устройства.

В официальных интернет-магазинах на базе операционных систем (RuStore, iOS и Android) можно найти мобильные приложения по удаленному мониторингу здоровья, диагностике и реабилитации различных заболеваний органов и систем, включая дневники для отслеживания симптомов заболеваний, приема лекарственных препаратов, рекомендации по питанию и образу жизни. Медицинские приложения для смартфонов самостоятельно корректируют назначенную терапию на основе заранее определенных алгоритмов, которые позволяют пациентам поддерживать контроль за своим заболеванием [3].

Согласно исследованию зарубежных ученых, было зарегистрировано 44 мобильных приложения для проверки слуха, которые делятся на клинические и потребительские. Клинические приложения позволяют врачу исследовать слуховую функцию при помощи мобильного устройства [4]; существуют приложения с возможностью диагностики субъективного ушного шума [5]. В потребительских приложениях заложена функция самодиагностики слуха, результаты которой интерпретируются программой в виде пользовательского заключения [6].

В практической деятельности врача-оториноларинголога на первичном приеме, а также при проведении периодических медосмотров работников, подвергающихся воздействию сильного шума, широко используются классические акуметрические камертональные тесты (Ринне, Вебера, Желле и пр.), которые дают полезную качественную характеристику слуховой функции пациента. Тесты остаются актуальными

для дифференциальной диагностики перцептивной и кондуктивной тугоухости. Для исследования необходимо наличие камертонов с различным частотным диапазоном: С128, С256, С1024 и пр., позволяющих оценить состояние воздушного и костного звукопроведения обследуемого [7]. Решением и упрощением данной методики, на наш взгляд, может послужить замена такого инструмента, как камертон, на мобильный телефон, с помощью которого можно выполнять аналогичные слуховые тесты.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценка эффективности использования разработанного мобильного приложения для качественного (камертонального) определения состояния слуха у взрослого населения.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В научно-исследовательской работе были обследованы 65 (100%) человек, из которых 20 (30,7%) человек с клиническим диагнозом «хронический средний отит», 17 (26,2%) пациентов с отосклерозом и 8 (12,4%) человек с сенсоневральной тугоухостью (СНТ). Контрольную группу здоровых людей с нормальным слухом составили 20 (30,7%) человек. Среди исследуемой выборки было 17 мужчин и 28 женщин, средний возраст составил $47 \pm 3,18$ года.

Качественная оценка слуховой функции обследуемым пациентам выполнялась 2 сравниваемыми между собой методами: с использованием вибрации камертона (Д. Шора, 1711 г.) и вибрацией мобильного телефона. Классические камертональные тесты включали в себя 3 наиболее распространенные пробы: Вебера, Желле и Ринне с использованием камертона с частотой 128 Гц. Далее эти же опыты проводились с помощью вибрации мобильного телефона путем прижатия угла смартфона к прикладным точкам для исследования, как показано на рис. 1. Функционал в разработанном мобильном приложении EarsChek (свидетельство № 2016616082 от 06.06.2016) [8] позволяет проводить камертональные исследования слуха путем подачи сигнала с частотой 130–180 Гц, в зависимости от модели мобильного устройства, на электромагнитную катушку телефона. При этом вибрация с телефона передавалась на кости черепа с распространением вибрационной волны на структуры внутреннего уха. Воздушная проводимость оценивалась путем поднесения угла телефона к наружному слуховому проходу.

Тест Вебера выполнялся путем прикладывания звучащего камертона и мобильного телефона в проекции венечного шва черепа, в результате чего оценивалась латерализация звука. Выделяют несколько теорий для объяснения теста Вебера. Согласно одной из них, в здоровом ухе звуки окружающей среды, передаваемые по воздуху, конкурируют со звуками, распространяющимися по костям черепа. При нарушенном звукопроведении отсутствует маскировка звуками окружающей среды, благодаря чему структуры внутреннего уха интенсивнее воспринимают вибрационные волны с кости. Другое объяснение заключается в разнице акустического импеданса 2 сред – воздушной и жидкостной. Известно, что эндо- и перилимфа улитки обладает более высоким акустическим сопротивлением по отношению к воздуху, в результате чего большая часть звуковой энергии отражается при переходе из одной среды в другую. Барабанная перепонка, полость среднего уха и рычажная система слуховых косточек выравнивают импеданс между воздухом и жидкостями улитки,



Рис. 1. Выполнение камертональных тестов при помощи смартфона
Fig. 1. Performing tuning fork tests using a smartphone

сводя к минимуму потери акустической энергии. Патология среднего уха нарушает данный баланс, увеличивая отражение звука. Таким образом, проба Вебера оценивается с латерализацией в больное ухо, где отражение и усиление звука в жидкостных структурах улитки выше, чем в барабанной полости [9].

Камертональный тест Ринне позволяет оценить проведение звука по воздуху и по кости. С использованием метода сравнения временных порогов определяется соотношение времени звучания камертона с площадки сосцевидного отростка и параллельно наружному слуховому проходу. В вибрационной катушке мобильного телефона отсутствует эффект снижения силы звука вибрации, в связи с чем проба Ринне проводилась методом сравнения громкости [10]. Звучащий камертон и смартфон прикладывали к сосцевидному отростку, а затем подносили к наружному слуховому проходу. Если звук воспринимался громче по кости, то результат фиксировался как отрицательный – поражение слуха по типу звукопроводения. Напротив, положительный тест Ринне отмечался у пациентов с нормальным слухом или перцептивной тугоухостью, когда звучание камертона и вибрации смартфона были громче по воздуху.

Проба Желле выполнялась прикладыванием звучащего камертона и угла мобильного телефона к площадке сосцевидного отростка с одновременным закрытием козелка. При этом сгущение воздуха в наружном слуховом проходе приводит к увеличению давления на барабанную перепонку и цепь слуховых косточек. Если основание стремени подвижно, то давление передается перилимфе вестибулярной лестницы и структурам улитки, тем самым снижая уровень возбудимости волосковых клеток. Если обследуемый сообщает об изменении громкости звука, то проба считается положительной. При сохранении субъективно постоянного уровня громкости тест Желле интерпретируется как отрицательный [11].

Всем обследуемым пациентам выполнялась тональная пороговая аудиометрия для оценки степени снижения слуха по воздушной и костной проводимости с целью выявления корреляции с результатами камертональных тестов.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ

При выполнении тональной пороговой аудиометрии среди исследуемой группы пациентов зарегистрирована кондуктивная потеря слуха в 82,1% случаев, которая носила преимущественно двусторонний характер поражения (70,8%). Доля пациентов с перцептивной тугоухостью составила 17,9%. Средние значения порогов воздушного звукопроведения у пациентов со средним отитом составили $35 \pm 17,69$ дБ, у пациентов с отосклерозом – $47,47 \pm 21,41$ дБ, у пациентов с СНТ – $33,75 \pm 14,72$ дБ. Средние значения порогов костного звукопроведения равнялись $12,86 \pm 10,59$ дБ у пациентов со средним отитом, $24,37 \pm 17,34$ дБ при отосклерозе и $27,31 \pm 13,36$ дБ при сенсоневральной потере слуха (рис. 2). Средние пороги воздушного звукопроведения у 20 нормально слышащих пациентов составили $12,62 \pm 3,74$ дБ, а костного – $7,34 \pm 2,17$ дБ.

Анализ камертональных тестов показал, что при проведении проб Ринне и Желле статистически значимых различий не выявлено ($p > 0,05$), а следовательно, результаты можно считать статистически равными (табл. 1).

При пробе Вебера, выполненной при помощи камертона, у основной группы пациентов с двусторонним поражением слуха по кондуктивному типу и отсутствием латерализации аналогичный результат тестирования при помощи мобильного телефона выявлен у 71,4% человек. Вибрация смартфона продемонстрировала более высокую чувствительность, показав четкую или слабую латерализацию в хуже слышащее ухо. В свою очередь, при результате «середина, слабо АД», полученном у 4 пациентов при помощи камертона, у 3 из них зарегистрировано данное значение при проверке мобильным приложением (табл. 2).

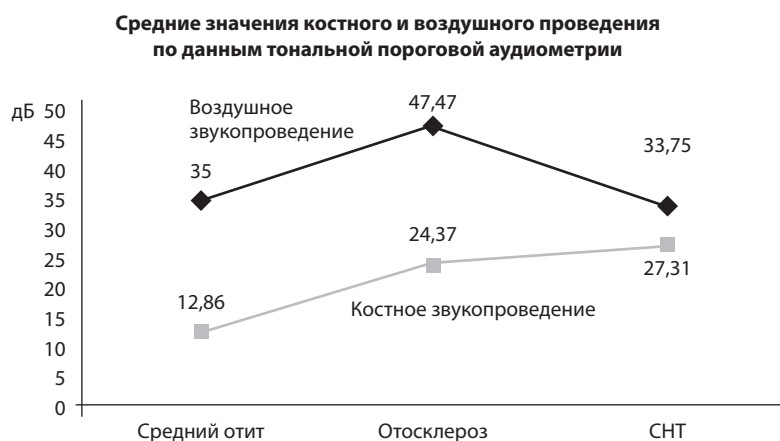


Рис. 2. Результаты тональной пороговой аудиометрии
Fig. 2. Pure-tone threshold audiometry results

Таблица 1
Анализ различий между показателями камертоновой пробы при помощи камертона и при использовании мобильного приложения
Table 1
Comparative analysis of tuning fork test parameters using a standard tuning fork and a mobile application

Проба	Камертон		Телефон		McNemara тест
	N	%	N	%	
Желле AD	38	84,8	38	84,8	1
Желле AS	36	79,3	36	79,3	1
Ринне AD	20	44,1	21	46,6	1
Ринне AS	19	41,5	19	41,5	1

Таблица 2
Анализ различий показателей по тесту Вебера, полученных с использованием вибрации камертона и вибрации телефона
Table 2
Analysis of differences in Weber test results obtained using the tuning fork vibration and the smartphone vibration

Телефон Камертон	AD	AS	Середина	Середина, слабо AD	Середина, слабо AS	P-value Хи-квадрат
AD	6 (100,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1
AS	0 (0,0%)	12 (100,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1
Середина	1 (4,8%)	1 (4,8%)	15 (71,4%)	4 (19,0%)	0 (0,0%)	<0,001**
Середина, слабо AD	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (25,0%)	3 (75,0%)	0 (0,0%)	0,01**
Середина, слабо AS	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	2 (100,0%)	1

Примечание: **различия значимы на уровне $p < 0,01$.

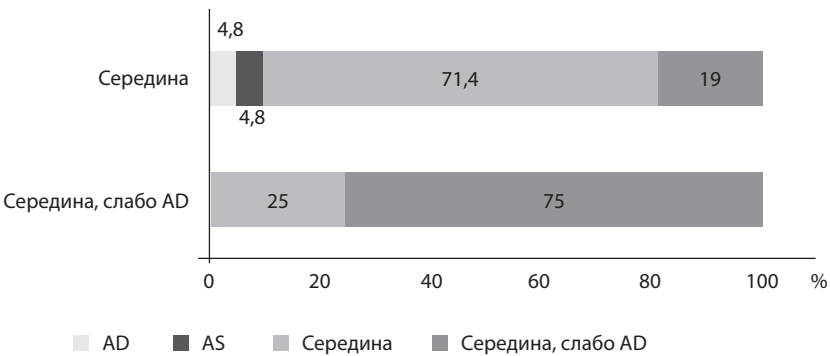


Рис. 3. Статистически значимые различия показателей теста Вебера при измерении камертоном и телефоном
Fig. 3. Statistically significant differences in Weber test parameters between the tuning fork and phone measurements

Таким образом, между результатами теста Вебера, проведенного камертоном и телефоном, выявлены незначимые различия по показателям AD, AS и «середина, слабо AS» ($p > 0,05$) и значимые различия по показателям «середина» и «середина, слабо AD» ($p < 0,01$) (рис. 3).

■ ОБСУЖДЕНИЕ

В наше время развитие информационных технологий позволяет создавать различные приложения для проверки слуха на мобильных устройствах, преимуществами которых являются портативность, доступность, экономичность и простота в использовании. Регулярная самодиагностика состояния слуха с помощью смартфона становится доступной для многих людей. Разнообразие моделей смартфонов и наушников с разными характеристиками ограничивает их точность в диагностике. Кроме того, аудиометрия на мобильном телефоне может быть неэффективна при глубокой или асимметричной потере слуха [12].

На точность получаемых результатов влияет множество факторов, которые нужно учитывать как производителям приложений, так и пользователям (калибровка, тип наушников, шумы окружающей среды и т. п.). Например, при использовании приложения с применением внутриканальных наушников регистрируется высокая чувствительность (90–100%) и специфичность (88,5–100%) метода, при этом тестирование слуха с применением накладных наушников выдает такую же чувствительность и специфичность преимущественно на высоких частотах [7, 13].

Выделяют клинические и потребительские приложения для проверки слуха. Только некоторые из многообразных программ прошли клинические испытания и могут считаться валидными [12]. В нашем исследовании доказано, что мобильное устройство может применяться не только для количественной оценки слуха, но и для проведения стандартных камертональных проб путем вибрационных волн, исходящих из электромагнитной катушки телефона. Такая замена камертона целесообразна в случае его отсутствия у врача на момент осмотра, в целях самодиагностики и оценки динамики лечения.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мобильное здравоохранение позволяет улучшить доступность, качество и эффективность медицинской помощи, осуществлять мониторинг состояния здоровья, а также уменьшать затраты на медицинское оборудование. На примере результатов нашего исследования показано, как смартфон может быть инструментом для качественной оценки состояния слуха, став при этом альтернативой такому прибору, как камертон.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. <https://www.statista.com/statistics/330695/number-of-smartphone-users-worldwide/>
2. World Health Organization. mHealth: Use of appropriate digital technologies for public health: report by the Director-General [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2018 Mar 26. Available from: https://apps.who.int/gb/ebwha/pdf_files/WHA71/A71_20-ru.pdf
3. Con D., De Cruz P. Mobile Phone Apps for Inflammatory Bowel Disease Self-Management: A Systematic Assessment of Content and Tools. *JMIR Mhealth Uhealth*. 2016 Feb 1;4(1):e13. doi: 10.2196/mhealth.4874
4. Renda L., Selçuk Ö.T., Eyigör H., et al. Smartphone Based Audiometric Test for Confirming the Level of Hearing; Is It Useable in Underserved Areas? *J Int Adv Otol*. 2016 Apr;12(1):61–6. doi: 10.5152/iao.2016.1421

5. Bondarchuk Yu.M. Algorithm for the diagnosis of subjective tinnitus using modern technologies. In: Rubnikovich S.P., et al. (ed.) *Fundamental science in modern medicine – 2022: proceedings of the scientific-practical conference of students and young scientists*. Minsk, Belarus: 2022. P. 11–14. (in Russ.)
6. Alexandria L., et al. Smartphone-Based Applications to Detect Hearing Loss: A Review of Current Technology. *J Am Geriatr Soc*. 2021 Feb;69(2):307–316. doi: 10.1111/jgs.16985
7. Svistushkin V.M., Rusetsky Yu.Yu., Morozova S.V. (2019) *Training practical skills in the examination of ENT organs and otorhinolaryngological manipulations for students of the pediatric faculty: a textbook*. Moscow: Medical Information Agency Publishing House. (in Russ.)
8. http://patinfo.ru/files/fips/pevm2016/_TXT/2016616082.txt
9. Blakley B.W., Siddique S. A qualitative explanation of the Weber test. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1999 Jan;120(1):1–4. doi: 10.1016/S0194-5998(99)70361-X
10. Chole R.A., Cook G.B. The Rinne test for conductive deafness. A critical reappraisal. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1988 Apr;114(4):399–403. doi: 10.1001/archotol.1988.01860160043018
11. Palchun V.T., Kryukov A.I., Magomedov M.M. (2020) *Otorhinolaryngology: a textbook for universities*. 4th ed. (in Russ.)
12. Patel K., Thibodeau L., McCullough D., et al. Development and Pilot Testing of Smartphone-Based Hearing Test Application. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 May 21;18(11):5529.
13. Barczik J., Serpanosa Y.C. Accuracy of Smartphone Self-Hearing Test Applications Across Frequencies and Earphone Styles in Adults. *Am J Audiol*. 2018 Dec 6;27(4):570–580. doi: 10.1044/2018_AJA-17-0070