

# ИНФРАЗВУКОВА ЕКСПОЗИЦИЯ И ЗДРАВНИ ЕФЕКТИ ПРИ МОРСКИ ЛИЦА

Теодора Димитрова, Панайот Николов

*Катедра Хигиена и епидемиология, ФОЗ, МУ-Варна*

## INFRASOUND EXPOSURE AND HEALTH EFFECTS AMONG SEAFARERS

Teodora Dimitrova, Panayot Nikolov

*Department of Hygiene and Epidemiology, Faculty of Public Health,  
Medical University of Varna*

### РЕЗЮМЕ

Моретата и океаните са едни от най-мошните естествени източници на инфразвукови колебания, а проучената литература може да се направи извода, че транспортните средства също са мощен източник на инфразвук. Шумът в корабите е с много широк честотен диапазон – от инфразвуков до ултразвуков. Направен е литературен обзор на наличните данни за източниците на инфразвук при работа на море и рисковите фактори за здраве и безопасност при работа на екипажите. Използвани са исторически и документален метод за обработка на събраната информация, извършен е анализ и обобщаване на данни. Относно патогенетичните механизми на въздействието на инфразвука върху биологична тъкан много изследователи се придържат към т. нар. резонансна теория. Редица изследвания показват връзка между нискочестотния шум и различни физиологични и психологични реакции като раздразнение, промяна на прага на слуха, проблеми със концентрацията, понижаване на съня, ефекти на настроението, както и така наречената виброакустична болест. Неблагоприятни последици за здравето от професионалната експозиция са наблюдавани в паметта, раздразнението и ефективността. Доказателства за съдовите и респираторните ефекти съществуват, но са неубедителни. Виброакустичното заболяване (ВАБ) е патология на цялото тяло, която се развива при хора, които са изложени изключително много на инфразвук. Мутагенният потенциал на инфразвуковите експозиции се обсъжда и при хора и експерименти при животни. Специфични за честотата ефекти все още не са известни, валидни доза-отгово-

### ABSTRACT

Seas and oceans are some of the most powerful natural sources of infrasound oscillations and the study literature suggests that transport is also a powerful anthropogenic source of infrasound. Noise in ships has a very wide frequency range - from infrasonic to ultrasonic. A literature review has been made using the available data on infrasound sources when working at sea and the risk factors for the health and safety of the crew. Historical and documentary methods were used to process the collected information, analyze and summarize data. Regarding the pathogenesis of infrasound effects, many researchers adhere to the so-called resonance theory. A number of studies have shown a link between low-frequency noise and various physiological and psychological reactions such as irritation, change in hearing perception, concentration problems, sleep depression, mood effects, and the so-called vibroacoustic disease (VAD). Adverse health effects from occupational exposure are observed in memory, anxiety and effectiveness. Evidence of vascular and respiratory effects exists but is inconclusive. VAD has a whole body pathology that develops in people who are exposed to infrasound. The mutagenic potential of infrasound exposures is also discussed in humans and animal experiments. The frequency-specific effects are not yet known, valid dose-response relationships are difficult to identify and there are still no large-scale epidemiological studies.

Infrasound and very low frequency sounds are a widespread pollutant in the work and communal environment. Their combined biological exposure action and generic vibration on board of vessels is a specific risk factor for the health and safety of seafarers. Maritime occupational medicine doctors need to know the specific pathology and carefully look for the early manifestations of the preclinical stages of cardiovascular,

ри са трудно идентифицируеми и все още липсват мащабни епидемиологични изследвания.

Инфразвукът и звукът с много ниска честота се явяват широко разпространен замърсител в работна и комунална среда. Комбинираното им биологично действие при експозицията и с общи вибрации на борда на плавателните съоръжения е специфичен рисков фактор за здравето и безопасността на морските екипажи. Лекарите занимаващи се с морска трудова медицина е необходимо да познават специфичната патология и внимателно да търсят ранните прояви на доклиничните стадии на отклоненията в сърдечно-съдова, централна-нервна, дихателна и слухово-вестибуларна функция.

**Ключови думи:** инфразвук, здраве при работа на море

## УВОД

Моретата и океаните са едни от най-мощните естествени източници на инфразвукови колебания, които се възприемат от всички живи организми. Академик В.В.Шулейкин в периода 1932 - 1935 г. изследвайки инфразвука, генериран от морските вълни, открива т.нар. от него "глас на морето" (4). Висок инфразвуков интензитет създават машини, съоръжения и механизми, имащи повърхности с големи размери и извършващи механични колебания с честота по малка от 20 пъти в секунда (инфразвук от механичен произход) или големи турбулентни газове или течни струи (инфразвук от аеродинамичен произход) (1).

Целта е да не направи литературен обзор на наличните данни за източниците на инфразвук при работа на море и рисковите фактори за здраве и безопасност при работа на екипажите.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИ

Проучени са публикации по темата в различни български и чуждестранни научни издания, монографии, закони и нормативни документи. Събрана е литература, отнасяща се до мониторинг на работната среда по отношение на звуково и инфразвуково замърсяване. Изследвани и обобщени са данни от монографии, статии в наши и чуждестранни научни списания и други източници относно биологичните ефекти при експозиция на инфразвук и звук с много ниска честота сред работещи и при експериментални животни. Използвани са исторически и документален ме-

*central-nervous, respiratory and auditory-vestibular function abnormalities.*

**Keywords:** *infrasound, healthy workplace, sea*

тод за обработка на събраната информация, извършен е анализ и обобщаване на данни.

## РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

От проучената литература може да се направи извода, че транспортните средства също са мощен източник на инфразвук. Шумът в корабите е с много широк честотен диапазон – от инфразвуков до ултразвуков. При нормална експлоатация и вълнение на морето до 4 бала, в среднотонажни търговски кораби се регистрират нива на инфразвук до 119dB, а в корабите на подводни криле – 110dB.

Проведените у нас измервания за разпространението на инфразвука в транспортните средства (5) потвърждават литературните данни, че нивата на инфразвука са в зависимост вида и типа им, скоростта на движение, режима на работа на двигателите им, положението на страничните прозорци и вълнението на морето.

### **Воден транспорт**

В помещенията на корабите на подводни криле по време на движение нивото на инфразвука е средно 93dB. Отварянето на страничните прозоци повишава нивото му до 94-104dB. В машинните отделения на този тип кораби инфразвукът е от 86-96dB (при спрели кораби) до 86-103dB.

В машинно-котелните отделения на морските кораби интензитетът на инфразвука е от 64-88dB (на кей) до 82-114dB (по време на движение). В битовите помещения на тези кораби нивото на инфразвука по време на движение е 77-97dB, като при вълнение на морето 6 бала са измерени максимални стойности до 124dB.

В речните кораби – тласкачи и влекачи, нивото на инфразвука е в зависимост от типа на двигателите им. При тласкачите общото ниво на инфразвука по време на движение е от порядъка на 96-107dB, а при влекачите – 91-114dB.

Относно патогенетичните механизми на въздействието на инфразвука върху биологична тъкан много изследователи се придържат към т. нар. резонансна теория. Тук водещо място се придава на интеро- и проприорецепторите, които се раздразват при съвпадането на инфразвуковите честоти със собствената честота на един или друг орган. Рецепторите предават информацията в нервните центрове, обуславяйки рефлексорни реакции от други органи и системи.

Днес е прието, че инфразвук с честота 2,0-8,0Hz е резонансен за вътрешните органи, а 17,0 - 25,0Hz - за главата (3,6).

Анализът на биологичното влияние на инфразвука е изследвано чрез три подхода:

- експерименти върху животни – най-често с инфразвук с честота 10Hz и интензитет 135dB;
- експерименти върху хора – най-често с инфразвук с честота 10Hz и интензитет 135dB;
- изследвания на работници в производствени условия, вкл. и комбинирано въздействие на инфразвук с други фактори на работната среда – шум, вибрации, свръхвисоко-честотни лъчения и йонизиращи лъчения и др.

Редица изследвания показват връзка между нискочестотния шум и различни физиологични и психологични реакции като раздразнение, промяна на прага на слуха, проблеми със концентрацията, проблеми със съня, ефекти на настроението (15,16,18), както и спорни състояния като така наречената виброакустична болест (7-10,21). В допълнение, неблагоприятните последици за здравето от професионалната експозиция са наблюдавани в паметта, раздразнението и ефективността (13,15,18). Доказателствата за съдовите и респираторните ефекти са неубедителни (20).

Инфразвук с интензитет над 100dB предизвиква разнообразни субективни оплаквания - главоболие, гадене, преbledняване, потливост, слабост, чувство на страх, вибрации на вътрешните органи, нарушения в остротата на зрението, промяна в слуховия праг, шум в ушите, модуляция на звуковете в речта и т. н. Честоти от 2,0 до 15,0Hz са по-неблагоприятни, поради резонансните явления, които причиняват. Послед-

ните се сочат и като причина за субективните оплаквания, които са най-силно изразени при инфразвук с честота от 5,0 до 9,0Hz. (4) Като основен психофизиологичен ефект при инфразвуково въздействие върху организма на човека трябва да се отчита намалената работоспособност, степента, която зависи от интензитета и продължителността на въздействие на инфразвука. Въпреки, че ефектите от по-ниските интензитети на нискочестотен шум са трудни за установяване поради методологични причини, доказателства сочат, че редица неблагоприятни ефекти на шума като цяло произтичат от излагането на шум с ниска честота: раздразнението се изостря в по-голяма степен за нискочестотен шум, отколкото други шумове за равностойно ниво на звуково налягане. (19)

Инфразвукът предизвиква фазови състояния в биопотенциалите на главния мозък с явления на задържане. Към характерните електроенцефалографски изменения се отнасят усилената синхронизация на ритъма в слуховата проекционна зона в кората на главния мозък. Характерът на измененията в биоелектрическата активност (увеличаване на амплитудата на алфа-ритъма, поява на бавни вълни) са показателни за отслабване на активиращата роля на ретикуларната формация. Изследванията на оперативната функция на кората на главния мозък и концентрацията на вниманието показват понижаване на активността на централното звено в рефлексорната верига и известни нарушения в равновесието на коровите процеси с преобладаване на задръжните (13,15,17). При това ефектът на въздействие на инфразвука е право пропорционален на енергията и продължителността на въздействието.

Интересни данни, свидетелстващи за активното включване на сърдечносъдовата система в отговор на инфразвуковото дразнене, посочват Н. И. Карпова и Э. Н. Мальшев (2). Изменят се честотата и ритъмът на сърдечните съкращения. В първите 1-2 минути възниква ускорено сърцебиене, което намалява при продължаване на въздействието. Към края и по време на възстановителния период се наблюдава брадикардия. Електрокардиограмата показва аритмия при въздействието на инфразвуковия дразнител с честота 10,0Hz и интензитет 135dB, която е най-изразена в първите минути. Инфразвукът намалява силата на съкращение на сърдечния мускул.

Съществени изменения се регистрират и в периферното кръвообращение - разширение на периферните съдове, с което се свързва повишава-

нето на кожната температура и понижаването на систоличното кръвно налягане. Изследванията върху кръвното налягане показват, че неговата промяна също зависи от интензитета и продължителността на въздействие на инфразвук.

Дихателната система е най-чувствителна към инфразвук с честота 5,0Hz. Чрез пневмография се регистрират забавяне на дихателните движения, затруднено дишане, вибриране на гръдната стена. Тези промени се отбелязват през цялото време на въздействие. Във възстановителния период се наблюдава известно учестяване на дишането.

При въздействие на инфразвук с честота 10,0Hz и ниво 135dB се регистрира повишаване на долния праг на слуховата чувствителност средно с 10-15dB. За аудиограмите, направени веднага след експеримента, е характерно почти пълното възстановяване на слуха за високите честоти и известно възстановяване (средно 5-7dB) за ниските и средните честоти. При по-продължителен възстановителен период се наблюдава за кратко време дори известно обостряне на слуха (4).

По отношение на вестибуларния апарат се регистрират нарушаване на равновесието, поява на главозамайване и други симптоми, наподобяващи морска болест. В експериментални условия инфразвук с висок интензитет предизвиква нистагъм, като най-ефективна е честотата 7,0Hz.

При въздействие на инфразвук с честота 10,0Hz и ниво 135dB е наблюдавана у 10-15% от изследваните лица повишена вибрационна чувствителност спрямо 250Hz (при по-ниските честоти - 63Hz и 125Hz, то е било незначително) (17).

Понастоящем инфразвук (0-20Hz) и ниско-честотен шум (20-500 Hz) (ILFN, 0-500 Hz) (12) са рискови фактори на болестта, която остава във висока степен нерегистрирана. Виброакустичната болест (ВАБ) е патология на цялото тяло, която се развива при хора, които са изложени изключително много на инфразвук. ВАБ е диагностицирана в няколко професионални групи, наети в авиационното и машинното инженерство, мотористи, авиационен екипаж, и в още няколко други отрасли. (11) Въпреки това, като се има предвид повсеместното разпространение на ILFN и липсата на законодателство (14) относно ILFN, ВАБ все повече се диагностицира сред общото население, включително децата. ВАБ е свързана с необичайния растеж на извънклетъчни матрици (колаген и еластин), при отсъствие на възпалителен процес. Във ВАБ, крайният продукт на растежа на колаген и еластин е укрепването на структурната цялост. Това се наблюдава в кръвоносни-

те съдове, сърдечни структури, трахея, бял дроб и бъбреци както пациенти с ВАБ, така и при животни, експонирани на ILFN. ВАБ по същество е механично трансдуцирано заболяване. Между- и вътрешноклетъчната комуникация се постига чрез биохимично и механично предаване на сигналите. Когато структурните компоненти на тъканта се променят, както се вижда от изложените на ILFN проби, механично медираното сигнализиране в най-добрия случай е нарушено. Общите медицински диагностични тестове, като например ЕКГ, ЕЕГ, както и много анализи на кръвната биохимия, се основават на дисфункция на биохимичните сигнализиращи процеси. Пациентите с ВАБ обикновено представят нормални стойности за тези тестове. Въпреки това, при ехокардиография, ЯМР на мозъка или хистологични проби се идентифицират структурни промени. Структурните промени се валидизират при всички - пациенти и животни, изложени на инфразвук. Както при човешки, така и при животински модели, експозицията на инфразвук предизвиква удебеляване на сърдечно-съдовите структури. Наистина, перикардното удебеляване без възпалителен процес и при отсъствие на диастолна дисфункция е отличителен белег на ВАБ. Депресиите, повишената раздразнителност и агресивността, тенденцията за изолация и намалените когнитивни умения са част от клиничната картина на ВАБ. Инфразвукът се разглежда и като генотоксичен агент, предизвикващ повишена честота на обмен на сестрински хроматиди в човешки и животински модели. Мутагенният потенциал на инфразвуковите експозиции се обсъжда и при хора и експерименти при животни. Специфични за честотата ефекти все още не са известни, валидни доза-отговори са трудно идентифицируеми и все още липсват мащабни епидемиологични изследвания.

## ИЗВОДИ

Инфразвукът и звукът с много ниска честота се явяват широко разпространен замърсител в работна среда на морските лица. Комбинираното им биологично действие при експозицията и с общи вибрации на борда на плавателните съоръжения е специфичен рисков фактор за здравето и безопасността на морските екипажи. Лекарите занимаващи се с морска трудова медицина е необходимо да познават специфичната патология и внимателно да търсят ранните прояви на доклиничните стадии на отклоненията в сърдечно-съдова, централна-нервна, дихателна и слухово-вестибуларна функция.



ЛИТЕРАТУРА

1. БДС 11427-83 (СТ на СИБ 2832-80). Акустика. Термини и определения.
2. Карпова, Н. И., Э.Н. Малышев. Низкочастотные акустические колебания на производстве. М., "Медицина", 1981, 192.
3. Митрев, Н. Инфразвук. В кн. Хигиена, т. II, Трудова медицина, хигиена на труда и професионални болести. Под ред. на проф. Д Цветков, София, изд. "Св. Климент Охридски", 2014, 156-159.
4. Николаева, Д., Ив. Паунов. Инфразвук. В кн. Инфразвук, ултразвук, шум и вибрации. Под ред. на проф. Д. Цветков и М. Ангелова, изд. "Мед. и физкултура", София, 1995, 11-43.
5. Паунов, Ив. Характеристика на инфразвука в транспортните средства и някои аспекти на въздействието му върху организма на човека. Дисертационен труд за присъждане на научна степен "кандидат на медицинските науки", С., 1990, 161.
6. Топалова, В., Д. Николаева. Инфра- и ултразвукът в промишлеността. С., "Профиздат", библи. "Охрана на труда", 1982, 3, 84.
7. Alves-Pereira M., N.A.C. Branco Vibroacoustic disease: biological effects of infrasound and low-frequency noise explained by mechanotransduction cellular signaling, Prog. Biophys. Mol. Biol., 93 (2007), pp. 256-279
8. Alves-Pereira, M., 1999. Extra-aural noise-induced pathology. A review and commentary. Aviat. Space Environ. Med. 70 (March, Suppl.), A7-A21.
9. Alves-Pereira, M., Castelo Branco, N.A.A., 2003. Ciliated cells, cochlear cilia and low frequency noise. In: Proceedings of the Eighth International Congress of Noise as a Public Health Problem, Rotterdam, Holland, 366-367.
10. Alves-Pereira, M., Joanaz de Melo, J., Castelo Branco, N.A.A., 2003. Actin and tubulin-based structures under low frequency noise stress. Proceedings First International Meeting on Applied Physics, Badajoz, Spain, no. 355, 5p.
11. Arnot J.W. Vibroacoustic disease I, the personal experience of a motorman, Inst. Acoustics (UK), 25 (Pt 2) (2003), pp. 66-71
12. Berglund B, T. Lindvall, D.H. Schwela, Guidelines for community noise, OMS (1999)
13. Gomes L.M.P., A.J.F. Martinho Pimenta, N.A.A.Castelo Branco, Effects of occupational exposure to low frequency noise on cognition, Aviat. Space Environ. Med., 70 (1999), pp. A115-A118,
14. ISO 226:2003 Acoustics. Normal Equal-loudness Contours. International Committee for Standardization, Geneva, 2003
15. Kaczmarek, A., Mikulski, W., Pawlaczyk-Luszczynska, M., A Study of Annoyance of Low Frequency Noise in Rooms for Office and Conceptual Work, Bezpieczenstwo Pracy, 2006, 1 (412), 16-19 (in Polish).
16. Leventhall G. Review: low frequency noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know, Noise Notes, 8 (2009), pp. 3-28,
17. Maurizi M, Paludetti G, Ottaviani F, Rosignoli M: Auditory brainstem responses to middle- and low-frequency tone pips. Audiology. 1984, 23 (1): 75-84. 10.3109/00206098409072823
18. Persson Wayne P., R. Rylander, S. Benton, H.G. Leventhall. Effects on performance and work quality due to low frequency ventilation noise, J. Sound Vib., 20 (1997), pp. 467-474
19. Persson-Waye, K., Rylander, R., 2001. The prevalence of annoyance and effects after long-term exposure to low frequency noise. J. Sound Vib. 240 (3), 483-497
20. Schust M. Effects of low frequency noise up to 100 Hz, Noise Health, 6 (2004), p. 73
21. Van Kamp, I., Breugelmans, O., Van Poll, R., & Baliatsas, C. (2017). Burden of disease from exposure to low frequency noise: a Dutch inventory. ICBEN Proceedings.

Адрес за кореспонденция:

Теодора Димитрова  
 Катедра „Хигиена и епидемиология“,  
 Медицински университет „Проф. д-р Параскев  
 Стоянов“ - Варна  
 гр. Варна, 9000, ул. Марин Дринов №55,  
 e-mail: t.dimitrova@mu-varna.bg