

АНОТАЦІЯ

Паренюк Д.В. Дослідження зв'язку викликаної отоакустичної емісії та властивостей слуху, визначених засобами аудіології для дослідження слуху біологічних об'єктів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 171 «Електроніка». – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», МОН України, Київ, 2021.

В дисертації показано наступні вперше отримані наукові результати:

1. Проведено огляд сучасних результатів застосування отоакустичної емісії для оцінки стану слуху біологічного об'єкту та результатів використання електроенцефалограм для оцінки направлено психофізичного впливу на стан людини під час проведення музичної терапії.

2. Вперше було отримано коефіцієнт для оцінки якості проведення тесту слуху об'єктивними та суб'єктивними методами.

3. За результатами виконаного дослідження було оцінено новий перспективний критерій для нормалізації отриманих результатів дослідження стану слуху біологічного об'єкту за допомогою отоакустичної емісії на частоті продукту спотворення. Вперше було застосовано даний результат для нормалізації результатів дослідження стану слуху морських свинок та було проведено порівняльний аналіз результатів застосування критерію нормалізації отриманих результатів дослідження стану слуху як для одиничних результатів, так і для їх груп

4. Експериментальним шляхом було досліджено вплив акустичного сигналу складної форми на психоемоційний стан людини, вперше було оцінено направлений акустичний вплив на людей, що знаходяться під пролонгованою дією негативних психоемоційних факторів. Було показані результати одночасного комбінованого (терапевтичного та травмуючого) впливу психоемоційних факторів на біологічний об'єкт у потужнісному діапазонах та

визначено можливість використання дельта-ритму електроенцефалограми як маркера стресового впливу на біологічний об'єкт.

5. Обґрунтовано можливість застосування вибірок малого розміру для оцінки змін у електроенцефалограмі, викликаних суперпозицією діючих психоактивних факторів при використанні у якості маркера дельта-ритм електроенцефалограми. Додатково оцінено необхідні мінімальні розміри вибірок при оцінці результатів використання решти зареєстрованих впливів.

6. Вперше сформульовано комплекс вимог до процедури проведення комплексної психонаправленої акустичної терапії в умовах впливу стресового фактору.

Дисертаційна робота базується на аналізі результатів, отриманих під час проведення дослідження стану слуху біологічного об'єкту шляхом використання отоакустичної емісії – шляхом використання нормалізуючого критерію та проведення статистичного та порівняльного аналізу наслідків його застосування; застосуванні коефіцієнту оцінки якості проведення тесту слуху об'єктивними та суб'єктивними методами; оцінці результатів експозиції біологічного об'єкту до суперпозиції різних за природою психоактивних факторів - музичної терапії та стресового фактору та пошуку нових критеріїв для визначення характеру названого впливу.

Зміст дисертаційного дослідження викладено у чотирьох розділах, у об'ємі яких представлені результати дослідження, та у вступі.

У вступі пояснена наукова новизна роботи, було сформульовано мету та предмет дисертаційної роботи, описано застосовувані методи дослідження, перелічені поставлені перед дослідженням завдання. Окрім того було приведено відомості про актуальність та практичне значення результатів дисертації.

В першому розділі подано аналітичний огляд літератури, в обсязі якого показано сучасний стан проблемних областей – дослідження стану слуху шляхом застосування отоакустичної емісії, музичної терапії та енцефалографії, а також статистичної обробки результатів дослідження. Також сформульовано

наявні шляхи подальшого розгляду проблемних питань дослідження.

Другий розділ показує зв'язок між об'єктивними та суб'єктивними методами аудіології та приводить відомості про перспективний критерій оцінки точності проведення дослідження стану слуху біологічного об'єкту та приводить статистичний аналіз його застосування. У вказаному аналізі показано наявність статистично значимої різниці між показниками зазначеного критерію у випадках, коли розбіжність у визначеній ширині частотної групи присутня та відсутня.

В третьому розділі приведені результати оцінки нового перспективного критерію для нормалізації отриманих результатів дослідження стану слуху біологічного об'єкту за допомогою отоакустичної емісії на частоті продукту спотворення під час аналізу результатів дослідження можливості регенерації волосяних клітин у кохлеарі після експозиції їх до дії ототоксичних препаратів. Приведено як порівняльний, так і статистичний аналіз результатів застосування критерію. Досліди були виконані на базі ДУ «Інститут отоларингології ім. проф. О.С. Коломійченка НАМН України», загалом було проведено сорок один дослід. Зазначені результати є продовженням попередньої наукової роботи, що проводилась на базі кафедри Акустичних та Мультимедійних Електронних Систем Національного Технічного Університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Отримані результати показують значну роль критерію у формуванні фінального результату для приведеної бази дослідів. Окрім того на базі проведеної роботи було сформовано алгоритм проведення аналізу подібного масиву експериментальних даних для осіб, що не мають значного рівня підготовки. Окремо показано необхідність проведення багаторівневої перевірки результатів у вибірках на їх відповідність нормальному законові розподілу через необхідність коректного вибору методу встановлення наявності статистично значимої різниці між групами. Також на базі широковживаного програмного пакету Excel створено шаблон для проведення експрес-статистичного аналізу співвідношень між незалежними вибірками під час використання t-критерію Стьюдента у якості інструменту дослідження.

Четвертий розділ показує результати впливу музичної терапії, що використовує акустичний сигнал складної форми, на психоемоційний стан людини. Встановлено необхідність збільшення часу експозиції респондента до дії акустичного сигналу та узагальнено отримані терапевтичні результати. На базі отриманих експериментальних даних також приведено дослідження впливу суперпозиції діючих факторів активного впливу на стан людини – низькочастотного музичного сигналу та пролонгованого стресового фактору та обґрунтовано можливість застосування у дослідженнях стану людини, що піддавалась зазначеним впливам (або одному із них), вибірок малого розміру. Зазначені досліди були виконані на базі кафедри Акустичних та Мультимедійних електронних систем та за участі Інституту кардіології імені академіка М. Д. Стражеска НАМН України. Додатково описана процедура встановлення значення клінічно значимої різниці між досліджуваними тестовими групами, яка застосовується у становленні мінімально допустимого розміру досліджуваної вибірки для певного експерименту. Також додатково було досліджено можливість застосування зазначеної процедури для тета-, альфа- та бета- ритмів електроенцефалограми та визначено (у рамках зареєстрованих експериментальних даних) їх необхідні мінімальні розміри вибірок, на базі чого визначено необхідність збільшення кількості експериментів у вибірці при падінні рівня вираженості досліджуваного параметру.

Отримані практичні результати дослідження:

- Алгоритм співставлення результатів дослідження стану слуху, отриманих суб'єктивними та об'єктивними методами дослідження.
- Критерій оцінки якості проведеного дослідження стану слуху – коефіцієнт співвідношення ширини частотних груп.
- Формалізований алгоритм оцінки результатів дослідження стану слуху біологічного об'єкту за допомогою отоакустичної емісії на частоті продукту спотворення, що використовує t-критерій Стюдента, критерій Вілкоксона або U-критерій Манна-Уїтні, призначений для застосування персоналом без високого рівня підготовки.

- Методика нормалізації результатів дослідження стану слуху біологічного об'єкту за допомогою отоакустичної емісії на частоті продукту спотворення за допомогою критерію Соколова.
- Додатковий частотно-залежний критерій оцінки результатів проведення дослідження слуху за допомогою ОАЕПС.
- Алгоритм оцінки результатів дослідження впливу акустичного сигналу на біоелектричну активність головного мозку, призначений для зменшення навантаження на висококваліфікований медичний персонал.
- Комплекс вимог до процедури проведення комплексної психонаправленої акустичної терапії.

Ключові слова: отоакустична емісія, об'єктивна аудіологія, медикаментозний вплив, суб'єктивні методи аудіології, перетворення Фур'є, дельта-ритм, електроенцефалограма, акустичний музичний сигнал, стрес.

SUMMARY

Pareniuk D.V. Investigation of the connection between induced otoacoustic emission and hearing properties determined by audiology for the hearing properties estimation of biological objects. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Philosophy Doctor, in specialty 171 “Electronics”. - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2021.

The dissertation shows the following first scientific results:

1. A review of the current results of the application of otoacoustic emission to assess the state of hearing of a biological object and a review of the current results of the implementation of electroencephalograms for investigation of the directed psychophysical influence on the human cognition during music therapy were conducted.

2. For the first time, a coefficient, which assesses the quality of the hearing test via usage of the objective and subjective methods was obtained.

3. Based on the results of the study, a new promising criterion for normalization of the results of the study of the state of hearing of a biological object using otoacoustic emission at the frequency of the distortion product was evaluated. This result was used for the first time to normalize the results of a guinea pig hearing test. Also a comparative analysis of the results of the application of the criterion of normalization of the results of the study of hearing channel for both individual results and their groups was conducted.

4. The influence of an acoustic signal of a complex shape on a person's psycho-emotional state was investigated experimentally, for the first time, the directed acoustic effect on people under prolonged exposure to negative psycho-emotional factors was assessed. The results of simultaneous combined (therapeutic and traumatic) influence of psychoemotional factors on a biological object in power range and the possibility of the usage of the delta rhythm of the electroencephalogram as a marker of stress influence on a biological object were shown.

5. The possibility of the application of small sized samples to assess changes in the electroencephalogram caused by the superposition of acting psychoactive factors when used as a marker delta-rhythm electroencephalogram is substantiated. Required minimum sample sizes for evaluation the results of the usage of the rest of the registered rhythms were calculated.

6. For the first time a set of requirements for the procedure of conducting complex psycho-directed acoustic therapy under the influence of a stress factor has been formulated.

The dissertation is based on the analysis of the results obtained during the study of the state of hearing channel of a biological object by implementation of the otoacoustic emission - by using the normalizing criterion and conducting statistical and comparative analysis of the consequences of its application; application of the coefficient of assessment of the quality of the hearing test by objective and subjective methods; evaluating the results of exposure of a biological object to the superposition of different in nature psychoactive factors - music therapy and stress factor and the search for new criteria to determine the type of this influence.

The content of the dissertation thesis is presented in four sections, the volume of which presents the results of the research, and in the introduction.

The introduction explains the scientific novelty of the work, formulates the purpose and subject of the dissertation, describes the applied research methods, lists the tasks set before the study. In addition, information on the relevance and practical significance of the dissertation results is provided in this part of the thesis.

The first section presents an analytical review of the modern scientific literature sources, which shows the current state of the problem areas - the investigation of the state of the hearing organ of the biological object via the implementation of otoacoustic emission; music therapy and encephalography, as well as statistical processing of obtained research results. Existing ways of further investigation of problematic research areas are also formulated.

The second section highlights the connection between objective and subjective methods of audiology and provides information on a promising criterion for assessing the accuracy of the analysis of the state of hearing organ of a biological object and provides a statistical analysis of its application. This analysis also shows the presence of a statistically significant difference between the results of the criterion implementation in cases where the difference in a frequency group width is present and absent.

The third section presents the results of the evaluation of a new promising criterion for normalization of the results of the study of the state of hearing loss of a biological object by otoacoustic emission at the frequency of the distortion product during the analysis of the results. Both comparative and statistical analysis of the results of the criterion application are given. The experiments were performed on the basis of the State Institution "Institute of Otolaryngology. prof. O.S. Kolomiychenko National Academy of Medical Sciences of Ukraine ", a total of 41 experiments were conducted. These results are a continuation of previous research work conducted on the basis of the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". The obtained results show a significant role of the criterion in the formation of the final result for the given base of experiments. In addition, on the basis of this work, an algorithm for analysing such an array of experimental data for individuals who do not have a significant level of training was formed. The need for a multi-level verification of the results in the test samples for their compliance with the normal distribution law is shown separately due to the need to correctly choose the method of establishing the presence of a statistically significant difference between groups. Also based on the widely used Excel software package, a template was created for rapid statistical analysis of the relationships between independent samples via usage of the Student's t-test as a research tool.

The fourth section shows the results of the application of music therapy using a complex acoustic signal on the psycho-emotional state of a person. The necessity of increasing the time of exposure of the respondent to the action of the acoustic signal is established and the obtained therapeutic results are generalized. Based on the obtained

experimental data as well a study of the influence of superposition of active factors of continuous influence on the human condition is made - low-frequency musical signal and prolonged stress factor; also was substantiated the possibility of the implementation in studies of the human condition changes via exposure to both these effects (or one of them), small sample sized test groups. These experiments were performed on the base of the Department of Acoustic and Multimedia Electronic Systems and with the participation of the National Scientific Centre "M.D. Strazhesko Institute of Cardiology". Additionally, the procedure for determination of the value of clinically significant difference between the test groups, which is used in the estimation of the minimum allowable sample size for a particular experiment, is explained. The possibility of applying this procedure for theta-, alpha- and beta-rhythms of the electroencephalogram was additionally investigated and their required minimum sample sizes were determined (within the registered experimental data).

The obtained practical results of the study:

- Algorithm for comparing the results of the test of auditory organ, obtained by subjective and objective research methods.

- The criterion for assessing the quality of the study of hearing - the ratio of the width of the frequency groups.

- Formalized algorithm for evaluating the results of the study of the state of hearing of a biological object using otoacoustic emission at the frequency of the distortion product, using Student's t-test, Wilcoxon test or Mann-Whitney U-test, designed for application by partially trained personnel.

- Method of normalization of the results of the study of the state of auditory organ of a biological object via implementation otoacoustic emission at the frequency of the distortion product using the Sokolov criterion.

- Additional frequency-dependent criterion for evaluating the results of a auditory organ test via usage of OAEDP.

- Algorithm for evaluating the results of the study of the effect of acoustic signal on the bioelectrical activity of the brain, designed to reduce the burden on highly qualified medical personnel.

- A set of requirements for the procedure of complex psycho-directed acoustic therapy.

Keywords: otoacoustic emission, objective audiology, medical impact, subjective methods of audiology, Fourier transform, delta rhythm, electroencephalogram, acoustic musical signal, stress.

Список публікацій здобувача

- [1] Д. В. Паренюк, Г. Е. Тімен, К. Л. Руденька, і С. А. Найда, «Дослідження можливості застосування отоакустичної емісії для реєстрації медикаментозного впливу на слуховий канал морських свинок», *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, vol 105, no 4, pp 74–82, 2018, doi: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.2018.23.4.134457>. ISSN: 2523-4455, (фахове видання категорії Б).
- [2] D. V. Pareniuk and S. A. Naida, «The Study of the Possibility of Usage of the Sokolov's Criteria for Assessing the Results of Directed Influence on the Auditory System of a Biological Object», *Microsystems, Electron. Acoust.*, vol 24, no 3, pp 72–78, Чер 2019, doi: 10.20535/2523-4455.2019.24.3.169848. ISSN: 2523-4455, (фахове видання категорії Б).
- [3] Д. В. Паренюк, А. В. Паренюк, К. С. Дрозденко, і С. А. Найда, «Дослідження сукупного впливу стресового фактору та музичного сигналу на психофізичний стан людини», *Мікросистеми, Електроніка та Акустика*, vol 1, no 26, p 9, 2021, doi: <https://doi.org/10.20535/2523-4455.me.228179>. ISSN: 2523-4455, (фахове видання категорії Б).
- [4] D. Pareniuk, «Method of evaluation of the minimal sample size for acoustical signal therapy monitored via electroencephalographic activity of human brain», *ScienceRise*, no 2, pp 75–82, 2021, doi: 10.21303/2313-8416.2021.001736. ISSN 2313-8416. (Стаття у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до ОЕСР та/або Європейського Союзу) - Естонія.
- [5] Д. В. Паренюк, С. А. Найда, Г. Е. Тімен, і К. Л. Руденька, «Отоакустична емісія як діагностичний метод при експериментальній сенсоневральній приглуховатості», *Журнал вушних, носових і горлових хвороб*, no 5, pp 13–20, 2017, [Online]. Available at: http://www.lorlife.kiev.ua/2017/2017_5_13.pdf. ISSN: 0044-4650, (фахове видання категорії Б).
- [6] Д. В. Паренюк, С. А. Найда, В. С. Дідковський, і М. С. Найда, «Слуховий

апарат», UA135195, 2018, *(патент)*.

- [7] Д. В. Паренюк, С. А. Найда, В. С. Дідковський, і М. С. Найда, «Спосіб діагностики слуху людини», UA135195, 2019, *(патент)*.
- [8] Д. В. Паренюк, Г. Е. Тімен, К. Л. Руденька, і С. А. Найда, «Використання отоакустичної емісії для оцінки діагностики терапевтичної дії трофіну при експериментальній сенсоневральній приглухуватості», в *Спеціальний випуск “Журнал вушних, носових і горлових хвороб” присвячено роботі Щорічної традиційної осінньої конференції Українського наукового медичного товариства лікарів-оториноларингологів з міжнародною участю “Досягнення сучасної оториноларингології, 2017, р 2, (матеріали конференції)*.
- [9] Д. В. Паренюк і С. А. Найда, «Проблеми комунікації у скринінгу слуху новонароджених», в *Матеріали XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів «Дні Науки», 2018, р 2, (матеріали конференції)*.