

Багатофакторна модель оцінки чутливості вестибулярного аналізатора людини

С.Н. Вадзюк, Р.М. Шмата, А.С. Сверстюк, Т.А. Лебєдєва

Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського МОЗ України; e-mail: roman@tdmu.edu.ua

Підвищена вестибулярна чутливість може спричиняти різноманітні незручності та заважати повноцінному життю, тому важливо вивчати фактори її виникнення та прогресування. Проте в доступній науковій літературі це питання не висвітлено. Метою нашої роботи було розробити багатофакторну регресійну модель прогнозування підвищеної сенситивності вестибулярного аналізатора. Для цього ми обстежили 120 студентів Тернопільського національного медичного університету ім. І.Я. Горбачевського МОЗ України. Для її встановлення проводили опитування та обертальну пробу на кріслі Барані. Оцінювали психофізіологічний стан. Прогностично значущими критеріями із 50 показників, які вказують на підвищену вестибулярну чутливість, є рівень нейротизму, самопочуття, активності, настрою, вестибулярної стійкості, латентних періодів простої та складних зорово-моторних реакцій, функціональної рухливості нервових процесів, частота серцевих скорочень. Запропонована нами модель математичного прогнозування може стати одним із етапів профілактики розладів, зумовлених підвищеною чутливістю вестибулярного аналізатора. Ключові слова: прогнозування; вестибулярна чутливість; регресійна модель; психологічне тестування; зорово-моторні реакції; рухливість нервових процесів; артеріальний тиск; частота серцевих скорочень.

ВСТУП

Підвищена чутливість вестибулярного аналізатора є поширеною серед населення [1]. Вона може спричиняти багато незручностей та інколи заважає вести повноцінне життя. Недостатня фізична активність сприяє підвищенню чутливості вестибулярного аналізатора, що може проявлятися дратівливістю, втратою впевненості, тривогою, депресією або панікою [2]. Висока вестибулярна сенситивність є однією із патогенетичних ланок розвитку артеріальної гіпертензії [3, 4]. У світовій науковій спільноті стверджується, що вона також утруднює перебіг цукрового діабету, супроводжує невроз, енцефаліт та епілепсію [5]. Встановлено негативний вплив підвищеної чутливості вестибулярного аналізатора на якість життя у людей похилого віку, а зростання її стійкості призводить до збільшення тривалості життя [6]. Підвищена

чутливість вестибулярного аналізатора нині залишається недостатньо вивченою [7]. У науковій літературі є дані про можливість її зменшення [8–11]. Тому, виходячи із вищесказаного, є актуальним прогнозування підвищеної чутливості вестибулярного аналізатора як для покращення якості життя, профілактики розвитку деяких захворювань, так і підвищення професійної працездатності. Проте праць з передбачування функціонального стану апарата підтримування рівноваги немає.

Мета нашої роботи полягала в розробці прогностичної багатофакторної регресійної моделі підвищеної чутливості вестибулярного аналізатора.

МЕТОДИКА

Для розробки математичної моделі прогнозування вестибулярної чутливості обстежено 120 студентів Тернопільського національного

медичного університету ім. І.Я. Горбачевського МОЗ України. Всі студенти віком від 18 до 21 року на основі медичних оглядів були віднесені до групи практично здорових людей. Комплексні обстеження проводили на базі атестованої МОЗ України лабораторії психофізіологічних досліджень кафедри фізіології з основами біоетики та біобезпеки Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського МОЗ України (Свідоцтво № 003/18). При організації обстежень ми керувалися біоетичними нормами (рішення комісії з біоетики Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського МОЗ України, протокол № 76 від 15 січня 2024 р.). Усі обстежувані підписували інформовані згоди.

Підвищену вестибулярну чутливість встановлювали за таким алгоритмом: на першому етапі студентам пропонували відповісти на запитання опитувальника щодо наявності симптомів, які характерні для неї. Наступним кроком було проведення обертальної проби для визначення вестибулярної стійкості та оцінки тривалості вестибулярної ілюзії протиобертання [8]. Обстежуваних розподілили на 2 групи по 60 осіб у кожній: з підвищеною та належною вестибулярною чутливістю. У них оцінювали психофізіологічний стан, провели письмову пробу Фукуди [5], визначили нейродинамічні особливості [12] та здійснили психологічне тестування [13, 14].

Для побудови прогностичної моделі проведено аналіз 50 можливих імовірних факторів, які можуть впливати на рівень вестибулярної чутливості. У ній вони позначені таким чином: соматичний прояв за пробою Воячека – LevVO, результати і рівень проби Фукуди – FU, LevFU відповідно, результат вестибулярної ілюзії протиобертання – VIA, рівень вестибулярної ілюзії протиобертання – LevVIA, результат нейротизму – NE, рівень нейротизму (1 – низький, 2 – середній, 3 – високий, 4 – дуже високий) – LevNE, самопочуття до і після вестибулярного навантаження – W-b1RT, W-b2RT відповідно, активність до і

після вестибулярного навантаження – A1RT, A2RT відповідно, настрої до і після вестибулярного навантаження – M1RT, M2RT відповідно, особистісна тривожність – Panx, рівень особистісної тривожності – LevPanx, ситуативна тривожність – Sanx, рівень ситуативної тривожності – LevSanx, оцінка вестибулярної стійкості при I і III типах погоди – VSt I tp, VSt III tp відповідно, стать – Sex, проста зорово-моторна реакція до вестибулярного навантаження – SVMR1RT, помилки при виконанні простої зорово-моторної реакції до і після вестибулярного навантаження – MisSVMR1RT, MisSVMR2RT відповідно, проста зорово-моторна реакція після вестибулярного навантаження – SVMR2RT, реакція вибору 1 із 3 до і після вестибулярного навантаження – RCh1-3/1RT, RCh1-3/2RT відповідно, рівень нейродинамічних процесів при виконанні реакції – LevRCh1-3/1RT, помилки при виконанні реакції вибору 1 із 3 до і після вестибулярного навантаження – MisRCh1-3/1RT, MisRCh1-3/2RT відповідно, реакція вибору 2 із 3 до і після вестибулярного навантаження – RCh2-3/1RT, RCh2-3/2RT відповідно, помилки при виконанні реакції вибору 2 із 3 до вестибулярного навантаження – MisRCh2-3/1RT, MisRCh2-3/2RT відповідно, функціональна рухливість нервових процесів – FMNP, систолічний, діастолічний артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, пульсовий тиск до вестибулярного навантаження при I та III типі погоди – SAP1/I, DAP1/I, Pul1/I, PP1/I, SAP1/III, DAP1/III, Pul1/III, PP1/III відповідно, систолічний, діастолічний артеріальний тиск, частота серцевих скорочень, пульсовий тиск при I та III типі погоди після вестибулярного навантаження SAP2/I, DAP2/I, Pul2/I, PP2/I, SAP2/III, DAP2/III, Pul2/III, PP2/III відповідно. Належна вестибулярна чутливість позначена як VS1, а підвищена – VS2.

Статистичну обробку отриманих результатів та побудову багатфакторної регресійної моделі прогнозування підвищеної чутливості вестибулярного аналізатора проводили за допомогою програм «Microsoft Excel

2016» та «Statistica 10.0» (StatSoft. Inc.). У модель прогнозування коефіцієнта підвищеної чутливості вестибулярного аналізатора було включено 14 факторів з коефіцієнтами кореляції від 0,3 до 0,7. Загальна початкова кількість предикторів становила 50. Для перевірки якості прогностичної моделі використовували критерій Нейджелкерка (R2), а для оцінки прийнятності моделі – аналіз ANOVA [15].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Представляємо предиктори рівня підвищеної чутливості вестибулярного аналізатора. Ми їх використали покроково, що дало змогу відібрати найбільш інформативні показники: Соматичний прояв за пробою Воячека, ум. од. 0,8±0,1
 Результати проби Фукуди, ум. од. 24,6±4,4
 Рівень проби Фукуди, ум. од. 1,1±0,2
 Результат вестибулярної ілюзії протиобертання, с 22,9±4,1
 Рівень вестибулярної ілюзії протиобертання, ум. од. 2,6±0,4
 Результат нейротизму, бал 15,2±2,7
 Рівень нейротизму, ум. од. 2,6±0,4
 Самопочуття, бал
 до вестибулярного навантаження 49,6±8,9
 після вестибулярного навантаження 45,9±8,5
 Активність, бал
 до вестибулярного навантаження 47,8±8,5
 після вестибулярного навантаження 44,7±8,0
 Настрій, бал
 до вестибулярного навантаження 52,4±9,4
 після вестибулярного навантаження 49,1±8,8
 Особистісна тривожність, бал 41,7±7,49
 Рівень особистісної тривожності, ум. од. 2,2±0,4
 Ситуативна тривожність, бал 46,4±8,3
 Рівень ситуативної тривожності, ум. од. 2,5±0,4
 Оцінка вестибулярної стійкості, бал
 при I типі погоди 4,0±0,7
 при III типі погоди 3,6±0,6
 Проста зорово-моторна реакція, мс
 до вестибулярного навантаження 283,4±50,9
 після вестибулярного навантаження 298,06±53,5
 Помилки при виконанні простої зорово-моторної реакції, ум. од.
 до вестибулярного навантаження 0,36±0,06
 після вестибулярного навантаження 0,65±0,1
 Реакція вибору 1-3, мс
 до вестибулярного навантаження 336,4±60,4
 після вестибулярного навантаження 346,9±62,3
 Рівень нейродинамічних процесів при виконанні реакції, ум. од. 2,75±0,4

Помилки при виконанні реакції вибору 1-3, ум. од.
 до вестибулярного навантаження 0,71±0,1
 після вестибулярного навантаження 1,3±0,2
 Реакція вибору 2-3, мс
 до вестибулярного навантаження 389,5±69,9
 після вестибулярного навантаження 402,5±72,3
 Помилки при виконанні реакції вибору 2-3 ум. од.
 до вестибулярного навантаження 1,01±0,1
 після вестибулярного навантаження 2,86±0,5
 Функціональна рухливість нервових процесів, мс 72,5±13,0
 Систолічний артеріальний тиск при I типі погоди, мм.рт.ст.
 до вестибулярного навантаження 120,1±21,5
 після вестибулярного навантаження 124,5±22,3
 Діастолічний артеріальний тиск при I типі погоди, мм.рт.ст.
 до вестибулярного навантаження 79,3±14,2
 після вестибулярного навантаження 76,8±13,8
 Частота серцевих скорочень при I типі погоди, хв⁻¹
 до вестибулярного навантаження 69,5±12,5
 після вестибулярного навантаження 79,7±14,3
 Пульсовий тиск при I типі погоди, мм.рт.ст.
 до вестибулярного навантаження 40,4±7,2
 після вестибулярного навантаження 47,5±8,5
 Систолічний артеріальний тиск III типі погоди, мм.рт.ст.
 до вестибулярного навантаження при 117,8±21,1
 після вестибулярного навантаження 127,4±22,8
 Діастолічний артеріальний тиск при III типі погоди, мм.рт.ст.
 до вестибулярного навантаження 76,5±13,7
 після вестибулярного навантаження 77,0±13,8
 Частота серцевих скорочень при III типі погоди, хв⁻¹
 до вестибулярного навантаження 70,9±12,7
 після вестибулярного навантаження 88±15,8
 Пульсовий тиск при III типі погоди, мм.рт.ст.
 до вестибулярного навантаження 41,3±7,4
 після вестибулярного навантаження 50,1±0,6

Найбільш значущими для прогнозування вестибулярної чутливості були використані 14 досліджуваних факторів для побудови багатофакторної

Найбільш значущими для прогнозування вестибулярної чутливості були використані 14 досліджуваних факторів для побудови багатофакторної регресійної моделі: LevNE, W-b2RT, A1RT, A2RT, M2RT, VSt I tp, SVMR2RT, MisRCH1-3/2RT, RCH2-3/2RT, MisRCH2-3/2RT, FMNP, Pul1/I, Pul2/I та RCH1-3/1RT. Використовуючи їх, ми будемо математичну модель для визначення коефіцієнта прогнозування вестибулярної чутливості:

$$\begin{aligned} VS_B = & 1,446778 \times LevNE + 0,109372 \times \\ & Wb2RT + 0,210895 \times A1RT - 0,292170 \times A2RT - \\ & 0,077276 \times M2RT + 1,654986 \times VSt\ I\ tp + \\ & 0,016459 \times SVMR2RT + 0,010667 \times RCh1 - \\ & 3/1RT - 0,203264 \times MisRCh1 - 3/2RT + 0,010502 \times \\ & RCh2 - 3/2RT + 0,345982 \times MisRCh2 - 3/2RT + \\ & 0,122706 \times FMNP - 0,042082 \times Pul1/I + \\ & 0,038971 \times PP2/I + 7,527495 \end{aligned}$$

Для оцінювання якості багатofакторної регресійної моделі проаналізовано залишкові відхилення (рис. 1, а). Як видно із отриманої гістограми залишкові відхилення розподілені симетрично, наближаючись до кривої нормального розподілу залишків, тому статистична гіпотеза відповідає нормальному розподілу. Для додаткового підтвердження залишкових відхилень закону нормального розподілу було побудовано нормально-ймовірнісний графік (див. рис. 1, б). Аналізуючи його результати бачимо відсутність систематичних відхилень від нормально-ймовірнісної прямої. Це дає можливість зробити висновок, що залишкові відхилення розподілені за законом нормального розподілу.

Для перевірки залежності залишкових відхилень від прогнозованих значень будуюмо діаграму розсіювання (рис. 2). Слід відмітити, що вони розсіяні хаотично. І це вказує на відсутність залежності від прогнозованих показників, які впливають на визначення підвищеної вестибулярної чутливості. Гістограма та нормально-ймовірнісний графік підтверджують відповідність закону нормального розподілу залишкових відхилень. Отже, отримана модель прогнозування перебігу підвищеної вестибулярної чутливості є якісною та адекватною.

Наступним кроком була оцінка відповідності моделі в цілому, для чого проводимо аналіз ANOVA. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про високий рівень відповідності моделі прогнозування підвищеної вестибулярної чутливості загалом, оскільки рівень значущості $P < 0,001$, а сама модель буде працювати краще, ніж простий прогноз, використовуючи середні значення.

Для додаткового оцінювання якості математичної моделі прогнозування підвищеної вестибулярної чутливості було проаналізовано коефіцієнт детермінації Нейджелкерка (R^2), котрий показує, яка частина факторів врахована при прогнозуванні. Його розглядають як універсальну міру зв'язку однієї випадкової величини з іншими. Коефіцієнт детермінації змінюється від 0 до 1. Що більше його значення наближається до «1», то більш якісна багатofакторна регресійна модель. У запропонованій математичній моделі прогнозування підвищеної вестибулярної чутливості коефіцієнт детермінації становить $R^2 = 0,921$. Отже, на разі 92,1% факторів враховано в моделі прогнозування підвищеної вестибу-

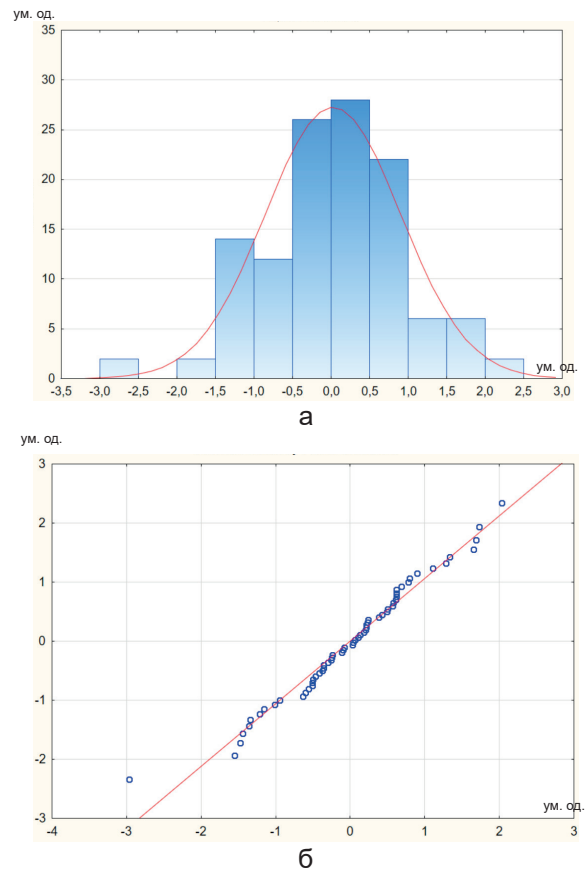


Рис. 1. Гістограма (а) та нормально-ймовірнісний графік (б) залишкових відхилень багатofакторної регресійної моделі підвищеної вестибулярної чутливості. За віссю абсцис – діапазони значень залишкових відхилень, ум. од.; за віссю ординат – кількість залишкових відхилень, які увійшли в певний діапазон, ум. од.

лярної чутливості. Коефіцієнт детермінації показує наскільки отримані спостереження підтверджують математичну модель.

Таким чином, прогностично значущі фактори, які говорять про підвищену вестибулярну чутливість, отримані математичним моделюванням, підтвердили, що насамперед для її прогнозування слід визначити рівень нейротизму, оцінити самопочуття після вестибулярного навантаження, активність до та після вестибулярного навантаження, емоційний стан після обертання, вестибулярну стійкість, враховуючи тип погоди, латентний період простої зорово-моторної реакції після обертальної проби, латентний період складних зорово-моторних реакцій до та після обертальної проби із врахуванням помилок при виконанні завдань та функціональну рухливість нервових процесів. Вагомим діагностичним критерієм є частота серцевих скорочень до та після обертальної проби при I типі погоди.

Вперше запропонована нами модель математичного прогнозування підвищеної вестибулярної чутливості враховує найбільш значущі фактори, які засвідчують підвищену чутливість вестибулярного аналізатора. Це може стати одним із етапів профілактики розладів, які нею зумовлені. Наші дослідження психологічних характеристик показали, що нейротизм, тривожність і вестибулярна чутливість взаємопов'язані [16]. Отримані

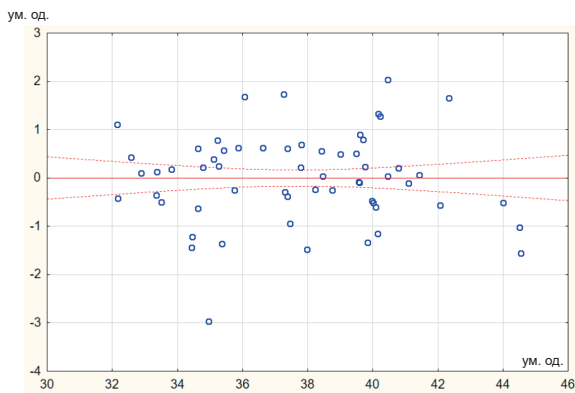


Рис. 2. Діаграма розсіювання залишкових відхилень багатофакторної регресійної моделі прогнозування ризику підвищеної вестибулярної чутливості

результати доповнюють вплив нейротизму на важливі фізіологічні показники [17–19].

Враховуючи, що у більшості людей з підвищеною вестибулярною чутливістю розвиваються певні особливості психічного стану, рівень нейротизму, особистісної та ситуативної тривожності обстежуваних, це слід враховувати при плануванні діагностичних та терапевтичних заходів [20].

ВИСНОВКИ

1. Створена багатофакторна регресійна модель пов'язує підвищену вестибулярну чутливість із психофізіологічними показниками, такими як: рівень нейротизму, рівень самопочуття, активності та настрою, значення латентних періодів зорово-моторних реакцій, рівень функціональної рухливості нервових процесів та значення частота серцевих скорочень.

2. Базуючись на отриманих результатах, надалі можна використовувати представлену нами математичну прогностичну модель для покращення якості життя, профілактики розладів, метеопрофілактики та коректного професійного відбору.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

**S.N. Vadzyuk, R.M. Shmata, A.S. Sverstyuk,
T.A. Lebedeva**

A MULTIFACTOR MODEL FOR ESTIMATING THE SENSITIVITY OF A HUMAN VESTIBULAR ANALYZER

*Horbachevsky Ternopil National Medical University,
Ternopil; roman@tdmu.edu.ua*

Increased vestibular sensitivity can cause various inconveniences and interfere with a full life; therefore, it is important to study the factors influencing its development and progression. However, in the available scientific literature, this issue is not

covered. The aim of our work was to develop a multivariate regression model for predicting increased sensitivity of the vestibular analyzer. For this, we surveyed 120 students of the I. Horbachevsky Ternopil National Medical University. To establish increased vestibular sensitivity, we conducted a survey and a rotation test by using the Barani chair. We assessed the psychophysiological state. Prognostically significant criteria from 50 indicators that indicate increased vestibular sensitivity are the level of neuroticism, well-being, activity, mood, vestibular stability, latent periods of simple and complex visual-motor reactions, functional mobility of nervous processes, and heart rate. The model of mathematical forecasting proposed by us can become one of the stages of the prevention of disorders caused by the increased sensitivity of the vestibular analyzer. Key words: vestibular sensitivity; psychological testing; visual-motor reactions; mobility of nervous processes; blood pressure; heart rate; prognostication; regression model.

REFERENCES

1. Figtree WVC, Menant JC, Chau AT, Hübner PP, Lord SR, Migliaccio AA. Prevalence of vestibular disorders in independent people over 50 that experience dizziness. *Front Neurol.* 2021;12:658053.
2. Feng S, Zang J. The effect of accompanying anxiety and depression on patients with different vestibular syndromes. *Front Aging Neurosci.* 2023;15:1208392.
3. Trinus KF. Dizziness correlation with hypertension. *Int Neurolog J.* 2015;4(74):13-9. [Ukrainian].
4. Holstein GR, Friedrich VL Jr, Martinelli GP. Projection neurons of the vestibulo-sympathetic reflex pathway. *J Comp Neurol.* 2014;522(9):2053-74.
5. Trinus KF, Claussen CF. International clinical protocol on vestibular disorders (Dizziness). *Int Tinnitus J.* 2017;21(2):168-78.
6. Brito LB, Ricardo DR, Araújo DS, Ramos PS, Myers J, Araújo CG. Ability to sit and rise from the floor as a predictor of all-cause mortality. *Eur J Prev Cardiol.* 2014;21(7):892-8.
7. Grande-Alonso M, Moral Saiz B, Mínguez Zuazo A, Lerma Lara S, La Touche R. Biobehavioral analysis of the vestibular system and posture control in patients with cervicogenic dizziness. A cross-sectional study. *Neurol.* 2018;33(2):98-106.
8. Buryanovatyi OM. Increasing the vestibular stability of all-round fighters at the stage of initial training. *Sports Bull Dnieper.* 2017;2:40-2. [Ukrainian].
9. Han BI, Song HS, Kim JS. Vestibular rehabilitation therapy: Review of indications, mechanisms, and key exercises. *J Clin Neurol.* 2011;7(4):184-96.
10. Andreyuk NL. The influence of sports training on the stability of the human vestibular. *World Med Biol.* 2017;3(61):167-8. [Ukrainian].
11. Soto E, Vega R. Neuropharmacology of vestibular system disorders. *Curr Neuropharmacol.* 2010; 8(1):26-40.
12. Zaikina GL. Peculiarities of neurodynamic properties in schoolchildren with different intensity of informational and motor activity. *Ukr J Med Biol Sport.* 2020;1(23):330-5. [Ukrainian].
13. Priymak SG. Temperament characteristics` features of students involved in the group of sports-pedagogical perfection. *Sci Educat New Dimens.* 2017; 53(114):40-3.
14. Malinauskas R, Vaicekaskas A. Well-being, activity, mood and optimistic way of thinking of adolescent athletes. *Sveikatos Mokslai.* 2013;23(2):25-27
15. Pisaruk AV, Shatilo VB, Antoniuk-Shcheglova IA, Naskalova SS, Bondarenko OV, Chyzhova VP, Shatilo VV, Polyagushko LG. Human biological age regression and neural network models. *Fiziol Zh.* 2023; 69(2): 3-10.
16. Vadzyuk SN, Shmata RM, Lebedeva TA, Lozina LB. Age features of the vestibular analyzer. *Fiziol Zh.* 2023; 69(4): 103-14. [Ukrainian].
17. Hilber P, Cendelin J, Le Gall A, Machado ML, Tuma J, Besnard S. Cooperation of the vestibular and cerebellar networks in anxiety disorders and depression. *Prog Neuro-Psychopharmac Biol Psychiatr.* 2019;89:310-21.
18. Decker J, Limburg K, Henningsen P, et al. Intact vestibular function is relevant for anxiety related to vertigo. *J Neurolog.* 2019;266:89-92.
19. Lee ES, Lee TK. Interaction of Autonomic and Vestibular System. Review. *Res Vestibul Sci.* 2018;17(1):1-7.
20. Sakagami M, Kitahara T, Okayasu T, Yamashita A, Hasukawa A, Ota I, et al. Negative prognostic factors for psychological conditions in patients with audiovestibular diseases. *Auris Nasus Larynx.* 2016;43:632-6.

*Матеріал надійшов
до редакції 18.02.2024*