

УДК 616.21+616.28-008.14+616.28-073.44

**ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО
ЗВУКОВОГО СИГНАЛА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ОРГАНА
СЛУХА(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)***Бухарский Медицинский Институт имени Абу Али ибн Сина**Кафедра оториноларингологии***С.Ш.Файзиев****ВВЕДЕНИЕ**

В последнее десятилетие XXI в. применяются устройства, основанные на принципе использования акустической энергии, – специальные акустические средства (САС) [1–3]. Известно, что акутравматическое воздействие в зависимости от его интенсивности может приводить к патологическим изменениям как в звукопроводящем, так и звуковоспринимающем отделе слухового анализатора [4–6]. Актуальным научным направлением является оценка медико-биологического эффекта воздействия САС на организм экспериментальных животных, в частности на слуховой анализатор [7].

Морская свинка (*Cavia porcellus*) является одним из самых универсальных модельных объектов, применяемых в экспериментальной медицине при исследовании шумового травматизма, как в работах середины XX в., так и в трудах современных авторов [8, 9]. Это обусловлено преимущественно особенностями ее слухового восприятия, включающего частотный диапазон человека [10]. В литературе широко представлены акустические стимулы, применяемые при создании моделей акустической травмы с использованием этих животных, которые отличаются по спектру, интенсивности и продолжительности [11–15]. Изучается и вопрос применения комбинированного (шумо-вибрационного) воздействия [16]. Однако медико-биологической оценке специальных акустических сигналов (меняющейся тональности) уделяется все же мало внимания [17]. Необходимость данных исследований обусловлена наличием повышенной индивидуальной чувствительности отдельных людей к действию шума и недостаточной изученностью допустимого уровня экспозиции акустического воздействия САС, превышение которого может способствовать развитию грубой морфологической патологии и необратимых нарушений функции органа слуха различной степени выраженности.

Цель. Изучить характеристики специального звукового сигнала и его воздействие на орган слуха экспериментальной биологической модели.

Материалы и методы

Исследование проведено на 6 самцах (12 ушей) морских свинок (*Cavia porcellus*) массой 200–250 г в возрасте 4 нед., поставленных из филиала Бухарского государственного Медицинского института. Выбор указанных параметров животных обусловлен современными научными принципами по подбору моделей для экспериментальных исследований [18].

Этические принципы обращения с лабораторными животными были соблюдены в соответствии с Приказом Минздрава РУз от 12.08.1977 г. №755 «Правила проведения работ с использованием экспериментальных животных» и Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемыми для экспериментов или в иных научных целях от 18.03.1986 г. Исследование одобрено комитетом по этике биомедицинских исследований Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины о соответствии планируемого экспериментального исследования гуманистическим и этическим нормам (протокол №15 от 17 декабря 2021 г.).

Длительность карантина (акклиматизационного периода) составила 14 дней. В течение карантина проводили ежедневный осмотр каждого животного на предмет оценки поведения и общего состояния. Дважды в день оценивали состояние животных в клетках (на предмет заболеваемости и возможной смертности).

Основным критерием включения животных в исследование явились: нормальная эндоскопическая картина барабанных перепонок, положительный рефлекс Прейера, прохождение теста отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ОАЭЧПИ). Животные, не соответствующие нужным критериям, были исключены из исследования в течение карантина.

Для генерации акустического сигнала был использован комплект звукового оборудования (в составе акустического излучателя «АИ-300», и блока усиления и сопряжения «БУС-24», и пульта управления «ПУ-02», Россия). Исследование проводили в помещении площадью около 47 м². Параметры специального звукового сигнала измеряли с помощью шумомера-виброметра, анализатора спектра 1-го класса точности типа «Экофизика-110А» (Россия). Суммарная стандартная неопределенность результатов измерения составила 0,8 дБ. Измерение уровня шума осуществлялось непосредственно в области нахождения акустически прозрачной клетки с экспериментальными животными. Время воздействия составляло 3 мин.

Отоскопию осуществляли с использованием отоскопа Riester (Германия).

Для субъективной оценки функционального состояния слухового анализатора у экспериментальных животных нами производилась оценка рефлекса Прейера по методике К.Л. Хилова и соавт. [19]. Исследование рефлекса Прейера осуществлялось с использованием портативного аудиометра Interacoustics PA-5 (Дания). Звуковой сигнал с частотой 2000 Гц и интенсивностью 90 дБ подавался на расстоянии 10 см от

ушной раковины животного. Рефлекс считался положительным при движении прижатия ушных раковин в ответ на звуковую стимуляцию.

Для объективной оценки периферического отдела слухового анализатора у экспериментальных животных использовался метод ОАЭЧПИ. Исследование отоакустической эмиссии активно применяется для оценки слуха при проведении современных экспериментов на животных и создании моделей акустической травмы, что и привело нас к его выбору при проведении исследования [20, 21]. Измерение уровня ОАЭЧПИ выполнялось в условиях общей анестезии при внутривенном введении препарата тилетамин/золазепам (6 мг/кг).

Исследование ОАЭЧПИ осуществлялось с использованием системы аудиологического скрининга «Аудио-СМАРТ» (Россия). Амплитуда продукта искажения ОАЭ (дБ УЗД) фиксировалась в диапазоне частот 1,5– 4,2 кГц. Изучаемые параметры амплитуды ОАЭ регистрировались традиционным образом при использовании тональных стимулов f_1 и f_2 ($f_1 < f_2$) в стандартном соотношении $f_2 / f_1 = 1,22$ с анализом разностного тона $2f_1 - f_2$ при интенсивности стимуляции: $L_1 = L_2 = 70$ дБ УЗД. Результаты были оценены по критерию: соотношение «сигнал – шум» должно быть не менее 6 дБ УЗД. Герметичность обтюрации зондом наружного слухового прохода обеспечивалась с помощью стандартного вкладыша конической формы.

Исследование функции органа слуха проводилось до воздействия специального акустического сигнала, сразу после воздействия, а также через 24 и 72 ч после воздействия.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием пакета прикладных компьютерных программ IBM SPSS Statistics 23. В связи с тем, что распределение значений показателей не соответствовало нормальному, для описания усредненных значений применяли медиану (Me), а для разброса значений – первый (Q1) и третий (Q3) квартили. Для определения значимости различий между двумя выборками парных измерений применяли Т-критерий Вилкоксона, различия считались значимыми при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

При исследовании характеристик специального звукового сигнала установлено, что максимальный уровень звукового давления лежит в $\frac{1}{3}$ октавной полосы 3 150 Гц (127,4 дБ). Низкочастотная составляющая в структуре сигнала была незначительна. В полосах частот от 8,0 до 20 кГц зафиксированы уровни звукового давления более 90 дБ. Так как в среднечастотном диапазоне сосредоточен основной спектр звучания человеческого голоса [22], применение указанного сигнала существенно затрудняет речевое общение в зоне его действия. В целом рассматриваемый специальный

звуковой сигнал может быть отнесен к тональным, поскольку в его спектре присутствуют отчетливо выраженные частотные или узкополосные составляющие¹.

Субъективно специальный звуковой сигнал воспринимался как меняющийся по уровню звука и тональности с определенной периодичностью. При анализе сигнала на компьютерном осциллографе отмечен его пульсирующий характер с частотой изменения амплитуды сигнала 10 раз в секунду. В течение 70 мс сигнал шел с амплитудой 5 В, далее наблюдалось ее уменьшение до 0,7 В на протяжении 30 мс. В дальнейшем такая цикличность изменения уровня сигнала повторялась. Известно, что ухо человека способно определять число звуковых сигналов при частоте их следования более 35 мс. При меньших интервалах времени чередующиеся отдельные звуковые сигналы не дифференцируются и воспринимаются как непрерывный звук [23]. В связи с этим столь выраженное изменение амплитуды звукового сигнала ухом человека воспринимается не в полной мере, хотя наличие самой пульсации с частотой 10 Гц воспринимается достаточно отчетливо.

Воздействие сигнала с уровнем звука 127–128 дБ (с частотной коррекцией «А») на начальном этапе опыта вызывало беспокойство у животных, сопровождавшееся периодическим перемещением их в клетке. По этой причине при планировании воздействия специального звукового сигнала в отношении правонарушителей целесообразно учитывать эффект неожиданности и возможность появления панических реакций [24].

При эндоскопическом осмотре барабанных перепонки экспериментальных животных после акустического воздействия патологических изменений не наблюдалось. Вместе с тем отмечался отрицательный рефлекс Преяера, восстановление которого произошло через 24 ч после воздействия.

При анализе данных ОАЭЧПИ после воздействия специального акустического сигнала отмечалось снижение ее уровня на всех исследуемых частотах, которое было статистически значимо на трех из них (1,5; 2,1; 4,2 кГц). Это свидетельствует об угнетении функциональной активности волосковых клеток Кортиева органа. Данный феномен описан как «постстимуляционное утомление» или «временный сдвиг порогов» слуховой чувствительности. По литературным данным, он может сохраняться до 16 ч [25].

Восстановление порогов слуха до фоновых значений на частотах с 1,5 до 3,3 кГц произошло уже через 24 ч после акустического воздействия. На частоте 4,2 кГц восстановление порогов слуха до исходных значений не произошло и к третьим суткам эксперимента, но имело положительную динамику (табл.).

Таблица. Динамика показателей отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения у морских свинок при действии специального звукового сигнала в течение трех минут (n = 12)

Частота, кГц	Значение ОАЭ до и после воздействия сигнала, дБ			
	До	После	1-е сут.	3-и сут.
1,5	9,8 (7,4; 14,0)	4,7* (-2,3; 7,1) p = 0,019	9,3 (6,3; 14,8) p = 0,937	15,5 (10,7; 16,2) p = 0,266
2,1	10,8 (7,8; 15,4)	0* (-2,7; 1,62) p = 0,005	14,0 (6,4; 23,8) p = 0,347	9,2 (1,8; 15,1) p = 0,433
3,3	9,6 (6,9; 16,8)	4,5 (0,2; 15,3) p = 0,155	9,25 (-0,2; 13,1) p = 0,239	9,4 (1,2; 17,3) p = 0,754
4,2	13,2 (2,8; 16,5)	0* (0; 5,1) p = 0,021	3,6* (-8,9; 8,9) p = 0,005	6,3 (0; 13,7) p = 0,136

* *p* при сравнении со здоровыми животными (до воздействия), критерий Вилкоксона.

В связи с наличием нормальной эндоскопической картины и положительной динамикой восстановления порогов слуха по данным субъективных и объективных методов исследования морфологическое исследование Кортиева органа не проводилось.

Следует отметить, что уровень звука 127 дБА при экспозиции 3 мин эквивалентен по энергии действию постоянного шума за 8-часовой рабочий день 105 дБА. В свою очередь, подкласс 3.3 характеризует условия труда, при которых на работника воздействуют вредные и (или) опасные производственные факторы, уровни воздействия которых способны вызвать стойкие функциональные изменения в организме работника, приводящие к появлению и развитию профессиональных заболеваний легкой и средней степени тяжести (с потерей профессиональной трудоспособности) в период трудовой деятельности. Но это применительно к ежедневной работе на протяжении трудовой деятельности, да и то при условии обязательного применения средств индивидуальной защиты слуха. Применение САС, очевидно, носит достаточно редкий характер, и человек едва ли будет подвергнут такому воздействию более одного раза.

Исходя из такой особенности применения САС и полученных результатов исследования на биологической модели можно прогнозировать, что его однократное воздействие на орган слуха человека не приведет к развитию грубой морфологической патологии. Однако это не исключает наличие жалоб на ощущение звона и заложенности в ушах и задержку сроков восстановления временного сдвига порогов слуха у лиц, обладающих повышенной индивидуальной чувствительностью к действию шума.

ВЫВОДЫ

Исследованный специальный звуковой сигнал характеризуется наличием отчетливо выраженных частотных составляющих и может быть отнесен к тональным шумам. Он носит пульсирующий характер с периодичностью изменения амплитуды отдельных звуковых компонентов 10 раз в секунду, что может оказать свое влияние не только на состояние органа слуха, но и на организм в целом.

В результате проведенного экспериментального исследования на биологических моделях (морские свинки) установлено, что при кратковременном (в течение трех минут) однократном воздействии специального звукового сигнала с уровнем звука от 127 до 128 дБА возникновения патологии органа слуха не выявлено. С учетом большей устойчивости людей к акустическим воздействиям по сравнению с морскими свинками это в равной степени может быть распространено и на человека.

Внезапное включение сигнала может приводить к развитию панических реакций, что должно учитываться при планировании применения специальных акустических средств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES:

1. Быстров Б.В., Муравьев В.Н., Пироженко В.А. О новых физических принципах защиты кораблей и объектов морской экономической деятельности от подводных диверсий. Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму. 2013;(1–2):71–74. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/>. / Bistrov B.V., Muraviev V.N., Pirozhenko V.A. About new physical principles of ships and economic sea objects protection against underwater diversion. Military Engineering. Scientific and Technical Journal. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2013;(1–2):71–74. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/>.

2. Altmann J. Acoustic Weapons – A Prospective Assessment. Sci Glob Sec. 2001;9(3):165–234. Available at: <https://scienceandglobalsecurity.org/>.

3. Яремчук С.Д., Ганченко П.В. Анализ развития радиочастотного и акустического оружия за рубежом. Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму. 2019;(5–6):96–104. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/>. / Yaremchuk S.D., Ganchenko P.V. Analysis of radio frequency and acoustic weapons development in other countries. Military Engineering. Scientific and Technical Journal. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2019;(5–6):96–104. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/>.

4. Дайхес Н.А., Аденинская Е.Е., Мачалов А.С. Экспертная значимость профиля аудиометрической кривой при диагностике потери слуха, вызванной шумом. Российская оториноларингология. 2019;18(3):27–32. doi: 10.18692/1810-4800-2019-3-

27-32. / Dajhes N.A., Adeninskaya E.E., Machalov A.S. Expert significance of the audiometric curve profile in the diagnosis of noise-induced hearing loss. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2019;18(3):27–32. (In Russ.) doi: 10.18692/1810-4800-2019-3-27-32.

5.Гюсан А.О., Ураскулова Б.Б., Узденова Х.А. Эпидемиология и структура травматических повреждений уха в Карачаево-Черкесской Республике. *Российская оториноларингология*. 2021;20(5):13–18. doi: 10.18692/1810-4800-2021-5-13-18. / Gyusan A.O., Uraskulova B.B., Uzdenova H.A. Epidemiology and structure of traumatic injuries of ear in the Karachay-Cherkessk republic. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2021;20(5):13–18 (In Russ.) doi: 10.18692/1810-4800-2021-5-13-18.

6.Дворянчиков В.В., Кузнецов М.С., Глазников Л.А., Морозова М.В., Гофман В.Р., Фатькина И.А. Использование задержанной вызванной отоакустической эмиссии в качестве скринингового метода оценки слуха после воздействия шума высокой интенсивности. *Российская оториноларингология*. 2021;20(4):21–26. doi: 10.18692/1810-4800-2021-4-21-26. / Dvoryanchikov V.V., Kuznecov M.S., Glaznikov L.A., Morozova M.V., Gofman V.R., Fat'kina I.A. Use of transient evoked otoacoustic emissions as a hearing screen after high-intensity noise exposure. *Rossiiskaya Otorinolaringologiya*. 2021;20(4):21–26. (In Russ.) doi: 10.18692/1810-4800-2021-4-21-26.

7.Sherry C., Cook M., Brown C. An Assessment of the Effects of Four Acoustic Energy Devices on Animal Behavior. Texas: Brooks Air Force Base. TX: Air Force Research Laboratory; 2000. 80 p. Available at: <https://archive.org/>.

8.Ундриц В.Ф., Темкин Я.С., Нейман Л.В. (ред.). Руководство по клинической аудиологии. М.: Медицина; 1962. 324 с. / Undric V.F., Temkin Ya.S., Neyman L.V. (eds.). Guide to clinical audiology. Moscow: Medicine; 1962. 324 p. (In Russ.)

9.Young Y.H. Inner ear test battery in guinea pig models – a review. *Acta Otolaryngol*. 2018;138(6):519–529. Available at: <https://www.tandfonline.com/>.

10.Stebbins W.C., Moody D.B., Serafin J.V. Some principal issues in the analysis of noise effects on hearing in experimental animals. *Am J Otolaryngol*. 1982;3(4):295–304. Available at: <https://www.sciencedirect.com/>.

11.Gittleman S.N., Le Prell C.G., Hammill T.L. Octave band noise exposure: Laboratory models and otoprotection efforts. *J Acoust Soc Am*. 2019;146(5):3800. doi: 10.1121/1.5133393.

12.Liang Y., Zhang S., Zhang X. Effect of sildenafil on morphology to noise – induced hearing loss in guinea pigs. *Lin Chung Er Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi*. 2015;29(13):1216–1220. Available at: <https://www.semanticscholar.org/>.

13.Hu B.H., Guo W., Wang P.Y., Henderson D., Jiang S.C. Intense noise-induced apoptosis in hair cells of guinea pig cochleae. *Acta Otolaryngol*. 2000;120(1):19–24. doi: 10.1080/000164800750044443.

14. Kanagawa E., Sugahara K., Hirose Y., Mikuriya T., Shimogori H., Yamashita H. Effects of substance P during the recovery of hearing function after noise-induced hearing loss. *Brain Res.* 2014;1582:187196. doi: 10.1016/j.brainres.2014.07.024.

15. Naert G., Padelou M.P., Le Prell C.G. Use of the guinea pig in studies on the development and prevention of acquired sensorineural hearing loss, with an emphasis on noise. *J Acoust Soc Am.* 2019;146:3743. doi: 10.1121/1.5132711.

16. Хныченко Л.К., Петрова Н.Н., Ильинская Е.В., Танчук А.Е. Антисурдитантное свойство структурного аналога таурина. *Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии.* 2018;16(2):25–32. doi: 10.17816/RCF16225-32. / Hnychenko L.K., Petrova N.N., Il'inskaya E.V., Tanchuk A.E. Antisurdant properties of the structural analogue of taurin. *Reviews on Clinical Pharmacology and Drug Therapy.* 2018;16(2):25–32. (In Russ.) doi: 10.17816/RCF16225-32.

17. Левченко О.Е., Курдиль Н.В., Луценко О.Г., Падалка В.Н. Медицинские аспекты современного нелетального оружия: травмирующие факторы нового типа (подготовлено по материалам управления по нелетальному оружию (Joint non-lethal weapons Directorate) Министерства обороны США, Вирджиния, 2011). *Медицина неотложных состояний.* 2016;(2):30–38. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/>. / Levchenko O.E., Kurdil' N.V., Lucenko O.G., Padalka V.N. Medical aspects of modern non-lethal weapons: traumatic factors of a new type (prepared according to the materials of the Office of Non-lethal Weapons (Joint non-lethal weapons Directorate) of the US Department of Defense, Virginia, 2011). *Emergency Medicine.* 2016;(2):30–38. (In Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/>.

18. Акимова М.А., Акимов Д.Ю. Морские свинки в доклинических исследованиях, оптимальные характеристики тест-системы. *Лабораторные животные для научных исследований.* 2021;(1):78–85. doi: 10.29296/10.29296/2618723X-2021-01-08. / Akimova M.A., Akimov D.Yu. Guinea pig in preclinical studies, optimal characteristics of the test system. *Laboratory Animals for Science.* 2021;(1):78–85. (In Russ.) Available at: doi: 10.29296/10.29296/2618723X-2021-01-08.

19. Хилов К.Л., Преображенский Н.А. Отосклероз. Л.: Медицина; 1965. 240 с. / Hilov K.L., Preobrazhenskij N.A. Otosclerosis. Leningrad: Meditsina; 1965. 240 p. (In Russ.)

20. Журавский С.Г., Паневин А.А. Отоакустическая эмиссия как метод оценки функционального состояния слухового анализатора. *Международный вестник ветеринарии.* 2017;(1):92–98. Режим доступа: <https://vivariy.com/>. / Zhuravskij S.G., Panevin A.A. Otoacoustic emission: a method for assessment of the functional status of the auditory analyzer. *International Journal of Veterinary Medicine.* 2017;(1):92–98. (In Russ.) Available at: <https://vivariy.com/>.