

<https://doi.org/10.34883/PI.2026.16.2.043>
УДК 616.28-009.8



Насретдинова М.Т.¹ ✉, Раупова К.М.¹, Нормурадов Н.А.¹, Нурова Г.У.², Эркинова К.Ф.³

¹ Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан

² Бухарский государственный медицинский институт, Бухара, Узбекистан

³ Университет Алфараганус, Ташкент, Узбекистан

Изменение акустического рефлекса внутриушных мышц у рабочих металлургического завода

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование текста – Насретдинова М.Т.; редактирование текста – Нормурадов Н.А.; сбор клинического материала, обработка данных – Нурова Г.У.; концепция и дизайн исследования, сбор клинического материала, статистическая обработка данных, написание текста – Раупова К.М., Эркинова К.Ф.

Финансирование: исследование проведено в рамках плана научно-исследовательских работ Самаркандского государственного медицинского университета (№ госрегистрации 542312000260) «Разработка передовых технологий профилактики, диагностики и лечения социально значимых заболеваний человека инфекционной и неинфекционной этиологии» (2019–2024 гг.).

Благодарности: авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам кафедр отоларингологии Бухарского государственного медицинского университета и Самаркандского государственного медицинского университета за консультативную поддержку, а также администрации и медицинскому персоналу Самаркандской областной многопрофильной детской больницы (или Областной больницы г. Самарканда) за содействие в организации и проведении клинических исследований.

Подана: 18.02.2026

Принята: 18.05.2026

Контакты: luna1088@mail.ru

Резюме

Введение. Сохранение слуха у рабочих металлургических производств в условиях сочетанного воздействия шума и вибрации остается приоритетной задачей медицины труда. Традиционная аудиометрия не всегда позволяет выявить ранние дегенеративные изменения в слуховой системе.

Цель. Изучение функционального состояния и временных параметров акустического рефлекса внутриушных мышц у рабочих металлургического производства для выявления ранних признаков деградации слуховой функции в условиях сочетанного воздействия производственного шума и вибрации.

Материалы и методы. Обследованы 80 рабочих (мужчин) в возрасте 40–60 лет со стажем работы в условиях шума от 17,7 до 36,6 года. Проведена пороговая аудиометрия и акустическая импедансометрия с анализом временных характеристик: латентного периода (Тл), времени нарастания (Тн), спада (Тс) и суммарного времени реакции (Те). Обследуемые разделены на 5 клинических групп.

Результаты. Установлено, что у рабочих 3-й группы с начальными нарушениями функции улитки Тл достоверно короче ($70,3 \pm 9,7$ мс), что является признаком феномена ускоренного нарастания громкости. Наибольшее замедление мобилизации рефлекса (Тн до $201,5 \pm 30,5$ мс) и увеличение суммарного времени реакции зафиксированы в 4-й группе, что свидетельствует о фазе декомпенсации.

Заключение. Временные параметры акустического рефлекса внутриушных мышц являются высокочувствительными индикаторами деградации слуховой системы.

Сочетание сокращенного латентного периода и продолжительного времени нарастания может служить критерием профессионального отбора и ранней профилактики профессиональной тугоухости.

Ключевые слова: акустический рефлекс, внутриушные мышцы, металлургическое производство, производственный шум, вибрация, нейросенсорная тугоухость, временные параметры, кохлеарная синаптопатия, скрытая потеря слуха, медицина труда

Nasretidinova M.¹ ✉, Raupova K.¹, Normuradov N.¹, Nurova G.², Erkinova K.³

¹ Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan

² Bukhara State Medical University, Bukhara, Uzbekistan

³ Alfraganus University, Tashkent, Uzbekistan

Acoustic Reflex of the Intraaural Muscles in Metallurgical Plant Workers

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: research concept and design, text editing – Nasretidinova M.; editing of the text – Normuradov N.; clinical material collecting, data processing – Nurova G.; research concept and design, clinical material collecting, statistical data processing, text writing – Raupova K., Erkinova K.

Funding: the study was conducted as part of the research and development plan of the Samarkand State Medical University (State Registration No. 542312000260) "Creating advanced technologies for prevention, diagnosis, and treatment of socially significant infectious and non-infectious human diseases" (2019–2024).

Acknowledgements: the authors express their deep gratitude to the staff of Departments of Otolaryngology at Bukhara State Medical University and Samarkand State Medical University for their consultative support. We also extend our thanks to the administration and staff of the Samarkand Regional Hospital for their assistance in organizing and conducting the clinical examinations.

Submitted: 18.02.2026

Accepted: 18.05.2026

Contacts: luna1088@mail.ru

Abstract

Introduction. Preserving the hearing function of metallurgical plant workers under the combined exposure to noise and vibration remains a priority in occupational medicine. Conventional audiometry does not always allow detecting early degenerative changes in the auditory system.

Purpose. To study the functional state and temporal parameters of the acoustic middle ear muscle reflex (AMMR) in metallurgical workers to identify early signs of auditory function degradation under combined effects of occupational noise and vibration.

Materials and methods. A total of 80 male workers aged 40–60 years with work experience in noisy environments ranging from 17.7 to 36.6 years were examined. Pure-tone audiometry and acoustic impedance matching were performed, including the analysis of temporal characteristics: latency (Tl), rise time (Tn), fall time (Ts), and total reaction time (Te). The subjects were divided into five clinical groups.

Results. It was established that in Group 3 workers with initial cochlear dysfunction, Tl was significantly shorter (70.3 ± 9.7 ms, which was an objective indicator of the Positive Recruitment Phenomenon). The most pronounced slowdown in reflex mobilization (Tn up

to 201.5±30.5 ms) and an increase in the total reaction time were recorded in Group 4, indicating a phase of functional decompensation.

Conclusion. The temporal parameters of the AMMR are highly sensitive indicators of auditory system degradation. The combination of a shortened latency period and an elongated rise time can serve as a criterion for professional selection and early prevention of occupational hearing loss.

Keywords: acoustic reflex, middle-ear muscle reflex, metallurgical industry, occupational noise, whole-body vibration, sensorineural hearing loss, temporal parameters, cochlear synaptopathy, hidden hearing loss, occupational medicine

■ ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее актуальных проблем современной профпатологии остается сохранение слуховой функции у работников тяжелой промышленности. По данным ВОЗ, воздействие производственного шума является ведущим фактором риска развития сенсоневральной тугоухости [1–3]. В металлургической отрасли рабочие подвергаются комплексному воздействию высокоинтенсивного широкополосного шума, импульсных нагрузок и вибрации, что создает уникальную патологическую картину поражения слухового анализатора [4, 5].

Фундаментальным механизмом защиты структур внутреннего уха от чрезмерного акустического давления является сокращение внутриушных мышц, преимущественно *m. stapedius*. Этот процесс, известный как акустический рефлекс (АР), повышает жесткость цепи слуховых косточек, ограничивая передачу звуковой энергии в улитку [6, 7].

Однако защитный потенциал АР не безграничен. Исследования показывают, что в условиях хронической шумовой нагрузки эффективность этого механизма прогрессивно снижается [8]. Патофизиологической основой этого процесса может выступать как периферическое утомление мышечных волокон, так и нарушение центральных механизмов рефлекторной дуги на уровне ствола мозга [9, 10].

Несмотря на наличие фундаментальных работ, вопрос временных характеристик АР (латентный период, время нарастания и распада) у рабочих металлургических производств остается дискуссионным [11, 12]. Традиционная пороговая аудиометрия часто не позволяет выявить ранние повреждения синаптических соединений между волосковыми клетками и волокнами слухового нерва. В современной литературе это явление описывается как «скрытая потеря слуха» или «кохлеарная синаптопатия» [13, 14].

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью поиска объективных и неинвазивных маркеров ранней деградации слуховой системы. Существуют предположения, что именно деградация временных параметров рефлекса и его повышенная утомляемость (*decay*), а не просто повышение его порога, являются ранними предикторами профессиональной тугоухости [15]. Ухудшение адаптационных свойств внутриушных мышц приводит к энергетической перегрузке волосковых клеток, ускоряя развитие необратимых дегенеративных изменений и потенциально влияя на когнитивные функции работников в долгосрочной перспективе [16, 17].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение функционального состояния и временных параметров акустического рефлекса внутриушных мышц у рабочих металлургического производства для выявления ранних признаков деградации слуховой функции в условиях сочетанного воздействия производственного шума и вибрации.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование слуховой функции проводилось с использованием клинического аудиометра Interacoustics AD 226 (Дания). Объективная оценка состояния среднего уха и рефлекторной дуги выполнялась методом акустической импедансометрии на анализаторе AP-62 (Великобритания). Порог AP определялся при подаче звукового стимула длительностью 1000 мс с несущей частотой 1000 Гц. Стимуляция осуществлялась как ипсилатерально, так и контралатерально. Для анализа временных характеристик AP уровень звукового давления (УЗД) устанавливался на 10 дБ выше индивидуального порога возникновения рефлекса.

В ходе исследования регистрировались следующие параметры (мс):

- Тл (латентный период): интервал от начала стимула до начала сокращения мышцы;
- Тн (время нарастания): интервал достижения амплитуды от 0,1 до 0,9 от максимума;
- Тд (время активного действия): период удержания амплитуды на уровне $>0,9$ от максимальной;
- Та (время активного последействия): интервал между прекращением сигнала и началом спада амплитуды до 0,9;
- Тс (время спада): снижение амплитуды от 0,9 до 0,1;
- Те (суммарное время реакции): общая продолжительность рефлекторного ответа.

Всего обследованы 80 рабочих (мужчин) в возрасте от 40 до 60 лет со стажем работы в условиях интенсивного воздействия шума от $17,7 \pm 1,3$ до $36,6 \pm 1,1$ года. В соответствии с классификацией профессиональной тугоухости по Н.И. Пономаревой, все обследованные были разделены на 5 клинических групп:

- 1-я группа (контрольная): 20 рабочих, у которых пороги слуховой чувствительности на оба уха находились в пределах физиологической нормы (потери слуха на речевых частотах 500–2000 Гц не превышали 10–15 дБ);
- 2-я группа: лица с признаками воздействия шума на орган слуха (начальные изменения без выраженного снижения речевого слуха, характерный провал на частоте 4000 Гц);
- 3-я группа: рабочие с легкой степенью профессиональной тугоухости (I степень – снижение слуха на речевых частотах до 25 дБ, на 4000 Гц – до 50 ± 5 дБ);
- 4-я группа: лица с умеренной степенью профессиональной тугоухости (II степень – снижение слуха на речевых частотах до 35 дБ, на 4000 Гц – до 60 ± 5 дБ);
- 5-я группа: рабочие с выраженной степенью профессиональной тугоухости (III степень – снижение слуха на речевых частотах более 40 дБ).

Критерии исключения из исследования: патология среднего уха (тимпанограммы типа В и С, костно-воздушный интервал >10 дБ), отосклероз, заболевания слухового нерва, черепно-мозговые травмы в анамнезе, прием ототоксических препаратов и системные неврологические нарушения. Для оценки влияния продолжительности профессионального маршрута был проведен корреляционный анализ по Пирсону. Установлена сильная прямая корреляционная связь между стажем работы

во вредных условиях и временем нарастания рефлекса Тн ($r=0,68$; $p<0,01$), а также суммарным временем реакции Те ($r=0,54$; $p<0,05$). Это подтверждает кумулятивный характер воздействия шума и вибрации на мобилизационные способности внутри-ушных мышц.

Для статистической обработки данных использовался программный пакет IBM SPSS Statistics v.26.0, при этом нормальность распределения количественных показателей в каждой группе подтверждалась с помощью критерия Шапиро – Уилка, а количественные данные были представлены в виде среднего арифметического и его стандартной ошибки ($M\pm m$). Межгрупповые различия оценивались методом однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с последующим применением апостериорного теста Тьюки (Tukey HSD) для выявления статистически значимых отклонений, при этом критический уровень значимости при проверке всех гипотез был принят равным $p<0,05$.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ результатов акустической импедансометрии позволил выявить статистически значимые различия в динамических характеристиках АР у рабочих в зависимости от степени выраженности нейросенсорной тугоухости [18]. В ходе исследования было установлено, что временные параметры рефлекторного ответа претерпевают фазные изменения по мере увеличения стажа работы в условиях шумо-вибрационного воздействия.

Особое внимание уделялось ипси- и контралатеральным показателям, так как их диссоциация может указывать на уровень поражения рефлекторной дуги. Установлено, что у рабочих с начальными признаками воздействия шума и легкой степенью тугоухости наблюдается изменение временной структуры АР, опережающее стойкое повышение порогов слышимости [19]. Количественные данные временных характеристик АР: латентного периода (Тл), времени нарастания (Тн), активного действия (Тд), последействия (Та), спада (Тс) и суммарного времени реакции (Те) – систематизированы. Временные характеристики ипси- и контралатерального акустического рефлекса внутриушных мышц (АРВМ) при частоте стимуляции 1000 Гц представлены в табл. 1.

Проведенное исследование доказывает, что временные параметры АРВМ являются высокочувствительными предикторами ранней деградации слуховой системы у рабочих металлургического производства, позволяя выявить патологические изменения на стадии кохлеарной синаптопатии еще до появления выраженных пороговых сдвигов на аудиограмме.

Установлено, что патологический процесс носит фазный характер: от сокращения латентного периода ($T_l=70,3\pm 9,7$ мс) в 3-й группе, выступающего объективным индикатором феномена ускоренного нарастания громкости (ФУНГ), до развития функциональной декомпенсации в 4-й группе, характеризующейся критическим увеличением времени нарастания (Тн) и суммарной реакции ($T_e=1671,4\pm 121,1$ мс) с последующим истощением рефлекторной дуги у лиц с глубокой тугоухостью. Полученные данные позволяют рекомендовать мониторинг динамических характеристик АРВМ в качестве обязательного элемента системы профессионального отбора и ранней профилактики профессиональной сенсоневральной тугоухости в условиях сочетанного шумо-вибрационного воздействия.

Таблица 1
Временные характеристики акустического рефлекса у рабочих металлургического завода (M±m)
Table 1
Temporal characteristics of the acoustic reflex in metallurgical plant workers (M±m)

Группы	Временные характеристики АР, мс (M±m)					
	Тл	Тн	Тд	Та	Тс	Те
1-я: ипси контра	106,1±5,3 112,2±6,2	112,2±6,2 117,1±6,2	218,6±19,2 682,3±22,4	101,6±5,6 99,3±7,3	233,5±14,8 242,5±22,2	1235,0±18,9 1222,1±29,9
2-я: ипси контра	112,2±7,8 125,3±7,8	141,2±15,0 166,7±23,3	755,2±23,8 683,1±24,4	92,2±5,1 96,0±6,7	138,0±8,0 239,7±36,1	1151,6±24,6 1203,7±40,2
3-я: ипси контра	70,3±9,7* 91,5±3,5	180,0±34,0 248,3±36,3	742,0±32,3 687,7±67,0	82,4±8,3 68,7±6,4	333,3±41,3 328,8±36,0	1331,0±61,1 1328,6±66,3
4-я: ипси контра	108,8±9,9 98,8±14,5	193,1±91,2 201,5±30,5*	703,4±127,3 752,3±20,2	122,1±10,8 99,8±4,2	556,7±96,3 135,1±16,7	1671,4±121,1 1146,7±18,3*
5-я: ипси контра	108,6±14,6 98,0±8,1	145,7±14,7 157,7±15,8	700,6±26,1 723,0±27,9	113,5±4,2 114,1±9,7	221,3±30,9 224,3±18,5	1231,3±23,1 1205,6±25,6

Примечание: * p<0,05 по сравнению с 1-й группой (использовался однофакторный дисперсионный анализ ANOVA с последующим апостериорным тестом Тьюки).

Анализ среднестатистических показателей латентного периода (Тл) не выявил значимых различий между представителями 1-й, 2-й, 4-й и 5-й групп (рис. 1).

Исключение составили лица 3-й группы с клиническими признаками нарушения функции улитки, у которых значение Тл было существенно меньше и составило 70,3±9,7 мс. Данное сокращение латентности рассматривается как объективное проявление ФУНГ.

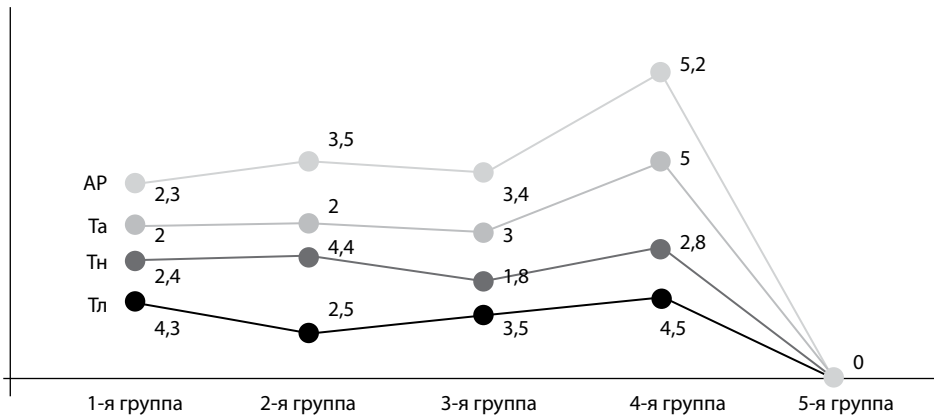


Рис. 1. Среднестатистические показатели латентного периода (Тл), времени нарастания (Тн) и активного последействия (Та) акустического рефлекса при ипсилатеральной стимуляции у рабочих металлургического завода
Fig. 1. Mean latency period (Tl), rise time (Tn) and active aftereffect (Ta) of the acoustic reflex (AR) during ipsilateral stimulation

Наиболее выраженные межгрупповые различия зафиксированы в показателях времени нарастания (Тн). У рабочих 2-й и 5-й групп Тн составило $141,2 \pm 15,0$ мс и $145,7 \pm 14,7$ мс соответственно, в то время как у лиц 1-й (контрольной) группы время мобилизации рефлекса было минимальным ($112,2 \pm 6,2$ мс), что свидетельствует о прогрессирующем замедлении защитной реакции по мере нарастания патологии.

При ипсилатеральной стимуляции показатели времени действия (Тд) и активного последействия (Та) оставались относительно стабильными в первых 3 группах, однако в 4-й группе отмечена тенденция к увеличению Та до $122,1 \pm 10,8$ мс. Наряду с этим, у рабочих 3-й, 4-й и 5-й групп наблюдалось увеличение времени спада (Тс) по сравнению с контролем (рис. 2).

Особого внимания заслуживают данные рабочих 4-й группы: у них зафиксировано максимальное суммарное время реакции (Те), что указывает на фазу декомпенсации слуховой функции и предельное напряжение механизмов адаптации внутриушных мышц в ответ на хроническое воздействие широкополосного шума и вибрации.

Суммарное время реакции АР (Те) имело тенденцию к сокращению у рабочих 5-й группы с наиболее выраженной потерей слуха, что может указывать на истощение энергетического потенциала рефлекторной дуги. Однако статистически достоверной разницы в значениях Те между всеми 5 группами при ипсилатеральном тесте выявлено не было.

При анализе параметров контралатерального акустического рефлекса на частоте 1000 Гц статистически значимых различий в латентном периоде (Тл) обнаружено не было, что сопоставимо с данными ипсилатеральной стимуляции (табл. 2).

Показатели времени активного последействия (Та) контралатерального акустического рефлекса были практически идентичны у рабочих 1-й, 2-й, 4-й и 5-й групп. Тем не менее у лиц 3-й группы, характеризующейся наличием ФУНГ и дисфункцией улитки, время активного последействия (Та) было достоверно короче ($590,4 \pm 42,6$ мс). Данное сокращение фазы удержания рефлекса при контралатеральной стимуляции

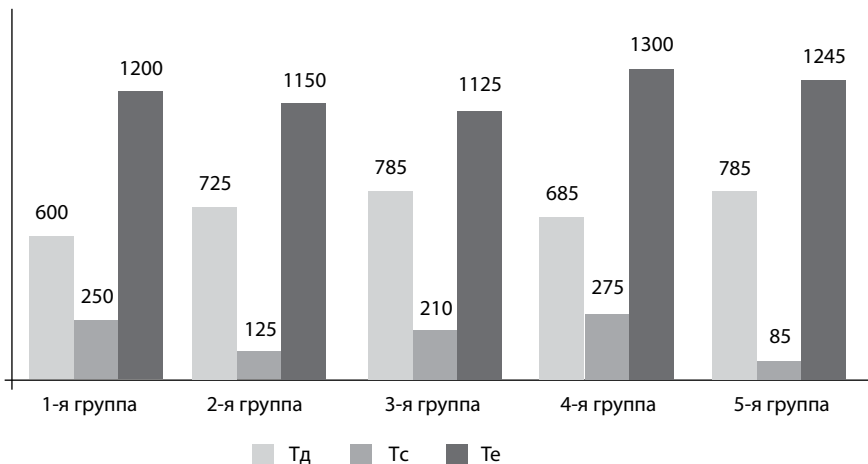


Рис. 2. Динамика временных показателей акустического рефлекса (Тд, Тс, Те) при ипсилатеральной стимуляции у рабочих металлургического производства различных групп
Fig. 2. Trends in acoustic reflex temporal parameters (Td, Tc, Te) during ipsilateral stimulation in different groups of metallurgical workers

Таблица 2
Временные параметры контралатерального акустического рефлекса на частоте 1000 Гц ($M \pm m$, мс)
Table 2
Temporal parameters of the contralateral acoustic reflex (CAR) at 1000 Hz stimulation ($M \pm m$, мс)

Группы обследованных	Тл (латентность)	Тн (нарастание)	Та (активное последствие)
1-я группа	118,5±9,2	130,5±11,2	750,2±48,5
2-я группа	112,4±8,7	165,2±14,3	745,8±50,1
3-я группа (ФУНГ)	108,6±7,9	248,3±36,3*	590,4±42,6*
4-я группа	115,8±9,1	190,4±18,7	735,5±53,2
5-я группа	122,5±10,4	175,8±15,4	742,0±51,7

Примечание: * достоверность различий ($p < 0,05$) по сравнению с другими группами.

подтверждает нарушение центральных механизмов регуляции на уровне ствола мозга под воздействием хронического шума.

Выявленные изменения временных параметров АРВМ у лиц 2-й и 3-й групп указывают на необходимость более раннего и частого аудиометрического контроля и применения мер профилактики до развития необратимой тугоухости.

У рабочих 3-й группы при контралатеральной стимуляции зафиксировано максимальное удлинение времени нарастания ($T_n = 248,3 \pm 36,3$ мс), что достоверно превышает показатели всех остальных групп. В то же время в значениях времени действия рефлекса (T_d) при контралатеральной звуковой стимуляции у обследованных всех 5 групп статистически значимых различий не выявлено (рис. 3).

Суммарное время действия АР (T_e) при данных условиях стимуляции достигает наиболее высоких значений в 3-й группе. Сочетание сокращения времени активной рефлекторной поддержки с выраженным увеличением времени нарастания у рабочих с признаками поражения улитки свидетельствует о деградации защитной функции внутриушных мышц.

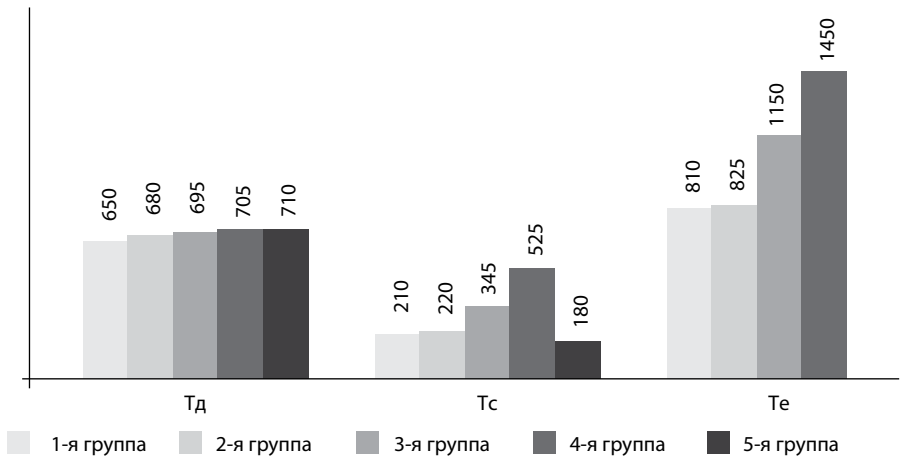


Рис. 3. Среднестатистические показатели T_d , T_c и T_e АР при контралатеральной звуковой стимуляции акустического рефлекса у рабочих с различными нарушениями слуха и в контрольной группе
Fig. 3. Average values of T_d , T_c and T_e AR during contralateral acoustic reflex stimulation in workers with various hearing impairments and in the control group

Выявленные в ходе исследования межиндивидуальные различия в динамике временных характеристик АРВМ, вероятно, отражают разную степень резистентности слуховой системы к интенсивным звуковым и вибрационным нагрузкам. Лица, у которых диагностируется сокращение времени активного действия рефлекса в сочетании с замедленным временем его нарастания, могут рассматриваться как группа высокого риска по развитию профессиональной тугоухости.

Это позволяет предположить, что данные параметры могут служить критериями профессионального отбора: рабочие с подобным профилем рефлекторного ответа менее пригодны к выполнению задач в условиях экстремально высокого уровня производственного шума.

Наше исследование подтверждает гипотезу Kujawa и Liberman [8] о существовании «скрытой потери слуха», при которой стандартная аудиометрия остается в норме, но механизмы обработки звука уже нарушены. Сокращение латентного периода (Тл) в 3-й группе ($70,3 \pm 9,7$ мс) коррелирует с данными Mertes и Leaman [15], указывая на гиперактивность рефлекторной дуги как компенсаторный ответ на повреждение волосковых клеток. Однако наиболее важным является обнаруженное нами увеличение времени нарастания (Тн) и суммарной реакции (Те) у рабочих 4-й группы. Это свидетельствует о том, что при стаже работы более 20–25 лет возможности адаптации исчерпываются. В отличие от работ Rossi et al. [6], где акцент делался только на порогах рефлекса, наши данные доказывают, что именно временные (динамические) параметры являются более ранними маркерами деградации синапсов, чем само отсутствие рефлекса.

Клинически значимым маркером ранней декомпенсации слуховой функции следует считать увеличение времени нарастания акустического рефлекса (Тн) более 150–160 мс. Выявление данного показателя у рабочих со стажем более 15 лет, даже при сохраненных порогах слышимости, становится основанием для усиления мер индивидуальной защиты (использование противושумных вкладышей с более высоким коэффициентом шумоподавления) или временной ротации персонала в зоны с уровнем шума ниже 80 дБА для предотвращения развития необратимой нейросенсорной тугоухости.

Таким образом, проведенное исследование показало, что воздействие высокоинтенсивного производственного шума и вибрации на рабочих металлургического завода приводит к системной деградации АРВМ. Установлено, что наиболее чувствительными индикаторами раннего поражения слухового анализатора являются не пороги слышимости, а временные параметры рефлекторной дуги.

Выявленная динамика – от сокращения латентного периода (объективный признак ФУНГ в 3-й группе) до резкого увеличения времени нарастания ответа в 4-й группе – отражает стадийность процесса: от фазы патологической адаптации до глубокой декомпенсации защитных механизмов. Полученные данные подтверждают гипотезу о возможности использования временных характеристик АРВМ в качестве объективных маркеров кохлеарной синаптопатии, позволяя диагностировать профессиональную нейросенсорную тугоухость на доклинической стадии.

■ ВЫВОДЫ

1. У рабочих металлургического производства со стажем более 15 лет наблюдается замедление мобилизации акустического рефлекса, что проявляется в увеличении времени нарастания амплитуды (Тн) в 1,5–2 раза по сравнению с контрольной группой.

2. Сокращение латентного периода (Тл) до $70,3 \pm 9,7$ мс у лиц с I степенью тугоухости является объективным диагностическим признаком феномена ускоренного нарастания громкости, что свидетельствует о преимущественном поражении рецепторного аппарата улитки.
3. Максимальное суммарное время реакции (Те) и пролонгация фазы спада (Тс) в 4-й группе указывают на фазу функциональной декомпенсации, при которой внутриушные мышцы работают в режиме предельного напряжения для защиты внутреннего уха.
4. Временные параметры акустического рефлекса (особенно Тл и Тн) могут быть рекомендованы в качестве прогностических критериев для оценки индивидуальной чувствительности к шуму и профессионального отбора рабочих в металлургической отрасли.
5. Практическая значимость исследования заключается в возможности использования временного параметра Тн (свыше 150 мс) как предиктора профнепригодности к работе в условиях высокоинтенсивного шума или как сигнала к немедленному проведению лечебно-профилактических мероприятий на доклинической стадии.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. World Health Organization. *World report on hearing*. Geneva: WHO, 2021.
2. Azodo A. Assessment of vibration and noise levels generated in the steps involved in the mechanized rice processing operations. *International Journal of Engineering Science and Application*. 2024;8(1):1–13.
3. Le Prell C.G., Clavier O.H. Effects of noise on auditory system function. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2017;142(6):4043–4053. DOI: 10.1121/1.5014038
4. Mukerji S., Windsor A.M., Lee D.J. Auditory brainstem circuits that mediate the middle ear muscle reflex. *Trends in Amplification*. 2010;14(3):170–191. DOI: 10.1177/1084713810381771
5. Zhao F., Stephens D. The acoustic reflex and its role in the protection of the inner ear. *International Journal of Audiology*. 2007;46(1):4–15. DOI: 10.1080/149920206009608815
6. Rossi M., et al. Changes in acoustic reflex parameters in workers exposed to industrial noise. *Occupational Medicine & Health Affairs*. 2019;7(2):268–274.
7. Kureneva K.Y. The results of investigation of auditory analyzer's brain-stem part in noise workers with varying degrees of sensorineural hearing loss according to the acoustic impedansometry. *Russian Otorhinolaryngology*. 2010;(2):52–56. (In Russ.)
8. Kujawa S.G., Liberman M.C. Adding insult to injury: Cochlear nerve degeneration after "temporary" noise-induced hearing loss. *Journal of Neuroscience*. 2009;29(45):14077–14085. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2845-09.2009
9. Vasilkov V., Puria S. The human acoustic reflex as a non-invasive marker of noise-induced cochlear synaptopathy. *Scientific Reports*. 2021;11(1):12345. DOI: 10.1038/s41598-021-91280-x
10. Feeney M.P., Keefe D.H. Acoustic reflex decay and temporal characteristics in noise-exposed populations. *Ear and Hearing*. 2018;39(4):621–635. DOI: 10.1097/AUD.0000000000000515
11. Chandrashekar P., Nagaraj H. Executive functions in mid-life adults with mild sensorineural hearing loss compared with age-matched controls with normal hearing. *Egyptian Journal of Otolaryngology*. 2024;40(1):15–22. DOI: 10.1186/s43163-024-00630-4
12. Bramhall N.F., McMillan G.P. Longitudinal assessment of the acoustic reflex as a marker of noise-induced cochlear synaptopathy. *Journal of the Acoustical Society of America*. 2025;157(1):112–124. DOI: 10.1121/10.0024510
13. Guest H., Munro K.J., Plack C.J. Acoustic reflex threshold as a function of peripheral and central auditory health. *Hearing Research*. 2020;395:108025. DOI: 10.1016/j.heares.2020.108025
14. Le Prell C.G. Challenges in diagnosing noise-induced cochlear synaptopathy in human populations. *Frontiers in Neurology*. 2023;14:1105432. DOI: 10.3389/fneur.2023.1105432
15. Mertes I.B., Leaman J.R. Temporal characteristics of the middle-ear muscle reflex: A scoping review. *American Journal of Audiology*. 2022;31(3):856–871. DOI: 10.1044/2022_AJA-21-00262
16. Prendergast G., Millman R.E. Electrophysiological and behavioral markers of hidden hearing loss in metallurgical industry workers. *International Journal of Audiology*. 2024;63(2):89–101. DOI: 10.1080/14992027.2023.2214567
17. Shaheen L.A., Liberman M.C. The stapedius reflex as a diagnostic tool for auditory nerve degeneration. *Trends in Hearing*. 2024;28:1–15. DOI: 10.1177/23312165241234567
18. Shehorn J., Bharadwaj H.M. Individual differences in acoustic reflex dynamics and their relationship to speech-in-noise perception. *Ear and Hearing*. 2023;44(4):780–795. DOI: 10.1097/AUD.0000000000001320
19. Wojtczak M., Nelson D.A. Recovery from adaptation of the middle-ear muscle reflex in listeners with occupational noise exposure. *Journal of Neurophysiology*. 2022;127(5):1340–1355. DOI: 10.1152/jn.00512.2021