



УДК 616-001.1,616.28
DOI: 10.35693/2500-1388-2023-8-1-50-55



Определение вероятности развития тугоухости у лиц, подвергающихся воздействию шума стрелкового оружия

© М.С. Кузнецов^{1,2}, В.В. Дворянчиков², С.М. Логаткин³, А.Е. Голованов¹

¹ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (Санкт-Петербург, Россия)

²ФГБУ «Санкт-Петербургский НИИ уха, горла, носа и речи» (Санкт-Петербург, Россия)

³ФГУ «Государственный научно-исследовательский испытательный институт военной медицины»
Минобороны России (Санкт-Петербург, Россия)

Аннотация

Цель – проанализировать показатели отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ОАЭЧПИ) у лиц, подвергающихся воздействию шума стрелкового оружия, и на основании наиболее значимых из них определить вероятность развития тугоухости.

Материал и методы. Обследовано 30 добровольцев-стрелков мужского пола (60 ушей) возрастом от 19 до 30 лет. Стрелками производилось по 30 выстрелов из автомата АК74М короткими очередями (по 2–3 выстрела в очереди) по мишеням при выполнении упражнений учебных стрельб из трех положений (с колена, стоя и лежа) в условиях свободного акустического поля без применения средств индивидуальной защиты органа слуха. Всем обследуемым выполнялось исследование отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ОАЭЧПИ) до и после стрельбы из стрелкового оружия. Для разработки прогностической модели использовался метод бинарной логистической регрессии.

Результаты. Разработана математическая модель для оценки вероятности развития тугоухости по показателям ОАЭЧПИ до воздействия шума стрелкового оружия. Данная модель при стандартном пороге классификации $p=0,5$ имеет точность 83,3%, чувствительность 79%, специфичность 88%. По результатам ROC-анализа для полученной модели площадь под характеристической кривой была равна 0,924 (0,834;1,0), что говорит об отличном качестве математической модели.

Выводы. Установлено, что наиболее значимыми являются показатель сигнал/шум (дБ) на частоте 4,2 кГц слева и уровень отоакустической эмиссии (дБ) на частоте 4,2 кГц слева до шумового воздействия. Дан-

ные показатели, а также возраст стрелка позволяют оценить вероятность развития тугоухости.

Ключевые слова: тугоухость, шум высокой интенсивности, акустическое воздействие, отоакустическая эмиссия.

Конфликт интересов: не заявлен.

Для цитирования:

Кузнецов М.С., Дворянчиков В.В., Логаткин С.М., Голованов А.Е. **Определение вероятности развития тугоухости у лиц, подвергающихся воздействию шума стрелкового оружия.** Наука и инновации в медицине. 2023;8(1):50-55. doi: 10.35693/2500-1388-2023-8-1-50-55

Сведения об авторах

Кузнецов М.С. – канд. мед. наук, докторант кафедры оториноларингологии.

ORCID: 0000-0002-5057-3486 E-mail: mskuznecov2@mail.ru

Дворянчиков В.В. – д-р мед. наук, профессор, директор.

ORCID: 0000-0002-0925-7596 E-mail: vmedalor@mail.ru

Логаткин С.М. – д-р мед. наук, доцент, старший научный сотрудник.

ORCID: 0000-0002-3098-2952

E-mail: logatkin.stanislaw@yandex.ru

Голованов А.Е. – канд. мед. наук, доцент, врио начальника кафедры оториноларингологии. ORCID: 0000-0001-7277-103X E-mail: lor_vma@mail.ru

Автор для переписки

Кузнецов Максим Сергеевич

Адрес: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова,
ул. Академика Лебедева, 6, г. Санкт-Петербург, Россия, 194044.
E-mail: mskuznecov2@mail.ru

ОАЭ – отоакустическая эмиссия, ОАЭЧПИ – отоакустическая эмиссия на частоте продукта искажения.

Рукопись получена: 24.10.2022

Рецензия получена: 22.12.2022

Решение о публикации принято: 15.01.2023

Determination of the probability of hearing loss in persons exposed to the noise of small arms

© Maksim S. Kuznetsov^{1,2}, Vladimir V. Dvoryanchikov², Stanislav M. Logatkin³, Andrei E. Golovanov¹

¹Military Medical Academy named after S.M. Kirov (Saint-Petersburg, Russia)

²St. Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech (Saint-Petersburg, Russia)

³State Research Scientific Institute of Military Medicine (Saint-Petersburg, Russia)

Abstract

Aim – to analyze the indicators of distortion-product otoacoustic emissions (DPOAE) in persons exposed to the noise of small arms and, on the basis of the most significant of them, to determine the probability of developing hearing loss.

Material and methods. We examined 30 male volunteer shooters (60 ears) aged from 19 to 30 years. The shooters fired 30 shots from the AK74M in short bursts (2-3 shots in a burst) at targets when performing shooting exercises from three positions: from the knee, standing and lying down, in a free acoustic field without the use of personal protective equipment of the hearing organ. All participants were examined for distortion-product otoacoustic emissions (DPOAE) before and after firing from small arms. The method of binary logistic regression was used to develop a predictive model.

Results. A mathematical model has been developed to assess the probability of developing hearing loss according to the indicators of DPOAE before exposure to the noise of small arms. This model, with a standard classification threshold of $p = 0.5$, has an accuracy of 83.3%, sensitivity of 79.0%, specificity of 88.0%. According to the results of the ROC analysis for the resulting model, the area under the characteristic curve was equal to 0.924 (0.834;1.0), which indicates the excellent quality of the mathematical model.

Conclusion. The most significant were the signal/noise indicator (dB) at a frequency of 4.2 kHz on the left and the level of otoacoustic emission (dB) at a frequency of 4.2 kHz on the left before noise exposure. These indicators, as well as the age of the shooter, allow us to assess the probability of developing hearing loss.

Keywords: hearing loss, high intensity noise, acoustic impact, otoacoustic emission.

Conflict of interest: nothing to disclose.

Citation

Kuznetsov MS, Dvoryanchikov VV, Logatkin SM, Golovanov AE. **Determination of the probability of hearing loss in persons exposed to the noise of small arms.** *Science and Innovations in Medicine.* 2023;8(1):50-55. doi: 10.35693/2500-1388-2023-8-1-50-55

Information about authors:

Maksim S Kuznetsov – PhD, Doctoral Candidate, Department of Otorhinolaryngology. ORCID: 0000-0002-5057-3486 E-mail: mskuznecov2@mail.ru

Vladimir V. Dvoryanchikov – PhD, Professor, Director. ORCID: 0000-0002-0925-7596 E-mail: vmedalor@mail.ru

Stanislav M. Logatkin – PhD, Associate professor, senior scientific researcher.

ORCID: 0000-0002-3098-2952

E-mail: logatkin.stanislav@yandex.ru

Andrei E. Golovanov – PhD, Associate professor, Department of Otorhinolaryngology.

ORCID: 0000-0001-7277-103X E-mail: lor_vma@mail.ru

Corresponding Author

Maksim S. Kuznetsov

Address: Military Medical Academy named after S.M. Kirov, 6 Akademika Lebedeva st., St. Petersburg, Russia, 194044.

E-mail: mskuznecov2@mail.ru

OAE – otoacoustic emissions, DPOAE – distortion-product otoacoustic emissions.

Received: 24.10.2022

Revision Received: 22.12.2022

Accepted: 15.01.2023

ВВЕДЕНИЕ

В силовых структурах одной из ведущих причин развития профессиональной тугоухости является воздействие на орган слуха импульсных шумов стрелкового оружия (автоматы, пулеметы) [1].

Согласно клиническим рекомендациям, под острой сенсоневральной тугоухостью понимают снижение слуха, которое развивается в течение 1–3 суток и сохраняется до месяца [2]. По данным литературы, данная патология встречается как при ведении боевых действий, так и в мирное время (полевые выходы, учебные стрельбы и т.д.) [3, 4].

В трудах многих авторов отмечено, что травма слухового анализатора у лиц молодого возраста оказывает более выраженное влияние на состояние слуховой функции и в дальнейшем (часто по окончании службы) приводит к ее прогрессирующему ухудшению. Экспериментально установлено, что однократное высокоинтенсивное шумовое воздействие в отличие от среднеинтенсивного приводит к худшему прогнозу в отношении слуха с течением времени из-за развития кохлеарной синаптопатии [5, 6].

Необходимо отметить, что у ряда лиц наблюдается повышенная индивидуальная чувствительность органа слуха к шумовым воздействиям, которая часто не учитывается при профессиональном отборе и в дальнейшем приводит к высокому риску развития тугоухости [7]. Для решения данной проблемы необходимо внедрение современных объективных методик обследования слуха и создание на их основе модели для прогнозирования вероятности развития тугоухости. Несомненно, в тех случаях, когда исключить действие высокоинтенсивного шума не представляется возможным, лица, обладающие повышенной индивидуальной чувствительностью, должны в обязательном порядке применять средства защиты органа слуха.

ЦЕЛЬ

Проанализировать показатели отоакустической эмиссии на частоте продукта искажения (ОАЭЧПИ) у лиц, подвергающихся воздействию шума стрелкового оружия, и на основании наиболее значимых из них определить вероятность развития тугоухости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 30 добровольцев-стрелков мужского пола (60 ушей) в возрасте от 19 до 30 лет, с нормальными показателями слуха. Все

участники подписали информированное согласие на проводимое исследование (одобрено независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, протокол № 246 от 22 декабря 2020 г.). В исследование не включались лица с патологией органа слуха, острыми воспалительными и инфекционными заболеваниями.

Каждым стрелком производилось 30 выстрелов из автомата АК74М короткими очередями (по 2–3 выстрела в очереди) по мишеням при выполнении упражнений учебных стрельб из трех положений (с колена, стоя и лежа) в условиях свободного акустического поля без применения средств защиты органа слуха. Всем стрелкам до и сразу после шумового воздействия выполнялись тональная пороговая аудиометрия в диапазоне 125–8000 Гц и исследование ОАЭЧПИ. При этом анализировались значения показателя сигнал/шум и уровень ОАЭ ОАЭЧПИ на четырех частотах (1,5; 2,2; 3,3; 4,2 кГц) до и после шумового воздействия.

После воздействия импульсного шума стрелкового оружия характерным признаком тональной пороговой аудиограммы является повышение порога слуха на частоте 4 кГц, что послужило причиной разделения стрелков на две группы по этому критерию [8]. В первую группу вошли лица, у которых после стрельбы порог слуха, по данным тональной пороговой аудиометрии на частоте 4 кГц, имел нормальное значение (до 25 дБ). Во вторую группу вошли стрелки с повышением порога слуха на частоте 4 кГц более 25 дБ. Значения порогов слуха на данной частоте составили ($M \pm \sigma$): для стрелков первой группы – $20,63 \pm 8,14$, для стрелков второй группы – $40,00 \pm 19,22$.

Объективная оценка состояния слухового анализатора до и после стрельбы из стрелкового оружия проводилась с использованием системы «Аудио-СМАРТ» (Россия), зарегистрированной на территории РФ (РУ № РЗН 2017/5299, выдано 31.01.2017, срок действия не ограничен) и допущенной к применению в медицинской практике. Для определения показателей ОАЭЧПИ в наружный слуховой проход вводился зонд с присоединенным к нему ушным вкладышем. Это обеспечивало герметичность слухового прохода во время исследования. При регистрации ОАЭЧПИ в ухо подавались 2 тональные посыпки частотой f_1 и f_2 ($f_1/f_2=1,22$). Определяли составляющую $2f_1-f_2$. Интенсивность стимула составила 70 дБ УЗД. Регистрация ОАЭЧПИ была проведена в диапазоне от 1100 Гц до 4200 Гц.

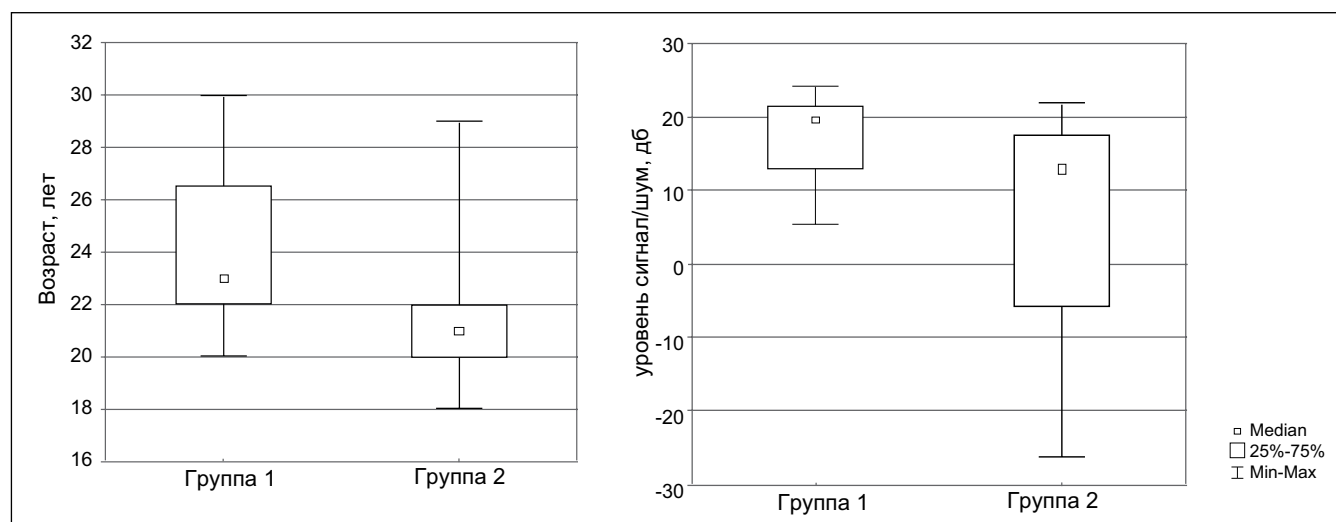


Рисунок 1. Показатели «возраст» и «сигнал/шум ОАЭЧПИ слева на частоте 4,2 кГц до шумового воздействия» в группах (n=30).
Figure 1. The indicator of age and signal to noise ratio on DPOAE on the left at a frequency of 4.2 kHz before noise exposure in groups (n=30).

Для разработки прогностической модели использовали метод бинарной логистической регрессии. Прогностическую оценку предикторов и модели логистической регрессии осуществляли при помощи ROC-анализа, определяли оптимальную точку отсечения и вычисляли чувствительность и специфичность для полученной модели. Для обработки данных и их графического изображения использовалась программа IBM SPSS Statistics 23.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во вторую группу вошли 14 (47%) обследуемых участников исследования. Они предъявляли жалобы на шум высокочастотного характера, ощущение заложенности в ушах, снижение слуха. У большинства стрелков отмечалось нарушение функции слуха слева, что связано с особенностями распространения импульсного шума относительно головы стрелка. При отоскопии: барабанные перепонки перламутрово-серые, контуры четкие.

В том случае, если бы повышение порогов слуха после стрельбы носило постоянный характер, оно классифицировалось бы следующим образом: у большинства лиц (77%) отмечались признаки воздействия шума на орган слуха, в трех случаях (10%) – I степень тугоухости и в четырех случаях (13%) – II степень тугоухости.

На основании анализа данных, полученных до и после стрельбы, установлено, что группы значимо различались по показателям «возраст» ($p=0,021844$), «сигнал/шум (дБ) на частоте 4,2 кГц слева до ($p=0,021844$) шумового воздействия» и «уровень ОАЭ ОАЭЧПИ (дБ) слева на частоте 4,2 кГц ($p=0,034357$) после шумового воздействия». Диаграммы размаха представлены на **рисунках 1 и 2**.

Возраст стрелков в исследуемых группах составил 23 (22; 26,5) года и 21 (20; 22) год соответственно. Это указывает на связь риска развития патологии органа слуха и возраста стрелка (риск увеличивается у более молодых индивидуумов).

Изменения по данным ОАЭЧПИ наблюдались по показателю «сигнал/шум и уровень ОАЭ на частоте 4,2 кГц», что согласуется с данными других исследователей [9].

Для оценки вероятности потери слуха каждого пациента на основании предикторов ОАЭЧПИ, полученных до воздействия высокоинтенсивного шума, как уже отмечалось, использовался метод бинарной логистической регрессии. Он позволил построить модель на основе трех значимых предикторов, полученных до воздействия высокоинтенсивного шума: возраст, показатель сигнал/шум до шумового воздействия на частоте 4,2 кГц слева, уровень ОАЭ до шумового воздействия на частоте 4,2 кГц слева. Хи-квадрат для построенной модели равен 22,775 при трех степенях свободы, $p<0,0001$. Это позволяет говорить о том, что хотя бы один из трех найденных предикторов связан

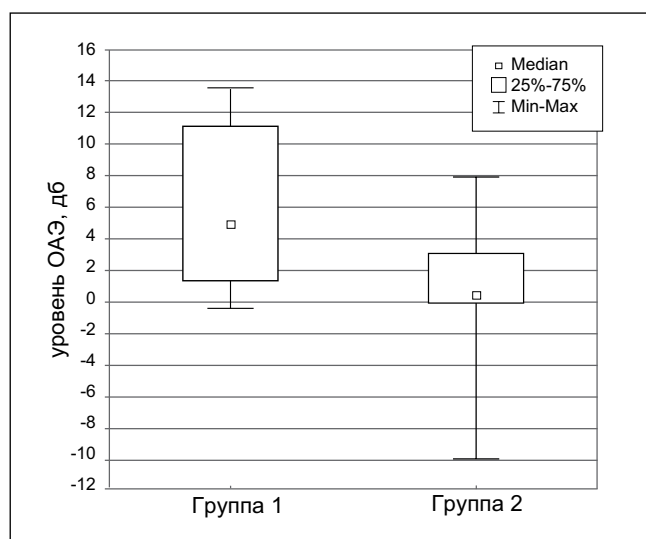


Рисунок 2. Показатель уровня отоакустической эмиссии ОАЭЧПИ на частоте 4,2 кГц слева после шумового воздействия в группах (n=30).

Figure 2. The indicator value of otoacoustic emission of the DPOAE at a frequency of 4.2 kHz on the left after noise exposure in groups (n=30).

Переменные	Оценка параметра	Стандартная ошибка	ХИ-квадрат Вальда	Достигнутый уровень значимости, p	95% доверительный интервал	
					Нижняя граница	Верхняя граница
Показатель сигнал/шум до шумового воздействия на частоте 4,2 кГц слева	-0,409	0,165	6,130	0,013	0,481	0,918
Уровень ОАЭ до шумового воздействия на частоте 4,2 кГц слева	0,504	0,232	4,735	0,030	1,051	2,605
Возраст	-0,747	0,406	3,388	0,046	0,214	0,850
Константа	18,462	9,644	3,665	0,056	-	-

Таблица 1. Результат исследования взаимосвязи между наступлением потери слуха и показателями ОАЭЧПИ

Table 1. The result of the study of the relationship between the onset of hearing loss and the indicators of DPOAE

с наступлением потери слуха. Информация о каждой переменной в модели представлена в **таблице 1**.

Таким образом, была получена формула для вычисления вероятности развития тугоухости (B_{PT}):

$$B_{PT} = \frac{1}{(1 + 2,72^{-(18,462 - 0,747 \cdot A + 0,504 \cdot B - 0,409 \cdot C)})} \quad (1)$$

где A – возраст лица, подверженного воздействию шума; B – уровень ОАЭ ОАЭЧПИ до шумового воздействия на частоте 4,2 кГц слева; C – показатель сигнал/шум ОАЭЧПИ до шумового воздействия на частоте 4,2 кГц слева.

После введения наиболее значимых показателей ОАЭЧПИ и возраста стрелка в формулу и ее решения возможно определение вероятности (измеряется от 0 до 1) развития тугоухости у обследуемого (при $p \leq 0,5$ отсутствие потери слуха при последующем воздействии, при $p > 0,5$ – прогноз потери слуха). Таким образом, была получена математическая модель для оценки вероятности потери слуха у лиц, подверженных воздействию шума стрелкового оружия, по показателям ОАЭЧПИ, которые возможно получить до воздействия шумового фактора. Представленная модель при $p = 0,5$ имеет точность 83%, чувствительность 79%, специфичность 88%.

Для изучения прогностической ценности полученной модели (1) был осуществлен ROC-анализ, итоговые данные которого представлены в **таблице 2**.

ROC-кривая модели изображена на **рисунке 3**.

При оценке качества распознавания модели по площади под характеристической кривой при значениях от 0,9 до 1,0 качество модели интерпретируется как «отличное» [10].

Площадь под характеристической кривой для полученной математической модели составляла 0,924 (0,834; 1,0), что позволяет характеризовать ее как отличную и использовать для прогнозирования

Предсказанная вероятность				
Площадь	Стандартная ошибка	p	Асимптотический 95% доверительный интервал	
			Нижняя граница	Верхняя граница
0,924	0,046	0,0001	0,834	1,000

Таблица 2. Итоговые данные ROC-анализа модели

Table 2. Summary data of the ROC analysis of the model

тугоухости у лиц, подвергающихся воздействию шума высокой интенсивности.

На данную модель подана заявка на получение патента №2021135195/14(074368), приоритет от 30.11.2021 года.

■ ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения вероятности развития тугоухости у лиц, подвергающихся воздействию импульсного шума стрелкового оружия, в нашем исследовании использованы результаты обследования ограниченного числа военнослужащих ($n=30$) до и после проведения учебных стрельб. Тем не менее проведенный анализ показал достаточно высокое качество разработанной математической модели. Вполне возможно, что оно было бы выше при большем числе наблюдений, но это может быть установлено со временем, после внедрения способа в практическую деятельность. Впрочем, целесообразность проведения более масштабных исследований представляется сомнительной из-за существенного повышения порогов слуха на частоте 4000 Гц практически у половины обследованных лиц. По-видимому, более правильным, с точки зрения сохранения здоровья, было бы рекомендовать использование средств индивидуальной защиты органа слуха при стрельбе.

В настоящее время, исходя из данных литературы, с целью прогнозирования развития тугоухости при воздействии шума активное применение находят

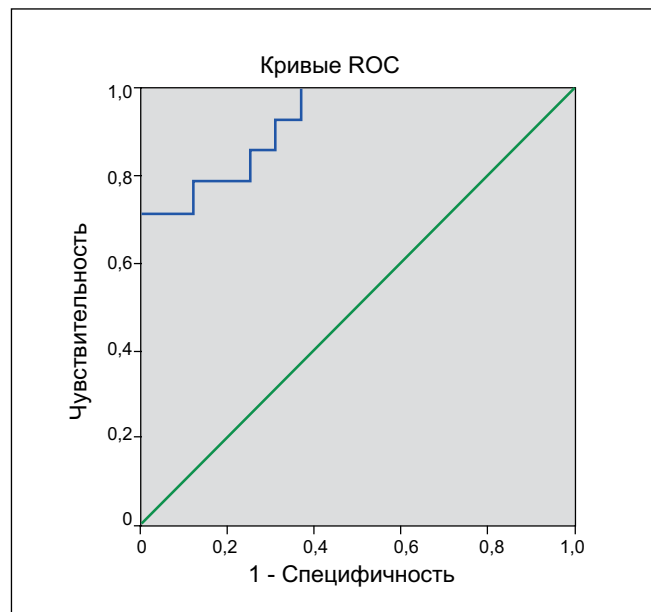


Рисунок 3. ROC-кривая модели.

Figure 3. The ROC curve of the model.

объективные аудиологические методики исследования слуха, одной из которых является регистрация различных классов ОАЭ [11–13].

В исследовании L. Marshall, et al. показана большая чувствительность методики определения ОАЭ по сравнению с аудиометрическим исследованием, а низкий уровень ОАЭ указывает на повышенный риск будущей потери слуха [14]. К такому же заключению пришли W. Konopka, et al. при обследовании 92 солдат Польских вооруженных сил, которые подвергались воздействию шума (стрельба из винтовок, пистолетов, минометов, применение взрыв пакетов) до и через один год после прохождения военной службы. Все стрелки были правшами и не использовали средств защиты органа слуха. Снижение уровней ОАЭ и средних значений показателя сигнал/шум после одного года службы в армии было зарегистрировано на частотах 2, 3 и 4 кГц и преобладало на частоте 2 кГц [15].

R.P. Namernik, W. Qiu в экспериментальном исследовании на шиншиллах, подвергшихся воздействию высоких уровней шума (95 дБ), установили корреляционную связь между повышением порогов слуха (> 25–35 дБ) и данными ОАЭЧПИ [16]. По мнению ряда авторов, ОАЭ позволяет оценить повреждение наружных волосковых клеток при шумовом воздействии даже при отсутствии жалоб и нормальной тональной пороговой аудиограмме [17, 18]. J. Attias, et al. при исследовании ОАЭ у призывников отмечали, что она имеет высокую чувствительность (79–95 %) и специфичность (84–87 %), дополняя тональную пороговую аудиометрию при диагностике и мониторинге состояния внутреннего уха после воздействия шума [19].

При оценке современных методов исследования слуха у 483 горнорабочих, подвергшихся действию интенсивного шума, Е.А. Преображенская и соавт. показали, что большой диагностической чувствительностью (75%) в оценке ранних нарушений слуховой функции является ОАЭЧПИ при отсутствии изменений на тональной пороговой аудиограмме [20].

При обследовании призывников вооруженных сил Греции, выполнявших 10 выстрелов из винтовки Heckler & Koch G3A3 калибра 7,62 мм, была выявлена корреляционная связь между постоянным и временным повышением порогов слуха и результатами определения отоакустической эмиссии. Установлено, что определение ОАЭ обладает высокой чувствительностью и специфичностью при выявлении лиц, наиболее подверженных потере слуха, вызванной шумом, генерируемым огнестрельным оружием [21].

В вооруженных силах Бельгии для раннего обнаружения патологии органа слуха у военнослужащих после акустического воздействия предложено использовать метод ОАЭ как скрининговый [22].

Таким образом, использование показателей ОАЭЧПИ при высокоинтенсивном акустическом воздействии для прогнозирования риска развития тугоухости является научно обоснованным и позволяет обеспечить профилактику развития профессиональной слуховой патологии у лиц, имеющих повышенную индивидуальную чувствительность к воздействию шума, в том числе за счет применения средств индивидуальной защиты.

■ ВЫВОДЫ

1. На основе анализа показателей ОАЭЧПИ у лиц, подвергающихся воздействию шума стрелкового оружия, установлено, что наиболее значимыми из них являются показатель сигнал/шум (дБ) на частоте 4,2 кГц слева и уровень отоакустической эмиссии (дБ) на частоте 4,2 кГц слева до шумового воздействия. Данные показатели, а также возраст стрелка позволяют оценить вероятность развития тугоухости.

2. Для предотвращения развития тугоухости при работе в условиях повышенной шумовой нагрузки особое внимание необходимо уделять применению средств индивидуальной защиты. ■

Конфликт интересов: все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Ryzhikov MA, Kuznetsov SM, Logatkin CM, et al. Hygienic characteristics of impulse noise during firearms shooting. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2016;1(53):149-153. (In Russ.) [Рыжиков М.А., Кузнецов С.М., Логаткин С.М., и др. Гигиеническая характеристика импульсного шума, возникающего при стрельбе из стрелкового оружия. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2016;1(53):149-153].
2. *Sensorineural hearing loss in adults. Clinical recommendations*. М., 2021:37. (In Russ.). [Сенсоневральная тугоухость у взрослых. *Клинические рекомендации*. М., 2021; 37].
3. Khasiev ND, Myachin DV. Professional pathology of military service due to noise exposure. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2020;1S:263-265. (In Russ.). [Хасиев Н.Д., Мясин Д.В. Профессиональная патология военнослужащих, обусловленная воздействием шума. *Известия Российской Военно-медицинской академии*. 2020;1S:263-265. doi: 10.17816/rmmar43451]
4. Yehudai N, Fink N, Shpriz M, Marom T. Acute Acoustic Trauma among Soldiers during an Intense Combat. *J Am Acad Audiol*. 2017;28(5):436-443. doi: 10.3766/jaaa.16043

5. Kim S, Lim EJ, Kim TH, et al. Long-term effect of noise exposure during military service in South Korea. *Int J Audiol*. 2014;56(2):130-136. doi: 10.1080/14992027.2016.1236417
6. Xiong M, Yang C, Lai H, et al. Impulse noise exposure in early adulthood accelerates age-related hearing loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2014;271(6):1351-4. doi: 10.1007/s00405-013-2622-x
7. Balakina NA, Balakin AI. Analysis and modernization of the method of evaluation of occupational exposure to noise. *Bulletin of Science and Practice*. 2019;5(4):264-270. (In Russ.). [Балакина Н.А., Балакин А.И. Анализ и модернизация метода оценки производственного шума. *Бюллетень науки и практики*. 2019;5(4):264-270]. doi: 10.33619/2414-2948/41/36
8. Shidlovskaya TA, Petruk LG. Audiometric characteristics of the state of auditory function in patients with acut trauma. *Otorhinolaryngology. Eastern Europe*. 2014;3(16):58-65. (In Russ.). [Шидловская Т.А., Петрук Л.Г. Аудиометрическая характеристика состояния слуховой функции у больных с акутравмой. *Оториноларингология. Восточная Европа*. 2014;3(16):58-65].
9. Kang HJ, Jin Z, Oh TI, et al. Audiologic Characteristics of Hearing and Tinnitus in Occupational Noise-Induced Hearing Loss. *J Int Adv Otol*. 2021;17(4):330-334. doi: 10.5152/iao.2021.9259

10. Trukhacheva NV. *Mathematical statistics in biomedical research using the Statistica package*. М., 2013. (In Russ.). [Трухачёва Н.В. *Математическая статистика в медико-биологических исследованиях с применением пакета Statistica*. М., 2013].
11. Levina EA, Levin SV, Petrov SK, et al. Influence of in-channel headphones on sound perception in persons of young age. *Noise theory and practice*. 2019;5(4):20-26. (In Russ.). [Левина Е.А., Левин С.В., Петров С.К., и др. Влияние внутриканальных наушников на звуковосприятие у лиц молодого возраста. *Noise theory and practice*. 2019;5(4):20-26].
12. Pankova VB, Fedina IN. *Occupational diseases of ENT organs*. М., 2021. (In Russ.). [Панкова В.Б., Федина И.Н. *Профессиональные заболевания лор-органов*. М., 2021].
13. Dvoryanchikov VV, Kuznetsov MS, Glaznikov LA, et al. Use of transient evoked otoacoustic emissions as a hearing screen after high-intensity noise exposure. *Russian Otorhinolaryngology*. 2021;20(4):21-26. (In Russ.). [Дворянчиков В.В., Кузнецов М.С., Глазников Л.А., и др. 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](https://doi.org/10.18692/1810-4800-2021-4-21-26)]
14. Marshall L, Lapsley Miller JA, Heller LM, et al. Detecting incipient inner-ear damage from impulse noise with otoacoustic emissions. *J Acoust Soc Am*. 2009;125(2):995-1013. doi: [10.1121/1.3050304](https://doi.org/10.1121/1.3050304)
15. Konopka W, Pawlaczyk-Luszczynska M, Sliwinska-Kowalska M, et al. Effects of impulse noise on transiently evoked otoacoustic emission in soldiers. *Int J Audiol*. 2005;44(1):3-7. doi: [10.1080/14992020400022561](https://doi.org/10.1080/14992020400022561)
16. Hamernik RP, Qiu W. Correlations among evoked potential thresholds, distortion product otoacoustic emissions and hair cell loss following various noise exposures in the chinchilla. *Hear Res*. 2000;150(1-2):245-57. doi: [10.1016/S0378-5955\(00\)00204-5](https://doi.org/10.1016/S0378-5955(00)00204-5)
17. Sisto R, Chelotti S, Moriconi L, et al. Otoacoustic emission sensitivity to low levels of noise-induced hearing loss. *J Acoust Soc Am*. 2007;122(1):387-401. doi: [10.1121/1.2737668](https://doi.org/10.1121/1.2737668)
18. Job A, Raynal M, Kossowski M, et al. Otoacoustic detection of risk of early hearing loss in ears with normal audiograms: a 3-year follow-up study. *Hear Res*. 2009;251(1-2):10-6. doi: [10.1016/j.heares.2009.02.008](https://doi.org/10.1016/j.heares.2009.02.008)
19. Attias J, Horovitz G, El-Hatib N, et al. Detection and Clinical Diagnosis of Noise-Induced Hearing Loss by Otoacoustic Emissions. *Noise Health*. 2001;3(12):19-31.
20. Preobrazhenskaya EA, Sukhova AV, Il'nitskaya AV, et al. Comparative evaluation of diagnostic sensitivity of contemporary audiometry methods in occupations exposed to noise. *Russian journal of occupational health and industrial ecology*. 2017;2:38-42. (In Russ.). [Преображенская Е.А., Сухова А.В., Ильницкая А.В., и др. Сравнительная оценка диагностической чувствительности современных методов аудиометрии в условиях воздействия шума. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017;2:38-42].
21. Bliiskas S, Tsalighopoulos M, Psillas G, et al. Utility of otoacoustic emissions and olivocochlear reflex in predicting vulnerability to noise-induced inner ear damage. *Noise Health*. 2018;20(94):101-111. doi: [10.4103/NAH.NAH_61_17](https://doi.org/10.4103/NAH.NAH_61_17)
22. De Boedt F, Van der Veken P, Esertepe S, et al. Hearing prevention experience. *B-ENT*. 2016;26(2):167-176.