

УДК: 534.771: 616.28-009: 612.858.5: 613.644: 303.447.3

OECD: 01.03.AA; 03.02.TD

К вопросу о влиянии состояния слуха и центрального слухового анализатора на скорость реакции человека

Нефортуннов Г.А.*¹, Храмов А.В.², Левина Е.А.³, Левин С.В.⁴

¹Аспирант, ²Д.м.н, профессор, ³К.м.н., старший научный сотрудник,

⁴К.м.н., заведующий научно-исследовательской лабораторией электрофизиологии и искусственного интеллекта,

^{1,2}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова,

^{3,4}Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт уха, горла, носа и речи,
^{1,2,3,4}г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Одной из причин производственного травматизма является снижение скорости реакции работника на внешние сигналы. Целью данной работы явилась оценка взаимосвязи показателей тональной пороговой аудиометрии, речевой аудиометрии и скорость слухо-моторной реакции у 28 практически здоровых лиц молодого возраста. Оценивалось время реакции лиц на простые звуковые стимулы. Установлена достоверная связь между скоростью реакции человека и показателями речевой аудиометрии. Не выявлена зависимость скорости реакции практически здоровых лиц на звуковой раздражитель от данных тональной скрининговой аудиометрии. Метод измерения скорости реакции на тональные стимулы позволяет оценить работу центральных отделов слухового анализатора и может использоваться как скрининговый тест в программное обеспечение профотбора в любой профессии, связанной с повышенным вниманием.

Ключевые слова: аудиометрия, разборчивость речи, скорость реакции, скрининг, шум

On the question of the influence of the condition of hearing and the central audious analyzer on the speed of human response

Nefortunov G.A.*¹, Khramov A.V.², Levina E.A.³, Levin S.V.⁴

¹Postgraduate, ²D.Sc., Professor, ³Ph.D., Senior Researcher,

⁴Ph.D., Head of the Scientific Research Laboratory of Electrophysiology and Artificial Intelligence,

^{1,2}Baltic State Technical University 'VOENMEH',

^{3,4}Saint Petersburg Research Institute of Ear, Throat, Nose and Speech,

^{1,2,3,4}St. Petersburg, Russia

Abstract

One of the reasons for occupational injuries is a decrease in the speed of an employee's reaction to external signals. The purpose of this work was to assess the relationship between the indicators of pure tone threshold audiometry, speech audiometry and the speed of the auditory-motor reaction in 28 practically healthy young people. The reaction time of individuals to simple sound stimuli was estimated. A reliable connection has been established between the speed of a person's reaction and speech audiometry indicators. The dependence of the reaction rate of practically healthy individuals to a sound stimulus on the data of tonal screening audiometry

*E-mail: habceгда1997@mail.ru (Нефортуннов Г.А.)

has not been revealed. The method of measuring the speed of reaction to tonal stimuli makes it possible to evaluate the work of the central parts of the auditory analyzer and can be used as a screening test in professional selection software in any profession associated with increased attention.

Keywords: *audiometry, speech intelligibility, reaction speed, screening, noise*

Введение

Взаимосвязь состояния периферической и центральной слуховой функции человека и скорости реакции на акустический стимул представляет большой как научный, так и практический интерес. К человеческим причинам производственного травматизма относится, в частности, снижение скорости реакции работника на внешние сигналы [1, 2]. Человек может своевременно не распознать сигнал-предупреждение об опасной ситуации и с запозданием предпринять соответствующие действия. Скорость реакции напрямую зависит от вида раздражителя: самая высокая скорость реакции на слуховые стимулы, чуть более долгая - на световые раздражители, а самыми поздними являются реакции на температуру, вкус и запах. Это связано со значимостью стимула для человека и длинны нервных волокон до центральных (корковых) отделов нервной системы. Наиболее важна скорость реакции для специалистов, принимающих быстрые и критически важные решения (пилоты и диспетчеры в авиации, спасатели, операторы технологических процессов, военные и др.) [3-5]. Скорость реакции человека на звуковые сигналы определяется работой нервной системы, прежде всего - состоянием центрального анализатора. Слуховой анализатор включает в себя центральные и периферические отделы. К периферическим отделам относят наружное, среднее, внутреннее ухо. К центральным отделам относят слуховой нерв, подкорковые центры и корковые отделы слуховой системы, расположенные в височной коре головного мозга. Поражение любой из этих структур может отрицательно сказаться на работе специалиста, например, оператора из-за снижения скорости реакции последнего на звуковой сигнал. Поэтому при проф. отборе на работу по ряду специальностей осуществляется проверка слуха [6, 7].

Самый распространенный метод проверки слуха – проверка шепотной и разговорной речи. Врач находится в 6 метрах от пациента, шепотом произносит слова, а пациент повторяет услышанное. Однако для отбора на работу, связанную с высоким уровнем ответственности используют инструментальный метод - тональную пороговую аудиометрию. Тональная пороговая аудиометрия - самое распространённое и основное исследование слуха, включает в себя определение порогов слуха по воздушному и костному звукопроводению с помощью аудиометра. В результате обследования строится аудиограмма – кривая, отражающая отклонение порогов слуха от нормальных на разных звуковых частотах. Но данное исследование отражает состояние только периферического слухового анализатора и не оценивает центральные его структуры (центры разборчивости речи). Такую информацию позволяет получить методика речевой аудиометрии [8, 9]. Это исследование до сих пор в основном проводилось у пилотов и диспетчеров гражданской авиации. Однако сейчас в зоне СВО большое число людей страдают от последствий акустической травмы (поражение слухового анализатора, вызванное воздействием чрезмерно сильного звука или шума) [9, 10]. При этом в ряде случаев превалирует поражение именно центральных отделов слуховой системы, корковых отделов, центров разборчивости речи, что не может выявить традиционная тональная аудиометрия. Это обосновывает необходимость изучить зависимость слухо-моторной реакции человека от состояния центрального слухового анализатора. На первом этапе исследования такие закономерности следует изучить у практически здоровых лиц, так как при акустической

травме могут наблюдаться множественные нарушения различной локализации и могут быть задействованы полипатогенетические процессы.

1. Описание метода исследования

Целью данной работы является оценка взаимосвязи показателей тональной пороговой аудиометрии, речевой аудиометрии и скорость слухо-моторной реакции у практически здоровых лиц.

Исследования были проведены у 28 лиц молодого возраста (20-30 лет), работа которых не была связана с вредными и опасными условиями труда. В исследуемую группу не включались люди с острыми и хроническими заболеваниями ЛОР-органов, центральной нервной системы и их последствиями.

Оценка речевой аудиометрии проводилась в свободном звуковом поле с использованием сбалансированных словесных таблиц, состоящих из односложного речевого материала в тишине и в шуме. Исследования проводились в кабинете с эквивалентным УЗ не превышающим 26 дБА, тесты в свободном звуковом поле выполнялись с применением одной звуковой колонки, расположенной на расстоянии 1 м от уровня головы испытуемого, по методу описанному в источнике [11].

В качестве речевого материала при выполнении речевой аудиометрии в тишине использовались сбалансированные таблицы многосложных слов Гринберга-Зиндера, записанные и воспроизводимые через ПК. Уровень звука речевого сигнала, предъявляемого исследуемой группе, соответствовал 65 дБА.

При проведении речевой аудиометрии в шуме предъявлялись треки в случайном порядке. Исследование проводилось с фиксированным соотношением сигнал/шум, при котором УЗД шума и речевых сигналов были постоянны и соответствовали 65 дБ в диапазоне 125-8000 Гц.

Исследование тональной скрининговой аудиометрии выполнялась по методу, описанному в разделе 9 ГОСТа Р ИСО 8253-1-2012 [12]. Испытуемому предъявлялись тестовые тоны на заранее определенном (скрининговом) УЗД соответствующем 40 дБ на каждой среднегеометрической частоте октавных полос в диапазоне 125-8000 Гц. Проверялось, слышит ли испытуемый предъявленный тон. Соответственно, результат такого испытания показывает, будет ли пороговый уровень прослушивания испытуемого выше, ниже или равен скрининговому уровню. Данный уровень выбран по двум причинам. Во-первых, УЗД 41 дБ соответствует второй степени тугоухости. Во-вторых, УЗД 40 дБ отчетливо можно разобрать в обычном помещении, не проводя исследование в специально оборудованной звукоизоляционной камере.

Для проведения исследования скорости реакции было разработано собственное программное обеспечение (ПО) для андроид-смартфонов. Испытуемому предъявлялся тестовый тон на заранее определенном УЗД равном 40 дБ и на частоте 1000 Гц. Проверялась скорость простой сенсомоторной реакции испытуемого на предъявленный тон в мс. Было дано 5 тестовых попыток, после чего фиксировалось 20 контрольных значений. Итоговым выбрано среднее значение за 20 попыток.

Нами был использован оригинальный диагностический комплекс для проведения речевой и скрининговой аудиометрии: нетбук (HP Mini 110-3100); смартфон (Samsung Galaxy S20 FE); головные телефоны (OPPO Enco W51/W31 TWS); звуковая колонка Aurora S20 (Defender, Китай) с максимальной выходной мощностью 20 Вт и функцией регулировки громкости, мощности басовых составляющих. Интенсивность сигнала для речевой аудиометрии постоянна, УЗ составляет 65 дБА. УЗД для тональной скрининговой аудиометрии составляют 40 дБ на каждой среднегеометрической частоте октавных полос

в диапазоне 125-8000 Гц. Калибровка интенсивности проводилась относительно тона частотой 1 кГц, записанного на тот же диск, что и тестовые таблицы при помощи шумомера «Экофизика 110А».

Математическая обработка полученных данных (корреляционный анализ, метод Пирсона) была выполнена с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel.

2. Результаты исследования

Результаты исследования показали, что у 4 из 28 обследованных практически здоровых лиц было отмечено снижение слуха на низких частотах (125 Гц). При этом в 4 случаях страдало левое ухо, а в двух – процесс был двухсторонним. При этом все обследованные заболевания органа слуха отрицают. Это может свидетельствовать о перенесенных ранее стерто протекающих воспалительных процессах в среднем ухе или начальных явлениях нейросенсорной тугоухости (латентное течение заболевания). В остальных случаях результаты скрининговой аудиометрии были в пределах нормы. Мы не выявили существенной корреляционной зависимости между данными скрининговой аудиометрии и показателями скорости реакции человека (коэффициент корреляции 0,29, $P > 0,05$).

Результаты работы по исследованию разборчивости речи у обследованных приведены в таблице 1.

№	Речь тишина, правое ухо %	Речь тишина, левое ухо, %	Речь шум, правое ухо, %	Речь шум, левое ухо, %	Скорость реакции (мс)
1	100	100	70	75	347,3
2	100	100	100	80	288,5
3	100	100	95	90	254,15
4	100	100	75	85	279,25
5	95	95	100	95	246,4
6	100	100	90	100	202,8
7	100	95	90	85	271,55
8	95	100	70	75	327,9
9	100	100	85	75	317,85
10	100	100	95	90	253,5
11	100	100	80	80	308,25
12	95	95	75	80	314,6
13	95	95	85	100	206,5
14	100	100	75	70	349,2
15	100	100	85	100	206,3
16	100	100	90	100	184,9
17	100	100	75	75	319,15
18	100	100	85	90	257,3
19	100	100	80	80	289,5
20	95	100	75	80	308,9
21	100	100	85	80	288,9
22	100	100	75	65	359,25
23	100	95	85	85	274
24	95	95	85	85	274
25	100	100	95	85	267,3

26	100	100	90	95	252,1
27	100	100	100	95	220,4
28	95	100	75	85	277,45

Как видно на приведенной таблице 1, показатели разборчивости речи у практически здоровых лиц варьируют в пределах 70-100%, что в основном соответствует данным научной литературы. При этом отмечается однонаправленность вариации показателей на правом и левом ухе (коэффициент корреляции 0,605, $P < 0,05$). При отсутствии значительных патологических изменений органа звуковосприятия такой результат является ожидаемым, так как в этом случае разборчивость речи определяется состоянием центрального анализатора.

Относительно низкие показатели разборчивости речи (70-80%) обнаруживались у 3 из 4 (75%) лиц с вероятно кондуктивными изменениями среднего уха и у 9 из 24 обследуемых (37,5%) без таких изменений ($P > 0,05$). Углубленное изучение этого вопроса не входило в число задач данного исследования.

Частота относительно низких значений скорости реакции человека с учетом показателей разборчивости речи представлена в таблице 1.

Таблица 2

Частота значений скорости реакции человека с учетом показателей разборчивости речи

	Ск. реакции > 280 мс	Ск. реакции < 280 мс	Всего
Разборчивость речи 70-80%	10	2	12
Разборчивость речи > 80%	2	14	16
Всего	12	16	28

Как видно на представленной таблице, на фоне относительно низких показателей разборчивости речи (70-80%) достоверно чаще обнаруживались более высокие значения скорости реакции человека ($P < 0,05$). Была также выявлена значимая корреляционная зависимость между скоростью реакции и разборчивостью речи ($X^2 = 14,05$).

3. Обсуждение

Таким образом, установлена достоверная связь между скоростью реакции человека в пределах физиологических значений и вариацией показателей речевой аудиометрии у практически здоровых лиц. Причинно-следственные связи в данной закономерности до конца не выяснены, однако можно предположить, что и скорость реакции на звуковой раздражитель, и процесс распознавания речи регулируются активностью определенного центра вегетативной регуляции. То есть изменения обеих физиологических функций вторичны по отношению к механизмам более высокого порядка. Это имеет большое практическое значение. Если такая гипотеза справедлива, то при резких изменениях физиологического статуса оператора возможны существенные снижения как скорости реакции человека, так и функции распознавания речи. Данная проблема требует дальнейшего изучения. Этот механизм, по-видимому, не затрагивает процесс звуковосприятия и угнетение последнего ухудшает разборчивость речи.

Заключение

Установлена достоверная связь между скоростью реакции человека в пределах физиологических значений и вариацией показателей речевой аудиометрии у практически здоровых лиц.

Не выявлена зависимость скорости реакции практически здоровых лиц на звуковой раздражитель от данных тональной скрининговой аудиометрии.

Таким образом метод измерения скорости реакции на тональные стимулы при нормальном периферическом слухе косвенно позволяют оценить работу центральных отделов слухового анализатора, что подтверждается изменениями на речевой аудиометрии.

Этот метод обладает главным преимуществом- быстротой проведения и достаточной точностью методики. Может использоваться как скрининговый метод перед проведением углубленного аудиологического исследования. Имеется возможность его интегрирования в программное обеспечение для профотбора в любой профессии, связанной с повышенным вниманием. Данный тест позволит вовремя выявить утомление слухового анализатора на начальной стадии и предупредить развитие опасной ситуации на производстве.

Список литературы

1. Королева А.М. Влияние человеческого фактора на травматизм / А.М. Королева, В.С. Вершинина, А.А. Стефанов, Р.В. Корунов // Проблемы безопасности российского общества. – 2018. – № 3. – С. 47-50.
2. Тюрин А.П., Парахин Д.В. Оценка риска потери слуха как повышение порогов слышимости / А.П. Тюрин, Д.В. Парахин // Noise Theory and Practice. - № 2(2). - 2016. - С. 42-48.
3. Омелаева А.А. Психологические причины производственного травматизма спасателей / А.А. Омелаева, Н.А. Тохташ // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. – 2021. – № 2. – С. 264-272.
4. Мышов А.Н. Влияние человеческого фактора на аварийность и травматизм: раскрывая связи и превентивные меры // Вестник науки. – 2023. – Т. 4, № 8 (65). – С. 361-363.
5. Приказ Минтранса России от 10.12.2021 № 437 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Порядок проведения обязательного медицинского освидетельствования центральной врачебно-летной экспертной комиссией и врачебно-летными экспертными комиссиями членов летного экипажа гражданского воздушного судна, за исключением сверхлегкого пилотируемого гражданского воздушного судна с массой конструкции 115 килограммов и менее, беспилотного гражданского воздушного судна с максимальной взлетной массой 30 килограммов и менее, диспетчеров управления воздушным движением и лиц, поступающих в образовательные организации, которые осуществляют обучение специалистов согласно перечню специалистов авиационного персонала гражданской авиации, и претендующих на получение свидетельств, позволяющих выполнять функции членов летного экипажа гражданского воздушного судна, диспетчеров управления воздушным движением». – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_404676/ (дата обращения: 29.03.2024).
6. Кузнецов М.С. Современные подходы и перспективные направления в лечении острой сенсоневральной тугоухости акутравматического генеза / М.С. Кузнецов, М.В.

Морозова, В.В. Дворянчиков, Л.А. Глазников, В.Л. Пастушенков, В.Р. Гофман // Вестник оториноларингологии. – 2020. – № 85(5). С. 88–92.

7. Синявский В.В. Клинико-диагностические особенности сочетания минно-взрывной черепно-мозговой травмы и бароакустической травмы слухового анализатора // Проблемы экологической и медицинской генетики и клинической иммунологии. – 2020. – № 4 (160). – С. 117-126.

8. Саввин Ю.Н. Структура санитарных потерь и особенности оказания медицинской помощи населению, пострадавшему при ведении боевых действий в зоне локального вооруженного конфликта // Медицина катастроф. – 2019. – № 3. – С. 21–26.

9. Смирнов И.А. Структура санитарных потерь населения от обычного оружия в войнах и вооруженных конфликтах // Военно-медицинский журнал. – 2005. – Т. 326, № 6. – С. 16-18.

10. Баркинхоева А.Б. Минно-взрывная травма, как мировая проблема / А.Б. Баркинхоева, А.С. Карпов, О.А. Соболева [и др.] // Высшая школа: научные исследования: материалы Межвузовского международного конгресса. – Москва. – 2021. – Т. 2.– С. 140-145.

11. Бобошко М.Ю. Речевая аудиометрия в клинической практике / М.Ю. Бобошко, Е.И. Риехакайнен. – СПб.: Издательство Диалог. – 2019. – 80 с.

12. ГОСТ Р ИСО 8253-1-2012 Акустика. Методы аудиометрических испытаний. Часть 1. Тональная пороговая аудиометрия по воздушной и костной проводимости. – 2005. – С. 4-15.

References

1. Koroleva A.M. Vliyanie chelovecheskogo faktora na travmatizm / A.M. Koroleva, V.S. Vershinina, A.A. Stefanov, R.V. Korunov // Problemy bezopasnosti rossijskogo obshchestva. – 2018. – № 3. – P. 47-50.

2. Tyurin A.P., Parahin D.V. Ocenka riska poteri sluha kak povyshenie porogov slyshimosti / A.P. Tyurin, D.V. Parahin // Noise Theory and Practice. - № 2(2). - 2016. - P. 42-48.

3. Omelaeva A.A. Psihologicheskie prichiny proizvodstvennogo travmatizma spasatelej / A.A. Omelaeva, N.A. Tohtash // Pozharnaya i tekhnosfernaya bezopasnost': problemy i puti sovershenstvovaniya. – 2021. – № 2. – P. 264-272.

4. Myshov A.N. Vliyanie chelovecheskogo faktora na avarijnost' i travmatizm: raskryvaya svyazi i preventivnye mery // Vestnik nauki. – 2023. – Vol. 4, № 8 (65). – P. 361-363.

5. Prikaz Mintransa Rossii ot 10.12.2021 N 437 «Ob utverzhdenii Federal'nyh aviacionnyh pravil «Poryadok provedeniya obyazatel'nogo medicinskogo osvidetel'stvovaniya central'noj vrachebno-letnoj ekspertnoj komissiej i vrachebno-letnymi ekspertnymi komissiyami chlenov letnogo ekipazha grazhdanskogo vozdušnogo sudna, za isklyucheniem sverhlegkogo pilotiruемого grazhdanskogo vozdušnogo sudna s massoj konstrukcii 115 kilogrammov i menee, bespilotnogo grazhdanskogo vozdušnogo sudna s maksimal'noj vzletnoj massoj 30 kilogrammov i menee, dispetcherov upravleniya vozdušnym dvizheniem i lic, postupayushchih v obrazovatel'nye organizacii, kotorye osushchestvlyayut obuchenie specialistov soglasno perechnyu specialistov aviacionnogo personala grazhdanskoj aviacii, i pretenduyushchih na poluchenie svidetel'stv, pozvolyayushchih vypolnyat' funkcii chlenov letnogo ekipazha grazhdanskogo vozdušnogo sudna, dispetcherov upravleniya vozdušnym dvizheniem».

– URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_404676/ (date of the application: 29.03.2024).

6. Kuznecov M.S. Sovremennye podhody i perspektivnye napravleniya v lechenii ostroj sensonevral'noj tugouhosti akutravmaticheskogo geneza / M.S. Kuznecov, M.V. Morozova, V.V. Dvoryanchikov, L. A. Glaznikov, V. L. Pastushenkov, V.R. Gofman // Vestnik otorinolaringologii. – 2020. – № 85(5). P. 88–92.

7. Sinyavskij V.V. Kliniko-diagnosticheskie osobennosti sochetaniya minno-vzryvnoj cherepno-mozgovoj travmy i baroakusticheskoy travmy sluhovogo analizatora // Problemy ekologicheskoy i medicinskoj genetiki i klinicheskoy immunologii. – 2020. – № 4 (160). – P. 117-126.

8. Savvin U.N. Struktura sanitarnyh poter' i osobennosti okazaniya medicinskoj pomoshchi naseleniyu, postradavshemu pri vedenii boevykh dejstvij v zone lokal'nogo vooruzhennogo konflikta // Medicina katastrof. – 2019. – № 3. – P. 21–26.

9. Smirnov I.A. Struktura sanitarnyh poter' naseleniya ot obychnogo oruzhiya v voynah i vooruzhennykh konfliktah // Voenno-medicinskij zhurnal. – 2005. – Vol. 326, № 6. – P. 16-18.

10. Barkinhoeva A.B. Minno-vzryvnaya travma, kak mirovaya problema / A.B. Barkinhoeva, A.S. Karpov, O.A. Soboleva [et al.] // Vysshaya shkola: nauchnye issledovaniya: materialy Mezhvuzovskogo mezhdunarodnogo kongressa. – Moscow. – 2021. – Vol. 2.– P. 140-145.

11. Boboshko M.U. Rechevaya audiometriya v klinicheskoy praktike / M.U. Boboshko, E.I. Riekhakajnen. – SPb.: Izdatel'stvo Dialog. – 2019. – 80 pp.

12. ISO 8253-1:2010 Acoustics - Audiometric test methods - Part 1: Pure-tone air and bone conduction audiometry. –2005. – P. 4-15.