

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СТАТУС ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОЗДУШНО-КОСМИЧЕСКИХ СИЛ МИНОБОРОНЫ РОССИИ

Алекперов С.И., Алексеева А.С., Колунов А.В., Одинокая М.А., Яблоков И.П.
*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный
научно-исследовательский испытательный институт военной медицины»
Министерства обороны Российской Федерации, 195043, Санкт-Петербург,
Российская Федерация, ул. Лесопарковая 4
e-mail:gniiivm_2@mil.ru*

Резюме.

Введение. Значительная доля акустической энергии, генерируемой двигателями боевой авиации, сосредоточена в инфразвуковом и низкочастотном диапазонах. Физиологические исследования подтверждают, что акустические колебания указанных частотных диапазонов способны индуцировать структурно-функциональные изменения в организме человека, а также провоцировать активацию стресс-реакций. Длительное воздействие низкочастотных акустических колебаний рассматривается как потенциально неблагоприятный фактор, способный ускорять процессы старения, способствовать формированию патологических состояний и обуславливать развитие отдалённых негативных последствий для здоровья. В рамках настоящего исследования проведена оценка биохимического статуса инженерно-технического состава Воздушно-космических сил Минобороны России, осуществляющего профессиональную деятельность в условиях фактической боевой обстановки.

Цель. Изучить влияние длительного высокоинтенсивного низкочастотного акустического воздействия на биохимические показатели крови инженерно-технического состава Воздушно-космических сил Минобороны России.

Материалы и методы. Опытную группу составили 20 специалистов инженерно-космического состава, регулярно и длительное время находящиеся под акустическим воздействием при обслуживании авиационной техники в условиях взлетно-посадочной полосы. Группу контроля (10 человек) составили военные специалисты (офицеры штаба), не имевшие контакта с высокоинтенсивным акустическим фактором в процессе профессиональной деятельности.

Забор крови в обеих группах проводили по окончании суточного дежурства с последующим исследованием биохимических показателей на автоматическом анализаторе.

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о развитии у обследуемой группы специалистов, подвергающихся длительному профессиональному воздействию акустических колебаний, комплекса патологических биохимических изменений, отражающих системный характер их влияния на организм.

Выводы. Сочетанное повышение активности аланинаминотрансферазы, креатинкиназы, лактатдегидрогеназы позволяет сделать вывод о системном повреждающем действии акустических колебаний, затрагивающем клеточные структуры печени, скелетной мускулатуры и, вероятно, сосудистого эндотелия. Основными патогенетическими звеньями являются хронический стресс-ответ с активацией гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы и симпатoadреналовой системы, приводящий к вазоконстрикции и метаболическим нарушениям, а также прямое оксидативное повреждение клеточных мембран.

Ключевые слова: низкочастотные акустические колебания, хроническое воздействие, военно-космические силы, биохимические нарушения.

ASSESSING THE IMPACT OF LONG-TERM EXPOSURE TO LOW-FREQUENCY ACOUSTIC VIBRATIONS ON THE BIOCHEMICAL STATUS OF ENGINEERING AND TECHNICAL STAFF OF THE RUSSIAN MINISTRY OF DEFENSE'S AIR AND SPACE FORCES

S.I. Alekperov, A.S. Alekseeva, A.V. Kolunov, M.A. Odinoikaia, I.P. Yablokov

Federal State Budgetary Institution "State Research and Testing Institute of Military Medicine" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 4

Lesoparkovaya St., St. Petersburg, Russian Federation, 195043

e-mail: gniiivm_2@mil.ru

Resume.

Introduction. A significant proportion of the acoustic energy generated by combat aircraft engines is concentrated in the infrasound and low-frequency ranges. Physiological studies confirm that acoustic vibrations of these frequency ranges are capable of inducing structural and functional changes in the human body, as well as provoking the activation of stress reactions. Prolonged exposure to low-frequency acoustic vibrations is considered as a potentially unfavorable factor that can accelerate the aging process, contribute to the formation of pathological conditions and cause the development of long-term negative health consequences. Within the framework of this study, the biochemical status of the engineering and technical staff of the Aerospace Forces of the Russian Ministry of Defense, who carry out professional activities in an actual combat situation, was assessed.

Objective. Study the effects of prolonged high-intensity low-frequency acoustic exposure on the biochemical parameters of the blood of engineering and technical personnel of the Aerospace Forces of the Russian Ministry of Defense.

Materials and Methods. The experimental group consisted of 20 aerospace engineering specialists regularly and for long periods of time exposed to acoustic influences while servicing aircraft on runways. The control group (10 individuals)

consisted of military specialists (staff officers) who had no exposure to high-intensity acoustic factors during their professional activities.

Blood samples were collected in both groups at the end of their 24-hour shift, followed by biochemical analysis using an automatic analyzer.

Results. The data obtained indicate the development of a complex of pathological biochemical changes in the study group of specialists exposed to prolonged occupational exposure to acoustic vibrations, reflecting the systemic nature of their impact on the body.

Conclusions. The combined increase in alanine aminotransferase, creatine kinase, and lactate dehydrogenase activity suggests a systemic damaging effect of acoustic vibrations, affecting cellular structures of the liver, skeletal muscle, and likely the vascular endothelium. The main pathogenic factors are a chronic stress response with activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal and sympathetic-adrenal systems, leading to vasoconstriction and metabolic disturbances, as well as direct oxidative damage to cell membranes.

Keywords: low-frequency acoustic vibrations, chronic exposure, military space forces, biochemical disturbances.

Введение.

Известно, что высокоинтенсивный шум неблагоприятно влияет на организм человека, вызывая негативные отклики со стороны всех органов и систем. ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности» регламентирует параметры звука на рабочих местах за 8-часовой рабочий день (эквивалентный уровень звука $L_{EX,8h}$) пятидневной рабочей недели. Однако ряд профессиональных коллективов в силу специфики трудовой или служебной деятельности могут подвергаться сверхнормативным воздействиям, как в отношении кумулятивного эффекта (хроническое воздействие) так и пикового звукового давления (острое воздействие). К таким коллективам можно отнести инженерно-технический состав (ИТС) Воздушно-космических сил (ВКС) Минобороны России, выполняющий задачи по предназначению в условиях воздействия акустического

давления авиационных двигателей (прогрев, взлет, посадка, ремонтно-наладочные работы, контрольные запуски и т.д.), чья интенсивность выполнения служебных задач, в связи с проведением Специальной военной операции, резко возросла. Характер ведения интенсивных боевых действий авиации не позволяет учитывать, по объективным причинам, «гражданские» нормативные документы по безопасности труда. Вместе с тем, сохранение здоровья и профессионального долголетия ИТС ВКС является важной социально-экономической проблемой, влияющей на обороноспособность страны.

Значительная часть спектра акустических колебаний (АК) колебаний, генерируемых двигателями боевой авиации, находится в инфразвуковом и низкочастотном диапазонах [1, 2]. В научных публикациях встречается большое количество работ, посвященных действию низкочастотных АК на биологические объекты. Ряд исследователей отмечает увеличение заболеваемости у лиц, подвергающихся профессиональному воздействию данного фактора, что обусловлено его способностью вызывать структурно-функциональные изменения практически во всех органах и системах организма. При длительных и чрезмерных воздействиях интенсивного шума неспецифические реакции организма дополняются специфическими, наиболее ярко выраженными в органах-мишенях и критических системах: слуховой, центральной нервной, сердечно-сосудистой, дыхательной и иммунной.

Расстройства на различных структурно-функциональных уровнях организма начинается с преобразования акустической энергии на молекулярном уровне. Энергетическое воздействие шума подтверждается результатами корреляционного, дисперсионного и факторного анализов, позволивших разработать статистические модели, описывающие определенные зависимости [3].

Острое высокоинтенсивное или длительное акустическое воздействие приводит к изменению активности центральных регуляторных систем, в частности норадрено-, дофамин- и серотонинергической, и нарушению баланса между нейромедиаторами критических систем организма. Воздействие АК активизирует ретикулярную формацию, высшие церебральные центры,

гипоталамус и центры вегетативной регуляции, следствием чего является повышение тонуса гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, увеличение экскреции катехоламинов, как медиаторов стресс-реакции.

В ответ на воздействие интенсивного шума организм производит выброс катехоламинов. Одновременный выброс серотонина и кортикостероидов усиливает реакцию сосудов на катехоламины и вызывает перераспределение крови между органами, осуществляя доставку кислорода и питательных веществ, прежде всего в мозг и другие органы [4].

Многочисленные литературные данные свидетельствуют, что низкочастотные АК оказывают неблагоприятное воздействие на состояние здоровья, функциональное состояние и работоспособность человека. При этом влияние на человека АК сверхнормативных уровней сказывается, весьма вероятно, на продолжительности жизни, ускоряет процессы старения и развитие патологии, характерной для пожилого возраста и вызывает отдаленные последствия у потомства. В настоящей работе, произведена оценка биохимического статуса ИТС, выполняющего свои обязанности по предназначению в условиях фактической боевой обстановки специальной военной операции.

Цель.

Изучить длительное влияние высокоинтенсивных низкочастотных (именно этот диапазон превалирует в спектральной характеристике механоакустических колебаний вызываемых реактивными и турбовинтовыми двигателями военной авиации) акустических колебаний на биохимические показатели крови ИТС ВКС Минобороны России.

Медико-биологические исследования проведены в филиале №4 ФГКУ «413 Военный госпиталь» с привлечением ИТС 929 Государственного лётно-испытательного центра Министерства обороны Российской Федерации (Астраханская область, г. Ахтубинск).

Материалы и методы.

Опытную группу составили 20 специалистов ИТС, длительное время находящиеся под регулярным акустическим воздействием при обслуживании авиационной техники. Длительность акустического воздействия составляла от 1,5 до 23 лет. Средний возраст специалистов опытной группы составил 31,5 года.

Группу контроля (10 человек) составили военные специалисты (офицеры штаба), не имевшие контакта с АК в процессе профессиональной деятельности. Средний возраст представителей контрольной группы составил 33 года. Забор крови в группах проводили в утренние часы, натощак из кубитальной вены в процедурном кабинете филиала №4 ФГКУ «413 Военный госпиталь». Исследования биохимических показателей крови проводили на автоматическом анализаторе ChemWell Combo модели 2910 с помощью наборов ООО «Ольвекс Диагностикум» (Россия).

Результаты исследования.

Результаты биохимических исследований в контрольной и опытной группах представлены в Таблице.

Полученные данные свидетельствуют о развитии у обследуемой группы специалистов, подвергающихся длительному профессиональному воздействию АК, комплекса патобиохимических нарушений, отражающих системный характер их влияния на организм.

Повышение активности аланинаминотрансферазы (АЛТ) традиционно рассматривается как высокоспецифичный маркер повреждения гепатоцитов и цитолиза [5]. В контексте воздействия АК гепатотоксический эффект может быть опосредован хроническим стрессом и активацией гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы (ГГАС). Повышенный уровень кортизола и катехоламинов приводит к мобилизации жирных кислот из периферических депо и их последующему накоплению в печени, что может запускать развитие неалкогольной жировой болезни печени и провоцировать оксидативный стресс и воспаление в гепатоцитах [6]. Кроме того, шумовой стресс способствует

генерации реактивных форм кислорода (РФК), которые напрямую повреждают клеточные мембраны, в том числе и в печени [7].

Таблица

Результаты биохимических исследований в контрольной и опытной группах

Показатели, единицы измерения	Контрольная группа (n=9)	Опытная группа (n=20)
Аспаратаминотрансфераза, Ед/л	19,3 [11,3; 25,8]	9,8 [6,2; 23,2]
Аланинаминотрансфераза, Ед/л	8,4 [7,3; 14,1]	16,1* [11,0; 18,0]
Билирубин, ммоль/л	14,9 [13,5; 22,1]	16,0 [14,0; 21,0]
Глюкоза, ммоль/л	6,8 [6,4; 7,6]	7,1 [6,5; 7,8]
Креатинкиназа, МЕ/л	29,5 [25,1; 171,7]	151,6* [100,4; 449,6]
Лактат, ммоль/л	2,3 [2,2; 2,9]	2,2 [1,9; 2,9]
Лактатдегидрогеназа, МЕ/л	38,6 [21,5; 90,5]	119,4* [70,8; 156,1]
Мочевина, ммоль/л	99,2 [92,9; 103,9]	90,7 [80; 101,2]
Общий белок, г/л	76,8 [74,2; 86,6]	79,0 [74,1; 84,8]
Холестерин, ммоль/л	2,9 [2,4; 3,2]	2,9 [2,5; 3,6]

* - различия значимы при сравнении с контрольной группой по критерию

Манна-Уитни ($p \leq 0,05$)

Повышение активности КК является высокоспецифичным индикатором повреждения сарколеммы мышечных клеток [8]. При воздействии вибрации, часто сопутствующей акустическим колебаниям на производстве, происходит прямое механическое микротравмирование скелетной мускулатуры. Помимо этого, ключевую роль играет хроническая ишемия тканей, вызванная вазоконстрикцией — компенсаторной реакцией организма на стресс, опосредованной симпатической нервной системой и выбросом вазопрессина [9]. Нарушение кровоснабжения и оксигенации мышечной ткани приводит к энергетическому дефициту и разрушению мышечных клеток, что и проявляется ростом уровня креатинкиназы (КК) в сыворотке крови.

Повышение активности лактатдегидрогеназы (ЛДГ), являющейся менее специфичным, но чувствительным маркером деструкции клеток, подтверждает генерализованный характер повреждения тканей [1]. ЛДГ высвобождается при разрушении не только мышечных, но и других клеток, включая гепатоциты и

эритроциты. У работников, подвергающихся воздействию АК, источником ЛДГ могут быть как поврежденные мышцы и печень, так и эритроциты в условиях микрогемолиза, индуцированного оксидативным стрессом [10]. Кроме того, ЛДГ является ключевым ферментом анаэробного гликолиза, и ее повышение может отражать компенсаторную активацию этого пути продукции аденозинтрифосфата (АТФ) в условиях тканевой гипоксии, вызванной вазоконстрикцией [2].

Выводы.

Таким образом, сочетанное повышение активности АЛТ, КК и ЛДГ позволяет сделать вывод о системном повреждающем действии акустических колебаний, затрагивающем клеточные структуры печени, скелетной мускулатуры и, вероятно, сосудистого эндотелия. Основными патогенетическими звеньями являются хронический стресс-ответ с активацией ГГАС и симпато-адреналовой системы, приводящий к вазоконстрикции и метаболическим нарушениям, а также прямое оксидативное повреждение клеточных мембран.

Выявленные биохимические сдвиги обосновывают необходимость углубленного клинического обследования работников для оценки функционального состояния печени и сердечно-сосудистой системы. Полученные данные также подчеркивают важность усиления мер профилактики, включая оптимизацию режимов труда и отдыха, использование средств индивидуальной защиты и внедрение программ мониторинга здоровья для групп профессионального риска.

Литература.

1. Зинкин В.Н., Богомолов А.В., Ахметзянов И.М., Шешегов П.М. Авиационный шум: специфические особенности биологического действия и защиты. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2012; 46(2): 9–16.
2. Коваленко И.Ю., Гусаров Д.В., Селезнев А.Б. и др. Патология нервной системы у лиц, подвергающихся воздействию импульсного низкочастотного

- шума в процессе военно-профессиональной деятельности. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2010; 3(31): 155–158.
3. Сергеев С.Н., Яник Д.И. Экспериментальное исследование акустических характеристик моделей биологических материалов. *Актуальные проблемы и перспективы развития военной медицины*. 2000; 2: 232-241.
 4. Asaho T., Matsui T. Various pathogenetic factors revolving around the central role of 30. Protein kinase C activation in the occurrence of cerebral vasospasm. *Critical reviews in neurosurgery*. 1998; 8 (3): 176-187.
 5. Кузин А.М. *Структурно-метаболическая теория в радиобиологии*. М.: Наука; 1986.
 6. Павленко-Михайлов Ю.Н., Стрельцова В.Н., Оценков А.Б. Возникновение опухолей у потомства крыс, облученных до зачатия. *Биологические эффекты малых доз радиации*. 1983: 142-144.
 7. Стрельцова В.Н., Павленко-Михайлов Ю.Н. Опухолевый эффект у потомков крыс, облученных за 5 суток до зачатия. *Актуальные вопросы радиационной гигиены*. 1983: 63- 64.
 8. *Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation: (United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Report to the General Assembly with Annexes)*. New York: 1986.
 9. Зинкин В.Н. Актуальные вопросы обеспечения работоспособности и сохранения здоровья инженерно-технического состава авиатранспортных предприятий. *Актуальные вопросы транспортной медицины*. 2014; 1(2): 28–45.
 10. Зинкин В.Н., Солдатов С.К., Кукушкин Ю.А. и др. Гигиеническая оценка условий труда работников «шумовых» профессий авиаремонтных заводов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2008; 4: 40–42.

References

1. Zinkin V.N., Bogomolov A.V., Akhmetzyanov I.M., Sheshegov P.M. Aviation noise: specifics of the biological action and protection. *Aerospace and environmental medicine*. 2012; 46(2): 9–16. (in Russian)

2. Kovalenko I.Yu., Gusarov D.V., Seleznev A.B. Pathology of the nervous system following a repeated exposure to a low frequency high-intensity impulse noise. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2010; 3(31): 155–158. (in Russian)
3. Sergeev S.N., Yanik D.I. Experimental investigation of acoustic characteristics of biological materials models. *Current problems and prospects for the development of military medicine*. 2000; 2: 232-241. (in Russian)
4. Asaho T., Matsui T. Various pathogenetic factors revolving around the central role of 30. Protein kinase C activation in the occurrence of cerebral vasospasm. *Critical reviews in neurosurgery*. 1998; 8 (3): 176-187.
5. Kuzin A.M. Structural and metabolic theory in radiobiology. Moscow: Nauka; 1986. (in Russian)
6. Pavlenko-Mikhailov Yu.N., Streltsova V.N., Oschenkov A.B. The occurrence of tumors in the offspring of rats irradiated before conception. *Biological effects of low doses of radiation*. 1983: 142-144. (in Russian)
7. Streltsova V.N., Pavlenko-Mikhailov Yu.N. Tumor effect in the offspring of rats irradiated 5 days before conception. *Current issues of radiation hygiene*. 1983: 63-64. (in Russian)
8. *Genetic and Somatic Effects of Ionizing Radiation: (United Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Report to the General Assembly with Annexes)*. New York: 1986.
9. Zinkin V.N. Actual issues of ensuring the efficiency and health of the engineering and technical staff of air transport enterprises. *Current issues of transport medicine*. 2014; 1(2): 28–45. (in Russian)
10. Zinkin V.N., Soldatov S.K., Kukushkin Yu.A. and all. Hygienic assessment of the working conditions of employees of "noise" professions of aircraft repair plants. *Occupational medicine and industrial ecology*. 2008; 4: 40–42. (in Russian)